



Berichte des Deutschen Wetterdienstes

33

Windschutzuntersuchung Emsland 1950

von
Ernst Franken
Egon Kaps



Zitationsvorschlag:

Franken, Ernst; Kaps, Egon: Windschutzuntersuchung Emsland 1950. - Offenbach am Main: Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, 1957.
(Berichte des Deutschen Wetterdienstes ; 33)

ISSN der Onlineausgabe: 2194-5969

ISSN der Druckausgabe: 0072-4130

Nutzungsbedingungen



Dieses Dokument steht unter folgender Creative Commons-Lizenz

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

Mit der Verwendung dieses Dokumentes erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Herausgeber und Verlag: :

Deutscher Wetterdienst
Frankfurter Straße 135
D- 63067 Offenbach am Main

Internet: www.dwd.de

Mail: bibliothek@dwd.de

Inhalt

	Seite
1. Einleitung und Problemstellung	3
2. Allgemeine Betrachtungen über Anlage und Aufbau von Windschutzstreifen und Versuch einer Analyse von Windschutzstreifen	3
2.1. nach Durchlässigkeit	3
2.2. nach Rauigkeit ihrer Obergrenze	12
3. Die Feststellung der Windstärkeverteilung im Einflußbereich von Schutzstreifen verschiedenen Aufbaus	13
3.1. Anlage der Untersuchung	13
3.1.1. Allgemeine Forderungen an ein Versuchsfeld	13
3.1.2. Landschaft Sustrumer und Walchumer Moor	13
3.1.3. Das Versuchsfeld	14
3.1.4. Instrumentelles	18
3.1.5. Dauer und Umfang der Messungen	18
3.1.6. Allgemeines über die Windverhältnisse im Emsland	18
3.1.7. Die Witterung während der Hauptmeßzeiten	19
3.2. Untersuchungsergebnisse	19
3.2.1. Windstärkeverteilung bei senkrecht zu belaubten und unbelaubten Schutzstreifen wehendem Wind	19
3.2.2. Windstärkeverteilung bei schräg zu den Schutzstreifen wehendem Wind	21
3.2.3. Windstärkeverteilung bei parallel zu den Schutzstreifen wehendem Wind	23
3.2.4. Windstärkeverteilung zwischen 2 eng benachbarten Schutzstreifen	23
3.2.5. Windstärkeverteilung im Bereich eines sehr durchlässigen und eines weniger durchlässigen Schutzstreifens	23
3.2.6. Eine Windschutzerscheinung bei hochreichender Labilität der Luft	25
3.3. Anwendung der Meßergebnisse bei der Berechnung der durchschnittlichen Windverhältnisse auf windgeschützten Parzellen	26
3.3.1. Einleitende Betrachtung	26
3.3.2. Beschreibung der Methode	27
3.3.3. Die flächenhafte Windschutzwirkung durch senkrecht zur Windrichtung verlaufende Schutzstreifen verschiedenen Aufbaus	27
3.3.4. Die flächenhafte Windschutzwirkung bei im Winkel von 45 Grad auf Schutzstreifen verschiedenen Aufbaus auftreffendem Wind	30
3.3.5. Die flächenhafte Windschwächung durch Schutzstreifen verschiedenen Aufbaus bei mittleren Windrichtungen	32
3.3.6. Zusammenhang zwischen dem für die Anlage von Schutzstreifen verschiedenen Aufbaus notwendigem Aufwand an Nutzfläche, dem Abstand der Schutzstreifen und der mittleren Windschwächung.	34
3.3.7. Auswirkung der Form der von Schutzstreifen umschlossenen Parzellen auf die mittlere Windstärke im umschlossenen Gebiet	35
4. Statistische Prüfung	36
5. Schlußbetrachtung	37
6. Literatur	37

Anschriften der Verfasser:

E. Franken, Hamburg 4, Bernhard-Nocht-Str. 76

E. Kaps, Frankfurt/Main, Wickenweg 42

1. Einleitung und Problemstellung

Die Kultivierung der Moore des Emslandes bringt zahlreiche Probleme mit sich. So heißt es bei allen Kultivierungsplänen nicht nur, auf die günstigen Folgen der Umgestaltung zu bauen, sondern auch die ungünstigen im Auge zu behalten. Soll die Landschaft nicht wieder in den früheren Zustand zurückfallen, so gilt es, das Gewonnene zu sichern und den Boden nach Möglichkeit noch zu verbessern.

Besondere Beachtung verdienen die Einflüsse von Klima und Witterung, denen auch die umgestaltete Landschaft ausgesetzt ist. So muß es z. B. dem Menschen möglich bleiben, sowohl eine Vernässung der Ackerkrume als auch eine völlige Austrocknung in Dürresommern zu verhindern. Unter den besonderen Verhältnissen des küstennahen Emslandes hat die Kultivierung die erodierenden Kräfte des Windes zu beachten. Die mittlere Windstärke und auch die in einzelnen Böen auftretenden Geschwindigkeiten sind hoch. Außerdem fehlt dem frisch aufgeworfenen Boden noch die erwünschte Bindigkeit und damit die Festigkeit gegen den angreifenden Wind. Obgleich sich die Bindigkeit im Lauf der Jahre verbessert, bleiben die leichten Böden des Emslandes stärker windgefährdet als etwa die schweren Böden der Marschen. Abgesehen von der unmittelbaren Erosionsgefahr ist auch die Möglichkeit einer zu starken Frühjahrsaustrocknung bei anhaltenden östlichen Winden zu beachten. Will man Erosions- und Austrocknungsgefahr vermindern, ohne zum Mittel der allgemeinen Hebung des Wasserspiegels und den damit verbundenen Nachteilen zu greifen, so wird man zu sehr dem Winde ausgesetzte Flächen durch Anlage von Hecken oder von Baumreihen schützen müssen. So sind die typischen Heckenlandschaften in vielen Teilen West- und Nordwestdeutschlands entstanden. Die gleichen Gesichtspunkte haben auch zur Anlage der Windschutzsysteme im Emsland geführt.

Schon bei der Planung der Windschutzstreifen müssen Vor- und Nachteile gegeneinander abgewogen werden. Zweifellos erreicht man mit vielen Schutzstreifen in geringem Abstand voneinander eine denkbar große Windschwächung. Parallel damit wächst aber der für die Streifen nötige Landaufwand an; es fällt mehr Schatten auf die Ackerfläche und es mehren sich die Schwierigkeiten für das zügige Arbeiten der landwirtschaftlichen Maschinen. Die Frage lautet demnach:

Wie dicht, breit und hoch muß ein Schutzstreifen sein, und in welchem Abstand müssen die Streifen die Landschaft durchziehen, wenn man eine gute Windschwächung über möglichst große Flächen erzielen will?

Die Forderungen nach Begrenzung des für die Anlagen notwendigen Landaufwandes und nach einer Mindestgröße der einzelnen von Schutzstreifen umschlossenen Ackerflächen sind dabei zu beachten. In einem besonderen Abschnitt beschäftigen wir uns mit den Einzelheiten. Nur direkte Messungen im Wirkungsbereich der verschiedenen Schutzstreifen können eine Antwort auf die Frage nach dem unterschiedlichen Größenausmaß der Windbeeinflussung bringen.

Zur Klärung unseres Problems war es notwendig, zunächst eingehende Voruntersuchungen über den inneren Aufbau, die Höhe und Breite bereits vorhandener Schutzstreifen durchzuführen. Ohne Festlegung der Begriffe und ohne Angabe der Unterscheidungsmerkmale

zwischen den zu vermessenden Schutzstreifen verliert eine vergleichende Untersuchung einen Großteil ihres Wertes. Anschließend galt es, unter gleichen Witterungsbedingungen die verschiedene Wirkung der zum Vergleich herangezogenen Schutzstreifen verschiedenen Aufbaus zu untersuchen. Schließlich waren die Folgerungen für die Landschaftsgestaltung zu ziehen. Nicht nur in der ins einzelne gehenden Analyse der Schutzstreifen unterscheidet sich die vorliegende Untersuchung von einschlägigen Arbeiten. Es wurde außerdem den bereits vorhandenen Streifen durch Holzausschlag eine mehr oder weniger große Durchlässigkeit verliehen. Nicht zuletzt geben wir dem Praktiker Richtwerte in die Hand, mit denen er bei seiner Planung arbeiten kann.

Der Plan zur Untersuchung entstand aus der engen Zusammenarbeit zwischen der Landwirtschaftskammer Weser-Ems (insbesondere vertreten durch Herrn Landwirtschaftsrat Minolts), der Emsland-GmbH. mit ihrem Leiter, Herrn Ministerialdirektor z. Wv. L a u e n s t e i n, der Landbauaußenstelle Meppen (Herr Dipl.-Landwirt von Mickwitz), der Agrarmeteorologischen Versuchs- und Beratungsstelle Hamburg und dem Wetteramt Bremen (insbesondere Herr Regierungsrat Dr. L e n k e). Der Emsland-GmbH. sei für die Finanzierung des Vorhabens gedankt. Der Dank wird auch dem Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten ausgesprochen, durch dessen Hilfe bereits in den Vorjahren ein Teil der in der Untersuchung eingesetzten Instrumente beschafft werden konnte. Von Bedeutung für das Gelingen der Unternehmung war die Instrumenteneichung durch das Instrumentenamt Nord des Deutschen Wetterdienstes (Herr Oberregierungsrat Dr. B a u m b a c h). Die technische Seite des Einsatzes lag in den Händen des Herrn George von der Agrarmeteorologischen Versuchs- und Beratungsstelle Hamburg, Herr Diplom-Mathematiker B r o m b e r g und Herr Wetterdienst-Inspektor Birke wirkten bei der Auswertung der Messungen mit. Die Bauern, auf deren Feldern die Untersuchungen durchgeführt wurden, zeigten entgegenkommendes Verständnis. Mehrere Ortsansässige beteiligten sich in dankenswerter Weise beim Holzeinschlag und bei der terminmäßigen Ablesung der Instrumente.

2. Allgemeine Betrachtungen über Anlage und Aufbau von Windschutzstreifen

Der Schilderung der Meßergebnisse und deren Auswertung stellen wir Betrachtungen über den Aufbau der Schutzstreifen voran, die sich bei der Suche nach geeigneten Objekten aufdrängten, und die wir bereits in der Einleitung andeuteten. Sie könnten für künftige einschlägige Untersuchungen bedeutungsvoll sein, wenn man zu einer Vergleichbarkeit der an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Zeiten gewonnenen Ergebnisse kommen will. Es läßt sich dabei nicht vermeiden, daß hin und wieder auf erst in späteren Abschnitten näher behandelte Abbildungen, Lagepläne und Tabellen hingewiesen werden muß.

2.1. Versuch einer Analyse von Windschutzstreifen nach Durchlässigkeit

Unter der Analyse eines Windschutzstreifens nach seiner Durchlässigkeit verstehen wir hier die Feststellung seines inneren Aufbaus. Wollen wir der Wirkung von aus 3, 4 oder mehr Baumreihen bestehenden Windschutzstreifen auf die Windverhältnisse nachgehen, so

haben wir unsere Objekte so genau zu analysieren, daß sich die Fachkreise ein ausreichend genaues Bild über die Objekte machen können. Erst wenn derartige Analysen jeder einzelnen Windschutzuntersuchung vorausgehen, kommt man zu einer Vergleichbarkeit der von verschiedenen Forschungsstellen gewonnenen Ergebnisse. Bisher findet sich in der Literatur noch keine eindeutige Festlegung der Begriffe dicht, mitteldicht oder durchlässig für aus lebenden Bäumen oder Sträuchern bestehende Windschutzstreifen. Bei künstlichen Windschirmen im Windkanal oder auch im Freiland ist die Begriffserklärung einfacher. Praktisch reicht hier die Angabe der optischen Durchlässigkeit und der Maschenweite der Gitter aus. Sie entspricht bei starrem Material der Winddurchlässigkeit. Bei Sträuchern und Bäumen liegen die Verhältnisse wesentlich anders. Eine Windschutzanlage dieser Art ist vielleicht für den Blick undurchdringbar, nicht aber für den Wind. Erscheint eine Anlage dem Auge dicht, so ändert sich hieran nichts, wenn sie noch um zusätzliche Reihen verbreitert wird. Wohl aber wirkt sich die Verbreiterung auf die Winddurchlässigkeit aus. Die Ausführungen zeigen, wie wichtig eine Klassifikation der Schutzstreifen nach ihrem Aufbau ist. Bleibt die Einteilung in dichte, mitteldichte oder durchlässige Streifen dem einzelnen Sachbearbeiter überlassen, so kommt man leicht zu abweichenden Urteilen. In der Tat muß man beim Literaturstudium manchmal den Eindruck haben, als ob ein Verfasser einen Streifen als mitteldicht bezeichnet, den der andere schon zur dichten Gruppe zählen würde. Man kann zu einer Vergleichbarkeit der Durchlässigkeit verschiedener Schutzstreifen entweder durch Windstärkemessungen selbst oder durch die erwähnte Analyse des inneren Aufbaus der Streifen kommen. Im ersten Fall wird man bei senkrecht zum Schutzstreifen wehendem Wind sowohl auf der Luv- als auf der Leeseite der Streifen die Luftmengen bestimmen, die in der Zeiteinheit durch einen Querschnitt fließen, dessen obere Grenze mit der Höhe des Schutzstreifens übereinstimmt. Mit Hilfe einer Anzahl senkrecht übereinander aufgestellter Windmesser oder mit einer Aufstellung in der Art von *Blenk-Trienes* (1) hätte die Messung auf der Luvseite dort zu erfolgen, wo die Luftströmung noch nicht vom Schutzstreifen beeinflusst wird, also z. B. in einer Entfernung, die dem 10-fachen der Streifenhöhe entspricht. Besser wird auf die Werte einer völlig frei dem Winde ausgesetzten Meßstelle zurückgegriffen. Die Messung auf der Leeseite würde gleichzeitig erfolgen, und zwar unmittelbar am Rand des Streifens. Aus der Differenz der in der Zeiteinheit durch die beiden Querschnitte geflossenen Luftmengen ergibt sich ein Maß für die Durchlässigkeit des Schutzstreifens.

Bei vergleichenden Messungen ist es immer günstig, wenn man sie zur gleichen Zeit an den verschiedenen Objekten vornimmt. Welches Ausmaß der Einfluß der Witterung auf die Windverteilung und die Streuung der Beobachtungswerte im Bereich des Schutzstreifens annehmen kann, hat *van Eimern* (2) beschrieben. Vor allem, wenn sich die Bedingung der Gleichzeitigkeit der Messungen nicht einhalten läßt, müssen die Ergebnisse durch mehrfache Wiederholung der Meßreihen gesichert werden. Das geschilderte Meßverfahren zur Durchlässigkeitsbestimmung hätte dann die größten Vorteile, wenn man aus den Ergebnissen der so bestimmten unterschiedlichen Durchlässigkeit auf die Windstärkeverhältnisse im ganzen Wirkungsbereich schließen könnte. Diese Gewähr ist aber vorerst nicht gegeben. Man müßte also der Durchlässigkeitsbestimmung weitere Windmessungen im gesamten Wirkungsbereich der Streifen folgen lassen. Der Idealfall, die gleichzeitige Bestimmung von Durchlässigkeit und Vermessung der Windverhältnisse auf der gesamten ge-

schützten Fläche, scheitert aber meist am Instrumenten- und Personalmangel. Erschwerend wirkt es auch, daß die Schutzstreifen meist keine gerade Firstlinie aufweisen. Dieser Umstand zwingt zu einer Bestimmung der Durchlässigkeit an verschiedenen Stellen des gleichen Schutzstreifens. Alle Mängel könnten nur durch eine erhebliche Verlängerung der Meßperioden ausgeglichen werden. Entsprechend würden die Unkosten für die Untersuchungen steigen. Zweifellos würde man mit einer Kopplung der beiden angeführten Verfahren zur Durchlässigkeitsbestimmung am ehesten zu einer Reproduzierbarkeit der Untersuchungsergebnisse kommen. Die dafür notwendigen Mittel werden aber kaum aufzubringen sein.

Wir bleiben demnach auf dem zweiten gangbaren Weg, um zu einer Zuordnung zwischen der nach Analyseverfahren bestimmten Durchlässigkeit bzw. dem so bestimmten inneren Aufbau und der windschwächenden Wirkung zu kommen. Hierbei sind Baum- oder Strauchreihenzahl ebenso zu beachten, wie Baumhöhe und Dichte der Baumkronen. Auch spielt es eine Rolle, ob die Bäume eines Schutzstreifens schon einmal auf Stock gesetzt worden sind.

Als erste Aufgabe der Analyse stoßen wir auf die Feststellung der Reihigkeit der Schutzstreifen. Das Problem ließe sich leicht lösen, wenn seit der Anpflanzung der Streifen keine Bäume eingegangen wären, und wenn noch kein Auf-Stock-setzen erfolgt ist. Ein solcher Idealfall wird in der Praxis auch nicht annähernd erreicht. Um unsere weiteren Ausführungen verständlich zu halten, führen wir einige Definitionen ein:

1. Windschutzanlage bei ihrer Anpflanzung = Anlagestadium
2. Windschutzanlage vor dem 1. Auf-Stock-setzen = Jugendstadium
3. Windschutzanlage vor dem 2. Auf-Stock-setzen = 1. Altersstadium

Natürlich ändert sich mit der Wiederholung des Auf-Stock-setzens jedesmal die Struktur der Windschutzanlage. Doch dürfen wir danach keine wesentliche Veränderung der Windschutzwirkung im Vergleich zum ersten Altersstadium erwarten. Vermutlich bringt erst das hohe Alter mit einem Absterben einzelner Baumarten eine Veränderung.

Die Windschutzstreifen des Emslandes wurden im allgemeinen so angelegt, daß auf jeden Quadratmeter des Streifens ein junger Baum gepflanzt wurde. Der Abstand der Bäume innerhalb der Reihen und der Abstand der Reihen betrug 1 Meter. Abgesehen von den Bäumen der beiden Randreihen steht demnach jedem Baum im Durchschnitt eine Standortfläche von einem Quadratmeter zur Verfügung.

Für die weiteren Betrachtungen treffen wir noch die Definition: Einheitsquerschnitt = Bodenfläche, die ein 1 Meter breiter Streifen quer durch den Schutzstreifen einnimmt. Für einen zweireihigen Streifen ergibt sich ein Einheitsquerschnitt von 2 Quadratmetern, bei einem 6-reihigen ergeben sich 6 Quadratmeter. Die im Emsland eingehaltene Pflanzweite von 1 Meter erleichtert die Rechnungen erheblich. Bei einer Windschutzanlage im Jugendstadium braucht man nur die Anzahl der Bäume auszuzählen und die erhaltene Zahl durch die Länge der Windschutzanlage zu teilen, um die Zahl der Bäume im Einheitsquerschnitt zu erhalten. Wohl bei jedem Windschutzstreifen im Jugendstadium ist noch das Anlagestadium zu erkennen. Man kann also leicht den seit der Auspflanzung eingetretenen Verlust an Bäumen bestimmen. Betrachtungen dieser Art sind für Planung und Durchführung unserer Untersuchung

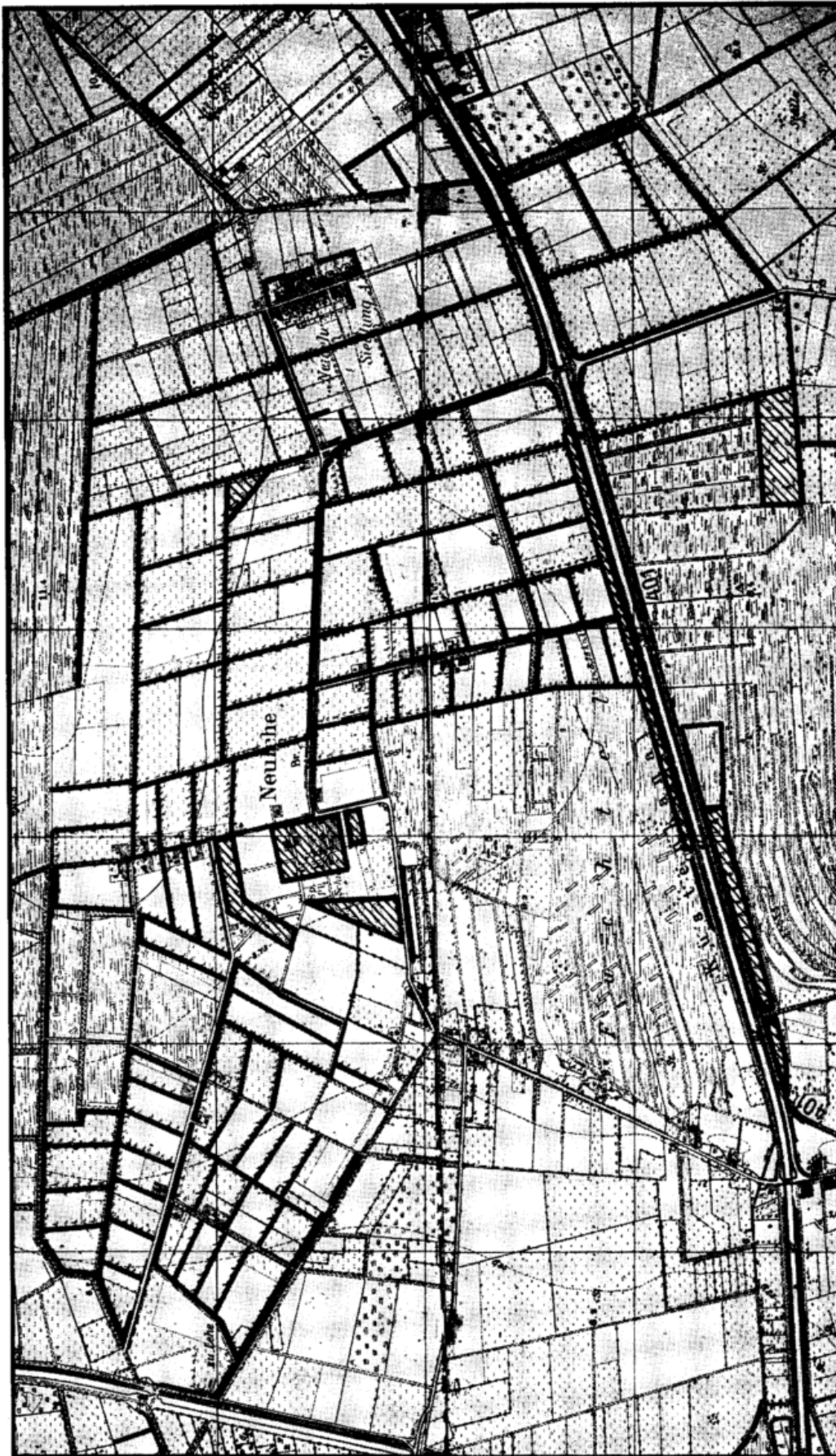


Abb. 1
Windschutzstreifen am Küstenkanal zwischen Neulehe und
Börgermoor.

wichtig. Sprechen wir von einem dreireihigen Windschutzstreifen im Jugendstadium, so muß der Streifen 3 Bäume im Einheitsquerschnitt aufweisen. Hat er weniger Bäume, dann ist er auch nicht dreireihig. Mit anderen Worten: Für die Bestimmung der Reihigkeit eines Streifens ist nicht das Anlagestadium wichtig, sondern die Zahl der im Einheitsquerschnitt stehenden Bäume.

Auf der Suche nach für unsere Untersuchung geeigneten Objekten wurde auch das Gebiet um den Küstenkanal westlich von Friesosythe einer eingehenden Besichtigung unterzogen. Abb. 1 zeigt dick ausgezogen die Windschutzstreifen zwischen Neulehe und Börgermoor. Sie vermittelt einen Eindruck von der Rolle der Planung bei der Emslandkultivierung, vor allem aber

auch von der unterschiedlichen Größe der von Windschutzstreifen umschlossenen Parzellen. Für die geplante vergleichende Untersuchung über die Schutzwirkung verschieden dichter Streifen erschienen die Anlagen weniger geeignet. Selbst auf den größeren Parzellen im östlichen Teil des Kartenausschnittes fehlte es an Zonen, in denen annähernd Freilandwindverhältnisse erreicht wurden. Die Vergleichsmöglichkeit mit dem Freilandwind ist aber eine wichtige Voraussetzung für die Beurteilung der Meßergebnisse im windgeschützten Gelände. Wir kommen auf die mittleren Windverhältnisse in diesem Kartenausschnitt noch zurück (3. 3. 7.).

Wir wenden uns der Abbildung 2 zu. Sie zeigt eine Gruppe von Windschutzanlagen südlich des Küsten-

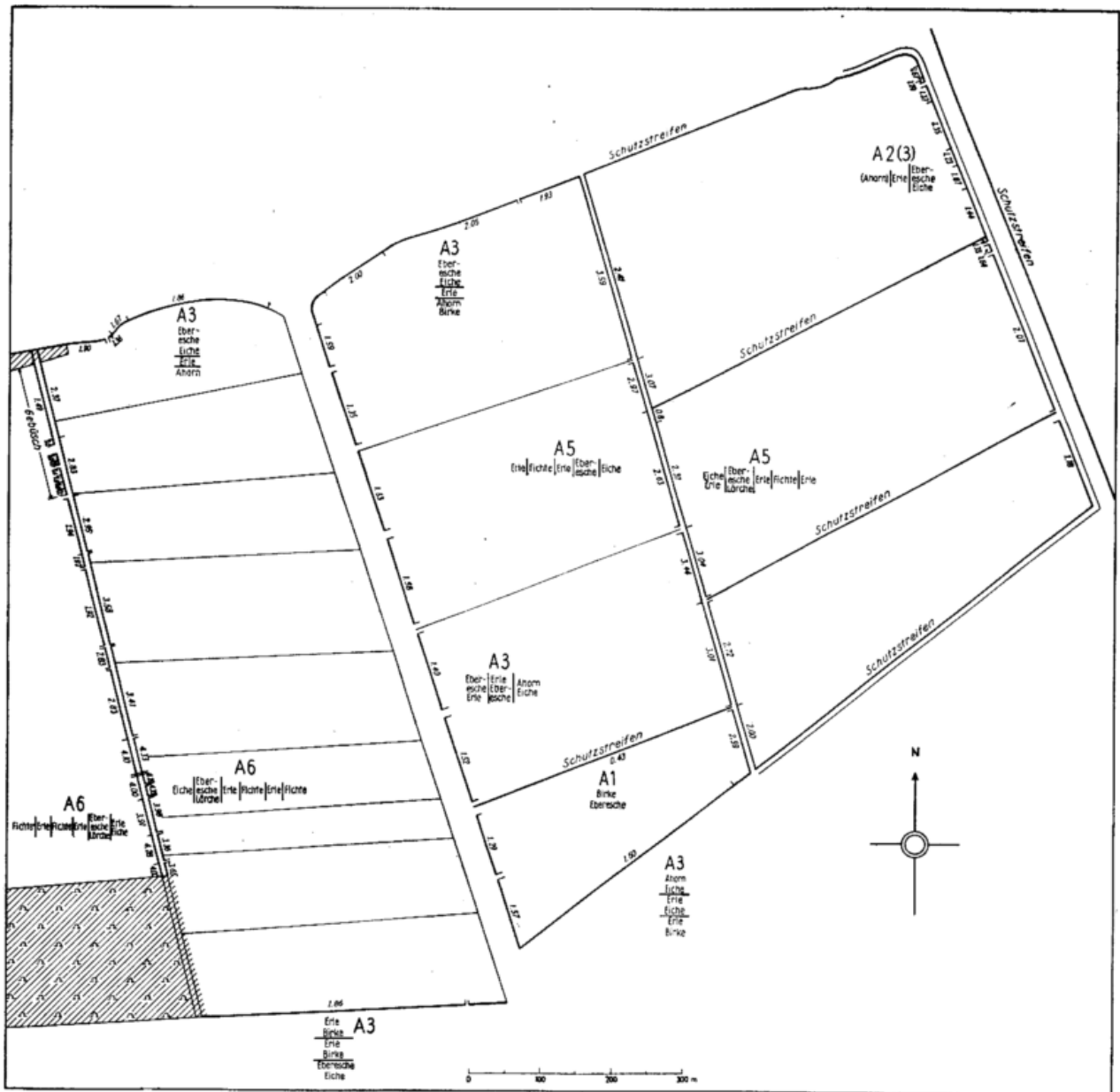


Abb. 2
Windschutzstreifen am Küstenkanal bei Neubörger

kanals, die nach der oben erläuterten Methode bearbeitet wurde. Beispielsweise bedeutet die Bezeichnung A 6, daß der zugehörige Streifen im Anlagestadium

sechsstufig war. Unter der Bezeichnung des Anlagestadiums sind die in den einzelnen Baumreihen vertretenen Bäume wiedergegeben. Bei Ost-West-Streifen

stehen die Namen der Bäume der einzelnen Reihen untereinander. Der obere Name gibt die Baumart der nördlichen Reihe an. Bei Nord-Süd-Streifen stehen die Namen nebeneinander. Links ist die Baumart der westlichen Reihe verzeichnet. Die an den Schutzstreifen selbst stehenden Zahlen sagen nun etwas über den Aufbau der Streifen aus. Sie geben die Anzahl der Bäume im Einheitsquerschnitt wieder. Im Anlagestadium würden die Zahlen mit der Reihigkeitszahl übereinstimmen. Je mehr Bäume aber seit dem Anlagestadium ausgefallen sind, um so mehr bleiben die Zahlen hinter dem ursprünglichen Wert zurück. Zwei Beispiele mögen dafür genannt werden. Von den vier Nord-Süd verlaufenden Schutzstreifen ist der zweite von links dreireihig angelegt worden. Er besteht zur Hauptsache aus Erlen und Ebereschen (Vogelbeeren). Die Auszählung ergibt nun, wie die Zahlen zeigen, daß fast die Hälfte aller Bäume nicht mehr vorhanden ist. Außerdem sind 7 große Knicklücken hinzugekommen. Es wäre bestimmt falsch, hier noch von einem dreireihigen Windschutzstreifen zu sprechen. Man muß ihn als anderthalbreihig bezeichnen. Als weiteres Beispiel führen wir den sich im Osten anschließenden Doppelschutzstreifen an, der durch einen nicht mit eingezeichneten Wassergraben unterteilt wird. Zum Unterschied von dem vorher besprochenen geht keine Lücke durch die ganze Schutzanlage, aber der Verlust seit der Anpflanzung ist auch hier bedeutend. Auf beiden Seiten des Wassergrabens fehlen $\frac{2}{3}$ der ursprünglich ausgepflanzten Bäume. Dazu kommt noch, daß viele der kartierten Bäume zum Absterben verurteilt sind.

Die Beispiele zeigen die Schwierigkeiten auf, die sich bei der Suche nach geeigneten Versuchsobjekten einstellen. Zusammen mit der bereits erwähnten Forderung nach übereinstimmenden Witterungsbedingungen bei einer vergleichenden Untersuchung verschieden dichter Schutzstreifen ergibt sich aus der Schwierigkeit der Reihenfestsetzung eine bedeutsame Folgerung für die Schaffung sinnvoller Versuchsbedingungen: Man wählt am besten einen sehr dichten, vielreihigen und langgestreckten Schutzstreifen aus und teilt ihn durch Ausholzung in genügend lange verschiedenreihige Abschnitte ein. Nach vorheriger Kartierung kann ein Abschlagplan aufgestellt werden. Nach ihm werden die abzuholenden Bäume markiert, daß die Zahl der Stämme im Einheitsquerschnitt mit der geforderten Reihigkeit übereinstimmt. Wegen der ungleichmäßig verteilten abgestorbenen Bäume fällt der Holzeinschlag entsprechend ungleichmäßig auf einzelne Teile der Abschnitte.

Weitere eingehende Besichtigungen von Windschutzstreifen ergaben dann, daß die Methode der Reihenfeststellung zwar im Prinzip überall angewandt werden kann, daß sie aber einer weiteren Verfeinerung bedarf. Die bisherigen Betrachtungen bezogen sich auf Windschutzstreifen im Jugendstadium, einem Stadium, das nur einen begrenzten Abschnitt der gesamten Lebensdauer einer Windschutzanlage einschließt. Schon nach 8, manchmal auch nach 10 oder 12 Jahren, werden die Laubbäume der Schutzstreifen auf Stock gesetzt. Wo bisher ein dicker Baum auf dem Quadratmeter stand, wachsen nun mehrere neue Stämme unterschiedlicher Dicke nach. Das Verfahren wird mehrfach wiederholt. Für das Problem des Windschutzes ist es daher wichtiger, den Einfluß eines solchen gealterten Schutzstreifens auf die Windverhältnisse zu untersuchen.

Die verfeinerte Analyse beschränkt sich nicht auf die Angabe der im Durchschnitt auf den laufenden Meter der Windschutzanlage entfallenden Baumzahl. Sie befaßt sich darüber hinaus mit der Höhe der Bäume und den Unterschieden zwischen den unteren, mittleren und oberen Partien der einzelnen Bäume. Der Übersicht-

lichkeit halber entwickeln wir das Verfahren schrittweise. Zunächst erfolgt die Berücksichtigung der Höhe der Einzelbäume an einem noch im Jugendstadium befindlichen Schutzstreifen. Es schließen sich Betrachtungen und Berechnungen über das erste Altersstadium an, bei dem die Bäume schon einmal auf Stock gesetzt worden sind. Endlich kommen wir zu einer Berücksichtigung des Stamm- und Kronenraumes der verschiedenen Bäume.

Die angeführten Analysen ließen sich im Walchumer und Sustrumer Moor an den für die Windmessungen ausgewählten Schutzstreifen durchführen. Vor der Schilderung der Analyse möge noch bemerkt werden, daß in der Literatur vergeblich nach einem Vorgang gesucht wurde, der uns vielleicht einen großen Teil der bei der Analyse ergebenden Schwierigkeiten erspart hätte. Es gibt wahrscheinlich keine Angaben darüber, wie ein sechsreihig angelegter Windschutzstreifen im Alter aussieht, oder wie sich z. B. ein dreireihiger verhält. Der Nachteil der zu beschreibenden Methode liegt darin, daß sie mit geschätzten Werten arbeitet. So sind dem Bearbeiter manchmal Bedenken wegen der Vergleichbarkeit der schließlich errechneten Durchlässigkeitswerte gekommen. Trotzdem wird das Verfahren unter den gegebenen Umständen das zweckmäßigste sein. Das trifft vor allem für die geschätzten Höhen der Bäume zu, die später mit gemessenen Werten verglichen werden können. Hier müssen wir die Bemerkung einflechten, daß sich manche neue Gesichtspunkte erst während der Kartierung und der folgenden Windmessungen herauschälten. Dergleichen wird sich wohl nie vermeiden lassen, wenn man neue Wege geht. Im Wiederholungsfall würde man Höhenschätzungen laufend durch Messungen kontrollieren. So würden die bei uns auftretenden Differenzen zwischen den Höhenschätzungen und der erst später folgenden Höhenmessung vermieden.

Die Analyse des Jugendstadiums eines Windschutzstreifens zeigen wir am Beispiel des Schutzstreifens VI (Allgemeine Beschreibung des Versuchsfeldes, Lageplan Schutzstreifen VI siehe 3.1.3.). Abb. 3 gibt das Ergebnis der Kartierung wieder. Der Schutzstreifen verläuft von Nordost nach Südwest. Das Kartierungsergebnis sollte auf einer Darstellung vereinigt werden. Daher war der Gesamtstreifen in 6 Unterabschnitte zu zerlegen. Der zweite Abschnitt wird durch eine strichpunktierte Linie vom ersten getrennt. Man muß ihn sich als Verlängerung des ersten rechts angehängt denken usw. Das südwestliche Ende des Schutzstreifens finden wir in der unteren rechten Ecke der Darstellung. Der Schutzstreifen ist sechsreihig angelegt, wie wir aus den jeweils 6 Symbolreihen der oberen drei Abschnitte erkennen. Laubbäume und Lärchen, bei denen man einen belaubten und einen unbelaubten Zustand unterscheiden kann, sind durch Kreise, Fichten durch quadratische Zeichen wiedergegeben. Bei der Aufnahme wurde der Maßstab 1:100 gewählt, einem Quadratzentimeter auf dem Millimeterpapier entsprach ein Quadratmeter in der Natur. Außerdem wurde mit Buntstift gearbeitet. Für den Schwarzweißdruck wurden die in der Abb. 3 oben angeführten Symbole für die Höhenschätzungen verwendet. Bei den Laubbäumen wurde die Art des Baumes jeweils unten rechts an das Symbol angeschrieben. Vielen Kreisen fehlt das Symbol. Man braucht nur in der betreffenden Reihe soweit nach rechts zu gehen, bis man auf einen mit Symbol versehenen Kreis stößt. Dies Zeichen gilt dann auch für den nicht gekennzeichneten Kreis. Die geschätzten Höhenangaben der Bäume und Sträucher ergeben sich aus den Diagonallinien der Quadrate bzw. Kreise. In der Zeichenerklärung finden wir auch den Vergleich zwischen den zunächst geschätzten und später gemessenen Höhen der Bäume. Z. B.

entspricht einer geschätzten Höhenangabe von 6—8 m eine gemessene von 7.5 bis 9 m. Während sich der nördliche Teil des Schutzstreifens im Jugendstadium befand, war der südliche im vorangegangenen Winter auf Stock

gesetzt worden. Der seitdem nachgewachsene Stockausschlag spielt praktisch noch keine Rolle. Wir finden hier nur insgesamt 2 sehr gelichtete Fichten- bzw. mit Ebereschen dünn durchsetzte Lärchenreihen vor.

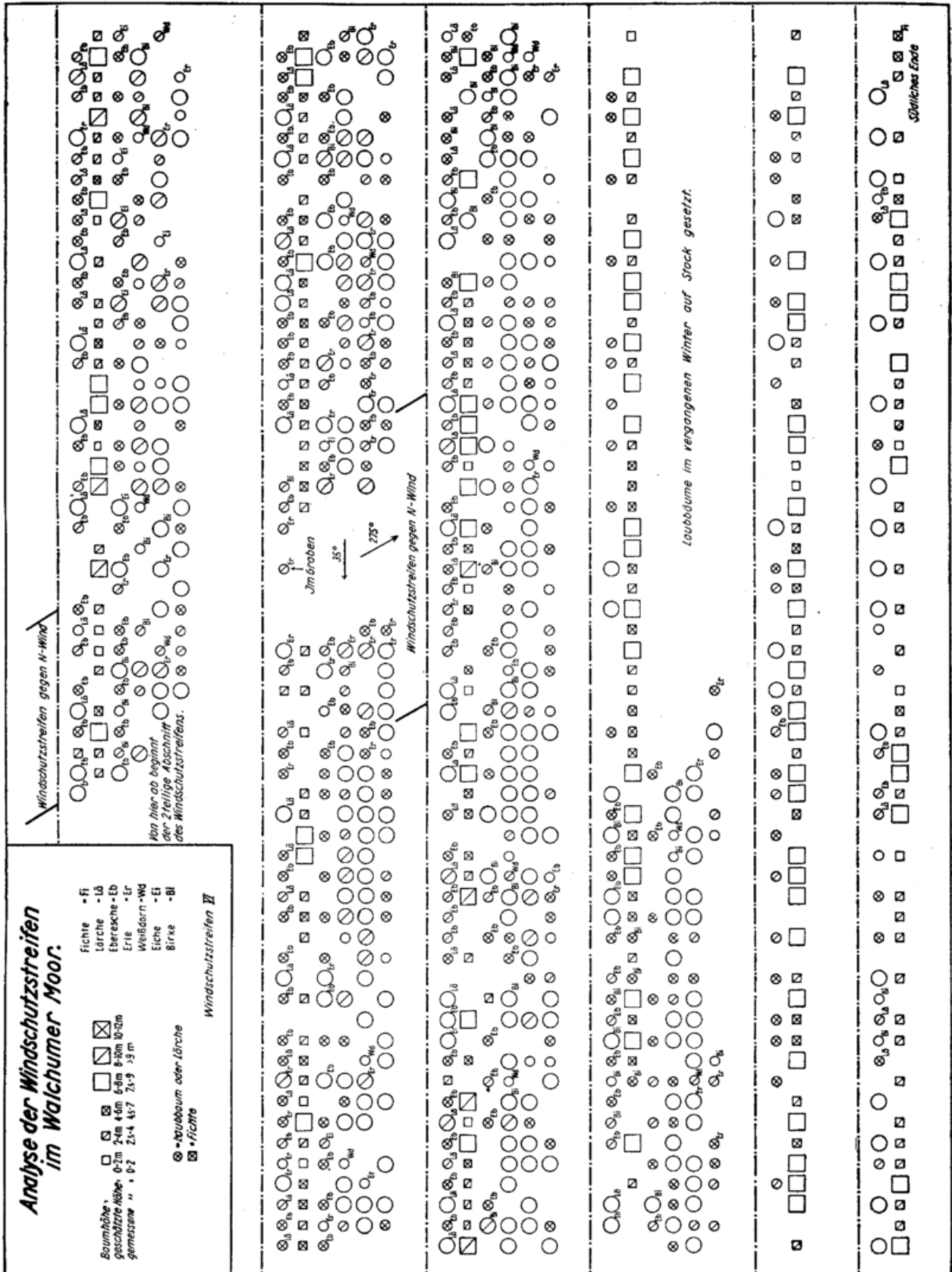


Abb. 3
Analyse der Windschutzstreifen im Walchumer Moor

In der Abb. 5 finden wir unten rechts die Angabe der geschätzten Höhenstufen, zu denen später die Ergebnisse der Dichteschätzung zuzuordnen sind. Wir sehen, daß die Schätzungsstufen nicht mit denen beim Schutzstreifen VI übereinstimmen. Gefühlsbedingt hat sich das Schätzungsgrundmaß geändert, wie durch anschließende genaue Höhenmessungen und deren Vergleich mit den geschätzten Maßen festgestellt werden konnte. Wie bereits erwähnt, sollte man in Zukunft die geschätzten Werte immer wieder durch exakte Messungen kontrollieren, und diese Kontrolle nicht erst anschließend an die bereits abgeschlossenen Schätzungen folgen lassen.

Die Kartierung sollte der Bestimmung der Reihigkeit der Windschutzstreifen und damit anhaltweise der Durchlässigkeit dienen. Dabei dürfte angenommen werden, daß die Durchlässigkeit wesentlich von der Anzahl der dicken Stämme abhängt. Sie sind durchweg die höchsten und tragen das meiste Blattwerk. Wie bei dem schon besprochenen Verfahren am Schutzstreifen im Jugendstadium wurden die Angaben auf den Einheitsquerschnitt bezogen. Abb. 5 gibt unter dem noch zu besprechenden Abholzplan und über den noch zu erörternden Hinderniszahlen das Auswertungsergebnis wieder. Es wurden sowohl die dicken als auch die dünnen Stämme zusammengezählt und für den ganzen Schutzstreifen III ebenso wie für die gewählten Ausschnitte gemittelt. Die Legende erläutert die einzelnen Zahlenreihen.

Zum besseren Verständnis der Abb. 5 und der späteren Folgerungen, sehen wir uns die einzelnen Abschnitte der Abb. genauer an. Oben haben wir die Übersicht über die einzelnen Bäume, ihre Art, Höhe und Anzahl der dicken und dünnen Stämme. Die Zahlenrubrik darunter besprechen wir schon. Sie gibt auch an, wieviel Stämme vor dem Abschlag und wieviel danach zu verzeichnen waren. Zuletzt folgt der Tabellenteil, der sich mit der unterschiedlichen Dichte und dem Aufbau der Windschutzstreifen vorkommenden Bäume befaßt. Wir kommen darauf noch zurück. Für den ganzen Schutzstreifen III ergeben sich 3,5 dicke und 8,2 dünne Stämme auf dem Einheitsquerschnitt.

Tab. 1 Anzahl der Stämme pro mittleren Einheitsquerschnitt bei der Kartierung / nach dem Abholzen Stämme mit Durchmesser

	< 5 cm		≥ 5 cm	
Windschutzanlage				
II	12.2/	10.2	4.2/4.0	
III	8.2/	7.5	3.5/3.0	
V	14.6		7.1	

Tab. 1 bringt die entsprechenden Werte auch für andere Windschutzanlagen bzw. andere Abschnitte (Erklärung der Abschnitte siehe Abb. 11a).

Um angenähert zu einer Reproduzierbarkeit unserer Untersuchungen zu kommen, wurde angenommen, daß bei 2 dicken Stämmen immer 5 dünne stehen. Ferner soll die Reihigkeit nach der Zahl der dicken Stämme im Einheitsquerschnitt festgelegt werden. Danach ergeben sich für eine dreireihige Anlage 3 dicke und 7.5 dünne, für eine vierreihige 4 dicke und 10 dünne Stämme. Um dies Ziel zu erreichen, mußten an den gegebenen Schutzstreifen Stämme ausgeschlagen werden. Dazu galt es einen Abholzplan aufzustellen, von dem Abb. 5 ebenfalls den Ausschnitt zeigt. Die abgeholzten Stämme sind hier einzeln vermerkt. An andern Stellen war wesentlich mehr auszuschlagen. Der Streifen V wies nur 146 dünne Stämme auf.

Es mag aufgefallen sein, daß die Höhenschätzung bisher nicht weiter benutzt worden ist. Sie konnte auch für die einzelnen Höhenstufen nicht mehr vor den Windmessungen und den Abholzungen durchgeführt werden. Die Gedanken über eine solche Schätzung bringen wir aber trotzdem, weil sich der eingeschlagene Weg wohl auch noch bei späteren Untersuchungen begeben läßt. Zwischen Baumart, Baumhöhe und Blattwerk in Verbindung mit dem Stamm besteht ein enger Zusammenhang, der sich unterschiedlich auf den anströmenden Wind auswirkt. Hierbei spielt auch noch der Standort des Baumes eine Rolle. Z. B. hat eine Erle im Bestand fast stets einen kahlen Stammraum und einen belaubten Kronenraum. Am Bestandsrand sind auch die unteren Partien noch belaubt. Für unsere vergleichenden Betrachtungen geben wir nun dem kahlen Stammraum der Erle im Bestand die Hinderniszahl 1. Danach schätzen wir die übrigen Hinderniszahlen für die höheren Partien so ab, daß sie nicht in auffälligem Widerspruch zueinander stehen. Ferner wird jeder Baumart eine maximale Hinderniszahl zugeordnet, die sich aus dem Erscheinungsbild des Baumes im Vergleich zu den übrigen Bäumen ergibt. Die sehr dichte Sitkafichte erhält z. B. die Maximalzahl 10, die Lärche 9, die Erle 8 (Tab. 2). Danach wird also den hohen Partien der Lärche eine höhere Hindernisfähigkeit als denen der Erle zugesprochen. Bei der Einteilung der Höhenstufen benutzen wir die geschätzten Höhen. Tabelle 2 bringt die in der beschriebenen Weise gewonnenen relativen Hinderniszahlen, und zwar für die Erle und für die Sitkafichte.

Tab. 2 Relative Hinderniszahlen

Erle im Bestand

Maximale relative Hinderniszahl = 8

Höhenbereich	Baumhöhe in Meter				
	0—2	2—4	4—5.5	5.5—6.5	6.5—7 >7
>7					4
6.5—7				5	5 8
5.5—6.5				4	8 5
4 —5.5			4	6	3 1
2 —4		3	3	1	1 1
0 —2	2	1	1	1	1 1

Erle am Bestandsrand

Maximale relative Hinderniszahl = 8

>7					4
6.5—7					5 8
5.5—6.5				4	8 8
4 —5.5			4	8	7 6
2 —4		4	7	6	5 4
0 —2	4	4	4	3	2 2

Sitka-Fichte im Bestand

Maximale relative Hinderniszahl = 10

>7					8
6.5—7					9 10
5.5—6.5				8	10 10
4 —5.5			8	10	10 10
2 —4		8	10	9	9 9
0 —2	8	9	9	9	8 8

Sitka-Fichte am Bestandsrand

Maximale relative Hinderniszahl = 10

>7					8
6.5—7					9 10
5.5—6.5				9	10 10
4 —5.5			9	10	10 10
2 —4		9	10	10	10 9
0 —2	9	10	10	9	9 9

Wir erläutern die Tabelle am Beispiel einer 6.5 bis 7 m hohen Erle im Bestand. Bei dieser Erle erhält die Stufe von 6.5 bis 7 m die Hinderniszahl 5, die von 5.5 bis 6.5 m die Zahl 8, die von 4 bis 5.5 m die Zahl 3. Die unteren Stufen des blattlosen Stammraumes erhalten die Hinderniszahl 1.

Abänderungen bzw. zusätzliche Annahmen sind erforderlich, wenn nicht nur 1 Stamm, sondern mehrere auf der Einheitsfläche stehen. In diesem Falle werden die Kronen der dünnen Stämme eine Hinderniszahl erhalten, die einem niedrigeren Baum entspricht. Wir verfahren in folgender Weise:

1. Sämtliche Stämme mit einem Durchmesser von 5 oder mehr Zentimeter erhalten mit der angegebenen Höhe das volle Gewicht.
2. Von den Stämmen mit weniger als 5 cm Durchmesser erhält die Hälfte das volle Gewicht der übernächsten Höhe.

Stehen auf der Einheitsfläche mehrere Stämme mit einem Durchmesser von weniger als 5 cm, so gilt:

1. 1 Stamm erhält das volle Gewicht seiner Höhenklasse.
2. Alle andern Stämme erhalten das volle Gewicht der nächstniederen Höhe.

Die Einführung der Regeln wie überhaupt die ganze Festlegung der Hinderniszahlen nach Höhe, Baumart und Form mag willkürlich erscheinen. In der Tat enthält das Verfahren grobe Vereinfachungen. Zu beachten ist jedoch, daß es erst nach genauer Besichtigung von weit über Zehntausenden in Windschutzstreifen stehenden Bäumen entwickelt worden ist.

In der beschriebenen Weise werden die Hinderniszahlen für jeden Baum berechnet. Dann lassen sich Meter für Meter die Hinderniszahlen für die Gesamtheit der im Schutzstreifen vorhandenen Baumreihen errechnen, und zwar für die verschiedenen Höhenstufen. Die Hinderniszahl für einen Meter Breite und die Höhenstufe von 0—2 m setzt sich aus den Hinderniszahlen für jeden einzelnen Quadratmeter des mehrreihigen Schutzstreifens zusammen. Entsprechendes gilt für die andern Höhenstufen. Als Beispiel wird die Berechnung der relativen Hinderniszahlen für Einheitsquerschnitt „149 Meter“ gebracht. Sie ist in der Tabelle 3 niedergelegt.

Tab. 3 Windschutzstreifen III:

Reihe	Relative Hinderniszahlen für Einheitsquerschnitt 149 Meter					
	Höhenbereich (m)					
	0—2	2—4	4—5.5	5.5—6.5	6.5—7	7
1	12	23	21	20	13	4
2	7	3	—	—	—	—
3	2	3	—	—	—	—
4	2	2	6	12	8	—
5	—	—	—	—	—	—
6	11	18	21	9	—	—
Summe	34	49	48	41	21	4

So sind die Werte für den 30 m breiten Ausschnitt des Schutzstreifens III entstanden und in der Abb. 5 unten niedergelegt worden. Aus den Meter für Meter gewonnenen Werten errechnen wir den Durchschnitt der Hinderniszahlen für den ganzen Schutzstreifenabschnitt.

Die Hinderniszahlen geben ein schwaches Maximum für die Höhe von 2—4 m. Im übrigen widersprechen die

geringen Unterschiede im Bereich vom Boden bis zum oberen Drittel der Baumhöhe nicht der Tatsache, daß der Schutzstreifen in diesem Höhenbereich gleichmäßig aussieht. Abb. 6 bestätigt diese Behauptung. Sie zeigt als Beispiel einen Schutzstreifen im unbelaubten Zustand.



Abb. 6
Blick auf Schutzstreifen II aus 24 m Entfernung



Abb. 7
Blick auf die untersten 2—3 m des Schutzstreifens II



Abb. 8
Blick auf den Schutzstreifen IV

Es kam uns bei der Schilderung des Verfahrens hier nur auf das Grundsätzliche an. Die Analyse mit der Berücksichtigung der Höhenstufen konnte nicht für alle Streifen durchgeführt werden. Der Windschutzstreifen

IV (Lageplan usw. Abb. 11a) hätte bei der Analyse ein wesentlich anderes Bild gegeben. Wegen seines hohen Fichtenanteils sind die relativen Hinderniszahlen vor allem in den unteren Partien wesentlich größer. Man vergleiche dazu Abb. 7, die die unteren 2 m des Schutzstreifens II wiedergibt, mit Abb. 8 (Schutzstreifen IV).

Die relativen Hinderniszahlen können als Maß für die Durchlässigkeit der Schutzstreifen gedeutet werden. Große Hinderniszahlen bedeuten geringe Durchlässigkeit. Sicherlich gibt es einen oberen Schwellwert, über den hinaus es gleichgültig ist, ob die Hinderniszahlen noch weiter anwachsen. Der Schutzstreifen ist dann eben undurchlässig.

2.2. Versuch einer Analyse von Windschutzstreifen nach Rauigkeit ihrer Obergrenze

Nach den Richtlinien für Windschutz (3) bieten die Streifen dann besten Schutz, wenn sie

1. locker, d. h. winddurchlässig sind,
2. schmal und steil, also weniger tief sind,
3. ein stark gegliedertes Kronendach haben (keine glatte Firstlinie).

Als Idealtyp eines hohen Schutzstreifens gilt die einreihige Baumhecke, als Idealtyp eines niedrigen Schutzstreifens die einreihige Strauchhecke. Nach Punkt 3 ist die Wirksamkeit beider Typen um so größer, je ungleichmäßiger oder rauher die Obergrenze der Schutzstreifen ist. Diese zusätzliche Wirkung einer mehr oder weniger gezahnten (rauen) Obergrenze des Schutzstreifens muß mit besonderen Strömungsverhältnissen an der aufgerauhten Obergrenze (Firstlinie) der Schutzstreifen zusammenhängen. Vermutlich sind die stets an Hindernissen entstehenden Turbulenzkörper an aufgerauhten Schutzstreifen größer als an Streifen mit glatter Firstlinie. Ein Maß für die Rauigkeit von Windschutzstreifen gibt es bisher nicht, bzw. konnte nicht in der Literatur gefunden werden. Wir möchten diese Lücke mit einem Vorschlag schließen, der eine Vergleichbarkeit der an verschiedenen Objekten gewonnenen Windprofile eher ermöglicht.

Wir werden noch sehen, wie die Höhe der von uns untersuchten Schutzstreifen Meter für Meter vermessen wurde (Abb. 12). Die bei diesen Messungen gewonnenen unterschiedlichen Höhen sind schon ein Anhaltspunkt für die unterschiedliche Rauigkeit der Schutzstreifen. Wollen wir aber vergleichende Betrachtungen anstellen, so müssen wir bestimmte Definitionen einführen, um dann rechnen zu können. Eingehende Betrachtungen der verschiedensten Schutzstreifen legten den Gedanken nahe, die Rauigkeit der Schutzstreifen (erkennbar in der gezahnten Firstlinie) durch die Anzahl der Spitzen und Einschnitte (Extreme) und durch den Höhenabstand von 2 Extremen (Amplitude) auszudrücken. Wegen des allgemeinen Baumabstandes von mindestens 1 Meter wird vereinbart, daß zwei Extreme auch mindestens 1 Meter auseinander liegen. Die mittlere Schutzstreifenhöhe sei definiert durch das Mittel der mittleren Extreme:

$$H = \frac{Ma + Mi}{2}$$

Die Gesamtheit der Extreme sei i . Es gibt also $i/2$ Maxima und $i/2$ Minima auf der gesamten Länge des Schutzstreifens. Die mittlere Amplitude wird damit:

$$A = \frac{2 \cdot \left\{ \sum_{k=1}^{i/2} Ma_k - \sum_{k=1}^{i/2} Mi_k \right\}}{i - 1} = (Ma_1 - Mi_{i/2})$$

Nun lassen sich 2 Begriffe ableiten, die offenbar für die wirksame Rauigkeit wesentlich sind:

1. Das Verhältnis der Amplitude zur Schutzstreifenhöhe. Wir nennen es

$$a = \frac{A}{H}$$

Es gibt einen Wert von a , der eine maximale effektive Rauigkeit ergibt. Er heiße α .

2. Das Verhältnis der mittleren Amplitude zum mittleren Abstand zweier Extreme. Abb. 9 zeigt, daß die Firstlinie offenbar dann am rauhesten wirkt, wenn sie von Extrem zu Extrem mit einer Neigung von 45 Grad verläuft. Ist die Neigung geringer, so wird der Schutzstreifen glatter. Ist die Neigung größer, liegen also Extreme steiler zueinander, so wird der Schutzstreifen lückiger. Damit wird bereits in die Durchlässigkeit eingegriffen. Wir erkennen, daß sich Rauigkeit und Durchlässigkeit nicht streng voneinander trennen lassen. Das Neigungsmaß bestimmen wir aus der mittleren Amplitude und dem mittleren Abstand zwischen 2 Extremen (L = Gesamtlänge des Schutzstreifenabschnittes, $i-1$ = Zahl der Abstände zwischen den Extremen).

$$n = \frac{A}{L/i-1} = (i-1) \cdot \frac{A}{L}$$

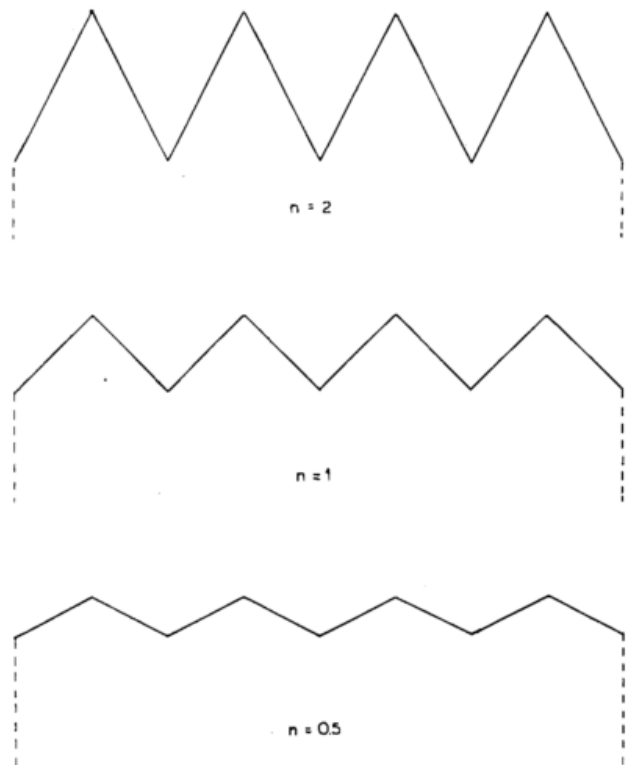


Abb. 9
Unterschiedlicher Firstlinienverlauf von Schutzstreifen

Da eine mittlere Neigung von 45 Grad zwischen den Extremen der Firstlinie die größte effektive Rauigkeit ergibt, müßten für diesen Fall die Werte der rechten Seite der Gleichung so gewählt werden, daß $n = 1$ wird (Maximum). Dabei wäre $a = \alpha$. Folgende Gleichung erfaßt die effektive Rauigkeit R eines Schutzstreifens unter Berücksichtigung der in der Natur vorkommenden Grenzfälle:

$$R = R_{Max} - \frac{(n-1)^2 + \left(\frac{a}{\alpha} - 1\right)^2}{2}$$

Für Einzelfälle ergibt sich:

1. $n = 0$, $a = 0$, es ist keine Rauhmigkeit vorhanden.
Bei $R_{Max} = 1$ ist $R = 0$.
2. $n = 1$ und $a = \alpha$. Dann wird die Rauhmigkeit am größten. Es folgt $R = R_{Max}$.
3. n und a verhältnismäßig groß, nämlich $n = 2$, dann ist ebenfalls $R = 0$.

Wir erkennen also, daß die Formel wiedergibt, wie die effektive Rauhmigkeit von geringen Werten bei annähernd glatter Firstlinie über den Höchstwert bei einer gleichmäßigen Zahnung bei stärkeren Einschnitten wieder abnimmt. Bei der Anwendung auf Windschutzstreifen II und III (Lageplan usw. Abb. 11a) ergeben sich folgende Ausgangswerte:

Windschutzstr.	A(m)	H(m)	L(m)	i	a	n
II	1.16	7.46	153	78	0.156	0.583
III	1.35	7.30	156	88	0.185	0.753

Danach läßt sich R als Funktion von α bestimmen (bei $R_{Max} = 1$).

Es entsteht die folgende Tabelle:

α	R_{II}	R_{III}	R_{II}/R_{III}
0.1	0.756	0.61	1.24
0.2	0.889	0.942	0.94
0.3	0.798	0.897	0.89
0.4	0.726	0.826	0.88
0.5	0.676	0.772	0.88
0.6	0.639	0.732	0.87
0.7	0.611	0.700	0.87
0.8	0.590	0.674	0.87
0.9	0.571	0.654	0.87
1.0	0.557	0.639	0.87
1.2	0.534	0.613	0.87
1.4	0.518	0.595	0.87

Übersteigt α den Wert 0.3, so kommt es bei einem Vergleich der Rauhmigkeit von Windschutzstreifen nicht mehr auf α an.

Vielleicht gelingt es, den Wert experimentell zu bestimmen. Für eine Bestimmung in der Natur sind die Schwierigkeiten wohl zu groß. Stimmt unsere Betrachtungsweise, dann hat der Schutzstreifen II eine um etwa 12% geringere Rauhmigkeit als der Streifen III, der demnach nicht nur die größte Durchlässigkeit (Tab. 1), sondern auch die größte Rauhmigkeit aufweist.

3. Die Feststellung der Windstärkeverteilung im Einflußbereich von Schutzstreifen verschiedenen Aufbaus

3.1. Anlage der Untersuchung

3.1.1. Allgemeine Forderungen an ein Versuchsfeld

Wir haben in der Einleitung bereits die Bedingungen beschrieben, die an ein Versuchsfeld zu stellen sind, wenn die gewonnenen Ergebnisse verallgemeinert werden sollen. Wir stellen sie nochmals heraus:

1. Die zur Vermessung vorgesehenen Schutzstreifen müssen genügend hoch sein, nämlich mindestens 5 m, besser 7 m. Je niedriger ein Schutzstreifen ist, um so niedriger müßte man auch die Windmesser aufstellen, wenn man die windschwächende Wirkung des Streifens auf seine Umgebung messend erfassen will. Bei niedriger Instrumentenaufstellung wirken aber dann die Zufälligkeiten der Bodenbewachung und der übrigen Unebenheiten verfälschend. Im allgemeinen gibt man einer Meßhöhe von 1.50 m den Vorzug. Diese Mindest-

höhe wiederum erfordert eine ausreichende Höhe der zu vermessenden Schutzstreifen. Von einem Schutzstreifen, der die Höhe von 1.50 m nicht weit überragt, kann man keinen großen Einfluß auf das Niveau der Meßhöhe erwarten. Durch die Forderung einer Mindesthöhe scheidet ein großer Teil der gegenwärtig im Emsland vorhandenen Schutzstreifen für unsere Untersuchung aus. Viele Streifen sind erst vor kurzem angepflanzt oder auf Stock gesetzt worden.

2. Die Schutzstreifen sollen möglichst senkrecht zur Hauptwindrichtung verlaufen, also etwa von Norden nach Süden.

3. Die Schutzstreifen sollen verschieden dicht sein, damit vergleichende Messungen möglich werden. Will man dies erreichen, so wird es sich empfehlen, für die Untersuchung einen möglichst langgestreckten und gleichzeitig dichten Streifen auszuwählen. Durch Holzausschlag wird dann der lange Streifen in verschieden dichte Abschnitte unterteilt, in deren Bereich die Windmessungen vor sich gehen können. Gleichzeitig wird damit die Bedingung erfüllt, daß an den verschieden dichten Streifen bei gleichen Witterungsbedingungen und gleicher Windrichtung gemessen werden kann.

4. Der Schutzstreifen soll auf seiner Ostseite (Lee-seite) an ein ausreichend weites, baumloses und ebenes Feld angrenzen. Damit sind die bei Westwind aufgestellten Verhältnisse nur auf den zu untersuchenden Windschutzstreifen und nicht auf andere Hindernisse zurückzuführen.

5. Ein Betreten der Äcker läßt sich nicht vermeiden. Die Grundbesitzer müssen also ihr Einverständnis zu den Messungen erklären.

6. Der belaubte Zustand kann nur im Spätsommer vermessen werden, wenn kein Getreide mehr auf den Feldern steht. Der unbelaubte Zustand kann im Spätherbst oder Winter vermessen werden.

7. Die Schutzstreifen dürfen keine größeren Lücken (Winddüsen) aufweisen.

Die gestellten Bedingungen schränken die Zahl der für die vergleichende Untersuchung geeignet erscheinenden Schutzstreifen ganz erheblich ein. In der Tat wird man auf der Suche nach einem geeigneten Objekt immer bescheidener und kommt schließlich nicht ohne Zugeständnisse aus. Der von uns ausgesuchte Schutzstreifen verläuft im allgemeinen von NNE nach SSW, also schon etwas verdreht zur Hauptwindrichtung. Andere Nachteile von geringerer Bedeutung werden bei der Besprechung der Versuchsanordnung erwähnt.

3.1.2. Landschaft Sustrumer und Walchumer Moor

Die für die Untersuchung ausgewählten Schutzstreifen liegen im Walchumer Moor und im angrenzenden Sustrumer Moor. Abb. 10 gibt den Kartenausschnitt wieder. Die Schutzstreifen mit den zugehörigen Ländereien sind umrandet worden. Das südliche der beiden Rechtecke gehört zum Sustrumer Moor. Das Untersuchungsgebiet liegt westlich der Ems, etwa 15 km nordwestlich von Lathen. Im Kartenausschnitt ist links oben das Zollhaus Hasselberg an der holländischen Grenze zu erkennen. Die Windmessungen wurden in erster Linie auf der Ostseite des längs durch den oberen Kartenausschnitt laufenden Schutzstreifens vorgenommen. Das ganze Gebiet gehörte früher zur Gemarkung der beiden sogenannten Altdorfer Walchum und Sustrum, die sich von diesen Dörfern aus bis zur holländischen Grenze erstreckte. Während das Walchumer Moor schon vor längerer Zeit unter Kultur genommen worden ist, wird das Sustrumer zur Zeit umgebrochen. Entsprechend finden wir im Walchumer Moor schon ältere Windschutzanlagen, während das

Sustrumer Moor teilweise noch ursprünglichen Charakter hat und sich durch seine Weite auszeichnet. Hier entwickelt der Wind noch ungehindert seine volle Stärke. Manche Tümpel erinnern an eine Zeit, in der der Sustrumer Bauer hier seinen Torf stach. Das Walchumer Moor macht den Eindruck einer Kulturland-

schaft. Es ist von Windschutzstreifen und Gehöften durchsetzt. Alles ist gefluchtet, die Gräben, die Schutzstreifen und die landwirtschaftlichen Parzellen. In den Abbildungen wird nicht zwischen den beiden Mooren unterschieden.



Abb. 10
Meßfelder im Walchumer Moor und im Sustrumer Moor
(umrandet) Planquadrat = 1000 x 1000 m.

3.1.3. Das Versuchsfeld

Abb. 11a und 11b geben die Versuchsanordnung wieder. Die Laubbäume des auf Walchumer Gebiet fallenden Streifens waren 1945 durch wilden Einschlag auf Stock gesetzt worden. Der Nachwuchs hatte also bereits wieder ein Alter von 10 Jahren erreicht. Der Schutzstreifen entsprach damit einer Streifenform, wie sie in einigen Jahren für weite Bezirke des Emslandes typisch sein wird. Der nördliche Teil des auf Sustrumer Gebiet fallenden Streifens befand sich noch im Jugendstadium, während der Laubholzanteil des Südens im Winter 1954/55 auf Stock gesetzt worden war.

Wie wir bereits gesehen haben, sind gesonderte Analysen der Schutzstreifen erforderlich, wenn wir nach vorgenommenen Messungen die Schutzstreifenform in Beziehung zu ihrer windschwächenden Wirkung bringen wollen. In unserem Fall mußte die Analyse vorweggehen, als Voraussetzung für die Aufstellung eines Abschlagplanes. Mit Hilfe des Planes ließ sich dann der ursprünglich vielreihige langgezogene Schutzstreifen in einen dreireihigen (Abschn. III), einen vierreihigen (II) und einen siebenreihigen (V) unterteilen. Ein weiterer Abschnitt wurde im ursprünglichen Zustand belassen, d. h. es wurde nur seine Anlage bestimmt (Abschnitt IV). Abb. 11a und 11b zeigen die Einzelheiten über Lage und Art der Streifenabschnitte und die Aufstellung der verschiedenen Instrumente. Die Angaben der Tabelle 4 erläutern die Lagepläne näher. In diesen Abbildungen sind die untersuchten Streifen durch kräftigeren Linienzug herausgehoben. Auf dem Nord- und Südende jedes Schutzstreifenabschnittes ist die Reihenzahl durch entsprechende Schraffur angegeben. Hierbei steht eine dicke Linie für eine Reihe Sitkafichten, eine dünne für eine Reihe Laubholz oder Lärchen. Die einzelnen Abschnitte des Schutzstreifens wurden durch römische Ziffern, die einzelnen Windmesser im jeweiligen Schutzbereich durch arabische Zahlen bezeichnet. Die unter Abschnitt I fallenden 4 Instrumente liegen zwischen 2 in 100 m Entfernung voneinander verlaufenden Schutzstreifen. Sie sollten Ergebnisse über die Wirkung paralleler Streifen auf die Windstärke bringen. Weitere Einzelheiten gehen aus der Tabelle 4 hervor.

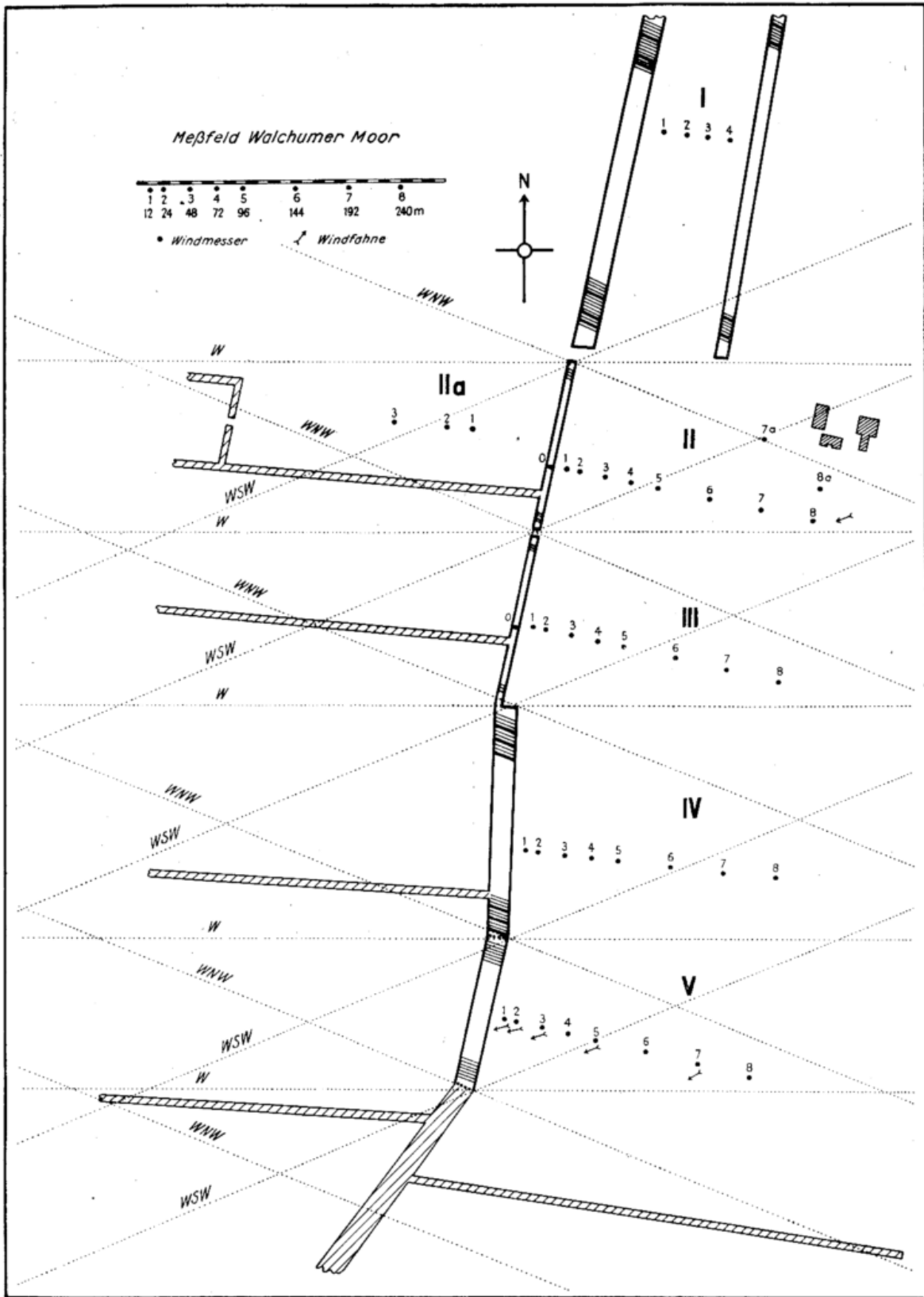


Abb. 11a
Meßfeld Walchumer Moor

Bei der Betrachtung der Tabelle fällt die große Zahl der Höhenmessungen bei den Schutzstreifenabschnitten (in der Folge oft einfach als Schutzstreifen bezeichnet) II und III auf. So konnte eine größere Genauigkeit des Mittelwertes erreicht und die Frage der Rauigkeit der Firstlinie bearbeitet werden. Durch das Ausholzen war eine aufgerauhte Firstlinie entstanden. Diese Verände-

rung gegenüber der im mehr oder weniger ursprünglichen Zustand der Schutzstreifen (Abschnitt IV und V) ziemlich glatten Firstlinie war nicht vorausgesehen worden. Sie führte zu gewissen Schwierigkeiten beim Vergleich zwischen den Schutzstreifen, weil nun nicht mehr ausschließlich die unterschiedliche Dichte, sondern darüber hinaus auch die unterschiedliche Rauig-

keit der Firstlinien mit in die Ergebnisse der Messungen eingehen mußte. Die Höhenmessungen an den Streifen II und III wurden mit einer eigens angefertigten Meßplatte vorgenommen, die zu jeder Einzelmessung um einen Meter versetzt wurde (siehe Abb. 12).

Für die übrigen Schutzstreifen genügten wenige Höhenbestimmungen, um zu einem gesicherten Mittelwert zu kommen. Als mittlere Höhe aller Schutzstreifen (West I, II, III, IV, V) zusammengenommen ergibt sich 7,4 m. Nach diesem Grundmaß abzüglich der Aufstellungshöhe der Windmesser wurden die einzelnen Windmesser in den verschiedenen Streifenbereichen aufgestellt wie üblich in Entfernungen, die einem Vielfachen des Grundmaßes entsprechen. Die Entfernungsangaben im Text und auf den Abbildungen sind aber stets als Vielfaches der Höhe 7,4 m zu nehmen. Zu dem einheitlichen Entfernungsmaß für alle Streifen haben wir uns wegen der erwähnten unterschiedlichen Rauigkeit entschlossen, die doch eine strenge Vergleichbarkeit der



Abb. 12
Blick auf Schutzstreifen III zur Zeit der Höhenbestimmung, Entfernung 100 m

Tab. 4 Angaben zur Charakterisierung der untersuchten Schutzstreifen
(Lage der Streifen siehe Abb. 11a und Abb. 11b).

Richtungsverlauf der Schutzstreifen	I Ost	I West	II	III	IV	V	VI
in Grad rechtweisend	10	12	12	12	3	12	35
Länge der Schutzstreifen in Meter	420	420	160	157	210	140	155
Mittlere Höhe der Schutzstreifen in Meter	7,3	6,4	7,4	7,2	7,8	7,1	8,3
Anzahl der Einzelmessungen, nach der die mittlere Höhe errechnet wurde	15	15	160	157	8	8	16
Breite der Windschutzstreifen in Meter (einschl. Graben und teilweise gelichteten Reihen)	21	21	7	7	21	21	Nord 7 Süd 3
Breite und Reihenzahl nach Abzug Grabenbreite und unter Berücksichtigung Holzausschlag	—	—	4	3	10	7	—

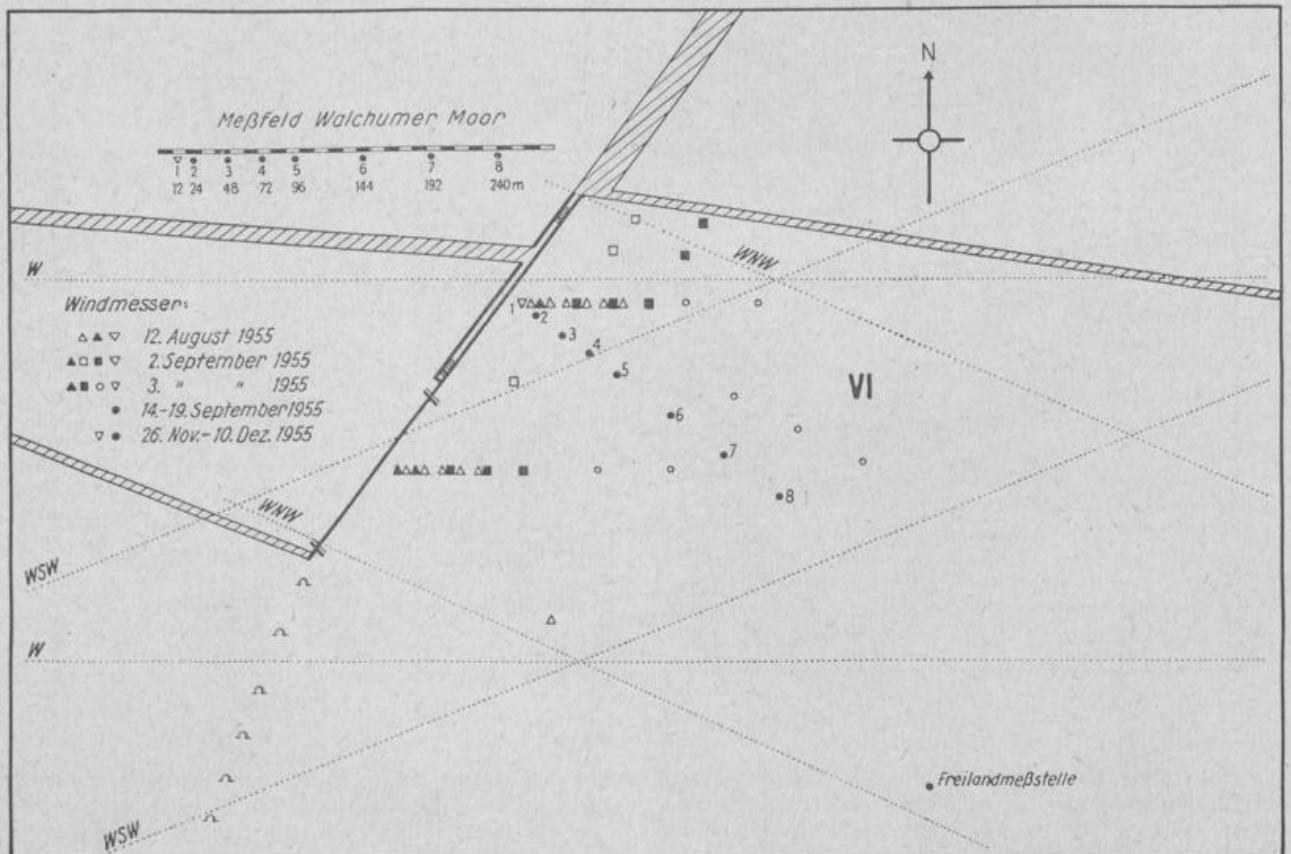


Abb. 11b
Meßfeld Walchumer Moor/Sustrumer Moor
(Südlicher Abschnitt)

Resultate ausschloß. Wir werden aber an gegebener Stelle noch den Fehlerbereich abschätzen, mit dem wir unsere Ergebnisse zu beurteilen haben. Nach der Literatur (3) haben aufgerauhte Streifen eine weiterreichendere Wirkung als Streifen mit glatter Firstlinie. Aus diesem Grunde dürfte der Vorteil, den der dicke Schutzstreifen IV infolge seiner größeren Höhe hat, wieder durch die ihm fehlende Rauhhigkeit ausgeglichen werden. Vor allem aus diesem Grund schien sich die Einführung eines einheitlichen Grundmaßes für die Aufstellung der Windmesser und für die Berechnung der windschwächenden Wirkung der verschiedenen Schutzstreifen zu empfehlen. Unterschiedliche Wirkung der Schutzstreifen ist damit in erster Linie auf ihre unterschiedliche Dichte und nicht auf andere Eigenarten zurückzuführen. Ein weiterer Grund für die Wahl des gleichen Windmaßes für alle Schutzstreifen soll nicht verschwiegen werden. Die genaue Höhenmessung aller Streifen konnte erst nach Beginn der Messungen durchgeführt werden. Die vorher im üblichen Stichprobenverfahren gewonnenen Höhenwerte lagen bei 7,4 m für alle Streifen.

Tab. 5 gibt den Abstand der in Abb. 11a und 11b eingezeichneten Meßpunkte von den Schutzstreifen wieder, und zwar in Meter und in Streifenhöhen. Nur bei Meßfeld I wurden die 4 Windmesser im Abstand von 20 m aufgestellt. Eine Aufstellung in Abständen von Einheiten der Streifenhöhen erschien hier wegen des geringen Abstandes zwischen den Streifen wenig sinnvoll. Die in der Abb. 11a verzeichneten Meßpunkte 7a und 8a des Meßfeldes II dienen der Abschätzung von Störeffekten durch die eingezeichneten Gehölfe. Entsprechendes galt für die 3 Windmesser im Meßfeld IIa. Die schutzstreifenfernen Windmesser Nr. 8 der 4 Hauptvergleichsfelder II bis V lagen in einem Abstand von 240 m von den Schutzstreifen. Nach den bisher bekannten Erfahrungen herrschen in dieser Entfernung schon fast Freilandwindverhältnisse. Für gewisse Vergleiche wurde auch auf eine Freilandstation zurückgegriffen, die sich im Sustrumer Moor, etwa 800 m von den nächsten Schutzstreifen entfernt, befand. Die Kette der Meßpunkte liegt nicht auf der Mittelsenkrechten des zugehörigen Schutzstreifens. Gräben, Zäune und Feldeinteilungen machten einige Verschiebungen unvermeidbar.

Tab. 5 Abstand der Meßpunkte von den Windschutzstreifen, ausgedrückt in Meter und in Schutzstreifenhöhen.

Meßpunkt:	1	2	3	4	5	6	7	8
A in Meter	12	24	48	72	96	144	192	240
A in Streifenhöhen	1,6	3,2	6,5	9,5	13	19,5	26	32

Nach Tab. 4 betrug die ursprüngliche Breite der wichtigsten Schutzstreifen 21 m. Hierbei ist die im Streifen verlaufende Grabenbreite eingeschlossen. Rechnet man diese ab, so kommt man auf eine ursprüngliche Gesamtbreite von 10 Meter. Bei der Breitenangabe ist auch nur für jede Baumreihe das Anlagestadium zugrunde gelegt, d. h. also eine Standweite von 1 m. Es ist nicht berücksichtigt, daß Bäume der beiden Außenreihen und auch der an den Gräben angrenzenden Reihen ihre Zweige über die Grenzen hinausragen lassen. Die im Idealzustand 4 m breite vierreihige Reihe hat außerdem bei uns eine Breite von 7 m. Das hängt mit der großen Zahl der ausgefallenen Bäume zusammen. In ihrer Dichte entspricht unsere 7 m breite Anlage aber einer vierreihigen, wenn man noch davon absieht, daß gewisse Unterschiede zwischen einer natürlich gewachsenen vierreihigen Anlage und einer durch Holzabschlag hergestellten bestehen. Wir weisen nur nochmals darauf, daß es keine vierreihig

angelegten Streifen gibt, die diese Eigenschaft auch beibehalten hätten. Entsprechendes gilt für die übrigen Schutzstreifenabschnitte.

Einige Abbildungen bringen uns die Versuchsflächen noch näher. Abb. 12 vermittelt einen Eindruck von dem gelichteten Laubholzstreifen III. Auf die in der Mitte des Bildes zu sehende Meßlatte zur Höhenbestimmung wurde schon hingewiesen. Abb. 13 ist der Blick über die Meßfelder, aufgenommen vom Punkt IIa aus. Auf der rechten Seite der Abbildung zieht sich der Schutzstreifen hin. Die Unterteilung in die verschiedenen Abschnitte läßt sich nicht erkennen. Wohl aber kommt die ebene Beschaffenheit und die Weite der für die Aufstellung der Windmesser zur Verfügung stehenden Fläche zur Auswirkung.

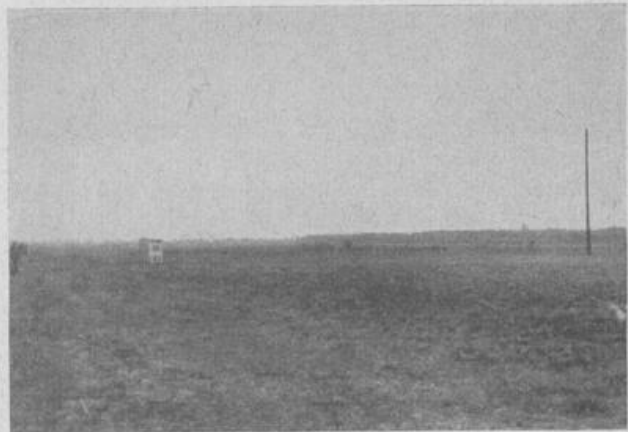


Abb. 13

Blick über die zu den Schutzstreifen II—V gehörenden Meßfelder. Vorn rechts: Windmesser II/8a (siehe Lageplan Abb. 11a). Bei der Klimahütte: Ende des Meßprofils II.

Abb. 14 zeigt rechts die westliche Hälfte des Schutzstreifens II und III, links davon der Trennungsgaben, davon links den abgeholzten Teil des Streifens.



Abb. 14

Blick entlang der Schutzstreifenabschnitte II und III

Abb. 15 gibt einen Eindruck von der durch Ausschlag der Sitkafichten entstehenden Schneise. Die schon früher gebrachte Abb. 4 gibt den Blick auf die Nahtstelle zwischen Schutzstreifen VI Süd (Laubbäume im vorangegangenen Winter auf Stock gesetzt) und Abschnitt VI Nord wieder. In Abb. 8 haben wir einen Ausschnitt des dichten Schutzstreifens IV im unbelaubten Zustand. Im belaubten Zustand sieht er gleichförmig dicht aus. Im unbelaubten fällt die große Unregelmäßigkeit und unterschiedliche Höhe der Sitkafichten auf. Hingegen

wirkt Schutzstreifen V (Sitkafichte abgeschlagen) wesentlich gleichmäßiger. Zum Vergleich bringen wir noch eine Abbildung des Streifens II (vierreihig im unbelaubten Zustand Abb. 16). Man erkennt seine größere Durchlässigkeit.



Abb. 15
Ausgeschlagene Sitka-Fichtenreihe des Schutzstreifenabschnittes III

Die Meßergebnisse im Bereich des Schutzstreifenabschnittes VI werden gesondert besprochen. Im belaubten Zustand ließen sich hier keine streng mit den übrigen Meßfeldern vergleichbare Messungen durchführen. Der Umbruch der Flächen war während der Untersuchung in vollem Gang. Auf den noch nicht umgebrochenen Flächen störten die ungleichmäßig hohen Bulten.



Abb. 16
Blick auf den Schutzstreifen II aus 30 m Entfernung.

3.1.4. Instrumentelles

Benutzt wurden Schalenkreuzwindmesser, die den Windweg angeben. Aus abgelesenem Windweg und der

zugehörigen Zeitspanne ergibt sich die mittlere Windgeschwindigkeit. Nach Windkanalmessungen des Instrumentenamts Nord des Deutschen Wetterdienstes können die Achsen der Windmesser bis zu 45 Grad von der Windrichtung abweichen. Trotzdem wird dann noch die richtige Windgeschwindigkeit gemessen. Da bei unseren Messungen die horizontale Windkomponente überwiegt, zeigen unsere Instrumente die richtige Windstärke an. Ein Einfall des Windes von über 45 Grad von oben auf die Geräte dürfte nur selten in einzelnen Böen vorkommen. Außerdem dürfte sich eine solche Erscheinung auf einen verhältnismäßig schmalen Bereich in der Nähe der Schutzstreifen beschränken. Die Schalenkreuze der Windmesser hatten eine Höhe von 1,50 m über Grund.

3.1.5. Dauer und Umfang der Messungen

Voruntersuchungen fanden statt am 12. August und am 2. und 3. September 1955. Die erste Hauptmeßzeit ging vom 14. September bis zum 2. Oktober und sollte die Windverhältnisse bei belaubten Windschutzstreifen klären. Die zweite Hauptmeßzeit begann am 26. November und endete am 10. Dezember 1955. Sie diente der Klärung der Verhältnisse beim unbelaubten Zustand der Schutzstreifen. Während der Voruntersuchungen wurden 618 Einzelablesungen, während der ersten Meßzeit 5342 und während der zweiten Meßzeit 4968 Ablesungen vorgenommen.

Tab. 6 Anzahl der im Einsatz gewesenen Instrumente

	Voruntersuchung	1. Hauptmeßzeit	2. Hauptmeßzeit
Windwegmesser	15	42	54
Windfahnen		6	6
Kontaktanemometer			1
Thermometerhütte		1	1
Thermograph		1	1
Hydrograph		1	1

Im allgemeinen wurde zweistündig in der Zeit von 8.00 Uhr bis 20.00 Uhr abgelesen. Für jeden Abschnitt stand ein Beobachter zur Verfügung. Das Abschreiben der Meßkette nahm etwa 10 Minuten in Anspruch.

3.1.6. Allgemeines über die Windverhältnisse im Emsland

Die allgemeinen Windverhältnisse im Raum Unterweser-Ems sind ziemlich einheitlich. Zu beachten ist die Abnahme der mittleren Windstärke mit zunehmender Entfernung von der Nordsee. Zur Charakterisierung der allgemeinen Verhältnisse im Untersuchungsraum stützen wir uns auf die langjährigen Beobachtungen der weiteren Umgebung. Nehmen wir für Walchum eine um 0,5 m/s geringere Geschwindigkeit an als für die 40 km entfernt in Holland gelegene Station Gees, so ergibt die folgende Windstärkeverteilung (Tab. 7).

Tabellen über die Windrichtungsverteilung in den einzelnen Monaten werden hier nicht gebracht. Hinzuweisen ist aber auf eine größere Häufigkeit der Ostwinde im Februar und März und auf eine Zunahme

Tab. 7 Mittlere Windgeschwindigkeit in m/s für Walchumer Moor (nach Angaben Gees/Holl. für eine Beobachtungshöhe von 6 m über Grund und für die Periode 1902—1930) und Häufigkeit R der Windrichtungen in %, gemittelt aus Angaben von Groningen (Holland) und Lönigen (1881—1925) (5).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
m/s	4.7	4.4	4.2	4.1	3.7	3.7	3.4	3.5	3.5	3.8	4.1	4.4	4.0
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C				
R %	8.0	9.4	10.4	9.4	9.8	22.7	14.0	13.5	2.7				

der Nordwinde im Mai. Die Ost- und Südostwinde im Spätwinter haben eine hohe mittlere Stärke und können daher erodierend auf die häufig stark angetrocknete oberste Bodenschicht wirken. Diese Verhältnisse sind bedeutsam, weil vor allem die nördlich ausgerichteten Windschutzstreifen nicht nur die häufig von Westen herwehenden Winde abschwächen, sondern weil sie gleichzeitig auch die austrocknende Wirkung der östlichen Winde vermindern.

3.1.7. Die Witterung während der Hauptmeßzeiten

Wetterablauf vom 18. September bis zum 2. Oktober 1955.

Am 18. IX. wanderte ein Hochdruckgebiet von Westen her nach Mitteleuropa. An seiner Nordseite strömte alternde Polarluft mit schwachem WNW-Wind ein. Das Hochdruckgebiet kräftigte sich und führte zu freundlichem frühherbstlichem Wetter mit hohen Mittagstemperaturen und kühlen Nächten. Bis zum 23. blieb es bei südöstlichen Winden heiter bis wolkig. Am 24. IX. wurde die warme Festlandluft rasch durch frische Polarluft ersetzt, deren Zustrom bei westlichen bis nordwestlichen Winden und geringer Schaueraktivität bis zum 28. anhielt. Am 29. griff das ostatlantische Hochdruckgebiet erneut auf Nordwestdeutschland über. Auf West drehende Winde führten bis zum 30. milde Meeresluft heran. Dann schwenkte eine Kaltfront über Norddeutschland und brachte leichten Temperaturreckgang bei erst stärkeren Schauern und dann nur noch vereinzelt Niederschlägen. Anschließend trat bis zum Ende der Meßzeit wieder Wetterberuhigung ein.

Wetterablauf vom 26. November bis zum 10. Dezember 1955.

Vom 26. bis zum 28. XI. blieb Nordwestdeutschland im Mischungsbereich milder atlantischer Luftmassen und kalter Festlandluft. Die Winde kamen aus West bis Nordwest. Zeitweise regnete es leicht. Mit Verstärkung eines Hochdruckgebietes über Südosteuropa setzte sich dann im Untersuchungsraum eine schwache Südströmung durch. Die Tagestemperaturen lagen etwas unter Null. Am 30. XI. frischte der Südwind stark auf. Es strömte sehr milde Meeresluft heran. Anschließend drehte der Wind auf WNW. Das insgesamt wechselhafte Wetter hielt an, bei Winden zwischen W und SW. Vom 6. bis 7. XII. herrschten zeitweise starke Westsüdwestwinde. Vom 7. zum 8. XII. überflutete polare Kaltluft ganz Deutschland. Böige Nordwestwinde brachten Schneegraupelschauer. Anschließend blieb es naßkalt. Am 10. XII. sprang der Wind zum erstenmal auf Nord.

3.2. Die Untersuchungsergebnisse

3.2.1. Windstärkeverteilung bei senkrecht zu belaubten und unbelaubten Schutzstreifen wehendem Wind

An Hand der Versuchsfeldbeschreibung haben wir uns ein Bild von der Verteilung der Windwegmesser im Gelände machen können. Die Geräte waren so aufgestellt worden, daß vor allem die Frage nach der Windstärkeverteilung bei senkrecht zu den Schutzstreifen wehendem Wind beantwortet werden konnte. Bei dieser Frage handelt es sich auch um das Kernproblem.

Bei der Nordnordost-Südsüdwest-Orientierung der Schutzstreifen treffen WNW- und ESE-Winde praktisch senkrecht, W- und E-Winde fast senkrecht auf die Schutzstreifen. Die Versuchsanordnung erlaubte es, bei westlichen Winden die Windstärkeverteilung auf den Leeseiten der Schutzstreifen festzustellen, bei östlichen Winden dagegen die der Luvseiten. Mit Hilfe der in den beiden Meßperioden gewonnenen Ergebnisse können die Verhältnisse im unbelaubten und im

belaubten Zustand der Schutzstreifen miteinander verglichen werden.

In den Abb. 17 bis 25 ist die Darstellung der Windverteilung in Prozent der Freilandwindstärke gewählt worden. Wegen der umfangreichen Kultivierungsarbeiten im Sustrumer Moor mußte während der Messungen im belaubten Zustand auf Errichtung einer unbeeinflussten Freilandstation verzichtet werden. Es wurde darum auf die Meßstelle 8 des Schutzstreifens V zurückgegriffen. Die Windgeschwindigkeiten an diesem Meßpunkt wurden gleich 100% gesetzt. Im unbelaubten Zustand waren die Kultivierungsarbeiten größtenteils zum Abschluß gekommen. Die fern von Hindernissen und Schutzstreifen gelegene Meßstelle VI/9 fand als Basisstation Verwendung. (Die Meßstelle liegt über 800 m von dem nächsten Schutzstreifen entfernt. In Abb. 11b muß man sich Meßstelle VI/9 weiter nach SW verschoben denken). Nur auf Abb. 19 bis 22 wurde der Vergleichbarkeit wegen auf Meßstelle V/8 als Basisstation zurückgegriffen.

Für die Diskussionen der folgenden Abbildungen werden einige Definitionen vorausgeschickt:

1. Das Gebiet bis zu einer Entfernung des 6-fachen der Schutzstreifenhöhe wird als streifennahes Gebiet bezeichnet.
2. Das in über 20-facher Entfernung der Schutzstreifenhöhe hinaus gelegene Gebiet ist das streifenferne Gebiet.
3. Zwischen dem streifennahen und dem streifenfernen Gebiet liegt das Zwischengebiet.

Zur Unterscheidung der in der folgenden Abbildung wiedergegebenen Windverhältnisse an den verschiedenen Schutzstreifen führen wir Signaturen ein:

- = 3-reihiger Schutzstreifen (III)
- = 4-reihiger Schutzstreifen (II)
- = 7-reihiger Schutzstreifen (V)
- = 10-reihiger Schutzstreifen (IV)

Belaubte Schutzstreifen

Wir betrachten Abb. 17 oben. Den angegebenen Prozentzahlen liegen Mittelwerte aus 36 Tagstunden zugrunde. Als Freilandwindstärke ergab sich eine Geschwindigkeit von 3,2 m/s. Wir erkennen:

Das Zwischengebiet und das streifenferne Gebiet unterscheiden sich für den 7- und 10-reihigen Schutzstreifen im belaubten Zustand nur wenig. Nur im streifennahen Gebiet und etwas darüber hinaus ist die durch die Sitkafichten bedingte Schutzwirkung etwas größer. Rein visuell unterscheiden sich die beiden Streifen im belaubten Zustand kaum voneinander, ihre optische Durchlässigkeit ist nahezu gleich.

Läßt man den Höhenunterschied von 0,7 m zwischen den beiden Streifen IV und V gelten, so wird die größere Schutzwirkung der 10-reihigen Anlage im streifennahen Gebiet durch eine bessere Schutzwirkung der 7-reihigen im Zwischengebiet etwas aufgehoben. In der Abb. haben wir zusätzlich eine strichpunktierte Linie eingezeichnet. Sie stellt eine leichte Stauchung der für Schutzstreifen IV geltenden Kurve dar, so daß damit die unterschiedliche Höhe der beiden Streifen eliminiert wird. Anders ausgedrückt, wäre der Streifen IV auch nur 7,10 m hoch gewesen, so hätte sich annäherungsweise der strichpunktierte Verlauf der Windverteilungskurve ergeben. Bei den weiteren Betrachtungen nehmen wir die Verschiebungen nicht mehr vor. Grundsätzlich kann gesagt werden, daß die Windschwächung des dichtesten Streifens eher etwas günstig als zu ungünstig herausgestellt worden ist. Zu einem ganz strengen Vergleich können wir wegen der

unterschiedlichen Rauigkeit der Firstlinien der Schutzstreifen nicht kommen. Insgesamt gesehen bleibt der durch die nicht zu vermeidende Einführung einiger Annahmen mögliche Fehlerbereich sehr gering.

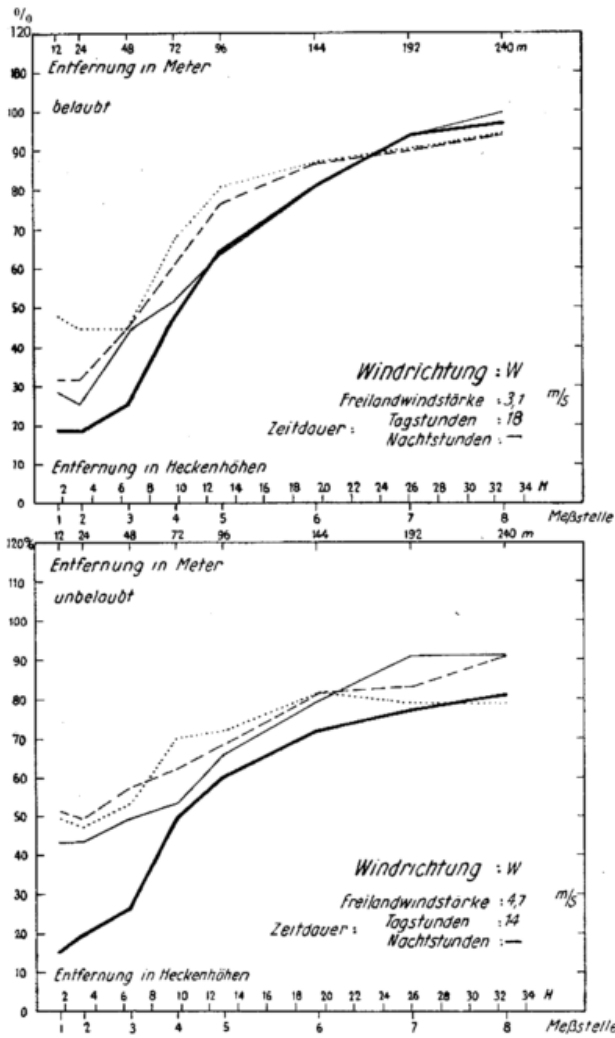


Abb. 17

Windverteilung in Prozent des Freilandwindes bei senkrecht auf die Schutzstreifen treffendem Wind.

Von den durchlässigen Streifen zeigt der 3-reihige den geringeren Windschutz. Am Streifen selbst wird sogar ein kleines Windmaximum beobachtet, das für die große Durchlässigkeit des Schutzstreifens spricht. Im streifenfernen Gebiet des Schutzstreifens III gibt die Abbildung eine vergleichsweise größere Windschwächung wieder. Diese Erscheinung ist aufstellungsbedingt und darum nicht repräsentativ. Das streifenferne Gebiet im Meßfeld III war mit Futterrüben bepflanzt, die selbst nach einer geringen Höherstellung der Geräte noch ihren Einfluß bewahrten. Bei Westwind ist bei fast gleicher Freilandwindstärke eine der eben besprochenen ähnliche Windstärkeverteilung zu beobachten (Abb. 18). Das angedeutete sekundäre Windmaximum im 6-fachen Streifenhöhenabstand des Streifens III ist durchaus reell und auch schon bei anderen einschlägigen Untersuchungen festgestellt worden (7). Wenn es an den übrigen Schutzstreifen fehlt, so liegt dies wahrscheinlich an den bei Westwind bereits die Ereignisse etwas beeinflussenden Querwindschutzstreifen auf der Luvseite der Anlagen.

Über alle Windschutzstreifen betrachtet, bringt im belaubten Zustand der durchlässigste Streifen den geringsten, der dichteste Streifen den größten Windschutz. Dabei kommt die große Windschwächung des

dichtesten Streifens vor allem im streifen nahen Gebiet zum Ausdruck. Im Zwischengebiet schiebt sich teilweise der 7 m breite Streifen V an die erste Stelle.

Unbelaubte Schutzstreifen

Abb. 17 und 18 zeigen unten die Windverteilung im unbelaubten Zustand der Schutzstreifen. Hier fällt besonders die große Windschwächung hinter 10-reihigen Schutzstreifen auf. Sie bleibt auch dann im Vergleich zu den übrigen Streifen vorhanden, wenn man die schon erwähnte größere Höhe des Streifens IV mit berücksichtigt. Man wird die größere Schwächung auf den Sitkafichtenanteil des Streifens IV zurückführen müssen. Die Auffassung steht anscheinend im Widerspruch zu den Angaben aus einschlägigen Arbeiten, die den dichteren Streifen nur für das streifen nahe Gebiet eine größere schwächende Wirkung zusprechen. Der Widerspruch löst sich aber, wenn wir nochmals einen Blick auf die Abb. 8 werfen. Die Fichten sind von sehr verschiedener Höhe und können keinesfalls wie eine Wand auf den anströmenden Wind wirken. Wie schon erwähnt, wurde für den unbelaubten Zustand eine ausgesprochene Freilandstation als Bezugspunkt genommen. Daher erreichen die Kurvenzüge nicht den Wert 100%. Im Zwischengebiet haben der 4- und 7-reihige Streifen angenähert die gleiche Windverteilung. Der 3-reihige weist dagegen einen geringeren Windschutz auf.

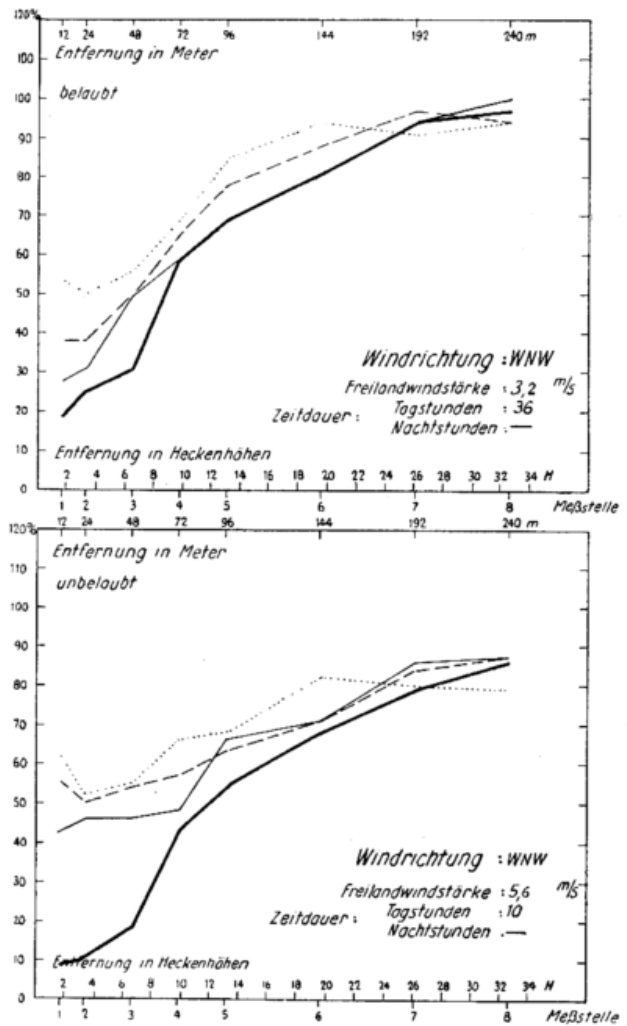


Abb. 18

Windverteilung in Prozent des Freilandwindes bei fast senkrecht auf die Schutzstreifen treffendem Wind.

Es befriedigt nicht ganz, wenn im belaubten und unbelaubten Zustand verschiedene Freilanddefinitionen

gewählt wurden. Aus diesem Grunde sind diejenigen Fälle ausgesucht worden, bei denen sich im Meßpunkt V/8 die gleiche Windgeschwindigkeit ergab, sowohl für den belaubten als auch für den unbelaubten Zustand. Es sind insgesamt 4 Fälle (8 Stunden). Abb. 19 bringt den Vergleich für den senkrecht zum Schutzstreifen wehenden Westnordwestwind. Im Großen und Ganzen ergibt sich das gleiche Kurvenbild, das man bei Mittelbildung über alle Windstärken erhält. Auffallend bleibt wiederum die große Windschwächung im Lee des dichtesten Schutzstreifens (IV) vor allem im unbelaubten Zustand. Im Zwischengebiet und im streifenfernen Gebiet verringern sich die Unterschiede erheblich. Bei Beachtung der größeren Höhe des Schutzstreifens IV würde sich im belaubten Zustand bei Westwind das Verhältnis der Windstärken in den Zwischengebieten der Streifen IV und V etwas verschieben. Hier würde dann der Streifen V etwas geringeren Wind aufbringen. Die relativ niedrigen Werte des Schutzstreifens III im streifenfernen Gebiet haben wir schon auf die dort angebauten Futterrüben zurückgeführt.

An ein und demselben Schutzstreifen ist ein Vergleich der Windverteilung im belaubten und im unbelaubten Zustand des Streifens von Interesse. Abb. 20 zeigt die aus Mittelwerten gewonnenen Verhältnisse für die verschiedenen Schutzstreifen. Die Kurven für den belaubten Zustand sind ausgezogen, die für den unbelaubten gestrichelt gezeichnet. Der 10-reihige Schutzstreifen mit den Sitkafichtenreihen hat im unbelaubten Zustand bis zum streifenfernen Gebiet hin eine größere Schutzwirkung als im belaubten (IV). Beim 7-reihigen Streifen ohne Fichten kann man nur im streifen nahen Gebiet einen deutlichen Unterschied feststellen mit größerem Windschutz im belaubten Zustand. Beim 4-reihigen Streifen ergibt sich im streifen nahen Gebiet ein größerer Schutz während des belaubten Zustandes mit einem geringeren im Zwischengebiet und einer Angleichung der Verhältnisse in größerer Entfernung. Beim 3-reihigen Streifen wird das Bild durch die mehrfach erwähnten Futterrüben verfälscht. Über die ganze Fläche gesehen dürfte die Schutzwirkung des Streifens III im belaubten Zustand größer sein als im unbelaubten. Damit wären die Verhältnisse beim 3-reihigen Streifen umgekehrt wie beim 10-reihigen. Letzterer zeigt für den unbelaubten Zustand den relativ größeren Windschutz, vielleicht deswegen, weil dann die ungleichmäßige Firmlinie der Fichten am besten zur Auswirkung kommt.

Die bisherigen Betrachtungen bezogen sich auf die Verhältnisse auf der Leeseite von senkrecht zum Wind verlaufenden Schutzstreifen. Die Verhältnisse auf den Luvseiten waren nicht so eindeutig zu klären. Eine Aufstellung von Windmessern auf der Westseite der Schutzstreifen war wenig sinnvoll wegen der dort vorhandenen Querschutzbäume. Es blieb also nur die Messung bei Südsüdostwind übrig. Leider fehlte diese Windrichtung während der Messungen im unbelaubten Zustand. Auch im belaubten kam sie selten vor. Die gewonnenen Ergebnisse streuen daher ziemlich stark. Ohne auf Einzelheiten einzugehen bestätigen wir in Übereinstimmung mit den in einschlägigen Untersuchungen festgestellten Ergebnissen, daß die Windbeeinflussung auf der Luvseite der Schutzstreifen erst in einer Entfernung von etwa 8 Heckenhöhen einsetzt und insgesamt wesentlich schwächer ist als auf der Leeseite. In der später erscheinenden und diskutierten Abb. 28 sind die Verhältnisse wiedergegeben. Wird unter der windschwächenden Wirkung eines Schutzstreifens die Summe der Windschwächung auf der Luv- und auf der Leeseite der Streifen verstanden, so fallen die ersteren wenig ins Gewicht. Die in der angeführten Zeichnung erkennbaren Windverteilungen auf der Luvseite des unbelaubten Zustandes sind aus nicht ganz senkrecht

zum Schutzstreifen gewonnenen Windrichtungen errechnet worden. Eine Erweiterung der Betrachtungen auf das streifenferne Gebiet ist im vorliegenden Fall nicht sinnvoll. In diesem Gebiet macht sich dann schon der Leeinfluß weiter im Osten gelegener Gehöfte und Gärten bemerkbar.

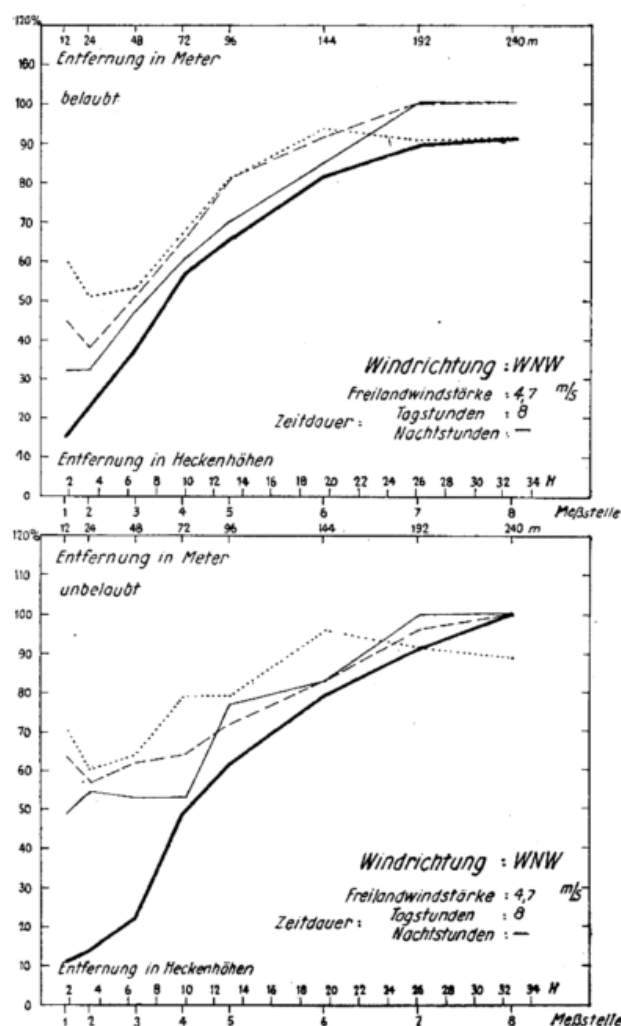


Abb. 19

Windverteilung in Prozent des Freilandwindes (Meßpunkt V/8) bei gleicher Freilandwindstärke im belaubten und unbelaubten Zustand der Schutzstreifen. Der Wind weht senkrecht zu den Schutzstreifen.

3.2.2. Windstärkeverteilung bei schräg zu den Schutzstreifen wehendem Wind

Die Forderung, daß für jede exakte Versuchsanordnung auch ein ausreichend langer Schutzstreifen zur Verfügung stehen muß, konnte nur für senkrecht und fast senkrecht wehendem Wind erfüllt werden. Bei schräg auf die Streifen treffendem Wind hätten die einzelnen Abschnitte wesentlich länger sein müssen, eine Bedingung, die sich aus vielerlei Gründen nicht erfüllen ließ. So treten bei unserer Untersuchung mit Bestimmtheit Erscheinungen auf, die nicht mehr ihre Ursache in der unterschiedlichen Durchlässigkeit der einzelnen Streifen haben. Vor allem die streifenfernen Gebiete stehen dann schon unter dem Einfluß benachbarter Schutzstreifen. Wie ein Rückblick auf den Lageplan (Abb. 11a) zeigt, bekommen z. B. die streifen nahen Stationen des Meßfeldes III noch den durch Schutzstreifen III geflossenen Südwestwind. Im streifenfernen Gebiet ist aber die zuströmende Luft durch den südlich angrenzenden Schutzstreifen IV geflossen.

Theoretisch gesehen verlieren die durchlässigen Schutzstreifen um so mehr ihren Charakter, je schräger der Wind auftritt. Sie wirken dichter. Wir beginnen mit NW- und NNW-Winden und betrachten dazu Abb. 21. Bei fast gleicher Freilandgeschwindigkeit ist im belaubten Zustand die Ähnlichkeit mit den Verhältnissen bei senkrecht auftreffendem WNW-Wind unverkennbar, was den 3-, 4- und 10-reihigen Schutzstreifen anbetrifft. Beim 7-reihigen Abschnitt macht sich sowohl im streifen nahen als auch in der ersten Hälfte des Zwischengebietes der störende Einfluß des nordwestlich vorgelagerten Schutzstreifens IV bemerkbar. Ausgenommen davon ist nur ein schmales an den Streifen angrenzendes Gebiet, wie die hohe Windgeschwindigkeit am Meßpunkt V/1 beweist. Die Winde aus NW treffen in einem um 33 Grad von der Senkrechten abweichenden

Winkel auf die Schutzstreifen, die aus NNW im Winkel von 55°. Die Kurven der Windstärkeverteilung sind gegenüber denen bei WNW-Wind (Abb. 19) etwas gestaucht. Der Anstieg zur Freilandgeschwindigkeit mit wachsendem Abstand vom Schutzstreifen erfolgt schneller.

Für die WSW-Richtung, die etwa den gleichen Winkel wie die NW-Richtung zu den Schutzstreifen bildet, sind die Verhältnisse etwas verschoben, eine Folge des Einflusses der in Windrichtung vorgelagerten Schutzstreifen (Abb. 22). Erneut sei auf die unterschiedliche Definition der Freilandwindstärke hingewiesen; die im belaubten Zustand durch die Windstärke bei Meßpunkt V/8, im unbelaubten durch die Windstärke an der frei im Sustrumer Moor gelegenen Meßstelle VI/9 eingeführt worden ist.

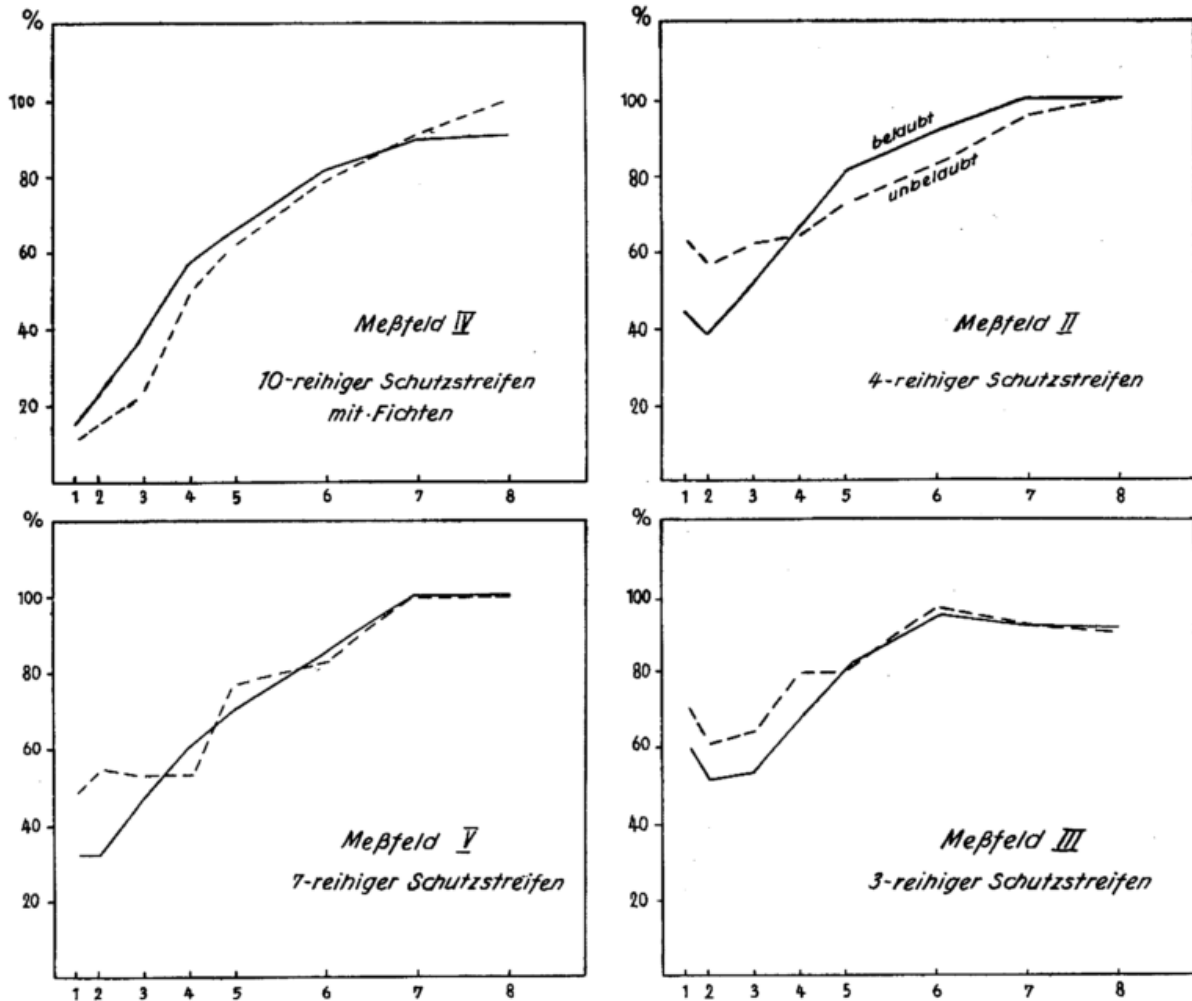


Abb. 20
Windverteilung in % der Freilandwindstärken 4,7 m/s hinter belaubten und unbelaubten Schutzstreifen bei senkrecht auftreffendem Wind (Mittelwerte).

Im belaubten Zustand sind die Windverhältnisse bei sämtlichen Schutzstreifen und schräg einfallenden Winden im streifenfernen Gebiet kaum zu unterscheiden (Abb. 22). Im streifen nahen Gebiet ist der Schutz bei den 3- bzw. 4-reihigen Schutzstreifen etwas geringer als bei dem 10-reihigen Schutzstreifen, wohingegen der geringe Schutz bei Meßfeld V (7-reihig) auf die Führung der südwestlich liegenden Haupt- und Querwindschutzstreifen zurückzuführen ist. Bei Abb. 22 unten wird auf die hohe mittlere Windgeschwindigkeit von 6.8 m/s für insgesamt 62 Tagstunden hingewiesen. Diese Darstellung kann als charakteristisches Beispiel für die mitt-

leren Verhältnisse bei einer bestimmten Windrichtung und einer für die Erosion besonders kritischen Freilandwindgeschwindigkeit gelten.

Für die Windverteilungsverhältnisse auf der Luvseite der Schutzstreifen bei schräg einfallendem Wind können keine umfangreichen Ergebnisse vorgelegt werden. Abb. 23 bringt eine Darstellung für den belaubten Zustand, die sich aus einer Mittelbildung über insgesamt 14 Stunden ergab. Selbst im streifen nächsten Gebiet — und das ist für die Beurteilung der Gesamtwirkung der Schutzstreifen bedeutsam — ist die windschwächende Wirkung bei schräg einfallendem Wind

gering. Abb. 23 unten zeigt, daß man mit nur einer Messung bei schwachem Freilandwind kein brauchbares Bild der Verhältnisse gewinnt.

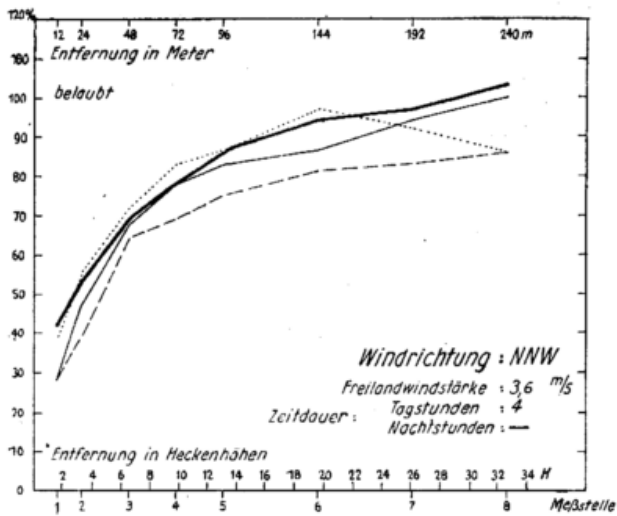


Abb. 21

Windverteilung in Prozent des Freilandwindes bei schräg zu den Schutzstreifen wehendem Wind.

Wie schon erwähnt, wird bei Winden, die noch schräger als die vorhin besprochenen etwa im Winkel von über 50 Grad einfallen, die Zuordnung der Beobachtungsergebnisse zu den einzelnen Schutzstreifen nicht mehr möglich. Ein Nachteil für unsere späteren Betrachtungen ergibt sich daraus nicht. In derartigen Fällen sind wohl die Windschutzstreifen als etwa gleichwertig anzusprechen. Wenn zwischen unsern verschiedenen Meßfeldern Unterschiede auftreten, so hängen sie stets mit Beeinflussungen durch benachbarte Hindernisse anderer Art oder auch mit angrenzenden anderen Schutzstreifen zusammen.

3.2.3. Windstärkeverteilung bei parallel zu den Schutzstreifen wehendem Wind

Alle Winde, die aus SSE bis SSW kommen, wollen wir als streifenparallele Winde betrachten. Aus dem Nordsektor wurden während der Beobachtungszeitspannen keine ausreichenden Werte gewonnen. Gemäß der Anordnung der Meßfelder wäre bei SSW noch ein Leeffekt, bei S und SSE noch ein Luveffekt zu erwarten. Die Einzelergebnisse werden hier nicht gebracht. Es genügt die Feststellung, daß die Schutzzone längs des parallel zum Wind verlaufenden Schutzstreifens nur etwa bis zum 3- bis 4-fachen der Schutzstreifenhöhe reicht. Fällt der Wind nur etwas schräg ein, so erweitert sich das merkbar geschützte Gebiet auf der Leeseite bis höchstens zu einer Entfernung, die der 10-fachen Streifenhöhe entspricht. Genauere Feststellungen sind prinzipiell schwierig, weil der Wind stets um seine Richtung mehr oder weniger pendelt. Entsprechend gerät das streifen nächste Gebiet mehr oder weniger häufig in die Luv- bzw. Leewirkung des Schutzstreifens. Die vorübergehende Abschwächung durch den Leeffekt wird nicht durch eine eben so große Erhöhung der Windstärke auf der Luvseite aufgehoben.

3.2.4. Windstärkeverteilung zwischen 2 eng benachbarten Schutzstreifen

Die Windverteilung zwischen zwei eng benachbarten Schutzstreifen läßt einige Erscheinungen erkennen, mit denen man in einer ausgesprochenen Heckenlandschaft zu rechnen hat (Abb. 24). Für den Fall, daß der Wind ziemlich senkrecht zu den belaubten Schutzstreifen

weht, bleiben die Windstärken im beiderseits von Schutzstreifen eingeschlossenen Gebiet hinter denen auf der Leeseite eines einzigen Streifens (IV) zurück. In der Abb. 24 gehören die stark ausgezogenen Kurven zu dem Parallelsystem, die schwach ausgezogenen zum einfachen Schutzstreifen IV. Bei unbelaubten Schutzstreifen finden wir keine wesentlichen Unterschiede. Bei parallel zu den Schutzstreifen wehendem Wind (vor allem SSW) finden wir zwischen den Parallelstreifen einen relativ stärkeren Wind als im entsprechenden Abstand auf der Leeseite eines einzelnen Streifens. Trotzdem kann man nicht von einem Düseneffekt im physikalischen Sinne sprechen. Die Freilandwindstärke wird meist nicht erreicht.

3.2.5. Windstärkeverteilung im Bereich eines sehr durchlässigen und eines weniger durchlässigen Schutzstreifens

Südlich an den Schutzstreifen VI Nord im Sustrumer Moor (Abb. 10—11) schließt sich ein auf Stock gesetzter Schutzstreifen an, der nur noch aus insgesamt 2 Reihen Fichten und Lärchen besteht. Die Nahtstelle der beiden Streifen VI Nord und VI Süd ist auf Abb. 4 zu sehen. Links befindet sich der auf Stock gesetzte, rechts der noch im Jugendstadium befindliche Schutzstreifen. Der Vordergrund des Bildes zeigt außerdem deutlich die Vegetation des Meßfeldes. Zum Teil ist das hier flachgründige Moor schon unter Kultur genommen worden. Das Bild war vor der Kultivierung aufgenommen worden. Nachher war das ganze Gelände eingeebnet. Ein

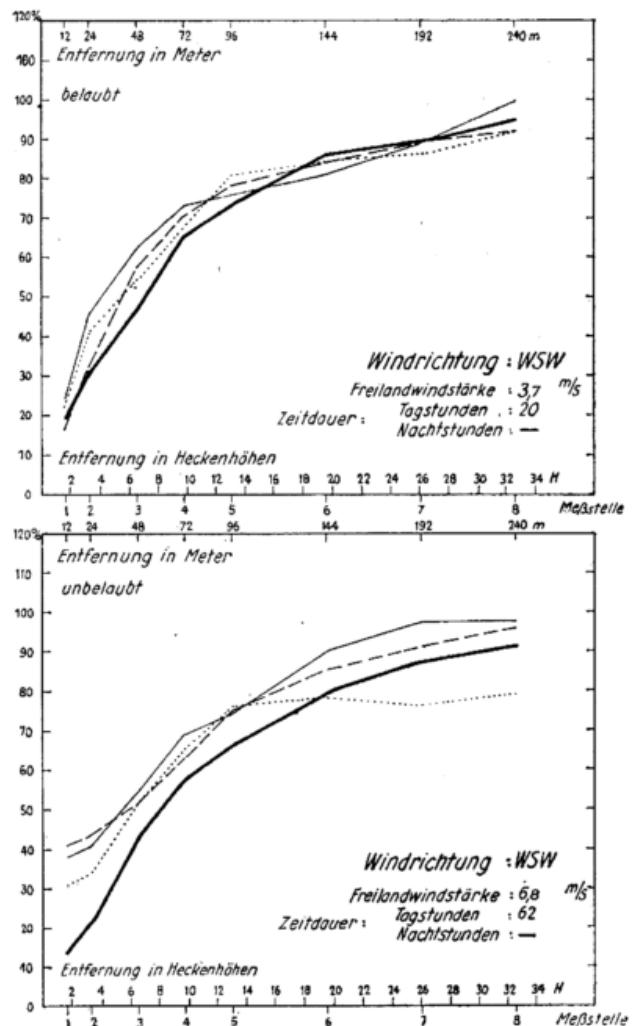


Abb. 22

Windverteilung in Prozent des Freilandwindes bei schräg zu den Schutzstreifen wehendem Wind.

flacher Damm unmittelbar am Windschutzstreifen wird die Meßergebnisse verfälschen, doch kann man diesem Umstand nicht durch ein Höher- oder Tieferstellen der Windmesser aus dem Wege gehen. Trotz der nicht ausgesprochen günstigen Versuchsbedingungen wurden im Bereich des Schutzstreifens VI Voruntersuchungen durchgeführt. Am 12. 8. 1955 wehte der Wind aus Winkeln von 70 bzw. 80 Grad, also etwas aus ENE und schräg zu den Streifen. Die Instrumente (Lageplan Abb. 11b) befanden sich auf der Luvseite. Am 2. 9. 1955 wehte der Wind fast streifenparallel. Am 3. 9. 1955 kam der Wind aus westlicher Richtung. Die Instrumente lagen demnach auf der Leeseite des Schutzstreifens. Tab. 8 bringt die wichtigsten Ergebnisse. Wegen der ungleichmäßig verteilten Heidebulte und ihrem Einfluß auf die in 1.50 m Höhe aufgestellten Windwegmesser muß man eine gewisse Streuung der gewonnenen Werte in Kauf nehmen.

Tab. 8 Windstärkeverhältnisse auf der Luvseite (Angaben in m/s., 12. VIII. 1955)

Entfernung vom Schutzstreifen VI in m	Windeinfallswinkel			
	35 Grad		45 Grad	
	VI Nord	VI Süd	VI Nord	VI Süd
13	4.3	4.2	6.0	5.9
19.5	3.5	4.2	4.7	5.6
26	4.2	4.4	5.7	6.1
32.5	4.1	4.2	—	5.5
45.5	4.4	4.5	5.9	6.1
58.5	4.3	4.6	5.8	6.1
71.5	4.8	4.4	6.8	6.2
84.5	—	—	6.4	—
Freiland	5.5	—	7.2	—

Windstärkeverhältnisse auf der Leeseite (3. IX. 1955)

Entfernung vom Schutzstreifen in Heckenhöhen in m	Windeinfallswinkel					
	250 Grad		235 Grad		225 Grad	
	VI Nord	VI Süd	VI Nord	VI Süd	VI Nord	VI Süd
13	1.0	3.1	0.8	2.5	0.9	2.6
26	1.1	1.8	—	1.6	1.2	2.2
52	1.9	2.5	2.0	2.4	2.9	3.4
78	2.7	3.5	2.8	3.2	3.7	4.4
104	3.3	4.5	3.2	4.1	4.1	5.0
130	3.9	—	4.0	—	5.1	—
143	—	5.1	—	4.6	—	5.5
169	4.5	—	4.3	—	5.5	—
182	—	5.5	—	—	—	—

Parallel zum Schutzstreifen wehender Wind (2. IX. 1955)

Entfernung vom Schutzstreifen in m	185 Grad*		180 Grad		165 Grad	
	VI Nord	VI Süd	VI Nord	VI Süd	VI Nord	VI Süd
13	3.0	3.3	3.5	3.9	3.5	3.5
26	4.9	4.5	5.1	4.8	4.7	4.3
52	5.7	5.1	6.3	5.6	5.7	5.1
78	5.9	5.1	6.4	5.5	5.9	5.2
104	5.7	6.4	6.3	7.0	5.6	6.5

Beim schräg von Nordosten einfallenden Wind wird auch der im Norden verlaufende Schutzstreifen (Abb. 11b) die Verhältnisse stören. Unter Berücksichtigung des Fehlerbereichs findet man keine wesentlichen Unterschiede auf der Luvseite verschieden dichter Windschutzanlagen.

Auf der Leeseite kommen die unterschiedlichen Verhältnisse verschieden dichter Schutzstreifen besser zum Ausdruck. Das zeigen die Vergleichsmessungen vom 3. IX. 1955 (Tab. 8). Hinter dem dichten Streifen

VI Nord werden stets geringere Windstärken als hinter dem durchlässigen Streifen VI Süd beobachtet. In Streifennähe sind die Unterschiede am größten. Auch in 100 m Entfernung ist der Wind hinter dem dichteren

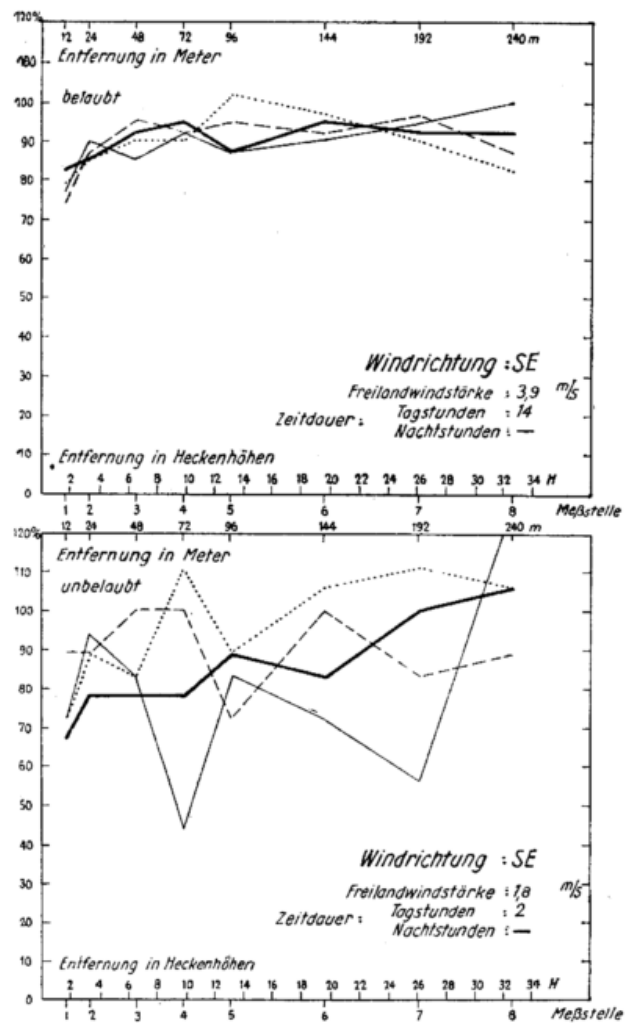
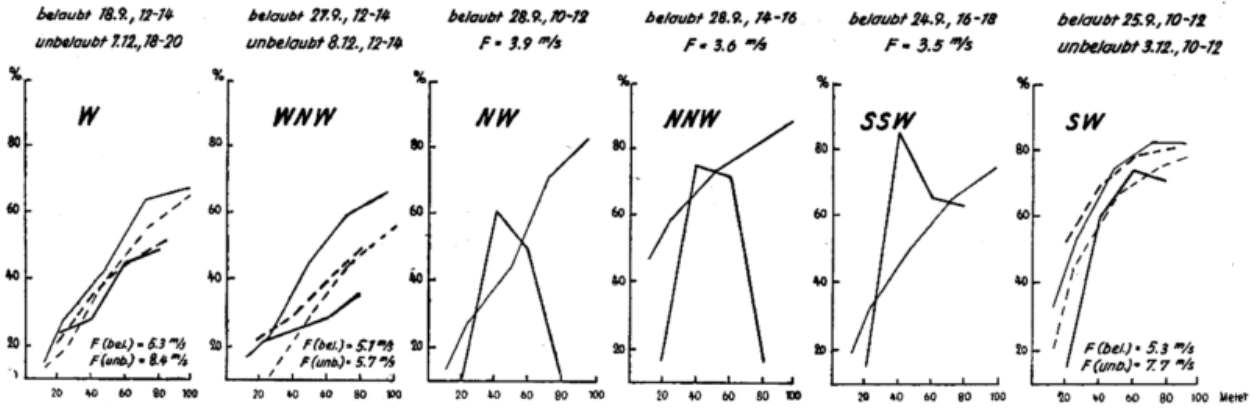


Abb. 23

Windverteilung in Prozent des Freilandwindes auf der Luvseite des Schutzstreifens bei schräg einfallendem Wind.

Streifen noch um 20 bis 30% schwächer als hinter dem durchlässigen. Bei streifenparallelem Wind erstreckt sich der Einfluß der Schutzstreifen auf die streifen nächste Meßstelle, also bis etwa zu einer Entfernung der doppelten Schutzstreifenhöhe (Tab. 8).

Die Beobachtungsergebnisse am frei gelegenen Schutzstreifen VI lassen im unbelaubten Zustand den Zusammenhang zwischen Windrichtung und der durch den Schutzstreifen verursachten Schutzwirkung gut erkennen. Abb. 25 zeigt die Verhältnisse bei etwa gleichen Windstärken. In der Abbildung sind die doppelt ausgezogenen Kurven für Windrichtungen gewonnen worden, bei denen der zu allen Meßstellen gelangende Wind vorher den Schutzstreifen VI Nord (dicht) passiert hat. Die nur einfach ausgezogenen Kurventeile verbinden die Meßpunkte miteinander, für die der Wind bereits den Schutzstreifen VI Süd (durchlässig) durchweht hat. Wir erkennen, wie sich die Schutzwirkung des Streifens mit Drehung von WNW über W auf SW verringert. Die Schutzzone wird immer schmaler. Zusammen mit den bereits geschilderten Ergebnissen sind diese Verhältnisse für spätere Betrachtungen von Bedeutung.



Windverteilung in %. Vergleich der Verhältnisse zwischen zwei parallelen und an einem einzelnen Windschutzstreifen.

— = belaubt - - - = unbelaubt

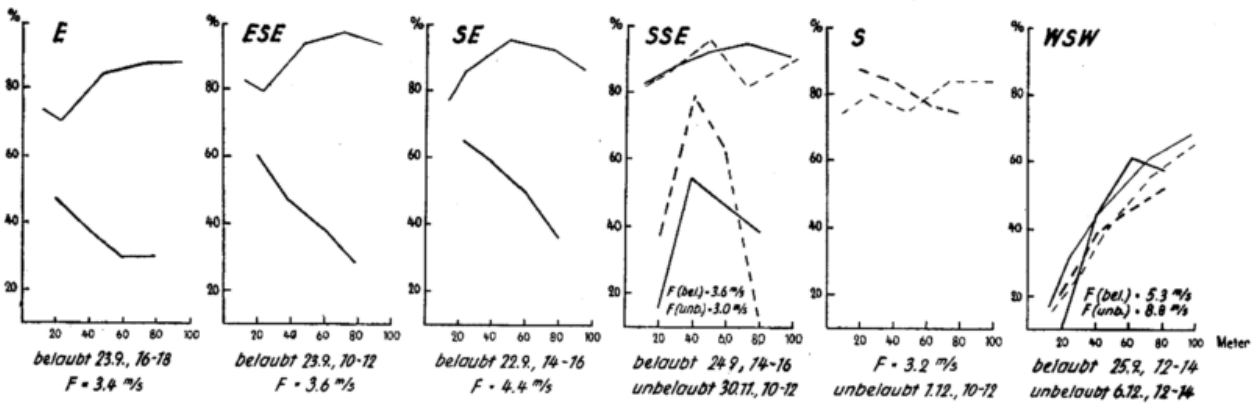


Abb. 24

Vergleich der Windverhältnisse zwischen zwei parallelen und an einem einzelnen Windschutzstreifen, Windverteilung in % des Freilandwindes.

Die Wirkung der Schutzstreifen überhaupt und die Unterschiede zwischen den verschiedenen Streifen kommen auch bei einem Vergleich der bei streifenparallelem und bei senkrecht zu den Streifen wehendem Wind zum Ausdruck. Abb. 26 gibt links die Verhältnisse für fast streifenparallelem Wind wieder. Die Windrichtungen der einzelnen Stunden finden sich unten eingezeichnet. Die zu den einzelnen Kurvengruppen gehörenden Meßstellen 1—8 sind links angegeben. Wir sehen, daß keine besonderen Unterschiede zwischen den Meßstellen der verschiedenen Schutzstreifen auftreten. Für senkrecht zu den Streifen wehendem Wind ergeben sich die Kurvenzüge auf der rechten Seite der Abbildung. Die großen Unterschiede der Meßstellen 1—5 werden deutlich, wobei sich insbesondere das wind-schwache Gebiet des Schutzstreifens IV heraushebt.

3.2.6. Eine Windschutzerscheinung bei hochreichender Labilität der Luft

Im allgemeinen ist es bei Windschutzuntersuchungen schwer, eine ideale Vergleichsstelle im Freiland zu finden. Man begnügt sich meist mit einer im Abstand des 30- bis 40fachen der Schutzstreifenhöhe gelegenen Station. In der Tat nähern sich die beobachteten Windstärken schon sehr dem Endwert, wenn man aus dem zunächst windstarken Gebiet der Schutzstreifenzone in das streifenferne Gebiet kommt. Das meist geübte Verfahren hat daher bei Fehlen idealer Freilandvergleichsstellen seine Berechtigung.

Bei unserer Untersuchung ergab sich für den unbelaubten Zustand die Möglichkeit, die Windverhältnisse

an Freilandstationen der üblichen Art (Abstand vom Schutzstreifen über 30 Streifenhöhen) und an einer idealen Freilandstation (Abstand vom nächsten Schutzstreifen etwa 100 Streifenhöhen) zu vergleichen. Dabei zeigt sich, daß sich Unterschiede im allgemeinen im erwarteten Rahmen bewegen. Im freien Moor weht dann der Wind etwas stärker als an den freigelegenen Stellen der geschützten Landschaft. Es gibt

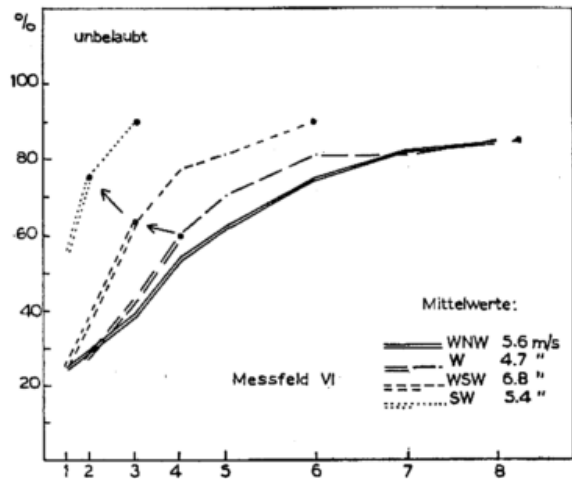


Abb. 25

Zusammenhang zwischen der Windrichtung und der durch einen Schutzstreifen VI, Richtung 35° rechtweisend,

aber wichtige Ausnahmen, wie die Gegenüberstellung der Windverhältnisse am 6. XII. und am 10. XII. 1955 zeigt (Abb. 27). An beiden Tagen herrschte stürmischer WSW-Wind von 7 bis 9 m/sec an den streifenfernen Stationen. Links finden wir die Normalverteilung. Der geringere Wind bei Meßstelle III/8 erklärt sich aus der Beeinflussung durch das schon erwähnte Rübenfeld. Die Meßstelle im freien Moor liegt in ihrer Windstärke nur wenig über den anderen Meßstellen. Am 10. XII. ergibt sich ein ganz anderes Bild. Der Wind im freien Moor ist wesentlich stärker als im geschützten Gelände. Eine zahlenmäßige Gegenüberstellung wollen wir hier nicht bringen, weil diese Unterschiede nur einmal in ausgeprägter Form und einmal in weniger starker Form gefunden wurden. Eine Untersuchung der Wetterlagen an den beiden Vergleichstagen zeigt nun, daß am 6. XII. 1955 nur die unteren 800 m der Lufthülle feucht-labile Lagerung aufwies, während die Feuchtlabilität am 10. XII. bis über 3500 m Höhe reichte und damit besonders stark zu kräftigen Umlagerungen neigte. Demnach bremsen die Schutzstreifen der Heckenlandschaft den Wind an Tagen mit hochreichender Labilität der Luftmassen besonders wirkungsvoll, während er auf der offenen Ebene wider Erwarten stark zunimmt. Zu einer Sicherung dieser Annahme wären weitere Untersuchungen erforderlich.

3.3. Anwendung der Meßergebnisse bei der Berechnung der durchschnittlichen Windstärkeverhältnisse auf windgeschützten Parzellen

3.3.1. Einleitende Betrachtung

Die vorangegangenen Abschnitte haben eine Vorstellung von der Windschutzwirkung der verschiedenen dichten Schutzstreifen gegeben und Vergleiche untereinander

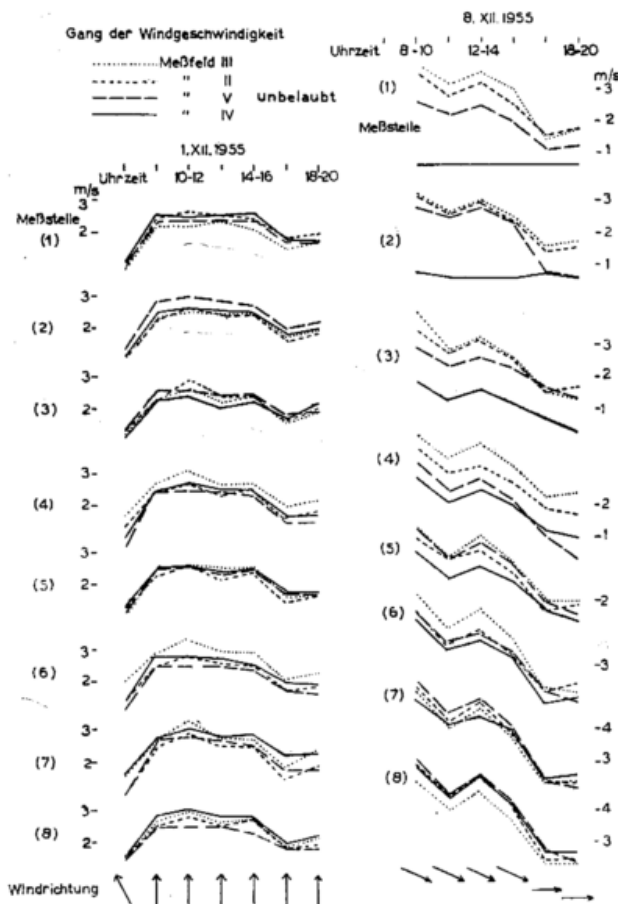


Abb. 26

Windstärkeverlauf an den Meßstellen im Bereich der Meßfelder II—V bei parallel (links) und senkrecht (rechts) zu den Schutzstreifen wehendem Wind.

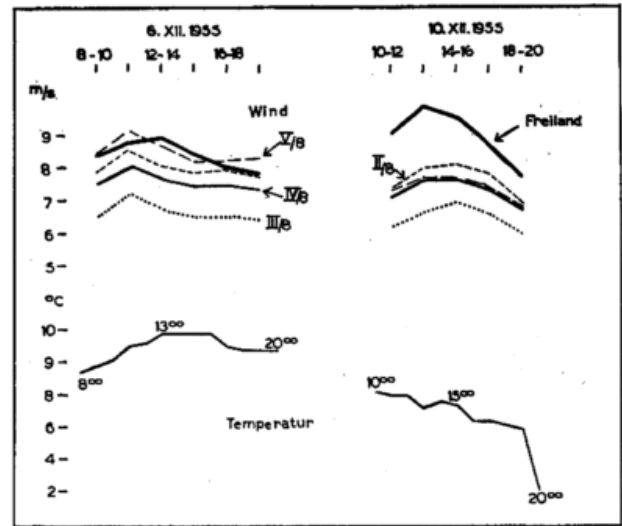


Abb. 27

Vergleich der Windstärke im freien Moor (dick ausgezogen) mit der Windstärke innerhalb des Schutzstreifengeländes: links normale Verteilung, rechts bei hochreichender Labilität der anströmenden Luftmasse.

ander ermöglicht. Wir wollen nun versuchen, dem Landschaftsgestalter des Emslandes ein Schema in die Hand zu geben, das ihm Aufklärung über die flächenmäßige Windschutzwirkung sowohl einzelner Schutzstreifen als auch ganzer Schutzstreifensysteme gibt. Dabei findet die verschiedene Dichte der Anlagen Beachtung. Letzten Endes sind es diese Angaben, die der Planer in erster Linie von der Agrarmeteorologie erwartet. Stets gilt es, die folgenden Betrachtungen nicht einseitig auszulegen. Zweifellos erreicht man mit einem engmaschigen Netz von breiten Schutzstreifen eine sehr beträchtliche Herabsetzung der Windstärke. Dieser Vorteil kann aber durch Landverlust für die Schutzpflanzungen und durch die Erschwerung der Arbeit der landwirtschaftlichen Maschinen bei den kleinen Parzellen aufgewogen werden. Es heißt also eine glückliche Lösung des Windschutzproblems bzw. der Anlage von Schutzstreifen zu finden, bei der genügende Windschwächung ohne allzu großen Landverlust erzielt wird. Will man aber bewußt größere Flächen mit Waldbäumen besetzen, so ist zu überlegen, ob man dann nicht doch bei verhältnismäßig schmalen Windschutzanlagen bleibt und die Bäume in mehr oder weniger großen Waldstücken unterbringt. Immerhin blieben damit für die landwirtschaftlichen Maschinen ausreichend große Parzellen erhalten. Wir wollen uns nun nicht mit weiteren Vor- und Nachteilen der Windschutzanlagen im allgemeinen und den Schwierigkeiten der Planung befassen. Die wenigen Ausführungen sollen nur andeuten, daß sich auch der Agrarmeteorologe mit dem Für und Wider befassen muß, wenn er eine ihm gestellte Aufgabe sinnvoll bearbeiten will. Im übrigen enthalten wir uns jeder Tendenz und liefern nur die Werte über die Windschwächung verschiedener Schutzstreifensysteme.

Es wurde bereits ausgeführt, daß unsere Untersuchungen in mancher Beziehung über bisherige Arbeiten auf dem gleichen Gebiet hinausgingen. Insbesondere wurden die Schutzstreifen eigens für die Messungen vorbereitet. Holzabschlag aus einem dichten, langen Windschutzstreifen ergab mehrere Anlagen verschiedener Dichte und damit dann die Möglichkeit, bei gleichen Witterungsbedingungen gleichzeitig an verschiedenen Anlagen zu messen. Wichtig hierfür war der große Einsatz von Windwegmessern und auch von Personal. Ohne diese Gegebenheiten hätte das eigentliche Ziel der Untersuchung nicht erreicht werden können.

Trotz der im ganzen günstigen Ausgangslage mußten aber Kompromisse geschlossen werden, und es lassen sich wohl niemals Versuchsbedingungen erzielen, die alle unerwünschten Nebenerscheinungen und Einflüsse ausschalten. Die Mängel haben uns nicht davon abhalten können, das oben erwähnte Schema auszuarbeiten, das sich zur Hauptsache auf die Meßergebnisse selbst stützt. Einige wenige zusätzliche Annahmen können keine allzu großen Fehler in das Endergebnis bringen.

3.3.2. Beschreibung der Methode

Wir schildern nun kurz den Gedankengang, der den folgenden Berechnungen zugrunde liegt. Dabei gehen wir von der Wirkung verschieden dichter Windschutzstreifen auf senkrecht auf die Streifen auftreffenden Wind aus. Der Wind habe im Freiland eine Geschwindigkeit von mindestens 4 m/s. Als Freilandgeschwindigkeit gelten die an der Meßstelle 8 des Versuchsfeldes V (siehe Lageplan Abb. 11a) gemessenen Werte. Zunächst möge der Wind nach dem Durchströmen der Schutzstreifen nicht durch einen zweiten parallel zum ersten laufenden Streifen abgebremst werden, vielmehr mit größerem Abstand vom Schutzstreifen immer mehr Freilandcharakter annehmen. Unsere Meßergebnisse ermöglichen es uns nun auszurechnen, wie groß die durchschnittliche Schwächung des Windes auf dem an den Schutzstreifen angrenzenden Gebiet ist. Weiter läßt sich berechnen, wie groß die Windschwächung innerhalb eines Gebietes ist, das von 2 parallel verlaufenden Schutzstreifen begrenzt wird. Immer noch für den Fall des senkrecht auf ein Schutzstreifensystem treffenden Windes läßt sich dann berechnen, welche Wirkung zwei Schutzstreifen zuzuschreiben ist, die senkrecht zu den bisher genannten verlaufen und mit ihnen zusammen eine von Windschutzstreifen umschlossene Parzelle bilden. Die Berechnung der Windschwächung für ein ganzes System quadratisch angeordneter Schutzstreifen

verschiedenen Aufbaus bietet dann für den Fall des senkrecht auf eine der Maschenseiten des Systems auftreffenden Windes keine Schwierigkeiten. Grundsätzlich beschränken wir uns auf eine Betrachtung quadratisch angelegter Windschutzstreifen, weil uns eine Berechnung der Windverhältnisse in rechteckigen Systemen verschiedener Seitenlängen zu weit führen würde. Von besonderer Bedeutung ist die Berechnung der Windschwächung für schräg einfallenden Wind. Hier kommen wir nicht ohne gewisse Annahmen aus, auf die an gegebener Stelle eingegangen wird. Schließlich gelangen wir zu einer durchschnittlichen Schwächung des Windes innerhalb der verschiedenen Schutzstreifensysteme, die sich aus den Mittelwerten für senkrecht und für im Winkel von 45 Grad auf die Schutzstreifensysteme wehenden Wind ergibt. Zum Schluß werden durchschnittliche Windschwächung verschiedener Schutzstreifensysteme mit dem Schutzstreifenabstand und dem für die Schutzstreifen notwendigen Aufwand an Land miteinander verglichen. Statistische Prüfung siehe 4.

3.3.3. Die flächenhafte Windschutzwirkung durch senkrecht zur Windrichtung verlaufende Schutzstreifen verschiedenen Aufbaus

Nach dem kurzen Überblick über die einzuschlagende Methode können wir nun die einzelnen Schritte der Reihe nach vornehmen. Tabelle 9 gibt uns wieder, wie groß die Windstärke (in Prozent des bei Meßstelle V 8 gewonnenen Freilandwindes) in parallel zu den Windschutzstreifen verschiedenen Aufbaus bzw. verschiedener Dichte gelegenen Parzellen ist. Als Unterlage der Berechnung dienten insgesamt 4 Messungen bei einer Freilandwindstärke von über 4 m/sek. Sie stimmen mit den aus einer größeren Zahl von Messungen gewonnenen Werte gut überein. Abweichungen ergeben sich nur für die schutzstreifennahe Zone, wo bei sehr schwachem Freilandwind die zum Anlaufen der Instrumente

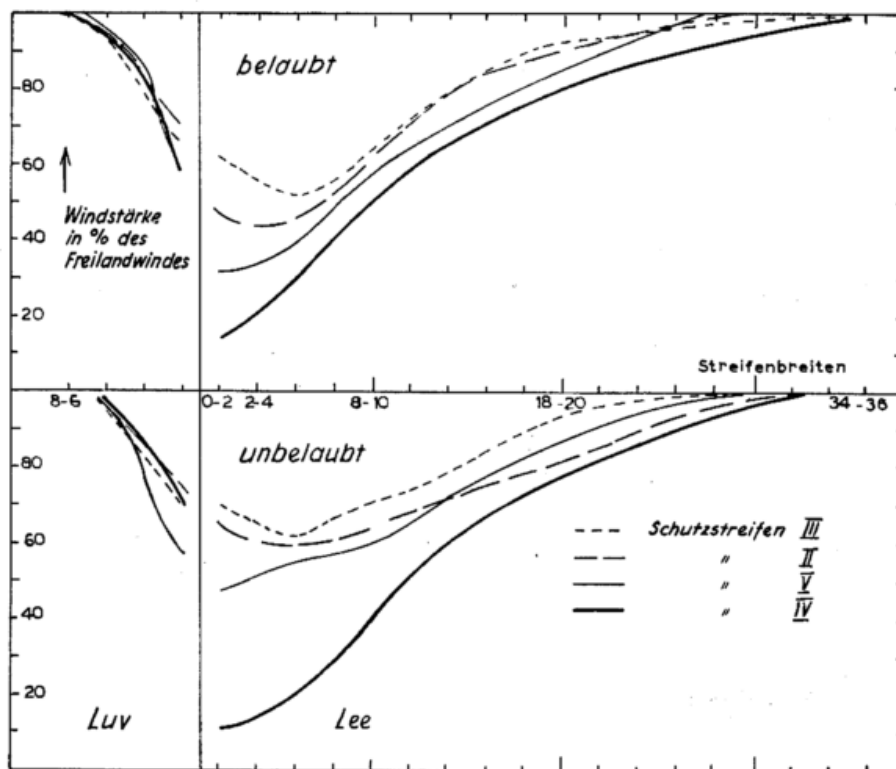


Abb. 28
Windgeschwindigkeit in % des Freilandwindes (Bezugspunkt V/8) für schutzstreifenparallele Parzellen. Parzellenbreite = 2 Heckenhöhen. Wind senkrecht zu den von Freiland umgebenen Schutzstreifen verschiedenen Aufbaus.

notwendige Mindestgeschwindigkeit nicht immer erreicht wird. Für die Werte der Luvseite wurde entsprechend verfahren. Die Werte für die schutzstreifenparallelen Parzellen von 0—2, 2—4, 4—6 usw. Heckenhöhenbreite wurden auf graphischem Wege aus den an insgesamt 8 Meßstellen gewonnenen Windgeschwindigkeiten gewonnen. Die der Tabelle zugrunde liegenden Werte wiesen für das schutzstreifenferne Gebiet im Bereich des Schutzstreifens III etwas zu geringe Werte auf, die auf den Einfluß eines Rübenfeldes zurückzuführen waren. Sie wurden den übrigen angeglichen. Abb. 28 gibt die Daten der Tabelle 9 wieder. Wir brauchen hier nicht auf Einzelheiten der Kurvenzüge einzugehen. Sie wurden schon früher besprochen. Wir stellen nur nochmals heraus, daß sich die Schutzwirkung der Streifen auf streifennahe Zonen mit der Dichte vergrößert. Besonders auffällig ist der Unterschied zwischen dem mit Fichten durchsetzten dichten Streifen und dem Laubholzstreifen im Spätherbst, also im unbelaubten Zustand der Anlagen.

Tab. 9 Windgeschwindigkeit in Prozent des Freilandwindes (Meßfeld V, Meßpunkt 8) für schutzstreifenparallele Parzellen. Parzellenbreite = zwei Heckenhöhen. Wind senkrecht zu den von Freiland umgebenen Schutzstreifen verschiedenen Aufbaus.

In den Streifen von: *	belaubt				unbelaubt			
	III	II	V	IV	III	II	V	IV
Luv								
6—4 H	93	93	95	95	95	95	95	96
4—2 H	77	82	80	80	85	86	80	86
2—0 H	65	70	60	60	70	72	60	70
Lee								
0—2 H	62	47	32	15	70	66	48	11
2—4 H	56	44	34	21	66	61	52	14
4—6 H	52	46	40	31	62	60	55	19
6—8 H	56	54	50	41	67	61	57	29
8—10 H	65	63	58	51	71	65	59	43
10—12 H	73	72	65	60	74	68	65	53
12—14 H	80	80	70	66	79	72	73	61
14—16 H	85	85	76	71	84	76	79	67
16—18 H	90	88	81	76	90	79	83	73
18—20 H	93	91	85	80	94	82	87	78
20—22 H	94	93	89	84	97	86	91	82
22—24 H	95	96	94	87	98	90	94	86
24—26 H	96	98	98	90	99	94	96	90
26—28 H	97	99	99	92	99	97	97	93
28—30 H	98	100	100	94	100	98	98	96
30—32 H	99	100	100	96	100	99	99	98
32—34 H	99	100	100	98	100	99	99	99
34—36 H	100	100	100	100	100	100	100	100

* Angabe der Breite der Gebietsstreifen und ihrer Abstände von den Windschutzstreifen in Heckenhöhen.

Tabelle 10 bringt nun den Schritt von der Windschwächung innerhalb gleichbreiter, aber im wachsenden Abstand vom Schutzstreifen gelegenen Parzellen zur durchschnittlichen Schwächung des ganzen an den Streifen angrenzenden Gebietes. Immer noch beschränken wir die Betrachtung auf die Wirkung von einzelnen rings von Freiland umgebenen Schutzstreifen verschiedenen Aufbaus. Die Kurvenzüge der Prozentwerte nähern sich bei dieser Betrachtung weniger schnell als bei der Tab. 10, weil die großen Unterschiede der Windstärke im streifennahen Gebiet in den Mittelwert

Tab. 10 Mittlere Windgeschwindigkeit (in % des Freilandwindes) in schutzstreifenparallelen Gebieten. Der Wind weht senkrecht zu den von Freiland umgebenen Schutzstreifen verschiedenen Aufbaus.

Gebietsbreite in Heckenhöhen	belaubt				unbelaubt			
	III	II	V	IV	III	II	V	IV
Luvseite								
8—0	86	86	84	84	88	88	85	88
6—0	78	82	78	78	83	84	80	84
4—0	71	76	70	70	78	79	70	78
2—0	65	70	60	60	70	72	60	70
Lee								
0—2	62	47	32	15	70	66	48	11
0—4	59	46	33	18	68	64	50	13
0—6	57	46	35	22	66	62	52	15
0—8	57	48	39	27	67	63	53	18
0—10	58	51	43	32	67	63	54	23
—12	61	54	47	36	68	64	56	28
—14	63	58	50	41	70	65	58	33
—16	66	62	53	45	72	66	61	37
—18	69	64	56	48	74	68	64	41
0—20	71	67	59	51	76	69	66	45
—22	73	70	62	54	78	71	68	48
—24	76	72	65	57	80	72	70	51
—26	77	74	68	60	81	74	72	54
—28	78	76	70	62	82	76	74	57
0—30	80	78	72	64	83	77	76	60
—32	81	79	73	66	85	79	77	62
—34	82	80	75	68	86	80	79	64
—36	83	81	76	70	86	81	80	66
—38	84	82	77	71	87	82	81	68
0—40	85	83	78	72	88	83	82	70
0—50	88	86	83	78	90	86	85	76
0—60	90	88	86	82	92	88	88	80

für das ganze betroffene Gebiet eingehen. Für das an die Schutzstreifen angrenzende Gebiet mit einer Breite von 10 Heckenhöhen betragen die Unterschiede der Windstärke zwischen dem dichtesten und dem am wenigsten dichten Schutzstreifen 26% im belaubten und 44% im unbelaubten Zustand. Für ein Gebiet, das sich von den Schutzstreifen bis zu einer Entfernung von 40 Heckenhöhen erstreckt, betragen die Unterschiede noch 13 bzw. 18 Prozent. Auf den Luvseiten der Schutzstreifen sind die Unterschiede gering. Weitere Betrachtungen sind mit Hilfe der Tabellen und Abbildungen möglich, werden aber hier nicht aufgestellt.

Wir wenden uns nunmehr dem Fall zweier paralleler Schutzstreifen zu, die in verschiedenem Abstand voneinander liegen und beide senkrecht zum einfallenden Wind verlaufen. In diesem Fall ist nicht nur die Windschwächung auf der windabgewandten Seite des ersten Streifens zu beachten, sondern darüber hinaus auch die windschwächende Wirkung auf der dem Winde zugewandten Seite des zweiten Streifens. Wir müssen also für eine Berechnung der durchschnittlichen Windstärke über eine ganze Fläche noch die in Tab. 9 angeführten Prozentzahlen auf der Luvseite der Streifen berücksichtigen. Als Mindestabstand der Schutzstreifen wählen wir einen Abstand von 20 Heckenhöhen. Bei einer Schutzstreifenhöhe von 7 m würde dies eine Entfernung von 140 m bedeuten. Im allgemeinen wird die Praxis keinen geringeren Abstand wählen. Eine weitere Verminderung dieses Abstandes würde auch zu große

Fehlermöglichkeiten in unsere Betrachtung bringen. Wir haben zwar am Versuchsfeld (Abb. 11a) Messungen innerhalb eines Gebietes durchgeführt, das zu beiden Seiten durch nur 100 m voneinander entfernte Schutzstreifen begrenzt war, können die hier gewonnenen Ergebnisse aber nicht mit ausreichender Genauigkeit auf andere Schutzstreifensysteme übertragen.

Für 20 oder mehr Heckenbreiten voneinander entfernt liegende Schutzstreifen stützen wir uns für die Berechnung der zwischen den Streifen herrschenden durchschnittlichen Windgeschwindigkeit auf die Werte der Tabelle 9. Unser weiteres Verfahren schildern wir am besten am Beispiel der Berechnung für parallele Schutzstreifen des Typs III (durchlässigster) im belaubten Zustand. Wir finden als mittlere Windgeschwindigkeit für den 18—20-fachen Heckenhöhenabstand die Prozentzahl 93, für den 16—18-fachen die Zahl 90, für den 14—16-fachen die Zahl 85. Von diesen Prozentzahlen müssen wir nun gewisse Abzüge vornehmen, die auf eine Luvwirkung des zweiten Streifens zurückzuführen sind. Die Abzüge sind in der Tabelle 11 enthalten. Für einen Abstand von mindestens 36 Heckenhöhen stimmen die Abzüge mit den in Tabelle 9 wiedergegebenen Werten der Luvseite überein. Es wurden lediglich die feineren Unterschiede der einzelnen Streifen ausgeglichen und für die Luvseiten aller 4 verschiedenen Schutzstreifen die gleichen Werte angesetzt.

Tab. 11 Abzüge zur Berücksichtigung der Luvwirkung eines zweiten parallel verlaufenden Schutzstreifens. Angabe in Prozent des Freilandwindes.

Abzüge für											
Parzelle											
von . . . bis											
Heckenhöhen-											
abstand		20	22	24	26	28	30	32	34	36	
10—8		5	4	3	2	1	0	0	0	0	
8—6		11	8	6	5	4	3	2	1	0	
6—4		19	16	14	13	12	10	8	6	5	
4—2		36	31	28	26	24	23	22	21	20	
0—2		54	47	43	40	38	37	36	35	35	

Die größeren Abzüge bei einem Abstand von nur 20 Heckenhöhen ergeben sich aus dem Zusammenwirken der beiden parallelen Schutzstreifen. Sie sind aus einem Vergleich der zwischen zwei parallelen Streifen durchgeführten Messungen im Versuchsfeld I und dem ans Freiland angrenzenden Streifen IV berechnet worden. Bei Vergrößerung des Streifenabstandes von 20 zu 36 Heckenhöhen wurden die Abzüge sinngemäß verkleinert. In der beschriebenen Weise entsteht aus der oben erwähnten Prozentzahl 93 nunmehr der Wert 39 (93% — 54%). Die Abzüge werden nur in schmalen Gebietsstreifen vorgenommen, die im Verhältnis zur Gesamtfläche des windgeschützten Gebietes nicht ins Gewicht fallen. Unbedeutende Fehler treten außerdem gleichsinnig bei allen untersuchten Schutzstreifen auf und verfälschen das Schlussergebnis nicht. Nochmals betonen wir ausdrücklich, daß wir von einer Berechnung für weniger als 20 Heckenhöhen voneinander entfernte Streifen absehen, da dann allerdings zu große Fehler auftreten könnten.

Wir bringen keine Tabelle über die mittlere Windstärke zwischen parallel zueinander verlaufenden Windschutzstreifen, sondern erweitern unsere Betrachtungen gleich auf ein quadratisch angelegtes System von Windschutzstreifen. Wir berücksichtigen also nicht nur die Luv- und Leewirkung von senkrecht zum Winde verlaufenden Streifen, sondern auch noch die Randwirkung der parallel zum Winde liegenden Streifen, die demnach senkrecht zu den bisher behandelten ver-

laufen. Wie die Messungen ergeben haben, wird der Wind auch dann geschwächt, wenn er im großen und ganzen parallel zu einem Schutzstreifen weht. Diese Schwächung ist einmal auf einen Reibungseffekt, zum andern aber auch auf das Pendeln des Windes um seine Grundrichtung zurückzuführen. Durch das Pendeln geraten immer wieder schutzstreifennahe Gebiete zeitweise in einen windschwachen Bereich, so daß die durchschnittliche Windstärke herabgesetzt wird. Die Windschwächung ist bei dem parallelen Wind gering und erstreckt sich nur bis zu einer Entfernung von 4 Heckenhöhen. Für die 2 Heckenhöhen breite und an den Schutzstreifen angrenzende Parzelle beträgt er etwa 25%, für den daran angrenzenden Streifen 5%. Ein Unterschied zwischen belaubtem und unbelaubtem Zustand wurde in den uns gegebenen Grenzen der Genauigkeit und der gegebenen Versuchsbedingungen nicht festgestellt.

Nachdem wir die Abzüge (Siehe Tab. 10) für parallele Streifen an den Werten der Tabelle 9 angebracht haben, erfolgt noch die Berücksichtigung der Randeffekte der parallel zum Winde liegenden Streifen. Die Randeffekte erniedrigen die mittlere Windstärke in einem engmaschigen quadratischen Schutzstreifensystem einer Maschenweite von 20 Heckenhöhen um etwa 3.5%. Bei einer Maschenweite von 60 Heckenhöhen beträgt die Minderung nur noch 1.3%.

Tabelle 12 und Abb. 29 bringen die errechneten Werte. Im Bereich des dichtesten Schutzstreifens IV, der sich aus Laub- und Nadelhölzern zusammensetzt, ist die mittlere Geschwindigkeit am geringsten, seine Schutzwirkung ist also am größten. Der Unterschied erreicht sein Maximum, wenn die Laubbäume ihr Blattwerk abgeworfen haben. Bei den reinen Laubholzstreifen III, II und V nimmt die Schutzwirkung mit abnehmender Dichte der Streifen ebenfalls ab.

Tab. 12 Mittlere Windgeschwindigkeit in Prozent des Freilandwindes in einem quadratischen Maschensystem von Schutzstreifen verschiedenen Abstandes. Der Wind weht senkrecht zu einer der Maschenseiten.

Maschenweite in Heckenhöhen	belaubt				unbelaubt			
	III	II	V	IV	III	II	V	IV
20	55	51	43	35	60	53	50	30
22	60	56	49	41	65	58	55	35
24	64	60	53	46	68	62	59	41
26	67	64	57	50	71	64	63	45
28	70	67	61	53	74	67	66	49
30	72	69	64	56	76	69	68	52
32	73	71	66	59	77	71	70	55
34	75	73	68	61	78	73	72	58
36	76	75	70	63	79	75	73	60
38	78	76	72	65	81	76	75	62
40	79	77	73	67	82	77	76	64
50	83	82	78	75	86	82	81	71
60	86	85	82	78	88	85	85	76

Innerhalb eines von Schutzstreifen umgebenen Gebietes gibt es Gebietsteile mit Windgeschwindigkeiten, die unter 40, 50 usw. Prozent der Freilandgeschwindigkeit liegen. Wir können an Hand unserer Aufstellungen jeweils das Verhältnis zwischen den Gebietsteilen mit unterhalb festzulegender Schwellenwerte liegender Geschwindigkeit und dem gesamten Gebiet ausrechnen. In der Literatur ist es üblich, noch diejenigen Gebiete als windgeschützt zu bezeichnen, deren Windgeschwindigkeit unterhalb 80 Prozent des Freilandwindes liegt. Wir haben daher für unseren Fall die entsprechende

Berechnung durchgeführt und das Ergebnis in der Abb. 30 dargestellt. Bemerkenswert erscheint hier, daß sich der aus 4 Reihen bestehende Windschutzstreifen II im unbelaubten Zustand an die zweite Stelle hinter den dichtesten Schutzstreifen IV schiebt.

3.3.4. Die flächenhafte Windschutzwirkung bei im Winkel von 45° auf Schutzstreifen verschiedenen Aufbaus auftreffendem Wind

Wir haben uns bisher immer mit der windschwächenden Wirkung von senkrecht oder parallel zum Winde

verlaufenden Schutzstreifen beschäftigt. In Wirklichkeit tritt dieser Fall nicht sehr häufig auf. Der Wind weht meist mehr oder weniger schräg zu den Schutzstreifen. Wir sind nun nicht in der Lage, den Zusammenhang zwischen den in verschiedenen Richtungen auf die Schutzstreifen auftreffenden Wind und der windschwächenden Wirkung der Anlagen genau darzustellen. Einen solchen Zusammenhang genau herauszuarbeiten würde eine längere Sonderuntersuchung an einem völlig frei im Gelände liegenden Schutzstreifen erforderlich machen. Für unsere Betrachtungen kom-

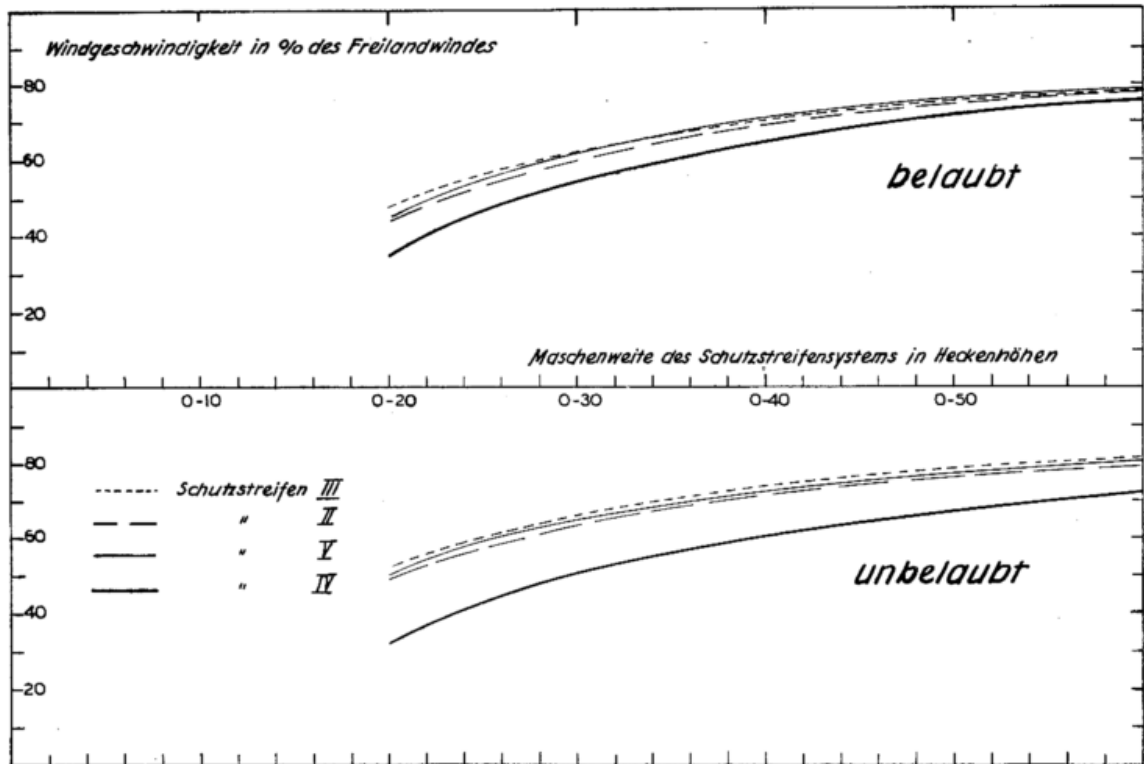


Abb. 29
Mittlere Windgeschwindigkeit in % des Freilandwindes in einem quadratischen Maschensystem von Schutzstreifen verschiedenen Aufbaues. Der Wind weht senkrecht zu einer der Maschenseiten.

men wir aber mit den gemessenen Werten schon sehr weit. Die von uns festgestellten Werte, für die wir einen Zusammenhang zwischen Art des Schutzstreifens, der einfallenden Windrichtung und der Windschwächung belegen können, gehören zu denjenigen Meßpunkten, die im Gebiet zwischen den Schutzstreifen und einer Entfernung von 14 Heckenhöhen vom Schutzstreifen liegen. Weiter entfernt liegende Meßpunkte werden schon nicht mehr von dem Wind erreicht, der durch die zu den Meßpunkten gehörenden Schutzstreifen geflossen ist.

Tab. 13 und Abb. 31 geben die Windgeschwindigkeitsverhältnisse auf der Leeseite von Windschutzstreifen wieder, die einen Winkel von 45 Grad zum einfallenden Wind bilden. Bis zum 14-fachen Heckenhöhenabstand handelt es sich um gemittelte Beobachtungswerte. Für größere Abstände wurden die Kurven immer mehr einander angeglichen, so daß sie sich schließlich in einer Entfernung von 26—28 Heckenhöhen treffen. Für die Luvseiten aller Anlagen wurden die gleichen Windverhältnisse angesetzt (siehe Tab. 13). Die wenigen Beobachtungen lassen keine ausreichende Differenzierung zu. Sicher ist aber, daß die Luv-

wirkung der Schutzstreifen sich auf eine sehr schmale Zone bezieht. Größere Fehler kommen bisher durch unsere Betrachtungsweise nicht auf. Ein Vergleich der Abb. 31 (schrägeinfallender Wind) mit der Abb. 28 (senkrecht auftreffender Wind), zeigt wesentlich geringere Unterschiede zwischen der windschwächenden Wirkung der verschiedenen Schutzstreifen. Ein anderes Resultat ist auch nicht zu erwarten, weil die Dichteunterschiede zwischen den Streifen bei schräg einfallendem Wind mehr und mehr zurücktreten. Beim schrägeinfallenden Wind ist die Schwächung im streifen nahen Gebiet der unbelaubten Streifen größer als bei dem belaubten. Im streifenfernen kehren sich die Verhältnisse in Übereinstimmung mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen um. Eine Ausnahme finden wir nur beim dichtesten Schutzstreifen IV. Bei schrägem Windeinfall sind die Windstärken auf seiner Leeseite überall relativ höher als bei senkrechtem Einfall. Die oben erwähnte Angleichung der Windstärkekurven in einem Abstand von mehr als 14 Heckenhöhen geht vielleicht etwas schneller vor sich. In einem solchen Fall würden die errechneten Windwerte für alle Streifen etwas höher anzusehen sein.

Tab. 13 Windstärken in % des Freilandwindes bei einem Winkel von 45° zwischen Schutzstreifen und Windrichtung (für schutzstreifenparallele Parzellen).

	III	II	V	IV	III	II	V	IV	
	belaubt				unbelaubt				
luv									
8—6	100	100	100	100	100	100	100	100	Gemittelt
6—4	95	95	95	95	95	95	95	95	für alle
4—2	85	85	85	85	85	85	85	85	Streifen!
2—0	70	70	70	70	70	70	70	70	
lee									
0—2	15	13	22	15	20	30	32	10	Gemessene
2—4	27	17	40	26	31	35	43	20	Werte!
4—6	42	43	53	38	43	43	52	33	
6—8	52	55	62	48	55	52	61	44	(Nach
8—10	61	63	69	57	64	61	68	53	Glättung)
10—12	67	69	76	65	71	68	74	62	
12—14	73	74	82	73	76	75	79	70	
14—16	78	78	87	79	82	80	83	76	Geschätzte
16—18	83	83	91	85	86	84	87	81	Werte
18—20	88	88	94	90	90	88	91	86	
20—22	92	92	97	94	93	92	94	90	
22—24	96	95	99	97	96	95	96	93	
24—26	98	98	100	99	98	97	98	96	
26—28	100	100	100	100	99	99	99	98	
28—30	100	100	100	100	100	100	100	99	

Wir haben die Schwächung des im Winkel von 45 Grad auf freiliegende Schutzstreifen auftreffenden Windes betrachtet. Nun wenden wir uns den Verhältnissen innerhalb eines quadratisch angelegten Systems von Schutzstreifen zu, wobei der Wind ebenfalls im Winkel von 45 Grad zu den Streifen weht.

Auch hierbei gilt es einen wichtigen Punkt zu beachten, nämlich die besonderen Verhältnisse in den von je zwei sich im Winkel von 90 Grad schneidenden Streifen gebildeten Feldecken. In diesen Ecken addiert sich teilweise die Leewirkung des einen Schutzstreifens zu der Luvwirkung des nächsten, senkrecht zu dem ersteren verlaufenden Streifen. Je weiter man sich aus der Ecke entfernt, je größer demnach auch die Strecke wird, die der Wind zwischen den Schutzstreifen überwehen muß, um so geringer wird die doppelte Beeinflussung durch zwei Schutzstreifen. Auch kann man nach früheren Untersuchungen nicht erwarten, daß etwa die dichte Aufeinanderfolge von Windschutzstreifen zu einer schnell sich steigenden Schwächung des allgemeinen Windes führt. Man muß vielmehr mit gleichen mittleren Windverhältnissen rechnen, gleich, ob sich nun eine Parzelle an zweiter Stelle des vom Wind getroffenen Maschensystems von Schutzstreifen befindet, oder sie vom Wind erst nach Durchquerung einer größeren Zahl von Schutzstreifen erreicht wird.

Tabelle 14 bringt die Abzüge, die von den Werten der Tabelle 15 sinngemäß für ein quadratisches System von Schutzstreifen abzuziehen sind. Die Abzüge für die Feldecken sind relativ gering, wenn wir beachten, daß

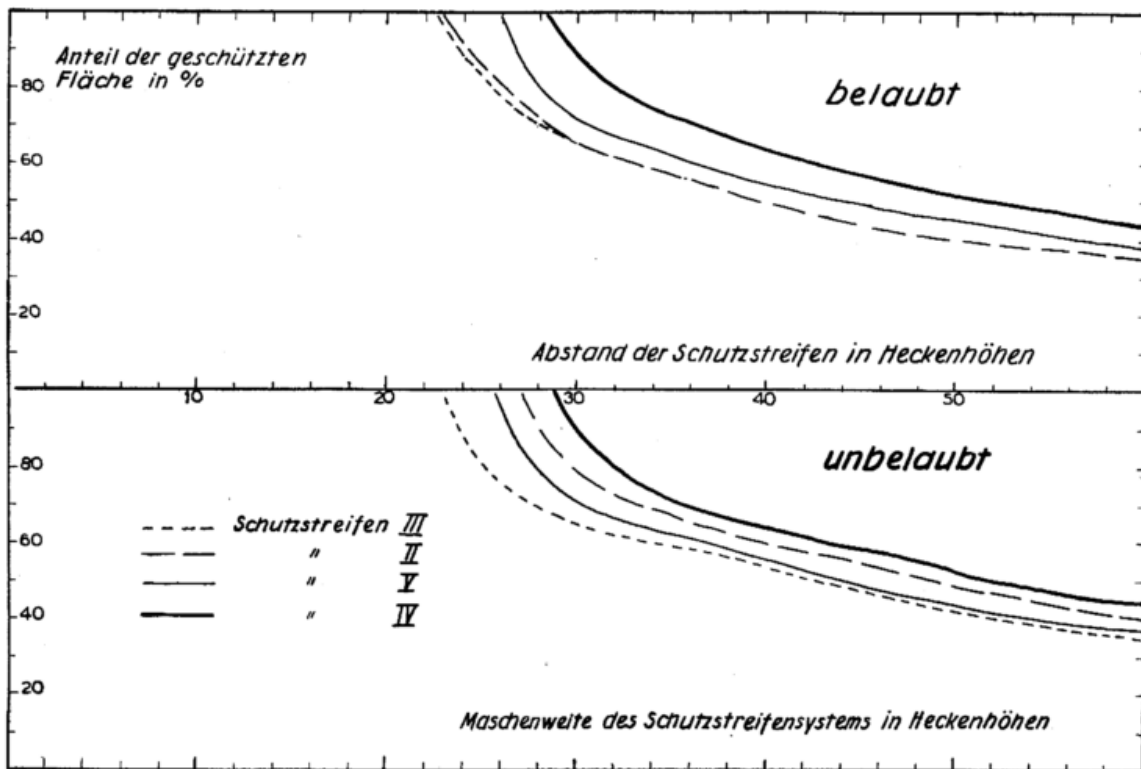


Abb. 30 Verhältnis von windgeschützter Fläche (Wind 80% des Freilandwindes) zur gesamten, von Schutzstreifen umgebenen Fläche. Der Wind weht senkrecht zu einer der Maschenseiten des Schutzstreifensystems.

für einen vom Freiland her wehenden und schräg auf einen Schutzstreifen treffenden Wind bereits die in der letzten Spalte der Tabelle angeführten Werte abzuziehen sind. Letztere Werte beruhen auf Messungen, die allerdings nicht zahlreich genug waren, daß sie zu einer Herausschälung von Unterschieden zwischen den

Schutzstreifen verschiedenen Aufbaus ausgereicht hätten. Tabelle 15 stellt die Verhältnisse dar, die man unter Berücksichtigung der angeführten Abzüge erhält. Im belaubten Zustand sind die Unterschiede zwischen dem dichten (IV) und den durchlässigen (III, II) Streifen gering. Der Streifen V (dicht aber ohne Nadelholz)

weist höhere Windstärken in den von ihm umschlossenen Parzellen auf. Im unbelaubten Zustand sind Streifen III und II praktisch gleichwertig. Die beste Schutzwirkung hat der mit Nadelholz durchsetzte Streifen IV, während der Streifen V (Nadelholz herausgeschlagen) die geringere aufweist. Möglicherweise sind die Geschwindigkeiten im Bereich des Streifens V deswegen etwas zu hoch, weil dieser Streifen im flachen Winkel zu den übrigen verläuft. Wir bringen trotzdem keine Verbesserungen an. Der letzte unserer Schritte wird ohnehin einen Ausgleich bringen.

Tab. 14 Abzüge zur Berücksichtigung der Luvwirkung eines zweiten im Winkel von 45° zum Winde verlaufenden Schutzstreifens. Angabe in % der bei nur einem Streifen angetroffenen Werte.

Parzellenparallel zum zweiten Schutzstreifen	0-2	2-4	4-6	4-8
8-6	5	4	3	2
6-4	10	9	8	7
4-2	20	18	16	14
2-0	35	33	31	29

Parzellenparallel zum ersten Schutzstreifen

8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20
1	0	0	0	0	0
6	6	5	5	5	5
13	12	11	10	10	10
28	27	26	25	23	20

Tab. 15 Mittlere Windgeschwindigkeit in % des Freilandwindes in einem quadratischen Maschensystem von Schutzstreifen verschiedenen Abstandes. Der Wind weht im Winkel von 45° zu den Schutzstreifen.

Maschenweite in Heckenhöhen	belaubt				unbelaubt			
	III	II	V	IV	III	II	V	IV
0-20	41	38	49	39	44	45	51	35
0-30	53	50	59	51	55	56	61	47
0-40	61	61	69	61	64	64	68	57
0-50	68	67	74	67	70	70	73	64
0-60	72	71	77	72	74	74	77	69

3.3.5. Die flächenhafte Windschwächung durch Schutzstreifen verschiedenen Aufbaus bei mittleren Windrichtungen

Wir bringen nun die Schlußfolgerungen über die Windschwächung bei mittlerer Windrichtung, die weder genau senkrecht noch genau im Winkel von 45 Grad zu den Schutzstreifen liegt. Wir erörtern also die Verhältnisse bei einer Zwischenrichtung. Diese Betrachtung wäre nur dann unzulässig, wenn der Wind eine der Hauptrichtungen ganz wesentlich bevorzugen würde. Eine solche wesentliche Bevorzugung läßt sich aber nicht nachweisen, zum Teil schon deswegen nicht, weil der Wind nie ganz gleichmäßig aus einer Richtung heranströmt. Er pendelt vielmehr in einem gewissen Winkel um seine jeweilige Hauptrichtung.

Ohne diese Unsicherheiten der Richtungsbestimmung müßte man bei einer zusammenfassenden Betrachtung den einzelnen Hauptwindrichtungen ein verschiedenes Gewicht beimessen. Besondere Betrachtungen dieser Art würden uns hier zu weit führen. Wir beschränken uns also auf die Erörterung der mittleren Verhältnisse, die sich aus der gleichmäßigen Berücksichtigung des

senkrecht und im Winkel von 45 Grad auf ein Schutzstreifensystem auftreffenden Windes ergeben.

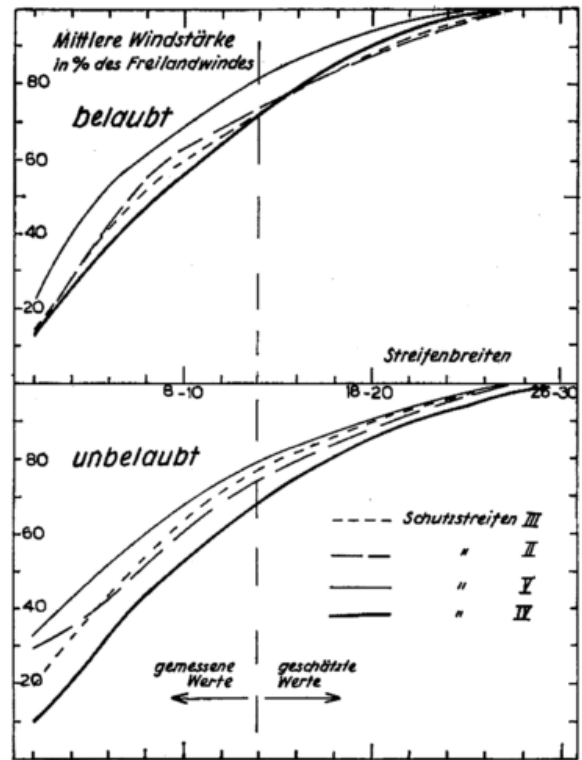


Abb. 31

Mittlere Windgeschwindigkeit in % des Freilandwindes für schutzstreifenparallele, zweiheckenhöhenbreite Parzellen. Der Wind trifft im Winkel von 45° auf die von Freiland umgebenen Schutzstreifen verschiedenen Aufbaus.

Tab. 16 Windstärke in Prozent des Freilandwindes (Station V/8) für mittlere Windrichtungsverhältnisse innerhalb von quadratisch angelegten Schutzstreifensystemen verschiedenen Aufbaus.

Maschenweite in Heckenhöhen	belaubt				unbelaubt			
	III	II	V	IV	III	II	V	IV
0-20	48	44	45	34	52	49	50	32
-22	52	48	50	41	56	52	55	36
-24	55	52	53	46	58	56	57	41
-26	58	55	56	49	61	58	61	45
-28	60	58	59	51	64	61	63	47
-30	62	60	62	54	66	63	65	50
-32	64	62	64	56	67	65	66	52
-34	66	64	66	58	69	67	68	55
-36	67	66	68	60	71	69	69	57
-38	69	67	70	62	72	70	71	58
0-40	70	68	71	64	73	71	72	60
0-50	75	74	76	72	78	76	77	67
0-60	79	78	79	75	81	79	81	72

Für unsere Berechnungen wählen wir zweckmäßig nicht die bisher verwandten in Prozent des Freilandwindes festgelegten mittleren Windgeschwindigkeiten der verschieden großen schutzstreifenumschlossenen Gebiete. Wir subtrahieren vielmehr diese Werte von 100 und haben damit ein direktes Maß für die Windschwächung innerhalb der Gebiete. Dann bilden wir das Verhältnis zwischen der Windschwächung innerhalb der geschützten Gebiete bei einem Windeinfall

von 45 Grad zu der Windschwächung bei senkrechtem Einfall des Windes auf das Schutzstreifensystem. Durch Halbierung der so erhaltenen Werte ergeben sich die Faktoren, mit denen wir die Windschwächungswerte des senkrecht auf die Streifen auffallenden Windes multiplizieren müssen, um auf die durchschnittliche Schwächung bei mittleren Windrichtungen zu kommen. Durch folgerichtige Rechnung erhalte ich schließlich die durchschnittliche Windstärke in den geschützten Gebieten. Tab. 16 und Abb. 32 geben die Daten wieder. Danach unterscheiden sich die mittleren Windstärken für ganze, von Laubholzstreifen umsäumte Parzellen kaum voneinander, gleichgültig, ob es sich dabei um sieben (V), vier (II) oder dreireihige (III) Schutzstreifen handelt. Mit Fichten durchsetzte Streifen (IV) weisen eine höhere Schutzwirkung auf, vor allem im Winter, wenn die Laubbäume kahl stehen. Will man (siehe Abb. 32) z. B. eine durchschnittliche Herabsetzung des Windes auf 60 Prozent der Freilandwindgeschwindigkeit, so muß man dafür ein Laubholzstreifensystem mit einer Maschenweite von 26 Heckenhöhen anlegen. Bei gemischten Streifen (IV) kommt man mit einer Maschenweite von 40 Heckenhöhen aus. Im belaubten Zustand liegen die entsprechenden Maschenweiten bei 29 bzw. 36 Heckenhöhen. Wie schon mehrfach betont, dürfen wir aber nicht vergessen, daß die Wirkung des Streifens IV vor allem in der schutzstreifennahen Zone am größten ist. Oft ist diese größere Schwächung, die sich auch in einer Herabsetzung der schon erörterten Flächenmittelwerte bemerkbar macht, gar nicht so erwünscht. Geht es also darum, eine mäßige Schwächung über eine größere Fläche zu bekommen, so halten wir uns besser an die Angaben der Abb. 30, die das Verhältnis der Flächen mit einer Windgeschwindigkeit unter 80 Prozent des Freilandwindes zur gesamten von Schutzstreifen umschlossenen Flächen wiedergibt. Das Flächenverhältnis wurde auch für schräg einfallenden Wind bestimmt. Wir verzichten

hier auf Wiedergabe, bemerken nur, daß sich die Verhältnisse zwischen den verschiedenen Systemen wesentlich ähnlicher werden, als beim senkrechten Wind-einfall.

Einen Tatbestand wollen wir noch kurz erläutern, der vielleicht auf den ersten Blick merkwürdig anmutet. Beim Vergleich der mittleren Windgeschwindigkeiten (Flächenmittel) schutzstreifenumschlossener Parzellen stellen wir fest, daß die mittleren Windgeschwindigkeiten beim Windeinfall unter 45 Grad wesentlich geringer sind als bei einem senkrechten Einfall auf die Schutzstreifen. Letzten Endes ergibt sich dieser Sachverhalt daraus, daß der Wind bei schrägem Einfall größere Schutzstreifenlängen antrifft als bei senkrechtem Auftreffen. Bei senkrechtem Auftreffen auf ein Maschensystem von Windschutzstreifen weht der Wind nur senkrecht zu 50% der Streifen, zu den übrigen 50% weht der Wind parallel und wird entsprechend wenig beeinflusst. Mathematisch gesehen ergibt sich für den schräg einfallenden Wind eine um das 1.41-fache größere Schutzstreifenlänge. Dabei wäre angenommen, daß die Schutzwirkung eines schräg zum Winde liegenden Streifens bestimmter Länge genau so groß ist, wie die Projektion dieses Streifens auf eine senkrecht zur Windrichtung liegende Ebene.

Wie wir schon bemerkten, ist die windschwächende Wirkung des dichten Schutzstreifens IV eher etwas zu hoch als zu niedrig dargestellt worden. Eher ist der auf die ausgeglichene Firstlinie dieses Streifens zurückzuführende Effekt kleiner als der auf die etwas größere Höhe des Schutzstreifens zurückzuführende. Auch bei Vernachlässigung des Firstlinieneffektes würde aber der dichte Streifen immer noch eine etwas bessere Wirkung als die übrigen aufweisen. Die Windstärken würden sich in den streifenfernen Gebieten nur um etwa 2% erhöhen.

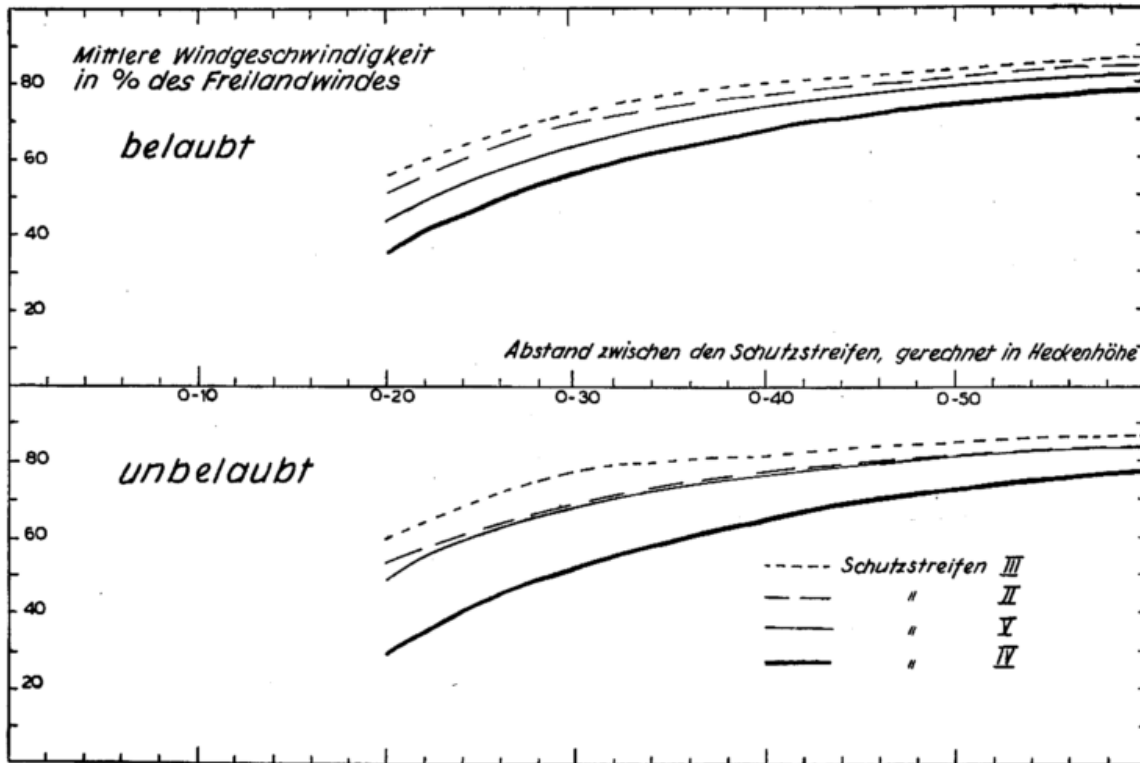


Abb. 32
Mittlere Windgeschwindigkeit in % des Freilandwindes in quadratischen Systemen von Schutzstreifen verschiedenen Aufbaues. Wahrscheinlichste Werte für durchschnittliche Windverhältnisse.

3.3.6. Zusammenhang zwischen dem für die Anlage von Schutzstreifen verschiedenen Aufbaus notwendigen Aufwand an Nutzfläche, dem Abstand der Schutzstreifen und der mittleren Windschwächung

Zwischen der bei einem bestimmten Schutzstreifen festgelegten Anzahl der Baumreihen und der Streifenbreite besteht ein enger Zusammenhang. Für einen dreireihigen Streifen (III) dürfen wir eine Breite von 3 m, für einen vierreihigen (II) eine solche von 4 m, für den siebenreihigen 7 m und entsprechend für den zehnstreihigen 10 Meter ansetzen. Streifen anderer Breite haben wir nicht zu unserer vergleichenden Betrachtung herangezogen. Ganz allgemein können wir nun berechnen, wie groß der Flächenanteil ist, der für quadratisch angelegte Schutzstreifensysteme verschiedener Breite und verschiedenen Abstandes z. B. pro Quadratkilometer Gesamtfläche anzusetzen ist. Setzen wir die Schutzstreifenbreite = B, die Anzahl der parallel zueinander verlaufenden Streifen einer Hauptrichtung (z. B. Nord—Süd) auf einer Strecke von 1 km = A, so erhalten wir für die von den Bäumen der Schutzstreifen (SF) bestandene Fläche die Formel

$$SF = \frac{2 \cdot 1000 \cdot B \cdot A - B^2 \cdot A^2}{10\,000}$$

SF gibt den Prozentsatz des für die Schutzstreifen notwendigen Landes von der Gesamtfläche an. Das quadratische Glied ist ein Abzug, der sich aus den Schnittpunkten der sich kreuzenden Anlagen ergibt. Er beträgt im Höchstfall bei breiten Streifen (10 m) geringen Abstandes (100 m) 1 Prozent der Gesamtfläche. Für unsere weiteren Vergleiche, die sich mit größeren Abständen befassen, kann der Anteil vernachlässigt werden. Abb. 33 stellt den Zusammenhang zwischen dem für die Schutzstreifen notwendigen Landanteil, dem

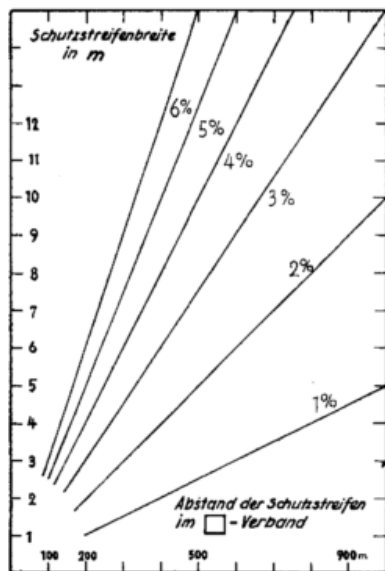


Abb. 33

Landaufwand für Schutzstreifen verschiedener Breite und verschiedenen Abstandes.

Streifenabstand und der Streifenbreite dar. Damit haben wir die notwendigen Arbeitsunterlagen für eine Schlußbetrachtung, die für den Planer ihre Bedeutung hat. Aus den Werten der Tab. 16 bzw. der Abb. 33 entsteht die Tab. 17. Diese Tabelle gibt mir Auskunft darüber, welche Maschenweite quadratisch angelegte Schutzstreifensysteme haben müssen, wenn ein Landaufwand von 1—6% für die Streifen zugelassen wird und welche mittlere Windstärke sich für die Land-

quadrate ergibt. Bei einem Landaufwand von 3% würden z. B. dreireihige Streifen einen Abstand von 28 Heckenhöhen (d. h. bei einer Durchschnittshöhe des Streifens von 7 m ein Abstand von etwa 200 m). Für zehnstreihige Streifen ergibt sich ein Abstand von 96 Heckenhöhen bzw. 670 m. Dabei beträgt die mittlere Windgeschwindigkeit (% Freilandwind) im ersten Fall 61%, im zweiten 85%. Infolge des größeren Abstandes der Schutzstreifen ist also der Wind innerhalb des Systems der breiten Streifen wesentlich stärker. Es ist schwer, die Zusammenhänge der Tabelle 17 graphisch darzustellen, weil wir es mit 4 variablen Größen zu tun haben, nämlich dem Schutzstreifentyp, dem Landaufwand, dem Streifenabstand und der mittleren Windgeschwindigkeit. Wir verweisen auf Abb. 34. Aus ihr läßt sich ablesen, welche Bedingungen sich ergeben, wenn ich z. B. die Forderung nach einer bestimmten durchschnittlichen Windschwächung stelle. Für eine mittlere Windstärke von 75% würde sich z. B. ergeben:

Typ	Breite	Landaufwand	Abstand des Schutzstreifen in einem quadratischen System in Heckenhöhen
III	3	1,7%	50
II	4	2,2%	54
V	7	4,2%	49
IV	10	5,0%	57

Tab. 17 Zusammenhang zwischen der Windschutzwirkung, dem Abstand und dem prozentualen Anteil der für die Schutzstreifen verschiedenen Aufbaus notwendigen Fläche (in % der Gesamtfläche).

Schutzstreifen	Breite in m	Für Streifen notwendige Fläche in % der Gesamtfläche	W			
			HH	M	belaubt	unbelaubt
III	3	1	86	600	84	87
II	4	1	114	800	88	89
V	7	1	200	1400	94	94
IV	10	1	286	2000	95	94
III	3	2	43	300	72	75
II	4	2	57	400	76	78
V	7	2	100	700	88	89
IV	10	2	143	1000	90	88
III	3	3	28	200	61	65
II	4	3	39	270	68	71
V	7	3	67	470	82	82
IV	10	3	96	670	85	84
III	3	5	17	120	41	45
II	4	5	23	160	50	54
V	7	5	40	280	71	72
IV	10	5	57	400	75	71
III	3	6	14	100	34	38
II	4	6	19	133	42	47
V	7	6	33	233	65	77
IV	10	6	48	333	71	67

HH = Abstand der Schutzstreifen in Heckenhöhen
 M = Abstand der Schutzstreifen in Meter für eine Schutzstreifenhöhe von 7 m
 W = Mittlere Windgeschwindigkeit der geschützten Flächen in Prozent des Freilandwindes

Die Schutzstreifen sind in einem quadratischen System angeordnet. HH bzw. M geben die Seitenlängen der einzelnen Quadrate an.

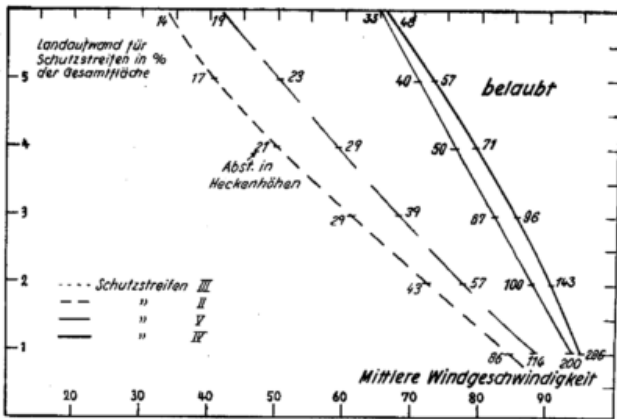


Abb. 34

Mittlere Windgeschwindigkeit der windgeschützten Gebiete (% Freilandwind) in Abhängigkeit vom Schutzstreifentyp und von der für Streifen aufgewandten Landfläche.

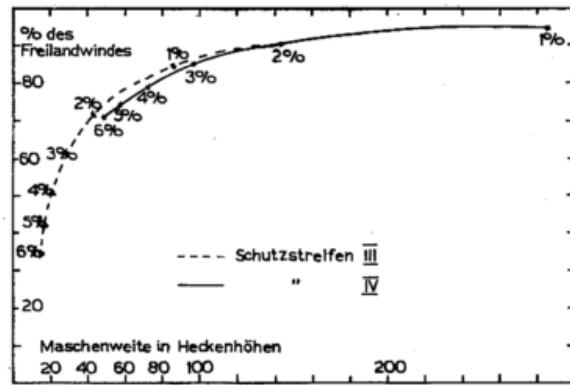


Abb. 35

Windschwächung in quadratisch angelegten Schutzstreifensystemen in Abhängigkeit von Maschenweite und Landaufwand für die Streifen verschiedenen Aufbaus.

Abb. 35 ist ebenfalls aus den Werten der Tabelle 17 entstanden, beschränkt sich aber der Übersichtlichkeit halber auf den dichtesten Streifen IV und dem durchlässigen III. Aus ihr lassen sich gewisse Zusammenhänge noch etwas besser ableiten bzw. erkennen. Bei großer Maschenweite des Schutzstreifensystems (über 100 Heckenhöhen) ist es für das Ausmaß der Windschwächung praktisch gleichgültig, ob ich dichte, breite Windschutzstreifen anlege oder mich auf schmalere beschränke. Der Tatbestand läßt sich leicht aus dem großen Anteil der Fläche erklären, auf der der Wind Freilandstärke besitzt. Die Unterschiede zwischen den windgeschützten Gebieten in der Nähe der Schutzstreifen verschiedenen Aufbaus fallen nicht mehr ins Gewicht. Will ich überhaupt eine merkliche Windschwächung auf mindestens 80% der Freilandwindstärke erzielen, so muß ich nach Abbildung 35 schon einen Mindestabstand der Schutzstreifen von 70 Heckenhöhen (bei 7 m hohen Schutzstreifen also von mindestens 490 m) wählen. Dabei haben dann immer noch weite Gebiete eine Windstärke von über 80% des Freilandwindes. Wir haben die 80% als Mittelwert über die ganze Fläche zu verstehen. Mit Hilfe der Abb. 35 lassen sich nun Betrachtungen darüber anknüpfen, wie sich eine Maschenverengung des Schutzstreifensystems auf die mittlere Windstärke auswirkt, wobei für die Streifen der notwendige Landaufwand beachtet wird. Der dichteste Streifen IV ergibt mit einem Abstand von 70 Heckenhöhen (entsprechend 490 m bei einer Heckenhöhe von 7 m) eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 79% des Freilandwindes bei einem Landaufwand von 4%. Will ich die Windstärke auf 71% des Freilandwindes herabmindern, so muß ich dafür bei Anlage der dichten Streifen einen zusätzlichen Landaufwand von 2% bei einer Verringerung des Streifenabstandes von 70 Heckenhöhen (490 m) auf 48 Heckenhöhen (340 m) ansetzen. Für die durchlässigen Schutzstreifen vom Typ III ergeben sich dagegen folgende Vergleichszahlen: Landaufwand bei Windschwächung auf 79% beträgt 1.4% bei einem Schutzstreifenabstand von 64 Heckenhöhen (448 m). Eine Windschwächung auf 71% des Freilandwindes bedingt einen Landaufwand von 2.1% und einen Streifenabstand von 40 Heckenhöhen (260 m). Das Maschensystem der durchlässigen Schutzstreifen ist also um rund 40 bzw. 60 m enger, dafür ist aber der für die Streifen notwendige Landaufwand wesentlich geringer. Bei dem dichten Schutzstreifen beträgt er 4 bzw. 6%, beim durchlässigen Streifen 1.4 bzw. 2.1%. Den gleichen Betrag an zusätzlicher Windschwächung erhalte ich also bei dichten Schutzstreifen durch einen Landmehraufwand von 2%, bei durchlässigen von 0.7%. Weitere Betrachtungen bleiben dem Praktiker überlassen. Es ist hier nicht möglich, sämtliche Kombinationsmöglichkeiten zu diskutieren.

Wir sind uns darüber klar, daß die Entscheidung über die Anlage von Windschutzstreifen, deren Breite und Form, in jedem einzelnen Fall nach verschiedenen Gesichtspunkten gefällt werden muß. Wir denken nur an das System der Entwässerungsgräben und der Straßen, das in vielen Fällen die Planung stark beeinflussen muß. Auch ist die Flureinteilung meist nicht quadratisch. Trotzdem hoffen wir, daß die Ergebnisse unserer Untersuchung manche Entscheidung erleichtern. Vor allem mögen die Darstellungen von Bedeutung für die Erfüllung mancher Sonderwünsche sein, die sich oft auch nach der Errichtung der Anlagen noch einstellen.

3.3.7. Auswirkung der Form der von Schutzstreifen umschlossenen Parzellen auf die mittlere Windstärke im umschlossenen Gebiet

Würde der Wind ständig aus einer ganz bestimmten Richtung wehen, so könnte man sich auf die Anlage von genau senkrecht zu dieser Richtung verlaufenden Schutzstreifen beschränken, also auf die Querstreifen verzichten. Wie wir schon bemerkten, kommt eine solche Planung den wirklichen Verhältnissen nicht entgegen. Keine Windrichtung überwiegt in unserm Klima so eindeutig. Ein gewisses Übergewicht der Winde aus westlichen und südwestlichen Richtungen ist aber vorhanden, so daß man im allgemeinen für die Schutzstreifen eine Nord-Süd- bzw. Nordwest-Südostrichtung bevorzugt. Die Bevorzugung einer bestimmten Richtung für die Anlage der Streifen ergibt sich nicht zuletzt aus weiteren Gegebenheiten (Netz der Kanäle, Form der Ackerparzellen). Aus diesen Gründen wollen wir noch untersuchen, mit welchen Unterschieden der Windstärke wir zwischen verschieden geformten Parzellen zu rechnen haben.

Wir gehen aus von einer schutzstreifenumschlossenen Parzelle der Größe 20 mal 20 Heckenhöhen und beschäftigen uns bei der folgenden Betrachtung nur mit senkrecht auf eine der Parzellenseiten auftreffenden Winden. Bei der nächstgrößeren Parzelle von der Größe 20 mal 30 Heckenhöhen betrachten wir sowohl die mittlere Windstärke bei senkrecht auf die schmale Parzellenseite als auch bei senkrecht auf die lange Seite der Parzelle auftreffendem Wind. Ebenso verfahren wir für Parzellen der Größe von 20 mal 40, 20 mal 50 und 20 mal 60 Heckenhöhen. Die Rechnung führen wir für den belaubten Zustand der von uns untersuchten 4 verschiedenen Schutzstreifentypen durch. Die Randwirkung der jeweils parallel zum Wind verlaufenden Streifen ist mit berücksichtigt. So entsteht die Tabelle 18.

Wir erkennen, in welchem Ausmaß die Herabsetzung des Windes davon abhängt, ob die Längs- oder die Querseite einer von Schutzstreifen umschlossenen Par-

zelle senkrecht zur Windrichtung liegt. Z. B. liegt die mittlere Windstärke einer 20 mal 60 Einheiten großen Parzelle beim Schutzstreifen III bei 38% des Freilandwindes, wenn der Wind senkrecht zur Längsseite der Parzelle weht. Weht der Wind senkrecht zur Schmalseite der Parzelle, so liegt die mittlere Windstärke im geschützten Gebiet dagegen bei 82% des Freilandwindes. Für quadratische Parzellen jeweils gleicher Größe (Flächeninhalte) finden wir Zwischenwerte. Wir haben die Berechnungen nun für den belaubten Zustand und nur für Parzellen mit einer Schmalseite von 20 Hecken durchgeführt. Mit zunehmender Parzellengröße gleichen sich die Unterschiede der mittleren Windstärke mehr und mehr an.

Tab. 18 Mittlere Windgeschwindigkeit (Prozent des Freilandwindes in von Windschutzstreifen umschlossenen Parzellen verschiedenen Aufbaus. Der Wind weht senkrecht zu den Längs- bzw. Querseiten der Parzellen.

	Größe der Parzellen in Heckenhöhen																			
	20 mal 20	20 mal 30	20 mal 40	20 mal 50	20 mal 60	III		II		IV										
A:	55	51	43	35	70	68	63	55	76	75	71	65	80	78	75	71	82	81	79	95
B:	55	51	43	35	56	52	45	37	56	53	45	38	57	53	46	38	57	54	46	39
C:	55	51	43	35	65	62	60	47	70	68	61	55	73	71	66	59	76	74	69	63
A:	Wind weht senkrecht zur schmalen Parzellenseite																			
B:	Wind weht senkrecht zur breiten Parzellenseite																			
C:	Wind weht senkrecht auf eine der Seiten von Quadraten, die den gleichen Flächeninhalt wie die entsprechenden rechteckigen Parzellen haben.																			

Zum Schluß gehen wir noch auf ein von der Praxis gegebenes Beispiel ein. In Abb. 1 finden wir eine Darstellung der Windschutzanlagen im Gebiet von Börgermoor am Küstenkanal. Deutlich kann man innerhalb der Gemarkung Gebiete mit unterschiedlich großen windgeschützten Parzellen unterscheiden. Wir führen an:

- A) Langgestrecktes Gebiet zwischen Küstenkanal und der Straße, die von Neulehe nach Neulehe Siedlung führt. Im Westen wird das Gebiet größtenteils durch Moorflächen begrenzt. Es ist 2 Windschutzparzellen breit und umschließt insgesamt 17 windgeschützte Parzellen. Die mittlere Parzellengröße beträgt etwa 4.7 Hektar.
- B) Nordwestliches Schutzstreifengebiet (westlich Lehe). Insgesamt 25, meist ganz von Schutzstreifen umschlossene Parzellen. Durchschnittsgröße 6.3 Hektar.
- C) Ein insgesamt 10 Parzellen umfassendes Gebiet zwischen A und E. Durchschnittsgröße der Parzellen 11 Hektar.
- D) Gebiet nordöstlich Lehe. Insgesamt 17 größtenteils von Schutzstreifen umschlossene Parzellen. Durchschnittsgröße 12.8 Hektar.
- E) Große Parzellen in Siedlung A (Neulehe) und südlich des Küstenkanals. Durchschnittsgröße 27 Hektar.

Die Durchschnittsgrößen sind nur grob nach dem Meßtischblatt bestimmt worden.

Wir berechnen nun die mittlere Windstärke (% Freilandwind) für die 5 aufgeführten Gebiete nicht nach den mehr oder weniger länglich geformten, oft auch nicht rechteckigen Parzellen, sondern für quadratische Parzellen gleichen Flächeninhalts, und zwar für mittlere Windverhältnisse. Wir wollen hier nur größenordnungsmäßig zu einer Abschätzung der Windverhältnisse kommen. Aus der Berechnung für die einzelnen

Parzellen ergibt sich dann unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Parzellengröße folgendes Bild für die oben unterschiedenen Gebiete:

	Mittlere Größe der schutzstreifenumschlossenen Parzellen	Mittlere Windstärke in Prozent des Freilandwindes	Typ der Streifen belaubt	Höhe der Schutzstreifen in Meter
A	4.7 Hektar	42	III	10
B	6.3	58	III	10
C	12.8	69	III	10
D	11.0	67	III	10
E	27.0	78	III	10

Für die Schutzstreifen wurde eine Höhe von 10 m angenommen, da sich so die Rechnung erleichtert.

Der Zusammenhang zwischen Parzellengröße und Windschutzwirkung wird erkennbar.

4. Statistische Prüfung

Tagsüber wurden die Windmesser meist alle zwei Stunden abgelesen. Die so gefundenen Einzelwerte der Windgeschwindigkeit wurden in Prozent des jeweiligen Freilandwindes umgerechnet. Für die meisten Windrichtungen liegen mehrere zweistündige Windwerte vor, aus denen dann wieder ein arithmetischer Mittelwert gebildet werden konnte. Die einzelnen zweistündigen Werte zeigten auch bei gleicher Windrichtung zum Teil größere Abweichungen voneinander, eine Folge der nie übereinstimmenden Witterungsverhältnisse und der nie ganz genau übereinstimmenden Windrichtung. Unter diesen Umständen war zu prüfen, welches Maß von Zuverlässigkeit wir den gewonnenen Mittelwerten zubilligen durften. Danach ließ sich dann schätzen, wie weit wir die einzelnen Kurven der Windstärkeverteilung glätten dürfen. Nach den statistischen Methoden wurde unter Benutzung graphischer Tafeln (Koller) festgestellt, welche Unterschiede der Mittelwerte sich statistisch sichern ließen.

Die nachfolgenden Tabellen zeigen die Verhältnisse an drei Beispielen für WNW-Wind im belaubten und WSW-Wind im unbelaubten Zustand der Schutzstreifen. Die Tabellen enthalten die Unterschiede der Mittelwerte. Z. B. beträgt der Unterschied zwischen den Meßstellen 1 der Schutzstreifen II und III bei WNW-Wind 17,8%. Statistisch gesicherte Unterschiede sind in den Tabellen fett gedruckt. Bei WNW-Wind in belaubtem Zustand lassen sich demnach Unterschiede bis teilweise herunter zu 5% sichern. Die nicht zu sichernden Unterschiede liegen im allgemeinen unterhalb 5%, in einigen Fällen aber auch noch bei höheren Differenzwerten.

Von Interesse sind die Verhältnisse bei verschieden starkem Freilandwind (Tab. 19, Teil 2 und 3) und gleicher Windrichtung (WSW). Bei Freilandwind über 7 m/sec. (Tab. 19, Teil 3) lassen sich Unterschiede bis zu 4,7% herunter noch sichern. Bei 4–5 m/sec. Freilandwind muß der Unterschied im allgemeinen über 10% (in einem Fall 8,5%) betragen, wenn er sicher sein soll. Eine gewisse Überschneidungszone mit teilweise gesichertem und teilweise nicht zu sichernden Unterschieden ist zu beachten. Da beim schwächeren Wind nur 9 Einzelfälle vorlagen, beim stärkeren aber 16 Fälle, wurden auch noch die Verhältnisse bei ebenfalls nur 9 Fällen mit stärkerem Wind untersucht. Das Bild verschob sich nicht wesentlich. Nach dieser Darstellung könnte man vermuten, daß man bei stärkerem Wind mit wesentlich weniger Beobachtungen zu brauchbaren Mittelwerten kommt. Bei einer langfristigen Untersuchung fand van Eimern (2) in gleiche Richtung deutende Zusammenhänge. Bei schwa-

chen Winden ist die Streuung der gewonnenen Einzelwerte größer als bei starken Winden.

Tab. 19 Statistische Prüfung der Ergebnisse an einigen Beispielen. Statistisch gesicherte Unterschiede sind fett gedruckt.

1. Prüfung für WNW-Wind — 12 Fälle, Freilandwind > 3.0 m/sec.

Die Schutzstreifen befinden sich im belaubten Zustand.

	1	2	3	4	5	6	7	8
II—III	17.8	15.6	4.4	4.9	3.3	5.5	3.2	5.4
II—IV	22.6	13.6	10.0	5.8	7.9	5.0	4.2	6.0
II—V	11.5	7.0	1.9	7.5	6.9	5.0	0.6	3.3
III—IV	40.4	27.2	14.6	10.7	10.2	10.5	1.0	0.6
III—V	29.3	22.6	6.5	12.4	10.2	10.5	2.6	8.7
IV—V	11.1	4.6	8.5	1.7	1.0	0.0	3.6	9.3

2. Für WSW-Wind 9 Fälle, Freilandwind 4—5 m/sec.

Die Schutzstreifen befinden sich im unbelaubten Zustand.

	1	2	3	4	5	6	7	8
II—III	12.4	4.1	2.8	3.4	1.1	7.9	9.9	16.9
II—IV	25.4	12.1	5.8	10.1	8.6	6.2	2.5	4.7
II—V	2.0	12.6	8.9	5.0	2.6	5.2	2.4	3.6
II—IV	13.0	16.2	8.6	13.5	7.5	1.7	7.4	12.2
III—V	10.4	8.5	6.1	1.6	3.7	13.1	12.3	20.5
IV—V	23.4	24.7	14.7	15.1	11.2	11.4	4.9	8.3

3. Für WSW-Wind 16 Fälle, Freilandwind > 7 m/sec.

Die Schutzstreifen befinden sich im unbelaubten Zustand.

	1	2	3	4	5	6	7	8
II—III	10.4	11.8	2.3	0.5	1.4	9.1	14.8	14.8
II—IV	27.4	22.4	10.9	3.4	9.5	6.3	3.3	3.9
II—V	4.7	5.8	0.5	6.2	2.4	3.1	9.6	2.5
III—IV	17.0	10.6	8.6	6.1	10.9	2.8	11.5	10.9
III—V	5.7	6.0	2.8	5.7	3.8	12.2	24.4	17.3
IV—V	22.7	16.6	11.4	11.8	7.1	9.4	12.9	6.4

5. Schlußbetrachtung

Die in der vorliegenden Untersuchung eingeschlagenen Wege sind in der Hauptsache zu Eingang der Kapitel 2. und 3. geschildert worden. Eine Zusammenfassung erübrigt sich daher. Nur die folgenden Gesichtspunkte werden noch einmal herausgestellt: Um die Vergleichbarkeit der in verschiedenen Landschaften oder auch zu verschiedenen Witterungsbedingungen gefundenen charakteristischen Windschwächungskurven der verschiedenen Schutzstreifen zu sichern, scheint eine genaue Analyse der Streifen angebracht. Eine für die Analyse brauchbar erscheinende Methode wurde

beschrieben. Wenn die Landschaftsplanung mit den gelieferten Windprofilen arbeiten soll, ist es wichtig, Durchschnittsberechnungen der Windschwächung innerhalb ganzer Parzellen durchzuführen. Zweckmäßig dürfte es sein, wenn die Planung Richtzahlen herausgibt, die das Ausmaß der geforderten Windabschwächung größenordnungsmäßig wiedergibt. Kennt der Agrarmeteorologe dieses Maß und auch die zu erwartenden Höhen der Schutzstreifen, so kann er eine Aussage über den zwischen den Streifen zu wählenden Abstand machen. Zu beachten wäre wohl noch, daß die mittlere Windstärke in den Küstengebieten höher als im Binnenland ist, wobei allerdings die Luft in Küstennähe feuchter ist und daher den Boden nicht in gleichem Maß austrocknet wie die kontinentale Luft. Teilweise werden sich die gegenläufig gerichteten Auswirkungen bei der Verdunstung aufheben. Dann bleiben die reine Erosionswirkung des Windes auf die oberste Bodenschicht und die unmittelbar auf die Pflanzen selbst wirkende Windkraft übrig. Demnach müßten die Windschutzstreifen in erosionsgefährdeten küstennahen Gebieten einen geringeren Abstand haben als im Binnenland.

Die Anwendung der Ergebnisse auf das ganze Gebiet mag gewagt erscheinen. In der Tat schließt das Verfahren Fehlerquellen in sich. Wir haben die Berechnungen trotzdem durchgeführt, denn schließlich wird der Planung eher mit Resultaten gedient sein, die an Hand des bisherigen Standes unseres Wissens gewonnen worden sind, als daß sie weiterhin mehr oder weniger gefühlsmäßig vorgehen muß.

6. Literatur

- (1) Blenk, H. u. Trienes, H.: Strömungstechnische Beiträge zum Windschutz. Grundlagen der Landtechnik H. 8. Düsseldorf 1956
- (2) van Eimern, J.: Über die Schwankungen der Windschutzwirkung von Hecken und Baumreihen. Meteor. Rdsch. 8, 1—5 (1955)
- (3) Bringmann, Kuhlewind, Kaiser: Richtlinien für Windschutz I. Teil. Frankfurt/Main 1955.
- (4) Braak, C.: Het klimaat van Nederland. Meded. Verh. Nederl. Meteor. Inst. 46 (1942)
- (5) Reichsamt für Wetterdienst: Klimakunde des Deutschen Reiches, Bd. II, Tabellen. Berlin 1939
- (6) Hoffmeister, J.: Verteilung des Windes usw. Angew. Meteor. 1, 121—127 (1952)
- (7) van Eimern, J. u. Franken, E. u. Harries, H.: Ergebnisse von Windschutzuntersuchungen in Hamburg-Garstedt. Hilstrup bei Münster 1954
- (8) Nägeli, W.: Untersuchungen über die Windverhältnisse im Bereich von Schilfrohrwänden. Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchswesen 29/2, 213—216 (1953)

