AKADEMIE DER LANDWIRTSCHAFTSWISSENSCHAFTEN
DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK

ARCHIV FÜR GARTENBAU

AKADEMIE-VERLAG · BERLIN

THEORIA CUM PRAXI

BAND 32 · 1984 · HEFT 8

ISSN 0003-908X
Arch. Gartenbau, Berlin 32 (1984) 8, 347–426
EVP 5,– M

Zeitschrift „Archiv für Gartenbau“
Herausgeber: Akademie der Landwirtschaftswissenschaften
der Deutschen Demokratischen Republik
DDR - 1086 Berlin, Krausenstraße 38/39.

Verlag: Akademie-Verlag, DDR - 1086 Berlin, Leipziger Straße 3–4, PF-Nr. 1233;
Fernruf: 2 23 62 21 oder 2 23 62 29, Telex-Nr.: 11 44 20;
Bank: Staatsbank der DDR, Berlin, Kto. Nr.: 68 36-26-207 12.

Chefredakteur: Prof. Dr. sc. WOLFGANG FEHRMANN, Institut für Obstforschung Dresden-Pillnitz der AdL,
DDR - 8057 Dresden, Pillnitzer Platz 2.

Anschrift der Redaktion Institut für Obstforschung Dresden-Pillnitz der AdL, „Archiv für Gartenbau“, DDR - 8057 Dresden, Pillnitzer Platz 2.

Veröffentlicht unter der Lizenznummer 1276 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik.

Gesamtherstellung: VEB Druckerei „Gottfried Wilhelm Leibniz“, DDR - 4450 Gräfenhainichen.
Erscheinungsweise: Die Zeitschrift „Archiv für Gartenbau“ erscheint jährlich in einem Band mit 8 Heften. Das letzte Heft eines Bandes enthält Inhalts-, Autoren- und Sachverzeichnis. Bezugspreis eines Bandes 200,– M zuzüglich Versandspesen. Preis je Heft 25,– M

Bestellnummer dieses Heftes: 1039/32/8.

AN (EDV) 51 515

Bestellungen sind zu richten

– *in der DDR* an die Deutsche Post, Zentralvertrieb des PZV (B), 7930 Herzberg/Elster oder an den AKADEMIE-VERLAG, DDR - 1086 Berlin, Leipziger Straße 3–4, PF-Nr. 1233;

– *im sozialistischen Ausland* an eine Buchhandlung für fremdsprachige Literatur oder an den zuständigen Postzeitungsvertrieb;

– *in der BRD und Berlin (West)* an eine Buchhandlung oder an die Auslieferungsstelle KUNST UND WISSEN, Erich Bieber OHG, Wilhelmstraße 4–6, D - 7000 Stuttgart 1;

– *in den übrigen westeuropäischen Ländern* an eine Buchhandlung oder an die Auslieferungsstelle KUNST UND WISSEN, Erich Bieber GmbH, Dufourstraße 51, CH - 8008 Zürich;

– *im übrigen Ausland* an den Internationalen Buch- und Zeitschriftenhandel; den Buchexport, Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, DDR - 7010 Leipzig, Postfach 160; oder an den AKADEMIE-VERLAG, DDR - 1086 Berlin, Leipziger Straße 3–4, PF-Nr. 1233.

ARCHIV FÜR GARTENBAU

BAND 32 1984 HEFT 8

Arch. Gartenbau, Berlin 32 (1984) 8, S. 347–363

Institut für Obstforschung Dresden-Pillnitz der Akademie

JOSEF SALZER und VOLKER NOLLAU

Frostverträglichkeit der Obstarten

III. Eine statistische Methode zur Beurteilung der Frostverträglichkeit von reproduktiven Organen des Apfels bei künstlicher Belastung

Eingang: 12. Januar 1984

1. Einleitung und Problemstellung

In der vorausgegangenen Mitteilung (SALZER, 1984) wurde die quantitative Wirkung der Frostbelastungsdauer auf die Überlebensprozentrate von 50 % der reproduktiven Organe (r. O.) im Ballonstadium der Sorte 'Alkmene' betrachtet. Es wurde für diejenigen Temperatur-Dauer-Kombinationen, die ein 50 %iges Absterben der r. O. bei Frostbelastungen zur Folge haben, die Bezeichnung LG_{50} (Letale Grenze für 50 %iges Absterben) verwendet. Es soll nun die Frage beantwortet werden, welche Temperatur-Dauer-Kombination der LG_{50} sich als günstigste sowohl für Frostverträglichkeitsprüfungen als auch als günstigster Bezugspunkt für Vergleiche der Frostverträglichkeit (FV) unterschiedlicher Sorten erweist. Hierzu ist es notwendig, den sogen. „äquivalenten Punkt“ der LG_{50} einer Standardsorte zu ermitteln. Ferner soll an einem konkreten Beispiel die statistische Analyse des quantitativen Abhängigkeitsverhaltens der Überlebensprozente (η) der r. O. von der Temperatur (T) als auch von der Belastungsdauer (D) erläutert werden. Außerdem soll dargestellt werden, wie der Vergleich der FV der r. O. eines Genotyps mit der bekannten FV einer Standardsorte vorzunehmen ist.

2. Material, Schadenerkennung und Schadenbemessung

Bezüglich des verwendeten Materials, der Schadenerkennung und Schadenbemessung wird auf frühere Arbeiten (SALZER, 1984) und (SALZER, 1984) verwiesen.

3. Ergebnisse

3.1. Ermittlung des äquivalenten Punktes der LB_{50} mit Hilfe der reproduktiven Organe der Standardsorte (Vorversuch)

Der Vergleich der FV unterschiedlicher Sorten wird dadurch ermöglicht, daß ein sogen. „äquivalenter Punkt“ ($T_{50\,\text{äqu.}}$, $D_{50\,\text{äqu.}}$) der LB_{50} bestimmt wird. Dieser Punkt ist dadurch gekennzeichnet, daß in ihm der Einfluß von Belastungsdauer (D) und Belastungstemperatur (T) auf die Überlebensprozentrate von 50 % gleich ist. Im äquivalenten Punkt findet ein Umschlag des Einflusses von Temperaturzuwachs ($\triangle T'$) und Belastungsdauerzuwachs ($\triangle D$) statt. Das bedeutet,

im äquivalenten Punkt ist $\left|\frac{\triangle T'}{\triangle D}\right| = 1$

während bei kürzerer Belastungsdauer $\left|\frac{\triangle T'}{\triangle D}\right| > 1$ ist,

bzw. bei längerer Belastungsdauer $\left|\frac{\triangle T'}{\triangle D}\right| < 1$ gilt.

Der äquivalente Punkt ist deshalb gut zur Charakterisierung der FV geeignet, weil seine Koordinaten ($T_{50\,\text{äqu.}}$, $D_{50\,\text{äqu.}}$) die günstigste Temperatur-Dauer-Kombination für Frostbelastungsversuche angeben und weil bei FV-Vergleichen nicht nur die Abhängigkeit von der Temperatur sondern auch von der Dauer berücksichtigt werden. Die Ermittlung des äquivalenten Punktes wird mit r. O. der Standardsorte im Vorversuch durchgeführt und erfolgt in folgenden 3 Schritten:

- Bestimmung mittels linearer Regressionen derjenigen Temperaturen ($T_{50}(D_1)$ ... $T_{50}(D_m)$), die bei unterschiedlichen Stufen der Belastungsdauer einen Überlebensprozentsatz von 50 % ergeben.
- Bestimmung des äquivalenten Maßstabes für die Temperaturskala mit einem konstanten Faktor. (Einfache Transformation der Temperaturskala.)
- Ermittlung des Zusammenhanges zwischen Belastungsdauer und der Belastungstemperatur für einen Überlebensprozentsatz von 50 %. Dies erfolgt mittels hyperbolischer (d. h. quasilinearer) Regression. Der äquivalente Punkt ist grafisch und rechnerisch ermittelbar. Für diesen Punkt wird ein Konfidenzintervall angegeben.

In den folgenden Ausführungen wird jeweils nach der allgemeinen Erläuterung zu jedem der oben erwähnten 3 Schritte an Zahlenmaterial eines konkreten Beispiels die Handhabung der Methode erläutert.

3.1.1. Bestimmung von $T_{50}(D_1)$ ... $T_{50}(D_m)$

Ausgehend von den bei m Stufen der Belastungsdauer
D_1, D_2, ... D_m und n Stufen der Belastungstemperatur
T_1, T_2, ... T_n erhaltenen Überlebensprozenten η_{ik} ($i=1$, ..., m; $k=1$, ..., n) (vgl. Tabelle 1 a!)

Tabelle 1a
Indices der Überlebensprozente η

	T_1	$T_2, \ldots, T_n$
D_1	η_{11}	$\eta_{12}, \ldots, \eta_{1n}$
D_2	η_{21}	$\eta_{22}, \ldots, \eta_{2n}$
.	.	. .
.	.	. .
.	.	. .
D_m	η_{m1}	$\eta_{m2}, \ldots, \eta_{mn}$

ermittelt man für die folgenden m Ansatzfunktionen

$$(1)\qquad \begin{aligned} \eta^{(1)} &= A^{(1)} + B^{(1)}T \\ \eta^{(2)} &= A^{(2)} + B^{(2)}T \\ &\vdots \\ \eta^{(m)} &= A^{(m)} + B^{(m)}T \end{aligned}$$

mittels Regression Schätzungen $\hat{A}^{(1)}$ und $\hat{B}^{(1)}$, ... $\hat{A}^{(m)}$ und $\hat{B}^{(m)}$ für die Regressionskoeffizienten $A^{(1)}$ und $B^{(1)}$, ..., $A^{(m)}$ und $B^{(m)}$. Dies erfolgt durch Lösung der folgenden Optimierungsaufgaben

$$(2)\qquad \begin{aligned} &\sum_{k=1}^{n} (\eta_{1k} - A^{(1)} - B^{(1)}T_k)^2 \to \text{Minimum} \\ &\sum_{k=1}^{n} (\eta_{2k} - A^{(2)} - B^{(2)}T_k)^2 \to \text{Minimum} \\ &\sum_{k=1}^{n} (\eta_{mk} - A^{(m)} - B^{(m)}T_k)^2 \to \text{Minimum}, \end{aligned}$$

deren Lösungen die Form besitzen:

$$(2)\qquad \hat{A}^{(i)} = \frac{1}{n}(\eta_{i1} + \ldots + \eta_{in}) - \hat{B}^{(i)} \cdot \frac{1}{n}(T_1 + \ldots + T_n) \qquad (i = 1, \ldots m)$$

$$(3)\qquad \hat{B}^{(i)} = \frac{\sum_{k=1}^{n} (\eta_{ik}T_k) - \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n} T_k \cdot \sum_{k=1}^{n} \eta_{ik}}{\sum_{k=1}^{n} (T_k)^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{k=1}^{n} T_k\right)^2} \qquad (i = 1, \ldots, m)$$

Die Funktionen

$$(4)\qquad \begin{aligned} \eta^{(1)} &= \hat{A}^{(1)} + \hat{B}^{(1)}T \\ \eta^{(2)} &= \hat{A}^{(2)} + \hat{B}^{(2)}T \\ &\vdots \\ \eta^{(m)} &= \hat{A}^{(m)} + \hat{B}^{(m)}T \end{aligned}$$

beschreiben dann mittels linearer Gleichungen das Abhängigkeitsverhalten der Überlebensprozente von der Belastungstemperatur bei jeweils konstanter Belastungsdauer D_1, D_2 bzw. ... D_m.

Die Schätzungen $T_{50}(D_i)$ für diejenige Temperatur, bei der bei einer Belastungsdauer D_i ($i = 1, \ldots, m$) 50 % der r. O. überleben, ergeben sich nach (4) folglich aus den Beziehungen

$$(5)\qquad \begin{aligned} 50 &= \hat{A}^{(1)} + \hat{B}^{(1)}T_{50}(D_1) \\ 50 &= \hat{A}^{(2)} + \hat{B}^{(2)}T_{50}(D_2) \\ &\vdots \\ 50 &= \hat{A}^{(m)} + \hat{B}^{(m)}T_{50}(D_m). \end{aligned}$$

Konkretes Beispiel zum Punkt 3.1.:

Die Temperatur-Dauer-Kombinationen werden so gewählt, daß bei der schwächsten Belastung (D_1, T_1) eine Überlebensprozentrate von 100 % und bei der stärksten Belastung (D_4, T_5) eine Überlebensprozentrate von 0 % erreicht wird.

Tabelle 1 b
Überlebensprozente der reproduktiven Organe der Sorte 'Alkmene' im Ballonstadium bei 20 unterschiedlichen Temperatur-Dauer-Kombinationen

	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
D	−1,85°	−2,15°	−2,90°	−3,45°	−4,05 °C
2 h	100	100	53	33	28
4 h	100	98	23	32	3
7 h	98	93	7	3	0
24 h	94	86	5	0	0

Ausgehend von den Meßergebnissen der Tabelle 1 b ergeben sich für die verwendeten Belastungsdauern folgende T_{50}-Werte:

$$T_{50}(D_1) = -3{,}22\ °C$$
$$T_{50}(D_2) = -2{,}91\ °C$$
$$T_{50}(D_3) = -2{,}69\ °C$$
$$T_{50}(D_4) = -2{,}61\ °C\,.$$

Um die Handhabung der Methode schneller zu überblicken, wurde das vorliegende konkrete Beispiel (Vorversuch mit der Standardmethode) auf 5 Temperatur- u. 4 Dauerstufen reduziert. Nach unseren bisherigen Erfahrungen sind in der Praxis die in Tabelle 2 a und 2 b angegebenen Temperatur- u. Dauerstufen zur Bestimmung des äquivalenten Punktes des LG_{50} der Standardsorte ausreichend.

3.1.2. Bestimmung des äquivalenten Maßstabes für die Temperaturskala

Um den wechselseitigen Einfluß von T und D auf die Überlebensprozente (η) bewerten zu können, sind T und D in einen solchen Maßstab zu transformieren, daß **im Mittel** der Zuwachs an Überlebensprozenten $\triangle\eta$ pro Zeiteinheit $\triangle D$ gleich dem Zuwachs an Überlebensprozenten $\triangle\eta$ pro Temperatureinheit $\triangle T$ ist. Da es sich aber nur um das Verhältnis der Maßstäbe handelt, genügt es, eine der beiden Variablen T und D zu transformieren. Wir wählen die Temperatur (bei der Dauer ergeben sich selbstverständlich die gleichen Endergebnisse).

(6) $$T' = \tilde{\alpha} \cdot T$$

($\tilde{\alpha}$ = Transformationsfaktor). Dieser Faktor ist so gewählt, daß

(7) $$\frac{\triangle\eta}{\triangle T'} = \frac{\triangle\eta}{\triangle D} \text{ gilt.}$$

Daraus folgt

(8) $$\triangle T' = \triangle D.$$

Tabelle 2a

Übersicht der Belastungstemperaturen der reproduktiven Organe unterschiedlicher Entwicklungsstadien des Apfels zur Ermittlung der günstigsten Temperaturen im Vorversuch

Entwicklungsstadien der reproduktiven Organe			Belastungstemperaturen (°C) $\triangle T$	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	variierte Temperatur-spanne
1	B	Knospenaufbruchstadium	3,5	−6,0	−9,5	−13,0	−16,5	−20,0	14 °C
2	C	Grünes Spitzenstadium	2,5	−5,0	−7,5	−10,0	−12,5	−15,0	10 °C
3	C_3	Mausohrstadium	2,0	−3,0	−5,0	− 7,0	− 9,0	−11,0	8 °C
4	D	Grünes Knospenstadium	1,5	−2,0	−3,5	− 5,0	− 6,5	− 8,0	6 °C
5	E	Rotes Knospenstadium	1,0	−1,5	−2,5	− 3,5	− 4,5	− 5,5	4 °C
6	E_2	Ballonstadium	0,75	−1,5	−2,25	− 3,0	− 3,75	− 4,5	3 °C
7	F	Aufblühstadium	0,6	−1,5	−2,1	− 2,7	− 3,3	− 3,9	2,5 °C
8	F_2	Vollblütestadium	0,5	−1,5	−2,0	− 2,5	− 3,0	− 3,5	2 °C

Tabelle 2b

Anzahl der Temperatur- und Dauerstufen sowie der r. O. zur Ermittlung der günstigsten Belastungstemperatur und Belastungsdauer des Hauptversuchs (Sortenvergleich) mit Hilfe der r. O. der Standardsorte im Vorversuch der Entwicklungsstadien 1 bis 6 und 7 bis 10

Entwicklungsstadien 1 bis 6							Entwicklungsstadien 7 bis 10								
Belast. in Std.	D_1 1	D_2 2	D_3 4	D_4 6	D_5 8	$\frac{\text{r. O.}}{T}$	D_1 1,0	D_2 1,5	D_3 2,0	D_4 2,5	D_5 3,0	D_6 4,0	D_7 6,0	D_8 8,0	$\frac{\text{r. O.}}{T}$
T_1	10	10	10	10	10	50	10	10	10	10	10	10	10	10	80
T_2	10	10	10	10	10	50	10	10	10	10	10	10	10	10	80
T_3	10	10	10	10	10	50	10	10	10	10	10	10	10	10	80
T_4	10	10	10	10	10	50	10	10	10	10	10	10	10	10	80
T_5	10	10	10	10	10	50	10	10	10	10	10	10	10	10	80
$\frac{\text{r. O.}}{D}$	50	50	50	50	50		50	50	50	50	50	50	50	50	
						$\sum$ r. O. = 250									$\sum$ r. O. = 400

d. h.

$$\tilde{\alpha}\triangle T = \triangle(\tilde{\alpha}T)\triangle = D. \tag{9}$$

Man erhält folglich nach (9)

$$\tilde{\alpha} = \frac{\triangle D}{\triangle T} = \frac{\triangle\eta}{\triangle T}\cdot\frac{\triangle D}{\triangle\eta}, \tag{10}$$

d. h.

$$\tilde{\alpha} = \frac{\dfrac{\triangle\eta}{\triangle T}}{\dfrac{\triangle\eta}{\triangle D}}. \tag{11}$$

Die Werte $\frac{\triangle\eta}{\triangle T}$ und $\frac{\triangle\eta}{\triangle D}$ sind aus Tabelle 1a näherungsweise ermittelbar, und zwar durch Mittelwertbildung bzw. Differenzen von Überlebensprozenten, Belastungstemperaturen und Belastungsdauern.

$$\frac{\triangle\eta}{\triangle T} = \frac{1}{m(n-1)}\sum_{i=1}^{m}\sum_{k=2}^{n}\frac{\eta_{ik}-\eta_{i,k-1}}{T_k - T_{k-1}} \tag{12}$$

und

$$\frac{\triangle\eta}{\triangle D} = \frac{1}{(m-1)\,n}\sum_{k=1}^{n}\sum_{i=2}^{m}\frac{\eta_{ik}-\eta_{i-1,k}}{D_i - D_{i-1}}. \tag{13}$$

Mit $\tilde{\alpha}$ liegt ein Faktor vor, um T in eine zu D äquivalente Maßeinheit zu transformieren.

Für das durch Tabelle 1b eingeführte Beispiel ergibt sich:

$$\frac{\triangle\eta}{\triangle T} = \frac{1}{4(5-1)}\left(\frac{100-100}{-2{,}15-(-1{,}85)} + \frac{53-100}{-2{,}90-(-2{,}15)} + \cdots + \frac{0-0}{-4{,}0-(-3{,}45)}\right)$$

$$\frac{\triangle\eta}{\triangle T} = \mathbf{33{,}34}\ \%/^\circ\mathrm{C},$$

d. h. im Durchschnitt fallen die Überlebensprozente um 33,34 %, wenn die Temperatur um 1 °C fällt.

$$\frac{\triangle\eta}{\triangle D} = \frac{1}{(4-1)\,5}\left(\frac{100-100}{4-2} + \frac{98-100}{7-4} + \cdots \frac{0-0}{24-7}\right)$$

$\frac{\triangle\eta}{\triangle D} = -\mathbf{3{,}22}\ \%/h$, das bedeutet, daß im Mittel ein Grad Temperaturabfall die gleiche Wirkung auf die Überlebensprozente ausübt wie eine Verlängerung der Belastungsdauer um 10,35 Stunden.

3.1.3. Bestimmung des äquivalenten Punktes der LG_{50}

Nun wird der Zusammenhang zwischen der Belastungsdauer und der Belastungstemperatur für einen Überlebensprozentsatz von 50 % ermittelt. Dabei wird von den unter (1) ermittelten Werten ausgegangen:

D_1	D_2	......	D_m
$T_{50}(D_1)$	$T_{50}(D_2)$		$T_{50}(D_m)$

und der hyperbolische Ansatz

(14) $$T_{50}(D)=\frac{\alpha}{D}+\beta$$

gewählt. Dieser ist durch die starke Korrelation zwischen $T_{50}(D)$ und $\frac{1}{D}$ nahegelegt. (In einer Anzahl von Meßreihen lag der Korrelationskoeffizient bei über 0,9).
Für die Schätzungen $\hat{\alpha}$ von α bzw. $\hat{\beta}$ von β entsprechend der Methode der kleinsten Quadrate (Regression) ergibt sich:

$$\sum_{i=1}^{m}\left(T_{50}(D_i)-\frac{\alpha}{D_i}-\beta\right)^2 \to \text{Minimum},$$

d. h. mit der Bezeichnung

$$\vartheta_i=\frac{1}{D_i}$$

ist

(15) $$\hat{\beta}=\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\cdot T_{50}(D_i)-\hat{\alpha}\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\vartheta_i$$

und

(16) $$\hat{\alpha}=\frac{\sum_{i=1}^{m}T_{50}(D_i)\vartheta_i-\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\vartheta_i\sum_{i=1}^{m}T_{50}(D_i)}{\sum_{i=1}^{m}\vartheta_i^2-\frac{1}{m}\left(\sum_{i=1}^{m}\vartheta_i\right)^2}$$

Im Beispiel der Tabelle 1 b ergibt sich

$$\hat{\alpha}=-1{,}3768$$
$$\hat{\beta}=-2{,}5358\,.$$

Im äquivalenten Maßstab, also bezüglich T' vgl. (6) und D folgt dann aus

(14') $$T_{50}(D)=\frac{\hat{\alpha}}{D}+\hat{\beta}$$

wegen

(6') $$(T_{50}(D))'=\tilde{\alpha}T_{50}(D)$$

wegen

(14'') $$(T_{50}(D))'=\frac{\tilde{\alpha}\hat{\alpha}}{D}+\tilde{\alpha}\hat{\beta}\,.$$

Fassen wir die jeweiligen Faktoren $\tilde{\alpha}\hat{\alpha}$ bzw. $\tilde{\alpha}\hat{\beta}$ zusammen:

$$\tilde{\alpha}\hat{\alpha}=\dot{\hat{\alpha}} \quad \text{und} \quad \tilde{\alpha}\hat{\beta}=\dot{\hat{\beta}}\,,$$

so ist

(14''') $$(T_{50}(D))'=\frac{\dot{\hat{\alpha}}}{D}+\dot{\hat{\beta}}\,.$$

Damit haben wir den Zusammenhang zwischen Belastungsdauer D und der Temperatur (die bei der Belastungsdauer D einen Überlebensprozentsatz von 50 % ergibt) in einem Zusammenhang mit äquivalentem Maßstab gefunden.
Wegen $\triangle\eta<0$ für $\triangle D>0$ (d. h. der Überlebensprozentsatz sinkt falls die Belastungsdauer erhöht wird) gilt:

$$\frac{\triangle\eta}{\triangle D}<0\,.$$