

Mikroklimatische Untersuchungen über Windschutz in einem Kulturpflanzenbestand

Von

Theodor ARZT (Wetzlar)

(Aus der Agrarmeteorologischen Versuchsstation Gießen)

(Durchgeführt mit Mitteln der William G. KERCKHOFF-Stiftung in Bad Nauheim)

(Mit 4 Textabbildungen)

Eingelangt am 27. November 1949

Einleitung und Problemstellung

Über die nachteiligen Wirkungen des Windes auf die Pflanze besteht allgemein übereinstimmende Auffassung, wenn auch die physiologischen Kausalzusammenhänge zwischen Windwirkung und Pflanzenwachstum, bzw. Ertrag kaum geklärt sind. Die Lösung dieser Frage dürfte auch nicht ohne erheblichen Aufwand an Hilfsmitteln möglich sein. Verschiedene Untersuchungen haben nun gezeigt, daß ein Windschutz sich günstig auf die Ertragsverhältnisse auszuwirken vermag; so konnte KREUTZ 1938: 15 z. B. unter günstigen Windschutzverhältnissen Mehrerträge an Kohlsorten von 150—300% erzielen. Der Windschutz ist also zweifellos in der Lage, einen sehr bedeutenden Beitrag zur Sicherung und Hebung unserer Ernährungsgrundlage zu leisten. Bei der durch die Ereignisse der letzten Jahre stark verkleinerten Anbaufläche erscheint es dringend geboten, jeden Fingerzeig auf die Möglichkeit einer Ertragssteigerung zu prüfen, um die schwierige Lage der Landwirtschaft zu meistern und damit die gesamte Volkswirtschaft zu entlasten.

Die bisherigen Forschungen haben ergeben, daß als beste Schutzspender allgemein durchlässige Schutzstreifen gelten müssen, die die Stromlinien des Windes nicht, wie es etwa eine Bretterwand oder eine Mauer tun würde, verändern und zu Wirbelbildungen im Lee führen, sondern den Wind hindurchstreichen lassen, dabei jedoch stark abbremsen. Die holsteinische Landschaft ist durch derartige Schutzstreifen, die lebenden Wallhecken, sog. Knicks, seit Jahrhunderten ausgezeichnet. In Gartengrundstücken läßt sich bei ihrer stark beschränkten Ausdehnung ein derartiger Schutz durch die Einfriedungshecken ebenfalls leicht erzielen. Auf Feldern dagegen ist die Anlage solcher Windschutzstreifen im allgemeinen unmöglich; abgesehen von der Bodenfläche, die sie beanspruchen und mit der in jeder Weise geheizt werden muß, behindern sie auch die Bestellung. Legt man die Windschutzstreifen zur Vermeidung dieser Nachteile weiter auseinander, so müssen sie aus relativ hohen Büschen bestehen, um auf größere Entfernung windschützend zu wirken. Das verursacht wiederum einen erheblichen Schattenwurf mit seinen ertragsmindernden Folgen.

Bekanntlich erweist sich nun ein Pflanzenbestand für sich selbst stets als besonders wirksamer Windschutz (Wald!), und so liegt der Gedanke nahe, den Windschutz für eine „Hauptanbaupflanze“ durch gleichzeitigen Anbau von höher- und schnellerwüchsigen „Nebenanbaupflanzen“ in Streifenform quer zur Hauptwindrichtung zu erzielen. Dieses Verfahren, das als „Windschutz im Anbauverfahren“ bezeichnet werden soll und in manchen Gegenden Europas seit langem angewandt wird, hat seine Vorteile, weist aber Schwierigkeiten auf und stellt mancherlei Probleme. Die Vorteile liegen in der restlosen Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Bodenfläche, von der nicht wie bei den holsteinischen Knicks ein bestimmter Teil der landwirtschaftlichen Nutzung verloren geht. Durch den gleichzeitigen Anbau zweier verschiedener Pflanzen in Kulturgemeinschaft aber fordert das Verfahren die Auswahl solcher Gewächse, die in verschiedener Weise aufeinander abgestimmt sein müssen: Der Bedarf an mineralischen Nährstoffen darf wegen der Düngung nicht zu verschieden sein, die Aussaat muß möglichst gleichzeitig erfolgen können (wenn nicht eine der beiden Pflanzen ausgepflanzt wird), zu allen Zeiten der Entwicklung muß der Schutzspender den Schützling um eine genügende Höhe überragen und schließlich müssen auch die Erntezeiten einigermaßen in Einklang stehen.

Ob es möglich sein wird, durch Einbau einer Querwand in genügend breite Sämaschinen gleichzeitig zwei verschiedene Pflanzen — die schutzspendende in etwa 50 cm, die zu schützende in 250 cm breiten Streifen, die dann durch geeignete Wendung der Maschine am Feldende auf 500 cm Breite gebracht werden könnten — auszusäen, ist eine rein technische Frage, die hier nicht zu erörtern ist. Am leichtesten dürfte der Windschutz im Anbauverfahren bei Kulturen angewendet werden können, bei denen die Pflanzen nach der Anzucht in besonderen Beeten auf das Feld gebracht werden (Feldgemüsebau).

Der Fragenkomplex, der sich für die Durchführung des Windschutzes im Anbauverfahren ergibt, kann in zwei Gruppen aufgegliedert werden:

1. Landwirtschaftliche Fragen, durch die die Möglichkeiten des Anbaues und der Kombination zweier Pflanzen, ihr Düngerbedarf usw. und vor allem der Erfolg (Ertragssteigerung) zu klären wären, und

2. Meteorologische Fragen, die sich hinsichtlich der klein-klimatischen Verhältnisse durch das Verfahren in Abhängigkeit von Breite, Abstand und relativer Höhe der Schutzstreifen ergeben.

In der vorliegenden Arbeit interessieren nur die klein-klimatischen Gegebenheiten in einem Pflanzenbestand, der in der geschilderten Weise von windschützenden Streifen umgeben war.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, auch an dieser Stelle der William G. KERCKHOFF-Stiftung in Bad Nauheim für die finanziellen Mittel aufrichtig zu danken, die sie für diese Untersuchungen zur Verfügung gestellt hat.

Versuchsanordnung

Bei einem Feldversuch im Jahre 1944 auf den landwirtschaftlichen Versuchsfeldern der Universität Gießen waren Sojabohnen von Maispflanzen umgeben; es genügte eine relativ kleine zusätzliche Maisanpflanzung, um den Versuch in der gewünschten Richtung zu einem ausgesprochenen Windschutzversuch auszubauen. Für diese Möglichkeit sei auch hier dem damaligen Leiter des Institutes für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Herrn Prof. Dr. SESSOUS, mein besonderer Dank ausgesprochen. Die Skizze Abb. 1 gibt einen Überblick über die Umgebung der Versuchsstelle, die in der Lahnniederung in völlig ebenem Gelände liegt. Westlich des Versuchsgeländes, an der nächsten Stelle etwa 250 m entfernt, steigt ein fichtenbewachsener Steilhang etwa 30—40 m hoch an. Die Ränder der auf der anderen Seite des Versuchsgeländes vorbeiführenden Straße Gießen—Krofdorf sind mit Linden bepflanzt. Das Feld, auf dem der Versuch stattfand, ist durch Punktierung hervorgehoben; zwischen ihm und der Straße befand sich ein 17 m breiter Maisstreifen (schwarz gezeichnet). Zwischen dem Versuchsgrundstück und dem parallel zu der Straße laufenden Weg befand sich eine Züchtungszwecken dienende Sojaanpflanzung (weiß). Die Bodengüte nimmt von dem Weg in der Längsrichtung nach der Straße zu leicht ab, was sich in einer geringen allmählichen Höhenabnahme des Sojabestandes in gleicher Richtung bemerkbar machte. Die Abb. 1 enthält unten links einen Plan des Versuchs in zehnfachem Maßstab der Hauptskizze; dieser Plan ist aus Raumgründen im Uhrzeigersinn aus der Nordrichtung gedreht. Durch einen Pfad, der auch in der Hauptskizze gezeichnet ist, war das ungefähr 50 m breite Grundstück bis zu der 17 m breiten Maisanpflanzung in zwei Längshälften geteilt, die außen von einem 2—3 m breiten Maisstreifen eingefasst wurden. Die südliche Längshälfte war nicht unterteilt und stellte die Vergleichsfläche dar. Die nördliche Längshälfte war in einzelne, verschieden breite Beete eingeteilt, die, mit Mais umgeben, auf die Unterschiede ihres Kleinklimas untersucht wurden. Die nördliche Hälfte war der Länge nach noch einmal halbiert; die Beete des südlichen Teils waren mit je 2, die des nördlichen mit je 4 Reihen Mais umgeben. Auf dem Plan (Abb. 1) sind diese Maisstreifen entsprechend durch einen, bzw. zwei Striche gekennzeichnet. Die Beete wurden vom Weg in Richtung auf die Straße hin breiter; die beiden schmalsten Beete bestanden aus je 3 Reihen Sojapflanzen, dann folgten je zwei Beete mit 6, dann je zwei Beete mit 9 Reihen Soja usw. Die breitesten Beete hatte 18 Sojareihen. Der Abstand der Soja- wie der Maispflanzenreihen voneinander betrug 40 cm, so daß die schmalsten Beete 1,20 m, die breitesten 7,20 m breit waren. Auf dem Plan ist es bei dem verhältnismäßig kleinen Maßstab nicht dargestellt, daß sich durch die verschiedene Breite der Windschutzstreifen (80, bzw.

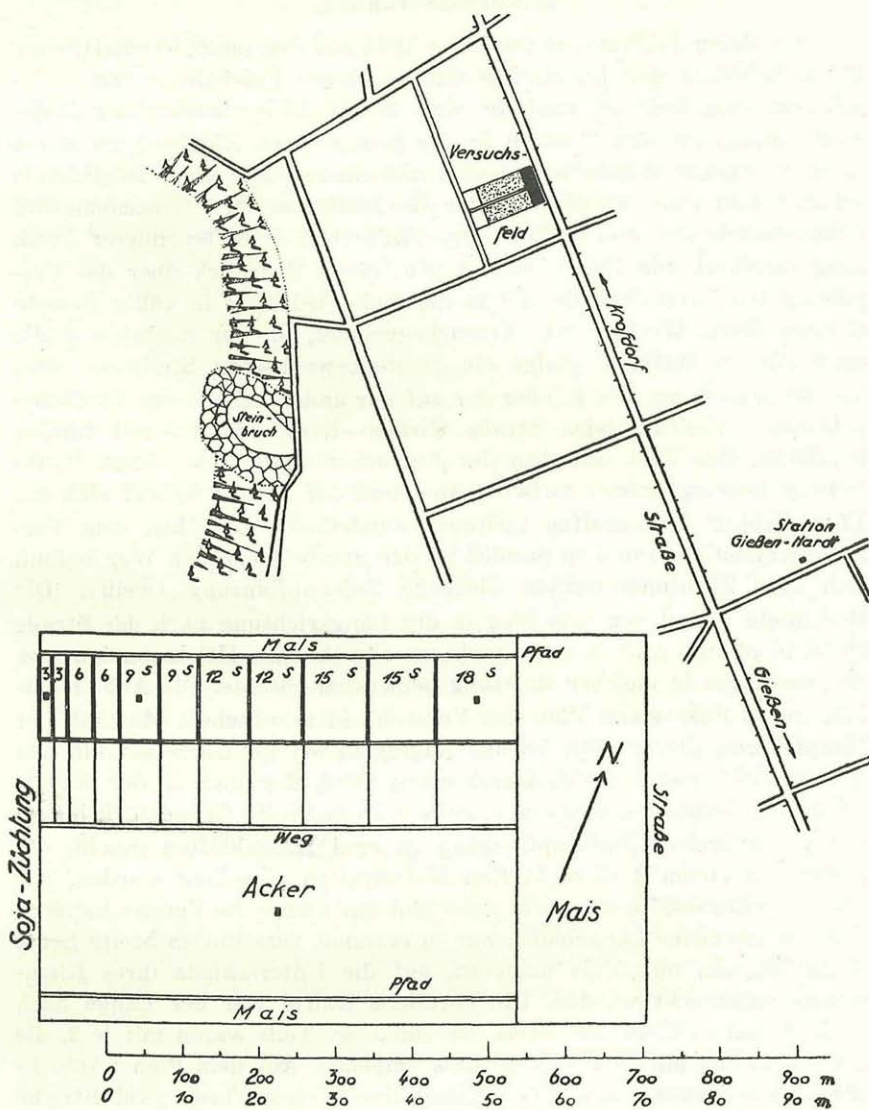


Abb. 1: Lageskizze und (unten links) Plan des Versuchsfeldes. Plan im zehnfachen Maßstab der Hauptskizze. Hauptskizze nach N orientiert. In der Hauptskizze ist die Sojapflanzung punktiert, die Maispflanzung schwarz gehalten. In der Nebenskizze ist die Lage der Meßstellen durch kleine schwarze Rechtecke gekennzeichnet. In die einzelnen Beete sind die Zahlen der Sojareihen eingeschrieben. Die Abgrenzung der Beete durch einen, bzw. zwei Striche bedeutet Umgrenzung mit zwei, bzw. vier Reihen Mais.

160 cm) die Beete in beiden Teilen der nördlichen Längshälfte gegeneinander verschoben.

Bei der Soja handelt es sich um die Sorte „Gießener 71“, beim Mais um „Mahndorfer“. Durch etwas verspätete Aussaat des Mais nach dem Keimbeginn der Soja standen die Maispflanzen in starker Konkurrenz mit den Sojapflanzen, die ein über den Durchschnitt üppiges Wachstum zeigten. Die Höhe des Mais blieb daher geringer, als es der Sorte entspricht, und betrug etwa 1,30 bis 1,40 m. Der Mais hat somit durch seine verhältnismäßig niedrigen Stengel die Sojabohnen nicht so überragt, daß durch einen zu starken Schattenwurf die Wärme und Trockenheit liebenden Sojapflanzen geschädigt oder beeinträchtigt worden wären. Im übrigen hat die geringe Wuchshöhe des Mais sicher geringere Einflüsse auf das Kleinklima der Beete zur Folge gehabt, als es sonst bei normaler Wuchshöhe hätte erwartet werden können.

Man kann an der hier beschriebenen Anordnung der Beete kritisierend hervorheben, daß die kleinklimatischen Verhältnisse eines beliebigen Beetes nicht in Abhängigkeit von den umgebenden Windschutzstreifen allein studiert werden können; dazu müßten dieselben Beete in derselben Breite und Größe aus einem genügend großen Feld in ausreichendem gegenseitigen Abstand voneinander herausgeschnitten werden, wie es z. B. KREUTZ 1938: 14 beschrieben hat. Zweifellos bewirkt das unmittelbare Anschließen eines Beetes an das andere eine gegenseitige Einflußnahme, die größenordnungsmäßig nicht abzuschätzen ist. Es kam aber hier darauf an, die Untersuchungen über den Windschutz im Anbauverfahren in engster Anlehnung an die Praxis so durchzuführen, wie die Verhältnisse tatsächlich nachher im großen liegen, und die kleinklimatischen Gegebenheiten unter Bedingungen zu studieren, die dem in der Praxis anzuwendenden Verfahren tatsächlich entsprechen. Nur eine derartige, an die Praxis angelehnte Untersuchung war geplant und wurde durchgeführt.

Meßeinrichtungen und Versuche

Insgesamt waren vier Meßstellen auf dem Gesamtkomplex eingerichtet worden. Eine befand sich in der Mitte der Vergleichsfläche, im folgenden kurz als „Acker“ bezeichnet. (Abgekürzt „A“). Die anderen drei standen in der Mitte der Beete mit 3 Reihen, 9 Reihen und 18 Reihen Sojapflanzen. Diese Stationen werden in Zukunft mit 3 S, 9 S und 18 S bezeichnet werden. Wegen des nicht ganz gleichmäßigen Auflaufens des Mais waren die nur aus 2 Reihen Mais bestehenden Schutzstreifen etwas lückenhaft, und so wurden die 4 Meßstellen sämtlich in den mit 4 Reihen Mais umgebenden Beeten eingerichtet. Jede Meßstelle hatte als Ausrüstung in einer schmalen, an der Seite offenen Hütte einen Thermographen, einen Hygrographen (oder ein kombiniertes Gerät) und

2 Extremthermometer. 2 Handanemometer, die 10.000 km Windweg zu messen gestatteten, bzw. Kontaktanemometer waren so angebracht, daß das eine in etwa 60 cm Höhe vom Boden aus gemessen und 10 cm über dem Blätterdach der Soja, das andere in etwa 1,30 m bis 1,40 m Höhe über dem Erdboden in der Höhe der Maisspitzen die Windwege maß. Von den oberen Anemometern waren die der Meßstelle 9 S und A Kontaktanemometer, die nach je 500 m Windweg einen Kontakt geben und diesen auf sog. Chronographen von FUESS aufzeichnen. Die Thermohygrographen der Meßstellen 9 S und A waren mit Eintagstrommeln, die übrigen mit 7-Tage-Trommeln ausgerüstet. Sämtliche Schreibgeräte wurden vor, die Anemometer nach dem Versuch durchgeeicht. Die 8 Anemometer wurden dazu bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten geprüft und ihre Abweichungen auf das gemeinsame arithmetische Mittel der unkorrigierten Windwege bezogen.

Es wurden zwei Versuche durchgeführt; Versuch I vom 26. VII. bis 20. VIII., Versuch II vom 21. VIII. bis 15. IX. 1944. Zu diesem Zeitpunkt begann die Aberntung des Feldes, nachdem etwa ab 7. IX. die Sojapflanzungen zunehmende Dürre- und Reifeerscheinungen gezeigt hatten. Bei dem Versuch I waren sämtliche Hütten so zwischen die Sojareihen auf den Boden gestellt, daß die Pflanzen möglichst nicht beeinträchtigt wurden. Bei dem Versuch II wurden die Hütten der Meßstellen 3 S und 18 S mit ihren Geräten auf ein Gestell gebracht, so daß die registrierenden Teile der Schreibgeräte und die Extremthermometer sich in der Höhe des obersten Blattschlusses der Sojapflanzen oder unmittelbar darüber befanden. An der Aufstellung der Anemometer wurde dabei nichts oder nur insoweit etwas geändert, als das untere Anemometer etwas seitlich zur Vermeidung einer Windschattenwirkung durch die jetzt höher aufragende Hütte versetzt wurde. Auf diese Weise sollte erreicht werden, daß unter Einwirkung des Windschutzes einerseits die Besonderheiten des Bestandsklimas der Soja (Versuch I), andererseits die unmittelbar über den Pflanzen vorhandenen klimatischen Verhältnisse (Versuch II) erfaßt wurden.

Die Registrierungen wurden täglich zwei- bis dreimal durch Bestimmung von Temperatur und relativer Feuchte mittels eines Handaspirators ergänzt. Diese Ablesungen konnten wegen der Entfernung des Feldes nicht zu den üblichen Klimaterminen (7, 14, 21 Uhr Ortszeit) erfolgen, was eine Mittelbildung nach dem im Klimadienst üblichen Verfahren ausschließt. Außerdem war die Regelmäßigkeit der Augenbeobachtungen durch häufige Fliegeralarme in Mitleidenschaft gezogen.

Durch Störungen am Gerät und durch eine gewisse notwendige Anlaufzeit fielen zunächst hin und wieder Registrierungen aus, so daß vom Versuch I nur die 10 Tage vom 11. bis 20. VIII. zu einer vollständigen und gleichzeitigen Erfassung sämtlicher gemessener meteorologischen Elemente herangezogen werden können.

Die Beeinflussung des Kleinklimas durch die Windschutzstreifen soll im folgenden erörtert werden. Die Untersuchung erstreckt sich dabei hauptsächlich auf einen Vergleich der vier Stationen untereinander. Daneben sollen, wo es angängig erscheint, Vergleiche zu den Meßergebnissen in der Klimahütte normaler Aufstellung der Station Gießen-Hardt gezogen werden, die sich etwa 615 m entfernt von dem Versuchsfeld befindet (vgl. die Skizze Abb. 1). Die durch die Anemometer gemessenen Windwege sollen schließlich mit den auf der Station Gießen-Liebigshöhe (3,5 km Luftlinie entfernt und etwa 40 m höher liegend) mit Hilfe eines FUESS-Universalwindmessers aufgezeichneten verglichen werden. Es darf dabei angenommen werden, daß sich der FUESS-Universalwindmesser im ungestörten Windfeld befindet. Auf diese Weise ergibt sich der für kleinklimatische Untersuchungen stets zu empfehlende Anschluß an das Großklima.

Die Windwege

Infolge der schon erwähnten Gerätestörungen in den ersten Tagen des Versuches I sollen für die Windwege wie auch für einige andere Elemente nur die 10 Tage vom 11. bis 20. VIII. 1944 herangezogen werden. Die folgenden Übersichten geben für beide Versuche den mittleren täglichen Windweg in Metern an. Die Umrechnung in die Meßgröße m/sec wird dabei nicht allgemein durchgeführt, da alle Mittelwerte unter, z. T. erheblich unter der Geschwindigkeit 1 m/sec liegen. Es bestehen nun mehrere Möglichkeiten des Vergleichs der gemessenen Windwege. Einmal kann man die Windwege der oberen, dann die der unteren Anemometer zueinander in Beziehung setzen. Das geschieht in der folgenden Tabelle 1, wobei der Windweg am Anemometer der Meßstelle A = 100 gesetzt wurde. Es zeigt sich bei beiden Versuchen, daß die Windwege an beiden Anemometern in der Stationsfolge

$$A \longrightarrow 18 S \longrightarrow 9 S \longrightarrow 3 S$$

stark abnehmen. Der um 0,5, bzw. 0,9% größere Windweg am oberen Anemometer 18 S gegenüber A dürfte dabei ohne Bedeutung sein.

Die Abnahme der Windwege in der gleichen Meßhöhe zeigt den unterschiedlichen Einfluß, den die Schutzstreifen auf die Windgeschwindigkeit in den verschiedenen breiten Beeten ausüben. Er möge im folgenden als „horizontaler Bremsungseffekt“ bezeichnet werden. Es darf angenommen werden, daß der horizontale Bremsungseffekt bei einem Feld, das in beiden Richtungen in mehrere Parzellen hintereinander geteilt ist, sich durch gegenseitige Beeinflussung der Beete in den Windwegen verstärkt bemerkbar macht.

Der horizontale Bremsungseffekt zeigt, wie die Tabelle 1 erkennen läßt, Unterschiede a) in beiden Versuchen und b) in beiden Meßhöhen.

Zu a). Die Windwege zeigen bei beiden Anemometern im Versuch II keine so starke Abnahme wie im Versuch I. Wohl können die

Tabelle 1

Versuch I						
	Anemo- meter	A	18 S	9 S	3 S	Station Liebigshöhe
Absolutzahlen der Windwege während des Versuchs (m)	unteres	14660	14250	4920	2450	162490 m = 1,9 m/sec
	oberes	57170	57500	42060	38630	
Verhältniszahlen, bezogen auf den Acker = 100	unteres	100	97,2	33,5	16,6	—
	oberes	100	100,5	73,7	67,5	
Versuch II						
	Anemo- meter	A	18 S	9 S	3 S	Station Liebigshöhe
Absolutzahlen der Windwege während des Versuchs (m)	unteres	36210	34420	14140	16550	225020 m = 2,6 m/sec
	oberes	81560	82260	62700	57320	
Verhältniszahlen, bezogen auf den Acker = 100	unteres	100	95,1	39,0	45,7	—
	oberes	100	100,9	76,9	70,3	

Ergebnisse bis zur Meßstelle 9 S in beiden Versuchen noch einigermaßen miteinander verglichen werden, doch zeigt die Meßstelle 3 S am unteren Anemometer im Versuch II einen etwas größeren mittleren Windweg als das entsprechende Windrad 9 S. Zur Erklärung für dies Verhalten muß auf die schlechte Blattentwicklung der Maispflanzen in den Streifen westlich 3 S verwiesen werden, die besonders in der Höhe des unteren Anemometers auffällig war. Weiter muß die Station Gießen-Liebigshöhe herangezogen werden, deren FUESS-Universalanemometer auch die Windrichtung angibt. Im Mittel herrschten dort während der in Frage stehenden Tage des Versuchs I und während des Versuchs II Windgeschwindigkeiten von 1,9, bzw. 2,6 m/sec. Der Versuch I fiel — wenigstens die hier betrachtete zehntägige Zeitspanne — in eine ausgesprochene Hochdruckwetterlage mit geringen Windgeschwindigkeiten, während zur Zeit des Versuches II verschiedene Wetterlagen herrschten und auch durchschnittlich größere Windgeschwindigkeiten erreicht wurden. Sehr deutlich gehen auch die verschiedenen Windverhältnisse während beider Versuche aus einer Betrachtung der Geschwindigkeiten hervor, wie sie an der Station Gießen-Liebigshöhe gemessen wurden. Es lag das

	Gesamtmittel	größte Tages- mittel	größte Stunden- mittel
Versuch I	1,9 m/sec	2,9 m/sec	6,0 m/sec
Versuch II	2,6 m/sec	5,3 m/sec	9,5 m/sec

Die höhere mittlere Windgeschwindigkeit während des Versuches II macht sich an allen Meßstellen in beiden Höhen bemerkbar. Prüft man nun die einzelnen Tage des Versuchs II auf Windgeschwindigkeit, Windrichtung und unter dem Gesichtspunkt, wie sich die Windwege an den Meßstellen 9 S und 3 S zueinander verhalten, so zeigen die Tage mit Winden aus Südwest bis Nordwest die als anormal anzusehenden größeren Windwege bei 3 S. Das sind gerade die Windrichtungen, bei denen dem Beet 3 S jeder luvseitige Schutz anderer Beete fehlt und bei denen infolge der schlechten Blattentwicklung des Schutzstreifens vor allem in der Höhe des unteren Anemometers die Windschutzwirkung nur gering ist. Es kommt hinzu, daß die Winde aus Südwest bis Nordwest die größten Geschwindigkeiten überhaupt in Gießen aufzuweisen pflegen und tatsächlich auch während des Versuchs II aufwiesen. An Tagen mit Winden aus anderer Richtung zeigt das untere Anemometer 9 S den erwartet größeren Windweg; da jedoch Winde aus Südwest bis Nordwest ungefähr in der Hälfte aller Tage des Versuchs II wehten, bewirkten sie durch ihre gleichzeitige hohe Geschwindigkeit das Paradoxon des größeren Windweges bei 3 S verglichen mit 9 S im Mittel über den ganzen Versuch.

Zu b). Als charakteristischer Unterschied zwischen beiden Meßhöhen ergibt sich eine bedeutend stärkere Abnahme der Windwege von A bis 3 S am unteren Anemometer. Der horizontale Bremsungseffekt ist demnach von der Meßhöhe abhängig.

Abschließend kann als Ergebnis beider Versuche festgestellt werden, daß der Windschutz umso stärker ist, je näher die Maisstreifen aneinander stehen. Er wirkt sich, wie zu erwarten, in der Höhe der Maispflanzen nicht so stark aus wie unmittelbar über dem Blätterdach der Sojabohnen. Der horizontale Bremsungseffekt nimmt demnach mit Annäherung an den Boden zu. Bei beiden Anemometern und in beiden Versuchen sind die Unterschiede zwischen den Stationen 18 S und A gering, sodaß sie praktisch nicht ins Gewicht fallen. Daraus darf der Schluß gezogen werden, daß die Windschutzstreifen bei dem Beet 18 S zu weit auseinander stehen, um bei ihrer relativen Höhe¹⁾ am Standort der Anemometer in der Mitte des Beetes noch wirksamen Schutz abzugeben.

Bekanntlich nimmt aber auch die Windgeschwindigkeit mit Annäherung an den Boden durch die Reibung ab, die der Wind an ihm erfährt. Die Ursache dieser Verteilung der Windgeschwindigkeit soll als „vertikaler Bremsungseffekt“ bezeichnet werden. Da die Anemometer nun an allen Meßstellen sich in gleichem und daher vergleichbarem Abstand über dem Blätterdach der Sojapflanzen, bzw. den Maisspitzen

¹⁾ Der Begriff „relative Höhe“ bezieht sich analog dem in der Orographie gebrauchten auf die Höhendifferenz Schutzspender — zu schützende Pflanze.

befanden, muß die Frage erhoben werden, ob der vertikale Bremsungseffekt an den einzelnen Meßstellen unter dem Einfluß der Windschutzstreifen Unterschiede aufweist. Außer den beiden Versuchen soll noch der Nachmittag des 7. IX. 1944 in die Betrachtung einbezogen werden, da an ihm an der Station Gießen-Liebigshöhe das Maximum der Stundenmittel mit 9,5 m/sec gemessen wurde. Aus den Windwegen der oberen Anemometer lassen sich in der Zeit zwischen der Mittagsbeobachtung gegen 15 Uhr und der Abendbeobachtung gegen 20 Uhr DSZ folgende Mittelgeschwindigkeiten berechnen:

$$\begin{aligned} A &= 4,3 \text{ m/sec} \\ 18 \text{ S} &= 3,3 \text{ m/sec} \\ 9 \text{ S} &= 3,4 \text{ m/sec} \\ 3 \text{ S} &= 2,9 \text{ m/sec} \end{aligned}$$

Setzt man nun die an den oberen Anemometern gemessenen Windwege = 100, so ergeben sich folgende Verhältniszahlen für die unteren Anemometer:

Tabelle 2

Versuch	Anemometer	A	18 S	9 S	3 S	Mittlere Windgeschwindigkeit der Station Gießen-Liebigshöhe
Versuch I 11.—20. VIII. 1944	oberes	100	100	100	100	1,9 m/sec
	unteres	25,6	24,8	10,2	6,3	
Versuch II 21. VIII. bis 15. IX. 1944	oberes	100	100	100	100	2,6 m/sec
	unteres	44,4	41,8	22,6	28,9	
7. IX. 1944 nachmittags	oberes	100	100	100	100	7,2 m/sec
	unteres	51,8	45,0	32,5	43,3	

In den Verhältniszahlen spiegelt sich der vertikale Bremsungseffekt gut wieder; er ist umso größer, je kleiner die Verhältniszahlen sind; ihre Reziproke würden ein direktes Maß für ihn geben. Im einzelnen lassen sich aus den Zahlen folgende Ergebnisse ableiten:

1. Die verschiedenen Sojabeete weisen einen umso größeren vertikalen Bremsungseffekt auf, je schmaler sie sind. Die Störung des Bildes durch die schon oben erklärte Abweichung des Beetes 3 S mit seinen zu großen Windwegen am unteren Anemometer kann dabei nur als Schönheitsfehler betrachtet werden, der bei westlichen Winden durch die nach Westen exponierte Lage des Beetes und die örtlichen Windschutzverhältnisse bedingt ist.

2. Bei schwachem Wind (Versuch I) ist der vertikale Bremsungseffekt eindeutig größer als bei starkem Wind (Versuch II) und zwar

über dem Acker ohne Windschutz genau so wie über den windschutzumgebenen Sojabeeten. Bei dem besonders starken Wind am Nachmittag des 7. IX. ist der vertikale Bremsungseffekt infolgedessen noch geringer als im Mittel des Versuchs II. Auch KREUTZ 1938: 14 kam bei seinen Messungen in verschiedenen Beständen zu dem Ergebnis, daß mit steigender Windgeschwindigkeit die Bremsung abnimmt. An der Meßstelle 9 S ist so z. B. der vertikale Bremsungseffekt im Versuch I etwa doppelt so groß wie im Versuch II und dreimal so groß wie am Nachmittag des 7. IX. 1944. Immerhin zeigt an dem windstarken Nachmittag des 7. IX. die Meßstelle 9 S einen vertikalen Bremsungseffekt, der sich annähernd zu dem des Ackers wie 5 : 3 verhält. Bedenkt man, daß sich ja der vertikale Bremsungseffekt auf das obere Anemometer bezieht und das obere Anemometer der Meßstelle 9 S am 7. IX. infolge des horizontalen Bremsungseffektes nur vier Fünftel des Windweges auf dem windgeschützten Acker angezeigt hat, so gewinnt die windschützende Wirkung der Maisstreifen auch bei höheren Windgeschwindigkeiten erheblich an Gewicht.

3. Wie für den horizontalen, zeigt sich auch für den vertikalen Bremsungseffekt kein nennenswerter Unterschied zwischen A und 18 S. In der Abb. 2 A sind die Windwege der beiden Anemometer und die Auswirkung der beiden Bremsungseffekte graphisch dargestellt.

Zusammenfassend läßt sich also sagen, daß ein beträchtlicher Windschutz durch die Maisstreifen erzielt wird. Der horizontale und der vertikale Bremsungseffekt nehmen mit zunehmendem Abstand der Windschutzstreifen voneinander ab. Die beiden Bremsungseffekte sind von der Windgeschwindigkeit abhängig, und zwar sind sie umso kleiner, je höher die Windgeschwindigkeit ist. Wenn auf dem Acker ohne Windschutzstreifen die Windgeschwindigkeit von der Höhe der oberen Maisspitzen bis unmittelbar über dem Sojabestand am 7. IX. von 4,3 m/sec auf etwa die Hälfte und im Windschutz an der Meßstelle 9 S auf ein Drittel sinkt, so darf dieser Erfolg der Windschutzstreifen keineswegs als geringfügig abgetan werden.

Der Einfluß der Windschutzstreifen auf die Temperatur

a) Die Temperaturmittel

Da die drei täglich geplanten Beobachtungen wegen der häufigen Luftalarme bei der Entfernung des Versuchsfeldes nicht mit der gewünschten Regelmäßigkeit durchgeführt werden konnten, wurde darauf verzichtet, die Tagesmittel nach der im Klimadienst üblichen Methode zu bestimmen. Sie ergaben sich mit größerer Zuverlässigkeit aus den stündlichen Auswertungen der Registrierungen. Im Versuch I wurden aus dem Beobachtungszeitraum vom 11. bis 20. VIII. 1944 als Mittel berechnet:

A	18 S	9 S	3 S	Gießen-Hardt
17,9°	18,3°	17,9°	17,8°	19,7°

Verursacht durch den sehr dichten Blätterschluß der Soja weist demnach das Bestandsklima um etwa 2° niedrigere Mittel auf als die Station Gießen-Hardt in der üblichen Meßhöhe von rund 2 m. Im Temperaturmittel sind zwischen den einzelnen Meßstellen des Versuchs keine oder wenigstens keine charakteristischen Unterschiede vorhanden. Der etwas größere Wert bei 18 S ist vermutlich eine Folge der leicht verminderten Bestandshöhe und des etwas schlechteren Blätterschlusses, die beide eine stärkere Einstrahlung auf den Boden zulassen. Eine Beeinflussung des Temperaturmittels ist also weder durch die Anwesenheit der Windschutzstreifen überhaupt, noch durch deren unterschiedlichen Abstand voneinander gegeben. KREUTZ 1937: 18 fand im Gegensatz dazu bei einem Versuch mit Runkelrüben, die von Rupfen verschiedener Maschengröße 1 m hoch umgeben waren, gegenüber dem Freiland deutlich erhöhte Mitteltemperaturen. Das beweist, daß bei Windschutzversuchen verschiedenartige Beeinflussungen des Kleinklimas auftreten können, deren Abhängigkeit einer besonderen Untersuchung wert ist. Es ist daher auch schwer, für eine windgeschützte Parzelle über spezielle kleinklimatische Verhältnisse ohne exakte Messungen im voraus ein Urteil abzugeben.

Die Temperaturverhältnisse des Versuchs II sollen später besprochen werden.

b) Die Temperatur-Extreme

Bei der Temperatur interessieren ferner die Temperatur-Extreme an den verschiedenen Meßstellen. Die Differenz zwischen dem Maximum und dem Minimum möge mit „Schwankungsbreite“ bezeichnet werden. Die Extremthermometer wurden morgens abgelesen und neu eingestellt. Da die Extremtemperaturen an der Station Gießen-Hardt entsprechend der allgemeinen Vorschrift für Klimastationen abends abgelesen und die Thermometer neu eingestellt wurden, ergab sich durch die normale Lage der Temperaturextreme — Maximum am frühen Nachmittag, Minimum zur Zeit des Sonnenaufgangs — die Notwendigkeit, die morgens abgelesenen Maxima des Versuchs mit den Werten des abends vorher abgelesenen Maximum-Thermometers, die morgens abgelesenen Minima des Versuchs mit dem Wert des am selben Tag abends abgelesenen Minimumthermometers der Station Gießen-Hardt zu vergleichen. Im Mittel aus den 24 Tagen des Versuchs I wurden nun folgende Extreme und Schwankungsbreiten gefunden:

	A	18 S	9 S	3 S	Gießen-Hardt
Maximum	26,5	26,2	25,2	24,9	25,1
Minimum	10,8	11,0	10,8	11,1	12,6
Schwankungs- breite	15,7	15,2	14,4	13,8	12,5

Die Maxima bilden danach eine deutlich fallende Reihe

$$A \longrightarrow 18 S \longrightarrow 9 S \longrightarrow 3 S$$

Dabei liegen die Werte für den Acker und 18 S einerseits, für 9 S und 3 S andererseits verhältnismäßig nahe zusammen. Die Minima zeigen keine ins Gewicht fallenden Unterschiede. Wohl aber ergibt sich für die Schwankungsbreite eine ähnliche Reihe wie für die Maxima. Die Station Gießen-Hardt schließt sich im Maximum an die Meßstellen 9 S und 3 S an, ihr Minimum liegt dagegen um etwa 1,5° höher, was anderen Beobachtungen durchaus entspricht, nach denen in der Nähe des Erdbodens tiefere Minima gemessen werden als in 2 m Höhe. Auch die Schwankungsbreite nimmt mit zunehmender Höhe über dem Erdboden ab, was auch für den Vergleich der Station Hardt mit den Stationen des Versuchsfeldes zutrifft. Die Abb. 2 B stellt die Verhältnisse graphisch dar.

Daß die oben für das Maximum und für die Schwankungsbreite aufgestellten Reihen nicht zufällig, sondern reell sind, geht aus einer Auszählung der Häufigkeit hervor, mit der das höchste Maximum, bzw. die größte Schwankungsbreite an den einzelnen Meßstellen auftreten. Es liegt an der Meßstelle

	das höchste Maximum	die höchste Schwankungsbreite
A	15 mal	19 mal
18 S	8 mal	3 mal
9 S	0 mal	1 mal
3 S	1 mal	1 mal

in den 24 Tagen des Versuchs I. Umgekehrt weisen in denselben 24 Tagen die Meßstellen

	das niedrigste Maximum	die niedrigste Schwankungsbreite
A	1 mal	1 mal
18 S	1 mal	1 mal
9 S	3 mal	4 mal
3 S	19 mal	18 mal

auf.

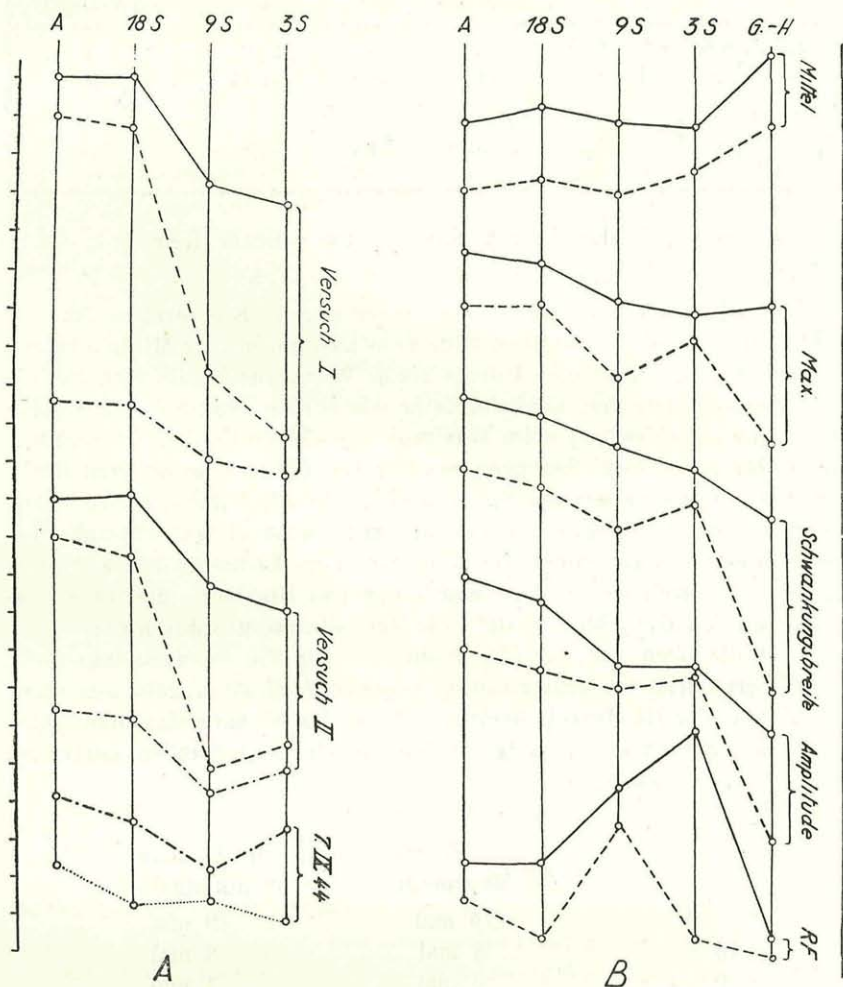


Abb. 2, A: Abnahme der Windwege in v. Hd., bezogen auf A = 100; eine Ordinateneinheit bedeutet 10 v. Hd. ——— oberes, ——— unteres Anemometer (horizontaler Bremsungseffekt). —.—.— Abnahme der Windwege an den unteren Anemometern, bezogen auf die oberen = 100 (vertikaler Bremsungseffekt). mittlere Windgeschwindigkeit an den oberen Anemometern am 7. IX. 1944; eine Ordinateneinheit entspricht 1 m/sec. — B: Tagesmittel, Maximum, Schwankungsbreite und Amplitude der Temperatur und Mittel der Relativen Feuchte an den vier Meßstellen des Versuchsfeldes und der Station Gießen-Hardt. ——— Versuch I, ——— Versuch II. Ordinateneneinheit 1° C, für die Amplitude 0,5° C, für die Rel. Feuchte 2%.

c) Die Tagesgänge

Da der Tagesgang eines meteorologischen Elementes am klarsten aus einer graphischen Darstellung hervorgeht, sei zunächst auf die Abb. 3 verwiesen. Sämtliche Tagesgänge und die später zu besprechenden Ergebnisse der harmonischen Analyse beziehen sich auf Deutsche Sommerzeit; für die zeichnerische Darstellung muß, um zur Ortszeit zu gelangen, die Abszisse um eine Einheit nach links verschoben und bei der harmonischen Analyse in der ganztägigen Welle 15^0 , in der halbtägigen 30^0 subtrahiert werden. In den ersten Tagesstunden bis etwa gegen 9 Uhr liegt die Kurve für den Acker am tiefsten, und es folgen der Reihe nach die Meßstellen 18 S, 9 S und 3 S. Zwischen 9 und 13 Uhr ordnen sich die Kurven zu einer entgegengesetzten Lage um: Es liegen dann A und 18 S am höchsten, 9 S und 3 S am tiefsten. Zwischen 19 und 22 Uhr vollzieht sich dann die Umgruppierung wieder in die ursprüngliche Anordnung. So ergeben sich für den Acker und für 18 S die größten Schwankungsbreiten, für 9 S und 3 S die kleinsten. Der Tagesgang, wie er aus den Registrierungen der Thermographen hervorgeht, bestätigt dadurch die an den Extrem-Thermometern gewonnenen Erkenntnisse. Stark abweichend verläuft die Station Gießen-Hardt, bei der der steile Temperaturanstieg morgens 2 Stunden früher beginnt. Die Kurve nähert sich gegen Mittag den Kurven der 4 Meßstellen des Versuches, läuft mit ihnen zusammen in einem Kurvenbündel, das sie in den späten Abendstunden wieder verläßt.

Eine weitere Bestätigung erfährt die durch die Schwankungsbreite aufgestellte Reihe der Meßstellen durch die Ergebnisse der harmonischen Analyse. Die Analyse der ganztägigen und der halbtägigen Wellen ergab folgende Amplituden-Werte: ¹⁾

	ganztägige	halbtägige
	Welle	Welle
A	8,48 ⁰	1,15 ⁰
18 S	8,15 ⁰	0,91 ⁰
9 S	7,34 ⁰	1,06 ⁰
3 S	7,35 ⁰	1,26 ⁰
Gießen-Hardt	6,47 ⁰	0,60 ⁰

Während die halbtägige Welle keine irgendwie charakteristischen Unterschiede der einzelnen Meßstellen zeigt — nur Gießen-Hardt zeigt gegenüber den Meßstellen des Versuches einen deutlichen Sprung — lassen sich die Amplituden der ganztägigen Wellen in der üblichen Reihenfolge anordnen; die Station Gießen-Hardt setzt erwartungsgemäß die Reihenfolge der anderen Stationen fort.

¹⁾ Amplitude = (ungefähr) = $\frac{\text{Schwankungsbreite}}{2}$

Die Phasenwinkel bieten nichts Bemerkenswertes, sie liegen für die ganztägige Welle ziemlich dicht zusammen, für die halbtägige Welle ergibt sich größere Streuung:

	ganztägige Welle	halbtägige Welle
A	216,98°	3,74°
18 S	215,91°	31,21°
9 S	215,79°	35,80°
3 S	220,03°	33,05°
Gießen-Hardt	186,65°	48,78°

Die Station Gießen-Hardt hebt sich in der ganztägigen Welle wie in anderen Einzelheiten durch einen um etwa 30° geringeren Phasenwinkel heraus. Dies dürfte hauptsächlich eine Folge des oben erwähnten, um 2 Stunden verfrühten Temperaturanstieges auf Abb. 3 sein. Die nächtliche Betauung der Blätter und der geringere Luftaustausch im Bestand verursachten wohl die Verspätung des Temperaturanstiegs im Bestand nach Sonnenaufgang. Die Unterschiede in der Lage des Maximums und des Minimums betragen nach Abb. 3 augenscheinlich nur eine Stunde. Das Mikroklima in einem Pflanzenbestand verhält sich demnach anders als das über unbewachsenem oder nur mit einer niedrigen Grasdecke versehenem Boden, bei dem der morgendliche Temperaturanstieg in Bodennähe gerade zuerst beginnt, während höhere Stellen eine Verzögerung erleiden (vgl. GEIGER 1942: 73 ff.). Die zeitliche Lage der Extreme darf bei einer harmonischen Analyse nicht allein aus dem Phasenwinkel der ganztägigen Welle erschlossen werden; es muß daher auf die Tatsache aufmerksam gemacht werden, daß der Phasenwinkel der halbtägigen Welle für die Station Gießen-Hardt von dem der anderen Meßstellen durch seine Größe abweicht.

Zusammenfassend läßt sich also sagen, daß während des Versuchs I

1. die Mitteltemperaturen der vier Meßstellen annähernd gleich waren, das Bestandsklima demnach auf die Windschutzstreifen in dieser Beziehung keine Reaktion zeigt,

2. sich bezüglich des Maximums und der Schwankungsbreite eine eindeutige Reihe mit fallender Tendenz A → 18 S → 9 S → 3 S aus verschiedenen Betrachtungen herausarbeiten läßt, wobei sich die Meßstellen A und 18 S nur wenig voneinander unterscheiden,

3. der Windschutz in der gleichen Richtung zunimmt, wie Maximum und Schwankungsbreite abnehmen, und somit die Annahme nicht von der Hand zu weisen ist, der Windschutz bedinge möglicherweise die für die Temperaturgrößen aufgestellte Reihenfolge.

Der Windschutz würde damit die Temperaturgegensätze mildern. Ein Windschutz darf nie vollständig sein,

da das zu stagnierender Kaltluft führen kann, die durch Ausstrahlung während der Nacht entsteht. Die Angaben über den Wind beweisen, daß an keiner Meßstelle eine Luftbewegung verhindert wurde.

d) Die Temperaturverhältnisse des Versuches II

Während des Versuches II standen, wie oben erwähnt, die Meßgeräte 18 S und 3 S unmittelbar über dem oberen Blattniveau der Sojabohnen. Die Tagesmittel während des Versuches II liegen unter denen des Versuches I, was dem normalen Jahresgang entspricht:

A	18 S	9 S	3 S	Gießen-Hardt
15,1°	15,4°	15,0°	15,6°	16,8°

Die Station Gießen-Hardt liegt analog dem Versuch I um etwa 1,5° über den Mitteln der Meßstellen des Versuchsfeldes. Im übrigen weisen auch hier die einzelnen Beete keine oder keine charakteristischen Unterschiede auf. Ob die etwas höheren Mitteltemperaturen bei 18 S und 3 S zufällig oder ein charakteristischer Unterschied des Kleinklimas unmittelbar über dem Bestand zu dem Kleinklima im Bestand ist, muß bei der kleinen Differenz einer weiteren Prüfung überlassen bleiben.

Die Temperaturextreme zeigen im Mittel folgende Werte:

	A	18 S	9 S	3 S	Gießen-Hardt
Maximum	27,1	27,1	25,2	26,2	23,5
Minimum	8,3	8,8	8,0	8,3	10,5
Schwankungsbreite	18,8	18,3	17,2	17,9	13,0

Die größeren Schwankungsbreiten als im Versuch I sind auf die — wohl infolge der in längeren Nächten stärkeren Ausstrahlung — niedrigeren Minima zurückzuführen. Maxima und Schwankungsbreite lassen sich nicht mehr in eine Reihe bringen, und die Minima liegen nicht so dicht beieinander wie im Versuch I. Das darf als Wirkung der geänderten Versuchsverhältnisse angesehen werden.

Im einzelnen läßt sich für die Stationen A, 18 S und 9 S aus den Maxima nicht allzuviel herauslesen, was als wahrscheinliche Unterschiede des Klimas im und über dem Bestand gedeutet werden könnte. Im Versuch I nehmen Maximum und Schwankungsbreite im Bestand von A bis 3 S um rund 6%, bzw. 12% ab. Nimmt man die gleiche Abnahme für Versuch II an, so wäre bei 3 S im Bestand ein Maximum von 25,5° und eine Schwankungsbreite von 16,5° anzunehmen. Über dem Bestand wurden jedoch 26,2°, bzw. 17,9° gemessen, d. h. um 0,7°

bzw. $1,4^{\circ}$ mehr. Bei 18 S wurde nun dasselbe mittlere Maximum über dem Bestand wie bei A im Bestand gefunden.

Ordnet man aber die je Tag an den vier Meßstellen bestimmten vier Maxima wie im Versuch I so, daß das höchste Maximum an einem Tag die Ordnungszahl 1, das niedrigste 4 erhält, so ergibt sich immerhin, daß als über den ganzen Versuch gemittelte Ordnungszahl der Acker 2,08, die Meßstelle 18 S 1,81 bekommt. Die beiden Meßstellen stehen im übrigen an

	A	18 S
1. Stelle	10 mal	11 mal
2. Stelle	7 mal	10 mal
3. Stelle	7 mal	5 mal
4. Stelle	2 mal	0 mal

Vielleicht darf darin ein Hinweis erblickt werden, daß über dem Bestand in 18 S auf lange Sicht höhere Maxima zu erwarten gewesen wären als im Bestand des Ackers. Der Häufigkeitsstatistik über die Lage des Maximums darf dabei wahrscheinlich ein höherer Erkenntniswert zuerkannt werden als der einfachen Mittelbildung, die gleichhohe Maxima für beide Meßstellen ergab ($27,1^{\circ}$). Es dürfte somit die Vermutung zulässig sein, daß sich über dem Bestand höhere Temperaturen bilden als in ihm und daß über dem Bestand Maximum und Schwankungsbreite höher, mit anderen Worten die Extreme weiter auseinander liegen als im Bestand, was in anderen Untersuchungen in ähnlicher Weise festgestellt wurde (vgl. GEIGER 1942: 306). Eine gewisse Bestätigung erfährt diese Vermutung durch die harmonische Analyse, die folgende Amplitudenwerte ergab:

A	18 S	9 S	3 S	Gießen-Hardt
$7,52^{\circ}$	$7,28^{\circ}$	$7,03^{\circ}$	$7,20^{\circ}$	$5,05^{\circ}$

3 S weist einen höheren Wert auf, als er auf Grund des Versuches I für das Bestandsklima zu erwarten gewesen wäre.

Die Phasen der ganztägigen Welle zeigen ganz dem Versuch I entsprechende Werte:

A	18 S	9 S	3 S	Gießen-Hardt
$216,22^{\circ}$	$218,17^{\circ}$	$217,69^{\circ}$	$216,55^{\circ}$	$186,64^{\circ}$

Es wäre zweifellos methodisch einwandfreier gewesen, wenn im Versuch II die Möglichkeit bestanden hätte, zu den unverändert aus dem Versuch I übernommenen Meßstellen vier weitere am gleichen Ort unmittelbar über dem Bestand einzurichten. Es bestand jedoch keine Möglichkeit, weitere Geräte zu beschaffen. So können aus den Daten nur

Anhaltspunkte gewonnen werden, die einer Überprüfung bedürfen. Bei dieser muß darauf geachtet werden, 1. ob, was wahrscheinlich, und in welchem Ausmaß die Temperaturgegensätze über dem Bestand größer sind als im Bestand und 2. ob in analoger Weise und in welchem Umfang die Temperaturverhältnisse über dem Bestand durch den Windschutz im Vergleich zu den Verhältnissen im Bestand beeinflußt werden.

Anhangsweise muß noch darauf hingewiesen werden, daß an einigen Tagen, vom 10. bis 12. IX. 1944, die Temperaturen unter den Gefrierpunkt sanken. Im einzelnen lagen die Minima:

Datum	A	18 S	9 S	3 S	Gießen-Hardt
10. IX.	—0,5	—1,2	—1,0	—0,8	0,0
11. IX.	—1,2	—2,0	—1,7	—1,2	—1,0
12. IX.	+0,5	0,0	—1,4	+0,8	+3,8

Irgendwelche Beziehungen zum Windschutz lassen sich nicht ableiten, was nach dem oben über die Minima Gesagten nicht verwunderlich sein dürfte.

Die Relative Feuchte

Auf die Verhältnisse der Relativen Feuchte braucht nur kurz eingegangen zu werden, da sie von der Temperatur weitgehend abhängig ist. Von Bedeutung ist jedoch die Frage, ob sich unter dem Einfluß des Windschutzes Unterschiede im Mittel der Relativen Feuchte bemerkbar machen. In beiden Versuchen lagen die Mittel

	A	18 S	9 S	3 S	Gießen-Hardt
Versuch I	80 %	80 %	84 %	87 %	76 %
Versuch II	79 %	77 %	83 %	77 %	76 %

Aus diesen Zahlen lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

1. Die Relative Feuchtigkeit nimmt im Bestand (Versuch I) vom Acker über 18 S bis 3 S zu. Dies Verhalten findet kein Analogon in einer in gleicher Richtung abnehmenden Mitteltemperatur, die bekanntlich keinerlei wesentliche Unterschiede zeigt (vgl. S. 168). Die Station Gießen-Hardt zeigt ein erwartungsgemäß niedrigeres Feuchtigkeits-Mittel.

2. Es ist wahrscheinlich, daß die an den unteren Anemometern der Station A und 18 S gemessenen höheren Windgeschwindigkeiten nicht ohne Einfluß auf die Luftschichten im Bestand sind und durch Durchwirbelung Feuchtigkeit aus dem Bestand in höhere Schichten bringen. Für diese Annahme sprechen die niedrigeren Werte der Feuchtigkeitsmittel sowie ihre Gleichheit bei annähernder Gleichheit der gemessenen Windwege an beiden Meßstellen.

3. Durch die höheren Relativen Feuchten ergeben sich auch höhere mittlere Äquivalent-Temperaturen¹⁾ für die Stationen mit stärkerem Windschutz:

A	18 S	9 S	3 S	Gießen-Hardt
43,7°	44,5°	44,9°	45,5°	47,2°

Da die gewöhnlichen Temperaturmittel keine nennenswerten Unterschiede zeigen, muß demnach angenommen werden, daß an den Stationen 9 S und 3 S eine bestimmte Wärmemenge durch die höhere Relative Feuchte gebunden ist. Ergänzend zu den Mitteltemperaturen wäre also hier noch nachzutragen, daß ohne Feuchtigkeitsunterschiede die gewöhnlichen Temperaturen in eine ansteigende Reihe $A \rightarrow 18 S \rightarrow 9 S \rightarrow 3 S$ zu bringen wären.

4. Da im Versuch II die Mittelwerte des Ackers, von 9 S und der Station Gießen-Hardt praktisch gleich denen des Versuchs I sind, ergeben sich im Bestand und in 2 m Höhe ganz ähnliche Feuchtigkeitsverhältnisse wie im Versuch I. Die hochgestellten Meßstellen 18 S und 3 S zeigen dagegen Feuchtigkeitsverhältnisse unmittelbar über dem Bestand, die denen der Station Gießen-Hardt entsprechen. Die Feuchtigkeit nimmt also außerhalb des Bestandes sehr rasch auf den Wert ab, der in der normalen Klimahütte gemessen wird.

5. Da eine hohe Relative Feuchte für die Pflanze eine herabgesetzte Verdunstung bedingt, ist in einem Klima ohne Überfluß an Niederschlägen wie dem mitteleuropäischen eine Erhöhung der Relativen Feuchte in der bodennahen Luftschicht für den Wasserhaushalt von Boden und Pflanze von gleich großer Bedeutung. Der Windschutz zeigt auch hier eine Wirkung, die nicht übergangen werden darf. Ob und welchen Einfluß allerdings die durch den Windschutz gesteigerte Relative Feuchte speziell auf die Trockenheit liebende Sojabohne ausübt, steht hier nicht zur Erörterung.

6. Auch der Tagesgang der Relativen Feuchte, wie ihn die Abb. 4 zeigt, läßt das schon in ihrem Mittel gefundene Verhalten erkennen. Es interessieren dabei hauptsächlich die Zeiten niederer Feuchtigkeit, etwa von der 12. bis zur 19. Tagesstunde. Hier sind die Kurven deutlich in dem erwarteten Sinne geordnet. Gießen-Hardt zeigt die am niedrigsten liegende Kurve, A und 18 S laufen nahe beieinander und 9 S und 3 S

¹⁾ Unter der Äquivalent-Temperatur versteht man die Temperatur, die eine bestimmte Luftmenge von bestimmter Temperatur annimmt, wenn der in ihr enthaltene Wasserdampf vollständig kondensieren und die dabei freiwerdende Wärme das betreffende Luftquantum erwärmen würde. (1 g Wasserdampf liefert dabei eine Wärmemenge, welche die Temperatur von 1 kg Luft um 2,5° C erhöht).

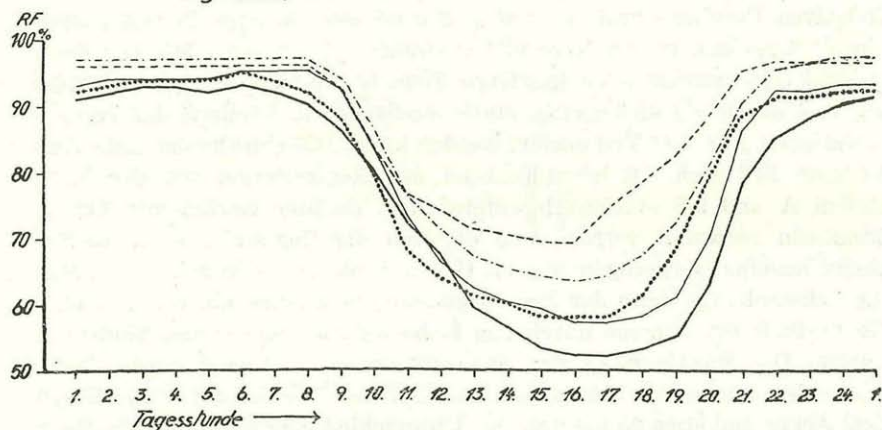
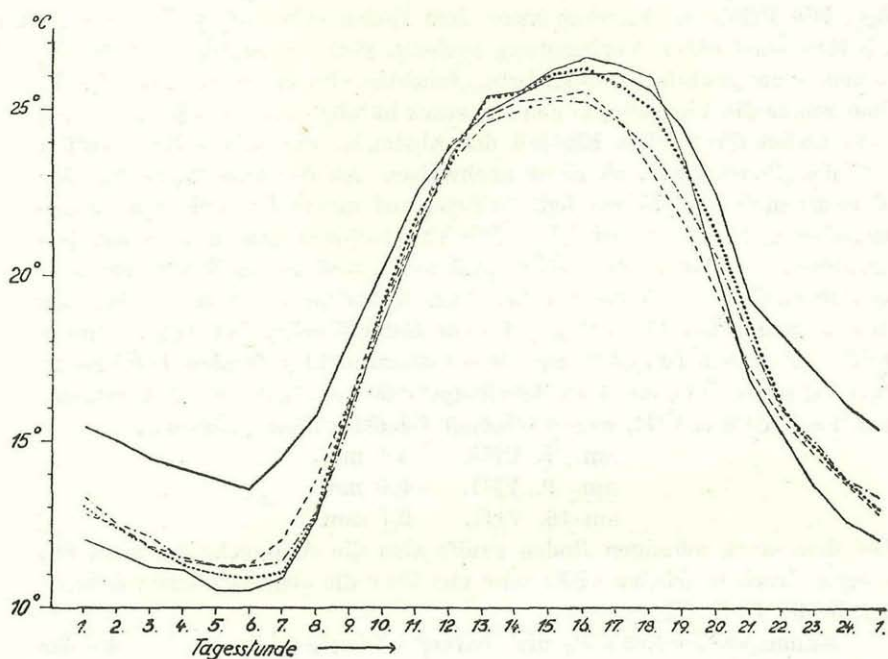


Abb. 3: Tagesgang der Temperatur. — Gießen-Hardt, — Acker, 18 S, —.— 9 S, — 3 S.

Abb. 4: Tagesgang der Relativen Feuchte. — Gießen-Hardt, — Acker, 18 S, —.— 9 S, — 3 S.

liegen in deutlichem Abstand voneinander und zu den vorausgegangenen noch höher.

Eine Untersuchung des Feuchtigkeitsgehaltes des Bodens zeigte, daß der Sojabestand eine stark vor Austrocknung schützende Wirkung aus-

übt. Die Pflanzen entziehen zwar dem Boden erheblich mehr Wasser, als ihm sonst durch Verdunstung verloren ginge, schaffen aber gerade durch eine praktisch unbewegte, feuchtigkeitsreiche Luftschicht in Bodennähe die Vorbedingungen für stark herabgesetzte Evaporation aus dem Boden direkt. Ein Einfluß des Abstandes der Windschutzstreifen auf den Boden ließ sich nicht nachweisen. An der Oberfläche lag der Wassergehalt des Bodens bei 8—10%, auf einem benachbarten, abgeernteten Getreidefeld bei 3,5%. Die Unterschiede zwischen diesem Getreideacker und den Meßstellen sind in 10 und 20 cm Tiefe erheblich geringer, doch $\pm$ deutlich erkennbar. Auf dem Versuchsfeld lag der Wassergehalt bei 17—19%, auf dem Getreideacker bei 16%. Unterschiede zwischen 10 und 20 cm Tiefe wurden nicht gefunden. Die Proben wurden nach einer längeren Trockenperiode am 23. VIII. 1944 entnommen; seit dem 1. VIII. waren folgende Niederschläge gefallen:

am 7. VIII.	4,1 mm
am 9. VIII.	0,0 mm
am 16. VIII.	0,7 mm

Bei dem stark lehmigen Boden greift also die Austrocknung auch bei langen Trockenperioden nicht sehr viel über die oberflächlichen Schichten in die Tiefe.

Anhangsweise soll noch die vielfach beobachtete starke Unruhe der Relativen Feuchte erwähnt werden. Sie ist am stärksten in den letzten Vormittags- und ersten Nachmittagsstunden ausgeprägt. Mit der dann nachmittags zunehmenden Relativen Feuchte nimmt auch deren Unruhe ab, was durch die gleichzeitig stark wachsende Einstellzeit der Hygrometerhaare nur zum Teil erklärt werden kann. Die Unruhe der Relativen Feuchte ließ sich am leichtesten an den Registriergeräten der Meßstellen A und 9 S statistisch untersuchen, da hier Geräte mit Tages-trommeln verwandt wurden und dadurch die Registrierungen ausreichend auseinandergezogen waren. Gegen Ende des Versuchs II nimmt die Schwankungsbreite der Feuchtigkeitsunruhe stark ab, was auf eine Bedingtheit der Unruhe durch den lebenden Sojabestand hindeuten dürfte. Die Häufigkeiten der Schwankungen je Stunde wurde durch Auszählen der oberen Umkehrpunkte bestimmt; sie beträgt etwa 18—20 dem Acker und etwa 25 bei 9 S. Der Unterschied mag durch verschiedene Einstellgeschwindigkeit beider Geräte, vielleicht auch auf die etwas gröber schreibende Feder bei dem Gerät auf dem Acker verursacht worden sein, wodurch feinere Einzelheiten verloren gingen. Alle $1\frac{1}{2}$ Minuten erfolgt demnach durchschnittlich eine Umkehr der Registrierrichtung, da stets einem oberen ein unterer Umkehrpunkt entspricht, was die Zahl der Umkehrpunkte verdoppelt. Es kann nicht angenommen werden, daß vor jedem Umkehrpunkt stets die wirkliche Höhe der Relativen Feuchte erreicht wird, dafür ist das Instrument viel zu träge. Die größten Differenzen zwischen je einem oberen und einem unmittelbar benachbarten

unteren Umkehrpunkt betragen an beiden Stationen durchschnittlich etwa 8%, im Maximum etwa 12% Relative Feuchte¹⁾. Die tatsächlichen Schwankungen dürften aber zweifellos aus den oben erwähnten Gründen höher sein. Die Feuchtigkeitsunruhe findet keine Parallele in einer gleichen Unruhe der Temperatur; sie müßte für eine Änderung von 8% bei einer Temperatur von 25° größenordnungsmäßig 2,5° betragen. Das Bourdonrohr weist sicher keine größere Trägheit auf als das Haarbündel, und so müßten, wenn die Feuchtigkeitsunruhe auf eine entsprechende Temperaturunruhe zurückginge, auch Temperaturschwankungen in ähnlicher Häufigkeit wie bei der Feuchte auftreten. Es sind wohl Temperaturschwankungen vorhanden, aber diese sind von einer erheblich größeren zeitlichen Dauer (15—20 Minuten). Die Relative Feuchte macht dann diese Schwankungen mit, ohne daß sich an der eigentlichen Unruhe etwas ändert. Es kann die Temperaturkurve sogar einen völlig glatten Verlauf zeigen, während innerhalb kürzester Zeit Schwankungen der Relativen Feuchte auftreten. Die Ursache muß daher in einer Eigentümlichkeit des Pflanzenbestandes und bei ihm hauptsächlich in seiner Verdunstung gesucht werden. Welcher Art dabei die Vorgänge sind, muß aber vorderhand völlig offen bleiben.

Zusammenfassung und Erörterung der Ergebnisse

Bei den vorliegenden Untersuchungen kam es darauf an, die Größe des Windschutzes und seine kleinklimatischen Auswirkungen — wenigstens an einigen wesentlichen Elementen — zu überprüfen, wobei der Windschutz durch Maisstreifen gebildet wurde. Daß diese Streifen ihre Hauptwirkung in einer Herabsetzung der Windwege zeigten, war von vornherein anzunehmen, aber auch die Änderungen von Temperatur und Relativer Feuchte stehen in eindeutiger Korrelation mit den Windwegen. Die einzelnen, von Mais geschützten Beete waren von verschiedener Breite und wurden mit einer Ackerfläche verglichen. Die Höhe, um die die Maispflanzen die Sojabestände überragten, betrug 60—70 cm. Die Beete verliefen ungefähr senkrecht zur Hauptwindrichtung von NNW nach SSO; irgendein nennenswerter Einstrahlungsverlust durch Schattenwurf der Windschutzstreifen war deshalb nicht vorhanden. Es zeigte sich an den Windwegen, die durch ein Anemometer unmittelbar über dem Bestand und durch ein zweites in Höhe der Windschutzstreifen gemessen wurden, daß diese sich an beiden Anemometern umso stärker auswirkten, je schmaler die Beete sind. Daraus ergab sich der Begriff des „horizontalen Bremsungseffektes“, der an den gleichhohen Anemometern aller Meßstellen, und der des „vertikalen Bremsungseffektes“, der durch Vergleich des oberen und des unteren Anemometers jeder Sta-

¹⁾ Bezogen auf feuchtigkeitsgesättigte Luft, also nicht auf die jeweilige Registrierhöhe.

tion abgeleitet wurde. Allerdings waren die Windwege auch von der Windgeschwindigkeit derart abhängig, daß auf eine Abnahme beider Bremsungseffekte mit steigender Windgeschwindigkeit geschlossen werden mußte. Es zeigte sich nun, daß die Temperaturmaxima umso niedriger, die Mittel der Relativen Feuchte umso höher liegen und die Schwankungsbreiten zwischen den Temperaturextremen umso geringer sind, je schmaler die Beete sind. Das gilt für die Verhältnisse im Bestand und möglicherweise auch unmittelbar über dem Bestand. Temperaturmittel und -minima lassen keine oder wenigstens keine deutliche Reaktion auf die Windschutzstreifen erkennen. Niedrigere Windgeschwindigkeit, geringere Höchsttemperaturen und höhere Relative Feuchte bedeuten aber zweifellos für viele Kulturpflanzen unter den Bedingungen des mitteleuropäischen Klimas einen Gewinn, vor allem für ihren Wasserhaushalt, der ja bei uns einen begrenzenden Faktor der Entwicklung und damit für den Ertrag darstellt.

Es darf als wahrscheinlich gelten, daß die hier an einem Kulturpflanzenbestand gewonnenen Ergebnisse grundsätzlich auch auf natürliche Pflanzenassoziationen übertragen werden können. Ähnliche Verhältnisse liegen z. B. in Buschwäldern vor, wenn Flächen von einer den Sojabeeten vergleichbaren Größe mit Heidelbeeren bewachsen und von niedrigem Buschwerk umgeben sind. Auch im Gebirge finden sich gelegentlich ähnliche Verhältnisse, wenn z. B. Lücken in Latschenbeständen fast rein von Alpenrosen bewachsen sind. Die Unregelmäßigkeit in der Form solcher Heidelbeeren- oder Alpenrosenbeständen im Vergleich zu den regelmäßig rechteckigen Sojabeeten dürfte dabei nicht wesentlich ins Gewicht fallen.

Es ist nun für die Durchführung des Windschutzes im Anbauverfahren zweifellos von größter Bedeutung, daß die Parzellen eine wirtschaftlich und anbautechnisch günstige Größe erhalten. Es ist wiederholt darauf aufmerksam gemacht worden, daß die Meßstellen A und 18 S sich nicht oder nur unwesentlich in ihren Windwegen wie in ihren mikroklimatischen Eigentümlichkeiten unterscheiden. Bei ihrer geringen relativen Höhe bedeuten also die Maisstreifen bei hoher Beetbreite keinen Windschutz, der wirksam genug wäre, um das erstrebte Ziel zu erreichen. Die Beetbreite 3 S ist andererseits so gering, daß sie für die Praxis nicht in Frage kommt. Ein Beet von 9—12 Reihen, d. h. von 3,60—4,80 m Breite, dürfte wohl die Anforderungen erfüllen, die einerseits der Landwirt von der Anbauweise und andererseits der Agrarmeteorologe von seinem Gesichtspunkt aus zu stellen haben. Bei entsprechend größerer Höhe der Schutzstreifen ändern sich naturgemäß die Beetbreiten; doch dürften dann auch die Schattenwürfe erheblich mehr ins Gewicht fallen. Vom meteorologischen Gesichtspunkt aus erhebt sich noch eine Frage, die in den Versuchen nicht angeschnitten wurde: Ist es ausreichend, wenn ein Feld zu schützender Kulturpflanzen

mit reihenartig angeordneten Windschutzstreifen quer zur Hauptrichtung des Windes, in der bekanntlich auch die größten Windgeschwindigkeiten aufzutreten pflegen, versehen wird, oder muß das Feld schachbrettartig aufgeteilt werden, um auch Winde aus anderen als der häufigsten Richtung abzubremesen? An Untersuchungen, die eine Entscheidung dieser Frage möglich gemacht hätten, war zwar von vornherein gedacht worden, doch fehlte die dazu notwendige, erheblich größere Versuchsfläche.

Abschließend darf aber gesagt werden, daß — soviel Probleme der Windschutz auch noch stellt — das hier vorliegende Untersuchungsergebnis ausreichend erscheint, den „Windschutz im Anbauverfahren“ im großen für Versuche durch die Praxis vorzuschlagen. Es steht dabei zu hoffen, daß die Erfahrungen der Praxis sich befruchtend auf die Untersuchungen der Agrarmeteorologen auswirken werden.

Die Auswertung der Ertragsergebnisse konnte nicht erfolgen, da die Ernte der Sojabohnen einem Bombenangriff zum Opfer fiel, bevor die Bearbeitung des Ernteergebnisses durchgeführt war.

Schrifttum

- GEIGER R. 1942: Das Klima der bodennahen Luftschicht. 2. Aufl., Braunschweig.
- KREUTZ W. 1937: Studien über Bestandsklima, über Windschutz und über Transpirationsverhältnisse im Gewächshaus. Wissensch. Abhandl. des Reichsamtes für Wetterdienst 2, Nr. 7.
- KREUTZ W. 1938: Das Windschutzproblem. Bioklimat. Beibl. 5.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Phyton, Annales Rei Botanicae, Horn](#)

Jahr/Year: 1950

Band/Volume: [2_1-3](#)

Autor(en)/Author(s): Arzt Theodor Kurt

Artikel/Article: [Mikroklimatische Untersuchungen über Windschutz in einem Kulturpflanzenstand. 157-181](#)