



Berichte des Deutschen Wetterdienstes

140

**Untersuchungen zum Einfluß von Temperatur und Strahlung
auf das Wachstum junger Haferpflanzen bei gleichbleibendem
Wasser- und Düngerangebot**

von
Ernst Franken



Zitationsvorschlag:

Franken, Ernst: Untersuchungen zum Einfluß von Temperatur und Strahlung auf das Wachstum junger Haferpflanzen bei gleichbleibendem Wasser- und Düngerangebot. - Offenbach am Main: Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, 1976.
(Berichte des Deutschen Wetterdienstes ; 140)

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
	Zusammenfassung/Abstract	5
1	Zweck und Grundgedanke des Verfahrens	5
2	Die Versuchsanordnung	6
2.1	Hafer als Testpflanze, das Vorkeimen	6
2.2	Die Pflanzenplatten	7
2.3	Die Nährlösungsbecken und die Nährlösung	7
2.4	Das Anzuchtverfahren	7
2.5	Das Wägeverfahren	8
3	Ergebnisse der für das Herausfinden einer brauchbaren Versuchsanordnung und für das Beurteilen der erzielten Zuwachswerte unerläßlichen Voruntersuchungen	8
3.1	Vorbemerkung	8
3.2	Wie wirkt sich der tägliche Wiegevorgang auf das Wachstum aus, und wieviel Wasser bleibt im Wurzelpaket?	9
3.3	Über das Verhältnis des Gewichtes der Trockenmasse zu dem der Frischmasse	9
3.4	Zum Tagesgang des Frischgewichtes	10
3.5	Einfluß des Mehltaubefalls auf das Wachstum, weitere Wachstumsstörungen	11
3.6	Die prozentuale Verteilung der Halmhöhen und das Verhältnis zwischen dem Frischgewicht und den grob geschätzten Halmhöhen ...	13
4	Das Wachstum während längerer Zeitspannen in Abhängigkeit von Jahreszeit und Bestandesdichte	14
5	Über das Verhältnis zwischen Strahlungs- und Temperaturwerten ...	16
6	Das Wachstum während kurzer Zeitspannen in Abhängigkeit von Strahlung und Temperatur	17
6.1	Der Pflanzenbestand als ein auf Temperatur und Strahlung ansprechendes „Instrument“, Auswertungsmethode	17
6.2	Zur Untersuchung herangezogene meteorologische Daten	19
6.3	Zuordnung der Wachstumswerte zu Temperatur- und Strahlungswerten	19
6.4	Zum Unterschied zwischen den Zuwachswerten von Pflanzensätzen verschiedenen Ausgangsgewichtes bzw. verschiedenen Alters	26
7	Zum Bestandsklima und zu Längen- und Gewichtsveränderungen hygroskopischer Stoffe	26
8	Schlußbetrachtung	27

Anschrift des Verfassers:

Ernst Franken
Philipp-Reis-Weg 3, D-2000 Hamburg 67

Zusammenfassung

Ein Hydrokulturverfahren bietet den Wurzeln der stets im gleichen Abstand auf Kunststoffplatten heranwachsenden Haferpflanzen stets die gleiche Wasser- und Düngermenge an. Bei ständig neuer Anzucht von Sämlingen stehen immer Pflanzensätze bestimmter Gewichtsstufen für täglich vorzunehmende Wägungen zur Verfügung. Bei Wägungen am frühen Morgen bleiben die störenden Auswirkungen des Tageszuges des Frischgewichtes am geringsten. In ein Temperatur-Strahlungsdiagramm eingetragene Zuwachswerte für jeweils 4 Tage, stets bestimmt für Haferbestände gleichen Ausgangsgewichtes, ermöglichen das Einzeichnen von Isolinien gleichen Wachstums, die eine klare Abhängigkeit des Zuwachses von diesen beiden meteorologischen Faktoren zeigen. Bei einem Hydrokulturverfahren der hier gewählten Art brauchen sich die Spaltöffnungen der Blätter bei starker Einstrahlung nicht zu schließen, und die Produktion organischer Masse kann sich auch im Bereich hoher Einstrahlungswerte noch weiter steigern. Mathematisch-statistische Verfahren führen zu einer Aufspaltung der Anteile von Strahlung und Temperatur bei den Wachstumszunahmen kurzer Zeitspannen.

Abstract

By hydrocultural procedure a constant supply of water and nutrition is always offered to the roots of young plants of oats, growing up on plates of polystyrol. Every second day new seeds are layed out for germinating. By this way always are available stands of certain stages of weight for a daily weighing. The weighing procedures are going on early in the morning to lessen the disturbing effects of the daily course of greenmatter. The growing rates are evaluated for stands of the same weight in the morning, normally for periods of four days. These rates are put into a diagram of temperature and radiation in order to draw isolines of growing rates, which demonstrate a clear dependance from these two meteorological factors. During autumn the growing rates are diminishing, but the cooperation of temperature and radiation goes on. By hydrocultural procedure of the selected manner, the water-losses of the leaves caused by transpiration are compensated nearly immediately. The stomataes don't need to close during strong radiation and the production of organic material goes on also in the region of strong radiation. A statistical procedure allows to separate the efficacy of temperature and radiation.

1 Zweck und Grundgedanke des Verfahrens

In früheren Jahrzehnten standen fast nur statistische Methoden zur Verfügung, mit deren Hilfe man z. B. über Temperatur- und Niederschlagswerte bestimmter Zeitabschnitte zu Erntevorhersagen kommen wollte. Mit den Fortschritten der Technik kamen die Erkenntnisse von Laboratorien — und schließlich von Phytotronuntersuchungen hinzu. Elektronische Rechenmaschinen verkürzen die sehr zeitraubenden Korrelations- und Regressionsrechnungen auf ein erträgliches Maß, was wiederum das Anwenden der nach modernen Methoden gewonnenen Gesetzmäßigkeiten durch die Praxis erleichtert. Anstelle umfangreicher Literaturangaben sei hier verwiesen auf: KREEB (11), PFAU (13), STOCK (22), DEINUM (5) und vor allem auf die Berichte des *Symposiums* von Uppsala (1).

Trotz der Fortschritte der Technik ist es noch ein weiter Weg zu gesicherten Formeln der Abhängigkeit des Pflanzenwachstums vom Wetterablauf. Zu viele Faktoren wirken in von Stunde zu Stunde, Tag zu Tag und von Jahr zu Jahr wechselnder Kombination auf die heranwachsenden Pflanzen ein. Auf das Einbeziehen der für das Problem so wichtigen Strahlung mußten früher viele Sachbearbeiter verzichten, weil das Registrieren und Auswerten der Strahlungsgrößen einen erheblichen Zeitaufwand erforderte. Manche verwiesen darauf, daß die Strahlung auf dem Umweg über die Temperatur in die Rechnungen eingeht. Hier hat die automatische Datenerfassung während der letzten Jahre eine Änderung gebracht. Die meteorologischen Dienste stellen jetzt der Wissenschaft und der Praxis die Globalstrahlungswerte wenigstens einiger Stationen zur Verfügung. Dabei bleibt es jedoch nicht. Die mit dem Wachstum zusammenhängenden Probleme sind so vielschichtig, daß sich neben der Botanik, der Bodenkunde, der Chemie und der Landwirtschaft auch die Meteorologie selbst in ihr eigenen Fragestellungen mit ihnen befassen und ihren Beitrag bringen muß.

Jeder der beim Wachstum mitwirkenden Faktoren vergrößert den Streubereich der Einzelpunkte, aus denen sich mit Korrelations- und Regressionsrechnungen eine Zeitwachstumskurve errechnen läßt. Das führt wiederum bei Anwendung der herausgefundenen Beziehungen auf den Einzelfall leicht zu Enttäuschungen. Unterschiedliche Niederschlagsmengen und damit auch Unterschiede der Bodenfeuchte wirken sich mit Sicherheit auf Wachstum und Ernteertrag aus (7), (21). Außerdem läßt sich der Grad der Bodenfeuchte und der Nährstoffkonzentration in den verschiedenen Wurzelhorizonten nur ungenügend erfassen.

Leider gibt es kein Instrument, das wie ein Pflanzenbestand auf die wechselnde Kombination der meteorologischen Faktoren anspricht und gleichzeitig den Grad der Mitwirkung jedes einzelnen der Faktoren bei den Wachstumsvorgängen registriert. Dies alles legt für den Arbeitszweig der Agrarmeteorologie den Gedanken nahe, einmal den umgekehrten Weg einzuschlagen, nämlich zur Untersuchung herangezogenen Pflanzenbeständen möglichst den Charakter von Instrumenten zu verleihen, sie aber unter Freilandbedingungen im Zuständigkeitsbereich der Meteorologie aufwachsen zu lassen. Zuwachsbestimmungen wären immer an Pflanzensätzen einer bestimmten Gewichtsstufe vorzunehmen. Es müßten also ständig neue Sämlinge herangezogen werden, um so den Einfluß des unterschiedlichen Alters der Pflanzen möglichst auszuschalten. Um Unsicherheiten einer ungleichmäßigen Wasser- und Düngerversorgung gering zu halten, wäre den Pflanzenwurzeln stetig eine Nährlösung bestimmter Konzentration anzubieten. Das könnte zu einer besseren Abspaltung des Anteils der Temperatur von dem der Strahlung beim Wachstumsvorgang führen und jedem Faktor ein eigenes Gewicht geben. Eine entsprechende Untersuchung würde sich zur Grundlagenforschung eingliedern, deren Ergebnisse erst auf Umwegen zur Praxis gelangen. Es wäre aber auch schon ein Gewinn, wenn

eine solche Untersuchung lediglich die mit anderen Verfahren gefundenen Beziehungen in ihrer Größenordnung bestätigte.

Diese Überlegungen führen zu einem Hydrokulturverfahren. Es müßte vor allem den Anteil von Temperatur und Strahlung beim Wachstum erkennen lassen, und zwar aus folgenden Gründen:

1. Nur ein Hydrokulturverfahren ermöglicht bei häufigem Wechsel der Nährlösung ein gleichmäßiges Versorgen der Testpflanzen mit Dünger und Wasser. Es schaltet — anders als die Bodenkultur — den Einfluß unterschiedlichen und nicht genau definierbaren Wasser- und Düngerangebots auf das Wachstum aus.
2. Bei ständiger Nachzucht von Sämlingen stehen stets Pflanzen der verschiedenen Altersstufen zur Verfügung. Auf diese Weise lassen sich Zuwachsbestimmungen immer an Pflanzensätzen etwa gleichen Ausgangsgewichtes vornehmen. Die Pflanzensätze erhalten mehr den Charakter von Instrumenten, die auf die wechselnde Kombination der meteorologischen Faktoren ansprechen. Derartige Betrachtungen werden schwieriger, wenn die Zuwachswerte zunächst junger und später die von herangewachsenen Pflanzen in Korrelation zu den meteorologischen Größen gebracht werden. Die spezielle Versuchsanordnung rückt Betreuung und Auswertung in den Arbeitsbereich der Agrarmeteorologie.
3. Die Testpflanzen wachsen stets in bestimmten Abständen und bestimmten Anordnungen auf Flächen bestimmter Größe heran.
4. Bei den Testpflanzen muß es sich stets um die gleiche Pflanzenart und -sorte handeln. Hafer scheint sich gut zu eignen.
5. Zuwachsbestimmungen an Einzelpflanzen scheiden in dieser speziellen Anordnung aus. Zu einer Bestimmung gehören so viele Pflanzen, daß sich erblich- und zufallsbedingte Unterschiede der Einzelpflanzen ausgleichen.
6. Es wird der Zuwachs der gesamten Pflanzenmasse — Blätter und Wurzeln — bestimmt.
7. Der Fehlerbereich der Meßergebnisse läßt sich festlegen.
8. Die Testpflanzen wachsen unter freiem Himmel auf bzw. werden nur bei drohendem Hagelschlag und vor starkem nächtlichen Taubefall mit Plexiglas abgedeckt.
9. Die gute Wasserversorgung dürfte das Schließen der Blattöffnungen zumindest verzögern und die Photosynthese im optimalen Bereich halten (ASTON, 1). Damit tritt vor allem die Auswirkung sehr trockener Luft auf die Wachstumsvorgänge zurück. Das erleichtert die Wertung des Temperatur- und Strahlungsanteils.

Das Entwickeln eines neuen Verfahrens fordert seine Zeit. Die Suche nach Verfahrensverbesserungen erlaubt immer nur eine Änderung der Versuchsanordnung, und ehe sich die Folgen einer Abwandlung zu erkennen geben, vergeht eine Zeit von 3 bis 4 Wochen. Dies alles gilt es bei einem Urteil über die schließlich gewonnenen Ergebnisse zu beachten. Der Verfasser schätzt seine Ergebnisse lediglich als Beitrag zum Problem der Abhängigkeit des Wachstums vom meteorologischen Geschehen ein.

Zu den Punkten 2 und 6 sei bemerkt: Der Rückschluß vom Wasserverbrauch während kurzer Zeitspannen auf den Massezuwachs kann nur begrenzten Erfolg haben. Der Wasserbedarf für einen Zuwachs von 1 g Trockenmasse (etwa 10 g Frischmasse) liegt bei 500 g, schwankt aber vermutlich in Abhängigkeit von Wetterlage, Jah-

reszeit und Düngerangebot in weiten Grenzen. Geht es ferner um Bestimmungen des Wasserverbrauchs von Pflanzenbeständen etwa gleichen Ausgangsgewichtes, so erfordert das eine ganze Anzahl voneinander unabhängiger Meßsysteme und damit einen erheblich höheren Arbeitsaufwand.

Grundsätzlich gilt für einschlägige Untersuchungen: Wer sich bei seinen Berechnungen auf das Geschehen während längerer Zeiträume stützt, gewinnt zwar auf der Wachstumsseite gut gesicherte Werte, muß aber mit großen Schwierigkeiten in der Wertung der meteorologischen Größen fertig werden. Umgekehrt ergeht es dem, der sich mit den Beziehungen während sehr kurzer Zeitabschnitte befaßt.

Das Übertragen von unter Laboratoriumsbedingungen gewonnenen Erkenntnissen auf Freilandverhältnisse kann zu Trugschlüssen führen, ähnlich denen beim Übertragen des Verhaltens gefangener Tiere des Zoologischen Gartens auf die der Wildnis. Die gleiche Gefahr besteht für das Anwenden der unter Hydrokulturbedingungen gefundenen Zusammenhänge auf im Boden wurzelnde Pflanzen. Im günstigsten Fall dürfte daher der Untersuchungsbefund erst auf weiten Umwegen zur Praxis finden.

Ich stütze mich auf die Werte der Globalstrahlung und folge damit anderen Autoren (22). Nur etwa die Hälfte der von der Globalstrahlung gespendeten Energie fällt in den Bereich des sichtbaren Lichtes. Außerdem wird ein Teil der Strahlung reflektiert, und ein weiterer geht, nachdem er sich in eine Temperaturerhöhung der Blätter umgesetzt hat, als langwellige Ausstrahlung wieder verloren. Die Strahlungswerte wurden in unmittelbarer Nähe der Versuchsanordnung auf dem Versuchsfeld der Agrarmeteorologischen Forschungsstelle Ahrensburg des Deutschen Wetterdienstes gewonnen. Von der Klimastation des Meßfeldes stammen auch die hier verwendeten Stundenwerte der Temperatur (Meßhöhe 2 Meter).

Der Schluß des Berichtes beschäftigt sich kurz mit dem Bestandsklima und dem Temperaturverlauf in der Nährlösung. Alle übrigen herangezogenen Daten beschränken sich bewußt auf die an ausgewählten Stationen des Deutschen Wetterdienstes routinemäßig gewonnenen Werte.

Ich danke den Herren Dr. R. BEINHAEUER, Prof. Dr. J. SEEMANN und Prof. Dr. J. VAN ELMERN für Anregungen und Hinweise.

2 Die Versuchsanordnung

2.1 Hafer als Testpflanze, das Vorkeimen

Der Hafer (*Avena sativa*) gilt als geeignete Testpflanze für Versuche der verschiedensten Art, allerdings laut SCHROPP (20) weniger bei einem Hydrokulturverfahren. Wenn die Wahl auch in meinem Unternehmen auf den Hafer fiel, so lag das an den Schwierigkeiten, die sich bei Versuchen mit Weizen- und Gerstesämlingen ergaben. Anders als beim Hafer wachsen die ersten Wurzeln dieser Sämlinge in sperriger Art aus den Samenkörnern. Sie lassen sich schlecht und nur mit großem Zeitaufwand in die Löcher der noch zu beschreibenden Standplatten einfädeln. Vielleicht gelingt hier einmal ein besseres Verfahren. Vorerst scheint der Umgang mit Haferkörnern bzw. -sämlingen größere Vorteile zu bieten.

Die Wahl fiel auf die Hafersorte „Marino Hochzucht“, Tausendkorngewicht etwa 42 g. Für das Vorkeimen wurden flache Plexiglasschalen der Größe 30 x 22 x 1,5 cm verwendet. Wir belegen eine Schale mit 2 Lagen angefeuchteten Fließpapiers. Darauf legen wir Samenkörner etwa gleicher Größe in 7 bis 8 parallelen Reihen zu je etwa 30 bis 40 Stück aus. Da die Wurzeln fast ausschließ-

lich an den dicken Enden der Körner zum Vorschein kommen, müssen diese sämtlich in die gleiche Richtung deuten. Ein weiteres feuchtes Fließpapier und darüber ein Drahtgitter decken das Ganze ab. Bei dreimal täglichem Anfeuchten bleibt eine Schale etwa 2 Tage lang waagrecht liegen, und zwar in einem Keimschrank bei einer Temperatur von etwa 16° C, aufgestellt in einem sommerkühlen Keller. Eine niedrigere Keimtemperatur wäre erwünscht, doch erfordert das eine Kühlmöglichkeit. Nach dem Erscheinen der ersten weißen Wurzelspitzen werden die Schalen senkrecht so aufgestellt, daß die Wurzeln sämtlich nach unten wachsen. Nach 5 Tagen mit wiederholtem Anfeuchten erreichen die Wurzeln der meisten Haferkörner die Länge von 4 bis 5 cm, und die Sproßspitzen erscheinen. In den weiteren Versuch kommen nur gut geratene Sämlinge. An jedem zweiten Tag werden Haferkörner zum Keimen ausgelegt. Demnach stehen der Untersuchung stets viele Haferbestände verschiedener Altersstufen bzw. verschiedenen Gewichtes zur Verfügung.

2.2 Die Pflanzenplatten

Die Sämlinge sind nun in gleichmäßigen Abständen auf vorbereiteten weißen Kunststoffplatten (Polystyrol) unterzubringen, Maße der Platten 137 x 125 x 3 mm. Ihre weiße Farbe schützt vor zu hohen Temperaturen bei starker Einstrahlung. Die schließlich nach vielen Voruntersuchungen als geeignet herausgefundene Bepflanzungsdichte sieht 3 Doppelreihen zu je 2 x 10 Pflanzen, insgesamt also 60 Pflanzen vor, Abstand der Pflanzen innerhalb der Reihen 9 mm von Lochmittelpunkt zu Lochmittelpunkt und 18 mm zwischen den Doppelreihen (Abb. 1). Auf der Platte nehmen die Pflanzen die Fläche 82 x 64 mm ein. Die breiteren Zwischenräume zwischen den Doppelreihen lassen die Strahlung etwas besser in die Minibestände eindringen. Um ein unerwünschtes Zusammenwachsen der Wurzeln zwischen den Doppelreihen zu verhindern, wird der Zwischenraum zwischen den Wurzelreihen während des ersten Wachstumsstadiums etwa dreimal mit einem Stift durchfahren. Der später zu behandelnde Restwasserfehler bleibt dann geringer.

Eine Schablone ermöglicht das genaue Durchbohren der Platten mit Löchern des Durchmessers 2 mm. Eine Kegelfräse bringt anschließend die Löcher in eine Trichterform. So lassen sich die Sämlinge gut in die Platten einfädeln und finden einen besseren Halt. Aus der Mitte der Platte ragt eine Stahlstange (Fahrradspeiche). Sie trägt ein Doppelgitter der Maschenweite 10 mm, durch das später schräg nach außen wachsende Halme hindurchgeschoben werden. So ergeben sich gleichmäßige Bestände. Das untere Gitter befindet sich 80 mm, das obere 140 mm oberhalb der Platte.

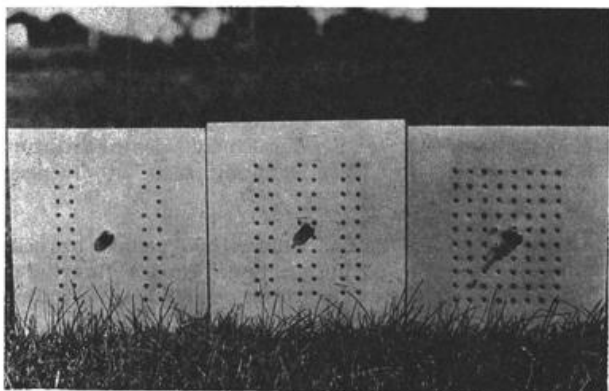


Abb. 1: Unterseiten von Kunststoffplatten mit den Pflanzlöchern.

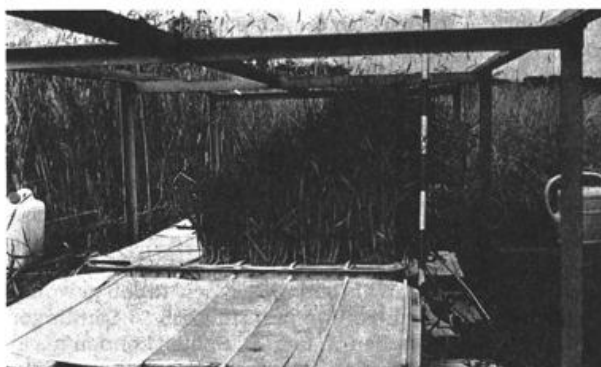


Abb. 2: Nährlösungsbecken, vorne unbesetzt, dahinter mit Haferbeständen unterschiedlichen Alters besetzt.

2.3 Die Nährlösungsbecken und die Nährlösung

Kunststoffwannen der Größe von etwa 80 x 80 x 18 cm erhalten einen Abflußhahn. Sie werden mit insgesamt 5 parallelen Kunststoffleisten im Abstand von 14 cm versehen, die maximal 34 Platten tragen. Meist bleibt es bei etwa 20 Platten (Abb. 2). Ein senkrecht dazu unterlegter Kunststoffstab verhindert das Durchbiegen der Leisten durch die mit Pflanzen besetzten Platten. In 2 Ecken der Wannen hängen Lüftersteine einer Membranpumpe, die für eine Luftanreicherung der Nährlösung sorgt. Darüber angebrachte Kunststoffrohrstücke verhindern das Abtreiben von Luftbläschen an die Pflanzenwurzeln. Es gibt bessere, aber dafür auch aufwendigere Verfahren der Luftanreicherung. Bei Voruntersuchungen verfälschte der unterschiedliche nächtliche Taubefall die Ergebnisse zu stark. Daraus ergab sich der Zwang, die Becken für die Dauer der Nacht mit Plexiglasscheiben in einer Höhe von 65 cm über den Beckenrändern abzudecken. Tagsüber tritt die Strahlung frei zu. Um Arbeitszeit zu sparen, nahm ich einen im Handel erhältlichen flüssigen Dünger (Luwasa), und zwar in der Zugabe von 0,18 Liter auf 100 Liter Wasser. Hinzu kommen 8 g Kalkammonsalpeter. Etwas verdünnte Schwefelsäure bringt den Säurewert PH auf etwa 6,0. Schließlich fülle ich 3 g Eisen III (Aethylen-diamin-Tetraessigsäure-Natriumsalz) nach, einem Rat des Herrn Dr. Preil von der benachbarten Bundesforschungsanstalt für gartenbauliche Pflanzenzüchtung folgend. Dies verhütet das Fahlwerden der Pflanzen im Hochsommer. Die Nährlösung eines Beckens wird den Pflanzenwurzeln immer nur für 2 Tage angeboten, mit einem Ruhetag zwischen den Tagen. Dann erfolgt das Ablassen des Beckens mit anschließendem Reinigen vor allem von Algenbeslag und neuem Auffüllen. Zwischen dem Auffüllen und dem Besetzen des Beckens mit Haferbeständen liegt ein Zeitraum von 8 bis 14 Stunden, währenddessen sich die Temperatur der Nährlösung auf einen den Außenbedingungen entsprechenden Wert einspielen kann. Zwischen Platten und Nährlösungsoberfläche wird ein Abstand von etwa 1 cm gehalten.

2.4 Das Anzuchtverfahren

Zum Einbringen der Sämlinge in die Standplatten tauche ich sie kurz in Wasser. Dann legen sich die Wurzeln eng zusammen und lassen sich leicht in die Löcher der Platten einfädeln. Die Platten werden dann zwischen zwei Schienen eines zur weiteren Anzucht notwendigen Bottichs gelegt. Nur während dieser Anzucht schützt ein feines Netz vor Fritfliegen, die im Sommer 1971 zuviel Schaden anrichteten. Ich verweise hier noch auf die Kälteempfindlichkeit der Jungpflanzen. Anders als bei im Boden wurzelnden Pflanzen werden die Sprosse (Koleoptile) gleich der Luft ausgesetzt. Bei sehr niedrigen Nachttemperaturen — noch oberhalb der

Frostgrenze – färben sich die Koleoptile violett. An den später erscheinenden Blättern zeigen sich große helle Flecken. Jungpflanzen mit bereits grünen Blättern, die dann erst in eine Kälte geraten, bleiben eher verschont. Für eine künftige Versuchsreihe wären die Sämlinge zu Beginn und Ende der Vegetationszeit erst einige Tage nach dem „Einfädeln“ ins Freie zu bringen.

Die Platten bleiben in der Anzucht, bis die heranwachsenden Haferbestände ein Hundertpflanzengewicht von 70 bis 80 g erreicht haben. Im Sommer brauchen sie dazu 12 bis 14 Tage. Während dieser Zeit fallen gewöhnlich einige Pflanzen aus. Von ursprünglich 80 Sämlingen verbleiben z. B. zwischen 75 und 78. Später können nochmals 2 bis 3 ausscheiden. Die bei täglich vorgenommenen Wägungen gefundenen Gewichte und Gewichtszunahmen werden jedoch in jedem Fall auf die von 100 Pflanzen umgerechnet.

2.5 Das Wägeverfahren

Nach der Anzucht kommen die mit Pflanzen besetzten Platten auf andere Bottiche, und die täglichen Zuwachsbestimmungen beginnen. Diese 4 Becken stehen in Richtung West-Ost nebeneinander und tragen die Bezeichnungen 1W, 1E, 2W, 2E. Für den Wägevorgang werden z. B. die von 1W genommenen Bestände gewogen und anschließend auf 2W gesetzt. Entsprechend gehen Bestände von 1E nach 2E und nach dem Wiegen am Folgetag wieder zurück. Die Versuchsanordnung sieht also nur eine exakte Wiederholung vor, bei der 2 gleichaltrige Bestände der gleichen Pflanzenzahl auf Flächen gleicher Größe in 2 verschiedenen Becken aufwachsen, entweder im Wechsel 1W \leftrightarrow 2W oder im Wechsel 1E \leftrightarrow 2E. Darüber hinaus sind häufig weitere Parallelbestände mitgewogen worden, vielleicht als Wiederholungen zweiter Ordnung zu bezeichnen. Vor dem Wiegen wird die Bestandeshöhe unter Zuhilfenahme eines Lineals abgeschätzt.

Bei einer kurzen Untersuchung festgestellte Kümmerpflanzen werden entfernt, und die Pflanzenplatte wird in ein von einem feinen Gitter umgebenes Gestell eingespannt (Abb. 3). Das Gestell schwingt sich mit gestrecktem Arm fünfzehnmal hin und her und schleudert damit einen großen Teil des im Wurzelpaket haftenden Wassers heraus. Ohne diese Prozedur würden die Wägeregebnisse durch unterschiedliches Abtropfen des Wassers zu sehr verfälscht. Das Verfahren zwingt zu untersuchen, ob es zu Dauerschäden an Testpflanzen kommt, denen man äußerlich nichts oder nur wenig ansieht (Abb. 4).

Das Wiegen erfolgt im besten mittels einer Sartoriuswaage. Eine solche Waage spielt sich sofort ein und empfiehlt sich schon aus Gründen der Zeitersparnis. Eine Tabelle hält die Ergebnisse fest (Tab. 1) und vermittelt einen Eindruck von der Größenordnung der Gewichtszunahmen. Vom Gesamtgewicht ist das Leergewicht abzuziehen und der Differenzwert unter Beachten der Pflanzenzahl auf das Hundertpflanzengewicht zu bringen. Anschließend lassen sich die Tageszuwachs-werte bestimmen. Im Beispiel betragen sie 11,4, 13,9, 12,8 g usw. Als höchster Wert ergibt sich 19,6 g beim Ausgangsgewicht 221,8 g, als niedrigster 7,1 g beim Ausgangsgewicht 157,3 g. Bereits hier sei bemerkt, daß später bei großer Lufttrockenheit Gewichtszuschläge, bei regennasser Luft dagegen Gewichtsabschläge erteilt werden. Im Beispiel wachsen die Pflanzen von der Höhe 21 cm zur Höhe 48 cm an. Das Wiegen zieht sich im „Ein-Mann-Unternehmen“ bei 40 Beständen etwa über 3 Stunden hin.

Bei ungestört heranwachsenden Pflanzen kann der Taubefall den Wasserhaushalt der Pflanzen schonen (9). Vermutlich wirkt sich das beim hier eingeschlagenen Verfahren notwendige Abschleudern der Bestände und

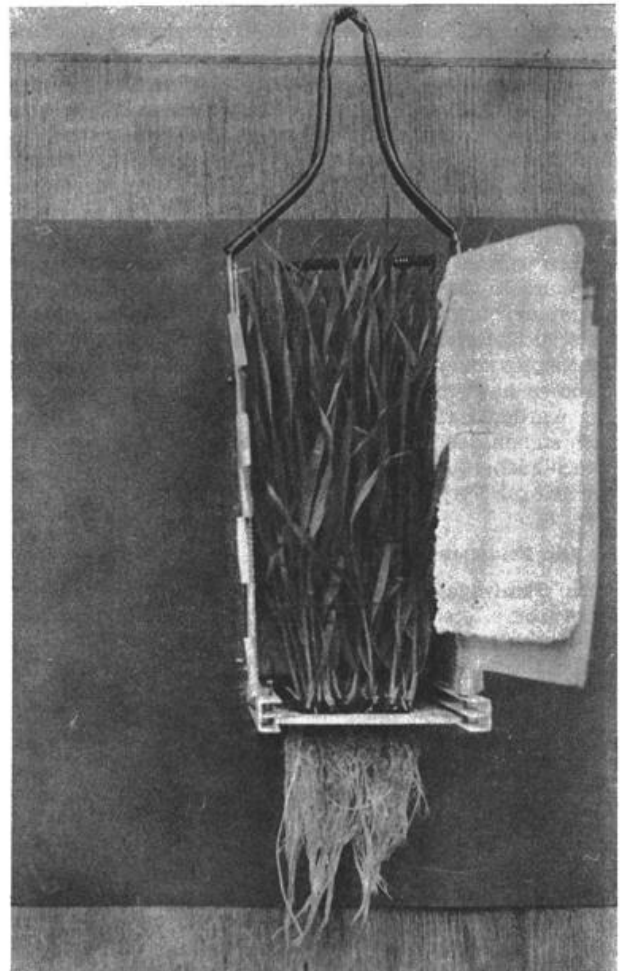


Abb. 3: Haferbestand, eingespannt in eine Vorrichtung zum Abschwingen eines Teiles des im Wurzelpaket haftenden Wassers.



Abb. 4: Haferbestände verschiedenen Alters mit den Haltegittern.

damit des Taubeschlags weniger aus, da den Wurzeln stets genug Wasser zur Verfügung steht. Aus dem gleichen Grund dürfte sich der Einfluß des nächtlichen Abdeckens der Versuchsanordnung (2.3) in Grenzen halten.

3 Ergebnisse der für das Herausfinden einer brauchbaren Versuchsanordnung und für das Beurteilen der erzielten Zuwachswerte unerläßlichen Voruntersuchungen

3.1 Vorbemerkung

Die Versuchsanordnung zwingt zur Prüfung der Fehlermöglichkeiten. Wie wirkt sich die Schleuderprozedur aus? Wie steht es mit dem Verhältnis des Trocken-

Tab. 1 Beispiel eines Versuchsprotokolls: Wachstum Hafer, Wulfsdorf 1973, 24. 6. - 5. 7. (Versuch Nr. 17).
Angesetzt: 7. 6., 18^h. Eingelocht: 12. 6., 06^h. Lochplatte Nr. 52. Leergewicht (L): 128,0 g.

Messung Nr.	Datum	Uhrzeit MOZ	Länge (cm)	n Zahl der Pflanzen	G (g) Gesamt- gewicht	G - L Pfl.gewicht (Grün m. Korn)	$\frac{G-L}{n}$ 100	Zunahme (g)
Start	24. 6.	06.15	21	79	197,9	69,9	88,5	
1	25. 6.	05.55	22	79	206,9	78,9	99,9	11,4
2	26. 6.	05.55	25	79	217,9	89,9	113,8	13,9
3	27. 6.	05.40	26	79	228,0	100,0	126,6	12,8
4	28. 6.	05.10	30	79	240,2	112,2	142,0	15,4
5	29. 6.	04.50	32	79	252,3	124,3	157,3	15,3
6	30. 6.	04.45	36	79	257,9	129,9	164,4	7,1
7	1. 7.	04.20	38	79	268,5	140,5	177,8	13,4
8	2. 7.	04.15	40	79	275,4	147,4	186,6	8,8
9	3. 7.	03.50	43	78	287,0	159,0	203,8	17,2
10	4. 7.	04.00	46	78	301,0	173,0	221,8	18,0
11	5. 7.	04.10	48	78	316,3	188,3	241,4	19,6

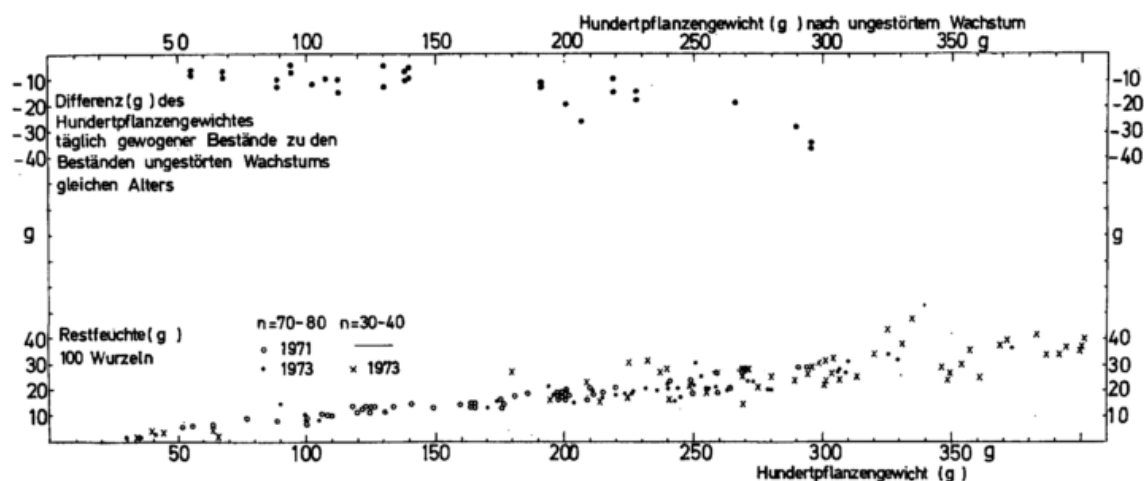


Abb. 5: Oben: Einfluß des täglichen Wiegens auf das Wachstum. Unten: Nach dem Abschwingen der Pflanzensätze im Wurzelpaket verbleibende Restfeuchte.
n = Anzahl der Pflanzen auf der Einheitsfläche 170 cm².

massegewichtes zu dem des Frischgewichtes? Was machen Pflanzenkrankheiten aus? Wieviel Wasser bleibt trotz des Ausschwingens noch im Wurzelpaket? Wie wirkt sich der Taubefall aus und wie die Luftfeuchte?

3.2 Wie wirkt sich der tägliche Wiegevorgang auf das Wachstum aus, und wieviel Wasser bleibt im Wurzelpaket?

Es gilt u. a. zu untersuchen, ob das tägliche Wiegen zu einem starken Verfälschen der Ergebnisse führt. Das geschieht am besten durch einen Vergleich der Gewichte täglich gewogener Bestände mit gleichaltrigen, aber erst nach einem gewissen Zeitabschnitt erstmals gewogenen.

Wie Abb. 5 oben zeigt, sind täglich gewogene Bestände etwas leichter als gleichaltrige erstmals gewogene, und zwar um etwa 10 %. Liegen 2 Punkte übereinander, so standen 2 täglich gewogene Bestände zum Vergleich mit einem erstmals gewogenen zur Verfügung. Es bleibt vorerst die Frage offen, ob wirklich die Pflanzenmasse leichter ist, oder ob sich durch das Ausschwingen in täglich gewogenen Beständen weniger Wasser im Wurzelpaket hält. Für die späteren Betrachtungen nehme ich an, daß sich die zurückbleibende Gewichtsentwicklung der täglich gewogenen Bestände immer in gleicher Weise auswirkt. Außerdem bleibt immer ein Wasserrest im Wurzelpaket, der seiner Größenordnung nach dem Wachstumsrückstand der täglich gewogenen Bestände gleichkommt. Dies belegt der in Abb. 5 unten dargestellte Befund. Um die Wassermenge festzustellen, die sich nach dem fünfzehnmaligen Abschwingen noch im Wurzelpaket gehalten hat, werden die Wurzeln unmittelbar unter den Platten abgeschnitten, gewogen und

nach anschließendem Auspressen zwischen den Händen nochmals gewogen. Das Auspressen in einer Presse erscheint kaum sinnvoll, da dann auch das Wasser aus den Wurzeln hinzukäme. Die Streuung der Punkte würde etwas geringer sein, wenn die Restfeuchte stets in aller Frühe bestimmt worden wäre. Dies ließ sich jedoch nicht verwirklichen, da die spezielle Messung Zeit erfordert und sich damit nachteilig auf das Beobachtungsprogramm ausgewirkt hätte. So erfolgten viele Bestimmungen erst im Lauf des Tages bei oft bereits geringerem Wassergehalt der Blätter (vgl. Abb. 9). Die an den Platten haftende Restwassermenge beträgt stets etwa 1,5 g.

3.3 Über das Verhältnis des Gewichtes der Trockenmasse zu dem der Frischmasse

Für unser Problem - Einfluß meteorologischer Faktoren auf das Pflanzenwachstum - kommt der Zunahme der Trockenmasse der Pflanzen die größere Bedeutung zu. Vor allem bei sonnigem Wetter folgt nämlich das Frischmassegewicht wegen des transpirationsbedingten Wasserverlustes der Blätter einem Tagesgang (12). Die Ergebnisse kurzfristiger Zuwachsbestimmungen der frischen Pflanzenmasse eignen sich nur dann für die Suche nach Abhängigkeiten des Wachstums vom Wettergeschehen, wenn sie den unterschiedlichen Wassergehalt der Blätter beachten. Es sei hier bereits bemerkt, daß dies zur Vornahme der Gewichtsbestimmungen am frühen Morgen zwingt. Die Streuung der relativen Luftfeuchtwerte ist dann am geringsten, und in der vorangegangenen Nacht haben die Blätter Transpirationsverluste des Vortages wettmachen können.

Leider führt der Weg über das Bestimmen der Trockenmasse zum Tode der Pflanzen, und Versuche, mit immer wieder anderen Pflanzen oder Pflanzenbeständen zu Zuwachsbestimmungen kurzer Zeitspannen zu kommen, können nur beschränkter Erfolg haben. Ließen sich Zuwachsbestimmungen über eine Folge von Tagen an den gleichen Pflanzen vornehmen, so hätte das viel für sich. Vielleicht liegen die Verhältnisse beim Hydrokulturverfahren günstiger als bei im Boden wurzelnden Pflanzen, weil stets Wasser in ausreichender Menge verfügbar bleibt und die Schwankungsbreite des Wassergehaltes der Blätter gering hält. Abb. 6 vermittelt zunächst eine Vorstellung von der bei unseren Untersuchungen gefundenen Beziehung zwischen der Frisch- und der Trockenmasse. Die Beziehungen würden strafbarer sein, wenn die Bestimmungen am frühen Morgen bei fast immer hohem Wassergehalt der Blätter erfolgt wären. Für Hundertpflanzengewichte unter 200 g liegen nur wenige Bestimmungen vor, obgleich das Schwerkraftgewicht der späteren Betrachtungen gerade in diesen Bereich fällt. Aber leider scheidet mit der Trockenmassebestimmung der Bestand aus der Versuchsreihe aus.

Abb. 6 gibt das in die späteren Erörterungen eingehende Frischgewicht der Pflanzensätze (Halme und Wurzeln) einschließlich des bei den Wägungen im Wurzelpaket verbleibenden Restwassers in Beziehung zur gesamten Trockenmasse wieder. Der Maßstab der Waagerechten verhält sich zu dem der Senkrechten wie 10:1. Die Punkte befinden sich fast ausschließlich unterhalb der eingezeichneten 45°-Linie. Der Trockensubstanzgehalt liegt demnach meist unter 10% der Gesamtmasse. Die für drei Bestandesdichten (30-40, 50-60, 70 bis 80 Pflanzen) gefundenen Beziehungen zeigen keinen grundsätzlichen Unterschied. Bei Abzug des Restwassergewichtes vom Frischgewicht ergeben sich die Verhältnisse der Abb. 7. Die Punkte rücken naturgemäß weiter nach links und die meisten damit näher an den Wert 10%. Der Trockensubstanzgehalt (‰) der Halme liegt höher (Abb. 8). Das gilt vor allem für ältere und damit schwerere Bestände

Nach diesen und weiteren Ergebnissen läßt es sich vertreten, in einem Hydrokulturverfahren mittels Frischgewichtsbestimmungen dem Problem des Mitwirkens meteorologischer Faktoren beim Wachstum nachzugehen.

3.4 Zum Tagesgang des Frischgewichtes

Unter Frischgewicht sei nunmehr stets das Frischgewicht der Pflanzenmasse einschließlich des beim Wägevorgang im Wurzelpaket verbleibenden Restwassers verstanden. Das Frischgewicht unterliegt einem Tagesgang. Der Tatbestand zwingt zu Überlegungen und Versuchen, zu einem Meßtermin zu kommen, der am ehesten brauchbare Werte zu liefern verspricht. Dies führte zu einer größeren Zahl von Meßserien, die auf das Erfassen des Tagesganges des Frischgewichtes abzielten. Ein mehrfaches Wiegen an einem Tag schadet den Pflanzen. In ihren Gewichtszunahmen bleiben sie deutlich hinter denen nur einmal täglich gewogener Bestände zurück. Sie scheiden damit aus dem Untersuchungsprogramm aus. Aus dem Untersuchungsmaterial greife ich die für extreme Wetterlagen typischen Fälle heraus, nämlich die für Strahlungswetter (Abb. 9 links) und für bedecktes Wetter (Abb. 9 rechts).

Bei Strahlungswetter (2.-3. August 1972) fielen 8 Bestimmungstermine in die 24 Stunden zwischen dem Morgen des 2. und dem des 3. August. Um sowohl das Auswirken des Ausgangsgewichtes als auch den Tagesgang selbst deutlich herauszustellen, wählte ich 2 unterschiedliche Maßstäbe. Der linke Maßstab steht nur für das Ausgangsgewicht am Morgen des 2. August, der

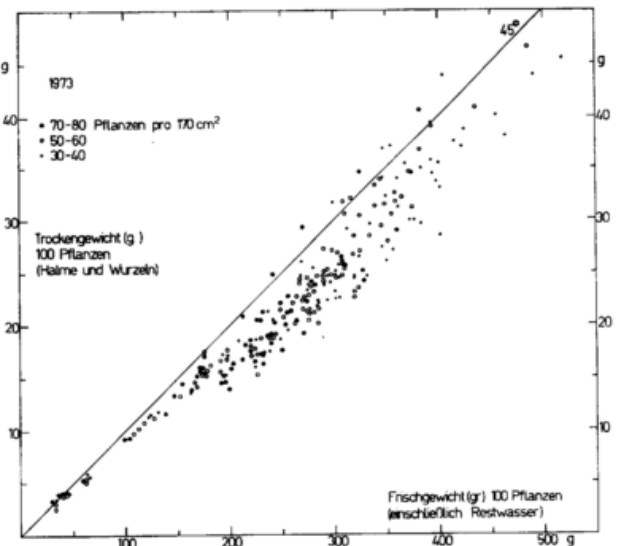


Abb. 6: Beziehung Frischgewicht — Trockengewicht von Haferpflanzen unter Hydrokultur.

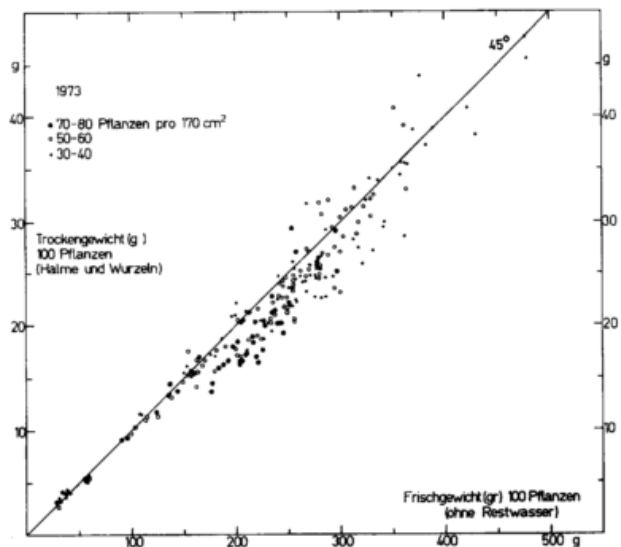


Abb. 7: Wie Abb. 6, aber ohne Restwasser des Wurzelpaketes.

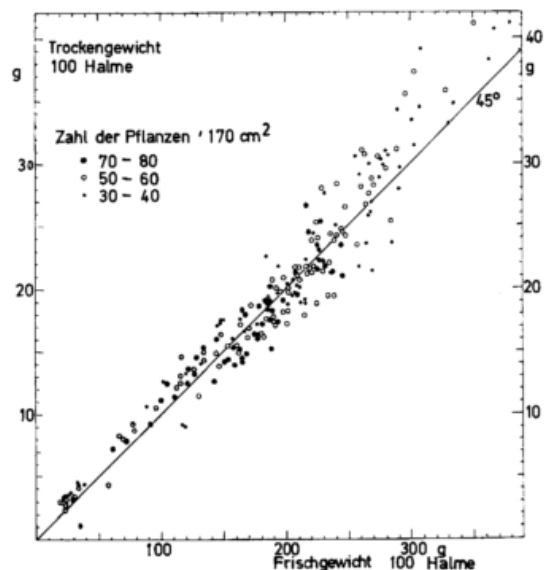


Abb. 8: Verhältnis des Frischgewichtes der Halme (Hafer) zum Trockengewicht.

mittlere, um das Zwanzigfache vergrößerte, dagegen nur für die Gewichtsveränderungen während des Tages. Die Bestände waren während der Nächte nicht abgedeckt. Ein Teil des Kurvenabfalls am frühen Morgen geht auf das Verschwinden des Taubefalls zurück, ein weiterer auf den Feuchterückgang in den Blättern.

Der Tagesgang der meteorologischen Faktoren (Abb. 9 oben links) entspricht dem eines Strahlungstages, allerdings mit Durchzug eines Wolkenfeldes am frühen Nachmittag. Der Stundenwert der Globalstrahlung sinkt vorübergehend um etwa die Hälfte ab, um dann wieder deutlich anzusteigen. Temperatur und Dampfdruck der Luft sprechen darauf an und ebenso das Frischgewicht der Pflanzen. Einige Tage später (Abb. 9 rechts) bringt bedecktes Wetter andere Verhältnisse. Der Gewichtsabfall morgens fehlt oder ist gering. Die Linienzüge verlaufen fast waagrecht und heben sich schon etwa ab 14 Uhr an. Es gab in der vergangenen Nacht keinen Taubefall, und die folgenden Stunden brachten nur geringe Einstrahlung und geringes Sättigungsdefizit. Bei diesem Tatbestand stellte sich offensichtlich ein Gleichgewicht zwischen dem Zuwachs und den Auswirkungen des Tagesganges der meteorologischen Faktoren ein.

Für Abb. 10 sind die Ausgangswerte des Gewichtes am frühen Morgen auf den gemeinsamen Wert 100 reduziert worden. Mit den gleichen Faktoren wurden dann auch die Gewichtsveränderungen reduziert. Die Linienzüge zeigen große Ähnlichkeit. Völlige Übereinstimmung läßt sich aus mehreren Gründen nicht erwarten, z. B. wegen der unterschiedlichen Höhe der Ausgangsgewichte. Die oberen Kurvenzüge stellen eine Auswahl der bereits in Abb. 9 links erörterten dar. Vom Anheben der Linienzüge zur Mittagszeit des 2. August abgesehen, spiegeln die vom 7. und 9. August (Abb. 10 unten) ähnliche Verhältnisse wieder. Das Stagnieren der Gewichte am späten Abend des 7. August fällt zusammen mit aufkommendem Wind und leichtem Rückgang der Luftfeuchte. Die bereits einsetzende Taubildung gerät ins Stocken.

Abb. 11 und 12 bringen die Ergebnisse weiterer Meßserien. Um das Ansprechen des Frischgewichtes auf den Tagesgang der meteorologischen Faktoren besser herauszuschälen, sind hier die Gewichtsabnahmen in der positiven Richtung des Koordinatensystems eingezeichnet und ebenfalls auf das Ausgangsgewicht 100 g bezogen worden. Auch diese Linienzüge sprechen - wie die vorangegangenen - für den frühen Morgen als besten Termin zur Vornahme der Wägungen. In allen Fällen war der Taubefall durch abendliches Abdecken der Versuchsanordnung gering gehalten worden. Meist beträgt der Gewichtsverlust der Pflanzensätze weniger als 5% vom frühen Morgen bis zum Mittag. Im Zuge der Untersuchung wird sich zeigen, daß niedrige Luftfeuchte zum Beobachtungstermin bei der Bestimmung der Zuwachswerte ebenso zu beachten ist, wie von der Seite in die abgedeckten Bestände eindringender feiner Regen. Nach FISCHER (7) kann die Blattfeuchte bei im Boden wurzelnden Pflanzen auf 60% des maximalen Gehaltes absinken.

3.5 Einfluß des Mehltaubefalls auf das Wachstum, weitere Wachstumsstörungen

Wie bereits bemerkt, stellten sich der Untersuchung zahlreiche Schwierigkeiten in den Weg, über die ich nicht in allen Einzelheiten berichten will. Der Befall mit Algen blieb gering, vielleicht wegen der häufigen Reinigung der Becken. Er ließe sich durch Schwarzfärben der Plattenunterseiten noch verringern.

Gleichfalls wurde auf den Zwang zur Bekämpfung der Fritfliege während des Jugendstadiums der Pflanzen hingewiesen (2.4). Es blieb schließlich das Problem des Mehltaubefalls, das aber, von Ausnahmen abge-

sehen, erst auftrat, wenn die Pflanzensätze bereits das Hundertpflanzengewicht 200 g überschritten hatten und damit auch die Grenze, bis zu der sich diese Untersuchung mit dem Problem Witterung - Wachstum befaßt. Einen extremen und nur einmal verzeichneten Fall bringt Abb. 13. Von 2 gleichaltrigen Beständen zeigte der eine starken Befall bereits im ersten Wachstumsstadium, der andere nur unbedeutenden. Der Befallene bleibt im Wachstum weit zurück. Ende der Vegetationszeit 1973 aufgetretener Befall wurde mit Imugan bekämpft.

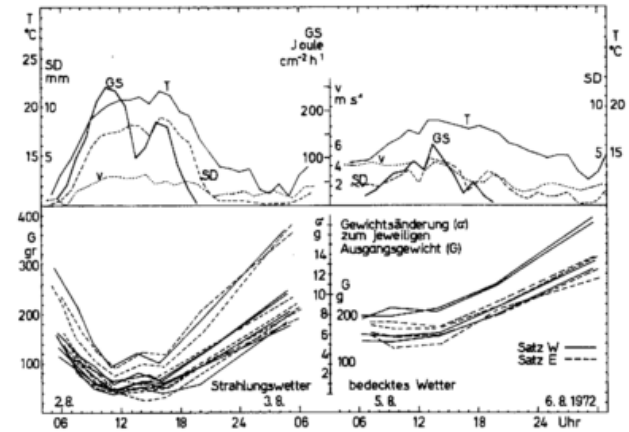


Abb. 9: Tagesgang des Frischgewichtes von Haferpflanzen (Hydrokultur) bei Strahlungswetter (links) und bedecktem Wetter (rechts) Ahrensburg-Wulfsdorf 1972.

Oben: Tagesgänge der meteorologischen Faktoren: GS = Globalstrahlung, T = Temperatur in 2 m Höhe, SD = Sättigungsdefizit in 2 m Höhe, v = Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe.

Unten: Tagesgänge des Frischgewichtes (Hundertpflanzengewicht), einfache Wiederholung durch Sätze W und E. Maßstab links nur für Ausgangsgewichte am frühen Morgen (G/g), Maßstab Mitte (G'/g), stark überhöht, für Gewichtsveränderungen gegenüber Ausgangsgewicht.

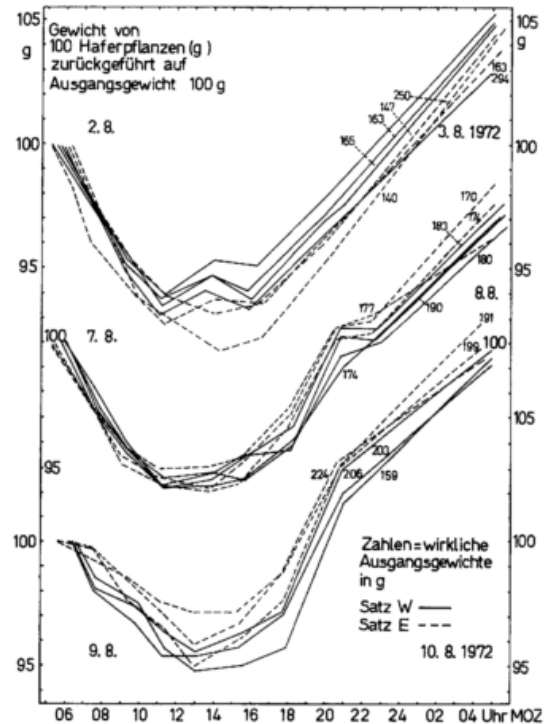


Abb. 10: Auf das Ausgangsgewicht 100 g reduzierter täglicher Gang des Frischgewichtes von 100 Haferpflanzen (Hydrokultur), Strahlungswetterlagen, Ahrensburg-Wulfsdorf 1972. (Vgl. Abb. 9).

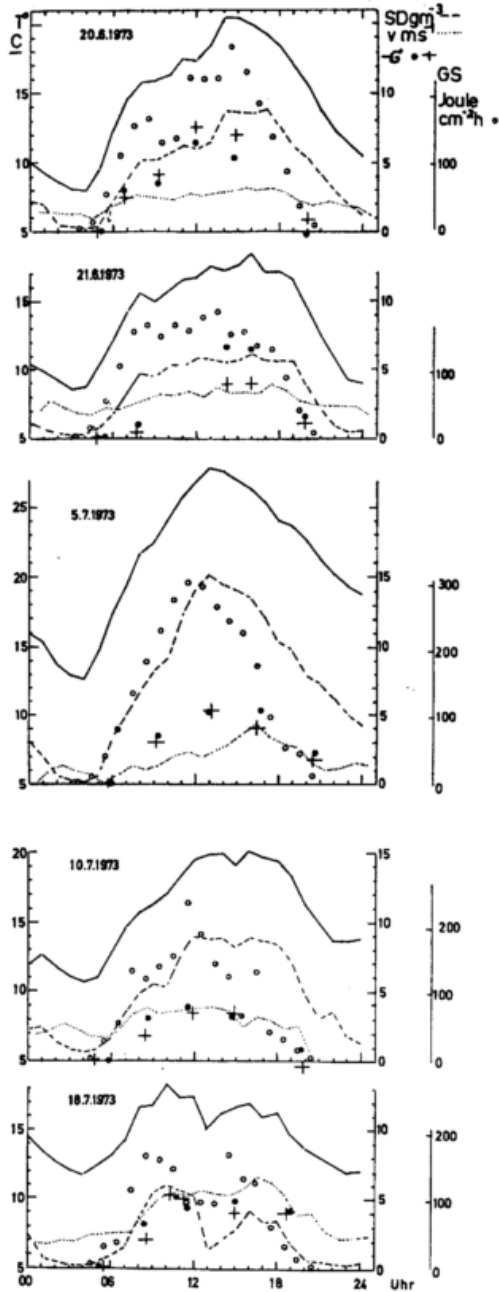


Abb. 11: Tagesgänge meteorologischer Faktoren und des Gewichtsunterschiedes von 100 Haferpflanzen in Beziehung zum Ausgangsgewicht am Morgen, reduziert auf das Ausgangsgewicht 100 g, Juni—Juli 1973, Ahrensburg-Wulfsdorf.
 — Lufttemperatur T °C, - - - - Sättigungsdefizit SD g · m⁻³, ° ° ° Globalstrahlung GS, Windgeschwindigkeit v, ● * Gewichtsunterschied G'.

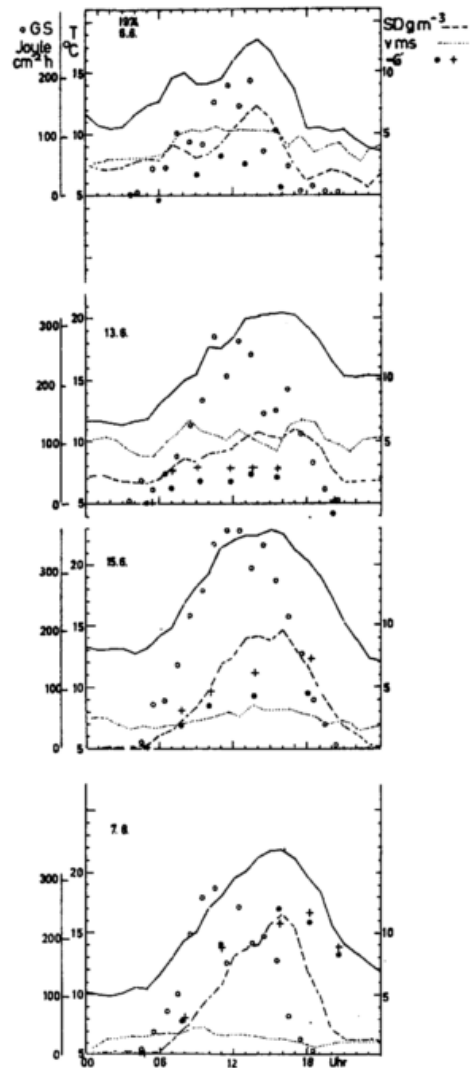


Abb. 12: Wie Abb. 11, Sommermonate 1974.

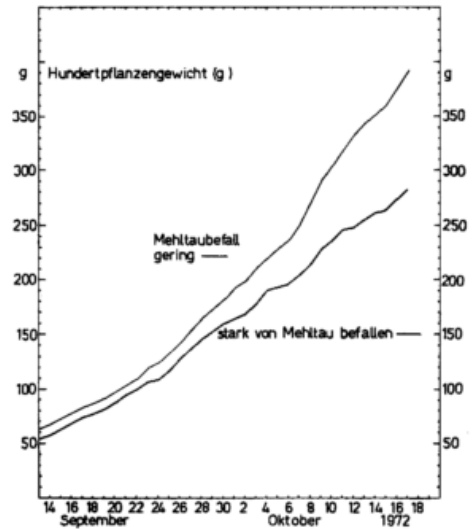


Abb. 13: Zeitwachstumskurven eines kaum von Mehltau befallenen Haferbestandes (Hydrokultur) und eines gleichtrigen und unter gleichen Bedingungen aufgewachsenen stark befallenen Bestandes, Ahrensburg-Wulfsdorf 1972.

Nach 2.1 könnte zu hohe Keimtemperatur während des Hochsommers den Versuch beeinträchtigen. Letzte Sicherheit vermag hier nur eine entsprechende Versuchsvariation bringen. Unter Umständen spielen auch zu hohe Temperatur der Nährlösung oder eine jahreszeitlich bedingte Änderung des Reaktionsvermögens der Pflanzen eine Rolle.

3.6 Die prozentuale Verteilung der Halmhöhen und das Verhältnis zwischen dem Frischgewicht und den grob geschätzten Halmhöhen

Viele Autoren gehen das Problem der Witterungsabhängigkeit des Pflanzenwachstums mit Messungen der Pflanzenhöhen an. Das Verfahren stützt sich auf den verhältnismäßig engen Zusammenhang zwischen Pflanzenhöhe und Trockensubstanz, der sich bei Einbeziehungen kleiner und großer bzw. junger und alter Pflanzen in den Vergleich ergibt. Stillschweigend wird vorausgesetzt, daß die gleiche Beziehung auch für kurze Zeiträume gilt. Ein solcher Nachweis dürfte auf experimentellem Weg schwer gelingen, weder für die Beziehung Längenzunahme:Trockensubstanzzunahme noch für das Verhältnis Frischgewichtszunahme:Trockengewichtszunahme eines Tages. Für ein tägliches Messen des Längenwachstums sprechen der bei vorsichtigem Umgang zu vernachlässigende Einfluß des Meßvorganges auf das Wachstum, das Verbleiben der Pflanzen unter natürlichen Bedingungen, seine Einfachheit und der geringe Kostenaufwand. Für alle dem Problem nachgehenden Verfahren gilt das gleiche. Sie bringen auf statistischem Wege gewonnene Gesetzmäßigkeiten, deren Anwendung auf den Einzelfall nur mit einem mehr oder weniger großen Fehlerbereich gelingt. Wegen der vielfachen Anwendung der Pflanzenhöhen-Messungen bei Wachstumsuntersuchungen muß ich eine Vorstellung vom Verhältnis der von mir vorgenommenen Gewichtsmessungen zu denen der Höhe verschaffen. Abb. 14 steht als ein Beispiel für zahlreich vorgenommene Längenmessungen von Haferhalmen. Nach dem glatten Abschneiden der Wurzeln an den Plattenunterseiten wurden die Halme der Länge nach geordnet. Trotz gleicher Behandlung ergeben sich Längenunterschiede zwischen den Halmen eines Bestandes. Demnach gehören zu einer brauchbaren mittleren Längebestimmung viele Einzelmessungen, nach Stock (22) immer an den gleichen Pflanzen. Die Gewichtsbestimmung erfaßt dagegen sämtliche Pflanzen eines Bestandes. Dafür müssen mehrere Bestände gewogen werden. Es gilt nun zu untersuchen, ob das Längen-/Gewichtsverhältnis unter Hydrokulturbedingungen eine Abhängigkeit von der Jahreszeit zeigt. Nochmals sei bemerkt, daß die Längenmessung für diesen Vergleich nur grob durch Anlegen eines Lineals an den Bestand erfolgen konnte, also abweichend von den Ergebnissen der in Abb. 14 dargestellten Messungen einzelner Halmlängen. Letzteres Verfahren hätte zur frühzeitigen Zerstörung der Bestände geführt und schied außerdem aus Zeitgründen aus.

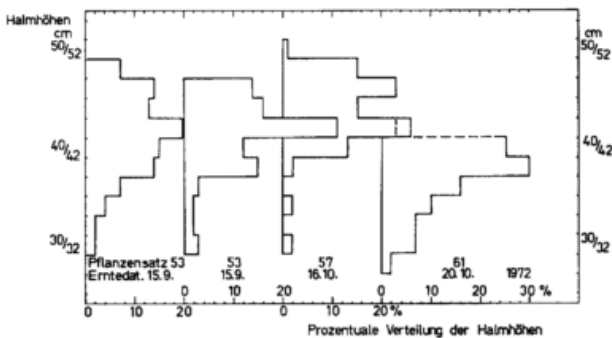


Abb. 14: Prozentuale Verteilung der Halmhöhen einiger Haferpflanzenbestände (Hydrokultur), Ahrensburg-Wulfsdorf 1972.

Abb. 15 gibt die jahreszeitliche Abhängigkeit der Halmhöhen für Bestände der Hundertpflanzengewichte 100 bis 250 g an, und zwar für die Pflanzendichte 50-60. Pflanzensätze gleichen Gewichtes erreichen demnach im Hochsommer eine deutlich größere Höhe als im Spätfrühling und Herbst. Bei etwas veränderten Versuchsbedingungen kommt die jahreszeitliche Abhängigkeit des Zusammenhanges weniger klar heraus, bleibt aber erkennbar. Sie gilt für alle 3 Pflanzendichten (Abb. 16).

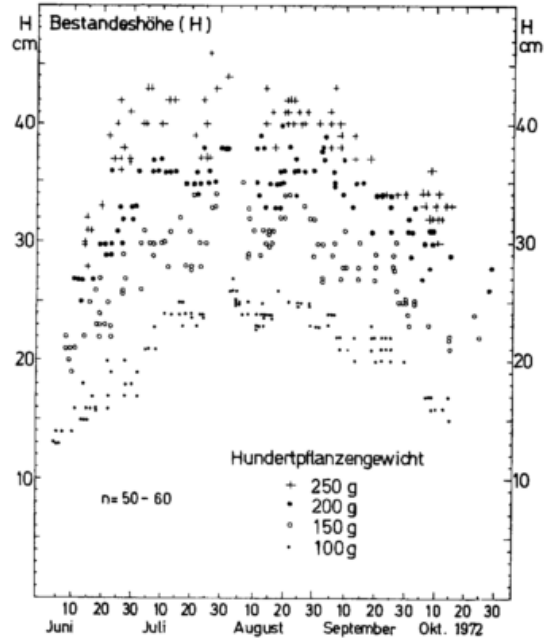


Abb. 15: Bestandeshöhen (Senkrechte) von Haferbeständen der Dichte 50-60 Pflanzen auf 170 cm² sowie der Hundertpflanzengewichte 250 g (oben), 200, 150 und 100 g (unten), Ahrensburg-Wulfsdorf 1973.

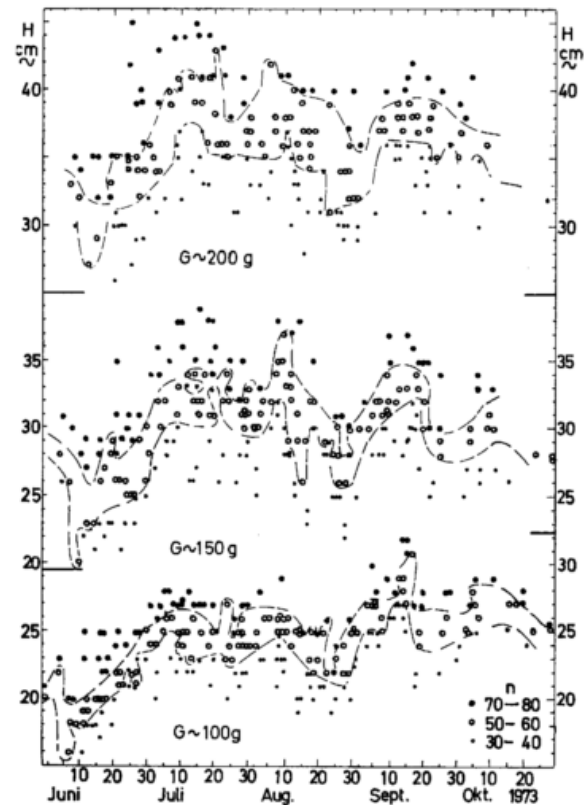


Abb. 16: Bestandeshöhen (Senkrechte) von Haferbeständen unterschiedlicher Bestandesdichte (n = 30-40, 50-60, 70-80 auf Flächen der Größe 170 cm²), sowie der Hundertpflanzengewichte 200 g (oben), 150 g (Mitte) und 100 g (unten), Ahrensburg-Wulfsdorf 1973.

Der Tatbestand erlaubt den Schluß: Bei Hydrokulturuntersuchungen zum Problem der Abhängigkeit des Pflanzenwachstums von meteorologischen Faktoren empfehlen sich Bestimmungen der Gewichtszunahmen eher als solche des Höhenwachstums, vor allem wohl bei Bestimmungen im Jugendstadium der Pflanzen.

4 Das Wachstum während längerer Zeitspannen in Abhängigkeit von Jahreszeit und Bestandesdichte

Von zahlreichen Voruntersuchungen zur Entwicklung eines brauchbaren Verfahrens sei hier nur eine angeführt. In der benachbarten Bundesforschungsanstalt für gartenbauliche Pflanzenzüchtung bot sich die Möglichkeit für eine Versuchsreihe im Spätwinter 1971. In einer Gewächshauskammer wurde eine einigermaßen gleichmäßige Temperatur von 15-17° C gehalten, in einer anderen tagsüber 19-23°, nachts 11-13° C. In jede der Kammern kam ein Plastikblumenkasten mit je 6 Pflanzenplatten (Hafer) der Pflanzendichte 90-100. Die Nährlösung blieb unbelüftet, wurde jedoch nach je 3 Tagen erneuert. Die Gewichtsbestimmungen begannen schon im Stadium der Koleoptile und setzten sich bis zum Erreichen des Hundertpflanzengewichtes von etwa 50 g fort. Dann empfahl sich der Abbruch der Messungen, weil die Halme unter winterlichen Gewächshausbedingungen wesentlich zarter bleiben als unter den Freilandverhältnissen des Sommers. Über mehrere Tage hinweg stimmt die Gewichtsentwicklung der zur gleichen Kammer gehörenden Pflanzenbestände zwar gut überein. In Anbetracht des langsamen Wachstums erscheint aber die Streuung der Gewichtszunahmen einzelner Tage zu groß, teils als Folge der Empfindlichkeit der Pflanzen, teils wohl auch wegen unzureichender Belüftung der Nährlösung (Abb. 17).

Es liegt nahe, einen Einfluß unterschiedlicher Bestandesdichte auf die Gewichtsentwicklung anzunehmen. Systematisch konnte dies Problem erst 1973 angegangen werden, nämlich nach schwierigen und oftmals enttäuschenden Voruntersuchungen der Jahre 1971 und 1972. Abb. 18 bringt eine Auswahl der 1973 gewonnenen Wachstumskurven für verschiedene Pflanzendichten. Die Auswahl ist zufälliger Art, so vorgenommen, daß Überschneidungen der Wachstumskurven von Pflanzensätzen nur geringen Altersunterschiedes vermieden werden. Die nicht in die Abbildung genommenen Pflanzensätze zeigen die gleichen Tendenzen wie die dargestellten. Die Bezeichnungen Becken West und Ost machen die einfache Wiederholung der Versuchsanstellung deutlich. Bestände geringerer Dichte (30-40) führen zu schnellerer Zunahme des Hundertpflanzengewichtes (bzw. der Einzelpflanze) als dichtere Bestände (50-60, 70-80). Beim hier nicht zu untersuchenden wirklichen Gewicht liegen die Verhältnisse natürlich anders. Die einzelnen Pflanzen entwickeln sich bei dünner Besetzung zwar schneller, insgesamt bleibt aber die Gewichtszunahme von 30 bis 40 Pflanzen hinter der von 70 bis 80 zurück.

Eine Ausnahme von den geschilderten Verhältnissen der 3 Bestandesdichten machen nur einige der frühen Wachstumskurven, vermutlich auf Kälteschäden während der Anzucht zurückzuführen. Abb. 19 zeigt gute Übereinstimmung der Gewichtsentwicklung der Pflanzensätze in den Becken Ost und West, vor allem in den hier zur Untersuchung anstehenden Hundertpflanzengewichten von weniger als 200 g. In beiden Abb. 18 und 19 gibt sich das Verlangsamten des Wachstums im Herbst zu erkennen.

Abb. 17: Entwicklung des Hundertpflanzengewichtes von Haferbeständen der Dichte 90-100 auf 170 cm², Februar-März 1971, Gewächshauszellen Ahrensburg-Wulfsdorf.

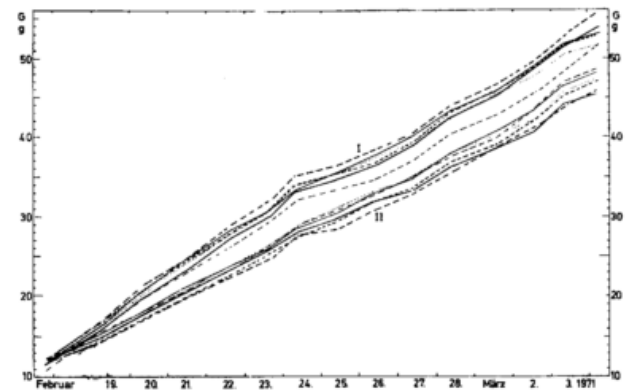


Abb. 17: Entwicklung des Hundertpflanzengewichtes von Haferbeständen der Dichte 90-100 auf 170 cm², Februar-März 1971, Gewächshauszellen Ahrensburg-Wulfsdorf.

Satz I: 6 Bestände bei Temperatur 19-23° C von 08-16 Uhr und 11-13° C von 16-08 Uhr.

Satz II: 6 Bestände bei durchgehend gleichmäßiger Temperatur von etwa 15-17° C.

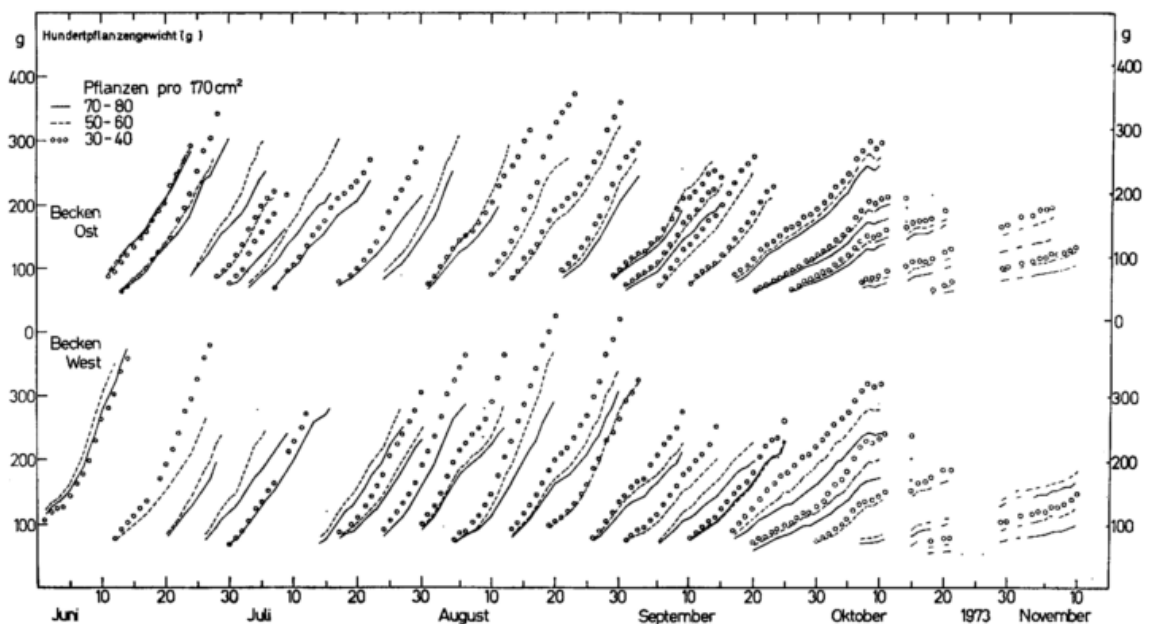


Abb. 18: Zeitwachstumskurven 1973 für Haferbestände unterschiedlicher Bepflanzungsdichte, in 2 verschiedenen Becken aufwachsend.

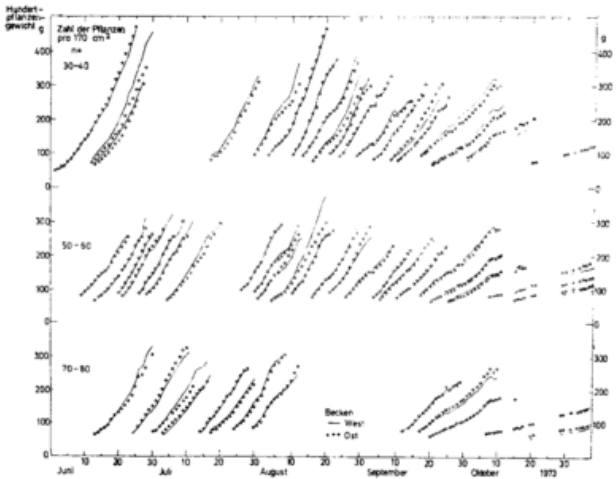


Abb. 19: Zeitwachstumskurven jeweils für Haferbestände gleicher Dichte (oben 30-40, Mitte 50-60, unten 70-80 Pflanzen auf der Fläche von 170 cm²), in 2 Becken (West und Ost) aufwachsend. Ahrensburg-Wulfsdorf 1973.

Mit der Darstellungsart der Abb. 20 und 21 soll der Einfluß der Jahreszeit auf die Wachstumsgeschwindigkeit näher untersucht werden. Die Senkrechten der Abb. 20 haben ihren Fußpunkt zum Tage des Abschlusses des Vorkeimens. Auf ihnen läßt sich die Zahl der Tage bis zum Erreichen der Hundertpflanzengewichte 100 bis 250 g ablesen, und zwar für Pflanzenbestände verschiedener Dichte. In jedem Fall setzt das Längerwerden der Zeitspannen bis zum Erreichen der Schwellenwerte Ende August ein. Hierbei heißt es zu beachten, daß Ende August ausgesetzte Bestände erst bei Erreichen der Gewichte über 100 g zunehmend in die Zeit der schnellen Abnahme der hellen Tageszeit geraten.

Abb. 21 beschränkt sich auf die Pflanzendichte 50-60. Ab Ende August werden die Verbindungsgeraden zunehmend schräger. Für die noch nicht ganz zufriedenstellenden Versuchsanordnungen der Jahre 1971 und 1972 ergaben sich ähnliche Verhältnisse. Da die Anzahl der Tage bis zum Erreichen der Gewichtsstufen nunmehr in der Waagerechten abzulesen ist, kann die Senk-

rechte zur Angabe der vom Vorkeimstadium bis zu den Gewichtsstufen 100-200 g registrierten Stunden-Temperatursummen genutzt werden. Mit fortschreitender Jahreszeit erhöhen sich die für gleiche Gewichtszunahmen festgestellten Temperatursummen.

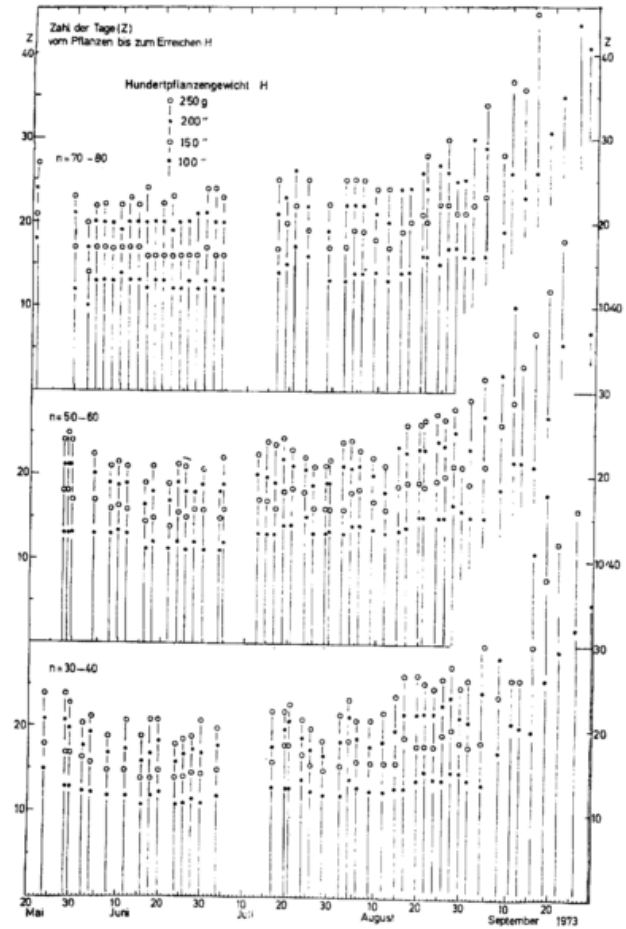


Abb. 20: Zeitspannen in Tagen (Z) vom Ende des Vorkeimens (Datum waagerechte Achse) bis zum Erreichen des Hundertpflanzengewichtes 100, 150, 200 und 250 g für Pflanzenbestände der Dichte 70-80, 50-60 und 30-40 Pflanzen auf 170 cm². Ahrensburg-Wulfsdorf 1973.

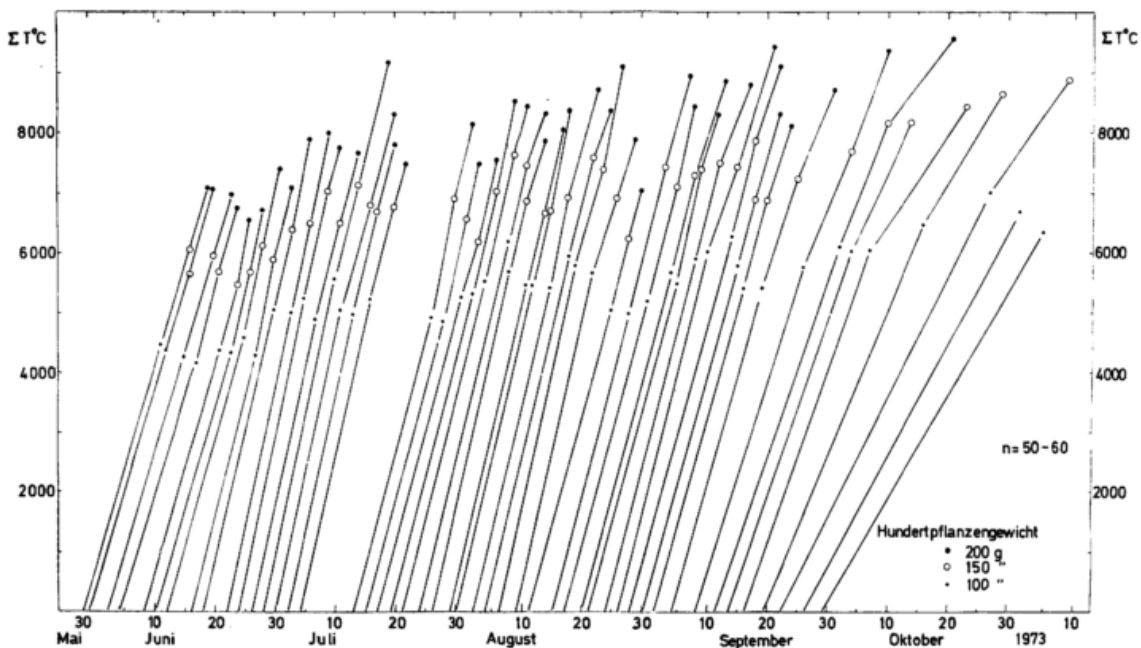


Abb. 21: Temperatursummen und Zahl der Tage vom Zeitpunkt des Vorkeimens (Fußpunkte) bis zum Erreichen der Hundertpflanzengewichte 100, 150, und 200 g, Pflanzendichte 50-60 auf 170 cm², Ahrensburg-Wulfsdorf 1973.

5 Über das Verhältnis zwischen Strahlungs- und Temperaturwerten

Unter Strahlung verstehe ich nunmehr stets die Globalstrahlung, auf deren Werte sich auch die meisten Sachbearbeiter stützen. Mehr als bisher wird man in Zukunft die verschiedenen Wellenbereiche der Strahlung beachten.

Die Meinungen über die Wirkung der Temperatur und der Strahlung auf das Wachstum gehen auseinander. Die eine Seite billigt einer stärkeren Strahlung eine deutliche Auswirkung auf das Wachstum zu (4), die andere (22) hält das auch für sicher, weist aber auf die zwischen der Temperatur und der Strahlung bestehenden Zusammenhänge hin. Mancher Sachbearbeiter verzichtet daher auf ein Beachten der Strahlung bei seinen Untersuchungen zur Abhängigkeit der Ernteerträge vom Witterungsablauf und stützt sich nur auf Temperatur- und Niederschlagswerte.

Mit einer speziellen Versuchsanordnung möchte ich die Einflüsse der von Monat zu Monat und von Jahr zu Jahr wechselnden Niederschlagsverhältnisse auf das Wachstum ebenso ausschalten wie die der unterschiedlichen Reaktion von Pflanzen verschiedenen Alters auf das Angebot der verbleibenden meteorologischen Faktoren. Von diesen darf der Temperatur und der Strahlung die überragende Rolle zugesprochen werden. Es heißt daher, zunächst eine Vorstellung von den zwischen der Strahlung und der Temperatur bestehenden Beziehungen zu gewinnen, ohne damit den gesamten Komplex auch nur annähernd zu untersuchen (8).

Zur Verfügung stehen die täglichen Globalstrahlungssummen und die stündlichen Temperaturwerte des Observatoriums Hamburg-Fuhlsbüttel des Deutschen Wetterdienstes für den Zeitraum von 1965 bis 1973. Zum Vergleich dient der Monat Juni, da sich dann die Tageslänge wegen des Höchststandes der Sonne kaum verändert. Der Einfluß der Strahlung auf die Temperaturgestaltung dürfte am ehesten bei Ausschalten der Folgen des Luftmassenwechsels hervortreten. Außerdem dürfen nur die Temperaturwerte der hellen Tageszeit in die Betrachtung eingehen. Es wird also Tag für Tag die Temperatur zur Zeit des Sonnenaufgangs bestimmt und diese mit der Stundenzahl 18 der hellen Tageszeit multipliziert. Es folgt das Abziehen dieser Summe von der Stunden-Temperatursumme der hellen Zeit. Diese Werte lassen sich zusammen mit den Tagessummen der Globalstrahlung in einem Koordinatensystem (Abb. 22) unterbringen. Es wird nicht untersucht, in welchem

Ausmaß z. B. durchziehende Wetterfronten zur breiten Streuung der entstandenen Punktwolke beitragen. Statistisch gesehen, steigen die hier definierten Temperatursummen deutlich mit zunehmender Strahlung an.

Am Beispiel der Windgeschwindigkeit soll aber doch gezeigt werden, wie sich das Wettergeschehen auf das Strahlungs-/Temperaturverhältnis auswirken kann. In Abb. 22 kennzeichne ich die Fälle mit weit überdurchschnittlicher und weit unterdurchschnittlicher Geschwindigkeit. Im ersten Fall liegen die Temperatursummen weit unter dem Durchschnitt, im zweiten darüber.

Die Mittelwerte eines jeden der 9 Junimonate sind in Abb. 22 besonders gekennzeichnet, und sie zeigen den stets sich über einen längeren Zeitraum einstellenden Ausgleich. Sie streuen wesentlich weniger und liegen fast auf einer Geraden. Entsprechend findet man auch bei Wachstumsuntersuchungen um so engere Zusammenhänge mit meteorologischen Größen, je mehr Fälle zu Mittelwerten vereint werden, je länger also die zu vergleichenden Zeiträume sind. Angewandt auf den Einzelfall, also z. B. auf das Wachstum eines Tages, sagen derartig errechnete Zusammenhänge ebenso wenig aus wie etwa die mittleren Monatswerte der Abb. 22 bei Anwendung auf alle Einzelfälle.

Der in Abb. 22 für schwachen Wind angegebene Regressionskoeffizient R und die Regressionsgerade selbst zeigen einen größeren Steilheitsgrad an als für starken Wind. Eine Zunahme der Strahlung wirkt sich bei wind-schwachem Wetter entsprechend stärker temperaturerhöhend aus. Außerdem dürfte schwachwindiges Sommerwetter selten einen Luftmassenwechsel einleiten.

Für die folgenden Versuche, die Rolle der beiden Faktoren Temperatur und Strahlung für das Wachstum herauszuarbeiten, heißt es jetzt noch, die Bedeutung der Jahreszeit für das Strahlungs-/Temperaturverhältnis zu beachten. Außerdem gilt es zu untersuchen, wie sich das Verhältnis mit zunehmender Zeitspanne ändert. Abb. 23 stellt die Zusammenhänge für 1, 4 und 8 Tage dar, und zwar für die Monate Juni und Oktober. Dabei bringt die Waagerechte die Strahlungssummen der genannten 3 Zeitspannen. Die Senkrechte steht für die 24stündigen Temperatursummen (A), die der hellen Tageszeit (B) und schließlich für die oberhalb des Temperaturschwellenwertes bei Sonnenaufgang errechneten Temperatursummen (C). Zwecks besserer Übersicht wurde die Gruppe (B) für den Monat Oktober nicht eingezeichnet.

Tab. 2 bringt einige statistische Daten zur Abb. 23, und zwar zusätzlich mit solchen für zweitägige Zeitspannen. Nur für den Zusammenhang zwischen den Strahlungssummen und den oberhalb der bei Sonnenaufgang herrschenden Temperaturwerte erreichten Temperatursummen der hellen Tageszeit ergeben sich statistisch gut gesicherte Zusammenhänge mit Korrelationskoeffizienten von über 0.79 im Juni und über 0.69 im Oktober. Die auffallend große Korrelation für achttägige Zeitspannen des Monats Oktober führt sich jedoch auf das gemeinsame schnelle Absinken von Strahlung und Temperatur während dieses Monats zurück. Mit Ausnahme der zweitägigen Abschnitte des Oktobers verstärkt sich die Korrelation zwischen Strahlung und Temperatur von der für alle Tagesstunden errechneten bis zu derjenigen für oberhalb des morgendlichen Schwellenwertes der Temperatur gefundenen Temperatursummen. Die geringen Korrelationen für den Zusammenhang zwischen der Strahlung und den Temperatursummen aller Stunden lassen den Schluß zu, daß es für kurze Zeiträume am ehesten möglich sein könnte, die Wirkung der Temperatur auf das Wachstum von derjenigen der Strahlung zu trennen. Mit zunehmender Zeitspanne wachsen auch die Regressionskoeffizienten

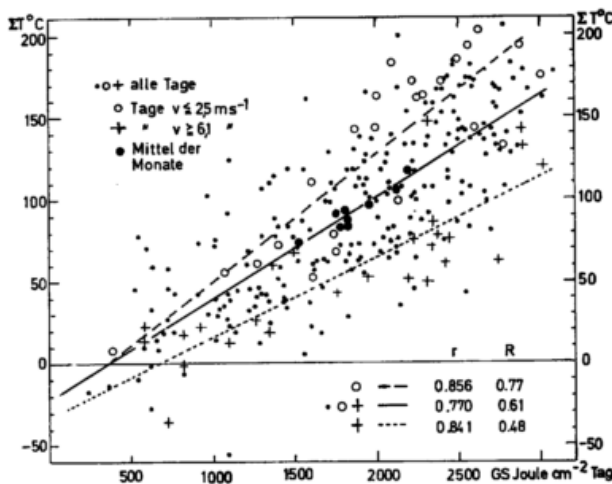


Abb. 22: Einfluß der täglichen Globalstrahlungssummen auf die Temperatursummen der hellen Tageszeit, die sich oberhalb der Ausgangstemperatur bei Sonnenaufgang ergeben, Junimonate 1965-1973, Hamburg-Fuhlsbüttel, helle Zeit = 18 Stunden.

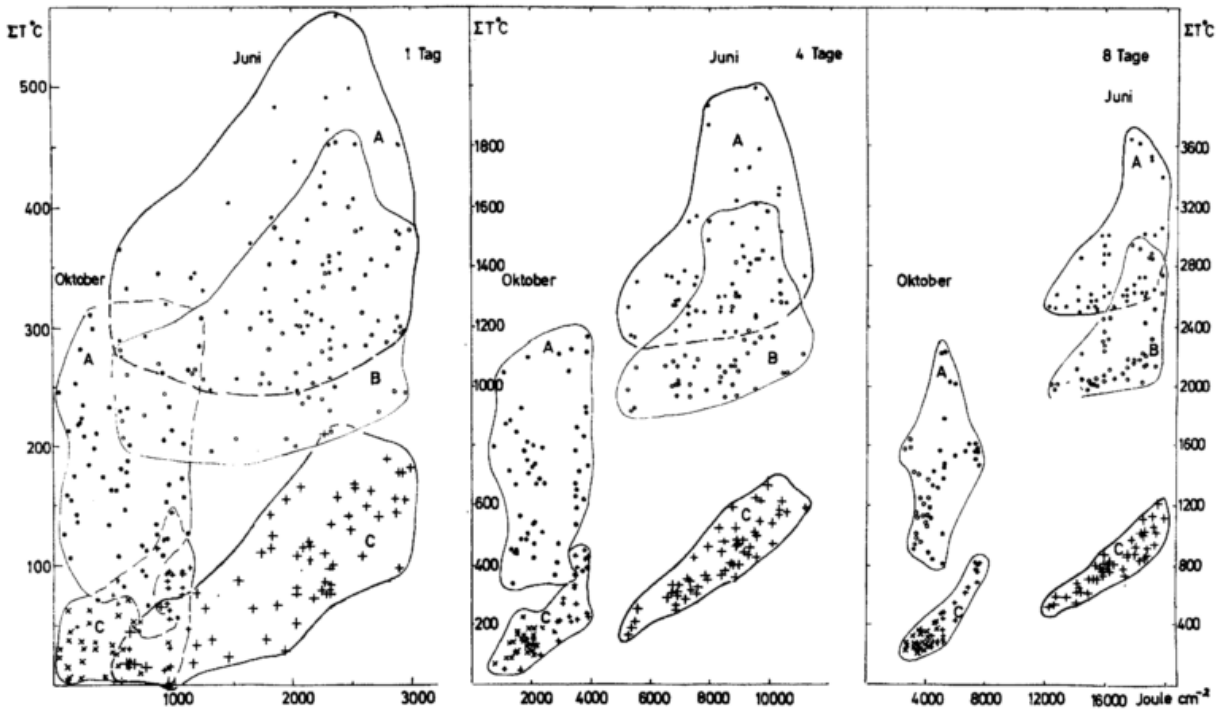


Abb. 23: Zusammenhang zwischen den Strahlungssummen(Waagerechte) und den Temperatursummen (Senkrechte), gebildet für Zeitspannen von 1, 4 und 8 Tagen, Ahrensburg-Wulfsdorf, Juni- und Oktober-Monate 1972 und 1973.

- A: T-Summen aller Stunden,
- B: T-Summen der hellen Tageszeit,
- C: T-Summen der hellen Tageszeit unter Abzug des sich aus Ausgangstemperatur bei Sonnenaufgang und Zahl der Stunden der hellen Tageszeit ergebenden Produktes. Fälle A, B, C durch unterschiedliche Signaturen herausgehoben, im Oktober teilweise unterteilt nach erster (+) und zweiter (x, o) Monatshälfte.

Tab. 2 Korrelationskoeffizienten r und Regressionskoeffizienten R des Zusammenhanges zwischen Globalstrahlungssummen ($\text{Joule}\cdot\text{cm}^{-2}$) und entsprechenden Summen der stündlichen Temperaturwerte ($T^{\circ}\text{C}$) für Zeitspannen von 1, 2, 4 und 8 Tagen der Monate Juni und Oktober 1972 und 1973, Ahrensburg-Wulfsdorf.

- A = für Temperatursummen aller Tagesstunden
- B = für Temperatursummen der hellen Tageszeit
- C = für oberhalb des Temperaturschwellenwertes (S) bei Sonnenaufgang ermittelte Temperatursummen der hellen Tageszeit ($C = B - n\cdot S$), n = Zahl der hellen Tagesstunden

Länge der Zeitspannen in Tagen		r		R	
		Juni	Oktober	Juni	Oktober
1	A	0.307	- 0.073	0.32	- 0.14
	B	0.390	0.168	0.33	0.17
	C	0.797	0.717	0.64	0.69
2	A	0.350	0.367	0.44	0.08
	B	0.427	0.276	0.44	0.32
	C	0.836	0.697	0.71	0.74
4	A	0.385	0.214	0.58	0.52
	B	0.451	0.463	0.55	0.62
	C	0.903	0.830	0.78	0.95
8	A	0.468	0.440	0.66	1.10
	B	0.530	0.678	0.63	1.00
	C	0.815	0.885	0.65	1.15

R an, und zwar im Oktober stärker als im Juni. Hieraus läßt sich ebenfalls die Auswirkung von gleichzeitig absinkender Strahlung und Temperatur als Folge des Jahresganges dieser Größen ableiten.

Vor allem aus den Verhältnissen der 8tägigen Zeitspannen läßt sich die bekannte Verschiebung der Beziehung zwischen der Globalstrahlungsmenge und der

Temperatursumme aller Tagesstunden vom späten Frühjahr bis zum Herbst ablesen. Die Strahlungssumme sinkt auf ein Viertel von etwa 16 000 auf 4 000 Joule ab, die Temperatursumme von 3 200 auf 1 600° C ab, also auf die Hälfte.

Innerhalb eines Monats, vor allem eines Herbstmonats, läßt sich für kurze Zeitspannen kaum ein unmittelbarer Einfluß der Strahlung auf die gesamte über 0° C liegende Temperatursumme der Zeitspanne nachweisen. Außerdem kennt die Literatur zahlreiche Darstellungen, in denen das Wachstum in Abhängigkeit von der Temperatur wiedergegeben wird. Aus diesem Grunde wird in späteren Darstellungen die Temperatur in der Abszissenrichtung, die Strahlung in der Ordinateenrichtung eingetragen.

6 Das Wachstum während kurzer Zeitspannen in Abhängigkeit von Strahlung und Temperatur

6.1 Der Pflanzenbestand als ein auf Temperatur und Strahlung ansprechendes „Instrument“, Auswertungsmethode

Die bisher geschilderten Versuchsergebnisse lassen zwar bereits eine Abhängigkeit des Wachstums von meteorologischen Bedingungen erkennen. Dies war jedoch schon den ältesten Ackerbauern bekannt, stellt nicht das Ziel der Untersuchung dar, sondern soll nur das Verfahren absichern und Verfahrensverbesserungen ermöglichen. Wir treten nunmehr in den Hauptteil und damit gleichzeitig in die Schlußphase der Untersuchung ein. Es geht um die Frage, ob sich mittels eines Hydrokulturverfahrens die Wirkung von Temperatur und Strahlung auf das Wachstum voneinander trennen bzw. aufspalten läßt.

Für die weitere Betrachtung gilt es, zunächst auf der Seite des Wachstums einen Tageszuwachs bzw. den Zuwachs einer kurzen Zeitspanne festzulegen, der

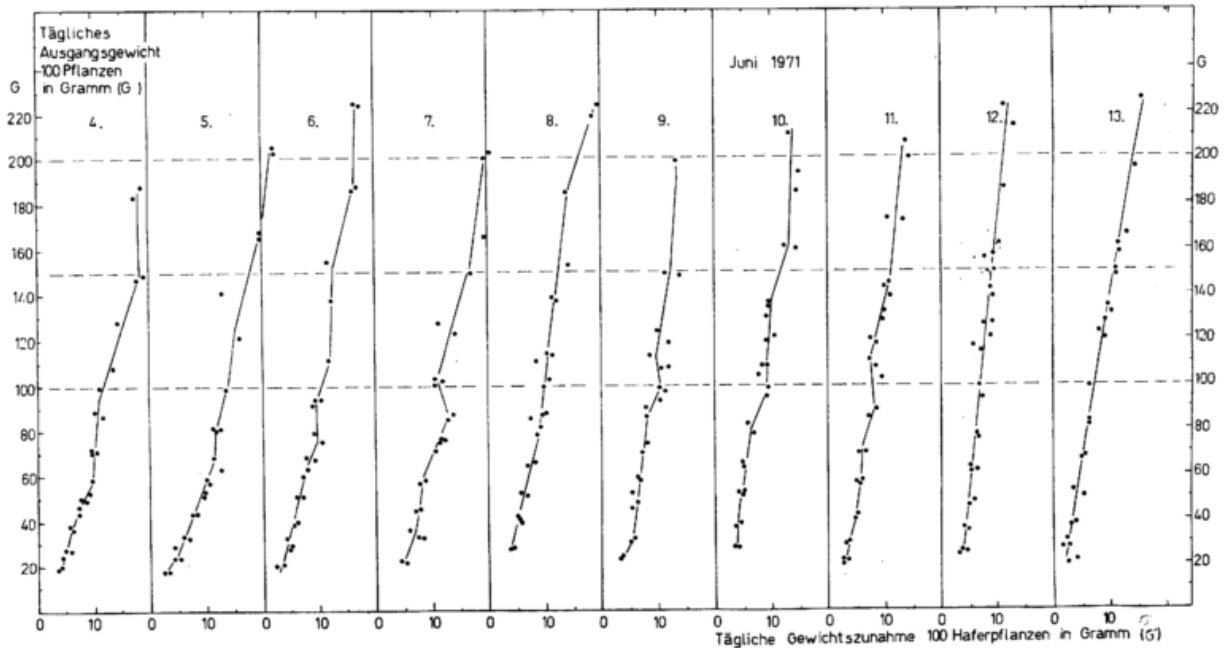


Abb. 24: Ausgangsgewichte von jeweils 100 Haferpflanzen in Gramm (senkrechte Achse) und zugehörige Gewichtszunahmen in Gramm während der 24 Stunden zum Morgen des jeweiligen Folgetages (waagerechte Achse), Hydrokultur Ahrensburg-Wulfsdorf 1971.

sich zum Vergleich mit meteorologischen Meßwerten eignet. Natürlich ist es für die Praxis wichtiger, die Zuwachswerte heranwachsender Bestände in Beziehung zu meteorologischen Faktoren zu bringen. Es gilt dann aber zu beachten, daß ein Bestand im Jugendalter anders reagiert als im späteren Stadium. Eine vorzunehmende Transformation muß sich in ihrem Ausmaß nach Regressionskurven richten, wird also bei Anwendung auf den Einzelfall in einen Streubereich fallen. Die große Bedeutung dieses Verfahrens für die Praxis bleibt unbestritten. Eine Untersuchung, bei der die Testpflanzen stets etwa das gleiche Gewicht aufweisen – allerdings nicht unbedingt das gleiche Alter – könnte trotzdem für spezielle Probleme der Agrarmeteorologie Bedeutung erlangen.

Abb. 24 zeigt an einem Abschnitt des Jahres 1971, wie ich voring. Allerdings mußte ich zu diesem frühen Zeitpunkt noch auf eine echte Wiederholung verzichten. Es blieb bei Wiederholungen zweiter Ordnung, bei der zwar jeweils mehrere gleichaltrige Bestände heranwachsen, jedoch über nur einem Bottich. So erklärt sich die Vielzahl der eingetragenen Punkte. Aus Platzmangel mußten die meisten Bestände bereits vor Erreichen des Hundertpflanzengewichtes 300 g aus dem Versuch entlassen werden. Jeder Punkt steht für 2 Werte, für das Ausgangsgewicht des Tages (Senkrechte) und für die Gewichtszunahme bis zum nächsten Tag (Waagerechte, überhöhter Maßstab). Durch die Punkte läßt sich eine Linie legen und anschließend durch jedes beliebige Ausgangsgewicht eine Waagerechte, die sich mit der Wachstumslinie schneidet. Am Schnittpunkt lesen wir den zum Ausgangsgewicht gehörenden Tageszunahmewert ab. Nach Beachten eines noch zu beschreibenden Zu- oder Abschlags, bedingt durch unterschiedliche Luftfeuchte oder durch Regen während der Meßtermine, stehen damit Zuwachswerte von 1, 2 oder mehr Tagen zur Verfügung, die sich zu meteorologischen Werten in Beziehung bringen lassen.

Im Jahre 1973 (Abb. 25) galt es zu untersuchen, wie sich die unterschiedliche Bepflanzungsdichte auf den Zuwachs auswirkt, bzw. welche Dichte sich für spätere Untersuchungen empfiehlt. Bei letzterem Problem spielt auch die Frage des Zeitaufwandes eine Rolle. Schon das Auslegen der Samenkörner zum Vorkeimen erfordert

an jedem zweiten Tag seine Zeit. Das Einfädeln der Sämlinge in eine Platte dauert bei 40 Pflanzen etwa 10 Minuten, bei 80 die doppelte Zeit. Wegen der Prüfung dreier verschiedener Bestandesdichten bleiben für jede der Dichten wesentlich weniger Fälle als bei nur einer. Darunter leidet natürlich die Genauigkeit des Verfahrens. Für die jetzt gewählten zweitägigen Abschnitte lassen sich die Zuwachswerte für Ausgangs-

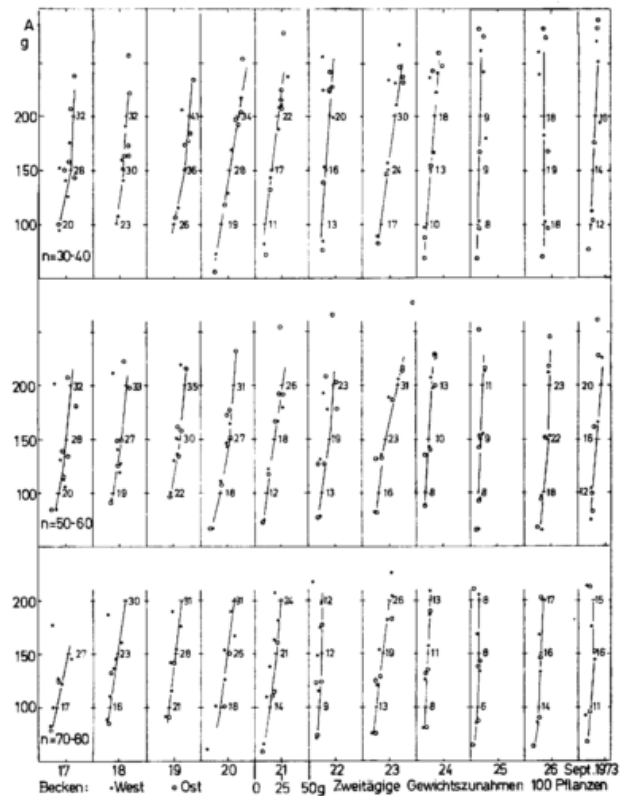


Abb. 25: Zweitägige Zunahmen des Hundertpflanzengewichtes von Haferbeständen unterschiedlicher Dichte (oben 30-40, Mitte 50-60, unten 70-80 Pflanzen auf 170 cm²) und unterschiedlichen Ausgangsgewichtes (Senkrechte) in 2 verschiedenen Becken (● West, ○ Ost), Maßstab für die zweitägigen Gewichtszunahmen unten, Mitte (0-25-50 g); Ahrensburg-Wulfsdorf 1973.

gewichte von 100, 150 g usw. ablesen. Für eine künftige Untersuchung würde sich eine Pflanzendichte von 60 empfehlen.

Bestände gleichen Alters und gleicher Bepflanzungsdichte werden nie genau die gleichen Gewichte und Gewichtszunahmen aufweisen. Diese Zufallsfehler bleiben aber weit zurück hinter denen, die sich aus dem Tagesgang des Frischgewichtes, unterschiedlichem Taubeschlag, Regenfall und Wind ergeben. Wie bereits bemerkt (2.3), mußten die Bestände für die Dauer der Nacht mit Plexiglasscheiben in einer Höhe von 70 cm über den Beckenrändern abgedeckt werden, um allzu großen Fehlern der Frischgewichtsbestimmung zu entgegen. Das Ausmaß der verbleibenden Fehler läßt sich durch Vergleich der langen Meßreihen mit den meteorologischen Größen vor und zur Zeit der Meßtermine ermitteln, naturgemäß nur in gewissen Grenzen. Das Verfahren führt schließlich mit Zu- und Abschlägen zu einem besseren Anpassen der Zuwachswerte in ein Koordinatensystem der Temperatur und der Strahlung. Die Gewichtskorrekturen werden natürlich in jedem Fall angebracht, auch wenn sie manchmal keine Verbesserung erzielen. Für einige Gewichtsstufen bringt Tab. 3 das Grundgerüst der angebrachten Zu- oder Abschläge in Abhängigkeit von den meteorologischen Größen.

Tab. 3 Witterungsbedingte Zu- bzw. Abschläge in Gramm bei den Hundertpflanzen-Ausgangsgewichten 100, 150, 200 und 300 g

Ausgangsgewicht	1 kurzer Schauer nachts	mehrere Schauer nachts	Dauerregen	rel. Feuchte (%)					Wind ohne Regen > 2,4 m/s	
				≥ 95	91-94	86-90	80-85	72-79		< 72
300	-2.5	-5.0	-6.0	•	5.0	6.0	9.0	12.0	14.0	2.5
200	-1.5	-3.0	-4.0	•	3.0	4.0	6.0	8.0	9.5	1.5
150	-1.0	-2.0	-3.0	•	2.0	3.0	4.5	6.0	7.0	1.0
100	-0.5	-1.0	-2.0	•	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	0.5

Die statistische Prüfung der täglichen Gewichtszunahmen wurde mehrfach an 4 bis 6 Pflanzensätzen nach dem von KOLLER (10) angegebenen Verfahren vorgenommen. Die Ausgangsgewichte lagen zwischen 87 und 135 g, also in dem Gewichtsbereich, aus dessen Daten die Zunahmen des Ausgangsgewichtes 100 g ermittelt werden (Abb. 24). Der Zufallsfehler der Differenz der täglichen Gewichtszunahmen zweier verschiedener Tage kann je nach Streuung der Einzelwerte etwa 3 bis 5 g betragen. Differenzen von weniger als 3 g zwischen den Gewichtszunahmen zweier Tage sagen also meist nichts aus. Die folgenden Untersuchungen stützen sich daher vor allem auf die Zunahmen viertägiger Zeitspannen, die sich jeweils aus 2 zweitägigen Zunahmen des Ausgangsniveaus 100 g zusammensetzen. Es werden dann Zunahmen von meist weit mehr als 10 g, im Sommer von mehr als 30 g erreicht. Unterschiede von mehr als 5 g zwischen 2 Viertagesabschnitten sind als überzufällig anzusehen. Die Isolinien der Gewichtszunahmen in Abhängigkeit von Strahlung und Temperatur können allerdings bei der Streuung der Einzelwerte nicht die gleiche Stetigkeit wie etwa die Isobaren der Wetterkarte aufweisen.

Der relative Fehler, also das Verhältnis zwischen Fehler und Gewichtszunahme, vermindert sich zwar meist mit zunehmender Zeitspanne. Er fällt bei Betrachtungen über Zeiträume von 2 oder mehr Tagen weniger ins Gewicht. Dafür mehren sich die Schwierigkeiten in der richtigen Wertung der meteorologischen Faktoren.

6.2 Zur Untersuchung herangezogene meteorologische Daten

Auf der Seite des Wachstums während kurzer Zeitspannen liegt nunmehr das Datenmaterial bereit oder läßt sich leicht zusammenstellen. Die Globalstrahlung

wurde in unmittelbarer Nähe der Versuchsanlage registriert, die Temperatur in der Klimahütte (Meßhöhe 2 m) des Versuchsfeldes. Ständige Temperaturregistrierungen innerhalb eines oder mehrerer der kleinen Haferbestände und in der Nährlösung hätten den Rahmen der Unternehmung gesprengt. Sie beschränken sich daher auf kürzere Perioden. Dem von der Meteorologie her kommenden Versuchsansteller muß ohnehin daran gelegen sein, sich auf die standardisierten Werte des meteorologischen Dienstes zu stützen. Dann lassen sich seine Ergebnisse am ehesten mit denen anderer Autoren vergleichen. Außerdem geht es in dieser Untersuchung darum, die Wirkung der Temperatur auf das Wachstum von derjenigen der Strahlung zu trennen, bzw. jedem Faktor sein eigenes Gewicht zu verleihen. Dies dürfte am besten gelingen, wenn ein Temperaturwert gewählt wird, der möglichst erst auf Umwegen von der Strahlung her bestimmt wird. Temperaturen des Bestandes und der Pflanzenoberflächen folgen dem wechselnden Strahlungsangebot viel schneller als die Temperatur in der Klimahütte. Dies erschwert das Bewerten der Beteiligung jedes einzelnen der Faktoren beim Wachstumsvorgang. Doch wie man es bei einfachen Versuchsanordnungen auch anstellt, es bleibt die Frage unbeantwortet, ob ein stärkeres Wachstum einer stärkeren Strahlung selbst oder zumindest

teilweise der durch sie erzeugten höheren Temperatur zuzuschreiben ist. Dem Versuchsansteller genügt es, wenn seine mit bescheidenen Mitteln erzielten Ergebnisse das Zusammenspiel von Strahlung und Temperatur beim Pflanzenwachstum erkennen lassen.

6.3 Die Zuordnung der Wachstumswerte zu Temperatur- und Strahlungswerten

Die Wachstumszunahmen sind nach dem unter 6.1 beschriebenen Verfahren ermittelt worden, und zwar unter Beachtung der zur Zeit der Messung herrschenden Witterungsbedingungen. Die so bestimmten Zu- und Abschläge setzen lange Meßreihen voraus; denn erst durch diese läßt sich erkennen, ob das am frühen Morgen eines Tages gefundene Pflanzengewicht zu hoch oder zu niedrig erscheint. Es sei nochmals erwähnt, daß diese witterungsbedingten Gewichtszu- und -abschläge ausnahmslos angebracht werden, auch wenn sie manchmal eher zu einer Unschärfe der Beziehungen führen. Entsprechendes gilt für die Wertung der Strahlung. Die beste Zuordnung der Strahlung zu Wachstumswerten kurzer Zeitspannen wird erreicht, wenn die Strahlungsmenge des der Wachstumsspanne vorausgehenden Tages mit beachtet wird. Für eine viertägige Wachstumsspanne wird also die Strahlungsmenge von 5 Tagen herangezogen. Die Temperatur geht dagegen als Stunden-Temperatursumme von 4 Tagen in die Betrachtung ein.

Die viertägigen Gewichtszunahmen des Ausgangsgewichtes von z. B. 100 oder 150 g setzen sich aus 2 zweitägigen Zunahmen dieser Ausgangsgewichte zusammen. Die Zunahmen des dritten und vierten Tages beziehen sich also auf jüngere Pflanzensätze, die während der ersten beiden Tage in den Bereich der Ausgangsgewichte 100 bzw. 150 g aufgerückt sind.

Eine Auswahl aus einer größeren Zahl von Darstellungen läßt die Gesetzmäßigkeiten erkennen, die sich bei der speziellen Versuchsanordnung für die Abhängigkeit des Wachstums von Strahlung und Temperatur ergeben. Bei ihrer Betrachtung gilt es, stets auf das Ausgangsgewicht zu achten und auf die Zahl der Pflanzen, aus der sich die Gewichtszunahme für jeweils 100 Pflanzen errechnet.

In den Abb. 26 und 27 wurde die Beobachtungszeit in mehrere Abschnitte unterteilt. Dies erscheint notwendig, weil sich die Länge der hellen Tageszeit vom Juni bis zum November verkürzt und die Beziehung Strahlung-Temperatur sich ändert. Sollen alle Fälle der gesamten Vegetationszeit in einer Darstellung erscheinen, so erfordert das weitere Überlegungen.

Die Punkte der Darstellungen errechnen sich aus übergreifenden Summenwerten bei jeder der beteiligten Größen. Ein Punkt steht z. B. für die 4 Tage vom 1. bis 4. Juli, der zeitlich folgende für die Spanne vom 2. bis 5. Juli, der nächste für diejenige vom 3. bis 6. Juli usw. Bei der Strahlung zählt jeweils der Vortag mit.

Während der Untersuchungszeit gewonnene Erfahrungen führten zu Abänderungen der Versuchsanordnung hinsichtlich der Konzentration und Belüftung der Nährlösung sowie der Bepflanzungsdichte. Es können daher nur die Ergebnisse zweier Jahre zusammengefaßt

werden und dies mit einer großen Zahl von Einzelfällen auch nur für die Bepflanzungsdichte 50 bis 60.

Abb. 26 ordnet viertägige Gewichtszunahmen der Vegetationszeit 1973 den Strahlungs- und Temperaturwerten zu. Die Zahl der Pflanzen beträgt 70 bis 80, ihr Ausgangsgewicht auf das von 100 Pflanzen umgerechnet 100 g am ersten und dritten Tag. Wegen des langsamen Wachstums im Herbst und des gelegentlichen Reifbeschlags der Pflanzen empfahl sich eine Schonung der Pflanzensätze. Dies erklärt die geringe Punktzahl.

Beim Betrachten der folgenden Abbildungen gilt es stets zu beachten, daß die Temperaturwerte in der Klimahütte gewonnen worden sind. Starke Einstrahlung hebt aber die Blattertemperaturen um mehrere Grade über die der Luft (15). Bei Pflanzen mit reichlicher Wasserversorgung dürfte sich die Übertemperatur wegen der durch Transpiration entstehenden Verdunstungskälte zwar in Grenzen halten. Bei hoher Einstrahlung wird sie aber doch zu gegenüber den Summenwerten der Abbildungen deutlich höheren Temperatursummenwerten führen.

Für alle Zeitspannen der Abb. 26 ergibt sich eine klare Abhängigkeit des viertägigen Zuwachses von der Strahlung. Die Abhängigkeit von der Temperatur (Klimahütte) kommt am besten in den Herbstmonaten heraus und beim Vergleich der Verhältnisse dieser Monate mit denen der Sommermonate. Die Spanne vom 11. Juli bis 9. August 1973 wird gesondert dargestellt. Für diese Pflanzensätze hatten die Keimtemperaturen zu hoch gelegen.

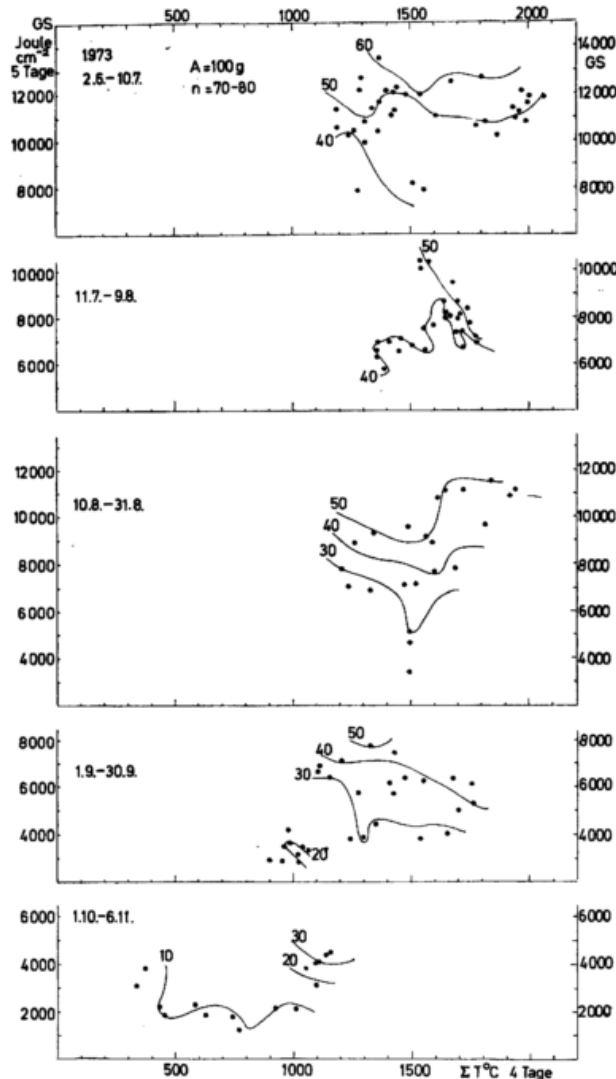


Abb. 26: Viertägige Gewichtszunahmen von 100 Haferpflanzen des Gewichtes von 100 g am 1. und 3. Tag in Beziehung zu den Temperatursummen von 4 und den Strahlungssummen von 5 Tagen, Zahl der Pflanzen $n = 70-80$ auf 170 cm^2 , Ahrensburg-Wulfsdorf, Sommer 1973.

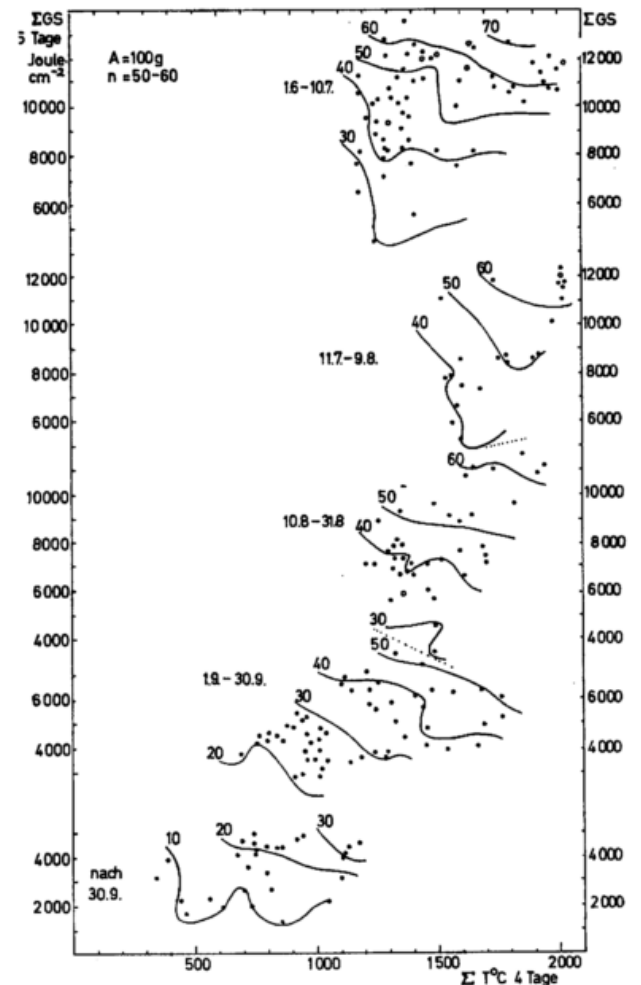


Abb. 27: Isolinien gleichen Zuwachses (Gramm pro 100 Pflanzen) in 4 Tagen. Ausgangsgewicht $A = 100 \text{ g}$ am 1. und 3. Tag, Zahl der Pflanzen $n = 50-80$ auf 170 cm^2 , Zeitspannen der Jahre 1972 und 1973, \circ = Fälle um etwa 10 g abweichend; Ahrensburg-Wulfsdorf.

Abb. 27 stellt die Beziehungen der beiden Vegetationszeiten 1972 und 1973 dar, und zwar für die geringere Pflanzendichte 50 bis 60. Wie nicht anders zu erwarten, liegen die auf 100 Pflanzen umgerechneten Gewichtszunahmen etwas über denen der Pflanzendichte 70 bis 80. Außer den Punkten finden sich einige wenige eingezeichnete Kreise. Diese ordnen sich schlechter in das Allgemeinbild ein. Mit ihren Gewichtszunahmen weichen sie um etwa 10 g von der eingezeichneten Lage ab.

Die Abhängigkeit der Gewichtszunahmen von der Strahlungsenergie kommt auch hier klar heraus. Vermutlich zum Teil wegen der größeren Zahl der Fälle und wegen des früheren Beginns der Messungen im Jahre 1972 zeichnet sich die Mitwirkung der Temperatur besser ab als in Abb. 26. Dabei gilt es, auf den Zusammenhang zwischen Strahlung und Temperatur zu achten. Er läßt sich in der Punktwolke des Frühjahres gut erkennen und tritt nach dem 30. Sept. ganz zurück.

Hier bietet sich ein Vergleich mit den Ergebnissen der Wageninger Schule an. RIJTEMA (16) bringt eine Tabelle nach DE WIT (6) mit Angaben der Strahlungsmengen an sehr klaren Tagen, sowie der photosynthetischen Rate an ebenfalls sehr klaren und an bedeckten Tagen. Die Raten beziehen sich auf die potentielle Produktion, bei der die übrigen für das Wachstum wichtigen Faktoren optimal angeboten werden. Die Strahlungsmenge beschränkt sich auf den Wellenbereich des Lichtes.

Unter 50° Nordbreite verhält sich nach dieser Tabelle die Strahlungsmenge pro cm² und Tag des 15. Juni (418 cal) zu der des 15. Oktober (163 cal) wie 2.6:1. Für die Jahre 1972 und 1973 und für die gesamte Globalstrahlung liegt das Verhältnis für jeweils 5 Tage im Raum Hamburg etwa wie 12 000 Joule zu 5 000, also wie 2.4:1. Für die Kohlehydratproduktion bei Strahlungswetter pro Hektar und Tag gibt DE WIT (6) den Wert 522 kg, bei bedecktem Wetter 273 kg, Verhältnis 1.9:1. Für die Frischgewichtszunahmen ergibt sich beim Hydrokulturversuch das Verhältnis von etwa 60:30=2:1.

Im Oktober gibt DE WIT das Verhältnis 260:121 = 2.1:1. Die Hydrokultur bringt das Verhältnis von etwa 25:10 bis 8, also etwa 2.5 bis 3.1 zu 1. Die optimale Produktion bei Strahlungswetter des 15. Juni zu der entsprechenden des 15. Oktober steht bei DE WIT im Verhältnis 522:260 = 2.0:1. Für das Hydrokulturverfahren ergibt sich etwa 65:30 bis 25 = 2.2 bis 2.6. Es handelt sich zwar hier um einen Vergleich der Kohlehydraterzeugung mit der Gewichtszunahme der frischen Pflanzenmasse. Nach 3.3 sind aber die Beziehungen zwischen Frisch- und Trockensubstanz und damit auch der Kohlehydratmasse so eng, daß sie den Vergleich erlauben. Die im Hydrokulturverfahren gewonnenen Ergebnisse stehen also im Einklang mit den auf andern Wegen für im Boden wurzelnde Pflanzen gefundenen Zusammenhängen.

Wie bereits bemerkt, zeigte die Periode vom 11. Juli bis 9. August 1973 vermutlich wegen zu hoher Keimtemperaturen ein etwas abweichendes Verhalten. In Abb. 28 bleibt sie unberücksichtigt. Diese Abbildung faßt die übrigen Perioden der Vegetationszeit 1973 zusammen. Jeder einzelne Punkt wird mit dem Wert der viertägigen Gewichtszunahme (g) gekennzeichnet. Demnach lassen sich die Isolinien der Gewichtszunahmen nicht etwa mit den Isobaren der Wetterkarte vergleichen. Sie grenzen lediglich den Bereich der Zunahme von 10 bis 19 g vom Bereich 20 bis 29 g usw. ab. Innerhalb der Bereiche fehlt oft der stetige Übergang. Damit werden die Grenzen des Verfahrens sichtbar. Wie kaum anders zu erwarten, bleibt die Mitwirkung der Strahlung beim Zustandkommen der Gewichtszunahmen unbestritten, die der Temperatur kommt wegen der Zusammenfassung der Jahreszeiten klarer heraus.

Nach oben angeführter Tabelle produziert am 15. Juni die Lichtmenge von 418 cal · cm⁻² 522 kg Kohlehydrate pro Hektar, Verhältnis also 0.80. Für den 15. August ergibt sich 344:448 = 0.77, für den 15. Oktober 163:260 = 0.63. Zum Herbst hin sinkt demnach die Lichtmenge schneller ab als die Produktion, stets für sonst optimale Bedingungen. Die Ergebnisse von PUCKRIDGE (14) und die Angaben von SAUBERER, HÄRTEL (17)

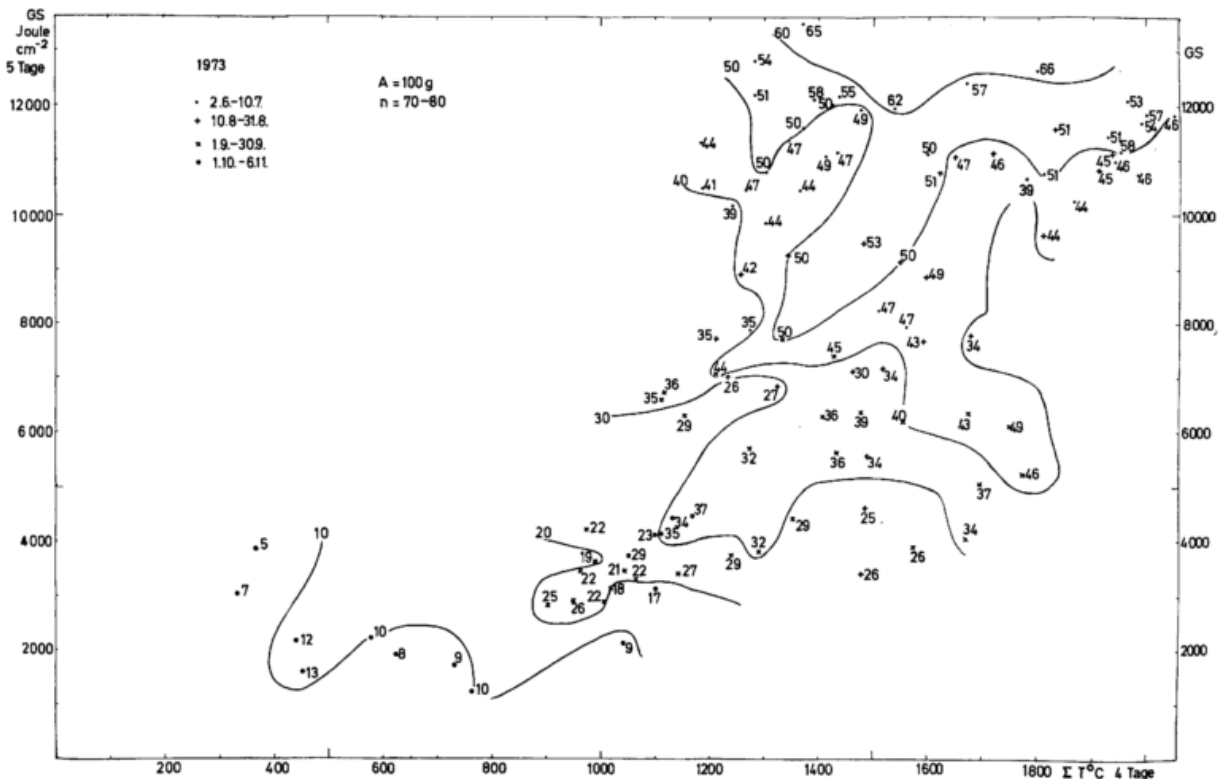


Abb. 28: Isolinien gleichen Zuwachses (Gramm pro 100 Pflanzen) in 4 Tagen, Ausgangsgewicht A = 100 g am 1. und 3. Tag, Zahl der Pflanzen n = 70-80 auf 170 cm², Ahrensburg-Wulfsdorf, unter Fortlassen der Periode vom 11. 7. bis 9. 8. 1973.

deuten in die gleiche Richtung. Bei hohen Strahlungswerten verlangsamt sich die Produktionsrate. Allen Überlegungen hinsichtlich des Absinkens der Produktion vom Frühjahr zum Herbst überlagert sich ein anderer Effekt, der des trägeren Verhaltens des Temperaturverlaufs im Vergleich zum Verlauf der Strahlungsintensität. Nach BIERHUIZEN (3) erreicht die Strahlung Mitte Juni ihren Höchstwert, die Temperatur erst Ende Juli. Bei der gleichen Strahlungsmenge liegt der Wert der Lufttemperatur im Herbst über dem des Frühjahres.

Werden Strahlung und Temperatur als voneinander unabhängige Variable betrachtet, so wird der Versuch erlaubt sein, die hohen Strahlungswerte zu reduzieren, und zwar nach der einfachen Formel $GS_{red} = 100 + (GS - 100) \cdot 0.5 \cdot \text{Strahlungssummen über } 100 \text{ Joule} \cdot \text{cm}^{-2} \text{ in der Stunde gehen dann nicht mehr mit ihrem vollen Betrag in die Abbildungen ein. Summen unter } 100 \text{ Joule bleiben unverändert. So verwandelt sich Abb. 28 zu Abb. 29. Die Ordinaten stehen für die reduzierten Strahlungsmengen. Dies wird erforderlich, weil übereinstimmende Originalsummen je nach Anteil der über und unter } 100 \text{ Joule liegenden stündlichen Strahlungsmengen zu reduzierten Werten unterschiedlicher Höhe führen können. Als Anhalt möge gelten, daß sich die wirkliche Strahlungssumme von } 10\,500 \text{ Joule etwa auf } 8\,000 \text{ reduziert, die von } 7\,000 \text{ auf } 6\,000 \text{ und die von } 4\,500 \text{ auf } 4\,000 \text{ Joule. Die Globalstrahlungswerte der langen Sommertage werden natürlich stärker betroffen als die der Herbsttage. Eine wesentliche Glättung der Isolinien gleicher Gewichtszunahmen wird durch diese Maßnahme nicht erreicht. Wohl aber würde sich aus oben erwähnten Gründen eine für den Zusammenhang Temperatur-Strahlung errechnete Regressionslinie mehr einer Geraden nähern als beim Verwenden der unveränderten Strahlungswerte. Entsprechendes gilt für die Umwandlung der Abb. 27 zu Abb. 30.}$

Ein Verlangsamen der Produktion mit zunehmender Strahlung deutet sich beim Hydrokulturverfahren zwar an, bleibt aber weit unter dem Verlangsamen bei im Boden wurzelnden Pflanzen. In jedem Fall erhöht starke Einstrahlung die Verdunstungskraft der Luft und die Transpiration der am frühen Morgen noch wassergesättigten Blätter (11). Die Wurzeln der Bodenkulturen vermögen nur einen Teil der transpirationsbedingten Wasserverluste zu ersetzen. Der Wassergehalt der Blätter nimmt ab, oft auf weniger als 70 % der optimalen Menge (7). Die Spaltöffnungen schließen sich, und

die Produktion organischer Substanz geht zurück. Dies dürfte die Hauptursache für das Verlangsamen der Wachstumszunahme bei starker Einstrahlung sein (23).

Anders beim Hydrokulturverfahren der hier beschriebenen Art. An Strahlungstagen verlieren die Pflanzen nur etwa 5 % ihres Wassergehaltes. Die Transpiration dürfte sich also bei starker Strahlung eher verstärken und damit größere Massezunahmen ermöglichen. Dabei gilt es zu beachten, daß den Wurzeln – anders als in einem durchnässten Boden – auch Luft zur Verfügung steht. Die bei hoher Einstrahlung starke Transpiration dürfte ferner den Unterschied zwischen Blatt- und Lufttemperatur in Grenzen halten und so den Leistungsabfall der Pflanzen bei oberhalb des Optimums liegenden Temperaturen abschwächen. Während sich also bei der Bodenkultur das Bild des Zusammenwirkens von Strahlung und Temperatur auf die Wachstumsgrößen verwischt, bleibt es bei der Hydrokultur klar. Dabei heißt es beim hier eingeschlagenen Verfahren noch zu beachten, daß die Gewichtszunahmen stets für Pflanzensätze gleichen Ausgangsgewichtes bestimmt werden.

Die gefundenen Gewichtszunahmen bilden sich aus den Gewichtszunahmen durch die Photosynthese und den Verlusten durch die Veratmung. Nach RIJTEMA (16) dürfte die Veratmungsrate parallel zur Produktionsrate verlaufen. Jedenfalls führt diese Annahme zu einleuchtenden Ergebnissen. Versuche, mit dem hier eingeschlagenen Verfahren einen Unterschied zwischen der Wirkung von Tages- und Nachttemperaturen auf die Wachstumsraten herauszufinden, verliefen erfolglos.

Die Häufigkeitsanalyse ergibt, daß die Häufigkeitsverteilungen der Strahlungs- und Temperaturwerte zum Teil der Normalverteilung gut entsprechen und damit eine weitere mathematische Behandlung erlauben. In andern Fällen handelt es sich um Mischkollektive. Trotzdem wird das ganze Material nach gleichem Verfahren bearbeitet. Dem Versuchsansteller muß es genügen, wenn das aus den Abb. 26 bis 30 abzuleitende Zusammenwirken von Strahlung und Temperatur auch in den Zielgleichungen der Wachstumsraten gut herauskommt. Zweifellos gesellen sich zu den hier gewählten Werten der Strahlung und Temperatur weitere Faktoren hinzu (Sättigungsdefizit, Windgeschwindigkeit, Unterschied der Wirkung von Tag- und Nachttemperatur, Wellenlängenverteilung der Strahlung, gleichmäßiger oder ungleichmäßiger Anfall von Strahlung und Temperatur), die zu einer Erweiterung der Zielgleichung führen müssen.

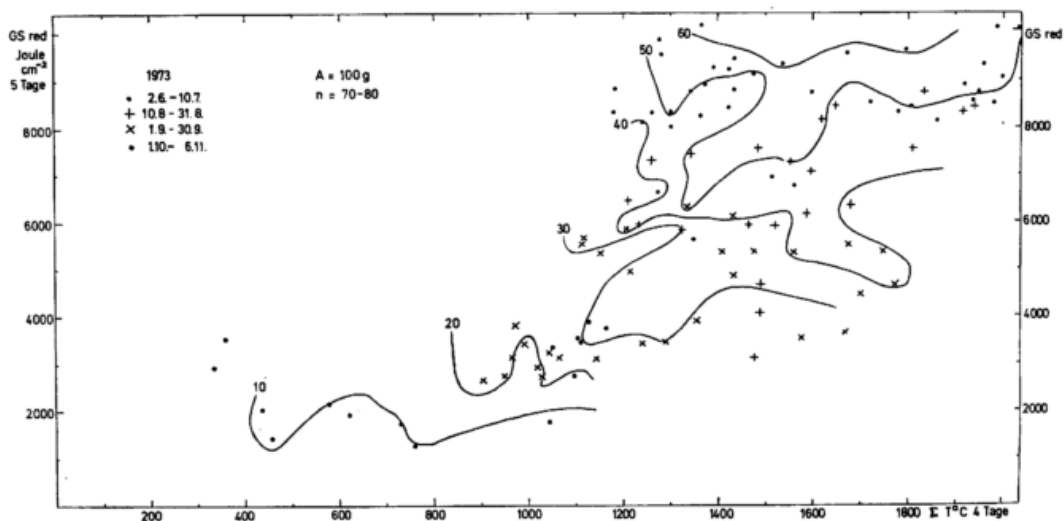


Abb. 29: Isolinien gleichen Zuwachses (Gramm pro 100 Pflanzen) in 4 Tagen, Ausgangsgewicht $A = 100 \text{ g}$ am 1. und 3. Tag, Zahl der Pflanzen $n = 70-80$ auf 170 cm^2 , Globalstrahlungswerte über $100 \text{ Joule} \cdot \text{cm}^{-2}$ pro Stunde reduziert nach Formel $GS_{red} = 100 + (GS - 100) \cdot 0.5$, sonst wie Abb. 28, Ahrensburg-Wulfsdorf 1973.

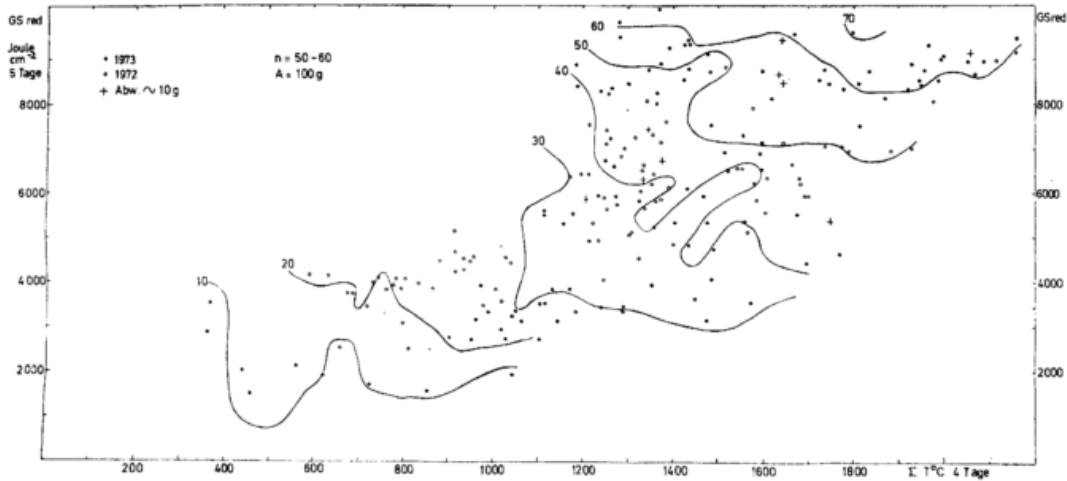


Abb. 30: Isolinien gleichen Zuwachses (Gramm pro 100 Pflanzen) in 4 Tagen, Ausgangsgewicht $A = 100$ g am 1. und 3. Tag, Zahl der Pflanzen $n = 50-60$ auf 170 cm², Globalstrahlungswerte über 100 Joule · cm⁻² pro Stunde reduziert nach Formel $GS_{red} = 100 + (GS - 100) \cdot 0.5$; Ahrensburg-Wulfsdorf 1972 und 1973.

Tab. 4 Partielle Korrelationskoeffizienten $r_{gw,t}$ und $r_{tw,g}$ und aus experimentell gewonnenen 4-tägigen Gewichtszunahmen errechnete Gleichungen für 4-tägige Gewichtszunahmen (W) von 100 Haferpflanzen des Ausgangsgewichtes 100 g am 1. und 3. Tag

n = Zahl der Pflanzen auf der Fläche 170 cm², $T = \sum T^\circ C$ 4 Tage
 N = Zahl der Fälle, $GS = \sum GS$ Joule · cm⁻² 5 Tage, * GS_{red} (s. Abb. 30)

n	$r_{gw,t}$	$r_{tw,g}$	N	W
70-80 (1973)	0.79370	0.47509	102	$(0.1103 \cdot T + 0.2898 \cdot \frac{GS}{10} + 7.2) : 10$
70-80 (1973) *	0.80454	0.45337	102	$(0.1033 \cdot T + 0.4101 \cdot \frac{GS_{red}}{10} - 16.3) : 10$
50-60 (1972/73)	0.72894	0.71546	213	$(0.1916 \cdot T + 0.2485 \cdot \frac{GS}{10} - 42.8) : 10$
50-60 (1972/73) *	0.72934	0.71173	213	$(0.1903 \cdot T + 0.3516 \cdot \frac{GS_{red}}{10} - 70.8) : 10$
70-80 (bis 31. 8.)	0.83525	0.17959	58	$(0.0359 \cdot T + 0.3595 \cdot \frac{GS}{10} + 42.5) : 10$
70-80 (ab 1. 9.)	0.72746	0.66954	44	$(0.1597 \cdot T + 0.4002 \cdot \frac{GS}{10} - 82.2) : 10$
70-80 (bis 31. 8.) *	0.82839	0.21726	58	$(0.0443 \cdot T + 0.5219 \cdot \frac{GS_{red}}{10} - 24.4) : 10$
70-80 (ab 1. 9.) *	0.73223	0.63919	44	$(0.1515 \cdot T + 0.5180 \cdot \frac{GS_{red}}{10} - 94.4) : 10$
50-60 (bis 31. 8.)	0.73045	0.65019	127	$(0.1839 \cdot T + 0.2758 \cdot \frac{GS}{10} - 62.5) : 10$
50-60 (ab 1. 9.)	0.75498	0.82001	86	$(0.2031 \cdot T + 0.3981 \cdot \frac{GS}{10} - 111.1) : 10$
50-60 (bis 31. 8.) *	0.64450	0.65837	127	$(0.1861 \cdot T + 0.4117 \cdot \frac{GS_{red}}{10} - 115.8) : 10$
50-60 (ab 1. 9.) *	0.73027	0.81741	86	$(0.2107 \cdot T + 0.4793 \cdot \frac{GS_{red}}{10} - 131.7) : 10$

Tab. 4 bringt die wichtigsten Ergebnisse der mathematisch-statistischen Behandlung, und zwar sowohl unter Zusammenfassung aller Meßergebnisse des Sommers und Herbstes als auch unter Aufspaltung in die Periode bis zum 31. August und die anschließende ab 1. September. Für die zusammengefaßte Periode liegen die Korrelationskoeffizienten $r_{gw,t}$ für konstant gehaltene Temperaturwerte deutlich über den Koeffizienten $r_{tw,g}$ für konstant gehaltene Strahlung. Für die Periode bis zum 31. August und nicht reduzierte Werte der Globalstrahlung erhöht sich der Unterschied zum Teil erheblich. Für die zweite Periode nähern sich die Werte der beiden partiellen Koeffizienten, zu deuten als Folge des gemeinsamen Absinkens von Strahlung und Temperatur

während des Herbstes. Das erschwert eine gesonderte Bewertung von Temperatur- und Strahlungswirkung. Aussagekräftige Korrelations- bzw. Regressionskoeffizienten lassen sich vor allem für die Herbstmonate nur für kurze Zeitabschnitte von wenigen Tagen gewinnen. Dafür reicht die Zahl der bei dieser Untersuchung zur Verfügung stehenden Fälle nicht aus. Den Korrelations- und Regressionsgrößen bis zum 31. August kommt vor allem wegen der geringen Unterschiede zwischen den Längen der hellen Tageszeit die größere Bedeutung zu. Zum Teil wegen des allgemeinen Temperaturrückganges nach dem 1. September erreicht der Faktor des T -Gliedes der Zielgleichung W (Tab. 4) für den Herbst höhere Werte als für den Sommer.

Die letzte der Zielgleichungen (Tab. 4) soll nun zu einem Vergleich der gemessenen Zuwachswerte mit den daraus im mathematisch-statistischen Verfahren gewonnenen dienen. Durch Einsetzen der verschiedenen Temperatur- und Strahlungssummenwerte ergibt sich aus der Gleichung eine Schar paralleler Geraden der Wertungen 10 bis 60 g (Abb. 31 rechts). Die Linien experimentell gefundener gleicher Gewichtszunahmen sind der Abb. 30 entnommen und ebenfalls durch ihre Wertungen gekennzeichnet (Abb. 31 links). Bereiche, in denen die gemessenen Zuwachswerte um höchstens 4 g von den errechneten mittleren Zonenwerten (15, 25, 35 g usw.) abweichen, sind senkrecht schraffiert und erfassen 75.2 % aller 213 Fälle. Die waagrecht gestrichelten Flächen erfassen die Fälle (24.8 %) mit größeren Abweichungen. In 6 Fällen (2.8 %) überstieg die Abweichung 10 g.

Aus Abb. 31 leitet sich bereits eine gute Übereinstimmung zwischen gemessenen Daten und den aus der Wachstumsgleichung errechneten ab. Sie sagt jedoch noch nichts über den prozentualen Anteil sowohl der Temperatur als auch der Strahlung an den Wachstumszunahmen aus. Hier bringen die aus den Beobachtungsdaten gewonnenen Gleichungen für viertägige Zuwachswerte W (Tab. 4) weiter. Zunächst werden die zu höchsten und geringsten Gewichtszunahmen gehörenden Temperatur- und Strahlungssummen in Annäherung festgestellt, sowohl für die gesamte Meßperiode als auch für die Perioden bis zum 31. August und ab 1. September. Tab. 5 enthält diese Angaben.

Anschließend gehen diese Summenwerte in die Gleichungen der Tab. 4 ein und ergeben für jede der Perioden einen hohen und einen geringen Gewichtszunahmewert. Die Differenz der so gewonnenen Werte läßt sich in den Anteil der Temperatur und den der Strahlung aufspalten.

Beispiel. In die erste Gleichung der Tab. 4 sind einzusetzen:

$$T_{\max} = 1800^{\circ} \text{C}, GS_{\max} = 12000 \text{ Joule}$$

$$T_{\min} = 400^{\circ} \text{C}, GS_{\min} = 1000 \text{ Joule}$$

Dann wird

$$W_{\max} = (198.5 + 347.8 + 7.2) : 10 = 55.4 \text{ g}$$

$$W_{\min} = (44.1 + 29.0 + 7.2) : 10 = 8.0 \text{ g}$$

$$\text{Diff.} \quad 15.4 \quad 31.9 \quad 47.3 \text{ g}$$

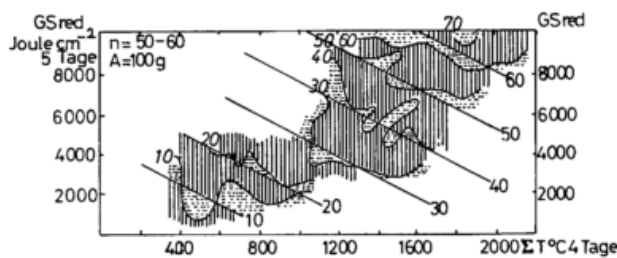


Abb. 31: Vergleich der experimentell gewonnenen viertägigen Gewichtszunahmen von 100 Haferpflanzen mit den Zunahmen der aus diesen Daten entstandenen Wachstumsgleichung (Tab. 4)

$$W = (0,1903 \cdot \Sigma T + 0,3516 \cdot \frac{\Sigma GS_{\text{red}}}{10} - 70,8) : 10$$

Pflanzendichte 50–60 auf der Fläche 170 cm²
Ausgangsgewicht am 1. und 3. Tag gleich 100 g

Werte links (kursiv, vgl. Abb. 30): Isolinien experimentell gefundener gleicher Gewichtszunahmen

Werte rechts: Geraden gleicher errechneter Zunahmen

Senkrecht Schraffur: Abweichung der gemessenen Werte von den Mittelwerten der errechneten 10-g-Abschnitte höchstens 4 g (erfaßte Fälle 75.2 % von 213)

Waagrecht gestrichelt: Abweichungen 5 g und mehr (24.8 %)

Tab. 5 Viertägige Temperaturhöchst- und -tiefstwerte (T_{\max} , T_{\min}) und fünftägige Strahlungssummenhöchst- und -tiefstwerte (GS_{\max} , GS_{\min} , $GS_{\max \text{ red}}$, $GS_{\min \text{ red}}$) für viertägige Gewichtszunahmen von 100 Haferpflanzen

	Gesamte Zeitspanne	Zeitspanne bis 31. 8.	Zeitspanne ab 1. 9.
$T_{\max}^{\circ} \text{C}$	1800	1800	1200
$T_{\min}^{\circ} \text{C}$	400	1200	400
GS_{\max} Joule cm ⁻²	12000	12000	4000
GS_{\min} Joule cm ⁻²	1000	4000	1000
$GS_{\max \text{ red}}$ Joule cm ⁻²	9000	9000	3500
$GS_{\min \text{ red}}$ Joule cm ⁻²	1000	3500	1000

Entsprechend sind die übrigen anteiligen Werte der Temperatur und der Strahlung am gesamten Zuwachswert errechnet worden (Tab. 6). Für die gesamte Periode und für diejenige bis zum 31. August überwiegt der Strahlungsanteil, für die Zeit ab 1. September der Temperaturanteil. Es gilt jedoch zu beachten, daß der Anteil anderer Faktoren unbeachtet bleibt. Auch eine nicht-lineare Bewertung der Temperatur oder der Strahlungsgröße kann zu Änderungen der Prozentwerte führen (vgl. GS und GS_{red} Tab. 6).

Der hohe Anteil der Strahlungswirkung vor allem der ersten Periode dürfte dem eingeschlagenen Hydrokulturverfahren zu verdanken sein. Anders als bei im Boden wurzelnden Pflanzen können strahlungsbedingte starke Wasserverluste der Blätter sofort ersetzt werden. Die Produktion kann weiter ansteigen. Ab 1. September geht der Temperaturanteil stärker in die Gleichungen ein. Alle Werte dürfen nur als Anhalt dienen. Vor allem während des Herbstes verwischt das gemeinsame Absinken von Temperatur und Strahlung die Zusammenhänge. Besser gesicherte Ergebnisse ließen sich nur für wesentlich kürzere Zeitspannen erzielen. Dafür reicht aber die Zahl der gemessenen Zuwachswerte nicht aus.

Der Variabilitätskoeffizient $\left(\frac{\text{Standardabw.}}{\text{Mittelwert}} \cdot 100 \right)$ beträgt für die Zeit bis zum 31. August der Jahre 1972 und 1973 bei den Temperaturwerten von 4 Tagen 16.9, bei den Strahlungswerten von 5 Tagen 23.3, ab 1. September entsprechend 31.0 bzw. 30.7. Die relativ zu den Strahlungswerten geringere Standardabweichung bei den Temperaturwerten läßt vermuten, daß sich die Temperatur während des Sommers häufiger im für den Klimaraum um Hamburg optimalen Bereich bewegen als die Strahlungswerte.

Das Bild des Zusammenwirkens von Strahlung und Temperatur bei den Wachstumsraten wurde zwar im Hydrokulturverfahren gewonnen. Es mag aber vielleicht dazu beitragen, der Strahlungswirkung auch bei entsprechenden Betrachtungen zu den Wachstumsproblemen der im Boden wurzelnden Pflanzen größere Beachtung zu schenken.

Ergänzend gibt Abb. 32 die sich vom Frühjahr zum Herbst hin verschiebende Beteiligung der Temperatur- und Strahlungssummen für längere Wachstumsperioden wieder. Diese Summen wurden für die Zeitabschnitte bis zum Erreichen der Hundertpflanzengewichte 100, 150 und 200 g gebildet und senkrecht über dem Zeitpunkt des Einbringens der Sämlinge in die Standplatten eingezeichnet. Der Temperatursummenbereich vom Überschreiten des Gewichtes 100 g bis zum Gewicht 200 g

Tab. 6 Nach Wachstumsgleichungen W der Tab. 4 und Temperatur- sowie Strahlungssummen der Tab. 5 errechnete Anteile von Temperatur (T) und Strahlung (GS) an der Differenz zwischen großen und geringen viertägigen Gewichtszunahmen von 100 Haferpflanzen des Ausgangsgewichtes 100 g und der Dichte 70-80 bzw. 50-60 auf der Fläche 170 cm². Beispiel: Differenz zwischen größter und geringster Zunahme 47,3 g, Anteil des Temperaturgliedes 15,4 g (32,6%), des Strahlungsgliedes 31,9 g (67,4%).

n	Periode	T (g)	GS (g)	Summe (g)	T (g) %	GS (g) %
70-80	ganze	15,4	31,9	47,3	32,6	67,4
GS _{red}		14,5	32,8	47,3	30,7	69,3
50-60	ganze	26,8	27,3	54,1	49,5	50,5
GS _{red}		26,6	28,1	54,7	48,6	51,4
70-80	bis 31. 8.	2,2	28,8	31,0	7,1	92,9
	ab 1. 9.	12,7	12,0	24,7	51,4	48,6
70-80	bis 31. 8.	2,6	28,7	31,3	8,3	91,7
GS _{red}	ab 1. 9.	12,1	13,0	25,1	48,2	51,8
50-60	bis 31. 8.	11,0	22,1	33,1	33,2	66,8
	ab 1. 9.	16,3	11,9	28,2	57,8	42,2
50-60	bis 31. 8.	11,2	22,6	33,8	33,1	66,9
GS _{red}	ab 1. 9.	16,9	12,0	28,9	58,5	41,5

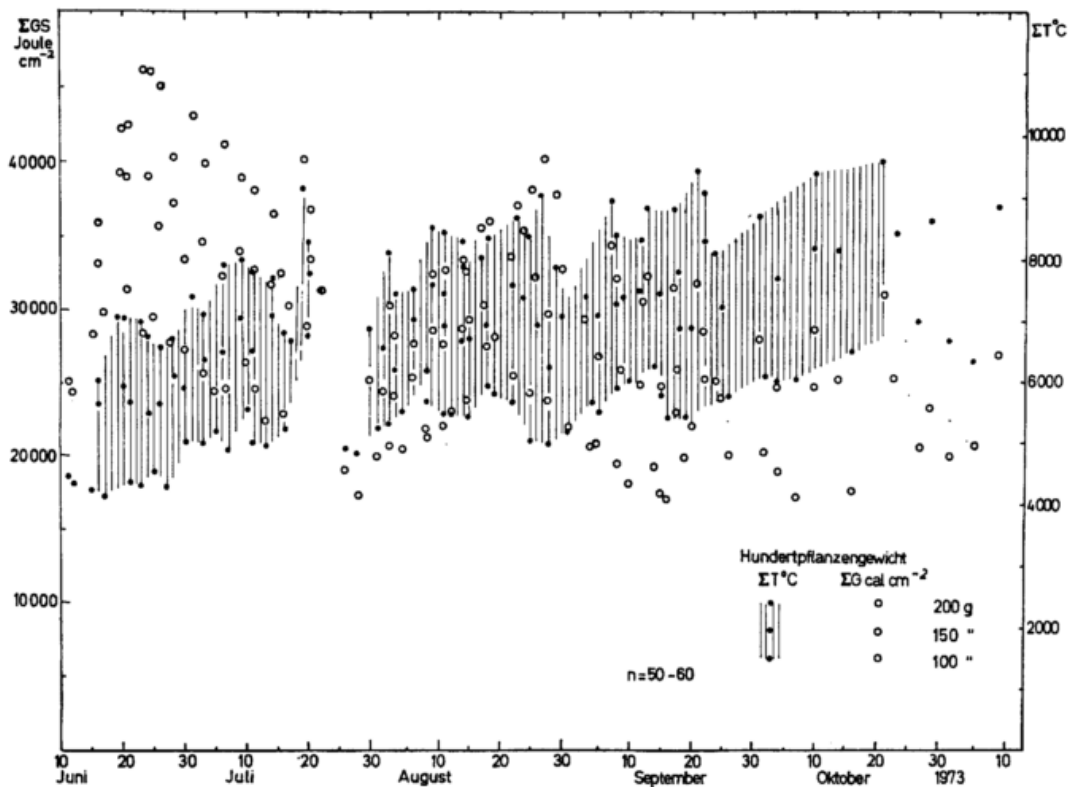


Abb. 32: Temperatur- und Globalstrahlungssummen vom Sämlingsstadium des Hafers bis zum Erreichen der Hundertpflanzengewichte 100, 150 und 200 g, Zahl der Pflanzen n = 50-60 auf 170 cm²; Ahrensburg-Wulfsdorf 1973.

hebt sich durch senkrechte Schraffur vom entsprechenden Bereich der Strahlungssummen ab. Das Verhältnis der Temperatursummen zu den Strahlungssummen kehrt sich während der Vegetationszeit um.

BEINHAUER (2) führt die im Herbst relativ hohen Zuwachswerte von im Boden wurzelnden Zwischenfrüchten zum Teil auf hohe Bodentemperaturen zurück. Beim hier eingeschlagenen Hydrokulturverfahren folgt die Temperatur der Nährlösung viel enger dem Temperaturgang der Luft. Vielleicht bleibt auch aus diesem Grunde der Einfluß der Strahlung auf die Wachstumsraten besser nachweisbar.

6.4 Zum Unterschied zwischen den Zuwachswerten von Pflanzensätzen verschiedenen Ausgangsgewichtes bzw. verschiedenen Alters

Im Jugendstadium gewinnen die Pflanzen zunehmend an Blattmasse und damit die Möglichkeit zu einer Steigerung der Produktion. Die in Abb. 33 dargestellten Verhältnisse bestätigen diesen Sachverhalt. Aus der Vegetationszeit 1973 sind die viertägigen Gewichtszunahmen von Hafersätzen der Dichte 70-80 Pflanzen auf 170 cm² und des Ausgangsgewichtes A = 100 g in der Waagerechten abgetragen, die der jeweils gleichen Zeitspannen von Sätzen des Ausgangsgewichtes 200 g in der Senkrechten. Jeder Punkt steht also für 2 Wachstumsgrößen. Die Zahl der Punkte bleibt hinter der früherer Darstellungen zurück, weil für das Niveau 200 g weniger Daten vorliegen. Die oben erwähnte Zeitspanne vom 11. Juni bis 9. August bleibt ebenfalls ausgespart.

Die Punktwolke liegt ausnahmslos oberhalb der eingezeichneten 45°-Geraden. Mit höheren Gewichtszunahmen im 100-g-Niveau steigen die Zunahmen im 200-g-Niveau noch mehr an. Der Abstand der Punktwolke zur 45°-Geraden vergrößert sich, eine Folge der größeren Blattmasse der älteren Pflanzensätze, die alle einkommende Strahlung verwerten kann. Man darf von einem linearen Zusammenhang sprechen, der auch für die 4 Unterabschnitte der Vegetationsperiode gilt und nicht etwa nur als Folge des jahreszeitlich bedingten Ablaufs der Strahlung oder der Temperatur zu deuten wäre. Vom Einzeichnen einer Regressionsgeraden wird trotzdem abgesehen. Dafür erscheint die Beteiligung der Fälle mit unterschiedlichen Strahlungsmengen in den einzelnen Zuwachsstufen zu ungleichmäßig.

Die Zahlen bei den Punkten stehen für die zugehörigen Globalstrahlungsmengen (Joule · cm⁻²/5 Tage), zur Wahrung der Übersichtlichkeit durch 100 geteilt, z. B. 113 = 11 300 Joule. Natürlich finden sich bei geringen Zuwachswerten auch geringe Strahlungsmengen. Eine genauere Betrachtung deckt aber noch einen weiteren Tatbestand auf. Er kommt zutage, wenn die Punktwolke in Abschnitten von jeweils 10-g-Gewichtszunahmen des Ausgangsgewichtes 200 g eingeteilt und dann jeder Abschnitt für sich betrachtet wird. Dies verhindert bei der folgenden Prozedur das Zusammenwerfen der niedrigen Strahlungswerte bei geringen Zunahmen mit den hohen Werten bei großen Zunahmen.

Jeder Abschnitt wird durch eine etwa zu einer gedachten Regressionslinie parallelen Geraden so eingeteilt, daß auf jede Seite der Geraden etwa die gleiche Zahl der Punkte fällt. Nun werden die Mittelwerte der Strahlungsmengen für die links und für die rechts der Geraden liegenden Punkte gebildet. In jedem Abschnitt (Abb. 33 rechts) liegen die Mittelwerte rechts der Geraden höher als die der linken Seite. Demnach liegen die Zuwachswerte im 200-g-Niveau zwar ausnahmslos über denen des 100-g-Niveaus und bei hohen Strahlungswerten des Sommers wesentlich höher als bei den niedrigen des Herbstes. Zusätzlich ergibt sich für die Unterabschnitte, daß relativ große Unterschiede zwi-

schen den Gewichtszunahmen der beiden Pflanzensätze bevorzugt gemeinsam mit relativ geringeren Strahlungsmengen auftreten, hohe Strahlungssummen dagegen mit geringeren Unterschieden zwischen den Pflanzensätzen. Der gleiche Zusammenhang ergibt sich für die geringere Pflanzendichte von 50-60 auf 170 cm². Auch diese Dichte liegt um ein Vielfaches über der eines normalen Feldbestandes. Schon bald oberhalb des Hundertpflanzen-Gewichtes 100 g dürfte der Blattoberflächenindex (LAI, z. B. PUCKRIDGE, 14) hinsichtlich der Strahlungsausnutzung sein Optimum erreicht haben, dagegen noch nicht bei den jungen Pflanzensätzen.

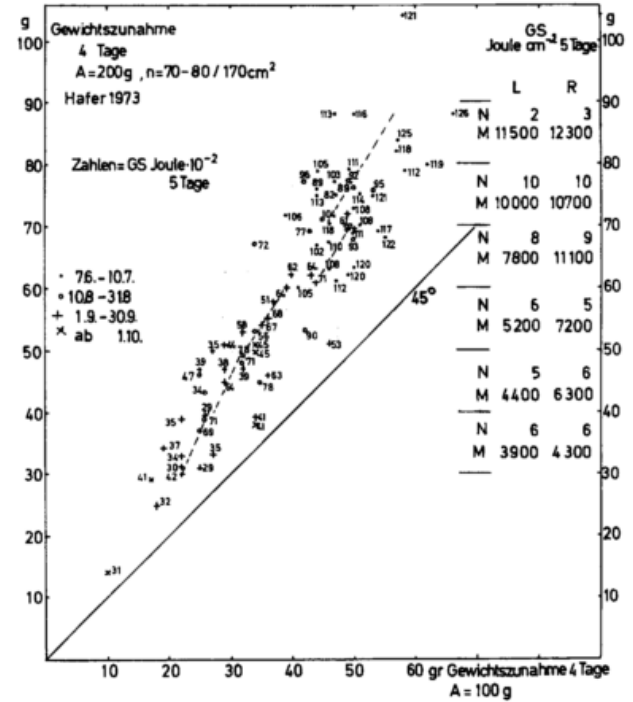


Abb. 33: Viertägige Gewichtszunahmen von Pflanzenbeständen (Hafer) des Ausgangsgewichtes 100 g (100 Pflanzen) am 1. und 3. Tag (Waagerechte) und die gleichzeitigen von Beständen des Ausgangsgewichtes 200 g (Senkrechte), Zahl der Pflanzen n = 70-80 auf 170 cm², Zahlen bei den Punkten = Globalstrahlungsmengen von 5 Tagen (Joule cm⁻² · 10⁻²); Ahrensburg-Wulfsdorf 1973.

7 Zum Bestandsklima und zu Längen- und Gewichtsveränderungen hyroskopischer Stoffe

Ich habe bei der Suche nach den Auswirkungen der Temperatur und der Strahlung auf das Wachstum ausschließlich die Temperaturwerte der Klimahütte (Meßhöhe 2 m) und die eines frei aufgestellten Strahlungsmessgerätes benutzt. Für weitere Betrachtungen stehen mit Widerstandsthermometern in der Nährlösung und in einem der Bestände gewonnene Temperaturwerte zur Verfügung. Aus den Registrierungen von 6 Strahlungstagen und 6 Tagen mit bedecktem Wetter ergeben sich die Linienzüge der Abb. 34. Der dargestellte Sachverhalt kann nur als Anhalt dienen. Von nur einer Meßstelle in nur einem Bestand darf kaum mehr erwartet werden.

Die Darstellung bringt nichts Neues. Tage mit hoher Einstrahlung (GS) bringen große Amplituden des Temperaturverlaufs in der Klimahütte (H 2m) und im Bestand (B), Tage mit bedecktem Himmel dagegen nur geringe Amplituden. Im Bestand ist es nachts etwas kälter, mittags etwas wärmer als in der Klimahütte. Bei starker Strahlung erreicht die Temperaturschwankung in der Nährlösung (W) 3° C, bei schwacher 1° C.

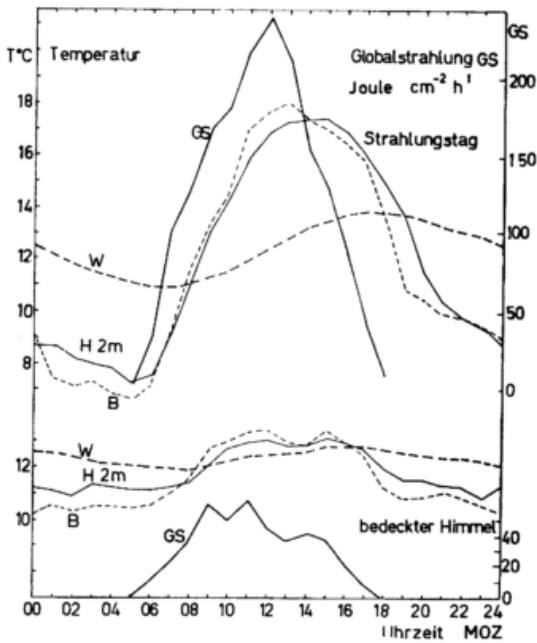


Abb. 34: Tagesgang der Globalstrahlung (GS), der Temperatur in 2 m Höhe (H_{2m}), der Temperatur in einem Haferbestand (B) und in der Nährlösung (W) im Mittel von 6 Strahlungstagen (oben) und 6 bedeckten Tagen (unten); Ahrensburg-Wulfsdorf 1972.

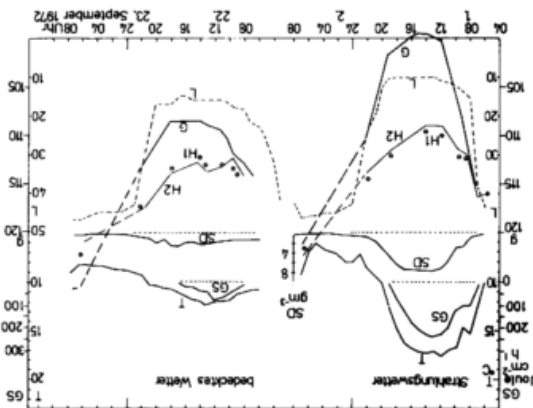


Abb. 35: Tagesgang des Frischgewichtes von Haferpflanzen in Hydrokultur (H 1, H 2, Zahl der Pflanzen 70-80 auf 170 cm²) und von Wolle (G), sowie Längenveränderung von Hanf (L) bei Strahlungswetter (links) und bei bedecktem Wetter (rechts); Ahrensburg-Wulfsdorf 1972. T = Temperaturgang in 2 m Höhe, GS = Tagesgang der Globalstrahlung, SD = Tagesgang des Sättigungsdefizits in 2 m Höhe.

Die Luftfeuchte spielt bei Gewichtsbestimmungen organischer Stoffe eine Rolle. Es galt deswegen, einen Eindruck davon zu gewinnen, wie sich die Ergebnisse verschiedener Meßmethoden zueinander verhalten. Abb. 35 gibt oben den Verlauf der meteorologischen Größen an einem Strahlungstag und an einem bedeckten Tag wieder. Darunter zeigt der Kurvenverlauf L die mit dem Blattfeuchteschreiber nach SCHNELLE-BREUER (18) gewonnenen Veränderungen der Länge einer festen Hanfschnur an. Dieses Instrument soll möglichst nur den Beginn und das Ende des Taubefalls erfassen und erfüllt auch diesen Zweck, wie sich aus dem plötzlichen Übergang des steilen Abfalls des Linienzuges L zu einem fast waagerechten am frühen Morgen ergibt. Anders die Linienzüge G, die den Gewichtsgang von dicht nebeneinander ausgespannten Wollfäden darstellen. In diesen Fäden nimmt die Feuchte bis zum Mittag ab. G und L vertauschen ihre Lage zueinander bei Übergang von Strahlungswetter zu bedecktem Wetter. Die für Haferbestände (H1, H2) eingezeichneten Linienzüge des Ge-

wichtsverlaufs liegen weit oberhalb der für Längen- und Gewichtsveränderung toten organischen Materials gewonnenen Linienzüge. Dies erklärt sich überzeugend aus dem ständigen Transpirationsstrom aus der Nährlösung über die Wurzeln zu den Blättern, ein Nachschub, der beiden anderen Verfahren fehlt.

8 Schlußbetrachtung

Die mit sehr bescheidenen Mitteln vorgenommene Untersuchung steckte sich ein begrenztes Ziel und erwartet schon aus diesem Grunde nur begrenzte Resonanz von seiten der Praxis oder benachbarter Wissenschaftszweige. Sie gibt sich vielmehr damit zufrieden, daß es durch Konstanthalten des Nährlösungsangebotes und durch das Einführen eines annähernd gleichbleibenden Ausgangsgewichtes gelungen ist, einen starken Einfluß der Strahlung auf das Wachstum nachzuweisen. Dabei bleibt dahingestellt, in welchem Ausmaß dies unmittelbar über biochemische Prozesse oder mittelbar über die Erhöhung der Blattertemperatur geschieht.

Ob für Hydro- oder Bodenkulturen, die Ergebnisse dieser Untersuchung bestätigen den Trend, der sich für Untersuchungen zu Problemen der Witterungsabhängigkeit des Pflanzenwachstums abzeichnet. Der Strahlung wird mehr und mehr Aufmerksamkeit gewidmet. Der meteorologische Dienst trägt dem durch Einsatz von Registriergeräten der Strahlung Rechnung.

Die hier gewählte Versuchsanordnung könnte durch Vergleiche zeitweise abgedeckter Bestände mit frei der Sonne ausgesetzten oder zusätzlich bewindeten Beständen variiert werden. Im Frühjahr und im Herbst leiden die Sämlinge des Koleoptilstadiums oft unter niedrigen Temperaturen. Die Jungpflanzen sollten deswegen bereits grüne Halme gebildet haben, ehe sie den Freilandbedingungen ausgesetzt werden.

Die Versuchsanordnung kann keinen Beitrag zur Frage des Energieumsatzes bringen. Es stehen hier Pflanzensätze unterschiedlichen Alters und verschiedener Dichte über der gleichen Nährlösung. Die Aufrechnung des von der einfallenden Globalstrahlung verbleibenden Anteils gegen die in Kalorien umzusetzende Trockensubstanz und vor allem gegen die für die Transpiration erforderliche Kalorienmenge muß an den unterschiedlichen Wasseransprüchen der verschiedenen Pflanzensätze scheitern. Hinzu kommt bei der jetzigen Versuchsanordnung die Schwierigkeit, die Größe der von der Strahlung erfaßten Blattfläche zu bestimmen. Bei den Wägungen kann zur Zeit kein Unterschied zwischen den am Rande und den in der Mitte der Bottiche stehenden Bestände gemacht werden.

Literatur

- (1) ASTON, A. R.; MILLINGTON, R. J.; PETERS, D. B.: The energy balance of leaves. In: Plant response to climatic factors, Unesco Paris 1973, S. 37-44.
- (2) BEINHAEUER, R.: Ertragsaufbau und Ertragsentwicklung einiger Zwischenfrüchte in Abhängigkeit von meteorologischen Einflußgrößen (in Vorbereitung 1976).
- (3) BIERHUIZEN, J. F.: The effect of temperature on plant growth, development and yield. In: Plant response to climatic factors, Unesco Paris 1973, S. 89-98.
- (4) BLACK, J. N.: Light intensity and plant growth. Arid Zone Research 11, 1958.
- (5) DEINUM, B.: Climate, nitrogen and grass research into the influence of light intensity, temperature, water supply and nitrogen on the production and chemical composition of grass. Wageningen 1965.

- (6) DE WIT, C. T.: Photosynthesis of leaf canopies. Agricultural research report Nr. 663, Wageningen 1965.
- (7) FISCHER, R. A.: The effect of water stress at various stages of development on yield processes in wheat. In: Plant response to climatic factors, Unesco Paris 1973, S. 233-241.
- (8) FRANKEN, E.: Über die Bedeutung der Strahlung für die Tagesschwankung der Temperatur in 10 cm Bodentiefe. Meteor. Rdsch. 16 (1963) Nr. 4, S. 115 bis 123.
- (9) GEISLER, G.: Pflanzenbau in Stichworten II. Kiel 1971.
- (10) KOLLER, S.: Graphische Tafeln zur Beurteilung statistischer Zahlen. Darmstadt 1953.
- (11) KREBB, K.: Ökophysiologie der Pflanzen. Stuttgart 1974.
- (12) MILLER, A. A.; JENSEN, R. E.; BAUER, A.; NORUM, E. B.: Influence of atmospheric and soil environmental Parameters on the diurnal fluctuations of leaf water status of barley. Agric. Meteor. Vol. 8 (1971).
- (13) PFAU, R.: Ein Beitrag zur Wetterstatistik von Halm- und Hackfrucht. Ber. Dt. Wetterd. 94, Bd. 13 (1964).
- (14) PUCKRIDGE, D. W.: A quantitative account of the influence of solar radiation, water and nitrogen supply on the photosynthesis of wheat communities in the field. In: Plant response to climatic factors, Unesco Paris 1973, S. 519-525.
- (15) RASCHKE, K.: Über die physikalischen Beziehungen zwischen Wärmeübergangszahl, Strahlungsaustausch, Temperatur und Transpiration eines Blattes. Planta Nr. 48 (1956).
- (16) RIJTEMA, P. E.: The effect of light and water potential on dry matter production of field crops. In: Plant response to climatic factors, Unesco Paris 1973, S. 513-518.
- (17) SAUBERER, F.; HÄRTEL, O.: Pflanze und Strahlung. Leipzig 1959.
- (18) SCHNELLE, F.; BREUER, W.: Meteorologische Meßgeräte und Voraussetzungen für den Schorfwarndienst. Ber. Dt. Wetterd. 41, Bd. 6 (1958).
- (19) SCHNELLE, F.: Pflanzenphänologie. Leipzig 1955.
- (20) SCHROPP, W.: Der Vegetationsversuch. 1. Methodik der Wasserkultur höherer Pflanzen. Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik, Bd. 8, Radebeul - Berlin 1951.
- (21) STANHILL, G.: Simplified agroclimatic procedures for assessing the effect of water supply. In: Plant response to climatic factors, Unesco Paris 1973, S. 461-476.
- (22) STOCK, H. G.: Mehrjährige Untersuchungen über den Witterungseinfluß auf die Ertragsbildung von Rotklee und Luzerne. Abh. Meteor. Dienst DDR 101, Bd. XIII, Berlin (1971).
- (23) STRASBURGER, E.: Lehrbuch der Botanik, Stuttgart 1971.