

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein

**Band:** 112 (1961)

**Heft:** 9

**Artikel:** Versuche zur Bestimmung des permanenten Welkepunktes an Weiss- und Schwarzerle im Vergleich zur Sonnenblume

**Autor:** Keller, Hans

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-767506>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 02.05.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

mal an einer Stelle einsetzt, so ist ja eine Ausbreitung in andere Bereiche des Forstbetriebes nur eine Frage der Zeit, ähnlich wie bei der Motorisierung. Die Erkenntnisse der Kantone Aargau und Zürich haben somit grundsätzliche Bedeutung und müssen mit dem Blick auf das Gesamtproblem der Rationalisierung im Forstwesen betrachtet werden. Und wenn es für einmal scheint, daß die Praktiker den Wissenschaftlern vorangegangen sind, wenigstens was die Verbreitung des Gedankens von der vorteilhaften Anwendbarkeit der Lochkarte anbetrifft, so ist dafür vielleicht die Wirkung auf die andern Praktiker nur um so größer.

## **Versuche zur Bestimmung des permanenten Welkepunktes an Weiß- und Schwarzerle im Vergleich zur Sonnenblume**

Von *Hans Keller*, Thalwil

Oxf. Nr. 114.12:161.11

(Zusammenfassung der Diplomarbeit in Waldbau, Herbst 1960)

### **1. Einleitung und Problemstellung**

Das Wasser im Boden und seine Verwertbarkeit durch die Pflanze ist mit Recht von großem Interesse. Wie viel Wasser die Pflanze aus dem Boden aufnehmen kann, hängt ab von der Bindung des Wassers im Boden und von der Saugkraft der Pflanzenwurzel (Richard 1953, Richard und Beda 1953). Wie das Wasser im Boden gebunden ist, hängt wiederum von dessen Struktur ab. Mit zunehmender Strukturfeinheit und abnehmendem Wassergehalt steigt die Wasserbindung im Boden. Dies wird allgemein in der Sorptionskurve dargestellt (Buckingham 1907, Briggs und McLane 1907, Kramer 1949, Richard 1957).

Für das pflanzliche Leben sind zwei Punkte dieser Sorptionskurve, welche für einen gegebenen Boden charakteristisch ist, wesentlich: die Feldkapazität (F.C.) und der permanente Welkepunkt (PWP) (Briggs und Shantz 1912, Kramer 1949, Veihmeyer und Hendrikson 1950, Veihmeyer 1956, Richard 1957). Dabei wird unter dem PWP eines Bodens jener Wassergehalt verstanden, bei welchem der Boden nicht mehr genug Wasser an die Pflanze abgeben kann, um deren normalen Turgor zu erhalten. Die Pflanze welkt irreversibel. Das im Boden noch vorhandene Wasser steht der Pflanze nicht mehr zur Verfügung (Veihmeyer und Hendrikson 1950, Veihmeyer 1950).

Es ist interessant zu wissen, ob der PWP auf einem gegebenen Boden bei allen Pflanzen gleich ist, d. h. ob alle Pflanzen aus demselben Boden gleich viel Wasser verwerten können (vgl. Briggs und Shantz 1912, zit. in Veih-

meyer 1950 S. 286). Wir untersuchen dies am Beispiel der Erlen und Sonnenblumen und stellen uns dabei folgende Probleme:

- a) Kann der PWP nach von Auge erkennbaren Welkesymptomen mit Weißerle, Schwarzerle und Sonnenblume bestimmt werden?
- b) Welches sind die von Auge erkennbaren Welkesymptome bei Weiß- und Schwarzerlen?
- c) Haben Holz- und Nihtholzpflanzen (Erlen, Sonnenblumen) beim PWP denselben Wassergehalt im Boden?
- d) Was bedeuten die im Boden bestimmten PWP für die Pflanze?

## 2. Versuchsplan und Methode

In Büchsen von 500 cm<sup>3</sup> Inhalt werden je 20 Sonnenblumen, Weiß- und Schwarzerlen wachsen gelassen, bis der Trieb eine Länge von 8 bis 10 cm erreicht hat. Sodann werden die Büchsen mit einem Deckel abgeschlossen und das Loch um den Stengel mit Watte verstopft, um die Evaporation möglichst niedrig zu halten. Es wird kein Wasser mehr zugegeben und gewartet, bis die Pflanzen die ersten Welkeerscheinungen zeigen. Unterdessen wird ständig Gewicht und Wachstum kontrolliert. Welkende Pflanzen werden dann in einen Befeuchtungskübel (Kübel mit 100 Prozent feuchter Luft) gestellt, um die Erholungsfähigkeit ohne Wasserzugabe zu prüfen. Der Wechsel zwischen normaler Außenluft und der 100 Prozent feuchten Luft im Befeuchtungskübel geht so lange, bis sich die Pflanze nicht mehr erholt. Der Wassergehalt des Bodens wird bestimmt und die Pflanze selbst auf Erholungsfähigkeit im Wasser geprüft.

Daneben wird eine Kontrolle geführt: Büchsen ohne Pflanzen werden unter gleichen Bedingungen gehalten und regelmäßig gewogen, um die Evaporation von Wasser aus der Bodenoberfläche festzustellen.

## 3. Ergebnisse und Folgerungen

### 3.1. Die Kontrolle

Der Kontrollversuch zeigt uns folgendes:

- a) Mit steigender Luftfeuchtigkeit nimmt die Gewichtsabnahme ab (Evaporation), siehe Abb. 1.
- b) Die Gewichtsabnahme ist sehr klein und beträgt im Mittel 0,22 g/Büchse und Tag oder 0,05 Prozent (g HOH/100 g Boden) pro Büchse und Tag.

Während der 73 Tage langen Versuchsdauer bleibt die Verdunstung beinahe konstant. Es darf angenommen werden, daß der ganze Welkeversuch unter klimatisch konstanten Bedingungen vor sich gegangen ist.

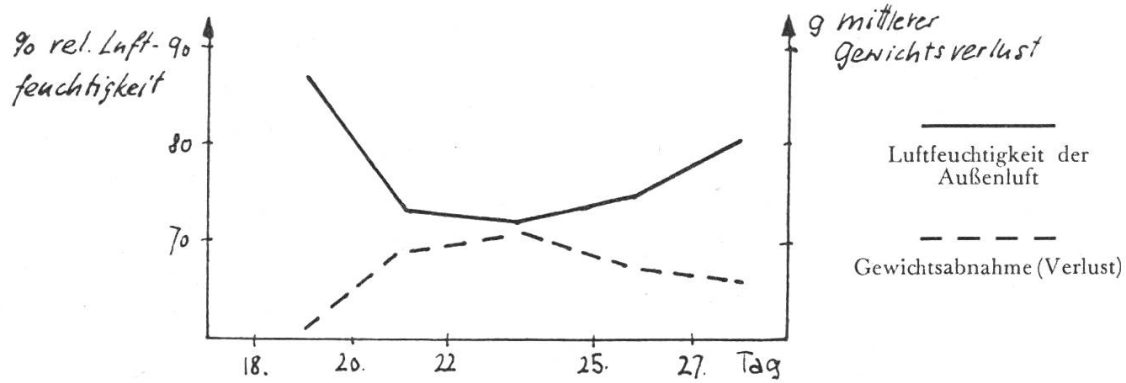


Abb. 1

Gewichtsabnahme der Kontrollbüchsen und herrschende mittlere Luftfeuchtigkeit in Funktion der Zeit (Ausschnitt).

Die Bodenfeuchtigkeit der Kontrollbüchsen reduzierte sich in diesen 73 Tagen um 3,55 Prozent (g HOH/100 g Boden), und zwar von 29,7 (F.C.) auf 26,15 Prozent. Diese Verdunstungsmengen sind aber nicht direkt auf den Hauptversuch übertragbar, weil dort die Bodenfeuchtigkeit schon in der Hälfte des Welkeprozesses unter 18 Prozent schritt und die Verdunstung somit in andern Grenzen vor sich ging.

### 32. Die Welkesymptome

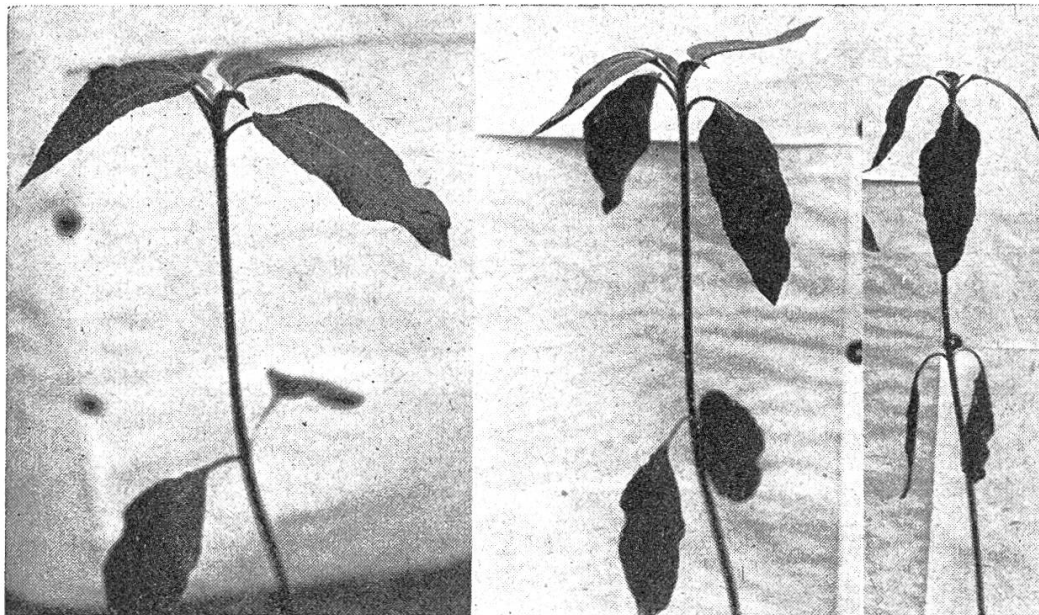
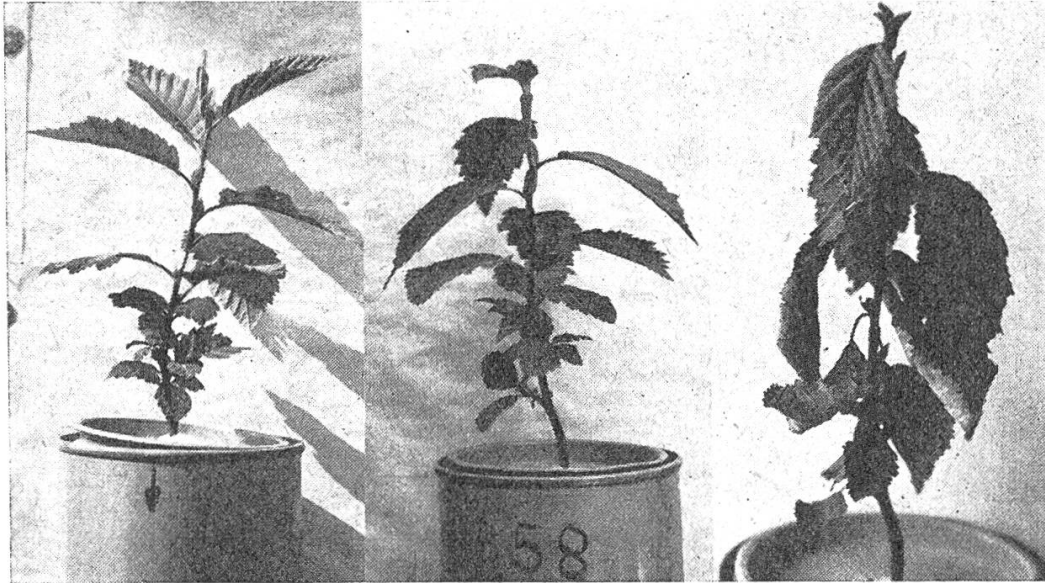


Abb. 2

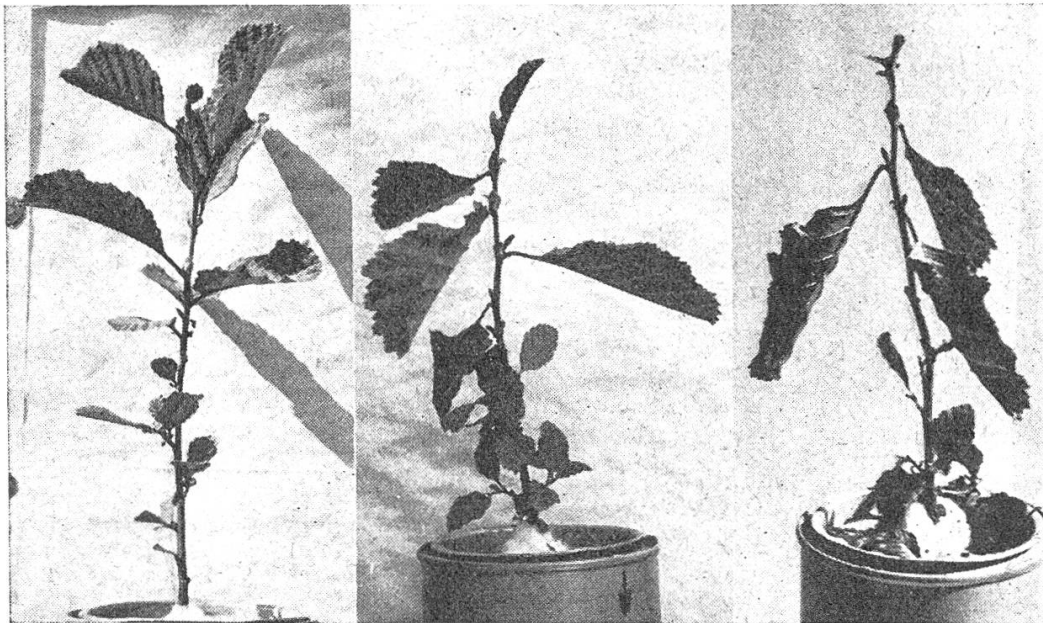
Sonnenblumen: 1, 4 und 7 Tage nach Beginn des Welkeprozesses.

Bei den Erlen dagegen kann kein eigentliches Welken — ähnlich den Sonnenblumen — festgestellt werden. Die Blätter senken sich so langsam, daß von Auge zwischen 2 Beobachtungen (2 Tage) nichts wahrgenommen werden kann. Sie bleiben steif und frischgrün.



*Abb. 3*

Weißerlen: 2, 17 und 52 Tage nach Beginn des Welkeprozesses.



*Abb. 4*

Schwarzerlen: 2, 27 und 49 Tage nach Beginn des Welkeprozesses.

Die ersten Welkesymptome der Sonnenblume sind aufgetreten, wie sie bei Furr und Reeve (1945), Daubenmire (1950) und Veihmeyer (1956) beschrieben sind: Zuerst welkt das unterste, später welken auch die oberen Blattpaare.

Während sich die Sonnenblume im Befeuchtungskübel zu Beginn gut erholt, kann bei den Erlen nie eine Erholung, auch über längere Zeit nicht, festgestellt werden.

Der PWP unseres Bodens kann also mit Erlen nicht nach von Auge erkennbaren Welkesymptomen bestimmt werden. Es wird zur Ermessensfrage, wann die Welkesymptome der Erlen dem PWP des Bodens entsprechen. Eine PWP-Bestimmung mit Erlen nach Veihmeyer (1956) ist also in unserem Versuch nicht möglich gewesen.

Mit der Sonnenblume dagegen werden alle Beobachtungen von Veihmeyer (1956), Furr und Reeve (1945) und Daubenmire (1950) bestätigt.

### 33. Der Abschluß des Welkeprozesses

Bei den Sonnenblumen wird der Welkeprozeß in jenem Moment als abgeschlossen betrachtet, wenn sich die Pflanze im Befeuchtungskübel innert 24 Stunden nicht mehr erholt (Veihmeyer, 1956).

Bei den Erlen dagegen muß ein anderer Anhaltspunkt gefunden werden: Der Welkeprozeß, d. h. die Wasseraufnahme der Pflanzenwurzel, hört in jenem Moment auf, wenn die tägliche Gewichtsabnahme ungefähr den Betrag derjenigen der Kontrollbüchsen erreicht. Die Pflanze transpiriert dann minimal.

Um den Vergleich mit den Sonnenblumen aufrechterhalten zu können, wird auch bei einigen Sonnenblumen der Prozeß erst in diesem Moment abgeschlossen.

Die Prüfung der Erholungsfähigkeit im Wasser nach Abschluß des Welkeprozesses zeigt folgendes: Die Sonnenblume nach 3 bis 5 Stunden, die Erlen nach 2 bis 3 Tagen erholen sich wieder und wachsen weiter. Eine nähere Betrachtung der Wurzeln zeigt, daß aus dicken Hauptwurzeln neue, feine Wurzeln gesprossen sind. Die Pflanzen haben zuerst neue Wurzeln bilden müssen, bevor sie sich erholen konnten. Bei den Sonnenblumen ging dies sehr rasch, bei den Erlen langsam vor sich.

### 34. Der Wassergehalt im Boden nach Abschluß des Welkeprozesses (PWP)

Nach Abschluß des Welkeprozesses werden in unserem Boden folgende Wassergehalte ( $P_w$ ) gemessen:

Pflanze	$P_w$ ‰ (g HOH / 100 g Bo)	Streuung
Sonnenblume 1 (Abschl. wie Erlen)	12,90	± 0,5
Sonnenblume 2 (nach Veihmeyer)	15,20	± 0,9
Weißerle	14,70	± 1,1
Schwarzerle	13,90	± 0,8

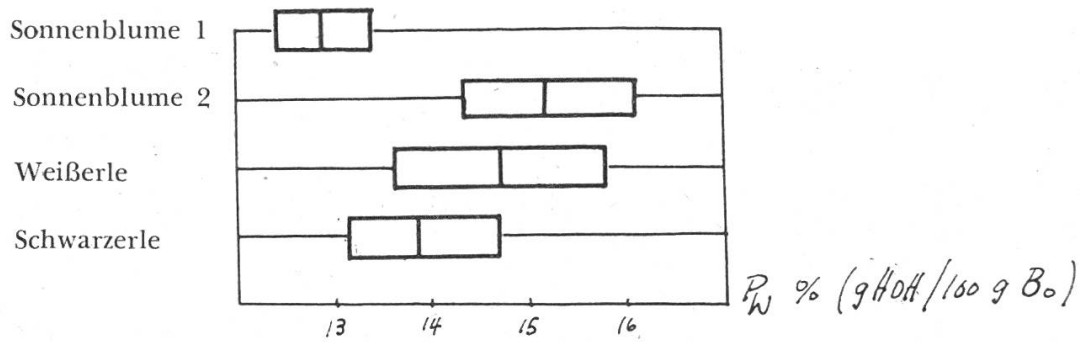


Abb. 5

Der Wassergehalt  $P_w$  ( $\bar{x} \pm s$ ) im Boden nach Abschluß des Welkeprozesses, bei Sonnenblume, Weiß- und Schwarzerle.

Die Werte für Sonnenblume 2, Weiß- und Schwarzerle liegen nahe beisammen. Einzig der Wert der Sonnenblume 1, der eine Vergleichsmöglichkeit mit den Erlen schaffen soll, ist niedriger. Die Abweichung dieses Vergleichswertes kann aber folgendermaßen erklärt werden: Nachdem dem Boden bereits kein Wasser mehr entzogen werden kann, hat das Ausdörren der Sonnenblumenpflanze selbst noch eine Zeitlang eine Gewichtsabnahme bewirkt, so daß die welken Sonnenblumen während dieser Zeit wie ein Docht den Boden noch etwas austrockneten.

Der PWP des Bodens hat also die ungefähr gleichen Werte gezeigt mit Sonnenblumen wie mit Erlen, wenn man annimmt, daß eine angenäherte Gewichtskonstanz bei den Erlen (siehe Kap. 33) dem Abschluß des Welkeprozesses bei den Sonnenblumen nach Veihmeyer (1956) entspricht.

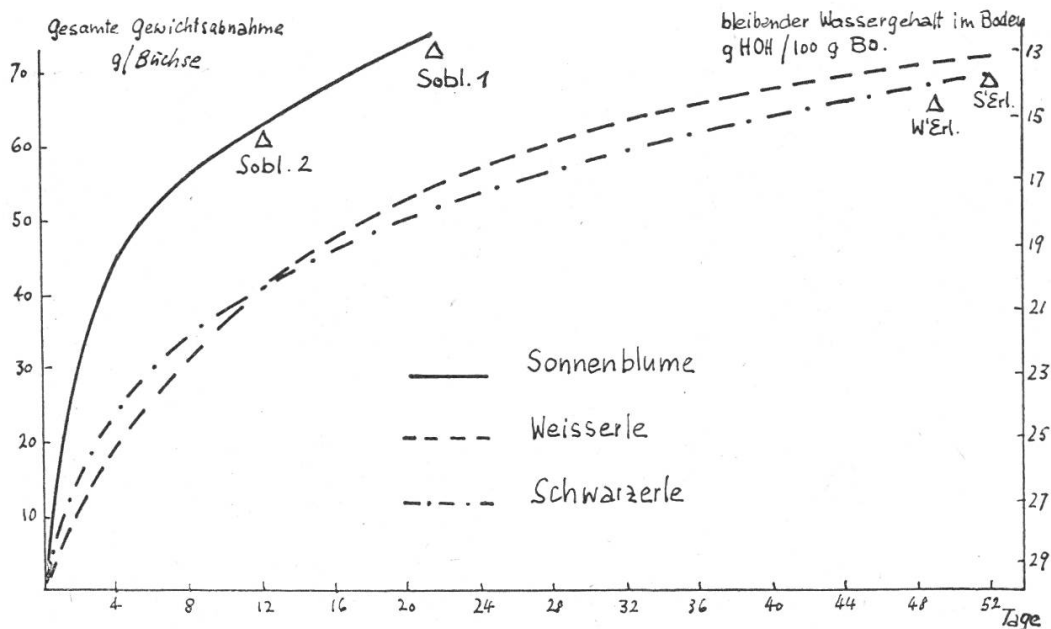


Abb. 6

Die Gewichtsabnahme von Sonnenblume, Weiß- und Schwarzerle während des Welkeprozesses als Funktion der Zeit.

Ohne den  $P_w$  im Boden zu messen, kann er auch mit Hilfe der gemessenen Gewichtsabnahme ausgerechnet werden, da das Pflanzengewicht, die Evaporation, das Gewicht der Büchsen, des eingefüllten trockenen Bodens und des Wassers bekannt sind. In Abb. 6 sind die Gewichtsabnahmekurven der drei Pflanzenarten dargestellt. Auf der Skala rechts können die errechneten  $P_w$ -Werte abgelesen werden. Zum Vergleich sind die gemessenen Werte auch eingezeichnet.

Die errechneten und gemessenen Werte stimmen gut überein. Ein Vergleich dieser Gewichtsabnahmen, d. h. der Entwicklung des  $P_w$  im Boden, zeigt, daß die Sonnenblume dem Boden in kürzerer Zeit mehr Wasser entzieht als die Erle. Die Durchwurzelung der Sonnenblumenbüchsen war allerdings auch bedeutend besser als bei den Erlen.

### 35. Das Pflanzenwachstum während des Welkeprozesses

Schon bald nach Beginn des Welkeprozesses zeigen sowohl die Erlen wie die Sonnenblumen kein meßbares Längenwachstum mehr. Dagegen kann noch während mehrerer Tage ein meßbares Blattwachstum festgestellt werden. Dieses hört bei den Sonnenblumen 9 Tage, bei den Weißerlen 34 Tage

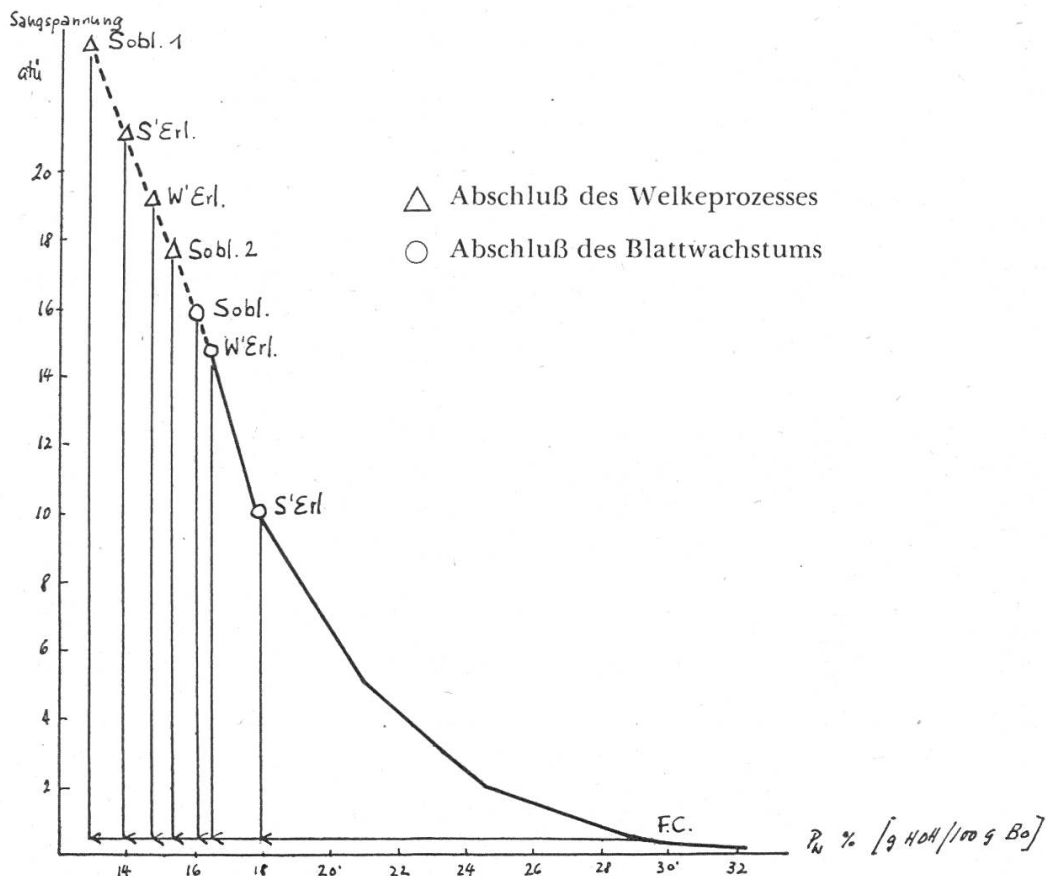


Abb. 7

Die Saugspannungen beim Abschluß des meßbaren Blattwachstums und des Welkeprozesses, eingezeichnet in der Sorptionskurve unseres Bodens, für Sonnenblume, Weiß- und Schwarzerle.

und bei den Schwarzerlen 24 Tage nach Beginn des Welkeprozesses auf. Bei allen drei Pflanzenarten hat der Boden in diesem Zeitpunkt noch einen Wassergehalt von 16–18 Prozent (g HOH/100 g Bo). Der PWP ist also noch nicht ganz erreicht. Die Versuchspflanzen nehmen noch weiterhin Wasser auf aus dem Boden, ohne es für ein meßbares Wachstum zu verwerten.

### 36. Die Saugspannung im Boden

Für unsern Boden wurde die Sorptionskurve von 0,02 bis 15,0 atü bestimmt, so daß in diesem Bereich jedem Wassergehalt im Boden eine Saugspannung zugeordnet werden kann (Richard und Beda, 1953).

Wie aus Abb. 7 ersichtlich ist, sind die  $P_w$  beim permanenten Welkepunkt nicht so verschieden, daß für die einzelnen Pflanzen nicht der gleiche PWP angenommen werden kann. Ein Unterschied zwischen Holz- und Nichtholzpflanzen kann also nicht festgestellt werden.

Etwas beeindruckend sind die hohen Saugspannungswerte beim PWP. Obwohl die Sorptionskurve nur bis 15 atü bestimmt worden ist, muß doch angenommen werden, daß bei allen unseren Versuchspflanzen der PWP deutlich über dem 15-atü-Wert liegt. In der Literatur wird nämlich dem PWP eine Saugspannung von 15 atü zugeordnet (Veihmeyer 1956, Furr und Reeve 1945).

Die Steilheit unserer Sorptionskurve im Bereiche der 15 atü sagt uns, daß es für nur wenig mehr Wasser zu verwerten, einer viel größeren Saugspannung bedarf.

Das Blattwachstum hingegen hört bei der Sonnenblume und Weißerle im Bereiche der 15 atü auf. Für die Schwarzerle liegt die Saugspannung zu diesem Zeitpunkt etwas tiefer (etwa 10 atü). Die Weißerle vermag also unter trockeneren Verhältnissen noch zu wachsen als die Schwarzerle, welche wir standörtlich an feuchteren Orten anzutreffen gewohnt sind.

### Zusammenfassung

Es ist nicht gelungen, den permanenten Welkepunkt eines Bodens mit Weiß- und Schwarzerlen auf die gleiche Art und Weise zu bestimmen wie mit der Sonnenblume. Der Grund liegt darin, daß die Erlen Welkesymptome zeigen, die für eine Bestimmung des permanenten Welkepunktes — wie er von Veihmeyer 1950 und 1956 definiert wurde — keine Anhaltspunkte geben.

Mit Hilfe des Gewichtsverlustes wird trotzdem die Bestimmung des permanenten Welkepunktes versucht. Es zeigt sich, daß eine minimale Transpiration bei den Erlen, dem Welkepunkt der Sonnenblumen nach Veihmeyer entspricht.

Sowohl Sonnenblumen wie Erlen stellen ihr meßbares Wachstum ein, bevor der permanente Welkepunkt erreicht ist. Bei Sonnenblumen und

Weißerlen entspricht dies einer Saugspannung von zirka 15 atü, bei der Schwarzerle von nur rund 10 atü.

Der Zustand der Pflanzen am permanenten Welkepunkt ist so, daß sie sich im Wasser wieder erholen und weiterwachsen. Die Wurzelspitzen sind allerdings nicht mehr funktionstüchtig, und bevor das Weiterwachstum beginnt, bilden sich neue Wurzeln. Die Standfestigkeit von Erlen im Bestand, welche sich nahe am permanenten Welkepunkt befinden, ist also in Frage gestellt.

Die Saugkraft der Wurzeln übersteigt in unserem Versuch den 15-atü-Wert, welcher dem permanenten Welkepunkt allgemein zugeordnet wird.

## MITTEILUNGEN - COMMUNICATIONS

### Wetterbericht vom Juli 1961

*Zusammenfassung:* Allgemein leicht bis mäßig unternormale Temperaturen und eine normale bis leicht unternormale Sonnenscheindauer kennzeichnen den Monat. Während im Südosten des Landes die Niederschläge gering blieben, zeigen sich in der Westschweiz strichweise ziemlich bedeutende Überschüsse in bezug auf den Normalwert.

*Abweichungen und Prozentzahlen in bezug auf die langjährigen Normalwerte* (Temperatur 1864–1940, Niederschlag und Feuchtigkeit 1901–1940, Bewölkung und Sonnenscheindauer 1921–1950):

*Temperatur:* Auf der Alpennordseite in den Niederungen  $1/2$ – $1^0$ , in der Höhe sowie am Alpensüdfuß  $1$ – $1\frac{1}{2}^0$  unter dem Normalwert.

*Niederschlagsmengen:* Stark unternormal im mittleren Graubünden, im Oberengadin und im östlichen Tessin (30–60 ‰). Leicht unternormal in den meisten Teilen der südöstlichen Landeshälfte. Ungefähr normal in der Nordschweiz. Übernormal in der Westschweiz, strichweise im westlichen Mittelland und im unteren Wallis 140–170 ‰, im allgemeinen 110–130 ‰.

*Zahl der Tage mit Niederschlag:* In den nördlichen Teilen des Landes und im Oberengadin etwas unternormal (z. B. Basel 10 statt 13, Bever 11 statt 15), sonst keine bedeutenden Abweichungen vom Normalwert.

*Gewitter:* Unternormale Gewittertätigkeit beidseits der Alpen. Hauptgewittertage: 3., 13. und 23./24., mit Hagelschlägen, besonders am 13. und 23. im Tessin.

*Sonnenscheindauer:* In der nördlichen Landeshälfte und im Engadin ungefähr normal, im Südwesten etwas unternormal (Genferseegebiet, Wallis 85–95 ‰, Tessin um 95 ‰). Am Juranordfuß etwas übernormal (105–110 ‰).

*Bewölkung:* In der nördlichen Landeshälfte und im Engadin ungefähr normal. In der Zentralschweiz sowie im nördlichen Teil Graubündens 100–110 ‰, am Genfersee 110–125 ‰, im Wallis um 125 ‰, im Tessin um 130 ‰.