



**Berichte des Deutschen Wetterdienstes**

**32**

**Über die Veränderlichkeit der Windschutzwirkung einer  
Doppelbaumreihe bei verschiedenen meteorologischen  
Bedingungen**

von  
Josef van Eimern



Zitationsvorschlag:

Eimern, Josef van: Über die Veränderlichkeit der Windschutzwirkung einer Doppelbaumreihe bei verschiedenen meteorologischen Bedingungen. - Offenbach am Main: Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, 1957.  
(Berichte des Deutschen Wetterdienstes ; 32)

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](http://www.dwd.de)  
Mail: [bibliothek@dwd.de](mailto:bibliothek@dwd.de)

## Inhalt

	Seite
1. Einleitung und Problemstellung .....	3
2. Das Meßgelände und das Meßobjekt .....	4
3. Das Meßprofil und die Instrumente .....	5
4. Ergebnisse .....	8
4.1. Die Windgeschwindigkeit in 1,50 m Höhe .....	8
4.1.1. Die Abhängigkeit des Schutzeffektes von der Freilandwindstärke .....	8
4.1.2. Die Windschutzwirkung bei verschiede- nen Windrichtungen .....	9
4.1.2.1. Im belaubten Zustand .....	11
4.1.2.2. Im unbelaubten Zustand .....	11
4.2. Die Windgeschwindigkeit in 3 m Höhe .....	11
4.2.1. Die Windschutzwirkung bei verschiede- nen Windrichtungen .....	11
4.2.1.1. Im belaubten Zustand .....	11
4.2.1.2. Im unbelaubten Zustand .....	11
4.2.2. Die Abhängigkeit des Schutzeffektes von der Freilandwindstärke und der Tageszeit .....	12
4.2.2.1. Im belaubten Zustand .....	12
4.2.2.1.1. Die Abhängigkeit von der Freiland- windstärke .....	12
4.2.2.1.2. Die Streuung der Einzelwerte .....	13
4.2.2.1.3. Der Einfluß der Tageszeit auf die Schutzwirkung .....	14
4.2.2.2. Im unbelaubten Zustand .....	16
4.2.3. Der Einfluß der Dauer der Messungen auf den gemessenen Mittelwert .....	17
4.3. Die Schneevertelung hinter der Baum- reihe am 20. Januar 1956 .....	19
4.4. Die Häufigkeit der Windstärke nach Beaufort an den einzelnen Meßstellen .....	19
5. Zusammenfassung und Schlußbetrachtung ..	20
6. Literatur .....	20

Anschrift des Verfassers:

Dr. J. van Eimern, Weihenstephan bei Freising/Obb., Agrarmeteor. Versuchs- u. Beratungsstelle

### 1. Einleitung und Problemstellung

Über die Windschutzwirkung von Hecken und Baumreihen liegen zwar schon viele Unterlagen vor. Es sei nur auf die zusammenfassenden Betrachtungen von W. Kreuz (1), von W. Nägeli (2—4), von Jensen (5), von Kuhlewind - Bringmann - Kaiser (6) oder von Eimern - Franken - Harries (7) hingewiesen. Eine bibliographische Zusammenstellung wesentlicher Literatur zum Windschutzproblem seit 1950 ist im Umschauendienst der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover, 6. Jahrgang, H. 1/2, 1956, S. 47—55 enthalten. Für die Beurteilung von Schutzstreifen bleiben aber noch manche Probleme offen. Verfasser wies schon (8) darauf hin, daß es eigentlich nicht verwunderlich ist, wenn der Effekt von Schutzstreifen oft unterschiedlich geschildert wird. Die Gestaltung der Erdoberfläche, die Bodenbedeckung, die Dichte, Form, Höhe und Zusammensetzung der Schutzstreifen haben alle einen Einfluß auf ihre Schutzwirkung. P. Thran (9) hat auch schon auf die witterungsbedingten Faktoren hingewiesen, die einmal bei gleichem Wind eine hohe, einmal eine geringe Windschwächung durch ein Hindernis zur Folge haben.

Die Windschutzwirkung interessiert den Agrarmeteorologen und den Landwirt vornehmlich unmittelbar am Erdboden, dort, wo der Boden verweht und das Wasser dem Boden und den Pflanzen verloren geht. Windmessungen sind aber erst von einer gewissen Höhe ab sinnvoll. Nägeli (4) zeigte an Schutzstreifen aus 2.20 m hohen Schilfrohmatten, daß der Schutzeffekt bei Messungen in 0.55 m Höhe anders aussieht als in 1.10 m Höhe. In der Agrarmeteorologie ist es üblich geworden den Wind in einer Höhe von 1.20 — 1.50 m zu messen, um dem Boden zwar möglichst nahe zu sein, aber doch nicht zu nahe, weil sonst Störungen durch kleine Unregelmäßigkeiten des Bodens (Grasbüschel u. ä.) auftreten würden und weil die Windgeschwindigkeit bei noch geringeren Höhen stark abnimmt. Andernfalls wären Messungen bei einem Wind unter der Stärke Bft. 3—4 kaum mehr möglich. Wie groß sind also die Unterschiede der Schutzwirkung, wenn in zwei verschiedenen Höhen gemessen wird?

Ein zweites Problem ist die Zahl der erforderlichen Meßstunden, um für eine bestimmte Windrichtung schon einen gut fundierten Mittelwert zu erhalten. Damit tritt die Frage auf: wie groß ist die Schwankung der Windstärke hinter Hindernissen? Ist die Streuung der Einzelmessungen nicht nur eine Folge der mehr oder weniger großen Genauigkeit der Anemometer, d. h. gibt es auch andere Ursachen für die Schwankungen des Schutzeffektes, wie z. B. der verschiedene Turbulenzgrad der Luftströmung, die unterschiedliche Stabilität der Luftschichtung oder die absolute Größe der Freilandgeschwindigkeit. Thran (9) hatte bereits auf den Einfluß dieser Größen hingewiesen, Nägeli (3), Denuyt (10) und neuerdings Th. Müller (13) zeigten schon eine Abhängigkeit des Schutzeffektes — hier die relative Windgeschwindigkeit als Geschwindigkeit in Prozent der Freilandgeschwindigkeit — von der absoluten Größe der letzteren.

Folgende weitere Fragen sind einer Untersuchung wert: Wie ist die Schutzwirkung bei einem schrägen, also nicht senkrechten Auftreffen des Windes auf ein Hindernis, ist der Schutz auch dann noch ausreichend?

Der Schutz des Bodens vor Verwehungen ist besonders in den Monaten März und April erforderlich, wenn keine oder nur eine dünne Vegetationsdecke den Boden bedeckt, und wenn die Durchlässigkeit der unbelaubten Hecken und Baumreihen besonders groß ist. Reicht dann die Schutzwirkung der Streifen noch aus? Wie unterscheidet sich ein Schutzstreifen im belaubten und unbelaubten Zustand?

Der Agrarmeteorologischen Versuchs- und Beratungsstelle Hamburg bot sich eine 12 m hohe Doppelbaumreihe in genau Nord-Süderstreckung in unmittelbarer Nähe der Versuchsstelle geradezu an, um diesen Fragen durch eine lange Meßserie nachzugehen.

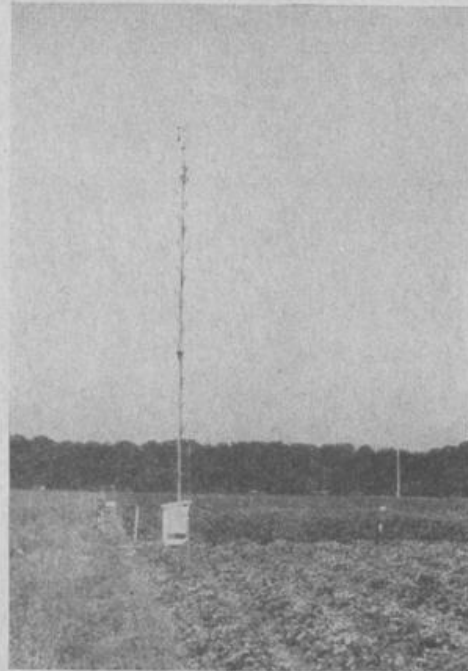


Abb. 1  
Meßstelle 13 mit Windrichtungsschreiber und Kontaktanemometer in 10 m und 3 m Höhe. Im Hintergrund Doppelbaumreihe. Aufg. Juli 1955 Dr. van Eimern.



Abb. 2  
Doppelbaumreihe Ostseite mit Meßstelle 5 und 2, Kontaktanemometer in 3 m Höhe. Aufg. Juli 1955 Dr. van Eimern.



Abb. 3  
Doppelbaumreihe von Meßstelle 13 gesehen. Aufg. April 1955  
Dr. van Eimern.

2. Das Meßgelände und das Meßobjekt

Die Messungen erfolgten auf dem Gelände des Hamburger Staatsgutes Wulfsdorf, 18 km nordöstlich der Stadt, östlich einer genau von Süd nach Nord verlaufenden Allee (Abb. 1—3). Diese Allee besteht aus zwei Reihen von 12 m hohen Bergahorn- und Spitzahornbäumen

(acer pseudoplatanos und acer platanoides), die auf Lücke gepflanzt sind. Der Baumabstand in der Reihe beträgt etwa 10 m. Der Abstand der beiden Reihen ist 6,2 m. Im Kronenraum berühren sich alle Bäume auf breiter Fläche. An den beiden äußeren Seiten der Allee verläuft jeweils in 2 m Abstand von der Ahornreihe eine Strauchreihe. Diese besteht aus Rotbuche (fagus silvatica), Robinie (robinia pseudoacacia) sowie einigen Eichen (quercus) und Holunder- (sambucus nigra) sträuchern. Teilweise erreichen die Buchen und Robinien die Höhe des Ahorns, besonders auf der Ostseite, meist sind sie aber nur 6—8 m hoch. Auf der Westseite machen sie einen ziemlich gleichmäßigen geschlossenen Eindruck. Diese Baum-Strauchreihen füllen den sonst freien Raum zwischen den Ahornstämmen unterhalb der Kronen aus.

In der Abb. 4 ist der Standort jedes einzelnen Baumes sowie jedes Strauches eingetragen, wobei die unterschiedliche Größe der einzelnen Sträucher jedoch nur unvollkommen dargestellt werden kann. Obgleich die gesamte Anlage im belaubten wie unbelaubten Zustand sich dem Auge als weitgehend gleichmäßig darbietet, so stehen etwa 30 — 40 m nördlich unseres Meßprofils etwas weniger Sträucher, was nicht ohne Folge auf die Windgeschwindigkeit bei Winden aus WNW und NW blieb. Der Augenschein kann also trügen, wenn es um die Abschätzung des Durchlässigkeitsgrades geht.

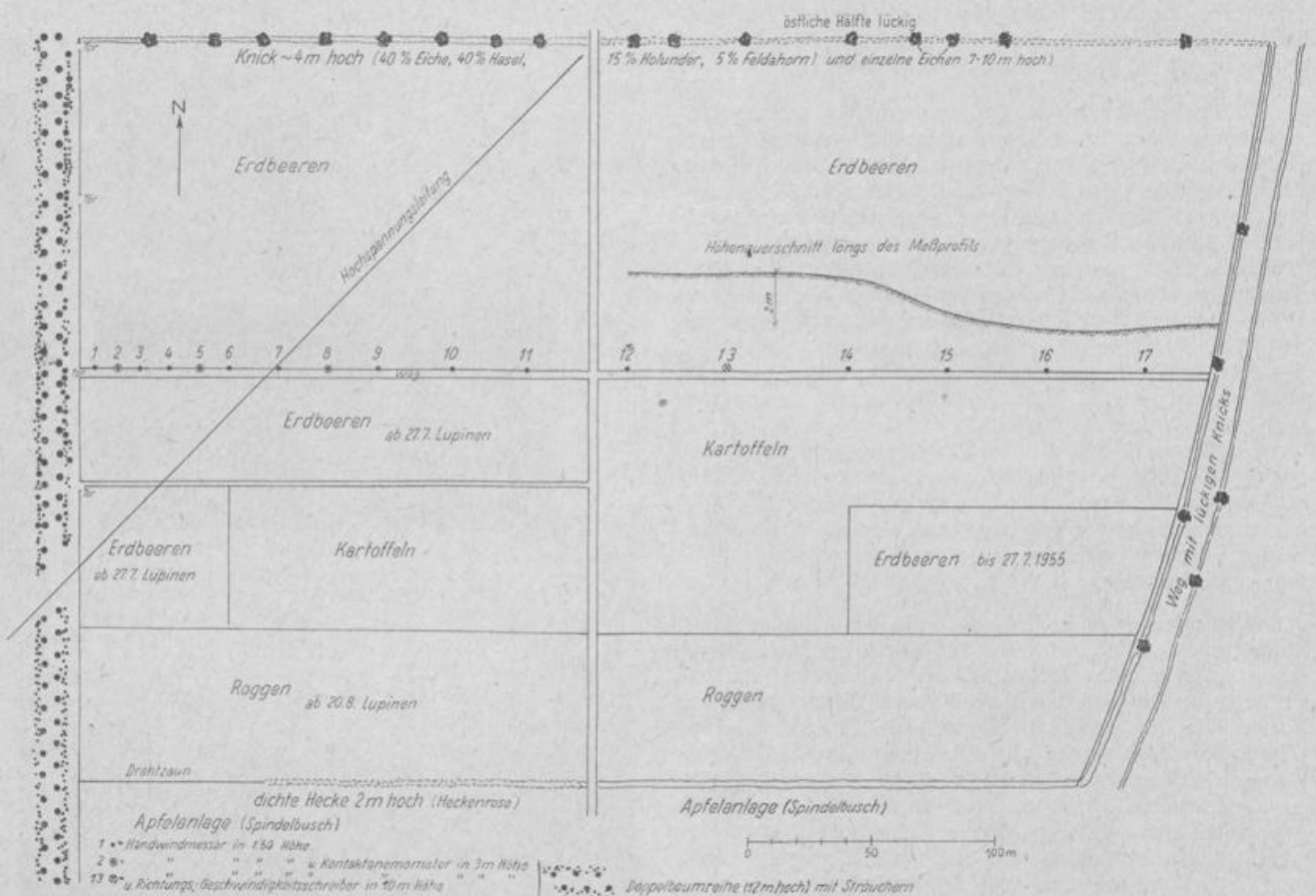


Abb. 4  
Das Windmeßfeld Wulfsdorf-Meßgelände und Lageplan der Meßstellen.

Das Gelände westlich der Allee ist leicht wellig, doch auf eine weite Strecke hin vollkommen frei, so daß keine nennenswerte Beeinflussung der Windverhältnisse östlich der Allee anzunehmen ist. Östlich der Allee ist das Gelände bis auf eine Entfernung von 300 m völlig eben. Von da ab fällt es zwar sanft, aber immerhin um 2 m bis zu einer Entfernung von 380 m an einer fast

nord-südlich verlaufenden Stufe ab. Anschließend ist es dann wieder eben. In 458 m Entfernung begleiten 2 lückige, 3 m hohe Hecken mit einzelnen Bäumen einen von SSW nach NNE verlaufenden Weg.

Am Nordrand des Meßfeldes, 134 m nördlich der Meßreihe verläuft eine dichte, 4 m hohe Hecke mit einzel-

nen Eichen von 7—10 m Höhe. Diese Hecke besteht im wesentlichen aus Eiche und Hasel (*Corylus avellana*) mit etwas Holunder und Feldahorn. Nördlich dieser Hecke fällt das Gelände zuerst sehr sanft ab, um schließlich in größerer Entfernung teilweise hügelig zu werden mit einzelnen Waldgruppen in 6—800 m Entfernung.

Am Südrand des Meßfeldes, 167 m vom Meßprofil, erstreckt sich eine 2 m hohe, sehr dichte Hecke aus Heckenrosen (*Rosa canina*), hinter der eine Gärtnerei mit Apfelanlagen (Niederstamm) liegt. Wegen des Einflusses der beiden Hecken am Nord- und Südrand des Meßfeldes auf die Windgeschwindigkeit des Meßprofils bei Nord- bzw. Südwind beschränken wir unsere Betrachtungen auf die Winde des West- und Ostquadranten, d. h. es werden nur die Windrichtungen SW, WSW, W, WNW, NW bzw. die entgegengesetzten östl. Richtungen berücksichtigt.

Die Bodenbedeckung war ziemlich einheitlich, im Sommer 1955 bedeckte eine niedrige Erdbeerkultur fast die ganze Fläche, von 210 bis 458 m Entfernung wird die südliche Hälfte von Kartoffeln eingenommen. Im Winterhalbjahr war ein Teil der Erdbeeren in der südlichen Hälfte des Meßfeldes umgepflügt. Die hier gesäten Lupinen waren zwar etwa 60 cm hoch geworden, aber durch Fröste im November schon zusammengefallen und bis Weihnachten 1955 untergepflügt worden, so daß die Messungen hierdurch nicht gestört wurden.

### 3. Das Meßprofil und die Instrumente

Zur Feststellung der Windverhältnisse waren folgende Windmeßstellen aufgebaut worden:

Tab. 1 Die Entfernung der Meßstellen von der Baumreihe

Meßstelle Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	
Entfernung (m)	6	15	24	36	48	60	80	100	
Meßstelle Nr.	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Entfernung (m)	120	150	180	220	260	310	350	390	430

Die Entfernung wurde von einem dünnen Drahtzaun aus gemessen, der unter der östlichen Kante des Kronendaches der Baumreihe stand. Meßstelle 14 lag am oberen Rand der oben genannten Stufe, während Nr. 15



Abb. 5

Zählwerkanemometer, Typ Rosenmüller, umgebaut.

am „Hang“, Nr. 16 und 17 schon östlich der Stufe lagen. Nr. 17 war von der Hecke am östlichen Rande des Feldes fast 30 m entfernt.

An allen Meßstellen waren von Anfang Mai bis zum 30. Juni 1955 und vom 13. bis zum 24. Januar 1956 Handwindmesser in 1.50 m Höhe aufgebaut. Die Windmesser sind umgebaute Rosenmüller-Geräte mit einem Windweg-Zählwerk; ihre Anlaufgeschwindigkeit ist etwa 0.6 m/s (Abb. 5). Diese Geräte bedürfen einer stetigen und sauberen Wartung, da sie ursprünglich nicht für einen Dauereinsatz gedacht waren. Die Geräte wurden im Sommer täglich um 8, 11, 14 und 17 Uhr abgelesen, im Januar ließen sich diese Zeiten nicht einhalten, es wurde meistens um 9.30, 12.30 und 15.30 Uhr, an einigen Tagen jedoch auch alle 2 Stunden von 9—15 Uhr abgelesen.

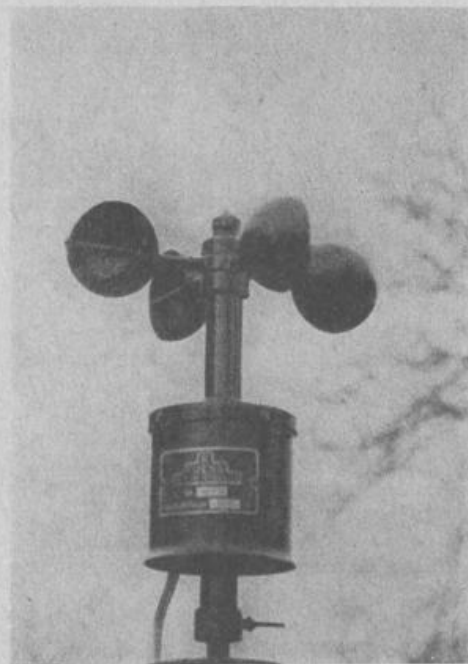


Abb. 6

Kontaktanemometer, Typ R. Fuess.

Außerdem standen an den Meßstellen 2, 5, 8 und 13 Schalenkontaktanemometer, System R. Fuess, mit einer Kontaktgabe nach je 500 m Windweg in 3 m Höhe (Abb. 6). Die Schreibgeräte waren noch mit einem besonderen Zählwerk versehen, das zur Kontrolle ebenfalls die Kontakte zählte. Hiermit war auch eine Einrichtung verbunden, die den Stromkreis bei jedem 10. Kontakt so lange geschlossen hielt, bis der nächste Kontakt kam. Dadurch wird die Auszählung der Kontakte wesentlich erleichtert. Die Abb. 7 gibt die Registrierung eines derartigen Gerätes wieder. Die Anlaufgeschwindigkeit dieser Kontaktanemometer betrug etwa 1.0—1.2 m/s. Selbst bei Freilandwindstärken von 3—4 m/s lag die Geschwindigkeit an den Meßstellen 2, 5 und 8 im Windschutz oft unter der Anlaufgeschwindigkeit der Geräte, so daß Freilandgeschwindigkeiten unter 3 m/s nicht berücksichtigt werden konnten.

Die Windrichtung wurde mit einem Gerät Typ Fuess 94 c, von A. Lang auf Registrierung umgebaut, registriert (Abb. 8). Der Vorteil dieses Gerätes ist, daß es ebenfalls mit einer geringen Spannung von 12—13 Volt arbeiten kann, also für Feldversuche kurzzeitig auch mit Akkus betrieben werden kann. Im vorliegenden Falle waren jedoch alle Geräte unter Zwischenschaltung eines Transformators an die 220-Volt-Lichtleitung angeschlossen.

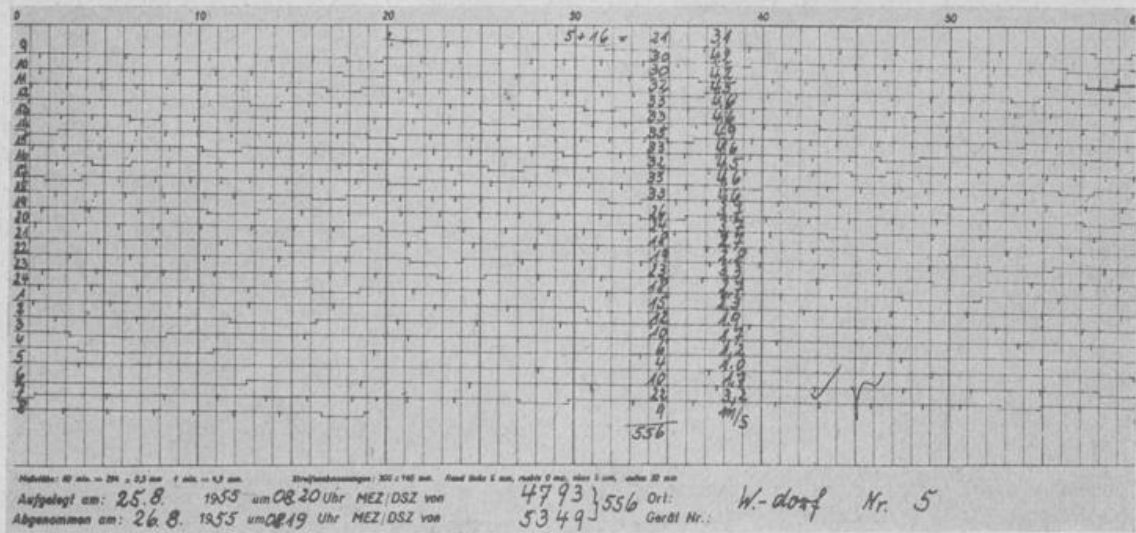


Abb. 7  
Die Registrierung eines Kontaktanemometers.

Die Richtungsregistrierung ist keine stetige, sondern erfolgt ebenfalls mit einzelnen Kontakten nach folgendem Prinzip: Mit der Drehung der Windfahne bewegen sich 3 Schleifbügel über Stromstifte, je ein Stift für die 8 Hauptwindrichtungen. Zwischen diesen Stiften liegt noch je ein Stift ohne Stromspannung, also Blindstifte. Die 3 Bügel sind derart gegeneinander versetzt, daß z. B. beim Drehen der Fahne auf W-Wind der mittlere Bügel einen Kontakt für W-Wind macht; dreht sich die Fahne weiter, so geben die beiden anderen Bügel gleichzeitig je einen Kontakt für NW- und für W-Wind, d. h. WNW-Wind wird durch Kontakte der beiden Nachbarwindrichtungen angegeben. Bei Registrierungen ergeben sich so aber zuviel Kontakte; die Richtungs-Böigkeit des Windes ist fast immer so groß, daß man mit dem mittleren Schleifbügel allein auskommt, d. h. daß bei WNW-Wind noch genügend Kontakte für die W- und NW-Richtung gemacht werden.

Die Abb. 9 zeigt eine derartige Registrierung. Den Registrierungen wurden nur die Mittelwerte für jede volle Stunde entnommen.

Die Kontaktanemometer waren mit einigen kürzeren Unterbrechungen von Anfang Mai bis zum 19. Sept. 1955 und vom 21. Nov. 1955 bis zum 27. Jan. 1956, also länger

als die Handwindmesser eingesetzt. Verwertet wurden die Messungen des Sommers aber erst ab 20. Mai, als die Bäume eindeutig voll belaubt waren.

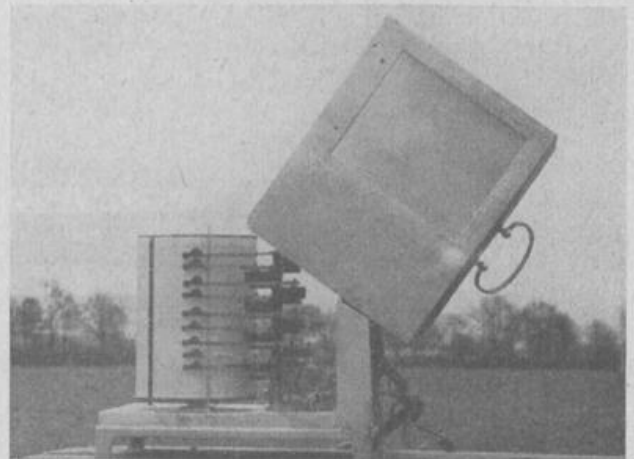


Abb. 8  
Registriergerät für Windrichtung und -stärke.

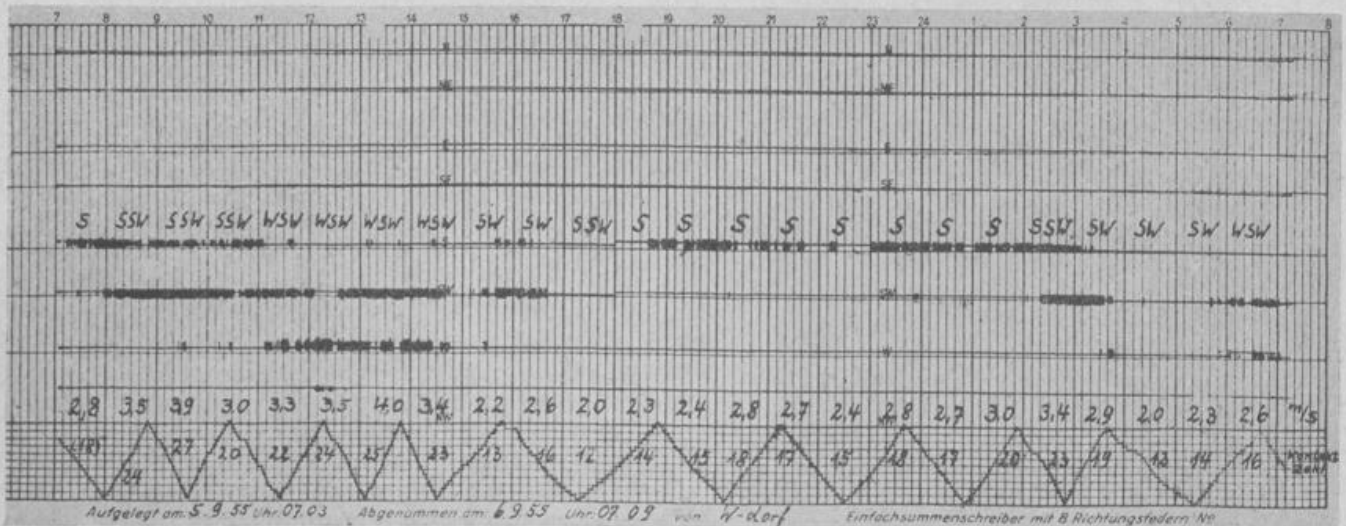


Abb. 9  
Die Registrierung des Windrichtungsschreibers

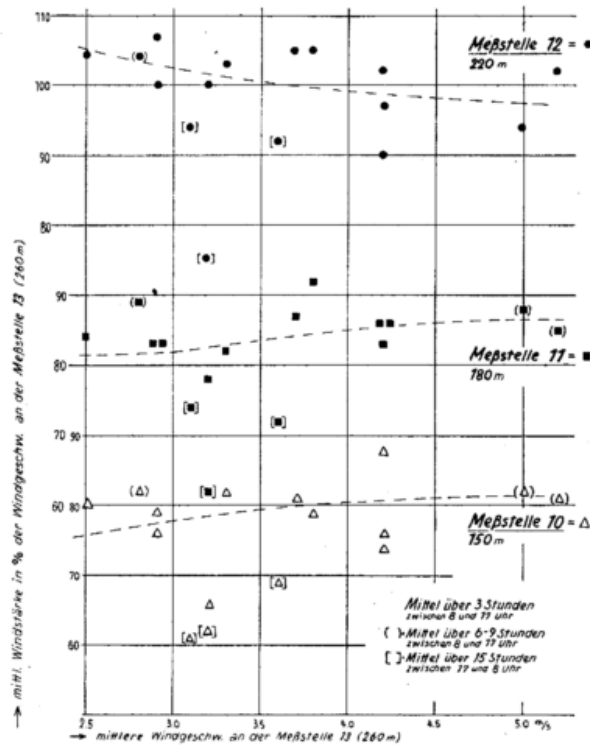
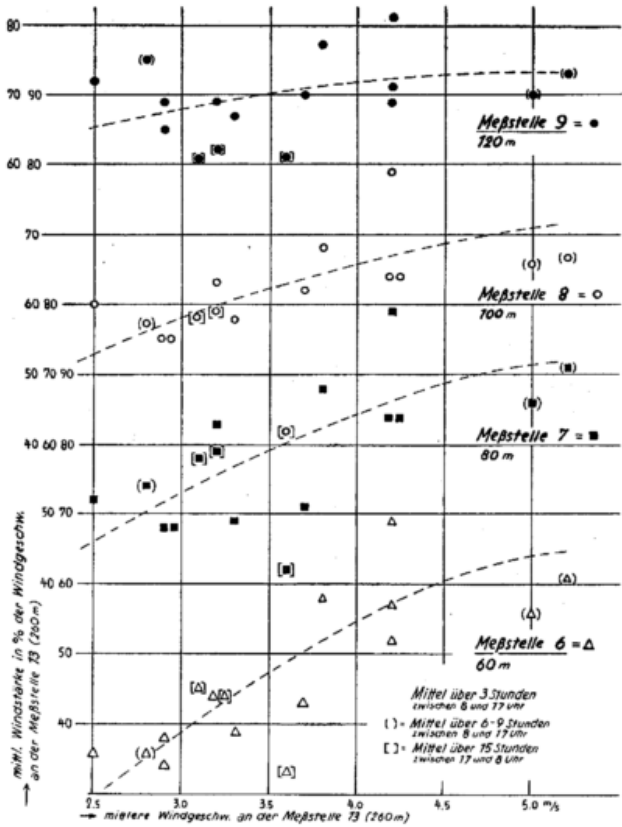
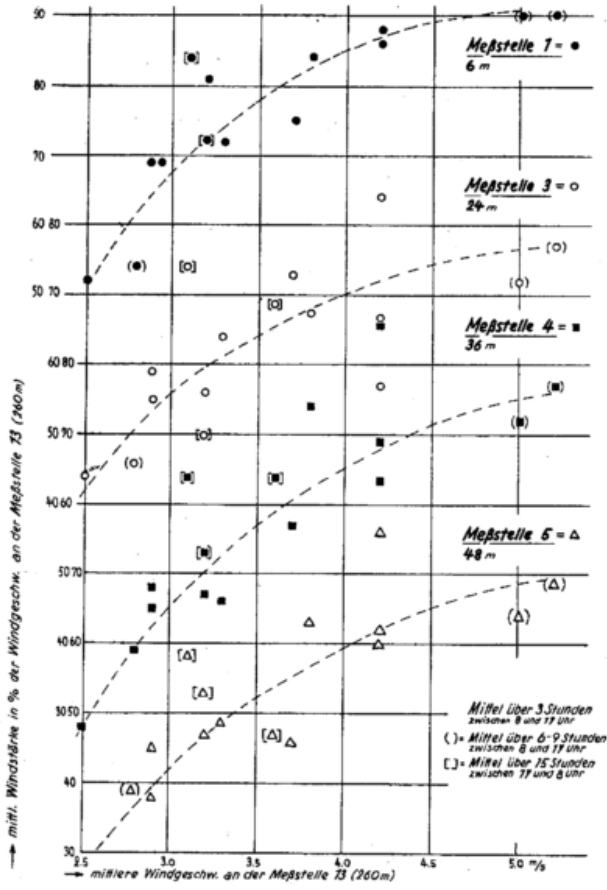


Abb. 10 a-c  
Die relative Windgeschwindigkeit im Windschutz in 1,50 m Höhe bei Wind zwischen WNW und W und verschiedener Freilandwindstärke (Einzelwerte, 25. 5. — 30. 6. 55)

Durch ein Versehen, das erst beim Abbau am 19. Sept. festgestellt werden konnte, war die Richtungsregistrierung nicht richtig eingestellt worden, so daß z. B. der von uns registrierte W-Wind genau zwischen WSW und W, der WNW-Wind zwischen WNW und W lag. Das beeinträchtigt leider etwas die Vergleichbarkeit unserer Messungen im Sommer und Winter. Wir geben daher die Richtungen für die Messungen im Sommer 1955 wie folgt an:

Es bedeutet: W-WNW: Windrichtung zwischen den beiden Richtungen W und WNW, auf der 360°-Windrose also von 270° bis 292° oder SW-WSW bedeutet 225° bis 247°. Im Winterhalbjahr ist die Richtung einfach angegeben, es bedeutet dann z. B. W: 259—281°, WNW: 282—302° usw.

Wegen der Geländestufe in 300 m Entfernung und der Höhe der Baumreihe von 12 m wird die Freilandwindstärke an keiner Stelle des Meßfeldes vollkommen erreicht. Die Basisstation für alle Messungen mußte in 260 m Entfernung errichtet werden, obwohl bei Westwind in 310 m Entfernung oft noch ein etwas stärkerer Wind wehte als in 260 m. Wenn im folgenden manchmal vom Freilandwind gesprochen wird, so ist damit aber immer der Wind in 260 m Entfernung gemeint, obwohl dieser Wert etwa um  $\frac{1}{8}$  bis  $\frac{1}{10}$  gegenüber dem wirklichen Freilandwind zu gering ist. Das erscheint uns dort gestattet, wo qualitativ bei der Messung des wahren Freilandwindes auch keine anderen Ergebnisse zu erwarten gewesen wären. Vielfach wird auch der Ausdruck: „Relative Windgeschwindigkeit“ benutzt werden. Damit ist die Windgeschwindigkeit in Prozent der Windgeschwindigkeit an der Basisstation Nr. 13 in jeweils gleicher Höhe gemeint.

#### 4. Ergebnisse

##### 4.1. Die Windgeschwindigkeit in 1.50 m Höhe

##### 4.1.1. Die Abhängigkeit des Schutzeffektes von der Freilandwindstärke

Wie in (8) schon gezeigt wurde, war die absolute Schwankungsbreite der relativen Windgeschwindigkeit bei Winden aus dem Sektor zwischen W und WNW bei 3-stündigen Mittelwerten im Sommer 1955 sehr groß. Die relative Geschwindigkeit lag bei Freilandwinden von 2.5 m/s an zwischen folgenden Werten:

Tab. 2 Die Schwankungsbreite der relativen Windgeschwindigkeit in 1.5 m Höhe bei WNW-W-Wind im Sommer

Meßstelle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
höchste	107	(110)	84	86	76	69	79	79	81	88	94	107%
niedrigste	52	(53)	44	28	28	34	48	55	65	66	78	90%
Schwankungsbreite	55	(57)	40	58	48	35	31	24	16	22	16	17%

Diesen Werten ist zu entnehmen, daß eine einzelne Messung und sei sie eben auch wie hier über 3 Stunden, bei weitem nicht ausreicht, schon ein Urteil über die Schutzwirkung eines Hindernisses abzugeben, ganz im Gegensatz zu Windkanalversuchen, bei denen man unter Konstanthaltung aller übrigen Faktoren schon nach sehr kurzer Zeit eine bindende Aussage machen kann. In dieser Streuung der Werte liegt zum Teil eine Ungenauigkeit der Instrumente selbst, die aber höchstens  $\pm 0.2$  m/s beträgt. Ein Fehler  $\pm 0.2$  m/s bedeutet bei einem Freilandwind von 2.5 m/s einen Fehler der relativen Windgeschwindigkeit von  $\pm 8\%$ , bei 5 m/s von  $\pm 4\%$ . Damit können die obigen Schwankungen aber nicht erklärt werden.

Eine Ursache zeigen die Abb. 10 a—c. In diesen ist die relative Windgeschwindigkeit an den einzelnen Meß-

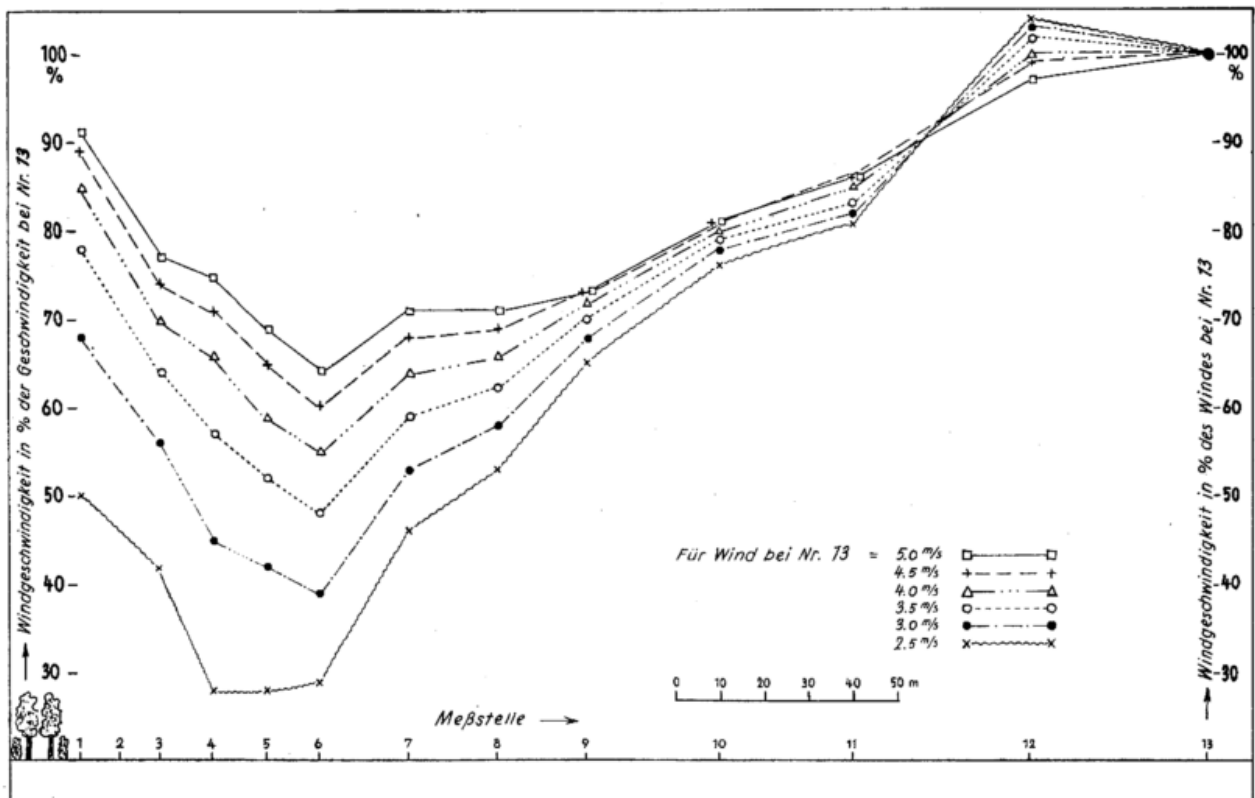


Abb. 11

Die relative Windgeschwindigkeit im Windschutz in 1,50 m Höhe bei Wind zwischen WNW und W und verschiedenen Freilandwindstärken (ausgeglichene Werte, 20. 5. — 30. 6. 55)

stellen der absoluten Größe des Freilandwindes gegenübergestellt und zwar für alle Meßstellen bis auf Nr. 2, dessen Gerät zeitweise gestört war. Jeder Punkt in diesen Abbildungen bedeutet eine Messung. Selbst wenn man bedenkt, daß neben einigen Werten, die für 6, 9 und 15 Stunden gelten, sonst nur die Mittelwerte über 3 Stunden dargestellt wurden, so ordnen sich die Punkte doch um eine Ausgleichslinie.

Bei den Meßstellen von Nr. 1 bis Nr. 7 nimmt die relative Windgeschwindigkeit mit wachsender Freilandwindstärke eindeutig zu. Den Ausgleichslinien in Abb. 10 a—c wurden für alle Meßstellen die mittlere Windgeschwindigkeit bei den verschiedenen Windstärken an der Basisstation Nr. 13 entnommen. In Abb. 11 wurde dann die relative Windgeschwindigkeit getrennt für verschiedene Windstärken der Basisstation wiedergegeben.

Die Linien dieser Abbildung sind bei der geringen Anzahl der zugrundeliegenden Messungen zwar nicht allzu genau, doch ist ihre Tendenz eindeutig. Beachtlich ist, daß die Veränderlichkeit der relativen Windgeschwindigkeit bei Meßstelle 1 unmittelbar hinter dem Hindernis und dann bei den Stellen Nr. 4 und 5, also in der Gegend des Windminimums am größten ist (siehe auch Tab. 2). Mit größerer Entfernung wird der Unterschied geringer, bei Nr. 8 ist ein Einfluß aber noch vorhanden, um erst an den Stellen 10 und 11 fast zu verschwinden, während umgekehrt bei Nr. 12 die relative Windgeschwindigkeit mit größerer Freilandwindstärke abnimmt. Die geringste Freilandwindstärke wird bei einem Freilandwind von 5 m/s bei Nr. 6 gemessen, bei geringeren Freilandwinden liegt sie näher zum Schutzstreifen. Aus der Abb. 11 gewinnt man auch den Eindruck, daß bei einem Freilandwind von nur 2.5—3.5 m/s der Schutzbereich die Meßstelle Nr. 11 noch mit einschließt, Nr. 12 liegt dagegen anscheinend schon außerhalb. Bei höherer Freilandwindstärke liegt wohl noch Nr. 13 innerhalb des Schutzstreifens, sicherlich aber Nr. 12.

In der Literatur (1) — (4), (6) wird die Schutzwirkung von dichten, wenig durchlässigen Hindernissen im Gegensatz zu lockeren, durchlässigen durch folgende Merkmale gekennzeichnet: geringere Windgeschwindigkeit an der Stelle des Windminimums, Lage des Windminimums näher zum Hindernis, kleinerer Gesamtschutzbereich hinter dem Hindernis, d. h. die Freilandwindstärke wird eher wieder erreicht. Folgende Meßergebnisse von N ä g e l i (4) mögen das noch belegen:

Tab. 3 Prozentuale Windgeschwindigkeit im Bereich einer lockeren und einer dichten Schilfröhre (2.2 m hoch) in % der Freilandwindgeschwindigkeit gleicher Höhe (nach N ä g e l i (4))

x-facher Abstand vom Hindernis	lockere Wand		dichte Wand	
	0.55 m	1.10 m (Höhe)	0.55 m	1.10 m (Höhe)
Luv				
10	100	100	100	100
6	97	98	95	96
2	84	90	73	78
1	78	84	61	67
Lee				
1	65	47	31	19
2	56	43	23	20
4	38	46	37	32
6	32	50	45	43
8	37	54	49	52
10	46	57	60	61
14	62	69	78	74
20	82	84	90	87
30	95	93	95	94

Kreutz (1) erwähnt folgende Tabelle:

Tab. 4 Windstärke und Windminimum hinter verschiedenen dichten Objekten

Windschutzobjekt	Windstärke am Bestandsrand gegenüber Freiland	Windminimum	Entfernung des Windmin. vom Bestandsrand
sehr dichte Objekte	18%	14%	0,5-fache H. d. Bestandes
dichte Objekte	38%	26%	1,5-fache H. d. Bestandes
mittlere Objekte	56%	34%	3,5-fache H. d. Bestandes
lockere Objekte	62%	37%	3,0-fache H. d. Bestandes

So erscheint unsere Doppelbaumreihe bei einem Freilandwind von 2.5 m/s wie ein dichter, bei 5.0 m/s wie ein lockerer Schutzstreifen. Das steht im Gegensatz zu der Feststellung N ä g e l i s (3), daß ein Schutzstreifen bei höherer Freilandwindgeschwindigkeit gerade undurchlässiger wirke. N ä g e l i erklärt seine Feststellungen damit, daß das Durchlässigkeitsvermögen eines Streifens bei stärkerem Wind nicht mehr ausreicht, um die mehr herangeführten Luftmassen noch hindurchzulassen. Die Feststellung N ä g e l i s (siehe Tab. 5) wurde aber an dichten jungen Fichtenstreifen getroffen, während er an leicht durchdringbaren Objekten keinen Einfluß der Freilandwindstärke feststellte.

Tab. 5 Relative Windgeschwindigkeit hinter Fichtenstreifen (N ä g e l i (3)) bei verschiedenem Freilandwind

Leeseitiger Abstand	0	5	10	20	30	40	60	80 m
bei 1.3 m/s	37	24	33	44	61	73	89	95 %
bei 3.7 m/s	30	19	17	22	32	44	68	85 %

D e n u y l (10) zeigt an ein- bis vierreihigen Hindernissen, daß hinter ihnen in größerer Entfernung bei Windgeschwindigkeiten von 5 m/s aufwärts und eindeutig bei 10 m/s die Schutzwirkung wieder abnahm, was mit N ä g e l i übereinstimmt.

Die Diskrepanz der oben genannten Ergebnisse mit den unseren ist vielleicht eine Folge der verschiedenen „Durchlässigkeit“ der Schutzstreifen. Dabei ist „Durchlässigkeit“ ein Begriff, der sich leider zahlenmäßig schlecht festlegen läßt, obwohl ein dringendes Bedürfnis hierfür vorliegt.

Bei den „sehr dichten Objekten“ nach N ä g e l i nimmt die Schutzwirkung mit größerer Geschwindigkeit ab, weil die dichte Hecke eine maximale Durchlässigkeit hat, die nicht überschritten werden kann. Bei „mittlerer Dichte“, wie in unserem Fall, erscheint die Hecke umgekehrt durchlässiger, weil der stärkere Wind sich selber größere Öffnungen durch das Hindernis schafft, was bei den dichten Fichtenstreifen nicht möglich erscheint. Erst bei sehr lockeren Hindernissen wird, wie unsere Messungen im Winter zeigen, der Einfluß verschwinden. Dann wird die Schutzwirkung von der Geschwindigkeit unabhängig, weil der Wind den sowie schon sehr großen Durchlässigkeitsgrad nicht mehr nennenswert verändern kann.

Im Winter liegen leider zu wenig Einzelmessungen für eine Windrichtung vor, um diese Erscheinung auch für die Meßhöhe 1.50 m zu untersuchen.

#### 4.1.2. Die Windschutzwirkung bei verschiedenen Windrichtungen

Man ist immer bestrebt, einen Windschutzstreifen möglichst senkrecht zur Hauptwindrichtung anzulegen, da man bei senkrechtem Anblasen die größte Schutzwirkung erwartet, um so für das ganze Jahr den höchsten Schutzgrad zu erzielen. In Nordwestdeutschland ist die Hauptwindrichtung (siehe Tab. 10) WSW. Doch sind es gar nicht einmal diese Winde allein, gegen welche ein Schutz notwendig ist. Denn bei den Winden aus W bis SW fällt auch der meiste Nie-

derschlag und die Luftfeuchte ist oft groß. Bei gleichstarken Winden sind die vom Festland kommenden Winde aus NE-E-SE häufig gefährlicher: sie bringen die große Kälte im Winter und unter ihrer Kraft trocknen die Böden in den Frühjahrsmonaten am stärksten aus und verwehen. Ein Schutz ist also gegen diese Winde genauso notwendig, wenn sie insgesamt auch weniger häufig auftreten als die westlichen Winde. Glücklicherweise sind gerade die Winde aus S und N in unserem Klima erheblich seltener als die östlichen oder gar die westlichen. Etwa Nord-Süd verlaufende Schutzstreifen bieten also den besten Schutz. Doch treffen dann immer noch viele Winde schräg unter einem Winkel von 45 Grad auf die Hindernisse auf. Ist nun bei einem NW- oder SW-Wind noch ein ausreichender Schutz durch einen nord-süd-verlaufenden Schutzstreifen gegeben? Hierüber geben nun unsere Messungen in 1.50 m, aber auch in 3.0 m Höhe Aufschluß.

Um die Schutzwirkung der Baumreihe bei senkrechtem und schrägem Auftreffen des Windes auf das Hindernis miteinander vergleichen zu können, betrachte man die Abb. 12—14. In Abb. 12 ist für

die Sommer- bzw. Wintermonate für die Windrichtungen NW-WNW bis WSW-SW und SE-ESE bis W bis SW die relative Windgeschwindigkeit in 1.50 m Höhe, in Abb. 13 und 14 das entsprechende für die Meßhöhe 3 m eingetragen. Bei den Messungen in 1.50 m Höhe wurden nur die mittleren stündlichen Windgeschwindigkeiten von mindestens 2,5 m/s, an der Basisstation, bei den Messungen in 3 m Höhe Geschwindigkeiten von mindestens 3,0 m/s berücksichtigt.

Es ist hier zwar zu bedenken, daß an der Basisstation noch keine volle Freilandwindstärke herrschte und diese bei schrägem Auftreffen des Windes sicherlich eher erreicht wurde, als bei senkrechtem Auftreffen. Das bedeutet, daß — besonders für die weiter vom Hindernis gelegenen Meßstellen — die Werte um einen größeren Betrag zu verkleinern wären, als bei schrägem Auftreffen des Windes, wenn die Werte in Prozent der wahren Freilandgeschwindigkeit hätten angegeben werden können, statt in Prozenten des Windes an der Basisstation, was aber mangels wirklich freigelegener Stelle in dem betreffenden Gelände nicht möglich war. Nichtsdestoweniger lassen sich auch

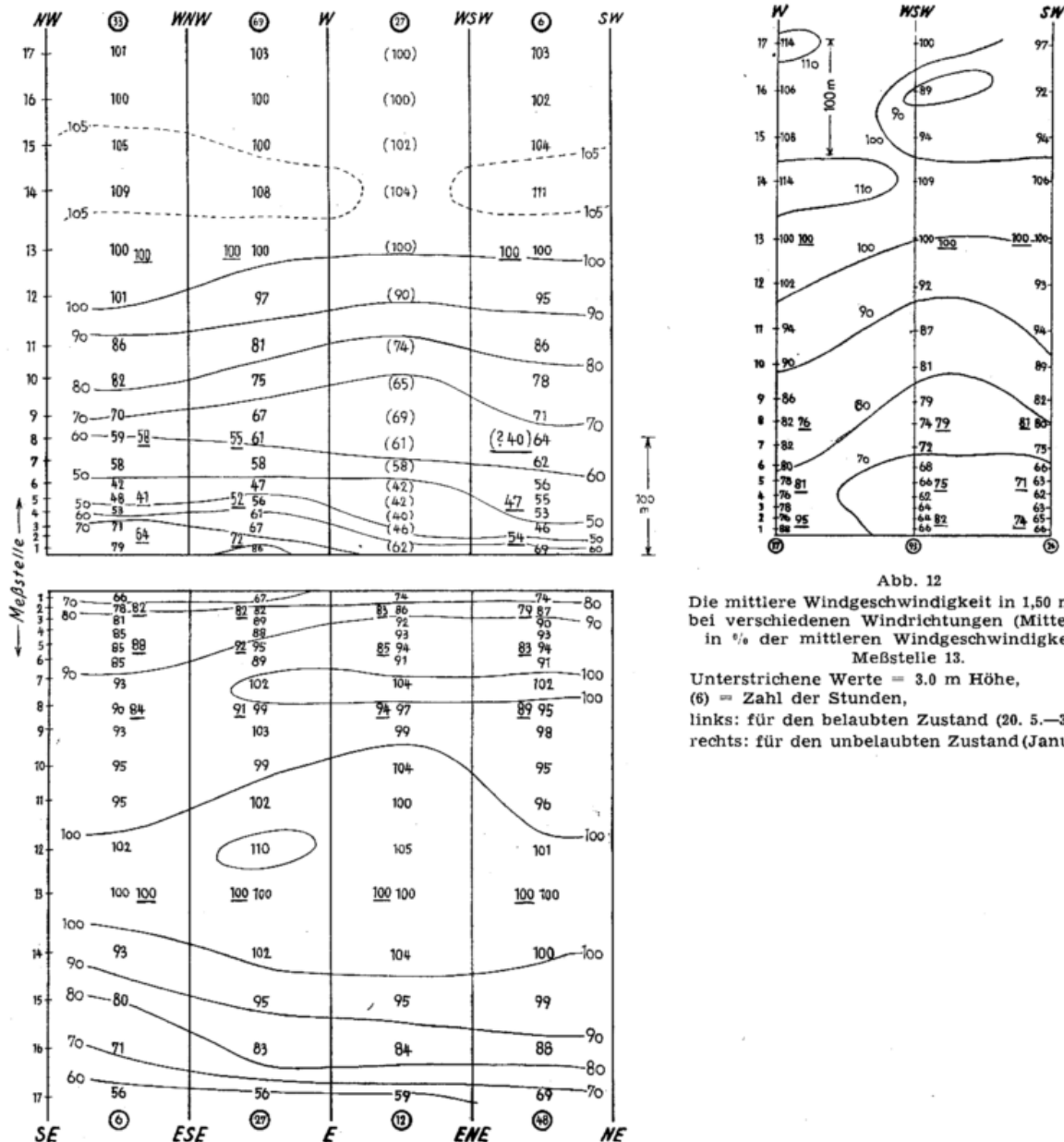


Abb. 12  
Die mittlere Windgeschwindigkeit in 1,50 m Höhe bei verschiedenen Windrichtungen (Mittelwerte) in % der mittleren Windgeschwindigkeit an Meßstelle 13.  
Unterstrichene Werte = 3.0 m Höhe,  
(6) = Zahl der Stunden,  
links: für den belaubten Zustand (20. 5.—30. 6. 55)  
rechts: für den unbelaubten Zustand (Januar 1956)

so doch einige wesentliche Aussagen auf Grund der Messungen machen.

4.1.2.1. Im belaubten Zustand

Bei belaubtem Zustand der Baumreihe (Abb. 12 links oben) besteht bei den westlichen Winden anscheinend noch kein systematischer Unterschied in der Windrichtung, ob nun der Wind senkrecht oder schräg auf das Hindernis auftrifft. Beim NW-WNW-Wind wird 100% zwar schon bei Nr. 12 erreicht, doch liegt im Mittel selbst die Meßstelle 13 — hier mit 100% eingetragen — bei allen Windrichtungen noch im Windschutz. Die höchsten Werte werden bei Nr. 14 gemessen. Vielleicht würden die Meßstellen 15—17 noch höhere Werte ergeben haben, wenn sie nicht bei westlichen Winden schon wieder im Schutz der kleinen Geländestufe gestanden wären. Bedenkt man aber, daß die angegebenen Geschwindigkeitswerte bei senkrechtem Auftreffen sicherlich etwas zu groß sind, wenn man die wahre Freilandgeschwindigkeit hätte angeben können, so wird der Schutzbereich bei schrägem Auftreffen etwas kleiner als bei senkrechtem Auftreffen. Doch auch bei schrägem Auftreffen des Windes bis 45 Grad hat unser Schutzstreifen noch eine Wirkung, die mit der bei senkrecht zum Hindernis wehendem Wind vergleichbar ist.

Die sonst noch hinter dem Schutzstreifen zwischen den einzelnen Windrichtungen bestehenden Unterschiede sind wohl mehr noch auf den nicht überall gleichen Durchlässigkeitsgrad des Schutzstreifens zurückzuführen. Dies gilt besonders für die an den Meßstellen 1—4 gemessenen höheren Windgeschwindigkeiten bei den Richtungen NW-WNW und WNW-W.

Bei den Winden östlicher Richtung (Abb. 12 links unten) liegen die Meßstellen 15—17 noch im Windschatten der Hecken am Ostrand des Meßfeldes. Die höchsten Werte werden hier bei Nr. 12 gemessen. Entweder ist bei Nr. 13 noch eine Schutzwirkung der oben genannten Hecken vorhanden oder die Geländestufe wirkt als Windschutz. Es kann aber auch die relativ hohe Windgeschwindigkeit bei Nr. 12 als Verstärkung erscheinen, wie sie H. Kaiser (11) ähnlich hinter Geländestufen festgestellt hat.

Im Luv unserer eigentlichen Baumreihe beginnt eine Windschwächung in 1.50 m Höhe erst ab Meßstelle 6 (60 m davor). Unmittelbar vor dem Hindernis geht der Wind teilweise auf unter 70% zurück. Die Luvzone ist also etwa 5mal so breit, wie das Hindernis hoch ist, was auch anderen Messungen (1), (4), (7) entspricht. Die Unterschiede bei senkrechtem und schrägem Auftreffen des Windes sind hier überraschend gering.

4.1.2.2. Im unbelaubten Zustand

Die Messungen im unbelaubten Zustand (Abb. 12 rechts) zeigen nun: Die Schutzwirkung ist bei dem unter 45° auftreffenden SW-Wind praktisch gleich der beim WSW-Wind, auch wenn man die Einschränkung bezüglich des wahren Freilandwindes berücksichtigt; denn beim W-Wind herrscht besonders an den Stellen 1—6, aber auch an anderen Meßstellen eine größere relative Windgeschwindigkeit in 1.50 m, als bei WSW- und SW-Wind. Nun ist in der Höhe des Meßprofils die Baumreihe nicht lockerer, sondern eher dichter als südlich davon. Doch ist der Durchlässigkeitsgrad im unbelaubten Zustand sowieso ziemlich groß, so daß der Windschutz bei dem senkrecht auftreffenden Wind durch eine Art Düsenwirkung — die Windverstärkung bedeutet — wieder etwas aufgehoben wird. Bei schrägem Auftreffen des Windes auf den Schutzstreifen erscheint dieser im Winter noch dichter als bei senkrechtem Auftreffen.

4.2. Die Windgeschwindigkeit in 3 m Höhe

4.2.1. Die Windschutzwirkung bei verschiedenen Windrichtungen

Wie in der Abbildung 12 ist in den Abbildungen 13 und 14 die relative Windgeschwindigkeit an den Meßstellen 2, 5 und 8 in % der Geschwindigkeit an der Meßstelle 13 für die einzelnen westlichen Windrichtungen dargestellt, und zwar für alle Freilandwinde von 3,0 m/s und mehr.

4.2.1.1. Im belaubten Zustand

Im Sommer ergab sich, daß an der Meßstelle 2 bei NW-WNW- und bei WNW-W-Winden der Wind erheblich stärker war als bei W-WSW- und WSW-SW-Wind. In geringerem Ausmaß gilt das noch für Meßstelle 5. Damit wird für die Meßhöhe 3.0 m das bestätigt, was auch schon für die Höhe von 1.50 m festgestellt wurde: Die Baumreihe ist nördlich des Meßprofils etwas durchlässiger als südlich davon. Unmittelbar hinter dem Hindernis ist der Durchlässigkeitsgrad entscheidender als die Windrichtung. Bei Meßstelle 8 sind dagegen die Unterschiede zwischen den verschiedenen Windrichtungen, abgesehen vom Wind aus NW-WNW, beinahe vernachlässigbar.

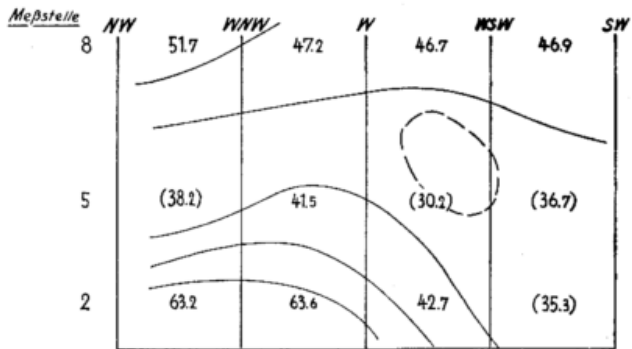


Abb. 13

Die mittlere Windgeschwindigkeit in 3,0 m Höhe bei verschiedenen Windrichtungen und einer Windgeschwindigkeit an der Meßstelle 13 von  $\geq 3,0$  m/s (eingeklammerte Werte  $\geq 4,0$  m/s) in % der mittleren Windgeschwindigkeit an Meßstelle 13 für den belaubten Zustand der Baumreihe (20. 5. — 19. 9. 55)

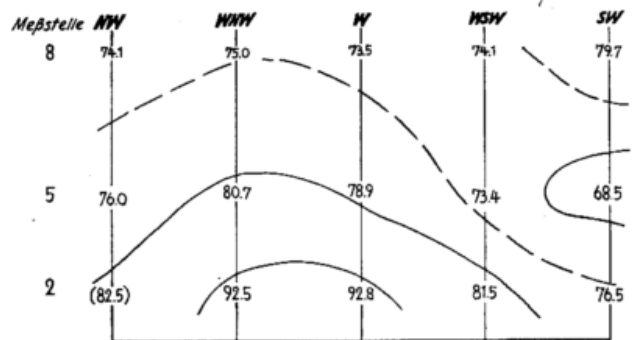


Abb. 14

Die mittlere Windgeschwindigkeit in 3,0 m Höhe bei verschiedenen Windrichtungen und einer Windgeschwindigkeit an der Meßstelle 13 von  $\geq 3,0$  m/s (eingeklammerte Werte  $\geq 4,0$  m/s) in % der mittleren Windgeschwindigkeit an Meßstelle 13 für den unbelaubten Zustand der Baumreihe (21. 11. 55 — 27. 1. 56)

4.2.1.2. Im unbelaubten Zustand

Im Winter (Abb. 14) sind die relativen Windgeschwindigkeiten an den drei Meßstellen 2, 5 und 8 natürlich größer als im Sommer. Als Gemeinsames läßt sich jedoch feststellen, daß bei W- und WNW-Wind an der Meßstelle 2 und bei WNW-Wind auch

an der Stelle 8 eindeutig höhere Windstärken vorhanden sind, als bei WSW- und besonders bei SW-Wind. Die Schutzwirkung war wiederum beim SW-Wind am größten und nicht beim senkrecht auftreffenden W-Wind.

**4.2.2. Die Abhängigkeit des Schutzeffektes von der Freilandwindstärke und der Tageszeit**

Im einzelnen vermittelt nun die Abbildung 15 ein genaueres Bild über die relative Windgeschwindigkeit und über die Streuung jeder Einzelmessung, wobei unter Einzelmessung jeweils der Mittelwert über eine volle Stunde gemeint ist. Ferner gewinnen wir ein Bild über die Abhängigkeit der Schutzwirkung von der absoluten Höhe der Freilandgeschwindigkeit wie auch eventueller anderer Einflüsse auf die Schutzwirkung.

Aufgeteilt nach den einzelnen Windrichtungen, ist für die Sommermessungen in Abb. 15 links und für die Wintermessungen in Abb. 15 rechts, auf der Horizontalen die Geschwindigkeit an der Meßstelle 13 in m/s eingetragen, auf der Vertikalen die Geschwindigkeit an den Meßstellen 2, 5 und 8 in % des gleichzeitigen Wertes an der Meßstelle 13. Es ist jeweils nur der Mittelwert für die einzelnen Freilandwindgeschwindigkeitsstufen 3.0 bis 3.9 m/s, 4.0 bis 4.9 m/s usw. vermerkt worden. Die Zahlen an jedem Punkt bedeuten die mittlere Abweichung aller in diesen Bereich fallenden Einzelwerte.

Zur weiteren Veranschaulichung sind noch die Abbildungen 16—18 beigelegt. Diese gelten für die Windrichtungen WNW-W und ENE-NE im Sommer sowie WSW im Winter. Auch hier ist auf der Horizontalen die jeweilige Geschwindigkeit an der Meßstelle 13 in m/s und auf der Vertikalen die gleichzeitig gemessene Windgeschwindigkeit von Nr. 13 eingetragen. Jeder einzelne Punkt ist der Mittelwert über eine ganz bestimmte volle Stunde, aufgliedert nach der Tageszeit im Sommer: 20—05 Uhr (Kreuze), 8—17 Uhr (Punkte) und 5—8 bzw. 17—20 Uhr (offene Kreise). Im Winter (Abb. 18) sind die Stunden von 17—8 Uhr als Nachtstunden bezeichnet.

**4.2.2.1. Im belaubten Zustand**

**4.2.2.1.1. Die Abhängigkeit von der Freilandwindstärke**

Im Sommer besteht an der Meßstelle 2 bei allen westlichen Winden eine eindeutige Zunahme der relativen Windgeschwindigkeit mit größerer Freilandwindstärke (Abb. 15 links). In etwas geringerem Ausmaß ist das gleiche auch noch für die Meßstelle 5 festzustellen. Wenn auch nicht ganz so eindeutig, aber immerhin ausreichend belegt, verhält sich der Wind bei Nr. 8 jedoch umgekehrt, d. h. die relative Windgeschwindigkeit nimmt hier bei stärkerem Freilandwind ab. Das bedeutet demnach: je stärker der Wind an der Meßstelle 13 ist, um so geringer wird die Schutz-

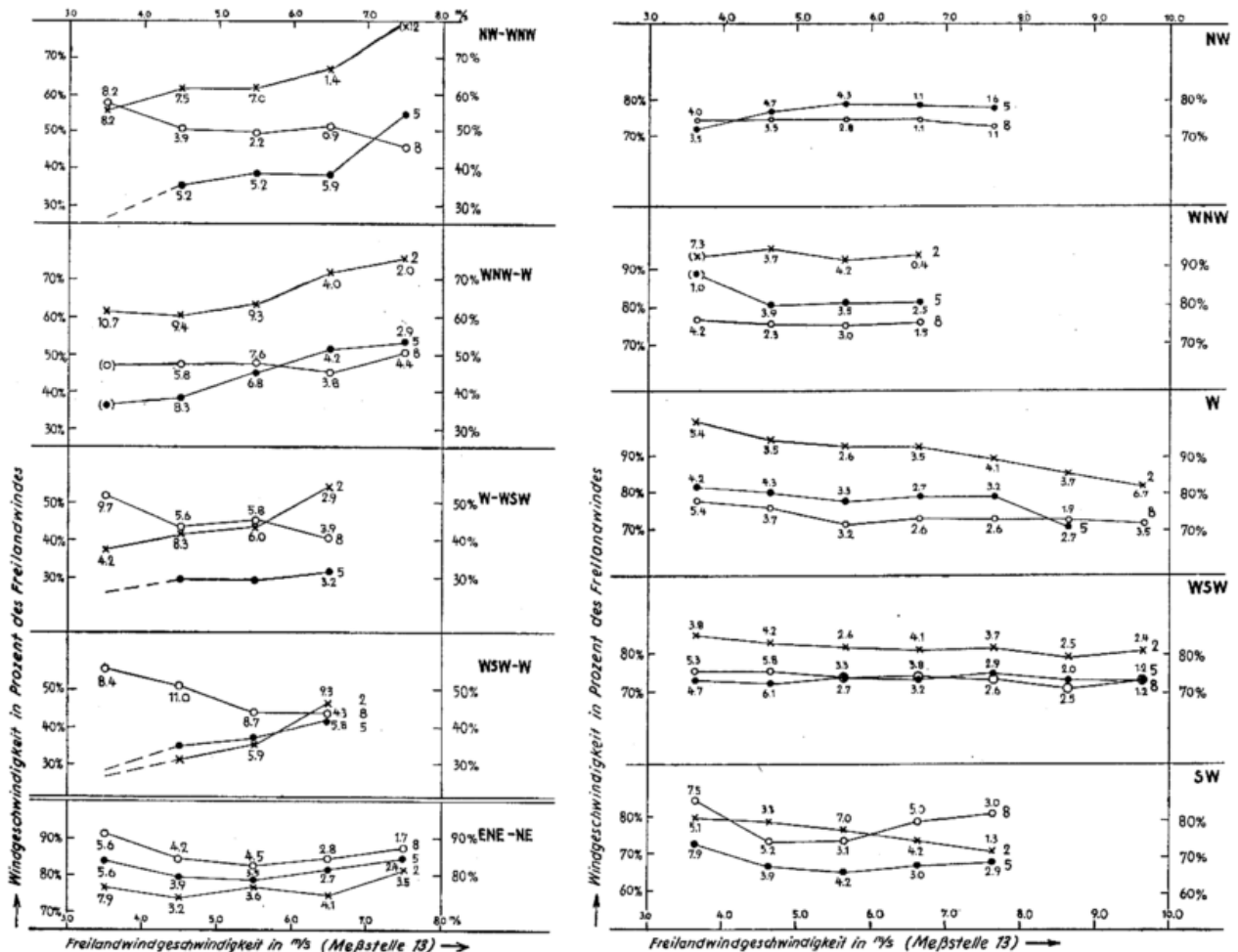


Abb. 15

Die mittlere Windgeschwindigkeit in 3,0 m Höhe im Windschutz an den Meßstellen 2, 5 und 8 verglichen bei den verschiedenen Freilandwindstärken für die einzelnen Windrichtungen  
 Zahl an den Punkten = mittlere Streuung  
 links: für den belaubten Zustand (20. 5. — 19. 9. 55)  
 rechts: für den unbelaubten Zustand (21. 11. 55 — 27. 1. 56)

wirkung unmittelbar hinter dem Hindernis (Meßstelle 5), um so größer wird sie aber bei Nr. 8 in 100 m Entfernung.

Bei östlichen Winden (ENE-NE Abb. 15 links unten) verhalten sich alle drei Meßstellen gleich. Mit der Entfernung vom Hindernis nimmt die Schutzwirkung ab, doch liegt auch bei Nr. 8 der Wind noch unter 90% des von Nr. 13. Die luvseitige Schutzwirkung in 1.50 m reichte dagegen nur bis Meßstelle 6. Bei einem Freilandwind von 5.0 bis 5.9 m/s ist der relative Wind am schwächsten, mit stärker, wie auch mit schwächer werdendem Freilandwind nimmt der relative Wind zu. Diese Erscheinung kann nur festgestellt, aber nicht gedeutet werden. Nach Nägelis Messungen ist die Windschwächung im Luv vor einem dichteren Schutzstreifen größer, als vor einem durchlässigeren Streifen (Tab. 3). So wirkt die Baumreihe bei mittleren Freilandwindstärken um 4—6 m/s wie ein dichter, bei höheren, aber auch bei geringeren Windgeschwindigkeiten wie ein weniger dichter Streifen. Die Unterschiede sind insgesamt aber zu gering, um weitere Schlüsse daraus zu ziehen.

#### 4.2.2.1.2. Die Streuung der Einzelwerte

In Abb. 16 ist eine Linie „Grenze der Meßgenauigkeit“ bis etwa 5 m/s Freilandwind eingetragen. Die unter dieser Linie eingetragenen Punkte bedeuten, daß in den betreffenden Stunden an den jeweiligen Meßstellen eine relative Windgeschwindigkeit gemessen wurde, die geringer ist als der Genauigkeitslinie entspricht. Betrachtet man nun diese Abbildung näher, so muß man eigentlich über die große Streuung der Punkte erschreckt sein. Die Einzelwerte, die immerhin schon einen Mittelwert für eine volle Stunde darstellen, liegen bei Meßstelle 2 zwischen 32 und 93%, und erst bei höheren Freilandwindstärken geht die Streuung auf ein erträgliches Maß zurück. Für Meßstelle 5 und 8 gilt ein ähnliches. Mit wenigen Einzelmessungen läßt sich also kein zuverlässiger Mittelwert bestimmen. Das hat insofern eine große Bedeutung für Windmessungen jeglicher Art im Gelände, als man sich hüten muß, schon aus den Messungen einiger weniger Stunden weitreichende Schlüsse zu ziehen. Diese Tatsache ist zwar bedauerlich, aber doch nicht zu übersehen.

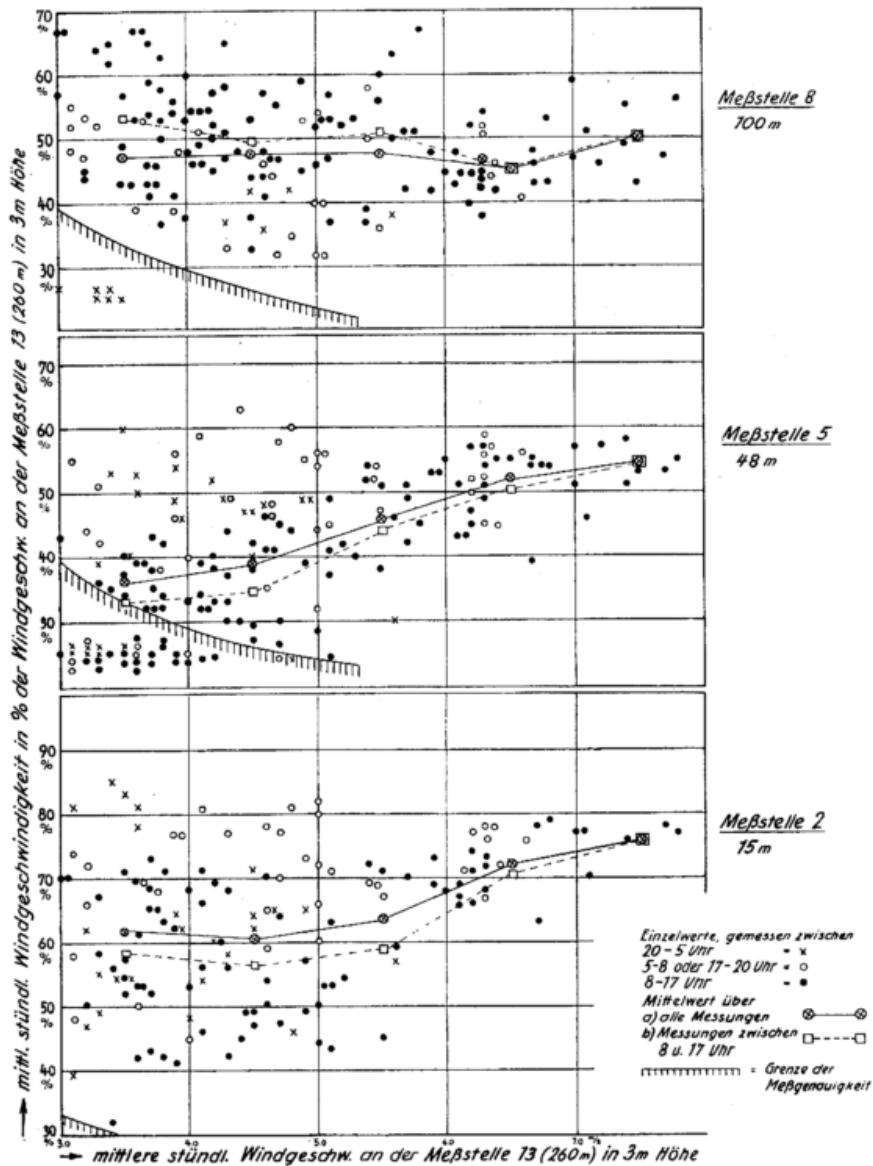


Abb. 16

Die Windgeschwindigkeit an den Meßstellen 2, 5 und 8 aufgeteilt nach den Freilandwindstärken bei Nr. 13 und der Tageszeit. Darstellung aller Einzelmessungen für den belaubten Zustand (20. 5. — 19. 9. 55) und Windrichtung WNW — W

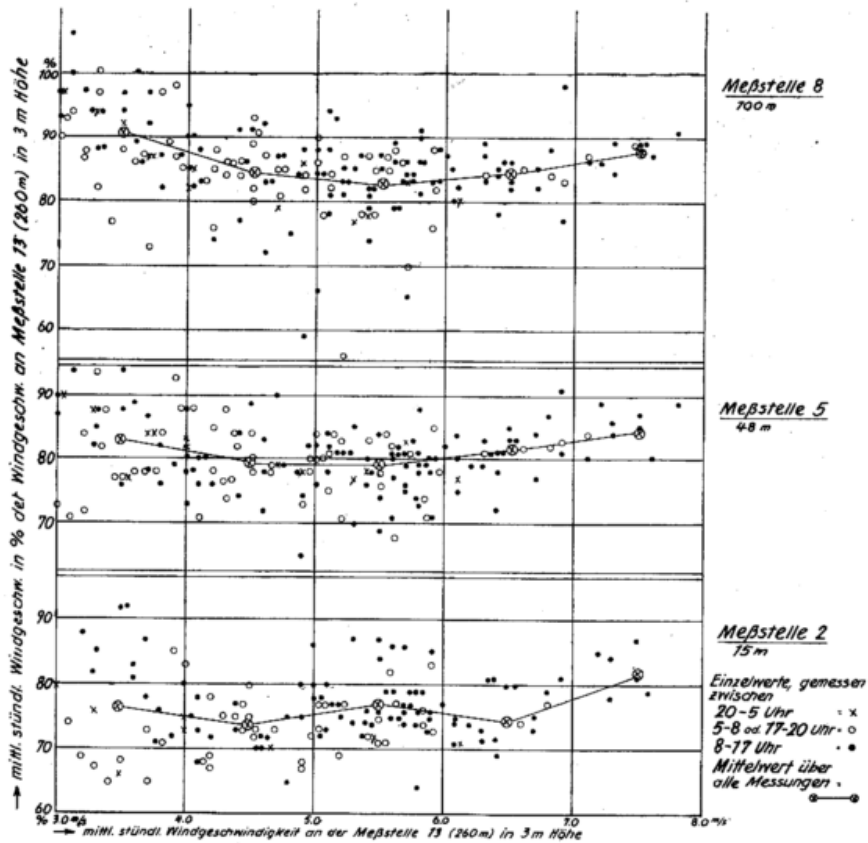


Abb. 17

Die Windgeschwindigkeit an den Meßstellen 2, 5 und 8 aufgeteilt nach den Freilandwindstärken bei Nr. 13 und der Tageszeit. Darstellung aller Einzelmessungen für den belaubten Zustand (20. 5. — 19. 9. 55) und Windrichtung ENE — NE.

Die entsprechende Darstellung für den ENE-NE-Wind (Abb. 17), die für die Verhältnisse vor dem Hindernis gilt, sieht allerdings wesentlich günstiger aus. Hier sei nur auf die Punkte mit sehr geringer relativer Windgeschwindigkeit unter 70% bei Meßstelle 8 hingewiesen. Insgesamt gesehen, ist für alle Windrichtungen (Abb. 15) die Streuung gerade bei geringen Freilandwindstärken besonders groß; sie nimmt auch mit der Entfernung vom Hindernis, also von Nr. 2 über Nr. 5 nach Nr. 8 ab.

Nach einer hier nicht wiedergegebenen Zusammenstellung ist die mittlere Abweichung der Einzelmessungen für alle Freilandwinde über 3.0 bei fast keiner Meßstelle und Windrichtung kleiner als  $\pm 5\%$ . Bemerkenswert ist jedoch, daß bei den östlichen Winden Nr. 5 die geringste Streuung der Einzelwerte aufweist, teilweise ist sie bei Nr. 8 sogar noch größer als bei Nr. 2 (Abb. 15 links unten). Diese Tatsache und die immerhin mit 82—86% verhältnismäßig geringe relative Windgeschwindigkeit bei Nr. 8, die in Einzelfällen sogar weniger als 70% beträgt (Abb. 17) kann wohl nicht mehr in der Doppelbaumreihe ihre Ursache haben. Bei Ostwinden ist Nr. 8 wohl durch die östlich Nr. 13 liegende Geländestufe beeinflusst, denn die Geländestufe braucht nicht unbedingt den Wind bei 13 stärker zu schwächen als bei Nr. 8.

#### 4.2.2.1.3. Der Einfluß der Tageszeit auf die Schutzwirkung

Die große Streuung der Einzelmessungen kann nicht durch eine Ungenauigkeit der Instrumente erklärt werden, denn ein Meßfehler von  $\pm 0,2$  m/s entspricht bei einem Freilandwind von 3.0 m/s einem Fehler von  $\pm 6,7\%$ , bei 5 m/s von nur  $\pm 4,0\%$ . Die Streuung ist aber oft größer. Auch die Windrichtung unterliegt Schwan-

kungen, und wenn schon so große Unterschiede der Schutzwirkung zwischen W- und WSW-Wind festgestellt wurden, so können sich natürlich Unterschiede durch Richtungsschwankungen ergeben, die auch bei gleicher mittlerer Windrichtung immer wieder verschieden sein werden.

Außerdem kommen noch andere meteorologische Faktoren hinzu, die einen Einfluß auf die Strömungsverhältnisse haben. Bei stabiler Schichtung der Atmosphäre wird sich die Strömung anders verhalten als bei labiler Schichtung, wenn der Nachweis im einzelnen oft auch schwierig ist. Eine Aufstellung der Messungen nach Stunden mit fast ununterbrochenem Sonnenschein und nach Stunden mit bedecktem Himmel ergab noch keine statistisch sicher fundierten Unterschiede. Es wurden auch die Windverhältnisse hinter der Doppelbaumreihe bei gleicher Windrichtung mit dem vertikalen Austauschkoefizienten verglichen, wie er gleichzeitig in Quickborn in etwa 22 km Entfernung gemessen wurde. Auch hier ergab sich kein statistisch genügend fundierter Zusammenhang, abgesehen von der Abhängigkeit der Schutzwirkung von der Freilandwindstärke, die in gewissem Umfang in die Größe des Austauschkoefizienten eingeht. Dieses war wohl auch nicht zu erwarten, da die Quickbornier Austauschmessungen über dem weiten Wiesental einer Bachniederung durchgeführt werden, also in einer Landschaft ganz anderen Charakters als in Wulfsdorf.

Es war nun schon für den Zeitraum 20. Mai bis 31. Juli 1955 bei WNW-W-Wind in (8) nachgewiesen, daß die Schutzwirkung in den Tagesstunden 8—17 Uhr sich in der Mehrzahl der Fälle von der Schutzwirkung in den Nachtstunden 20—5 Uhr unterschied. Bei der Ausdehnung dieser Untersuchung bis zum 19. Septem-

ber 1955 blieb dieser Unterschied erhalten, das Ausmaß wurde im Mittel jedoch etwas geringer.

An den Punkten der Darstellung Abb. 16 ist für die Meßstelle 2 folgendes zu erkennen: Bis zu einer Freilandgeschwindigkeit von 5 m/s liegt kaum ein zwischen 8—17 Uhr gemessener Wert oberhalb 70%, wohl dagegen zahlreiche Meßpunkte der Zeit von 17—8 Uhr, während andererseits unterhalb 55% (zwischen 4—5 m/s Freilandwind) fast nur tagsüber zwischen 8 und 17 Uhr gemessene Punkte liegen. Bei höheren Freilandwindstärken liegen die Tageswerte ebenfalls etwas tiefer. D. h. bei Nr. 2 ist tagsüber die relative Windgeschwindigkeit geringer als in den Nachtstunden. Dasselbe gilt auch noch für Meßstelle 5, besonders deutlich bei Freilandwinden zwischen 3 und 5 m/s. Bei Nr. 8, in etwas größerer Entfernung vom Hindernis, kehren sich die Verhältnisse um. Hier liegen die Tageswerte der Windgeschwindigkeit höher als die der Nachtstunden.

Der Übersicht halber sei in folgendem eine Aufstellung gegeben, die dieses noch einmal beleuchtet:

Tab. 6 Die mittlere relative Windgeschwindigkeit in 3 m Höhe hinter dem Schutzstreifen im belaubten Zustand bei WNW-W-Wind, aufgeteilt nach der Freilandwindgeschwindigkeit (m/s) und der Tageszeit. Für alle Stunden des Tages (8—8), für die Zeit 8—17 Uhr und 20—5 Uhr (20. 5. — 19. 9. 55)

Freilandgeschwindigkeit m/s	Uhr	3.0—3.9	4.0—4.9	5.0—5.9	6.0—6.9	7.0—7.9
		Meßstelle 2 (15 m)	8—8	61.7	60.3	63.3
	8—17	57.8	56.2	58.9	70.3	75.8
	20—5	65.8	59.3	(57)	—	—
Meßstelle 5 (48 m)	8—8	(36.2)	38.4	45.5	51.5	53.4
	8—17	(33.1)	34.7	44.2	50.8	53.4
	20—5	(41.0)	41.7	(30)	—	—
Meßstelle 8 (100 m)	8—8	(47.0)	47.5	47.8	45.5	50.3
	8—17	53.1	49.8	51.0	45.0	50.3
	20—5	(33.3)	44.4	(38)	—	—

Der Schutzstreifen schafft also bei WNW-W-Wind tagsüber Windverhältnisse wie hinter einem dichterem, nachts wie hinter einem weniger dichten Streifen. Die Ursache ist wohl die größere Stabilität der Luftschichtung während der Nacht, die eine geringere Turbulenz der Strömung erzeugt. Die Erscheinung ist auch bei den Messungen in 1.50 m Höhe angedeutet. Im Zeitraum 20. Mai — 30. Juni waren auch 3 Nächte mit fast durchgehendem Wind aus WNW-W aufgetreten und zwar bei einer mittleren Freilandwindgeschwindigkeit in 1.50 m Höhe von 3.1, 3.2 und 3.6 m/s. In den Abbildungen 10a-c sind diese nachts gemessenen Werte der Meßstellen 1—12 durch Punkte dargestellt, die in eckige Klammern eingefasst sind. In der Mehrzahl der Fälle liegen die betreffenden Punkte an den Meßstellen 1 bis 7 über der Ausgleichslinie, ab Meßstelle 9 bis 12 aber immer unter der Ausgleichslinie. Das bedeutet also wiederum, daß auch in 1.50 m Höhe des Nachts in Nähe der Baumreihen eine höhere, in größerer Entfernung eine geringere Geschwindigkeit herrscht als tagsüber entsprechend den Messungen in 3 m Höhe.

Bei den anderen Windrichtungen hat sich die Erscheinung jedoch nicht oder nur geringfügig wiederholt. Diese Windrichtungen sind in den Nachtstunden nur durch wenig Einzelmessungen belegt, so daß man daraus auch noch nicht die vorherige Feststellung aufheben könnte. Eine Ursache dafür, daß die Erscheinung bei den anderen Windrichtungen nicht so deutlich eintrat, mag vielleicht auch die etwas andere Durchlässigkeit der Baumreihe für diese Richtungen sein.

Die Abhängigkeit der relativen Windgeschwindigkeit hinter Schutzstreifen von der Tageszeit wie von der Freilandwindstärke wurde auch durch Messungen in Hamburg-Garstedt (7) hinter einer 5 m hohen Doppelhecke in eindeutiger Form bestätigt. Näheres hierüber siehe in (8), S. 126.

Mit einer anderen Betrachtungsweise wollen wir den Einfluß der Tageszeit auf die Windverhältnisse hinter dem Schutzstreifen weiter belegen. Es wurde für die

Tab. 7 a) Häufigkeit, daß die geringste Windgeschwindigkeit an Meßstelle 2, 5 oder 8 gemessen wurde (in Prozent aller Messungen)

Windrichtung	WNW-W		W-WSW		WSW-SW		
	5	8	2	5	2	5	8
Meßstelle							
0—5 Uhr	23%	77%		100%	42%	19%	38%
5—8 Uhr	50%	50%		100%	53%	13%	33%
8—11 Uhr	78%	22%		100%	52%	33%	14%
11—14 Uhr	81%	19%	22%	78%	50%	31%	19%
14—17 Uhr	75%	25%	10	100%	50%	50%	
17—20 Uhr	40%	60%		100%	100%		
20—24 Uhr	55%	45%	25%	75%	75%	25%	
0—24 Uhr	62%	38%	8%	92%	54%	28%	18%
Bei Freilandwind von							
a) 3.0 — 4.9 m/s	72%	28%	—	—	63%	35%	2%
b) wenigstens 5.0 m/s	43%	57%	—	—	44%	21%	35%

b) Häufigkeit, daß die Windgeschwindigkeit bei Meßstelle 2 kleiner bzw. größer war als bei Meßstelle 8. (In Prozenten aller Messungen).

Windrichtung	WNW-W		WSW-SW		W-WSW	
	2 < 8	2 > 8	2 < 8	2 > 8	2 < 8	2 > 8
0—5 Uhr	—	100%	25%	75%	71%	29%
5—8 Uhr	19%	81%	33%	67%	67%	33%
8—11 Uhr	28%	72%	62%	38%	74%	26%
11—14 Uhr	36%	64%	89%	11%	69%	31%
14—17 Uhr	16%	84%	67%	33%	86%	14%
17—20 Uhr	—	100%	50%	50%	100%	—
20—24 Uhr	—	100%	50%	50%	86%	14%
Bei Freilandwind von						
a) 3.0 — 4.9 m/s	20%	80%	71%	29%	84%	16%
b) wenigstens 5.0 m/s	7%	93%	22%	78%	60%	40%

Messungen im Sommer ausgezählt, wie häufig die geringste Windgeschwindigkeit an der Meßstelle 2, 5 oder 8 gemessen wurde und wie oft die Geschwindigkeit bei Meßstelle 2 geringer oder größer war als an der Meßstelle 8. Damit ist ein Anhaltspunkt für die Veränderlichkeit der Lage des Windminimums gewonnen. Diese Auszählung wurde dann nach der Tageszeit und nach der Größe der Freilandwindgeschwindigkeit aufgeteilt (Tab. 7).

Bei der Windrichtung WNW-W, die durch die meisten Beobachtungen belegt war, besteht ein eindeutiger Tagesgang für die Lage der Stelle der geringsten Windgeschwindigkeit; in den Tagesstunden eindeutig bei Meßstelle 5, nachts bei Meßstelle 8. Die anderen Windrichtungen zeigen diese Erscheinung nicht so klar, doch liegt der Schwerpunkt des Windminimums beim WSW-SW-Wind in den Tagesstunden und besonders am Nachmittag eindeutig näher der Baumreihe bei Nr. 2.

Ebenso liegt das Windminimum bei der Freilandwindstärke 3.0—4.9 m/s näher der Baumreihe, und es entfernt sich von dieser bei einem Freilandwind von 5.0 m/s und mehr, und zwar sowohl beim WNW-W wie beim WSW-SW-Wind. Dieses bestätigt abermals, daß bei stärkerem Freilandwind die belaubte Baumreihe einen größeren Durchlässigkeitsgrad bekam.

Das gleiche geht auch wieder aus der Aufstellung in Tab. 7b hervor: An der Meßstelle 2 unmittelbar hinter dem Schutzstreifen ist bei allen 3 Windrichtungen WNW-W, W-SW und WSW-W die Windgeschwindigkeit vornehmlich tagsüber kleiner als bei Nr. 8, nachts dagegen umgekehrt. Entsprechendes gilt für geringe und hohe Freilandwindstärken.

Wir können feststellen: Ein Einfluß der Tageszeit und damit wohl auch der Stabilität der Luftschichtung

auf den Durchlässigkeitsgrad des Schutzstreifens und die Strömung im Windschutz im Sommer ist sehr wahrscheinlich. Er tritt jedoch nicht immer in Erscheinung und ist vielleicht auch von der Dichte der Hecke abhängig. Ohne eine größere Zahl von Messungen ist eine weitere Verallgemeinerung nicht möglich. Doch scheint es für weitere Windmessungen immerhin opportun, sich nicht auf Messungen bei einer Wetterlage und auf eine bestimmte Tageszeit zu beschränken.

4.2.2.2. Im unbelaubten Zustand

Im Winter, bei unbelaubtem Zustand der Baumreihen und somit bei sehr großer Durchlässigkeit sind die Verhältnisse im Windschatten nicht allein dadurch, daß der Wind wesentlich weniger geschwächt wird, anders. Abgesehen vom SW-Wind (Abb. 15 rechts) ist auch jetzt der Wind in 3 m Höhe bei Nr. 8 fast immer noch schwächer als bei Nr. 5. Die Stelle geringster Windgeschwindigkeit liegt demnach etwas weiter von der Baumreihe als im belaubten Zustand.

Beachtlich für die Messungen im Winter sind jedoch folgende beiden Tatsachen: Die Durchlässigkeit des unbelaubten Streifens, der doch mit je 2 Baum- und Strauchreihen immerhin noch verhältnismäßig breit ist, ist noch so groß, daß die Windschwächung erheblich geringer ist als im Sommer. Bei Meßstelle 2 liegt die relative Windgeschwindigkeit oft über 90%, aber fast immer über 80% des Freilandwindes, an den anderen beiden Meßstellen geht sie kaum unter 70%. Gerade in den Monaten März und April, vor der Belaubung, bleibt der Windschutz gering, obwohl gerade jetzt bei den stark austrocknenden Ostwinden und bei dem gerade im Frühjahr leicht verwehbaren Böden ein guter Schutz oft notwendiger wäre als im Sommer. Trotzdem ist dieser Schutz auch so noch nicht zu vernachlässigen.

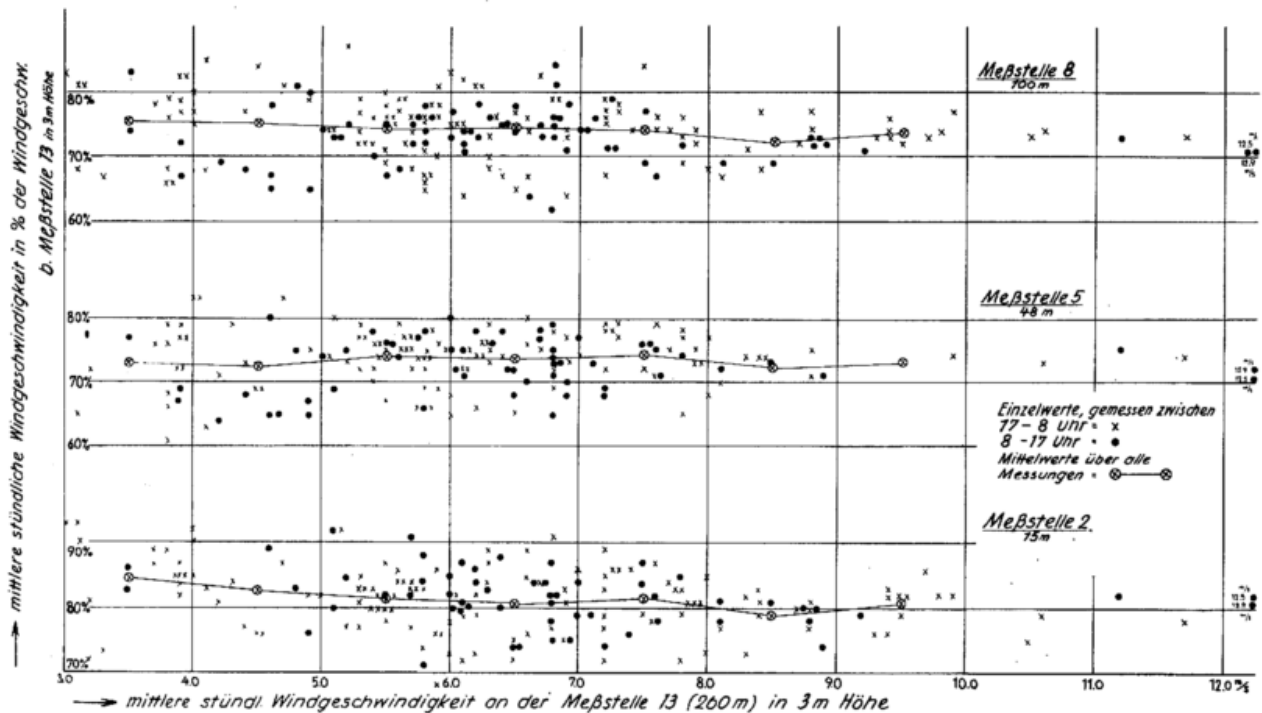


Abb. 18  
Die Windgeschwindigkeit an den Meßstellen 2, 5 und 8 aufgeteilt nach den Freilandwindstärken bei Nr. 13 und der Tageszeit. Darstellung aller Einzelmessungen für den unbelaubten Zustand (21. 11. 55 — 27. 1. 56) und Windrichtung WSW.

Als zweites ist auf die im Winter erheblich geringere Streuung der einzelnen Meßwerte hinzuweisen. Als Beispiel hierfür sei auf die Abb. 15 und 18 hingewiesen, nach der die Streuung nur etwa halb so groß

ist wie im Sommer. Die mittlere Abweichung der Einzelwerte vom Mittelwert geht selten über  $\pm 5\%$  hinaus. Das ist wohl nicht eine Folge der größeren Durchlässigkeit des unbelaubten Streifens, sondern auch der im

Winter stabileren Luftschichtung. Dieses darf als weiterer Hinweis dafür gelten, daß die Stabilität der Luftschichtung für die Strömungsverhältnisse hinter einem Hindernis von Bedeutung ist. Wegen der geringen Streuung der Einzelwerte im Winter sind zur Feststellung eines brauchbaren Mittelwertes auch viel weniger Messungen notwendig als im Sommer. Hinzu kommt noch, daß die Abhängigkeit der Schutzwirkung von der Stärke des Freilandwindes fast verschwindet. Sie ist zwar auch etwas vorhanden, jedoch bei Nr. 2 gerade umgekehrt als in den Sommermonaten.

#### 4.2.3. Der Einfluß der Dauer der Messungen auf den gemessenen Mittelwert

Die große Schwankung der Windgeschwindigkeit, welche sich aus den Einzelmessungen ergibt, legt die Frage nahe, wieviel Stunden für die Messung notwendig sind, um einen brauchbaren, repräsentativen Wert zu erhalten. Um diese Frage zu beantworten, wurde folgender Weg beschritten:

Tab. 8 Mittlere Windgeschwindigkeit bei willkürlicher Auswahl der Einzelwerte

a) Sommer: W — WNW = Wind		Mittel bei allen Freilandwindstärken $\geq 3.0$ m/s bei Nr. 5 u. 8 Mittel bei allen Freilandwindstärken $\geq 4.0$ m/s								Auswahl
	Zahl der Einzelwerte									
Meßstelle 2:	9	60.0	64.3	60.4	63.2	57.5	59.5	60.5	61.7	} jeder 16. Wert
		60.6	69.3	70.4	64.4	69.1	67.3	63.0	66.7	
	18	60.4	66.8	65.4	63.7	63.4	63.4	61.8	64.3	jeder 8. Wert
	36	61.8	65.3	63.6	64.0					jeder 4. Wert
	144	63.6±9.9								alle Werte
Meßstelle 5:	10 (9)	41.9	39.7	41.6	46.3	47.2	(43.1)	(47.3)	(38.5)	} jeder 12. Wert
		(45.4)	(46.8)	(49.2)	(45.2)					
	19 (18)	44.4	39.2	43.4	46.5	48.2	(44.1)			jeder 6. Wert
	38 (37)	45.5	43.6	(43.8)						jeder 3. Wert
	113	44.3±8.5								alle Werte
Meßstelle 8:	10 (9)	45.2	50.2	48.6	47.1	48.1	50.3	45.7	47.7	} jeder 12. Wert
		(45.1)	(46.3)	(49.8)	(43.3)					
	20 (19)	45.5	48.9	(47.0)	(48.9)	(47.0)				jeder 6. Wert
	39 (38)	46.4	48.9	(46.9)						jeder 3. Wert
	117	47.3±5.7								alle Werte
b) Winter: WSW-Wind (Mittel bei Freilandwindstärken $\geq 3.0$ m/s)										
	Zahl der Einzelwerte									
Meßstelle 2:	12 (11)	79.2	80.4	81.3	80.8	(81.0)	(83.1)	(81.5)	(82.4)	jeder 16. Wert
	23	80.4	81.7	81.4	81.6					jeder 8. Wert
	187	81.5±3.8								alle Werte
Meßstelle 5:	11 (10)	72.3	72.7	74.0	74.7	(72.4)	(72.5)	(73.5)	(73.0)	jeder 8. Wert
	21	72.3	72.6	73.4	73.9					jeder 8. Wert
	169	73.4±3.4								alle Werte
Meßstelle 8:	12	74.9	74.6	74.6	74.7	73.3	74.7	74.9	73.5	jeder 16. Wert
	24	74.1	74.6	74.8	74.1					jeder 8. Wert
	195	74.1±3.7								alle Werte

Es wurden Mittelwerte der relativen Windgeschwindigkeit für verschiedene, völlig willkürliche Auswahlen der Einzelmessungen errechnet. Das Ergebnis zeigen die Tabellen 8a und b. Es wurden bei WNW-W-Wind (Sommer) für die Meßstelle 2 alle Einzelmessungen so, wie sie gemessen wurden, untereinandergeschrieben. Dann wurden die Mittelwerte aus folgenden Auswahlen bestimmt: aus dem 1., 17., 33., 49. Wert, dann aus dem 2., 18., 34., 50., . . . , dann aus dem 3., 19., 35., 51., . . . , Wert u. s. f. Jede Reihe enthielt 9 Werte. Die so gewonnenen Mittelwerte der relativen Windgeschwindigkeit lagen zwischen 57.5 und 70.4%; legten wir doppelt soviel Werte, also 18, zu Grunde, indem wir folgende Auswahl trafen: 1., 9., 17., 25., 33., . . . Wert, dann der 2., 10., 18., 26., 34. Wert u. s. f., so lagen die einzelnen Mittelwerte zwischen 60.4 und 66.8%, was immer noch ziemlich groß war. Bei einer willkürlichen Auswahl von 36 Einzelwerten lagen die Mittelwerte zwischen 61.8 und 65.3%, kamen also dem wirklichen

Mittelwert von 63.6% aus 144 Einzelwerten auf 2% nahe. Um also im Sommer einen Mittelwert unmittelbar hinter dem Hindernis von  $\pm 2\%$  zu bekommen, müßten schon 36 Stunden mit dieser Windrichtung vorliegen. Bei Meßstelle 5 sind die Verhältnisse etwas günstiger. Der Mittelwert aus allen 113 Stunden liegt bei 44.3%, bei einer willkürlichen Auswahl von 9—10 Stunden zwischen 38.5 und 49.2%, bei einer Auswahl von 18—19 Werten zwischen 43.6 und 45.8%. Im letzten Fall ist also der wirkliche Wert auf  $\pm 1\%$  erreicht. Für Meßstelle 8 war der Endmittelwert schon bei einer Auswahl von 19—20 Einzelwerten auf  $\pm 2\%$  erreicht, während eine Auswahl von 9—10 Stunden noch Mittelwerte zwischen 43.3% und 50.3% ergaben.

Demnach reichen im Sommer 10 Stunden Messungen bei einer Windrichtung keinesfalls aus, um einen brauchbaren Vergleichswert zu erhalten. Es müssen schon mindestens 20 Stunden sein, wenn man den Wert

auf rund  $\pm 2\%$  erhalten will. Für den allerdings schmalen Streifen unmittelbar hinter einem Hindernis reichen auch 20 Stunden noch nicht aus. Da die mittlere Streuung bei den anderen Windrichtungen nicht wesentlich anders war, darf man diese Feststellung für alle Windrichtungen verallgemeinern.

Für das Winterhalbjahr sind die Verhältnisse etwas günstiger (Tab. 8b). Bei einer Auswahl von 10—12 Stunden wurde der Mittelwert aller Messungen schon auf  $\pm 2\%$  bei der Meßstelle 2 und auf  $\pm 1\%$  bei den Meßstellen 5 und 8 erreicht. Im Winter genügen also sicherlich 10 Stunden für die Bestimmung des Schutzeffektes einer Baumreihe oder Hecke bei einer bestimmten Windrichtung.

In der in Abschnitt 4.1.2. erläuterten Abb. 12 ist neben der Windgeschwindigkeit in 1.50 m auch die Geschwindigkeit in 3 m angegeben. Nach Abb. 12a ist die relative Windgeschwindigkeit bei westlichen Winden in 3 m meist etwas kleiner als in 1.50 m. Bei östlichen Winden ist die relative Windgeschwindigkeit an der Meßstelle 8, aber meist auch an den Stellen 2 und 5 in 3 m Höhe relativ geringer als in 1.50 m. Hierbei verstehen wir unter relativer Windgeschwindigkeit immer den Wind in Prozent der Geschwindigkeit bei Meßstelle 13 jeweils in derselben Meßhöhe. In Meter/Sekunde umgerechnet ist die Zunahme der Windgeschwindigkeit bei Nr. 13 im Freiland natürlich größer als bei Nr. 2, 5 und 8, doch wie folgende Tabelle zeigt, ist die Zunahme des Windes von 1.50 m auf 3 m Höhe an Meßstelle 13 im Sommer auch größer als an den anderen Stellen, wenn man den Wind in 3 m Höhe an allen Meßstellen jeweils gleich 100% setzt:

Tab. 9 Windgeschwindigkeit in 1.50 m Höhe in Prozent des Windes in 3 m Höhe

Meßstelle		2	5	8	13
a) Sommer					
NW bis W	(102 Stunden)	—	83%	84%	78%
SE bis NE	(93 Stunden)	—	83%	80%	77%
b) Winter					
W bis WSW	(110 Stunden)	71%	81%	87%	92%

Im Winter sind die Verhältnisse jedoch umgekehrt, dann war bei Nr. 13 in 1.50 m der Wind schon 92% desjenigen von 3 m Höhe, an den anderen Meßstellen jedoch weniger.

Wie N ä g e l i schon ausführte (4), ergeben sich für den Wind hinter einem Hindernis je nach der Höhe der Meßstelle andere Windverhältnisse. Nach N ä g e l i liegt das Windminimum umso weiter vom Hindernis entfernt, je geringer die Meßhöhe ist. Abgesehen von der heckennächsten Zone ist die relative Windgeschwindigkeit hinter einem lockeren Schutzstreifen ebenfalls umso geringer, je geringer die Meßhöhe ist. Das letztere galt jedoch nach N ä g e l i nicht für die Verhältnisse hinter einer dichten Schutzwand (siehe Tab. 3). Unsere Messungen zeigten allerdings gerade umgekehrte Verhältnisse. Im Sommer bei voller Belaubung war die relative Windgeschwindigkeit bei 2, 5 und 8 in 1.50 m meist geringer, im Winter meist größer als in 3 m Höhe. Doch N ä g e l i führte seine Messungen in 0.55 und 1.10 m Höhe hinter einer 2.2 m hohen Schilfröhre durch, während wir in 1.50 und 3 m Höhe hinter einer 12 m hohen Doppelbaumreihe gemessen

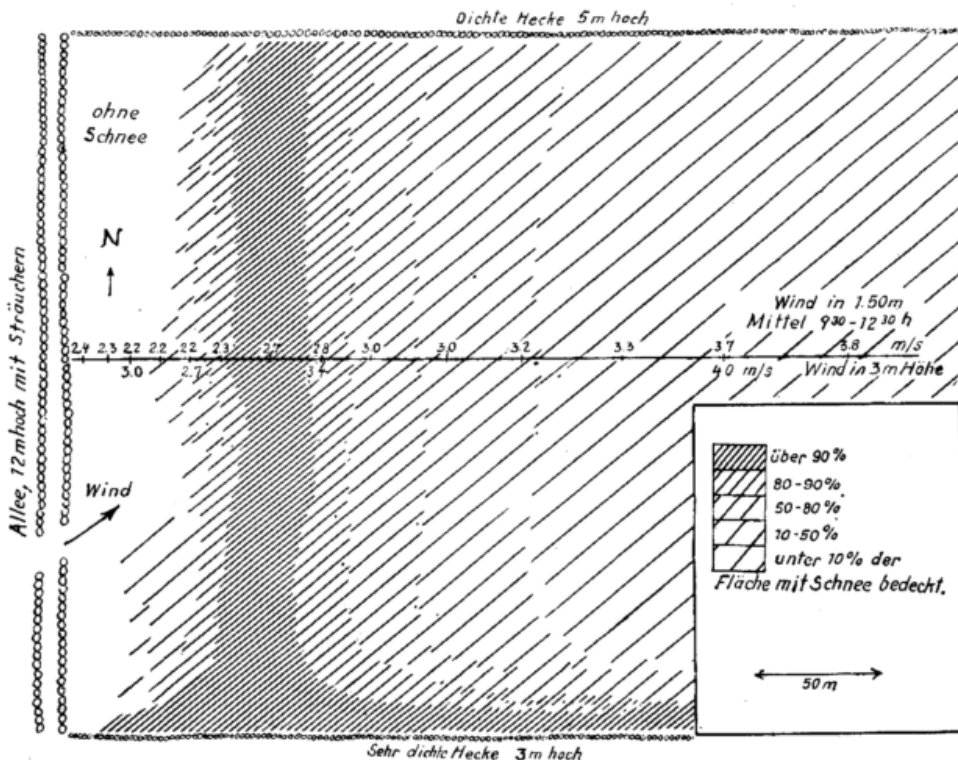


Abb. 19 Die Verteilung des Schnees hinter der Baumreihe am 20. 1. 56

haben. Hieraus erhellt, daß die Meßhöhe nicht gleichgültig ist und daß die in einer Höhe gemessene Windgeschwindigkeit nur mit Vorbehalt auf andere Höhen reduziert werden darf, weil die Dichte und Höhe des

Hindernisses hierauf einen Einfluß haben. Die Lage des Windminimums in den beiden Höhen von 1.5 und 3 m können wir kaum vergleichen, weil in 3 m Höhe nur an wenigen Stellen gemessen wurde, doch ist sie

nicht gleich. In diesem Zusammenhang mag folgende kleine Beobachtung noch von Interesse sein.

**4.3. Die Schneeverteilung hinter der Baumreihe am 20. Januar 1956**

Am 19. Januar war bei WSW-SW-Wind 8 cm feuchter Schnee gefallen, der sich hinter der 3 m hohen Hecke am Südrand des Meßfeldes bis 20 cm hoch lagerte. Die Doppelbaumreihe hatte kaum einen Einfluß auf die Höhe der Schneedecke. Am 20. Januar gegen 9.30 Uhr war die Schneedecke nur, und zwar gleichmäßig, 5 cm hoch, lediglich am Südrand lag mehr. Unter den Bäumen und bis 15 m östlich der Baumreihe (Meßstelle 2) war der Schnee schon ganz verschwunden. Bis 12.45 Uhr taute die Schneedecke bei +3° C, bedecktem Himmel und einem stetigen WSW-SW-Wind recht ungleichmäßig weg (Abb. 19): Nördlich der sehr dichten Hecke am Südrand fast gar nicht, südlich der Hecke am Nordrand lag auf 5 m Breite kein Schnee mehr. Der schneefreie Streifen östlich der Baumreihe hatte sich auf fast 40 m verbreitert. Am meisten lag in 60—90 m Entfernung, wo der Boden noch über 90% mit Schnee bedeckt war. Zum Freiland hin wurde der Schnee gleichmäßig weniger, bis schließlich ab Meßstelle 12 nur noch einzelne Schneeflecken vorhanden waren. Daß in erster Linie die Windgeschwindigkeit für das verschiedene starke Wegtauen der Schneedecke verantwortlich war, zeigt die Lücke in der Baumreihe (siehe Abb. 4 u. 19). Die Windverstärkung infolge dieser Lücke spiegelte sich nordöstlich von ihr in der „Schneegrenze“ wider, genau so wie die Verstärkung des schräg auf die am Nordrand gelegene Hecke auftreffenden Windes hier einen schneefreien Streifen erzeugte.

In einer Entfernung des 5—7-fachen der Baumhöhe zwischen Meßstelle 6 und 8 war die Verdunstung, das Abtauen und der Wind am Boden am stärksten abgeschwächt. Unmittelbar hinter der Allee kam der Schnee nicht zur Ablagerung, weil hier der Wind etwas stärker war. Im Schutze der sehr dichten Hecke blieb der Schnee jedoch liegen. Es sei ausdrücklich bemerkt, daß die Erscheinung nicht auf eine verschiedene Schneeablagerung zurückzuführen ist, weil um 9.30 Uhr die Schneedecke in den verschiedenen Entfernungen von der Baumreihe gleich hoch war. Die gleichzeitig durchgeführten Windmessungen in 1.50 m Höhe ergaben die geringste Geschwindigkeit an den Meßstellen 3—5 in 24—28 m Entfernung, also näher am Hindernis als die Zone stärkster Schneebedeckung. Das bedeutet, daß auch die Windmessungen in 1.50 m Höhe nicht immer für die Verhältnisse am Boden repräsentativ sind.

Tab. 11 Häufigkeit der Windstärken in % aller Beobachtungen für Hamburg (1891—1930)

Windstärke	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9—12	0—2
Mai—Okt.	2.1	13.6	27.3	29.0	16.9	7.7	2.9	0.8	0.1	0.0	34.0
Nov.—April	2.8	12.8	26.1	25.7	16.7	8.0	4.3	2.5	0.9	0.2	41.7

Tab. 12 Häufigkeit der Windstärken in Prozent aller Winde an den einzelnen Meßstellen bei westlichen und östlichen Winden (errechnet auf Grund der Wind-

**SOMMER**

	Meßstelle	13	8	5	2
a) Westsektor	Windstärke				
von 225—315°	3 u. mehr	26,7	7,3	5,8	11,1
	4 u. mehr	15,1	1,5	1,1	4,5
	5 u. mehr	6,9	0,2	0,2	1,2
	6 u. mehr	2,6			0,2
	7 u. mehr	0,7			
	8 u. mehr	0,1			
	9 u. mehr				

**4.4. Die Häufigkeit der Windstärken nach Beaufort an den einzelnen Meßstellen**

Mit Hilfe von Tabellen aus (12) und der gemessenen Windschwächung wurde errechnet, wie häufig die einzelnen Windstärken an den Meßstellen 2, 5 und 8 nach den Messungen in 3 m Höhe vorkommen. Die Umrechnung der Beaufortgrade in m/s für 3 m Meßhöhe wurde nach unseren Windmessungen in 9.5 und 3 m Höhe durchgeführt, während für die Umrechnung der Beaufortgrade in m/s für 10 m Höhe die international festgelegte Skala zu Grunde gelegt wurde.

Demnach galten folgende Bezugswerte:  
Beaufortgrad

der Windstärke	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Windgeschwindigkeit in 3 m Höhe m/s	0.25	1.3	2.8	4.5	6.6	8.9	11.4	14.1	17.1
	bis	bis	bis	bis	bis	bis	bis	bis	bis
	1.2	2.7	4.4	6.5	8.8	11.3	14.0	17.0	20.0

Leider können wir nicht die Verteilung der Windstärken für alle Windrichtungen angeben, da die Nord- und Südwinde gestört waren. Unglücklicherweise wurde die Windrichtung im Sommer wie oben erwähnt auch anders registriert als im Winter. Für den Winter lagen weiterhin zu wenig Messungen bei Ostwind vor. Wir können demnach nur die Winde aus dem Sektor 225° bis 315° bzw. 45°—135° im Sommer und aus dem Sektor 214°—326° der in 360° eingeteilten Windrose im Winter vergleichen. Um jedoch einen Anhalt zu bekommen, wie weit durch die Baumreihen die Häufigkeit der größeren Windstärken reduziert wird, geben wir noch eine Häufigkeitsverteilung für alle Windrichtungen bei Freilandwindstärken an.

Tab. 10 Häufigkeit der Windrichtungen (nach Reida t (12)) für Hamburg (1891—1930) in % aller Beobachtungen

	Mai-Oktober	Nov.-April		Mai-Oktober	Nov.-April
NNE	3.7	3.3	SSW	4.3	4.2
NE	4.3	3.4	SW	9.9	10.7
ENE	3.2	3.2	WSW	14.4	14.5
E	5.0	6.5	W	7.4	7.7
ESE	6.0	8.1	WNW	6.8	5.3
SE	7.0	9.9	NW	9.4	5.4
SSE	3.1	4.1	NNW	6.0	3.8
S	3.4	3.9	N	4.2	3.2
			Windstille	2.1	2.8

messungen und der mittleren Häufigkeitsverteilung der Windstärken auf die einzelnen Windrichtungen nach R. Reida t (12))

**SOMMER**

	Meßstelle	13	8	5	2
b) Ostsektor	Windstärke				
von 45—135°	3 u. mehr	9,4	7,3	6,6	5,9
	4 u. mehr	3,5	2,4	2,2	1,9
	5 u. mehr	1,0	0,7	0,6	0,4
	6 u. mehr	0,3	0,2	0,2	0,0
	7 u. mehr	0,0			
	8 u. mehr	0,0			

**SOMMER**

Ost- u. Westsektor	3 u. mehr	36,1	14,6	12,4	17,0
	4 u. mehr	18,6	3,9	3,3	6,4
	5 u. mehr	7,9	0,9	0,8	1,6
	6 u. mehr	2,9	0,2	0,4	0,2
	7 u. mehr	0,7			
	8 u. mehr	0,1			
	9 u. mehr				

**WINTER**

	Meßstelle	13	8	5	2
a) Westsektor	Windstärke				
von 214—326°	3 u. mehr	30,1	23,8	23,2	25,5
	4 u. mehr	20,3	12,8	12,2	15,0
	5 u. mehr	10,6	6,1	5,6	7,5
	6 u. mehr	6,0	2,8	2,6	3,3
	7 u. mehr	3,3	0,7	0,6	0,9
	8 u. mehr	1,1	0,1	0,1	0,1
	9 u. mehr	0,2			

b) Ostsektor

von 34—146° Nicht zu berechnen, da diese Richtungen nicht genügend mit Messungen belegt waren.

In Tab. 12 wurde nun die Häufigkeit der Windstärken für die Meßstellen 2, 5, 8 und 13 zusammengestellt, wobei für Meßstelle 13 Freilandwindgeschwindigkeit angenommen wurde, wenn hier auch noch ein geringer Windschutz vorhanden war. Die Verhältnisse sind für die Meßstellen 2, 5 und 8 also eher noch günstiger als in der Tabelle angegeben. Durch den Windschutz tritt im Sommer an den Meßstellen 2, 5 und 8 eine Windstärke von 7 und mehr praktisch nicht mehr auf. Selbst die Windstärke 3 wird von 36.1% aller Stunden auf 12—17% aller Stunden bei den West- und Ostwinden herabgesetzt. Die Verminderung der Windstärke ist also beträchtlich. Selbst im Winterhalbjahr kommt Sturm (Bft 8 und mehr), der fast nur aus dem vorliegenden Quadranten weht, kaum noch vor. Auch die Häufigkeit der anderen Windstärken ist immerhin doch beachtenswert vermindert.

**5. Zusammenfassung und Schlußbetrachtung**

Im Sommer 1955 und im Winter 1955/56 wurden in Hamburg-Wulfsdorf östlich einer 12 m hohen Doppelbaumreihe Windmessungen durchgeführt. Die Doppelbaumreihe war mit niedrigen Sträuchern durchsetzt und machte einen ziemlich geschlossenen Eindruck. Teils wurden die Windverhältnisse mit Registrierinstrumenten in 3 m Höhe, teils mit terminmäßig abgelesenen Windwegmessern in 1.50 m Höhe untersucht. Die relative Windgeschwindigkeit — als Geschwindigkeit in Prozent des Freilandwindes — zeigte in den Einzelmessungen eine erhebliche Streuung um den Mittelwert aller Messungen bei der jeweiligen Windrichtung. Das gilt ganz besonders für die Sommermonate bei voller Belaubung, weniger für die Wintermonate. Aus der Streuung ergibt sich, daß zur ausreichenden Beurteilung des Windschutzeffektes im Sommer zumindest je 20 Stunden Messungen für die Hauptwindrichtungen notwendig sind, im Winter genügen etwa 10 Stunden. Die Streuung der Einzelwerte ist jedoch nicht vollkommen willkürlich, sondern es ergab sich sowohl ein Einfluß der absoluten Höhe der Freilandwindstärke wie auch der Tageszeit auf den Schutzeffekt. Bei dem vorliegenden Schutzstreifen erschien die Baumreihe bei höheren Freilandgeschwindigkeiten als durchlässiger, d. h. das Windminimum lag weiter vom Hindernis entfernt. Außerdem war die relative Windgeschwindigkeit bis zu einer bestimmten Entfernung vom Hindernis größer als bei schwächerem Freilandwind. In größerer Entfernung dagegen trat eine Umkehrung ein. Dieses ist vielleicht dadurch zu erklären, daß sich der stärkere Wind eine größere Durchlässigkeit des Hindernisses auf Grund seiner Kraft verschafft. Im Winter ist der Durchlässigkeitsgrad aber schon so groß, daß die Stärke des Freilandwindes keinen Einfluß mehr darauf hat. Diese Erscheinung wurde sowohl für die Meßhöhen von 1.50 wie

auch von 3 m, wenn auch mit einigen durch die Meßhöhe bedingten Unterschieden gefunden.

Ein Einfluß der Tageszeit und damit der tagsüber weniger stabilen Schichtung der Luft gegenüber den Nachtstunden auf den Schutzeffekt konnte für die Sommermonate nachgewiesen werden, und zwar derart, daß die Baumreihe tagsüber undurchlässiger wirkt. Das Windminimum liegt tagsüber bevorzugt näher dem Schutzstreifen.

Die Schutzwirkung der Baumreihe war auch bei schrägem Auftreffen des Windes bis zu 45% noch beachtlich groß. Es konnte außerdem auf die Bedeutung der Meßhöhe für die Beurteilung des Schutzeffektes hingewiesen werden. Die Kartierung einer tauenden Schneedecke ergab ein anschauliches Bild der Windgeschwindigkeit in unmittelbarer Bodennähe hinter dem Schutzstreifen. Schließlich wurde die sehr große Minderung der Häufigkeit großer Windstärken erörtert.

Zum Schluß ist es mir eine angenehme Pflicht, den Herren RR E. Franken und Wd.-Techniker H. George zu danken, durch deren Mitarbeit in Wind und Wetter diese Untersuchung überhaupt erst möglich wurde. Letzterem lag auch der äußere Aufbau der Meßanlage und die Wartung der Instrumente ob. Ohne die bereitwillige Unterstützung des Instrumentenamtes Hamburg (Leiter Doz. Dr. S. Baumbach) des Deutschen Wetterdienstes wären die Windmesser nicht über alle Monate hinweg so einwandfrei gelaufen. Der größere Teil der Windmesser war mit Mitteln aus dem ERP-Programm umgebaut worden, die das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten im Jahre 1952 zur Verfügung gestellt hatte (Herr Hornung), wofür hier nochmals gedankt sei. Von größter Wichtigkeit für das Gelingen der Untersuchung war auch das Entgegenkommen des Leiters des Staatsgutes Wulfsdorf, Herrn Landwirtschaftsrat Domeier, denn die in den Erdbeerbeeten aufgestellten Instrumente mit ihren Halteseilen störten die Unkrautbekämpfungs- und die Hackarbeiten teilweise beträchtlich. Allen Herren gilt mein besonderer Dank.

**6. Literatur**

- (1) Kreutz, W.: Der Windschutz, Windschutzmethodik, Klima und Bodenertrag. Dortmund 1952, mit weiterer Literatur.
- (2) Nägeli, W.: Untersuchungen über die Windverhältnisse, im Bereich von Windschutzanlagen. Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchswesen H. 1 (1943)
- (3) Nägeli, W.: Weitere Untersuchungen über die Windverhältnisse im Bereich von Windschutzstreifen. Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchswesen H. 2 (1946)

- (4) Nägeli, W.: Untersuchungen über die Windverhältnisse im Bereich von Schilfrohrwänden. Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchswesen H. 2 (1953)
- (5) Jensen, M.: Shelter Effect. Investigations into the Aerodynamics of Shelter and its Effect on Climate and Crop. The Danish Technical Press, Copenhagen 1954.
- (6) Kuhlewind - Bringmann - Kaiser: Richtlinien für Windschutz I. Teil, Agrarmeteor. u. landw. Grundlagen. Frankfurt 1955, mit Literatur, bes. für den Praktiken.
- (7) van Eimern - Franken - Harries: Ergebnisse von Windschutzuntersuchungen in Hamburg-Garstedt 1952. Hiltrup b/Münster i. W. 1954.
- (8) van Eimern, J.: Über Schwankungen der Windschutzwirkung von Hecken und Baumreihen. Meteor. Rdsch. 8, 112 (1955)
- (9) Thran, P.: Die Wirkungsweise des Windschutzes. Jb. Heimatgemeinschaft Kreis Eckernförde 12, 105 (1954)
- (10) Denuyl, D.: The Zone of effective windbreak influence. J. forestry 689 (1936)
- (11) Kaiser, H.: Über Strömungsverhältnisse im Bergland. Meteor. Rdsch. 7, 214 (1954)
- (12) Reidat, R.: Klimadaten Hamburg für Technik und Bauwesen. Manuskript, Hamburg 1955.
- (13) Müller, Th.: Versuche über die Windschutzwirkung von Hecken auf der Schwäbischen Alb. Umschaudienst Forsch.-Ausschuß Landschaftspflege und Landschaftsgestaltung. Akad. Raumforsch. u. Landesplan. 6, H. 1/2 (1950)





