

zu 74093

Mitteilungen

des

Deutschen Wetterdienstes

Nr. 12
(Band 2)

DK 551.524.371 : 621-253.6

Frostschutz mittels Propeller

von

Josef van Eimern

(mit 13 Abbildungen und 1 Tabelle im Text)

Bericht über ausländische Erfahrungen und über Versuche, die in Ottensen bei Buxtehude, Bez. Hamburg, in Gemeinschaft von der Obstbauversuchsanstalt Jork (Dir. Dr. E. L. Loewel) und der Agrarmeteorologischen Versuchs- und Beratungsstelle Hamburg des Deutschen Wetterdienstes 1953 und 1954 durchgeführt wurden.

Bad Kissingen 1955

INHALT

	Seite
Vorwort	3
Das Prinzip der Frostschutzmethode mittels Propeller Ältere Versuche mit Propellern und die Anwendung dieser Methode im Ausland	4
1. Ältere Versuche	4
2. Die Anwendung in Amerika	5
3. Die Versuche in England	8
4. Die Versuche in Australien	9
Die Propellerversuche in Ottensen bei Buxtehude 1953 und 1954	11
1. Der Aufbau des Propellers	11
2. Das Versuchsgelände	12
3. Die instrumentelle Ausrüstung	13
4. Die Durchführung der Messungen	14
Ergebnisse	15
1. Das Windfeld	15
2. Das Temperaturfeld	17
3. Der maximal erzeugte Temperatureffekt	18
4. Die Größe der beeinflussten Fläche	20
a) bei einer Neigung der Propellerachse von 45°	20
b) bei einer Neigung der Propellerachse von 30°	22
5. Die maximale Reichweite des Propellers	22
6. Der Anstieg und Abfall der Temperatur unmittelbar nach An- und Abstellen des Propellers	23
7. Die Wirkung des Hin- und Herschwenkens des Propellers	24
Zusammenfassung und Diskussion der Methode	26
Literatur	29



Anschrift des Verfassers:

Dr. J. van Eimern, Agrarmeteorologische Versuchs- und Beratungsstelle Hamburg,
Bernhard-Nocht-Straße 76.

Vorwort

Die immer wieder auftretenden Spät-Frostschäden im Obst- und Weinbau, in Gärtnereien, bei Feldgemüse und Frühkartoffeln können heute mit Erfolg vermindert werden. In vielen Fällen ist es jedoch noch nicht gelungen, die Frostabwehr so wesentlich zu vereinfachen, um ihre Anwendung auf noch weitere Kreise auszudehnen. Die bis heute beste zusammenfassende Übersicht über alle Frostschutzmethoden liefert immer noch das Buch von Kessler und Kämpfert „Die Frostschadenverhütung“ (1). Diese beiden Verfasser konnten keine bestimmte Methode als die für deutsche Verhältnisse am besten geeignete empfehlen, da diese von der Geländegestaltung, Art und Flächenertrag der zu schützenden Pflanzen, Größe und Form des schutzbedürftigen Areals, vorhandene Hilfsmittel und Personal und nicht zuletzt von den Kosten abhängt.

Immerhin haben sich einige Methoden sehr gut bewährt. Die sicherste Methode mit den größten Temperatureffekten ist wohl immer noch das Heizen, besonders mit vielen kleinen Öfen z. B. Monosöfen (1), (2). Ihr Nachteil ist der große Personalaufwand mit den hohen Betriebskosten. Vorhandene Beregnungsanlagen können ebenfalls ohne nennenswerte zusätzliche Kosten zum Frostschutz eingesetzt werden (3), (4). Da zum Frostschutz zwar nur 2 mm Regen pro Stunde benötigt werden, andererseits aber ununterbrochen vom Beginn des Frostes bis zum Auftauen des letzten Eises nach Sonnenaufgang beregnet werden muß, liefern die meisten Regner zuviel Wasser, was wiederum nicht alle Böden vertragen können. Rogers (3) hat in England deswegen eigens einen kleinen geeigneten „Sprinkler“ für Frostschutz entwickelt.

Große und ebene Flächen lassen sich auch durch künstliche Rauch- und Nebeldecken schützen, wie es z. B. in den Forstbaumschulen um Hamburg-Pinneberg geschieht. Vernebelung verlangt aber oft eine größere Beweglichkeit, da die Nebelquellen mit Veränderung einer schwachen Luftströmung immer wieder versetzt werden müssen.

Neben diesen genannten Methoden gibt es auch noch andere. Aber alle bisher bekannten Methoden verlangen eine saubere Wartung und Betreuung der Schutzgeräte (Öfen, Regner u. a.), eine stetige Überwachung der Lufttemperatur, oft an verschiedenen Stellen, eine genaue Geländekenntnis besonders der frostanfälligen Stellen und der häufig geländebedingten schwachen Luftströmung. Das erfordert dann oft auch einen großen Personalaufwand mit einer straff geführten Organisation und eine sehr frühzeitige Frostwarnung.

Die Wirtschaftlichkeit des Frostschutzes hängt aber nicht nur vom erzielten Schutz, sondern auch erheblich von den Kosten ab. Daher ist Frostschutz mit den bisherigen Methoden nur in einer beschränkten Anzahl von Betrieben mit besonders hochwertigen Kulturen möglich und wenn auch bei den vorhandenen Methoden noch Verbesserungsmöglichkeiten bestehen, so ist es doch angebracht, unter Umständen ganz neuartige Wege zu gehen. Besonders das Problem des Personaleinsatzes beim Frostschutz hat die Obstbauversuchsanstalt des Alten Landes in Jork, Bez. Hamburg, (Dir. Dr. E. L. Loevel) veranlaßt, eine Methode aufzugreifen und deren Einsatzmöglichkeit für deutsche Verhältnisse zu untersuchen, welche in Amerika seit einigen Jahren in größerem Umfang betrieben und die auch in anderen Ländern wie in Australien und England erprobt wird. Das ist die Methode mittels Propeller.

Eine einfache Übertragung der ausländischen Versuchsergebnisse auf die deutschen Verhältnisse ist nicht möglich, weil diese meist in den dichtbelaubten Citrusplantagen Kaliforniens und Australiens mit einem anderen Kleinklima als in unseren

Obstanlagen gewonnen wurden. Es bestehen auch Unterschiede hinsichtlich der maschinentechnischen Seite sowie in den Herstellungskosten. Diese Methode hat aber mehrere Vorteile: Die Betriebskosten sind sehr gering, praktisch wird nur ein Mann benötigt, der mehrere Geräte gleichzeitig bedienen kann, und eine Frostwarnung braucht oft erst im letzten Augenblick gegeben werden.

So wurden im Frühjahr 1953 und 1954 in einer Apfelanlage des Betriebes Ottensen der Obstbauversuchsanstalt Jork bei Buxtehude Frostschutzversuche mit dieser Methode durchgeführt. Die Versuche dürfen noch nicht als abgeschlossen gelten. Da die Methode in Deutschland weniger bekannt ist, sei an dieser Stelle ein Überblick über ihren Stand im Ausland gegeben und über die in Ottensen erzielten Ergebnisse berichtet. Am Schluß folgt eine Diskussion über die bei dieser Methode noch auftretenden Probleme. Die Zusammenstellung möge als Grundlage für weitere notwendige Untersuchungen dienen.

Das Prinzip der Frostschutzmethode mittels Propeller

Spätfrostschäden treten innerhalb eines Geländes nie gleichmäßig auf, manche Stellen sind als „Frostlöcher“ bekannt. Neben Bodenart und -struktur ist für die Frostgefährdung einer Geländestelle entscheidend, daß hier die Luft stagnieren kann. Die tiefsten Temperaturen treten dort auf, wo die vollkommenste Luftruhe herrscht. Wo noch ein „Kaltluftfluß“ besteht, ist immer noch eine gewisse Luftbewegung, welche hin und wieder auch gewisse Warmluftschwälle in Bewegung setzt. P. Lehmann (5) bezeichnet die Erzeugung einer gewissen Luftventilation durch Einhaltung der Reihenrichtung von Rebstöcken oder Obstbäumen mit der Gefällsrichtung oder durch die Beseitigung luftstauender Hecken, Gestrüpp u. ä. schon als frostmildernd.

Derartige Maßnahmen sind aber nur vorbeugender Art. Die beste und stärkste Luftdurchmischung, besonders auf längere Strecken, läßt sich nur mit Propellern erzeugen. Der Propeller zerstört mit seinem Wind die in Frostnächten am Boden, in Citrusanlagen über den dicht belaubten Bäumen haftende Kaltfluthaut, die mit ihren Frostgraden oft nur wenige Meter Mächtigkeit hat und über der in klaren windschwachen Nächten immer wärmere Luft vorhanden ist. Je nach der Arbeitsweise des Propellers kann aus den höher gelegenen Luftschichten die Warmluft auch noch nach unten gesogen werden, so daß der Erwärmungseffekt größer wird, als es durch die Verwirbelung der Kaltfluthaut alleine möglich ist. Dabei wird der Grad des Frostschutzes von der Zunahme der Temperatur mit der Höhe abhängen. Die Temperaturzunahme, die Stärke der sog. Temperaturinversion ist vielfach auch gerade dann am größten, wenn auch die tiefsten Frostgrade zu erwarten sind.

Ältere Versuche mit Propellern und die Anwendung dieser Methode im Ausland

Versuche, die Luft zu durchmischen oder die höher gelegene wärmere Luft in die zu schützenden Anlagen hinein zu saugen, sind teilweise schon recht alt. Die Ventilation erfolgte dabei sowohl durch freistehende Propeller wie durch Ventilationsrohre mit und ohne zusätzliche Heizung. Die Blasrichtung schwankt zwischen dem horizontalen Blasen bis zum Blasen schräg oder senkrecht nach unten. Die Grundidee bleibt aber stets: Zerstörung der bodennahen Kaltfluthaut und Nachschub wärmerer Luft aus den höheren Schichten.

1. Ältere Versuche

Kessler und Kämpfert (1) berichten schon über die Anwendung derartiger Methoden. Nach den damals (1940) vorliegenden Erfahrungen konnten sie allerdings nicht von ihrer Brauchbarkeit überzeugt sein. Da die Umschichtung der in solchen Frostnächten oft recht stabilen Luftschichtung eine größere Energie erfordert, kann man diese Methode von vornherein auch nicht mit unzureichenden Mitteln beginnen wollen.

Schon 1914 hat J. Löschnig (6) Versuche mit Belüftern angestellt, die er an den vier Ecken eines ebenen 50 x 50 Meter großen Versuchsfeldes derart aufstellte, daß die Luft aus (nur) 2 m Höhe herabgesaugt und waagrecht in das Versuchsfeld

geblasen wurde. Er erzielte einen mittleren Temperatureffekt von $0,70^{\circ}\text{C}$ und einen maximalen von $2\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$.

Kessler und Kämpfert berichten auch über amerikanische Versuche, wie sie bis 1929 durchgeführt worden waren. Diese damals noch im Anfangsstadium von Young (7) beschriebenen Versuche konnten noch nicht sehr überzeugen. Eine der Maschinen bestand aus einem Zentrifugalgebläse mit einem 20-PS-Motor. Die Luft wurde aus etwa 8 m Höhe durch ein eisernes Rohr herabgesaugt und konnte in Baumkronenhöhe unmittelbar über dem Erdboden herausgeblasen werden. Die Temperaturerhöhung betrug am Auspuff im Mittel 5°C .

Ein vierteiliger Propeller in etwa 12 m Höhe, mit einem 120-PS-Motor wird von Young ebenfalls erwähnt. Zwischen dem Propeller und dem Erdboden war noch ein großer Ölbrenner vorhanden, um die von dem Propeller herabgewehrte Luft zu erwärmen. Die Luftbewegung war nur bis zu etwa 35 m Entfernung spürbar, in 15 m Abstand vom Propeller war die Temperaturerhöhung ohne zusätzliche Heizung $2,70^{\circ}\text{C}$.

In Österreich wurden 1934 ähnliche Versuche von Moser (8) durchgeführt. Er benutzte in einem Weinberg einen 8-PS-Benzinmotor, der mit dem Propeller auf einer 3 Meter hohen Drehscheibe angebracht war. Die Luft wurde schräg nach unten bis zu 100 m weit geblasen. Während des Betriebes wurde der Propeller auf der Drehscheibe noch langsam gedreht. Nach einer Stunde Laufzeit war es in 20 cm Höhe über dem Erdboden nur noch $0,30^{\circ}\text{C}$ kälter als in 3 m Höhe.

Im Jahre 1936 führte die Agrarmeteorologische Forschungsstelle Trier Versuche mit Rohrgebläsen durch (1). Derartige Gebläse waren auch in Amerika und Australien den Propellern immer unterlegen (20).

2. Die Anwendung in Amerika

Einen ausführlichen Bericht über die Erfahrungen mittels Propeller, wie sie in Amerika gesammelt worden sind, gibt R. L. Adams (9) in einer umfassenden Schrift, in der er sowohl die Heizung wie auch die Ventilation mittels Propeller behandelt. Dabei geht er auf die verschiedenen Typen von Öfen und Propellern ein und stellt Kostenberechnungen auf.

In Kalifornien, besonders in den Citrusplantagen, wurden bis 1945 in der Hauptsache Öl-, teilweise auch Brikett- und Koksöfen zum Frostschutz verwandt. 1951 waren schon über 2800 „Blowers“ gegenüber 133 im Jahre 1938 in Betrieb. 88% der geschützten Flächen sind aber gleichzeitig noch mit Öfen ausgerüstet, die erst zum Einsatz kommen, wenn der durch die Propeller gegebene Schutz nicht mehr ausreicht. Die amerikanischen „Windmaschinen“ blasen alle fast horizontal und werden mit Elektro-, Benzin- oder Dieselmotor getrieben. Einzelne dieser auf einem Mast angebrachten Propeller haben auch zwei Motore mit zwei gegenüberliegenden Propellern. Die Umdrehungszahlen sind mit 900 bis 1300 U. p. M. recht hoch. Die mittlere Turmhöhe der Propeller ist 9–12 m, meist jedoch 9 m. Die Propellerdurchmesser liegen zwischen 2,40 und 3,90 m je nach PS-Zahl des Motors. 19 von 24 besichtigten Propellern bliesen nicht in eine feste Richtung, sondern drehten sich mit einer Umdrehungszeit zwischen 2 und 9 Minuten, meist in 5 Minuten noch um 360 Grad um eine vertikale Achse. Andere Propeller schwingen hin und her und bestreichen einen Winkel von 90 oder 180 Grad. Eine Auszählung von etwa 90–95% der in Kalifornien eingesetzten Propeller ergab, daß von 2779 Maschinen 1561 mit Benzinmotor, 1018 mit Elektro- und 200 mit Dieselmotor ausgestattet waren.

Die Elektromotore haben 12,5 bis 100 PS, die Benzinmotore dagegen 100 bis 145 PS. Die Dichte der auf 42 Pflanzungen eingesetzten Maschinen schwankt zwischen einer Maschine für 3,16 bis 13,2 Hektar. Nach Adams sind die Obstpflanzler von der Wirksamkeit der Propeller überzeugt, so daß allein im Jahre 1950 soviel Propeller neu angeschafft wurden wie in den drei vorangegangenen Jahren. Er führt das auf folgende Überlegungen zurück:

1. Die Maschinen wurden in ihrer Wirksamkeit, Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit wesentlich verbessert.
2. Die Kosten für Öl und Arbeitslohn sind stark gestiegen, so daß nach Y a r i c k (11) der Frostschutz durch Heizen etwa 3,60 Dollar pro acre und Stunde kostet. Demgegenüber sind die Betriebskosten für den kombinierten Einsatz von Windmaschinen mit einigen Öfen 0,67 Dollar pro acre und Stunde.
3. Die Winter 1948/49 und 1949/50 brachten viele Frostnächte, in denen geheizt werden mußte, was auch zu Klagen über Rauchbelästigungen führte.

Bei einem Vergleich der Verhältnisse zwischen Kalifornien und Deutschland ist allerdings zu bedenken, daß es im kalifornischen Klima nicht auf die Bekämpfung von Spätfrösten im April und Mai, sondern auf die Bekämpfung von Strahlungsfrösten von November bis Februar ankommt. Die Früchte haben zwar als Schwelle der Frostempfindlichkeit etwa die gleichen Grade wie unser Obst; für Zitronen gilt $-1,1^{\circ}\text{C}$, für grüne, unreife Apfelsinen $-2,8^{\circ}\text{C}$ und für reife Apfelsinen erst $-3,3^{\circ}\text{C}$ als kritische Temperatur. Im Mittel über die von A d a m s erwähnten Gebiete tritt die Froststufe $-1,1^{\circ}$ bis $-2,8^{\circ}\text{C}$ 16 bis 100 Stunden, die Stufe $-2,8^{\circ}$ bis $-3,3^{\circ}\text{C}$ 1 bis 17 Stunden und die Stufe unter $-3,3^{\circ}\text{C}$ 2 bis 18 Stunden pro Winter auf. Eine Kostenersparnis wegen der hiermit gegebenen vielen Betriebsstunden ist mit der Umstellung auf den Propeller oder auf den Propeller mit einigen Öfen trotz der hohen Anschaffungskosten immer erzielt worden. Die Dauer der Heizung betrug in den kalifornischen Distrikten in den drei Wintern 1947—1950 4—210 Stunden, die Windmaschinen waren 30 bis 485 Stunden pro Winter eingesetzt. Auf diese Zahl der Betriebsstunden kommen wir in Deutschland nicht. Wenn man in Kalifornien in einer starken Frostnacht auch mit Propellern die Früchte nicht mehr retten kann, so kann man doch oft die Citrusbäume vor dem Absterben bewahren.

Die amerikanischen Windmaschinen werden bei Temperaturen zwischen 0 und $-2,8^{\circ}\text{C}$ in Betrieb genommen. Man heizt erst dann zusätzlich, wenn die Propeller bei tieferen Temperaturen nicht mehr ausreichen. Die Größe der durch Propeller ohne zusätzliche Heizung geschützten Flächen werden von A d a m s z. B. wie folgt angegeben: Der 12,5-PS-Elektromotor soll für 2 Hektar, der 25-PS-Motor für 2—3 Hektar und der 50-PS-Motor für 4 Hektar reichen, das letztere gilt auch für den 60-PS-Elektromotor. Beim 100-PS-Elektromotor wird die geschützte Fläche von den Farmern mit 4,4 bis 8 Hektar angegeben. Der Doppelpropeller mit 100-PS-Benzinmotor wird meist für 3 Hektar, aber auch für 4—8 Hektar verwandt. Mit diesem Propeller sollen 8 Hektar bis $-4,4^{\circ}\text{C}$ ohne zusätzliche Heizung geschützt werden können, die letzten beiden Hektar werden in den meisten Fällen aber doch noch beheizt. Dasselbe wird auch von dem 110-PS-Benzinmotor berichtet, während man den Schutzbereich des 145-PS-Benzinmotors mit 4—4,8 Hektar bezeichnet. Unter normalen Bedingungen soll der 210-PS-Dieselmotor für 6 Hektar reichen, darüber hinaus müsse noch geheizt werden.

Diese Daten wurden von A d a m s ohne die erzielten Temperatureffekte gegeben. Es scheint aber doch so zu sein, daß wohl ab -3° bis -4°C je nach Frucht sicherlich zusätzlich mit Öfen geheizt werden muß. Der kombinierte Einsatz benötigt aber nur etwa $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ der Zahl der Öfen, die ohne Propeller nötig wären.

1952 wurde auch folgender Gesichtspunkt erwähnt (13). In einer Versuchsplantage waren schachbrettartig je 4 Öfen auf 1000 m² mit einer Heizleistung von 400 000 Kcal pro Std. u. Hektar aufgestellt. Außerdem war ein Propeller angebracht. Bei einem Temperaturunterschied von 4°C zwischen 2,5 und 12 Meter Höhe vor dem Versuch ergab die Beheizung allein in der Kaltlufthaut eine Temperaturerhöhung von 1°C , die Wirkung der Windmaschine allein betrug, anscheinend auf dem ganzen Versuchsfeld, $1,3^{\circ}\text{C}$. Öfen plus Windmaschine jedoch lieferten bei gleichzeitigem Einsatz eine Temperaturerhöhung von 3°C , also mehr als die Summe beider Einzelwirkungen.

Dieses bestätigt auch B r o o k s, der mit seinen Mitarbeitern auf der Agric. Experimental Station der Univ. of California in Riverside seit mehreren Jahren eingehende Versuche mit Propellern durchführt (11, 12). B r o o k s arbeitete mit

einfachen wie mit Doppelpropellern von etwa 65 bis 90 PS (Abb. 1). Seinen Untersuchungen ist folgendes zu entnehmen: die Reichweite ist abhängig vom Impuls, den der Luftstrom erhält. Die Propeller blasen fast alle horizontal, wodurch Reichweiten bis über 200 m erzielt werden, unmittelbar am Propeller ist der Schutz geringer, in 60—90 m Entfernung liegt der größte Temperatureffekt. Die meist in 5 Minuten noch um 360° rotierenden Propeller sind oft so konstruiert, daß sie in eine Richtung länger blasen als in die entgegengesetzte. Der Temperaturanstieg ist weitgehend von der Stärke der Temperaturinversion abhängig, die Gesamtgröße des Einflußbereiches dagegen viel weniger. Temperatureffekte über 4° C sind selten. Bei einem Versuch mit einem 93-PS-Propeller, der sich in 5⅓ Minuten um 360° drehte, davon 180° mit dem Kaltluftfluß in 4 Minuten, die übrigen 180° in 1⅓ Minute, erzielte Brooks in einer Citrusanlage in Baumkronenhöhe einen Temperaturanstieg von 3,3° C auf fast 0,4 ha, von 1,1° C auf fast 4½ ha. Dabei war die unbeeinflusste Temperatur in 12 m Höhe 7° C höher als in 1,50 m. Die Wirkung hängt auch stark von lokalen Luftströmungen ab, worauf bei der Aufstellung und der Arbeitsweise Rücksicht genommen wird. Strömungen von 5 km/h sind schon bedeutend. Daher schwingen heute viele Propeller nur über einen Winkel von 90° oder 180° hin und her oder überstreichen wie oben erwähnt den Vollkreis mit wechselnder Geschwindigkeit. Bei einem Wind von 4,7 km/h soll nach Angaben einer Firma (9) ein Propeller mit dem Wind eine Reichweite von 150 m, gegen den Wind von 78 m und senkrecht zum Wind von 111 m haben. Die Reichweite des Propellerwindes wird auch geringer je größer man den Winkel macht, um den der Propeller noch schwenken kann und je schneller diese Bewegung geschieht. Auch die Geländegestaltung übt einen erheblichen Einfluß aus.

Die Größe des geschützten Bereiches wächst nicht linear mit der Stärke des Motors. Die kleineren Motoren haben einen relativ größeren Schutzbereich als die größeren. 8 Hektar als geschützte Fläche für die größten Motore erscheint schon ziemlich viel und dürfte wirklich das alleräußerste darstellen, was überhaupt zu erreichen ist. Die Amerikaner können noch nicht eindeutig beantworten, wieviel PS pro Flächeneinheit notwendig sind. Diese PS-Zahl muß aber größer sein, wenn größere Flächen geschützt werden sollen. Adams meint, daß 2—5 Propeller-PS pro acre (0,4 ha) genügen, wenn eine Fläche von 2—4 ha geschützt werden soll; er hält es aber für fraglich, daß Maschinen unter 50 PS bis 4 ha ausreichen. Brooks hält 5—8 PS pro acre (0,4 ha) für notwendig.

Die amerikanischen Erfahrungen kann man demnach in folgender Weise zusammenfassen:

1. Es werden im wesentlichen horizontal blasende Propeller kleineren Durchmessers mit ziemlich hoher PS- und Drehzahl benutzt, die über die dicht belaubten Anlagen blasen. Sie brauchen nicht so bis zum Boden durchzudringen, da die Oberseite der Citrusbäume am gefährdetsten ist.
2. Es ist günstig, wenn die Propellerachse und damit die Blasrichtung noch um 90 oder 180° schwingt oder sich um 360° dauernd dreht.
3. Die geschützten Flächen liegen bei wenigstens 2 Hektar.
4. Mit stärkeren Motoren wächst die geschützte Fläche, aber nicht linear mit der PS-Zahl.
5. Die Größe der Temperatursteigerung auf der ganzen Fläche ist begrenzt. Bei Temperaturen unter —4° C muß wohl in jedem Fall zusätzlich geheizt werden. Die Temperatursteigerung über eine größere Fläche liegt höchstens zwischen 1—3° C.
6. Die Propeller sind trotz hoher Anschaffungskosten (1400—3600 Dollar) (1951) deshalb wirtschaftlich, weil sie bei sehr geringen Betriebskosten schon vielen Frösten in jedem Winter beugen.

Die amerikanischen Propeller sind in erster Linie für den Schutz der vollbelaubten Citrusanlagen konstruiert. In einem Citrusbaum sind aber gerade die auf der Oberseite der Kronen zum Himmel exponierten Früchte am meisten gefährdet, daher

belaubten Anlagen stärker eingeschränkt. Über diese Versuche berichten Redlich (17), Frith (18) und Angus (19), (20). Sie wurden im wesentlichen von der C.S.I.R.O. (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation), Section of Meteorological Physics, Aspendale/Victoria, (Leiter E. L. Deacon) in Griffith/Neu Wales angestellt.

Die ersten Versuche wurden ebenfalls mit einem senkrecht nach unten blasenden Propeller, dessen Blätter also horizontal lagen, durchgeführt. Der Durchmesser war 6,30 m, die Umdrehungszahl betrug ursprünglich 176 pro Minute, der Antrieb geschah über einen 12-PS-Motor. Die Inversionsstärke wurde mittels eines Ballons gemessen. Bei einem Temperaturunterschied zwischen 0,9 m und 30 m Höhe von 2,2° C war nach Frith der maximale Anstieg unter dem Propeller in etwa 1,5 m Höhe 1,5° C, bei 4,5° C Unterschied 3,3° C, bei 6,6° C Unterschied 4,9° C. Auch die Reichweite war von der Inversionsstärke abhängig. Sie war bei stärkeren Inversionen in Mandelhainen mehr als doppelt so groß wie in Citrusanlagen und konnte dort über 70 m betragen. Die Art der Vegetation ist also ein wichtiger Faktor zur Beurteilung der Propellerwirkung. Der äußere Radius mit einem Anstieg von mindestens 0,3° C schien von der Inversionsstärke unabhängig zu sein, was wir auch auf Grund unserer Versuche in Ottensen vermuten, dagegen vergrößern sich die Flächen mit Temperaturanstiegen von 1°, 2° oder 3° C mit der Inversionsstärke.

Um die Wirkung der Propeller zu vergrößern, wurden in den Folgejahren die Versuchsbedingungen abgeändert: Die Propellerachse wurde geneigt, so daß nun ein schräges Blasen in die Pflanzung hinein möglich wurde (19) und schließlich ließ man die Propellerachse und damit die Blasrichtung sich um eine vertikale Achse einmal pro Minute drehen (20).

Das schräge Blasen soll die aus höheren Schichten herabgesaugte wärmere Luft auch möglichst weit transportieren. Schon die Neigung der Propellerachse alleine, ohne fortlaufende Änderung der Blasrichtung, hatte die geschützte Fläche beträchtlich vergrößert, während andererseits der maximale Temperaturanstieg fast unabhängig von der Propellerneigung war. Dabei erprobte Angus Neigungen der Propellerachse gegen die Horizontale (also Neigung der Propellerebene gegen die Vertikale) von 50 bis 60 Grad und 28 bis 40 Grad. Bei der Neigung von 28° wurde die Fläche mit einem Anstieg von 1,1° C um etwa 58% gegenüber der geschützten Fläche bei einem Blasen senkrecht nach unten (Neigungswinkel 90°) vergrößert. Die mittlere Flächengröße lag aber immer noch nur bei 0,22 Hektar für den Anstieg von 1,1° C. Die dichte Belaubung der Citrusbäume hat sicherlich eine Einschränkung der Flächenwirkung hervorgerufen, zumal der Temperatureffekt in 1,50 m, in mittlerer Höhe der Baumkronen, gemessen wurde. Durch die Achsenneigung und durch die zusätzlich laufende Drehung der Blasrichtung wurde die Fläche mit einem Anstieg von 1,1° C weiter auf im Mittel 0,53 Hektar vergrößert. Die aufzuwendende Energie, um pro acre (0,4 ha) einen Anstieg von 1,1° C zu erzeugen, ging von 10 PS bei einem Blasen senkrecht nach unten (Neigungswinkel 90°) auf 3,5 PS bei einem schrägen Blasen unter einem Neigungswinkel von 28° zurück. Die weitere Wirkungsvergrößerung durch die ständige Drehung der Blasrichtung ist mit einem noch kleineren Energieaufwand gelungen, wenn andererseits nun auch noch ein geringer Energieaufwand für diese Drehbewegung hinzukam.

Auch bei rotierender Blasrichtung ist die Abhängigkeit der Propellerwirkung von der Inversionsstärke und dem Neigungswinkel erhalten geblieben. Eine Neigung der Propellerachse gegen die Vertikale von 28° blieb die günstigste (20):

Neigung der Propellerachse gegen die Horizontale	Flächen mit Temperaturanstieg von			
	1° F	2° F	3° F	
	bei gleichzeitiger Drehung der Blasrichtung um 360°/Minute			
90°	0,40 ha	0,20 ha	0,09 ha	(32 Messungen)
50°	0,81 ha	0,38 ha	0,19 ha	(9 „)
40°	0,73 ha	0,41 ha	0,21 ha	(9 „)
28°	0,95 ha	0,53 ha	0,31 ha	(15 „)

Bei der Neigung von 28° wurde also ein Temperaturanstieg von 2° F in der dicht belaubten Citrusanlage von über $\frac{1}{2}$ Hektar erzielt. Es stellte sich bei diesen Versuchen aber heraus, daß die geschützten Flächen mit stärkerer Inversion, und damit auch mit größerem maximalen Anstieg der Temperatur, nur bis zu einem bestimmten Betrage zunehmen. Diese Erscheinung vermuten wir auch auf Grund unserer Versuche für die Flächen mit einem Anstieg von $0,5^{\circ}$ Grad, konnten sie für Anstiege von 1° C und mehr aber noch nicht feststellen. Nach Angus ist die Fläche mit einem Anstieg von mindestens $0,55^{\circ}$ C bei einem maximalen Anstieg von 4° C mit 1,2 Hektar die größte erzielte Schutzfläche, bei stärkeren maximalen Temperaturanstiegen in Propellernähe sinkt diese Fläche wieder auf 1,0 Hektar. Auch die Fläche mit einem Temperaturanstieg von mindestens $1,1^{\circ}$ C weist diese Erscheinung auf. Ist der maximale Anstieg 4° C, dann ist die Fläche mit $1,1^{\circ}$ C Anstieg 0,75 ha, darüber hinaus nimmt sie auf 0,68 ha ab, während die Fläche mit einem Anstieg von $1,7^{\circ}$ C zwar nicht abnimmt, aber mit 0,5 Hektar bei stärkeren Inversionen konstant bleibt. Der äußerste Einflußbereich des Propellers geht also bei starken Inversionen nicht über einen festen Wert hinaus.

Die meisten und stärksten Spätfröste treten bei Windstille auf. Doch kommen immer wieder schwache Luftbewegungen vor. Diese Bewegungen addieren sich zu der Luftbewegung durch den Propeller, so daß das geschützte Gebiet nicht mehr kreissymmetrisch ist. Mit dem Wind wurde nach Angus bei Windgeschwindigkeiten von etwas mehr als 1 m/sec manchmal eine fast 4 mal so große Reichweite erzielt als gegen den Wind. Das ist ein Nachteil dieser Methode.

Wie mir brieflich von Deacon (1954) mitgeteilt wurde, wurden in den beiden letzten Jahren noch folgende Abänderungen der australischen Versuche durchgeführt, deren Ergebnisse aber noch nicht vorliegen. Neben dem obigen Propeller mit einem Durchmesser von 6,3 m und einer Umdrehungszahl von 143 pro Minute wurden auch kleinere Luftschrauben von 1,05 m Durchmesser und erheblich größerer Rotationsgeschwindigkeit benutzt. Die Motorleistung wurde von 8 bis 60 PS variiert. Es scheint aber so zu sein, daß eine einfache Erhöhung der PS-Zahl nicht immer günstig ist, die optimale PS-Zahl wird von der Art der zu schützenden Vegetation abhängen.

Die Propellerversuche in Ottensen bei Buxtehude 1953 und 1954

1. Der Aufbau des Propellers

Zur Konstruktion des Propellers wurden die ausländischen Erfahrungen, soweit es technisch möglich und praktisch durchführbar war, verwertet. Dabei kam uns die Firma Maschinenfabrik W. Köster in Heide/Holstein, die den Propeller herstellte, weitgehend entgegen.

Ein dreiflügeliger Propeller mit einem Gesamtdurchmesser von 6,0 m war auf einem 9 m hohen Stahlrohrmast angebracht (Abb. 3). Der Antrieb erfolgte über einen 10-PS-Elektromotor, dessen Achse unmittelbar auf der Propellerachse saß. Die Propellerachse konnte so eingestellt werden, daß der Propeller horizontal bis zu 45° nach unten blasen konnte. Im Gegensatz zu den englischen und australischen konnte unser Propeller nicht senkrecht nach unten blasen. In der ersten Konstruktion ließ sich der Propeller bequem nach allen Richtungen einstellen, ab 5. Mai 1954 kam dann noch ein zweiter kleinerer Motor hinzu, mit dem die Richtung der Propellerachse, also die Blasrichtung horizontal um einen beliebig einstellbaren Winkel hin- und hergeschwenkt werden konnte. Durch verschiedene Zahnradpaare ließ sich die Schwenkgeschwindigkeit variieren. Die Schwenkung verlief folgendermaßen: Von einer Ausgangsstellung aus begann die Schwenkung und verlief gleichmäßig bis zu der anderen Endstellung, wo sich der Schwenkmotor selbsttätig ausschaltete. In dieser Endstellung verharrte der Propeller 10 Sekunden, worauf sich der Motor wieder einschaltete und die Bewegung nun in umgekehrter Richtung bis zu der ersten Ausgangsstellung erfolgte. Nach einer Verweilzeit von abermals 10 Sekunden setzte sich die Propellerachse wieder in der ersten Richtung in Bewegung. Einschließlich der Verweilzeit in den beiden Endstellungen dauerte die schnellstmögliche Hin- und Herbe-



Abb. 3 Frostschutzpropeller in Ottensen bei Buxtehude (aufgen. J. v a n E i m e r n, 1953).

wegung für einen Schwenkwinkel von 180° 138 Sekunden, für 90° 79 Sekunden. Leider konnte diese Schwenkeinrichtung erst am 5. 5. 54 eingebaut werden. Die Umdrehungszahl des Propellers mit 170 Umdrehungen pro Minute wurde durch die Schwenkeinrichtung nicht berührt.

2. Das Versuchsgelände

Der Propeller wurde in einer stark frostgefährdeten Apfelpflanzung (Spindelbusch) mit 10jährigen 3—4 m hohen Bäumen eingesetzt, in der am 20. und 21. Mai 1952 durch Spätfröste die gesamte Blüte und der junge Fruchtansatz vernichtet worden waren. Die Spindelbuschpflanzung liegt fast am Ende eines kleinen Seitentälchens des etwa 1 km breiten Estetales, das mit hohem Grundwasserstand als Grünland genutzt wird, während die benachbarte Geesthochfläche vorwiegend freies Ackerland ist. Das Estetal und die kleinen Seitentälchen sind teilweise mit steilem Hang in die um 40 m hohe Geesthochfläche eingeschnitten. Das breite Estetal, reich an Wiesennebel, ist äußerst frostgefährdet. Von der Geesthochfläche fließt die Kaltluft meist ungehindert in die Seitentälchen und in das weite Estetal, sammelt sich dort und kühlt noch weiter ab (Abb. 4).

Die Spindelbuschanlage liegt am Ausgang des von der Ortschaft Ottensen kommenden Seitentälchens der Este, am unteren Rande etwa 2 m über dem Talboden der Este, im oberen Teil etwa 4 m über dem Talboden des Seitentälchens. Die am Talboden entlangfließende Kaltluft berührt die Versuchspflanzung zwar nicht unmittelbar, aber die vom Hang herabfließende Kaltluft überstreicht die Pflanzung. Der sich im Estetal bildende „Kaltluftsee“ überflutet von unten her oft die Pflanzung, erkennbar an dem zeitweisen Vordringen von Wiesennebel.

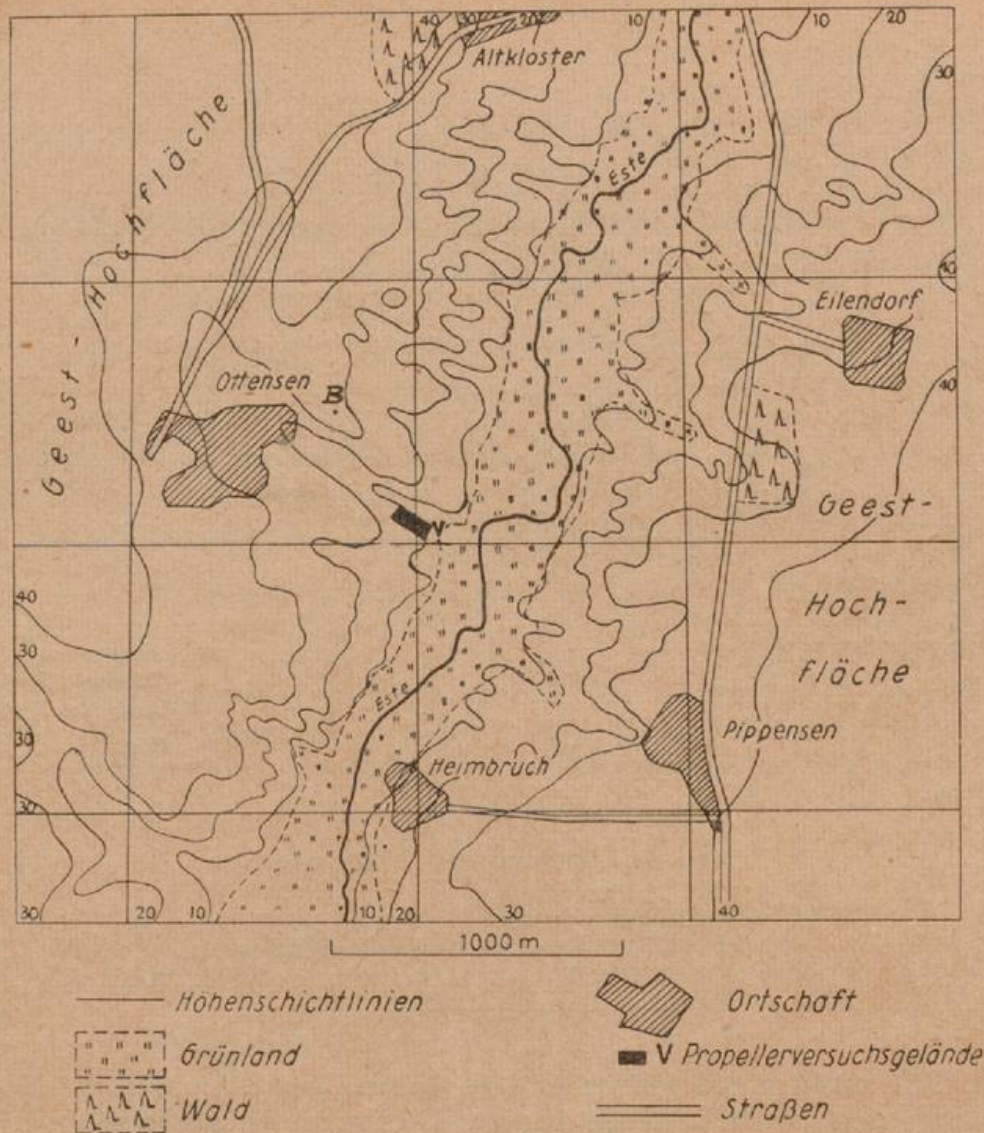


Abb. 4 Ottensen bei Buxtehude und Umgebung.

Das Versuchsfeld (Spindelbuschanlage) war parallel zum Talverlauf 160 m lang, aber nur 42 m breit (Abb. 5). Der Höhenunterschied des Geländes betrug von der oberen bis zur unteren Ecke etwa 4–5 m. Zum Talboden hin schloß sich eine Wiese an, die durch einen Steilrand von etwa 1,5 m von der Anlage abgesetzt war. Die südwestliche Längsseite grenzte an eine Pflanzung von 14 1,20 m hohen Himbeerreihen. Auch an der Schmalseite zum Estetal lag ein 1 m hoher Steilrand, während die obere Schmalseite durch einen Weg mit zwei 3–4 m hohen Hecken abgegrenzt war. Zwischen der Hecke und den Obstbäumen zog sich noch ein etwa 6 m breiter Grasstreifen hin. Die Abbildung 5 enthält den Standort jedes einzelnen der Obstbäume (1954), die in 9 Reihen auf nacktem Boden angepflanzt waren. Der Reihenabstand betrug 4 m. In den unteren 5 Reihen lag der Baumbestand ebenfalls bei 4 m, während die Bäume in den oberen Reihen 1953 noch 2 m, 1954 durch Entfernen jedes 2. Baumes ebenfalls 4 m auseinander standen. Abgesehen von der oberen Schmalseite verlief rund um die Pflanzung dann noch eine Reihe mit Pflaumen-, z. T. mit Birnbäumen. Der Propeller stand am oberen Ende der Anlage in Höhe der 5. Reihe.

3. Die instrumentelle Ausrüstung

Die Grundlage für die Messungen bildete ein Netz von Minimum-(Alkohol)thermometern, das 1953 42 und 1954 53 Thermometer umfaßte und deren Verteilung in Abb. 5 wiedergegeben ist. 1953 standen die Thermometer meist zwischen den einzelnen

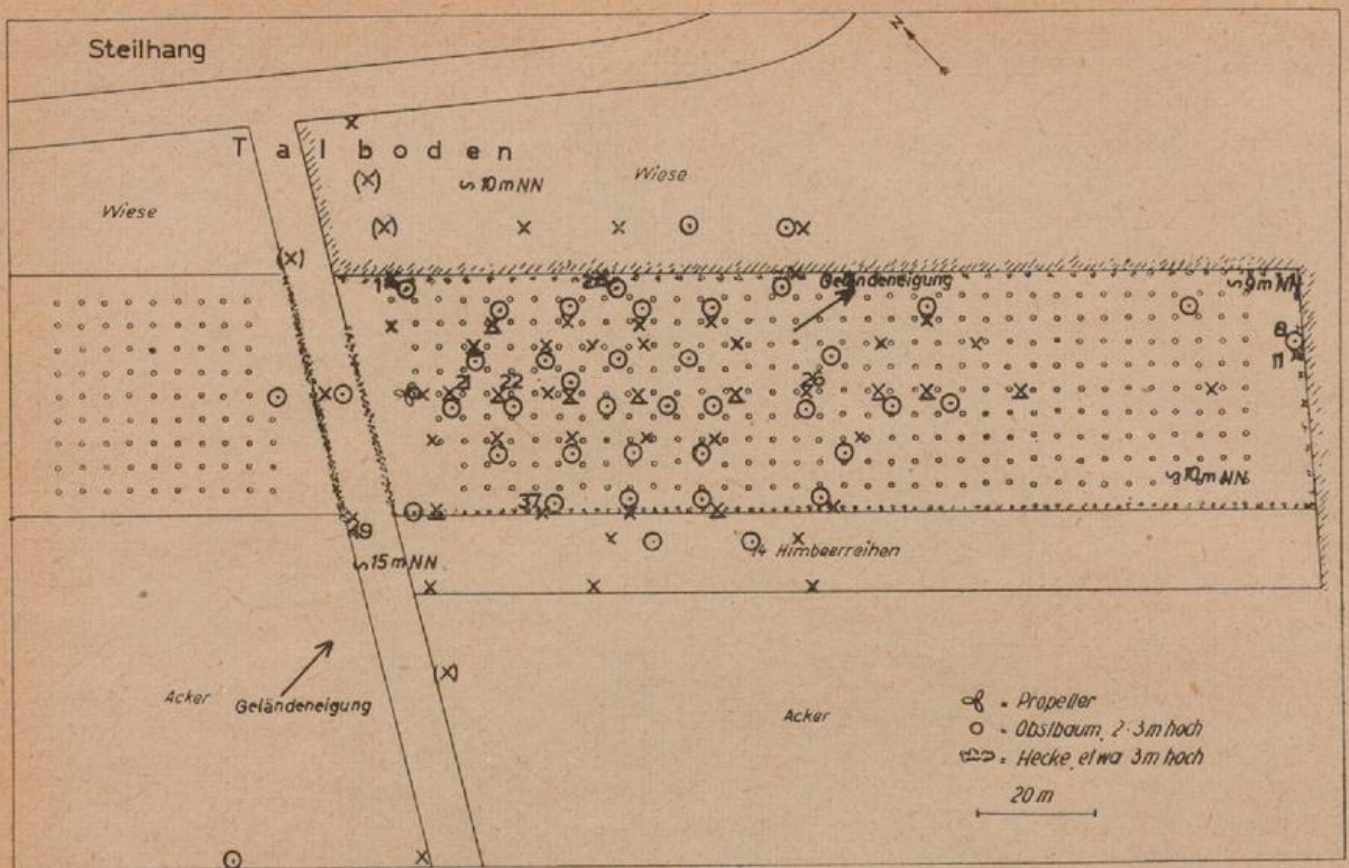


Abb. 5 Lageplan der Meßstellen

- ⊙ = 1953 Thermometer
- ⊗ = 1954 Thermometer
- ⊗ = 1954 Thermometer und Windmesser
- (X) = zusätzlich Thermometer am 12./13. 5. 1954
- Zahl = Nummer der Meßstelle.

Baumreihen, 1954 mußten sie jedoch in die Reihen gestellt werden, um das Spritzen der Bäume nicht zu behindern. Einige Thermometer standen auch in der benachbarten Himbeeranlage, auf der Wiese und auf den Wegen. Es war aber leider nicht möglich, die Temperatur in größerer Höhe und somit die Inversionsstärke in Propellernähe zu beobachten. Als Ersatz dafür wurde auf einer kleinen, etwa 500 m entfernten Anhöhe (35 m NN) die Meßstelle B mit einem Thermographen und einem Minimumthermometer eingerichtet (siehe Abb. 4). Außerdem fand in der Anlage ein weiterer Thermograph, 1953 an der Stelle 8, 1954 an der Stelle 22 Aufstellung. Diese beiden Geräte hatten einen Vorschub der Schreibtrommel von 6 mm pro Stunde. In einigen Nächten wurden schließlich noch Meteorographen zur Registrierung der Temperatur an den Stellen 1, 22 und 37 eingesetzt, die einen zeitlichen Vorschub der Schreibtrommel von etwa 110 mm pro Stunde hatten.

Alle Geräte waren ohne Strahlungsschutz in einer Höhe von 1,60 m aufgebaut. Wenn die Thermometer ohne Strahlungsschutz besonders bei Luftruhe eine etwas zu geringe Temperatur, im Propellerwind dagegen die dann allerdings erhöhte wahre Lufttemperatur anzeigen, so hat das für unser Problem keine entscheidende Bedeutung. Die Obstblüten, deren Temperatur ja gerade durch den Propeller erhöht werden soll, unterkühlen sich bei Windstille mindestens ebenso stark wie die Thermometer. Die Strömungsverhältnisse wurden mit 15 Handwindmessern in 1,60 m Höhe und durch Rauchpatronen bestimmt.

4. Die Durchführung der Messungen

Da das Gelände nicht völlig eben war, traten in der Obstanlage in klaren Nächten immer Temperaturunterschiede bis zu 2° C zwischen der oberen und unteren Ecke auf. Die Propellerwirkung konnte daher nicht durch eine einfache Temperaturmes-

sung festgelegt werden. Wir gingen daher so vor, daß vor Anstellen des Propellers von 3—4 Mann sämtliche Thermometer meist innerhalb von 5 Minuten abgelesen wurden; anschließend wurde der Propeller eingeschaltet, der in wenigen Sekunden auf Höchstgeschwindigkeit kam. Die Temperatur wurde dann nach 5—10 Minuten bei laufendem Propeller an allen Stellen abgelesen, der Propeller wurde wieder abgestellt und es folgte nach weiteren 10—15 Minuten wieder eine Ablesung. Die Wirkung des Propellers ergab sich dann aus einem Vergleich der Temperaturen bei laufendem und bei stehendem Propeller. Es konnten 16 Messungen bei einer Propellerneigung von 45° nach unten, 6 Messungen bei einer Neigung der Propellerachse von 30° und je eine bei 20° und 22° Neigung verwertet werden.

Die verwertbaren Messungen erfolgten in folgenden Nächten 1953: vom 13./14. 5. und 1954: 21./22. 4., 23./24. 4., 26./27. 4., 28./29. 4., 7./8. 5. und vom 12./13. 5. Daneben wurde der Propeller ohne Thermometer einige Male tagsüber und in einer Nacht (7./8. 5. 53) erprobt. Wenn auch in 7 Nächten gemessen wurde, so waren die Bedingungen nur in wenigen Nächten wirklich günstig. Spätfrostnächte, die wie am 20. und 21. Mai 1952 oder am 21. und 22. April 1953 hätten Schaden bringen können, sind während der ganzen Zeit nicht vorgekommen, und es war auch die Temperaturzunahme mit der Höhe, d. h. also die Inversionsstärke fast in keiner Nacht so ausgeprägt wie in den letzt genannten Frostnächten. Die Untersuchung der temperatursteigernden Wirkung ist natürlich nicht an die absolute Höhe der Temperatur gebunden, wenn die übrigen Witterungsbedingungen nur denen von Frostnächten ähnlich sind. Für die Beurteilung der Ergebnisse ist also zu beachten, daß wir während der Versuchszeit leider vergeblich auf sehr günstige Witterungsbedingungen gewartet haben.

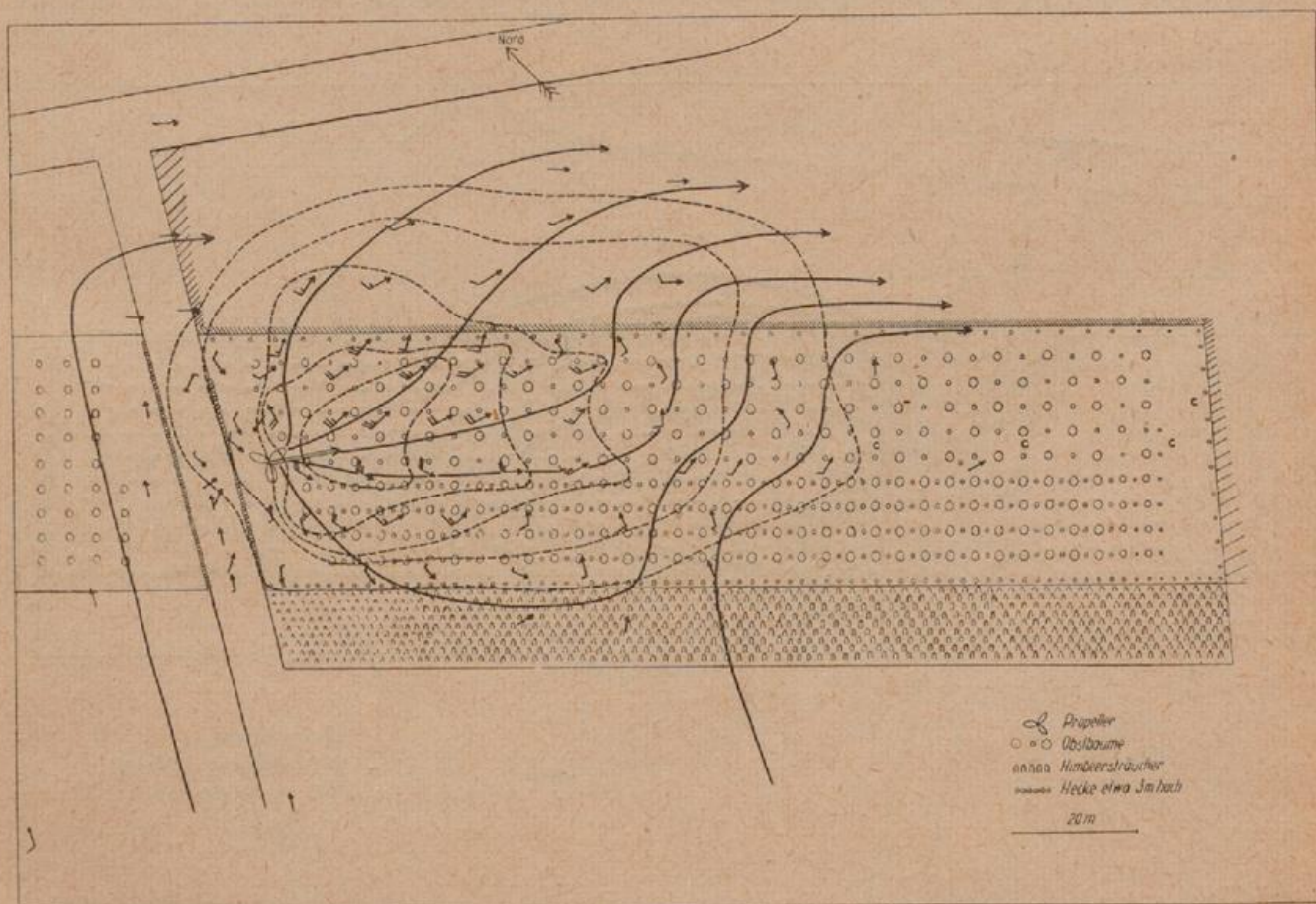


Abb. 6 Horizontales Strömungsfeld am 14. 5. 1953, 02.45 — 03.45 Uhr, aufgenommen mittels Rauchpatronen. Neigung der Propellerachse: 45° .

- ↘ Windrichtung, relative Geschwindigkeit Stufe 3
- c Völlige Windruhe
- Strombahnen
- Linien gleicher relativer Geschwindigkeit
- ⇒ Blasrichtung des Propellers

Ergebnisse

1. Das Windfeld

In einer normalen Strahlungsfrostnacht, in der Windstille herrscht, ist immer ein Kaltluftzufluß mit einer Geschwindigkeit bis etwa 0,5 m/sec in Richtung der Geländeneigung vorhanden. Der Propeller erzeugt nun ein im wesentlichen konstantes, allerdings turbulentes Windfeld. Die Stromlinien schwanken daher immer etwas hin und her. Treten jedoch von außen schwache Luftbewegungen an das Propellerwindfeld heran, addieren sich die beiden Windgeschwindigkeiten vektoriell, so daß das Propellerwindfeld abgelenkt werden kann, wie es in Abb. 8 zu erkennen ist.

Mittels Rauchpatronen konnte die Strömung bei sonst völliger Luftruhe in 2 m Höhe bequem aufgenommen werden, wofür ein Beispiel in Abb. 6 gegeben sei. Die Windrichtung ist durch kleine gefiederte Pfeile sowie durch Stromlinien gekennzeichnet. Pfeile ohne Fiederung bedeuten Geschwindigkeiten unter etwa 0,5 m/s, eine kurze Feder bedeutet eine relative Geschwindigkeit 1, eine lange 2. Diese Stufen sind Relativmaße und keine Beaufortgrade. Die maximale Geschwindigkeit war etwa 5–6 m/s. Infolge der nicht ganz reihenparallelen Blasrichtung des Propellers und der Neigung des Geländes mündete der Luftstrom schließlich in das Wiesental. Nur in unmittelbarer Nähe des Propellers war die Luftbewegung böig und wechselte auch häufig in der Richtung. Der Propeller saugt die Luft nicht nur aus der Höhe, sondern zu einem kleinen Teil auch seitlich, besonders in Propellernähe links von der Blasrichtung, in das Windfeld mit hinein. Ebenso wird von der höher gelegenen Himbeeranlage die hier wärmere Luft in das Strömungsfeld mit einbezogen. Die Richtung des Kaltluftflusses ist an den kleinen Pfeilen außerhalb des eigentlichen Propellerwindfeldes zu erkennen.

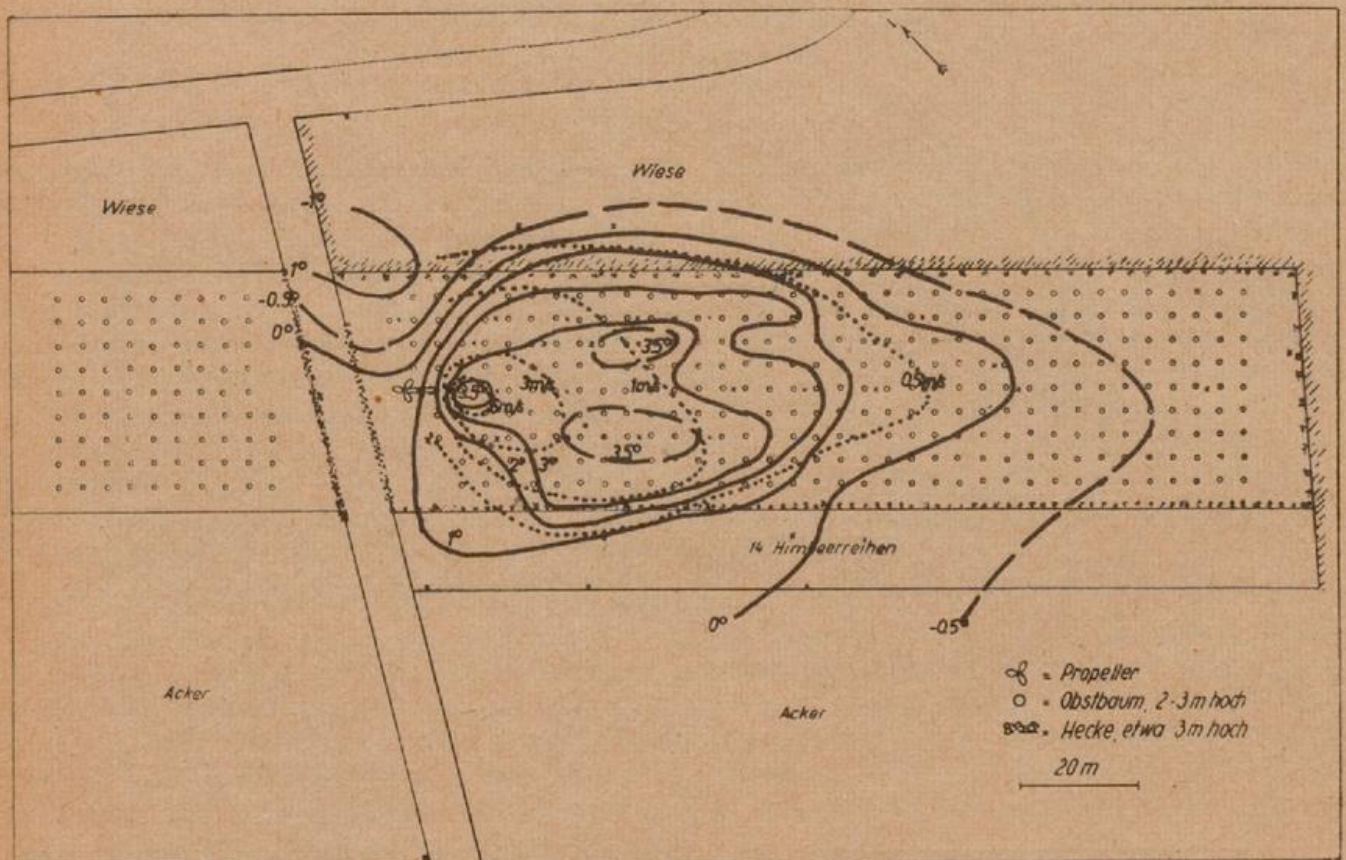


Abb. 7 Differenz der Temperatur bei laufendem und bei stehendem Propeller und mittlere Windgeschwindigkeit, 23./24. 4. 1954, 21.40 Uhr.

- Temperaturdifferenz
 - - - - - Mittlere Windgeschwindigkeit in m/s
 - > Blasrichtung des Propellers
- Neigung der Propellerachse: 45°
Grenze des Propellerbereiches: $-0,5^\circ \text{ C}$.

Der Einflußbereich des Propellers bei einer Neigung von 45° umfaßt zumindest alle Stellen mit einer relativen Windgeschwindigkeit 1 und damit etwa 6000 m^2 . Zur Wiese hinein reicht die Strömung weiter als in die höher gelegene Himbeeranlage. In der Hauptblasrichtung macht er sich $90\text{--}100 \text{ m}$ weit bemerkbar. Die Stelle am Boden mit der höchsten Windgeschwindigkeit liegt nicht dort, wo die Verlängerung der Propellerachse auf den Boden auftrifft, sondern in $14\text{--}17 \text{ m}$ Entfernung vom Propeller.

Die Abbildungen 7—8 enthalten neben der Temperatursteigerung auch die mittlere Windgeschwindigkeit. Die maximalen horizontalen Windgeschwindigkeiten betragen bei einer Neigung der Propellerachse von 45° im Mittel $5,5 \text{ m/s}$, bei einer Neigung von 30° $5,0 \text{ m/s}$. Die einzige Messung bei einer Neigung von 20° brachte eine maximale Geschwindigkeit von nur $1,6 \text{ m/s}$. Ein direkter Zusammenhang zwischen der Windgeschwindigkeit und der Inversionsstärke und damit auch zwischen Wind und maximalem Temperaturanstieg wurde nicht festgestellt. Größere Abweichungen von den oben genannten maximalen Windgeschwindigkeiten traten eigentlich nur dann auf, wenn auch noch ein natürlicher Wind herrschte. Die temperaturerhöhende Wirkung des Propellerwindes war aber auch dort noch vorhanden, wo der vom Propeller erzeugte Luftstrom unter $0,5 \text{ m/s}$ absank.

2. Das Temperaturfeld

Die beiden Abbildungen 7—8 vermitteln ein Bild über den Einfluß auf die Temperatur. Es ist nicht die Temperatur selbst dargestellt, sondern die Differenz der Temperatur bei laufendem Propeller minus dem Mittel der Temperatur vor dem Anstellen und nach dem Abstellen des Propellers. Da die Temperatur sich auch außer-

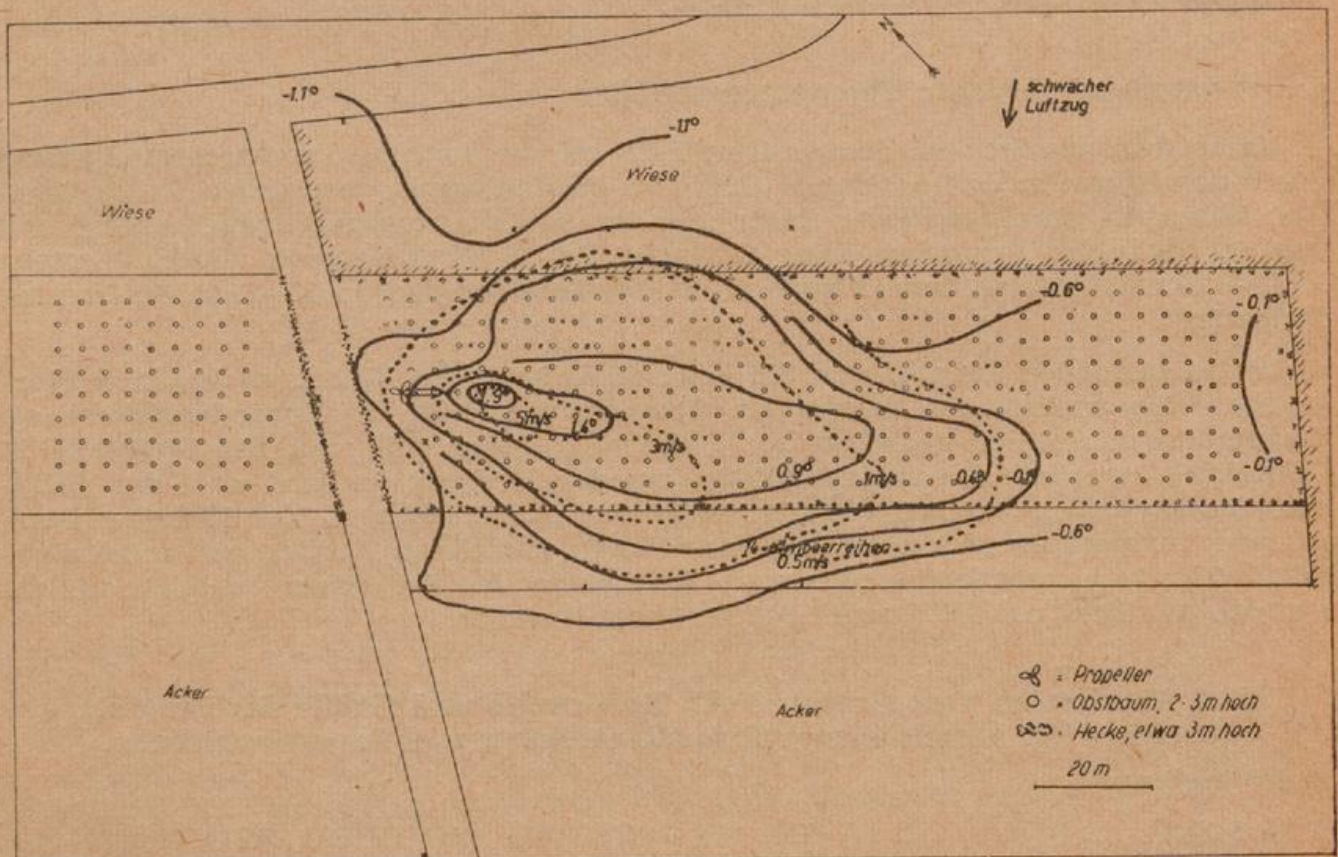


Abb. 8 Differenz der Temperatur bei laufendem und bei stehendem Propeller und mittlere Windgeschwindigkeit, 23./24. 4. 1954, 02.05 Uhr.

— — — — — Temperaturdifferenz
 — — — — — Mittlere Windgeschwindigkeit in m/s
 > Blasrichtung des Propellers
 Neigung der Propellerachse: 45°
 Grenze des Propellerbereiches: $-0,6^\circ \text{ C}$.

halb des Propellerbereiches zwischen den einzelnen Ablesungen änderte, fällt die Grenze des vom Propeller beeinflussten Bereichs nicht immer mit der in den Abbildungen eingezeichneten 0°-Linie zusammen. Die wahrscheinliche Grenze des Propellerbereiches ist daher immer mit angegeben.

In der Abbildung 7 (23.—24. 5. 54, 21.40 Uhr) sei auf folgende Besonderheiten aufmerksam gemacht: Statt eines Kernes mit maximalem Temperatureffekt bestehen gleich drei, wohl eine Folge der durch die Obstbäume nicht überall gleich starken Windabschwächung. In Höhe von Meßstelle 1, in der Abbildung genau oberhalb des Propellers, wird seitlich etwas Luft in den Windstrom auf kleiner Fläche hineingesaugt, die eine temperaturniedrigende Wirkung hat, da sie von der kalten Wiese herkommt. Vermutlich liegt der größte Temperatureffekt durch den Rotationssinn des Propellers etwas rechts von der eigentlichen Blasrichtung. Der maximale Effekt liegt in diesem Falle auf einer Fläche von 260 m² eindeutig über 4° C, was auch durch die Thermographenregistrierung an der Stelle 22 (Abb. 11) bestätigt wird.

Die Wirkung einer schwachen natürlichen Luftbewegung auf das vom Propeller erzeugte Wind- und Temperaturfeld ist um 2.05 Uhr in der gleichen Nacht zu erkennen (Abb. 8). Beide Felder sind mit ihrer Hauptachse etwas nach rechts verdrängt worden. Auch in diesem Falle wurde etwas kältere Luft von der Wiese her hereingesaugt. Der Einfluß des Propellers reicht, abgesehen vom rechten Ende, bis zur Linie -0,6°.

Auch bei einer Neigung der Propellerachse von 30° ergab sich, daß der Propeller seitlich Luft von der Wiese heransaugt, das allermeiste holt er jedoch aus den wärmeren höheren Schichten. Gegenüber der Neigung von 45° sind die „Ellipsen“ immer etwas schmaler, dafür aber langgestreckt. Die Reichweite des Propellers ist bei 30° Neigung meist etwas größer als bei einer Neigung von 45°. Wind- und Temperaturfeld stimmen weitgehend überein.

3. Der maximal erzeugte Temperatureffekt

Unter dem maximalen Temperatureffekt sei die höchste Temperatursteigerung durch den Propeller an irgendeiner Stelle im Einflußbereich verstanden. In den meisten Fällen ist die Lage dieser Stelle nur von der Neigung der Propellerachse und von der Höhe des Propellermastes abhängig. Bei 45 Grad Neigung wurde sie meist in 14—17 m Entfernung vom Propeller, bei 30 Grad Neigung in 16—25 m Entfernung festgestellt.

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse fast aller Einzelmessungen wiedergegeben. Sie enthält den maximalen Temperaturanstieg, die Inversionsstärke als Temperaturunterschied zwischen der Anhöhe B (35 m NN) und der Meßstelle 22 (12 m NN) innerhalb der Anlage (Mittel aus der Messung vor und nach der Tätigkeit des Propellers), ferner die am Rande der Pflanzung z. Z. der Messung herrschende Temperatur und schließlich die Flächen mit einem Anstieg von mindestens 0,5° C, 1,0° C . . . sowie die maximale Reichweite des Propellers, in der noch ein Temperatureffekt von 0,5° C und 1,0° C festgestellt wurde.

Tab. 1 Maximaler Temperatureffekt, Reichweite und Größe des Propellerbereiches bei verschiedener Propellerneigung und Inversionsstärke.

a) 45° Neigung

13./14. 5. 53.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
23.34 Uhr	1.55°	1.95°	4.5°	2600	1470	650	—	—	—	—	71	61
00.19 „	2.0 °	2.3 °	2.9°	4400	2760	1700	670	—	—	—	83	68
01.03 „	2.15°	1.7 °	2.8°	(5100)	2120	310	—	—	—	—	(100)	84
01.50 „	1.9 °	2.6 °	2.6°	4800	2730	1810	1000	150	—	—	96	70
02.37 „	1.8 °	2.8 °	0.7°	5000	3380	1410	750	170	—	—	102	65
03.53 „	2.4 °	3.2 °	0.6°	5200	3160	2320	1380	780	260	—	100	67

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
21./22. 4. 54. 00.25 Uhr	3.0 °	3.2 °	1.3°	4000	3340	2070	1410	380	25	—	80	70	
23./24. 4. 54. 21.40 Uhr	3.6 °	4.2 °	0.9°	(6200)	3820	2850	2340	1870	1380	1180	104	78	
24.00 „	2.3 °	2.6 °	2.5°	6030	3900	1130	190	10	—	—	125	114	
03.15 „	2.8 °	2.8 °	—1.7°	3800	2680	1910	830	90	—	—	96	90	
26./27. 4. 54. 22.35 Uhr	0.9 °	2.3 °	0.6°	nicht ausmeßbar									
02.05 „	(1.6°)	2.65°	—2.0°	3600	2800	1760	170	40	—	—	112	100	
28./29. 4. 54. 22.50 Uhr	0.6 °	1.45°	2.7°	2950	810	—	—	—	—	—	88	61	
23.44 „	2.3 °	2.25°	0.7°	5170	3740	2450	580	—	—	—	(120)	106	
00.22 „	3.2 °	2.35°	0.6°	4250	2700	1480	560	—	—	—	104	88	

b) 30° Neigung

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
23./24. 4. 53. 22.25 Uhr	2.5 °	2.45°	1.8°	4480	2820	2170	1080	—	—	—	118	108
02.25 „	2.1 °	3.25°	—0.6°	3540	2060	1710	1280	740	60	—	100	85
03.55 „	2.3 °	3.05°	—2.4°	3140	2560	1800	1020	620	150	—		
04.25 „	1.6 °	2.7 °	—2.5°				2360	1120	—	—		
26./27. 4. 54. 23.43 Uhr	2.5 °	3.2 °	—2.5°	7000	6600	3430	1130	760	170	—	>120	120
28./29. 4. 54. 00.45 Uhr	3.2 °	2.6 °	—0.4°		(5200)	(3000)	1160	160	—	—	>120	120

c) 22° Neigung

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
13./14. 5. 53 04.18 Uhr	2.4 °	2.6 °	—0.4°	3300	1770	1110	690	360	—	—	110	68

d) 20° Neigung

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
23./24. 4. 54 23.20 Uhr	1.7 °	2.1 °	1.8°		1770	725	40	—	—	—	98	62

I = Temperaturunterschied zwischen den Meßstellen B (35 m NN) und 22 (12 m NN); II = Maximaler Temperaturanstieg durch den Propeller; III = Temperatur außerhalb des Propellerbereiches am unteren Ende der Pflanzung; IV = Fläche in m² mit einem Temperatureffekt von wenigstens 0,5° C; V = dto. von 1.0° C; VI = dto. von 1.5° C; VII = dto. von 2.0° C; VIII = dto. von 2.5° C; IX = dto. von 3.0° C; X = dto. von 3.5° C; XI = Maximale Reichweite des Propellers in m mit einem Temperatureffekt von 0.5° C; XII = dto. von 1.0° C.

In der Abb. 9 sind die maximalen Temperaturanstiege bei 45° und 30° Propellerneigung der Temperaturdifferenz B — 22 (Inversionsstärke) gegenübergestellt.

In fast allen Fällen war der maximale Temperaturanstieg größer als die Temperaturdifferenz B — 22, so daß die Temperatur an der Stelle 22 durch den Propeller über die Temperatur der Anhöhe stieg. Die Anhöhe B ist aber als nicht frostgefährdet bekannt.

Trotz der Streuung der Punkte in Abb. 9 a besteht deutlich eine Abhängigkeit des maximalen Temperatureffektes von der Inversionsstärke. Ob diese Beziehung auch bei stärkeren Inversionen linear bleibt, läßt sich noch nicht entscheiden. Der durch Ablesungen an den Alkoholthermometern festgestellte maximale Temperatureffekt betrug einmal 4,2° C. Bei stärkeren Inversionen, wie sie in wirklich klaren Strahlungsfrostnächten auftreten, dürfte dieser Temperatureffekt fast immer zu er-

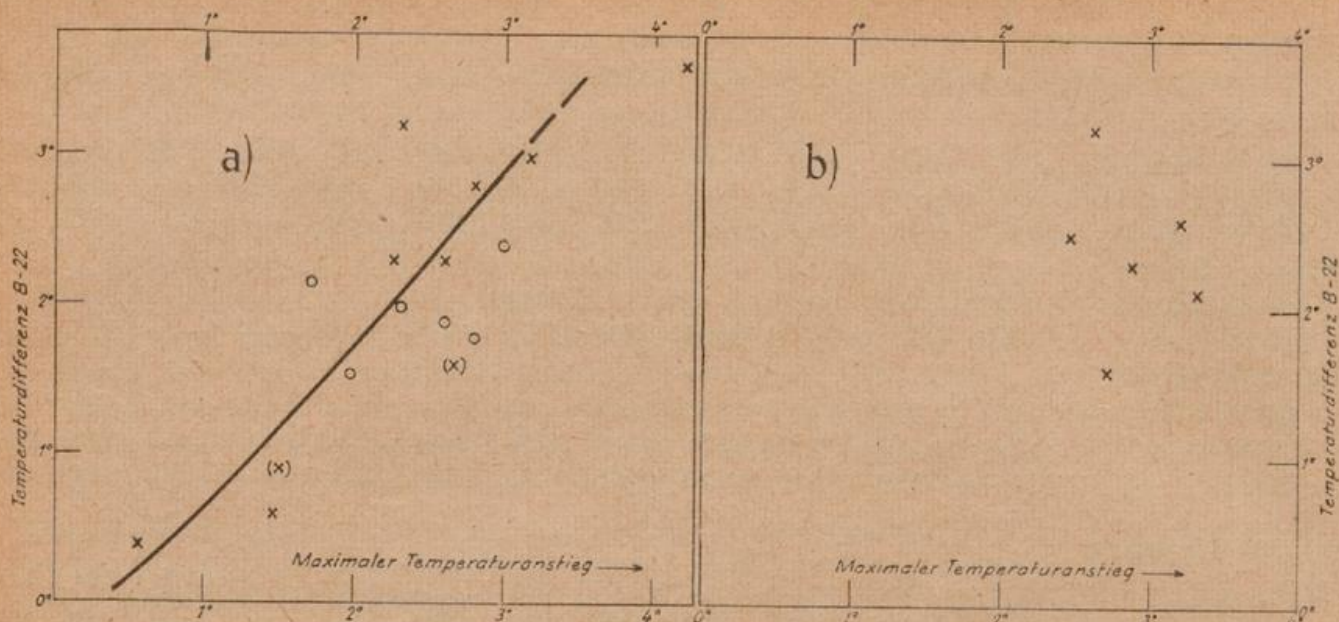


Abb. 9 Maximaler Temperaturanstieg durch Propeller bei verschiedener Temperaturinversion. Temperaturinversion dargestellt durch Differenz der Temperatur an Meßstelle B (Höhe 35 m NN) auf benachbartem Hügel und Meßstelle 22 (Höhe 12 m NN) in der Obstanlage.

- a) Neigung der Propellerachse gegen die Horizontale: 45°
- b) Neigung der Propellerachse gegen die Horizontale: 30°
- gemessen am 13./14. 5. 1953
- × gemessen im April und Mai 1954.

warten sein, wenn er nicht gar übertroffen wird. Mit einer Neigung der Propellerachse von 30° konnten nur 6 Messungen bei wenig unterschiedlichen Inversionsstärken gemacht werden. Bei dieser Neigung streuen die Punkte in der Abb. 9 b zu sehr, um eine Beziehung zwischen der Inversionsstärke und dem maximalen Temperatureffekt abzuleiten. Auf Grund der Versuche in Australien bei Neigungen von 28° ist jedoch diese Beziehung auch anzunehmen. Bemerkenswert ist, daß der maximale Temperaturanstieg im Mittel bei 30° Neigung bei gleichen Inversionsstärken eher noch etwas größer war als bei einer Neigung von 45° . Ohne weitere Messungen läßt sich dieses jedoch noch nicht verallgemeinern.

4. Die Größe der beeinflussten Fläche

a) bei einer Neigung der Propellerachse von 45°

Die Flächen mit einem Temperaturanstieg durch den Propeller von mindestens $0,5^\circ\text{C}$, $1,0^\circ\text{C}$ usf. sind in der Tab. 1 aufgeführt und in Abb. 10 für eine Neigung des Propellers von 45° und 30° der Inversionsstärke gegenübergestellt.

Trotz der immer noch großen Streuung der Punkte in der Abb. 10 ist die Abhängigkeit der Flächengröße von der Inversionsstärke zu erkennen. Es hat den Anschein, als ob bei noch stärkeren Inversionen als 4°C gerade die Flächengröße mit einem Temperaturanstieg von mindestens $0,5^\circ\text{C}$ einem Grenzwert, dem größtmöglichen Propellerbereich zustrebt. Bei den australischen Versuchen wurde bei den sehr starken Inversionen für die Temperatureffekte von $0,55^\circ$ und $1,1^\circ\text{C}$ sogar eine Verringerung der geschützten Fläche festgestellt. Diesen Grenzwert möchte ich für den vorhandenen Propeller bei einer Neigung von 45° und in wirklich klarer, windstiller Frostnacht bei etwas über 6000 m^2 annehmen, wenn dieser in einzelnen Fällen vielleicht auch mal überschritten werden kann. Für einen Anstieg von $1,0^\circ$ wird der Wert bei 5000 m^2 liegen, während die Flächen mit einem größeren Anstieg als $1,0^\circ\text{C}$ doch wohl noch erheblich größer werden können, als sie es bei einer Inversionsstärke von $3^\circ\text{C} - 4^\circ\text{C}$ sind. Für $1,5^\circ\text{C}$ möchte ich 4000 m^2 und für $2,0^\circ\text{C}$ 3300 m^2 annehmen. Allerdings müßte dieses durch einige Messungen noch bestätigt werden. Bei einer Inversionsstärke von 3°C , also einem gar nicht mal allzugroßen Wert, be-

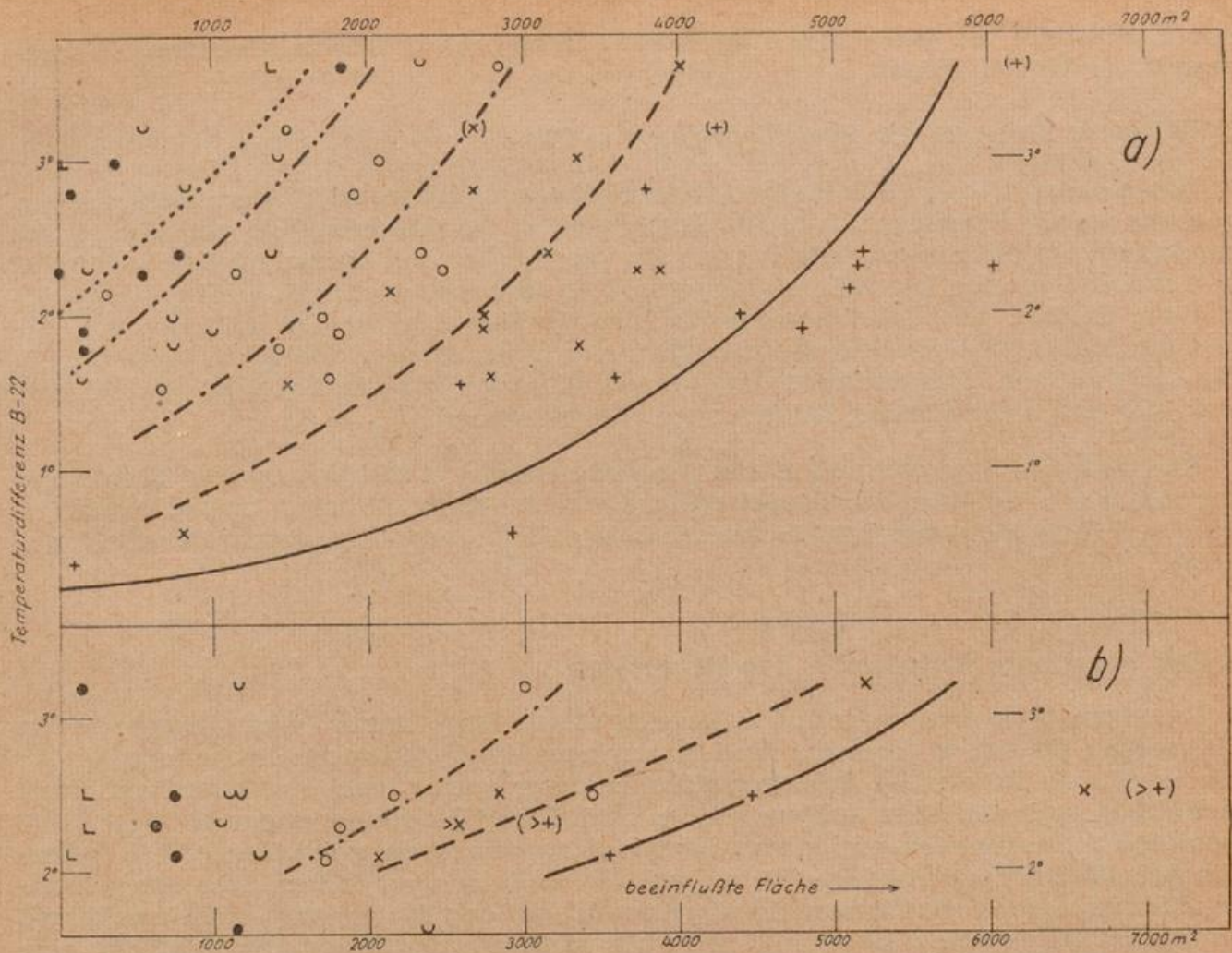


Abb. 10 Flächen mit Temperaturanstieg durch Propeller bei verschiedener Temperaturinversion. Temperaturinversion dargestellt durch Differenz der Temperatur an Meßstelle B (Höhe 35 m NN) auf benachbartem Hügel und Meßstelle 22 (Höhe 12 m NN) in der Obstanlage.

a) Neigung der Propellerachse gegen die Horizontale: 45°
 Temperaturanstieg von wenigstens

+ $0,5^\circ$ C ———
 x $1,0^\circ$ C ———
 o $1,5^\circ$ C ———

u $2,0^\circ$ C ———
 ● $2,5^\circ$ C
 L $3,0^\circ$ C

b) Neigung der Propellerachse gegen die Horizontale: 30°

trägt auf Grund der Messungen die geschützte Fläche mit einem Temperaturanstieg von $0,5^\circ$ C 5500 m^2 , $1,0^\circ$ C 3700 m^2 , $1,5^\circ$ C 2600 m^2 , $2,0^\circ$ C 1600 m^2 , $2,5^\circ$ C 110 m^2 .

Die energetische Betrachtung fällt für den Ottensener Propeller etwas günstiger aus als für den australischen, da wir nicht in einer dichtbelaubten Anlage gemessen haben. Wenn wir für einen Anstieg von wenigstens $1,0^\circ$ C im günstigsten Fall auf $0,5 \text{ ha}$, sonst auf etwa $\frac{1}{3} \text{ ha}$ 10 PS benötigen, so wurden nach Hoare (16) in Silsoe 30 PS für einen Anstieg von $1,1^\circ$ C auf $0,8 \text{ ha}$ benötigt. In Australien war der Verbrauch an zugeführter elektrischer Energie 30 PS bei einem Anstieg von $1,1^\circ$ C auf $0,4 \text{ ha}$ bei einer Blasrichtung senkrecht nach unten, bei einer schrägen Blasrichtung unter einem Neigungswinkel von 28° C 20 PS und bei einer zusätzlichen Rotation der Blasrichtung mit 1 U. p. M. etwa 11 PS zugeführter elektrischer Energie. Die amerikanischen Propeller liegen energetisch auch nicht günstiger.

Es sei aber noch bemerkt, daß bei Tätigkeit des Propellers die Temperatur vom Erdboden bis über $1,60 \text{ m}$ hinaus praktisch gleich war, während bei ruhendem Propeller in einer Höhe von nur $0,5 \text{ m}$ über dem Erdboden meist eine um wenigstens 1° C geringere Temperatur als in $1,60 \text{ m}$ Höhe herrschte. Auf einer Fläche ohne Obstbäume mit einer niedrigen Vegetation wird in deren Höhe der Temperatur-

effekt und auch die geschützte Fläche daher doch noch erheblich über den oben angegebenen Werten liegen.

b) bei einer Neigung der Propellerachse von 30°

Um ein endgültiges Urteil über diese Neigung abgeben zu können, liegen leider noch zu wenig Messungen vor. Die Abhängigkeit der Flächengröße von der Inversionsstärke ist erkennbar, jedoch nicht für die Flächen mit einem Anstieg von $2,0^\circ\text{C}$ und mehr. Für eine Inversionsstärke von 3°C darf man wohl die Größe der beeinflussten Flächen wie folgt annehmen: für $0,5^\circ$ 5500 m^2 , für $1,0^\circ$ 4500 m^2 , für $1,5^\circ$ 3000 m^2 . Damit ist diese Neigung zwar nicht für einen Anstieg von $0,5^\circ\text{C}$, jedoch wohl für die größeren Temperaturanstiege etwas günstiger als die Neigung von 45° , was auch mit den australischen Erfahrungen übereinstimmt.

Für noch flachere Neigungen der Propellerachse als 30° lagen nur 2 Messungen vor. Bei einer Neigung der Propellerachse von 20° — 22° wird der erzeugte Propellerwind in einer Höhe von $1,60\text{ m}$ erheblich schwächer und der Temperatureffekt geringer.

5. Die maximale Reichweite des Propellers

Der vom Propeller beeinflusste Bereich stellt fast immer eine langgestreckte Ellipse dar, die um so schmaler wird, je geringer die Neigung der Propellerachse ist. Die maximale Reichweite des Propellers ist zwar gering von der Inversionsstärke, mehr aber noch von etwa aufkommenden natürlichen Luftbewegungen abhängig. Die maximalen Reichweiten mit einem Temperaturanstieg von mindestens $0,5^\circ\text{C}$ betragen bei 45° Neigung etwa 90 — 100 m , bei 30° Neigung über 120 m . Für einen Temperaturanstieg von wenigstens $1,0^\circ\text{C}$ schwankt sie bei 45° Neigung zwischen 60 und 100 m , bei 30° zwischen 85 und 120 m . Auch bezüglich der Reichweite erscheint eine Neigung der Propellerachse von 30° als die günstigste.

Wenn die Reichweite in Blasrichtung zwar verhältnismäßig groß ist, so erschien uns die beeinflusste Fläche doch immer noch klein, besonders verglichen mit den Anschaffungskosten. Wie kann man die Flächenwirkung nun ohne erhebliche Steigerung der Anschaffungskosten und ohne erhebliche Steigerung der Energieleistung wesentlich erhöhen?

Wenn auch wohl etwas durch eine Veränderung der Länge und Stellung der Propellerblätter erreicht werden kann, so ist eine erhebliche Flächenvergrößerung nur durch ein Hin- und Herschwenken des Propellers oder durch ein Drehen um eine vertikale Achse und damit durch eine stete Veränderung der Blasrichtung zu erzielen. Damit verringert sich zwar die maximale Reichweite etwas, die Breitenwirkung wird aber erheblich vergrößert. Gleichgültig ob man den Propeller nun hin und her schwenkt oder ihn kreisen läßt, so ist doch zu erwarten, daß der maximale Temperatureffekt etwas geringer wird, da die Temperatur nun mit der Periode der Propellerbewegung Schwankungen ausführen wird. Diese dürfen nicht zu groß werden, damit der mittlere Temperatureffekt nicht zu gering wird. Es muß also auch eine optimale Geschwindigkeit für das Hin- und Herschwingen des Propellers geben.

Diese kleinen Temperaturschwankungen werden auch davon abhängen, wie schnell die Temperatur ansteigt, wenn eine Stelle in den Propellerwind kommt, und wie schnell sie sinkt, wenn die Stelle aus dem Propellerwind wieder herauskommt.

Um dieses festzustellen und um damit die Geschwindigkeit des Hin- und Herschwenkens besser einrichten zu können, wurde schon bei konstanter Blasrichtung die Temperatur an mehreren Stellen nach dem Ein- und Ausschalten des Propellers verfolgt. Das geschah mittels Registrierung durch den Thermographen und durch die Meteorographen, sowie durch Augenablesung an den Alkoholthermometern in Abständen von etwa 15 Sekunden .

6. Der Anstieg und Abfall der Temperatur unmittelbar nach An- und Abstellen des Propellers

Die Registrierung der Lufttemperatur vom 21./22. und 23./24. April 1954 an den Stellen B und 22 ist in etwas vergrößertem Maßstabe in Abb. 11 wiedergegeben. Der Zeitpunkt des Ein- und Ausschaltens des Propellers sowie die jeweilige Neigung der Propellerachse ist vermerkt.

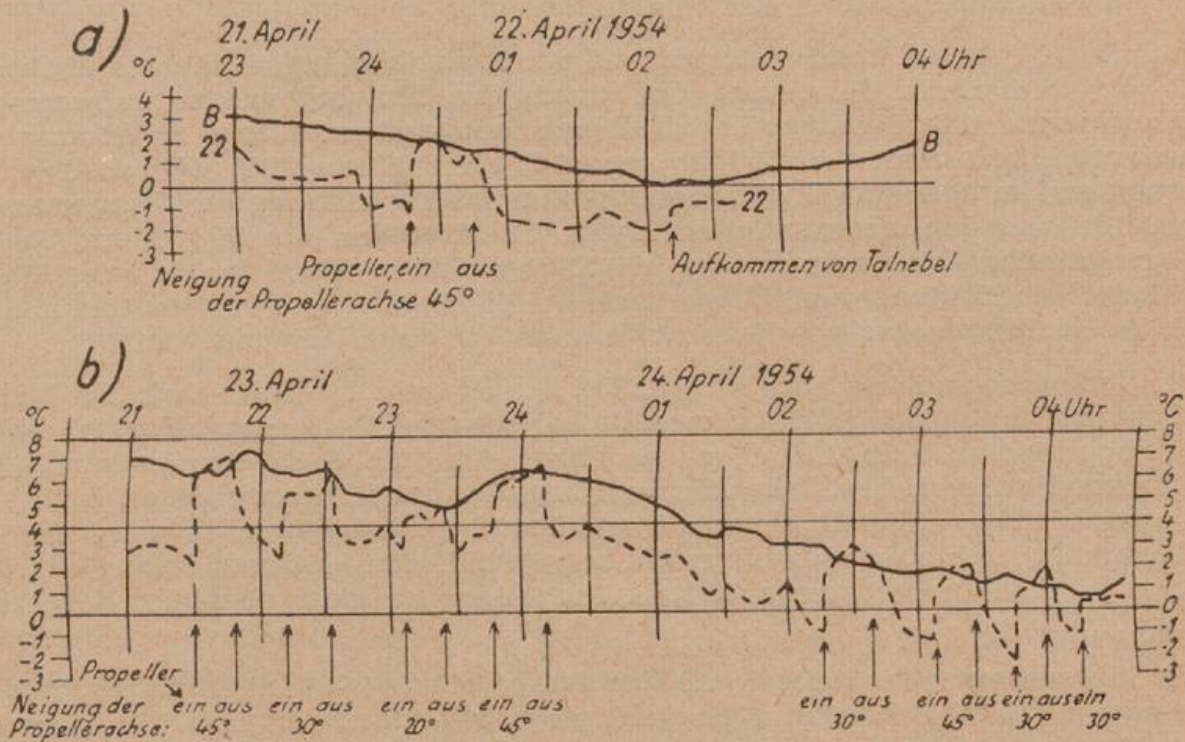


Abb. 11 Registrierung der Lufttemperatur in 1,60 m Höhe an den Meßstellen B (Hügel, 35 m NN) und 22 (Obstanlage, 12 m NN) bei ruhendem und rotierendem Propeller.

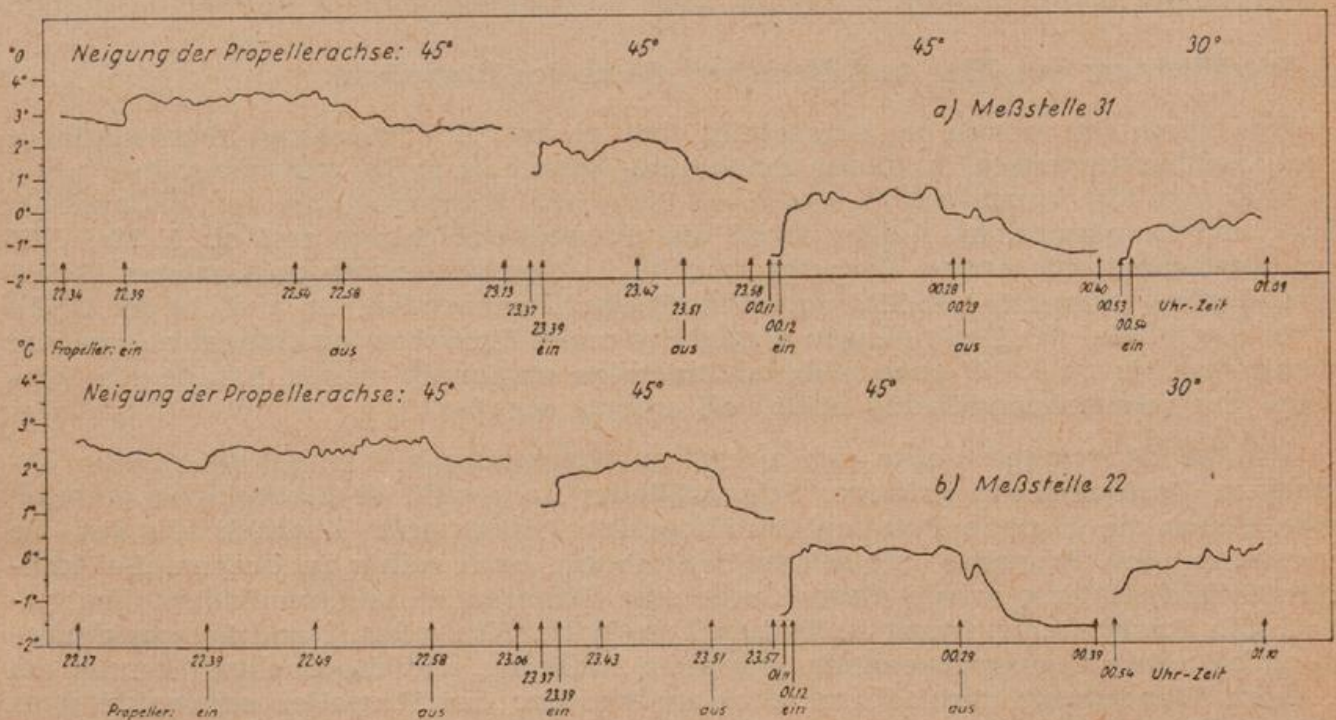


Abb. 12 Registrierung der Lufttemperatur in 1,60 m Höhe in der Obstanlage bei den Meßstellen 22 und 31 mittels Meteorographen bei rotierendem Propeller am 28./29. 4. 1954 in Ottensen.

Nach Abb. 11a steigt die Temperatur bei Stelle 22 mit Einschalten des Propellers um 00,15 Uhr sehr rasch um etwa $3,5^{\circ}\text{C}$ auf den Wert an der Stelle B. Bis auf eine kleine Unregelmäßigkeit bleibt die Temperatur im Propellerwind bei 22 auf demselben Wert wie bei B, d. h. die allgemeine zeitliche Temperaturabnahme geht auch im Propellerwind weiter. Nach dem Ausschalten des Propellers sinkt die Temperatur bei 22 zwar erheblich langsamer als sie vorher angestiegen ist, sie sinkt aber immer noch erheblich schneller, als es durch die Ausstrahlung allein möglich wäre. Die durch den Propeller herangeführte wärmere Luft wird nach Abschalten schnell durch die seitliche Zufuhr kälterer Luft ersetzt.

In Abb. 11b ist im Temperaturverlauf der Stelle B deutlich die bis Mitternacht durch die wechselnde Bewölkung und durch den hin und wieder aufkommenden Windzug verursachte Störung der wirklichen Temperaturabnahme zu erkennen. Die Inversionsstärke nimmt von 21 Uhr von 4°C auf 2°C um 23.35 Uhr ab. Die Registrierung an der Stelle 22 zeigt jedes Mal den raschen Anstieg der Temperatur mit Einschalten und den exponentiellen Abfall bei Abstellen des Propellers. Um 21.29 Uhr erreicht der Temperaturanstieg bei 22 sogar einen Wert von beinahe 5°C . Sowohl bei einer Neigung von 30° wie auch bei 45° übersteigt die Temperatur an der Stelle 22 die Temperatur von B, nicht dagegen bei einer Neigung von 20° .

Der Temperaturanstieg nach Einschalten des Propellers erfolgt nach den Meteorographenaufzeichnungen (Abb. 12) unmittelbar oft innerhalb einer Minute, während der Temperaturfall nach Abstellen des Propellers doch 4—8 Minuten benötigt, um den Endwert zu erreichen. Die dünnen Bimetalle der Meteorographen hatten auch eine sehr geringe Trägheit; könnte man diese berücksichtigen, so wäre der Temperaturanstieg noch etwas schneller. Die unregelmäßigen kleinen Temperaturschwankungen in dem immer etwas böigen Propellerwind sind ebenfalls deutlich erkennbar.

Wir können somit festhalten, daß der Temperaturanstieg innerhalb einer Minute den Endwert, in 20 Sekunden aber wohl schon 50% davon erreicht. Der Abfall der Temperatur geht ziemlich gleichmäßig in 4—6 Minuten vor sich. Innerhalb 2 Minuten ist die Temperatur meist schon so stark gefallen, so daß man beim Hin- und Herschwenken des Propellers keine Stelle länger als 2 Minuten außerhalb des Propellerwindes lassen darf. Die Schwenkperiode darf beim vorliegenden Propeller demnach kaum länger als 2 Minuten dauern.

7. Die Wirkung des Hin- und Herschwenkens des Propellers

Der Propeller wurde so eingestellt, daß er mit der kürzesten Schwenkdauer hin- und herschwenkte. In dieser Einstellung konnte er in 128 Sekunden über einen Winkel von 165° einschließlich von je 10 Sekunden Verweilzeit an den Endpunkten hin- und herschwenken. Leider stand die Schwenkeinrichtung erst ab 5. Mai 1954 zur Verfügung. Die ersten Versuche mit ihr mußten wegen der ungünstigen Witterungsbedingungen am 7./8. Mai vorzeitig abgebrochen werden. Da auch in der Nacht vom 12.—13. Mai die Bedingungen wegen des meist herrschenden Ostwindes und der damit nur bis zu $1,2^{\circ}\text{C}$ ausgebildeten Inversion ungünstig waren, konnte die Wirkung der Schwenkeinrichtung nicht voll erprobt werden.

Bei den Messungen stellte sich allerdings etwas heraus, was bei den vorher gemachten Versuchen mit größerer Schwenkdauer noch nicht in Erscheinung getreten war. Durch die schnelle Rotation des Propellers treten große Kreiselkräfte auf, die versuchen, den Propeller mit seiner Blasrichtung nach rechts zu drehen. Bei konstanter Blasrichtung wurde dieses durch eine Haltevorrichtung verhindert. Trat jedoch die Schwenkeinrichtung in Tätigkeit, so wirkt Kreiselkraft und Schwenkbewegung bei einer Rechtsschwenkung in gleiche Richtung, und die Drehung konnte am rechten Wendepunkt nicht sofort gestoppt werden; der Propeller schwenkte noch einige Grad weiter, bevor er zum Stehen kam. Der Linksschwenkung wirkte die Kreiselkraft jedoch entgegen und der Propeller stoppte am linken Wendepunkt sofort. Die Folge war, daß der anfänglich eingestellte Schwenkwinkel nach einer ge-

wissen Zeit insgesamt nach rechts gedreht war; die Blasrichtung erreichte den anfänglich linken Wendepunkt nicht mehr, ging dafür aber über den rechten hinaus. Dieser Erscheinung kann man wohl durch eine Umkonstruktion begegnen, im Frühjahr 1954 war dieses jedoch nicht mehr möglich. Zu Anfang reichte der Schwenkwinkel von der Meßstelle 1 über Stelle 22 nach Stelle 37 (s. Abb. 5), am Ende der Messung wurde Stelle 1 nicht mehr vom Propellerwind berührt, dafür reichte der Winkel von Stelle 2 über Stelle 22 und 37 bis zur Meßstelle 49. Der Winkel betrug aber immer 165° . Eine einfache Schwenkung benötigte 54 Sekunden, die Hin- und Herschwenkung einschließlich der Verweilzeiten in den Endstellungen 128 Sekunden. Die Neigung der Propellerachse betrug 45° . Trotz dieser Störung und einer weiteren Störung durch einen Ostwind bis zeitweise Beaufort 2 konnten doch zwei wesentliche Ergebnisse in der Nacht vom 12.—13. 5. gewonnen werden.

Die Störung der Messung durch den Ostwind machte sich schon dadurch bemerkbar, daß das Maximum des Propellerwindes, das bei konstanter Blasrichtung etwa 15 m vor dem Propeller lag, in dieser Nacht hinter den Propeller gedrängt wurde, wo auch ein Temperatureffekt festzustellen war, der hier bei Windstille kaum möglich gewesen wäre. Der Einfluß in die Pflanzung hinein war nur bis zu 32 m vorhanden. Diese Erscheinung braucht bezüglich des Frostschutzes aber noch keine Bedenken auslösen, da bei einem derartigen Wind Spätfrost sehr selten vorkommt. Der maximale Temperaturanstieg bei dem schwenkenden Propeller betrug immerhin noch etwa $1,5^\circ\text{C}$ bei einer Inversionsstärke von $1,2^\circ\text{C}$. Fast senkrecht zum natürlichen Wind reichte die Propellerwirkung über 100 m nach der Wiese hin und etwa 80 m in Richtung auf die Himbeeranlage. Wie weit der Einfluß rückwärts ging, konnte nicht festgestellt werden. Wäre der Ostwind nicht gewesen, so darf man doch annehmen, daß der Einflußbereich des Propellers auch nach Osten hin auf 80—100 m spürbar gewesen wäre. Der Einflußbereich hätte dann bei einem Schwenkwinkel von 165° und 80 m Reichweite nach allen Seiten doch mindestens $12\,000\text{ m}^2$ betragen, hätte also den Bereich bei konstanter Blasrichtung erheblich übertroffen.

Ein weiteres Ergebnis zeigen die Registrierungen mit den Meteorographen welche an den Stellen 1, 22 und 37 aufgestellt worden waren. Zum Vergleich wurde die Temperatur von 23,00—23,22 Uhr (Abb. 13a) auch bei konstanter Blasrichtung registriert. Die Meßstelle 22 lag im Propellerbereich. Die Temperatur reagierte hier sofort, machte aber während der Propellertätigkeit kleine unregelmäßige Schwankungen. Die beiden anderen Meßstellen lagen außerhalb des Propellerbereiches.

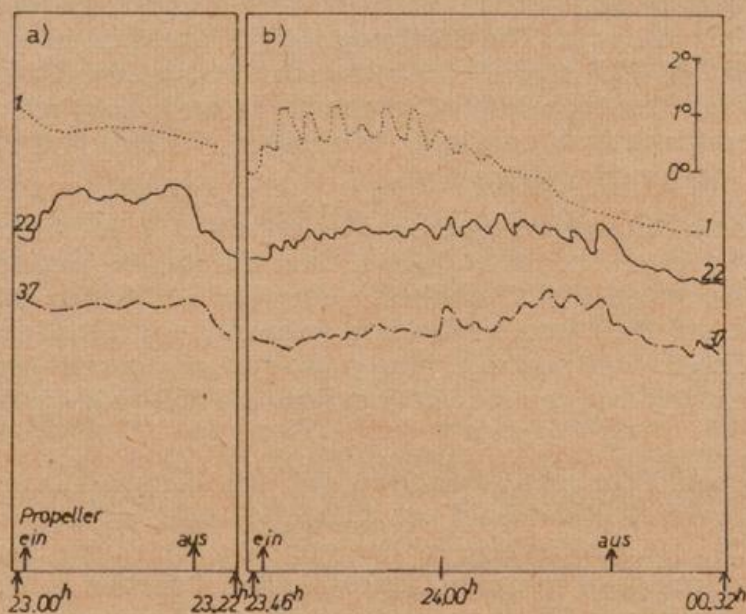


Abb. 13 Registrierung der Temperatur mit Meteorographen am 12./13. 5. 1954.
a) mit konstanter Blasrichtung
b) mit schwenkender Blasrichtung (Schwenkwinkel 165°)
gemessen an den Stellen 1, 22 und 37.

Die Registrierung bei sich stetig ändernder Blasrichtung zeigt nun ein ganz anderes Bild (Abb. 13b). An der Stelle 1, der linken Wendestelle der Blasrichtung, in der der Propeller eingeschaltet wurde, steigt die Temperatur erst nach der ersten Vollschrwenkung auf den höchsten Wert. Mit der Schwenkperiode macht die Temperatur hier gleichmäßige Schwankungen mit einer Amplitude von $0,5 - 0,7^{\circ}\text{C}$, während der mittlere Anstieg infolge der ungünstigen Windverhältnisse nur etwa $0,9^{\circ}\text{C}$ betrug. Die Temperatur schwankte hier also zwischen $0,6$ und $1,2^{\circ}\text{C}$ über dem Wert vor dem Einschalten des Propellers. Die Temperaturschwankung beträgt also 50% des maximalen Anstieges.

An der Stelle 22, die doppelt so oft als Stelle 1 vom Propellerwind berührt wurde, sind die Schwankungen wesentlich kleiner, dafür sind natürlich doppelt soviel vorhanden. Daß der Temperaturanstieg bei 22 um 23,47 Uhr nicht so groß ist wie um 23,00 Uhr, ist auf den nun noch etwas stärkeren Ostwind zurückzuführen. Insgesamt war der Anstieg bei Nr. 22 aber doch geringer als bei Nr. 1. Die Stelle 1 kam gegen 24.00 Uhr infolge der Veränderung des Schwenkwinkels ganz aus dem Bereich des Propellerwindes. Dafür kommt die Stelle 22 der Endstellung des Schwenkwinkels näher, so daß die Periode der Temperaturschwankung schließlich doppelt so groß wird und die Amplitude zunimmt. Nr. 37 lag zu Anfang noch fast außerhalb des Propellerbereiches und kommt immer mehr in diesen hinein.

Der Abb. 13b ist zu entnehmen, daß die Schwenkdauer nicht länger sein darf, als sie war. Sonst werden die Schwankungen der Temperatur zu groß und ihr mittlerer Anstieg zu gering. Das wird bei einer Neigung der Propellerachse von 30° wahrscheinlich noch mehr zu beachten sein. Die Neigung von 30° war für diesen ersten Schwenkversuch deshalb nicht gewählt worden, weil bei einer Neigung von 45° der Einflußbereich des Propellers breiter ist als bei 30° , die einzelnen Stellen also beim Schwenken etwas länger im Propellerwind bleiben. Die günstigste Neigung wird aber nicht allein nach diesem Gesichtspunkt auszuwählen sein, sie ist wohl je nach der Schwenkdauer verschieden.

Zusammenfassung und Diskussion der Methode

Auf dem Versuchsgut Ottensen bei Buxtehude der Obstbauversuchsanstalt Jork wurden im Frühjahr 1953 und 1954 Versuche über die temperatursteigernde Wirkung eines Propellers gemacht. In Anlehnung an die Erfahrungen im Ausland wurde ein dreiflügeliger Propeller von 6 m Durchmesser auf einem 9 m hohen Mast angebracht. Ein Elektromotor von 10 PS verlieh dem Propeller eine Geschwindigkeit von etwa 170 Umdrehungen pro Minute. Die Neigung der Propellerachse war verstellbar, so daß Versuche bei 45° , 30° , 22° und 20° Neigung der Propellerachse gegen die Horizontale angestellt wurden. Anfang Mai 1954 wurde es auch möglich, die Propellerachse und damit die Blasrichtung über einen beliebigen Winkel während der Propeller-tätigkeit hin- und herzuschwenken.

Der Propeller kam in beiden Jahren in insgesamt 7 Nächten zum Einsatz. Die Witterungsbedingungen entsprachen jedoch fast in keiner ganzen Meßnacht denen der typischen, gefürchteten Spätfrostnächte. Es war oft weder windstill noch sternklar. Im Gegensatz zu 1952 war in beiden Jahren kein Schadensfrost in der Versuchsanlage aufgetreten. Die gesamte und größte Wirksamkeit des Propellers könnte daher noch nicht mit Messungen belegt werden, sie läßt sich jedoch angenähert erschließen.

Das Prinzip dieser Frostschutzmethode ist, die in den klaren windstillen Nächten am Boden haftende Kaltluftschicht zu zerstören und wärmere Luft aus höheren Luftschichten weit in die Obstanlage zu treiben. Die Wirkung des Propellers wurde in einer Apfelanlage mit 3—4 m hohen, unbelaubten Bäumen mittels Alkoholthermometern, Thermographen und Windmessern sowie Rauchpatronen in 1,60 m Höhe über dem Erdboden geprüft.

Aus den Ergebnissen lassen sich nun folgende Schlußfolgerungen für weitere Versuche und für die Verwendung dieser Methode ziehen. Schon aus dem Prinzip der

Methode ergibt sich, daß die Propellerwirkung auf den maximalen Temperatureffekt und auf die Größe der Flächen mit einem Temperaturanstieg von $0,5^{\circ}$, $1,0^{\circ}$ C umso größer wird, je stärker die Inversion, d. h. je größer die Temperaturzunahme mit der Höhe ist. Da die Temperatur aber schon in den Luftschichten unter 1,60 m Höhe bis zum Erdboden noch um $1-2^{\circ}$ C geringer werden kann als in 1,60 m, der Propellerwind aber gerade am Boden sich ausbreitet, muß die Wirkung für bodennahe Pflanzen wie Erdbeeren, Tomaten u. a. erheblich größer sein als für Obstbäume. Bei mäßigen Inversionen wurden maximale Anstiege bis über 4° C erzielt. Die äußerste Reichweite des Propellers mit etwa 120 m bei einer Neigung der Propellerachse von 30° gegen die Horizontale und auf einer Fläche von 5500—6000 m² ist jedoch unabhängig von der Inversionsstärke. Sie wird aber andererseits stark von der Art der zu schützenden Vegetation abhängig sein, da der Propellerwind in einer Apfelanlage mehr gebremst wird als z. B. über einem Erdbeerfeld, und in einer voll belaubten Citruspflanzung wie in Amerika oder Australien, noch mehr als in einer Apfelpflanzung. Dieser Gesichtspunkt ist wesentlich für die Beurteilung des Verfahrens, er konnte jedoch noch nicht untersucht werden.

Die temperaturerhöhende Wirkung sowie die Reichweite eines Propellers hängen weitgehend auch von seiner Konstruktion und seiner Betriebsweise ab. Es ist daher auch oft schwierig, die an mehreren Orten mit Propellern ganz verschiedener Konstruktion erzielten Wirkungen zu vergleichen. Doch seien an dieser Stelle die einzelnen möglichen Abänderungen der Konstruktion in ihrer Wirkung auf den Schutzeffekt kurz diskutiert.

Die amerikanischen Propeller blasen alle horizontal und vermischen besonders die Kaltluft über der Oberfläche der dicht belaubten Citrusbäume, saugen aber wenig wärmere Luft aus den höheren Luftschichten herunter. Damit die Verwirbelung möglichst groß und weithin wirksam ist, arbeiten sie mit Maschinen von sehr hoher PS-Zahl (12,5 bis 210 PS). Die damit erzeugte sehr hohe Umdrehungszahl des Propellers (über 900 U. p. M.) verlangt einen kleineren Propellerdurchmesser. In England arbeitet man mit senkrecht nach unten blasenden Propellern großen Durchmessers und langsamer Rotationszahl (um 140 U. p. M.). Diese holen viel Warmluft aus hohen Schichten bis zum kalten Boden herunter, ihre horizontale Reichweite muß aber beschränkt bleiben. Eine Kombination beider Prinzipien wurde in Australien und von uns angewandt: das Blasen schräg nach unten in die Pflanzung hinein. In beiden Fällen wurden Propeller großen Durchmessers (6 bis 6,5 m), aber geringer Umdrehungszahl (140—170 U. p. M.) bei Motorstärken um 10 PS verwandt. Die Australier erreichen bei einer Neigung der Propellerachse von 28° gegen die Horizontale die größte geschützte Fläche und glauben, daß eine Neigung von $10-20^{\circ}$ vielleicht noch günstiger sei. Wir fanden die Neigung von 30° als sehr günstig, glauben aber, daß der Luftstrom bei einer Neigung von 20° zu sehr über die Pflanzung hinwegstreicht ohne sie genügend zu durchdringen.

Eine Steigerung der Flächenwirkung des Propellers ist jedoch noch notwendig. In Australien und Amerika ist sie dadurch erzielt worden, daß die Blasrichtung des Propellers sich durch ein Drehen um eine vertikale Achse um 360° oder durch ein Hin- und Herschwingen um 90° , 180° oder um einen beliebigen Winkel stetig ändert. Nach den Ottensener Erfahrungen, die auch durch australische Versuche bestätigt werden, darf die Dauer für die Umdrehung oder für die Hin- und Herschwenkung nicht länger als 2—3 Minuten sein, sonst wird der Temperaturabfall in den Zwischenzeiten, in denen der Propeller in anderer Richtung bläst, zu groß und somit der mittlere Temperatureffekt zu klein. Ein Vergleich mit der Wirksamkeit von Schwenkregnern, die bei sehr langsamer Umdrehung die größte Flächenwirkung haben, ist hier nicht möglich. Ein Hin- und Herschwenken um 180° wird die Flächenwirkung gegenüber einer konstanten Blasrichtung etwa verdoppeln. Dieser Faktor bedarf in Ottensen jedoch noch einer Nachprüfung, zumal der optimale Neigungswinkel auch von der Größe des Schwenkwinkels und von der Schwenkdauer abhängen wird. Der Schutzbereich, der bei einem Schwenkwinkel von 180° und einer Neigung von 45° mit dem Ottensener Propeller wohl zu erreichen wäre, wird grob auf 1,2 Hektar für einen Anstieg von $0,5^{\circ}$ C und auf 0,8 Hektar für einen mittleren Dauereffekt von

1,00 C geschätzt. Über Flächen mit niedriger Vegetation, etwa Erdbeeren, dürfte der Temperaturanstieg für obige Flächen wohl mindestens um 1° C höher liegen.

Eine Änderung der Flächenwirkung muß auch durch eine Umkonstruktion des Propellers und durch eine Erhöhung der PS-Zahl zu erreichen sein. Jedoch glauben die Australier (20), daß mehrere kleine Propeller wirksamer sind als ein großer inmitten der Pflanzung und die Engländer haben nachgewiesen, daß bei 2 gleichzeitig laufenden Propellern, die in einem Abstand von 80—110 m stehen, die Wirkung mehr als das doppelte der Wirkung eines Propellers beträgt. Hoare (16) nimmt an, daß — bei senkrecht nach unten blasendem Propeller — die Wirkung desselben wesentlich größer wird, wenn der Durchmesser stark d. h. etwa auf 18 m vergrößert wird und zwar mehr als die Energieleistung dabei zu vergrößern wäre. Bei schräg blasendem Propeller möchte man jedoch mit den Australiern annehmen, daß die Flächenwirkung mit einem Propeller kleineren Durchmessers, aber größerer Umdrehungszahl und höherer Energie vergrößert werden kann. Die der Luft vom Propeller übertragene Geschwindigkeit und kinetische Energie ist erheblich größer, der Propellerwind reicht weiter. Die Breitenwirkung ist zwar geringer, was bei einem Schwenken der Blasrichtung aber wohl nicht so ins Gewicht fällt. Ob dann aber ein Neigungswinkel der Propellerachse von 30° oder 45° noch günstig ist, bleibt fraglich, da der auf die Bäume auftreffende Wind an der Stelle maximaler Windgeschwindigkeit so groß werden kann, daß mechanische Schäden an den Zweigen möglich werden. In diesem Falle wird ein Neigungswinkel der Propellerachse gegen die Horizontale von etwa 20° günstiger sein, so daß die Steigerung der Windgeschwindigkeit auch mehr der Reichweite zugute kommt. Damit entfernt man sich aber vom englischen Propellerprinzip und nähert sich dem amerikanischen. Die temperatursteigernde Wirkung dürfte wenig von der Propellerhöhe abhängig sein. Die Höhe von 9 m wird aber wohl der optimalen Höhe nahekommen.

Ein Problem konnte weder durch Versuche erforscht werden noch waren in der Literatur Angaben darüber vorhanden. Am Rande des Propellerbereiches, in dem noch Temperatureffekte von 0,5° C zwar bei Windgeschwindigkeiten um 0,5 m/s erzielt werden, kann es in einer Frostnacht leicht vorkommen, daß hier der Temperaturanstieg zum Frostschutz nicht mehr ausreicht. Dort befindet sich dann u. U. eine Zone mit Frostgraden und einem, wenn auch schwachen Propellerwind, also Windfrost statt windstillem Strahlungsfrost. Während die meisten Pflanzen noch Strahlungsfroste bis -1° C oder gar bis -2° C aushalten, ist der Schwellenwert für Windfrost nicht bekannt, wahrscheinlich liegt er aber etwas höher. Der Propeller könnte dann vielleicht in manchen Fällen sogar Schaden anrichten. Da die Propellerwirkung im Randgebiet dann aber sowieso nicht ausreicht — wenn nicht mehrere aufgestellt sind, deren Wirkungsbereiche sich überlappen — wird man hier eine zusätzliche Heizung mit einigen Öfen, wie in Amerika, zur Hilfe nehmen müssen. Die Gefahr, daß man mit dem Propellerwind Verdunstungskälte erzeugt, ist wahrscheinlich nicht groß, da bei mehreren Versuchen stärkerer Taubeschlag an Thermometern wie an Blättern im Propellerwind in 5—10 Minuten restlos verschwand und sich nicht wieder neu bildete.

Bei Windfrost, d. h. bei Nachtfrost mit gleichzeitig herrschendem Wind, wird der Schutzbereich des Propellers vom Wind deformiert und verlagert. Das stört schon bei mäßigen Windstärken. In einem solchen Fall kann die Propellerwirkung sehr gering werden, da weder eine Kaltfluthaut am Boden noch eine merkliche Temperaturzunahme mit der Höhe besteht. In diesem, glücklicherweise zur Zeit der Spätfroste seltenen Fall übernimmt der natürliche Wind schon die Aufgabe des Propellers. Ohne Wind würde die Temperatur nämlich noch wesentlich tiefer sinken.

Besondere Vorteile der Propellermethode sind einmal die sehr schnelle Reaktion der Temperatur auf den Propeller. In 1—2 Minuten ist der Endeffekt der Temperatur erreicht. Ferner ist der Personaleinsatz sehr gering, meist wird 1 Mann genügen und somit sind kaum Vorbereitungen vor einer Frostnacht zu treffen.

Die Untersuchungen dürfen für ein endgültiges Urteil über die Brauchbarkeit und Rentabilität noch nicht als abgeschlossen gelten. Auch reichen die amerikani-

schen Erfahrungen und die noch nicht abgeschlossenen australischen Versuche nicht für deutsche Verhältnisse aus, da bei uns keine vollbelaubten Citrusanlagen vorhanden sind, in denen in jedem Winter Frostschutz betrieben werden muß. Was läßt sich aber heute schon zur Rentabilität sagen? Entscheidend sind nur die hohen Anschaffungskosten, da die Betriebskosten (für Personal, elektr. Strom u. a.) geringer sind als bei fast allen anderen Verfahren.

Als Vergleich seien die Kosten für die Heizmethode genannt, welche in vielen Gebieten ja auch angewandt wird. Um eine Fläche von 0,5 Hektar zu heizen, sind etwa 125 Öfen, z. B. Monosöfen notwendig, welche insgesamt einschließlich Zubehör etwa 1050 DM kosten. An Brennmaterial benötigt man pro Ofen außer etwas Holzwole, Rohnaphtalin und Rohöl bei einer Heizungsdauer von 5 Stunden etwa 8—10 kg Eierbriketts oder ähnliches Material, bei 125 Öfen etwa 20—25 Zentner Briketts, die etwa 80—100 DM kosten. Dazu kommen aber die Lohnkosten für zahlreiches Bedienungspersonal. Demgegenüber verbraucht ein 10-PS-Elektromotor in 5 Stunden nur etwa 40 KWh. Nach Angus (20) hält man in Australien den dort befindlichen Propeller gleichwertig einer Heizung von 75 Öfen, von denen jeder pro Stunde 2,8 Liter Dieselöl verbraucht. Die Pflegekosten dürfen in beiden Fällen etwa gleich sein. Man kann jedoch heute wohl sagen, daß die Propellermethode wie die Heizung mit Öfen nur dort mit Nutzen angewandt werden kann, wo hochwertige Kulturen in einer frostgefährdeten, inversionsreichen Geländelage stehen, in der die Kulturen also wenigstens jedes 2. oder 3. Jahr empfindliche Einbußen durch Frost erleiden. Die Methode wird bei niedrigen Kulturen nutzbringender sein als bei Obstbäumen. Wo kleine Flächen zu schützen sind oder in klimatisch weniger gefährdeten Lagen wird man die Propellermethode nicht in Erwägung ziehen. Dagegen wird sie mit konstanter Blasrichtung bei schmalen langgestreckten Parzellen den Öfen vielleicht überlegen sein. Ein endgültiges Urteil und ein Vorschlag für die beste Form dieses Frostschutzgerätes kann jedoch ohne weitere Untersuchungen noch nicht gegeben werden.

An den Messungen bei den Versuchen in beiden Jahren waren folgende Herren beteiligt: Vom Wetterdienst: RR. E. Frank en, Wd. Techniker H. George, Wd. Insp. Birke, von der Obstbauversuchsanstalt: Dipl.-Gärtner Hildebrand, Dipl.-Bot. Boeck, Dipl.-Landw. Müller, Gartenbau-Insp. Labus. Allen Herren sei hiermit für ihre Mühe gedankt. Besonderer Dank gebührt Herrn Dr. E. L. Loewel, Direktor der Obstbauversuchsanstalt Jork, auf dessen Initiative und in dessen Auftrag die Versuche durchgeführt wurden. Der Firma Maschinenfabrik W. Köster in Heide/Holstein gebührt Dank für die saubere und prompte Konstruktion des Propellers. Herrn W. H a u d e danke ich für das zur Verfügung gestellte Foto.

Literatur

- (1) Keßler, O. W. und Kämpfert, W.: Die Frostschadenverhütung. Wiss. Abh. Reichsamt f. Wetterd., 6, Nr. 2 (1940).
- (2) Kohlenberg und Wolf: Frostschadenverhütung. Limburg/Lahn (1953).
- (3) Rogers, W. S.: Protection from spring and autumn frost by continuous water sprinkling. The Grower, Sept. 1951.
- (4) Witte, K.: Untersuchungen zur Frage der Frostabwehr durch Beregnung. Wasser u. Boden 3, 83 (1951).
- (5) Lehmann, P.: Bestandsdurchlüftung als wichtigster Nachtfrostschutz. Wetterkarte D. Wetterd. Bad Kissingen 1953, Nr. 114 u. 115.
- (6) Löschnig, J.: Frostschäden und Frostschutz in der Landwirtschaft mit bes. Berücksichtigung des Weinbaues. Wien (1928).
- (7) Young, F. D.: Frost and the prevention of frost damage. U.S. Dep. of Agric., Farmers Bull. No. 1588 (1929).

- (8) Moser, L.: Mit Flugzeugpropeller gegen Maifröste. Das Weinland, 1934.
- (9) Adams, R. L.: Protecting citrus groves from frost, costs and benefits to growers. California Agric. Exp. Station Extension Serv., Bull. 730 (1951).
- (10) Yarick, B. E.: Wind machines, operating costs in field trials less than heaters but protection is limited. Coll. Agric., California Agriculture 4 (6), 11 (1950).
- (11) Brooks, F. A., Kelly, C. F., Rhoades, D. G. and Schultz, H. B.: Heat transfer in citrus orchard using wind machines for frost protection. Agric. Engng. 33, 74, 143 (1952). (Mit reichlicher Literaturangabe).
- (12) Brooks, F. A.: The action of wind machines and heaters used for frost protection on calm clear nights. Washington State Hortic. Ass. Proc. 48, 193 (1952).
- (13) Sch., N.: Neue Methoden zur Verhütung von Nachtfrostschäden. Umschau, 52, 622 (1952).
- (14) Hoare, E. R.: Frost protection experiments with special reference to the work at Wisley. Sci. Hortic. 10, 89 (1950/51).
- (15) N. N.: A note on the conjoint action of several frost fans. Nat. Inst. Agric. Eng. Wrest Park, Silsoe/Beds. Techn. Mem. Nr. 24/1036/HOR. (1950).
- (16) Hoare, E. R.: Temperature measurement with special reference to frost etc. Rep. of the XIII. Internat. Hortic. Congr. 1952. London (1953), 487.
- (17) Redlich, F.: Further trials of horizontal fans for the protection of orchards from frost damage. C.S.J.R. Div. of Aeron., Austral. Rep. A 54 (1948).
- (18) Frith, H. S.: Frost protection in orchards using air from the temperature inversion layer. Austral. Agric. Res. 2, 24 (1951).
- (19) Angus, D. E.: Inclined axis frost fan trials in citrus orchards. Commonwealth Sci. Industr. Res. Org. Sect. Meteor. Phys. Sect. Rep. No. 1, Melbourne (1951).
- (20) Angus, D. E.: dto. Sect. Rep. No. 2 (with errates of No. 1) Melbourne (1952).

