

Berichte des Deutschen Wetterdienstes

76

**Freilandversuche 1959 zur Frostbekämpfung durch
Geländeheizung**

von
Deutscher Wetterdienst

Zitationsvorschlag:

Freilandversuche 1959 zur Frostbekämpfung durch Geländeheizung. - Offenbach am Main:

Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, 1961.

(Berichte des Deutschen Wetterdienstes ; 76)

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
Vorwort	3
Zusammenfassung	4
Abstract	4
1. Gesamtplanung der Freilandversuche (H. Burckhardt)	5
2. Frostbekämpfungsversuche 1959 im Obstbau des Alten Landes bei Hamburg	7
2.1. Die Temperaturmessungen zur Feststellung des Heizeffektes (H. R. Scultetus)	7
2.2. Bemerkungen zu den geländeklimatischen Eigenarten des Untersuchungsraumes (E. Franken)	23
3. Frostbekämpfungsversuche 1959 im fränkischen Weinbau bei Veitshöchheim	25
3.1. Betriebswirtschaftlich-technische Seite der Frostbekämpfungs- versuche (W. Kaufhold)	25
3.2. Einfluß der Geländeheizung auf die Lufttemperatur und Folge- rungen für die Methodik bei der Prüfung der Wirksamkeit von Frostschutzmaßnahmen (M. Schneider)	32
3.3. Einfluß der Geländeheizung auf den Wärmehaushalt eines Versuchskörpers (R. Weise)	48

Anschriften der Verfasser:

- H. Burckhardt, Offenbach a. M., Frankfurter Str. 135,
Deutscher Wetterdienst, Zentralamt, Abt. Agrarmeteorologie
- E. Franken, Hamburg 4, Bernhard-Nocht-Str. 76,
Agrarmeteorologische Versuchs- und Beratungsstelle
- Dr. W. Kaufhold, Veitshöchheim bei Würzburg, Bayer. Landesanstalt für
Wein-, Obst- und Gartenbau
- Dipl.-Met. M. Schneider, Offenbach a. M., Frankfurter Str. 135,
Deutscher Wetterdienst, Zentralamt, Abt. Agrarmeteorologie
- Dr. H. R. Scultetus, Hamburg 4, Bernhard-Nocht-Str. 76,
Agrarmeteorologische Versuchs- und Beratungsstelle
- Dr. R. Weise, Würzburg 2, Oberer Steinbergweg,
Wetterwarte und Agrarmeteorologische Versuchs- und Beratungsstelle

Vorwort

Die ungewöhnliche Häufigkeit von Frostschäden während der Vegetationszeit an hochwertigen landwirtschaftlichen Kulturen im letzten Jahrzehnt hat das öffentliche Interesse an der Entwicklung und Erprobung von Frostbekämpfungsmethoden stark aufleben lassen. Die umfangreichsten Erfahrungen und Kenntnisse aus früheren, ähnlich frostbedrohten Zeiten besitzt der Deutsche Wetterdienst, nicht nur bezüglich der meteorologischen und klimatischen Aspekte der Frostentstehung und der geographischen Verteilung des Frostrisikos, sondern auch bezüglich der vielfältigen Methoden, vorbeugend der Frostgefährdung zu begegnen oder aktiv den Frost während der Zeit seines unheilvollen Wirkens zu bekämpfen. Diese Erfahrungen und Kenntnisse stellt der Deutsche Wetterdienst in vielerlei Form der Allgemeinheit zur Verfügung — sei es durch Mitarbeit an neuen Untersuchungen und Versuchen, sei es durch Beratung oder gutachterliche Mitwirkung bei Planungen bis herunter zum frostschutzwilligen Kleinbetrieb oder sei es durch Aufklärung der Öffentlichkeit durch Wort und Schrift. Unter dem gemeinsamen Gesichtspunkt, die Auswirkungen des Frostschutzes durch Beheizung in großklimatisch verschiedenen Anbaubereichen frostgefährdeter Kulturen näher zu studieren, fanden im Frühjahr 1959 an zwei Stellen des Bundesgebietes größere Freilandversuche statt. Über diese Versuche soll im vorliegenden Heft Bericht erstattet werden.

Offenbach a. M., im März 1961

Dr. Bell
Präsident des Deutschen Wetterdienstes

Zusammenfassung

Im Frühjahr 1959 wurden Gemeinschaftsuntersuchungen zu Problemen des Frostschutzes durch Heizung durchgeführt, an denen sowohl Dienststellen des Pflanzenbaues als auch solche des Deutschen Wetterdienstes mitwirkten. Eine dieser Untersuchungen beschäftigte sich mit dem Obstbau — dessen Frostschutzprobleme bisher noch nicht genügend geklärt wurden — und fand in einer bislang noch nicht dem Frostschutzgedanken erschlossenen und bezüglich ihrer klimatischen Sonderbedingungen für den Frostschutz noch Neuland darstellenden Landschaft statt: Im Alten Lande bei Hamburg. Der andere Versuch betraf jene Sonderkultur, die schon von alters her die Frostschutzidee befruchtete — den Weinbau; die Weinbaugegend, in der er gestartet wurde (Unterfranken), stand aber wegen der besonderen Wuchsform ihrer Reben bis vor kurzem dem Frostschutz ohne größeres Interesse gegenüber. Über beide Untersuchungen wird in der vorliegenden Veröffentlichung jeweils von mehreren teilnehmenden Mitarbeitern Bericht erstattet.

Abstract

In spring 1959, joint tests have been carried out on frost protection by heating in which representatives of Agricultural Botany and of the Deutscher Wetterdienst cooperated. One of the investigations dealt with fruit-culture, the frost protection problems of which could not sufficiently be settled as yet. It was carried out in a landscape which had not been opened up to the ideas of frost protection hitherto and which is new ground for it due to the specific climatic conditions: the Altes Land near Hamburg. The other test concerned a special culture which from of old fructified the idea of frost protection: viticulture. It was started with in Lower Franconia, a region where until very recently the interest in frost protection was not very great due to the particular form of growth of the vine. Both the tests are discussed by several experts who participated in them.

1. Gesamtplanung der Freilandversuche

von

Hans Burckhardt

Im Sinne der gemeinsamen Untersuchung von Frostbekämpfungsmethoden liefen bereits seit 1958 Bemühungen, größere Untersuchungsvorhaben im praktischen Feldeinsatz zu planen und vorzubereiten. An diesen Vorhaben sollten alle beteiligten Disziplinen mitarbeiten, da nur die Zusammenarbeit zwischen Praktiker und Theoretiker, zwischen Pflanzenbauer, Techniker und Meteorologen bei der komplexen Struktur der Frostschutzprobleme Erfolg versprach. Für das Frühjahr 1959 waren — zunächst ohne Sicherheit bezüglich des tatsächlichen Auftretens von Schadfrösten — größere Versuche zur Frostbekämpfung durch Geländeheizung vorgesehen worden.

Diese Methode, obgleich langerprobt und vielbewährt, ist noch lange nicht in allen Punkten durchleuchtet. Sie ist es beispielsweise noch nicht bezüglich ihrer Anwendung in allen Sparten des Obstbaues, sie ist es auch noch nicht bezüglich notwendiger Anpassungen an besondere klimatische Bedingungen von bisher nicht frostschutztreibenden Anbaugebieten (z. B. küstennahes, windoffenes Flachland). Daneben steht als apparative Frage die Alternative zwischen einer Vielzahl kleiner Wärmequellen oder einer geringeren Anzahl leistungstärkerer Öfen, wobei sich die physikalischen Lösungsmöglichkeiten dieser Frage in der Praxis unter dem Gesichtswinkel der Rentabilität und — neuerdings — des Bedarfs an Arbeitskräften einer Reihe von Einschränkungen a priori unterordnen müssen.

Eines dieser Probleme, die Anwendungsmöglichkeit der Frostschutzbeheizung im küstennahen Obstbau, sollte behandelt werden durch eine gemeinsame Untersuchung der Obstbauversuchsanstalt Jork und der Agrarmeteorologischen Versuchs- und Beratungsstelle Hamburg, durchgeführt im Obstbauggebiet des Alten Landes bei Hamburg. Diese Untersuchung war finanziell ermöglicht worden durch einen Zuschuß des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Es handelte sich um drei Einzelversuche, bei denen die Obstbauversuchsanstalt Jork verschiedenartige Öl-Öfen zum Einsatz brachte:

- 1.) Offene Bleicher auf rund 5000 m² im Versuchsbetrieb Ottensen,
- 2.) Spezial-Geländeheizöfen auf 2000 m² in Postmoor bei Horneburg,
- 3.) ein Geländeheizungssystem mit zentralgesteuerter Ölversorgung und Vergasung des Öls auf 2300 m² in Francop.

Über das Ergebnis aller dieser drei Untersuchungen aus der Sicht des Pflanzenbauers berichtete die Obstbauversuchsanstalt Jork (1). Bei allen Versuchen ergab sich, daß gerade im küstennahen Flachland nur Flächen mit hinreichender Ausdehnung für den Frostschutz durch Beheizung vorgesehen werden sollten. Für die Eignung der verwendeten Heizungssysteme ergaben sich bereits einige wichtige Fingerzeige, die auch der Industrie vor Augen führten, daß nicht jeder Ofentyp für jeden Klimabereich gleich geeignet ist.

Die Agrarmeteorologische Versuchs- und Beratungsstelle Hamburg konnte aus Gründen gerätemäßiger und personeller Beschränkung nur bei dem vorstehend unter

3.) genannten Versuch — im wichtigsten Teilversuch — mitwirken. Im Teil 2.1. der vorliegenden Veröffentlichung sollen die meteorologischen Messungen ausführlich dargelegt werden, da sie auch methodisch von großem Interesse sind; im Teil 2.2. sind zur Ergänzung einige Bemerkungen zur Geländeklimatologie des Untersuchungsraumes angefügt.

Der andere, großangelegte Freilandversuch — ursprünglich im fränkischen Obstbau vorgesehen, dann aber aus organisatorischen Gründen in den Weinbau verlegt — fand in einer stark frostgefährdeten Reb-anlage („Thüngersheimer Neuberg“) nördlich von Würzburg bei Veitshöchheim statt. An dieser Untersuchung beteiligte sich die Biologische Station der Bayerischen Landesanstalt für Wein-, Obst- und Gartenbau in Veitshöchheim, zu deren Areal die Versuchsfläche gehört. Von meteorologischer Seite nahmen der Meßzug der Abteilung Agrarmeteorologie beim Zentralamt des Deutschen Wetterdienstes in Offenbach a. M. und die Wetterwarte und Agrarmeteorologische Beratungsstelle Würzburg teil. Die finanziellen Mittel für die Durchführung dieses Versuches stellte dankenswerterweise das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten zur Verfügung. Ähnlich wie bei den Versuchen im Alten Land betrat auch in den Veitshöchheimer Untersuchungen der Frostschutzgedanke neuen Boden: Auch im fränkischen Weinbau war vor 1957 kaum ernsthaft Frostschutz betrieben worden.

Im Teil 3.1. werden von weinbaulicher Seite die Vorbereitung und technische Durchführung des Versuches geschildert und die Folgerungen verfahrenstechnischer und ökonomischer Art aus ihm gezogen. Wichtig erscheint in diesem Zusammenhang, daß dieser erste Versuch im fränkischen Weinbau bei scharfer Kalkulation die Rentabilität des Frostschutzes durch Heizung unter Beweis gestellt hat. Es kann daher nur begrüßt werden, daß die Mängel an Frostschutzgeräten nicht verschwiegen wurden, damit der Weg für die künftige Entwicklung nicht nur angedeutet, sondern wirklich gewiesen wird.

Die Ergebnisse der allgemeinen meteorologischen Messungen des Meßzuges werden im Teil 3.2. mitgeteilt. Methodisch interessant ist dabei, daß in mehreren, den Versuchen vorhergehenden Strahlungsnächten eine Normalverteilung der Tiefsttemperaturen erarbeitet wurde, auf die dann die Temperaturmessungen in der Frostnacht bezogen und so die Wirkungen der Heizmaßnahme beurteilt werden konnten. In dem orographisch ganz anders gearteten Gelände des Versuches im Alten Land, das keine Standard-Verteilung der Kaltluft aufweist, in dem vielmehr aus Mangel an einem eigenen nächtlichen Zirkulationssystem jede Eigenheit des von der Wetterlage bestimmten Gradientwindes beträchtliche Modifikationen hervorruft, konnte dieses einleuchtende Verfahren nicht angewendet werden. Ähnliches gilt von demjenigen Teil der Veitshöchheimer Messungen, der sich mit der Ermittlung der vertikalen Temperaturschichtung in der untersten, freien Atmosphäre befaßt. Auch aus diesen wesentlichen Unterschieden der Anbaugebiete — dem fast völlig ebenen, windoffenen Gelände der Altländer Elbmarsch und den Hängen eines

Flußtales im Mittelgebirge — ergibt sich sowohl die Unmöglichkeit bedenkenloser Übertragungen von Versuchsergebnissen als auch die Notwendigkeit von Parallelversuchen.

Bei den erfahrungsgemäß guten Erfolgen der Frostschutz-Geländeheizung, die auch in den hier veröffentlichten Versuchen bestätigt wurde, überrascht immer wieder der zahlenmäßig geringe Anstieg der Lufttemperatur im beheizten Gebiet, verglichen mit der unbeheizten Umgebung. Aus diesem Grunde sind die Versuche der Wetterwarte Würzburg (Teil 3.3.) interessant, die aus dem Wärmehaushalt eines Versuchskörpers tiefere Einblicke in den Mechanismus des Frostschutzes durch Heizung gewinnen möchten. Es muß allerdings in Zweifel gezogen werden, ob sich Versuchskörper und zu schützende Pflanzen bedenkenlos gleichsetzen lassen; Untersuchungen von M. Schneider (2) lassen — allerdings bei Frostschutz durch Beregnung — erkennen, daß zwischen dem Verlauf der Gewebetemperaturen und dem der Versuchskörpertemperatur — auch vor dem Einsatz der Maßnahme — wesentliche Unterschiede bestehen. Die Ursache dieses Unterschiedes besteht mit großer Wahrscheinlichkeit in dem anderen Verhalten des Versuchskörpers (dessen Glashülle eine selektive Strahlendurchlässigkeit hat) in bezug auf Abgabe und Absorption von Wärmestrahlung. Auch die große zeitliche Auflösung des (Versuchskörper-) Temperaturverlaufs, wie sie durch die Registrierung mit Fallbügel-schreibern möglich ist, ergibt neue Erkenntnisse bezüglich des Luftaustausches zwischen beheiztem und unbeheiztem Gelände, zwischen Luftschichten in Höhe der untersten Inversion und dem Erdboden. Diesen Luftaustausch wird man nie ganz unterbinden können; die sicherste Methode, seine Auswirkungen gering zu

halten, dürfte darin bestehen, den Frostschutz nur genossenschaftlich zu betreiben und dadurch das Ausmaß der zusammenhängend beheizten Fläche möglichst groß zu machen. Die anderen, im Teil 3.3. aufgezählten Möglichkeiten (Anlage von Windschutzpflanzungen — Aufbau von Feuersperren — Drosselung der Geländeheizung bis zu Werten, die der durch sie angefachten Luftzirkulation das Durchbrechen der Feuersperren in der Horizontalen und der Inversion in der Vertikalen unmöglich machen) sind vorerst nur von theoretischem Interesse. Ein Gleiches gilt auch von der Vermutung des Verfassers, daß die kurzzeitigen Schwankungen der Temperatur von pflanzenphysiologischer Bedeutung sein könnten. Wie dem auch sei: Man erkennt aus diesen Messungen, daß selbst altbewährte Frostschutzmethoden wie die Geländeheizung noch lange nicht so vollständig „beherrscht“ werden, daß sie ohne weiteres neuen Bedingungen (des Anbaugebietes, der Kulturart) richtig angepaßt werden könnten. Diese Erkenntnis rechtfertigt die Durchführung sowohl derjenigen Untersuchungen, über die hier berichtet wird, als auch vieler weiterer Forschungen, die noch ausgeführt werden müssen.

Literatur

- (1) Karnatz, H.: Erfahrungen mit der Geländeheizung zur Frostabwehr im Frühjahr 1959. Mitt. Obstbauversuchsring Altes Land (Jork) **14**, Nr. 10/11, 239 bis 245 (1959)
- (2) Schneider, M.: Gewebetemperaturen frostempfindlicher Teile von Weinreben vor der Blättentfaltung bei der Frostschutzberegnung. Ber. Dt. Wetterd. **10**, Nr. 70 (1960)

2. Frostbekämpfungsversuche 1959 im Obstbau des Alten Landes bei Hamburg

2.1. Die Temperaturmessungen zur Feststellung des Heizeffektes

von

Hans Robert Scultetus

(mit 28 Abbildungen und 4 Tabellen im Text)

Zusammenfassung

Im Obstbaugebiet des Alten Landes unterhalb Hamburgs wurden im Frühjahr 1959 von der Obstbauversuchsanstalt Jork Versuche zur Frostbekämpfung mittels Beheizung angestellt. Zur Ermittlung des Heizeffektes wurden von der AMVB Hamburg Temperaturmessungen durchgeführt. Sie ergaben, daß auf der $\frac{1}{4}$ Hektar großen Versuchsfläche Erwärmungen gegenüber der Umgebung bis maximal 5° auftreten können. Auf dem größten Teil des beheizten Gebietes ist der Wärmeüberschuß jedoch wesentlich geringer, so daß nur auf einem kleinen Areal Temperaturen über Null Grad gehalten werden können. Der Heizeffekt ist offensichtlich vom jeweiligen Stabilitätsgrad der Atmosphäre abhängig. Die Versuche blieben infolge der Kleinheit der Versuchsfläche und technischer Schwierigkeiten bei den Öfen unbefriedigend. Die Frage nach der Rentabilität dieses Verfahrens im Alten Land läßt sich daher noch nicht endgültig beantworten. Bei weiteren derartigen Versuchen muß versucht werden, die Temperatur der Blüten zu messen und die dritte Dimension der Atmosphäre zu erfassen.

Abstract

In the Altes Land near Hamburg where much fruit-cultures are found, the Obstbauversuchsanstalt Jork carried out frost protection tests by heating in spring 1959. The Agrometeorological Experimental Station Hamburg made temperature observations to find the heating effect. The test field which was 0.33 ha large showed an increase of temperature of up to 5° C as compared with the neighbouring areas. For the largest part of the heated area, the heat surplus did not reach this degree so that the temperature could only be kept above 0° C on a rather small area. The heating effect obviously depends on the prevailing stability of the atmospheric conditions. Due to the small size of the test field and technical difficulties, the heating procedure did not prove satisfactory. A definite answer can therefore not be given whether the applied procedure is economic for the Altes Land. When starting further tests, the flower temperature must be measured and the third dimension of the atmosphere included.

Anlage und Problematik der Messungen

Die Obstbauversuchsanstalt Jork (Dr. Karnatz) führte im Frühjahr 1959 in einer Obstanlage bei Francop im Alten Land bei Hamburg Frostbekämpfungsversuche mit einer Brenntag-Anlage durch. Die Temperaturmessungen zur Erfassung der Heizwirkung dieser Anlage wurden von der Agrarmeteorologischen Versuchs- und Beratungsstelle Hamburg angestellt (Verfasser und Wetterdiensttechniker H. George). Über die Messungen, die für die Methodik solcher Frostschutzuntersuchungen von Bedeutung sein können, soll hier berichtet werden, zumal die Erprobung moderner Apparaturen für das norddeutsche Flachland neu ist.

Wohl wurden früher schon Frostschutzversuche in der Umgebung Hamburgs durchgeführt, doch wurden nur die vor 25 Jahren bekannten und üblichen Methoden des Räucherns, Vernebelns und der Brikettheizung untersucht (1,2). Auch blieb die Zahl der Versuche zu gering, um ein endgültiges Urteil über den Wert von Frostschutzmaßnahmen fällen zu können. Ein Vergleich mit anderen Klimagebieten kam gar nicht zustande. Im Frühjahr 1959 dagegen wurden sowohl in Norddeutschland wie in Süddeutschland Frostschutzversuche durchgeführt. Über die Ergebnisse der letzteren wird im Teil 3. berichtet. Die technischen Erfahrungen und die Auswirkungen der Beheizung auf den zu schützenden

Bestand wurden in (3) dargelegt. In einem Obsthof in Francop (Abb. 20) war inmitten der Obstanlage (Abb. 21, 23, 24) eine Versuchspartzeile ausgesucht worden. Auf einer Fläche von etwa $\frac{1}{3}$ Hektar waren hier 67 Öfen aufgestellt worden, womit sich die grundsätzlich geforderte Menge von rund 200/Hektar ergibt. Eigentlich soll die Ofendichte bei kleinerer Fläche größer sein wegen des stärkeren Eingehens der Randeffekte, doch stand für diese Versuche keine größere Anlage zur Verfügung. Um die Fläche nicht zu klein zu halten, entschloß man sich, die Öfen so weit auseinander zu stellen, wie es für größere Flächen angebracht ist. Dabei wurde die Westflanke dichter besetzt, weil die Kaltlufteinbrüche im allgemeinen von Nordwesten her erfolgen. In solchen Fällen mußte also die zuströmende Kaltluft beim Eintreten in das Meßfeld besonders stark erwärmt werden.

Einige technische Einzelheiten der Brenntageanlage müssen zwecks besseren Verständnisses hier eingefügt

werden: Der Brennstoff, in diesem Falle Rohöl, wird aus einem Tank (s. Abb. 23 u. 24 links) mit Hilfe einer Pumpe und eines daran angeschlossenen Leitungssystems aus Kunststoffschläuchen an die Öfen herangeführt. Die Öfen bestehen aus einem Flammentrichter, der durchlöchert ist. Der „Trichter“ (Kegelstumpf) steht in einer Blechschale, die herabtropfendes Öl auffangen soll. Die Ölleitung, deren letztes Stück aus einem Eisenrohr besteht, hängt vom oberen Rand in das Innere des Trichters hinein und ist U-förmig gebogen. Der Brenner hängt dann wieder nach unten in das U hinein. So wird das ankommende Rohöl durch die Flamme bereits erhitzt. Sie soll ohne Rauchentwicklung brennen und möglichst rot, damit ein maximaler Anteil von Wärmestrahlung erzielt wird. Mit den Heizöfen war, wie bereits gesagt wurde, etwa $\frac{1}{3}$ ha inmitten der Obstanlage besetzt worden. Auf dieser Fläche und in ihrer Umgebung wurden 39 Meßstellen eingerichtet (Abb. 1). 7 die-

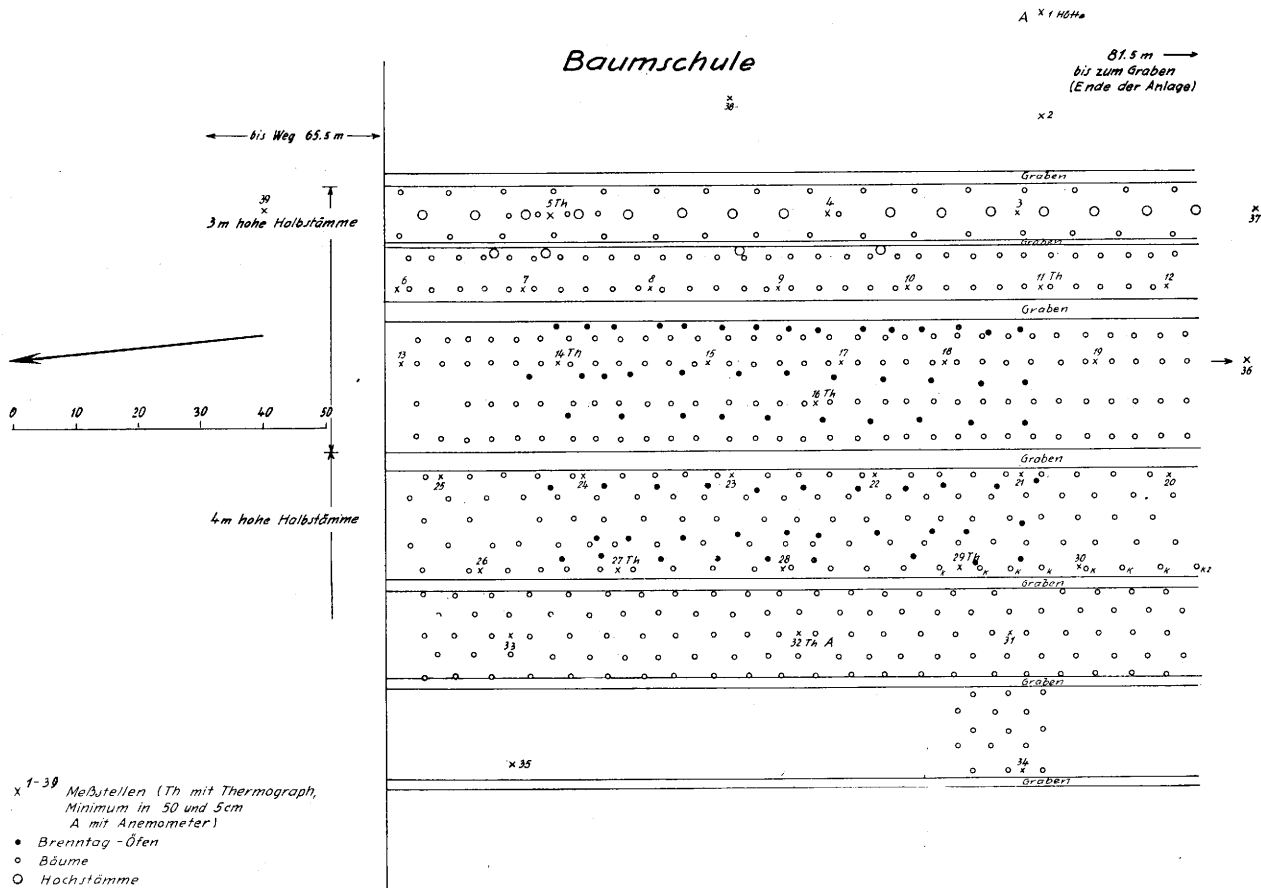


Abb. 1
Lageplan des Versuchsfeldes. Bei Meßstellen 29 und 30 bedeutet k niedrige (kleine) Neuanpflanzungen.

ser Meßstellen wurden mit Thermographen in 2 m Höhe, 1 Minimumthermometer in 2 m Höhe (2 m = Kronenhöhe), 1 Minimumthermometer in 50 cm Höhe und 1 Minimumthermometer in 5 cm Höhe ausgerüstet (Meßstellen mit Zusatz Th) (Abb. 26). An den übrigen Meßstellen wurden lediglich Minimumthermometer in 2 m Höhe aufgestellt. Der Baumbestand und die Standorte der Öfen und Meßstellen wurden im Anschluß an das Einrichten der Meßstellen aufgenommen. Der danach entworfene Lageplan (Abb. 1) wurde umgehend gezeichnet und vervielfältigt, so daß er bereits beim ersten Versuch als Arbeitsgrundlage zum sofortigen Auswerten jeder Thermometerablesung zur Verfügung stand.

Die Minimumthermometer wie auch die Thermographen blieben ungeschützt (Abb. 26), weil entsprechende

Schutzvorrichtungen in dieser großen Menge nicht zur Verfügung standen. Außerdem war es auch zweifelhaft, ob ein Schutz gegen Ausstrahlung angebracht gewesen wäre, weil die gefährdeten Blätter und Knospen ebenfalls den Strahlungsvorgängen schutzlos ausgesetzt sind. Die allgemeine Verwendung eines Strahlungsschutzes kann natürlich dann angebracht sein, wenn man allein die Wirkung der Öfen auf die Lufttemperatur ermitteln will. Für die Bestimmung der kompletten Wirkung (Konvektion + Strahlung) auf die Obstbäume wird es wahrscheinlich besser sein, mittels Thermolementen unmittelbar die Temperatur vor allem der Knospen bzw. Blüten zu ermitteln. Sämtliche Meßgeräte wurden im übrigen bei den hier beschriebenen Versuchen nach jeder Meßnacht eingezogen, um sie vor der tagsüber eintretenden starken Einstrahlung zu schützen.

Aus den Beobachtungen ergab sich, daß vor allem ungeschützte Minimumthermometer offensichtlich wesentlich früher eine Temperatur von 0° annehmen als Pflanzenteile. In der Nacht vom 5. zum 6. Mai stellte sich an den Thermometern in 5 cm Höhe ab 2 Uhr Eisansatz ein. Am Gras wurde erst ab 4 Uhr Reif beobachtet. Offenbar ist der Nachschub von Wärme durch Leitung vom Boden her die Ursache für die Verzögerung.

Auch die Meteorologie bedient sich zweier verschiedener Arten der Instrumentenaufstellung zur Ermittlung des Tiefwertes der Lufttemperatur. Das in 5 cm aufgestellte Minimumthermometer, das den Bodenfrost angibt, ist ungeschützt aufgestellt wie die bei den hier zu beschreibenden Versuchen benutzten Minimumthermometer. Das in 2 m aufgestellte dagegen ist in der Klimahütte untergebracht. Diese wirkt, besonders in wind-schwachen Nächten, erheblich bremsend hinsichtlich der Temperaturänderungen. So trat die Temperaturerhöhung in der Nacht vom 5. zum 6. Mai in der bei Meßstelle 1 aufgebauten normalen Klima-Aufstellung (Abb. 25) erst merklich später auf als an den ungeschützten Thermographen. Außerdem sank die Temperatur hier nur auf -2.1° , während an dem daneben stehenden ungeschützten Minimumthermometer in 2 m Höhe -2.7° abgelesen wurden. In diesem Fall ging die Abkühlung langsam vor sich und hielt über einen verhältnismäßig langen Zeitraum an. Dadurch konnte sich die Hüttentemperatur verhältnismäßig gut auf die Außentemperatur einstellen. In anderen Fällen, in denen die Abkühlung nur kurze Zeit anhielt, waren die Differenzen zwischen Hütte und ungeschütztem Thermometer wesentlich größer. Wie stark kurzfristige Temperaturänderungen durch die Hütte abgebremst werden, zeigte ebenfalls der Wärmeeinschub, der in der Nacht vom 5. zum 6. Mai eintrat und bei der Erörterung der Messungen dieser Nacht noch ausführlich behandelt werden wird. Bei dieser Gelegenheit zeigten die ungeschützt aufgestellten Thermographen eine Erwärmung von 1.5 bis 2° , während in der Hütte nur 0.5° verzeichnet wurden.

Zur gleichzeitigen Erfassung der geländeklimatischen Verhältnisse, die gerade in diesem Gebiet von besonderem Interesse sind, wurden an 3 Stellen der weiteren Umgebung Thermographen in Hütten aufgestellt (vgl. Abb. 19). Die erste Meßstelle wurde auf dem Geestrand ungefähr 20 m über der Ebene des nördlichen Vorlandes eingerichtet (Tannenhöft). Diese Meßstelle (vgl. Abb. 28) konnte gleichzeitig dazu dienen, wenigstens ungefähre Anhaltspunkte über die Größe der Bodeninversion zu erhalten, da keine örtlichen aerologischen Daten gewonnen werden konnten. An dieser Stelle sei aber gleich bemerkt, daß letztere unbedingt erforderlich sind, wenn endgültige Ergebnisse erzielt werden sollen. Die zweite Meßstelle lag unmittelbar unterhalb der ersten Meßstelle (Neugraben) (Abb. 28) als Talstation, während die dritte in unmittelbarer Nähe der Süderelbe eingerichtet wurde (Cranz) (Abb. 27).

Diese Meßstellen sollten dazu dienen, das Meßfeld in den größeren Rahmen einer ausgedehnten geländeklimatologischen Studie zu stellen. Das erschien besonders deswegen erwünscht, weil bereits bekannt war, daß sich in diesem Gebiet ein eigenartiges Sonderklima entwickeln kann (10). Über die wichtigsten, in diesem Zusammenhang bedeutsamen geländeklimatischen Ergebnisse berichtet E. Franken im Abschnitt 2.2. dieses Heftes.

Die einzelnen Frostbekämpfungsversuche

Temperaturmessungen am 3./4. April 1959

Der erste Heizversuch wurde in der Nacht vom 3. zum 4. April 1959 durchgeführt. Ein kräftiger Vorstoß kühler ozeanischer Luftmassen hatte am 2. April ein Hoch

entstehen lassen, das ausgesprochenes Strahlungswetter brachte. Es wanderte aber rasch nach Osten ab, so daß am Abend des 3. April die Bewölkung einer neuen Störung von Westen heraufzog, zunächst in Form von Cirrus filiosus und Cirrus uncinus. Diese Bewölkung nahm bis Mitternacht auf $7-8/10$ zu. Zwischen 24^h und 01^h zog ein Feld von tiefem Stratocumulus durch. Offenbar handelte es sich um die Warmfront der neuen Störung. Nach 01^h waren nur noch $3/10$ Cirrus filiosus vorhanden, um 02^h war es wolkenlos. Bis 03^h zog wieder aufgelockerter tiefer Stratocumulus auf; er verdichtete sich weiter. Um 05^h traten darunter $5/10$ Fractostratus auf. Diese verschwanden aber bald wieder, und ab 07^h bestand die Bewölkung aus $7/10$ Stratocumulus. Diese stärkere tiefe Bewölkung war an die Kaltfront der Störung gebunden, mit der die ursprünglich vorhandene Luftmasse wieder herankam. Beide Fronten wurden durch das noch überwiegende Absinken der Luftmassen stark abgeschwächt.

In dieser Nacht herrschten also nur vorübergehend Strahlungsverhältnisse. Sie wurden durch die um 22^h und 02^h vorgenommenen Ablesungen erfaßt. Bei der ersteren lagen die Temperaturen in der Obstanlage bis zu 1.4° tiefer als an Meßstelle 1 neben der Hütte. (Abb. 2). Die Verteilung der Abweichungen ist unregel-

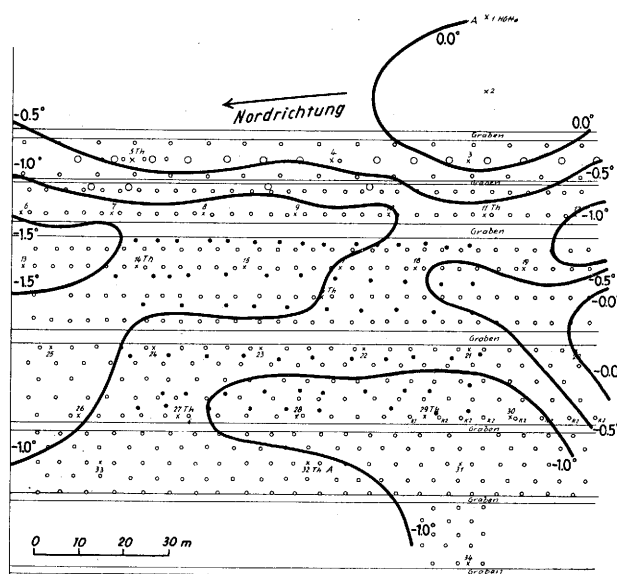


Abb. 2
Temperaturdifferenzen gegenüber Meßstelle 1 am 3. April 1959 um 22^h .

mäßig und zeigt kein System, dem man tiefere Bedeutung zuschreiben könnte. Nur fällt auf, daß im Bereich der Obstanlage wesentlich tiefere Temperaturen herrschen als im Bereich der Baumschule. Bei der um 02^h erfolgten Ablesung (Abb. 3) ist dagegen durchaus eine Erklärung eines großen Teiles der Abweichungen möglich. Offenbar schob sich aus dem 400 m südlich (rechts in den Abb.) gelegenen Moor Kaltluft in die Obstanlage, die sich zungenförmig ausbreitete. Die Änderungen gegen die vorhergehende Stunde haben allerdings keine Ähnlichkeit mit dieser Verteilung. Man kann sie aber wahrscheinlich nicht so stark bewerten. Denn die vorhergehenden Verhältnisse waren wegen der früher vorhandenen Bewölkung doch recht unklar. Wirklich wesentliche und stets charakteristische Verteilungen der nächtlichen Temperaturminima können diesen Feststellungen entsprechend in dem völlig ebenen Gelände des Alten Landes also wohl im allgemeinen nicht erwartet werden. Vielleicht ist es in isolierten Obstanlagen jedoch anders, zumal wenn sie an Moore angrenzen. Deshalb soll bei weiteren Versuchen durch tägliches Ablesen der Temperaturminima während einer längeren Zeit

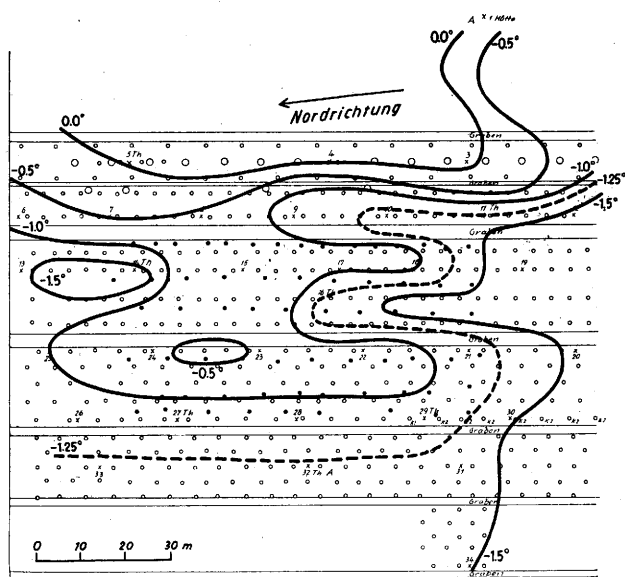


Abb. 3

Temperaturdifferenzen gegenüber Meßstelle 1 am 4. April 1959 um 02h.

festgestellt werden, wie sich ohne Beheizung die nächtliche Abkühlung der Obstanlage gestaltet.

In den Stunden 23h, 24h, 01h ergaben sich durchschnittlich im Osten der Anlage 0.0° Differenz gegenüber Station 1, im Westteil des Meßfeldes bis -1.2°. Im letzteren ist der Boden mit Gras bewachsen, während im ersteren der Boden durch Fräsen offen gehalten wurde. Man kann annehmen, daß diese Verschiedenheit für das Zustandekommen der Temperaturunterschiede verantwortlich ist. Ein anderer Umstand wirkt aber teilweise der starken Abkühlung über Gras entgegen. Betrachtet man nämlich die Zahlen der Tab. 1, so ergeben sich nur bei Meßstelle 27 in 5 cm Höhe wesentlich niedrigere Temperaturen als bei Meßstelle 1. Die beiden anderen Meßstellen, die ebenfalls im grasbewachsenen Gebiet standen, 29 und 32, zeigen eine geringere Differenz, bzw. sogar ein klein wenig höhere Temperatur. Diese Tatsache dürfte damit zu erklären sein, daß in diesem Bereich besonders hohe und reich mit Astwerk versehene Bäume stehen. Obwohl der Laubtrieb noch in den ersten Anfängen steckte, war doch offensichtlich die Abschirmung schon so groß, daß hier der Bodenbewuchs kaum noch eine Rolle spielte. Das trifft besonders für Meßstelle 32 zu, während 29 (vgl. Abb. 22) an einer verhältnismäßig freien Stelle stand. Diese verschiedenen Einflüsse sind wohl auch dafür verantwortlich zu machen, daß die Temperaturverteilung von 02h so wenig Ähnlichkeit mit der vorhergehenden hatte.

Tab. 1

Temperaturdifferenzen gegenüber Meßstelle 1 in verschiedenen Höhen in der Nacht 3./4. April 1959

Meßstelle		1	5		11		14		16		27		29		32	
		Abl.	Abl.	Diff.	Abl.	Diff.	Abl.	Diff.	Abl.	Diff.	Abl.	Diff.	Abl.	Diff.	Abl.	Diff.
2 m	23h	7.4	7.5	+ 0.1	7.2	— 0.2	6.7	— 0.7	6.7	— 0.7	6.4	— 1.0	6.8	— 0.6	7.0	— 0.4
	24h	7.0	7.1	+ 0.1	6.4	— 0.6	7.0	0.0	6.6	— 0.4	5.8	— 1.2	5.7	— 1.3	5.2	— 1.8
	01h	7.2	7.1	— 0.1	6.8	— 0.4	6.4	— 0.8	6.4	— 0.8	6.2	— 1.0	6.2	— 1.0	6.0	— 1.2
	02h	6.0	6.0	0.0	4.7	— 1.3	4.4	— 1.6	4.7	— 1.3	4.8	— 1.2	4.8	— 1.2	4.7	— 1.3
Mittelw.				0.0		— 0.6		— 0.8		— 0.8		— 1.1		— 1.0		— 1.2
50 cm	23h	6.6	5.9	— 0.7	6.4	— 0.2	4.9	— 1.7	5.1	— 1.5	5.8	— 0.8	5.0	— 1.6	6.4	— 0.2
	24h	6.6	7.1	— 0.6	5.2	— 1.4	5.7	— 0.9	5.5	— 1.1	5.3	— 1.3	4.8	— 1.8	5.6	— 1.0
	01h	6.9	6.7	— 0.2	5.9	— 1.0	4.8	— 2.1	5.2	— 1.7	5.9	— 1.0	5.1	— 1.8	5.9	— 1.0
	02h	4.1	4.2	+ 0.1	3.4	— 0.7	2.8	— 1.3	3.3	— 0.8	4.2	+ 0.1	3.5	— 0.6	3.8	— 0.3
Mittelw.				— 0.3		— 0.8		— 1.5		— 1.3		— 0.8		— 1.4		— 0.6
5 cm	23h	4.0	4.8	+ 0.8	4.2	+ 0.2	4.0	0.0	4.4	+ 0.4	3.1	— 0.9	3.9	— 0.1	4.8	+ 0.8
	24h	4.7	4.6	— 0.1	5.0	+ 0.3	5.1	+ 0.4	5.1	+ 0.4	3.0	— 1.7	3.9	— 0.8	4.9	+ 0.2
	01h	5.1	5.4	+ 0.3	5.0	— 0.1	4.3	— 0.8	4.8	— 0.3	4.1	— 1.0	3.9	— 1.2	4.8	— 0.3
	02h	2.7	1.8	— 0.9	3.0	+ 0.3	2.4	— 0.3	3.2	+ 0.5	0.3	— 3.0	1.6	— 1.1	2.9	+ 0.2
Mittelw.				0.0		+ 0.2		— 0.2		+ 0.2		— 1.6		— 0.8		+ 0.2

Daß die Belaubung eine wesentliche Wirkung ausübt, zeigen einige Zahlen der Tab. 2. In jener Nacht vom 5. zum 6. Mai gab es einige Stunden lang Frost, so daß ab etwa 23h geheizt wurde. Die Werte der Stunden 22h und 23h zeigen, daß im grasbewachsenen Teil der Obstanlage besonders in 5 cm schon sehr tiefe Temperaturen erreicht wurden (Meßstelle 27 und noch mehr die offene 29). Dagegen waren die Differenzen bei der unter einem dichten Laubdach stehenden Meßstelle 32 wesentlich geringer. Später, als geheizt wurde, waren die Werte hier sogar positiv, um 0.6° höher als in der Nacht 3./4. April, als das Laub noch nicht entwickelt war. Damals sah es noch so aus wie in Abb. 21.

Nach der Inbetriebnahme der Öfen am 4. April zwischen 04¹⁵ und 04⁴⁵ wurde um 05h eine Erwärmung

bis zu 2.4° festgestellt (Abb. 4). An sich betrug die Differenz an Station 9 +2.9°. Aber an den Außenstationen einschließlich Station 1 hatte sich eine durchschnittliche Erwärmung von 0.5° ergeben, so daß sich das gesamte Temperaturniveau um diesen Betrag gehoben haben muß. Daher wurde die Temperaturänderung aller Stationen um 0.5° verringert. So ergab sich ein etwas längliches Feld mit Temperaturzunahme, dessen Schwerpunkt am Ostrand des besetzten Areals mit +2.4° lag. Der vorherrschenden Windrichtung Nordwest entsprechend beult sich das Feld der Erwärmung nach Südost aus.

Die Differenzen gegen Station 1 zeigen dagegen ein doppeltes Maximum (Abb. 5). Darin prägt sich aber noch die Temperaturverteilung der vorhergehenden Be-

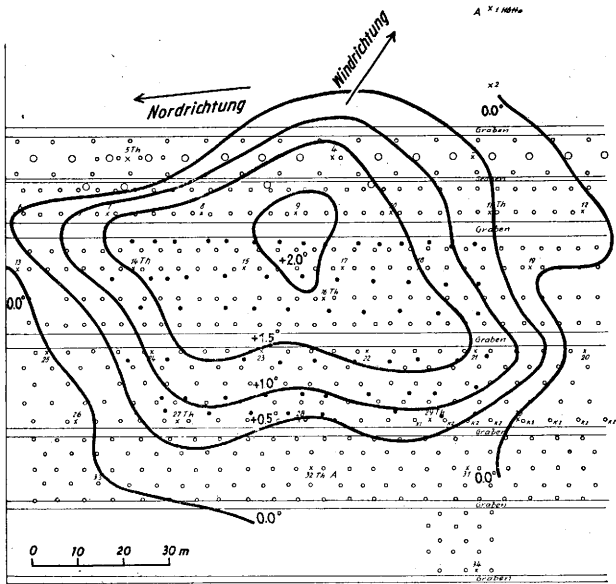


Abb. 4

Temperaturänderung am 4. April 1959 um 05h gegen 04h.

obachtung von 04h aus. Deshalb ist für die Temperaturverteilung von 05h die Änderung gegen 04h maßge-

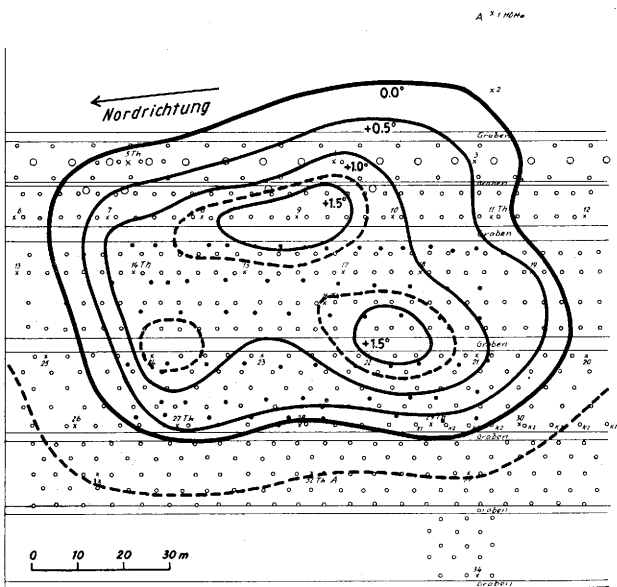


Bild 5

Temperaturdifferenzen gegenüber Meßstelle 1 am 4. April 1959 um 05h.

bend, die auf die Heizwirkung zurückzuführen ist. Durch die Beobachtung von 05³⁰ wird diese Auffassung bestätigt. Denn auch in diesem Falle ist das Temperaturfeld ein einheitlicher Komplex (Abb. 6). Die geringfügige Teilung des Maximums ist wahrscheinlich auf das ungleiche Brennen der Öfen zurückzuführen. Die absolute Temperatur ging aber nicht unter +6° hinunter. Daher gab der Versuch nur allgemeine Anhaltspunkte.

Durch das Heizen wurden die Windverhältnisse grundlegend geändert. Denn die Erwärmung löste einen merklichen Austausch aus. Zunächst blieb die bodennahe Strömung aus Nordwest erhalten, doch nahm die Windgeschwindigkeit zu. Ab 05h wurden offenbar auch höhere Schichten vom Austausch erfaßt. Denn die Windrichtung drehte auf Südsüdwest. Deshalb erstreckte sich die Ausbeulung des Erwärmungsfeldes bei der um 05³⁰ angestellten Ablesung nach Nordnordost. Dieser hochreichende Austausch hatte zweifellos auch zur

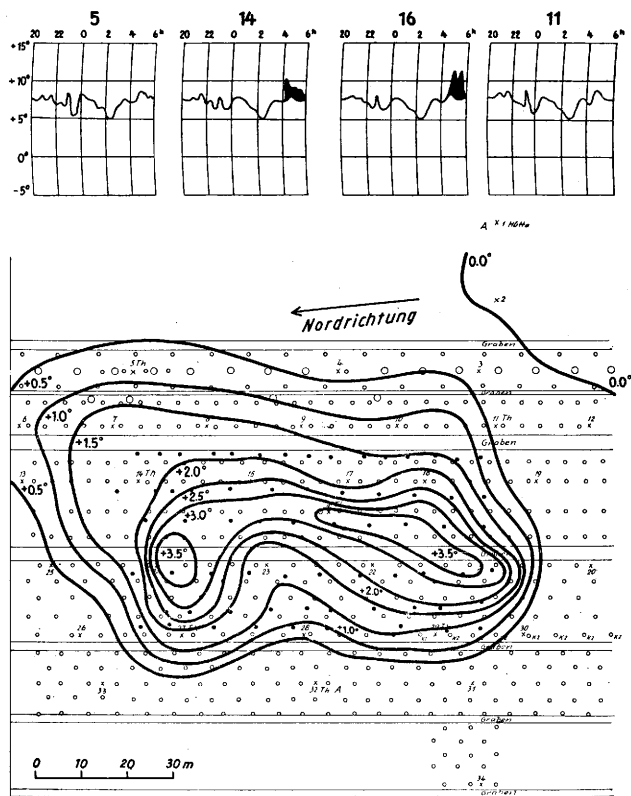


Abb. 6

Temperaturdifferenzen gegenüber Meßstelle 1 am 4. April 1959 um 05³⁰. Schwarze Flächen in den Temperaturregistrierungen: Heizeffekt; untere Begrenzung Kurve von Meßstelle 32.

Folge, daß die Erwärmung nur wenig mehr als 3° erreichte, während die Firma Brenntag bis 6° garantiert. Daß sich ein starker vertikal gerichteter Austausch entwickelte, ist auch daran zu sehen, daß die Zunahme der Windgeschwindigkeit vor allem im Luv des Meßfeldes (an Station 1) festzustellen war. An Station 32 war sie ganz geringfügig. Ein schwacher Wärmeeinschub erfolgte bei Nordwestwind bereits um 00⁴³, der auf dem absinkenden Ast der Temperaturkurve klar erkennbar ist. Da er mit Nordwestwind kam, kann er nur aus einer mäßig hohen Schicht kommen, in der die Bodenreibung der Bodendruckverteilung entsprechend noch maßgeblich beteiligt gewesen sein muß. In der Höhe des Anemographen-Schalenkreuzes der Lotsenstation Finkenwerder ist zur Zeit des Wärmeeinbruches bei etwa 2 m/sec Windgeschwindigkeit ein Sprung der Richtung von Süd über West auf NNW zu sehen. Die Windgeschwindigkeit ging dann auf Null zurück. Ab 6h kam leichter WNW auf. In der Abb. 6 ist der Heizeffekt durch Schwärzung der Fläche unterhalb der Temperaturkurve gekennzeichnet worden, deren untere Begrenzung durch die an der unbeeinflussten Meßstelle 32 gewonnenen Kurve gegeben ist.

Temperaturmessungen am 17./18. April 1959

Der zweite Heizversuch wurde in der Nacht vom 17. zum 18. April 1959 durchgeführt. Die Nacht blieb völlig wolkenlos. Die Wetterlage wurde durch ein Tief bestimmt, das am 16. 4. vom Atlantik kommend, über Frankreich liegen geblieben war. Auf seiner Nordseite

war die Warmluft, die an den Vortagen von Süden herangeführt worden war, nach Westen umgebogen und hatte ein entsprechendes Höhenhoch aufgebaut. Am Boden strömte mit nordöstlichem Wind kühle kontinentale Luft über das Unterellbegebiet hinweg.

Bei Beginn der Nacht setzte rasche Abkühlung ein. Nach Mitternacht wurde sie aber abgestoppt. Schwacher Temperaturanstieg stellte sich ein, der sich knapp zwei Stunden lang hielt. An den Windregistrierungen ist jedoch nichts besonderes zu erkennen, was eine Erklärung ermöglichen würde. Nach 2^h sank die Temperatur wieder ein wenig, doch nicht unter 5.5° in 2 m Höhe.

An sich wäre bei dem wolkenlosen Himmel ein ständiges weiteres Absinken (abgesehen von Wärmeeinbrüchen) zu erwarten gewesen. Die in der Höhe vorhandene Warmluft, die sich durch Dunst bemerkbar machte, stellte durch Gegenstrahlung offensichtlich bei der Temperatur von +5.5° Strahlungsgleichgewicht her. Der Höhendunst war daran zu erkennen, daß nach Monduntergang (etwa 02³⁰) nur Sterne bis zweiter Größe zu sehen waren.

Wie ungleichmäßig sich die Obstanlage abkühlt, zeigte sich auch diesmal. Die Karten der Temperaturänderung 22^h gegen 21^h (Abb. 7) und 00^h gegen 23^h (Abb. 8) zei-

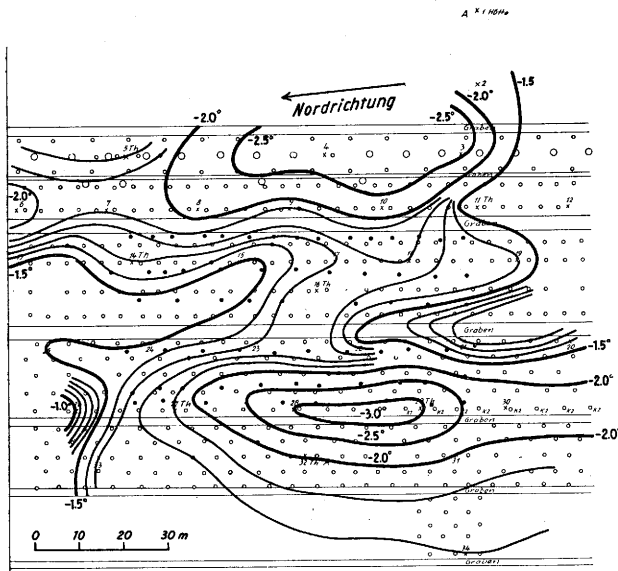


Abb. 7
Temperaturänderung am 17. April 1959 von 22h gegen 21h.

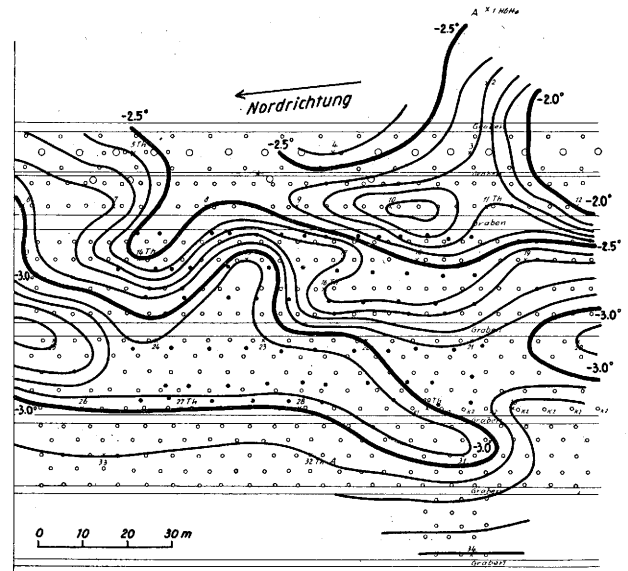


Abb. 8
Temperaturänderungen am 18. April 1959 von 24h gegen 23h.

gen diese Tatsache. Die Verteilung der Änderungen ist ganz anders als in der ersten Nacht. Auch weisen die beiden genannten Stunden keine Ähnlichkeit untereinander auf.

Die Karte der Temperaturänderungen von 03^h auf 04^h (Abb. 9) zeigt nach Ingangsetzen der Öfen zwischen 03^h und 04^h ein abgerundetes Gebiet von Erwärmung um das Heizgebiet herum mit je einem Kern von +0.9°

und +1.2°. Die Realität des Wertes von +2° bei Station 27 ist anzuzweifeln. Wahrscheinlich bekam das dortige Thermometer gerade von dem nächsten Ofen eine konzentrierte Wärmezufuhr.

Die Temperaturänderung von 05^h gegen 04³⁰ (Abb. 10) zeigt ein etwas länglicheres Erwärmungsgebiet mit einer entschiedenen Ausbuchtung nach SSW der Windrichtung NNE entsprechend. Das Niveau wurde den

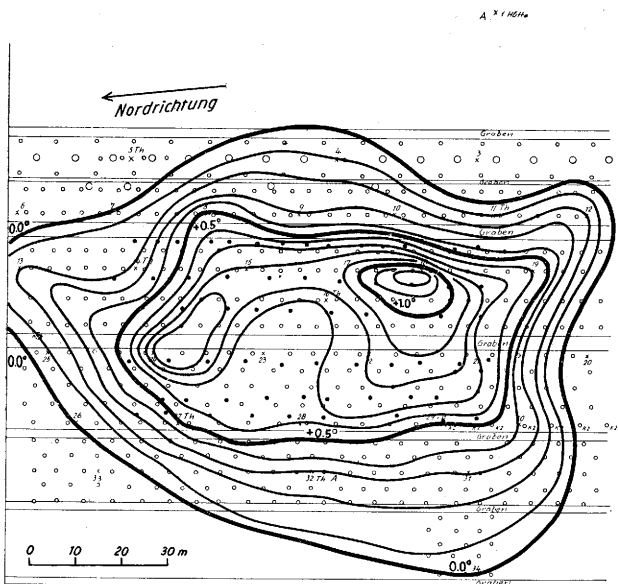


Abb. 9
Temperaturänderungen am 18. April 1959 von 04h gegen 03h.

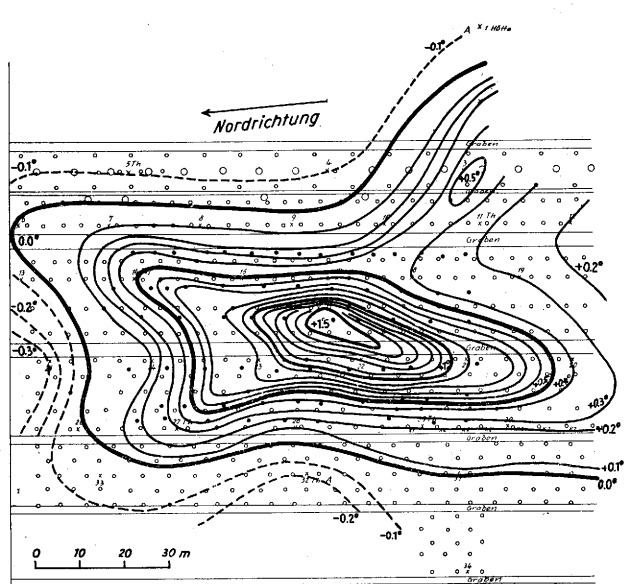


Abb. 10
Temperaturänderungen am 18. April 1959 von 05h gegen 04³⁰.

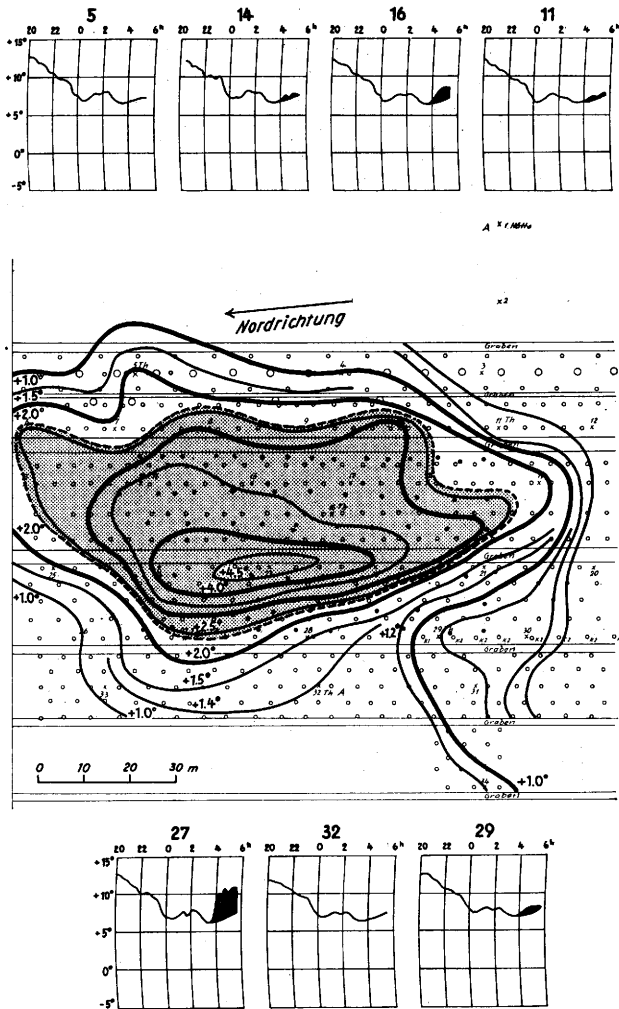


Abb. 11

Temperaturdifferenzen gegen Meßstelle 1 am 18. April 1959 im Durchschnitt der Ablesungen von 04³⁰ und 05h. Schwarze Flächen in den Temperaturregistrierungen: Heizeffekt (vgl. auch (Abb. 6)).

Randstationen entsprechend um 0.3° gesenkt. So ergibt sich an den bestimmt unbeeinflussten Meßstellen eine Temperaturänderung von 0.0 bis -0.2°.

Beim Beobachten des zeitweise bei ausgehenden Öfen auftretenden Qualms zeigte sich zuweilen ein Lufthauch aus NW. Damit wäre die sich nach SE erstreckende Ausbuchtung der Temperaturänderungslinien zu erklären.

Im übrigen war der Wind wesentlich schwächer als beim ersten Versuch. Der Qualm stieg fast senkrecht bis auf 2 m über den Kronen auf und bog erst dann langsam, auch noch weiter steigend, in die Windrichtung ein. Die Öfen brannten ruhig.

Auch die Mittelwerte der um 04³⁰ und 05h (Abb. 11) beobachteten Temperaturabweichungen gegenüber Meßstelle 1 zeigen die Ausbuchtungen nach Süden und Südosten. Die maximale Erwärmung betrug 1.6°, ist also geringfügig. Betrachtet man den Temperaturgang an der Bergstation in Neugraben-Tannenhöft, so ergibt sich nur in den kältesten Stunden zwischen 3h und 6h ein Wärmeüberschuß von 1°. Die Temperaturinversion kann also nur schwach ausgebildet gewesen sein. Dementsprechend betrug die durch die Heizung erzielte Erwärmung nur etwa 1.5°. Die Temperatur sank in 2 m lediglich auf +5.5° ab, in 5 cm bis +3.5°. Auch die Temperaturregistrierungen (Abb. 11) zeigen nur geringe Heizeffekte.

Temperaturmessungen am 20./21. April 1959

Die Nacht fing außerordentlich gefährlich an. Ein Kaltlufteinbruch auf der Rückseite eines von Dänemark nach Südosten ziehenden Tiefs hatte das Temperaturniveau nach einigen überwarmen Tagen (Francop Temperatur-Max. 25.5°) erheblich absinken lassen. Nachdem der 19. 4. länger anhaltenden Regen gebracht hatte, traten am 20. 4. noch leichte Schauer auf. Nach Sonnenuntergang zerfiel die Bewölkung jedoch rasch, so daß es wolkenlos wurde. Die Durchsichtigkeit der Luft war groß, so daß starke Ausstrahlung einsetzte. Um 20h wurden in der Hütte nur rund +3° gemessen. Die Temperaturregistrierung ging steil abwärts. Fast waren 0° erreicht, als um 21h mit Aufzug eines schmalen Stratocumulus-Feldes aus NW die Temperatur wieder zu steigen begann. Nordseeluft war hereingekommen. Sie ließ die Temperatur auf +3° gehen. Solche nächtliche Einschübe von Warmluft stellen ein besonderes Kapitel dar. Hier kann jedoch nicht näher auf dieses Problem eingegangen werden, doch sei wenigstens auf einige Literatur verwiesen (4, 5, 6). In (4) wird ebenfalls eine solche Unterbrechung des nächtlichen Temperaturabfalls erwähnt. Auch in (2) wird auf S. 13 eine derartige Erscheinung geschildert, die also nicht nur im Gebirge auftritt, sondern auch im norddeutschen Flachland. In der Nacht 20./21. 4. 1959 setzte eine Stunde nach Einsetzen der Erwärmung aber wieder Temperaturfall ein. Diesmal wurde bald (22.35) Null Grad unterschritten.

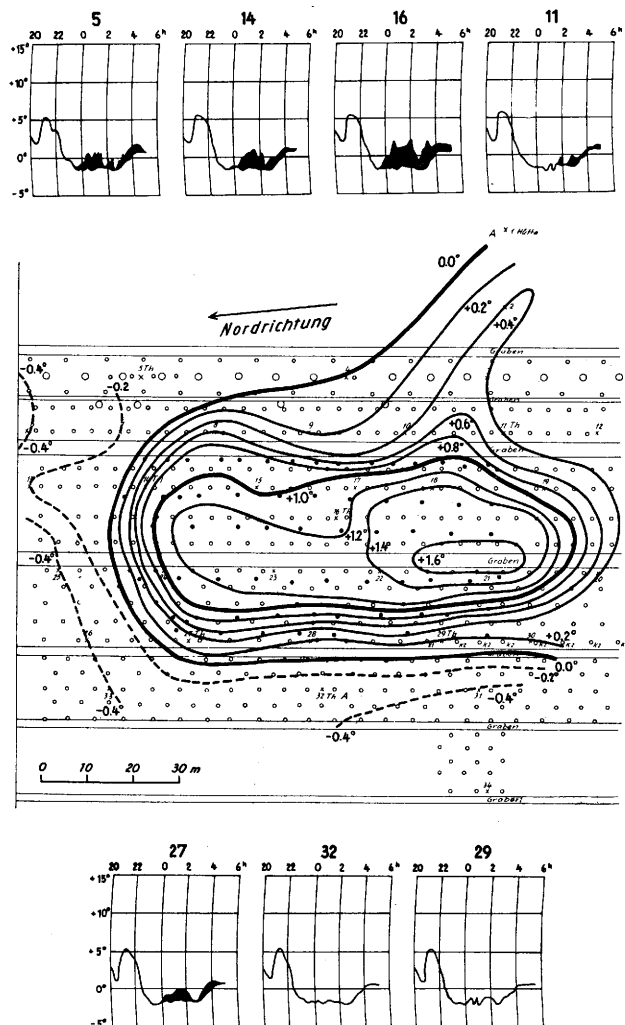


Abb. 12

Temperaturdifferenzen gegenüber Meßstelle 1 am 21. April 1959 um 01h. Schwarze Flächen in den Temperaturregistrierungen: Heizeffekt (vgl. auch Abb. 6); gerastertes Gebiet: positive Temperaturen (frostfrei).

Am ungeschützt in 2 m neben der Hütte aufgestellten Minimumthermometer wurden um 01h -2.4° abgelesen. In der Hütte wurde ein Minimum von nur -1.5° erreicht. Mit 01h war der Temperaturfall beendet. Die Bewölkung nahm zu. Sie bestand weiterhin aus aufgelockertem Stratocumulus/Alto cumulus. Um 03h herrschte im Außengebiet eine Temperatur von -1.2° bis -1.5° , um 03³⁰ von -0.6 bis -0.8° , um 04h von $+0.3$ bis $+0.6^{\circ}$. Daher wurde die Heizung abgestellt. Gleichzeitig fielen einige Regentropfen. Die Nachtfrostgefahr war damit behoben.

Das beste Bild des Heizeffekts ergab sich um 01h (Abb. 12). Das Minimum-Thermometer in 2 m Höhe bei Meßstelle 1 zeigte -2.4° . Die Heizung brachte fast auf der ganzen abgebildeten Fläche einen Wärmeüberschuß zustande. Allerdings lag die absolute Temperatur nur im unmittelbaren Bereich der Öfen über 0° (gerasterte Fläche). Den höchsten Wert hatte Meßstelle 23 mit $+4.8^{\circ}$ relativ zu Meßstelle 1 oder $+2.0^{\circ}$ absolut. Im Durchschnitt der drei Ablesungen 00h, 01h, 03h ergab sich jedoch ein Maximalbetrag von nur $+2.5^{\circ}$, absolut $+0.7^{\circ}$ (Abb. 13). Einer schwachen Luftströmung aus Südwest entsprechend stellte sich eine Verschiebung des Schwergewichtes der Erwärmung nach Nordosten ein und eine Ausbuchtung in der gleichen Richtung. Meßstelle 5 zeigt daher einen merklichen Wärmeüberschuß.

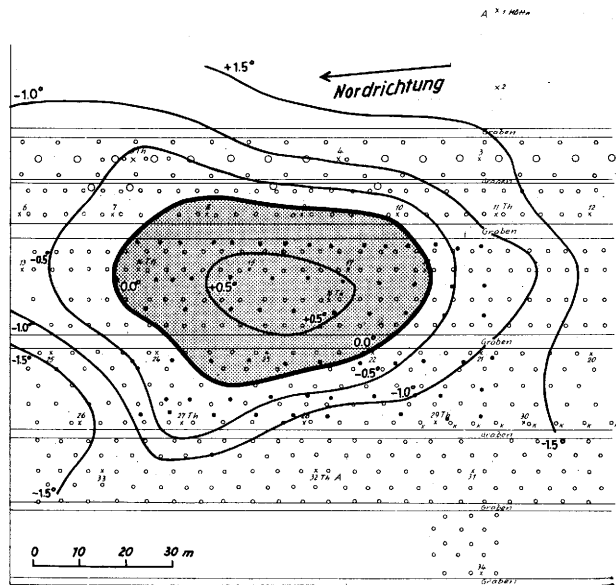


Abb. 13
Absolut-Temperaturen am 21. April 1959 im Durchschnitt der drei Ablesungen 00h, 01h, 03h.

Die Temperaturumkehr war in dieser Nacht recht gut ausgeprägt. Durch den schon genannten Wärmeinschub wurde sie zwar zunächst gestört, doch erreichte die Temperaturdifferenz Francop-Tannenhöft zwischen 22h und 24h -2.4° . Später wurde sie geringer, betrug aber bis 4h noch -1.0° . Durch das Aufkommen der Bewölkung wurde sie dann gestört.

Das Verhalten der Temperatur in den Niveaus 5 und 50 cm entsprach in dieser Nacht den ausgeprägten Strahlungsverhältnissen. In der folgenden Tabelle 3 sind die bei den Ablesungen erhaltenen Werte zusammengestellt worden.

Ganz ideale Strahlungsverhältnisse haben danach allerdings auch in dieser Nacht nicht vorgelegen. Außerdem komplizieren die verschiedenen Bewachsungen des Geländes die Verhältnisse. Im östlichen Teil der Anlage, in der die niedrigen Bäume stehen, war der Boden unbewachsen gehalten worden. Im westlichen Teil, in

dem die höheren Bäume stehen, war dagegen der Boden mit Gras bewachsen. In letzterem Gebiet traten aber nicht ausschließlich die tiefsten Temperaturen auf. Offensichtlich schützte das schon dichte Blätterdach weitgehend gegen Ausstrahlung. Hier trat auch keine Reifbildung am Gras ein, sondern nur im Bereich der Baumschule, in der Nähe von Meßstelle 1. Hier wurden auch tiefere Temperaturen als im Großteil der Obstanlage gemessen. Der vertikale Temperaturgradient war meist positiv. Das heißt, die Temperatur nahm nach oben zu. Nur gelegentlich war er zwischen den beiden untersten Niveaus negativ. Lediglich mitten im Heizgebiet, bei Meßstelle 16, war er im Durchschnitt leicht negativ.

Temperaturmessungen am 5./6. Mai 1959

Am 4. Mai erfolgte auf der Südseite eines Tiefs über der mittleren Nordsee ein Kaltluftvorstoß nach Nordwestdeutschland. Er ließ sich einen Hochkeil entwickeln, der von einem Hoch südlich Island ausging. Seine von WNW nach ESE verlaufende Achse lag in der Nacht vom 5. zum 6. Mai gerade über dem Unterelbegebiet. Am 6. Mai hatte sich aus diesem Keil ein selbstständiges Hoch gebildet, dessen Kern über dem Unterelbegebiet lag. Dadurch stellte sich in der Nacht vom 5. zum 6. Mai weitgehendes Aufklaren ein. An den Folgetagen erwärmte sich die eingedrungene Kaltluft wieder. Für die Nacht vom 5. zum 6. Mai mußte die Entwicklung von Frost angenommen werden. Daher wurde ein vierter Heizversuch angesetzt.

Die Lufttemperatur ging ab 18h von etwa 11° an rasch zurück. Um 22h wurden bereits $+2$ bis $+3^{\circ}$ erreicht. Daher sah es äußerst gefährlich aus. Gegen 23h aber trat plötzlich ein Anstieg der Temperatur um etwa 2° ein, der das Erreichen von 0° erheblich verzögerte. Bald danach kam aufgelockerter Stratocumulus aus Südwesten auf; um 03³⁰ betrug die Bewölkung 7/10. Um 04h war sie wieder auf 3/10 zurückgegangen. Die Windrichtung ging in Bodennähe nach den Registrierungen der Lotsenstation und des Seewetteramtes von NNW um 20h auf N um 23h, NNE um 24h und 6h herum. Das entspricht der Entwicklung der Luftdruckverteilung.

Nach dem Anzünden der Öfen der drei westlichen Reihen um 23h herrschte auf dem Versuchsfeld völlige Windstille. Der Rauch stieg senkrecht in die Höhe. Ab 24h wurden auch die übrigen Öfen angezündet. Die Auswirkungen zeigt Abb. 14. Der Heizeffekt ist an Hand

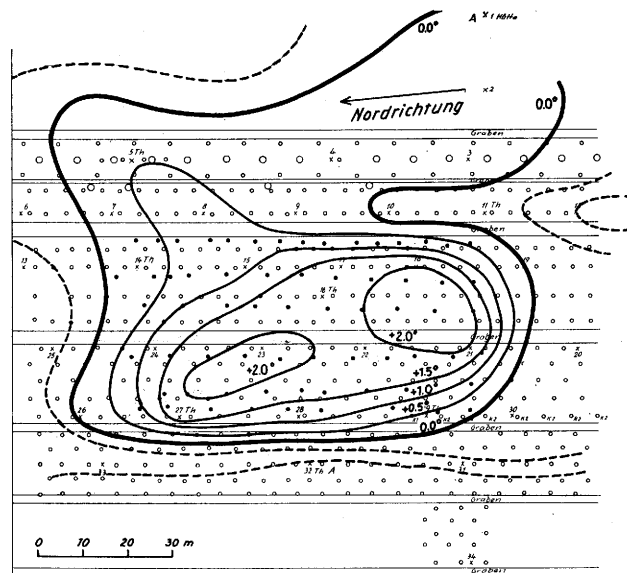


Abb. 14
Temperaturdifferenzen gegenüber Meßstelle 1 am 6. Mai 1959, 01h.

Tab. 3

Temperaturwerte (Abl. = Ablesung) und Differenz gegenüber Meßstelle 1 (Diff.), sowie vertikale Temperaturgradienten in der Nacht vom 20. zum 21. April 1959

Beob. Zeit	1 Abl.	5 Abl. Diff.	11 Abl. Diff.	14 Abl. Diff.	16 Abl. Diff.	Gras 27 Abl. Diff.	Gras 29 Abl. Diff.	Gras 32 Abl. Diff.
2 m Höhe								
21h	5.2	5.6 +0.4	5.4 +0.2	5.0 -0.2	5.5 +0.3	5.0 -0.2	5.0 -0.2	5.2 0.0
22	2.7	2.0 -0.7	1.3 -1.4	1.6 -1.1	-1.2 -1.5	2.5 +0.2	1.0 -1.7	1.7 -1.0
23	-0.6	-1.8 -1.2	-1.0 -1.0	-1.5 -0.9	-1.8 -1.2	-1.5 -0.9	-1.7 -1.1	-1.4 -0.8
24	-2.2	-1.5 +0.7	-1.5 +0.7	+0.1 +2.3	0.0 +2.2	-0.8 +1.4	-1.5 +0.7	-1.6 -0.6
01	-2.4	-1.5 +0.9	-1.9 +0.5	+1.2 +3.6	+1.0 +3.4	0.0 +2.4	-1.6 +0.8	-1.0 -1.4
03	-1.2	-0.7 +0.5	-0.7 +0.5	0.0 +1.2	+1.0 +3.2	-0.2 +1.0	-0.9 +0.3	-1.1 +0.1
50 cm Höhe								
21	5.2	5.6 +0.4	5.0 -0.2	4.4 -0.8	4.7 -0.5	4.9 -0.3	4.0 -1.2	5.1 -0.1
22	1.6	2.0 +0.4	0.7 -0.9	0.0 -1.4	1.2 -0.4	1.3 -0.3	-0.2 -1.8	1.0 +0.6
23	-1.4	-1.8 -0.4	-1.7 -0.3	-2.7 -1.3	-2.1 -0.7	-2.1 -0.7	-2.9 -1.5	-1.5 -0.1
24	-1.7	-1.5 +0.2	-2.1 -0.4	-1.6 +0.1	-1.2 +0.5	-1.7 0.0	-2.7 -1.0	-1.8 -0.1
01	-3.1	-1.5 +1.6	-2.7 +0.4	-0.8 +2.3	-0.6 +2.5	-1.6 +1.5	-2.9 +0.2	-2.0 +1.1
03	-0.9	-0.7 +0.2	-1.1 -0.2	-1.3 -0.4	+0.1 +0.8	-1.0 -0.1	-1.9 -1.0	-1.2 -0.3
5 cm Höhe								
21	5.2	4.7 -0.5	4.7 -0.5	4.5 -0.7	5.2 0.0	3.5 -1.7	3.8 -1.4	4.7 +0.5
22	1.7	0.6 -1.1	0.5 -1.2	0.0 -1.7	0.9 -0.8	-0.9 -2.6	-0.6 -2.3	0.8 -0.9
23	-1.5	-3.6 -2.1	-2.1 -0.6	-3.0 -1.5	-2.1 -0.6	-3.7 -2.2	-3.2 -1.7	-1.4 +0.1
24	-2.3	-2.9 -0.6	-2.3 0.0	-2.1 +0.2	-1.0 +1.3	-3.8 -1.5	-3.9 -1.6	-2.0 +0.3
01	-3.1	-3.8 -0.7	-3.2 -0.1	-1.8 +1.3	-0.7 +2.4	-3.8 -1.7	-2.8 +0.3	-1.8 +1.3
03	-1.2	-1.6 -0.4	-0.8 +0.4	-0.5 +0.7	+1.0 +2.2	-2.1 -0.9	-1.6 -0.4	-0.7 +0.5
Vertikale Temperaturdifferenzen								
21	0.0	0.0	0.4	0.6	0.8	0.1	1.0	0.1
	0.0	0.9	0.3	-0.1	-0.5	1.4	0.2	0.4
22	1.2	0.0	0.6	1.6	0.0	1.2	1.2	0.7
	-0.1	1.4	0.2	0.0	0.3	2.2	0.4	0.2
23	0.8	0.0	0.1	1.2	0.3	0.6	1.2	0.1
	-0.1	1.8	0.4	0.3	0.0	1.6	0.3	-0.1
24	-0.5	0.0	0.6	1.7	1.2	0.9	2.2	0.2
	0.6	1.4	0.2	0.5	-0.2	2.1	1.2	0.2
01	0.7	0.0	0.8	2.0	1.6	1.6	1.3	1.0
	0.0	2.3	0.5	1.0	0.1	2.2	-0.1	-0.2
03	-0.3	0.0	0.4	1.3	0.9	0.8	1.0	0.1
	0.3	0.9	-0.3	-0.8	-0.9	1.1	0.3	0.5
Mi 50—200 cm	0.32	0.00	0.48	1.40	0.80	0.87	1.32	0.37
5—50 cm	0.12	1.28	0.22	0.15	-0.20	1.77	0.38	0.17

der Temperaturregistrierung an Meßstelle 16 besonders gut zu erkennen (Abb. 18). Hier wird das Absinken der Temperatur ab 23.³⁰ endgültig abgestoppt. Auch bei Meßstelle 14 ist dies der Fall. An letzterer war aber die Heizwirkung auf die Dauer doch nicht ausreichend. Die Temperatur ging auf -1° zurück. Das ist am äußeren Rand des Heizgebietes nicht verwunderlich. Ähnlich gestaltete sich der Temperaturverlauf bei Meßstelle 27.

Ganz anders war der Temperaturverlauf an den Meßstellen 5, 11, 29 und 32, die außerhalb des Heizareals eingerichtet worden waren. Sie zeigen einen weitgehend übereinstimmenden Temperaturverlauf und ein Absinken der Temperatur auf -2° bis -3° . Im Zentrum des Heizgebietes dagegen, bei Meßstelle 16, wurden gemäß Thermograph $+0.5^{\circ}$ nicht unterschritten. Zeitweise war es hier allerdings wesentlich wärmer. Die Maximalzacken der Temperaturkurve erreichen $+3^{\circ}$. Diese Wärme ging aber offensichtlich durch Aufsteigen der warmen Luft nach oben weg. Die Registrierung hat große Ähnlichkeit mit Registrierungen an Tagen starker Konvektion, wobei die aufsteigende warme Luft durch kalte Luft ersetzt wird, die aus der Höhe absinkt. In jener Nacht war die Temperaturinversion offensichtlich schwach ausgeprägt. Denn nur während einiger Stunden war Francop kälter als Neugraben-Tannenhöft, nämlich von 23^h bis 0^h um 1.0° , von 0^h bis 1^h um 1.6° , von 1^h bis 2^h um 1.0° .

In den folgenden Nächten, die aber keinen Nachtfrost mehr brachten, war Francop von 0^h bis 7^h dagegen um 1.4° bis 3.0° kälter. Die geringe Ausbildung der Bodeninversion in frisch eingebrochener Kaltluft ist für die Heizwirkungen offensichtlich ungünstig. Endgültiges über die Stärke der Bodeninversion und ihren Einfluß auf den Heizeffekt läßt sich jedoch erst dann sagen,

wenn parallel zu den Heizversuchen Temperaturanstiege durchgeführt werden können.

Die Heizwirkung lag infolge der völligen Windstille im Gegensatz zu den vorhergehenden Versuchen konzentrisch zu der beheizten Fläche. An Hand der Ablesungen der Minimumthermometer ergab sich um 02^h ein maximaler Mehr an Temperatur von $+1.9^{\circ}$ bei Meßstelle 21 (Abb. 15). Eine Stunde später lag das Maximum

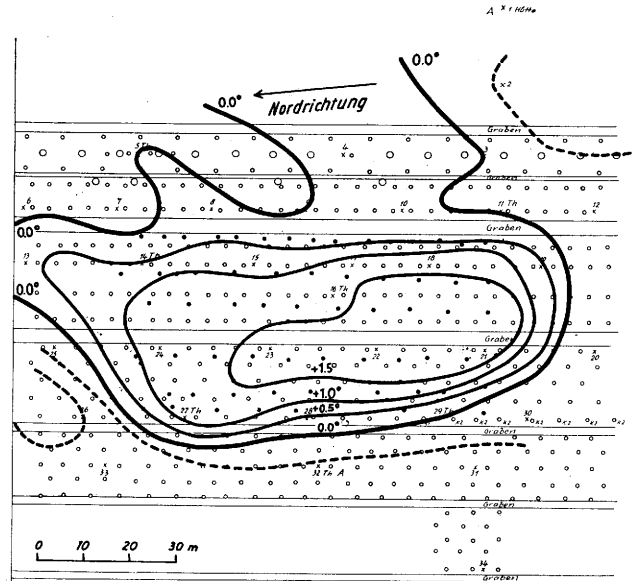


Abb. 15
Temperaturdifferenzen gegenüber Meßstelle 1 am 6. Mai 1959, 02h.

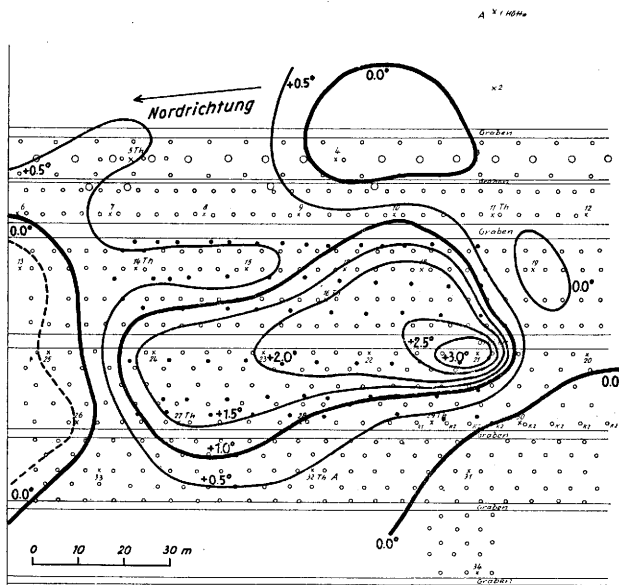


Abb. 16
Temperaturdifferenzen gegenüber Meßstelle 1 am 6. Mai 1959, 04h.

mit $+3.3^{\circ}$ am gleichen Platz (Abb. 16). Bei einer absoluten Temperatur von -1.4° an Meßstelle 1 entsprach das Gebiet effektiv positiver Werte etwa der Fläche, die von der Isotherme $+1.5^{\circ}$ eingeschlossen wird (Abb. 18). Eine kleine Verschiebung des erwärmten Gebietes gegenüber 02^h könnte durch einen Lufthauch aus ENE zu erklären sein, der an der Lotsenstation registriert wurde. Am Seewetteramt wurde ein laminarer NE von etwa 2 m/sec registriert. Um 05^h, am kältesten Ablesetermin, war diese Deformation nicht mehr vorhanden (Abb. 17). Die Minimumthermometer, die sich den ein-

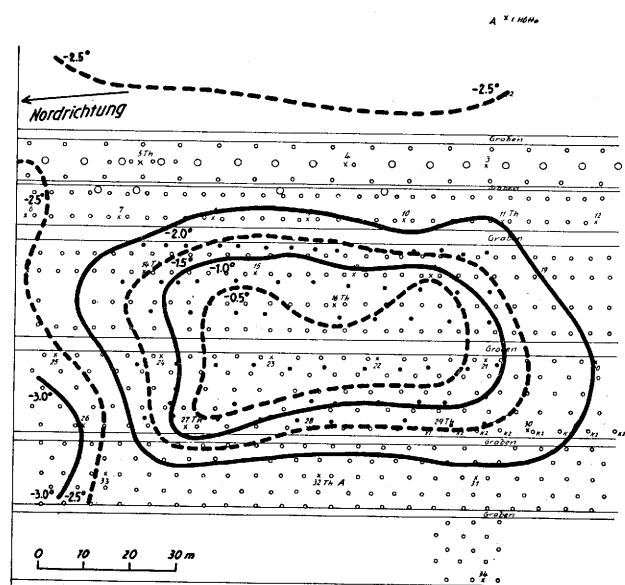


Abb. 17
Absolute Temperaturen am 6. Mai 1959 um 05h.

leitenden Bemerkungen gemäß besonders rasch abzukühlen scheinen, zeigten bei dieser Beobachtung selbst im beheizten Gebiet negative Temperaturen. An den Meßstellen 23 und 22 wurden mit -0.3° die höchsten Werte festgestellt; die überhaupt tiefste Temperatur in 2 m Höhe hatte Meßstelle 26 mit -3.0° . Diese negativen Temperaturen erbrachten die Temperaturregistrierungen nicht. Offenbar ist die verschiedene rasche Abkühlung von Glas- und Bimetall-Thermometern dafür verantwortlich zu machen. Im nächsten Kapitel wird noch einiges darüber zu sagen sein.

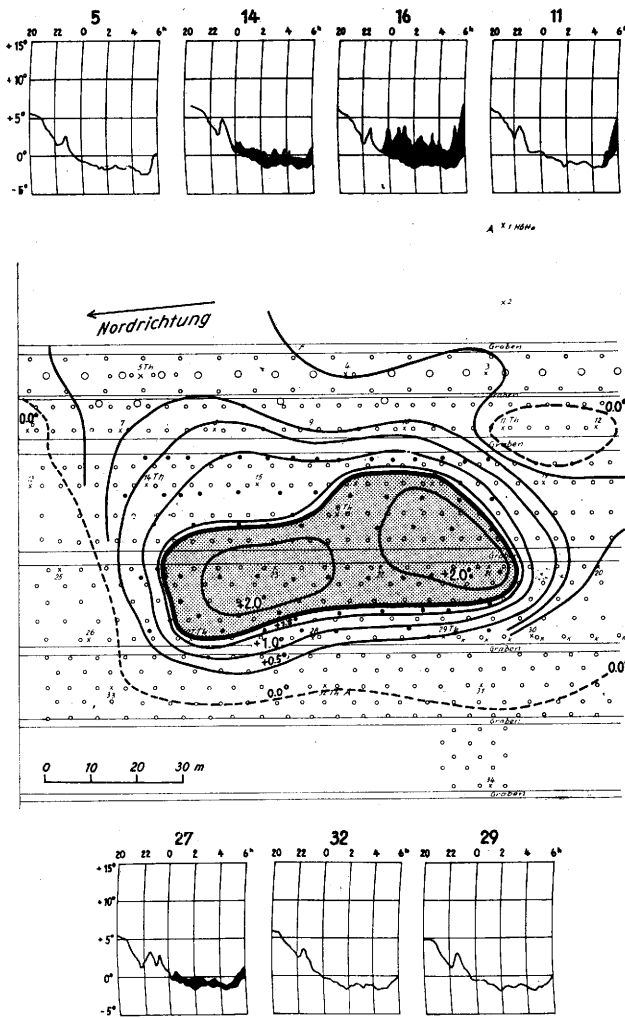


Abb. 18

Temperaturdifferenzen gegenüber Meßstelle 1 am 6. Mai 1959 im Durchschnitt der 5 Ablesungen 01h bis 05h. Gerastertes Gebiet: positive Absolut-Temperaturen (Temperatur an Meßstelle 1 — 1.54°).

Faßt man die fünf Ablesungen von 01h bis 05h zu einem Mittelwert zusammen, ergibt sich die in Abb. 18 dargestellte mittlere Temperaturverteilung. Außer im

Süd- und Westteil der Obstanlage sind zwar durchweg positive Abweichungen zu verzeichnen. Da aber bei Meßstelle 1 eine durchschnittliche Temperatur von -1.50° berechnet wurde, ergibt sich, daß lediglich in dem kleinen Bereich der schraffierten Fläche eine positive Durchschnittstemperatur geherrscht hat. Das von der dick ausgezogenen Isotherme $+1.54^\circ$ umschlossene, mit Raster gekennzeichnete Gebiet hat während der genannten vier Stunden im Durchschnitt positive Temperaturen gehabt. Die Größe dieser Fläche beträgt etwa 1700 m^2 . Das ist gut die Hälfte der mit Öfen besetzten Fläche. Bei der kleinen Fläche von $\frac{1}{3} \text{ ha}$ sind also die Randeffekte unverhältnismäßig groß.

Ergebnisse der Temperaturmessungen und Vorschläge zur Verbesserung der Untersuchungen

Heizeffekt und Wetterlage

Geeignete Wetterlagen waren im Frühjahr 1959 selten. Gab es Strahlungsnächte, dann herrschte meist noch eine so hohe Windgeschwindigkeit, daß ein Heizversuch nicht in Frage kam. Daher stehen nur vier brauchbare Fälle zur Verfügung. Nur bei zwei von ihnen traten Temperaturen unter Null Grad auf. Prinzipiell können natürlich auch Nächte benutzt werden, in denen kein Frost auftritt, um den Heizeffekt zu prüfen. Denn dabei kommt es mehr auf die Temperaturschichtung an als auf die absolute Temperatur. Für das Sammeln von Erfahrungen hinsichtlich der Auswirkungen auf den gegen Frosteinwirkungen zu schützenden Obstbestand dagegen sind lediglich diejenigen Nächte brauchbar, in denen auch tatsächlich Frost eingetreten ist. Nur in der Nacht 20./21. April und 5./6. Mai war dies der Fall. Vor allem in der letztgenannten war der Heizeffekt überraschend gering. Als Maß dieses Heizeffektes lassen sich am besten gewisse Maximalwerte der Temperatur benutzen. Sie sind in Tab. 4 zusammengestellt.

In der linken Hälfte der Tabelle wurden die bei Meßstelle 16 in der Mitte der Versuchsfläche beobachteten Maximaltemperaturen zusammengestellt. Da der Schwerpunkt des Heizeffektes nicht immer gerade dort lag, werden diese Werte durch die überhaupt beobachteten Maximaltemperaturen in der rechten Hälfte der Tabelle ergänzt. Danach ist der Heizeffekt recht unterschiedlich, wie sich auch bei der Beschreibung der einzelnen Versuche ergeben hat.

Tab. 4
Maximaltemperaturen als Maß für den Heizeffekt

Nacht	Temperatur an Meßstelle 16			Höchste Temperatur im Meßfeld			
	Zeit	effektiv	Diff. gegen 1	Zeit	Meßst.	effektiv	Diff. gegen 1
1959							
3./4. 4.	05 ²⁰	10.0	+3.8	05 ³⁰	16	10.0	+3.8
17./18. 4.	04 ³⁰	7.0	+1.3	04 ³⁰	21	7.3	+1.6
20./21. 4.	01 ⁰⁰	1.0	+3.4	01 ⁰⁰	23	2.0	+4.8
5./6. 5.	01 ⁰⁰	0.8	+1.7	04 ⁰⁰	21	1.8	+3.3

Eine starke Beeinträchtigung des Heizeffektes ist zweifellos durch die Kleinheit der Versuchsfläche gegeben. Der Kosten wegen mußte man sich bei diesen für das Alte Land erstmaligen Versuchen mit einer kleinen Anlage begnügen. Sie konnte aber nur etwa $\frac{1}{20}$ der gesamten Obstanlage schützen. Daher war es unmöglich, auf diese Weise ein Bild von der Wirkung eines totalen Schutzes zu gewinnen. Deshalb kommen Mittel, die für solche halben Maßnahmen ausgegeben werden, immer nur mit schlechtem Wirkungsgrad zum Tragen.

Die Randwirkungen sind bei $\frac{1}{3} \text{ ha}$ Versuchsfläche relativ viel zu groß. Sie umfassen etwa 50% der Fläche. Deshalb sind die Aussagen über die Größe des Heizeffektes und das Beziehen dieser Größe auf die Wetterlage nur mit allem Vorbehalt durchführbar.

Hinzu kommt noch, daß bei der kleinen Fläche, wie eingangs bereits erwähnt wurde, die normale Dichte der Ofenaufstellung gewählt worden war, obwohl sie unter solchen Umständen eigentlich erhöht werden soll-

te. Trotzdem wurde der von Hohenheim angegebene Heizeffekt von 2° C (7) nur bei einer Messung nicht erreicht (Tab. 4). Allerdings war dies lediglich auf einer kleinen Fläche der Fall, so daß der Gesamtheizeffekt doch unbefriedigend blieb. Der Erfolg wurde auch dadurch beeinträchtigt, daß die Brenner leicht verrußten und ausgingen. Bis sie wieder in Gang gesetzt worden waren, verging meist geraume Zeit. Das von der Firma Brenntag zur Verfügung gestellte Modell wurde daher wegen dieser Unzulänglichkeit wieder zurückgezogen.*) Gleichwohl waren die Untersuchungen recht aufschlußreich, weil im norddeutschen Flachland doch ganz andere kleinklimatische Verhältnisse herrschen als im süddeutschen Gebiet, wo diese Art des Frostschutzes schon seit langem praktisch angewendet wird.

Der Versuch in der Nacht 17./18. April wurde bei zyklonaler Wetterlage durchgeführt, bei der nur geringfügiges Absinken stattfinden konnte. Daher ergab sich ein minimaler Heizeffekt. Die drei übrigen Versuche wurden bei antizyklonaler Wetterlage durchgeführt. Hierbei fand ein erhebliches Zusammensinken der Luftmassen statt. Infolge der stabileren Luftschichtung konnte die angewärmte Luft weniger entweichen, wodurch ein stärkerer Heizeffekt zustande kam. Am geringsten war er am 5./6. Mai, weil frisch eingeflossene Polarluft über dem Versuchsgelände lag. Eine stärkere Beziehung zur vertikalen Temperaturschichtung läßt sich jedoch nicht aufstellen, weil aerologische Messungen an Ort und Stelle wegen Fehlens entsprechender Hilfsmittel unmöglich waren. Die Werte der nächstgelegenen Aufstiegsstellen Schleswig und Hannover sind aber in keiner Weise für die Verhältnisse über dem Versuchsgelände repräsentativ, weil es sich nur um die Luftschichten bis etwa 500 m Höhe handelt. Der Notbehelf mit der auf dem Geestrand bei Neugraben eingerichteten Meßstelle ermöglicht nur ganz dürftige Anhaltspunkte.

*) Inzwischen sind diese Mängel behoben worden.

Methoden und Mängel der Temperaturmessung

Für die Geräte zur Temperaturmessung (Minimumthermometer und Fuess'sche Thermographen) stand kein Strahlungsschutz zur Verfügung. Man konnte sich auch sagen, daß die Obstbäume genau so ungeschützt dastehen, und daher die abgelesenen bzw. registrierten Temperaturen ziemlich weitgehend übereinstimmen dürften. Damit kam man aber unter Umständen ziemlich weit von der Lufttemperatur ab, auf die doch die Frostschäden stets bezogen werden. Allerdings werden die Werte der Lufttemperatur normalerweise in der Hütte gemessen. Jedenfalls trifft das für 2 m Höhe zu. In 5 cm Höhe dagegen ist bei den normalen Klimastationen ein genau so ungeschützt aufgestelltes Minimumthermometer in Gebrauch wie bei den hier behandelten Versuchen. Die im laufenden Dienst jeweils mitgeteilten Angaben über „Hüttenfrost“ und „Bodenfrost“ beruhen also auf ganz verschiedenen Meßmethoden. Daher sind Vergleiche sehr schwierig. Um diesen Schwierigkeiten aus dem Wege zu gehen, war es vorteilhafter, alle Temperaturmessungen nach einheitlicher Methode, also mit ungeschützten Geräten durchzuführen. Das war während der Nacht auch ohne weiteres möglich. Nach Sonnenaufgang erübrigten sich weitere Messungen ohnehin. Allerdings mußten alle Geräte nach jedem Versuch abgeräumt werden, um sie vor der Sonnenstrahlung zu schützen, auch wären sie bei den in der Obstanlage durchzuführenden Pflegemaßnahmen zu sehr gefährdet gewesen. Das war für die Minimumthermometer unwesentlich; für die Thermographen aber hatte es den Nachteil, daß vor allem die Zeitkorrektur sich von Versuch zu Versuch änderte. Daher ergab auch ein Vergleich von Minimum-Ablesungen und gleichzeitigen Thermographenwerten kein einheit-

liches Bild. Obwohl die Thermographenstreifen mit Hilfe des ausgezeichneten Georgischen Auswertegerätes (8) bearbeitet wurden, ergaben sich erhebliche Differenzen. Sie waren etwa zur Hälfte positiv, zur Hälfte negativ. Eigentlich sollte man gar keine Differenzen erwarten, weil die Dunkelstrahlung für alle Körper gleich ist. Die Meßgeräte stehen aber im Strahlungsaustausch mit Atmosphäre und Boden. Deshalb wären doch gewisse Differenzen denkbar. Im Durchschnitt von 199 Stundenablesungen ergibt sich jedoch lediglich eine Differenz von -0.15° . Das heißt, daß die Minimumthermometer um diesen Betrag kälter sind als die Thermographen. Im Einzelfall ergaben sich allerdings Differenzen bis zu -1.9° und $+1.7^\circ$. Diese starke Streuung dürfte aber in erster Linie auf der Unmöglichkeit beruhen, aus den Thermogrammen die Temperatur einwandfrei festzustellen, die gerade zu der Minute der Ablesung geherrscht hat. Selbst die genaueste Auswertung mit dem Georgischen Auswertegerät bringt bei 7-Tage-Trommeln keine bessere Übereinstimmung zuwege. Für einen derartigen Vergleich muß ein Punktschreiber mit so großem Papiervorschub benutzt werden, daß jede einzelne Minute mit genügender Genauigkeit festgelegt werden kann. Derartige Versuche sollen noch durchgeführt werden. Auch Thermographen mit Tagesumlauf sollen erprobt werden. Im übrigen wäre zu diskutieren, ob ein Strahlungsschutz verwendet werden soll oder nicht. An dieser Stelle soll nur noch einmal auf die eingangs schon erwähnte Tatsache hingewiesen werden, daß die Temperaturangaben in einer Hütte erheblich verzögert und die Amplitude rascher Temperaturänderungen erheblich vermindert werden. Deshalb hat das Weglassen des Strahlungsschutzes doch Vorteile und damit Berechtigung.

Wahrscheinlich kann man diesem Problem ganz aus dem Wege gehen, wenn man nicht mehr die Temperatur der Luft ermitteln will, sondern die Temperatur der Blätter und vor allem der Blüten. Denn diese ist als Endeffekt des Heizens ausschlaggebend. Die Lufttemperatur allein ist deshalb nicht maßgebend, weil auch ein recht großer Anteil von Strahlungswärme beteiligt ist.

Zur Klärung des Einflusses der Strahlung auf Glas-thermometer und Thermographen sollen bei den vorgesehenen Versuchen auch Temperaturmessungen mit einem frei aufgespannten Platindraht durchgeführt werden. Damit soll die Ermittlung einer eventuell erforderlichen Korrektur erreicht werden. Denn zuweilen ergaben sich die Differenzen zwischen den Angaben der Minimumthermometer und der Thermographen überwiegend positiv, zuweilen überwiegend negativ. Wegen der Schwierigkeiten bei der zeitlichen Koordinierung der Wertereihen kann dieser Tatsache zunächst aber kein entscheidendes Gewicht beigemessen werden, doch muß dieser Punkt bei der Durchführung exakter Vergleiche mit beachtet werden.

Für eine erfolgreiche Durchführung weiterer Heizversuche ist es schließlich unbedingt erforderlich, am Meßgelände aerologische Aufstiege bis etwa 500 m Höhe durchzuführen. Denn nur so lassen sich ausreichende Angaben über die vertikale Temperaturschichtung erlangen. Zwar ist für die Durchführung dieser Messungen wieder eine besondere Arbeitsgruppe erforderlich, doch kann heute eben nicht mehr mit veralteten und unzureichenden Methoden gearbeitet werden, wenn neuere, tiefere Erkenntnisse gewonnen werden sollen.

Hinweis auf ähnliche Versuche in Jugoslawien

In einer Obstanlage der Versuchsstation für Reben- und Obstbaumkulturen der landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Zemum in einem 20 km SE von

Belgrad gelegenen Tal wurden im Frühjahr 1953 ähnliche Versuche wie in Francop durchgeführt (9). Dort ergab sich im Durchschnitt für die ganze Nacht eine Erwärmung von 1.5°. Damit lassen sich also wohl leichte Nachtfrostschäden abfangen, jedoch stellt die Beheizung mit Öfen vom Typ Kalifornien keinen Schutz gegen tiefere Temperaturen dar. Immerhin aber, so

meint der Verfasser, würde die auch bei solchen Gelegenheiten zu verzeichnende Minderung des Frostes eine Ernte sichern, welche die Kosten der Beheizung wieder einbringt. Auch auf die Nichterfassung der Wirkung der von den Öfen ausgehenden Strahlungswärme bei der Feststellung der Lufttemperatur mittels Thermometern wird hingewiesen.

Literatur

- (1) Bender, K.: Die Frühjahrsfröste an der Unterelbe und ihre Bekämpfung. Öffentl. Wetterdienststelle Hamburg 1933, 1934
- (2) Bender, K. u. Gilcher, I.: Darstellung des Auftretens der Spätfröste des Frühjahres 1938 im Gebiet der Unterelbe. Hamburg 1939
- (3) Karnatz, H.: Erfahrungen mit der Geländebeheizung zur Frostabwehr im Frühjahr 1959. Mitt. Obstbauversuchsring Altes Land (Jork) 14, Nr. 10/11, 239—245 (1959)
- (4) Huber, A.: Temperaturanstiege und Maxima bei Nacht. Dt. Meteor. Jb. Bayern 1926, Teil C
- (5) Mano, H. and Okazaki, G.: Sudden increase of nocturnal temperature in valleys and basins. J. Meteor. Res. Tokyo 9, 525 (1954)
- (6) Mierdel, F.: Über nächtliche Temperaturanstiege an der Möhnetalsperre. Meteor. Z. 40, 178 (1923)
- (7) Mitt. Informationsstelle Frostschutz Nr. 4, August 1959
- (8) Georgi, J.: Beschreibung und Gebrauchsanleitung für die Streifenauswertung mit dem Auswertegerät nach Georgi. Dt. Wetterd. Instrumentenamt Nord 1953
- (9) Primault, B.: Etude microclimatologique en vue de la protection d'un verger contre le gel. Geofis. e Meteor. 7, 67 (1959)
- (10) Franken, E.: Über eine Abhängigkeit der Temperaturverteilung in Strahlungsnächten von Geländeformung und Windrichtung. Meteor. Rdsch. 12, 25—31 (1959)

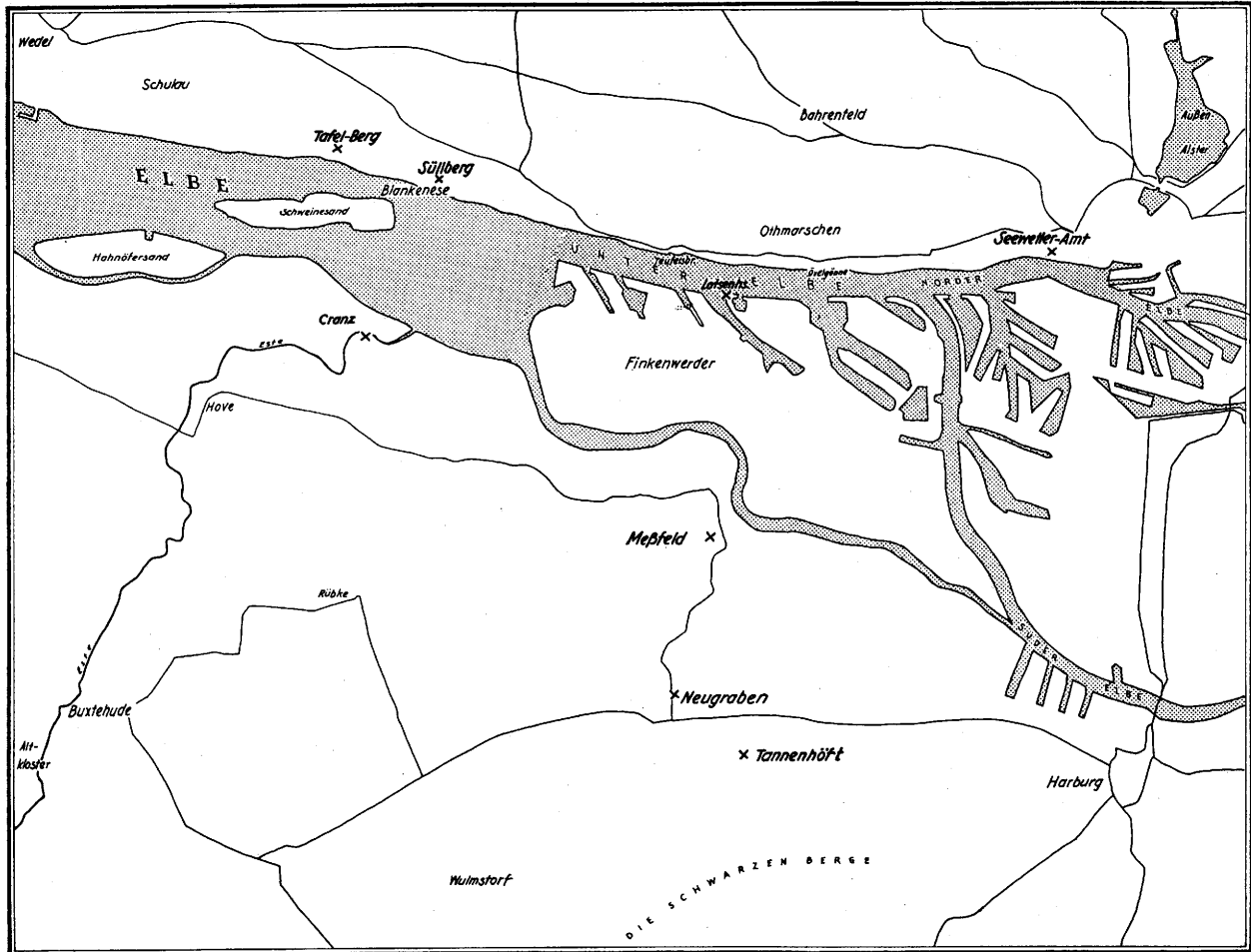


Abb. 19

Allgemeiner Lageplan des Meßfeldes und der drei mit Thermographen besetzten Klimahütten in dessen weiterer Umgebung: Cranz, Neugraben, Tannenhöft. Dazu kommt die Thermometerhütte auf dem Meßfeld. Der in Abb. 27 durch Pfeil gekennzeichnete Wasserturm auf dem Tafelberg bei Blankenese wie auch der bekanntere Sülberg sind durch Kreuze hervorgehoben worden. Registrierende Anemometer stehen auf der Lotsenstation und dem Seewetteramt.

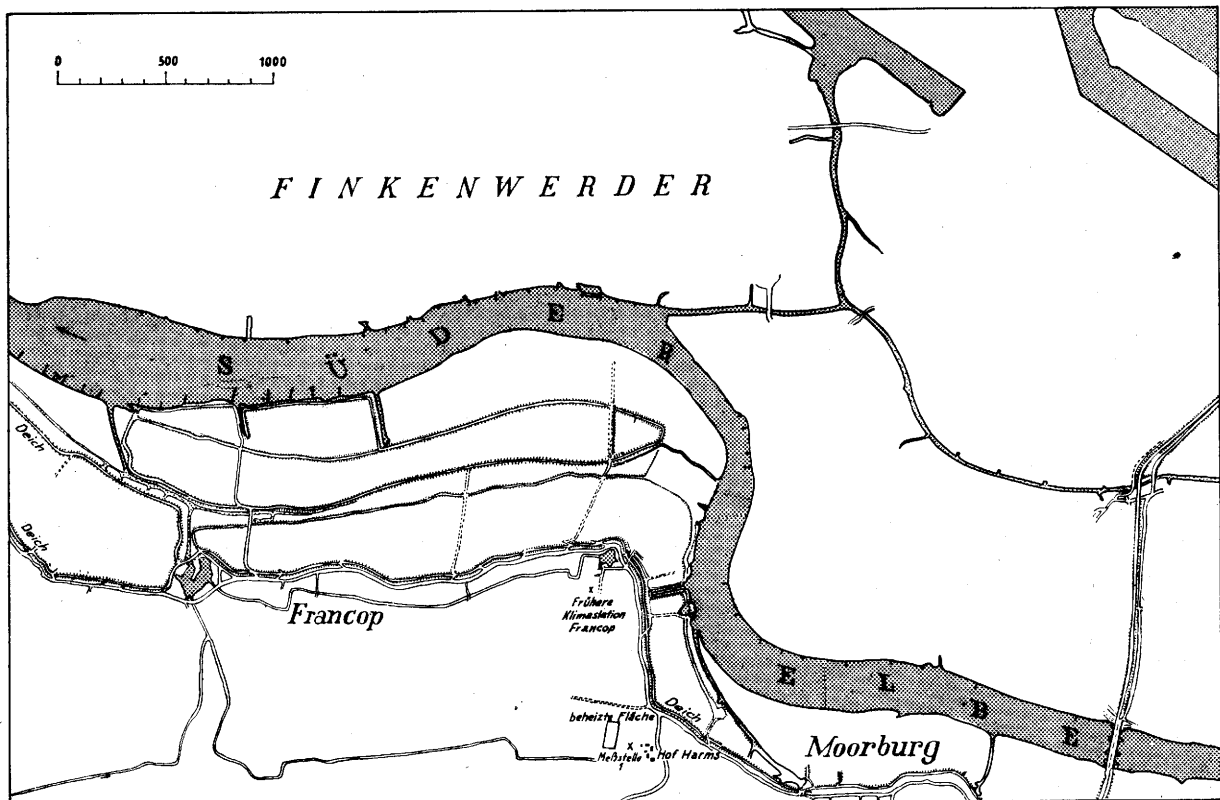


Abb. 20

Spezieller Lageplan des Meßfeldes (Vergrößerung des Meßtischblattes 2425). Neben der sich von Moorburg nordwestwärts nach Francop hinziehenden Straße verläuft der Elbdeich.

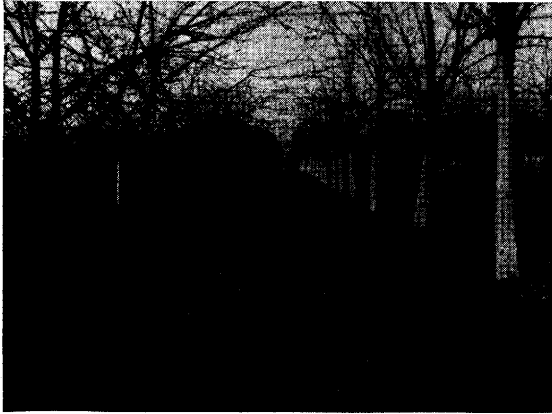


Abb. 21

Blick in die Obstbaumreihen nach Norden. Zwischen den Obstbäumen Heizöfen. Zeitpunkt: 1. April 1959. Weißer senkrechter Strich im linken Bildteil: Meßstelle 28.

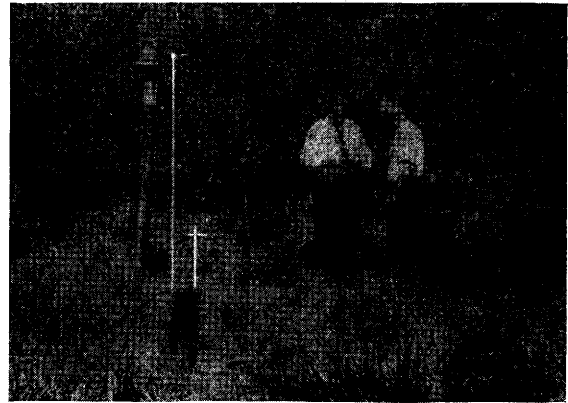


Abb. 22

Etwa derselbe Blick wie in Abb. 21, am 13. Mai 1959; nur eine Baumreihe weiter westlich. Im Vordergrund links Meßstelle 29 mit Thermograph und Minimumthermometer in 2 m Höhe, Minimumthermometer in 50 cm Höhe. Das in 5 cm Höhe aufgestellte Minimumthermometer wird durch das Gras verdeckt.



Abb. 23

Blick nach Norden am 1. April 1959. In der linken Baumreihe steht Meßstelle 16 (nicht sichtbar).



Abb. 24

Derselbe Blick wie Abb. 23 am 13. Mai 1959. Die den oberen Bildteil durchquerende Rohrleitung führt das Rohöl vom Tank zu den Öfen.



Abb. 25

Hütte, daneben Meßstelle 1 und Schalenkreuz-Zählwerk- und Kontaktanemometer. Blick vom Meßfeld nach Osten in Richtung Hof Harms. Zeitpunkt: 13. Mai 1959.

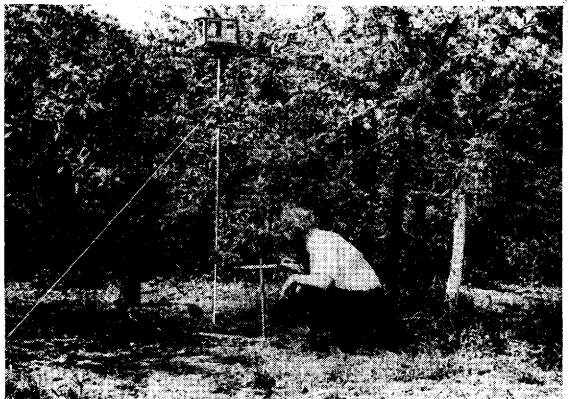


Abb. 26

Meßstelle 16 am 13. Mai 1959 von Osten gesehen. Thermograph auf Steckstange mit Verspannung (vom Instrumentenamt Hamburg entwickelte Normalausführung). Thermometer in 50 cm und 5 cm gut sichtbar, links dahinter Heizöfen.



Abb. 27

Thermometerhütte Cranz, dahinter Dampfer an der Anlegestelle in der Estemündung. Im Hintergrund Blankeneser Berge (Pfeil: Wasserturm auf dem Tafelberg).



Abb. 28

Thermometerhütte Neugraben (Blick nach Südosten), im Hintergrund Harburger Geestrand (Pfeil: Thermometerhütte Tannenhöft am oberen Rand des Geestabhangs).

2.2. Bemerkungen zu den geländeklimatischen Eigenarten des Untersuchungsraumes

von

Ernst Franken

(mit 1 Abbildung im Text)

Zusammenfassung

Bei Frostbekämpfungsuntersuchungen ist man zu Vergleichszwecken stets auf die Meßergebnisse einer nicht von der Bekämpfung beeinflussten meteorologischen Station angewiesen. Es wird gezeigt, daß man sich mit dieser Station nicht allzuweit von der Untersuchungsfläche entfernen darf, da auch im norddeutschen Flachland auf engerem Raum merkliche Temperaturunterschiede vorkommen.

Abstract

Comparisons of frost protection effects always depend on the measurements of meteorological stations situated outside the zone of influence of the protection measures. It is shown that the comparison stations must not be too far away from the test fields, since remarkably different temperatures may occur within narrow limits in the plain of Northern Germany.

Die Agrarmeteorologische Versuchs- und Beratungsstelle Hamburg bemüht sich seit Jahren, Beiträge zu geländeklimatologischen Fragen des norddeutschen Flachlandes zu liefern und die Kenntnis der Zusammenhänge zu vertiefen. Sie kann sich dabei nicht mit einer Auswertung der Beobachtungsergebnisse des weitmaschigen Netzes der Klimastationen begnügen, sondern sie muß zusätzliche Meßserien ansetzen. In diesem Sinne erfuhr auch die Frostschutzuntersuchung in Francop eine Erweiterung. Für die Zeit vom 14. 4. bis 1. 6. 1959 wurden nicht nur Temperaturregistrierungen in Francop, sondern zusätzlich noch in Cranz an der Elbe, am Rande der Elbeniederung in Neugraben und auf einem 32 m hohen Randhügel der Harburger Berge bei Neugraben (Tannenhöft) gewonnen. Benutzt wurden dabei Klimahütten in einer Aufstellungshöhe von 2 m (Lageplan s. (1) Abb. 19). Die Hügelstation sollte auch ein Maß für die Stärke der Inversion über der Elbeniederung liefern.

Man kann bei der kurzfristigen Laufzeit keine gründliche Klärung der geländeklimatischen Verhältnisse erwarten. Wir erörtern auch nicht die absoluten Tiefst- und Höchstwerte, sondern begnügen uns mit einem relativen Vergleich zwischen den nächtlichen Temperaturverhältnissen der Stationen. Es wurden die Differenzen zwischen den Temperaturregistrierungen gebildet. (Ausführliche Schilderung des Verfahrens siehe (2)). Zuerst wird eine Zeittabelle über die zwischen 18 und 06 Uhr festgestellten Temperaturdifferenzen von mindestens 1° fertiggestellt. Dann wird jeder der so festgelegten Differenzen die für die gleiche Stunde geltende Windrichtung des 8 km entfernten Seewetteramtes zugeordnet. Aus den Temperaturdifferenzen und den beigeordneten Windrichtungen ergeben sich die Linienzüge der Abbildung. Als Bezugsstation wurde die in der Elbeniederung bei Neugraben liegende Station ge-

wählt. Der Beobachtungszeitraum umfaßte 46 Tage. Innerhalb dieser Spanne gab es 23 Nächte, in denen mindestens 1 Stunde lang eine Temperaturdifferenz von wenigstens 1° zwischen 2 Stationen herrschte. Die Bezugsstation zeichnet sich vor allem bei Winden aus Richtung ENE durch niedrige Temperaturen aus (Abb. 1). Vermutlich ist das eine Folge des Herantreibens kalter Luftmassen, die sich über dem Wiesengelände im Ostnordosten von Neugraben gebildet haben. Die Hügelstation von Neugraben wird von dieser Kaltluftmasse nicht erreicht. Im ENE von Francop fehlt ein solches Wiesengelände. In Cranz überqueren die von ENE heranziehenden Luftmassen die Elbe. Daher zeichnet sich Cranz bei dieser Windrichtung durch verhältnismäßig häufiges Auftreten höherer Temperaturen aus. Während die Hügelstation von Neugraben in allen zur Ausbildung eines Sonderklimas geeigneten Nächten wärmer ist als die Bezugsstation (Folge von Inversionen und des erwähnten Kaltluftzuflusses) und Cranz sich ebenfalls durch hohe Temperaturen auszeichnet (Elbeeinfluß), ist Francop in manchen Nächten kälter und in anderen Nächten wärmer als Neugraben. Kälter scheint Francop vor allem bei Winden aus NNW und N, sowie bei Winden aus SE zu sein. Eine stichhaltige Erklärung für die vergleichsweise große Kälte Francops bei bestimmten Windrichtungen kann nur mit Vorbehalt gegeben werden (2). Erst mehrjährige Messungen würden zu einer Klärung führen.

Die Ergebnisse zeigen, daß es gefährlich sein kann, sich bei Sonderuntersuchungen auf die Registrierungen einer nicht unmittelbar im Versuchsgelände gelegenen Klimastation zu stützen. Wenigstens ist dieser Gesichtspunkt bei nächtlichen Messungen zu beachten.

In der Nacht vom 20. zum 21. 4. 1959 wurden Temperaturmessungen mit einem Widerstandsthermometer in dem Gelände zwischen dem Francoper Elbdeich und

den Nordhängen der Harburger Berge durchgeführt. Gemessen wurde in der Zeit zwischen 01¹⁰ Uhr und 02⁴⁵ Uhr. Im Ort Neugraben und auf den Randhügeln der Harburger Berge lagen die Temperaturen bei +0.6 bis 1.0°. Im Wiesengelände zwischen Neugraben und Francop wurden Temperaturwerte zwischen -0.9 und -1.4° beobachtet. -0.9° ergaben sich auch im Versuchsgelände von Francop, während auf der benachbarten Deichkrone 0.0° beobachtet wurden.

Literatur

- (1) Scultetus, H. R.: Frostbekämpfungsversuche 1959 im Obstbau des Alten Landes bei Hamburg. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 76, 7 (1961)
- (2) Franken, E.: Über eine Abhängigkeit der Temperaturverteilung in Strahlungsnächten von Geländeformung und Windrichtung. Meteor. Rdsch. 12, 25—31 (1959)

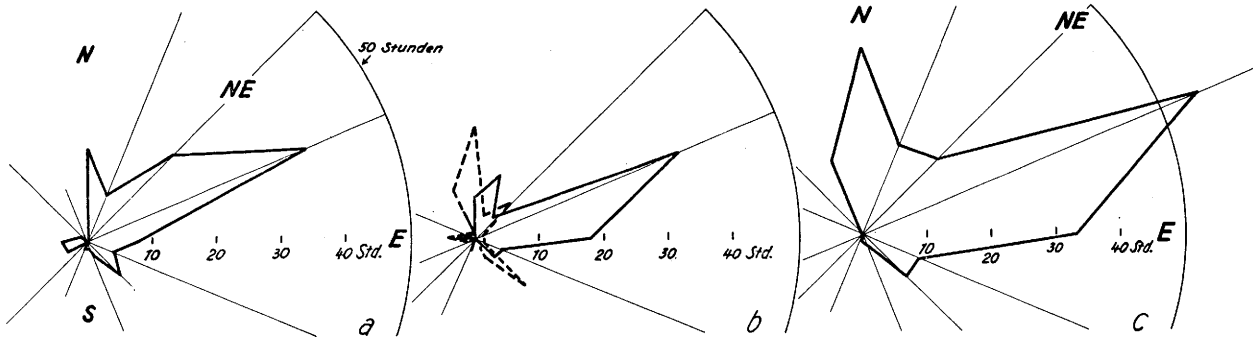


Abb. 1

Zahl der Nachtstunden mit mindestens 1° Temperaturdifferenz zwischen verschiedenen Stationen des Untersuchungsraumes in Abhängigkeit von der Windrichtung — April, Mai 1959

a) Neugraben kälter als Tannenhöft

b) — Neugraben kälter als Francop, - - - Francop kälter als Neugraben

c) Neugraben kälter als Cranz

3. Frostbekämpfungsversuche 1959 im Fränkischen Weinbau bei Veitshöchheim

3.1. Betriebswirtschaftlich-technische Seite der Frostbekämpfungsversuche

von

Wilhelm Kaufhold

(mit 6 Abbildungen und 3 Tabellen im Text)

Zusammenfassung

Durch den beschriebenen Versuch konnte nachgewiesen werden, daß die Geländebeheizung auch bei länger anhaltenden und starken Spätfrösten eine sehr zuverlässige Frostschutzmaßnahme darstellt, deren Wirksamkeit praktisch keiner Einschränkung unterliegt. Von den benutzten Ofentypen waren diejenigen eindeutig im Vorteil, die während des Brennens keiner Wartung bedurften. Die Leistungsfähigkeit kleinerer Öfen war in technischer Hinsicht durchaus positiv zu beurteilen. Das Prinzip zentralgespeister Ölheizanlagen ist gut, jedoch war die Leistung des benutzten Brennertyps unbefriedigend. Die Rentabilität der Geländebeheizung war bei der sehr guten Weinqualität des Jahres 1959 durch exaktes Zahlenmaterial eindeutig zu belegen. Sie dürfte in den allermeisten Fällen aber auch in Jahren mit geringeren Weinqualitäten gesichert sein, zumal die Beheizungskosten sich noch erniedrigen lassen, wie ebenfalls der Versuch ergab.

Abstract

The described test has shown that heating represents a very reliable means of frost protection even with lasting and strong late spring frosts. The efficiency of this measure is not subject to any restrictive factors. Among the used types, those were doubtlessly more advantageous which did not want any maintenance during operation. From technical aspects, the efficiency of smaller burners is quite satisfactory. The principle of the centrally controlled heating plants is good, but the output of the used burners was insufficient. The rentability of heating could unambiguously be demonstrated by exact data material for the excellent wine quality of 1959. It may likewise be guaranteed for most of the years with inferior wine qualities. This is all the more true, since the tests have shown that the costs for heating may still be reduced.

Es wird ein Geländebeheizungs-Versuch beschrieben, der im Frühjahr 1959 auf einer ca. 2,5 ha großen, sehr stark frostgefährdeten Weinbergsfläche der Bayerischen Landesanstalt für Wein-, Obst- und Gartenbau in Veitshöchheim durchgeführt wurde. Zum ersten Male ist, wenn von unseren Entwicklungsversuchen in den vorhergehenden Jahren abgesehen wird, im Frühjahr 1957 die Geländebeheizung von den fränkischen Winzern zur Bekämpfung der Spätfröste benutzt worden. Allerdings beschränkte sich damals der Einsatz auf Einzelaktionen bei kleineren Flächen, die zudem in einigen Fällen nicht mit genügender Sachkenntnis und unzulänglicher Vorbereitung vorgenommen wurden, so daß die erzielten Erfolge nicht überall eindeutig waren. Es sollte daher mit dem Beispielsversuch einmal gezeigt werden, daß die Geländebeheizung bei richtiger Anwendung einen recht zuverlässigen Frostschutz gewährleisten kann, und daß ihr Wirkungsgrad um so höher und

ihre Anwendung um so rentabler sind, je größer und geschlossener die geschützte Fläche ist. Zum anderen sollten bei dem praktischen Einsatz weitere Erfahrungen hinsichtlich der Methodik im allgemeinen und des Verhaltens der zur Verwendung gelangenden Ofentypen im besonderen gesammelt werden. Nach den zuvor gemachten Erfahrungen waren Verbesserungsmöglichkeiten sowohl in der einen wie in der anderen Hinsicht zu erwarten, zumal die Resultate der praxisnahen Beheizungsversuche durch umfangreiche, exakte meteorologische Beobachtungen des Agrarmeteorologischen Meßzuges vom Zentralamt des Deutschen Wetterdienstes in Offenbach unter Leitung von Regierungsrat Schneider und der Wetterwarte Würzburg-Stein unter ihrem Leiter Dr. Weise gestützt werden konnten.

Die Beheizungsaktion selbst wurde durchgeführt von der Biologischen Station der Bayerischen Landesanstalt

für Wein-, Obst- und Gartenbau. Die Gesamtorganisation und zugleich den Kontakt zu den meteorologischen Dienststellen besorgte Dr. Liesering, den praktischen Einsatz der Heizung leitete Weinbaumeister Lippe. Das Bedienungspersonal wurde von Schülern der Weinbauabteilung der Veitshöchheimer Lehranstalt gestellt. Allen Beteiligten sei an dieser Stelle für ihren selbstlosen Einsatz, bei dem vor allem in der schweren Frostnacht vom 20. zum 21. 4. die Kräfte bis an die äußersten Grenzen der physischen Leistungsfähigkeit beansprucht wurden, bestens gedankt.

Beschreibung des Versuchsweinberges

Zwischen Schweinfurt und Aschaffenburg sind die Südhänge nicht nur der Seitentäler von größeren Nebenflüssen des Maines, wie Saale, Tauber und Wern, von Reben bestanden, sondern häufig auch die von Südwest bis Südost exponierten Hänge von kleineren Seitentälern, die entweder nur Bäche führen oder sogenannte Trockentäler sind. Etwa 10 km nördlich von Würzburg, auf der rechten Mainseite befindet sich ein solches etwa 2 km langes Tal, das seinen Ursprung auf einer mit Wald und landwirtschaftlichen Kulturen bestandenen Hochfläche nimmt und — zunächst in südwestlicher, dann in westlicher Richtung verlaufend — in das Maintal einmündet. Der Südost- bzw. Südhang dieses Geländeeinschnittes trägt auf der ganzen Länge Reben. Von besonderem Interesse ist der am weitesten vom Maintal abgelegene Südosthang, der als Weinbergslage „Thüngersheimer Neuberg“ bekannt ist. Er hat eine Neigung von 20 — 33° und ist von Silvaner- und Müller Thurgau-Reben unterschiedlichen Alters bewachsen, die zu Lehr- und Versuchszwecken benutzt werden. Wie die Luftaufnahme (Abb. 1) erkennen läßt,

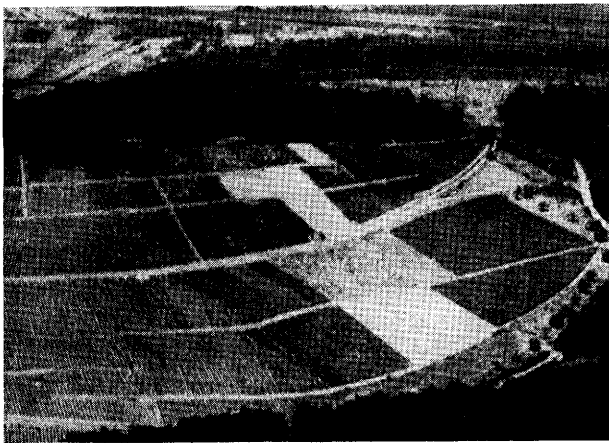


Abb. 1

Ansicht des Versuchswinberges und des Kaltluftentstehungsgebietes von Süden her (Luftaufnahme)

ist an sich der Weinberg von 3 Seiten, nämlich von Norden, Osten und Süden her von Wald umgeben und wäre dadurch relativ gut gegen Frost geschützt. Dieser natürliche Schutz wurde aber 1945 zerstört, als man auf einem Teil der Hochfläche, nahe der nordöstlichen Ecke des Weinberges, die Bäume des Hochwaldes entfernte und so ein 14 ha großer Kahlschlag entstand (Abb. 1 oben rechts). An einer Stelle bildete sich durch Windbruch eine Lücke in dem verbliebenen Hochwaldsaum, die eine unmittelbare Verbindung zwischen Kahlschlag und Weinberg darstellt (Abb. 2). Diese erlangte für die Reben eine schicksalhafte Bedeutung, denn durch sie wurde der Weinberg zu der am stärksten frostgefährdeten Rebanlage von sämtlichen, die sich im Besitz der Landesanstalt befinden. Auf dem Kahlschlag und auch auf der seit 1948 angelegten Jungpflanzung entsteht in Strahlungsnächten Kaltluft in beträchtlicher Menge, die

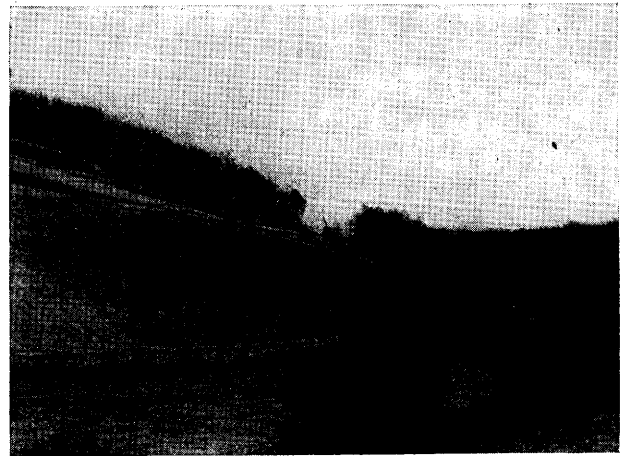


Abb. 2

Ansicht des Versuchswinberges von Südwesten her

durch diese Lücke in den darunter liegenden Weinberg einfließt. Kaltluftmassen, von Winden aus nördlichen Richtungen herangeführt, werden am südlichen Rand des Kahlschlages bzw. nunmehr der Jungpflanzung aufgefangen und durch die Baumlücke wie durch einen Trichter hindurch in den Weinberg eingeschleust. Da die einfließende Kaltluft nicht ungehemmt abziehen kann, sondern durch Geländeunebenheiten zum größten Teil gestaut wird, bringt jede der genannten Möglichkeiten eine erhöhte Frostgefahr für die Reben mit sich. So ist es verständlich, daß der Weinberg in den vergangenen Jahren sehr häufig unter Spät- und Frühfrösten zu leiden hatte, durch welche die Auswertung der verschiedenen Versuche erschwert oder sogar unmöglich gemacht wurde. Es lag daher nahe, auch aus diesem Grunde den Weinberg vor Frost zu schützen.

Entwicklungszustand der Reben im April 1959

Die milde Witterung während des Monats März 1959, der um 3° C wärmer war als es dem langjährigen Durchschnitt entspricht, hatte die Entwicklung der Reben so gefördert, daß sie bereits Anfang April in die Wolle kamen. Da auch in der ersten Aprilhälfte die Werte der Luft- und Bodentemperaturen nicht unwesentlich über dem Durchschnitt lagen, wurde diese zügige Entwicklung zunächst nicht unterbrochen, und zu Beginn der 2. Aprilhälfte konnten der Beginn der Apfelblüte und der Austrieb der Reben beobachtet werden. Für die fränkischen Weinbergslagen von mittlerer und geringer Qualität, zu welcher der Versuchswinberg zu rechnen ist, war dieser phänologische Fixpunkt bei den Rebsorten Müller Thurgau und Silvaner auf den 17. und 18. 4. anzusetzen. Die Reben hatten also gerade ausgetrieben und waren damit in erhöhtem Maße frostgefährdet, als am 19. 4. nach Umstellung der Großwetterlage die Frostgefahr begann.

Vorbereitung der Frostbekämpfung

Die geschilderte rasche Entwicklung der Reben machte es notwendig, daß beschleunigt die geplanten Abwehrmaßnahmen vorbereitet werden mußten. Die Bestückung der zu schützenden Rebfläche mit Heizstellen erfolgte nach einem vorher festgelegten Plan, bei dessen Erstellung die vorliegenden eigenen und fremden Erfahrungen verwertet wurden. Abbildung 3 läßt die Einzelheiten dieses Planes erkennen. Rechts oben befindet sich die Baumlücke, durch welche die durch Ausstrahlung entstandene oder von Winden herangeführte Kaltluft einfällt. Es war naheliegend, diese Kaltlufttrittspforte durch eine starke Feuersperre möglichst zu verschließen bzw. die einfallende Kaltluft bis zu einem gewissen Grade aufzuheizen, um eventuell die mit ihr

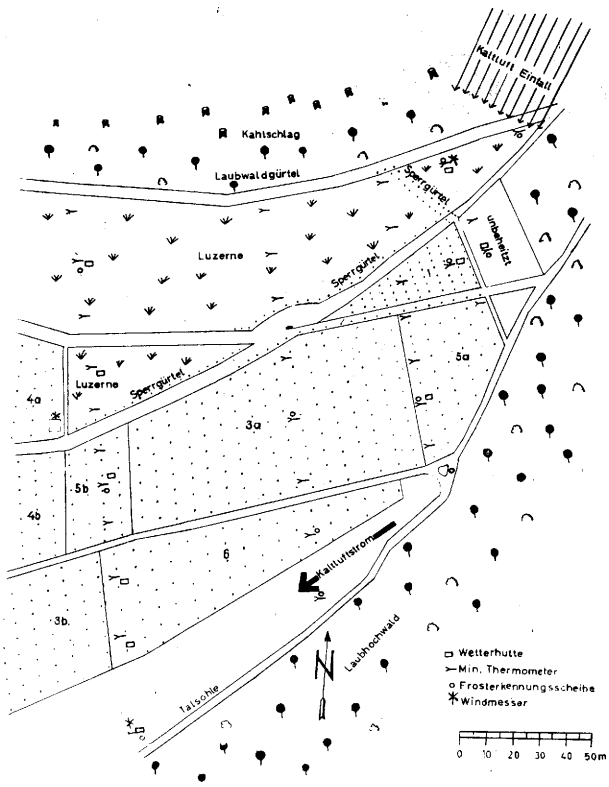


Abb. 3
Plan vom Beheizungsversuch

verbundene Frostgefahr von vornherein zu verringern. Als Feuersperre dienten Dickenscheidsche und Schroth'sche Geländeheizöfen, die in Doppelreihe mit 2 m Abstand zueinander aufgestellt waren. Ein weiterer, einfacher Sperrgürtel wurde unterhalb des Luzerne- und Grasschlages geschaffen, der als internes Kaltluftentstehungsgebiet eine gewisse, aber untergeordnete Rolle spielt. Dieser Sperrgürtel verlief von der Weinberghütte bis zu dem starken Sperrriegel vor der Waldlücke. Außerdem standen noch Stahl- und Schroth-Öfen am Rande des Weges, der das Feld 1 (Abb. 3 rechts oben) von den darunter liegenden Feldern 5a und 3a trennt. Diese Öfen sollten im Einklang mit den meteorologischen Erfordernissen entweder als ein weiterer Sperrriegel oder als Verstärkung der gesamten Beheizung bei Frostverschärfung dienen. Zur Flächenbeheizung waren die verschiedenen Rebfelder entsprechend ihrer Größe und der von den Herstellerfirmen mitgeteilten Heizleistung der Öfen bzw. Brenner folgendermaßen bestückt:

Tab. 1

Feld Nr.	Größe in ar	Ofentyp bzw. Brennersystem	Anzahl der Brennstellen
1	8,50	Geländeheizofen Berg	59
2	28,40	Geländeheizofen Stahl, Modell 57	71
3 a	61,20	Geländeheizofen Stahl, Modell 59	153
3 b	22,80	Geländeheizofen Stahl, Modell 59	57
4 a	24,00	Frostschutz-Ölofen Schroth, Modell 57	60
4 b	34,00	Frostschutz-Ölofen Schroth, Modell 57	85
5 a	16,00	Frostschutz-Ölofen Schroth, Modell 59	40
5 b	21,20	Frostschutz-Ölofen Schroth, Modell 59	53
6	32,00	Brenntag-Freiluftbrenner, Typ 1959	68

248,10

Um neben der meteorologischen Registrierung einen weiteren Anhaltspunkt für die Leistungsfähigkeit der Geländebeheizung zu bekommen, war ein kleineres Rebfeld nicht mit Öfen besetzt worden. Dieses 7,5 Ar große Feld, in Abb. 3 rechts oben als „unbeheizt“ gekennzeichnet, lag in der Nähe der Baumlücke an einer Stelle, die nach unseren Beobachtungen zu den kältesten Punkten des Versuchsgeländes zählte, da sie die Kaltluft sozusagen als geballte Ladung aus erster Hand bekam. Bei einem stärkeren Absinken der Temperaturen waren an diesen Reben am ehesten Frostschäden zu erwarten. Es muß darauf hingewiesen werden, daß diese Fläche beim Brennen der benachbarten Öfen selbstverständlich teilweise mitbeheizt wurde und auch von der gesamten Beheizung teilweise profitierte.

Die „Geländeheizöfen Berg“ sind nicht ohne Absicht im Anschluß an das unbeheizte Feld aufgestellt worden. Bis zum Jahre 1959 bestand verbreitet eine ziemliche Skepsis gegenüber dem Wirkungsgrad kleinerer, improvisierter oder fabrikmäßig hergestellter Heizstellen. Es war daher von Interesse, sie unter kontrollierten Bedingungen der stärksten Belastung auszusetzen, um ein möglichst klares Bild von ihrer Leistungsfähigkeit zu erhalten. Die Bedenken, die bis dahin gegen sie vorgebracht wurden, waren nämlich vorwiegend theoretischer Art und waren nicht völlig frei von Vorurteilen. Aber auch bei Benutzung der Geländebeheizung können wir nur dann echte Fortschritte erzielen, wenn leidenschaftslos und mit voller Objektivität die Vor- und Nachteile sowohl der allgemeinen Methodik als auch der einzelnen Typen bzw. Systeme studiert und registriert werden.

Bei den übrigen Öfen wurden ältere mit neueren Typen verglichen, um sich von den Entwicklungsfortschritten zu überzeugen oder um noch vorhandene Mängel feststellen und Verbesserungsvorschläge machen zu können. Neben den Einzelöfen war von der Brenntag A. G. auf einer 0,32 ha großen Rebfläche eine zentralgesteuerte Beheizungsanlage mit 68 Freiluftbrennern des Typs 1959 erstellt worden. Bekanntlich wird bei diesem System das Heizöl von einem zentralgelagerten Gebinde durch eine motorgetriebene Pumpe über Metallrohre und Plastikschläuche zu den einzelnen Brennern geleitet.

Verlauf der Beheizungsaktion in der Zeit vom 19. — 22. 4. 1959

1. Frostnacht vom 19. — 20. April

Auf die Wetterentwicklung zu dieser Zeit sei wiederum auf Schneider (Seite 37) verwiesen. Nachdem am 18. 4. noch die aufgestellten Öfen mit Heizöl gefüllt worden waren und die Brenntaganlage montiert wurde, machte es die zunehmende Frostgefahr nach Absprache mit der Wetterwarte Würzburg am Sonntagnachmittag (19. 4.) nötig, für die kommende Nacht gerüstet zu sein. Einsatzleiter Lippe, der sich zum routinemäßigen Ablesen der meteorologischen Instrumente ohnedies im Versuchswienberg aufhielt, beobachtete daraufhin den Verlauf der Lufttemperatur und das Verhalten der Steinheuer'schen Frosterkennungsscheiben. Kurz nach Mitternacht erreichte die Temperatur den Gefrierpunkt bei Thermometer 29 (Schneider Abb. 2) und wenige Minuten später bei Thermometer 37. Als sich um 0.30 Uhr auf den Frosterkennungsscheiben, die in der Nähe dieser beiden Thermometer aufgehängt waren, Eis bildete, war der Zeitpunkt gekommen, um mit der Beheizung zu beginnen, und es wurden zunächst die als Sperrriegel gedachten Öfen angezündet (Abb. 4). Da innerhalb der geschützten Fläche die Temperatur langsam weiter absank und die Frosterkennungsscheiben Eisbildung zeigten, wurde auf den Feldern 5a und 3a

jeder 2. Ofen angezündet. Als um 7.30 Uhr die Lufttemperatur an der kältesten Stelle über 0°C angestiegen war, sind die Öfen gelöscht worden.

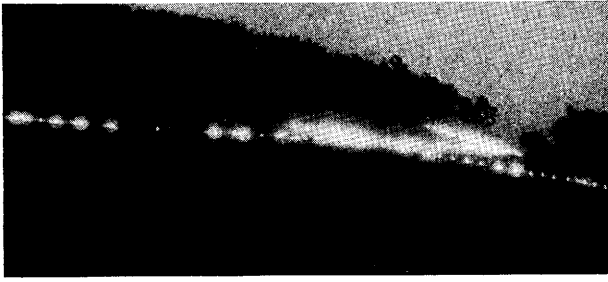


Abb. 4
Feuersperre und Sperrgürtel während des Einsatzes

2. Frostnacht vom 20. — 21. April

In dieser Nacht war mit stärkeren Frösten zu rechnen, und es wurde dementsprechend vorgesorgt durch Verstärkung des Bedienungspersonals, Auffüllen der Öfen, Ergänzungen an der Brenntaganlage usw. Nach Absprache mit den Herren vom Wetterdienst stand schon ab 20.00 Uhr das Bedienungspersonal zur Verfügung, und dieser Zeitpunkt war keineswegs verfrüht. Bereits gegen 20.30 Uhr sank die Lufttemperatur bei einigen Meßstellen unter den Gefrierpunkt. Nach weiterem Temperaturabfall trat gegen 21.40 Uhr auf einigen Frosterkennungsscheiben Eisbildung ein, so daß mit der Beheizung begonnen wurde, zunächst durch Anzünden der Sperriegel-Öfen. Da die Temperatur stetig sank, ist schließlich auch die Brenntaganlage einge-



Abb. 5
Teilansicht von Feld 1 während der Beheizung

schaltet worden, und die Öfen wurden auf den Feldern 1 — 5 stufenweise zum Brennen gebracht, zunächst jeder 2. Ofen und ab 23.15 Uhr der Rest der aufgestellten Öfen (Abb. 6). In den folgenden Stunden entwickelte sich ein geradezu dramatischer Ringkampf zwischen der Beheizung und dem sich ständig verschärfenden Frost, und es schien bisweilen so, als ob der Frost Sieger bleiben würde. Das Bedienungspersonal hatte alle Hände voll zu tun mit dem Entrüßen mancher Öfen, und bei der zentralgesteuerten Anlage konnte nur ein Teil der Brenner zur Funktion gebracht werden. Der kritische Zeitpunkt war gegen 4.30 Uhr gekommen, als die Temperatur ihren tiefsten Punkt erreichte und bei manchen Öfen, die bereits vor 22.00 Uhr angezündet worden waren und mit voller Heizleistung gebrannt hatten, das Öl zur Neige ging, so daß ein Nachfüllen nötig war. Bis 6.00 Uhr war die Bedienungsmannschaft vollauf beschäftigt mit dem Entrüßen der Öfen und dem Nachfüllen von Öl. Erst dann konnte mit

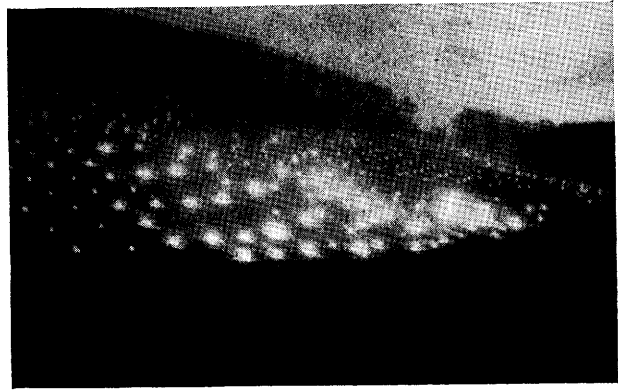


Abb. 6
Gesamtansicht des Versuchsweinberges bei voller Beheizung

den Anstrengungen nachgelassen werden, zumal die Temperaturen außerhalb der beheizten Fläche rasch anstiegen, so daß ab 6.50 Uhr mit dem stufenweisen Löschen der Öfen, in umgekehrter Reihenfolge wie beim Anzünden, begonnen werden konnte. Um 7.30 Uhr war die Frostgefahr endgültig gebannt, und es wurden die letzten Öfen gelöscht. Die Härte dieser langen Frostnacht dürfte allen, die an der Bekämpfungsaktion beteiligt waren, noch lange in Erinnerung bleiben.

3. Frostnacht vom 21. — 22. April

Trotz langsamer Erwärmung der Atmosphäre bestand auch noch für diese Nacht akute Frostgefahr, so daß wiederum alle Vorbereitungen für den Einsatz der Öfen getroffen wurden. Um 0.30 Uhr hatten die Thermometer an den kältesten Stellen den Gefrierpunkt unterschritten, und ab 1.00 Uhr zeigten die Frosterkennungsscheiben Eisbildung, so daß mit dem Anzünden der Sperriegelöfen begonnen wurde. Da die Temperatur weiter langsam absank, wurde ab 2.30 Uhr auch noch jeder 2. Ofen auf den verschiedenen Feldern angezündet. Das Anzünden weiterer Öfen unterblieb, da die Temperaturen außerhalb der beheizten Fläche nicht mehr wesentlich weiter abfielen und ab 5.00 Uhr ziemlich rasch anstiegen, so daß ab 5.30 Uhr die Öfen gelöscht werden konnten. Die Brenntaganlage wurde in dieser Nacht nicht eingesetzt. Nach dieser Nacht ließ sich der Erfolg der ganzen Frostbekämpfungsaktion übersehen, der alles in allem vollkommen positiv zu werten ist. Wohl nur ganz selten dürfte die Geländebeheizung einer stärkeren Belastung ausgesetzt sein als in der Nacht vom 20. — 21. 4. 1959, denn es ist nicht erinnerlich, daß bei Spätfrösten die Temperatur schon so früh am Abend unter den Gefrierpunkt gesunken wäre. Meistens ist erst nach Mitternacht, wie etwa in den Nächten vor und nach dem 21. 4., mit Frosteintritt zu rechnen. Solange im fränkischen Weinbaugebiet exakte Temperaturmessungen durchgeführt werden, wurden noch in keinem Fall tiefere Temperaturen als in dieser Nacht gemessen. Es ist daher die Leistung der Geländebeheizung als Frostbekämpfungsmethode um so höher einzuschätzen. Weder in den Nächten, in denen nur eine Teilbeheizung erfolgte, noch in der genannten Frostnacht, als die Totalbeheizung bis nahe an die Grenze ihrer Leistungsfähigkeit beansprucht wurde, ist es innerhalb der geschützten Flächen zu Schäden an den Reben gekommen. Welche Schäden zu erwarten gewesen wären, zeigte sehr deutlich die an das Feld 1 angrenzende unbeheizte Parzelle. Hier traten an den Reben der äußersten zwei Zeilen, die am weitesten von den Heizöfen entfernt standen, Totalschäden ein, weil auch die kleinsten Triebe völlig erfroren. Die Schäden wurden um so geringer, je näher die Rebzeilen zu der beheizten Fläche hin standen. In den fünf Zeilen, die an die beheizten Felder angrenzten, waren überhaupt keine Schäden entstanden. Es dürfte bei Rebschutzver-

suchen nicht häufig vorkommen, daß eine unbehandelte Parzelle einen derartig eindeutigen Unterschied zeigt. Diese Beobachtung scheint in einem gewissen Widerspruch zu den meteorologischen Meßwerten zu stehen, entsprechend denen die Temperaturerhöhung selbst durch die volle Beheizung nur 2—3° C beträgt. Wahrscheinlich müssen zur Erklärung des Beheizungseffektes auch noch die Wärmestrahlen der Öfen und biotische Faktoren der Reben berücksichtigt werden. Auf andere Weise könnten sonst auch die sehr guten Leistungen der kleinen Heizstellen nicht völlig erklärt werden.

Erfahrungen mit den verschiedenen Ofen- und Brennertypen

Wenn sich in den genannten Frostnächten die Geländebeheizung als wirksame und — pauschal gesehen — als zuverlässige Frostbekämpfungsmethode bewährte, so ließen doch verschiedene Ofentypen und auch die zentralgesteuerte Beheizungsanlage manche Schwächen erkennen, die verständlicherweise bei der starken Belastung während der Nacht vom 20. — 21. 4. entsprechend deutlich in Erscheinung traten. Die größeren Ofentypen verrußten durchweg bei längerem Brennen, selbst dann, wenn die Handregulierung noch so sorgfältig vorgenommen wurde. Das Entrußen war nicht nur lästig, sondern auch sehr zeitraubend; es kann nach unserer Auffassung vor allem in den Morgenstunden, wenn eventuell bei einzelnen Öfen Öl nachgefüllt werden muß, arbeitsmäßig nicht bewältigt werden. Es müssen daher solche Öfen gefordert werden, die bei möglichst gleichbleibender Heizleistung vollkommen wartungsfrei brennen. Daß die Konstruktion solcher Öfen möglich ist, zeigte der Schroth-Ofen Modell 59, der zwar in dieser Hinsicht schon weitgehend befriedigte, aber beim Löschen noch gewisse Schwierigkeiten bereitete, weil das Entfernen des heißen Kamins außerordentlich umständlich ist. So wünschenswert es wäre, daß alle Öfen — also nicht nur die größeren Typen — mit zunehmender Brenndauer, die tageszeitmäßig gesehen häufig mit einer Frostverschärfung parallel einhergeht, selbsttätig ihre Heizleistung verstärken, so skeptisch muß man nach unseren Erfahrungen dieser von der Werbung zugesagten Eigenschaft gegenüber sein. Die Regulierung der Gesamtheizung erfolgt am zweckmäßigsten durch ein stufenweises Anzünden und Löschen der Heizstellen. Man kann auf diese Weise die Leistung der Gesamtheizung der jeweiligen Frostlage und -stärke anpassen und dadurch Öl sparen. Die Berg'schen Geländeheizöfen befriedigten auch bei der sehr starken Belastung, der sie ausgesetzt waren. Hervorzuheben ist, daß sie vollkommen wartungsfrei brannten. Das Nachfüllen von Öl, das bei langer Frostdauer notwendig werden kann, ähnlich wie bei größeren Typen, wenn diese sehr stark beansprucht werden, macht bei ihnen keine besonderen Schwierigkeiten. Die Regulierung der Heizleistung kann auch hier recht gut durch ein stufenweises Anzünden und Löschen erfolgen. Die Frage, welche Größe der ideale Geländeheizofen haben sollte, konnte durch unsere Versuche natürlich nicht beantwortet werden, da sie nicht von vornherein gestellt worden war. Wir konnten jedoch beobachten, daß bei engem Stand der Reben die großen Öfen das höchstzulässige Maß nach oben besitzen und daß die kleinen Öfen allgemein an der unteren Grenze der Mindestgröße liegen. Weitere Fragen, z. B. ob ein Kamin zweckmäßig und notwendig ist, ob mittelgroße Ofentypen evtl. geeigneter sind als Fabrikate mit extremen Abmessungen usw., werden daher in den kommenden Jahren noch zu klären sein. So erfreulich die Tatsache ist, daß inzwischen bei einigen Ofentypen weitere Verbesserungen geschaffen und einige der von uns beobachteten Mängel beseitigt werden konnten, so muß

andererseits festgestellt werden, daß der ideale Ofentyp noch immer zu erfinden ist.

Die zentralgesteuerte Brenntag-Ölheizungsanlage hat bei dem heutigen Mangel an Arbeitskräften ihren unbestreitbaren Vorteil darin, daß zwar der Auf- und Abbau ähnlich arbeitsaufwendig ist wie das Aufstellen und Abräumen der Einzelöfen, daß aber der eigentliche Einsatz während der Frostnächte weniger Bedienungspersonal erfordert als eine entsprechende Anzahl von Einzelöfen. Für größere Weingüter kann dieser Vorteil sogar von entscheidender Bedeutung sein. Unsere Versuchsanlage funktionierte leider in der Nacht vom 20. zum 21. 4. nicht, da die neuartigen Freiluftbrenner des Typs 1959 — selbst bei einwandfreier Ölbeschaffenheit — so häufig verstopfte Düsen hatten, daß gleichzeitig höchstens ein Drittel aller Brenner brannte. Auch hier konnte dieser Mangel durch die Verwendung anderer Brenner inzwischen behoben werden. Es darf jedoch nicht übersehen werden, daß die Verwendung einer Motorpumpe weitere Störungsmöglichkeiten in sich birgt. Unter Umständen kann durch den Ausfall des Motors der ganze Erfolg der Frostbekämpfungsaktion in Frage gestellt werden. Die Bereitstellung eines Reserveaggregates ist daher unbedingt erforderlich und wird die Anlage dementsprechend verteuern.

Kalkulation des Beheizungseffektes

Um den Beheizungseffekt zahlenmäßig ausdrücken zu können, muß man sich fragen, welcher Ertragsausfall auf der Fläche entstanden wäre, wenn in den drei Nächten nicht geheizt worden wäre. Selbstverständlich kann man hier nur schätzen, wobei versucht werden soll, diese Schätzung durch möglichst exaktes Zahlenmaterial zu stützen. Bei der Lese 1959 ist der Traubenertrag der gesamten beheizten Fläche gewogen worden. Er betrug, der einfacheren Berechnung wegen auf die Flächeneinheit bezogen, je Hektar 11 233 kg Trauben. Auf der 7,5 ar großen „unbeheizten“, aber trotzdem teilgeschützten Fläche sind 519,8 kg Trauben geerntet worden, die einem Hektarertrag von 6 930 kg entsprechen. Vergleicht man die Hektarerträge der beheizten und unbeheizten Fläche, so errechnet sich für die unbeheizte Parzelle ein Minderertrag von 4 303 kg/ha. Das wiederum entspricht einem Ausfall von 38,3%. Da wie oben beschrieben, die unbeheizte Fläche in ihrem westlichen Teil von der angrenzenden beheizten Fläche mitbeheizt wurde, wäre ohne diesen teilweisen Schutz der Ausfall wesentlich größer gewesen und muß, bei ganz vorsichtiger Schätzung, mit mindestens 75% angenommen werden. Entsprechend der registrierten Temperaturverteilung wäre in der Nacht vom 20. — 21. 4. mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit ein derart starker Teilschaden auf einer größeren Fläche im östlichen Teil des Weinbergs, der im unmittelbaren Bereich des Kaltlufteinfalles lag, entstanden. Nach Westen zu wurden etwas höhere Temperaturwerte gemessen; infolgedessen wären die Schäden im westlichen Teil der geschützten Fläche geringer gewesen. Das würde auch den tatsächlichen Gegebenheiten entsprechen, denn die an die beheizte Fläche nach Westen zu angrenzenden, ungeschützten Rebbestände hatten nur ganz geringfügige Schäden davongetragen. Die Frage, inwieweit diese Reben von der gesamten Beheizung profitierten und daher nur belanglose Schäden zeigten, soll nicht berücksichtigt werden. So kann man bei sehr vorsichtiger Schätzung an Hand des vorliegenden Zahlenmaterials in Verbindung mit den gemachten Beobachtungen annehmen, daß auf der Versuchsfläche ohne Beheizung ein durchschnittlicher Ernteausschlag von 50% entstanden wäre. Bei der tatsächlichen Ernte von 11 233 kg Trauben je Hektar würden diese 50% eine Ernteminderung von 5 616,5 kg Trauben je Hektar bedeuten. Somit stünde der tatsächlichen Erntemenge der wahrscheinliche Er-

trag von 5 616,5 kg/ha gegenüber. Die tatsächlich geerntete Traubenmenge von 11 233 kg/ha erbrachte bei Mostgewichten von 98 bis 106 Grad Oechsle eine Mostmenge von 83,1 Hektoliter je Hektar, für die ein Herbstpreis von 210.— DM/hl anzusetzen wäre. Somit würde der Roherlös je Hektar beheizter Fläche etwa 17 451.— DM betragen. Von dieser Summe müssen einerseits abgezogen werden die Bebauungskosten des Weinberges und andererseits die Beheizungskosten. Letztere ergeben sich aus den Kosten für die Öfen sowie aus den Löhnen und dem Ölverbrauch während der Beheizungsaktion. Während sich die Löhne und der Ölverbrauch sehr leicht erfassen lassen, ist es wesentlich schwieriger, die jährlichen Kosten für die Öfen zu errechnen. Die mancherseits aufgestellten Berechnungen sind häufig nach unserer Meinung zu günstig „frisiert“. Bei einer mittleren Bestückungsdichte muß man für die Öfen pro Hektar Rebfläche einen mittleren Anschaffungspreis von 3 250.— DM zugrunde legen. In diesem Betrag sind die Nebenkosten, z. B. der Anschaffungspreis für Ölgebinde, Anzündkannen, Löschzangen, Handschuhe, Schutzanzüge, Thermometer, Frosterkennungsscheiben und Taschenlampen enthalten. Von diesen Gesamtanschaffungskosten sind jährlich einerseits 10% als Abschreibung und andererseits 10% für Verzinsung und Amortisation abzusetzen. Es dürfte sehr empfehlenswert sein, für die jährliche Abschreibung eine durchschnittliche Lebensdauer von höchstens 10 Jahren für die Öfen anzunehmen. 20 und eventuell noch mehr Jahre in Ansatz zu bringen, wie es bisweilen geschieht, ist nach unserer Auffassung abwegig, denn für die jährliche Abschreibung darf nicht nur der Verschleiß durch den tatsächlichen Gebrauch angenommen werden, sondern muß auch der stille Verschleiß durch die Lagerung sowie die Entwertung durch die technische Veralterung berücksichtigt werden. Wir konnten beobachten, daß sich insbesondere bei den Kaminen bereits nach mehrmaligem Brennen der Öfen eine deutliche Materialmüdigkeit bemerkbar machte. Bei den Ölbehältern traten nicht selten Risse an der Schweißnaht auf. Bei längerem Stehen im Freien bildet sich schon nach einmaligem Brennen unter der Rußschicht sehr leicht Rost, der zunächst nicht wahrgenommen wird. Daß die technische Veralterung einen nicht zu unterschätzenden Faktor

darstellt, ergibt sich aus der Tatsache, daß allein eine Herstellerfirma in einem Zeitraum von 5 Jahren nacheinander vier Ofentypen herausbrachte, die zum jeweiligen Zeitpunkt das Höchstmaß an Vollkommenheit darstellten. 10% Verzinsung und Amortisation pro Jahr sind geschäftsüblich. Demnach ist folgende Aufgliederung durchaus wirklichkeitsnah und berechtigt:

Tab. 2

Kosten der Beheizungsaktion je Hektar Fläche		
Abschreibung für Öfen und sonstiges Gerät (bei einer Lebensdauer von 10 Jahren)		
10% des Gesamtanschaffungswertes von 3 250.— DM		325.— DM
10% Verzinsung und Amortisation		325.— DM
Heizölverbrauch in 3 Frostnächten 7080 kg à 0.18 DM		1 274.40 DM
Löhne (2 Mann/ha)		
Aufstellen und Füllen der Öfen 36 Stunden à 3.10 DM	93.— DM	
Einsatz in 3 Frostnächten 30 Stunden à 3.10 DM	101.60 DM	
Ausleeren, Reinigen und Stapeln der Öfen 12 Stunden à 3.10 DM	37.20 DM	231.80 DM
Kosten der Beheizung insgesamt		2 156.20 DM

Wäre nicht geheizt worden, so hätten die wahrscheinlich geernteten 5 616,5 kg Trauben/ha eine vermutliche Mostmenge von 41,55 hl/ha ergeben mit einem Erlös von ca. 3 725.— DM nach Abzug der obengenannten Bebauungskosten. Stellt man diesem geschätzten Ausfall den tatsächlichen Erlös von ca. 10 750.— DM gegenüber, so ergibt sich als Heizungseffekt ein Gewinn von ca. 6 549.40 DM je Hektar.

Tab. 3

Beheizungseffekt je Hektar Fläche

	beheizte Fläche	unbeheizte Fläche
Traubenertrag	11 233.0 kg	5 616.5 kg
Mostausbeute	83.1 hl	41.55 hl
Rohgewinn (bei einem Herbstpreis von DM 210.— / hl)	17 451.20 DM	8 725.60 DM
Bebauungskosten	5 000.— DM	5 000.— DM
Beheizungskosten	2 156.20 DM	—.— DM
Gesamtunkosten	— 7 156.20 DM	5 000.— DM
Geldrohertrag	10 295.— DM	3 725.60 DM
abzüglich Rohertrag der unbeheizten Fläche	— 3 725.60 DM	
Mehrerlös auf der beheizten Fläche	6 569.40 DM	

Somit erreichte der Beheizungsversuch vollauf den von uns beabsichtigten Zweck. Unter kontrollierten Bedingungen konnte bewiesen werden, daß die Gelände-

beheizung auch bei sehr starken Belastungen durch langandauernde und scharfe Spätfröste eine leistungsfähige und zuverlässige Bekämpfungsmethode darstellt.

Es konnten wertvolle Erfahrungen gesammelt werden zu der Frage, wie die Heizleistung am zweckmäßigsten dem Verlauf des Frostgeschehens und der Stärke des Frostes angepaßt werden kann. Es war möglich, die Leistungsfähigkeit der verschiedenen Ofen- und Brennertypen kritisch zu beobachten, ihre positiven und negativen Seiten gegeneinander abzuwägen und den Herstellerfirmen daraus resultierende Verbesserungsvorschläge zu machen. Eine scharfe Kalkulation des

Beheizungseffektes ergab, daß in frostgefährdeten Weinbergsanlagen die Frostbekämpfung durch Geländebeheizung genügend rentabel bleiben wird, selbst wenn der Herbstpreis für den Most niedriger ist als bei dem sehr guten Jahrgang 1959. Schließlich diente der Versuch als Grundlage für umfangreiche meteorologische Beobachtungen des Wetterdienstes, die es ermöglichten, die bisherigen Erkenntnisse der Forschung durch weitere neue Gesichtspunkte zu ergänzen.

3.2. Einfluß der Geländeheizung auf die Lufttemperatur und Folgerungen für die Methodik bei der Prüfung der Wirksamkeit von Frostschutzmaßnahmen

von

Maximilian Schneider

(mit 27 Abbildungen im Text)

Zusammenfassung

Die Auswirkungen des Frostschutzes durch Heizung auf die Lufttemperatur wurden in einem in der Nähe von Veitshöchheim (bei Würzburg) gelegenen Weinberg in der Frostnacht vom 20. zum 21. 4. 1959 untersucht. Um die Heizwirkung beurteilen zu können, wurde auch die normale, gelände- und vegetationsbedingte Verteilung der Minimumtemperaturen bei Strahlungswetterlagen in dem Weinberg ermittelt. Die dabei angewandte Methodik wird beschrieben. Ferner wird über Erfahrungen bei der Durchführung von Fesselballonaufstiegen zur Ermittlung der Temperaturschichtung in Tälern berichtet. Die Untersuchungen ergeben, daß Messungen der Lufttemperatur (festgestellte Erhöhung durch Heizung im Zentrum der Heizfläche maximal 3,0 bis 3,5° C, zum Rande der Heizfläche bis auf 1,0° C abfallend) allein zur Beurteilung der Frostschutzwirkung nicht ausreichen, sondern durch Messungen der Pflanzengewebetemperatur ergänzt werden müssen. Aus Stichprobenmessungen der Pflanzengewebetemperatur ergibt sich die Nichteignung von sog. Frosterkennungsscheiben zur Ermittlung des Beginns der Frostschutzberechnung. Die Meßergebnisse weisen eindringlich auf die Notwendigkeit der Entwicklung von Geländeheizverfahren hin, bei denen die Heizleistung im Laufe des Einsatzes zunimmt oder gleichbleibt.

Abstract

The influences of frost protective heating on the air temperature have been studied in a vineyard near Veitshöchheim (near Würzburg) in the frost night 20/21 April 1959. In order to judge the heating effect, the normal distribution (dependent of topography and vegetation) of the minimum temperatures in radiation nights has been established for the vineyard. The applied methodology is described. Kite-balloon ascents which were made to measure the temperature stratification in valleys, are discussed. The results have shown that the observation of the air temperature (measured increase of temperature by heating up to 3.5° C in the centre of the heated area, decreasing towards the marginal area to 1° C) does not suffice to judge the efficiency of the frost protection measures, but that complementary measurements of the plant tissue temperature will have to be made. Observations of the plant tissue temperature taken at random have shown that the so-called frost recognition disks are not suitable for timing the beginning of sprinkling. The results clearly demonstrate the necessity of developing heating procedures with increasing or constant output during the frost nights.

Einleitende Bemerkungen

Im Frühjahr 1959 führten die Bayerische Landeslehr- und Versuchsanstalt für Wein-, Obst- und Gartenbau in Veitshöchheim und der Deutsche Wetterdienst gemeinsam einen Frostschutzversuch mit Geländeheizöfen durch, zu dem das Land Bayern dankenswerterweise Mittel zur Deckung eines Teiles der Unkosten zur

Verfügung stellte. Als Versuchsgelände diente ein Weinberg der Landeslehr- und Versuchsanstalt in der Lage „Thüngersheimer Neuberg“ (Lageplan s. Abb. 1). Die technische Durchführung des Versuches (Aufstellung der Öfen, Heizung, Wartung und Nachfüllen der Öfen) lag in den Händen der Lehr- und Versuchsanstalt. Aufgabe des Deutschen Wetterdienstes war es, die Auswirkungen der von der Landeslehr- und Ver-

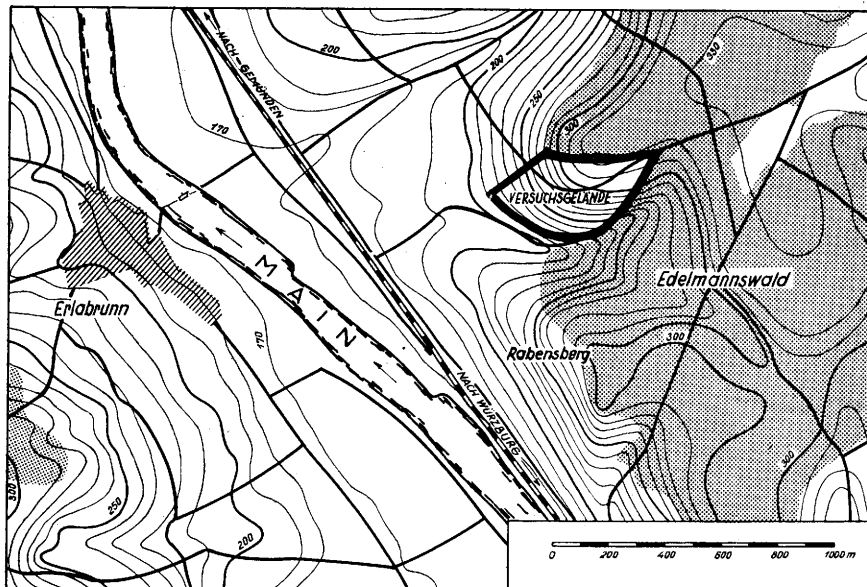


Abb. 1
Lage des Versuchsgeländes

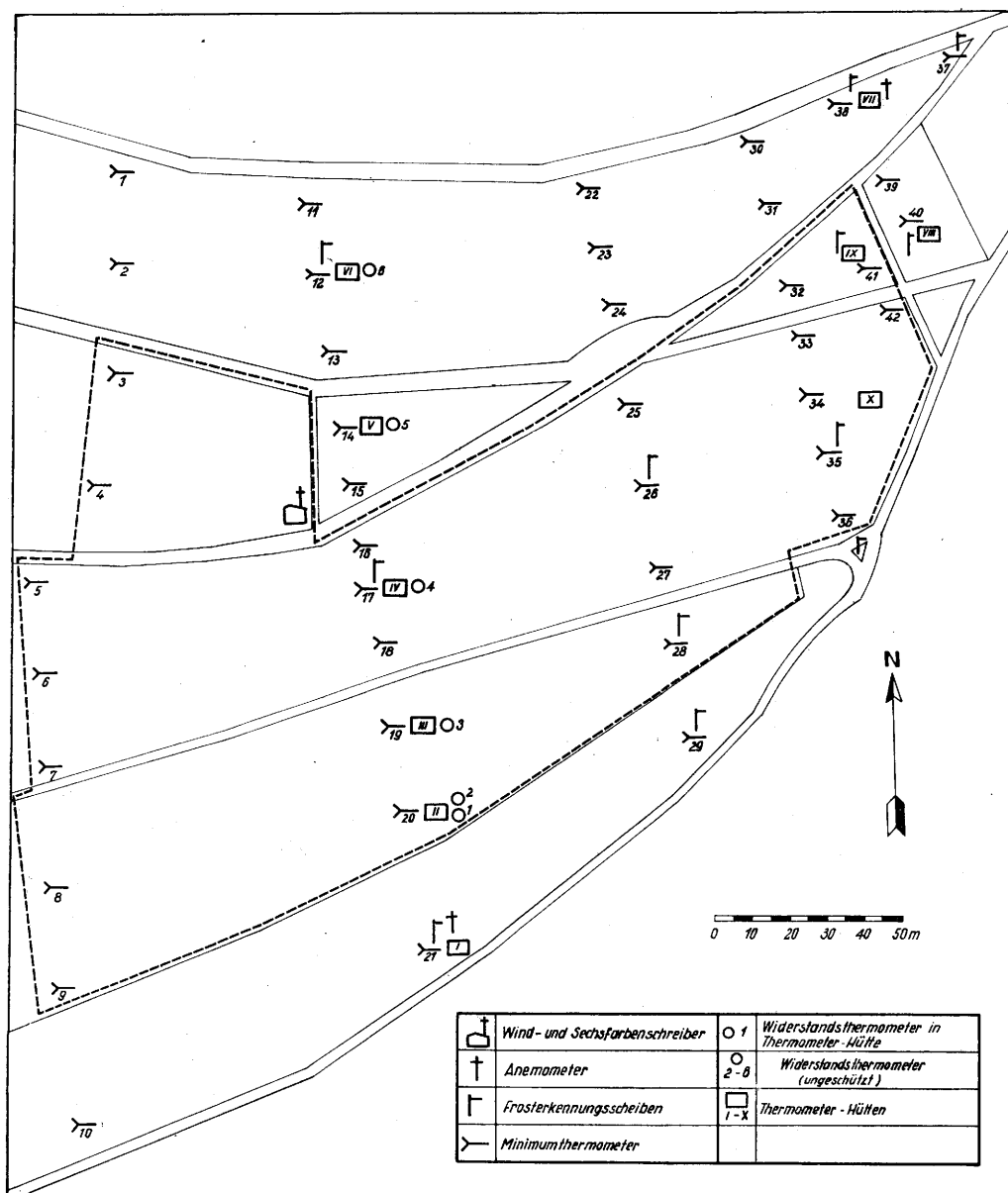


Abb. 2
Instrumentenaufstellung
(----- Grenze der beheizten Fläche)

suchsanstalt getroffenen Maßnahmen auf die Temperaturverhältnisse festzustellen. Mit dieser Aufgabe wurden von seiten des Deutschen Wetterdienstes das Referat „Geländeklimatologie“ der Abteilung „Agrarmeteorologie“ im Zentralamt des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach a. M., und die Wetterwarte und Agrarmeteorologische Beratungsstelle Würzburg betraut.

Entsprechend der Aufgabenteilung sind die nähere Charakterisierung des Untersuchungsgeländes, die Beurteilung der verwendeten Ofentypen und ihre Verteilung im Gelände, die näheren Angaben über die Durchführung der Heizung sowie über die dabei gewonnenen technischen Erfahrungen (Ölverbrauch, Brennverlauf usw.) und erzielten Erfolge (Ertrag bzw. Ertragsausfall im Weinberg) nicht hier, sondern im vorstehenden Abschnitt 3.1. von W. Kaufhold (Bayer. Landesanstalt für Wein-, Obst- und Gartenbau) zu finden.

Versuchsanordnung und Untersuchungsziel

Im gesamten Versuchsgelände kamen 42 Minimumthermometer, 10 Thermometerhütten mit Schreibgeräten, 1 Kontaktanemometer und 2 Handanemometer, ferner einige Steinheuer'sche Frosterkennungsscheiben zur Aufstellung. Der Aufbau der Instrumente wurde am 16. und 17. 4. durchgeführt. Abb. 2 zeigt die Verteilung der Meßgeräte. Das Netz der Minimumthermometer umfaßte vier, senkrecht zu den Höhenschichtlinien verlaufende Profile:

- Profil I: Thermometer 1 — 10
- Profil II: Thermometer 11 — 21
- Profil III: Thermometer 22 — 29
- Profil IV: Thermometer 30 — 36

Im Profil II standen 6 Thermometerhütten, die mit Thermohygrographen bzw. Thermo- und Hygrographen ausgestattet waren. Bei diesen Hütten waren ferner Degussa-Hartglas-Widerstandsthermometer frei aufgestellt, worüber R. Weise in dem folgenden Abschnitt 3.3. nähere Ausführungen machen wird. In dem Häuschen, das etwa in der Mitte des Profiles steht, war der dazugehörige Sechsfarbensreiber untergebracht. Auf dem Dach des Häuschens wurde ein Kontaktanemometer montiert. Ein Handanemometer fand im Tal neben Thermometer 21 Aufstellung. Eine weitere Thermometerhütte wurde im Profil IV neben Thermometer 35 plazierte.

Außerhalb dieser Profile wurden im rechten oberen Teil noch einige besondere Meßstellen errichtet, da nach Angaben der Lehr- und Versuchsanstalt dort eine Einbruchsstelle für Kaltluft sein sollte (Thermometer 37, 38 und 39, Hütte VII und ein Handanemometer).

Die beheizte Rebfläche ist durch eine gestrichelte Linie umrahmt. Der rechte Teil der oberhalb der Linie liegenden, also unbeheizten Fläche war unbewachsen, auf dem linken Teil befand sich ein Luzernebestand. Die von der rechten oberen Ecke der Heizfläche schräg nach links oben verlaufene Reihe kleiner Kreise soll eine Doppelreihe von Heizöfen andeuten, die dort aufgestellt war, um ggf. die von o.a. Kaltlufteinbruchsstelle kommende Kaltluft am Vordringen in den Weinberg zu hindern. Die Fläche, in der die Thermometer 39 und 40 sowie die Hütte VIII aufgestellt waren, ist zwar mit Reben bestanden, blieb aber zu Vergleichszwecken unbeheizt. Dem Vergleich zwischen beheizter und unbeheizter Rebfläche dienten auch die Thermometer 41 und 42 sowie die Hütte IX, die in beheizter Rebfläche lagen. Es war zu befürchten, daß die unbeheizte Vergleichsfläche infolge ihrer unmittelbaren Nachbarschaft neben der beheizten Rebfläche von der Heizung mit beeinflusst würde und daß deshalb keine endgültige Aussage über die Heizwirkung möglich sein werde. Leider stand

uns aber keine bessere Vergleichsparzelle zur Verfügung. Bei der Auswertung der Versuchsergebnisse stellte sich jedoch heraus, daß diese Befürchtungen weitgehend unbegründet waren und daß die rechte obere Ecke nahezu unbeeinflusst von der Heizung blieb (s. Abb. 13).

Alle Instrumente (mit Ausnahme der Anemometer) wurden in 70 cm Höhe über dem Boden, also etwa in Höhe der frostempfindlichen Rebteile aufgestellt. Die Minimumthermometer befestigten wir mit Extremthermometerhaltern an Eisenstangen und umgaben sie nach dem Vorbild Geiger's (1) mit einem halbkreisförmigen Strahlungsschutz. Die Strahlungsschutzvorrichtungen hatten wir uns auf einfachste Weise selbst aus Drahtgestellen gefertigt, auf denen wir Hochglanz-Metallfolien befestigten. Zur Ablesung und Neueinstellung der Thermometer wurde der Strahlungsschutz abgenommen.

Die Schreibgeräte waren in zerlegbaren Thermometerhütten mit einfachen Jalousien untergebracht, die sich im Geländeeinsatz bereits vielfach ausgezeichnet bewährt haben. Die Hütten sind vollkommen in sechs flache, gut zu stapelnde Teile zerlegbar und lassen sich daher leicht mit einem Kraftwagen in größerer Anzahl transportieren. Der Zusammenbau dauert nur wenige Minuten. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß die Hütten abschließbar sind, wodurch die Instrumente vor Spielereien Unbefugter im Gelände wenigstens einigermaßen geschützt sind.

Abb. 3 und 4 zeigen Beispiele der Instrumentenaufstellung. Bei Abb. 3 (Hütte V, Thermometer 14) steht

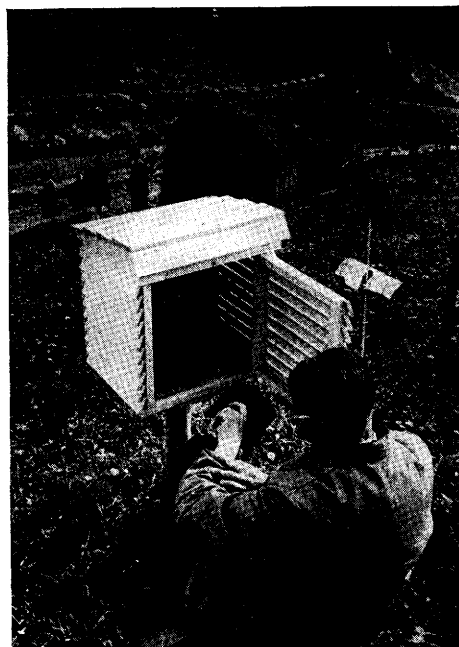


Abb. 3

Hütte V mit Thermograph und Hygrograph, rechts davon Minimumthermometer 14, im Hintergrund Weinberghäuschen (Depot) mit Kontaktanemometer

im Vordergrund eine der zerlegbaren Hütten mit offener Tür. In der Hütte ist ein Thermograph und ein Hygrograph untergebracht. Rechts neben der Hütte steckt ein Metallstab im Boden, an dem ein Minimumthermometer mit Strahlungsschutz befestigt ist. Auf dem Dach des Weinberghäuschens im Hintergrund ist der Mast mit dem Kontaktanemometer erkennbar. Im Weinberghäuschen selbst befinden sich der zum Kontaktanemometer gehörende Chronograph und ein Sechsfarbensreiber. Auf Abb. 4 (Hütte I, Thermometer 21) ist eine Thermometerhütte von hinten seitwärts in geschlossenem Zustand, links daneben eine Minimum-

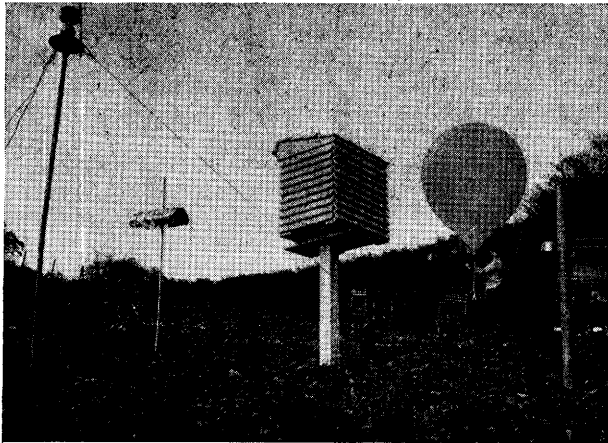


Abb. 4

Hütte I, links davon Minimumthermometer 21 und Handanemometer, rechts davon Radiosondenballon, Steinheuer'sche Frosterkennungsscheibe und Meßwagen

thermometeraufstellung und ein Handanemometer, rechts daneben eine Steinheuer'sche Frosterkennungsscheibe zu sehen. Im Hintergrund wird gerade ein Radiosondenballon zum Aufstieg als Fesselballon fertig gemacht.

Wir verwendeten bei den Untersuchungen strahlungsgeschützte Thermometer aus verschiedenen Gründen:

- 1.) Die Minimumthermometer sollten u. a. dazu dienen, um die Abweichungen der Minimumtemperaturen in den einzelnen Teilen des Weinberges in Strahlungs-nächten zu ermitteln. Nach den für die Geländeklimatologie im Deutschen Wetterdienst geltenden Richtlinien (2) sollen dazu nur Minimumthermometer mit Strahlungsschutz eingesetzt werden.
- 2.) Minimumthermometer ohne Strahlungsschutz müssen tagsüber wegen der Sonneneinstrahlung eingezogen werden. Dazu fehlten uns die notwendigen Arbeitskräfte.
- 3.) Alle bisher beschriebenen Temperaturmeßgeräte sollten dazu dienen, den Einfluß der Heizung auf die Lufttemperatur zu ermitteln und wurden deshalb in Hütten oder zumindest strahlungsgeschützt aufgestellt, um den Einfluß der Wärmestrahlung der Öfen auf die Temperaturanzeige auszuschalten.

Man könnte an dieser Stelle einwerfen, daß auch die Pflanzenteile bei der Heizung der Wärmestrahlung der Öfen ausgesetzt seien. Aber leider ist bis jetzt unbekannt, inwieweit die Erwärmung der Pflanzenteile durch langwellige Strahlung der Strahlungserwärmung von Thermometern entspricht. Zur Klärung dieser Probleme beabsichtigten wir deshalb, folgende Messungen durchzuführen:

- 1.) Messung der Heizungswirkung auf die Lufttemperatur (Temperaturmessung in Hütten bzw. unter Strahlungsschutz) zur Ermittlung des sog. konvektiven Anteils der Heizwirkung,
- 2.) Messung der Gewebetemperaturen der Reben zur Feststellung der Gesamtheizwirkung auf Pflanzen (konvektiver und strahlungsbedingter Anteil),
- 3.) Messung mit strahlungsgeschützten Thermometern zur Klärung der Frage, ob und in welchem Ausmaß derartige Versuchskörpertemperaturen als Anhaltspunkte für die Gesamtwirkung der Heizung auf Pflanzenteile angesehen werden können (siehe Abschnitt 3.3. von Weise).

Der Vergleich zwischen 1.) und 2.) ließe Rückschlüsse auf den strahlungsbedingten Anteil der Heizungswirkung zu, also auf den Anteil, der in weit geringerem Ausmaß durch die Witterungsverhältnisse (Größe der

Inversion, Wind, geländebedingte Temperaturverteilung) beeinflußt wird als der konvektive Anteil.

Leider konnte dieses Untersuchungsziel aus einem ganz alltäglichen Grund nicht erreicht werden: Das Meßgerät zur Messung der Gewebetemperaturen an verschiedenen Stellen im Gelände (20 Meßstellen) konnte von der Lieferfirma nicht termingerecht fertiggestellt werden. Als es endlich einsatzbereit war, traten keine Nachtfroste mehr auf; nicht einmal das Glück einer Strahlungsnacht mit positiven Temperaturen wurde uns bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes (21. 5.) zuteil, so daß wir uns mit Probemessungen begnügen mußten, die zwar die Richtigkeit des eingeschlagenen Weges zeigten, aber kein quantitatives Ergebnis liefern konnten.

Temperaturverteilung im Weinberg in Strahlungsnächten

Um die Wirkung der Geländeheizöfen auf die Lufttemperatur beurteilen zu können, muß die Verteilung der Minimumtemperaturen, die sich normalerweise in Strahlungsnächten einstellt, bekannt sein; denn nur die durch die Heizung hervorgerufene Abweichung von der normalen Temperaturverteilung in Strahlungsnächten kann als Heizwirkung gedeutet werden, nicht aber die Verteilung der Minimumtemperaturen in der Heiznacht unmittelbar. Zu diesem Zweck wurden die 42 Minimumthermometer in der Zeit vom 18. 4. bis 20. 5. täglich — ohne Rücksicht auf die herrschende Witterung — abgelesen und neu eingestellt. Die Auswahl der als Strahlungsnächte anzusehenden Nächte erfolgte nachträglich auf Grund der Wind- und Temperaturregistrierungen im Weinberg und auf Grund der Wetterbeobachtungen der etwa 10 km vom Weinberg entfernt gelegenen Wetterwarte Würzburg. Dabei wurden die für die Kartierung der Frostgefährdung im Deutschen Wetterdienst gültigen Kriterien (2) für die Ermittlung von Strahlungsnächten angewandt:

Unter „Strahlungsnacht“ wird eine Nacht mit geringer Bewölkung und mit geringer Luftbewegung verstanden. Eine solche „Strahlungsnacht“ ist gegeben, wenn folgende Bedingungen gleichzeitig erfüllt sind:

- 1.) Der Bewölkungsgrad soll während der Nacht $\frac{2}{10}$ nicht übersteigen.
- 2.) Die Windgeschwindigkeit in 2 Meter Höhe soll im Mittel der Nacht nicht mehr als 1,5 m/sec betragen. Nur für Gegenden mit stärkerer Belüftung (küsten-nahe Gebiete) sollen auch Nächte mit Windgeschwindigkeiten bis höchstens 3 m/sec zugelassen sein, sofern die auftretenden Temperaturunterschiede im zu kartierenden Gelände strahlungsbedingt erscheinen und die übrigen Bedingungen für Strahlungsnächte erfüllt sind. Wird ein registrierendes Windmeßgerät einer benachbarten Klimastation zur Beurteilung herangezogen, dann muß die Höhe des Gebergerätes für die Bewertung der Windgeschwindigkeit beachtet werden.
- 3.) Bei der Entscheidung darüber, ob eine Meßnacht eine Strahlungsnacht war, sind auch die Temperatur- und Feuchtigkeitsregistrierungen heranzuziehen, die einen möglichst ungestörten Verlauf mit Extremwerten um Sonnenaufgang zeigen sollen.
- 4.) Als Kriterium einer „Strahlungsnacht“ ist auch die Temperaturdifferenz zwischen Hüttenminimum und Minimum am Erdboden anzusehen ($\Delta t \geq 2^{\circ} \text{C}$).
- 5.) In Zweifelsfällen gibt den Ausschlag das Ergebnis der Prüfung, ob die im Gelände in der betreffenden Nacht aufgetretenen Unterschiede in den Minimumtemperaturen strahlungsbedingt erscheinen oder nicht.

Bei der Überprüfung unserer Meßergebnisse vom 18. 4. bis 20. 5. ergab sich, daß 10 Nächte dieses Zeitraumes als Strahlungsnächte angesehen werden konnten. Drei Nächte davon mußten ausgeschieden werden, weil in ihnen wegen Unterschreitens des Gefrierpunktes geheizt worden war. Bei den verbliebenen 7 Nächten ergab sich das eigenartige Bild zweier verschiedener Verteilungen der Minimumtemperaturen (Abb. 5 und 6).

Der wesentliche Unterschied der beiden Verteilungen, in denen die Abweichungen der Minimumtemperaturen der einzelnen Geländestellen von der Minimumtemperatur an der Station 10 (am tiefsten gelegene Meßstelle) dargestellt sind, ist an der rechten oberen Ecke in der Umgebung der Meßstelle 37 zu erblicken: Bei Abb. 5 ist die Meßstelle 37 um 3,0° C wärmer als die Meßstelle 10, bei Abb. 6 hingegen ebenso kalt wie Station 10. Die

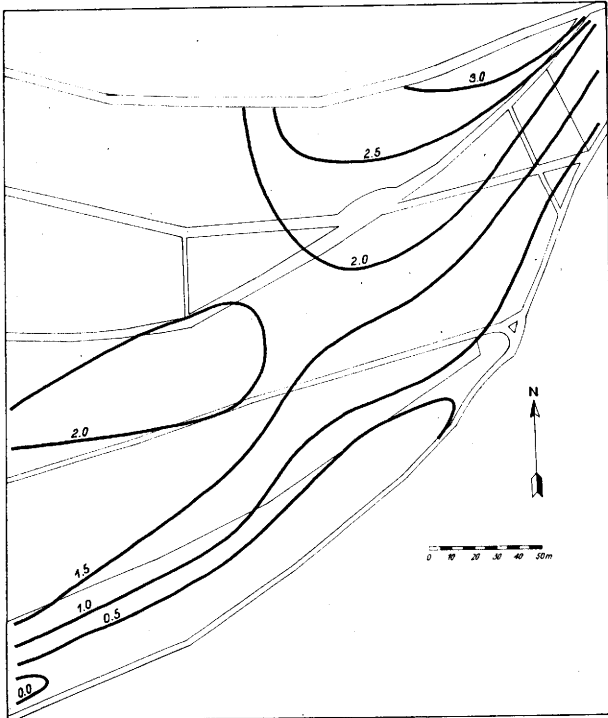


Abb. 5

Mittlere Abweichung der Minimumtemperaturen von der Minimumtemperatur des Thermometers 10 in den Strahlungsnächten 8./9., 9./10., 10./11., 11./12. und 12./13. Mai 1959

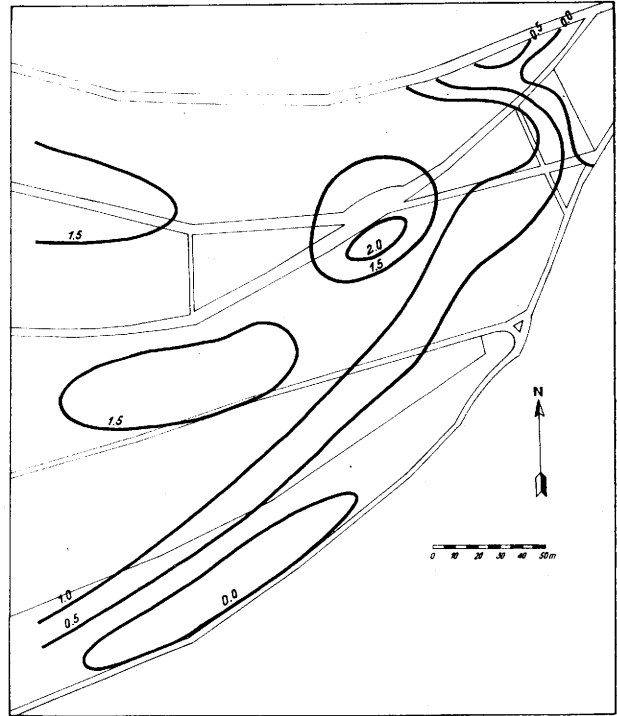


Abb. 6

Mittlere Abweichung der Minimumtemperaturen von der Minimumtemperatur des Thermometers 10 in den Strahlungsnächten 22./23. April und 7./8. Mai 1959

Temperaturverteilung der Abb. 5 stellte sich in 5, die der Abb. 6 in 2 der 7 Strahlungsnächte ein. Abb. 6 läßt sich nur durch die Annahme erklären, daß in diesen beiden Nächten ein Kaltlufteinbruch an der rechten oberen Ecke des Weinberges vor sich ging.

Ein Blick auf das Untersuchungsgebiet (Abb. 7) bestätigt diese Annahme: Der gesamte Weinberg ist von der darüber liegenden, ackerbaulich genutzten Hochfläche durch Hochwald abgeschildert. Nur im rechten Teil weist der Hochwald eine Lücke auf, die bei ent-

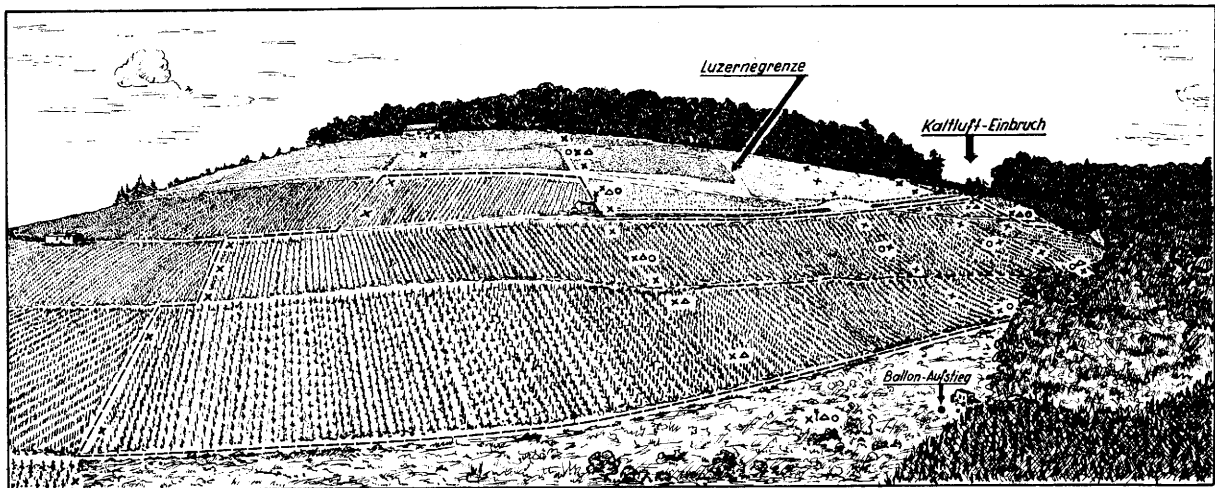


Abb. 7

Ansicht des Untersuchungsgebietes
(----- Grenze des beheizten Gebietes, x = Minimumthermometer, Δ = Wetterhütten, o = Frosterkennungsscheiben, × = Windmesser)

sprechenden Strömungsverhältnissen der auf der Hochfläche entstandenen Kaltluft den Weg in den Weinberg freigibt. Diese Waldlücke ist zwar bereits wieder auf-

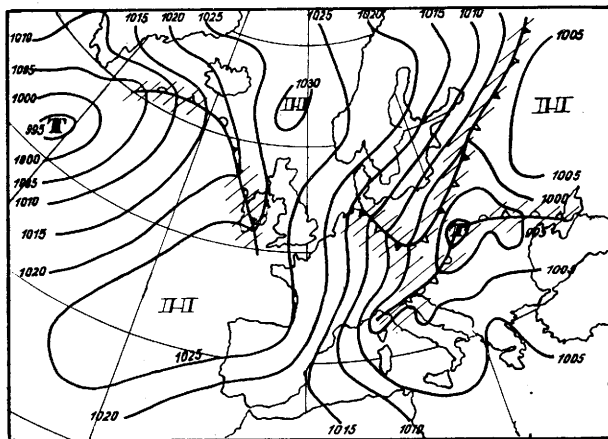
geforstet, doch reicht die Höhe der Bäume noch nicht aus, um die Kaltluft bei bestimmten Wetterlagen vom Weinberg fernzuhalten. Eine leichte Nordströmung ge-

nügt, um die Kaltluft an dieser Stelle in den Weinberg zu drücken und die in Abb. 6 dargestellte Verteilung der Minimumtemperaturen zu verursachen. Wenn sich die Waldlücke einmal geschlossen hat, dürfte in Strahlungsnächten ausschließlich das Verteilungsbild der Abb. 5 zu beobachten sein, das wir deshalb als Normalverteilung annehmen können. Allerdings weist Abb. 5 auch eine geländeklimatologisch interessante Besonderheit auf, die durch den Bewuchs bedingt ist und verschwinden wird, wenn einmal das gesamte Gelände wieder mit Reben bepflanzt ist; ich meine das auffällige Umbiegen der Isolinien 2,5° und 2,0° C etwa in der Mitte des Untersuchungsgeländes und ihren Verlauf senkrecht zu den Höhengichtlinien bis zum Hochwald hinauf. Dabei kommt die Isolinie 2,0° C fast genau auf die Grenzlinie zwischen dem z. Z. der Untersuchung unbewachsenen Boden (rechts) und dem Luzernebestand (links) zu liegen. Ruft man sich die Erkenntnisse der Mikroklimatologie ins Gedächtnis zurück, nach denen gerade Klee- und Luzernebestände als besonders große Kaltluftproduzenten anzusehen sind, so wird verständ-

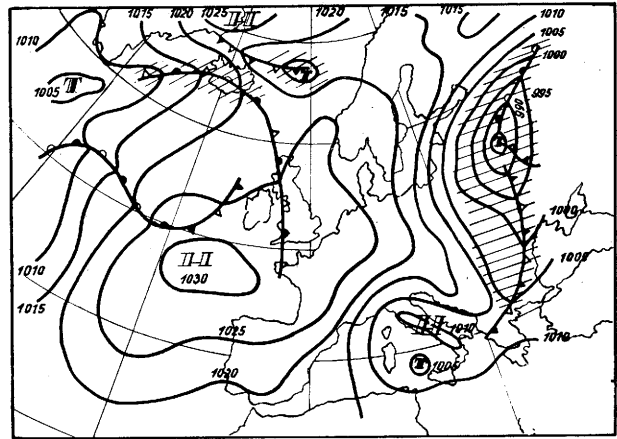
lich, warum die linke obere Ecke des Untersuchungsgeländes in Strahlungsnächten solche, der Geländeaufformung nicht entsprechende tiefe Temperaturen aufweist. Die auf dem Luzerneslag entstandene Kaltluft fließt in einer ganz schwach ausgeprägten Einbuchtung des Hanges rechts von der Weinbergshütte nach unten. Dadurch entstehen die Unterbrechung der Isolinie 2,0° C und die Ausbuchtungen der Isolinien 1,5° und 1,0° C nach oben. Mit diesen Erkenntnissen über die gelände- und vegetationsbedingte Verteilung der Minimumtemperaturen im Untersuchungsgelände ausgestattet, war es möglich, die Wirkung der Geländeheizung in der Frostnacht vom 20. auf 21. April 1959 näher zu untersuchen.

Wetterentwicklung vom 19. bis 22. 4. 1959

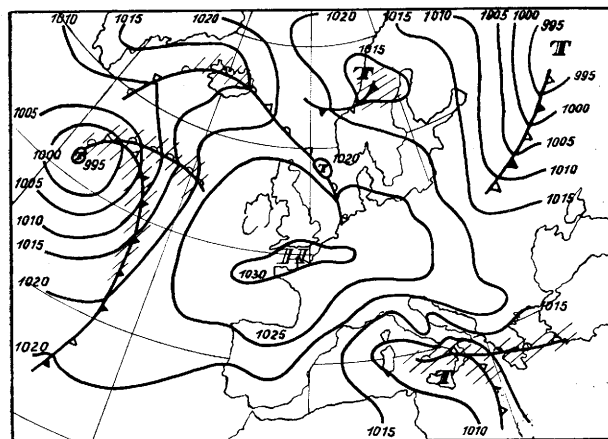
Am Sonntagmorgen (19. 4.) zeigte die Wetterkarte eine Wetterlage, die auf unmittelbar bevorstehende Frostgefahr hindeutete (Abb. 8). Mit der nordnordöstlichen Strömung, die sich zwischen dem atlantischen



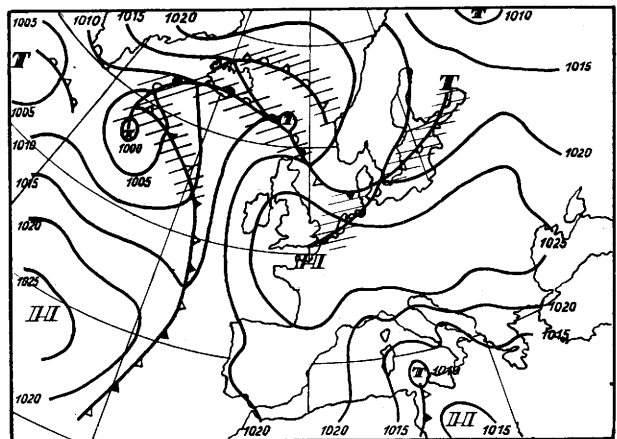
19. 4. 1959



20. 4. 1959



21. 4. 1959



22. 4. 1959

Abb. 8
Entwicklung der Wetterlage vom 19.—22. 4. 1959

Hoch und dem Tief über dem Karpatenraum eingestellt hatte, wurde außerordentlich kalte Luft, die über Skandinavien bereitstand, nach Deutschland transportiert. Die Grenze der damit verbundenen Kaltfront verlief am Sonntag um 6 Uhr etwa von Bremen über den Thüringer Wald bis zum Bayerischen Wald. Diese Kaltfront, die Würzburg gegen 10 Uhr erreichte, brachte einen markanten Temperaturreckgang (s. Abb. 9). Das Temperaturmaximum des Tages wurde bereits zwischen 9 und 10 Uhr erreicht. Die erste Voraussetzung für das Auftreten von Spätfrösten war damit erfüllt (Advektion von Kaltluft). Wenn jetzt der Wind abflaute und

die Bewölkung verschwand, dann mußte es unweigerlich zu Nachtfrosten kommen; denn dann erfüllte sich auch die zweite Bedingung, die Abkühlung der herangeführten Kaltluft durch Ausstrahlung.

Dieser Augenblick trat — wie aus den Wetteraufzeichnungen der Wetterwarte Würzburg (Abb. 10) hervorgeht — überraschend schnell ein. Um 20 Uhr begann die Bewölkung aufzulockern, und um 23 Uhr war es schon wolkenlos. Gleichzeitig ging die Windgeschwindigkeit stark zurück. Infolgedessen kam es bereits in der Nacht vom 19. zum 20. zu den ersten Frösten, die aber an den Reben im allgemeinen noch keinen Schaden

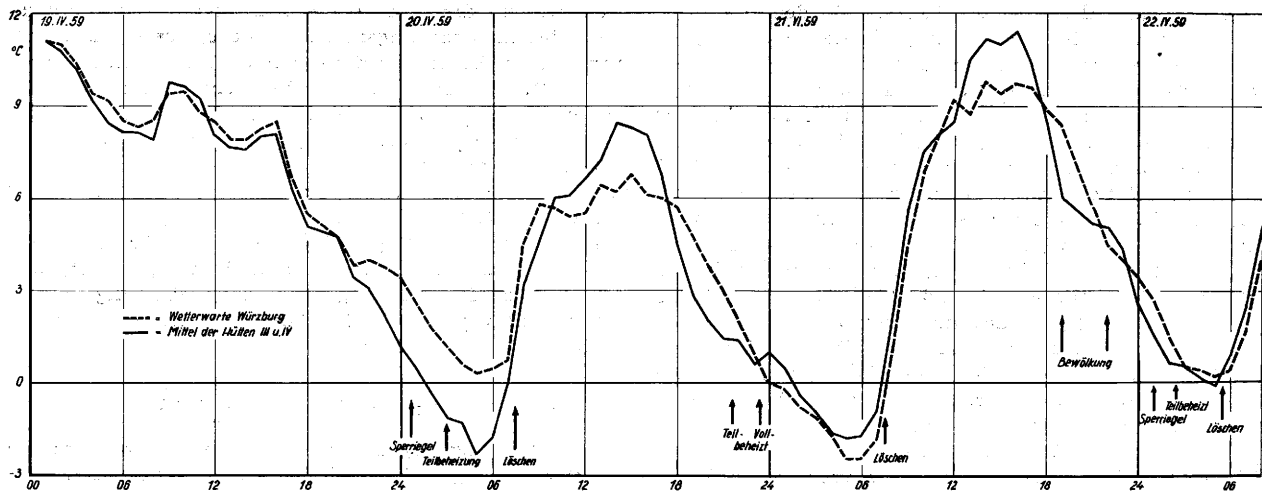


Abb. 9
Gang der Lufttemperatur vom 19.—22. 4. 1959
im „Thüngersheimer Neuberg“ (Mittel der Mes-
sungen in den Hütten III und IV)
— an der Wetterwarte Würzburg

verursachten, da die Schadensschwelle bei dem damali-
gen Entwicklungsstand der Reben („Reben in Wolle“)

	03	06	09	12	15	18	21	24
19.IV.	10 4	8 4	10 4	9 4	8 4	5 2	4 2	3 2
20.IV.	-0 6	-0 6	4 6	5 6	7 6	5 6	3 6	-1 6
21.IV.	-3 5	-3 5	5 5	9 5	8 5	9 5	6 5	3 5
22.IV.	0 7	1 6	8 6	12 6	13 6	11 6	8 6	

Abb. 10
Wetterablauf vom 19.—22. 4. 1959 an der Wetterwarte Würzburg

doch noch ziemlich tief lag. Die Wetterkarte des näch-
sten Tages (20. 4.) bringt die Erklärung für das rasche
Aufheuern hinter der Kaltfront (Abb. 8b): Innerhalb
der Kaltluft verstärkte sich der Druckanstieg erheblich.
Er erreichte seinen höchsten Wert mit 25 mb in 24
Stunden in Österreich. Dadurch bildete sich ein neuer,
zonal ausgerichteter Hochkeil aus, unter dessen Einfluß
es in Deutschland nachts rasch aufheuerte. Bis zum 21.
verlagerte sich der Kern des Hochs bis zur Südküste
Englands und Nordwestfrankreichs, womit die Spät-
frostlage bei uns ihren Höhepunkt erreichte (Abb. 8c).
Bereits in der Nacht vom 21. zum 22. erreichte der
Bewölkungsschirm einer Warmfront Deutschland und
brachte die Frostlage zum Abschluß (s. Abb. 8d und 9),
wobei allerdings die Temperaturen dieser Nacht örtlich
nochmals unter den Gefrierpunkt absanken.

Auswirkung der Heizung auf die Lufttemperatur

Die Temperaturen in unserem Versuchsweinberg
(Thüngersheimer Neuberg) sanken erstmals in der
Nacht vom 19. zum 20. 4. unter den Gefrierpunkt, der
an den kältesten Stellen kurz nach Mitternacht unter-
schritten wurde. Die im Weinberg befindliche Wache
entzündete daraufhin einen Teil der Öfen. Die aufge-
tretenen Minimumtemperaturen sind als Folge dieser
Teilbeheizung und der noch nicht ganz zur Ruhe ge-
kommenen Windströmung sehr unterschiedlich. Als
niedrigste Temperaturen wurden an mehreren, von der

Heizung unbeeinflussten Stellen $-3,4^{\circ}\text{C}$ (in 70 cm Höhe
über dem Boden) gemessen. Diese Nacht muß wegen
der ungünstigen Versuchsbedingungen (Wind, nur Teil-
beheizung) ebenso für genauere Betrachtungen aus-
scheiden wie die Nacht vom 21. zum 22. 4. (Bewölkung,
nur Teilbeheizung), obwohl in beiden Nächten im Wein-
berg Frost auftrat (in der Nacht vom 21./22. 4. bis
 $-1,7^{\circ}\text{C}$).

Unsere Untersuchungen beschränken sich deshalb auf
die Hauptfrostnacht (20./21. 4.), während der der Wein-
berg voll beheizt wurde und ideale Ausstrahlungsver-
hältnisse herrschten. Wir waren bereits im Laufe des
Nachmittags mit unserem Meßwagen im Weinberg an-
gekommen, so daß die Vorbereitungen für unsere näch-
stlichen Messungen rechtzeitig abgeschlossen werden
konnten. Daß die Witterungsverhältnisse den oben ge-
forderten Kriterien für Strahlungsnächte entsprachen,
zeigen die Abb. 10 (Bewölkung) und 11 (Wind, relative
Luftfeuchte, Lufttemperatur). Während der ganzen
Nacht herrschte wolkenloses Wetter. Die Windgeschwin-
digkeit blieb im Weinberg von 22 Uhr bis zum nächsten
Morgen um 8 Uhr unter 1,5 m/sec. Die geringe, noch
meßbare Luftbewegung dürfte sogar zum großen Teil
auf die durch die Heizung erzeugte Turbulenz zurück-
zuführen sein. Sowohl Lufttemperatur als auch Luft-

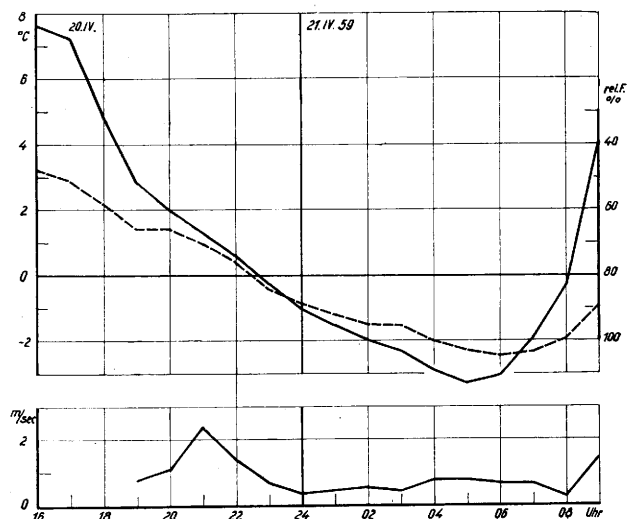


Abb. 11
Gang der Lufttemperatur — und der Luftfeuchte
— in der unbeheizten Parzelle (oben) sowie Gang
der Windgeschwindigkeit (unten) im „Thüngersheimer Neu-
berg“ in der Nacht vom 20. auf 21. April 1959

feuchte zeigen im unbeheizten Gelände einen stetigen Gang mit einem Minimum bzw. Maximum um Sonnenaufgang. Das auffälligste Phänomen dieser Frostnacht ist wahrscheinlich in der außerordentlich geringen Luftfeuchte zu erblicken, welche die tags zuvor eingeflossene Kaltluft aufwies. Um 16 Uhr betrug die relative Luftfeuchte 38% und stieg bis 20 Uhr auf nur 56% an. Um Mitternacht wurden erst 80% registriert und nur allmählich gegen Morgen 95% erreicht. Unter diesen Umständen sind der starke Temperaturabfall und der frühe Frosteintritt am Abend (an den Stationen 10 und 21 bereits gegen 20³⁰ Uhr) mit den besonders guten Ausstrahlungsverhältnissen ohne weiteres erklärlich.

Wie aber wirkte sich die Heizung aus, bei der die verschiedensten Heizöfen zum Einsatz kamen (s. bei Kaufhold)? Es konnte nicht Sinn des Versuches sein, die Heizwirkung der einzelnen Ofentypen vergleichend zu untersuchen. Zu diesem Zweck hätte man die verschiedenen Ofentypen nicht in einem einzigen geschlossenen Verband aufstellen dürfen. Selbst wenn ein Ofentyp weniger leisten würde als der andere, so würde der Unterschied bei dieser Versuchsanordnung nicht zutage treten, weil Turbulenzströmungen die Unterschiede ausgleichen würden. Rückschlüsse auf die Wirksamkeit der Öfen sind bei der getroffenen Anordnung der Öfen auch deswegen nicht möglich, weil am Rande der Heizfläche stehende Ofentypen infolge der bekannten Randeffekte (Zuströmen von Kaltluft) geringere Wirkung vortäuschen würden als Ofentypen, die im Zentrum der Heizfläche aufgestellt wurden. Die Verwendung verschiedener Ofentypen verfolgte vielmehr nur den Zweck, Erfahrungen über das technische Funktionieren, den Arbeitsaufwand, den Brennverlauf und den Ölverbrauch zu gewinnen, worüber Kaufhold berichtet hat. Von meteorologischer Seite war die Auswirkung der Heizung als ganzes auf die Lufttemperatur zu beurteilen.

Einen ersten Hinweis liefert uns Abb. 9, in der die unterschiedlichen Temperaturgänge in Würzburg und im Zentrum der beheizten Weinbergsfläche (Hütten III und IV) dargestellt sind. In der Nacht vom 19. zum 20. 4. traten zwischen dem Weinberg und der Wetterwarte Würzburg sehr starke Temperaturunterschiede auf, die gegen Morgen 2° C weit überschritten. Eine Wirkung der Teilbeheizung des Weinberges ist kaum zu erkennen. Man könnte eine solche allenfalls in der geringen Bremsung des Temperaturabfalles der ausgezogenen Kurve zwischen 3 und 4 Uhr vermuten. Die Teilbeheizung muß daher für diese Nacht in ihrer Wirkung auf die Lufttemperatur als völlig ungenügend angesehen werden. Die Ursache dafür ist wohl in erster Linie in dem während der Nacht noch vorhandenen Wind zu erblicken, der die von der Teilbeheizung entwickelte konvektive Wärme wegtransportierte und die Wirkung der Heizung fast ausschließlich auf die Wärmestrahlung der Öfen beschränkte, die sich in der Lufttemperatur nicht bemerkbar macht. Glücklicherweise kam es in dieser Nacht trotz des Ausfalls des konvek-

tiven Heizungseffektes der Öfen nicht zu Frostschäden im Weinberg.

Ganz anders das Bild der Nacht vom 20. zum 21. April: Wieder bahnt sich — bereits zwischen 17 und 18 Uhr beginnend — der in der vorhergehenden Nacht beobachtete Temperaturunterschied zwischen der Wetterwarte Würzburg und dem Weinberg an, erfährt aber diesmal — bei der windschwachen Wetterlage — eine erste Korrektur mit dem Beginn der Teilbeheizung (21⁴⁰ Uhr) und eine zweite Korrektur mit Beginn der Vollbeheizung des Weinberges zwischen 23 und 24 Uhr, und zwar in einem solchen Ausmaß, daß der Weinberg während der zweiten Nachthälfte wärmer als die Wetterwarte Würzburg ist.

Besonders interessant gestaltet sich der Ablauf in der dritten Nacht (21./22. 4.): Zunächst scheint das nun schon gewohnte Bild der Temperaturdifferenz zwischen der Wetterwarte und dem Weinberg entstehen zu wollen, da wird zwischen 19 und 20 Uhr plötzlich der Temperaturabfall im Weinberg bis 22 Uhr gestoppt, so daß der Temperaturunterschied zwischen Wetterwarte und Weinberg vollkommen aufgehoben ist. Erst nach 22 Uhr setzt im Weinberg erneut der nächtliche Temperaturabfall ein und die strahlungs- und geländebedingte Temperaturdifferenz beginnt sich wieder herzustellen. Die Wirkung einer Teilbeheizung macht sich zwischen 2 und 3 Uhr morgens bemerkbar. Der zwischen 19 und 22 Uhr im Weinberg aufgetretene Temperaturgang läßt sich wohl nur dadurch erklären, daß während dieser Zeit ein Bewölkungsfeld über den Weinberg hinwegzog und die Abkühlung durch Ausstrahlung herabsetzte, während an der 10 km entfernten Wetterwarte Würzburg ohne bzw. mit geringerer Bewölkung die Abkühlung weiterging.

Kehren wir jedoch zu unserer Hauptfrostnacht (20./21. 4.) zurück. Unter der Annahme, daß in Strahlungsnächten der mittlere Teil des Weinberges um etwa 2,0 bis 2,5° C kälter als die Wetterwarte Würzburg ist, gelangen wir zu dem Ergebnis, daß die Vollheizung des Weinberges im Zentrum der Heizfläche die Luft um etwa 3,0 bis 3,5° C erwärmen konnte.

Deutlicher als am Temperaturgang selbst ist die Wirkung der Heizung zu sehen, wenn wir den Gang der Temperaturdifferenzen (Weinberg minus Würzburg) unmittelbar betrachten (Abb. 12). Da es uns jedoch weniger auf die Heizwirkung im Zentrum der Heizfläche als auf die Heizwirkung auf der gesamten Heizfläche ankommt, wurde zur Differenzbildung in Abb. 12 nicht der mittlere Temperaturgang an den Hütten III und IV, sondern der Temperaturgang herangezogen, der sich aus dem Temperaturmittel aller in der beheizten Fläche stehenden Thermo- bzw. Thermohygrographen ergab (Hütten II, III, IV, IX, X). Desgleichen wurden alle Temperaturen, die in den außerhalb der Heizfläche stehenden Hütten (Hütten I, V, VI, VII, VIII) gemessen wurden, gemittelt und die entsprechenden Differenzen zu Würzburg gebildet. Aus der Abbildung geht der Verlauf der Geschehnisse klar hervor:

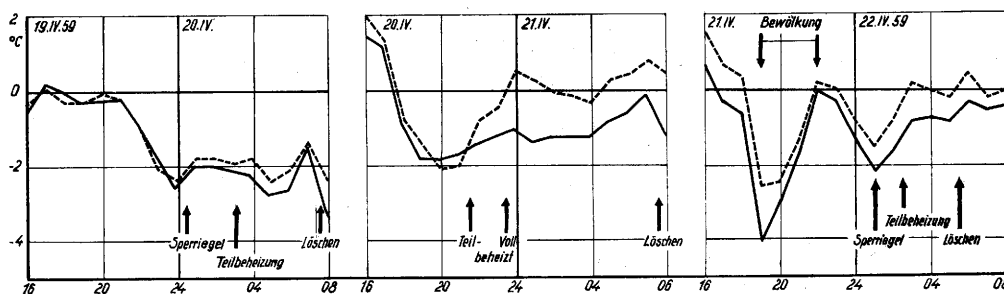


Abb. 12

Gang der Temperaturdifferenzen zwischen unbeheizten Teilen des Weinberges (—) bzw. beheizten Teilen des Weinberges (---) und der Wetterwarte Würzburg in den Nächten 19./20., 20./21. und 21./22. April 1959

Am 19. 4. von 22 bis 24 Uhr nach Bewölkungslösung ständig größer werdende Temperaturdifferenz Weinberg - Würzburg, und zwar sowohl bei der mit Öfen bestückten Fläche als auch bei der Fläche ohne Öfen.

Zwischen 24 Uhr und 1 Uhr ist bei beiden Flächen eine Abnahme der Differenzen zu beobachten, die durch das Entzünden der Öfen des Sperriegels hervorgerufen wurde.

Zwischen 3 und 4 Uhr morgens begann die Teilbeheizung. Der Effekt ist nahezu deprimierend klein infolge des noch verhältnismäßig starken Windes. Bereits etwa eine Stunde nach dem Entzünden der Öfen ließ deren Heizkraft nach, eine Erscheinung, die auch in den folgenden Nächten zu beobachten war. Gegen Morgen (etwa 5 Uhr) wurde die Teilbeheizung verstärkt. Gleichzeitig wurden die bereits brennenden Öfen nachreguliert. Da mittlerweile der Wind schwächer geworden war, macht sich diese Maßnahme besser bemerkbar. Die Temperaturdifferenzen gingen diesmal stärker zurück (um etwa 1°C), und zwar auch bei den unbeheizten Hütten. Zu erklären ist diese Tatsache, daß immer noch Luftströmung herrschte und daß die Teilbeheizung vor allem an den Randgebieten des Weinberges erfolgte (Einbruchsstelle der Kaltluft im rechten oberen Weinbergsteil, tief gelegene Weinbergsteile), wodurch auch die unbeheizten Hütten verhältnismäßig stark von der Heizung profitierten.

In der Nacht vom 20. zum 21. 4. nahmen die Temperaturdifferenzen bis 21 Uhr ebenfalls die Größe von -2°C an. Um 21⁴⁰ Uhr wurde die Heizung — zunächst als Teilheizung — begonnen. Sie brachte eine Verminderung der Differenzen in der Heizfläche um etwa $1,5^{\circ}\text{C}$, in den unbeheizten Randgebieten um etwa $0,5^{\circ}\text{C}$. Der Einsatz der vollen Beheizung zwischen 23 und 24 Uhr bewirkte einen nochmaligen Rückgang der Differenzen um 1°C bei der beheizten Fläche und um nur $0,2^{\circ}\text{C}$ bei den unbeheizten Randgebieten. Die geringe Zunahme bei den unbeheizten Randgebieten erklärt sich wohl daraus, daß bei Vollheizung eine konvektive Zirkulation in Gang gekommen war, die ein seitliches Einströmen von Kaltluft hervorrief. Auch diesmal kann man deutlich beobachten, daß die sich selbst überlassenen Öfen sehr bald (bereits nach einer Stunde) in ihrer Heizwirkung nachlassen. Erst nach Nachfüllen und Nachregulieren der Öfen (Entzündung, Regelung des Luftzuges) zwischen 4 und 5 Uhr konnte die Heizleistung nochmals auf die Anfangshöhe und darüber bringen.

Der dritte Kurvenzug (die Nacht vom 21. zum 22. 4.) zeigt das bereits o. a. Verschwinden der Differenz Weinberg minus Würzburg zwischen 19 und 22 Uhr, das meteorologisch bedingt ist. Den Effekt des Sperriegels und der Teilbeheizung, diesmal bei Windruhe, kann man im Verlauf der Kurven nach 1 Uhr erkennen. Auch diesmal läßt der Heizeffekt ziemlich bald nach (ab 3 Uhr) und erreicht erst mit dem Regulieren der Öfen kurz vor Sonnenaufgang wieder die alte Höhe.

Abb. 12 zeigt uns, daß der Temperaturgewinn durch die Heizung für die gesamte Heizfläche bei Vollheizung maximal auf $2-3^{\circ}\text{C}$ (verglichen mit Würzburg) angesetzt werden kann, daß aber diese maximale Heizleistung nur sehr kurze Zeit (etwa 1—2 Stunden) anhält und dann sehr bald und stark abfällt, wenn nicht die Hand des Menschen durch Entzündung, Ölnachfüllen oder Regulierung des Luftzuges steuernd eingreift. Da die Heizleistung immer schwächer wird, je dringender sie gebraucht wird — das Temperaturniveau sinkt im Laufe einer Strahlungsnacht ab — dürfte die Entwicklung von Öfen, die zumindest eine gleichbleibende, möglichst aber eine sich steigende Heizleistung mit fallendem Ölspiegel aufweisen, eine der dringendsten

Forderungen an die Herstellerfirmen sein, die aus unserem Versuch abgeleitet werden kann. Die meisten der heute auf dem Markt befindlichen Ofentypen besitzen leider noch keine Einrichtungen zur automatischen Regulierung der Heizleistung mit abnehmendem Ölspiegel.

Aus Abb. 12 (durchgezogene Kurve) geht aber auch deutlich hervor, daß zwar die Heizwirkung außerhalb der Heizfläche stark abnimmt, daß sie aber je nach Geländeform in einem mehr oder minder breiten Streifen (20—50 Meter) deutlich oberhalb und unterhalb der Heizfläche nachweisbar ist. Sie kann sogar — wie wir später noch zeigen werden — bei schmalen Tälern den ganzen Talquerschnitt beeinflussen.

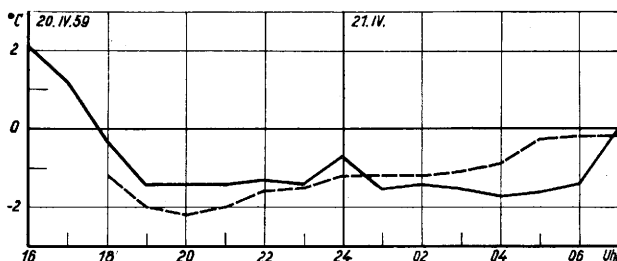


Abb. 13

Gang der Temperaturdifferenzen zwischen der rechten oberen Ecke des Weinberges (Hütten VII und VIII) (—) bzw. den übrigen unbeheizten Geländeteilen (Hütten I, V und VI) (---) und der Wetterwarte Würzburg in der Nacht vom 20. zum 21. April 1959

Am wenigsten profitiert die rechte obere Ecke des Weinberges von der Heizung (Abb. 13), wie aus den Registrierungen der Thermographen in den Hütten VII und VIII hervorgeht. Die Temperaturdifferenz zu Würzburg wird hier nur beim Ingangsetzen der Vollheizung zwischen 23 und 24 Uhr geringer, nimmt dann aber sofort wieder den alten Wert an. Dieser Befund deutet darauf hin, daß der Ersatz für die durch die Heizkonvektion nach oben getriebene Luft in der Heizfläche in erster Linie durch die Hochwaldlücke herangesaugt wurde. Nach Ingangkommen der Konvektionszirkulation im Anschluß an die Vollheizung ist daher in der rechten oberen Ecke des Weinberges von einer Randwirkung der Heizung im Gegensatz zu den Hütten I, V und VI (gestrichelte Linie der Abb. 13) kaum etwas zu merken. Wir sind deshalb, zum mindesten bezüglich der Minimumtemperatur berechtigt, die Station 37 als unbeeinflusst von der Heizung anzusehen und die höheren Minimumtemperaturen an den übrigen Stationen als Effekt der Heizung zu deuten. Bestätigt wird diese Auffassung auch von der Natur selbst, da nämlich in der unbeheizten Vergleichsparzelle (Standort der Hütte VIII) beträchtliche Frostschäden an den Reben auftraten (s. bei Kaufhold). Dieser Befund ist für uns erfreulich, weil er uns bestätigt, daß wir eine unter den gegebenen Verhältnissen recht geeignete unbeheizte Vergleichsparzelle ausgewählt hatten.

An der Station 37 wurde in der Nacht vom 21. zum 22. April eine Minimumtemperatur von $-5,2^{\circ}\text{C}$ gemessen. Abb. 14 gibt die in dieser Nacht beobachteten Abweichungen der Minimumtemperaturen in den übrigen Weinbergsteilen von der Minimumtemperatur an Station 37 wieder. Erwartungsgemäß sind diese Abweichungen überall positiv und am größten im Zentrum der Heizfläche. Im Tal aber ist es um mehr als 1°C wärmer als in der rechten oberen Ecke. Um jedoch die Heizwirkung selbst beurteilen zu können, müssen wir berücksichtigen, daß auch ohne Heizung im Gelände in Strahlungsnächten Unterschiede in den Minimumtemperaturen auftreten. Da infolge der Heizungskonvektion die Hochwaldlücke zur Kaltluft-Einbruchspforte wurde, ist hierfür nicht die normale Verteilung der Minimumtemperaturen (Abb. 5), sondern die Verteilung zu benutzen, die in Strahlungsnächten zustandekommt, in

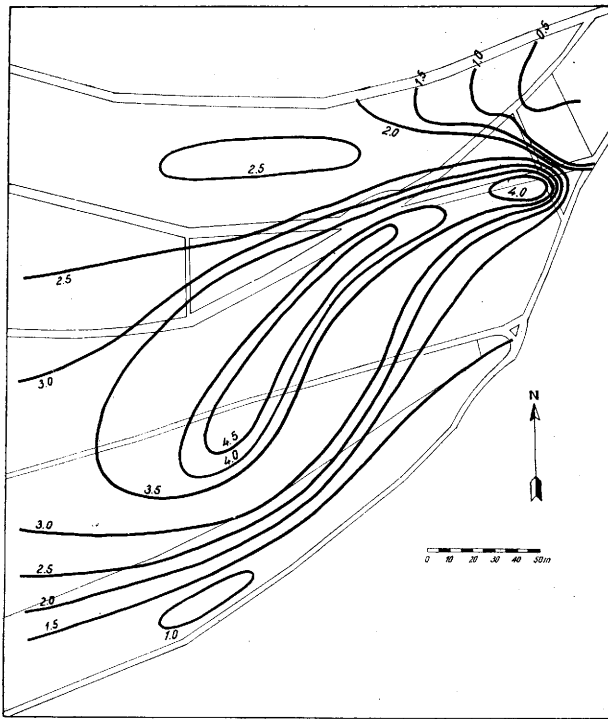


Abb. 14

Abweichung der Minimumtemperaturen von der Minimumtemperatur des Thermometers 37 in der Nacht vom 20. zum 21. April 1959 unter dem Einfluß der Geländeheizung

deren Verlauf durch die Hochwaldlücke Kaltluft in den Weinberg eindringt (Abb. 6). Zieht man die der Abb. 6 zugrundeliegenden Werte von den Werten der Abb. 14 ab, so erhält man eine Abweichungskarte, die der tatsächlichen Heizwirkung entspricht (Abb. 15). Hierbei ergibt sich, wie auch beim Vergleich der Registrierungen mit Würzburg, im Zentrum der Heizfläche ein maximaler Heizeffekt auf die Lufttemperatur von 3,0 bis 3,5° C. Infolge der dichten Besetzung des Weinberges mit Minimumthermometern ist aus Abb. 15 auch deutlich die starke Abnahme der Heizwirkung zum Rande

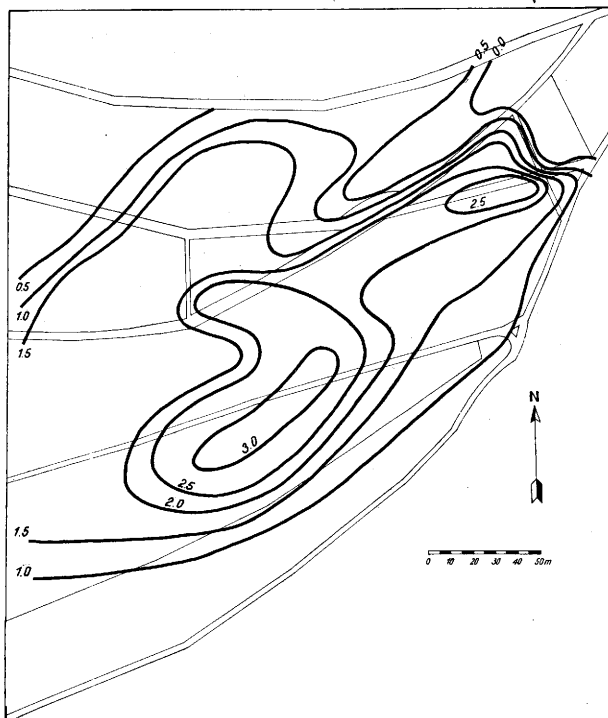


Abb. 15

Erhöhung der Minimumtemperaturen der Luft durch Geländeheizung in der Nacht vom 20. zum 21. April 1959 (Heizeffekt)

der Beheizung hin zu erkennen; sie sinkt dort bis auf 1,5° C und darunter ab. Trotzdem sind in diesem Weinberg keine Frostschäden eingetreten. Die vielen Berichte über den Erfolg der Frostschutzheizung, die man in wissenschaftlichen Veröffentlichungen und in Aufsätzen der Praxis findet, lassen sich mit einer Steigerung der Lufttemperatur um 1 bis 1½° C — eine größere Steigerung ist ohne erheblichen Aufwand in den Randgebieten der Heizung nicht erreichbar — keinesfalls erklären. Es muß vielmehr noch eine Wirkung der Wärmestrahlung auf die Pflanzenteile hinzukommen, um den Erfolg der Heizung verständlich zu machen. Über die Größe dieser zusätzlichen Erwärmung der Pflanzenteile durch die Wärmestrahlung aber wissen wir bis heute fast gar nichts, die bisher üblichen Lufttemperaturmessungen geben jedenfalls darüber keinen Aufschluß.

Besonders vorsichtig sollte man aber sein, aus kurzfristigen, stichprobenartigen Messungen der Lufttemperatur irgendwelche Schlüsse über die Leistungsfähigkeit von Öfen oder über die Wirksamkeit von Heizverfahren zu ziehen. Infolge der Konvektion, die von der Heizung hervorgerufen wird, herrscht nämlich in jedem beheizten Feld eine beträchtliche Turbulenz, die einmal die Flamme bzw. die vom Ofen abströmende Wärme in diese, einmal in jene Richtung treibt. Abb. 16 zeigt das

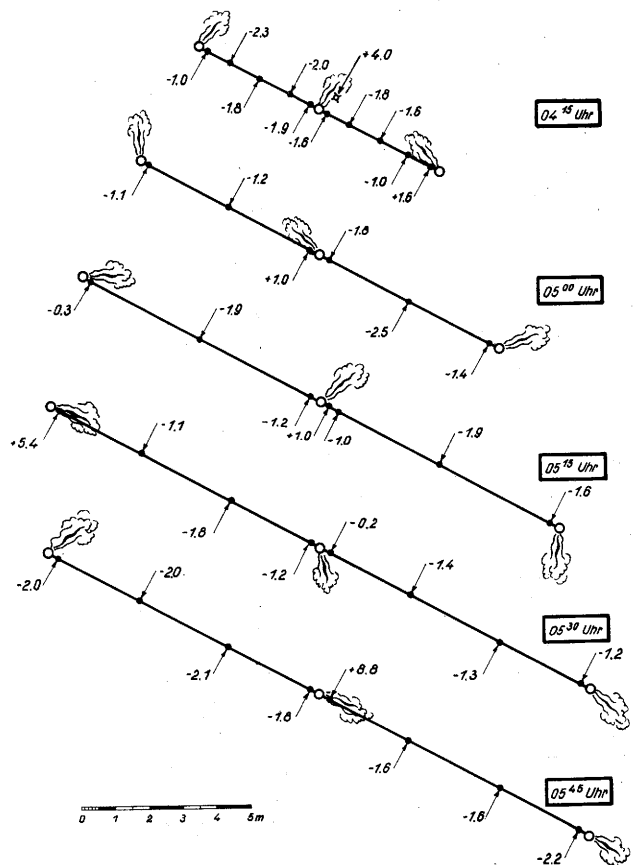


Abb. 16

Temperaturmessungen zwischen brennenden Öfen in der Nacht vom 20. zum 21. April 1959

Ergebnis einiger Temperaturmessungen in 70 cm Höhe mit dem Assmann'schen Aspirationspsychrometer während der Heizung bei verschiedenen Ofentypen (Brenntag-Brenner, Berg-, Schroth-, Stahl- und Dickenscheid-Ofen). Die Reihenfolge der aufgeführten Öfen stimmt nicht mit der Reihenfolge in der Abbildung überein, damit niemand auch nur versucht ist, aus der Abbildung doch noch ein Werturteil ableiten zu wollen. Das kann man nämlich unter keinen Umständen, weil erstens der Aufstellungsort der Öfen im Zentrum oder am Rande der Heizfläche nicht berücksichtigt ist, weil

zweitens die Messungen bis zu 1½ Stunden auseinanderliegen und weil drittens — was gerade die Abbildung zeigen soll — derartige Stichprobenmessungen bei allen Ofentypen zufallsbedingt sind. Die Richtung des Flammen- bzw. des Rauchabtriebes ist in der Abbildung jeweils angezeichnet. Man erkennt mit einem Blick, daß praktisch alle Windrichtungen vorkommen, daß also eine starke Richtungsböigkeit der Windströmungen zu beobachten ist, die vollkommen regellos erscheint. Das Ergebnis einer Stichprobenmessung der Lufttemperatur wird in erster Linie durch diese Richtungsböigkeit bestimmt bzw. durch den Umstand, ob die Messung im augenblicklichen Luv oder Lee des Ofens stattfindet. Die Lage von Luv und Lee ist zufallsbedingt und wechselt ständig. Am krassen tritt der Einfluß der Turbulenzströmungen bei der Messung um 5⁴⁵ Uhr zu Tage. Im Luv der Brennstelle wurde in unmittelbarer Nähe des Ofens eine Temperatur von $-1,8^{\circ}\text{C}$, im Lee dagegen eine Temperatur von $+8,8^{\circ}\text{C}$ gemessen! Auch die übrigen Messungen zeigen deutlich die Abhängigkeit von der gerade herrschenden Windrichtung. Man könnte bei aller Wertschätzung der Strahlungswirkung am Erfolg der Frostschutzheizung Zweifel bekommen, wenn man die Messungen der Abb. 16 betrachtet und sieht, auf welche kurze Entfernung die erhöhende Wirkung auf die Lufttemperatur nur reicht und wie außerordentlich strömungsabhängig sie ist. Aber glücklicherweise wechseln die Strömungsrichtungen in einem beheizten Feld ständig, so daß jede Pflanze im Bereich eines Ofens einmal kurzfristig in den Genuß kommt, von wärmerer Luft umgeben zu werden.

Alle diese Ergebnisse zeigen aber deutlich, daß die Wirkung der Frostschutzheizung nicht allein aus der gemessenen Erhöhung der Lufttemperatur beurteilt werden kann, sondern daß vielmehr auch Messungen der Pflanzengewebetemperaturen hierzu erforderlich sind. Allenfalls wären auch Temperaturmessungen mit geeigneten Versuchskörpern (Thermometer ohne Strahlungsschutz), deren Absorptionsvermögen für Wärmestrahlung dem der Pflanzen entspricht, denkbar. Keinesfalls aber kann man aus kurzzeitigen, nur wenige Minuten dauernden Stichprobenmessungen der Lufttemperatur irgendwelche Schlüsse ziehen, nicht einmal

über die Auswirkung der Heizung auf die Lufttemperatur selbst.

Vertikale Luftschichtung während der Heizung

Bei geländeklimatologischen Kartierungen der Frostgefährdung gehen wir in zunehmendem Maße dazu über, die vertikale Temperaturschichtung während Strahlungsnächten in einzelnen Talabschnitten zu untersuchen. Es war daher von Interesse, nachzuprüfen, ob auch in unserem Untersuchungs Gelände, das an einem oberen Talende liegt, sich Inversionen bilden und ob diese Inversionen durch die Beheizung beeinflusst würden. Da bis jetzt noch wenig über die Methodik derartiger Untersuchungen und dabei gewonnene Erfahrungen bekannt ist, sei uns gestattet, etwas weiter auszuholen.

Zur Untersuchung der vertikalen Luftschichtung in Tälern benutzen wir Radiosonden oder Flugzeugmeteorographen, die an normalen, aber gefesselten Radiosondenballonen befestigt werden. Selbstverständlich ist es auch möglich, mit elektrischen Meßfühlern zu arbeiten. Schwierigkeiten bereitet dabei jedoch das Kabelgewicht, das bei einiger Aufstiegshöhe doch beträchtlich wird, selbst dann, wenn man das Kabel gleichzeitig als Halteseil für den Ballon benutzt. Man sollte nämlich bei derartigen vertikalen Untersuchungen der bodennahen Luftschicht die Messungen keinesfalls auf die Lufttemperatur allein beschränken, sondern auch die Luftfeuchte erfassen, da sie wichtige Hinweise auf das Vorhandensein von Luftschichtungen gibt. Soll jedoch auch die Luftfeuchte elektrisch gemessen werden, so wäre hierfür das Psychrometerprinzip anzuwenden. Dazu sind zwei elektrische Temperaturfühler erforderlich. In Anbetracht der großen Leitungslängen sind Ausgleichsleitungen notwendig. Man müßte deshalb mehradriges Kabel von großem Gewicht benutzen, das der Radiosondenballon nicht mehr hochträgt. Um in jedem Gelände einsatzfähig zu sein, sollte nämlich eine Aufstiegshöhe von 200—300 Meter möglich sein. In Anbetracht dieser Schwierigkeiten zogen wir es vor, zunächst mit Radiosonden bzw. mit Flugzeugmeteorographen zu arbeiten. Beide Verfahren haben ihre Vor- und Nachteile:

Radiosonde		Flugzeugmeteorograph	
Vorteile	Nachteile	Vorteile	Nachteile
Geringes Gewicht, nur 1 Radiosondenballon für Aufstieg erforderlich, geringer Wasserstoffbedarf, sofortige Anzeige von Temperatur- u. Feuchte-sprünge, Nachprüfung noch während desselben Aufstiegs möglich	Nur diskrete Werte, beim Abhören von in Morsezeichen ungeübtem Personal großer Zeitaufwand, Fehlermöglichkeiten durch Hörfehler, größerer technischer Aufwand (Empfangsgerät, Batterien), mindestens 2 Mann Personal notwendig, nach vollzogenem Abstieg erst zeitraubende Auswertung zum Zeichnen der Temperatur- u. Feuchtekurven erforderlich Nach mehrmaligem Einsatz Nachzeichnung der Sonden notwendig, häufig nach einiger Zeit unklare Funkzeichen wegen Verschmutzung und Abnutzung der nicht für Dauerbetrieb eingerichteten Kontaktwalze	Registrierung, geringer Zeitaufwand, keine Fehlermöglichkeit, da Registrierung, geringer technischer Aufwand, Aufstieg von 1 Mann durchführbar, nach vollzogenem Aufstieg sofortiges Vorliegen von Temperatur- und Feuchtekurven	Großes Gewicht, 2 Radiosondenballone für Aufstieg erforderlich, großer Wasserstoffbedarf, während des Aufstiegs keinerlei Kontrollmöglichkeit

Nach der Abwägung der Vor- und Nachteile wird man dem Flugzeugmeteorographen den Vorzug geben, wenn man genügend Wasserstoff zur Verfügung hat. Und hierin liegt eigentlich die entscheidende und einzige Schwierigkeit, die uns davon abhält, den Flugzeugmeteorographen ausschließlich zu verwenden; denn zwei Radiosondenballone benötigen sehr viel Wasserstoff. Liegt das Wasserstoffdepot weit vom Einsatzort entfernt und sind mehrere Aufstiege während des Einsatzes an verschiedenen Orten oder in verschiedenen Nächten geplant, so ist unbedingt die Radiosonde zu benutzen, will man nicht Gefahr laufen, daß ein Teil der Aufstiege wegen Wasserstoffmangels ausfallen muß. Eine gewisse Wasserstoffreserve muß nämlich immer vorhanden sein; denn die Gefahr der Beschädigung der Ballonhülle ist doch ziemlich groß, und zwar weniger beim Füllen, als vielmehr dann, wenn die Ballonhülle gegen Morgen kalt und bereift ist. Dann genügt unter Umständen die Berührung eines Fingernagels oder eines Grasstengels, um den Ballon zu beschädigen, so daß der Wasserstoff ausströmt. Es ist dann sehr ärgerlich, wenn man das Unternehmen nicht fortsetzen kann, weil der Wasserstoff zum Füllen eines Ersatzballons nicht mehr reicht.

Beim Transport von Wasserstoffflaschen müssen die geltenden Sicherheitsbestimmungen beachtet werden. Wir konstruierten uns deshalb auf dem Dach unseres VW-Kombi eine Haltevorrichtung für den sicheren Transport von 3 Wasserstoffflaschen. Abb. 17 zeigt das



Abb. 17
Verladen der Wasserstoff-Flaschen auf dem Dach
des VW-Kombis

Verladen der Flaschen auf dem Kombi. Bei Abb. 18 werden die Lagerbalken, von denen sich ein gleiches Paar am anderen Ende der Flaschen befindet, fest ver-



Abb. 18
Befestigen der Wasserstoff-Flaschen auf dem Dach
des VW-Kombis

schraubt. Die Rundungen in den Balken, in denen die Flaschen ruhen, sind mit Filz verkleidet. Mit dieser Befestigungsart sind die Flaschen absolut sicher untergebracht. Selbst nach Fahrten auf schlechtesten Feldwegen und Querfeldeinfahrten sitzen die Flaschen noch genau so fest wie am Anfang. Bei Geländefahrten ist allerdings für den Fahrer erhöhte Vorsicht geboten, da der seitliche Kippwinkel des Fahrzeuges durch das Gewicht auf dem Dach geringer wird.

Ein weiterer Vorteil dieser Unterbringungsart besteht darin, daß die Flaschen zum Füllen des Ballons ohne Lösen irgendeiner Verschraubung auf dem Dach des Kombi fest verstaut liegen bleiben können (s. Abb. 19).

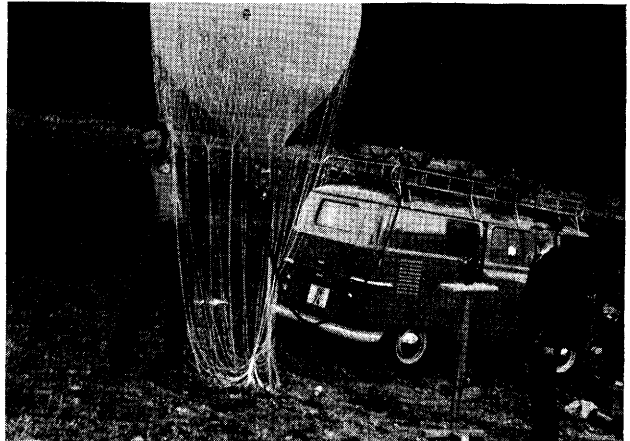


Abb. 19
Füllen des Ballons

Lediglich die Verschlußkappe der Flasche wird abgenommen, und die Füllvorrichtung wird angeschraubt — schon kann nach der vorgeschriebenen Erdung der Flaschen mit dem Füllen des Ballons begonnen werden. Da der Radiosondenballon von Haus aus nicht als Fesselballon gedacht ist, sollte man das Halteseil nicht am Ballon selbst befestigen. Der Ballon reißt sonst allzuleicht unmittelbar am Füllschlauch ab, weil der Gummi der großen Beanspruchung an dieser Stelle auf die Dauer nicht gewachsen ist. Wir ließen uns deshalb ein Netz aus Perlon knüpfen, das den Ballon aufnimmt. Halteseil und Instrument werden nur an diesem Netz befestigt, das in den Abb. 19, 20 und 21 deutlich er-



Abb. 20
Auswiegen des Ballons

kennbar ist. Hat der Ballon die erforderliche Auftriebskraft, die durch Anhängen eines Gewichtes geprüft wird (Abb. 20), so werden Halteseit und Meßinstrument am Netz befestigt und der Aufstieg kann beginnen (Abb. 21). Man beachte, wie weit das Meßinstrument



Abb. 21
Beginn des Fesselballon-Aufstieges

vom Ballon entfernt aufgehängt ist, um jede Beeinflussung der Messung durch den Ballonkörper zu vermeiden! Bei der Radiosonde ist das in einfacher Weise dadurch zu erreichen, daß man als Verbindungsstück zwischen Ballonnetz und Radiosonde die Antenne der Radiosonde benutzt. Erst an der Radiosonde, die in Abb. 21 etwa senkrecht über dem Kopf des Mannes als viereckiger Punkt zu erkennen ist, beginnt die 300 Meter lange Nylonschnur, die uns als Halteseil dient und auf einer Trommel aufgewickelt ist. Alle 5 Meter ist die Nylonschnur durch einen kleinen Lederfleck markiert, in den Löcher eingestanzt sind. Aus der Größe des Lederflecks und der Zahl bzw. der Anordnung der Löcher ist der Mann an der Seilwinde selbst bei Dunkelheit durch Abfühlen der Markierung in der Lage, die Höhe anzugeben, in der sich das Meßgerät gerade befindet.

Abb. 22 zeigt der Vollständigkeit halber ein Gespann von 2 Radiosondenballonen, wie wir es bei Aufstiegen mit Flugzeugmeteorographen verwenden. Bei der vorliegenden Untersuchung jedoch arbeiteten wir mit Radiosonden. In beiden Fällen, sowohl bei der Radiosonde als auch beim Flugzeugmeteorographen, ventilieren wir die Meßkörper mit einem kleinen Propeller, der von einem Elektromotor angetrieben wird, und in beiden Fällen benutzen wir zur Messung nicht den Aufstieg, sondern den Abstieg. Es hat sich nämlich gezeigt, daß der Ballon beim Aufstieg die Luft zu stark durchwirbelt, so daß die Messungen des nachfolgenden Meßgerätes für derartige Untersuchungen der Mikrostruktur der Luftschichtung nur selten brauchbar sind. Wir lassen den Ballon deshalb schnell auf die erwünschte Gipfelhöhe aufsteigen, warten einige Minuten, bis sich die Luft wieder beruhigt hat, und holen ihn dann langsam ein. Erst dabei messen wir; denn beim Abstieg geht das Meßinstrument dem Ballon voraus und passiert daher ungestörte Luftschichten.

Die Ergebnisse der drei Abstiege, die wir in der Nacht vom 20. zum 21. 4. durchführten, sind in Abb. 23

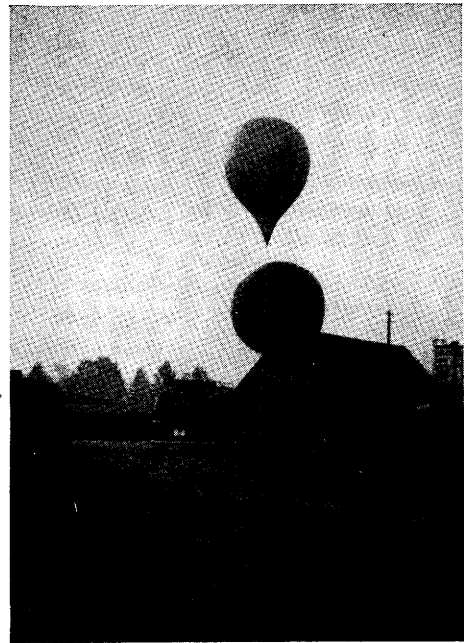


Abb. 22
Gespann aus 2 Ballonen für einen Aufstieg mit Meteorographen

dargestellt. Die auf der rechten Seite der Abbildung eingezeichneten Kurven geben nicht die Temperaturmessungen selbst, sondern die Abweichungen der Temperatur in den einzelnen Höhen von dem jeweiligen Bodenwert an. Auf diese Weise werden die Abstiegs-werte unmittelbar miteinander vergleichbar. Der erste Abstieg (ausgezogene Kurve) wurde vor Beginn der Heizung um 21²⁰ Uhr durchgeführt. Der zweite Abstieg (gestrichelte Kurve) fand zur Zeit der vollen Beheizung des Weinberges um 3 Uhr statt. Der dritte Abstieg (punktirierte Kurve) lag zeitlich (6¹⁵ Uhr) nach dem Eintritt des Minimums in 70 cm Höhe (5⁵⁰ Uhr), weil wir das Erlöschen der Öfen und damit der Konvektion abwarten wollten. Die Stelle, an der wir alle drei Abstiege durchführten, lag bei Hütte I an der auf Abb. 7 angegebenen Stelle.

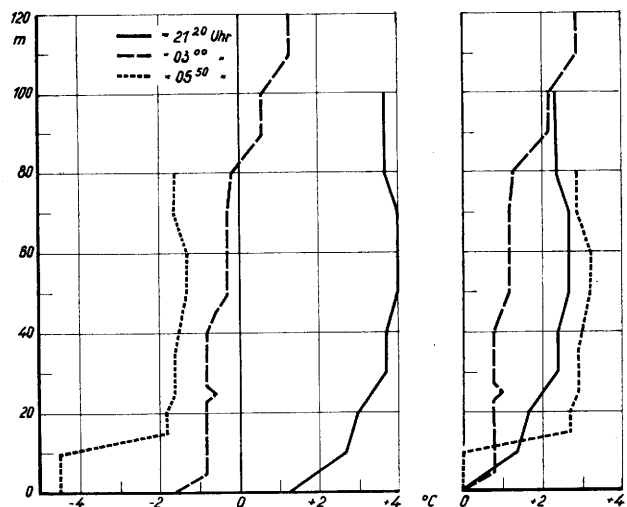


Abb. 23
Vertikale Temperaturschichtung bei Frostschutzheizung
links: tatsächlich gemessene Temperaturen
rechts: Abweichungen der gemessenen Temperaturen von der jeweiligen Temperatur in 70 cm Höhe
— 21.00 Uhr (vor Beginn der Heizung)
- - - 03.00 Uhr (bei Vollheizung)
..... 05.00 Uhr (bei erlöschender Heizung)

Der erste Abstieg zeigt deutlich, daß sich auch in so hochgelegenen Talabschnitten wie dem Untersuchungs-

gelände eine Inversion herstellt. Sie umfaßt immerhin eine Temperaturzunahme von $2,4^{\circ}\text{C}$ und reicht bis zu einer Höhe von 30 m über dem Erdboden. Darüber liegt eine hochreichende Isothermie, die über die Höhe der Hochfläche hinausreicht. Aus der gestrichelten Linie des zweiten Abstiegs ist zu erkennen, daß die Heizung die im Tal liegende Inversion fast restlos beseitigt hat. Nur die untersten 5 Meter über dem Talboden weisen noch eine schwache Inversion von $0,8^{\circ}\text{C}$ auf. Oberhalb 5 Meter beginnt bereits eine Isothermie, die erst mit Erreichen der Höhe der Hochfläche in die allgemeine, großräumige Bodeninversion übergeht. Man muß dieses Ergebnis dahingehend deuten, daß die von der Heizung ausgehende Konvektion eine starke Durchmischung der gesamten, im Talabschnitt liegenden Luft hervorruft, durch die jede Schichtung der Luft beseitigt bzw. unterbunden wird. Ausgenommen davon sind lediglich die untersten 5 Meter über der Talsohle, aber auch nur deshalb, weil die Heizfläche nicht bis in die Talsohle reichte. Der Weinberg endet einige Meter über der Talsohle, die mit Gras bewachsen war. Man ist ohne weiteres berechtigt anzunehmen, daß die Inversion in den untersten 5 Metern nicht vorhanden gewesen wäre, wenn auch an der Talsohle noch Heizöfen gebrannt hätten. Allerdings hätten wir dann dort wegen der Explosionsgefahr unsere Abstiege nicht durchführen können. Aus dem zweiten Abstieg muß man weiterhin folgern, daß in nicht zu breiten Tälern, die Frostschutzbeheizung eines Hanges durch die konvektive Beseitigung der Talinversion auch für den gegenüberliegenden Hang von Bedeutung sein kann. Dieser Effekt der Heizung scheint allerdings mit Aufhören der Konvektion fast schlagartig beendet zu sein. Überraschend schnell stellt sich — wie aus der punktierten Kurve hervorgeht — eine neue Inversion ein, die fast den Charakter einer Absinkinversion mit äußerst scharfem Temperaturprung zwischen 10 und 15 Meter aufweist ($2,7^{\circ}\text{C}$). Betrachtet man jedoch die tatsächlichen Temperaturwerte der Abstiege (linker Teil der Abb.), so erkennt man, daß es sich hierbei wohl um eine neue Bodeninversion handeln muß, die allerdings vom Boden her bereits wieder im Abbau begriffen ist, da die Zeit des Temperaturminimums schon vorüber ist. Überdies geben auch die Messungen der Luftfeuchte keinen Hinweis auf eine Absinkinversion.

Messung von Gewebetemperaturen zur Beurteilung der Wirksamkeit von Frostschutzmaßnahmen

Wie bereits erwähnt, scheiterte unsere Absicht, die Wirksamkeit der Frostschutzheizung durch direkte Messungen der Gewebetemperaturen der Reben zu untersuchen daran, daß das hierfür erforderliche Meßgerät zu spät geliefert wurde und am 20. 4. noch nicht zur Verfügung stand. Am 21. 5. aber wurden die Öfen aus dem Weinberg entfernt. In dem Zeitraum zwischen Lieferung des Meßgerätes und dem 21. 5. traten keine Nachfröste mehr auf, so daß wir den endgültigen Beweis für unsere Behauptung, die tatsächliche Frostschutzwirkung der Geländeheizung sei nur unmittelbare Messung der Gewebetemperaturen erfaßbar, schuldig bleiben müssen. Es gelang uns lediglich, bei ungünstigen Wetterlagen knapp einstündige Probeheizungen mit gleichzeitiger Messung von Gewebe- und Lufttemperaturen durchzuführen, die nur als — allerdings aufschlußreiche — Stichproben gewertet werden können.

Abb. 24 zeigt die Anzeigegeräte für die Gewebetemperaturen (großer Kasten) und für die Lufttemperatur (kleiner Kasten). Die Gewebetemperaturen wurden mit Thermoelementen, die in die Blätter und Gescheine der Reben eingestochen wurden, gemessen (Abb. 25, linkes Element). Die Feststellung der Lufttemperatur erfolgte mit Degussa-Hartglas-Widerstandsthermometern (Glas-

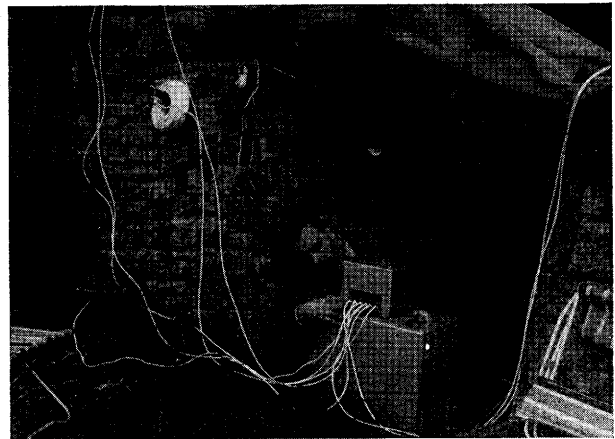


Abb. 24

Anzeigegeräte für Gewebe- und Versuchskörpertemperaturen



Abb. 25

Thermoelement zur Messung der Gewebetemperatur (links), Degussa-Hartglas-Widerstandsthermometer zur Messung einer Versuchskörpertemperatur (Mitte)

körper an dem mit schwarzen Ringen versehenen Kabel in der Mitte der Abb. 25). Da die Degussa-Thermometer strahlungsempfindlich sind, geben sie bei ungeschützter Aufstellung im geheizten Gelände nicht die Luft-, sondern eine Versuchskörpertemperatur an. Wir brachten deshalb auch noch Degussa-Thermometer in Hütten unter.

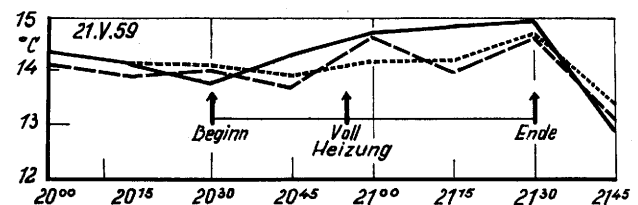


Abb. 26

Gewebe- (—), Versuchskörper- (---) und Lufttemperaturen (....) während einer Istündigen Probeheizung auf kleiner Fläche bei bedecktem Himmel

Eines der bei den Probeheizungen gewonnenen Meßergebnisse soll als Beispiel Abb. 26 zeigen. Bereits bei der knappen Heizdauer von weniger als einer Stunde liegt die Gewebetemperatur deutlich sowohl über der Versuchskörper- als auch über der Hüttentemperatur. Dabei dürfte die volle Strahlungswirkung der Öfen erst nach etwa einer Stunde Brenndauer einsetzen. Besonders bemerkenswert erscheint, wie rasch die Erwärmung des Gewebes einsetzt. Doch wir wollen von jeder weitergehenden Interpretierung der Abbildung absehen, da die Messungen zu kurzfristig waren, um andere Schlüsse daraus ziehen zu können als den, daß die Gewebetemperaturen bei der Heizung über der Lufttemperatur und über der Versuchskörpertempera-

tur liegen und daß nur sie Aufschluß über den tatsächlichen Heizungseffekt geben können.

Ähnliche Forderungen gelten für die Untersuchung der Frostschutzberechnung. Auch hier wird man Gewebetemperaturmessungen im Freiland durchführen müssen, wenn man Klarheit gewinnen will. Wie wichtig die Luftfeuchte für den Zeitpunkt des Einschaltens der Berechnungsanlage ist, zeigt ein kleiner Versuch, den wir an Efeu und der Topfpflanze Kalla durchführten. Wir maßen wieder thermoelektrisch die Blatttemperaturen. Der Temperaturgang in den Blättern ist in Abb. 27 dargestellt. Die Luftfeuchte betrug bei die-

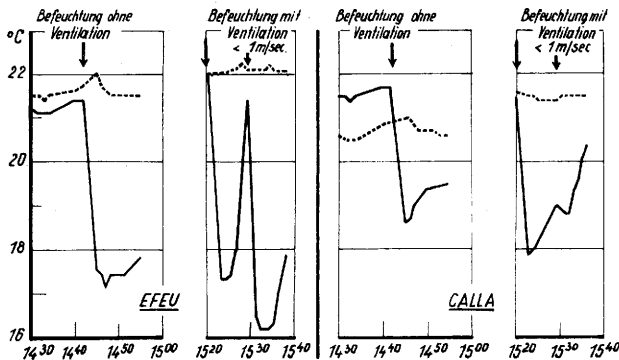


Abb. 27

Verhalten der Gewebetemperaturen von Efeu (links) und Kalla (rechts) bei Befeuchtung unter Laboratoriumsbedingungen (fehlende Ausstrahlung)

— Temperaturgang im befeuchteten Blatt
 - - - - - Temperaturgang im trockenen Blatt

sem Versuch 54%. Wir bestäubten einen Teil der Blätter mit Wasser, während der übrige Teil trocken blieb. Es ist beeindruckend, mit welcher Schnelligkeit sich das Blatt durch die Befeuchtung abkühlt. Bereits bei geringster Ventilation unter 1 m/sec entsteht innerhalb von 2 Minuten die volle Psychrometerdifferenz zwischen trockenem und feuchtem Blatt. Die gemessenen Werte des Assmann'schen Aspirationspsychrometers betrugen 22,2° und 16,2° C. Bei dem dickeren Blatt der Kalla geht der Abkühlungsprozeß nicht so rasch vor sich wie beim dünnen Efeu. Die Wirkung der Verdunstung (es wurde nicht laufend befeuchtet) geht bereits wieder zurück, ehe das Blatt seinen vollen Wärmeverrat abgegeben hat. Bei der Rebe haben wir es aber, besonders im Frühjahr, mit zarten dünnen Blättchen zu tun, die auf Befeuchtungen mindestens ebenso schnell mit einem Temperaturabfall reagieren wie das Efeublatt. Und die Luftfeuchte lag am 20. 4. bei Eintritt des Frostes zwischen 50 und 60%. Aus unserem Versuch muß geschlossen werden, daß die Gewebetemperaturen der Reben bei Einschalten der Berechnung bei 0° C Lufttemperatur am 20. 4. auf -2,2° C bis -2,8° C absanken, wenn sie diese Temperatur nicht schon vorher durch Ausstrahlung besaßen.

Neuere Untersuchungen (3) haben nämlich inzwischen gezeigt, daß die Temperatur der Pflanzenteile im Freiland in Strahlungsnächten durch die eigene Ausstrahlung der Pflanzenteile beträchtlich unter der Lufttemperatur liegen kann (je nach den Ausstrahlungsverhältnissen bis zu 2 — 3° unter der Lufttemperatur). Eine zusätzliche Abkühlung durch den Beginn der Berechnung tritt dann natürlich nur ein, wenn die Unterkühlung unter die Lufttemperatur durch Ausstrahlung geringer als die Psychrometerdifferenz ist. In jedem Falle aber können Frostschäden auftreten, wenn die Berechnung erst bei 0° C eingeschaltet wird:

a.) durch Unterkühlung der Pflanzenteile unter die Lufttemperatur durch Ausstrahlung vor Beginn der Berechnung,

b.) durch zusätzliche Abkühlung bei Beginn der Beregnung infolge Verdunstungskälte, wenn vorher die Temperatur des Pflanzengewebes trotz Ausstrahlung noch über der Temperatur des feuchten Thermometers lag,

c.) durch Schütteln der unterkühlten Rebteile beim Auftreffen der Regentropfen (Beschleunigung des Gefrierens des unterkühlten Zellsaftes).

Bereits diese wenigen Stichprobenmessungen von Gewebetemperaturen bestätigen die im Anschluß an den Aprilfrost 1959 erstmalig geäußerte Vermutung, daß die Steinheuer'sche Frosterkennungsscheibe vielleicht zur Ermittlung des Beginns der Frostschutzhheizung, nicht aber zur Ermittlung des Beginns der Frostschutzberechnung geeignet sei. Lehmann (4) berichtet von einem Fall, bei dem die Frosterkennungsscheibe erst Eisbildung zeigte, nachdem die Temperatur in 50 cm Höhe -2,8° C erreicht hatte. Man kann sich eines gewissen Unbehagens nicht erwehren, wenn man die Empfehlung Lehmann's liest, den Beginn der Frostschutzmaßnahmen ausschließlich nach Frosterkennungsscheiben auszurichten. Da aber die Pflanzen erfahrungsgemäß im trockenen Zustand bis etwa -20° C ohne Schaden ertragen können, mag die Frosterkennungsscheibe in den meisten Fällen bei der Beheizung zur Feststellung des Beginns der Maßnahme ausreichend sein, weil der Schüttelleffekt fehlt und weil — wie unsere Gewebetemperaturmessungen zeigen — die Pflanzen sehr schnell nach Beginn der Heizung mit einer Temperaturerhöhung reagieren. Trotzdem erscheint uns eine genauere Prüfung der Eignung der Frosterkennungsscheibe zur Festlegung des Heizungsbeginns dringend notwendig. Ein Heizungsbeginn bei -2,8° C — bei dieser Temperatur zeigte in dem von Lehmann zitierten Fall die Frosterkennungsscheibe erst Eisbildung — dürfte in Anbetracht der Unterkühlung der Pflanzenteile unter die Lufttemperatur äußerst gefährlich sein. Sicher unrecht hat Lehmann, wenn er die Frosterkennungsscheibe auch für die Frostberechnung empfiehlt. Dies hat die Praxis erstmalig 1959 sehr deutlich erfahren müssen. Auch hierfür geben Gewebetemperaturmessungen den Grund an. Bei Beginn der Beregnung kommen die Pflanzenteile nämlich — im Gegensatz zur Heizung — nicht sofort in den Genuß einer Wärmezufuhr, sondern bleiben bzw. werden bis zur Psychrometerdifferenz unter die Lufttemperatur unterkühlt, bis die Eisbildung einsetzt und Wärme für die Pflanzenteile freimacht. Um jedes Risiko auszuschalten, muß die Beregnungsanlage bereits eingeschaltet werden, wenn die Temperatur eines feuchten Thermometers 0° C unterschreitet. Nur dadurch kann die Unterkühlung der Pflanzenteile vor und nach Beginn der Beregnung auf ein bezüglich Temperatur und Zeit erträgliches Maß herabgesetzt werden. Die Frosterkennungsscheibe vermag für diesen Zeitpunkt aber sicher keine Hinweise zu geben.

Folgende Ergebnisse der Untersuchung seien zum Abschluß zusammenfassend herausgestellt:

Das Beispiel des untersuchten Weinberges zeigt, daß eine kleine Hochwaldlücke am oberen Talende bei bestimmten Wetterlagen als Kaltlufteinbruchspforte in Erscheinung treten kann, auch wenn sie bereits wieder von mannshohem Baumbewuchs ausgefüllt ist. In besonderem Maße tritt dies bei Heizung des darunterliegenden Geländes unter dem Einfluß der Konvektion ein.

Es bestätigt sich erneut, daß Klee- und Luzernebestände als besonders starke Kaltluftproduktionsflächen anzusehen sind.

Die besonderen Eigenarten der Frostnacht vom 20. zum 21. 4. 59 sind in der extrem niedrigen Luftfeuchte

und in dem damaligen Entwicklungsstadium der Reben (Reben in Wolle) zu erblicken.

Als Wirkung der Geländeheizung auf die Lufttemperatur konnte maximal eine Temperaturerhöhung von 3 bis 3,5° C im Zentrum der Heizfläche und von 1,0 bis 1,5° C an den Rändern der Heizfläche, im Durchschnitt über die gesamte Fläche also von 2,0 bis 2,5° C ermittelt werden. Diese maximale Heizwirkung hält bei den meisten der z. Z. auf dem Markt befindlichen Frostschutzöfen nur etwa 1 Stunde an. Werden die Öfen nicht nachreguliert (Verstellen des Luftzuges, Ent-rückung, Nachfüllen von Öl), so fällt schon nach einer Stunde Betriebsdauer die Heizleistung ab. Zu fordern ist deshalb die Entwicklung von Öfen, bei denen die Heizleistung mit abnehmendem Ölspiegel zunimmt oder zumindest gleich bleibt.

Die Geländeheizung größerer Hangflächen in engen Tälern beeinflusst nicht nur unbeheizte Randgebiete, sondern beseitigt durch Konvektion auch die im Tal vorhandene Luftschichtung (Inversionen) und kann dadurch auch für gegenüberliegende Hangflächen von Bedeutung werden.

Für die Beurteilung frostschtützensder Wirkung von Heizverfahren reichen Messungen der Lufttemperatur nicht aus, es sind vielmehr hierfür auch Messungen der Temperatur im Pflanzengewebe selbst erforderlich. Aus der Differenz zwischen Gewebe- und Lufttemperatur kann man Rückschlüsse auf den strahlungsbedingten Anteil der Wirkung von Heizverfahren ziehen, dessen Kenntnis besonders wichtig ist, da er weniger von den Umweltverhältnissen (Inversion, Wind, Geländeform) abhängig ist als der konvektive Anteil.

Gewebetemperaturmessungen zeigen auch deutlich, daß der Beginn der Bekämpfungsmaßnahmen bei der Frostschutzberechnung in der Regel früher erfolgen muß als bei der Frostschutzhheizung. Sogenannte Frosterkennungsscheiben sind für die Ermittlung des Beginns der

Frostschutzberechnung auf jeden Fall ungeeignet. Ihr Einsatz bei der Heizung scheint möglich. Es ist jedoch notwendig, auch darüber noch genaue Untersuchungen durchzuführen, um endgültige Gewißheit zu erlangen.

Anläßlich des Abschlusses vorstehender Untersuchung ist es mir ein Bedürfnis, meinen Mitarbeitern, Herrn G. Wahlich und Herrn R. Bühl, meinen herzlichen Dank für ihren selbstlosen und vorbildlichen Einsatz auszusprechen, der weit über das Maß ihrer dienstlichen Verpflichtung hinausging und ohne den das Unternehmen nicht durchführbar gewesen wäre. Ich danke auch aufrichtig den Herren Dr. Liesering (Bayer. Landeslehr- und Versuchsanstalt) sowie Amthor (Agrarmeteor. Versuchs- und Beratungsstelle Würzburg), die täglich gewissenhaft die Minimumtemperaturen im Weinberg ablesen und dadurch die Möglichkeit zur Feststellung der Verteilung der Minimumtemperatur in Strahlungs Nächten schufen.

Literatur

- (1) Geiger, R., Woelfle, M. u. Seip, L. Ph.: Höhenlage und Spätfrostgefährdung I. Mitteilung. Forstwiss. Cbl. 55, H. 17, 579—592 (1933)
- (2) Deutscher Wetterdienst: Vorläufige Richtlinien für die Kartierung der Frostgefährdung durch Dienststellen des Deutschen Wetterdienstes. Offenbach a. M. 1959 (nicht veröffentlicht)
- (3) Schneider, M.: Gewebetemperaturen frostempfindlicher Teile von Weinreben vor der Blattentfaltung bei der Frostschutzberechnung. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 70 (1960)
- (4) Lehmann, P.: Die Steinheuer'sche Frosterkennungsscheibe, ein einfaches Gerät zur Rationalisierung der Frostbekämpfung. VDI-Z. 100, Nr. 9, 357—359 (1958)

3.3. Einfluß der Geländeheizung auf den Wärmehaushalt eines Versuchskörpers

von

Rudolf Weise

(mit 2 Abbildungen im Text)

Zusammenfassung

Mit Messungen in der Wetterhütte kann man den Einfluß der Geländeheizung auf die Lufttemperatur nicht restlos erfassen.

Die verhältnismäßig geringfügige Steigerung der Lufttemperatur durch die Geländeheizung wird bestätigt.

Infolge der Gegebenheiten des Versuches ist die Größe der Heizöfen-ausstrahlung und ihr Einfluß auf den Wärmehaushalt des Versuchskörpers nicht eindeutig festzustellen.

Auf Grund von Δ_x -Registrierungen werden praktische Ratschläge gegeben, die Geländeheizung rentabler zu gestalten.

Abstract

Measurements in the thermometer screen are not sufficient to realize the influence of heating on the air temperature completely.

The relatively low increase of air temperature by heating is confirmed.

Due to the circumstances of the test, the exact radiation of the burners and their influence on the heat balance of the test object could not unambiguously be found out.

Practical hints for obtaining a higher rentability of heating are based on Δ_x records.

Einleitung

Die Temperatur eines jeden Körpers — auch die einer Pflanze — ist die Bilanz sämtlicher wärmeenergiezuhelfenden und abführenden Vorgänge. Sie kann sich von der Lufttemperatur, die nur ein Teilfaktor in dieser Wärmebilanz ist, wesentlich unterscheiden (1) (2).

Ob eine Frostschutzmaßnahme Erfolg hatte, ist eine Frage nach dem Wärmehaushalt der Pflanze.

Temperaturmessungen im Pflanzeninneren brauchen nicht immer einheitliche, vergleichbare, jederzeit reproduzierbare Werte zu liefern. Die Erfahrungen hierüber reichen noch nicht aus (3).

Temperaturmessungen in fest definierten, immer reproduzierbaren Versuchskörpern liefern dagegen einheitliche, vergleichbare Werte.

Die vorliegende Untersuchung beschränkt sich deshalb vorerst darauf, als Kriterium für den Erfolg einer Frostschutzmaßnahme Versuchskörpertemperaturen zu benutzen, wohl wissend, daß die Temperaturen im Versuchskörper mit denen im Pflanzeninneren nicht identisch sein müssen, daß aber bei beiden der Wärmehaushalt unter den gleichen Standorteinflüssen (hier der Geländeheizung) stand.

Untersuchungsmethode

Versuchskörper

Als Versuchskörper dienten farblose, runde Glasstäbe von 25 mm Länge und 2 mm Dicke, nämlich Degussa-Hartglas-Widerstandsthermometer (Bestellnummer A

2/51052 Pt 100 Ohm, $\alpha = 3,85 \cdot 10^{-3}$). Sie wurden mit senkrechter Längsachse unmittelbar zwischen den Reben, frei und ungeschützt, als wären sie Rebzweige, allen Standorteinflüssen ausgesetzt. Dicht daneben stand in der Rebasse, ebenfalls in 70 cm Höhe, eine Gießener Hütte (siehe Abschnitt 3.2.). Sie enthielt in ihrem Inneren ein gleiches Degussa-Widerstandsthermometer neben einem Thermohygrographen, einem Maximum- und einem Minimumthermometer.

Abb. 2 in Abschnitt 3.2. zeigt bei den Nummern 1 und 2 den Standort der Meßstelle in der Brenntag-Ölheizungsanlage. (Die weiteren Meßstellen werden hier nicht berücksichtigt; das Meßprofil war auf ein anderes Untersuchungsziel, nämlich auf die Frage, wie sich ein Tal mit Kaltluft füllt, ausgerichtet.)

Die Meßstelle lag in der Mitte von 4 Brenntag-Brennern. Weitere Einzelheiten über den Aufbau der Geräte findet man bei (2).

$^{\circ}\text{C}$ und $\cdot\text{C}$

In der Gießener Hütte wurde mit dem Versuchskörper wahre Lufttemperatur (= kinetischer Energiezustand der Luft) als $^{\circ}\text{C}$ gemessen (5).

Die Temperaturen des daneben frei aufgestellten Versuchskörpers dagegen hingen von der Lufttemperatur und von Standorteinflüssen (in erster Linie Strahlung und Belüftung) ab. Sie werden hier, wie bei (2) dargetan, mit $\cdot\text{C}$ (= Punkt Celsius) bezeichnet. (Es soll damit zum Ausdruck gebracht werden, daß sie eine Wärmehaushaltbilanz darstellen, weil sie an Meßkörpern gewonnen wurden, denen der sonst in der Meteorologie übliche Strahlungsschutz fehlte.)

Δ_x - Methode

In Gleichung [4] wurde bei (2) dargetan, daß

$$\Delta_x = \cdot C - {}^\circ C = \frac{S_L}{\alpha_S + \alpha_L} - \delta$$

ein Maß für den Standorteinfluß, hier für den Erfolg der Geländeheizung, darstellt.

Dabei ist:

S_L = Strahlungsbilanz der Versuchskörperoberfläche (cal. cm⁻². min⁻¹) (6)

α_S = Strahlungskoeffizient (cal. cm⁻². min⁻¹. °C⁻¹)
(Er ist nach der Stefan-Boltzmann'schen Regel von der Körperoberflächentemperatur abhängig.)

Bei Einstrahlung am Tage ist er nach dem Farbspektrum bei jedem Körper und demzufolge auch bei jedem Pflanzenteil anders. Bei nächtlicher Infrarot-Ausstrahlung ist er dagegen praktisch überall gleich; Versuchskörper und Rebe strahlen wie graue Körper aus.)

α_L = Wärmeübergangskoeffizient Luft/Versuchskörper, bzw. /Pflanze (cal. cm⁻². min⁻¹. °C⁻¹)
(Er wächst mit zunehmender Turbulenz oder zunehmendem Wind. Er ist von Körper zu Körper, von Pflanze zu Pflanze verschieden, denn er ist von der jeweiligen Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität, sowie von der Körperform abhängig. Er kann so stark anwachsen, daß der Bruch praktisch zu null wird, d. h.: Bei starker Belüftung wird praktisch $\cdot C = {}^\circ C$.)

δ = Temperaturunterschied zwischen der Luft in der Giessener Hütte und der Luft am dicht danebenstehenden Versuchskörper.

Registrierungen

Mit einem in einer Weinbergshütte (Abb. 24 in Abschnitt 3.2.) untergebrachten Sechsfarbenfallbügelschreiber wurden die Lufttemperatur °C und die Meßgröße Δ_x registriert.

Zur Arbeitsvereinfachung wurde die bei (2) angegebene „Differenzschaltung“ angewendet.

Damit diese Registrierungen mit denen des Klimadienstes der Wetterwarte Würzburg-Stein verglichen werden können, wurden alle Zeitangaben in Mittlerer Ortszeit (MOZ) gemacht. (12.00 MOZ = 12.20 MEZ).

Meßergebnisse

Vom 15. 4. 1959 bis 15. 5. 1959 wurden die Δ_x - und die °C-Werte ohne Unterbrechung laufend registriert.*)

Für die vorliegende Arbeit sind die Kurven der Frostnächte, in denen geheizt wurde, mit denen der „Strahlungsnächte“ zu vergleichen.

Als „Strahlungsnächte“ wurden die in Abschnitt 3.2. angeführten Daten übernommen. Jede dieser Nächte und jede beheizte Frostnacht — auch die mit Teilheizung — führte zu gleichen Ergebnissen. Die Veröffentlichung kann sich daher auf die Kurven vom 12./13. 5. 1959 als Beispiel für eine normale „Strahlungsnacht“ (Abb. 1) und auf Kurven vom 20./21. 4. 1959 als Beispiel für eine Frostnacht mit Heizung (Abb. 2) beschränken.

Normale Strahlungsnacht

Abb. 1 zeigt in der rechten Kurve die Lufttemperatur in der Giessener Hütte (°C).

Im Kurvenverlauf damit gleichsinnig, nämlich Erwärmung nach links, Abkühlung nach rechts, wurden,

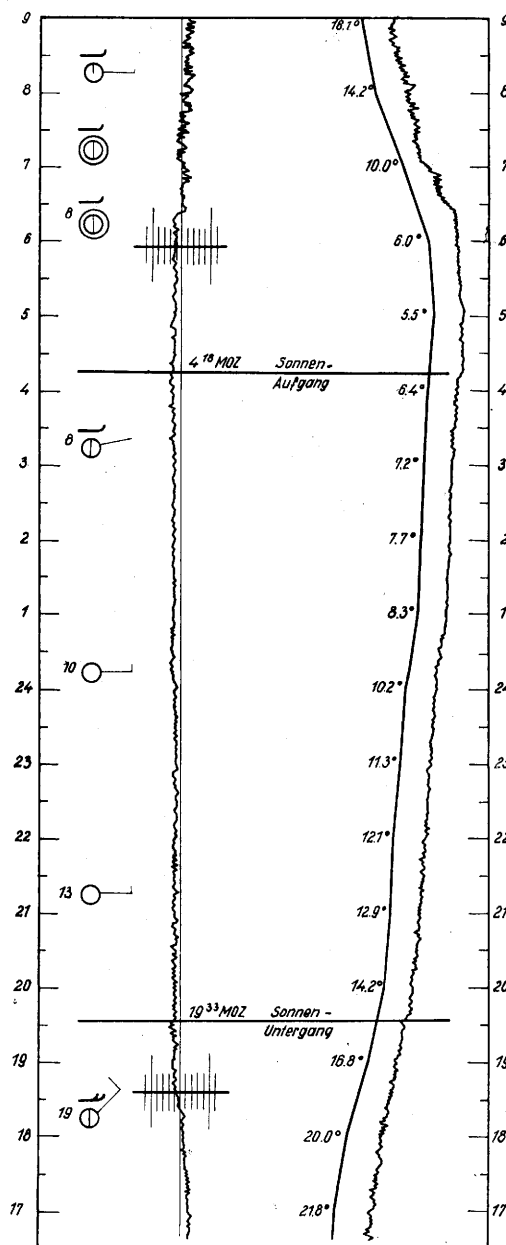


Abb. 1
°C- und Δ_x -Registrierungen in einer Strahlungsnacht

etwas nach links versetzt, die Stundenwerte aus den Registrierstreifen jenes Thermographen eingetragen, der zur Kontrolle in der Giessener Hütte neben dem Widerstandsthermometer aufgebaut worden war.

Die linke Kurve gibt die Δ_x -Aufzeichnungen mit ihren Abweichungen von der Null-Linie.

Neben den MOZ-Angaben stehen am linken Rande die zu den Synoptischen Terminen von der Wetterwarte Würzburg-Stein abgegebenen Wettermeldungen.

Die °C-Kurve der Lufttemperatur zeigt den normalen, ruhigen Verlauf, wie er für Strahlungsnächte in Talbodennähe charakteristisch ist. Er wird durch die Stundenwerte der Thermographenstreifenauswertung bestätigt.

Die Δ_x -Kurve zeigt mit ihrer Abweichung nach rechts um 17 Uhr MOZ noch positive Werte, d. h. $\cdot C$ ist wärmer als °C, der Versuchskörper hat unter dem Einfluß der Einstrahlung noch eine positive Wärmebilanz. (Der Übersichtlichkeit halber wurden in den Abbildungen die Lineaturen des Registrierpapiertes weggelassen. Als Ersatz dienen die beiden °C-Skalen.)

*) Herrn Dr. Liesering, Herrn Amthor, den Weinbaumeistern Lippe und Fischer gebührt Dank für Unterstützung.

Mit abnehmender Einstrahlung werden die Δ_x -Werte laufend kleiner.

Um 18.25 MOZ, also mehr als eine Stunde vor Sonnenuntergang, ist Δ_x und damit die Wärmebilanz des Versuchskörpers null geworden. Von nun an weicht die Δ_x -Kurve dauernd nach links von der Null-Linie ab, d. h. während der ganzen Nacht ist der Versuchskörper kälter als die Luft in der Giessener Hütte. Kurze Kurvenrückschläge zur Null-Linie zeigen, daß der Versuchskörper dabei immer nur für kurze Augenblicke durch Turbulenz oder durch kaum meßbare, schwache Winde auf die Lufttemperatur aufgewärmt wurde.

Der Unterschied der Versuchskörpertemperatur $^{\circ}\text{C}$ zur Lufttemperatur $^{\circ}\text{C}$ in der Giessener Hütte beträgt normalerweise 1—2 Grad, bei besonders günstigen Ausstrahlungsverhältnissen zuweilen sogar 3 Grad.

Auch nach Sonnenaufgang (04.18 MOZ) bleibt die Wärmebilanz des Versuchskörpers noch negativ. Erst wenn die Sonne hoch genug steht und ihre Strahlen den Talboden erreichen (06.25 MOZ), wandert die Δ_x -Kurve nach rechts aus, um dann nach unruhigem Schwanken um die Null-Linie von 07.40 MOZ an endgültig Pluswerte anzunehmen.

Die Wärmebilanz der Versuchskörper bedarf somit, um positiv zu werden und zu bleiben, der unmittelbaren Sonnenbestrahlung. Diffuses Tageslicht in den Morgen- und Abendstunden reicht nicht aus, die strahlungsbedingten Wärmeverluste zu kompensieren.

Die $^{\circ}\text{C}$ - wie die Δ_x -Kurve zeigen bei der morgendlichen Wiedererwärmung größere Schwankungen als bei der abendlichen Abkühlung. Die bodennahe Luftschicht ($^{\circ}\text{C}$) wird nämlich durch das unterschiedliche Aufheizen an verschiedenen stark von der Morgensonne bestrahlten und damit auch verschieden stark wiedererwärmten Körpern uneinheitlich. Den Versuchskörper trifft daher bald ein Schwall wärmerer, bald ein Schwall kälterer Luft. Die Wetterhütte kann diese raschen Temperaturschwankungen nur zum Teil mitmachen. Es entstehen die mit δ bezeichneten Temperaturunterschiede, und die morgendlichen Schwankungen machen sich daher nicht nur an der $^{\circ}\text{C}$ -, sondern vor allem auch an der Δ_x -Kurve bemerkbar.

Frostschutz-Nacht

Abb. 2 zeigt dieselbe Anordnung wie Abb. 1. Die Temperaturangaben der synoptischen Meldungen können aber, da an der Wetterwarte nicht geheizt worden ist, nicht wie in Abb. 1 mit den Werten der Thermographenstreifen übereinstimmen.

Die $^{\circ}\text{C}$ -Kurve der Lufttemperatur wird durch die nahezu parallel verlaufende Kurve der Kontrollstreifenauswertung bestätigt.

Sie nimmt im Laufe des Nachmittags langsam, aber stetig, bei und nach dem Sonnenuntergang dagegen sehr rasch ab.

Um 21.10 MOZ begann man, die Brenntag-Ölheizanlage in Betrieb zu setzen; die Lufttemperatur stieg um 2—3 $^{\circ}$, wie die $^{\circ}\text{C}$ -Kurve durch Abweichen nach links zeigt. Um 21.24 MOZ brannten auch die letzten Brenner-Reihen. Die Lufttemperatur blieb von nun an nahezu konstant bis gegen Mitternacht, dann sank sie trotz der Geländebeheizung bis kurz vor 6 Uhr (= 1 Stunde nach Sonnenaufgang!).

Ab 05.30 MOZ (= 1/2 Stunde nach Sonnenaufgang) erloschen allmählich die Öfen. Die $^{\circ}\text{C}$ -Kurve reagierte darauf durch einen erneuten Temperaturabfall, der von der bis 06.37 MOZ noch allein brennenden Brenntag-Anlage nicht aufgefangen werden konnte; die $^{\circ}\text{C}$ -Kurve blieb dann etwa eine Stunde lang bei ihrem nächtlichen Tiefstwert.

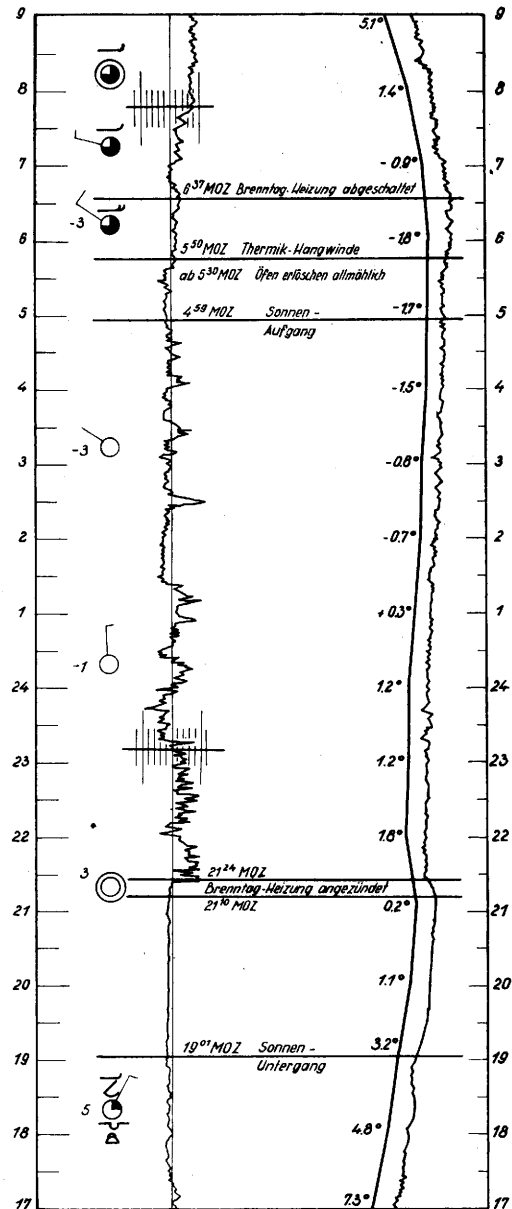


Abb. 2

$^{\circ}\text{C}$ - und Δ_x -Registrierungen in einer Frostschutznacht

Die Δ_x -Kurve zeigt durch ihre Lage rechts von der Null-Linie bis 17 $\frac{1}{4}$ MOZ einen positiven Wärmehaushalt des Versuchskörpers an.

1 $\frac{3}{4}$ Stunden vor Sonnenuntergang überquert sie die Null-Linie. Da die Ausstrahlung die nur noch schwache Einstrahlung überwiegt, ist die Wärmebilanz fortan negativ. Dieser Teil der Kurve zeigt den gleichen Verlauf wie die Abb. 1. Der Versuchskörper ($^{\circ}\text{C}$) ist wie immer in „Strahlungsnächten“ kälter als die Luft der Wetterhütte ($^{\circ}\text{C}$).

Nach dem Anzünden der Brenntag-Ölheizanlage (21.10. — 21.24 MOZ) bekam die Δ_x -Kurve einen ganz anderen, eigenartigen Charakter. Während bei der $^{\circ}\text{C}$ -Kurve nur ein Ausweichen des Linienzuges nach links, d. h. eine Erhöhung der Lufttemperatur um 2—3 Grad bewirkt wurde, veranlaßte es die Δ_x -Kurve, von der negativen linken zur positiven rechten Seite überzuwechseln und dabei einen überaus unruhigen Verlauf anzunehmen. Sie pendelte in jähen Zügen von +5 $^{\circ}$ bis zu -20 $^{\circ}$, einmal sogar bis zu -50 um die Null-Linie. Aus der Lage zwischen -10 $^{\circ}$ und -20 $^{\circ}$, die sie sonst in Strahlungsnächten ziemlich beständig einhält (vergl. Abb. 1), wurde sie immer wieder durch heftige Pendel-

schläge herausgerissen. Von 1½ bis 2½ Uhr MOZ abgesehen, konnte sie diese Strahlungsnacht-Normallage immer nur kurzfristig einhalten.

Der Versuchskörper bekam demnach durch die Geländeheizung einen sehr unruhigen Wärmehaushalt. Bald war er wärmer, bald kälter als die Luft in der Wetterhütte.

Von kurz vor Sonnenaufgang an blieb die Δ_x -Kurve immer links von der Null-Linie und zeigte nur noch geringe Schwankungen. Die Heizleistung der Öfen war — wie bereits in (4) beanstandet — stark zurückgegangen. Von 05.30 MOZ an erloschen sie allmählich. Nur die Brenntag-Anlage blieb noch bis 06.37 MOZ im Gange. Sie genügte nicht, die Wärmebilanz des Versuchskörpers positiv zu machen.

Gegen 05.40 MOZ (¾ Stunden nach Sonnenaufgang) wechselte die Δ_x -Kurve von der linken auf die rechte Seite der Null-Linie über. Die Wärmebilanz blieb fortan — von einer kurzen Unterbrechung nach dem Abschalten der Brenntag-Anlage abgesehen — positiv; der Versuchskörper war wieder wärmer als die Luft.

„05.50 Hangthermik im vollen Gange“, steht als Vermerk im Versuchsprotokoll. Durch die Einstrahlung waren alle Körper im Weinberg wieder wärmer als die sie umgebende Luft. Die an ihnen aufgeheizten Luftpakete stiegen wieder zwischen den Rebzeilen am Hang entlang nach oben. Die nächtliche Luftzirkulation im Weinberg (7) war damit zu Ende.

Diskussion der Kurven

Abb. 2 lehrt, daß der Erfolg der Geländeheizung mit Lufttemperaturmessungen in einer Wetterhütte allein noch nicht völlig erfaßt wird. Zur Leistung der Geländeheizung zählen nicht nur die Steigerungen der Lufttemperatur ($^{\circ}\text{C}$), sondern auch die Übertemperaturen ($^{\circ}\text{C}$), die ein Versuchskörper, wenn auch nur kurzfristig und stark schwankend annimmt. Sie deuten sich in den positiven Ausschlägen der Δ_x -Kurve an.

Die Δ_x -Kurve beeinflussende Variable

Nach der Gleichung [4] in (2) wird Δ_x bestimmt durch die Strahlungsbilanz S_L des Versuchskörpers, durch seine Belüftung α_L und durch den Temperaturunterschied δ .

Alle drei Variablen sind durch die Geländeheizung beeinflusst, und jede wirkt anders auf die Gestalt der Δ_x -Kurve ein.

S_L , die Strahlungsbilanz des Versuchskörpers, ist bei Nacht, wenn die Einstrahlung des Tageslichtes fehlt, der Ausstrahlung wegen immer negativ, d. h. der Versuchskörper ist bei Nacht kälter als die Luft, die Δ_x -Kurve befindet sich auf der linken Seite der Null-Linie.

Ist die Wärmeausstrahlung der Heizöfen so groß, daß sie die Ausstrahlung des Versuchskörpers überkompensiert, so kann Δ_x positive Werte annehmen, andernfalls muß es null oder gar noch negativ sein.

α_L , der Wärmeaustausch durch Belüftung, gleicht Über- und Untertemperaturen des Versuchskörpers bis zur Lufttemperatur aus, d. h.: die Δ_x -Kurve wird von der positiven wie von der negativen Seite her immer wieder in Richtung auf die Null-Linie zurückgebracht.

Erhöhung der Luftbewegung steigert diesen Wärmeaustausch, verringert somit die Δ_x -Kurvenausschläge. Geländeheizung erhöht stets die Luftbewegung. In α_L ist somit zwar eine der Ursachen für das Vibrieren der Δ_x -Kurven während der Geländeheizung, aber nicht die Ursache für das Abweichen der Δ_x -Kurve von der Null-Linie zu finden.

δ , der Temperaturunterschied zwischen der Luft in der Wetterhütte und der Luft am frei ausgesetzten Versuchskörper mußte null sein, wenn die Wetterhütte immer repräsentativ wäre.

Während der Geländeheizung kann aber die Luft im Weinberg nicht einheitlich bleiben. Heiße Verbrennungsgase steigen rasch in die Höhe und reißen kältere Luftmassen aus der unmittelbaren Ofenumgebung mit sich. Auch von den ungeheizten, an den Weinberg angrenzenden kalten Ackerflächen wird neue Frischluft nachgesogen. An dem Versuchskörper zieht somit im schnellen Wechsel einmal ein Schwall warmer, einmal ein Schwall kalter Luft vorbei.

Die Wetterhütte macht diese raschen Schwankungen der Lufttemperatur nicht mit. Die Reibungswiderstände zwischen den Spalten der Wetterhüttenjalousien sind zu groß für die schwachen Luftbewegungen. Die verschiedenen temperierten Luftpakete streichen an der Hütte vorbei, ohne richtig in sie eindringen zu können. Die $^{\circ}\text{C}$ -Angaben des Versuchskörpers in der Wetterhütte zeigen daher nur geringe Schwankungen.

Der freistehende, rasch reagierende Versuchskörper dagegen muß mit seinen $^{\circ}\text{C}$ -Angaben jede Temperaturschwankung mitmachen. Jeder Schwall wärmerer Luft läßt daher die Δ_x -Kurve nach rechts ausschlagen und erzeugt damit das gleiche Kurvenbild wie eine vorübergehende, von den Öfen stammende Wärmestrahlung, und, da die verschiedenen temperierten Luftpakete nur klein sind, reicht eine sehr geringe Windgeschwindigkeit schon aus, heftige und schnelle Pendelausschläge der Δ_x -Kurve zu verursachen.

Die Ursachen der positiven Δ_x -Kurvenausschläge

Es tut sich somit die Frage auf: Sind die positiven Ausschläge der Δ_x -Kurve in der Abb. 2 durch Wärmestrahlen der Heizöfen oder durch vorbeistreichende heiße Verbrennungsgase entstanden?

Nimmt man als Ursache die Wärmestrahlung der Heizöfen an, dann muß erklärt werden, warum die positiven Kurvenausschläge immer wieder Rückschläge auf die Null-Linie zu und sogar über die Null-Linie hinaus zur negativen Seite erleiden.

Es kommen dafür zwei Ursachen in Frage: Die Zunahme der Belüftung und das Nachlassen der Heizofenwärmestrahlung.

Gesteigerte Luftbewegung kann die positiven Kurvenausschläge nur bis zur Null-Linie herunterdrücken. Die tatsächlich vorhandenen negativen Kurvenausschläge (z. B. 22 MOZ) sind unter der Annahme einer gleichbleibenden Ofenwärmeausstrahlung als Ursache für die Δ_x -Pluswerte nicht zu erklären.

Aber selbst für die Kurvenrückschläge, die noch im positiven Bereich bleiben, ist die Belüftungszunahme als Erklärung schlecht möglich, weil plötzliche absolute Windstille bei den hohen Plus-Werten ganz abrupt mit starker Luftbewegung bei den Kurvenrückschlägen abwechseln müßten, was den Beobachtungen in der Natur widerspricht.

Nachlassende Strahlung für die Kurvenrückschläge verantwortlich zu machen, wäre bei einwandfrei funktionierender Heizung noch weniger gerechtfertigt.

Da der Abstand des Versuchskörpers von den Öfen unverändert blieb, würde das bedeuten, die Wandungen der Öfen wären in sehr kurzen Zeitabständen einmal kalt, einmal warm gewesen; ob dies dem Rhythmus der unten beschriebenen Strömungen entspricht, läßt sich nachträglich nicht mehr feststellen.

Außerdem: In normalen Strahlungsnächten wird der Versuchskörper um 1 — 2°, selten auch um 3° kälter als die Vergleichsluft in der Wetterhütte (Abb. 1). Selbst

wenn die Strahlung der Öfen plötzlich ganz aussetzte, könnten die Kurvenrückschläge niemals diese Strahlungsnacht-Normallage im negativen Bereich unterschreiten. (Der Versuchskörper kann durch nachlassende Wärmeeinstrahlung nicht kälter werden als in normalen, unbeheizten „Strahlungsnächten“.) Die Δ_x -Kurve weist aber kurze kräftige Ausschläge unter diese negative Strahlungsnacht-Normallage auf (bis zu -5° z. B. 22 und 23.40 MOZ).

Nimmt man dagegen als Ursache δ , den Temperaturunterschied der Luft in der Wetterhütte zur Luft am frei ausgesetzten Versuchskörper an, so werden die raschen und jähen Schwankungen in der Δ_x -Kurve mühelos erklärbar:

Zieht ein Schwall kalter Luft vorbei, ohne in die Wetterhütte einzudringen, so kann die Δ_x -Kurve selbst unter die Normallage der Abb. 1 absinken. Ebenso rasch kann sie aber auch zu hohen Pluswerten aufschleunigen, wenn ein Schwall heißer Verbrennungsgase an dem Versuchskörper vorbeistreicht.

Der unruhige Verlauf der Δ_x -Kurve ist somit ein Beweis für die Temperaturunruhe, die durch die Geländeheizung in den Weinberg gebracht wird.

Sonstige Ursachen für die Gestalt der Δ_x -Kurve

In (8) wurde bereits angedeutet, daß die Brenntag-Anlage während der Frostschnatnacht nicht zufriedenstellend arbeitete. Nach Mitternacht gab es dauernd Reparaturen, um sie einigermaßen im Gang zu erhalten. Abb. 2 zeigt, daß sich auch diese periodenweise auf die Δ_x -Kurve auswirkten (z. B. $01\frac{1}{4}$ — $02\frac{1}{4}$ MOZ).

Arbeitete die Brenntag-Anlage gut (z. B. bis 23 MOZ), so lag die Δ_x -Kurve überwiegend auf der positiven Seite und zeigte ein starkes Vibrieren. Die Öfen strahlten Wärme aus und erzeugten damit Δ_x -Kurvenausschläge nach rechts. Die durch das Feuer verursachte Luftbewegung aber ließ im so jähen Wechsel bald kalte Luft aus der Umgebung, bald warme Luft von den Öfen am Versuchskörper vorbeistreichen, daß die Gießener Hütte diesen Schwankungen nicht rasch genug folgen konnte.

Ließ die Tätigkeit der Brenntag-Heizung nach, so verringerten sich die Wärmestrahlung der Öfen, die durch das Feuer bedingten Temperaturunterschiede und die Bewegung der Luft. Die Δ_x -Kurve schlug deshalb nach der negativen Seite aus und nahm wie in ungeheizten Strahlungsnächten einen ruhigen Verlauf (z. B. $01\frac{1}{4}$ — $02\frac{1}{4}$ MOZ).

Es liegt in der Natur der Versuchsanordnung, daß man die Δ_x -Kurve nicht als ein Maß für die Größe des Strahlungseinflusses der Heizöfen auf den Wärmehaushalt des Versuchskörpers benutzen kann. Positive Kurvenausschläge werden bei ihr sowohl durch Strahlung wie durch rasch vorbeiziehende heiße Verbrennungsgase hervorgerufen. Strahlung (S_L) und Temperaturunruhe (δ) lassen sich durch diese Versuchsanordnung nicht voneinander trennen. Wohl aber deutet sich die Strahlung in der Lage des Kurvenniveaus rechts der Null-Linie an.

Aus den schlagartig mit dem Beginn der Geländeheizung einsetzenden Δ_x -Schwankungen geht hervor, daß man periodenweise durch das Feuer der Flächenheizung beachtliche Kaltluftmassen aus der Umgebung in den Weinberg hineingezogen hat, z. B. 23 — 24 MOZ, als man 23.15 von der Teilheizung zur Vollheizung des Weinberges übergegangen war. Man hatte nämlich während dieses Frostschutzversuches nicht erkannt, daß die Luft ansaugende Wirkung der Flächenheizung nie größer werden darf als die Kaltluft abriegelnde Wirkung der seitlichen Feuersperren. Indem man nach dem An-

zünden der Feuersperren aus Angst vor einem Mißerfolg die Flächenheizung möglichst kräftig zu halten suchte, durchbrach man die Feuersperren und holte sich stoßweise Kaltluft aus der ungeheizten Umgebung in den Weinberg.

Folgerungen für die Praxis und die Erforschung der Geländeheizung

Betrachtet man den großen Aufwand an Heizöl, Personal und schmutziger Arbeit, so erscheint der Erfolg der Geländeheizung mit einer Steigerung von nur 2—3° gegenüber der Lufttemperatur in der ungeheizten Umgebung entmutigend gering, zumal es dabei nicht gelingt, sich von dem nächtlichen bis zum Sonnenaufgang beständig absinkenden, allgemeinen Temperaturgang frei zu machen. Die Forderung, die Geländeheizung rentabler zu gestalten, ist berechtigt.

Die Δ_x -Kurven zeigen mit ihren starken und schnellen Schwankungen, daß noch zu viel Kaltluft den Verbrennungsgasen, mit denen man die Reben erwärmen will, beigemischt wird.

Die Luftzirkulation im Weinberg vor und während der Geländeheizung ist stärker als bisher zu beachten.

Das zu heizende Gelände ist durch Feuersperren von der ungeheizten kalten Umgebung abzuriegeln und die Heizung im Gelände selbst ist so zu regeln, daß ihre Luft ansaugende Wirkung die Feuersperren nicht durchbrechen und nicht frische Kaltluft aus der ungeheizten Umgebung in die zu schützende Fläche hineinholen kann.

Es erscheint unsinnig, am Rande des Gebietes Öl zu verbrennen, wo kein einziger Rebstock steht. Aber rentable Frostbekämpfung fordert, daß man nicht nur die Luft für die Reben anwärmt, sondern auch die heranströmende Kaltluft richtig dirigiert. Wie man die Stube nicht heizt, ohne Fenster und Türen zu schließen, so sollte man auch nicht den Weinberg heizen, ohne die Kaltluftstraßen abzuriegeln, sei es durch Feuersperren oder durch Windschutzpflanzungen.

Immer wieder frische Kaltluft aufzuheizen, um sie zum Frostschutz an den Reben als Warmluft vorbeistreichen zu lassen, muß unrentabel sein; denn warme Luft steigt rasch nach oben und ist dann für die Reben verloren.

Es hat ferner keinen Sinn, die riesigen Luftmassen des Tales, in dem der Weinberg liegt, aufzuheizen und womöglich dabei gar die Talinversion aufzulösen, daß die Warmluft auch noch in die darüber liegenden Räume hineinsteigen kann.

Die Talinversion ist eine Grenze, die die nächtliche Talluft in zwei voneinander getrennte Luftkörper, die beide ihr eigenes Zirkulationssystem entwickeln, zerlegt (7). Man sollte versuchen, bei der Frostbekämpfung mit dem unteren Luftkörper auszukommen. Seine Masse ist geringer, fordert zur Erwärmung weniger Energien als die riesigen Luftmengen, die oberhalb der Inversion im Tale liegen und die mit dem Luftraum der an die Weinberge angrenzenden weiten Ackerhochflächen der fränkischen Gäu-Landschaft in Verbindung stehen.

Wie stark man den unter der Talinversion liegenden Luftkörper erwärmen kann, ohne die trennende Inversion zu zerstören, wie man dazu das ihm eigene naturgegebene Zirkulationssystem ausnutzen muß, bedarf noch eingehender Untersuchungen. Bei der hier beschriebenen Frostschutzaktion wurden diese Gedankengänge noch nicht berücksichtigt. Eine erste Voruntersuchung dazu wurde bei Frostbekämpfungen 1959 und 1960 in einer Obstanlage in Veitshöchheim (9) eingeleitet.

Es ist nicht verwunderlich, wenn später als Ergebnis solcher Untersuchungen aus verschieden gestalteten Landschaften für die Geländeheizung ganz unterschiedliche Verbesserungsvorschläge kommen.

In brettebenem Gelände, über das die Luft ungehindert, weiträumig hinwegstreichen kann, müssen zur Frostbekämpfung ganz andere Voraussetzungen auftreten als in den verhältnismäßig engen, weinbautreibenden Tälern Frankens, über die nur oben auf den Ackerhochflächen die Luft unbeeinflusst hinwegströmt. Umgekehrt müssen Bergkegel, die aus ebenem Gelände in die Luftströmung hineinragen, zu ganz anderen geländemeteorologischen Erkenntnissen führen.

Man wird keinen überall gültigen Plan aufstellen können, die Geländeheizung rentabler zu gestalten. Immer werden örtliche, geländebedingte, noch zu erforschende Zirkulationsbesonderheiten zu berücksichtigen sein.

Dem Bestreben, die Geländeheizung rentabler zu machen, wird aber ein voller Erfolg erst dann beschieden sein, wenn man die wahren Ursachen für die unabstreitbare Wirksamkeit dieser Frostschutzmethode kennt. In der unbefriedigend geringen Erhöhung der Lufttemperatur und in der mit der hiesigen Versuchsanordnung in ihrer Größe nicht eindeutig zu erfassenden, aber vermutlich auch nur geringen Erhöhung der Körpertemperaturen durch Ofenwärmestrahlung allein wird man die Erklärung kaum finden. Man wird — auch in Anbetracht der guten Erfolge kleinster Öfen — noch nach weiteren Ursachen, die, durch die Gelände-

heizung ausgelöst, auch in der Pflanze selbst liegen könnten, suchen müssen.

Literatur

- (1) Weise, R.: Wie beeinflusst die Erziehungsform die Temperatur im Rebinneren? Weinberg und Keller **3**, 332, 383 (1956)
- (2) Weise, R.: Studien über den Anschluß des Mikroklimas an das lokale Makroklima. Meteor. Rdsch. **13**, 111 (1960)
- (3) Huber, Br.: Der Wärmehaushalt der Pflanzen. Freising-München 1935
- (4) siehe Abschnitt 3.2. dieses Heftes
- (5) Wertheimer, E.: Der Temperaturbegriff in der Thermodynamik und in der Meteorologie. Meteor. Z. **45**, 457 (1928)
- (6) Hofmann, G.: Dew measurement by thermodynamical means. Un. Géodés. Géophys. Internat. Assoc. Internat. Hydrol. Sci. Assembl. Gén. Toronto **2**, 443—445 (1958)
- (7) Weise, R.: Nächtliche Luftzirkulation im Weinberg. Weinberg und Keller **4**, 329 (1957)
- (8) siehe Abschnitt 3.1. dieses Heftes
- (9) Weise, R.: Wetterkundliche Voraussetzungen für eine rentable Frostbekämpfung. Prakt. Ratg. Obst- u. Gartenbau **68** B, H. 4, 13—15 (1960)

