

Studien über den Wasserhaushalt des Hafers

Von ALEXANDER THOMAS, Leipzig

Mit 5 Figuren und 5 Diagr.

A. Allgemeine Betrachtungen

Einleitung

Unter allen Wachstumsfaktoren der Pflanze steht das Wasser quantitativ an erster Stelle. Etwa dreiviertel aller Pflanzenmassen besteht aus Wasser. Ein Vielfaches ihres Gehaltes an Wasser verbraucht aber die Pflanze im Verlaufe ihres Lebens im Stoffwechsel.

Bei meinen Betrachtungen werde ich mich auf die Beobachtung des Wassers beschränken, welches der pflanzliche Stoffwechsel besonders durch kutikuläre und stomatäre Transpiration verbraucht. Die stomatäre Transpiration spielt bei unseren Kulturpflanzen unzweifelhaft die größere Rolle. Sie kann auch in kürzerer Frist von der Pflanze reguliert werden und steht darum im Mittelpunkt unserer Beobachtungen.

Die Interzellularen sind zufolge einer inneren Transpiration in einem Zustand höherer Dampfsättigung, als die die Pflanzen umgebende Luft. Weil die Pflanze auf eine Kohlensäure-Zufuhr zur Assimilation angewiesen ist, muß ein Gasaustausch stattfinden, der zum Verlust von Wasser durch die Spaltöffnungen führt. Wasserverluste treten auch dann ein, wenn Kutikula, Wachs- und Haarbildungen die Pflanze nach außen abdichten und die kutikuläre Transpiration nur sehr gering ist.

Die Transpiration ist für die Pflanze nicht nur ein notwendiges Übel, ihr Nutzen für die Pflanze liegt darin, daß das durchströmende Wasser als Transportmittel der gelösten Nährstoffe dient. Die Bodensalze wandern mit dem Transpirationsstrom nach oben.

WALTER (1) sagt S. 81: „Es kommt eben bei der Pflanze nicht nur auf die sie durchströmende Wassermenge an, sondern vor allen Dingen auf den Zustand, in dem sich die Pflanze in bezug auf die Wassersättigung befindet. Leidet die Pflanze Wassermangel, so wird der Schaden der Transpiration den Nutzen bei weitem übertreffen.“

Die Stärke der Transpiration der Pflanze bildet einen Maßstab für den Grad der Tätigkeit des Wurzelsystems. Die Wurzeln müssen ja alles Wasser schaffen, das die Pflanze verbraucht.

Zwischen Absorption und Transpiration stehen aber alle Lebensvorgänge der Pflanze. Eine Bilanzierung, ein Vergleich beider, darf nur für größere Zeiträume versucht werden.

Wasseraufnahme und Wasserabgabe werden durch äußere Einflüsse weitgehend bestimmt. Agrikulturphysikalische Vorgänge, oder weniger wissenschaftlich in der Sprache des Landmannes gesagt: „die Scholle“ entscheidet in erster Linie, ob eine Kulturpflanze am betreffenden Ort gedeihen kann oder nicht. Dieser Punkt soll zuerst behandelt werden, während die inneren Einflüsse unter besonderer Berücksichtigung morphologischer, anatomischer und physiologischer Fragen später zur Sprache kommen sollen.

Ganz wehrlos steht ja die Pflanze den äußeren Verhältnissen auch nicht gegenüber. Sie kann die Wasserabgabe in gewissen Grenzen regulieren, besonders durch Verminderung der verdunstenden Fläche. Nach HUBER (30) vermochte ein lebender Zweig z. B. seine Wasserabgabe fünfmal so stark einzuschränken, wie ein toter. Bei allen Betrachtungen soll auf die Methodik besonderer Wert gelegt werden, die es gestattet, in irgendeiner Weise den Wasserhaushalt im Pflanzenleben zu messen und zu vergleichen.

Äußere und innere Einflüsse auf den Wasserhaushalt

Der Boden als Grundlage des Landbaues ist natürlich auch auf den Wasserhaushalt der Kulturpflanzen nicht ohne Einfluß. Seine Fähigkeit, Wasser festzuhalten, „die Wasserkapazität“, wird durch Größe, Lagerung und Zusammensetzung seiner Teilchen bestimmt. Die Wasserzufuhr des Bodens erfolgt durch die Niederschläge, seltener durch Überflutung oder Stauung. Das Wasser kann, soweit es nicht oberirdisch abgeflossen oder versickert ist, teils durch Quellung, teils durch Benetzung der Bodenteilchen adsorbiert und kapillar festgehalten werden. Die Wasserkapazität verschiedener Böden schwankt in sehr weiten Grenzen. BENECKE-JOST (2), S. 50, führt z. B. an für

Humusboden	55	Vol. Proz.
Tonboden	53	„ „
Feinsandboden	30	„ „
Grobsandboden	10	„ „

Nach WOLLNY (3), S. 70, und HELLRIEGEL (4), S. 545, nahm man bisher als Optimum für das Pflanzenwachstum etwa 60 % der maximalen Wasserkapazität des Bodens an. Nach Gefäßversuchen

von MITSCHERLICH (5 und 13) ist aber das Optimum = 100 %, d. h. die volle Sättigung der Wasserkapazität, wenn durch eine Öffnung im Gefäßboden stagnierende Nässe vermieden wird. Er hat damit die Arbeit an Gefäßversuchen verbessert, weil ein genaues Erhalten der optimalen 60 % der Wasserkapazität während einer ganzen Wachstumsperiode recht schwierig ist, da täglich auch die Pflanzenmasse zunimmt. Wann und wo herrscht aber auf den Äckern während längerer Zeit eine volle Sättigung der Wasserkapazität?

Nach Arbeiten von FITTBOGEN mit Hafer (6) steigt und fällt die Transpiration mit der Bodenfeuchtigkeit, soweit es sich natürlich um Wasser handelt, das die Pflanzenwurzeln überhaupt aufnehmen können, weil ihre Saugkraft größer ist als die Adsorptionskraft des Bodens.

Der alte Begriff „unverwertbare Feuchtigkeit“ in dem Sinne, daß verschiedene Pflanzen den Feuchtigkeitsgehalt des Bodens verschieden stark verringern können, also größere Widerstandskraft gegen Dürre durch bessere Wasserausnutzung haben, ist nach BRIGGS und SHANTZ (42) zu modifizieren. Sie führten den Begriff des „Welkungskoeffizienten“ ein. Sie bestimmten den Zeitpunkt des beginnenden Welkens, d. h. den Bodenfeuchtigkeitszustand, bei dem die Pflanzen ohne Wasserzufuhr „permanent“ zu erschlaffen beginnen. Noch lange nach dem Welken wird Wasser aus dem Boden entnommen. Umfangreiche Versuche ergaben nun eine geringe Schwankung des Welkungskoeffizienten. *Avena sativa* zeigte z. B. bei Prüfungen von 8 Sorten in 46 Versuchen nur ganz geringe Schwankungen um 0,995, wobei die Grenzwerte von 1318 Beobachtungen nur zwischen 0,92—1,13 schwanken. Um für die kritischen Untersuchungen über das Verhältnis zwischen Vorrat an Bodenfeuchtigkeit und Ernteentwicklung ein Maß zu haben, suchten BRIGGS und SHANTZ nach einer indirekten Methode zur Bestimmung des Welkungskoeffizienten. Besonders die Feuchtigkeitsäquivalentmethode, die das Wasser auszentrifugiert, soll ein schnelles und gutes Hilfsmittel zur Bestimmung des Welkungskoeffizienten sein, ohne dessen Kenntnis Messungen der Bodenfeuchtigkeit „nicht gedeutet werden können“. Es ergeben sich gradlinige Verhältnisse:

$$\begin{aligned} \text{Welkungskoeffizient} &= \frac{\text{Wasserkapazität} - 21}{2,90} \\ &= \frac{\text{Feuchtigkeitsäquivalent}}{1,84} \end{aligned}$$

WALTER (1) steht dem Problem des Welkungskoeffizienten recht kritisch gegenüber.

V. SEELHORST (7) schildert im Journal für Landwirtschaft 1904 Versuche über den Wasserhaushalt im Boden und den Wasserverbrauch von Hafer. Er benutzte große Metallkästen, die mit 1,33 cm Erde gefüllt und dräniert waren, auf Rädern liefen und gewogen werden konnten.

V. SEELHORST (11) fand höheren Wasserverbrauch auf Lehm als auf Sandboden. Er sagt: „Sie (die Wasserabgabe) ist bei dem bestandenen Feld auf dem Lehmboden infolge der üppigeren Entwicklung der Früchte stets viel höher als auf dem Sandboden.“ Er beurteilt also nicht nach dem Wasserverbrauch gleicher Blattflächen oder Massen, sondern als Landwirt nach der Durchschnittsleistung, nach der Ernte.

Mit dem Einfluß des Bodens ist die Wirkung des Klimas auf den Wasserhaushalt der Kulturpflanzen eng verbunden. Wie schon vorher gesagt, liefern die örtlichen Niederschläge das nötige Wasser. Es ist auch eine alte Erfahrungstatsache, daß in vielen Anbaugebieten die Reserve der Winterfeuchtigkeit zum Gedeihen einer Ernte mit herangezogen werden muß. Ja, im System der „dry farming“ wird die Wasserreserveschaffung in Dürregebieten auf mehrere Jahre verteilt. ROTMISTROFF (12), S. 54, schreibt über den Stand des Dürreproblems, das für seine südrussische Heimat von besonderer Wichtigkeit ist: „Die Dürre wird von den Landwirten selbst vorbereitet, die sich nicht bemühen, Wasser in der wurzelbewohnten Schicht anzusammeln.“

MITSCHERLICH (13) hat Versuche über das Wasser als Vegetationsfaktor 1912 veröffentlicht. Er gibt als Wirkungsfaktor für 1 cm Wasser bei allen Kulturpflanzen und auf allen Böden 0,00032 an. Düngung beeinflusse allerdings den Wirkungsfaktor. Wenn dies nicht nur eine Theorie wäre, dann wären ja alle Versuche überflüssig, Sorten zu züchten und zu verbreiten, die mit weniger Wasser mehr leisten. J. HILDEBRANDT (15) schreibt 1923, WOLLNY, HELLNIEGEL und V. SEELHORST hätten durch langjährige Versuche festgestellt, daß unter gleichen Bedingungen die pro Einheit Trockensubstanz verbrauchte Wassermenge bei den einzelnen Kulturpflanzen sehr verschieden ist. Er sagt: „Lediglich der Wasserbedarf einer Pflanze kann maßgebend sein, um ihren Anbau an gewissen Bodenarten auszuschließen.“ Auch PILASKI (16) sagt, daß „der Wirkungsfaktor für Wasser verschieden ist“. WIESENBERG

(31) gibt als Wirkungswert des Wassers für Hafer, Klee und Möhren 0,515, für Hülsenfrüchte und Ölfrüchte 0,3415 an. Hafer sei ein guter Wasserverwerter, beanspruche aber viel Wasser.

Man unterscheidet — mehr oder minder scharf: Xerophyten, Mesophyten und Hygrophyten. Zur mittleren Gruppe gehören die meisten Kulturpflanzen. Die älteren ökologischen Betrachtungen von SCHIMPER kann man heute in der Zeit der experimentellen Ökologie als überholt ansehen.

Über die Anbaumöglichkeit landwirtschaftlicher Kulturpflanzen entscheidet die Scholle. WALTER (8), S. 9, sagt: „Zwischen der Pflanzendecke und dem jeweiligen Standort, unter dem wir die Gesamtheit der auf die Pflanzen einwirkenden Faktoren verstehen, muß deshalb eine gewisse Harmonie bestehen. Die Pflanzen müssen, wie man zu sagen pflegt, an die Standortbedingungen angepaßt sein.“

Als Folgerung aus der Anpassung an den Standort möchte ich auch viele der heutigen Züchtungen und die Arbeiten nennen, die die Versuche der Saatzuchtabelungen der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft in Verbindung mit wissenschaftlichen Versuchsanstalten, landwirtschaftlichen Körperschaften, Versuchsringen und praktischen Landwirten seit vielen Jahren in den Sortenvorprüfungen schildern. Sie unterscheiden: „Hafer für trockene Lagen“ und „Hafer für feuchte Lagen“. Die viele Arbeit an den Züchtungen ist ein Beweis, daß die praktische Landwirtschaft in der Sortenfrage vorwärts strebt. Es darf nicht entmutigen, wenn ernste Forscher, wie v. SEELHORST, nach jahrzehntelanger Arbeit schreiben: „Die Sorte hat einen geringen Einfluß“, weil er fand, daß die Höhe der (Hafer-) Ernten vielmehr durch die Feuchtigkeit des Bodens, als durch die Varietät bedingt wird.

Die Wirkung des Klimas auf den Wasserhaushalt der Kulturpflanzen wird vor allem durch die Menge und Verteilung der Niederschläge im Jahr bestimmt. Nach ENGELBRECHT (28) ist die größte Verbreitung des Haferanbaues mit über 50 % der Anbaufläche besonders im Seeklima von Irland, Schottland und Skandinavien zu suchen. ZADE (14), S. 96 ff., benutzt die Sommerfeuchtigkeit als Wertmesser der Anbauwürdigkeit und schreibt dann: „Die erwähnte Tatsache, daß sich die Gegenden mit viel Haferanbau stets durch größere Feuchtigkeit während des Sommers auszeichnen und bei anhaltender Trockenheit den Anforderungen des Hafers nicht genügt wird, drängt uns die bedeutsame Frage auf, ob denn in allen

Teilen Deutschlands der Haferanbau angebracht ist und ob es sich nicht empfehlen könnte, ihn hier und dort einzuschränken bzw. zu vermehren.“ Man ist wohl jetzt auf dem rechten Wege, indem man durch exakte Sortenprüfungen mit allgemeiner Bedeutung durch die D. L. G., mit lokalem Wert durch Versuchsringe, die geeigneten Sorten festzustellen sucht.

Licht, Wärme und Wind wirken im allgemeinen fördernd auf die Transpiration, solange die Pflanze nicht gegen deren Übermaß zur Abwehr gezwungen wird, was später berührt werden soll.

RENNER und andere haben versucht, für die Transpiration Formeln aufzustellen, die aber kaum in der Praxis zu verwenden sind. BURGERSTEIN (Teil I) sagt dazu: „Zwangvolle Plage, Mühe ohne Zweck!“

Der große Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf die Transpiration ist bekannt, doch kann selbst noch im wasserdampfgesättigten Raum die Transpiration nach BURGERSTEIN (I) „nicht ganz unbedeutende Werte erreichen“.

Die Nährstoffkonzentration ist verschiedentlich in ihrer Wirkung auf den Wasserverbrauch untersucht worden. Im allgemeinen rechnet man mit dem Satz: „Starke Düngung spart Wasser.“ v. SEELHORST sagt (11): „Der Verbrauch an Wasser zur Trockensubstanzproduktion hängt nicht nur von der Pflanzenart resp. Varietät und von der der Pflanze zur Disposition stehenden Wassermenge, sondern auch von der Menge der im Wasser gelösten Nährstoffe ab“, und S. 70: „Wir nützen also den Wasservorrat des Bodens um so besser aus, je vollständiger die Düngung ist“. ZADE (14), S. 162, sagt: „Alles in allem können wir aus den experimentellen Ergebnissen den Schluß ziehen, daß das Bodenwasser wesentlich den N-Gehalt, verhältnismäßig wenig den K_2O - und P_2O_5 -Gehalt der Ernteergebnisse beeinflußt.“

Über das Xerophytenproblem ist von Botanikern schon sehr viel geschrieben worden. Unter anderen macht WALTER (9) auf den hohen osmotischen Wert der Xerophyten aufmerksam. Nun sind unsere Kulturpflanzen meist Mesophyten, aber ein xeromorpher Charakter ist im morphologisch-anatomischen Aufbau mancher Kulturpflanzen zu beobachten, wie z. B. auch das Einfalten und Einrollen der Gramineenblätter, die Lage der Spaltöffnungen u. a. m.

Die Frage der Transpiration ist eng verknüpft mit dem Bau der Pflanze, mit der Wachstumsdauer und mit der Frage Sonnen- oder Schattenpflanzen. Sonnenblätter sind meist dicker, derber,

haben ein dichteres Mesophyll als Schattenblätter, und damit, auf Trockensubstanz bezogen, eine kleinere Oberfläche. Die Ergebnisse der Arbeiten von DIETRICH (15) sprechen gegen SCHIMPER im Sinne STOCKERS und MAXIMOWS, da unter gleichen Bedingungen die Transpiration der Flächeneinheit bei den Sonnenarten größer ist, ohne Rücksicht auf den Standort, an dem die Versuche vorgenommen wurden. Sorgfältige Arbeiten von HASSELBRING auf Kuba ergaben nach BURGERSTEIN (II) S. 82, daß in offener Lage gewachsene Tabakpflanzen etwa 28% mehr Wasser verbrauchten als beschattete. Das in beiden Fällen produzierte Trockensubstanzgewicht war nahezu gleich. Die frei belichteten Pflanzen hatten einen geringeren Aschengehalt, demnach schien auch die Aufnahme der Bodensalze bis zu einem gewissen Grade unabhängig zu sein von der Menge des aufgenommenen Wassers. Bei vergleichenden Versuchen ist auch die Dichte des Pflanzenbestandes zu berücksichtigen, denn abgesehen von der größeren Zahl könnten evtl. auch einzelne Varietäten mit verschiedener Derbheit der anatomischen Struktur reagieren und so sehr wechselvolle Ergebnisse verursachen.

Bei der Beobachtung des Nährstoffbedürfnisses ist man besonders beim Stickstoff auf die Tatsache einer überreichen unbegründeten Aufnahme von Nährstoffen, auf eine Luxuskonsumtion aufmerksam geworden. Etwas Ähnliches wurde auch beim Wasserverbrauch festgestellt. Keinesfalls besteht eine vollkommene Parallelität zwischen Wasserverbrauch und Pflanzenproduktion. Versuche bei verschiedener Sättigung der Wasserkapazität, z. B. von v. SEELHORST 1908, ergaben bei 85% Sättigung etwa 50% mehr an relativem Wasserverbrauch als bei 40% der Sättigung.

Als Zeit des größten Wasserbedarfes bei den Gramineen wird die Schoßzeit genannt. Wenn aber WIELHAEW (26) in einer Arbeit über die kritische Periode des Hafers sagt: „Je höher die relative Feuchtigkeit der Luft vor und während des Erscheinens der Rispe ist, desto höher ist die Haferernte“, so möchte ich annehmen, daß wohl in erster Linie die Bodenfeuchtigkeit zur Wirkung kommt. Außerdem wird die Rispe ja schon bedeutend früher angelegt, nach ZADE (4) S. 47 bald nach der Bestockung.

Der Wasserhaushalt der Pflanzen zerfällt in drei Teile, in die Wasseraufnahme durch die Wurzeln, Wasserleitung durch die Stengel und Wasserabgabe besonders durch die Blätter.

Morphologisch ist die Länge und Verzweigung des Wurzelsystems wichtig. Aber nur in der Region der Wurzelspitzen findet sich eine wasserdurchlässige, unverkorkte Membran an den Oberflächenzellen.

Es bilden sich Wurzelsysteme, die nahe der Oberfläche des Bodens einen dichten Wurzelfilz bilden, so vor allem bei Gräsern, oder besonders bei Leguminosen und Rüben, tiefgehende Wurzelstränge, oder beide Systeme zusammen. Unsere Kenntnis der Bewurzelung ist noch lange nicht vollkommen. Auch das Alter der Pflanze ändert das Verhältnis oft sehr. OPITZ (57) fand bei Hafer zur Zeit des Schossens und der Reife ein bedeutend höheres Wurzelgewicht als bei Gerste und Weizen.

Betreffs osmotischer Untersuchungen möchte ich auf die Zusammenfassung von WALTER hinweisen. Mit Zuckerlösung in steigender Konzentration und mit verschiedener relativer Dampfspannung wurde besonders von URSPRUNG und BLUM (62) gearbeitet.

MADER (63) S. 409 hat neuerdings bei Messungen des osmotischen Wertes bei Grenzplasmolyse erhebliche Sortenunterschiede von Winterweizen „baltischen“ und „pannonischen“ Ursprungs gefunden. Er untersuchte „immer den osmotischen Wert bei Grenzplasmolyse der unteren Epidermis analoger Blätter der verschiedenen Sorten in g-Mol KNO_3 “. Die 29 baltischen (= deutschen) Sorten erreichten im Durchschnitt nur 81,7% und 83,6% der pannonischen Sorten. Die Zeit der Winterruhe und des Schossens brachte allen Sorten einen höheren osmotischen Druck. Die Werte schwankten innerhalb einer Pflanze erheblich.

Die Wasseraufnahme der Pflanzen aus Lösungen ist mit Hilfe der Potometer volumetrisch und gewichtsmäßig zu bestimmen. Die Wasseraufnahme aus dem Boden ist aber nur schwer zu ermitteln, da auch z. B. eine saugende Tonzelle im Gefäßboden (nach LIVINGSTON) nicht die Wasseraufnahme der Pflanzen allein, sondern von Pflanze und Boden vermitteln muß.

Was nun die Wurzeln vom Hafer betrifft, so hat schon HABERLANDT (18) gefunden, daß bei jungen Pflanzen das Wurzelgewicht verhältnismäßig groß ist. Er fand als Mittel vieler Wägungen für das Gewichtsverhältnis der unter- zu den oberirdischen Teilen:

bei jungen	Haferpflanzen = 1 : 1.208
bei mittleren	Haferpflanzen = 1 : 4.139
bei älteren	Haferpflanzen = 1 : 16.917.

Er folgert: also müssen junge Pflanzen relativ viel Wasser aufnehmen können.

ROTMISTROFF traf bei der Bearbeitung des Dürreproblems auf die Tatsache, daß beim Sommergetreide die Wurzeln im Anfang der Bestockungsperiode eine Tiefe von 50 cm erreichen und daß zu Anfang des Blühens die Wurzelentwicklung zum Abschluß kommt, bzw. daß der weitere Zuwachs unbedeutender ist als beim Wintergetreide. Das dicht bewurzelte Getreide überträte im Wasserverbrauch durch das Wurzelsystem „zweifelloos stark“ die spärlich bewurzelten zweikeimblättrigen Pflanzen.

Das Verhältnis von oberirdischer und unterirdischer Masse zu vergleichen, erscheint ein Wagnis beim Vergleich verschiedener Pflanzenarten, nicht so beim Vergleich verschiedener Sorten einer Art.

Eine Arbeit von OPITZ (57) über Bewurzelung und Bestockung einiger Getreidesorten bringt den Leutewitzer Hafer in Vergleich zu Beseler II. Seine Wurzelzählungen und Wägungen mögen nicht immer fehlerfrei sein, besonders das Auswaschen der Wurzeln aus Bohrkernen mit Hilfe eines Wasserstrahls ist anfechtbar. Es muß freilich bei allen Wurzelauswaschungen aus Feinboden mit einem nicht unbeträchtlichen Verlust kleinster Wurzelteile gerechnet werden. Seine Versuche (S. 798) zeigen aber, daß der Beseler II Hafer zufolge seines größeren Wuchses in allen Entwicklungsstadien höhere absolute und relative Wurzelgewichte ergab als der Leutewitzer Gelbhafer. Die Arbeit von SCHNEIDER (59) steht etwas kritisch zu OPITZ' Arbeit. Er fand beim Leutewitzer Hafer mehr Wurzelmasse als bei Beseler. „Die frühreifen produktiven Sorten besaßen im allgemeinen eine kleine Bewurzelungsfähigkeit.“ Wenn SCHNEIDER aber auf S. 788 sagt: „Die Ursache des Wurzelvermögens beruht, wie wir wohl mit Sicherheit annehmen dürfen, auf der Fähigkeit der Wurzeln, Säuren auszusecheiden“, so möchte ich vermuten, daß die größere osmotische Saugkraft der leistungsfähigeren Sorten und vor allem die Größe der absorbierenden Oberfläche entscheidet.

Sehr groß ist die Zahl der Arbeiten und Methoden, an oberirdischen Pflanzenteilen den Wasserverbrauch kennen zu lernen. Ich muß auch auf die Monographie der Transpiration von BURGERSTEIN hinweisen, der in jahrzehntelanger Arbeit die große Literatur über den Wasserhaushalt der Pflanzen bzw. die Transpiration zusammengestellt hat.

Das wichtigste Organ für die Wasserabgabe des Hafers sind die Blattspreiten. Die Kohlensäureassimilation bedingt eine große Oberfläche mit vielen Eingangspforten für das Gas. Beim Gasaustausch durch eben diese Spaltöffnungen verliert die Pflanze Wasserdampf. Beim Öffnen und Schließen der Spaltöffnungen sind die Schließzellen und evtl. auch benachbarte Zellen sehr aktiv. Turgorschwankungen können in sehr kurzen Zeiträumen einen Schluß der Spaltöffnungen bewirken. Über den Mechanismus der Spaltöffnungen finden sich zusammenfassende Angaben bei HABERLANDT (19). Er schreibt (S. 417): „Einen besonderen Typus, der gleichfalls durch die symmetrische Lagerung der Verdickungsleisten gekennzeichnet wird, repräsentieren die Spaltöffnungen der Gramineen Die Schließzellen sind hier von hantelförmiger Gestalt. Die erweiterten Enden jeder Zelle sind durch ein schmales Mittelstück miteinander verbunden, dessen Außen- und Innenwand sehr starke Verdickungsleisten besitzen.“ Eine „Mitwirkung der Nebenzellen ist ausgeschlossen“.

Seit vielen Jahren wurde versucht, die Abhängigkeit der Transpiration von den Spaltöffnungen als den Regulatoren der Wasserabgabe zu klären. Eine Beurteilung allein nach der Zahl der Spaltöffnungen muß abgelehnt werden, weil Länge, Breite und Lage unbedingt ebensoviel ins Gewicht fallen wie die Zahl. Die Zahl der Spalten an verschiedenen Teilen der Blätter pflegt sehr zu schwanken.

Nach BURGERSTEINS Material über Spaltenzahlen von 3340 Pflanzenarten werden bei der Mehrzahl der Laubblätter die Spaltöffnungen hauptsächlich an der Blattunterseite ausgebildet. Bei Hafer und vielen Gramineen befindet sich die Mehrzahl der Stomata auf der Oberseite, vgl. WEISS (20). Der große Schwankungskoeffizient in der Verteilung der Spaltöffnungen sagt aber, daß es nicht immer so sein muß und wohl auch das umgekehrte Verhältnis anzutreffen ist. Die Zahl der Stomata bei Hafer je qmm wird recht schwankend angegeben von 27—48, schwankt ja auch an einer Pflanze erheblich.

WEISS (20) hat im Gegensatz zu KOLKUNOW (21) keine rechte Übereinstimmung von Zahl und Größe der Spalten zu Lebensbedingungen, Gestalt und Art gefunden. KOLKUNOW sucht in der Größe der Spalten bzw. Zellen ein Maß für die Wasseransprüche der Kulturpflanzen und ihrer Varietäten zu finden.

Bei Untersuchungen an Hafer hat KOLKUNOW (22) gefunden, daß dürreresistente Typen kleine Spaltöffnungen haben, daß aber mit kleineren Spalten kleinere Erträge verbunden waren, vermutlich, weil dann eine geringere Kohlensäureassimilation stattfindet. Er schreibt S. 305: „Alle angeführten Ergebnisse sprechen also dafür, daß für jeden Komplex klimatischer Bedingungen ein gewisses Optimum der Porenlänge oder überhaupt der Zellengröße existiert, und daß sich bei größerer Feuchtigkeit die großzelligen Sorten, bei herabgesetzter Feuchtigkeit die kleinzelligen Sorten besser entwickeln. Die Existenz eines solchen Optimums haben wir auch bei Zuckerrüben festgestellt“.

JAKUSCHKIN und VAVILLOV fanden hingegen beim Vergleich verschiedener Haferrassen keine Korrelationen von Blattfläche und Stomatagröße, von Stomatagröße und Vegetationsdauer, von Zellgröße und Bestockung. KAISER (23) fand beim Hafer eine kleinere Gesamtzahl Spalten pro Pflanze, als bei Gerste und sagt: „Es widerspricht nun dies Verhältnis ganz den Ansprüchen, welche die beiden Getreidearten an die Wasserversorgung stellen.“ Er meint, daß mit dem höheren Tausend-Korngewicht bei Gerste die höhere Spaltenzahl in Einklang steht. KAISER fand Unterschiede bei Hafervarietäten in der Spaltenzahl und sagt S. 68: „Interessanter ist aber der Umstand, daß sich in der Spaltenzahl der Einfluß der Varietät geltend macht. Wir sehen, daß beim Hafer die kultivierten Formen eine mehr ausgeglichene Stellung zwischen den beiden Extremen (Kurz- und Nackthafer) einnehmen und daß sich dabei die Rispenhafer von den Fahnenhafern sondern.“ Bei der Gerste zeigt das Spaltenverhältnis der Flächeneinheit die nahe Verwandtschaft der beiden *Erectum*-Formen einerseits und der beiden *Nulans*-Formen anderseits. Auf S. 70 sagt er allerdings: „Der Einfluß der Varietät zeigt sich nur in der Verteilung der Spaltöffnungen.“ Die letztere steht beim Hafer auch im Einklang mit der Begrannung, indem die Spelzen der stark begrannnten Formen mehr Spalten pro Flächeneinheit zeigen als die der weniger begrannnten. Die Grannen sind ja auch wichtige Transpirationsorgane der Gerste.

SCHEIBE (58), der sich auch mit Spaltöffnungsbeobachtungen befaßt hat, sagt S. 227, m. E. sehr mit Recht: „Es hängt eben der gesamte Wasserhaushalt einer Pflanze noch von wesentlich anderen Faktoren ab, als nur von den Spaltöffnungen.“

Die Ausbildung aller Pflanzenteile wird vom Wasservorrat beeinflusst, ja sogar oft mehr als durch die Varietät. ZADE (14) S. 106 sagt, daß sowohl der Bau der Spelze wie der Karyopse in erster Linie durch die Sorteneigentümlichkeit bedingt sei. Zum selben Ergebnis ist auch v. SEELHORST nach vielen Arbeiten über die Wasserfrage gekommen.

GUNTZ (24) sagt in seinem Resumé: „Der Zusammenhang der Blätter der Gramineen mit dem Klima und Standort ist ein enger und mannigfaltiger. Er äußert sich in der Beschaffenheit der Epidermis sowie Qualität und Quantität der parenchymatischen und sklerenchymatischen Gewebe“. Außer Form und Größe der Blätter und Zellen wird auch die Ausbildung der Kutikula durch den Wasserhaushalt beeinflusst. Das Wachs als Hemmungsmittel einer kutikulären Transpiration wird bei feuchten Wachstumsverhältnissen in geringerer Menge abgeschieden. Besonders scheint der Feuchtigkeitsgehalt der Luft von Einfluß zu sein. Verschiedene Versuche von KUNZE (25), der Pflanzen in feuchter Luft unter einer Glasglocke zog, ergaben eine große Steigerung der Transpiration bei *Iris germanica* bis 4000 %, weil nur wenig Wachs ausgebildet war. Auch Keimlingspflanzen, in feuchter Luft gezogen, wurden zartzelliger und bildeten nur wenig Wachs.

Schon KOLKUNOW (21) und ROTMISTROFF (12) haben auf die Wichtigkeit von anatomischen Untersuchungen über die Zellgröße für die Züchtung dürreresistenter Varietäten hingewiesen. CHRISTIANSEN-WENIGER (29) betont, daß nicht durch Längen- oder Flächenmaße, sondern nur durch Raummaße die Zellgröße gemessen werden sollte. Wenn nach KOLKUNOW (21) und VAVILOV (27) bei kleinzelligen Varianten der Stoffwechsel intensiver ist, vielleicht wegen der größeren Gesamtzelloberfläche, dann muß auch von zwei gleichgroßen Blättern dasjenige das leistungsfähigere sein, das die kleineren Zellen hat. CHRISTIANSEN-WENIGER bedauert, daß es bisher an einer Methode fehle, die dem Vererbungsforscher ermöglicht, die wichtigsten Varianten aus einem gegebenen großen Material sicher herauszufinden.

Wasserhaushalt und Sortenunterschiede

Wir wissen aus praktischer Erfahrung, daß es erhebliche Sortenunterschiede im Wasserbedarf beim Hafer gibt. Wie schon oben angeführt, hat die D. L. G. bei ihren Sortenprüfungen die Hafersorten für feuchte und für trockene Lagen geschieden. Noch

fehlt eine ausreichende Bearbeitung dieser Frage von physiologischer Seite aus. Es sollen im folgenden einige Urteile auch aus dem „Ratgeber zur Sortenwahl“ der D. L. G. über bekannte und verbreitete Hafersorten angeführt werden. Man hat die älteren Bezeichnungen der getrennten Versuchsreihen mit Hafer „für leichte Böden“ und „für mittlere und schwere Böden“ geändert in Hafer für „trockne“ und „feuchte Lagen“, in der Erkenntnis, daß nicht in erster Linie der Boden selbst, sondern seine wasserhaltende Kraft und die jährliche Niederschlagsmenge die Eignung der Hafersorten bestimmen.

Man will der praktischen Landwirtschaft helfen, indem man eine möglichst große Zahl von Züchtungen an vielen Stellen exakt vergleicht. Erprobte und typische Sorten werden als Vergleichssorten angebaut und deren Erträge überall = 100 % angesetzt. Meist werden die Versuche auf Versuchsfeldern wissenschaftlicher Institute angestellt, die, nach 9 Anbaugebieten des Deutschen Reiches zusammengefaßt, große klimatische Unterschiede erfassen.

In der Versuchsreihe für trocken Lagen von 1923—1925 diente v. LOCHOWS Gelbhafer als Vergleichssorte, für feuchte Lagen Beseler II. Ein Vergleich beider Züchtungen von 19 Versuchen zumeist in trocknen Lagen brachte in kg je ha für

Beseler II	2646 kg
v. Lochows (Gelb)	2998 kg

an durchschnittlichem Kornertrag. Geordnet nach der relativen Leistung nehmen die Sorten für trocken Lagen im Gesamtdurchschnitt folgende Rangordnung ein:

F. v. Lochows Gelbhafer	100
Lüneburger Kleyhafer (Heidegold)	96.1
Lischower Frühhafer	94.5
Pflugs Baltersbacher Frühhafer	94.2
Lüneburger Kleyh. (Meyer-Bornsen)	92.8
v. Kamekes Streckenthiner II	91.9
v. Kalbens Vienauer	89.4
Fischers Wirchenblätter XVI	88.3.

Bei der Hauptprüfung 1909/10 stand v. LOCHOWS Gelbhafer gleichfalls im Kornertrag an erster Stelle. Früher haben sich in extrem dürren Jahren besonders v. KALBENS Vienauer, Duppauer und Ligowohafer als anspruchslos und leistungsfähig erwiesen. Oft sind die frühreiferen Sorten den Folgen einer Dürpperiode im Mai, Juni nicht so unterlegen, weil sie die Winterfeuchtigkeit besser ausnützen konnten. Der Hafer braucht ja verhältnismäßig viel Zeit, um sein großes Wurzelsystem auszubilden, mit dem er dann

auch auf mageren Böden seinen großen Nährstoffbedarf decken kann. Die Bedeutung solcher Versuche liegt natürlich mehr auf ökologischem als auf physiologischem Gebiet.

Nach eigenen Angaben der Züchter ist bei METTES Ligowohafer „seit langer Zeit schon Wert auf eine kräftige Bewurzelung gelegt, damit der Hafer fähig ist, Trockenperioden gut zu überstehen“. Bei v. LOCHOWS Gelbhafer wird das gleichmäßige Vorwärtswachsen, auch bei Dürre in der Schosszeit, als „physiologisch in dem geringen Wasserbedürfnis begründet“ vermutet.

Die Versuche von HILDEBRANDT (15) über den Wasserbedarf verschiedener Hafervarietäten sind leider nur bei voller Wasserkapazität ausgeführt worden. Sie ergaben den höchsten Gesamtertrag bei BRANDS Gretchenhafer.

v. SEELHORST fand: „Der Einfluß des Wassergehaltes des Bodens auf den Ertrag ist sehr groß und verdeckt den Einfluß der Varietät gänzlich.“ „Bei starker Stickstoffdüngung ist der Einfluß der Varietät auf den Ertrag relativ gering. . . .“ „Der Einfluß des Wassergehaltes des Bodens auf den Ertrag der Varietät tritt deutlich bei KIRSCHES Hafer, weniger deutlich bei Beseler III hervor. Beide stehen bei geringer Bodenfeuchtigkeit im Ertrag etwas zurück, während sie bei großer Bodenfeuchtigkeit relativ hohe Erträge geben.“

Der absolute Wasserverbrauch stieg in sehr starkem Maße mit der Zunahme der Bodenfeuchtigkeit und betrug bei geringer N-Düngung im Mittel der Sorten

bei 40% Sättigung der Wasserkapazität	9,8 kg
bei 85% „ „ „ „	22,9 kg

je Gefäß. Der Dänische Inselhafer und Lüneburger Kleyhafer ergaben in allen Feuchtigkeitsklassen größere Erträge, d. h. sie hatten große Anpassungsfähigkeit.

v. SEELHORSTS Versuche (1916) sind leider mehrfach mißglückt. Immerhin ergaben sie, daß mit der absoluten Feuchtigkeit des Bodens der absolute Wasserverbrauch des Hafers steigt. 1916 ergab bei einer Sättigung der Wasserkapazität des Bodens von 50% und 63% der Göttinger Hafer die größte Gesamternte, bei 76% und 89% der vollen W. K. STRUBES Hafer. 1917 ergab aber der Lüneburger Kleyhafer bei 50%, 63% und 76% die höchste Gesamt- und Korn-ernte, bei 89% hatten wieder STRUBES und der Göttinger Hafer den Vorrang.

Die 1903 und 1905 ermittelten Wurzelgewichte waren in den einzelnen Jahren relativ so verschieden, daß irgendwelche Schlüsse auf den Einfluß der Feuchtigkeit und Düngung auf die Wurzelentwicklung der Varietäten nicht gezogen werden konnten. Im Durchschnitt betrugen bei geringer Stickstoffdüngung die Wurzelgewichte bei 40 % der max. Feuchtigkeit 7,6 g, das ist ein Verhältnis von 1 : 4,4 und bei 40 % = 15,2 g, das ist ein Verhältnis von 1 : 3,8 der oberirdischen Substanz. Die Vegetationszeit wird bei Dürre verkürzt.

SCHINDLER (35) sagt von v. LOCHOWS Gelbhafer, der sich schon in den Anbauversuchen der D. L. G. überlegen gezeigt habe: „Der geringste Wasserverbrauch (im Verhältnis zur gebildeten Trockensubstanz) ist auch durch exakte Versuche bestätigt.“ Leider sagt er nicht durch welche.

Aus allen älteren Gefäßversuchen erfahren wir so keine eindeutigen Ergebnisse, die für die Anbauwürdigkeit einzelner Züchtungen in Dürregegenden sprechen könnten. Sicher aber ist in dem letzten Jahrzehnt die Züchtung weiter fortgeschritten. Viele Züchter reden und schreiben ja von den geringen Wasseransprüchen ihrer Sorten, und das nur auf Grund von Feldversuchen. Sollte keine Möglichkeit bestehen, durch Gefäßversuche mit variiert Feuchtigkeit Genaueres über den Wasserbedarf von Sorten zu erfahren?

Sollte keine der zahlreichen Methoden brauchbar sein, welche die Botaniker benutzen, um Transpirationsverluste zu vergleichen? Freilich ist es für den Botaniker leichter, Unterschiede im Wasserverbrauch verschiedener Familien, Gattungen und Arten zu finden, als für den Landwirt, Unterschiede im Wasserverbrauch verschiedener Hafersorten zu messen. Im folgenden will ich einiges Nähere über die Methoden der Transpirationsmessung besprechen.

Methoden zur vergleichenden Transpirationsmessung

Freilandversuche sind nur sehr bedingt zur Feststellung des Wasserbedarfes zu brauchen, da ein genaueres Variieren des fraglichen Vegetationsfaktors Wasser kaum durchzuführen ist, es sei denn durch künstliche Beregnung und durch Abhalten größerer Regengüsse vermittels einer auf Gerüsten aufrollbaren Plane. So ist es meistens die wechselnde Witterung der Jahre, die bei einer Zusammenstellung variiert. Das mußte veranlassen, Methoden zu

suchen, die gestatten, den Wasserverbrauch verschiedener Züchtungen in einem Jahre zu untersuchen bei wechselndem Wasservorrat im Boden.

Dazu scheint eigentlich der Gefäßversuch berufen zu sein. Aber wie schon oben gesagt, haben die verschiedenen Gefäßversuchsserien bisher noch keine endgültige Beantwortung der Frage ergeben. Nach zwanzigjähriger Arbeit auf diesem Gebiet sagt z. B. v. SEELHORST: „In verschiedenen Arbeiten habe ich versucht, den Wasserbedarf verschiedener Getreidearten und Varietäten unter verschiedenen äußeren Bedingungen festzustellen. Ich bin dabei einmal zu dem Resultat gekommen, daß es gar nicht möglich ist, den Wasserbedarf der Pflanzen an sich zu ermitteln, daß man sich vielmehr damit begnügen muß, festzustellen, wieviel Wasser im ganzen, und zwar durch direkte Verdunstung und durch den Verbrauch der Pflanzen von der Erde abgegeben ist.“

Es ist nicht immer leicht, die Feuchtigkeit in den Gefäßen gleichzuerhalten, da man die zuwachsende Pflanzenmenge berücksichtigen und die vom Erdreich verdunstete Wassermenge in Abzug bringen muß. Letztere wird zu Beginn der Vegetation einen großen Teil der Wasserverluste verursachen, später, wenn ein dichter Pflanzenbestand den Boden deckt, aber ganz zurücktreten. Es ist daher bei vielen Gefäßversuchen durch Abschluß des Bodens dauernd oder nur auf kurze Zeit, die Bodenverdunstung verhindert worden. Man hat Watte, Metall, Glasplatten, Stanniol und Paraffin als Abdichtungsmittel benutzt.

Wenn die Gefäße unten verschlossen sind, kann sich bei reicher Wassergabe stagnierende Nässe bilden und Sauerstoffmangel eintreten, der die Versuche schädigen, ja vernichten kann. Da man allerdings heute meist die MITSCHERLICHschen Gefäße verwenden wird, ist wenigstens diese Gefahr ausgeschaltet. Ob ein Sauerstoffmangel bei dauerndem Abschluß, etwa durch Paraffin, eintreten kann, erscheint fraglich. Ich glaube, es wird dies auch vom Gasgehalt des Bodens abhängen und bei grobem Sand nicht so in Frage kommen wie bei Humusboden, der viel Kohlensäure entwickelt.

Man sollte alle Gefäßversuche mit einer größeren Anzahl (Getreide-)Pflanzen durchführen, einmal, um nicht durch individuelle Schwankungen irreführt zu werden, zum anderen auch, um genügend große Gewichtsverluste an verdunstetem Wasser feststellen zu können.

HABERLANDT (18) fand folgende Wasserverluste in einer ganzen Vegetationsperiode auf gleicher Fläche:

für Hafer	2277,76 g
für Gerste	1236,70 g
für Sommerweizen	1179,92 g
für Sommerroggen	894,89 g

PILASKY (16) hat bei seinen Gefäßversuchen mit verschiedenen Feuchtigkeitsgraden auch die Frage der Bodenverdunstung gestreift. Wenn er bei einer Wasserkapazität von 60—100% allerdings „fast gleiche“ Wasserverluste der Gefäße beobachtet hat, möchte ich vermuten, daß dies eine Folge des häufigen Wasserersatzes „von oben her“ gewesen ist, wodurch die Oberflächenschicht immer nahezu gleich feucht gehalten wurde.

Sehr umfangreiche Arbeiten über den Wasserhaushalt der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen stammen von BRIGGS und SHANTZ aus der amerikanischen Wüstenversuchsstation Akron, Colorado. Ihre Versuche wurden teils in großen Gefäßen mit 115 kg Erde regelmäßig gewichtsmäßig gemessen. Auch die stündlichen Änderungen wurden an klaren Tagen gemessen und ergaben „für Cerealien ein Maximum der Verdunstung zwischen 2 und 4 Uhr nachmittags“.

Schon bei den Gefäßversuchen bedient man sich der Waage zur Messung der Transpiration. Es gibt aber noch eine ganze Anzahl Methoden, die die Transpiration durch Wägungen zu messen suchen.

BENECKE-JOST (2) sagen mit Recht: „Der exakteste quantitative Nachweis der Transpiration ist mit Hilfe der Waage zu bringen. Wenn man durch geeignete Vorrichtungen dafür sorgt, daß nur die Pflanze selbst, nicht auch der Boden, in dem sie wurzelt, Wasser abgeben kann, so wird man den etwa von Stunde zu Stunde ermittelten Gewichtsverlust direkt als Wasserverlust betrachten dürfen.“ „... andere Prozesse treten hinter den durch Wasser bedingten Gewichtsveränderungen stark zurück.“

Mit abgedichteten Gefäßen kann man aber nur zu verschiedenen Zeiten Stichproben machen, da ein dauernder Abschluß die Versuchspflanzen erheblich beschädigt. Solche Stichproben darf man nur sehr vorsichtig verallgemeinern.

Mit Hilfe von Potometern kann man kleinere Pflanzen oder Pflanzenteile auf ihre Wasseraufnahme untersuchen. Die Potometer mit der auf einer Skala wandernden Luftblase sind zwar sehr anschaulich, aber sie messen nicht die Transpiration, sondern die Absorption. Diese geht nicht, besonders nicht in kurzen Zeit-

abschnitten, parallel zur Transpiration. Deshalb werden Potometer von BURGERSTEIN, LIVINGSTON u. a. abgelehnt. Immerhin möchte ich erwähnen, daß KNYPER (41) an Sproßteilen in Wasser unter einer abschließenden Ölschicht beim Vergleich verschiedener Zuckerrohrsorten große Unterschiede fand. Es ist leider nicht gesagt, ob auf Blattfläche oder Blattgewicht bezogen.

SCHEIBE (58) veröffentlichte vor kurzem neue und interessante Untersuchungen über Transpirationsverhältnisse bei Weizen. Er bringt bei seiner Wasserkulturmethode Einzelpflanzen zur Zeit der Bestockung in Wasserkulturgefäße und ergänzt aus einer Spritzflasche den Wasserverlust in den Gläsern. Er findet so allerdings nicht die Transpiration, sondern die Absorption der Versuchspflanzen. SCHEIBE kommt zu dem Ergebnis, daß bei xerophytischen Formen das Verhältnis von Gesamttranspiration zu Wurzelfrischgewicht ein weiteres ist als bei hygrophytischen Formen. Er hofft, eine einfache und exakte Methode für den Pflanzenzüchter zur Prüfung seiner Stämme gefunden haben. Mir scheint die Hoffnung, mit wenig Einzelpflanzen auszukommen, zu rosig, weil oft sehr große individuelle Schwankungen auftreten können.

MAUE (56), dessen Arbeit im gleichen Heft der „Angewandten Botanik“ erschien, fand, daß die individuellen Schwankungen so groß sind, daß er behaupten kann: „Es gibt keine typischen Halme und Blätter.“ „... Es gibt kein absolutes und konstantes Transpirationsvermögen.“ Nach seinen Versuchsergebnissen hat der Pflanzenzüchter nicht die Möglichkeit, durch eine Prüfung am Standort die wichtigsten Varianten herauszufinden.

Es liegt eigentlich nahe, das „Welken“ als Maß der Transpiration verschiedener Kulturpflanzen oder Varietäten zu benutzen. Man mißt den Gewichtsverlust abgeschnittener Blätter, bezogen auf die Zeit oder auf den ursprünglichen Wassergehalt, die Oberfläche oder die Trockensubstanz.

SCHRÖDER (43) verglich die Zeit bis zum Beginn des Absterbens verschiedener Blätter, die er auf einen Tisch mit der Unterseite nach oben gelegt hatte. Er fand zwar große Artunterschiede, aber keine Gesetzmäßigkeiten.

Das Welken gibt natürlich nicht das Maß der wirklichen Transpiration an. Man kann aber versuchen, aus der Fähigkeit der Blätter oder Pflanzen Wasser zurückzuhalten und die Transpiration zu regeln, auf die Dürre-resistenz zu schließen. Es ist bedauerlich,

daß MAUE die Welkemethode bei Weizen nicht durchführen konnte, weil sich die Blätter zusammenrollten.

BURGERSTEIN beschreibt eine große Zahl von Apparaten zum Messen der Transpiration. Die Apparate sind zum Teil selbst-regulierend, wie der von COPELAND, GANONG, LINDSBAUER, TRANSEAU und STONE. Sehr einleuchtend ist eine automatische Waage von BRIGGS und SHANTZ (44), die das durch Transpiration verlorene Wasser mit automatisch zurollenden Stahlkugeln von gleichem Gewicht feststellen.

Ein anderer Weg, die Transpiration von Sproßteilen oder kleineren Pflanzen zu messen, ist der, den besonders FREEMAN und GENEAU DE LAMARTIÈRE (45) benutzen, um das relative Transpirationsvermögen unter gleichen äußeren Bedingungen kennen zu lernen. Die Pflanzen befinden sich in großen Glasglocken, durch die ein kontinuierlicher Luftstrom weht, dessen Feuchtigkeitszunahme mit Hilfe hygroskopischer Salze (CaCl_2 , P_2O_5) oder konzentrierter Schwefelsäure aufgefangen und gewogen werden kann. Vielleicht ist diese Methode berufen, die Unterschiede im Wasserbedarf verschiedener Varietäten zu erfassen, welche andere größere Methoden zu finden nicht gestatten.

Mehrfach wurde auch der Farbumschlag von Metallsalzen bei Wasseraufnahme zur Messung der Transpiration benutzt. MERGET benutzte Quecksilber- und Palladiumchlorür, GRAFE Jodblei, STAHL (46), KAMERLING (47), RÜBEL und LIVINGSTON benutzten Kobaltchlorür. Die Konzentration der Lösung und die Art des Filterpapiers bestimmen die Empfindlichkeit. Am besten hält man das Kobaltpapier wohl über einem Spiritusflämmchen trocken und griffbereit. Es ist dies handlicher und wirksamer als das Arbeiten mit dem Exsikkator.

Die Kobaltpapierstreifen werden meist zwischen Glimmer- oder Glasplatten auf beide Seiten des Blattes geklemmt. Da ein Druck auf Gramineenblätter mit ausgeprägtem Kiel leicht mechanische Verletzungen zur Folge haben kann, möchte ich das federnde Zelluloid empfehlen. Der Versuch von KAMERLING, die Gewichtszunahme bei normalem Kobaltpapier auf der Feinwaage festzustellen, erfordert ein sehr schnelles und exaktes Arbeiten, weil in trockener Luft rasch Gewichtsverluste eintreten, sei es auf dem Wege zur Feinwaage, sei es auf der Waage selbst.

Schwierig ist auch bei der Kobaltprobe, den Farbumschlag bzw. die Farbtönung zu bestimmen. Ein Standardstreifen des

Kobaltpapiers, der dicht über eine Wasserfläche gespannt ist, läßt noch eine subjektive Beurteilung der Messung zu. Es ist zu begrüßen, daß LIVINGSTON (52) die Methode verfeinerte, indem er zwei unveränderliche Standardpapiere mit dem Kobaltpapier zusammen benutzt.

Die Infiltrationsmethode, die zuerst MOLISCH (50) veröffentlichte, sagt eigentlich nichts über die Transpiration direkt aus, sondern gibt nur über die Öffnungsweite der Spaltöffnungen Aufschluß. Es sind nacheinander eine ganze Anzahl Flüssigkeiten und Mischungen bekanntgeworden, die eine gute Abstufung der Infiltration erkennen lassen. Meist wird bei Orientierungsversuchen Alkohol genügen. Bei den Gramineenblättern kann man eine rasche Ausbreitung der Infiltration in der Längsrichtung beobachten. Die Sklerenchymstränge bilden für eine seitliche Ausbreitung der infiltrierten Flüssigkeit ein Hindernis, ähnlich wie man es bei der Ausbreitung der Rostpilze vermuten muß. Ob die Infiltrationsmethode aber geeignet ist, Unterschiede im Wasserhaushalt von Varietäten zu ermitteln, ist fraglich.

Die Kollodiummethode von BUSCALIONI-POLLACCI gestattet Zahl und Weite der Stomata leicht und zuverlässig unter dem Mikroskop zu beobachten, leichter als dies bei der Alkoholfixiermethode von LLOYD (51) möglich ist. Durch den aus den Spaltöffnungen austretenden Wasserdampf wird ein aufgestrichenes Kollodiumhäutchen über den Spaltöffnungen getrübt.

Bei allen Transpirationsmessungen muß man beachten, daß die umgebenden Witterungsfaktoren, Wind, Temperatur, Sonnenstrahlung usw. die Luftfeuchtigkeit stark beeinflussen und damit auch die Transpiration der Versuchspflanzen.

Als Vergleichsmaßstab scheinen besonders zwei Apparate geeignet zu sein, das Psychrometer, das den Temperaturunterschied eines trockenen und eines feucht gehaltenen Thermometers angibt, und das Atmometer, das die Verdunstung einer freien Wasserfläche angibt, und zwar am gleichen Ort wie die Pflanze. Der Versuch, die freie Wasserfläche zu ersetzen, sei es durch eine verdunstende Tonzelle oder Filterpapier, erscheint mangelhaft, weil solche Evaporimeter je nach dem Material verschieden funktionieren können und nicht so vergleichbar sind wie eine Wasserfläche. Sie hätten den Vorteil, daß sie der Art der Wasserverdunstung beim Blatt mehr gleichkommen. Nach WALTER (1) S. 51 hat besonders JEFFREY festgestellt, daß die Verdunstung einer Blattfläche immer

kleiner ist als die der gleichen Wasserfläche. Die Summe der Verdunstung vieler kleiner Flächen oder Spalten ist größer als die einer gleich großen Gesamfläche. Nicht die Fläche, der Durchmesser kleiner Flächen bestimmt die Transpirationsmenge. So kann gegebenenfalls eine Pflanze mit vielen kleinen Spalten mehr transpirieren, als eine mit einer geringeren Zahl größerer Spaltöffnungen, nie aber mehr als eine gleich große Wasserfläche. Man nimmt an, daß sich bei geringer Luftbewegung über der verdunstenden Fläche eine Dampfkuppe bildet, die die Transpiration hindert oder puffert. Dann ist nach WALTER (1) S. 51 die größere Verdunstung eines multiperforaten Septums verhindert. WALTER bringt an Hand einiger Kurven nach KNIGHT die Meinung, daß weniger die Spaltöffnungen die Transpiration regulieren, als der Wassergehalt der Pflanze, da die Schließzellen in erster Linie auf Belichtungsänderungen reagieren. Damit wäre die Hoffnung aller derer zuschanden, die aus der Untersuchung von Spaltöffnungen Unterschiede im Wasserbedarf der Sorten zu finden hoffen.

Wir wissen aber, daß Turgorschwankungen den Mechanismus der Schließzellen in Betrieb setzen. Diese Meinung WALTERS und alle die amerikanischen Auffassungen über das „incipient drying“ scheinen doch noch recht hypothetisch zu sein.

Ein gewisses Übereinstimmen von Transpiration der Pflanzen und Evaporation bei toten Körpern ist nicht zu leugnen.

WALTER S. 58 sagt in Übereinstimmung mit BURGERSTEIN: „Für die Beurteilung des Wetters in bezug auf die Transpiration während einer ganzen Vegetationsperiode dürfte somit auch schon der Einfachheit halber die Psychrometerdifferenz die besten Anhaltspunkte geben.“

Bezugssysteme

Eine wichtige Frage ist auch für alle Transpirationsmessungen, ob man auf Fläche oder Gewicht Bezug nehmen soll. Bei der Kobaltmethode und bei allen Stomata-Beobachtungen ist natürlich die Fläche maßgebend. Bei Welkeversuchen und bei allen Wägungen kommt man in Versuchung, auf das Frisch- oder Trockengewicht zu beziehen, besonders wenn man Unterschiede an gleichartigen Blättern von verschiedenen Varietäten feststellen will und keine erheblichen Gewebs- und Volumenunterschiede voraussetzen muß.

Aus den Hauptergebnissen einer umfangreichen Arbeit von BRIGGS und SHANTZ (53) ist hervorzuheben, „daß die Transpiration

für die Einheit der Pflanzenoberfläche weniger schwankte als die Transpiration für die Einheit des Trockensubstanzgewichtes“.

Man wird gut tun, bei verschiedenen Pflanzentypen auf gleiches Volumen zu reduzieren, auf gleiche Oberfläche, wenn man sie zur Anatomie in Beziehung bringt. Nach WALTER (1) S. 41 ist „eine Reduktion der Transpiration auf eine Flächeneinheit, z. B. 1 qdcm und ein Vergleich der so gewonnenen Transpirationswerte der einzelnen Pflanzen nicht zulässig“. „... Da eine Reduktion der Transpirationswerte auf das Trockengewicht oder den Wassergehalt mir ebensowenig zweckmäßig erscheint, so wird m. E. eine Reduktion auf die lebende Masse, also auf das Frischgewicht der transpirierenden Pflanzen noch die günstigsten Resultate ergeben.“

Die Fülle des vorliegenden Materials und die große Vielseitigkeit des Problems des Wasserhaushaltes veranlaßten mich, der Übersicht über die vorhandene einschlägige Literatur einen so breiten Raum einzuräumen. Möchten die folgenden Versuche zur Kenntnis des Wasserhaushaltes der Kulturpflanzen dazu beitragen, daß die praktische Pflanzenzüchtung Mittel in die Hand bekommt, sich betreffs der Wasseransprüche von Zuchtstämmen zu vergewissern und Sorten zu schaffen, die auch unter schwierigen Verhältnissen den Bedarf an Getreide decken können.

B. Eigene Versuche

Ziel meiner experimentellen Arbeiten war, zuverlässige Methoden zu finden und auszubauen, die es ermöglichen, den Wasserhaushalt der Getreidesorten zu erforschen und zu vergleichen. Als Versuchsobjekt wurden verschiedene Haferzuchtsorten gewählt, die nach den bisherigen Erfahrungen sehr verschiedene Ansprüche in der Wasserversorgung stellen.

Vegetationsversuche mit Haferkeimlingspflänzchen

(Gewichtsmäßige Feststellung der Wasserverluste und der Trockensubstanz)

Zunächst sollte versucht werden, einen Zusammenhang zu finden zwischen dem Wasserbedarf im Jugendstadium und dem Wasserverbrauch von Haferpflanzen in der ganzen Vegetationszeit. Ich habe einerseits Versuche in Glasschalen mit je 300 g Sand angestellt, die nach etwa 14 Tagen abgeschlossen wurden und andererseits Versuche in MITSCHERLICHschen Gefäßen bis zur Reife durchgeführt.

Die erstgenannten Versuche wurden in Glasschalen von 10 cm Durchmesser und 5 cm Höhe ausgeführt. Der gewaschene grobe

Quarzsand hatte eine maximale Wasserkapazität von 17,3 Gew.-%. Da ich die Wasserverdunstung aus dem Sand neben der Transpiration der jungen Pflanzen mitwägen und ergänzen mußte, versuchte ich, die Verdunstung des Bodens für alle Gefäße möglichst gleich zu gestalten. Eine Aufstellung der 60 Gefäße in Rechteckanordnung ergab bei viermaligem Wägen eine so starke Randwirkung, daß ich den Gefäßen eine Anordnung in Kreisform gab, die diesen Fehler vermeidet. Die nachfolgende Tabelle I soll zeigen, wie infolge einer Dampfkuppe die Verdunstung der äußeren Gefäße bedeutend größer ist als die der in der Mitte stehenden.

Tabelle I

Feststellung der Bodenverdunstung

Anordnung der Schalen wie in der Tabelle dargestellt. Es zeigt sich die größte Verdunstung bei den außenstehenden Schalen (Randwirkung)

Verluste in g 2. 3. 16 ³⁰ h — 3. 3. 9 ³⁰ h						vom 3. 3. 9 ³⁰ h — 3. 3. 16 ³⁰ h					
4.39	3.70	4.50	4.30	5.50	5.49	1.54	1.52	1.52	1.44	1.50	1.60
4.16	3.80	3.96	4.00	4.06	4.95	1.46	1.46	1.26	1.29	1.46	1.35
4.00	3.80	3.96	4.00	4.06	4.95	1.54	1.30	1.40	1.30	1.30	1.36
3.96	3.66	3.55	3.80	3.96	4.81	1.50	1.24	1.39	1.25	1.30	1.45
3.74	3.80	3.85	3.94	4.10	4.65	1.40	1.22	1.35	1.29	1.28	1.30
3.78	3.70	3.65	3.90	4.00	4.90	1.54	1.25	1.40	1.30	1.31	1.30
3.55	3.85	3.50	3.70	4.30	4.75	1.40	1.20	1.40	1.25	1.32	1.28
4.00	3.96	3.90	3.89	4.15	5.00	1.50	1.24	1.35	1.30	1.30	1.50
4.04	3.98	3.90	3.69	4.45	5.10	1.54	1.40	1.39	1.35	1.33	1.45
4.44	4.55	4.60	4.30	4.65	5.65	1.74	1.46	1.51	1.40	1.45	1.50
vom 3. 3. 16 ³⁰ h — 4. 3. 9 ³⁰ h						vom 4. 3. 9 ³⁰ h — 4. 3. 16 ³⁰ h					
4.66	4.45	4.43	4.70	4.88	5.01	1.74	1.30	1.38	1.41	1.60	1.52
4.50	4.33	4.18	4.31	4.35	4.90	1.56	1.25	1.25	1.33	1.41	1.54
4.44	4.20	4.22	4.12	4.33	4.55	1.52	1.20	1.24	1.15	1.30	1.35
4.30	4.00	4.10	4.10	4.22	4.85	1.60	1.24	1.40	1.24	1.31	1.33
4.28	3.98	4.00	4.15	4.10	4.47	1.50	1.17	1.35	1.20	1.30	1.50
4.45	4.09	3.98	4.21	4.23	4.53	1.54	1.30	1.38	1.18	1.52	1.55
4.42	4.20	4.52	4.31	4.30	4.75	1.62	1.20	1.24	1.20	1.48	1.50
4.40	4.18	4.35	4.45	4.25	4.83	1.55	1.35	1.40	1.25	1.34	1.56
4.62	4.40	4.32	4.25	4.30	4.80	1.72	1.45	1.43	1.25	1.20	1.63
4.94	5.00	5.06	5.20	5.05	5.22	1.70	1.51	1.44	1.42	1.54	1.69

Da die jungen Pflanzen nicht hungern, nur dursten sollten, wurde dem lufttrockenen Sand in allen Gefäßen eine gleiche Menge Nährlösung nach TOTTINGHAM¹⁾ zugesetzt wie folgt:

0,0094 g Mol im Ltr. KNO ₃	= 0.950 g	} in 1000 g H ₂ O
0,0130 g " " " KH ₂ PO ₄	= 1.770 g	
0,0144 g " " " Ca(NO ₃) ₂	= 2.363 g	
0,0144 g " " " MgSO ₄	= 1.734 g	

¹⁾ s. Note S. 316.

Es wurden je 20 Gefäße angesetzt, deren Sand mit 40%, 60% und 80% der maximalen Wasserkapazität gesättigt war. Die durch Verdunstung des Bodens und Transpiration der Pflanzen entstandenen Verluste wurden zweimal täglich ersetzt. Nach 17 Tagen wurde der Versuch abgebrochen, weil die Pflanzen etwas geil und gelbspitzig wurden.

Oberirdische und unterirdische Teile wurden vom Kornrest getrennt und jedes einzeln auf Trockensubstanz untersucht. Der Wurzelzopf ließ sich im stehenden Wasser leicht vom groben Sande befreien. Es wurden folgende Sorten verwendet, die bei allen Versuchen und in allen Tabellen und Kurven der Arbeit mit der gleichen Nummer angeführt werden.

- Sorte 1 = Strubes Neuzüchtung
- „ 2 = Hohenheimer HA 5
- „ 3 = Edlers Göttinger
- „ 4 = v. Kalbens Vienauer
- „ 5 = Friedrichswerther Berg
- „ 6 = Kraftts rhein. Gelb
- „ 7 = Kirsches Gelb
- „ 8 = Lüneburger Kley (Meyer-Bornsen)
- „ 9 = Beseler II
- „ 10 = F. v. Lochows Gelbhafer f. a. B.

Adventivwurzeln zeigten sich am 17. Tage erst bei v. KALBENS Vienauer Hafer, KIRSCHES und v. LOCHOWS Gelbhafer. In der folgenden Tabelle soll die Trockensubstanz der oberirdischen und unterirdischen Teile von je 20 Keimlingspflänzchen, deren Verhältnis zueinander und das Verhältnis der oberirdischen Masse zum absoluten Wasserverbrauch angeführt werden, d. h. die Menge Wasser, die zur Bildung von 1 g Trockensubstanz der grünen Teile nötig war, als relativer Wasserverbrauch bezeichnet.

Es zeigt sich, daß bei einer Sättigung des Sandes mit 80% der maximalen Wasserkapazität alle zehn Sorten in diesem Jugendstadium relativ eine geringere Menge Wurzeln ausgebildet haben als bei 40% und 60% der Sättigung. Es ist aber auch zu beobachten, daß erhebliche Sortenunterschiede bestehen im Verhältnis der unterirdischen Teile zu den oberirdischen. v. KALBENS Vienauer, KIRSCHES und v. LOCHOWS Gelbhafer hatten nur relativ wenig Wurzeln in allen Feuchtigkeitsklassen gebildet, besonders viel der Göttinger und Friedrichswerther Berghafer. Es steht dies im Gegensatz zu den Befunden von OPITZ und SCHNEIDER.

Auch im relativen Wasserverbrauch ist ein Unterschied der Sorten zu beobachten, obgleich durch die Bodenverdunstung hier

¹⁾ s. BENECKE-JOST (2) S. 137.

manches verdeckt sein muß. Die frühreifen Sorten, Hohenheimer (2) und Vienaer (4) Hafer haben schon in der Jugend einen Vorsprung in der Entwicklung des Sprosses und zeigen einen geringen relativen Wasserverbrauch. Sehr groß ist der relative Wasserverbrauch beim Göttinger, Friedrichswerther und KRAFFTS rhein. Gelbhafer. Die beiden ersteren Sorten haben ihre Kraft zuerst für eine stärkere Wurzelbildung verwendet.

Tabelle II
Vegetationsversuch (12 Tage, je 20 Pflanzen)

Sorte Nr.	Sättigung der Wasser- kapazität %	oberirdische Trocken- substanz g	unter- irdische Trocken- substanz g	unterirdisch oberirdisch im Ver- hältnis 1 : x	absoluter Wasser- verbrauch g	relativer Wasser- verbrauch g
1	40	0.2543	0.1300	1.9	82.63	325
	60	0.2711	0.1534	1.8	94.09	347
	80	0.3074	0.0871	3.5	99.50	324
2	40	0.3259	0.1130	2.9	83.04	255
	60	0.3731	0.1596	2.4	100.17	268
	80	0.3634	0.0999	3.6	118.63	326
3	40	0.2217	0.1162	1.9	84.46	381
	60	0.2683	0.1301	2.1	92.28	344
	80	0.2648	0.1068	2.5	99.82	377
4	40	0.2662	0.1134	2.3	81.19	305
	60	0.2741	0.1156	2.4	93.85	342
	80	0.2937	0.0650	4.5	104.19	355
5	40	0.2356	0.1107	2.1	82.47	350
	60	0.2706	0.1204	2.2	95.78	354
	80	0.2656	0.1254	2.1	100.23	377
6	40	0.2274	0.1046	2.2	82.31	362
	60	0.2316	0.0922	2.5	92.58	400
	80	0.2463	0.0780	3.2	101.10	410
7	40	0.2720	0.0836	3.2	80.40	296
	60	0.2711	0.1041	2.6	92.76	342
	80	0.2650	0.0621	4.3	99.49	375
8	40	0.2536	0.1087	2.3	82.50	325
	60	0.2795	0.1193	2.3	93.04	333
	80	0.2373	0.0722	3.3	96.14	405
9	40	0.2512	0.1125	2.2	83.74	333
	60	0.3015	0.1437	2.1	95.51	317
	80	0.2898	0.1048	2.8	102.91	355
10	40	0.2643	0.0934	2.8	83.96	318
	60	0.2988	0.1200	2.5	101.05	338
	80	0.2793	0.0757	3.7	105.11	376

Vegetationsversuche bis zur Reife

Um einen Überblick über den absoluten und relativen Wasserverbrauch einiger Hafersorten zu gewinnen, wurden Vegetationsversuche bis zur Reife durchgeführt. Ich benutzte fünf typische Sorten:

Edlers Göttinger (3)	} als feuchtigkeitsliebende Sorten
Beseler II (9)	
v. Kalbens Vienauer (4)	} als anspruchslosere Sorten betrücks der Feuchtigkeit.
Krafft's rhein. Gelbhafer (6)	
v. Lochows Gelbhafer (10)	

Aus fünf Teilen eines groben, gewaschenen Quarzsandes und einem Teil Hohenbockaer Glassand stellte ich ein inniges Gemisch her, dessen wasserfassende Kraft 20,5 Gewichtsprozent betrug. Vor dem Füllen mit dem Sand wurden die Gefäße mit Kieselsteinen, die vorher mit Schwefelsäure gekocht und gewaschen waren, auf gleiche Tara gebracht. Zur Verhinderung des Durchrieselns von Sand wurde der Schlitz am Boden der MITSCHERLICH-Gefäße mit einem Streifen Watte bedeckt. Je 7,5 kg lufttrockener Sand wurden mit zwei Nährlösungen gut vermischt, deren eine in 200 g Wasser 4 g $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$ enthielt, die andere in 200 g H_2O , 2 g KSO_4 , 1 g KNO_3 , 1 g $(\text{NH}_4)\text{NO}_3$, $\frac{1}{2}$ g NaCl und eine Spur FeCl_3 . Nach dem Füllen eines jeden Gefäßes wurden Hände und Geräte gesäubert, um einen Fehler durch ungleiche Nährstoffgabe zu vermeiden.

Die Gefäße wurden mit dem so gleichmäßig gedüngten und angefeuchteten Sand möglichst gleichartig gefüllt und dann in 20 Gefäßen der Sand mit Leitungswasser auf eine Sättigung von 40%, 60% und 80% der maximalen Wasserkapazität gebracht. Es wurde mit dreifacher Wiederholung gearbeitet.

Am 30. 4. 26 wurden je Gefäß zwanzig kräftige Haferkeime gepflanzt, die gerade die Keimscheide gesprengt hatten. Ich pflanzte, anstatt zu säen, um einen möglichst gleichmäßigen Bestand zu erhalten. Die weitere Entwicklung war eine sehr gute und gleichmäßige.

Der Wasserverlust der Gefäße durch Bodenverdunstung und Transpiration der Pflänzchen wurde täglich ergänzt. Da die Pflanzen im Laufe der Entwicklung ein erhebliches Eigengewicht erlangten, und dies nicht auf Kosten des verfügbaren Wasservorrates gehen sollte, wurden jede Woche 4 mal 5 Pflanzen, von denen je 2 mal 5 den stärksten und schwächsten Pflanzen des Versuches gleichkamen, gewogen. Jede Woche wurde allen Gefäßen ein gleich-

mäßiger, durchschnittlicher Gewichtszuschlag gegeben, dessen Höhe sich in den letzten Wochen vor der Ernte wieder etwas verminderte.

Die Aufstellung der Gefäße erfolgte auf Wagen, die bei trockenem Wetter über Tag in einem durch Drahtgewebe vor Vögeln geschützten Raum, bei Regenwetter und nachts im Gewächshaus des Leipziger Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung standen. Die Gefäße waren an der Außenkante der Wagen aufgestellt, auch wurde ihre Stellung täglich gewechselt, um Fehler durch Rand- bzw. Eckenwirkung zu vermeiden. In der fünften Woche waren erhebliche Unterschiede im Wachstum der verschiedenen Sorten und Feuchtigkeitsklassen zu beobachten. v. KALBENS Vienaer Hafer war in allen Feuchtigkeitsklassen in der Entwicklung voraus. In der trockener gehaltenen Serie (Gefäß 1—5) zeigte sich bei den beiden Gelbhafern eine schwächere Entwicklung, nicht so bei 60 % und 80 % der Sättigung der Wasserkapazität des Sandes, siehe Fig. 1—3.

Nach sechs Wochen trat eine Gelbspitzigkeit der unteren Blätter ein, die wohl auch eine Hemmung im Wachstum mit sich brachte. Eine Folge von Bodensäure konnte es nicht sein, da Untersuchungen mit dem TRENELLSchen Apparat ph 5,9; 6,1; 6,2 ergaben. Auch als Dörrfleckkrankheit konnte ich es nicht ansprechen, da es eine Gelbspitzigkeit war. Meine Vermutung, daß es eine Folge zu großer Nährstoffkonzentration war, wurde widerlegt durch Versuche im folgenden Jahr, die eine ähnliche Gelbspitzigkeit zeigten, obgleich sie Ackererde der Versuchswirtschaft Probstheida ohne Nährstoffzusatz zur Grundlage hatten. Die Bodenreaktion ermittelte mir in liebenswürdiger Weise Herr Assistent KERTSCHER vom Institut für Bodenkunde und Bakteriologie. Sie betrug ph 6,4; 6,5; 6,4. Von anderen Schädigungen blieben die Versuche verschont. Sie schoßten recht kräftig nach 9 Wochen. Nach 14 Wochen wurde die Ernte im Stadium der Gelbreife vorgenommen. Fig. 4 und 5, nach Photographien gezeichnet, zeigt Pflanzen der trockenen und der feuchten Serie kurz vor der Ernte. Die Pflanzen wurden dicht am Boden abgeschnitten, die Wurzeln im Wasser vorsichtig vom Sande befreit und in großen Tüten in einem Trockenschrank ca. 8 Stunden bei 80 Grad C fast völlig wasserfrei gemacht. Die offenen Tüten wurden dann nach dem im Institut üblichen Verfahren¹⁾ in

¹⁾ Vgl. ZADE (61) Erfahrungen mit der neuzeitlichen Sortenversuchsmethode. Beitr. z. Pfl.zucht. 1922.

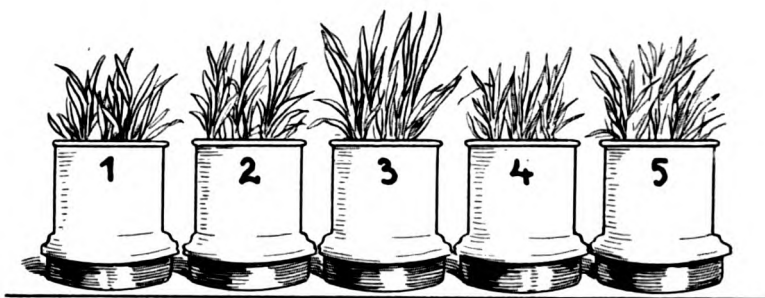


Fig. 1



Fig. 2



Fig. 3

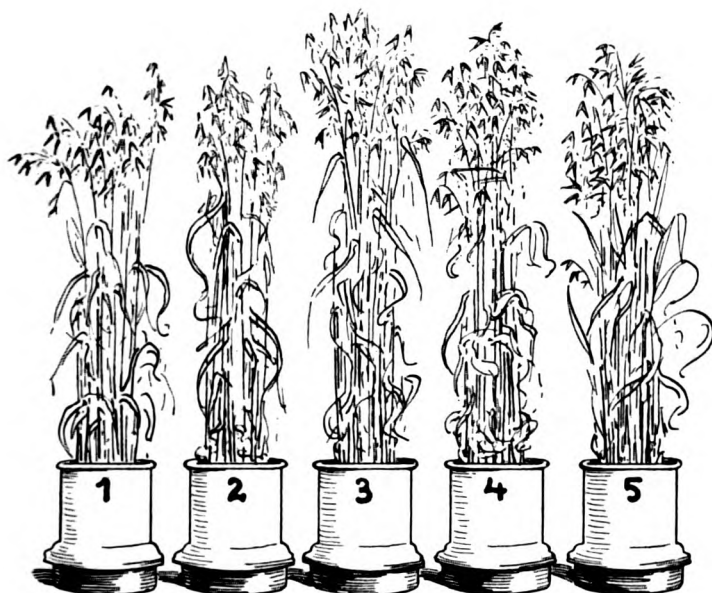


Fig. 4

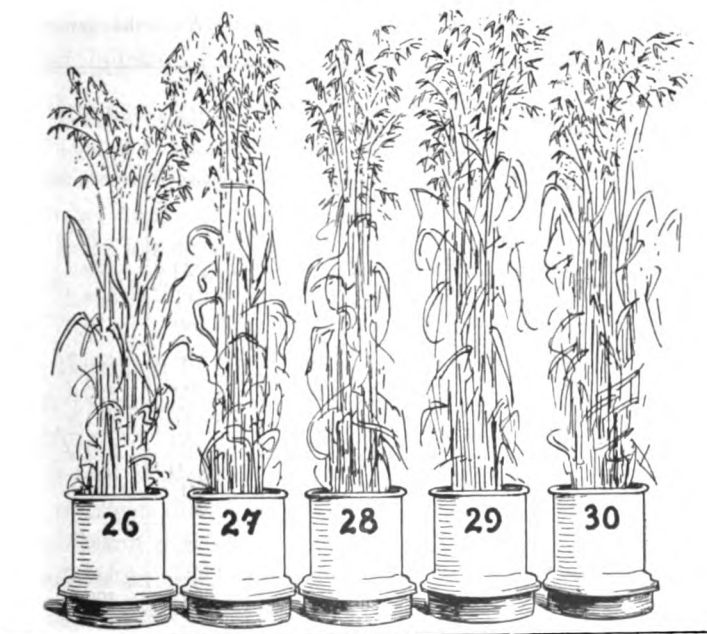


Fig. 5

mäusesicheren Käfigen aufgestellt, wo sie etwa 8 Wochen lang gleichmäßig Luftfeuchtigkeit anziehen konnten. Die lufttrockene Masse wurde gehäckselt und gewogen. Je 6 Stichproben wurden zermahlen und in 5 Stunden bei 110 Grad zur völligen Trockenheit gebracht. Die lufttrockene Masse hatte noch einen Wassergehalt von 12,2 %, bei einem durchschnittlichen Schwankungskoeffizienten von 1,24 %. Das Gewicht der lufttrockenen Masse wurde danach umgerechnet auf Trockensubstanz.

Tabelle III zeigt die Trockensubstanzgewichte der oberirdischen und unterirdischen Teile, deren Verhältnis zueinander, den absoluten Wasserverbrauch und das Verhältnis von oberirdischer und unterirdischer Masse zum Wasserverbrauch, als relativer Wasserverbrauch und relative Wurzeleistung in der Tabelle bezeichnet.

Der Versuch soll nicht als unbedingt beweiskräftig hingestellt werden, weil die Zahl der Wiederholungen nur klein war und weil

Tabelle III

Vegetationsversuch bis zur Reife

Je 60 Pflanzen (3 Gefäße) bei verschiedener Sättigung der Wasserkapazität des Sandes

Sorte Nr.	Sättigung der Wasser- kapazität 0/0	ober- irdische Trocken- substanz g	unter- irdische Trocken- substanz g	unter- irdisch zu ober- irdisch im Verhältnis 1 : x	absoluter Wasser- verbrauch g	relativer Wasser- verbrauch g	relative Wurzel- leistung g
3	40	79,91	13,72	5,8	34 220	428,2	2 496
	60	103,93	20,19	5,1	48 247	464,2	2 389
	80	116,29	22,59	5,1	55 490	476,9	2 454
9	40	76,61	16,48	4,6	34 910	455,7	2 118
	60	106,83	20,61	5,2	47 880	448,2	2 323
	80	107,08	20,43	5,2	51 595	481,9	2 525
4	40	95,12	12,87	7,3	34 515	362,9	2 682
	60	120,48	15,94	7,6	44 775	371,6	2 800
	80	124,93	17,67	7,1	52 710	421,8	2 983
6	40	84,88	12,41	6,8	33 680	396,8	2 714
	60	108,64	19,09	5,7	44 992	414,2	2 357
	80	117,19	22,68	5,2	57 750	492,8	2 547
10	40	81,49	15,20	5,3	35 965	441,3	2 352
	60	117,60	20,17	5,8	48 120	409,2	2 386
	80	126,12	20,66	6,1	57 765	457,2	2 796

die Bodenverdunstung mit in dem absoluten Wasserverbrauch inbegriffen ist. Immerhin verkörpert jede Zahl eine Leistung von 60 Pflanzen.

OPITZ (57) begründet seine Ergebnisse nur auf Untersuchungen von je 6 Einzelpflanzen aus Feldbestand, SCHNEIDER arbeitete mit 6 mal 10 Pflanzen jeder Sorte.

Beachtenswert ist auch bei diesem Versuch, wie beim vorangegangenen, die geringe Wurzelbildung des Vienauer Hafers (4). Das Verhältnis von Wurzel zu Sproß ist bei allen drei Feuchtigkeitsgraden ein viel weiteres, als z. B. bei BESELER II. Auch v. LOCHOW und KRAFFTS rhein. Gelbhafer zeigen ein weites Verhältnis. Es scheinen diese Befunde im Gegensatz zu älteren Befunden zu stehen. OPITZ (57), S. 811, nimmt bei der Zusammenfassung seiner Ergebnisse vorsichtigerweise die Feststellung Satz 3 von der Verallgemeinerung aus.

Infolge seiner geringen Wurzelmasse und seines geringen Wasserverbrauches, auch wegen seines geringen relativen Wasserverbrauches und der hohen relativen Wurzeleistung, fällt der Vienauer Hafer auf. Die beiden Gelbhafer zeigen bei geringer Feuchtigkeit eine Tendenz in gleicher Richtung, doch verwischt sich das Ergebnis bei höherer Feuchtigkeit (80 %).

Im Gegensatz zu v. SEELHORST (60), S. 57, der leider den Namen seiner Haferversuchssorte nicht genannt hat, habe ich bei größerer Bodentrockenheit eine stärkere Wurzelbildung zur Zeit der Reife nur noch bei zwei von fünf Sorten gefunden. Im vorangegangenen Versuch fand ich durchweg bei allen Sorten im Jugendstadium eine geringere Wurzelbildung bei den feucht aufgezogenen Keimlingspflänzchen.

Die Bodenverdunstung wurde bei einer Versuchsserie im Jahre 1927 sehr vermindert, indem ich die Gefäße mit Transparit, einer durchsichtigen, chemisch reinen Zellulosehaut, der Firma WOLFF & Co., Walsrode, überzog und die jungen Pflänzchen durch Spalten wachsen ließ. Vier Glasröhren, 12 cm tief in dem Boden versenkt und durch das Transparit ragend, gestatteten den Wasserersatz der Gefäße so zu verabreichen, daß die Oberfläche nicht verschlammte wurde. So betrug die Bodenverdunstung nur 2—5 g je Tag. Noch vorteilhafter, weil haltbarer, scheint Ölpapiergaze zu sein. Ein Abdichten der Gefäße mit Paraffin oder luftdicht schließenden Fetten

hatte bei allen Tastversuchen nach einigen Tagen den Tod der Pflanzen zur Folge.

Welkeversuche

Es sollte nun versucht werden, eine Methode zu finden, die nicht eine ganze Vegetationszeit in Anspruch nimmt, sondern in verschiedenen Wachstumsperioden einen Schluß auf die Wasseransprüche einer Sorte zuläßt und nicht zeitraubend, aber exakt arbeitet.

Soweit das möglich war, habe ich an demselben Objekt verschiedene Methoden verglichen. Es war immer zu sehen, daß große Schwankungen der Transpiration bestehen, die zum Teil individuelle Eigenart sein mögen, zum Teil auf der großen Zahl der Einflüsse beruhen, sei es Luftfeuchtigkeit und Luftbewegung oder Licht und Wärme, sei es Bodenart oder Bodenfeuchtigkeit.

In der Versuchsstation Probstheida schuf ich mir zuchtgartenmäßig ein möglichst gleichmäßiges Material der zehn verschiedenen Haferzüchtungen. Der Bestand erlebte einen sehr trockenen Maianfang, es fielen vom 1. bis 20. Mai 10,4 mm Regen, und dann einen sehr feuchten Sommer (im Juni 189,5 mm, im Juli 147,6 mm). v. KALBENS Vienauer Hafer stand lange Zeit am besten.

Zuerst wurden Welkeversuche angestellt. Ich benutzte eine Quadrantenwaage der Firma HUGGERSHOFF, Leipzig, mit einem Meßbereich von 1—500 mg. Sie wurde in einem Holzkasten auf Böcken mitten in den Feldparzellen aufgestellt. Glastüren gestatteten das Beobachten der Zeigerwaage im windstillen Raum. Die Blätter kamen sofort nach dem Abschneiden auf die Waage, um das „Frischgewicht“ festzustellen. Die Schnittflächen wurden mit einem Fett verschlossen, das aus einem Gemisch von Paraffin und Paraffinöl zu gleichen Teilen hergestellt war. Die Blätter wurden dicht über dem Bestand an der Spitze aufgehängt. Nach 30 (oder 60) Minuten wurde das „Welkegewicht“ ermittelt. Der Verlust wurde in Prozent des Frischgewichtes ausgedrückt. Die Witterung war von erheblichem Einfluß, aber die Sortenunterschiede waren auch erheblich.

Tabelle IV gibt die Verlustprozente zweier Welkeversuche an, bei denen je ein Blatt von EDLERS Göttinger und von v. KALBENS Vienauer Hafer auf der Waage liegen blieb, so daß alle drei Minuten der Gewichtsverlust festgestellt werden konnte. Der Versuch fand nachmittags von 2—4 Uhr bei schwach bewölktem Himmel statt. Die Psychrometerdifferenz betrug 15,8/13,2.

Die Versuche zeigen, wie sehr es auf kurze Entfernungen und rasches Arbeiten ankommt, da die Verluste sich rasch vermindern. Auch SCHEIBE (58), S. 213, fand, daß bei einem Transport seiner Versuchspflanzen vom Feld zur Waage in fünf Minuten 8—12% Welkeverlust eintrat.

Tabelle IV

Gewichtsverluste durch Welken nach je 3 Minuten

Ein Blatt von Edlers Göttinger Hafer, Frischgewicht: 494 mg

Gewichte		Verluste	
mg		mg	% des Frischgew.
482	nach 3 Minuten =	12	12,95%
466	nach 6 Minuten =	16	
454	nach 9 Minuten =	12	
441	nach 12 Minuten =	13	
430	nach 15 Minuten =	11	
424	nach 18 Minuten =	6	5,27%
417	nach 21 Minuten =	7	
411	nach 24 Minuten =	6	
407	nach 27 Minuten =	4	
404	nach 30 Minuten =	3	

Insgesamt = 90 mg = 18,22% Welkeverlust.

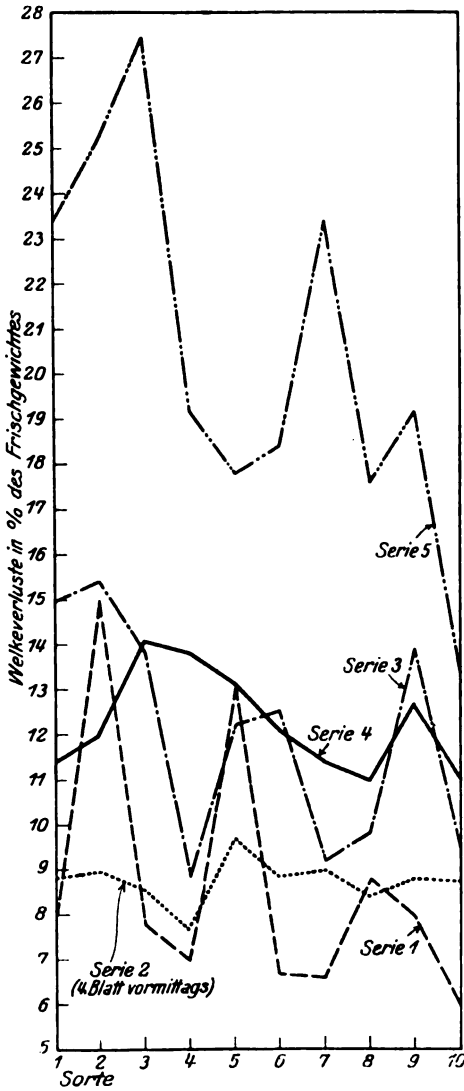
Ein Blatt von v. Kalbens Vienaer Hafer, Frischgewicht: 499 mg

Gewichte		Verluste	
mg		mg	% des Frischgew.
482	nach 3 Minuten =	17	9,22%
471	nach 6 Minuten =	11	
462	nach 9 Minuten =	9	
457	nach 12 Minuten =	5	
453	nach 15 Minuten =	4	
449	nach 18 Minuten =	4	3,41%
444	nach 21 Minuten =	5	
441	nach 24 Minuten =	3	
438	nach 27 Minuten =	3	
436	nach 30 Minuten =	2	

Insgesamt = 63 mg = 12,63% Welkeverlust.

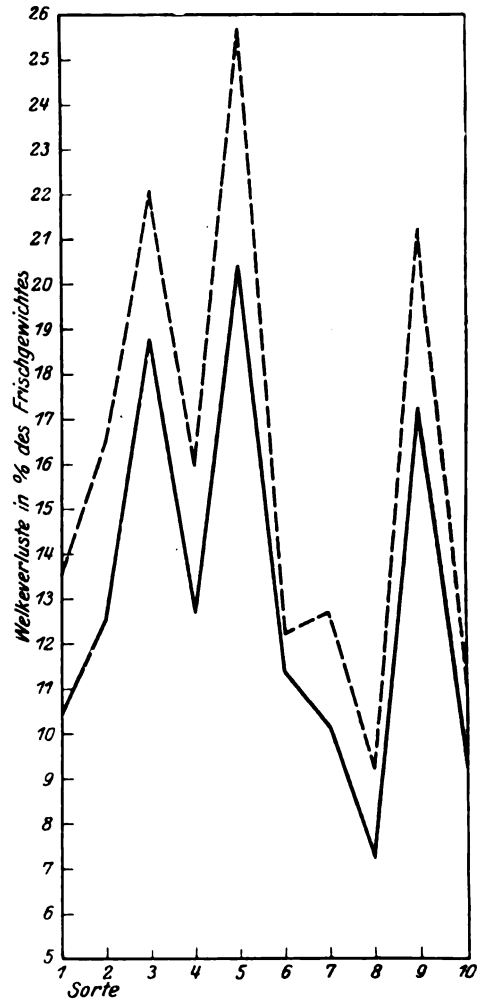
In den folgenden Kurven (Diagr. I—IV) sind die Ergebnisse der Welkeversuche mit Haferblättern dargestellt. Es handelt sich bei jeder Serie bzw. Kurve um je ein Blatt aller zehn Sorten aus gleicher Ansatzhöhe (von unten her gezählt). Die obere (5.) Kurve auf Diagr. I zeigt Welkeversuche nach 60 Minuten in Prozent des Frischgewichtes ausgedrückt. Die unteren vier Kurven (1—4) sind Ergebnisse aus Welkeversuchen mit 30 Minuten Dauer.

Die Versuche mit Serie 1, 3, 4, 5 fanden an verschiedenen klaren Nachmittagen im Mai 1926 von 2—4 Uhr statt. Der Versuch mit



Diagr. I.

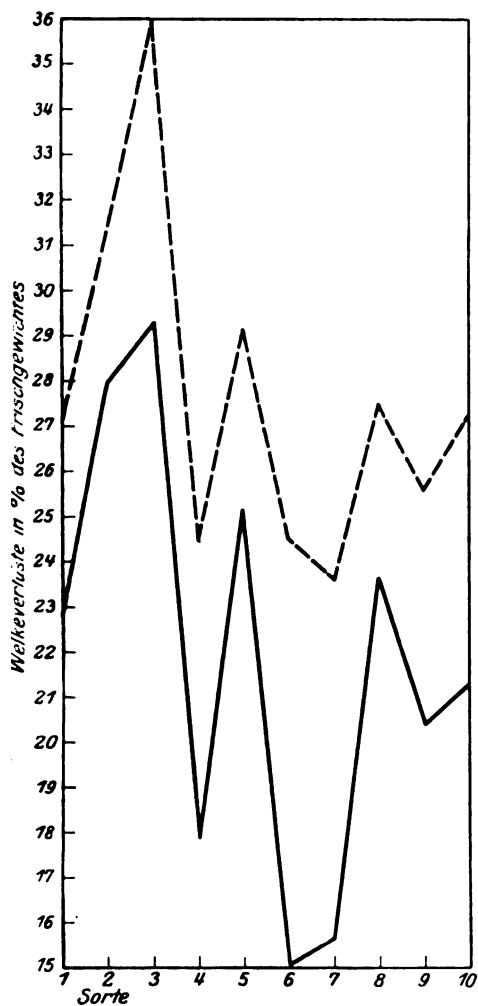
Welkeverluste von Haferblättern.



Diagr. II.

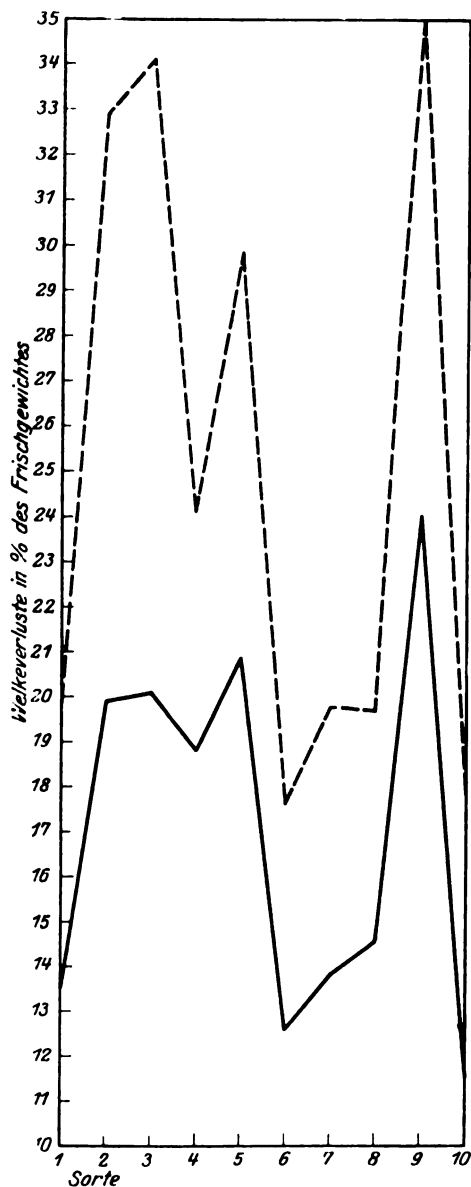
Welkeverluste der gleichen Haferblätter
 nach 30 Minuten: — — —
 nach 60 Minuten: — — —

Serie 2 wurde vormittags von 10—11 Uhr angestellt, und zwar mit den vierten noch nicht voll entwickelten Blättern, während bei der Serie 1 und 3—5 mit dem dritten Blatt gearbeitet wurde. Es sollen im folgenden die Psychrometerdifferenzen zur Zeit der verschiedenen Versuchsserien angeführt werden.



Diagr. III.

Welkeverluste der gleichen Haferblätter
 nach 30 Minuten: —
 nach 60 Minuten: ---



Diagr. IV.

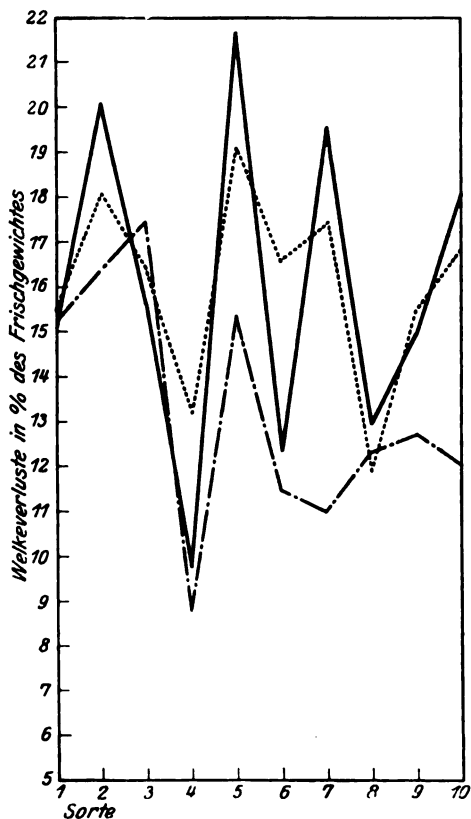
Welkeverluste der gleichen Haferblätter
 nach 30 Minuten: —
 nach 60 Minuten: ---

Diagr. 1	Serie 1	2	3	4	5
	15,6/13,8	14,8/13,7	13,6/10,8	13,9/12,8	15,6/13,8
	Diagr.	II	III	IV	
		15,6/13,8	20,2/15,5	19,1/14,5	

Die Kurven zeigen keine befriedigende Übereinstimmung. Man findet nur die Tendenz einer großen Zurückhaltungskraft bei den Blättern des v. KALBENS Vienauer und v. LOCHOWS Gelbhafer (10). Die Blätter des Göttinger (3) und des Friedrichswerther Hafers (5) wie des Beseler II (9) verlieren einen erheblich größeren Prozentsatz ihres Frischgewichtes in der gleichen Zeit. Es ist möglich, daß diese „grobzelligen“ Sorten nicht so schnell und so vollkommen ihre Spaltöffnungen schließen können. Die Diagr. II—IV zeigen die Kurven von Welkeverlusten, die die gleichen Blätter nach 30' und 60' erlitten. Es ist wertvoll zu erkennen, daß nach einstündigem Welken die extremen Sorten besonders hohe Verluste erlitten haben. Es treten allerdings manchmal große individuelle Schwankungen auf, so muß es verblüffen, wenn der Beseler II (9) Diagr. III nur wenig, auf Diagr. IV einen recht großen Welkeverlust erlitten hat. Es wäre möglich, daß hier das Alter des Blattes von Wirkung war. Bei allen Serien wurden gleichwertige Blätter der verschiedenen Sorten verwendet, d. h. Blätter der gleichen Ansatzhöhe am Hauptstalm.

Um auch die allgemeine Entwicklung der Pflanzen bei den Welkeverlusten zu prüfen, unterzog ich zweimal je 10 ganze Pflanzen ohne Wurzel und einmal je 1 Durchschnittspflanze aller 10 Sorten einer Welkeprobe. Ich benutzte dazu eine technische Feinwaage. Einesteils um größere Gegensätze zu erreichen, andern-teils um mit der Zeit auszukommen, ließ ich in diesem Falle 60 Minuten lang welken. Auch bei diesen Versuchen verlor der Friedrichswerther Berghafer am meisten von allen Sorten. Der Vienauer Hafer, wie auch der Lüneburger Kleyhafer (8) und KRAFFTS rhein. Gelbhafer (6) zeichneten sich durch geringere Verluste aus. Die Stellung von v. LOCHOWS (10) und KIRSCHES (7) Gelbhafer, wie die des BESELER II (9) und des Göttinger Hafers (3) muß etwas verblüffen. Ich möchte dafür der verschieden starken Bestockung bei den einzelnen Sorten die Schuld geben. Die zahlreicheren Nebenhalme bei v. LOCHOWS Gelbhafer und die sehr massigen Halme des BESELER II und des Göttinger Hafers können hier nicht ohne Wirkung bleiben, weil die Welkeverluste ja auf

„Frischgewicht“ bezogen sind. Die Ergebnisse der Welkeversuche mit ganzen Pflanzen zeigt Diagr. V.



Diagr. V.

Welkeverluste von Haferpflanzen.

je 1 Pfl. — · — · —

je 10 Pfl. —————

Eine quantitative Methode zur Feststellung der tatsächlich transpirierten Wassermenge (Blättchenmethode)

In Anlehnung an die Kobaltmethode und die Feststellung KAMMERLINGS, nach welcher das transpirierte Wasser auch mit den Kobaltpapierstreifen gewichtmäßig zu erfassen sei, arbeitete ich eine Methode aus, die im folgenden kurz als „Blättchenmethode“ bezeichnet werden soll.

Zwei Streifen eines weichen, weißen Löschpapiers von 10 cm Länge und 4 cm Breite wurden in einer leicht federnden Kapsel

über und unter einer Blattspreite der lebenden Haferpflanze eingeschlossen. Die Kapseln stellte ich aus zwei Zelluloidplatten von 10 cm Länge, 5 cm Breite und 0,3 mm Dicke her, indem ich sie an der einen Seite mit Aceton zusammenklebte. Die andere Seite der Kapseln wurde mit breiten Büroklammern geschlossen, die an beliebig langen Blumenstäben mit konisch zugespitztem Ende aufgesteckt werden konnten. Die Stäbe gestatteten, allen verglichenen Blättern die gleiche Lage zur Sonne zu geben. Die Kapseln wurden an die Blätter des Haupthalms angelegt.

Die „Blättchen“, d. h. die Löschpapierstreifen, wurden kurz vor dem Auflegen und sofort nach dem Abnehmen von den Haferblattspreiten auf der Quadrantenwaage in dem S. 324 erwähnten Kasten gewogen, desgleichen das Blattstück, welches eingeschlossen war. So wurde es möglich, die Gewichtszunahme der Blättchen auf das Pflanzengewicht zu beziehen, von dem die transpirierte Wassermenge ausging.

Um die Menge des transpirierten Wassers auch auf die transpirierende Fläche beziehen zu können, überwalzte ich die

Tabelle V

Blättchenmethode und Welkemethode an demselben Objekt

Spitzenblätter vom schossenden Haupthalm

Atmometerverlust pro Stunde und 100 qcm = 3,87 g

Relative Luftfeuchtigkeit zu Beginn: 58%

„ „ am Ende: 59%

Sorte Nr.	Transpira- tion der Blatt- oberseite mg	Transpira- tion der Blatt- unterseite mg	Transpira- tion in % des Blatt- gewicht- tes, Blatt- oberseite %	Transpira- tion in % des Blatt- gewicht- tes, Blatt- unterseite %	Gesamt- transpira- tion in 60 Minu- ten in % des Blatt- gewichtes %	Blatt- ge- wicht (frisch) mg	Wel- ke- verlust mg	Welke- verlust in % des Blatt- gewichtes %
4	40	22	9,4	5,2	14,6	424	74	17,5
5	36	13	8,8	3,2	12	409	91	22,2
6	24,5	14	8,7	5	13,7	282	77	27,3
4	24,5	13	9,6	5,1	14,7	255	51	20
5	35	16	8,3	3,8	12,1	420	89	21,3
6	36,5	19	9,4	4,9	14,3	389	88	22,6
4	23,5	21	10,3	9,2	19,5	228		
5	38	27,5	7,7	5,6	13,3	495		
6	27,5	13	9	4,3	13,3	304		

Tabelle VI

Blättchenmethode und Welkemethode an demselben Objekt

Spitzenblätter vom schossenden Haupthalm

Atmometerverlust pro Stunde und 100 qem = 4,52 g

Relative Luftfeuchtigkeit zu Beginn der Versuche: 62⁰/₀" " am Ende " " : 61⁰/₀

Sorte Nr.	Transpira- tion der Blatt- oberseite mg	Transpira- tion der Blatt- unterseite mg	Transpira- tion in ‰ des Blatt- gewicht- es, Blatt- oberseite ‰	Transpira- tion in ‰ des Blatt- gewicht- es, Blatt- unterseite ‰	Gesamt- transpira- tion in 60 Minu- ten in ‰ des Blatt- gewichtes ‰	Blatt- ge- wicht (frisch) mg	Wel- ke- verlust mg	Welke- verlust in ‰ des Blatt- gewichtes ‰
4	29	23	9,7	7,7	17,4	299	92	30,8
5	38	32	8,7	7,4	16,1	435	127	29,2
6	24,5	23,5	8,7	8,3	17	283	104	36,7
4	23,5	18	10,9	8,4	19,3	215	63	29,3
5	49	46	9,5	8,9	18,4	515	152	29,5
6	29	27	9,7	9	18,7	300	112	37,3
4	25	19	11,2	8,4	19,6	224	44	19,7
5	44	29,5	7,6	5,8	13,4	508	122	24
6	37,5	20	13,9	7,4	21,3	270	69	25,5

Blattstücke mittels einer kleinen Gummiwalze mit Druckerschwärze und strich die Negative auf ein geeignetes Papier, wo ihre Fläche auch später noch mit dem Polarplanimeter oder durchsichtigem Millimeterpapier meßbar bleiben.

Es wurden v. KALBENS Vienauer Hafer (4), Friedrichswerther Berghafer (5) und KRAFFTS rhein. Gelbhafer (6) verglichen. Soweit die Blätter nicht durch einen Farbüberzug verdorben waren, wurden sie, nachdem die Schnittflächen mit Fett verschlossen waren, noch 60 Minuten lang einer Welkeprobe unterzogen. Vgl. Tabelle V—IX.

Die Versuche ergaben, daß von der Blattoberseite der Haferblätter bedeutend mehr Wasser abgegeben wurde als von der Blattunterseite, auch dann, wenn die Unterseite der Kapseln nach oben gedreht wurde und wenn trüberes Wetter war. Einige Ausnahmen zeigen sich bei den Versuchen mit den zweiten Halmblättern (Tabelle VIII).

Sonderbarerweise ergab sich, daß nach dieser Methode v. KALBENS Vienauer Hafer mehr Wasser abgab als der Friedrichs-

Tabelle VII

Blättchenmethode und Welkemethode an demselben Objekt

Die drei nacheinander beobachteten Serien wurden an je drei Spitzen- (1.) Blättern.

2. Blättern und 3. Blättern des gleichen Halmes untersucht

Atmometerverlust pro Stunde und 100 qcm = 3,7 g

Relative Luftfeuchtigkeit zu Beginn des Versuches: 63⁰/₀

„ „ am Ende „ „ : 78⁰/₀

Sorte Nr.	Transpira- tion der Blatt- oberseite	Transpira- tion der Blatt- unterseite	Transpira- tion in ⁰ / ₀ des Blatt- gewich- tes, Blatt- oberseite	Transpira- tion in ⁰ / ₀ des Blatt- gewich- tes, Blatt- unterseite	Gesamt- transpira- tion in 60 Minu- ten in ⁰ / ₀ des Blatt- gewichtes	Blatt- ge- wicht (frisch)	Wel- ke- verlust	Welke- verlust in ⁰ / ₀ des Blatt- gewichtes
	mg	mg	⁰ / ₀	⁰ / ₀	⁰ / ₀	mg	mg	⁰ / ₀
4	18	16	13,8	12,3	26,1	130	30	23,1
5	27	25	9,6	8,9	18,5	280	101,5	36,6
6	25	19	14,1	10,7	24,8	177	51,5	29
4	29	20	11,9	8,2	20,1	243	86	35,4
5	22	20	7	6,4	13,4	313	93	29,8
6	24	19	7,8	6,1	13,9	309	81	26,2
4	17	11	8,7	5,6	14,3	196		
5	24	16	6,4	4,3	10,7	372		
6	25	23	8,7	8	16,7	286		

werther Berghafer. Ein Zusammenhang mit den Welkeversuchen war nicht zu finden. Auf die Fläche bezogen, schwankten die Ergebnisse sehr, doch ist auch hier zu beobachten, daß beim Friedrichswerther Berghafer mehrfach die größte Fläche der drei verglichenen Sorten nötig war, um 1 mg Wasser zu transpirieren. Es ist möglich, daß die Derbheit bzw. die Schwere der Versuchsblätter beim Friedrichswerther Berghafer nicht ohne Einfluß war.

Infiltrationsmethode

Weil ich vermutete, daß der lange Einschluß des Blattes bzw. die Verdunklung bei der Blättchenmethode von Einfluß sein könnte, versuchte ich mit Hilfe der Infiltrationsmethode etwas über die Schnelligkeit des Schließzellenmechanismus zu erfahren. Ich fand, daß Alkohol, der in den Mittagsstunden bei heller Sonne wegen der Verengung der Spaltöffnungen nicht infiltrierte, schon nach einem Einschluß von 30 Minuten etwas, nach 40 Minuten

Tabelle VIII

Blättchenmethode, bezogen auf Frischgewicht und Fläche

Atmometerverlust pro Stunde und 100 qcm = 4,84 g
 Relative Luftfeuchtigkeit zu Beginn des Versuches: 62%
 „ „ am Ende „ „ : 85%
 Am 2. Blatt von oben am schossenden Haupthalm

Sorte Nr.	Transpira- tion der Blatt- oberseite mg	Transpira- tion der Blatt- unterseite mg	Transpira- tion in % des Blatt- gewichtes, Blatt- oberseite %	Transpira- tion in % des Blatt- gewichtes, Blatt- unterseite %	Gesamt- transpira- tion in 60 Minuten, in % des Blatt- gewichtes %	Blatt- gewicht (frisch) mg	1 mg Was- ser wurde von x qcm Blatt- fläche trans- spiriert qcm
4	14	20	7,2	10,3	17,5	194	24,31
5	30	29	9,3	9	18,3	323	19,15
6	23	26	8,2	9,3	17,5	279	24,10
4	14	17	8,4	10,2	18,6	167	24,26
5	25,5	22	7,9	6,8	14,7	323	24
6	20	23	7,6	8,7	16,3	263	24,85
4	12	11	6,5	6	12,5	184	37,83
5	20	20	6,2	6,2	12,4	329	30,10
6	24	19	9,3	7,4	16,7	258	25,35

stark infiltrierte. Ein längerer Einschluß der Blätter ist also von großer und unwillkommener Wirkung auf den Öffnungszustand der Spalten. Deshalb scheint mir die Blättchenmethode nicht sehr geeignet, um Unterschiede im Wasserhaushalt von Hafersorten zu erforschen. Ein Einschluß auf kurze Zeit wird aber meist zu geringe Wassermengen erfassen. Auf Grund der Welkeversuchsergebnisse möchte ich auch vermuten, daß die Schließzellen der einzelnen Sorten verschieden rasch zu reagieren vermögen.

Ich fand, daß am gleichen Tage morgens eine Infiltration von Alkohol sehr gut gelang, und mittags gegen 12 Uhr in der prallen Sonne absolut nicht mehr.

Kobaltmethode

Versuche, die Transpiration bei Hafer mit Hilfe des Farbumschlages des Kobaltchlorürs bei Wasseraufnahme von blau in rot zu ermitteln, stellte ich im Juli 1926 und im Frühjahr 1927

Tabelle IX

Blättchenmethode, bezogen auf Frischgewicht und Fläche

Spitzenblätter vom schossenden Haupthalm

Atmometerverlust pro Stunde und 100 qcm = 4,89 g

Relative Luftfeuchtigkeit zu Beginn des Versuches: 83⁰/₀" " am Ende " " : 78⁰/₀

Sorte Nr.	Transpira- tion der Blatt- oberseite mg	Transpira- tion der Blatt- unterseite mg	Transpira- tion in ‰ des Blatt- gewichtes, Blatt- oberseite ‰	Transpira- tion in ‰ des Blatt- gewichtes, Blatt- unterseite ‰	Gesamt- transpira- tion in 60 Minuten in ‰ des Blatt- gewichtes ‰	Blatt- gewicht (frisch) mg	1 mg Was- ser wurde von x qmm Blatt- fläche tran- spiriert qmm
4	16	14	12	10,5	22,5	133	25,42
5	13	11	8,4	7,1	15,5	155	35
6	22	20	10	9	19	221	22,14
4	15	13	11,2	9,7	20,9	134	25,64
5	18	15	8,4	7	15,4	214	29,85
6	20	16	10,2	8,2	18,4	196	26,68
4	10	9	7,9	7,1	15	127	43,43
6	16,3	14	6,1	5,2	11,3	270	39

an. Ich versuchte zunächst geeignetes Papier und passende Konzentration der Kobaltlösung zu finden. Ich fand, daß dünnes Filtrierpapier, mit dreiprozentiger Lösung getränkt, sich zu rasch verfärbte und entschloß mich für ein lockeres weißes Löschpapier der Firma FLINSCH, Leipzig. und tränkte es mit einer 5%igen Lösung. So erhielt ich einen kräftigeren Farbton. Die 10 cm langen und 1 cm breiten Streifen, die ich mir aus dem im ganzen gefärbten Papier hergestellt hatte, wurden in einem Drahtnetz über einer kleinen Spiritusflamme blau, d. h. trocken gehalten. Die Streifen legte ich auf beide Blattseiten und schloß sie rasch mit der leicht federnden Celluloidklemme ein, die schon oben beschrieben worden ist. Der Farbumschlag, der an Hand kleiner, mit Berlinerblau und Fuchsin gefärbter Standardstreifen ziemlich scharf zu erfassen war, wurde mit einer Dezimalminuten-Stoppuhr gemessen.

Es ergab sich, daß v. KALBENS Vienaer Hafer in vielen Fällen mehr Zeit zum Verfärben des Kobaltpapierstreifens brauchte als z. B. EOLERS Göttinger Hafer. Ein Einfluß der ver-

schiedenen Bodenfeuchtigkeit auf die Transpiration war mit Hilfe der Kobaltmethode nicht festzustellen. Vgl. Tabelle X.

Tabelle X

Farbenumschlag in Minuten von 2 Kobaltpapierstreifen

auf der $\frac{\text{Blattoberseite}}{\text{Blattunterseite}}$ je eines Blattes

Wetter	Sorte	Farbumschlag in Minuten			
bedeckt, relative Luftfeuch- tigkeit 86%	Göttinger	4,7	7	5,6	5,5
		6,2	14,2	20	18,5
	Beseler II	8,5	5	5,9	
		8	12,5	11	
windigbewölkt, relative Luft- feuchtigkeit 97%	Göttinger	8	5,1	5,9	
		14,2	16,2	18,8	
	Vienauer	8,2	9,1	14	8,1
		17	10,9	9,4	16,5
hell, relative Luft- feuchtigkeit 88%	Göttinger	10,5	11	9,9	12
		20	19,4	20,5	21,8
	Vienauer	8	7,5		
		17	16,2		
pralle Sonne, relative Luft- feuchtigkeit 69%	Göttinger	9,2	9,5		
		15,1	22		
	Rhein. Gelb	10,8	9	7,6	13,7
		22	21,5	15,9	18,8
	Vienauer	8,8	9,4	13,1	9,7
		11,8	18	18,5	14,4
	Göttinger	6,1	3,4	5,6	5,9
		11,8	11,2	9,6	7,1
pralle Sonne, relative Luft- feuchtigkeit 69%	Rhein. Gelb	7,2	6,9	6,6	6,2
		14,5	16	14,5	13,3
	Vienauer	8,5	8,1	12,2	14,5
		17	13,9	14,8	14
	Göttinger	8	10	8,8	7,1
		11,1	11	16,2	14

Das Kobaltpapier verfärbt sich mit scharfen Grenzen am Blattrand. Verletzungen und geknickte Blätter geben sofort rote Streifen. Alle jüngeren Blätter transpirieren in der apikalen Blatthälfte mehr als am Blattgrund. Die älteren und sogar schon absterbende Blätter verfärbten das Kobaltpapier rascher als die jungen, noch nicht ausgewachsenen Blätter. Vgl. Tabelle XI. Es scheint das widersinnig zu sein, weil man vermutet, daß der stärkste Saftstrom nach den wachsenden Blättern geht. Bei den

Tabelle XI

Der Farbumschlag des Kobaltpapiers bei fünf verschiedenen Blättern eines Haupthalmes von v. Kalb's Vienauer Hafer in Minuten

unterstes Blatt	: tot		
2. Blatt von unten: gelbspitzig	in	$\frac{10,2}{20,5}$	Minuten
3. „ „ „ : ausgewachsen	„	$\frac{14,2}{25}$	„
4. „ „ „ : „	„	$\frac{13,7}{24}$	„
5. „ „ „ : noch wachsend	„	$\frac{26,5}{28,2}$	„

jugen Blättern scheint aber die stomatäre Transpiration noch keine große Rolle zu spielen. Es dürfte sich vielleicht lohnen, diese Frage noch näher zu untersuchen. Der stärkste Saftstrom geht in der Richtung des größeren Sättigungsdefizits.

Tabelle XII

Kobaltmethode und Welkemeihode am gleichen Objekt

Sorte	Farbumschlag in Minuten	Welkeverlust		
		Frischgew.	mg	%
4	$\frac{12}{23,3}$	459 mg	11	2,5
4	$\frac{12,5}{25}$	507 „	18	3,7
4	$\frac{21,5}{30}$	499 „	25	5
4	$\frac{22}{32}$	487 „	26	5,3
3	$\frac{22}{33,8}$	766 mg	39	5,1
3	$\frac{23,6}{30}$	616 „	32	5,2
3	$\frac{21}{32}$	649 „	47	7,2
3	$\frac{20}{28,5}$	554 „	39	7

Die Zeit des Verfärbens ist in den Tabellen für die Oberseite und Unterseite des Blattes in Form eines Bruches geschrieben. Die Blattoberseite war in allen geprüften Fällen tätiger als die Unterseite. Auf der Blattoberseite längs der Mitte war eine rasche Färbung des Kobaltpapierstreifens in Form einer roten Linie wahrzunehmen, und zwar besonders bei den Blättern des Göttinger Hafers. Im Gegensatz dazu dauerte die Verfärbung auf der Blattunterseite nahe dem Kiel länger als an Außenteilen des Blattes. Es wird dies mit der Verteilung der aktiven Spaltöffnungen in Zusammenhang stehen. Ein Vergleich der Kobaltmethode mit der Welkemethode (Tabelle XII) mit je vier Blättern von zwei Sorten zeigt die Übereinstimmung der Methoden.

Es erschien wünschenswert, den Farbumschlag des Kobaltchlorürs auszunutzen, um gleichzeitig die ganze Pflanze bzw. deren transpiriertes Wasser einen Kobalt-Lacküberzug verfärben zu lassen. Dazu konnten natürlich nur wasserfreie Lösungsmittel verwendet werden. Ein Überzug mit Kobaltchlorür und Kollodium verfärbte sich zwar, zog aber sehr stark zusammen. Durch liebenswürdige Hilfe des Herrn Prof. SCHEIBER und des Herrn Dr. NOACK im Leipziger Laboratorium für angewandte Chemie konnte ich dort eine große Anzahl Lacküberzüge über Blätter herstellen. Die Aufgabe war lacktechnisch leider nicht zu lösen, weil die Lösungsmittel beim Verdunsten stets den Niederschlag von Luftfeuchtigkeit zur Folge hatten, oder das Kobaltsalz nicht lösten, oder weil das Kobaltsalz die Lacke ausflockte.

Vergleichende Übersicht über die bearbeiteten Methoden

Ein Vergleich der verschiedenen Methoden, die ich verwendet habe, zeigt, daß es auf verschiedenen Wegen durchaus möglich ist, die Unterschiede im Wasserhaushalt der Hafersorten zu erfassen. Es wird freilich nötig sein, bei allen Methoden mit einer großen Zahl Individuen zu arbeiten. Darum halte ich die Hoffnung SCHEIBES (58), S. 275, nicht für berechtigt, der glaubt, daß nach der Wasserkulturmethode zur Prüfung von Sorten durch die Züchter „nur wenige Individuen nötig sind“.

Es ergaben sich folgende Ergebnisse aus den Versuchen:

1. Im Jugendstadium zeigten alle Hafersorten bei großer Bodenfeuchtigkeit eine relativ und absolut geringe Ausbildung der Wurzelmasse, mit Ausnahme des Friedrichswerther Berghafers, der bei 40%, 60% und 80% der

- maximalen Wasserkapazität ein gleiches Verhältnis der unterirdischen zur oberirdischen Substanz produziert hat.
2. Im Jugendstadium bestehen gewichtsmäßig erhebliche Sortenunterschiede im Verhältnis der unterirdischen Substanz zu den oberirdischen Teilen. Die dürreresistenteren Sorten (v. KALBENS Vienauer, v. LOCHOWS Gelbhafer und KIRSCHES Gelbhafer) haben in allen Feuchtigkeitsklassen relativ wenig Wurzeln gebildet, d. h. das Verhältnis war ein weites. Die hygrophilen Sorten zeigten höhere Wurzelgewichte, besonders EDLERS Göttinger und Friedrichswerther Berghafer.
 3. Die frühreiferen Sorten hatten schon in der Jugend einen Vorsprung. Beim Hohenheimer und Vienauer Hafer zeigte sich ein geringer relativer Wasserverbrauch.
 4. Auch zur Reifezeit zeigte v. KALBENS Vienauer, v. LOCHOWS und KRAFFTS rheinischer Gelbhafer nur eine relativ geringe Wurzelbildung, d. h. ein weites Verhältnis der Wurzel- und Sproßtrockensubstanz.
 5. Der relative Wasserverbrauch des v. KALBENS Vienauer Hafers war während der ganzen Vegetationszeit in allen Feuchtigkeitsklassen weit geringer als bei den anderen Sorten.
 6. Bei Welkeversuchen fällt das Verlustprozent mit der Zeit ganz erheblich, aber die Extreme treten bei einer Welkedauer von 60 Minuten schärfer hervor als nach 30 Minuten, vermutlich weil die dürreresistenten Sorten die Spaltöffnungen schneller und vollkommener schließen können als die hygrophilen Sorten.
 7. Bei Welkeversuchen mit Blättern und Pflanzen sind ganz erhebliche Sortenunterschiede in der Wasserabgabe zu beobachten. Friedrichswerther Berghafer verlor am meisten, v. KALBENS Vienauer Hafer am wenigsten. Individuelle Schwankungen können durch Auswahl gleichaltriger Objekte und eine große Versuchszahl ausgeglichen werden.
 8. Die „Blättchenmethode“ läuft darauf hinaus, daß lebende Blätter am Standort der Pflanze mit zwei Filtrierpapierstreifen in einer Celluloidkapsel eingeschlossen werden. Die Gewichtszunahme der „Blättchen“ wird auf das Frischgewicht des Blattes bezogen, von dem die transpirierte

Wassermenge ausging. Die Blättchenmethode zeigt, daß die Spitzenblätter auf der Blattoberseite stärker transpirierten als auf der Blattunterseite. Zur Prüfung der Sorten ist die Blättchenmethode mit 60 Minuten Dauer nicht geeignet, weil beim Einschluß in kurzer Zeit die Spaltöffnungen in Tätigkeit treten.

9. Eine Infiltration der Haferblätter mit Alkohol gelang morgens gut, in der Mittagssonne meist nicht, d. h. die Spaltöffnungen waren dann stark verengt.
10. v. KALBENS Vienauer Hafer verfärbte Kobaltpapier langsamer als dies z. B. EDLERS Göttinger tat. Ein Einfluß der verschiedenen Bodenfeuchtigkeit auf die Transpirationsstärke war mit der Kobaltmethode nicht zu finden.
11. Die älteren, unteren Blätter verfärbten Kobaltpapier rascher als noch wachsende, junge. (Versuchszeit: kurz vor dem Schossen.) Bei den jungen Blättern scheint die stomatäre Transpiration noch gering zu sein.
12. Mit Hilfe der Welke- und Kobaltmethode, wie durch Gefäßversuche von kurzer und längerer Dauer, waren Unterschiede im Wasserhaushalt von Hafersorten zu erfassen. Es zeigte sich, daß von den beobachteten Sorten besonders v. KALBENS Vienauer Hafer und v. LOCHOWS Gelbhafer eine größere Dürre-resistenz besitzen müssen, d. h. daß sie bei Dürre das Wasser besser als andere Sorten verwerten können. Wenn zu diesen Beobachtungen noch die der Wurzelverhältnisse tritt, als die andere Seite der Wasserbilanz, so glaube ich wohl, daß es der praktischen Pflanzenzüchtung gelingen wird, betreffs des Wassers anspruchlose Stämme ausfindig zu machen und hierauf aufbauend Sorten zu verbessern oder neu zu schaffen, die den wichtigsten aller Wachstumsfaktoren, das Wasser, besonders gut verwerten. Das wäre der sicherste Weg, die Landwirtschaft von der Sklaverei des Wetters etwas freier zu machen.

Herrn Prof. Dr. ZADE, dem ich die Anregung und wohlwollende Förderung der Arbeit verdanke, sei an dieser Stelle mein herzlichster Dank ausgesprochen.

Literaturverzeichnis

- (2) BENECKE-JOST, Pflanzenphysiologie 1924. — (42) L. J. BRIGGS and H. L. SHANTZ, The wilting coefficient for different plants and its indirect determination. Washington 1912. Deutsch. Res. Flora 105, S. 224. — (44) BRIGGS and SHANTZ, An automatic transpirations scale of large capacity for use with freely exposed plants. Journal of Agric. Research. Washington 1915, 5, S. 117. — (40) BRIGGS and SHANTZ, Die Größe stündlicher Verdunstung an klaren Tagen, bestimmt durch die cyclischen Faktoren der Umgebung. Journ. of Agr. Res. 5, S. 583, ref. im Jahrb. für Agrikulturchemie 1916, S. 161. — (53) BRIGGS and SHANTZ, Daily transpiration during the normal growth period and its correlation with the weather. Journ. of Agr. Res. 1916, 7, S. 155, Ref. Jahrb. f. Agr. Chem. 1916. — (10) BURGERSTEIN, Die Transpiration der Pflanzen. Eine physiologische Monographie. Teil I 1904, II 1920, III 1925. — (29) CHRISTIANSEN-WENIGER, Anatomische Untersuchung des Blattbaues der F_2 -Generation einer Unterartkreuzung bei Triticum und der Versuch einer physiologischen Deutung der Befunde. Landw. Jahrb. 1925. — (28) ENGELBRECHT, Die Landbauzonen der außertropischen Länder, 1898/99. — (65) M. DIETRICH, Die Transpiration der Sonnen- und Schattenpflanzen. Jahrb. f. wiss. Botanik, 1925. — (6) J. FITTBOGEN, Über die Wasserverdunstung der Haferpflanze unter verschiedenen Wärme-, Licht- und Feuchtigkeitsverhältnissen. Landw. Jahrb. 1874. — (45) GENEAU DE LAMARTIÈRE, Recherches physiologiques sur les feuilles developpees à l'ombre et au soleil, Rev. gen. de Botanic 1892 ref. BURGERSTEIN I S. 56. — (24) GÜNTZ, Untersuchungen über die anatomische Struktur der Gramineenblätter in ihrem Verhältnis zu Standort und Klima. Diss. Leipzig 1896. — (54) F. HABERLANDT, Das Gewichtsverhältnis zwischen den Wurzeln und den oberirdischen Pflanzenteilen. Zentralblatt f. Agrikulturchemie 1876, B. 9, S. 93. — (18) HABERLANDT, Über die Transpiration der Gewächse, besonders jene der Getreidearten. Landw. Jahrb. 1876. — (19) G. HABERLANDT, Physiologische Pflanzenanatomie 1924. — (4) HELLRIEGEL, Grundlagen des Ackerbaues. 1883. — (15) J. HILDEBRANDT, Untersuchungen über das Wasserbedürfnis 15 verschiedener Haferzüchtungen bei voller Wasserkapazität. Mez, Archiv XVII (1927), p. 158—175. — (55) HOSÄUS, Über das Verhältnis der Wurzeln zu den oberirdischen Pflanzenorganen. Fühlings L. Z. 1872. — (30) B. HUBER, Transpiration in verschiedener Stammhöhe. Zeitschrift für Botanik 1923, 15. — (27) JAKUSCHKIN und VAVILOV, Eine anatomische Untersuchung einiger Haferassen mit Rücksicht auf die Beziehungen zwischen anatomischem Bau und den physiologischen Eigenschaften der Pflanze. Russ. Journ. für experimentelle Landw. 1912, S. 855. — (23) K. W. KAISER, Beiträge zur Anatomie der Blattorgane des Hafers und der Gerste und ihre Beziehung zur Pflanzenzüchtung. Landw. Jahrb. 61, 1925, S. 45. — (47) KAMERLING, Kobaltmethode. Ber. d. d. Bot. Ges. 1913, 31. — (41) J. KNYPER, Beobachtungen über die Verdunstung im Zuckerrohr. Archiv Suikerind. Nederl. Ind. 1915, ref. Jahresbericht für Agrikulturchemie 1916, S. 159. — (21) W. KOLKUNOW, Kiew, Über die Abhängigkeit der Größe der Assimilation von der Größe der Spaltöffnungen bei den Gramineen. Russ. Journ. f. exp. Landw. 1907, S. 381. — (22) KOLKUNOW, Einige Ergebnisse über Dürrewiderstandsfähigkeit der Kulturpflanzen. Zeitschr. f. Pflanzenzüchtung 1925. — (25) KUNZE, Untersuchungen über die ökologische Bedeutung des Wachses im Wasserhaushalt der Pflanzen. Beih. Botan. Zentral-

blatt 1925, S. 161. — (52) B. E. LIVINGSTON and E. SHREVE, Improvements in the method for determining the transpiring power of the plant surfaces by hygrometric paper. *Plant World* 1913. — (51) LLOYD, The physiologie of stomata. *Carn. Inst. Wash.* 1908. — (63) W. MADER, Messungen des osmotischen Wertes bei Grenzplasmolyse bei floristisch verschiedenen Winterweizen- und Wintergerstensorten. *Fortschr. d. Landw.* 1927. — (56) W. MAUE, Ist es bei unseren Kulturgräsern möglich, aus einem Pflanzenbestande die hinsichtlich der Transpiration wichtigen Varianten herauszufinden, und kann das Transpirationsvermögensverhältnis etwas über den relativen Xeromorphismus und Hygrophytismus aussagen? *Angew. Botanik*, B. 9, 2, 1927. — (5) E. MITSCHERLICH, Bodenkunde 1923. — (13) MITSCHERLICH, Das Wasser als Vegetationsfaktor. *Landw. Jahrb.* 1912. — (50) H. MOLISCH, Infiltrationsmethode. *Zeitschr. f. Bot.* 1912. — (57) K. OPITZ, Untersuchungen über Bewurzelung und Bestockung einiger Getreidesorten. *Mittlg. Breslau*, 1900. — (65) T. PFEIFFER, Der Vegetationsversuch 1918. — (16) W. PILASKY, Über den Wasserverbrauch der hauptsächlichsten Kulturpflanzen. *MEZ, Archiv XV*, 1926, S. 325. — (32) Ratgeber zur Sortenwahl. *DLG-Arbeiten H.* 345/46. — (12) W. G. ROTMISTROFF, Das Wesen der Dürre, 1926. (58) A. SCHEIBE, München. Morphologisch-physiologische Untersuchungen über die Transpirationsverhältnisse bei der Gattung *Triticum* und deren Auswertung für Pflanzenzüchtung und Kulturpflanzenöcologie. *Angewandte Botanik*. IX, 2, 1927. — (36) SCHINDLER, Handbuch des Getreidebaues, 1923. — (59) G. SCHNEIDER, Vegetationsversuche mit 88 Hafersorten. *Landw. Jahrbuch* 1912, S. 767. — (43) D. SCHRÖDER, Über den Verlauf des Welkens und die Lebensfähigkeit der Laubblätter. *Diss. Göttingen* 1909. — (7) v. SEELHORST, Beiträge zur Lösung der Frage nach dem Wasserhaushalt im Boden und nach dem Wasserverbrauch der Pflanzen. *Journal für Landw.* 1904. — (60) SEELHORST und TUCKER, Einfluß von Wassergehalt und Bodenreichtum auf die Ausbildung der Wurzeln und der oberirdischen Organe der Haferpflanze. *Zentralblatt für Agrikulturchemie*. B. 28. — (32) —, J. BÜNGER, Untersuchungen über den Einfluß von Wärme und Sonnenschein auf die Entwicklung des Hafers bei verschiedener Bodenfeuchtigkeit. *Journal für Landwirtschaft*. 1907. — (33) —, FRECKMANN, KRZYMOWSKI, SÜCHTING und BÜNGER, Der Wasserverbrauch versch. Hafervarietäten. *J. f. L.* 1908. — (11) v. SEELHORST, Die Bedeutung des Wassers im Leben der Kulturpflanzen. *Journal f. Landw.* 1911. — (9) v. SEELHORST, Neue Versuche über den Wasserbedarf verschiedener Hafervarietäten. *Journal für Landw.* 1918. — (46) STAHL, Einige Versuche über Transpiration und Assimilation. *Botan. Zeitung* 1894. I, S. 117. — (17) O. STOCKER, Die Transpiration und Wasserökologie nordwestdeutscher Heide- und Moorpflanzen am Standort. *Zeitschrift für Botanik* 1923. — (49) TIMMERMAN, Studien über stomatäre Transpiration. *Diss. Erlangen* 1901. — (62) URSPRUNG und BLUM, Zur Kenntnis der Saugkraft. *Bericht der Botan. Ges.* 39. 139. 1921. — (1) WALTER, Der Wasserhaushalt der Pflanze in quantitativer Betrachtung. München 1925. — (8) WALTER, Die Anpassungen der Pflanze an Wassermangel. 1926. — (20) A. WEISS, Untersuchungen über die Zahlen und Größenverhältnisse der Spaltöffnungen. *PRINGSHEIMS Jahrbuch für wissenschaftliche Botanik*. 1865. — (31) WIESENBERG, Untersuchungen über den Einfluß des Wassergehaltes des Bodens auf den Pflanzenertrag. *MEZ, Archiv XIV* (1926) S. 261. — (26) IWAN WIHLEW, Die kritische Periode in der Entwicklung des Hafers. *Russ. Journ. f. exp. Landw.* 1908. — (3) WOLLNY, Forschungen a. d. Geb. d. Agr. Physik. 1897/98. — (14)

ZADE, Der Hafer. 1918. — (61) ZADE, Erfahrungen mit der neuzeitlichen Sortenversuchsmethode. Beitr. z. Pfl.zucht. H. 6, 1922. — (64) ZADE, Haferanbauversuche auf leichteren Böden. 1909/10. D.L.G.-Arbeiten, Heft 252.

Abstract

1. All oat varieties show a relatively and absolutely poor development of the root system in their juvenile stage in a very moist soil, with exception of the Friedrichswerther Berghafer which by 40%, 60% and 80% of the maximale watercapacity produced an equal proportion of overground and underground substance.
2. In the juvenile stage there exist equally considerable variety differences in the proportion of the underground substance to the overground parts. The more aridity-resistant varieties (v. KALBENS Vienauer, v. LOCHOWS Gelbhafer and KIRSCHES Gelbhafer) produced in all humidity classes relatively few roots, i. e. the proportion was a wide one. The hygrophileous varieties showed higher weights of roots, especially EDLERS Göttinger and Friedrichswerther Berghafer.
3. The early-ripe varieties had an advantage already in their youth. Hohenheimer and Vienauer oats showed a relatively low consumption of water.
4. v. KALBENS Vienauer, v. LOCHOWS and KRAFFTS rhein. Gelbhafer showed at the time of maturity also only a relatively poor formation of roots, i. e. a wide proportion of the root and sprout dry-substance.
5. The relative consumption of water of v. KALBENS Vienauer oats was much less during the whole growing time in all humidity classes, than in the other varieties.
6. In the wilting trials the loss percentage little by little falls quite considerably, but the extremes appear more distinctly after a wilting time of sixty minutes than after thirty minutes, probably because the aridity-resistant varieties are able to shut their stomates quicker and more closely than the hygrophileous varieties.
7. In the wilting trials with leaves and plants, quite considerable variety differences may be observed in the loss of water. Friedrichswerther lost the most, v. KALBENS Vienauer the least. Individual fluctuations may be compensated by selecting objects of the same age and by a large number of trials.

8. In the „little leaf“ method living leaves are enclosed with two stripes of filtering paper in a celluloid capsula in the standing place of the plant. The gain of weight of the „little leaves“ is referred to the green weight of the leaf, from which the transpired quantity of water proceeded. The „little leaf“ method shows that the apical leaves transpired more intensely on the upper side than on the under side of the leaves. The „little leaf“ method, with sixty minutes duration, is not suitable for the examination of the varieties, because the stomates begin to act after a short time of the inclusion.
9. An infiltration of the oat leaves with alcohol was successful in the morning, but mostly not in the sun at noon, i. e. the stomates were then strongly contracted.
10. v. KALBENS Vienauer Hafer discoloured cobalt paper slower than for instance EDLERS Göttinger. An influence of the different soil humidity on the transpiration starch could not be found by the cobalt method.
11. The elder, lower leaves discoloured the cobalt paper quicker than the still growing young one's (time of trial: before the shooting). In the young leaves the stomate transpirations seems to be slight only.
12. By aid of the wilting- and cobalt method as well as by pot trials of short or longer duration, differences in the water consumption of oat varieties could be stated. It showed, that of the examined varieties especially v. KALBENS Vienauer oats and v. LOCHOWS Gelbhafer are sure to be more aridity-resistant, i. e. that in arid times they make a better use of the water, than the others. If to these observations that of the root conditions is added, as the other side of the water balance, it will be possible to practical plant breeders to find varieties which do not need much water, to improve those or to create new one's which make a good use of the most important vegetation factor water. This would be the surest way to become more independent of dry periods.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Botanisches Archiv. Zeitschrift für die gesamte Botanik](#)

Jahr/Year: 1928

Band/Volume: [21](#)

Autor(en)/Author(s): Thomas Alexander

Artikel/Article: [Studien über den Wasserhaushalt des Hafers 293-343](#)