

Literatur

1. FRIEDRICH, G.: Der Obstbau. Neumann-Verlag 1956. — 2. KEMMER, E. und F. SCHULZ: Das Frostproblem im Obstbau. München: Bayrischer Landwirtschaftsverlag 1955. — 3. LINDNER, A.: Statistische Methoden. Basel: Verlag Birkhäuser 1957. — 4. PEICHL, L.: Die Beziehung zwischen Ertrag und Witterung beim Kernobst. Z. f. Acker- und Pflanzenbau 95, 233—260 (1952). — 5. SCHMIDT, M.: Später Laubaustrieb und späte Blüte, ein Zuchtziel beim Apfel. Der Züchter 12, 281—289 (1940). — 6. SCHMIDT, M.: Beiträge zur Züchtungsforschung beim Apfel. I. Phänologische, morphologische und genetische Studien an Nachkommenschaften von Kultursorten. Der Züchter 17/18, 161—224 (1947). — 7. SCHMIDT, M.: Mehrjährige Beobachtungen über den Blühbeginn von Apfelsorten. Archiv f. Gartenbau II, 355—384 (1954). — 8. STENZ, S.: Über den Einfluß von Witterung und meteorologischen Größen auf die Ertragsleistung von Obstgehölzen. Veröffentlichungen des Instituts für Agrarmeteorologie der Karl-Marx-Universität Leipzig 1, H. 2 (1956). — 9. ZELLER, O.: Entwicklungsverlauf der Infloreszenzknospen einiger Kern- und Steinobstsorten. Angewandte Botanik 29, 69—89 (1955). — 10. ZWINTZSCHER, M.: Experimentelle Untersuchungen zur Züchtung von Obstgehölzen und Blüten. I. Malusformen. Z. f. Pflanzenzüchtung 26, 245—352 (1944).

Über die Ursachen der Zusammenhänge zwischen Temperaturgestaltung und Aufblühdaten von Obstgehölzen sowie über die Temperaturempfindlichkeit der Pflanzen

Von PÁL TAMÁS, Balsgård, Fjälkestad (Schweden)

Mit 4 Abbildungen

I. Der Einfluß klimatischer Faktoren auf den Zeitpunkt des Aufblühens. Methodologische Untersuchungen über die Temperatursummenberechnung

1. Einleitung

Betrachtet man die Reaktionsprozesse der lebenden und der leblosen Welt, so ist die grundlegende Bedeutung der Temperaturveränderungen offensichtlich. Die Intensität der Assimilation und der Atmung grüner Pflanzen ist von der Temperatur abhängig. Aus diesem Grunde hat man die Temperatur als einen der wichtigsten Faktoren für Wachstum und Entwicklung der Pflanzen in Betracht zu ziehen.

Der zwischen der Temperaturgestaltung und den Entwicklungsstadien des Pflanzenorganismus bestehende enge Zusammenhang hatte sogar die Entwicklung eines selbständigen Zweiges der Wissenschaft, der Phänologie, zur Folge. Die Phänologie ist das Grenzgebiet zwischen Biologie und Meteorologie und strebt eine Bestimmung der Gesetzmäßigkeiten an, wodurch die auf die pflanzlichen Lebensprozesse ausgeübte Wirkung der Außenfaktoren zum Ausdruck gebracht wird.

Die Phänologie will diese Aufgabe lösen, indem sie innerhalb des pflanzlichen Lebensprozesses charakteristische Stadien feststellt und erforscht, welche Konstellation der Außenfaktoren diese physiologischen Stadien herbeiführt. Von den physiologischen Stadien der Holzpflanzen wurde die Blütezeit der Obstgehölze am eingehendsten studiert. Der Grund hierfür ist die hochgradige Abhängigkeit des Beginns und der Dauer der Blütezeit von der Gestaltung äußerer Verhältnisse, die leicht zu beobachten und mit größter Genauigkeit registrierbar sind. Gleichzeitig steht die Biologie der Blüte mit der Genetik und Physiologie der Fruchtbarkeit im unmittelbarsten Zusammenhang. Deshalb sind die diesbezüglichen Kenntnisse sowohl für diese beiden Zweige der Wissenschaft als auch für die praktische Obstproduktion unentbehrlich.

Der Beginn der Blütezeit von Kernobstsorten kann selbst in dem gleichen Obstgarten allein durch die Einwirkung der Witterungsverhältnisse einzelner Jahre eine dreiwöchentliche Verschiebung erfahren (SISLER und OVERHOLSER 1943, BROWN 1940, SCHMIDT 1954 und andere). Bereits im vorigen Jahrhundert waren zahlreiche Forscher bestrebt, den Zusammenhang zwischen den äußeren Verhältnissen und dem Zeitpunkt der Blüte zu klären. ZIEGLER (1879) führt den Begriff „Temperatursumme“, HOFFMANN (1887) den „Temperaturschwellenwert“, d. h. den „Nullpunkt des Lebens“ ein. BOS (1906) analysiert in seiner großen Studie kritisch Prinzipien und Methoden der Phänologie und bezweifelt auf Grund der bisherigen Erfahrungen, daß es jemals möglich sein werde, die genaue Gesetzmäßigkeit zwischen pflanzlichen Lebensprozessen und Temperaturgestaltungen zu entdecken.

PHILLIPS (1922) fand, indem er sich auf 10jährige Beobachtungsdaten stützte, für das Küstengebiet des Pazifischen Ozeans der USA eine Verschiebung des Blütezeitbeginns von 4,6 Tagen für jeden Breitengrad, die Höhe über dem Meeresspiegel verursacht eine Verschiebung um einen Tag je 33—34 m. Er selbst weist jedoch darauf hin, daß sich aus diesen Durchschnittswerten auch bedeutende räumliche Verschiebungen ergeben. Die Höhe über dem Meeresspiegel oder ein gegebener Breitenkreis wirken also nicht unmittelbar, sondern wegen der abweichenden ökologischen Gegebenheiten mittelbar auf den Zeitpunkt der Blüte bestimmter Sorten.

CRANDALL (1924) und ELLENWOOD (1925) gelangten zu der Schlußfolgerung, daß Veränderungen der Abweichungen der Blütezeit in erster Linie von der Temperaturgestaltung gegebener Jahre abhängen, jedoch müssen notwendigerweise auch sonstige Faktoren dabei im Spiele sein. Es gelang ihnen nicht, auf Grund ihrer angewandten Methoden die Gesetzmäßigkeiten der Zusammenhänge zu klären.

HERBST und WEGER (1939, 1940) führten eine wesentliche Verbesserung der Formel für die Temperatursummenberechnung durch. Auf Grund eingehender Untersuchungen an Birnensorten stellten sie hinsichtlich der Entfaltung der Blütenknospe $+ 6^{\circ}\text{C}$ (43°F) als Temperaturschwellenwert fest. Nach Beendigung der Ruheperiode der Bäume, d. h. ihrer Meinung nach ab 1. Januar, summieren sie die „aktiven“ Temperaturgrade stündlich. Der Durchschnittswert des Temperatursummenbedarfes von 18 Birnensorten variiert, wie 5jährige Untersuchungen zeigten, zwischen $3013\text{—}3440^{\circ}\text{C}$ auf Grund der „Grad \times Stunde — Einheit“. Dies spricht also für eine hochgradige Genauigkeit dieser Methode.

Später wurde diese Methode „vereinfacht“. Zu Temperatursummenberechnungen wurden die Daten täglicher Durchschnittstemperaturen benutzt und die sich auf Tage mit Tagesmittel der Lufttemperatur oberhalb des Schwellenwertes beziehenden Daten summiert. SISLER und OVERHOLSER (1943) stellten durch einen Vergleich der im Wenatchee Tal (Staat Washington) in den Jahren 1926—1943 erhaltenen phänologischen und meteorologischen Daten eine sich innerhalb ziemlich weiter Grenzen bewegende Variation (Temperatursumme von $513\text{—}639^{\circ}\text{C}$) des Temperatursummenbedarfes der Apfelsorte *Delicious* vom 1. Februar bis zur Blütezeit fest. SCHMIDT (1954) fand auf Grund seiner Untersuchungsdaten von vier Jahren einen Temperatursummenbedarf für die frühestblühende Apfelsorte eines großen Sortiments innerhalb der Grenzen von 87 und 144°C , falls er vom 1. Januar bis zum Zeitpunkt der Blüte lediglich die Temperaturwerte oberhalb $+ 6^{\circ}\text{C}$ summierte.

Wegen der großen Abweichungen zwischen der auf Grund der mittleren Tagestemperaturen berechneten Temperatursummen und der tatsächlichen Daten der Blüte

wurde von mehreren Autoren der Versuch unternommen, die Temperatursummenhypothese zu überprüfen. SISLER und OVERHOLSER (1943) finden für diese Abweichungen in der modifizierenden Wirkung der Sonnenscheindauer eine Erklärung. Nach BROWN (1940—41) bewiesen statistische Untersuchungen meteorologischer Beobachtungen, daß die Dauer des Sonnenscheins einen weit geringeren Einfluß auf den Beginn der Blüte ausübt als die Lufttemperatur. KOBEL (1954) konnte zwischen Niederschlagsmenge und Blütezeitpunkt der kritischen Monate keine Korrelation finden. Seiner Ansicht nach wäre es richtiger, den Temperaturschwellenwert auf $+3^{\circ}$ oder $+4^{\circ}$ C zu vermindern, da bei diesen Temperaturen bereits eine Zunahme eintreten kann. Demgegenüber meinten NÄEGLER (1912) und dann MÖHRING (1942), daß die Erdbodentemperatur als entscheidender Faktor für den Beginn der Blüte in Betracht käme. NÄEGLER bringt das Erreichen von den in gegebenen Tiefen bestimmten Bodentemperaturen mit dem Beginn der Blüteperiode in Zusammenhang. LENNÉ (1956) untersuchte 9 Jahre die Richtigkeit des Zusammenhanges mit Bezug auf 17 Apfelsorten und fand zwischen den theoretisch erwarteten und den tatsächlichen Daten der Blüte eine maximale Abweichung von 12 Tagen. Die bei 50 cm gemessene Bodentemperatur folgt nämlich in bedeutendem Maße den Schwankungen der äußeren Temperatur, deshalb besitzt die NÄEGLERSche Formel lediglich vom Standpunkt der Pflanzengeographie aus eine Bedeutung.

BROWN (1940) ist der Meinung, daß dieselbe Temperatur bei fortschreitendem Frühlingwetter vom Standpunkt der Blütenknospenentfaltung über größere Intensität verfügt als früher. Derselben Meinung sind auch PEARCE und PRESTON (1953). Ihrer Ansicht nach besteht daneben auch eine Korrelation zwischen dem Blütezeitpunkt eines Jahres und der Temperatursumme des Monats Juni des vorhergehenden Jahres. In bezug auf die Apfelsorte Bramley's Seedling versuchte das East Mallinger Institut, auf Grund 18jähriger phänologischer Beobachtungen Formeln aufzustellen, mit denen es möglich wäre, die Voranzeige des Blütezeitpunktes anzugeben.

Die Forscher versuchten also, auf Grund verschiedener Theorien einen Zusammenhang zwischen phänologischen Daten und äußeren Verhältnissen zu finden. Vorläufig gibt es noch keine allgemein angenommene Hypothese und auch die angewandten Methoden sind nicht übereinstimmend. Es erscheint also notwendig, die Formeln, womit man versucht, die Gesetzmäßigkeit der Zusammenhänge zu beschreiben, miteinander zu vergleichen, den Prozentsatz der Methodenfehler zu enthüllen und nach Möglichkeit auch die Unzulänglichkeiten der Temperatursummentheorie selbst zu analysieren.

2. Untersuchungsmaterial, allgemeine methodologische Beziehungen

Föreningen för Växtförädling av Fruktträd (Balsgård, Fjälkestad, Schweden) hat sein Apfelsortiment in zwei voneinander etwa 300 m entfernt liegenden Quartieren ausgepflanzt. Auf dem Quartier „G“ befindliche Bäume sind auf E. M. IX-Unterlage stehende Spindelbäume. Die „C“-Quartier-Sorten sind ursprünglich auf E. M. IV-Unterlage veredelte Mittelstamm-bäume. Da auf diesem Quartier Jahre hindurch zahlreiche Bäume umgepfropft wurden, darf man auf dem Quartier „C“ die Unterlage nicht als einheitlich betrachten.

Das Apfelsortiment besteht aus ungef. 400 Sorten. Die Auspflanzung der ältesten Bäume erfolgte 1942—44. Da die Entwicklung des Sortiments ununterbrochen weiterschreitet, ist selbstverständlich das Alter der einzelnen Sorten verschieden. Von uns wurden lediglich Daten jener Sorten bearbeitet, deren Untersuchungsdaten uns für alle vier Jahre zur Verfügung standen. Bei kaum 1—1,5% der phänologischen Beobachtungen kam es vor, daß der Blütebeginn einzelner oder mehrerer Bäume einer bestimmten Sorte eine Abweichung von 1—2 Tagen aufwies. In diesen Fällen wurde jedesmal das Datum, das den Tabellen 6—7 gemäß die geringsten „Durchschnittsabweichungen“ ergab, als Grundlage genommen.

Der benutzte Thermograph stand nicht auf den Versuchsfeldern, sondern in der Nähe des Zentrallaboratoriumsgebäudes in der Luftlinie ungefähr 50 bzw. 300 m von den beiden Quartieren entfernt.

3. Die phänologischen Daten untersuchter Jahre und der Temperaturgestaltung. Vergleichende Untersuchungen über die verschiedenen Formeln der Temperatursummenberechnung

Durch jene ausgedehnten Untersuchungen, mit denen man bestrebt war, die Zusammenhänge zwischen den Blütezeitpunkten der Obstbäume und den äußeren Verhältnissen zu klären, wurden, wie ersichtlich war, einige wesentliche Zusammenhänge und gleichzeitig aber mehrere grundlegende Probleme enthüllt.

a) Man ist allgemein der Überzeugung, daß der Zeitpunkt des Blühbeginns grundsätzlich vom Temperaturverlauf bestimmt wird.

b) Man ist bestrebt, die Ursache der zwischen den theoretisch erwarteten und den tatsächlichen Aufblühdaten auftretenden Abweichungen mit verschiedenen Theorien zu erklären. Ein Teil der Forscher setzt neben der Temperaturgestaltung auch die induzierende Wirkung sonstiger äußerer Faktoren voraus, wie z. B. Sonnenscheindauer, Niederschlagsmenge usw. Daneben bemühen sich andere Fachleute, eine neue präzise Bestimmung für die Zusammenhänge zwischen der Temperaturgestaltung und den physiologischen Prozessen zu finden. Aus diesem Grunde wurde der Gedanke der Bodentemperaturmessung der Lufttemperaturmessung gegenüber aufgeworfen. Weiter nimmt man die Veränderung der Temperaturwirkungsintensität, die Möglichkeit einer den Breitenkreisen entsprechenden Veränderung der Ruheperiode usw. an.

Besteht nun zwischen dem Blütebeginn der Sorten und der Witterung eines gegebenen Jahres tatsächlich ein Zusammenhang, dann muß notwendigerweise eine Formel allgemeiner Gültigkeit gefunden werden, durch die man dann diese Korrelation mit der nötigen Genauigkeit auszudrücken vermag. Als ersten Schritt unserer Arbeiten wollen wir die bereits früher aufgestellten Formeln einer kritischen Untersuchung unterziehen. Formeln mit dem Anspruch allgemeiner Gültigkeit hat man bisher nur auf Grund des Wirkungsmechanismus des Temperaturfaktors aufgestellt.

Aus der Temperatursummentheorie läßt sich, wie bekannt, die logische Folgerung ziehen, daß die Blüte einzelner Sorten oder Sortengruppen mit identischem Wärmeanspruch immer bei identischen Temperatursummen einsetzt. Es kann also die Frage, ob vom Standpunkt der Entfaltung der Fruchtknospen die Temperatur tatsächlich eine entscheidende Rolle spielt und ob die zur Bestimmung der Temperatursummen angewandte Methode die Zusammenhänge der in Frage kommenden physiologischen Prozesse sowie Temperaturgestaltungen richtig ausdrückt, auf Grund eines Vergleiches der berechneten Temperatursummen und der tatsächlichen Zeitpunkte der Blüte entschieden werden.

Die Blütezeitdaten der einzelnen Sorten des Sortiments wiesen in den von uns geprüften Jahren große Abweichungen auf. Aus Tab. 1 geht hervor, daß sich diese Abweichungen nicht nur auf das Datum der Blütenentfaltung einzelner Sorten beziehen, sondern auch auf das Zeitmaß dieser Entfaltung.

Phänologischen Beobachtungen gemäß setzte die Blütezeit im Jahre 1954 um 16 Tage später ein als 1953. Der Unterschied des Blütezeitmaßes zeigt, daß diese Zwischenzeit im Jahre 1954 sich auf 7 Tage

Tabelle 1. *Blütebeginn einzelner Apfelsorten eines Sortiments. Balsgård, in den Jahren 1952—1954 und 1957.*

Blühbeginn am	1952		1953		1954		1957	
	Zahl der Sorten	%	Zahl der Sorten	%	Zahl der Sorten	%	Zahl der Sorten	%
7. 5.			1					
8. 5.								
9. 5.								
10. 5.								
11. 5.								
12. 5.	1		3	11				
13. 5.								
14. 5.		8	4					
15. 5.	21		6					
16. 5.	4		20					
17. 5.	17		36					
18. 5.	59		96	53				
19. 5.	25	51	37				1	
20. 5.	18		58				9	10
21. 5.	40		23	32			18	
22. 5.	31		22				42	
23. 5.	28	34	10		13		44	48
24. 5.	28		2	4	8	7	56	
25. 5.	17		1		70		51	
26. 5.	10				161	89	21	37
27. 5.	7	7			50		17	
28. 5.	1				10	4	22	
29. 5.					3		12	
30. 5.							1	5
31. 5.								
1. 6.							1	
Zus.	307	100	319	100	315	100	295	100

verminderte, während 1953 zwischen dem Blütebeginn der am frühesten und am spätesten sich entfaltenden Sorten 19 Tage vergangen waren.

Wenn wir nun die prozentuelle Verteilung der Sortenentfaltung als Funktion der Zeit prüfen, so lassen sich die Sorten auf Grund der Zahlenzusammenhänge in vier Gruppen aufteilen. Für die einzelnen Jahre sind 7—11% der Sorten als frühe, 48—53% als mittelfrühe, 32—37% als mittelspäte und 4—7% als späte zu betrachten. 1954 ist es unmöglich, zwischen mittelfrühen und mittelspäten Sorten eine kalendermäßige Grenzlinie zu ziehen, da sich in diesem Jahr die Entfaltung der beiden Sortengruppen wegen des schnellen Aufblühens innerhalb von drei Tagen abspielte.

In den untersuchten Jahren variierte auch die Temperaturgestaltung innerhalb weiter Grenzen. Von den diesbezüglichen Daten sollen hier die vier ersten Monate des Jahres charakterisierenden Temperaturwerte angeführt werden (s. Tab. 2).

der tatsächlichen Blütezeitdaten lassen sich nämlich bei 300 Sorten des uns zur Verfügung stehenden Sortiments jene Kalenderdaten mit größter Genauigkeit feststellen, bei denen die tatsächliche Blüte früh, mittelfrüh, mittelspät und spät blühender Sortengruppen stattfindet. Rechnet man die bei der tatsächlichen Blüte der Sortengruppe gültigen Temperatursummen jährlich aus und vergleicht sie miteinander, so lassen sich die Fehlergrenzen der angewandten Formeln auffallend charakterisieren.

Im Verlauf der Untersuchungen wollen wir einen Vergleich folgender Formeln aufstellen:

1. Einfache Temperatursumme. Bei dieser Formel wurden die Tagesmittel der Lufttemperatur mit Bezug auf gegebene Blütezeitpunkte ab 1. Januar summiert. Tagesmittel unter dem Gefrierpunkt wurden dabei mit negativem Vorzeichen berücksichtigt. Tägliche Durchschnittstemperaturen ergaben sich aus dem Mittelwert täglicher Temperaturmaxima und -minima.

2. Auf Grund von zwei Messungen erhaltene Temperatursummen „aktiver“ Tage. Hier wurden bei der Temperatursummenberechnung lediglich Tagesmittel der Lufttemperatur jener Tage berücksichtigt, die + 6° C aufwiesen. Auf Grund von zwei Messungen, also des Mittelwertes des täglichen Maximums und Minimums, wurde das Tagesmittel berechnet. Die Tagesmittel der Lufttemperatur „aktiver“ Tage wurden ab 1. Januar summiert.

3. Auf Grund dreier Messungen erhaltene Temperatursummen „aktiver“ Tage. Auch bei dieser Formel wurden lediglich Daten von Tagen berücksichtigt, die ein Tagesmittel der Lufttemperatur von mindestens + 6° C aufwiesen. Das tägliche Tagesmittel ergab sich aus dem Mittel von drei Messungen (6, 12 und 19 Uhr). Die Temperatursumme bezieht sich auf die Zeitschnitte zwischen 1. Januar und dem fraglichen Blütezeitpunkt.

4. Grad × Stunde — Einheit (im folgenden als Formel H-W). Auf Grund thermographischer Daten wurden zwischen 1. Januar und den gegebenen Blütezeitpunkten jene Lufttemperaturdaten stündlich summiert, die mehr als + 6° C aufwiesen.

5. Bodentemperatur. Von den in 40 cm Tiefe gemessenen Bodentemperaturdaten wurden Tagesmittel über + 4,5° C summiert.

Im Zusammenhang mit den Temperatursummenberechnungen möchte ich auf eine methodische Abweichung noch besonders hinweisen. Bei Formeln, bei denen mit Tagesmitteln der Temperatur gearbeitet wurde (Formel 1—3 und 5), dienten die numerischen Werte der Temperatur bei der Summierung als Grundlage. War also das Tagesmittel an einem gegebenen Tag + 6 oder + 8° C, dann wurde auch bei der Temperatursummenberechnung die Zahl 6 bzw. 8 summiert. Bei der H-W-Formel wurden dagegen die Zahlenwerte der „aktiven Temperaturen“

Tabelle 2. *Wichtigere Temperaturdaten untersuchter Jahre. Balsgård, in den Jahren 1952—1954 und 1957.*

Zeitraum	Gestaltung der Durchschnittstemperaturen				Ø	Temperatursumme für Tage, die die Durchschnittstemperatur von + 6° C überschreiten, auf Grund des max-min-Durchschnitts				
	1952	1953	1954	1957		1952	1953	1954	1957	Ø
Januar	— 0.1	— 1.5	— 4.3	+ 2.1	— 0.9				12.8	3.2
Februar	— 0.4	— 1.8	— 7.3	+ 3.2	— 1.6		6.0		6.2	3.0
März	— 0.2	+ 4.6	+ 1.4	+ 4.6	+ 2.6		63.5	6.1	29.3	24.7
April	+ 7.7	+ 7.6	+ 4.9	+ 10.4	+ 7.7	203.8	202.8	68.9	89.2	141.2
1.—15. Mai	+ 11.7	+ 7.8	+ 9.5	+ 17.1	+ 11.5	173.9	92.4	137.8	85.6	122.4
16.—31. Mai	+ 10.2	+ 15.0	+ 12.8	+ 21.7	+ 14.9	169.3	230.3	224.0	172.8	199.1

Die Variation der Temperaturdaten sowie der Zeitpunkte und Zeitmaße der Blüte ist ziemlich bedeutend. Die Durchführung einer kritischen Überprüfung der verschiedenen Formeln der Temperatursummentheorie mit Bezug auf die untersuchten Jahre scheint also reell zu sein. Bei diesen Untersuchungen finden statistische Methoden Anwendung. Auf Grund

summiert. Auf diese Weise wurde dann bei der Berechnung der Temperatursummenformel + 6° C gleich 0, + 8 bzw. + 10° C gleich 2 bzw. 4 genommen.

Die auf Grund obiger Formeln berechneten Temperatursummen ergaben jährlich und unter Berücksichtigung einzelner Sortengruppen der relativen Blüte untenstehende Werte (Tab. 3).

Die Zusammenhänge zwischen den Temperatursummen und Blütezeitpunkten werden im wesentlichen auch durch die Formeln von PEARCE und PRESTON (1953) charakterisiert. Sie konstruierten jedoch im Interesse der Voranzeige der zu erwartenden Blütezeitpunkte ihre Formeln so, daß man mit deren Hilfe keine Temperatursummen, sondern Kalenderdaten erhält. Deshalb können ihre Formeln mit den obigen nicht unmittelbar verglichen werden.

PEARCE und PRESTON nehmen an, daß der Blütetag einer Sorte in einem gegebenen Jahre teils von der Temperatursumme des Monats Juni des vorhergehenden Jahres, teils von der physiologischen Intensität der gegebenen Temperatursumme beeinflußt wird.

Von ihnen wurden auf Grund von Untersuchungen der Zusammenhänge zwischen den an Bramley's Seedling 18 Jahre lang durchgeführten phänologischen Beobachtungen und meteorologischen Daten zwei Grundgleichungen ausgearbeitet. Sie sind bemüht, durch eine verschieden proportionierte Kombination dieser beiden Grundgleichungen (Werte x und y) eine für die Voranzeige des Blütezeitpunktes geeignete Formel zu geben. Formel „A“ versucht, die Temperatursumme des Blütejahres, Formel „B“ die Zusammenhänge zwischen den Aufblühdaten und den Temperatursummen des vorangegangenen Jahres zu formulieren. Mit „C“ bezeichnen wir die Formel, die unter den verschiedenen proportionierten Kombinationen der Grundgleichungen, auf Grund der Daten der Autoren, sich den tatsächlichen Daten der Blütezeitpunkte am besten annähert.

Die in Tab. 4 verglichenen Formeln sind folgende:

Formel A: $55,6 - 0,1178 y$

Formel B: $0,1297 x - 0,092 y - 15,7$

Formel C: $0,082 x - 0,0983 y + 9,9$

y = die Temperatursumme aktiver Tage vom 15. Januar bis 15. März + $\frac{2}{3}$ (Temperatursumme aktiver Tage vom 16. März bis 31. März) + $\frac{1}{3}$ (Temperatursumme aktiver Tage vom 1. April bis 15. April)

x = Temperatursumme aktiver Tage mit Durchschnittstemperaturen des Monats Juni vor dem untersuchten Jahr.

Als „aktiv“ zählt jene Durchschnittstemperatur, bei der der Mittelwert der täglichen Maximum- und Minimumtemperaturen $42^\circ F (+ 5,5^\circ C)$ überschreitet.

Die PEARCE- und PRESTONSche Formel besitzt lediglich für die Apfelsorte Bramley's Seedling Gültigkeit. Die in den Formeln auftretenden konstanten Werte müßte man nämlich im Sinne ihrer Theorie für jede Sorte, eventuell für jeden Standort besonders bestimmen. Wir wollen hier, um die Fehlergrenzen dieser Formeln besser zu versinnbildlichen, die sich auf die ursprüngliche Mitteilung beziehenden Daten der Autoren (East Malling) vergleichen mit unseren unter eigenen Gegebenheiten erhaltenen Resultaten (Balsgård) vorführen.

In der Tabelle treten zwei Begriffe auf. Die „Durchschnittsabweichung“ ist der mathematische Durchschnitt der zwischen den auf Grund der Formel berechneten und den tatsächlich beobachteten Blütezeitdaten bestehenden Abweichung, die „maximale Abweichung“ aber ist die Summe der Blütendifferenzen jener zwei Jahre, wo die aktuellen Daten, im Vergleich

Tabelle 3. Zusammenhang zwischen Blütezeitpunkten und mitgeteilten Temperatursummen bei der Anwendung verschiedener Formeln.

Sortengruppe	1952	1953	1954	1957
1. Einfache Temperatursumme				
frühe	350—400	380—440	240—270	610—640
mittelfrühe	410—440	450—490	280—310	650—670
mittelspäte	450—490	500—540		680—710
späte	500—520	550—600	320—350	720—740
2. Auf Grund von zwei Messungen erhaltene Temperatursummen aktiver Tage				
frühe	320—370	320—350	280—300	260—280
mittelfrühe	380—410	360—390	310—340	290—320
mittelspäte	420—450	400—430		330—350
späte	460—490	440—510	350—370	360—390
3. Auf Grund dreier Messungen erhaltene Temperatursummen aktiver Tage				
frühe	410—460	410—480	370—390	440—480
mittelfrühe	470—510	490—530	400—430	490—510
mittelspäte	520—570	540—580		520—560
späte	580—630	590—650	440—470	570—610
4. Grad × Stunde — Einheit				
frühe	4700—5300	4800—5400	4900—5200	4800—5300
mittelfrühe	5400—5900	5500—6100	5300—6100	5400—5900
mittelspäte	6000—6700	6200—6900		6000—6600
späte	6800—7300	7000—7400	6200—6500	6700—7300
5. Bodentemperatur				
frühe	280—340	270—350	290—310	280—310
mittelfrühe	350—400	360—390	320—350	320—350
mittelspäte	410—440	400—430		360—390
späte	450—480	440—470	360—380	400—440

mit den theoretisch berechneten, die früheste sowie späteste Blüte aufweisen. (Sind also Verschiebungen der theoretisch berechneten Blütedaten in den vier untersuchten Jahren den tatsächlich erfahrenen Zeitpunkten gegenüber + 3, - 2, 0, + 7 Tage, dann ist die durchschnittliche Verschiebung $12:4 = 3$, und die maximale $7 + 2 = 9$ Tage (s. Tab. 4).

Tabelle 4. Abweichungen der Voranzeige von den tatsächlichen Blütedaten auf Grund der PEARCE- und PRESTONSchen Formeln bei der Sorte Bramley's Seedling.

Formel	East Malling			Balsgård		
	Zahl der untersuchten Jahre	Durchschnittsabweichung	Maximale Differenz	Zahl der untersuchten Jahre	Durchschnittsabweichung	Maximale Differenz
Formel „A“	8	5.1	16	4	2.5	6
Formel „B“	8	4.9	19	4	15.0	20
Formel „C“	18	3.1	16	4	8.2	15

Der Vergleich der verschiedenen Temperatursummenberechnungsformeln wird noch anschaulicher, wenn man diese graphisch darstellt. In unserer Abbildung 1 sind in bezug auf die geprüften Formeln und untersuchten Jahre jene Temperatursummen nebeneinandergestellt, bei denen die Blüte der einzelnen Sorten von frühen, mittelfrühen, mittelspäten und späten Sortengruppen tatsächlich begonnen hat. (Die numerischen Werte der berechneten Temperatursummen der Formel H-W sind zehnmal größer als die im Graphikon angegebenen Daten.) Falls die Temperatursumentheorie richtig ist und die angewandte Methode gut ist, muß die Blüte immer bei identischen Temperatursummen eintreten.

Vielleicht wird die Darlegung der praktischen Verwendbarkeit der verschiedenen Formeln durch die Charakterisierung derselben auf Grund ihrer Durch-

schnittsfehler noch anschaulicher. Deshalb berechneten wir, wieviele Tage die Durchschnittsabweichung der bei der Blütezeit der einzelnen Sortengruppen in den untersuchten Jahren erfahrenen Temperatursummendifferenz beträgt (s. Abb. 2).

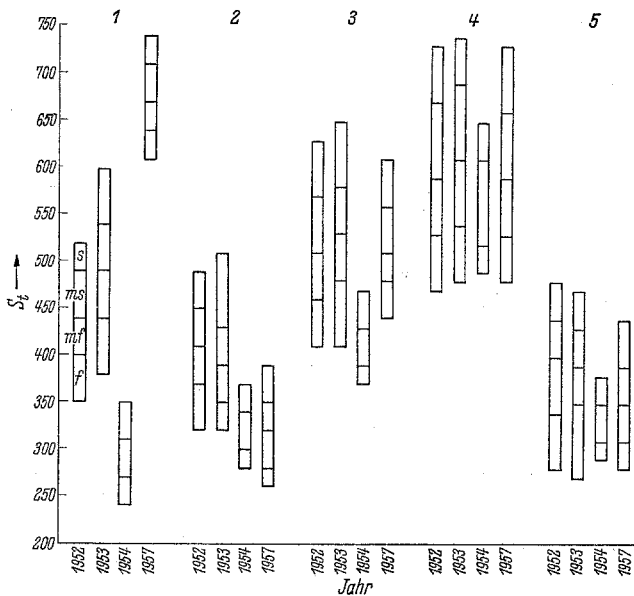


Abb. 1. Zusammenhang zwischen Blütezeitpunkten und angegebenen Temperatursummen bei Anwendung verschiedener Formeln. — Zeichenerklärung: S_t die Temperatursumme, f , mf , ms , s die früh, mittelfrüh, mittelspät, spät blühenden Sortengruppen, 1—5 bedeuten die verschiedenen Formeln der Temperatursummenermittlung.

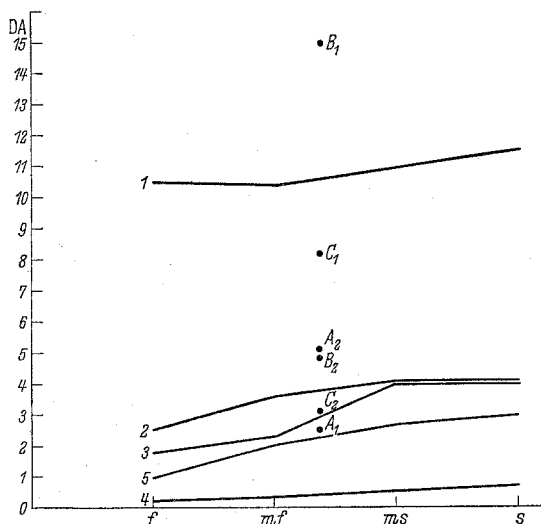


Abb. 2. Abweichung der Voranzeige von den tatsächlichen Blütezeitpunkten bei Anwendung von verschiedenen Formeln der Temperatursummentheorie. — Zeichenerklärung: DA die Durchschnittsabweichung in Tagen, f , mf , ms , s die früh, mittelfrüh, mittelspät, spät blühenden Sortengruppen, A_1 , B_1 , C_1 ferner A_2 , B_2 , C_2 die PEARCE- und PRESTONSchen Formeln mit Daten der Sorte Bramley's Seedling von Balsgård bzw. East Malling bedeuten.

4. Auswertung der verschiedenen Temperatursummenermittlungsformeln

Während unserer Untersuchungen waren wir bestrebt, die praktischen Werte der verschiedenen Formeln der Temperatursummenermittlung auch zahlenmäßig zum Ausdruck zu bringen. Auf Grund unserer eigenen Untersuchungen und des Studiums von Literaturdaten ist es uns möglich, die praktische Bedeutung der Fehlergrenzen der verschiedenen Formeln sinnfällig darzustellen.

Durch einen Vergleich zahlreicher untersuchter Daten läßt sich feststellen, daß die zwischen den berechneten und tatsächlich erfahrenen Blütedaten

bestehende „maximale Differenz“ im allgemeinen 3—5 mal größer ist als die „Durchschnittsabweichung“. Das ist eine Methode, deren durchschnittliche Abweichung, durchschnittlicher Fehler 5 Tage, zusammen 12—15 Tage maximale Abweichungen zwischen den theoretisch erwarteten und während der phänologischen Aufnahmen registrierten Blütedaten aufweist. Es ist bekannt, daß zwischen den äußersten Blütezeitdaten derselben Sorte, abhängig von den Jahrgängen, eine Differenz von 20—23 Tagen gefunden wurde. Vom Standpunkt der Prognose der Blütezeit können nur jene Methoden in Betracht kommen, deren Durchschnittsfehler lediglich ein Bruchteil dieser Durchschnittsschwankung ist, die bei den Blütedaten auftritt. Diesen Anforderungen entspricht von den überprüften Methoden nur die „vergessene“ Formel von HERBST und WEGER. Mit dieser Methode erhielten wir bei rund 300 Sorten eine Durchschnittsabweichung lediglich von 0,5 Tagen.

Mit welcher Genauigkeit durch die H-W-Formel die Zusammenhänge zwischen äußeren Verhältnissen und Blütezeitpunkten angegeben werden können, ist am anschaulichsten an Abb. 1 analysierbar. Aus der Abbildung ist ersichtlich, daß die Blütezeit der frühen Sorten in äußerster Genauigkeit mit den theoretisch erwarteten Daten übereinstimmt. Bei den übrigen Sorten findet man eine derartig hochgradige Genauigkeit nur unter den Daten von 1952, 1953, 1957. 1954 blühten nämlich auch die mittelfrühen und mittelspäten Sorten bei derselben Temperatursumme, die in den anderen drei Jahren nur für das Aufblühen mittelfrüher Sorten genügend war. So koinzidiert also im Jahre 1954 die Blütezeit der späten Sorten mit der Blütezeit der in den anderen drei Jahren mittelspät blühenden Sorten.

Im Hinblick auf die Sicherheit der Prognose ist diese Differenz so gering, daß sie keine methodische Frage aufwirft. (In bezug auf das gegebene Jahr ergibt nämlich diese Abweichung eine Temperatursummendifferenz von 1,5 Tagen.) Trotzdem ist es von physiologischem Standpunkt aus ein wichtiges Problem. Hat das vielleicht zu bedeuten, daß die Wirkungsintensität der aktiven Temperaturen durch das Näherrücken des Blütezeitpunktes tatsächlich zunimmt? (BROWNSche Theorie.) Oder bedeutet es nur soviel, daß der Wärmeüberfluß der vom Thermographen nicht angezeigten Bestrahlung bzw. der Wärmeverlust der nächtlichen Ausstrahlung imstande ist, jährlich eine Blütezeitverschiebung von 1—2 Tagen zu verursachen? Diese Frage läßt sich auf Grund unserer bisherigen Untersuchungen nicht beantworten. Jedenfalls scheint nachgewiesen zu sein, daß unter natürlichen Verhältnissen außer der Temperatur kein Faktor existiert (Niederschlagsmenge, Sonnenscheindauer, Luftdruck usw.), der auf den tatsächlichen Zeitpunkt der Obstbaumblüte einen wesentlichen Einfluß ausüben würde. Die Variationsschwankung dieser äußeren Faktoren ist nämlich im Vergleich zu den Veränderungen der berechneten Temperatursummen so groß, daß keinerlei Korrelation zu entdecken ist.

Durch Abb. 1 wird verständlich, warum immer wieder mit Formeln experimentiert wird, welche die Tagesmittel der Lufttemperatur als Grundlage der Temperatursummenermittlung nehmen. In einem bedeutendem Teil des Jahres laufen nämlich die Akkumulation der für die Pflanzen physiologisch

„aktiven“ Temperatursummen und die für Tage mit „aktiven“ Durchschnittstemperaturen berechneten Temperatursummen parallel. Diese Methoden sind jedoch wegen ihrer grundlegenden Fehler ziemlich häufig gezwungen, die „Existenz“ von Jahren mit „abnormer“ Witterung, die eine mit der Theorie nicht übereinstimmende Temperaturgestaltung aufweisen, festzustellen.

Die auffallend große Differenz, die wir auf Grund der Bearbeitung der Daten von East Malling und Balsgård zwischen den durchschnittlichen Abweichungen bei den PEARCE- und PRESTONSchen Formeln „B“ und „C“ fanden, weisen auf eine sehr wichtige Tatsache hin.

Sie haben die Formeln „B“ und „C“ konstruiert in der Voraussetzung, daß die Temperatursumme des Monats Juni des vorhergehenden Jahres auf den Blütezeitpunkt einen Einfluß ausübe. Die Knospendifferenzierung und die innere strukturelle Anordnung der Blütenknospen sind, wie BIJHOUWER (1924) und andere Autoren beim Apfel nachwiesen, ziemlich lange Prozesse. Durch die Tatsache, daß die Pflanze zwischen der vollkommenen Knospengestaltung und der Knospentfaltung eine Ruheperiode durchläuft, wird von vornherein die Voraussetzung, wonach die Temperatursumme eines kürzeren Zeitabschnittes der Knospendifferenzierung auf die Blütezeitpunkte einen Einfluß ausüben könnte, widerlegt. Die im Zusammenhang mit dem Treiben der Holzpflanzen gemachten Erfahrungen beweisen nämlich eindeutig, daß die Blüte nur nach Verlauf der Ruheperiode stattfinden kann. Wenn es nun an bestimmten Stellen scheint, als ob zwischen der Temperatursumme irgendeines Monats des Jahres vor der Blüte und dem Blütezeitpunkt eine gewisse Korrelation bestünde, dann weist die Korrelation nicht auf physiologische, sondern auf meteorologische Zusammenhänge hin. Es ist vorstellbar, daß zwischen der Temperatursumme des Monats Juni eines gegebenen Jahres und der Temperaturgestaltung des Frühlings des nächsten Jahres ein gewisser sich gesetzmäßig wiederholender Zusammenhang besteht. Die Klärung dieser Frage kann vom Standpunkt der Weiterentwicklung der Methode der Blütevoranzeige vorteilhaft sein; jedoch gehört die Untersuchung dieses Problems bereits in den Bereich der Meteorologie.

Nach NAEGLER (1912) findet die Blüte der frühen Apfelsorten dann statt, wenn die Bodentemperatur in ung. 50 cm Tiefe + 10° C erreicht. Wir haben bereits festgestellt, daß sich diese Formel nur für grobe Informationen eignet. Vergleicht man aber die aus dem Tagesmittel der Bodentemperaturen berechneten Temperatursummen mit den tatsächlichen Daten der Blütezeit, so erhält man eine wesentlich bessere Korrelation als auf Grund der Luftdurchschnittstemperaturen. Die Voranzeige der Blütezeit kann also auch mit der notwendigen Sicherheit wahrscheinlich durch die Weiterentwicklung der auf den Bodentemperaturmessungen beruhenden Formeln vorgenommen werden.

Man darf also auf Grund der Untersuchungsergebnisse folgende Hauptfolgerungen ziehen:

1. Der Zeitpunkt der Obstbaumblüte wird unter natürlichen Verhältnissen allein von der Temperatursumme des Blütejahres als äußerem Faktor beeinflusst. Selbst die Temperaturverhältnisse des der Blütezeit vorher-

gehenden Jahres üben auf den Zeitpunkt der Blüte keine Wirkung aus.

2. Durch die von HERBST und WEGER eingeführte Formel werden die Zusammenhänge zwischen der Temperaturgestaltung und dem physiologischen Prozeß der Blüte bei Äpfeln und Birnen so genau ausgedrückt, daß auf Grund derselben die Voranzeige, die Prognose der Blütezeit, in der Praxis eingeführt werden könnte.

3. Die Temperatursummentheorie selbst bedarf jedoch einer Überprüfung, weil selbst bei der Anwendung der HERBST-WEGERSchen Formel Jahre erscheinen, die auf „abnorme“ Witterung hinweisen, d. h. auf Temperaturgestaltungen, deren biologische Wirkung durch die Temperatursummentheorie keine Erklärung findet.

II. Die Theorie der thermischen Reaktionsnormen

1. Analyse einzelner Sorten des Sortimentes auf Grund der HERBST-WEGERSchen Formel

Die für die Temperatursummenberechnung bzw. für die Voranzeige der Blütezeitpunkte angewandten verschiedenen Methoden wurden im obigen miteinander verglichen. Im Verlauf unserer bisherigen Analyse suchten wir auf Grund der Gesetze für große Zahlen statistische Zusammenhänge, um die Fehlergrenzen der verschiedenen Formeln bestimmen zu können. Um weitere physiologische Zusammenhänge zu erschließen, wollen wir nun die einzelnen Sorten des uns zur Verfügung stehenden Sortimentes auf Grund der H-W-Formel analysieren.

Auf Grund der thermographischen Daten stellten wir eine Tabelle auf, die in bezug auf die geprüften Jahre die Temperatursummen jener Tage angibt, an denen eine oder mehrere Sorten tatsächlich zu blühen begannen (s. Tab. 5).

Tabelle 5. Die auf Grund der HERBST-WEGERSchen Formel berechneten Temperatursummen in der Blüteperiode von Apfelsorten. Balsgård, in den Jahren 1952—1954 und 1957.

Datum am	1952	1953	1954	1957
7. 5.		4800		
8. 5.		4900		
9. 5.		5000		
10. 5.		5040		
11. 5.		5050		
12. 5.	4710	5160		
13. 5.	4950	5220		
14. 5.	5070	5280		
15. 5.	5220	5330		
16. 5.	5330	5460		
17. 5.	5400	5520		
18. 5.	5500	5770		4770
19. 5.	5690	6050		4980
20. 5.	5780	6360		5160
21. 5.	5900	6570		5270
22. 5.	6050	6850		5450
23. 5.	6230	7190	4930	5680
24. 5.	6510	7420	5100	5850
25. 5.	6670		5290	5970
26. 5.	6820		5520	6100
27. 5.	7040		5820	6180
28. 5.	7250		6190	6330
29. 5.			6490	6480
30. 5.			6790	6730
31. 5.			7120	6950
1. 6.				7230

Unter Zugrundelegung der obigen Tabelle setzten wir die Tage der untersuchten Jahre, die auf identische

Temperatursummen hinweisen, nebeneinander. Im Sinne der Temperatursummentheorie muß die Blüte der Sorten immer bei identischen Temperatursummen einsetzen. In Tab. 6 sind also in einer Reihe die theoretisch bestimmten Tage für alle Sorten angegeben.

Tabelle 6. Tage, die auf identische Temperatursummen in der Blüteperiode von Apfelsorten hinweisen. Balsgård, in den Jahren 1952—1954 und 1957. (Die für die Blüte angegebenen Daten waren im Mai, die beiden letzten von 1957 im Juni aufgenommen.)

1952	1953	1954	1957
13	7—9	23	19
14	9—12	23—24	19—20
15	12—14	24—25	20—21
16	15	25	20—21
17	15—16	25—26	22
18	17	26	22—23
19	18	26—27	23
20	18	26—27	23—24
21	18—19	27—28	24—25
22	19	27—28	25—26
23	19—20	28—29	27—28
24	20—21	29	29
25	21—22	29—30	29—30
26	22	30	31
27	22—23	30—31	31—1
28	23—24	31	1

Mit Hilfe der so vereinfachten „Temperatursummentabelle“ lassen sich bei einer großen Anzahl von Sorten die zwischen theoretisch erwarteten und tatsächlich erfahrenen Blütendaten auftretenden Abweichungen verhältnismäßig schnell feststellen. Die tatsächlichen Blütendaten wurden jedesmal mit jener Reihe der Tab. 6 verglichen, der gegenüber sich die Abweichungen als die kleinsten erwiesen. Dann wurden für jede einzelne Sorte die den theoretisch erwarteten Blütezeitdaten gegenüberstehenden Abweichungen bestimmt. Wir bezeichneten die „Gesamtabweichung“ dann mit 0000, wenn die tatsächliche Blüte der Sorte in jedem Jahre mit der theoretisch erwarteten (die in derselben Reihe) übereinstimmt, wie z. B. beim Einsetzen der Blüte am 18. Mai 1952, am 17. Mai 1953, am 26. Mai 1954, am 22. oder 23. Mai 1957. Wicht jedoch die Blütezeit in irgendeinem Jahr um 1—2 Tage ab, dann bezeichneten wir diese Abweichung mit 0001 bzw. 0002. In Tab. 7 gruppieren wir die Sorten in der Reihenfolge der so berechneten Abweichungen und gaben den Durchschnittsfehler der Sortengruppe, d. h. die zwischen den theoretisch erwarteten und tatsächlich erfahrenen Blütezeitdaten auftretende Abweichung, an.

Vergleicht man die Daten der Tabelle mit denen der bereits bekanntgegebenen sonstigen Methoden, so fällt die hochgradige Genauigkeit der Formel noch mehr auf. Mehr als die Hälfte der Sorten zeigt eine Durchschnittsabweichung von nur 0—0,5 Tagen. Die Durchschnittsabweichung von Sorten mit größten Schwankungen — lediglich 4% sämtlicher Sorten! — beträgt 1,75—2,25 Tage, weniger also als die genauesten Daten der vorhergehenden Formeln. Hier müssen wir noch darauf hinweisen, daß bei den anderen Formeln lediglich die mit statistischen Methoden berechneten Durchschnittswerte der durchschnittlichen Abweichungen angegeben wurden und nicht die Daten von Sorten, die die größten Durchschnittsabweichungen aufwiesen.

Tabelle 7. Abweichungen von den auf Grund der HERBST-WEGERSchen Formel erwarteten Daten für die Blütezeit.

Gesamtabweichung in Tagen	Durchschnittsabweichung in Tagen	Zahl der Sorten	Prozent der Sorten
0000	0.00	18	6
0001	0.25	60	21
0011	0.50	58	26
0002		16	
0111	0.75	16	20
0012		37	
0003		5	
0112	1.00	15	15
0013		15	
0022		10	
0004		3	
1112	1.25	4	5
0113		3	
0122		3	
0014		2	
0023		2	
1122	1.50	2	3
0114		1	
0123		3	
0222		2	
0024		1	
0033		1	
1123	1.75	3	4
1222		2	
0124		4	
0034		2	
0432	2.25	1	
Zusammen		289	100

2. Abweichungen der Temperaturschwellenwerte von Apfelsorten

Das allgemeine Temperatursummengesetz

Prüft man den Blütebeginn von Sortengruppen, die den relativen Zeitpunkten der Blüte entsprechen, so fällt sofort die beinahe überraschende hochgradige Genauigkeit der H-W-Formel auf. Vergleicht man jedoch die Tage der Blüte mit dem theoretisch erwarteten Tage sortenweise, so zeigt sich doch eine bestimmte Variationsskala. Die Daten der Tab. 7 weisen nämlich folgende Abweichungen auf:

Das Korrelationsmaß	Durchschnittsabweichung	% der Sorten
Die Korrelation ist eng	0.00—0.50	53
Die Korrelation ist ungewiß	0.75—1.00	35
Die Korrelation ist zweifelhaft	1.25—2.25	12

Diese Variation steht weder mit der unregelmäßigen Temperaturgestaltung des „abnormen“ Jahres 1954 noch mit den Veränderungen der verschiedenen äußeren Faktoren im Zusammenhang. Diese zwischen den theoretisch festgestellten und den tatsächlichen Blütezeitpunkten der Sorten erfahrenen Abweichungen lassen sich lediglich durch endogene Ursachen erklären. Man muß also annehmen, daß der Temperaturschwellenwert der einzelnen Sorten eine genetisch bestimmte und sortenweise variierende Eigenschaft ist. Dementsprechend wird der Blütebeginn der einzelnen Sorten und im allgemeinen die ganze vegetative Tätigkeit von dem für die Sorten gültigen Temperaturschwellenwert und von der für die einzelnen biologischen Stadien notwendigen Temperatursumme bestimmt.

Die allgemeine Formel für den Zusammenhang zwischen biologischen Stadien und Temperaturgestaltung ist also folgende:

$$S_i = \sum a (t - \tau) \quad (1)$$

wo a = die Zahl der stündlichen Temperaturablesungen,
 t = die bei der Ableseung beobachtete Temperatur,
 τ = der Temperaturschwellenwert der Sorte und also

$t - \tau$ = die physiologisch aktive Temperatur,
 S_i = die zur Herstellung des fraglichen biologischen Stadiums notwendige Temperatursumme ist.

Man erhält die Temperatursumme durch eine vom vorherigen Stadiumablauf ab durchgeführte Summierung von Temperaturen, die höher als die für die Sorten gültigen Temperaturschwellenwerte sind. Die Temperatursummenberechnung ist also desto genauer, je treuer sie den Temperaturschwankungen folgen kann. Eine unendlich häufige Ableseung (z. B. per Sekunde) ergibt den tatsächlichen Temperatursummenwert theoretisch. Durch eine stündliche Ableseung werden für die Praxis bereits den Ansprüchen der Prognose entsprechend genaue Resultate erzielt. Bei genaueren biologischen Experimenten ist es jedoch zweckmäßiger, wenn man die Flächengröße oberhalb des Temperaturschwellenwertes der mittels Thermograph aufgenommenen Temperaturkurven planimetriert. Auf diese Weise läßt sich die Fehlergrenze von ung. 3—5% ausschalten, die sich bei einer stündlichen Ableseung der Daten ergibt.

Die tatsächliche Existenz bestimmter Sortendifferenzen in bezug auf Temperaturschwellenwerte läßt sich in erster Linie durch die Verschiebungen der relativen Blütezeiten der Sorten beweisen. Es ist allgemein bekannt, daß die einzelnen Sorten des gleichen Obstgartens auch einmal mit der einen, das andere Mal mit der anderen Sortengruppe gleichzeitig blühen (MOHÁCSY-MALIGA, 1956). Nicht immer die gleiche Sorte entfaltet sich als erste oder als letzte (SCHMIDT, 1954). HERBST-WEGER-RUDLOFF (1940) unterscheiden auf Grund des Studiums relativer Blütezeitpunkte der Sorten „stabile“ und „labile“ Sorten.

Der gesetzmäßige Zusammenhang zwischen den Abweichungen der Temperaturschwellenwerte und den Verschiebungen der relativen Blütezeitpunkte ist augenfällig. Wird es nämlich „rasch“ Frühling, d. h. akkumuliert sich innerhalb verhältnismäßig kurzer Zeit aus relativ hohen Temperaturen die zur Herstellung des physiologischen Stadiums der Blüte notwendige Temperatursumme, dann erfolgt die Blüte der Sorten mit hohen Temperaturschwellenwerten relativ früh und die Blüte der niedrigen Temperaturschwellenwertsorten verhältnismäßig später. Die niedrigen „aktiven“ Temperaturwerte und das damit verbundene verhältnismäßig langsame Eintreffen des Frühlingwitters akkumulieren aber im Gegenteil die für Sorten niedriger Temperaturschwellenwerte notwendige Temperatursumme schneller.

Dieser Zusammenhang geht nämlich genau aus der oben angegebenen allgemeinen Formel des Temperatursummengesetzes hervor. Aus der Zahl der stündlichen Thermographablesungen und den dazugehörenden „aktiven“ Temperaturwerten ergibt sich ein vom Jahrgang unabhängiger, sich auf die einzelnen Sorten beziehender und bestimmter Zahlenwert. Daher ist $\sum a_1(t_1 - \tau) = \sum a_2(t_2 - \tau) = \dots = \sum a_n(t_n - \tau) = S_i$ (2)

wo a_1, a_2, \dots, a_n die Zahl der Ableseungen in den einzelnen Jahren, t_1, t_2, \dots, t_n die dazugehörenden Temperaturwerte, τ den Temperaturschwellenwert und S_i die für die Herstellung des untersuchten biologischen Stadiums notwendige und für einzelne Sorten charakteristische Temperatursumme bedeuten.

Stimmt also der tatsächliche Temperaturschwellenwert einer Sorte nicht mit dem als Berechnungsgrundlage vorausgesetzten Wert (z. B. mit $+6^\circ\text{C}$), d. h.

$$\tau \neq +6$$

überein, dann stimmen auch die bei tatsächlichen Blütezeitpunkten erfahrenen Temperatursummen notwendigerweise nicht überein, d. h.

$$\sum a_1(t_1 - \tau) \neq \sum a_2(t_2 - \tau).$$

Das Endresultat des Produktes $\sum a_1(t_1 - \tau)$ weicht in dem Maße vom Produkt $\sum a_2(t_2 - \tau)$ ab, in dem der tatsächliche Wert τ sich von den hypothetisch angenommenen $+6^\circ\text{C}$ unterscheidet.

Die Sorten mit hohen bzw. niedrigen Temperaturschwellenwerten lassen sich aus einem großen Sorti-

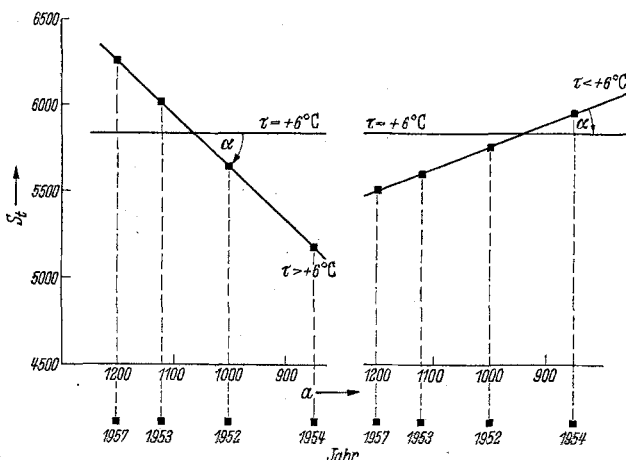


Abb. 3. Allgemeines Schema zur Bestimmung des tatsächlichen Temperaturschwellenwertes, falls die Berechnung der Temperatursumme auf Grund des hypothetisch als $+6^\circ\text{C}$ angenommenen Wertes τ erfolgt. — Zeichenerklärung: S_i die auf Grund der Formel H-W ausgerechneten relativen Temperatursummen [$\sum a(t - \tau)$], a die Zahl der Ableseungen (also in diesem Fall die Zahl der Stunden mit mehr als $+6^\circ\text{C}$).

ment leicht herausheben, wenn man das Charakteristikum der Temperaturgestaltung gegebener Jahre mit den auf Grund der Formel H-W ausgerechneten relativen Temperatursummen vergleicht.

Deshalb hat man für jedes einzeln geprüfte Jahr zu zählen, wieviele Temperaturdaten und Ableseungen den bei $+6^\circ\text{C}$ bedingt festgesetzten Temperaturschwellenwert überschritten. Die Zahl der Ableseungen wird dann an der Abszisse des Graphikons angegeben, der abnehmenden Größenordnung der Ableseungszahlen gemäß. Die Ordinate gibt die Skala der auf Grund der H-W-Formel berechneten Temperatursummen an (s. Abb. 3).

Aus Tab. 7 werden diejenigen Sorten ausgewählt, deren durchschnittliche Abweichung den Versuchsfehler überschreitet. Die bei der tatsächlichen Blüte berechneten Temperatursummen der Sorten trägt man jährlich in das Graphikon ein. Weist die die Punkte verbindende Gerade einen negativen Winkelkoeffizienten auf, dann ist der tatsächliche Temperaturschwellenwert der Sorte größer als $+6^\circ\text{C}$. Hat aber die Verbindungsgerade einen positiven Winkelkoeffizienten, dann wird der tatsächliche Temperaturschwellenwert geringer als $+6^\circ\text{C}$.

Die an den Diagrammen angegebenen Verbindungslinien werden nur unter gewissen Bedingungen genau gerade. Die eine Bedingung ist die lineare Anordnung der a -Werte, die andere, daß die berechnete Temperatursumme alle Temperaturwerte enthalte, die zur Herbeiführung des untersuchten Prozesses beitragen. Da wir aber von dem Temperaturschwellenwert $+6^\circ\text{C}$ als Rechnungsgrundlage ausgingen, kann die Linie, die Temperatursummen von Sorten mit geringerem Temperaturschwellenwert angibt als jene, von der regelmäßigen Geraden eine geringfügige Abweichung aufweisen. Die Linie, die die Sorten mit hohen Temperaturschwellenwerten darstellt, ist regelmäßig gerade.

Mit dieser Methode läßt sich schnell und eindeutig feststellen, ob die Sorten mit hohen Durchschnittsabweichungen über einen hohen oder niedrigen Temperaturschwellenwert verfügen.

Auf Grund der Abb. 3 kann man auf das Maß der Abweichung des Wertes τ der Sorte von $+6^\circ\text{C}$ einen Schluß ziehen. Der durch die Gerade, die die Punkte verbindet, und durch die Horizontale eingeschlossene Winkel verändert sich nämlich proportional dem Wert τ . (Durch den Tangens des Winkels α wird die Steilheit der Geraden angegeben, deshalb kann man den Wert τ aus $\text{tg } \alpha$ mit annähernder Genauigkeit berechnen.)

Mit dieser Methode konnten wir feststellen, ob die Sorten, die in unserer Tabelle 1,25 Tage oder größere Durchschnittsabweichungen aufweisen, niedrige oder hohe Temperaturschwellenwerte besitzen.

Sorten mit niedrigem Temperaturschwellenwert		Sorten mit hohem Temperaturschwellenwert
Arreskov	Hornsberg	Apfel aus Croncels
Barnack Orange	Joy Bells	Charlamowski
Bedford Pippin	Kaiser Wilhelm	Formand Jörgensen
Charles Ross	Kingston Black	Gravensteiner,
Coulon's Renette	Kungssäpfe	gelber
Edward VII.	Laxton's Triumph	Graue Herbst-
Frösåker	Loaf Sugar	renette
Gelber Richard	Pippin	Joyce
Gloire de Hollande	London Pepping	Laxton's Exquisite
Golden Noble	Melon	Maidstone Favou-
	Minnehaha	rite

Es ist wichtig zu bemerken, daß der Temperaturschwellenwert und das Temperatursummenbedürfnis der Gravensteiner Mutanten nicht identisch ist. Die Mutanten weichen also in bezug auf ihre Anpassung notwendigerweise voneinander ab.

Obige Methode zur Bestimmung des Temperaturschwellenwertes ist eine charakteristische „Massenselektionsmethode“. Auf Grund von präzise aufgenommenen phänologischen Daten von einigen Jahren erhält man rasche Aufklärung darüber, ob die hinsichtlich ihrer Temperaturschwellenwerte voneinander bereits entschieden abweichenden Sorten zu den Sortengruppen mit niedrigen oder hohen Temperaturschwellenwerten gehören. Zwar wird durch den Beugungswinkel der in Abb. 3 dargestellten Kurve die ungefähre Größe des Wertes τ angegeben, mittels dieser Methode läßt er sich aber kaum genau bestimmen.

Die genaue Bestimmung der Temperaturschwellenwerte der Sorten erfolgt auf dem Versuchswege. Auf Grund der bereits beschriebenen grundlegenden Zusammenhänge läßt sich die Einstellungsweise der Versuche und die Berechnung des Wertes τ in folgender Weise zusammenfassen:

Nach Ablauf der Ruheperiode stellt man wurzelrechtes Pflanzenmaterial in standardtemperierten Treibhäusern parallel ein. Die Durchschnittstemperatur der Treibhäuser überschreite den erwarteten Temperaturschwellenwert geringfügig und auch im Vergleich zueinander sollen sie abweichende Temperaturen aufweisen (z. B. im Falle von Äpfeln $+8-9$ bzw. $+9-10^\circ\text{C}$). Da die in Formel (2) auftretenden Werte a_1, a_2, t_1, t_2 von den die Temperaturdaten der beiden Pflanzenhäuser charakterisierenden Thermographbändern ablesbar sind, lassen sich die Werte τ unmittelbar berechnen. Aus obiger Formel ergibt sich nämlich:

$$\tau = \frac{a_1 t_1 - a_2 t_2}{a_1 - a_2} \quad (3)$$

3. Das Gesetz der Temperaturoptima

Im Zusammenhang mit den Temperaturveränderungen und deren physiologischen Auswirkungen hat man noch eine grundlegende Gesetzmäßigkeit in Betracht zu ziehen. Die Reaktionsgeschwindigkeit der durch die Temperatur beeinflussten Vorgänge verändert sich abhängig vom absoluten Temperaturwert sowohl in der lebenden als auch leblosen Natur. VAN'T HOFF stellte bereits im Jahre 1884 die bekannte RGT-Regel (Reaktionsgeschwindigkeit-Temperaturregel) auf. Diese allgemeine Gesetzmäßigkeit spricht aus, daß der Pflanzenorganismus auf die ihn erreichenden Temperatureinwirkungen nicht linear, sondern der Optimumkurve entsprechend parabolisch reagiert. Je mehr sich die zwischen der Ruheperiode und der Blüte mitgeteilte Durchschnittstemperatur dieser optimalen Temperatur nähert, desto größer wird die Geschwindigkeit der sich zwischen der Ruheperiode und der Blüte abspielenden Vorgänge, d. h. um so geringer wird der zur Blüte notwendige Wert S_t .

Zu derselben Schlußfolgerung gelangten die Autoren PALLMANN-EICHENBERGER-HASLER (1940) beim Vergleich der Geschwindigkeit der Rohrzuckerinversion und der Temperaturgestaltung. BEKE (1952) konnte auf Grund methodischer Untersuchungen einzelner äußerer Faktoren mit Bezug auf Weizen, Mais und Raps nachweisen, daß der Pflanzenorganismus auf die ihn erreichenden verschiedenartigen Einwirkungen gemäß der Optimumkurve parabolisch reagiert.

Diese Gesetzmäßigkeit wird in den tatsächlichen Daten unseres im Sinne der Abb. 3 angefertigten eigenen Graphikons überzeugend dargestellt.

Abb. 1 zeigt, wie sich die notwendigen Temperatursummen der den relativen Blütezeitpunkten entsprechen den Sortengruppen in den untersuchten Jahren gestalteten. 1954 haben sich die zur Blüte notwendigen Temperatursummen entschieden vermindert. In diesem Jahr verlief der Frühling sehr „rasch“. Die Durchschnittsdifferenz zwischen $t - \tau$ übertraf jene der sich auf die anderen drei Jahre beziehenden Daten bei weitem.

Wenn dann die Daten der Sorten, deren Temperaturschwellenwerte von $+6^\circ\text{C}$ am meisten abweichen, auf Abb. 3 übertragen wurden, gestalteten sich die Kurven für sämtliche untersuchten Sorten mit folgerichtiger Regelmäßigkeit wie folgt (s. Abb. 4).

Die Sorten $\tau > 6^\circ\text{C}$ ergaben die auch an vorhergehender Skizze angeführten vollkommen regelmäßigen Geraden, was ein Zeichen dafür ist, daß sich bei ihnen die Durchschnittstemperaturen gegebener Jahre linear akkumulieren. Demgegenüber wies die Kurve für

Sorten mit niedrigen Temperaturschwellenwerten im Vergleich zur allgemeinen Skizze eine entschiedene Abweichung auf. Die zwischen den Jahren 1957—1953—1952 regelmäßig ansteigende Gerade fällt nämlich 1954 in einem ziemlich steilen Bogen im großen und ganzen auf dieselbe Temperatursumme zurück, von der sie 1957 ausgegangen ist. In bezug auf Sorten mit niedrigen Temperaturschwellenwerten akkumulierte also die zum Aufblühen notwendige Temperatursumme 1954 bereits der Optimumkurve entsprechend.

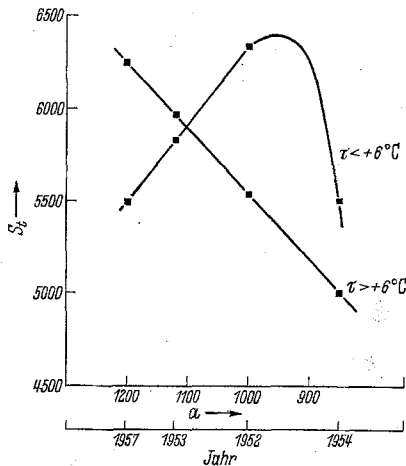


Abb. 4. Anwachsen der Wärmewirkungsintensität bei zunehmenden „aktiven“ Temperaturen (Werte $t - \tau$). — Für die $\tau > +6^\circ\text{C}$ Sorten wurden die Temperatursummen linear akkumuliert. Für die $\tau < +6^\circ\text{C}$ Sorten wurden die Temperatursummen 1954 bereits der Optimumkurve entsprechend akkumuliert. — Zeichenerklärung: S_t die relativen Temperatursummen [$\sum a(t - 6)$], a Zahl der Ableitungen.

Die Neigung der Geraden, die die Reziprozität zwischen Temperatursummen und Temperaturschwellenwerten angeben, läßt die zu erwartende Gestalt, den Verlauf der Optimumkurven ahnen. Einzelne Gesetzmäßigkeiten der Optimumkurve lassen sich bereits mit einer gewissen Sicherheit ableiten.

Das Temperaturoptimum ist kein gewisser, sämtliche Sorten bzw. Stadien charakterisierender Temperaturgrad, sondern ein zum Wert τ der Sorte ins Verhältnis gesetzter Temperaturwertüberschuß. Der Unterschied zwischen Temperaturoptimum und Wert τ wird in bezug auf die einzelnen charakteristischen Entwicklungsstadien immer wieder anders. Die Gestalt der Optimumkurve selbst wird in bezug auf die einzelnen Stadien charakteristisch ganz unabhängig davon, daß die Werte τ der einzelnen Sorten keine identischen Temperaturgrade aufweisen.

Die experimentelle Bestimmung der Temperatur-optimumkurven ist so durchzuführen, daß man Klonmaterial bei verschiedenen Standardtemperaturen parallel treiben läßt, selbstverständlich aber auch bei Temperaturen, die voraussichtlich optimal werden, sowie auch bei davon höheren bzw. niedrigeren Temperaturen, um die Gestaltungen der Parabeln bestimmen zu können. In wie vielen Serien die Versuche zur Bestimmung der Optimumkurven durchzuführen sind, hängt davon ab, in welchem Maße die Durchschnittstemperaturen der Treibhäuser mit den Inflexionspunkten der Temperaturoptimumkurven übereinstimmen.

4. Der Begriff der thermischen Reaktionsnormen

Durch die hochgradige Genauigkeit der mathematischen Formeln der im Laufe unserer bisherigen Erläuterungen behandelten physiologischen Gesetzmäßigkeiten wird eine Möglichkeit geboten, die auf den Pflanzen-

organismus ausgeübte Wirkung der Temperaturveränderungen mit numerischen Werten genau zu charakterisieren. Die einzelnen biologischen Stadien des Vegetationsprozesses und das Verhältnis der Temperaturgestaltung können mittels der gemeinsamen Wirkung des allgemeinen Temperatursummengesetzes und des Gesetzes der Temperaturoptima gekennzeichnet werden. Bestimmen wir nun in bezug auf die so charakterisierten biologischen Stadien auch die physiologischen, bereits schädlichen extremen Temperaturen, dann haben wir letzten Endes die thermischen Reaktionsnormen des Pflanzenorganismus mit numerischen Werten gekennzeichnet.

Durch den Begriff der thermischen Reaktionsnormen werden also jene biologischen Gesetzmäßigkeiten zusammengefaßt, mit deren numerischen Werten der Zusammenhang zwischen Temperaturgestaltung und Pflanzenorganismus präzise charakterisierbar ist.

Die Grundgesetze der thermischen Reaktionsnormen sind folgende:

1. Zur Lebensaktivität beanspruchen die Pflanzenorganismen eine bestimmte minimale Temperatur. Dieses Temperaturminimum der vegetativen Tätigkeit wird „Temperaturschwellenwert“ genannt. (Sein Zeichen: τ .)

2. Zur Herstellung der charakteristischen Stadien der Pflanzen sind bestimmte, jedoch durch den Gesamteinfluß der biologischen Reaktionsnormen der Pflanzen motivierte (also Empfindlichkeit den Temperatur-, Licht-, Wasser- und Nährstoff-Faktoren gegenüber) Temperatursummen (S_t) notwendig.

3. Die Temperaturschwellenwerte und die numerischen Werte der Temperatursummen der einzelnen biologischen Stadien sind Eigenschaften, die sich der kleinsten systematischen Einheit der Pflanze gemäß ändern. Bei Temperaturen, die dem Temperaturschwellenwert nahe liegen, wird der zwischen den Werten τ und S_t vorhandene Zusammenhang in bezug auf das Blütenentfaltungsstadium von Obstbäumen durch das allgemeine Temperatursummengesetz ausgedrückt:

$$S_t = \sum a(t - \tau).$$

4. Auf das Anwachsen der Temperaturwerte reagiert die Pflanze nicht linear, sondern parabolisch der Optimumkurve entsprechend.

5. Die minimale Temperatur, die bereits physiologische Beschädigung verursacht, ist in jedem charakteristischen biologischen Stadium der Pflanze im Vergleich zum Temperaturschwellenwert sowohl in positiver als auch negativer Richtung bestimmbar.

5. Über die Bedeutung der Kenntnis der thermischen Reaktionsnormen

Die Bestimmung der thermischen Reaktionsnormen unserer Pflanzensorten wird unsere pflanzenbiologischen Kenntnisse im hohen Grade erweitern und in bezug auf andere Zweige der Wissenschaft neue Perspektiven eröffnen. Hier möchte ich auf einige dieser Zusammenhänge in kurzen Umrissen hinweisen.

a) Der Zusammenhang zwischen Akklimatisationszüchtung und den thermischen Reaktionsnormen

Im weiteren Sinne versteht man unter Akklimatisation alle biologischen Vorgänge, in deren Verlauf die biologischen Reaktionsnormen der Pflanze sich erblich verändern und den eigentümlichen Gegebenheiten eines bestimmten Klimatyps näherkommen. Die Steigerung der Klimaresistenz ist ein allgemeines Problem

großer Tragweite für die Züchtung. Das größte Interesse wird allgemein der Steigerung der Frostbeständigkeit und Überwinterungsfähigkeit entgegengebracht. Durch die Frostbeständigkeit wird der physiko-chemische Zustand des Protoplasmas angegeben. Die Winterresistenz drückt den Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit der Entwicklungsvorgänge der Pflanzen und klimatischen Verhältnissen der gegebenen Winter aus (PORPÁCZY 1952, ZWINTZSCHER 1957). Die Eigenschaften der Winterresistenz müssen also auch mit dem Temperaturschwellenwert der Sorte in engem Zusammenhang stehen.

Die Akklimatisationszüchtung kann auf Grund der Analysierung der thermischen Reaktionsnormen die für die einzelnen Anbaurayone geeigneten Vegetationstypen, den Vererbungsgang und die Kombinationsmöglichkeiten der fraglichen Eigenschaften bestimmen und vermag so die Herstellung der gewünschten Kombination mit bedeutend größerer Sicherheit anzustreben.

b) Agrometeorologische Beziehungen

Eine der Hauptaufgaben der Agrometeorologie ist die klimatologische Charakterisierung der einzelnen Klimatypen und Anbaurayone, um auf Grund derselben ein Bild über die Produktivität und Produktionssicherheit der Pflanzenart und -sorten zu erhalten. Dieser Zweig der Wissenschaft vermag aber nur dann seine Aufgabe zu erfüllen, wenn die pflanzenbiologischen Forschungen imstande sind, den Zusammenhang zwischen den klimatischen Faktoren und den physiologischen Eigenschaften der Pflanzen mit entsprechender Genauigkeit zu klären. Die Möglichkeit einer Bestimmung der thermischen Reaktionsnormen ist also vom Standpunkt der ganzen agrometeorologischen Forschung aus von außerordentlicher Bedeutung. Wenn man nämlich die Reaktionsnormen der Pflanzen genau kennt, dann vermag die agrometeorologische Forschung auf Grund meteorologischer Daten vieler Jahrzehnte mit statistischer Sicherheit die einzelnen Klimatypen und charakteristischen Anbaurayone selbst von diesem Gesichtspunkt aus zu charakterisieren. Kennt man die Empfindlichkeit der Pflanzen äußeren Faktoren gegenüber, d. h. die biologischen Reaktionsnormen der Pflanzen, genau, dann läßt sich von den hergestellten neuen Sorten im wesentlichen bereits in der Veredlungsstation entscheiden, für welche Anbaurayone diese zu empfehlen sind. Diese agrometeorologischen Untersuchungen ermöglichen gleichzeitig die genaue Bestimmung zahlreicher Zuchtziele. Mit Hilfe der thermischen Reaktionsnormen ist es dann möglich, einen bedeutenden Teil dieser vielseitigen Aufgabe zu lösen.

c) Physiologische und biochemische Beziehungen

Die vom histologischen, biochemischen usw. Gesichtspunkt aus erfolgenden Analysen grundlegender biologischer Prozesse lassen sich auf einen gemeinsamen Nenner bringen. Diese Vorgänge wurden nämlich bisher allgemein als Funktion der Zeit untersucht, da aber die Geschwindigkeit des Prozeßverlaufes nicht von der Zeitdauer, sondern von den thermischen Reaktionsnormen bestimmt wird, weisen die Untersuchungsdaten zahlreiche scheinbare Widersprüche auf. In Kenntnis der thermischen Reaktionsnormen der einzelnen Stadien lassen sich gleichzeitig viele wichtige Erscheinungen auch experimentell herstellen,

wodurch dann eine Möglichkeit geboten wird, eingehendere Untersuchungen über die inneren Ursachen der Erscheinungen durchzuführen.

Im Sinne des oben Dargelegten ergibt sich z. B. die Möglichkeit einer bedeutend gründlicheren Untersuchung der Probleme der Knospendifferenzierung und für die Klärung der Physiologie und Biochemie der Reife. Eine grundlegende Verbesserung erfährt dadurch die Methodik der Expositionsversuche, die Pflanze kann nämlich der von uns bestimmten Temperatursumme entsprechend der notwendigen Behandlung unterworfen werden, usw.

d) Die Unterlagenfrage und die thermischen Reaktionsnormen

Sämtliche im Zusammenhang mit der Aufeinanderwirkung der Unterlage und des edlen Teiles durchgeführten Untersuchungen weisen überzeugend darauf hin, wie lebhaft der edle Teil auf die abweichenden physiologischen Eigenschaften der Unterlage reagiert. Die Bestimmung der thermischen Reaktionsnormen ist vom Standpunkt des Studiums der Aufeinanderwirkung von Unterlage und Edelteil eine neue wichtige Methode. Das Wachstum der Triebe, die Knospendifferenzierung und überhaupt sämtliche Wachstum und Entwicklung herbeiführenden Aufbauprozesse hängen grundlegend von der Temperaturgestaltung ab. Die Differenz der thermischen Reaktionsnormen zwischen Unterlage und Edelteil ergibt also in den voneinander abweichenden Klimatypen notwendigerweise in bezug auf Vegetationsperioden des Pfröplings, demzufolge der Vegetationsdauer, der Wachstumsintensität, Reifung der Triebe usw., immer wieder ein anderes Endresultat. Die von solchen Gesichtspunkten aus erfolgte Überprüfung der Unterlagenprobleme ist wahrscheinlich für Fragen so großer Bedeutung, wie z. B. der Feststellung der physiologischen Ursachen der Affinität, der Ursachen der Apoplexie des Aprikosenbaumes usw., ein wesentlicher Fortschritt.

6. Kritik des Begriffs der relativen Blütezeit

Nun haben wir uns noch mit dem Problem der relativen Blütezeit zu beschäftigen. Der Begriff „relative Blütezeit“ wurde von CHITTENDEN (1911) eingeführt. Als Vergleichssorte nahm er die Apfelsorte Roter Astrachan und gab an, um wieviele Tage sich im Durchschnitt vieler Jahre der Blütebeginn der einzelnen Sorten im Vergleich zu dieser Sorte verschiebt. Eine derartige Bestimmung der relativen Blütezeit ist selbstverständlich, da sie nicht auf physiologischen Zusammenhängen beruht, nicht vollwertig.

Die einander gegenübergestellte Blütezeit der Sorten wird durch das allgemeine Temperatursummengesetz bestimmt. Der relative Zeitpunkt der Blüte einer Sorte ist eine Funktion des genetisch bestimmten Temperaturschwellenwertes und die zur Blüte spezifisch notwendige Temperatursumme der Sorte. Der relative Blütezeitpunkt einer Sorte wird notwendigerweise auch durch die abweichenden thermischen Reaktionsnormen der Unterlage beeinflusst.

In Tab. 8 wurden die von uns analysierten Apfelsorten auf Grund dieser neuen Bestimmung der relativen Blütezeitpunkte eingruppiert. Mangels notwendiger Kontrollversuche und der Kenntnis der thermischen Reaktionsnormen der Unterlagen ist es uns nicht möglich, die tatsächlichen Daten der Sorte anzugeben. Statt dessen teilen wir die durchschnittlichen Abwei-

Tabelle 8. *Temperatursummenbedarf einzelner Apfelsorten und die mit Durchschnittsabweichungen charakterisierte Schwellenwertabweichung auf Grund der Analyse des Blütenentfaltungsstadiums.*
Balsgård, in den Jahren 1952—1954 und 1957.

Sorte	Unterlage	Temperatursumme $\Sigma a (t - 6)$	Durchschnittsabweichung in Tagen	Sorte	Unterlage	Temperatursumme $\Sigma a (t - 6)$	Durchschnittsabweichung in Tagen
Frühblühend:				Lodi	E.M. IX.	5550	0,50
Astrachan, roter	E.M. IX.	5050	0,50	Maglemer	E.M. IV.	5550	0,25
Cloetta	E.M. IX.	5050	0,50	Maglemer, roter	E.M. IV.	5550	0,25
Gestreifter Anis	E.M. IX.	5200	0,25	McRest	E.M. IX.	5550	0,50
George Neal	E.M. IX.	5200	0,50	Peter the Great	E.M. IX.	5550	0,75
Gravensteiner, blutroter	E.M. IV.	5200	1,00	Prinzessinapfel	E.M. IX.	5550	0,50
Hampus	E.M. IX.	5200	1,00	Rappe äpple	E.M. IX.	5550	0,25
Hornsberg	E.M. IX.	5200	2,25	Reinette de Thorn	E.M. IX.	5550	0,75
Izo Crab	E.M. IX.	5200	0,00	Risäter	E.M. IV.	5550	0,25
Joyce	E.M. IX.	5200	1,75	River's Rival	E.M. IX.	5550	0,50
Kavlås	E.M. IX.	5200	1,00	Roter Herbstapfel	E.M. IX.	5550	0,25
Kinnekulle Kantapfel	E.M. IX.	5200	0,50	Schafraan Kitajka	E.M. IX.	5550	0,00
Linda	E.M. IV.	5200	0,75	Suislepper	E.M. IX.	5550	0,25
Rodovitka	E.M. IX.	5200	0,50	Torstein	E.M. IX.	5550	0,00
Charlamowsky	E.M. IV.	5350	1,50	Torsebro 2.	E.M. IX.	5550	0,75
Early Red Bird	E.M. IX.	5350	1,25	Tranekjaer	E.M. IX.	5550	0,75
Gravensteiner, roter	E.M. IX.	5350	0,75	Adersleber Kalvill	E.M. IX.	5700	0,25
Gravensteiner, roter	E.M. IV.	5500	0,50	August-Gewürzäpfel	E.M. IX.	5700	0,50
Herbststreffling	E.M. IX.	5350	1,00	Beauty of Bath	E.M. IV.	5700	0,25
Möllers Venus	E.M. IX.	5350	0,75	Coulon's Renette	E.M. IX.	5700	1,25
Mölleskov	E.M. IX.	5350	0,50	Coulon's Renette	E.M. IV.	5900	0,25
Roter Kaneelapfel	E.M. IX.	5350	0,75	Formand Jørgensen	E.M. IX.	5700	1,25
Silvia	E.M. IX.	5350	1,25	Fraas's Sommar Kalvill	E.M. IX.	5700	0,75
Mittelfrühblühend:				Grenadier	E.M. IX.	5700	0,25
Abonda	E.M. IX.	5450	0,75	Gunnarstorp's Pigeon	E.M. IX.	5700	1,00
Graue Herbstrenette	E.M. IX.	5450	1,75	Hibernal	E.M. IV.	5700	0,75
Graue franz. Renette	E.M. IX.	5450	0,50	Jacques Lebel	E.M. IX.	5700	0,75
Großmutter's Weihnachtsapfel	E.M. IX.	5450	0,50	Koldmosegaard	E.M. IX.	5700	0,75
Grägylling von Skokloster	E.M. IX.	5450	0,50	Langton's Sondergleichen	E.M. IX.	5700	0,50
Irischer Pfirsichapfel	E.M. IX.	5450	0,25	Mank's Codlin	E.M. IV.	5700	0,75
Keswick Codlin	E.M. IX.	5450	0,50	McWood	E.M. IX.	5700	0,25
Laxton's Early Crimson	E.M. IX.	5450	0,75	McWood	E.M. IV.	6050	0,25
Leinesstrand	E.M. IX.	5450	0,50	Minister v. Hammerstein	E.M. IX.	5700	0,50
Lord Suffield	E.M. IX.	5450	0,00	Newton Pippin	E.M. IX.	5700	0,75
Maidstone Favourite	E.M. IX.	5450	1,50	Northern Spy	E.M. IX.	5700	1,00
Mälsåker	E.M. IX.	5450	0,50	Oranie	E.M. IV.	5700	0,75
Melba	E.M. IV.	5450	0,75	Orléans-Renette	E.M. IX.	5700	0,50
Sariola	E.M. IX.	5450	0,75	Parker's Pepping	E.M. IX.	5700	0,25
Silverstad	E.M. IX.	5450	0,25	Pepping Schafraanovij	E.M. IX.	5700	0,00
Sinnerud	E.M. IX.	5450	0,50	Roseberry	E.M. IX.	5700	0,25
Torsebro 1.	E.M. IX.	5450	1,00	Schöner von Nordhausen	E.M. IV.	5700	0,00
Trail Crab	E.M. IX.	5450	0,50	Sockermiron	E.M. IX.	5700	1,00
Verlobungsapfel	E.M. IX.	5450	0,50	Spässerud	E.M. IV.	5700	0,25
Virginischer Riesenapfel	E.M. IX.	5450	0,50	St. Cecilia	E.M. IX.	5700	1,50
Weißer Nalif	E.M. IX.	5450	0,50	Streifling	E.M. IX.	5700	0,25
Wiskars	E.M. IX.	5450	1,00	Säfstaholm	E.M. IV.	5700	1,00
Astrachan Gyllenkroks	E.M. IV.	5550	0,50	Säfstaholm, roter	E.M. IV.	5700	1,00
Baumanns Renette	E.M. IV.	5550	0,25	Weißer Klarapfel	E.M. IV.	5700	0,50
Borgherre	E.M. IV.	5550	1,50	Weißer Winter-Kalvill	E.M. IX.	5700	0,25
Bretagne Renette	E.M. IX.	5550	0,50	Weißer Winter-Kalvill	E.M. IV.	6510	1,00
Brunnsäpple	E.M. IX.	5550	0,50	Worcester Pearmain	E.M. IV.	5700	0,75
Close	E.M. IX.	5550	0,25	Anoka tree	E.M. IX.	5800	0,50
Coe's Golden Drop	E.M. IX.	5550	0,25	Alexander	E.M. IX.	5800	0,25
Ecklinville Seedling	E.M. IX.	5550	0,75	Astrachan, großer, klarer	E.M. IX.	5800	0,50
Elmelund	E.M. IX.	5550	0,50	Devonshire Quarrenden	E.M. IX.	5800	0,50
Friedrich von Baden	E.M. IV.	5550	0,25	Drejeaebble	E.M. IX.	5800	0,50
Gelber Herbst-Kalvill	E.M. IV.	5550	0,50	Flädie	E.M. IV.	5800	0,00
Gelber Kaneelapfel	E.M. IX.	5550	0,00	Harbert's Renette	E.M. IX.	5800	0,25
Granatapfel	E.M. IX.	5550	0,00	Hollanderapfel	E.M. IX.	5800	0,00
Gravensteiner, gelber	E.M. IV.	5550	1,25	Joan	E.M. IX.	5800	0,50
Hanaskog	E.M. IX.	5550	0,25	Källandsöastrakan	E.M. IX.	5800	0,75
Hume	E.M. IX.	5550	0,50	Kesäter	E.M. IX.	5800	0,50
Jerlingsapfel	E.M. IX.	5550	0,50	Lady Sudeley	E.M. IX.	5800	0,00
Kantil Sinap	E.M. IX.	5550	0,50	Milton	E.M. IV.	5800	0,00
Karinäpple	E.M. IX.	5550	0,50	Newfane	E.M. IX.	5800	0,25
Kelleris	E.M. IX.	5550	0,50	Ohm Paul	E.M. IX.	5800	0,00
Kortegaard's Sildig	E.M. IX.	5550	0,50	Prinsesse Margerithe	E.M. IX.	5800	0,50
Königsapfel von Urshult	E.M. IX.	5550	0,25	Renett Höve	E.M. IX.	5800	0,25
Königsapfel von Urshult	E.M. IV.	5550	1,00	Reverend W. Wilks	E.M. IX.	5800	0,25
Kramforsäpple	E.M. IX.	5550	0,25	Ribston Pepping	E.M. IV.	5800	0,25
Landsberger Renette	E.M. IX.	5550	0,75	Ripa äpple	E.M. IX.	5800	1,00
Lakeland	E.M. IX.	5550	0,50	Rosenholms	E.M. IX.	5800	0,25
				San Jacinto	E.M. IX.	5800	0,75
				Skövde Gold-Renette	E.M. IX.	5800	0,25

Tabelle 8. Fortsetzung

Sorte	Unterlage	Temperatursumme $\Sigma a(t-6)$	Durchschnittsabweichung in Tagen	Sorte	Unterlage	Temperatursumme $\Sigma a(t-6)$	Durchschnittsabweichung in Tagen
Spartan	E.M. IX.	5800	0,25	Kansas Queen	E.M. IX.	6050	0,00
Sykehouse Russet	E.M. IX.	5800	1,00	Laxton's Advance	E.M. IV.	6050	1,00
Tompkin's King	E.M. IV.	5800	0,00	London Pepping	E.M. IX.	6050	1,75
Villard's Glasapfel	E.M. IX.	5800	0,25	Manitoba Spy	E.M. IX.	6050	1,00
Wapella	E.M. IX.	5800	0,50	McForest	E.M. IX.	6050	0,75
Alfriston	E.M. IX.	5900	0,50	Neuer Goldparmäne	E.M. IV.	6050	1,00
Arthur Turner	E.M. IV.	5900	0,25	Ontario	E.M. IV.	6050	0,50
Beauty of Bedford	E.M. IX.	5900	0,25	Pariner	E.M. IV.	6050	0,75
Bedford Pippin	E.M. IX.	5900	1,25	Rambour Renette	E.M. IX.	6050	0,25
Bellefleur Kitajka	E.M. IV.	5900	0,00	Stenkyrke	E.M. IV.	6050	0,50
Ben Davis	E.M. IX.	5900	0,75	Thomas Rivers	E.M. IX.	6050	0,25
Bismarckapfel	E.M. IV.	5900	0,25	Tönnnes	E.M. IV.	6050	0,00
Cellini	E.M. IV.	5900	0,75	Tydemann's Late Orange	E.M. IX.	6050	1,00
Cortland	E.M. IV.	5900	0,50	William Crump	E.M. IV.	6050	1,25
Duchess of Bedford	E.M. IX.	5900	0,25	William's Favourite	E.M. IX.	6050	0,75
Dronning Louise	E.M. IV.	5900	0,50	Wolf River	E.M. IX.	6050	0,00
Encore	E.M. IX.	5900	0,25	Adam's Pearmain	E.M. IV.	6250	0,50
Feltham Beauty	E.M. IX.	5900	0,50	Amerikanischer Melon	E.M. IX.	6250	0,50
James Grieve	E.M. IV.	5900	0,75	Arreskov	E.M. IV.	6250	1,75
Jonathan	E.M. IV.	5900	0,50	Blenheim Orange	E.M. IV.	6250	0,75
Juneating Red	E.M. IX.	5900	0,25	Boikenapfel	E.M. IV.	6250	1,00
Kingston Black	E.M. IX.	5900	1,50	Borsdorfer	E.M. IV.	6250	1,00
Lobo	E.M. IV.	5900	0,75	Canada-Renette	E.M. IV.	6250	0,50
Laxton's Exquisite	E.M. IV.	5900	1,50	Charles Ross	E.M. IV.	6250	1,50
Laxton's Fortune	E.M. IV.	5900	1,00	Cornish Gilliflower	E.M. IV.	6250	0,75
Lord Derby	E.M. IX.	5900	0,75	Early McIntosh	E.M. IV.	6250	0,75
Macoun	E.M. IX.	5900	0,25	Easter Orange	E.M. IX.	6250	1,00
Macoun	E.M. IV.	6250	0,50	Galloway Pippin	E.M. IV.	6250	0,50
McIntosh	E.M. IV.	5900	0,50	Gloire de Hollande	E.M. IV.	6250	2,25
Melon Kalvill	E.M. IX.	5900	0,25	Golden Delicious	E.M. IV.	6250	0,75
Norrviiken	E.M. IX.	5900	0,75	Golden Noble	E.M. IV.	6250	1,75
Pigeon de St. Louis	E.M. IX.	5900	0,25	Houblon	E.M. IX.	6250	0,75
Pitmaston Pine Apple	E.M. IX.	5900	0,25	Ingrid Marie	E.M. IV.	6250	1,00
Prairie Spy	E.M. IV.	5900	0,50	Jansen van der Welten	E.M. IX.	6250	1,25
Prinsesse Benedicte	E.M. IX.	5900	0,75	Kaiser Wilhelm	E.M. IV.	6250	1,25
Prinsar	E.M. IX.	5900	0,50	King's Acre Pippin	E.M. IV.	6250	1,00
Richard	E.M. IX.	5900	0,25	Lane's Prince Albert	E.M. IV.	6250	0,75
Rappeäpfel	E.M. IX.	5900	0,25	Laxton's Epicure	E.M. IV.	6250	0,25
Renown	E.M. IX.	5900	0,75	Loaf Sugar Pippin	E.M. IX.	6250	1,25
Schöner von Boskoop	E.M. IV.	5900	0,75	Melon	E.M. IX.	6250	1,75
Slava Petersburga	E.M. IV.	5900	1,00	Melon, roter	E.M. IX.	6250	1,75
Soldaten	E.M. IX.	5900	0,25	Millicent Barnes	E.M. IV.	6250	1,00
Svanetorp	E.M. IX.	5900	1,00	Oberländer	E.M. IV.	6250	0,75
Sweet McIntosh	E.M. IV.	5900	0,50	Pigeon	E.M. IV.	6250	1,00
Tornpippin	E.M. IV.	5900	0,25	Rode Island Greening	E.M. IV.	6250	0,75
Warner's King	E.M. IV.	5900	0,75	Ringstad	E.M. IV.	6250	1,00
Weiß. Winterglockenapfel	E.M. IV.	5900	1,00	Royal Jubilee	E.M. IX.	6250	0,75
William's Favourite	E.M. IX.	5900	0,50	Roter Eiseraffel	E.M. IV.	6250	0,50
Wöldike's Taubenapfel	E.M. IV.	5900	0,25	Sandow	E.M. IX.	6250	1,00
				Sommerparmäne	E.M. IV.	6250	0,75
				Signe Tillisch	E.M. IV.	6250	0,75
				Silverstad	E.M. IX.	6250	0,25
				Barnack Orange	E.M. IV.	6500	1,50
				Laxton's Imperial	E.M. IV.	6500	0,25
				Minnehaha	E.M. IV.	6500	1,25
				Slava Petersburga	E.M. IV.	6500	0,75
				Winter Banana	E.M. IV.	6500	0,50
Mittelspätblühend:							
Apfel aus Croncels	E.M. IV.	6050	1,75	Spätblühend:			
American Mother	E.M. IX.	6050	0,75	Cox's Orange Pippin	E.M. IV.	6700	0,75
Bancroft	E.M. IX.	6050	0,25	Crimson Cox	E.M. IV.	6700	0,75
Bodil Neergaard	E.M. IV.	6050	0,75	Ellison's Orange	E.M. IV.	6700	1,00
Bramley's Seedling	E.M. IV.	6050	0,50	Frösäker	E.M. IV.	6700	1,75
Brivall's Rotstreifiger	E.M. IX.	6050	1,00	Gascoyne's Scarlet	E.M. IV.	6700	1,00
Calville Rouge de Mont				Goldparmäne	E.M. IV.	6700	0,75
d'Or	E.M. IV.	6050	0,75	Kola Crab	E.M. IV.	6700	0,50
Cox's Pomona	E.M. IV.	6050	0,25	Königlicher Kurzstiel	E.M. IX.	6700	0,75
Crimson Bramley	E.M. IV.	6050	0,50	Laxton's Pearmain	E.M. IV.	6700	0,50
Danziger Kantapfel	E.M. IX.	6050	0,25	Laxton's Royalty	E.M. IV.	6700	0,75
Delicious	E.M. IV.	6050	0,50	Laxton's Triumph	E.M. IV.	6700	1,50
Edgar	E.M. IX.	6050	0,50	Oretorpsrenette	E.M. IV.	6700	0,25
Edward VII.	E.M. IX.	6050	1,00	Riesen Boiken	E.M. IV.	6700	1,25
Filippa	E.M. IV.	6050	1,00	Wellington	E.M. IV.	6700	1,00
Frogmore Prolific	E.M. IX.	6050	0,75	Woolbrook Pippin	E.M. IV.	6700	1,00
Freiherr von Berlepsch	E.M. IV.	6050	1,00				
Grüner Yorkshire	E.M. IX.	6050	1,00	Old Nonpareil	E.M. IV.	7200	0,50
Gelber Bellefleur	E.M. IX.	6050	1,00				
Gelber Richard	E.M. IV.	6050	1,25				
Hermansaeble	E.M. IX.	6050	0,50				
Himmelstalund	E.M. IV.	6050	0,50				
John Standish	E.M. IV.	6050	1,75				
Joy Bells	E.M. IV.	6050	1,50				
Jubilee	E.M. IX.	6050	0,50				

chungen zwischen den berechneten und tatsächlichen Blütendaten mit. Je mehr sich dieser Zahlenwert von 0 entfernt, desto mehr weicht der Temperaturschwellenwert der fraglichen Sorte von den als Berechnungsgrundlage aufgenommenen $+6^{\circ}\text{C}$ ab. Daneben wurde dann auch der Temperatursummenbedarf angegeben. Im Sinne der obigen Überlegungen sind sowohl die Temperatursummenbedürfnisse als auch der durch Durchschnittsabweichung charakterisierte Temperaturschwellenwert relative Zahlen, deren Größe von den thermischen Reaktionsnormen der Unterlagen beeinflusst wird.

Zusammenfassung

Den Zusammenhang zwischen der Temperaturgestaltung und den Blütezeitpunkten der Obstsorten versuchte man auf Grund verschiedenartiger Theorien und mit verschiedenen Methoden zu klären.

Die zwischen phänologischen und theoretisch erwarteten Daten auftretenden Abweichungen machten einen Vergleich der verschiedenen Methoden und eine kritische Fehleranalyse notwendig.

Von den äußeren Verhältnissen beeinflusst unter natürlichen Verhältnissen lediglich die Temperaturgestaltung des Blütejahres den Blütezeitpunkt der Obstbäume. Die HERBST-WEGERSche Formel drückt in bezug auf Äpfel und Birnen die Zusammenhänge zwischen der Temperaturgestaltung und den physiologischen Prozessen der Blüte mit solcher Genauigkeit aus, daß auf Grund derselben die Voranzeige, die Prognose der Blüte, in der Praxis einführbar wäre. Die Temperatursummentheorie selbst bedarf aber einer Überprüfung, da, selbst bei Verwendung der H-W-Formel, Jahre, die auf „abnorme“ Witterung hinweisen, erscheinen, d. h. derartige Temperaturgestaltungen sich ergeben, deren biologische Wirkung durch die Temperatursummentheorie keine Erklärung findet.

Die Zusammenhänge zwischen der Temperaturgestaltung und der durch sie hervorgerufenen pflanzenbiologischen Prozesse werden durch die thermischen Reaktionsnormen ausgedrückt. Die Hauptgesetzmäßigkeiten derselben sind im allgemeinen Temperatursummengesetz und im Gesetz der Temperaturoptima zusammengefaßt. In jedem charakteristischen biologischen Stadium einer Pflanze ist der physiologisch bereits Schaden verursachende minimale Temperaturgrad bestimmbar. Mit numerischen Werten lassen sich die thermischen Reaktionsnormen genau kennzeichnen. Diese numerischen Werte der thermischen Reaktionsnormen sind Eigenschaften, die sich den kleinsten systematischen Einheiten der Pflanze gemäß verändern.

Im Sinne der thermischen Reaktionsnormen mußten wir auch den Begriff „relative Blütezeit“ überprüfen.

Die genaue Bestimmung der thermischen Reaktionsnormen der Pflanzen kann auch hinsichtlich anderer Zweige der Wissenschaft zu wichtigen Erkenntnissen führen.

Ich möchte hier Herrn NILS NYBOM, Direktor des Föreningen för Växtförädling av Fruktträd, Balsgård, Fjälkestad (Schweden) vielmals Dank sagen, daß er mir die grundlegenden Aufnotierungen und Daten gütigst zur Verfügung stellte und so die Anfertigung dieser Arbeit möglich machte.

Literatur

1. BEKE, F.: A fejlődés, növekedés és a termőképesség. (Entwicklung, Wachstum und Ertragsfähigkeit.) Ein Vortrag an der ungarischen Wissenschaftsakademie. MTA VIII. Osztályközl. II/2. 297—306 (1953). — 2. БИЖОВИЧ, J.: De Periodiciteit van de Knopontwikkeling bij

den Appel. Mededeel. v. d. Landbouwhoogeschool 27, 64 (1924). — 3. BOS, H.: Zur Kritik der Lehre von den thermischen Vegetations-Konstanten, auch in bezug auf Winterruhe und Belaubungstrieb der Pflanzen. Verhandl. d. Bot. Vereins d. Provinz Brandenb. 48, 62—90 (1906). — BREVIGLIERI, N.: Studi e ricerche sulla biologia florale e di fruttificazione del melo nel Ferrarese. Parte III. Ann. Sper. agrar. 7, 759—806 (1953). — BROWN, A. G.: The order and period of blossoming in apple varieties. J. Pomol. 18, 68—73 (1940—41). — 6. CHITTENDEN, F. J.: Pollination in orchards. I. J. Roy. Hort. Soc. 37, 350—361 (1911). — 7. CRANDALL, C. S.: Blooming periods of apples. Illinois Stat. Bull. 251, 113—145 (1924). — 8. ELLENWOOD, C. W.: Blooming period and yield of apples: a 15-year average. Ohio Stat. Bull. 385, 69—82 (1925). — 9. HATTON, R. G.: Apple rootstock studies. Effect of layered stocks upon the vigour and cropping of certain scions. J. Pomol. 13, 293—350 (1935). — 10. HERBST, W. und RUDLOFF, C. F.: Zur Physiologie des Fruchtens bei den Obstgehölzen. III. Phänologisch-phänometrische Untersuchungen der Blühphase von Birnen. Gartenbauwiss. 13, 286—317 (1939). — 11. HERBST, W. und WEGER, N.: Zur Physiologie des Fruchtens bei den Obstgehölzen. V. Zur Möglichkeit einer Voraussage des Blühtermins bei den Obstgehölzen, ein Beitrag zum Problem der Temperatursummen. Forschungsdienst 9, 518—525 (1940). — 12. HOFFMANN, H.: Phänologische Untersuchungen. Universitätsprogramm zum 25. 8. 1887. Gießen (1887). — 13. KOBEL, F.: Lehrbuch des Obstbaus auf physiologischer Grundlage. II. Aufl. Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer 1954. — 14. KRUFF, F.: Phänologische Beobachtungen bei Äpfeln, Birnen und Süßkirschen (1937) im Institut für Obstbau der Versuchs- u. Forschungsanst. für Wein- u. Gartenbau zu Geisenheim a. Rh. Dtsch. Obstbau 55, 43—47, 68—69 u. 110—112 (1940). — 15. LENNÉ, E.: Ergebnis von Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Erdbodentemperatur und Frühlingsanfang (Apfelblüte). Festschrift d. Gärtnerlehranst. d. Landw. Kammer Rheinland zu Friesdorf-Bad Godesberg (1956). — 16. MACLAGAN, J. F. A.: Date of flowering as affected by climatic temperature. Plant Physiol. 8, 395—423 (1933). — 17. MOHÁCSY, M. und MALIGA, P.: Cseresznye és meggytermesztés. (Kirschenanbau). Budapest, Mezőgazdasági Kiadó (1956). — 18. MÖHRING, A.: Kann eine bessere Anpassung der Blüte unserer Obstsorten an den Einzug des Frühlings erfolgen? Dtsch. Obstbau 57, 142—143 (1942). — 19. NÄGGLER, W.: Die Erdbodentemperaturen in ihren Beziehungen zur Entwicklung der Vegetation. Petermanns Mitt. 58, 253—257 (1912). — 20. PALLMANN, H., EICHENBERGER, E. und HASLER, A.: Eine neue Methode der Temperaturmessung bei ökologischen oder bodenkundlichen Untersuchungen. Ber. Schweiz. Bot. Ges. 50, 337—362 (1940). — 21. PHILLIPS, H. A.: Effect of climatic conditions on the blooming and ripening dates of fruit trees. Cornell Univ. Agr. Exp. Stat. Memoir 59 (1922). — 22. PEARCE, S. C. und PRESTON, A. P.: Forecasting the time of blossoming in apple trees from temperature records. A. R. East Malling Res. Stat. 41, 133—137 (1953—54). — 23. PORPÁČZY, A.: Forschungsarbeiten über die Akklimatisation in Ungarn. Theorie und Ergebnisse. Acta agron. hung. 2, 81—97 (1952). — 24. PRESTON, A. P.: Apple rootstock studies: thirty-five years' results with LANE'S PRINCE ALBERT on clonal rootstocks. J. hort. Sci. 33, 29—38 (1958). — 25. SCHMIDT, M.: Mehrjährige Beobachtungen über den Blühbeginn von Apfelsorten. Arch. Gartenb. 2, 355—384 (1954). — 26. SISLER, G. P. und OVERHOLSER, E. L.: Influence of climatic conditions on date of full bloom of Delicious apples in the Wenatchee Valley. Proc. Amer. Soc. hort. Sci. 43, 29—34 (1943). — 27. WEGER, N., HERBST, W. und RUDLOFF, C. F.: Zur Physiologie des Fruchtens bei den Obstgehölzen. IV. Witterung und Phänologie der Blühphase des Birnbaumes. Wiss. Abh. Reichsamt f. Wetterdienst 7, 3—28 (1940). — 28. ZELLER, O.: Entwicklungsverlauf der Infloreszenzknospen einiger Kern- und Steinobstsorten. Angew. Bot. 29, 69—89 (1955). — 29. ZIEGLER, J.: Über phänologische Beobachtungen und thermische Vegetations-Konstanten. Zwei Vorträge. Jahresber. d. Senckenberg. naturforsch. Ges. Frankfurt a. M. 1879. — 30. ZWINTZSCHER, M.: Beiträge zur Vererbung des Frostverhaltens der Obstgehölze. Gartenbauwiss. 22, 50—70 (1957).