

Berichte
des
Deutschen Wetterdienstes

Nr. 111
(Band 15)

DK 551.506.8:551.586:634.1/7

**Untersuchungen zur Abhängigkeit
des Beginns der Obstblüte von der Witterung**

von

RICHARD LAWRYNOWICZ
(Mit 12 Abbildungen und 23 Tabellen im Text)

Offenbach a. M. 1968
Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes

Inhalt

	Seite
Zusammenfassung	3
Abstract	3
Vorwort	3
1. Einleitung	3
2. Die Beobachtungsunterlagen	4
2.1. Die Beschreibung des Beobachtungsstandortes Weihenstephan	4
2.2. Die meteorologischen Beobachtungsunterlagen	4
2.3. Die phänologischen Daten	4
3. Überblick über den Beginn des Frühlings in Weihenstephan und in Thalhausen b. Freising	4
3.1. Der phänologische Beginn des Frühlings	4
3.2. Die Monatsmitteltemperaturen der Frühjahrsmonate	5
3.3. Die Bedeutung des „Märzwinters“ für den Blühbeginn der Obstgehölze in Weihenstephan und in Thalhausen b. Freising	6
4. Betrachtungen über die Anwendung der „Temperatursummenregel“ bei der Vorhersage von phänologischen Phaseneintrittszeiten	7
4.1. Allgemeine Betrachtungen	7
4.2. Die „Basistemperatur“ und der „Starttag“	8
4.3. Die Durchführung der Temperatursummenbildung in Weihenstephan	9
4.3.1. Die Prüfung der Basistemperatur	9
4.3.2. Die Anwendung der Hyperbelfunktion zur Bestimmung der Basistemperatur und zur Prüfung des günstigsten Starttages	10
4.4. Die Ermittlung des optimalen Starttages	13
4.4.1. Konstante Starttage	13
4.4.2. Variable Starttage	15
4.4.3. Phänologische Termine als Starttag	17
4.4.4. Untersuchungen an den phänologischen Daten einzelner Obstsorten	18
4.5. Die Berechnung von Temperatursummen bei Berücksichtigung unterer und oberer Grenzwerte der Temperatur	18
4.6. Zusammenfassung	19
5. Der Verlauf der Temperatursummen	19
5.1. Der Verlauf der Temperatursummen in Weihenstephan in den einzelnen Jahren ..	19
5.2. Der Verlauf der mittleren Temperatursumme und der Unterschied in den Blühdaten in Weihenstephan und Geisenheim	20
6. Die Durchführung der Blühvorhersage in Weihenstephan in den Jahren 1966 und 1967	21
7. Die Beziehungen zwischen dem Blühbeginn bei Obst und einigen anderen meteorologischen Elementen	25
7.1. Vergleich von Globalstrahlung und Temperatursumme	25
7.2. Der Einfluß der Winterkälte auf den Blühbeginn	28
8. Die Streuung der Temperatursumme in Abhängigkeit vom Termin des Blühbeginns	29
9. Schlußbetrachtung	30
Literatur	31

Anschrift des Verfassers:

Dipl.-Landwirt Dr. Richard Lawrynowicz, 805 Freising-Weihenstephan
Deutscher Wetterdienst, Agrarmeteorologische Forschungsstelle.

Die vorliegende Arbeit ist die gekürzte Fassung einer Dissertation, welche von der Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau der Technischen Hochschule München zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Landwirtschaft (Dr. agr.) angenommen wurde.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird zunächst geprüft, inwieweit die bisher schon an anderen Orten angewandten Methoden zur Vorhersage des Blühbeginns von Obstarten sich auch für Weihenstephan eignen. Außerdem sollten die Kenntnisse über die Zusammenhänge zwischen dem Beginn der Obstblüte und den diese auslösenden meteorologischen Faktoren erweitert werden. Es zeigte sich, daß der Blühbeginn beim Obst in Weihenstephan entweder merklich früher oder merklich später als zum mittleren Termin erfolgt, je nachdem ob der Boden schon im Februar oder erst im März frostfrei wird, ob das Jahr noch einen sog. Märzwinter bringt oder nicht. Mit Hilfe von statistischen Methoden wurde die Verwendungsmöglichkeit der sog. „Temperatursummenregel“ bei der Erforschung der Beziehungen zwischen Blühbeginn und vorangegangener Witterung untersucht. Die Treffsicherheit der Blühvorhersage hängt von der Möglichkeit einer stichhaltigen Temperaturvorhersage ab. Zwischen der Globalstrahlung, der Temperatursumme und dem Blühdatum ergaben sich ebenfalls signifikante Beziehungen. Auch zwischen den Kältesummen des vorhergegangenen Winters und der Temperatursumme wurden positive Korrelationen gefunden. Für Weihenstephan und Geisenheim wurde gefunden, daß sich die Temperatursumme mit Verspätung der Blüte nicht verkleinert, sondern, daß sich dabei ihre Streuung vergrößert.

Abstract

We investigated at first, whether the methods for the predicting of the beginning of the flowering of fruit-trees which already have been applied at other places are also suitable for Weihenstephan. Then we made an effort to extend the knowledge about the connections between the flowering-date of fruit-trees and the meteorological determinants. It appeared that the fruit-trees at Weihenstephan begin to flower in the majority of cases either sooner or later than at the average time. This floweringtime is determined every year by the fact if there is a „march-winter“ or not. Statistical methods have been applied for the investigation of relations between the time of the beginning of flowering and the preceding weather. In this respect the rules of the accumulated temperature (temperature-sum in degree-hours) are of special significance. The accuracy of the flowering-prediction depends upon a valid prediction of the temperature. Significant relations have also been discovered between the global radiation, the accumulated temperature and the date of flowering on one hand, and, on the other hand between the sum of all negative daily average temperatures (degree centigrade) of the preceding winter and the accumulated temperature. If the flowering at Weihenstephan and Geisenheim begins later in the year the accumulated temperature does not decrease but its standard-variation rather increases.

Vorwort

Die Anregung zu dieser Arbeit erhielt ich von dem Leiter der Agrarmeteorologischen Forschungsstelle Weihenstephan, Herrn Priv.-Doz. ORR Dr. J. van EIMERN, dem ich hierfür sowie für die wissenschaftliche Anleitung und die zahlreichen Hinweise zu Dank verpflichtet bin. Mein Dank gilt auch meinem Lehrer, Herrn Prof. Dr. von WITSCH, Weihenstephan. Der Arbeit liegen die langjährigen phänologischen Daten zu Grunde, welche Herr Gartenbauinspektor H. HÖGE vom Institut für Obstbau der Staatl. Lehr- und Forschungsanstalt für Gartenbau Weihenstephan gesammelt hat. Ihm wie auch den Mitarbeitern der Agrarmeteorologischen Forschungsstelle, insbesondere Herrn RHS MARTIN SCHMIDT für die Anfertigung der Zeichnungen sowie Frau URSULA SCHUSTER für die Hilfe bei den Auswertungen, gilt mein besonderer Dank. Nicht zuletzt danke ich dem Deutschen Wetterdienst für die Bereitstellung der benötigten meteorologischen Unterlagen und weiterer phänologischer Daten und der Datenverarbeitungszentrale Weihenstephan der Technischen Hochschule München für die Hilfe bei der statistischen Bearbeitung des umfangreichen Zahlenmaterials.

1. Einleitung

Pflanzen-Phänologie bedeutet nach SCHNELLE (47) soviel wie die Wissenschaft von den Wachstumserscheinungen und Entwicklungsvorgängen der Pflanzen. Die Phänologie beobachtet die verschiedenen, im Jahresablauf periodisch wiederkehrenden Wachstumserscheinungen der Pflanzen und hält die Daten ihres Eintretens fest. Sie beschränkt sich aber nicht nur auf die Beobachtung, sondern versucht auch den Einfluß von Boden und

Klima und der jeweiligen Jahreswitterung auf den Entwicklungsablauf der Pflanzen zu verstehen.

Für die Landwirtschaft und den Gartenbau ist es oft wichtig, im voraus zu wissen, wann mit dem Eintritt einer bestimmten Wachstumsphase zu rechnen ist. Die Vorhersage phänologischer Ereignisse ist daher ein wichtiges Anwendungsgebiet der Phänologie. Um aber derartige Daten voraussagen zu können, müssen die Beziehungen zwischen den phänologischen Daten und den sie auslösenden Witterungsereignissen bekannt sein. Eine der wichtigsten Phasen ist die des Beginns des Frühlings, welche mit dem Beginn der Apfelblüte charakterisiert werden kann (SCHNELLE) (47).

Die Obstblüte wird nun schon seit Jahren von den Agrarmeteorologischen Forschungsstellen des Deutschen Wetterdienstes in Geisenheim und in Stuttgart-Hohenheim in jedem Frühjahr vorhergesagt. Diese Vorhersagen basieren auf der sog. „Temperatursummenregel“, d. h. man rechnet mit dem Eintritt der Obstblüte, wenn eine bestimmte Summe von Temperaturen oberhalb eines bestimmten Schwellenwertes — von einem Starttag während oder am Ende des Winters an — erreicht worden ist.

Allein die Tatsache, daß an beiden genannten Orten gewisse Unterschiede in der angewandten Methode bestehen, legt es nahe, diese Methode nicht so ohne weiteres auf Weihenstephan zu übertragen. Zudem haben schon SEEMANN (44) und SCHNEIDER (46) darauf hingewiesen, daß die bis zum Beginn der Obstblüte erreichten Temperatursummen je nach dem Klima des Ortes verschieden sein können. Beide Verfasser hatten festgestellt, daß in Klimagebieten mit später Blüte geringere Temperatursummen notwendig sind als in Gebie-

ten mit früherer Blüte. Aber auch andere Untersuchungen zur Blühvorhersage wie von WEGER, HERBST und RUDLOFF (63), ARZT und LUDWIG (3), SCHNELLE (52), FRANKEN (20), SCHRÖDTER (56, 57), HERTLEIN (25) und HORNEY (28) legen es nahe, für Weihenstephan zunächst methodische Untersuchungen anzustellen, bevor eine Methode angewandt wird.

2. Die Beobachtungsunterlagen

Zur Untersuchung der Beziehungen zwischen phänologischen Phaseintrittszeiten und meteorologischen Meßgrößen können nur homogene phänologische Beobachtungsreihen herangezogen werden. Es ist besser, auf längere Beobachtungsreihen zu verzichten, als unsichere, mit verschiedenen Sprüngen behaftete Reihen zu berücksichtigen. Andererseits ist es jedoch nicht statthaft, auf Grund zu kurzer Beobachtungsreihen übereilte Rückschlüsse zu ziehen und statistische Berechnungen durchzuführen. Wenn die betrachtete Reihe zu kurz ist, kann sie wohl einige Extremjahre beinhalten; die erfaßten Jahre können aber auch alle in nur einer Richtung verlaufen und z. B. „später als normal“ sein. Der auf Grund einer solchen Reihe berechnete Mittelwert wird dann „zu spät“ ausfallen. Die Sicherheit für die Richtigkeit eines Mittelwertes wächst mit der Zahl der Beobachtungsjahre. Durch Vergleiche des langjährigen Temperaturverlaufes mit den phänologischen Eintrittszeiten (Pflanzenentwicklungsphasen) können stark abweichende, offensichtlich mit Fehlern behaftete phänologische Angaben von der Untersuchung ausgeschlossen werden.

2.1. Die Beschreibung des Beobachtungsstandortes Weihenstephan

Weihenstephan (bei Freising) liegt etwa 35 km nord-nordöstlich von München am Südrand des tertiären Hügellandes, das sich nach Norden fast bis zur Donau erstreckt. Unmittelbar südlich grenzen das Freisinger Moos und die Münchener Schotterebene an das Hügelland an. Die phänologischen Beobachtungen wie auch die meteorologischen Daten wurden im Hügelland gewonnen. Der Boden, auf welchem sich die Obstanlagen vorwiegend befinden, ist eine schwach pseudovergleyte Ackerbraunerde aus Lößlehm (schluffiger Lehm über kräftigem Lehm) — nach Bodenkarte von Bayern, Blatt 7536, Freising Nord. Die Obstanlagen befinden sich in 460—480 m Höhe.

2.2. Die meteorologischen Beobachtungsunterlagen

Die meteorologischen Beobachtungsunterlagen wurden von 1936 bis 1956 an einer Klimastation gewonnen, welche sich auf dem Gelände des Instituts für Bodenkunde und Pflanzenernährung der Staatlichen Lehr- und Forschungsanstalt für Gartenbau befand. Von 1957 ab wurden die Daten verwendet, welche die 1956 gegründete Agrarmeteorologische Forschungsstelle des Deutschen Wetterdienstes auf ihrem Meßfeld am schwach geneigten Nordhang des Weihenstephaner Berges gewonnen hat. Vergleichsmessungen, welche von Mai 1956 bis August 1958 an beiden Stellen durchgeführt wurden, zeigen, daß die Homogenität der Beobachtungsreihen von Temperatur und Niederschlag durch die Verlegung der Station nicht beeinträchtigt wurde. Ab August 1964 mußte das Meßfeld bei gleichbleibender Seehöhe etwa 500 m nach Westen verlegt werden, wodurch aber ebenfalls kein Sprung in der Beobachtungsreihe auftrat, wie Vergleichsmessungen von Oktober 1963 bis Juli 1964 zeigten.

2.3. Die phänologischen Daten

Vereinzelte phänologische Beobachtungsdaten liegen für Weihenstephan bereits aus der Zeit seit 1930 vor.

Eine vergleichbare homogene Beobachtungsreihe für den Beginn der Obstblüte datiert aber erst seit dem Jahre 1953, von Herrn Gartenbauinspektor H. HÖGE, Institut für Obstbau der Staatlichen Lehr- und Forschungsanstalt für Gartenbau in Weihenstephan, begonnen. Die Beobachtungen erfolgten ausschließlich in den Obstanlagen dieses Instituts in Weihenstephan im Bereich der sogenannten Langen Point.

3. Überblick über den Beginn des Frühlings in Weihenstephan und in Thalhausen bei Freising

3.1. Der phänologische Beginn des Frühlings

Einen ersten Überblick über die Eintrittszeiten der Obstblüte in den Jahren seit 1953 verschafft die Abb. 1.

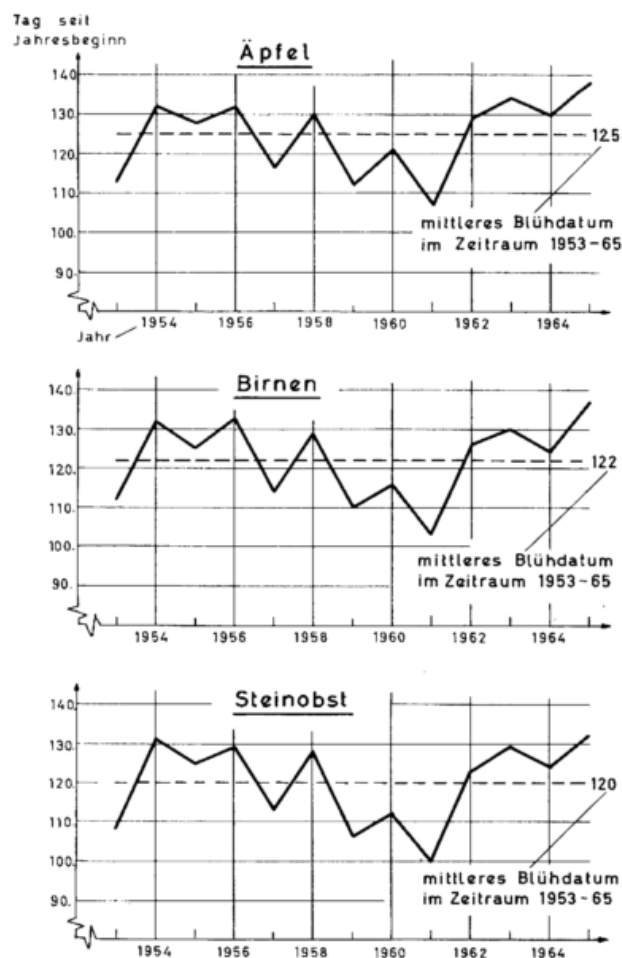


Abb. 1
Der Blühbeginn von Obstbäumen in Weihenstephan in den Jahren 1953—1967

Die Obstanlagen in Weihenstephan umfassen ein großes Sortiment früher, mittelfrüher und später Sorten, deren Mittelwert im folgenden verwendet wurde. Als mittleres Datum des Blühbeginns (1953—1967) wurde für Steinobst der 120. Tag seit Jahresbeginn (30. April), für Birnen der 122. Tag (2. Mai) und für Äpfel der 125. Tag (5. Mai) (Kalendertage für Nichtschaltjahre) ermittelt. Der Blühbeginn bei folgenden Obstsorten kommt den mittleren Daten der genannten Arten am nächsten:

- Steinobst — „Große Grüne Reneklade“.
- Birnen — „Köstliche von Charneu“.
- Äpfeln — „Schöner von Boskoop“.

Die Untersuchungen wurden zunächst auf den 13jährigen Zeitraum 1953 bis 1965 beschränkt. Die Beobachtungen der Jahre 1966 und 1967 dienen zur Prüfung und Ergänzung der gewonnenen Ergebnisse.

Der ähnliche Verlauf der Kurven für die drei Obstarten in Abb. 1 ist nicht überraschend. Die Schwankungsbreite, d. h. die Differenz zwischen dem frühesten und spätesten Blühbeginn ist bei allen Arten ebenfalls ähnlich, sie beträgt bei:

Steinobst 32 Tage (10. April 1961 und 12. Mai 1965),
 Birnen 34 Tage (13. April 1961 und 17. Mai 1965),
 Äpfeln 31 Tage (17. April 1961 und 18. Mai 1965).

Eine Tatsache tritt schon in dieser ersten Übersicht ganz klar hervor: Die Häufigkeitsverteilung der Blühdaten entspricht keinesfalls einer Normalverteilung. Vielmehr sind sowohl späte — sogar extrem späte Daten — als auch frühe Daten wesentlich häufiger als Blühtermine nahe dem mittleren Blühdatum. Ein Zeitraum von 13 bzw. 15 Jahren ist allerdings noch ein zu geringes Kollektiv, um diese Feststellung von vornherein zu verallgemeinern. Um dieser Erscheinung aber noch etwas weiter nachzugehen, sei die längere Beobachtungsreihe im 4 km entfernten Thalhausen, ebenfalls im Hügelland gelegen, herangezogen (Abb. 2 und 3, Tab. 1).

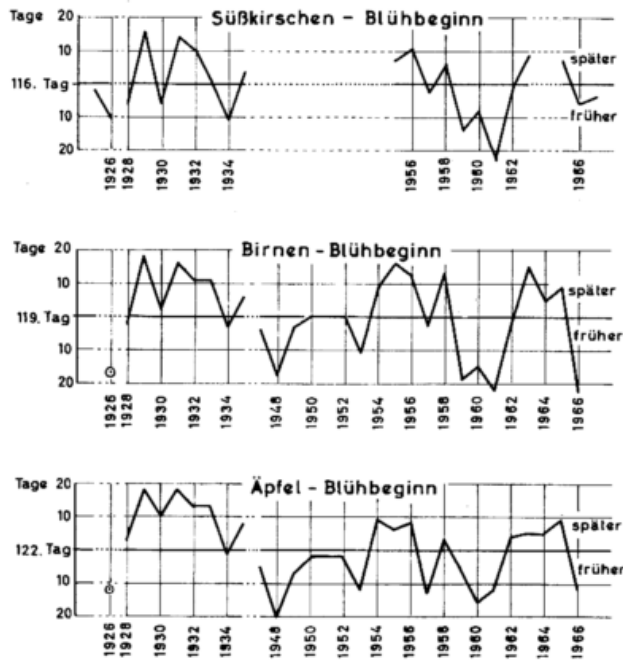


Abb. 2

Der Blühbeginn von Obstbäumen in Thalhausen bei Freising, 1925—1967

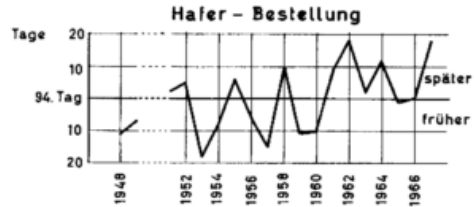
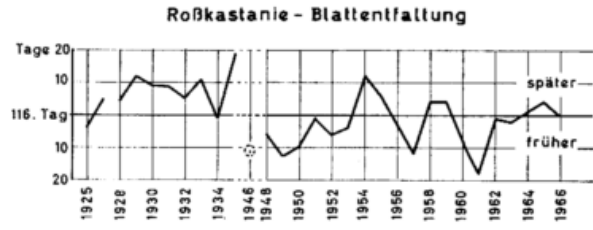


Abb. 3

Der Beginn der Blattentfaltung der Roßkastanie und der Haferbestellung in Thalhausen bei Freising

Aus Thalhausen liegen mit einigen Unterbrechungen von 1925 bis 1967 teilweise 30 bzw. 31 Jahre Beobachtungen über den Eintritt phänologischer Phasen vor. Auch in Thalhausen zeigt die längere Beobachtungsreihe, daß eindeutig späte und eindeutig frühe Jahre häufiger sind als Normaljahre.

3.2. Die Monatsmitteltemperaturen der Frühjahrsmonate

Wenn die phänologischen Phasen eine derartige Häufigkeitsverteilung zeigen, so liegt es nahe, auch bei der Temperatur eine ähnliche Feststellung zu vermuten. Da für Weihenstephan erst seit 1936 vergleichbare meteorologische Beobachtungen vorliegen, wurde auf meteorologische Daten aus München zurückgegriffen, welche seit 1851 veröffentlicht sind. In Abb. 4 ist die Häufigkeitsverteilung der Mitteltemperaturen der Monate Februar, März und April wiedergegeben. Im Februar liegt das Häufigkeitsmaximum eindeutig bei den etwas „zu milden“ Monaten, da einige sehr extrem kalte Februarmonate den Mittelwert unter den häufigsten Temperaturwert absinken lassen. Schon im Februar und erst recht in den beiden folgenden Monaten gilt jedoch eine annähernd „normale“ Häufigkeitsverteilung für die Monatsmitteltemperaturen.

Tab. 1

Zahl der Jahre mit Abweichungen der Phaseneintrittszeiten vom langjährigen mittleren Datum in Thalhausen b. Freising (1925—1967). (Aus SCHNELLE und WITTERSTEIN (49), SCHNELLE (51) und Monatlicher Witterungsbericht des Deutschen Wetterdienstes)

Phänologische Phase	Eintritt früher mindestens	als zum mittleren Datum	Eintritt zum mittleren Datum	Eintritt später	als zum mittleren Datum	Zahl der Jahre
		5 Tage	2—4 Tage	(± 1 Tag)	2—4 Tage	
Roßkastanie	BO	8	4	6	4	30
Hafer	Bst	8	0	2	2	19
Süßkirschen	b	8	3	2	1	22
Birnen	b	7	5	4	1	29
Äpfel	b	10	3	1	3	29

BO — Blattentfaltung, Bst — Beginn der Bestellung, b — Beginn der Blüte

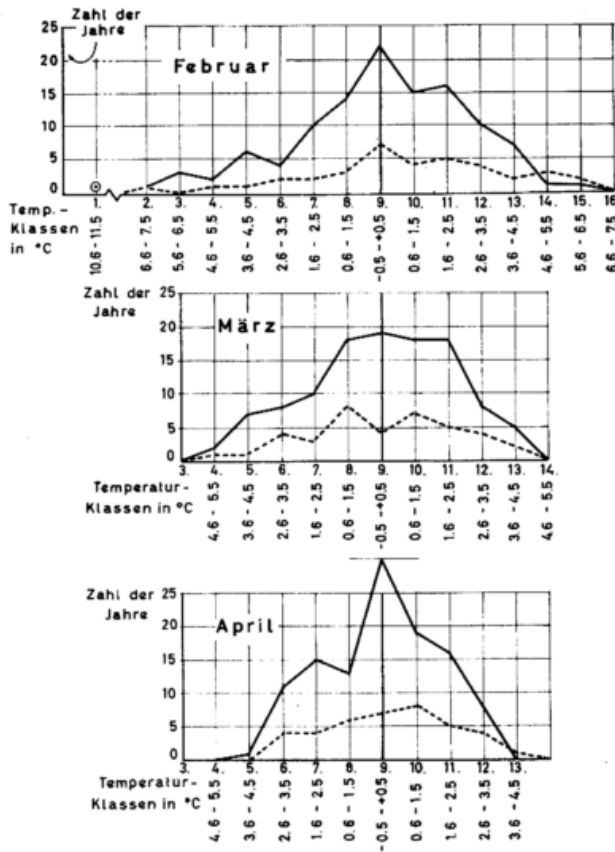


Abb. 4
Verteilung der Abweichungen von monatlichen Temperatur-
mitteln in München
ausgezogen:
berechnet für 113 Jahre (1851—1930, 1934—1944, 1946—1967)
gestrichelt:
berechnet für 39 Jahre (1925—1930, 1934—1944, 1946—1967)

3.3. Die Bedeutung des „Märzwinters“ für den Blühbeginn der Obstgehölze in Weihenstephan und Thalhausen bei Freising

Die Mitteltemperatur eines Monats kann sowohl dann annähernd dem langjährigen Mittel entsprechen, wenn eine zu warme und eine zu kalte Monatshälfte sich ausgleichen, als auch dann, wenn während des ganzen Monats nur geringe Abweichungen vom langjährigen Mittelwert auftreten. In beiden Fällen bedeutet dieses jedoch für die Pflanzenentwicklung etwas Verschiedenes. Schon eine erste Übersicht zeigte, daß in der Regel eine frühe Blüte nach einem zu milden März und eine späte Blüte nach einem zu kalten März auftrat. Ein gegenüber dem langjährigen Mittel zu kalter März bedeutet in Weihenstephan in der Regel, daß während der ersten Märzhälfte noch winterliches Frostwetter vorherrscht, während der Winter bei einem zu milden März bereits im Februar zu Ende gegangen war. Winterwetter zu Anfang März ist eine Singularität, welche von SPRINGSTUBBE (s. FLOHN (19)) den Namen „Märzwinter“ erhielt.

In der folgenden Tabelle sind die Jahre nun danach aufgeteilt, ob ein Märzwinter aufgetreten ist oder nicht.

In allen Jahren mit einem Märzwinter, in denen der Boden in 20 cm Tiefe erst in der zweiten oder gar in der dritten Märzdekade frostfrei wurde, erfolgte der Beginn der Obstblüte zu einem Termin, der später als der langjährige Mittelwert lag. Das galt auch in den drei Jahren 1962 bis 1964, als der April wärmer als normal war.

Wurde dagegen der Boden schon bis zum ersten März frostfrei, dann war die Blüte früher als normal. Lediglich im Jahre 1967 ging der Vorsprung verloren und die Blüte erfolgte geringfügig später als normal, da der April um 1,8° C erheblich kälter als normal war.

Allein auf Grund dieser Tatsache kann man eine brauchbare Faustregel für Weihenstephan ableiten,

Tab. 2
Blühbeginn in Weihenstephan in Jahren ohne und mit „Märzwinter“

Abweichung der Monatsmitteltemperatur vom langjährigen Mittel 1931—1960	Boden in 20 cm Tiefe frostfrei ab			Blühbeginn in Abweichung vom Mittel 1953—1965 (in Tagen)				
	Jahr	Febr.	März	April	Steinobst	Birnen	Äpfel	Hafer Bst*)
langjährige Mitteltemp. °C		-1,2	+3,1	+7,8	120.	122.	125.	94. Tag
Ohne Märzwinter								
1953	-0,3	+0,7	+1,5	21. 2.	-12	-10	-12	-18
1957	+4,6	+3,7	-0,4	4. 2.	-7	-8	-8	-15
1959	-0,8	+2,8	+1,0	1. 3.	-14	-12	-13	-11
1960	-0,1	+1,3	-0,5	27. 2.	-8	-6	-4	-10
1961	+4,3	+2,1	+3,0	8. 2.	-20	-19	-18	-24
1966	+6,3	-0,8	+1,8	2. 2.	-8	-7	-6	0
1967	+2,9	+1,4	-1,8	20. 2.	+1	-6	+3	+8
Mit Märzwinter								
1954	-2,6	+1,8	-2,1	11. 3.	+11	+10	+7	-8
1955	-0,6	-2,7	-1,2	21. 3.	+5	+3	+3	+6
1956	-10,0	-0,4	-1,5	22. 3.	+9	+11	+7	-6
1958	+2,1	-4,2	-2,5	27. 3.	+8	+7	+5	+10
1962	+0,4	-3,3	+0,5	24. 3.	+3	+4	+4	+8
1963	-6,3	-1,7	+0,7	19. 3.	+9	+8	+9	+2
1964	+0,7	-2,6	+1,0	27. 3.	+4	+2	+5	+12
1965	-3,6	-2,0	-1,9	18. 3.	+12	+15	+13	-1

*) Hafer Bst = Bestellung von Hafer in Thalhausen als Abweichung vom Mittel

welche lautet: *Weist der März noch einen ausgesprochenen Märzwinter auf, so wird die Blüte später als zum langjährigen Mittelwert auftreten.*

Für den Februar und April läßt sich eine ähnliche Regel nicht aufstellen, obwohl gerade die Temperatur des Aprils den endgültigen Blühtermin erheblich mitbestimmt. Die Witterung während des Monats März erweist sich somit für den um die Monatswende April-Mai stattfindenden Beginn der Obstblüte als besonders entscheidend. Trotzdem bleibt die Witterung im April noch ein wichtiger Faktor für das eigentliche Blühdatum. Das wird durch Tab. 3 bestätigt, welche die Enge der Beziehungen zwischen der Mitteltemperatur der Monate Februar, März und April zum beobachteten Beginn einiger phänologischer Frühjahrsphasen wiedergibt. Um mehr Beobachtungsjahre zu haben, wurden dabei die phänologischen Daten von Thalhausen den Abweichungen der Monatstemperaturen vom langjährigen Mittelwert in München gegenübergestellt. Bei der geringen Entfernung zwischen München und Weihenstephan bestehen nur kleine Unterschiede in den Ab-

weichungen der Monatsmitteltemperatur vom langjährigen Mittel.

Für die Blattentfaltung der Roßkastanie, welche in Thalhausen im langjährigen Mittel am 26. 4. erfolgt, ist die Apriltemperatur bestimmend.

Der Beginn der Obstblüte besitzt signifikante Beziehungen zu der Mitteltemperatur aller drei Monate, jedoch ist der Korrelationskoeffizient des Aprils in der Regel am größten.

Die Haferbestellung erfolgt im langjährigen Mittel am 4. März. Hierfür ist in allererster Linie die Bearbeitbarkeit des Bodens bestimmend. Diese kann schon durch eine kurze, warme und trockene Witterungsperiode im März bewirkt werden. Daher ist es nicht verwunderlich, daß für diesen Termin nur eine signifikante Korrelation zur Märztemperatur besteht. Diese ist jedoch schlechter als bei den anderen vier Phasen, da für den Bodenzustand auch Niederschlag und Strahlung von Bedeutung sind. Des weiteren wird diese Phase auch vom Menschen selbst beeinflußt.

Tab. 3
Korrelationskoeffizienten zwischen verschiedenen phänologischen Phasen in Thalhausen b. Freising und der Monatsmitteltemperatur in München (N = Zahl der Jahre)

Phänologische Phase		N	Februar		März		April	
			r	SG	r	SG	r	SG
Roßkastanie	BO	28	-0,341	—	-0,246	—	-0,544	0,27%
Süßkirsche	b	19	-0,645	0,27%	-0,624	0,27%	-0,780	0,1 %
Birnen	b	26	-0,633	0,1 %	-0,587	0,1 %	-0,683	0,1 %
Äpfel	b	26	-0,654	0,1 %	-0,492	1 %	-0,635	0,1 %
Hafer	Bst	19	+0,138	—	-0,433	5 %	-0,113	—

r = Korrelationskoeffizient zwischen einer phänologischen Phase und der Monatsmitteltemperatur
SG = erreichte statistische Sicherheitsgrenze

BO = Beginn der Blattentfaltung
b = Beginn der Blüte
Bst = Beginn der Bestellung

Dieses Ergebnis scheint der vorigen Feststellung über die Bedeutung des Märzwinters für den Blühbeginn zu widersprechen. In ersterem Falle war aber nur die allgemeine Feststellung getroffen worden, ob die Blüte später oder früher als normal war, während in Tab. 3 die wirklich eingetretenen Daten bei der Korrelationsberechnung verwendet wurden.

4. Betrachtungen über die Anwendung der „Temperatursummenregel“ bei der Vorhersage von phänologischen Phaseintrittszeiten

4.1. Allgemeine Betrachtungen

Seit vielen Jahren ist man bemüht, eine Methode zu finden, die es ermöglicht, bestimmte Phaseintrittszeiten mit hinreichender Genauigkeit vorherzusagen. Die häufigste der dabei angewandten Methoden ist die der „Temperatursummenregel“, in der englischsprachigen Literatur als „Accumulated Temperature“ oder „Heat Units“ bezeichnet. Auf die Pflanze als Lebewesen wirken jedoch sehr viele unterschiedliche Faktoren ein. Es sind zunächst die genetischen Eigenschaften, welche die Pflanzenreaktionen auf die Umwelteinflüsse von vornherein festlegen. Auch das Alter und die Nährstoffversorgung der Pflanze üben auf ihre Reaktionen gegenüber der Umwelt einen gewissen Einfluß aus (JUNGES (31)). Die Bodenart beeinflußt nicht nur die Lufttemperatur, sondern auch die Geschwindigkeit der Pflanzenentwicklung. Für den Wärmehaushalt der Pflanzen haben auch die Strahlungsverhältnisse, die Luftbewegung sowie die Luft- und Bodenfeuchte eine Bedeutung, da auch sie die Temperatur des Pflanzen-

gewebes beeinflussen. All diese physikalischen und chemischen Faktoren werden durch den Standort der Pflanze repräsentiert. Da diese Faktoren alle gleichzeitig auf die Pflanze einwirken, erweist es sich als außerordentlich schwierig, ihren jeweiligen Teileinfluß getrennt zu erfassen und zu charakterisieren. Deshalb ist man bisher auf Teilerkenntnisse angewiesen. Welche Größe den entscheidenden Einfluß auf die Pflanzenentwicklung und ihr Wachstum hat, ist deswegen von Wichtigkeit zu erforschen.

Auf Grund vieler Untersuchungen glaubt man feststellen zu dürfen, daß für bestimmte Phasen die Temperatur von entscheidender Bedeutung ist. Beziehungen zwischen Temperatur und Phasencharakteristik wurden festgestellt. Danach wird angenommen, daß gleiche Temperaturen annähernd gleiche Pflanzenreaktionen hervorrufen. Auf dieser Annahme beruht die Anwendung der Temperatursummen. WEGER, HERBST und RUDLOFF (63), HERTLEIN (25), FRANKEN (20), HORNEY (28) und andere befaßten sich in einschlägigen Arbeiten mit diesem Problem.

Da aber die Bildung von Temperatursummen und deren Beziehung zum Blühbeginn zunächst einen statistischen Charakter trägt, ist sie in bezug auf ihre physiologische Wirkung auf die Pflanzenwelt naturgemäß mit Fehlern behaftet und deswegen auch oft kritisiert worden. So wird z. B. die Arbeit von HERTLEIN (25) durch van der BIJL (8) wegen der kurzen Beobachtungsreihe von nur 6 Jahren kritisiert, weil diese sich nicht für eine statistische Bearbeitung eignet und zu verfälschten Ergebnissen führen kann. Außer-

dem wird bemängelt, daß sich diese Methode ohne gewisse Abänderungen von Starttag und Basistemperatur nicht auf andere Gebiete übertragen läßt.

HOLMES und ROBERTSON (26) haben in Kanada festgestellt, daß sich die Temperatursummenregel zur Aufdeckung der Beziehungen zwischen dem Pflanzenwachstum und der Temperatur zwar als recht brauchbar erwiesen hat, daß jedoch beträchtliche Fehler entstehen können, wenn diese Beziehungen auf andere Gebiete kritiklos übertragen werden. Wenn man sich aber von vornherein darüber im klaren ist, daß man mit der Anwendung der Temperatursumme nur eine für einen Ort gesicherte statistische Beziehung aufstellen will, so ist gegen deren Anwendung an dem betreffenden Ort wohl nichts einzuwenden.

Etwas Analoges gilt ja auch für die Formeln zur Bestimmung der potentiellen Evapotranspiration. Nach den Untersuchungen von G. HOFMANN (s. GEIGER (22)), wissen wir, daß die Verdunstung feuchter Flächen von den Größen Strahlungsbilanz, Wärmestrom aus dem Boden, Lufttemperatur, Sättigungsdefizit der Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit abhängt. Die von HOFMANN gefundene und physikalisch einwandfrei definierte Formel berücksichtigt all diese Größen. Die Tatsache schließt aber nicht aus, daß man auf empirischem Wege, unter Verwendung statistischer Beziehungen, auch einfachere Formeln zur Bestimmung der potentiellen Evapotranspiration aufstellen und mit Erfolg verwenden kann, welche nur eine oder zwei der oben genannten meteorologischen Größen enthalten. Das ist möglich, weil solche gesicherten statistischen Beziehungen zur Verdunstung bestehen, aber auch weil Strahlung, Lufttemperatur und Sättigungsdefizit keine voneinander unabhängigen Größen sind. Auch zwischen diesen, die Verdunstung mitbeeinflussenden meteorologischen Elementen bestehen statistische Zusammenhänge. Diese sind allerdings je nach Klimaregion etwas verschieden und eine, für einen Ort empirisch gefundene Verdunstungsformel, welche z. B. nur die Tageslängen (als einfachstes Maß für die Strahlung) und die Temperatur berücksichtigt, wird deshalb an einem anderen Ort, wo andere stochastische Beziehungen zwischen den die Verdunstung bestimmenden Elementen bestehen, nicht mehr so gute Resultate liefern. Man wird z. B. die Temperatur mit einem anderen Gewicht belegen müssen, d. h. einen anderen Dimensionsfaktor einführen müssen.

Entsprechendes gilt für die Beziehung zwischen Temperatursumme und Blühbeginn. Da die Temperatur der wesentliche, aber nicht der einzige Faktor für den Blühbeginn ist, kann man für verschiedene Orte in verschiedenen Klimaregionen, ja streng nicht einmal für einen Ort in verschiedenen Jahren genau die gleiche Temperatursumme bis zum Blühbeginn erwarten. In diese Richtung zielt auch wohl SEEMANN's (44) Stellungnahme. Er weist darauf hin, daß die Variationsbreite von Temperatursummen für eine bestimmte Entwicklungsphase und für mehrere Orte während eines einzigen Jahres nur durch Verfeinerung der Berechnung und Bildung von wirksamen Temperaturbereichen einzuengen ist.

Auch SEYFERT (45) kritisiert die Einseitigkeit bei Berücksichtigung nur des Temperatureinflusses auf die Pflanze. Er schlägt vor, die Vorhersage phänologischer Daten auf Grund von beobachteten Zeitintervallen von zwei verschiedenen Entwicklungsphasen durchzuführen, d. h. aus dem Eintrittsdatum einer Phase und dem Zeitunterschied zur nachfolgenden Phase auf den Eintritt der letzteren zu schließen. Diese Methode besitzt aber auch ihre Schwächen. Die beiden Phasen können zu schnell aufeinander folgen. Es gibt aber auch Überschneidungen von Intervallen.

Die Intervallmethode nach SEYFERT (45) liefert zwar im allgemeinen recht gute Ergebnisse; für Phasen, die

im Jahresablauf früh eintreten, ist sie aber kaum geeignet, da es vor der Obstblüte zu wenig andere Phasen gibt, die als „Bezugsphasen“ dienen könnten. Das gilt erst recht, wenn man nur solche Phasen berücksichtigen will, die im gleichen Kleinklima (Obstblüte in 1—5 m oberhalb des Bodens) und nicht an der Erdoberfläche geschehen. Obwohl hier die Pflanze als ein alle einwirkenden Faktoren umfassendes Instrument verwendet wird, so liefert dieses natürliche „Meßinstrument“ jedoch keine Absolutwerte und schwankt oft in seiner Reaktion. Diese Schwankungen können individuell verschieden sein. Aus all diesen Gründen lassen sich auch durch diese Methode die vorkommenden Streuungen der erhaltenen Ergebnisse nicht vermeiden.

Die Anwendung der Temperatursummenregel setzt nun voraus, daß eine lineare Beziehung zwischen der Temperatur und der Pflanzenentwicklung besteht. Das scheint für die Entwicklung bis zur Obstblüte wohl auch der Fall zu sein. Weiterhin nimmt die Theorie an, daß während des betreffenden Vegetationsabschnittes nur eine Basistemperatur besteht, und daß sowohl die Tages- als auch die Nachttemperaturen von gleicher Wichtigkeit für das Pflanzenwachstum sind (HOLMES und ROBERTSON (26)).

In dieser Arbeit soll aber doch auch untersucht werden, ob den Temperaturen über 20° C noch eine ihrer Größe entsprechende Wirkung zukommt, oder ob mit einer weiteren Steigerung der Temperatur keine Beschleunigung der Entwicklung mehr verbunden ist. Von anderen Pflanzenentwicklungen wissen wir ja, daß diese eindeutig eine Optimaltemperatur haben. Bei der optimalen Temperatur erfolgt stärkstes Wachstum, wie z. B. nach RAEUBER und ENGEL (42) bei Kartoffeln, sofern die Bodenwasserversorgung gut ist, bei etwa 17° C. Bis zu 17° C besteht eine weitgehend lineare Abhängigkeit der täglichen Massenzunahme der Kartoffelknollen von der Temperatur.

Dem steht allerdings die Regel von van t'HOFF etwas entgegen, welche besagt, daß sich die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen, somit auch derjenigen, die innerhalb der pflanzenphysiologischen Prozesse stattfinden, etwa verdoppelt bis vervierfacht, wenn die Temperatur sich um 10° C steigert (WIBERG (64)). Diese Abhängigkeit besteht jedoch nur in dem für die Pflanzen optimalen Temperaturbereich.

4.2. Die „Basistemperatur“ und der „Starttag“

Bevor man nun die Temperatursummen bildet und anwendet, ist Klarheit über zwei Größen notwendig, und zwar:

a) über die Basistemperatur oder den Schwellenwert, oberhalb dessen die Temperatur nur als wirksam erkannt und somit addiert wird; d. h., der Wert der Basistemperatur ist von der in °C gemessenen Temperatur jedesmal in Abzug zu bringen.

Mit SCHRÖDTER (56) verwenden wir den Ausdruck „Basistemperatur“ statt „Schwellenwert“, da diese Größe zunächst eine Rechengröße ist und noch nicht unbedingt einen wirklichen biologischen Schwellenwert darzustellen braucht.

b) über den günstigsten Starttag, von dem ab die Summierung beginnen soll.

In vielen der bisher erfolgten Untersuchungen stellte sich heraus, daß beide Größen nur für ein begrenztes Gebiet charakteristisch sind. Es erwiesen sich jeweils verschiedene Werte für die Basistemperatur und den Starttag als am günstigsten. Das heißt nun, daß die Temperatursummenregel nur eine empirisch-statistische Regel sein kann. Nur wenn die Lufttemperatur der alleinige und überall in gleicher Weise der die Entwicklung bestimmende Faktor wäre, könnten überall gleiche Basiswerte und gleiche Starttage zu erwarten sein.

SCHNEIDER (46), der die Temperatursummen (Summe der Tagesmitteltemperatur) zwischen mehreren phänologischen Phasen wie „Schneeglöckchenblüte bis Apfelblüte“, „Apfelblüte bis Winterroggenblüte“ und „Winterroggenblüte bis Winterroggenernte“ für etliche Orte berechnete, hält die Bestimmung der für den Beginn der Obstblüte wie auch für die Entwicklungsdauer anderer Pflanzen notwendigen Temperatursumme, getrennt für jeden Ort, für unentbehrlich.

Ergänzend sei noch mitgeteilt, daß die Methode der Temperatursummen in der Pflanzenphänologie auch für andere phänologische Phasen, z. B. den Erntezeitpunkt von Getreide, ja sogar die Voraussage der zu erwartenden Ernteerträge verwendet wurde (DIVITAYA (15), LANA und HABER (32), MARSEILLE (34), MILLS (35), HOLMES und ROBERTSON (26)). Darüber hinaus haben Entomologen die Entwicklungszeiten bzw. -stufen bei verschiedenen Insekten in Abhängigkeit von Temperatursummen bestimmt, um so den geeignetsten Zeitpunkt ihrer Bekämpfung zu finden (BLUNCK (10), JANISCH (30), BULLRICH (13)). Dabei sind die Entomologen dadurch im Vorteil, daß der Beginn der Temperatursummierung mit der Eiablage der Insekten oft eindeutig festgelegt werden kann.

4.3. Die Durchführung der Temperatursummenbildung in Weihenstephan

Die Temperatursummen lassen sich nun auf verschiedene Weise aufstellen, z. B.

- 1) als Summe der Tagesmitteltemperaturen (Grad x Tag),
- 2) als Summe der Stundenwerte der Temperatur (Grad x Stunden),
- 3) als Summe der Tageshöchsttemperaturen (Grad x Tag).

Die unter 2) aufgezählte Möglichkeit hat nach bisherigen Erfahrungen zu den besten Ergebnissen geführt (ARZT und LUDWIG (3), WEGER, HERBST und RUDLOFF (63), VOIGTS (61), SCHRÖDTER (56, 57) und HERTLEIN (25)). Auch die Verwendbarkeit und Eignung des aus Maximum und Minimum gebildeten Temperaturmittels wurde untersucht (HOMMEL (27)). Durch die Konstruktion eines Effektivtemperatursummenzählgerätes hat ZISLAVSKY (66) die Bestimmung der stündlichen Temperatursummen weitgehend vereinfacht.

4.3.1. Die Prüfung der Basistemperatur

Unsere Untersuchung stützt sich auf die Summen der stündlichen Temperaturen. Um nun die günstigste Basistemperatur, d. h. die Basistemperatur, welche nachher bei der Temperatursumme die geringste Streuung ergibt, zu ermitteln, wurden zunächst die Temperatursummen über den Basiswerten von 2, 3, 4, 5, und 6° C vom 1. Januar an berechnet. Temperaturen unter den Basiswerten wurden nicht berücksichtigt, d. h. es wurden keine negativen Werte zur Bildung der Temperatursummen herangezogen.

In der Tab. 4 ist die mittlere Studententemperatursumme, berechnet ab 1. Januar, mit den Basiswerten 2° C bis 6° C für die drei Obstarten eingetragen. Dazu wurde auch die Streuung (Standardabweichung) sowie das arithmetische Mittel der Abweichungen (durchschnittliche Abweichung) der Temperatursummen vom langjährigen Mittel berechnet. HORNEY (28) hatte für seine Vergleiche in Geisenheim nur die letztere Größe verwendet. Schließlich ist in der letzten Spalte noch der Variationskoeffizient, d. h. die Streuung in Prozent des Mittelwertes der Temperatursumme angegeben.

Tab. 4
Vergleich der Temperatursummen in Grad x Stunden (° C x h), berechnet über Basistemperaturen von 2 bis 6° C. Summierung vom 1. Januar bis zum Beginn der Blüte bei Steinobst, Birnen und Äpfeln in Weihenstephan (1953—1965).

Basis-temp.	Mittlere Temp.-Summe	Größte Temp.-Summe	Kleinste Temp.-Summe	Diff. Spalte 3 minus Spalte 4	Streuung oder Standardabweichung		Durchschnittliche Abweichung		VK	
					in ° C x h	in Tagen	in ° C x h	in Tagen		
° C	° C x h	° C x h	° C x h	° C x h	° C x h		° C x h			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Steinobst										
2	6676	8015	5599	2416	± 640	± 3,7	469	2,7	9,6	
3	5484	6430	4699	1731	± 497	± 3,3	361	2,4	9,0	
4	4496	5334	3926	1408	± 396	± 3,0	287	2,3	8,8	
5	3645	4371	3196	1175	± 312	± 2,9	242	2,3	9,3	
6	2866	3524	2363	1161	± 300	± 3,4	236	2,7	10,8	
Birnen										
2	7194	8067	6241	1826	± 632	± 3,5	520	2,9	8,8	
3	5952	6635	5273	1362	± 463	± 2,9	372	2,4	7,7	
4	4888	5538	4408	1137	± 334	± 2,4	313	2,3	6,7	
5	3979	5551	3639	912	± 243	± 2,1	233	2,0	9,1	
6	3180	3672	2961	711	± 194	± 2,0	145	1,5	4,4	
Äpfel										
2	7700	8730	6600	2130	± 626	± 3,1	488	2,5	8,1	
3	6398	7390	5585	1805	± 524	± 2,9	442	2,6	8,2	
4	5281	6200	4705	1495	± 439	± 2,3	380	2,6	8,9	
5	4326	5105	3875	1230	± 376	± 2,8	311	2,4	9,2	
6	3483	4150	3000	1150	± 359	± 3,2	276	2,6	10,2	

Auf Grund der Tab. 4 müßte der Basiswert von 6° C der geeignetste sein, da die Temperatursummen über 6° C sowohl die geringste Streuung als auch die geringste durchschnittliche Abweichung aufweisen. Das

gilt erst recht für die durchschnittliche Abweichung. Die Abnahme beider Streuungsmaße mit steigender Basistemperatur ist aber auch eine Folge der Abnahme des Absolutwertes der Temperatursumme mit steigender

Basistemperatur. Diese Streuungsmaße können daher allein noch nicht über den besten Basiswert entscheiden. Der Variationskoeffizient, für sich allein betrachtet, ist aber auch nicht ganz geeignet; er ist bei Äpfeln wegen des engen Verhältnisses zwischen Temperatursumme und der Standardabweichung, trotz des hohen Absolutwertes der letzteren beim Basiswert 2° C, bei den beiden anderen Obstarten bei 4° C am niedrigsten.

Wenn die Genauigkeit der Beobachtungen der Blühtermine bei allen drei Arten gleich ist, und wenn alle drei Arten in gleicher Weise auf die Temperatur reagieren, sollte man erwarten, daß die Standardstreuung um so größer wird, je mehr Gradstunden notwendig sind, d. h. sie müßte unabhängig von der gewählten Basistemperatur bei Äpfeln am größten und bei dem zuerst blühenden Steinobst am geringsten sein, während die Werte für Birnen in der Mitte liegen müßten. Eine solche Tendenz war für Weihenstephan jedoch nicht feststellbar.

Entscheidend in der Tab. 4 ist nun aber doch wohl, wie groß die Streuung umgerechnet in Tagen ist. Diese Größe bringt zum Ausdruck, in welchem Verhältnis die Größe der Streuung zur mittleren Zunahme der Temperatursumme um die Zeit des Beginns der Obstblüte steht bzw. wie die mittlere Differenz zwischen berechneten und eingetretenem Blühtermin in Tagen ist.

Es wurde daher die mittlere Zunahme der Temperatursumme pro Tag für die Zeitspanne von drei Tagen vor bis drei Tagen nach dem mittleren Blühtermin berechnet, mit der dann die Streuung verglichen wurde. Dann ergibt sich die in Spalte 7 angegebene Streuung von etwa ± 3 Tagen. Jetzt stellt sich der Basiswert von 5° C als günstigster heraus (bei Äpfeln ist es der Basiswert von 4° C), jedoch sind die Unterschiede zu den Schwellenwerten 4° C und 6° C für eine Blühvorhersage ohne Belang.

Die Streuung, deren Wert zunächst im Verhältnis zum gesamten Mittelwert der Temperatursumme (s. Variationskoeffizient, Spalte 10) als besonders groß erscheinen muß, ist in Tagen umgerechnet nun doch verhältnismäßig gering. Die Ursache hierfür ist, daß die Temperatursumme im Laufe des Frühjahrs mit der jahreszeitlich bedingten Zunahme der Temperatur von Tag zu Tag immer stärker anwächst (Abb. 7).

Diese Streuung von rund ± 3 Tagen kann aber wohl kaum noch weiter verringert werden, da die Genauigkeit der Beobachtung phänologischer Phasen ebenfalls kaum besser ist als ± 3 Tage, wie aus Vergleichsbeobachtungen hervorgeht, die verschiedene Beobachter an einem Ort durchgeführt haben (ARZT und LUDWIG (4), DICKEL (16)). Dieses läßt sich auch durch einen Vergleich der Beobachtungen in Weihenstephan und in dem nur 4 km entfernten Thalhausen bei gleichen Boden- und Geländebeziehungen darlegen (Tab. 5).

Für den Beginn der Apfelblüte besteht eine mittlere Differenz zwischen Thalhausen und Weihenstephan von — 3,62 Tagen bei einer Standardstreuung von ± 4,99 Tagen. Die hier nicht veröffentlichten Berechnungen für Birnen ergaben, daß die Birnenblüte im Mittel der Jahre 1953 — 1965 in Thalhausen 2,69 Tage früher als in Weihenstephan erfolgte. Die Streuung der jährlichen Differenz betrug aber ± 6,41 Tage. Man könnte demnach sagen, daß die Streuung zwischen dem wirklichen und dem auf Grund der Temperatursumme errechneten Blühtermin eher noch ein Maß für die Genauigkeit darstellt, mit der die phänologischen Beobachtungen durchgeführt werden, als daß sie ein Maß für die Zuverlässigkeit der Temperatursummen ist. Jedenfalls sind die Unterschiede in der Streuung der Temperatursummen bis zur Blüte an den verschiedenen Orten sicherlich durch die unterschiedliche Genauigkeit mitbedingt, mit der die verschiedenen Beobachter die Blühdaten beobachtet und notiert haben.

Tab. 5

Vergleich von Eintrittsdaten des Blühbeginns von Äpfeln in Thalhausen (Th.) und in Weihenstephan (W.)

Jahr	Blühbeginn in		Differenz zum Mittelwert	
	Th.	W.	Tage	Tage
1953	110.	113.	— 3	+ 0,62
1954	131.	132.	— 1	+ 2,62
1955	128.	128.	0	+ 3,62
1956	130.	132.	— 2	+ 1,62
1957	109.	117.	— 8	— 4,38
1958	125.	130.	— 5	— 1,38
1959	116.	112.	+ 4	+ 7,62
1960	106.	121.	— 15	— 11,38
1961	110.	107.	+ 3	+ 6,62
1962	126.	129.	— 3	+ 0,62
1963	127.	134.	— 7	— 3,38
1964	127.	130.	— 3	+ 0,62
1965	131.	138.	— 7	— 3,38
Mittel	122.	125.	— 3,62	—
Standardstreuung				± 4,99

Diese Betrachtung hat gezeigt, daß vom rein statistischen Standpunkt aus die Verwendung einer Basistemperatur von 5° C die geringste Streuung, ihre Anwendung demnach die genaueste Vorhersage ergeben müßte, wobei zu den Basiswerten 4° C und 6° C aber kein ins Gewicht fallender Unterschied besteht. In Hohenheim verwendet man den Basiswert 4° C, in Geisenheim 6° C (HORNEY, (28)).

4.3.2. Die Anwendung der Hyperbelfunktion zur Bestimmung der Basistemperatur und zur Prüfung des günstigsten Starttages

SCHRÖDTER (56) hat nun noch einen anderen Weg gezeigt, wie bei einer linearen Abhängigkeit der Entwicklungsgeschwindigkeit biologischer Prozesse von der Temperatur die geeignetste Basistemperatur und die notwendige Temperatursumme bestimmt werden kann. Er greift dabei auf die von BLUNCK (10) zuerst für epidemiologische Zwecke eingeführte Hyperbelfunktion zurück, welche die Basistemperatur leicht bestimmen läßt, wenn Starttag und biologisches Ereignis (z. B. hier die Obstblüte) bekannt sind.

Wenn t die Zeit in Tagen oder in Stunden seit dem Starttag, T_m die Mitteltemperatur zwischen Starttag und hier dem Beginn der Obstblüte, T₀ die Basistemperatur und K eine Konstante ist, dann soll

$$T_m = T_0 + K \cdot \frac{1}{t} \text{ gelten.}$$

Diese Gleichung stellt eine Hyperbelfunktion zwischen t und T_m dar. Der Basiswert T₀ braucht dabei noch keine unmittelbare biologische Bedeutung zu haben, sondern stellt eine Rechengröße dar. Die so zu bestimmende günstigste Basistemperatur ist aber nur dann einwandfrei zu ermitteln, wenn auch der Starttag eindeutig festliegt. Das ist in der Entomologie der Fall, in der man z. B. die Eiablage von Insekten als Starttag, den Tag des Schlüpfens als Endtag festlegen kann, und wobei die zwischen beiden Tagen aufgelaufene Temperatursumme errechnet werden kann.

SCHRÖDTER (56) hat nun gezeigt, daß man durch die Wahl mehrerer vorläufiger Starttage ebenfalls Basiswerte bestimmen kann, wobei er schließlich den Basiswert und denjenigen Starttag wählte, welche zu den geringsten mittleren Differenzen zwischen dem berechneten und beobachteten phänologischen Ereignis führten. Er stellte am Beispiel des Beginns der Blüte der Winterlinde fest, daß sich die Basistemperatur verringerte, je weiter der Starttag vorverlegt wurde. Wir haben die Methode von SCHRÖDTER nun ebenfalls

angewendet, um den „günstigsten“ Starttag und die „günstigste“ Basistemperatur zu ermitteln.

Die Tab. 6 enthält für Weihenstephan für Steinobst in Spalte 2 die mittlere Temperaturstundensumme oberhalb zunächst festgelegter Basiswerte von 3, 4, 5 und 6° C berechnet von den Starttagen 1. Januar; 1., 10. und

20. März sowie vom 1. April ab bis zum Beginn der Blüte. In der Spalte 4 ist der 13jährige Mittelwert der Temperatur T_m zwischen Starttag und Blühtag wiedergegeben. Bei dessen Bestimmung wurde die Temperatursumme der einzelnen Jahre durch die Stundenzahl zwischen Starttag und Blühtag dividiert.

Tab. 6
Berechnung der Basistemperaturen bei verschiedenen Starttagen durch Anwendung der Hyperbel-Methode (nach SCHRÖDTER) für Steinobst.

Starttag	Mittlere Temperatursumme °C×h	Vorläufige Basis-temperatur °C	\bar{T}_m °C		Regressionsgleichung $T_m = T_0 + K \times \frac{1}{t}$	Beste Basis-temp. °C	Korr.-koeff. r
1	2	3	4	5	6	7	8
a) Mittlere Temperatursummen über 3° C							
ab 1. 1.	5483,5	3,0	1,92	4,92	$T_m = 0,40 + 3400,8 \frac{1}{t}$	3,40	0,736
1. 3.	5015,6	3,0	3,50	6,50	$T_m = 1,26 + 3163,2 \frac{1}{t}$	4,26	0,820
10. 3.	4782,4	3,0	3,92	6,92	$T_m = 2,02 + 2280,0 \frac{1}{t}$	5,02	0,842
20. 3.	4399,5	3,0	4,47	7,47	$T_m = 3,27 + 1118,4 \frac{1}{t}$	6,27	0,645
1. 4.	3574,9	3,0	5,02	8,02	$T_m = 3,33 + 1008,0 \frac{1}{t}$	6,33	0,733
b) Mittlere Temperatursummen über 4° C							
ab 1. 1.	4496,0	4,0	1,57	5,57	$T_m = 0,36 + 3446,4 \frac{1}{t}$	4,36	0,740
1. 3.	4170,7	4,0	2,92	6,92	$T_m = 0,91 + 2836,8 \frac{1}{t}$	4,91	0,848
10. 3.	3997,1	4,0	3,28	7,28	$T_m = 1,50 + 2126,4 \frac{1}{t}$	5,50	0,859
20. 3.	3691,5	4,0	3,75	7,75	$T_m = 2,60 + 1082,4 \frac{1}{t}$	6,60	0,664
1. 4.	2915,9	4,0	4,27	8,27	$T_m = 2,77 + 895,2 \frac{1}{t}$	6,77	0,690
c) Mittlere Temperatursummen über 5° C							
ab 1. 1.	3645,1	5,0	1,27	6,27	$T_m = 0,24 + 2940,0 \frac{1}{t}$	5,24	0,710
1. 3.	3421,9	5,0	2,40	7,40	$T_m = 0,58 + 2563,2 \frac{1}{t}$	5,58	0,868
10. 3.	3297,1	5,0	2,72	7,72	$T_m = 1,09 + 1948,8 \frac{1}{t}$	6,09	0,867
20. 3.	3055,2	5,0	3,12	8,12	$T_m = 2,00 + 1048,8 \frac{1}{t}$	7,00	0,672
1. 4.	2450,2	5,0	3,61	8,61	$T_m = 2,21 + 837,6 \frac{1}{t}$	7,21	0,701
d) Mittlere Temperatursummen über 6° C							
ab 1. 1.	2865,7	6,0	1,01	7,01	$T_m = 0,08 + 2635,2 \frac{1}{t}$	6,08	0,573
1. 3.	2726,7	6,0	1,12	7,12	$T_m = 0,23 + 2392,8 \frac{1}{t}$	6,23	0,864
10. 3.	2639,3	6,0	2,19	8,19	$T_m = 0,63 + 1864,8 \frac{1}{t}$	6,63	0,860
20. 3.	2451,4	6,0	2,52	8,52	$T_m = 1,41 + 1044,0 \frac{1}{t}$	7,41	0,670
1. 4.	1964,8	6,0	2,95	8,95	$T_m = 1,62 + 794,4 \frac{1}{t}$	7,62	0,706

In diese Berechnung gehen die Stunden mit Temperaturen unter dem zunächst angenommenen Basiswert mit Null ° C, d. h. nicht mit negativen Werten ein.

Aus den 13 Einzelwerten ergibt sich dann der Mittelwert \bar{T}_m . Die sechste Spalte gibt dann die Regressionsgleichungen zwischen der Mitteltemperatur \bar{T}_m und dem reziproken Wert der Zeitdauer t zwischen Starttag und Blühtag an. Die Konstante dieser Gleichungen plus dem vorläufigen Basiswert ergibt dann die „beste“ Basistemperatur (Spalte 7), während der Faktor K die zugehörige mittlere Temperatursumme oberhalb des „besten“ Basiswertes darstellt.

Schließlich ist in der letzten Spalte (8) der Korrelationskoeffizient zwischen T_m und $\frac{1}{t}$ angegeben. Bei 13 Wertepaaren liegt nach WEBER (62) der Zufallshöchstwert von r für die Sicherheitsgrenze von:

- 0,1 % bei r = 0,76
- 0,27 % bei r = 0,72
- 1,0 % bei r = 0,65
- 5 % bei r = 0,52

Auf eine unmittelbare Anwendung der so gefundenen Basistemperaturen wurde allerdings verzichtet, da schon der Korrelationskoeffizient eine Aussage darüber macht, welcher Starttag und welche Basistemperatur am engsten miteinander verbunden sind.

Zunächst ist festzustellen, daß die rechnerisch ermittelte Basistemperatur zunimmt, je später der Starttag gewählt wird. Er nimmt aber auch zu, je höher die vorläufige gewählte Basistemperatur (Spalte 3) ist. Hätte die Basistemperatur eindeutig die Funktion eines biologischen Schwellenwertes, so dürfte das nicht der Fall sein. Die Basistemperatur ist demnach eindeutig

eine Rechengröße, mit der das optimale Ergebnis zu erzielen ist.

Gehen wir die Tab. 6 durch, so zeigt die Berechnung je nach dem vorläufigen Basiswert die beste Korrelation bei folgenden endgültigen Basiswerten und Starttagen:

Vorläufige Basistemp.	Endgültige Basistemp.	Starttag
3° C	5,0° C	10. März
4° C	5,5° C	10. März
5° C	5,6° C	1. März
6° C	6,2° C	1. März

Die Differenzen zwischen den Starttagen 1. und 10. März sind allerdings vernachlässigbar gering. Der beste Basiswert dürfte demnach bei 5 bis 6° C liegen, wobei der Unterschied aber wenig bedeutsam ist.

Wählen wir dagegen den 1. Januar als Starttag, so dürfte ein Basiswert bei 3 bis 4° C der günstigste sein (Tab. 6). Starttage nach dem 10. März besitzen schlech-

tere Beziehungen. Als spätester Starttag käme für Weihenstephan der 10. März oder höchstens ein Tag zwischen dem 10. und 20. März in Frage. Der 20. März ist aber etwa der mittlere Termin in Wintern mit einem sogenannten „Märzwinter“, an dem das eigentlich winterliche Wetter aufhört bzw. der Boden in 20 cm Tiefe frostfrei wird, ohne mit dieser Feststellung jedoch einen ursächlichen Zusammenhang herleiten zu wollen.

Diese letzte Betrachtung (Tab. 6) galt zunächst nur für Steinobst. In der Tabelle 7 ist für die drei Obstarten mit einem Starttag vom 1. März die „beste“ Basistemperatur und die dazugehörige Temperatursumme berechnet. Berücksichtigt man die zwei höchsten Korrelationskoeffizienten bei jeder Obstart, dann müßte der optimale Basiswert bei Steinobst bei 5,6° C bis 6,2° C, bei Birnen bei 4,8 bis 5,6° C und bei Äpfeln bei 5,7 bis 6,3° C liegen; d. h. auch hier erweist sich 5 bis 6° C als bester Basiswert. Mit diesem Wert arbeitet man auch in Geisenheim (6° C) (HORNEY (28)), dagegen mit 4° C in Hohenheim (HERTLEIN (25)).

Tab. 7
Anwendung der Hyperbel-Methode zur Bestimmung der optimalen Basistemperatur für den Zeitraum 1. März (Starttag) bis b (Blühbeginn) bei drei Obstarten.

Basis-temperat.	Mittlere Temperatursumme °C×h	Vorläufige Basis-temperatur °C	\bar{T}_m °C		Regressions-gleichung $T_m = T_0 + K \times \frac{1}{t}$	Beste Basis-temp. °C	Korr.-koeff. r
1	2	3	4	5	6	7	8
Steinobst							
Mittlere Dauer der Zeitspanne: Starttag bis b = 61 Tage							
2	5974,1	2,0	4,16	6,16	$T_m = 1,78 + 3376,8 \frac{1}{t}$	3,78	0,788
3	5015,6	3,0	3,50	6,50	$T_m = 1,26 + 3163,2 \frac{1}{t}$	4,26	0,820
4	4170,7	4,0	2,92	6,92	$T_m = 0,91 + 2836,8 \frac{1}{t}$	4,91	0,848
5	3421,9	5,0	2,40	7,40	$T_m = 0,58 + 2563,2 \frac{1}{t}$	5,58	0,868
6	2726,7	6,0	1,92	7,92	$T_m = 0,23 + 2392,8 \frac{1}{t}$	6,23	0,864
Birnen							
Mittlere Dauer der Zeitspanne: Starttag bis b = 63 Tage							
2	6487,2	2,0	4,32	6,32	$T_m = 1,79 + 3763,6 \frac{1}{t}$	3,79	0,758
3	5483,7	3,0	3,66	6,66	$T_m = 1,26 + 3556,8 \frac{1}{t}$	4,26	0,810
4	4584,3	4,0	3,06	7,06	$T_m = 0,76 + 3427,9 \frac{1}{t}$	4,76	0,903
5	3784,4	5,0	2,53	7,53	$T_m = 0,58 + 2901,9 \frac{1}{t}$	5,58	0,887
6	3020,7	6,0	1,86	7,86	$T_m = 0,28 + 2594,7 \frac{1}{t}$	6,28	0,723
Äpfel							
Mittlere Dauer der Zeitspanne: Starttag bis b = 66 Tage							
2	6954,4	2,0	4,46	6,46	$T_m = 1,70 + 4267,2 \frac{1}{t}$	3,70	0,743
3	5931,5	3,0	3,81	6,81	$T_m = 1,34 + 3830,4 \frac{1}{t}$	4,34	0,770
4	4981,9	4,0	3,20	7,20	$T_m = 0,97 + 3458,4 \frac{1}{t}$	4,97	0,796
5	4133,8	5,0	2,66	7,66	$T_m = 0,66 + 3096,0 \frac{1}{t}$	5,66	0,804
6	3369,7	6,0	2,17	8,17	$T_m = 0,32 + 2860,8 \frac{1}{t}$	6,32	0,803

Da bei Birnen ein um rund 1° C niedrigerer Basiswert gefunden wurde, sei nicht versucht, biologisch zu deuten, da es letztlich doch nur eine Rechengröße ist. Der Unterschied ist auch so gering, daß es nicht notwendig erscheint, bei künftigen Berechnungen für Birnen mit einem anderen Wert zu arbeiten, zumal in Tabelle 4 auf Grund der Streuung in Tagen die Birnen gerade nach der anderen Seite abweichen.

Für Weihenstephaner Verhältnisse reicht es demnach

aus, ab 1. März die Temperatursummen oberhalb 5 oder 6° C zu berechnen. Wählt man einen späteren Starttag, so darf dieser jedoch keinesfalls später als etwa Mitte März liegen. Geht man aber mit dem Starttag bis zum 1. Januar zurück, so ergibt das praktisch keine Beeinträchtigung der Genauigkeit wie Abb. 5 zeigt, in der die Streuung der Temperatursummen über 4,5, 6° C, berechnet ab 1. Januar, in 10-Tages-Intervallen für die drei Obstarten eingetragen ist.

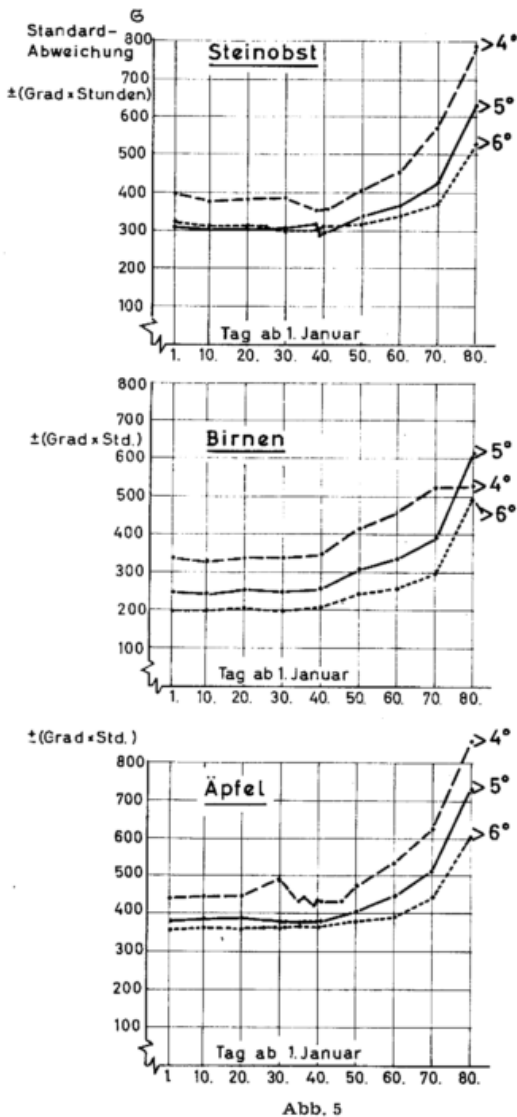


Abb. 5

Darstellung der Standardabweichungen von rückwärts addierten Temperatursummen bei verschiedenen Basistemperaturen (4°, 5 und 6° C). Mittel 1953—1965, Weihenstephan.

Für die praktische Anwendung ist es demnach belanglos, welcher Termin zwischen dem 1. Januar und dem 10. März gewählt wird. Der Grund hierfür liegt darin, daß die Monate Januar und Februar in Weihenstephan nur einen sehr geringen Beitrag zur endgültigen Temperatursumme leisten, der bei einem Basiswert von 6° C im Mittel von 25 Jahren nur rund 25 Gradstunden bis zum 31. Januar und 93 Gradstunden bis zum 28. Februar ausmacht. Das ist bis zum 28. Februar nicht einmal ein Drittel der Streuung der bis zum Blühbeginn erreichten Temperatursummen und nur rund 1/30 der bis zur Blüte im Mittel notwendigen Temperatursumme. Bei sehr mildem Februarwetter konnte bis Ende Februar in den Jahren 1953—1965 nur einmal (1958) eine Temperatursumme über 6° C von 400° C.h erreicht werden.

In dem der untersuchten Reihe folgenden Jahr 1966 betrug die bis Ende Februar berechnete Temperatursumme, nach einer für diese Jahreszeit außergewöhnlich warmen Periode, allerdings beinahe 800° C.h. Auch im Jahre 1967 wurde bis zu diesem Zeitpunkt eine Temperatursumme von über 400° C.h erreicht.

4.4. Die Ermittlung des optimalen Starttages

4.4.1. Konstante Starttage

Daß dem 1. Januar als Starttag kein eigentlich biologischer Wert zuzumessen ist, ist wohl selbstverständlich.

Dieses willkürliche Datum des Jahresanfanges erwies sich aber als kaum schlechter als alle Tage der beiden Monate Januar und Februar. Am 1. März herrscht in manchen Jahren noch vollkommene Winterruhe, in anderen Jahren ist jedoch deutlich schon ein Leben in der Natur zu erkennen. Nach einem sehr milden Winter hat der Saftstrom in den Bäumen zu diesem Zeitpunkt bereits eindeutig eingesetzt. Man hat daher versucht, einen möglichst genauen Termin für das Ende der Winterruhe zu finden. Dabei sind drei verschiedene Wege bislang besprochen worden, von denen der Vorschlag von ARZT und LUDWIG (3) zu einem fixen, die beiden anderen zu einem von Jahr zu Jahr veränderlichen Starttag führen. Die beiden Verfasser gingen wie folgt vor: Für die drei Landschaften Niedersachsen, Pommern-Mecklenburg und Ostpreußen wurden vom Tag des Blühbeginns an (hier Huflattich) die Temperatursummen rückwärts addiert. Auf diese Weise läßt es sich feststellen, wie groß die Temperatursumme ist und inwieweit die Temperatursummenkurven der einzelnen Jahre an diesem Tag voneinander abweichen, wenn man den betreffenden Tag als Starttag gewählt hätte. So fanden ARZT und LUDWIG, daß für Niedersachsen die Temperatursummenkurven in der 9. Pentade (10.—14. Februar), für Pommern-Mecklenburg in der 8. Pentade (5.—9. Februar) und für Ostpreußen die 6. bis 7. Pentade (26. Januar bis 4. Februar) am engsten beieinander liegen. Würde man den Starttag auf diese Zeiten legen, so ergäbe sich für die Temperatursummen die geringste Streuung. Dabei stellte sich heraus, daß diese Termine im kontinentalsten Klima am frühesten, im maritimen Klima am spätesten liegen. Dieses Vorrücken des Starttages erklären ARZT und LUDWIG damit, daß auch die Eintrittszeit der Jahrestiefsttemperatur im kontinentalen Klima früher ist als im maritimen Klima. Die drei genannten Landschaften befinden sich aber immer noch in einem Übergangsklima von kontinental zu maritim.

Betrachtet man jedoch die in der Klimakunde des Deutschen Reiches (1939) für jede Pentade und für jeden Tag angegebenen 80jährigen Mittelwerte der Temperatur, dann trifft diese allgemeine Feststellung der Verzögerung der Jahrestiefsttemperatur nur für das eigentliche Klima auf See, jedoch schon nicht mehr für Niedersachsen zu. So ist die im Mittel kälteste Pentade in Freiburg (Ostpreußen) die 9. Pentade, in Königsberg in Ostpreußen die 8. und 9., in Tilsit die 8. Pentade. In Köslin/Pommern ist die 9. Pentade die kälteste, in Emden und Lüneburg dagegen ist es die 3. Pentade (11. bis 15. Januar). Diese Erklärung von ARZT und LUDWIG ist also nicht zutreffend.

Die Methode der Rückwärtsaddition zur Bestimmung eines besten Starttages ist unseres Erachtens auch nicht mit einem Beobachtungsmaterial von nur 6 Jahren statt. Würde man nämlich in der graphischen Darstellung der Rückwärtsaddition von ARZT und LUDWIG das Jahr 1939 herausnehmen, so ergäbe sich als günstigster Zeitpunkt die 11. statt der 9. Pentade. Die Methode der Rückwärtsaddition soll zwar den Starttag augenfällig machen, an dem die Abweichungen am geringsten sind; die wirkliche Streuung läßt sich aber nur rechnerisch einwandfrei und exakt feststellen.

Auf gleiche Weise fand HERTLEIN (25) bei Verwendung der 6 Jahre von 1948 bis 1953 als Starttag mit der geringsten Streuung für die Temperatursumme bis zur Apfelblüte den 66. Tag (7. März). Auch hier ergibt sich sofort ein anderer Wert, wenn man das Jahr 1951 aus der Betrachtung ausschließt. Der Einwand von van der BIJL (8), man könne mit 6 bis 7 Jahren noch keine statistischen Methoden anwenden, läßt sich kaum besser als auf diese Weise demonstrieren.

Es ist des weiteren nicht einzusehen, daß die Pflanzen auf das mittlere Jahresminimum der Temperatur reagieren sollen, wenn dieses in Ostpreußen mit Tages-

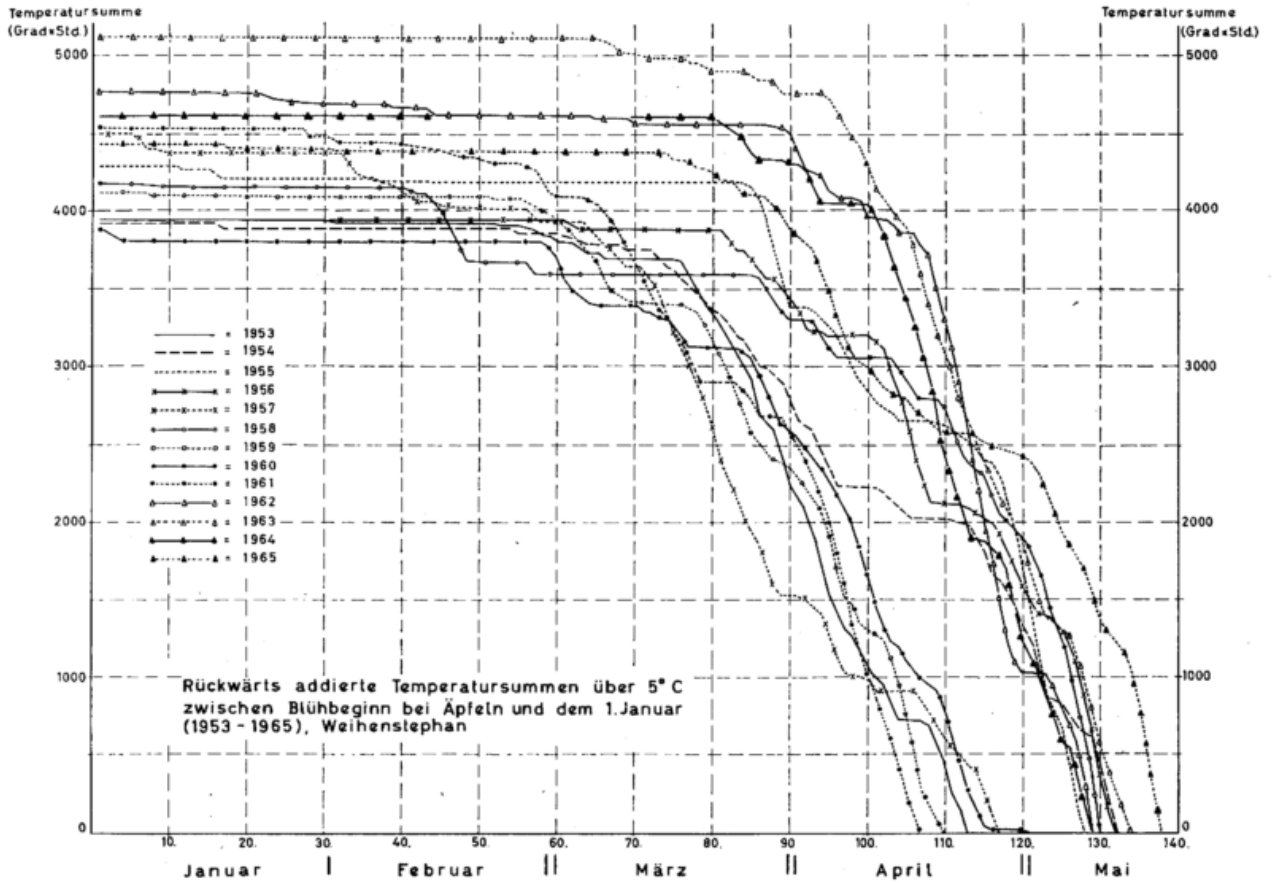


Abb. 6
Rückwärts addierte Temperatursummen (Grad x Stunden) über 5° C zwischen Blühbeginn bei Äpfeln und dem 1. Januar. Weißenstephan, 1953—1965.

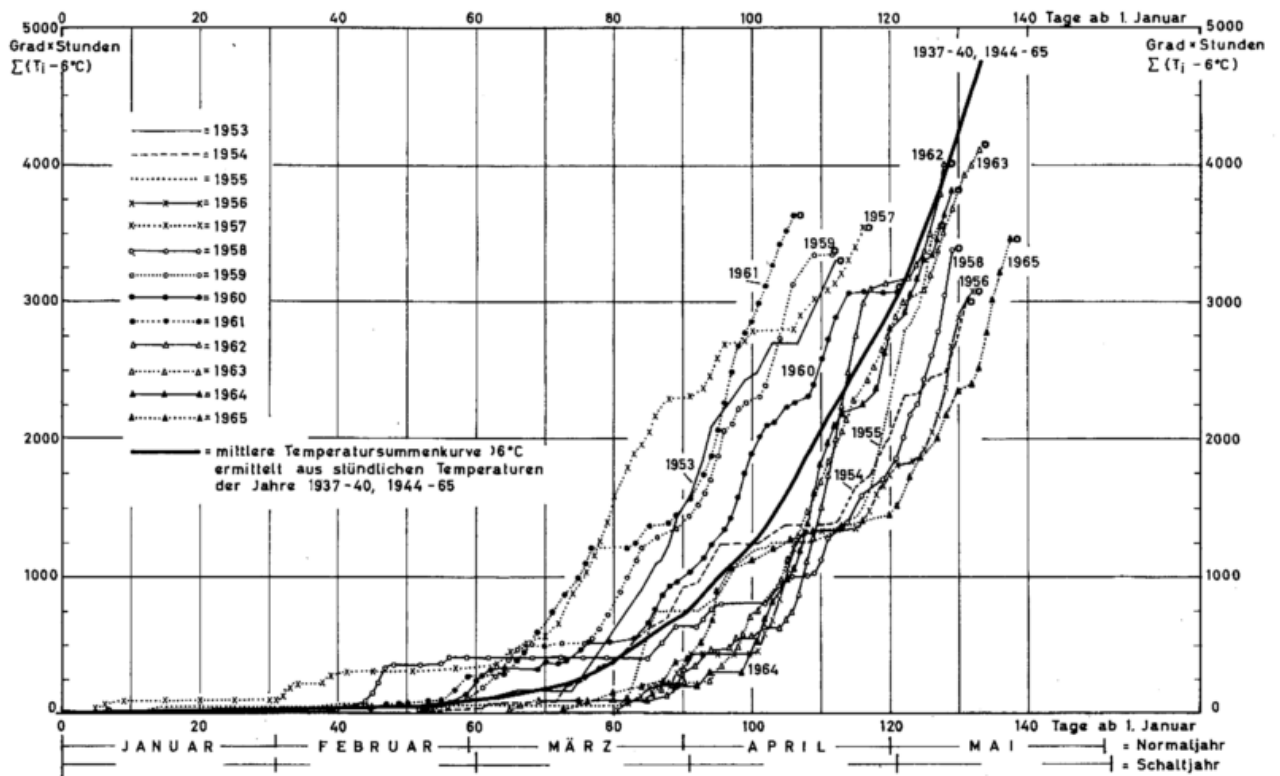


Abb. 7
Der Verlauf der Temperatursumme in Grad x Stunden im Zeitabschnitt 1. Januar bis Beginn der Apfelblüte in den Jahren 1953—1965 in Weißenstephan. Schwellwert 6.0° C.

mitteltemperaturen um -4 bis -5° C bei meist vorhandener Schneedecke um den 10. bis 14. Februar liegt und die Tagesmitteltemperaturen in der Regel bis Mitte März unter dem Gefrierpunkt bleiben, während in Niedersachsen schon Mitte Januar Pentadenmitteltemperaturen herrschen, die in Ostpreußen erst Mitte März üblich sind.

Daß die Methode der Rückwärtsaddition zu keinem befriedigenden Ergebnis führt, wenn wirklich mehrere Jahre gewählt werden, zeigt die Abb. 6, in der die Rückwärtsaddition für den Blühbeginn der Äpfel für den Schwellenwert (Basistemperatur) von 6° C erfolgte. Diese Abbildung läßt auf den ersten Blick keine Zusammendrängung der rückwärtsaddierten Temperatursummenkurven erkennen. Unterteilt man jedoch entsprechend Tab. 2 die Jahre nach solchen ohne und mit einem Märzwinter, also die Jahre mit einem Blühbeginn der Äpfel vor dem 125. Tag und nach dem 125. Tag, so ist vielleicht eine Zusammendrängung bei den „frühen“ Jahren 1953, 1957, 1959, 1960, 1961 um den 70.—80. Tag (9.—19. März), und bei den „späten“ Jahren 1954, 1955, 1956, 1958, 1962, 1963, 1964, 1965 um den 114. Tag (24. April) zu erkennen. Das Jahr 1958 mit einem sehr milden Februar, jedoch sehr kalten März und das Jahr 1954 mit einem recht milden März, aber sehr kalten April, die zunächst ein zeitiges Frühjahr andeuten, obwohl es dann spät wurde, besitzen rückwärts addierte Kurven, die in den Bereich der „frühen“ Jahre um den 70. Tag fallen.

Mit dieser Methode hätte in Weihenstephan somit nur ein Starttag für die frühen Jahre festgelegt werden können; für die späten Jahre wäre diese Methode völlig ungeeignet gewesen. Im übrigen ist die Streuung dieser Kurven (Temperatursummen über 6° C) in der Abb. 7 schon sowieso enthalten.

Die Rückwärtsaddition von Temperatursummen oberhalb 5° C und 4° C ergab kein anderes Bild. Es ist also nicht möglich, wie ARZT und LUDWIG (4) und HERTLEIN (25) glaubten, auf diese Weise einen „natürlichen“ Starttag festzustellen.

4.4.2. Variable Starttage

Es ist nun eine bekannte Tatsache, daß nach einem milden Winter bzw. in einem sehr zeitigen Frühjahr der Saftstrom in den Bäumen und ein Schwellen der Knospen schon im Februar stattfindet, während nach einem langen Winter Saftstrom und Knospenschwellen erst in der zweiten Märzhälfte beginnen. Das legt nahe, statt eines fixen Startpunktes einen von Jahr zu Jahr veränderlichen Startpunkt einzuführen, der sozusagen am Ende der Winterruhe liegt. Als solche variablen Tage bieten sich meteorologisch definierte Daten oder phänologische Beobachtungsdaten an, welche vor dem Beginn der Obstblüte liegen.

Für Geisenheim hat nun HORNEY (28) für die Obstarten Pflaumen, Birnen und Äpfel die Temperatursummen und deren durchschnittliche Abweichung (leider nicht die Standardstreuung) nach folgenden Starttagen miteinander verglichen:

- A — 1. Januar
- B — 16. Februar; die Erdbodentemperatur in 50 cm Tiefe beginnt im Mittel wieder anzusteigen
- C — 1. März; die wirksamen Temperaturen über 6° C beginnen im Mittel um mehr als 10 Gradstunden pro Tag zuzunehmen.
- D — Beginn der Schneeglöckchenblüte
- E — Frostfreiwerden des Bodens in 10 cm Tiefe
- F — Frostfreiwerden des Bodens in 20 cm Tiefe
- G — Frostfreiwerden des Bodens in 50 cm Tiefe
- H — Bodentemperatur in 50 cm Tiefe auf 2° C angestiegen

Von den festen Terminen erwies sich in Geisenheim der 1. Januar als Starttag mit der geringsten durchschnittlichen Abweichung; jeder spätere besaß eine größere durchschnittliche Abweichung.

Der Termin der Schneeglöckchenblüte erwies sich auch nicht als besonders geeignet, was auch zu erwarten war, da Schneeglöckchen und Obstbäume in verschiedenen Mikroklimabereichen leben.

Zum Termin 1. März (C) beginnt in Geisenheim die wirksame Temperatursumme über 6° C um mehr als 10 Gradstunden anzusteigen. Dabei zeigten sich folgende mittlere Temperatursummen und durchschnittliche Abweichungen (Tab. 8). Die Angaben von HORNEY wurden

Tab. 8

Mittlere Temperatursummen über 6° C und mehrere statistische Angaben zur Berechnung des optimalen Starttages für die Temperatursummenbildung bis zur Obstblüte in Geisenheim. (Daten aus HORNEY (28))

Pflaumen								
	A	B	C	D	E	F	G	H
1.	3160	2830	2670	2760	3000	3045	3135	2880
2.	180	300	340	260	190	150	195	190
3.	± 215	± 430	± 455	± 368	± 244	± 181	± 226	± 236
4.	$\pm 2,3$	$\pm 4,5$	$\pm 4,8$	$\pm 3,9$	$\pm 2,6$	$\pm 1,9$	$\pm 2,4$	$\pm 2,5$
5.	6,8	15,2	16,5	13,3	8,1	6,0	7,2	8,2
Birnen								
1.	3455	3125	2945	3040	3295	3340	3430	3175
2.	215	305	330	285	225	210	220	250
3.	± 287	± 437	± 460	± 388	± 290	± 262	± 278	± 299
4.	$\pm 3,2$	$\pm 4,9$	$\pm 5,1$	$\pm 4,3$	$\pm 3,2$	$\pm 3,2$	$\pm 2,9$	$\pm 3,3$
5.	8,3	13,9	15,6	12,8	8,8	7,8	8,1	9,4
Äpfel								
1.	4160	3825	3660	3750	4000	4040	4130	3885
2.	210	270	295	240	180	200	205	225
3.	± 268	± 320	± 354	± 282	± 252	± 266	± 265	± 324
4.	$\pm 3,3$	$\pm 3,9$	$\pm 4,3$	$\pm 3,4$	$\pm 3,1$	$\pm 3,2$	$\pm 3,2$	$\pm 3,9$
5.	6,4	8,4	9,7	7,5	6,3	6,6	6,4	14,4

- A—H = Verschiedene Starttage, s. im Text
- 1. = Mittlere Temperatursumme über 6° C
- 2. = Durchschnittliche Abweichung
- 3. = Standardstreuung in Gradstunden
- 4. = Standardstreuung in Tagen
- 5. = Variationskoeffizient (Wert in Zeile 3 dividiert durch Wert in Zeile 1 in ‰)

noch durch die Standardstreuung, durch den der Streuung entsprechenden Zeitunterschied in Tagen z. Z. der Blüte (drei Tage vor bis drei Tage nach dem Blühbeginn) sowie durch den Variationskoeffizienten ergänzt.

Für Weihenstephan wurde nun der entsprechende Vergleich mit denselben Starttagen angestellt, wobei mangels geeigneter Beobachtungsdaten nur der Termin der Schneeglöckchenblüte ausfallen mußte. Stattdessen wurde der Termin J gewählt, an dem in 50 cm Tiefe die Erdbodentemperatur zu steigen beginnt. Die Angaben in Tab. 10 stellen nur einen Auszug aus dem Gesamtergebnis des Vergleichs verschiedener Starttage in Weihenstephan dar.

HORNEY hatte aus seinem Vergleich folgende Schlußfolgerungen gezogen: Die Wahl eines variablen Starttermins (hier Frostfreiwerden des Bodens in 20 cm Tiefe) bringt noch eine merkliche Verbesserung gegenüber einem fixen Starttag. Er konzediert, daß im wintermilden Klima Geisenheim auch der 1. Januar als Fixtermin ein sehr geeigneter Starttag ist. Für die tiefwurzelnden Birnen stellt er fest, daß diese auf die Bodentemperatur

in 50 cm Tiefe (zur Bestimmung des Starttages) besser reagieren als die flacher wurzelnden Apfelbäume. Er hält es also nicht für zweckmäßig, weiter mit einem fixen Starttag zu arbeiten. Trotzdem ist unseres Erachtens die Genauigkeitssteigerung durch den Übergang

vom 1. Januar als Starttag zu einem variablen Starttag nicht so groß, um diesen Schritt zu tun. HORNEY hält es weiterhin für möglich, daß auch in anderen Gegenden Deutschlands ein variabler Termin bessere Ergebnisse liefern würde.

Tab. 9

Daten zur Untersuchung des Blühbeginns beim Obst in Weihenstephan sowie Erklärung der in Tab. 10 verwendeten Buchstabenbezeichnungen.

Starttage:

- A — 1 Januar
- B — für Äpfel der 28. 2. (59.) = Tag der geringsten Abweichung der Temperatursummen ermittelt durch Rückwärtsaddition
- C — 13. 3.: von diesem Tag an weisen die Temperatursummen über 6° C mehr als 10 Gradstunden Tageszunahmen auf
- E — Boden in 10 cm Tiefe frostfrei
- F — Boden in 20 cm Tiefe frostfrei
- G — Boden in 0—50 cm Tiefe frostfrei
- J — Temperatur in 50 cm Tiefe beginnt anzusteigen
- H — Temperatur in 50 cm Tiefe endgültig über 2,0° C

	Jährliches Datum der variablen Starttage				
	E	F	G	J	H
1953	22. 2.	21. 2.	22. 2.	25. 2.	2. 3.
1954	13. 3.	11. 3.	20. 3.	21. 3.	21. 3.
1955	22. 3.	21. 3.	22. 3.	24. 3.	25. 3.
1956	20. 3.	22. 3.	27. 3.	29. 3.	30. 3.
1957	4. 2.	4. 2.	4. 2.	8. 2.	9. 3.
1958	27. 3.	27. 3.	27. 3.	30. 3.	30. 3.
1959	25. 2.	1. 3.	1. 3.	5. 3.	6. 3.
1960	28. 2.	27. 2.	28. 2.	8. 3.	3. 3.
1961	8. 2.	8. 2.	8. 2.	11. 2.	15. 2.
1962	24. 3.	24. 3.	24. 3.	26. 3.	30. 3.
1963	16. 3.	19. 3.	1. 4.	2. 4.	5. 4.
1964	20. 3.	23. 3.	26. 3.	27. 3.	27. 3.
1965	18. 3.	18. 3.	18. 3.	19. 3.	22. 3.
Mittel	8. 3.	11. 3.	14. 3.	16. 3.	20. 3.

Tab. 10

Mittlere Temperatursummen über 6° C und mehrere statistische Angaben zur Berechnung des optimalen Starttages für die Temperatursummenbildung bis zur Obstblüte in Weihenstephan (1953—1965).

	Steinobst							
	A	B	C	E	F	G	H	J
1.	2866	—	2628	2785	2785	2715	2618	2703
2.	[236]	—	[312]	[245]	[235]	[251]	[268]	[320]
3.	± 300	—	± 390	± 321	± 315	± 324	± 345	± 461
4.	± 3,4	—	± 4,5	± 3,3	± 3,2	± 3,3	± 3,5	± 5,1
5.	10,4	—	14,8	11,5	11,4	11,9	13,2	17,0

	Birnen							
	A	B	C	E	F	G	H	J
1.	3180	—	2938	3108	3094	2979	2922	2977
2.	[145]	—	[243]	[154]	[150]	[242]	[218]	[205]
3.	± 194	—	± 322	± 228	± 220	± 353	± 265	± 262
4.	± 2,0	—	± 3,5	± 2,5	± 2,4	± 3,7	± 2,9	± 2,9
5.	6,1	—	11,0	7,4	7,1	11,8	9,1	8,8

	Äpfel							
	A	B	C	E	F	G	H	J
1.	3483	3370	3239	3292	3378	3326	3230	3267
2.	[276]	[311]	[391]	[299]	[298]	[313]	[350]	[356]
3.	± 359	± 393	± 456	± 379	± 372	± 395	± 436	± 440
4.	± 3,2	± 5,0	± 5,8	± 4,8	± 4,7	± 5,0	± 5,5	± 5,6
5.	10,3	11,7	14,1	11,2	11,0	11,9	13,5	13,5

A—J = Starttage, s. Tab. 9
 1. = Mittlere Temperatursumme über 6° C
 2. = Durchschnittliche Abweichung
 3. = Standardstreuung in Gradstunden
 4. = Standardstreuung in Tagen
 5. = Variationskoeffizient (Wert in Zeile 3 dividiert durch den Wert in Zeile 1)

Während der 7 Tage: Drei Tage vor dem Blühbeginn bis drei Tage nach diesem Termin wurde in Weihenstephan und Geisenheim im Mittel der Jahre 1953 bis 1965 folgende Zunahme der Temperaturstundensumme über 6° C ermittelt:

Obstart	Weihenstephan			Geisenheim		
	Mittl. Blühbeginn	Temp.-summenzunahme °C × h	Zeitspanne Tag seit 1. Januar	Mittl. Blühbeginn	Temp.-summenzunahme °C × h	Zeitspanne Tag seit 1. Januar
Steinobst	120.	633	117.—123.	105.	630	102.—108.
Birnen	122.	678	119.—125.	108.	630	105.—111.
Äpfel	125.	792	122.—128.	114.	730	111.—117.

Da der Anstieg der Temperatursumme je Tag zur Zeit der Obstblüte in Geisenheim und Weihenstephan praktisch gleich ist, sind die Standardstreuungen (umgerechnet in Tagen) an beiden Orten auch direkt miteinander vergleichbar.

In Ergänzung zu den Berechnungen in Tagen in Tab. 4 und 10 seien in Tab. 11 die Werte der täglichen Steigerung der Temperatursummen um den Blühbeginn (b plus und minus drei Tage) bei Obstgehölzen, bei der Annahme verschiedener Basistemperaturen angeführt. Die Zahlen der Zeile „Streuung in Tagen“ sind bereits in Tab. 4, Spalte 7 enthalten. Sie gingen aus der Division der Streuung in ± Gradstunden (Tab. 4, Spalte 6) durch die entsprechenden Zahlen täglicher Temperatursummensteigerung aus Tab. 11 hervor.

Tab. 11
Mittlere tägliche Temperatursumme in Grad × Stunden und Standardstreuung in Tagen für den Zeitraum ± 3 Tage um den Tag des mittleren Blühbeginns der drei Obstarten bei verschiedenen Basistemperaturen in Weihenstephan, 1953—1965.

	Mittl. Blühbeginn b.	Basistemperaturen					° C
		2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	
Steinobst	120.						
Temperatursumme		174,0	149,5	128,2	108,8	90,4	Gradstunden
Standardstreuung		± 3,7	± 3,3	± 3,0	± 2,9	± 3,4	Tage
Birnen	122.						
Temperatursumme		182,7	158,4	136,9	116,2	96,8	Gradstunden
Standardstreuung		± 3,5	± 2,9	± 2,4	± 2,1	± 2,0	Tage
Äpfel	125.						
Temperatursumme		201,3	177,7	155,5	133,8	113,1	Gradstunden
Standardstreuung		± 3,1	± 2,9	± 2,3	± 2,8	± 3,2	Tage

Die Tab. 10 zeigt nun für Weihenstephan, daß die Streuung bei Steinobst insgesamt etwas größer ist als für Pflaumen in Geisenheim (Tab. 8). Die variablen Starttage liefern aber dieselbe Genauigkeit wie die fixen Starttage mit Ausnahme der Bodentemperatur in 50 cm Tiefe, die allgemein für alle drei Obstarten etwas ungünstiger ist als die drei übrigen Termine. Bei Birnen ist die Streuung in Weihenstephan im allgemeinen geringer als in Geisenheim. Hier ist eine Verbesserung durch einen variablen Starttag auch nicht zu erzielen. Bei Äpfeln ist eigentümlicherweise die Streuung allgemein etwas größer als für die beiden anderen Arten und als in Geisenheim. Auch hier erweisen sich die variablen Starttage nicht als günstiger. Im übrigen legt die größere Streuung der Temperatursummen bis zur Blüte bei Äpfeln nahe, daß dies weniger auf eine schlechtere Beziehung zwischen Temperatursumme und Apfelblüte zurückzuführen ist, sondern mehr eine Folge ungenauer Bestimmung des Blühtermins ist.

Wie eine Stichprobenberechnung (1965—1967) zeigt, wächst die mittlere Dauer des Zeitraumes vom Blühbeginn bis zur Vollblüte mit Verspätung des Blühbeginns. Sie beträgt im o. g. Beispiel beim Steinobst = 3,3, bei Birnen = 4,3 und bei Äpfeln = 7,0 Tage. Möglicherweise ist es bei der Struktur der Birnenblüte für den Beobachter auch leichter als bei Äpfeln zu entscheiden, ob die Blüte erst heute und nicht schon gestern begonnen hat. Der Vergleich zeigt aber insgesamt, daß es für Weihenstephaner Bedingungen nicht notwendig ist, von einem fixen zu einem variablen Starttermin abzurücken.

4.4.3. Phänologische Termine als Starttag

Es liegt nahe, bestimmte phänologische Ereignisse, die lange genug vor der Obstblüte eintreten, als Starttag für die Aufsummierung der Temperaturen zu wählen. Dabei müssen jedoch die niedrigen, unmittelbar am Erdboden wachsenden Pflanzen wie Schneeglöckchen u. ä. wegen des anderen kleinklimatischen Lebensbereiches ausscheiden. Es können nur Phasen an Bäumen und Sträuchern herangezogen werden. So wählten POST und KRAMER (41) die Blattentfaltung der Roßkastanie.

Die von ihnen erarbeitete Methode erlaubt die Blühvorhersage für Obstbäume in Holland auf Grund von Beobachtungen der Laubentfaltung bei der Roßkastanie. Für Südbayern und den Rheingau genügen jedoch die

Tab. 12
Häufigkeit eines Zeitunterschiedes in Tagen zwischen der Blattentfaltung (BO) der Roßkastanie und dem Blühbeginn bei Süßkirsche bzw. Apfel in Weilheim/Obb. und Geisenheim. Daten nach SCHNELLE (47), Zeitraum: Weilheim 1904—1940, Geisenheim 1896—1960

Zeitunterschied in ± Tagen	Weilheim		Geisenheim	
	Süßkirsche	Apfel	Süßkirsche	Apfel
	Zahl der Fälle		Zahl der Fälle	
0—5	27	8	36	2
6—10	5	4	18	7
11—15	3	16	10	22
16—20	1	3	0	16
21—25	0	5	1	14
über 25	0	1	0	4
Summe (Jahre)	36	37	65	65
Mittlere absolute Abweichung ± Tage	4	12,5	6	16

ermittelten Ergebnisse nicht den Anforderungen (Tab. 12). Erstens liegen die Termine zu eng beieinander, so daß mit der Vorhersage erst sehr spät begonnen werden könnte, zweitens ist die Streuung außerordentlich groß. Die Süßkirsche blühte in Weilheim im Durchschnitt der Jahre 1904 bis 1940 schon vier Tage nach der Blattentfaltung der Roßkastanie. In mehreren Jahren erblühte sie gleichzeitig mit der Laubentfaltung der Roßkastanie. Im Jahre 1926 gab es eine Ausnahme: Die Süßkirsche blühte 15 Tage vor der BO der Roßkastanie.

Im gleichen Zeitraum wurde die Apfelblüte im Mittel 12,5 Tage später festgestellt. Auch dieser Abstand ist für die Praxis zu klein. Nicht viel anders sind im Mittel die Ergebnisse für Geisenheim. Um jedoch z. B. der Forderung der Imker nachzukommen, müßte eine Frist von etwa 40 Tagen eingehalten werden (HERTLEIN (25)).

Die Streuung der Phase „Blattentfaltung (BO)“ der Roßkastanie wird durch differierende Erbfaktoren, vielfach auch unterschiedliches Alter der Pflanzen und

somit Stammquerschnitt verursacht (DICKEL (16)), (JUNGES (31)). Es steht auch nicht fest, ob durch die Beobachtung einer infertilen Unterart der Roßkastanie (*Aesculus hippocastanum baumanii*) nicht noch zusätzliche Fehlerquellen hinzukommen und somit eine weitere Vergrößerung der Streuung auftritt.

Nach BÖER (11) erwies sich die Laubentfaltung der Roßkastanie im wesentlichen als von der Temperatur abhängig. Er stellte fest, daß je kälter der Erstfrühling ist, um so später die Belaubung beginnt. Er fand aber auch, daß bei Trockenheit eine Tendenz zur Verfrühung vorzuherrschen scheint. Wie BÖER festgestellt hat, ist die mittlere Abweichung der Phase BO — Roßkastanie in mittleren Höhenlagen (um 400 m ü. NN) für Thüringen am größten. Diese Erscheinung kann natürlich für andere Gebiete gewisse Verschiebungen erleiden.

Im maritimen Klima des Nordens der Niederlande ist das Auftreten strenger Frostperioden bis weit in den März hinein eine Seltenheit, während in Südbayern Jahre mit langanhaltendem Winter mit Jahren wechseln, in denen sich die Vegetation schon zeitig im Februar rühren kann. Dieses mag eine Ursache dafür sein, daß das Datum der BO der Roßkastanie für die Niederlande brauchbar, in Bayern jedoch unbrauchbar ist.

4.4.4. Untersuchungen an den phänologischen Daten einzelner Obstsorten

Bei all den bisherigen Vergleichen wurden immer mehrere Sorten von Steinobst, von Birnen und von Äpfeln zusammengefaßt. Es könnte nun der Einwand erfolgen, daß die Berücksichtigung jeweils nur einer Sorte zu einer größeren Genauigkeit führen müsse. Wie Tab. 13 zeigt, ist ein solcher Einwand aber nicht begründet. Lediglich bei der Apfelsorte „Schöner von Boskoop“ ergab sich eine geringere Streuung als beim Mittel aller Apfelsorten.

Tab. 13

Mittlere Daten für den Blühbeginn, die Temperatursumme über 6° C ab 1. Januar und deren Streuung bei einigen Obstsorten.

Obstsorten	Blüh- beginn Mittel	Streuung ±Tage	Tempe- ratur- summe	
			Mittel ° C×h	Streuung ° C×h
Steinobst (alle Sorten)	120.	± 10,8	2866	± 300
Mirabelle v. Nancy	123.	± 10,5	3214	± 390
Gr. Grüne Reneklode	119.	± 10,7	2809	± 369
Hauszweitschen	122.	± 9,8	3147	± 263
Birnen (alle Sorten)	122.	± 10,4	3180	± 194
Williams Christ	122.	± 10,3	3114	± 259
Köstl. v. Charneu	122.	± 11,1	3210	± 255
Clapps Liebling	124.	± 9,8	3337	± 212
Äpfel (alle Sorten)	125.	± 9,7	3483	± 359
Schöner v. Boskoop	123.	± 10,4	3322	± 298
Cox Orangen Renette	128.	± 9,8	3746	± 409

4.5. Die Berechnung von Temperatursummen bei Berücksichtigung unterer und oberer Grenzwerte der Temperatur

Bevor wir zu weiteren Vergleichen mit Geisenheim und zur praktischen Anwendung der Vorhersage kommen, sei im folgenden noch eine andere Frage untersucht.

Voraussetzung für die Anwendung der Temperatursummenmethode ist eine weitgehende lineare Abhängigkeit der Pflanzenentwicklung von der Temperatur. Die Wachstumsintensität besitzt jedoch in der Regel eine Optimaltemperatur. Bei einer bestimmten, von der

Tab. 14

Mittlere Temperatursummen ab 1. 1. bis Blüte, Streuung und Variationskoeffizient bei verschiedenen unteren wie auch oberen Schwellenwerten der Temperatur. Mittel der Jahre 1953—1955 und 1957—1967 in Weihenstephan.

Temp.- bereich ° C	Steinobst			Birnen				Äpfel		
	Temp.- summe ° C×h	Standard- streuung ± ° C×h	VK	a) mit unteren, jedoch ohne obere Schwellenwerte				Temp.- summe ° C×h	Standard- streuung ± ° C×h	VK
				Temp- summe ° C×h	Standard- streuung ± ° C×h	VK	Standard- streuung in*) ± Tagen			
über 2	6782	605	8,9	7179	608	8,5	2,8	7856	684	8,7
3	5569	459	8,2	5922	483	8,2	2,5	6524	539	8,3
4	4519	351	7,8	4831	386	8,0	2,3	5362	438	8,2
5	3622	290	8,0	3894	326	8,4	2,2	4357	374	8,6
6	2871	271	9,5	3103	298	9,6	2,4	3502	346	9,9
7	2251	278	12,3	2446	288	11,8	2,7	2784	336	12,1
8	1747	287	16,4	1909	282	14,8	3,2	2190	328	15,0
9	1345	292	21,7	1477	278	18,8	3,9	1706	324	19,0
b) mit unteren und oberen Schwellenwerten										
zwischen										
6—24	2870	270	9,4	3102	297	9,6	2,4	3500	344	9,8
6—22	2861	265	9,3	3091	294	9,5	2,3	3488	336	9,6
6—20	2839	260	9,2	3067	290	9,4	2,3	3459	323	9,3
6—18	2800	258	9,2	3021	289	9,6	2,4	3404	312	9,2
6—16	2719	258	9,5	2928	287	9,8	2,4	3293	310	9,4
6—14	2563	263	10,3	2755	285	10,3	2,7	3089	314	10,2
6—12	2290	264	11,5	2454	275	11,2	3,1	2740	311	11,3

*) Standardstreuung in Tagen bei Birnen berechnet aus: Temperatursummenänderung vom mittleren Blühbeginn bei Steinobst bis zum mittleren Blühbeginn bei Äpfeln.

Pflanzenart abhängigen, höheren aber auch niedrigeren Temperatur wird das Wachstum gehemmt, bis Stillstand eintritt (s. SCHUMACHER in STRASSBURGER (58), S. 295)). Das Temperaturoptimum scheint z. B. bei den Erbsen kühleren Klimas bereits bei 22—26° C überschritten zu sein. Nach Überschreiten dieser Temperatur verzögert sich das Erbsenwachstum deutlich (HOLMES und ROBERTSON (26)).

Die Frage ist nun: Besteht eine Linearität auch noch bei den bis zum Beginn der Obstblüte vorkommenden höheren Temperaturen? Um diese Frage zu beantworten, wurden die Temperatursummen zwischen einem unteren und einem oberen Schwellenwert sowie deren Streuung und Variationskoeffizient für 14 Jahre berechnet. Der untere Schwellen- oder Basiswert wurde dabei immer in Abzug gebracht. Bei Temperaturen, die höher als der obere Schwellenwert waren, ging nur der obere Schwellenwert minus dem unteren in die Rechnung ein. Beispiel: Wurde als unterer Schwellenwert 6° C, als oberer 24° C festgesetzt, so geht ein Stundenmittel der Temperatur von 20° C mit $20 - 6 = 14° C$ in die Temperatursumme ein. Eine Stundentemperatur von 26° C geht jedoch nur mit $24 - 6 = 18° C$, und eine Stundentemperatur von 4° C mit 0° C in die Temperatursumme ein. Eine eventuelle Hemmwirkung zu hoher Temperaturen bleibt auch dann noch unberücksichtigt.

Das Ergebnis dieser Berechnung ist in Tab. 14 wiedergegeben. Es zeigt sich, daß für Steinobst die geringste Streuung im Bereich 6—18° C vorkommt.

Bei Birnen nimmt mit Rückgang des oberen Schwellenwertes von 24 auf 12° C die Streuung laufend ab, der Variationskoeffizient hat aber ein Minimum beim Bereich 6—20° C. Bei Äpfeln ist ein Minimum der Streuung beim Bereich 6—16° C und des Variationskoeffizienten beim Bereich 6—18° C vorhanden. Für Birnen wurde auch noch die Streuung der Temperatursummen mit dem mittleren Anstieg der Temperatursumme um den Blühtermin verglichen, der dann ein Minimum der Streuung in Tagen von $\pm 2,3$ Tagen beim Bereich 6—20° C aufweist.

Wenn die Basistemperatur von 6° C auf 5° C herabgesetzt wird (bei 5° C wurden in Tab. 14 die niedrigsten Werte für Streuung und Variationskoeffizienten errechnet), können bei Abgrenzung der Temperaturbereiche nach oben keine besseren Ergebnisse als die bereits in Tab. 14 enthaltenen erzielt werden. Lediglich bei Äpfeln verringert sich die Streuung von $\pm 374° Cxh$ auf $350° Cxh$ (Temperaturbereich 5—19° C).

Demnach dürfte die Berücksichtigung eines oberen Schwellenwertes um 18 bis 20° C eine geringe Verbesserung der ganzen Methode bewirken. Man kann somit annehmen, daß die Steigerung der Lufttemperatur z. B. von 22 auf 24° C nicht mehr genau die gleiche Beschleunigung der Entwicklung hervorruft wie eine Temperatursteigerung von 14 auf 16° C. Das bedeutet aber, daß sich die Annäherung an eine Optimaltemperatur schon bei Temperaturen über 20° C bemerkbar macht. Wegen der geringen Unterschiede, die sich mit oder ohne Berücksichtigung eines oberen Schwellenwertes ergeben, wurde im folgenden jedoch auf die Verwendung eines oberen Schwellenwertes verzichtet.

Der Versuch, für den Lebensabschnitt der Obstbäume zwischen Winterruhe und Blühbeginn einen „optimalen“ Temperaturbereich zu finden, führte zu einer wenn auch nur geringen weiteren Verringerung der Standardstreuung bei den Temperaturstundensummen. Allerdings ist an dieser Stelle zu vermerken, daß die für jede Obstart sich als „optimal“ erweisenden Temperaturbereiche, ähnlich wie die Größen „Starttag“ und „Basistemperatur“, nur einen rein statistischen Charakter haben. Sie besitzen ihre Gültigkeit nur für die zur Berechnung her-

angezogenen Jahre 1953—1955 und 1957—1967. Außerdem dürfen sie nur als spezifisch für Weihenstephan betrachtet werden.

4.6. Zusammenfassung

Damit dürfte die Frage des günstigsten Starttages sowie der Basistemperatur für die praktische Anwendung zu einer Blühvorhersage in Weihenstephan geklärt sein. Wir können nochmals zusammenfassen:

1. Für die praktische Anwendung erweist sich ein fixer Starttag zwischen dem 1. Januar und etwa dem 10. März als gleichwertig.
2. Als Basistemperatur ist 5° C geringfügig besser als 6° C. Wegen der Einheitlichkeit und Vergleichbarkeit mit Geisenheim haben wir aber die fast gleichwertige Basistemperatur von 6° C gewählt.

Weiterhin ist festzustellen, daß die Streuung der Temperatursummen mindestens zu einem großen Teil ein Maß für die Genauigkeit darstellt, mit welcher der Blühbeginn des Obstes beobachtet und notiert wird. Wenn die Ungenauigkeiten der phänologischen Beobachtungen ausgeschaltet werden könnten, dann verbleiben immer noch bestimmte Schwankungen innerhalb der errechneten Temperatursummen. Es darf angenommen werden, daß die Abweichungen der Temperatursumme von der mittleren Temperatursumme nach oben in einzelnen Jahren dann entstehen können, wenn die herrschenden Temperaturen die für diesen Abschnitt der Vegetationsperiode geltenden Optima überschreiten. Hierbei wird so viel Energie geliefert, daß sie von den Pflanzen nicht mehr vollständig ausgenutzt werden kann. Die Pflanzenentwicklung hinkt somit dem Temperatursummenzuwachs nach. Andererseits kann es in den benachteiligten Gebieten z. B. so sein, daß sich die Temperatur während langer Zeit gerade noch über der unteren Grenze physiologischer Ansprechbarkeit bewegt und somit, trotz späterer Blüte, nur geringe Temperatursummen errechnet werden.

Über die Ursachen der von Jahr zu Jahr und von Gegend zu Gegend unterschiedlichen Temperatursummen ist in der einschlägigen Literatur bereits viel diskutiert worden: HEGYFOKY (24), BIDER (6, 7), SCHNEIDER (46), HERTLEIN (25). Ein allgemeingültiges Ergebnis ist jedoch nicht erzielt worden, was wir zum großen Teil auf die Unsicherheit der phänologischen Beobachtungen zurückführen möchten.

5. Der Verlauf der Temperatursummen

5.1. Der Verlauf der Temperatursummen in Weihenstephan in den einzelnen Jahren

In der Abb. 7 ist der Verlauf der Temperatursumme über 6° C (Grad x Stunden) in Weihenstephan vom 1. Januar bis zum Beginn der Apfelblüte für die Jahre 1953 bis 1965 sowie der mittlere Verlauf, errechnet aus den 26 Jahren 1937—1940 und 1944—1965, dargestellt. Man erkennt, daß der Januar nur in zwei Jahren einen Beitrag zur Temperatursumme leistete. Dieser Beitrag ist jedoch wegen seiner verhältnismäßig geringen Höhe beinahe vernachlässigbar.

In dem Zeitraum 1953 und 1965 war die Temperatursumme bis zum 55. Tag (24. Februar) nur in zwei Jahren auf einen Wert von mehr als 300° Cxh angestiegen, jedoch beginnt zu diesem Zeitpunkt in frühen Blühjahren schon ein kräftiger Anstieg der Temperatursumme. In den späten Jahren beginnt eine stärkere Zunahme erst Ende März um den 85. bis 90. Tag (24.—29. März).

Von einer Temperatursumme von etwa 500° Cxh an beginnt ein Bündel oft nahezu paralleler Summenlinien dergestalt, daß der Abstand zwischen den frühesten und spätesten Jahren sich nur wenig ändert. Der Zeitabstand

zwischen dem jeweils frühesten und spätesten Jahr beträgt bei Erreichen der Temperatursummen

- von 500° C x h — 35 Tage,
- 1000° C x h — 35 Tage,
- 1500° C x h — 42 Tage,
- 2000° C x h — 43 Tage,
- 2500° C x h — 34 Tage,
- 3000° C x h — 34 Tage.

In Jahren früher Blüte beginnt der starke Anstieg anfangs März, in Jahren später Blüte ist der Beginn des starken Anstieges überwiegend auf Anfang April verschoben. Es gibt ferner kaum ein Jahr, in dem die Temperatursummenkurve nicht über mehrere Tage waagrecht verläuft oder nur ganz langsam ansteigt. Das heißt, daß Verzögerungen der Entwicklung durch Kälteperioden im März und/oder April regelmäßig sind. Diese Kälteperioden können wie 1954 so anhaltend sein, daß aus einem anfänglich „frühen“ Jahr bei der Blüte doch noch ein „spätes“ Jahr geworden ist. Lag der Zeitpunkt des Erreichens einer Temperatursumme von 1000° Cxh merklich später als im Mittel, d. h. nach dem 110. Tag (10. April), so hat die Blüte allenfalls noch zum Normalzeitpunkt, jedoch nie früher als normal, in der Regel sogar merklich später als normal begonnen.

5.2. Der Verlauf der mittleren Temperatursummen und der Unterschied in den Blühdaten in Weihenstephan und Geisenheim

Die Abb. 8 zeigt den Verlauf der Temperaturstunden-summe über 6° C vom 1. Januar bis zum Erreichen eines Wertes von 7000° Cxh in Geisenheim und Weihenstephan. Während in Geisenheim die Temperatursumme ab 1. März im Mittel um mehr als 10° Cxh pro Tag zunimmt, geschieht dieses in Weihenstephan erst ab dem 13. März. Diese Zeitdifferenz von 12 Tagen besteht, wie Tabelle 15 zeigt, im Mittel auch noch beim Beginn der Obstblüte, wobei diese Verzögerung vom Blühbeginn des Steinobstes (13,9 Tage) bis zum Blühbeginn der Äpfel (11,2 Tage) abnimmt.

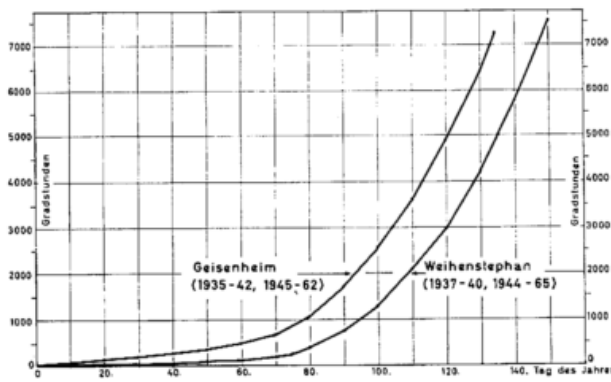


Abb. 8 Die mittlere Zunahme der Temperatursummen über 6° C in Grad x Stunden in Geisenheim und Weihenstephan.

Die absolute Schwankung in den Eintrittsterminen des Blühbeginns der 15jährigen Beobachtungsreihe ist in Weihenstephan geringfügig größer als in Geisenheim; sie beträgt etwa einen Monat. Die Streuung ist aber in Weihenstephan um etwa einen halben Tag geringer und liegt bei ± 10 Tagen. Sie nimmt eindeutig ab, je später der Blühtermin ist, d. h. sie ist beim Steinobst am größten, bei Äpfeln am geringsten. Das bedeutet, daß in der Regel die Apfelblüte auf die Steinobstblüte in Spätjahren etwas früher folgt als in Jahren mit allgemein früher Blüte.

Auch im Abstand der mittleren Temperatursummenkurven von Geisenheim und Weihenstephan spiegelt sich diese Tatsache wider. Eine Temperatursumme von 500° Cxh wird in Weihenstephan 22 Tage, von 1000° Cxh 16 Tage, von 2000° Cxh bis 4000° Cxh 15 Tage und von mehr als 4000° Cxh 14 Tage später erreicht als in Geisenheim.

Tab. 15 Beginn der Obstblüte in Weihenstephan und in Geisenheim

Jahr	Weihenstephan		Geisenheim			
	Steinobst	Birnen	Äpfel	Pflaumen	Birnen	Äpfel
1953	108.	112.	113.	97.	100.	106.
1954	131.	132.	132.	113.	116.	120.
1955	125.	125.	128.	116.	117.	120.
1956	129.	133.	132.	119.	120.	125.
1957	113.	114.	117.	86.	89.	98.
1958	128.	129.	130.	116.	121.	124.
1959	106.	110.	112.	98.	101.	105.
1960	112.	116.	121.	98.	100.	106.
1961	100.	103.	107.	92.	94.	99.
1962	123.	126.	129.	114.	115.	125.
1963	129.	130.	134.	113.	115.	120.
1964	124.	124.	130.	113.	116.	120.
1965	132.	137.	138.	114.	117.	122.
1966	112.	115.	119.	95.	99.	106.
1967	121.	116.	128.	100.	102.	106.

Mittel	120.	122.	125.	106.	108.	114.
Streuung ± 10,4	± 9,8	± 9,2	± 10,7	± 10,5	± 9,7	
Variationsbreite in Tagen	32	34	31	33	32	27
Mittlerer Unterschied	13,9	13,4	11,2			
Mittlerer Unterschied =	Mittlere Verzögerung des Blühbeginns in Weihenstephan gegenüber Geisenheim in Tagen.					

Bei Blühbeginn (Tab. 15) beträgt der Zeitunterschied der Blüte etwa 13 Tage. Die bis zum Blühbeginn errechneten Temperatursummen von 3000 bis 4000° Cxh werden aber in Weihenstephan 15 Tage später als in Geisenheim erreicht. Dieser Unterschied bedeutet aber nichts anderes, als daß in Weihenstephan eine etwas geringere Temperatursumme bis zum Blühbeginn notwendig ist als in Geisenheim. Die Verringerung des Abstandes beider Temperatursummenkurven ist auch eine Folge des etwas kontinentaleren Klimas in Weihenstephan. Der Anstieg der Temperatursummenkurve ist in Weihenstephan bei gleichen Temperatursummenwerten geringfügig steiler als in Geisenheim.

WITTERSTEIN (65) fand bei seiner Untersuchung der Schwankungen (Spannweite) der Phaseneintrittszeiten in den einzelnen phänologischen Jahreszeiten in Geisenheim analoge Ergebnisse. Diese wurden anschließend durch einen Vergleich von Streuungen der Beobachtungsdaten bekräftigt. Aus der Untersuchung folgt, daß Phasen der Pflanzenentwicklung, die im Vor- und Erstfrühling eintreten, sehr große Schwankungen aufweisen. Mit dem Fortschreiten der Jahreszeit verringern sie sich, um im Herbst wieder gering anzusteigen.

WITTERSTEIN hat auch errechnet, wieviel Jahre eine bestimmte Phase beobachtet werden muß, damit der Mittelwert um höchstens ± 3, ± 2 oder ± 1 Tag vom 51jährigen Mittelwert abweicht. So muß der Blühbeginn bei Äpfeln mindestens 10 Jahre lang beobachtet werden, um die Abweichung des Mittelwertes vom Mittel einer 51jährigen Reihe auf ± 3 Tage herabzudrücken. Ob die-

se Werte für andere Orte übernommen werden können, bleibt dahingestellt.

HORNEY (28) verglich die Geisenheimer Werte des mittleren Temperaturverlaufs mit dem von BUDIG (dort erwähnt) errechneten Verlauf einer solchen Kurve und fand, daß seine Berechnungen der Wirklichkeit sehr gut entsprechen. Er fand den 1. März als den Tag, an dem in Geisenheim die Temperatursummenzunahme in Grad x Stunden über 6° C (Basistemperatur) größer als 10° Cxh pro Tag wurde; demgegenüber ergab sich in Weihenstephan der 13. März. Dieser 72. Tag ruft jedoch keinen „Kurvenknick“ hervor, im Gegenteil, in diesem Bereich verläuft die Kurve mit einer verhältnismäßig stetigen Steigung. Wie aus dem Vergleich der beiden Kurven in Abb. 8 ersichtlich ist, ist die Weihenstephaner Kurve anfänglich viel flacher, die Entwicklung also stark verzögert, später wiederum beschleunigt.

Eine Erklärung für diese Verzögerung kann unter anderem die Tatsache sein, daß in Weihenstephan bis zum 15. März oft noch ein Spätwinter mit tiefen Temperaturen vorherrscht. Während nach HORNEY (28) in Geisenheim die mittlere Tagestemperatur von 4,0° C schon um den 1. März überschritten wird, trifft dieses in Weihenstephan erst für den 22. März zu.

6. Die Durchführung der Blühvorhersage in Weihenstephan in den Jahren 1966 und 1967

Nachdem für die Anwendung der Temperatursummenregel — die, wie nochmals betont sei, eine mathematisch-statistische Methode ohne eine unmittelbare biologische Erklärung ist — die Fragen des Starttages und der Basistemperatur erörtert worden sind, sei deren Anwendung für die Blühvorhersage der Jahre 1966 und 1967 erläutert.

Als Starttag wurde der 1. Januar und als Basistemperatur der Wert von 6° C gewählt. Für die Bildung der Temperatursumme muß demnach nur die Temperatur über 6,0° C vom 1. Januar an stündlich addiert werden. In Tab. 17 ist die am 26. Februar 1966 erreichte Temperatursumme $TS_I = 668^\circ \text{Cxh}$ eingetragen. Diese wird dann mit der im langjährigen Mittel an diesem Tag erreichten Temperatursumme verglichen ($\overline{TS} = 83^\circ \text{Cxh}$). Aus diesem Vergleich ($TS_I - \overline{TS}$) ergibt sich ein Vorsprung der laufenden Temperatursummierung von 585°Cxh .

Wenn wir die Temperatursummen als wirksam annehmen, dann müssen wir auch annehmen dürfen, daß am 26. 2. 1966 die Lebensprozesse der Obstbäume dem Verlauf des langjährigen Mittels ebenfalls entsprechend um 585°Cxh voraus sind. In Ermangelung der Möglichkeit einer Vorhersage der weiteren Temperaturentwicklung wird zunächst angenommen, daß der weitere Temperatursummenverlauf parallel zum langjährigen Mittel sein wird. Wir nehmen also an, daß vom 26. Februar bis zum Beginn der Blüte der Temperatursummenanstieg derselbe ist wie der Anstieg nach dem 26. Februar im langjährigen Mittel.

Die vom 1. Januar bis zum Blühbeginn der Apfelblüte im Mittel benötigte Temperatursumme (über 6° C) beträgt $TS_b = 3483^\circ \text{Cxh}$; bis zum 26. Februar 1966 waren 668°Cxh schon erreicht. Der Vorsprung betrug somit, wie bereits erwähnt, 585°Cxh . Bis Blühbeginn sind demnach noch $3483 - 585 = 2898^\circ \text{Cxh}$ notwendig. Der Blühbeginn müßte demnach einsetzen, wenn nach dem 26. Februar ein Anstieg der Temperatursumme von 2898°Cxh stattgefunden hat. Daraus ergibt sich ein zu erwartender Blühtermin zum 30. April (Tab. 17, Sp. 8).

Diese Vorhersage kann sich allerdings nur unter der Annahme bewahrheiten, daß der Vorsprung von 585°Cxh bis zur Blüte erhalten bleibt und sich nicht ändert. Die Blüte müßte also um eine Zeitspanne früher

als im langjährigen Mittel auftreten, die der Summe von 585°Cxh entspricht. Das wäre zu dem Zeitpunkt, an dem im langjährigen Mittel eine Temperatursumme von eben 2898°Cxh erreicht wird. Das ist der 30. April.

Tab. 16

Erläuterungen zur Tab. 17: „Blühvorhersage für Obstgehölze in Weihenstephan 1966“

Spalte	Bezeichnung	
1	D	Datum der Vorhersage
2	TS_I	Die bis zum Datum D seit dem 1. Januar angelaufene Temperatursumme über $6,0^\circ \text{C}$
3	\overline{TS}	Am Tag D im Normaljahr erreichte Temperatursumme
4	$TS_I - \overline{TS}$	Überschuß oder Fehlbetrag der Temperatursumme am Tage D gegenüber der mittleren Temperatursumme
6	TS_b	Durchschnittlich (im Normaljahr) anlaufende Temperatursumme über $6,0^\circ \text{C}$ für einzelne Obstarten (Durchschnitt aller Sorten)
7	$TS_b - (TS_I - \overline{TS}) = TS_{Diff}$	Reduzierte Temperatursumme des laufenden Jahres (bis zum Endwert am Tag b noch fehlende Temperatursumme)
8	P_b	Vorhergesagter Blühbeginn als phänologisches Datum
9	B	Tag des tatsächlichen Blühbeginns
10	$P_b - B$	Blühbeginn früher (+) oder später (−) als vorhergesagt
11	B—D	Zwischenzeitraum von der Vorhersage bis zum tatsächlich eingetretenen Blühbeginn
12	Schwankungen	Abgrenzung des vorhergesagten Blühbeginns durch Verwendung der errechneten (1953 bis 1965) Standardstreuung

Da jedoch die Annahme, daß der weitere Verlauf der Temperatursumme nach dem Vorhersagetag dem langjährigen Mittel entsprechen wird, wegen der Witterungsschwankungen nur selten wirklich zutrifft, ist die Temperatursumme und damit der Vorsprung oder Rückstand gegenüber dem langjährigen Verlauf der Temperatursumme von Woche zu Woche oder halbmonatlich neu zu bestimmen und die Vorhersage entsprechend zu korrigieren.

Das ist für 1966 nun auch geschehen. Am 5. März betrug der Vorsprung $+666^\circ \text{C x h}$. Die Blüte wird demnach am 5. März zum 29. April vorausgesagt, da an diesem Tag im Mittel eine Temperatursumme von 3483 bis $666 = 2817^\circ \text{C x h}$ erreicht wird. Diese Korrektur wurde nun laufend angebracht und so veränderten sich die vorhergesagten Blühtermine wie folgt:

Vorhersagetag	Vorhergesagter Blühbeginn bei Äpfeln
26. 2. 1966	30. 4. 1966
5. 3. 1966	29. 4. 1966
15. 3. 1966	30. 4. 1966
1. 4. 1966	4. 5. 1966
15. 4. 1966	30. 4. 1966

Der beobachtete Termin des Blühbeginns bei Äpfeln war dann der 119. Tag (29. 4. 1966) bei einer erreichten Temperatursumme von 3950°C x h .

Tab. 17
Blühhvorhersage für Obstgehölze in Weihenstephan im Jahre 1966 (Erläuterungen in Tab. 16)

D	TS _I	\overline{TS}	TS _I — \overline{TS}	Obstart		TS _b	TS _{Diff}	P _b	B	P _b —B	B—D	Schwankungen
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12
26. 2. 1966 (57.)	668	83	+585	Äpfel	Mittel	3483	2898	120.	119.	+ 1	62	27. 4. — 3. 5.
					Max.	4150	3565	125.		+ 6		
					Min.	3000	2415	114.		— 5		
				Birnen	Mittel	3180	2594	116.	115.	+ 1	58	24. 4. — 28. 4.
					Max.	3682	3097	122.		+ 7		
					Min.	2965	2380	114.		— 1		
				Steinobst	Mittel	2866	2281	112.	112.	0	55	19. 4. — 25. 4.
					Max.	3524	2939	120.		+ 8		
					Min.	2363	1781	107.		— 5		
5. 3. 1966 (64.)	778	112	+666	Äpfel	Mittel	3483	2817	119.	119.	0	55	26. 4. — 2. 5.
					Max.	4150	3484	125.		+ 6		
					Min.	3000	2334	113.		— 6		
				Birnen	Mittel	3180	2513	115.	115.	0	51	23. 4. — 27. 4.
					Max.	3682	3016	121.		+ 6		
					Min.	2965	2299	113.		— 2		
				Steinobst	Mittel	2866	2200	111.	112.	— 1	48	18. 4. — 24. 4.
					Max.	3524	2858	119.		+ 7		
					Min.	2363	1700	106.		— 6		
15. 3. 1966 (74.)	813	211	+656	Äpfel	Mittel	3483	2827	120.	119.	+ 1	45	27. 4. — 3. 5.
					Max.	4150	3494	125.		+ 6		
					Min.	3000	2344	114.		— 5		
				Birnen	Mittel	3180	2524	116.	115.	+ 1	41	24. 4. — 28. 4.
					Max.	3682	3026	122.		+ 7		
					Min.	2965	2309	114.		— 1		
				Steinobst	Mittel	2866	2210	113.	112.	+ 1	38	20. 4. — 26. 4.
					Max.	3524	2868	119.		+ 7		
					Min.	2363	1707	108.		— 4		
1. 4. 1966 (91.)	1057	745	+279	Äpfel	Mittel	3483	3204	124.	119.	+ 5	28	1. 5. — 7. 5.
					Max.	4150	3871	128.		+ 9		
					Min.	3000	2344	114.		— 5		
				Birnen	Mittel	3180	2901	121.	115.	+ 6	24	29. 4. — 3. 5.
					Max.	3682	3403	125.		+10		
					Min.	2965	2686	118.		+ 3		
				Steinobst	Mittel	2866	2587	117.	112.	+ 5	21	24. 4. — 30. 4.
					Max.	3524	3245	124.		+12		
					Min.	2363	2084	111.		— 1		
15. 4. 1966 (105.)	2159	1521	+639	Äpfel	Mittel	3483	2844	120.	119.	+ 1	14	27. 4. — 3. 5.
					Max.	4150	3511	126.		+ 7		
					Min.	3000	2361	114.		— 5		
				Birnen	Mittel	3180	2541	116.	115.	+ 1	10	24. 4. — 28. 4.
					Max.	3682	3043	122.		+ 7		
					Min.	2965	2320	114.		— 1		
				Steinobst	Mittel	2866	2227	113.	112.	+ 1	7	20. 4. — 26. 4.
					Max.	3524	2885	120.		+ 8		
					Min.	2363	1724	108.		— 4		

Die hier beschriebene Vorhersagemethode wurde für 1966 in der Abb. 9 und für 1967 in Abb. 10 graphisch dargestellt.

Man wird nun angesichts der fehlenden Vorhersage des Temperaturverlaufs zwischen Vorhersagetag und Blühbeginn den letzteren nicht gleich auf den Tag genau vorhersagen. Es ist zweckmäßiger, eine Zeitspanne anzugeben, in der man den Blühbeginn erwartet. Das ist auch schon deshalb zu empfehlen, weil die bis zur

Blüte erreichte Temperatursumme von Jahr zu Jahr schwankt.

In der Tab. 17 ist in Spalte TS_b unter den Bezeichnungen „Max“ und „Min“ die im Zeitraum 1953 — 1965 vorgekommene absolut größte bzw. geringste Temperatursumme bis zum Blühbeginn eingetragen. Nehmen wir an, daß für 1966 die absolut größte vorgekommene Temperatursumme bis zur Blüte von 4150° C x h notwendig wäre, so würde sich der vorhergesagte Blühtermin vom

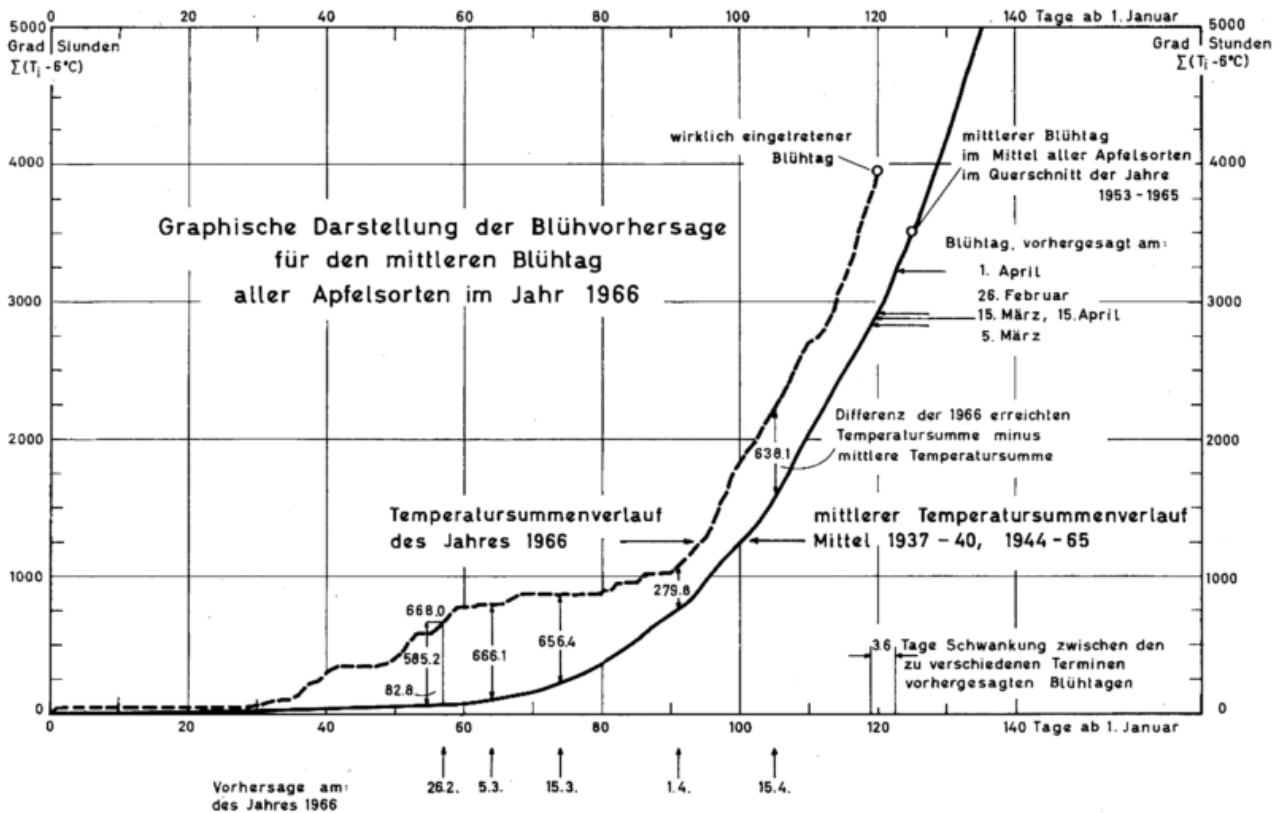


Abb. 9
Graphische Darstellung der Blühvorhersage für den mittleren Blühtag aller Apfelsorten im Jahre 1966 in Weihenstephan.

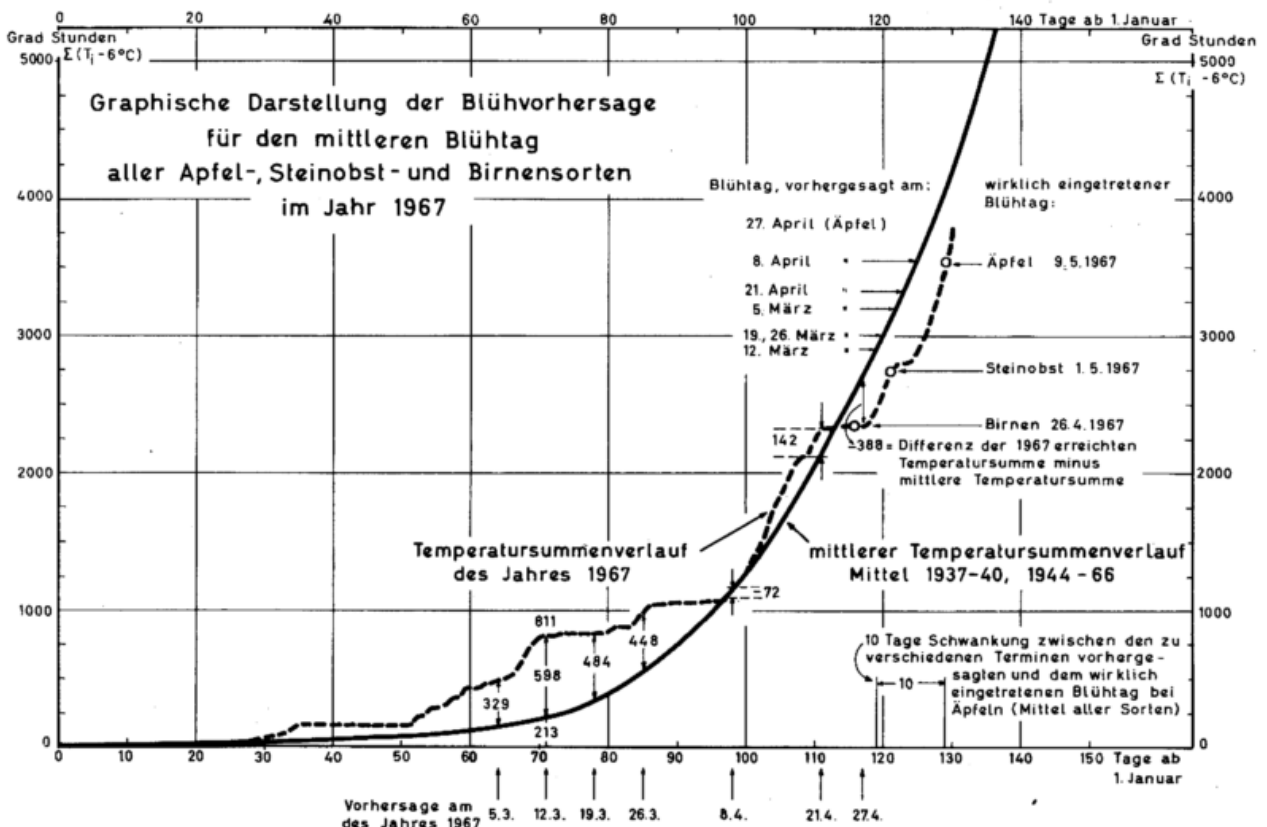


Abb. 10
Graphische Darstellung der Blühvorhersage für den mittleren Blühtag aller Apfelsorten im Jahre 1967 in Weihenstephan.

30. April (120. Tag) auf den 5. Mai (125. Tag) verschoben. Wird dagegen nur die bislang absolut niedrigste Temperatursumme von 3000° C x h benötigt, so müßte man am 26. Februar damit rechnen, daß die Blüte schon am 24. April (114. Tag) beginnen könnte.

Legen wir statt der absoluten maximalen Schwankung der Temperatursumme bis zum Blühbeginn deren Standardabweichung zu Grunde, so lautet die am 26. Februar 1966 gemachte Vorhersage für den Beginn der Apfelblüte 120. Tag \pm 3 Tage, d. h. die Blüte wird zwischen dem 27. April (117. Tag) und dem 3. Mai (123. Tag) erwartet (Tabelle 17, Spalte 12). In ähnlicher Weise wurden Vorhersagen für Steinobst und Birnen im Jahre 1966 und für alle drei Arten im Jahre 1967 durchgeführt.

Die Zeitspanne, in welcher der Blühbeginn erwartet wird, läßt sich auch auf folgende Art eingrenzen, wobei sich jedoch die ganze Problematik der Anwendung der Temperatursummenregel zur Vorhersage zeigt. Am 15. März 1966 war eine Temperatursumme von 813° C x h erreicht worden. Wenn wir annehmen, daß der weitere Anstieg bis zum Blühbeginn gleich dem langjährigen Mittel sein wird, so hätte die Blüte bei Steinobst am 113. Tag (23. 4.), bei Birnen am 116. Tag (26. 4.) und bei Äpfeln am 120. Tag (30. 4.) beginnen müssen (Tab. 17). Ist die Witterung nach dem 15. März aber recht kalt, so wird sich der Blühbeginn entsprechend verzögern; ist sie sehr warm, so kann er wesentlich früher eintreten. Wir haben nun für jeden Vorhersagetag der beiden Jahre angenommen, daß der weitere Anstieg der Temperatursumme einmal so vonstatten ginge wie in dem Jahr (aus der Beobachtungsreihe 1953 — 1965), in dem der Anstieg am langsamsten war, und einmal wie in dem Jahr, in welchem der weitere Anstieg der Temperatursumme am schnellsten war. Es wurde also vom 15. März an einmal die flachste und einmal die steilste Temperatursummenkurve der Abb. 7 parallel so verschoben, daß sie durch die Koordinaten 15. März und die Temperatursumme von 813° C x h gehen.

Dann ergeben sich folgende frühestmögliche bzw. spätestmögliche Blühtermine, wobei zu berücksichtigen ist, daß bei einer noch längeren Reihe von Beobach-

tungsjahren diese Termine noch extremer sein können (Tab. 18, Spalte 6 und 7).

In Tab. 18 wurden folgende Bezeichnungen verwendet:

Spalte	Nr.	
1	D	— Datum der Vorhersage
	O	— Obstart
2	TS _D	— Vom 1. Januar bis zum Tag D erreichte Temperatursumme
3	TS	— Vom Tag der Vorhersage D bis zum Blühbeginn noch fehlende mittlere Tagessumme
4	b ₁₉₆₇	— Tatsächlicher Blühbeginn 1967 Vorhergesagter Blühbeginn bei Zugrundelegung eines weiteren Temperatursummenanstiegs wie im
5	b _n	— Normaljahr
6	b _f	— wärmsten Jahr (frühester Blühbeginn)
7	b _s	— kältesten Jahr (spätester Blühbeginn)
8	b _s -b _f	— Variationsbreite (Differenz) zwischen frühestmöglichem und spätestmöglichem Blühbeginn

Während der Jahre 1953 — 1965 wurden folgende extreme Blühtermine beobachtet:

	frühester Blühbeginn	spätester Blühbeginn
Äpfel	107. (1961)	138. (1965)
Birnen	103. (1961)	137. (1965)
Steinobst	100. (1961)	132. (1965)

Im Jahre 1966 stimmte für alle Vorhersagetage der vorhergesagte und der eingetretene Blühtermin bis auf ein oder zwei Tage überein. 1967 war der Unterschied etwas größer. Die Ursache hierfür war die sehr kalte Witterung vom 21. — 27. April 1967, welche kaum etwas zur Temperatursumme beitrug und die weitere Entwicklung hinauszögerte. Wenn wir aber nach dem jeweiligen Vorhersagetag den schnellsten bzw. den langsamsten Temperaturanstieg statt des mittleren annehmen, dann sind in Weihenstephan früheste bzw. späteste Blühtermine möglich, wie sie in der Beobachtungsreihe 1953 — 1965 überhaupt noch nicht vorgekommen sind (Tab. 18, Spalten 6 und 7).

Mit jedem späteren Vorhersagetag verringert sich die mögliche Zeitspanne zwar etwas, sie beträgt am 21. April 1967 aber immer noch

- bei Äpfeln — vom 116. bis zum 133. Tag = 17 Tage
- bei Birnen — vom 115. bis zum 129. Tag = 14 Tage
- bei Steinobst — vom 114. bis zum 126. Tag = 12 Tage.

Am 15. April 1966 war die Spanne noch größer und schwankte zwischen 17 — 22 Tagen. Die Verwendung der Temperatursummenregel zur Vorhersage des Blühbeginns steht und fällt somit mit der Vorhersage des Temperaturverlaufes.

In der folgenden Tab. 19 ist nachträglich für die Jahre seit 1953 bestimmt worden, welchen Tag man am 15. März, 1. April und 15. April als Beginn der Blüte bei Äpfeln vorhergesagt hätte, wenn man vom Vorhersagetag bis zum Blühbeginn einen dem langjährigen Mittel entsprechenden Temperaturverlauf statt des noch unbekannt wirklichen Temperaturverlaufes zu Grunde gelegt hätte. Diese vorhergesagten Blühtermine sind dann mit dem wirklichen Blühbeginn verglichen worden.

Den Ergebnissen der Tab. 19 zufolge verringert sich die Standardabweichung der Differenz zwischen dem eingetretenen und dem auf diese Weise vorhergesagten Blühbeginn um so mehr, je geringer der Abstand vom Vorhersagetag bis zum Blühbeginn ist. Sie beträgt am 15. März als Vorhersagetag für Äpfel \pm 7,7 Tage. Sie ist für den Vorhersagetag 1. April etwas geringer und beträgt \pm 6,4 Tage. Die im Mittel der Jahre zum 15. April als

Tab. 18

Blühvorhersage für Obstgehölze im Jahre 1967 bei Annahme des bisher bekannten (1953—1965) schnellsten bzw. langsamsten Temperatursummenanstieges

D	O	TS _D	TS	b	b _n	b _f	b _s	b _s -b _f
1967								
1	2	3	4	5	6	7	8	
5. 3.	Ä	482	3001	128.	122.	104.	136.	32
	B		2697	116.	119.	102.	134.	32
	S		2384	121.	115.	99.	132.	33
12. 3.	Ä	811	2672	128.	119.	105.	134.	29
	B		2368	116.	116.	100.	132.	32
	S		2055	121.	112.	94.	128.	34
19. 3.	Ä	828	2655	128.	121.	108.	135.	27
	B		2351	116.	117.	106.	133.	27
	S		2038	121.	113.	101.	129.	28
26. 3.	Ä	995	2488	128.	121.	108.	134.	26
	B		2184	116.	117.	106.	132.	26
	S		1871	121.	114.	103.	128.	25
8. 4.	Ä	1104	2379	128.	125.	116.	137.	21
	B		2075	116.	122.	115.	136.	21
	S		1762	121.	119.	112.	135.	23
21. 4.	Ä	2331	1152	128.	123.	116.	133.	17
	B		848	116.	121.	115.	129.	14
	S		535	121.	117.	114.	126.	12

Tab. 19

Nachträglich vorhergesagte (b_v) und eingetretene (b_e) Termine des Blühbeginns bei Äpfeln in Weihenstephan. (TS = Temperatursumme über 6° C in Grad x Stunde vom 1. Januar bis Blühbeginn).

Tag der Vorhersage: Jahr	15. März				1. April				15. April				
	TS	b_v	b_e	Diff. $b_v - b_e$	TS	b_v	b_e	Diff.	TS	b_v	b_e	Diff.	
1953	3532	126.	113.	+13	2733	119.	113.	+6	2315	114.	113.	+1	
1954	3526	126.	132.	-6	3317	124.	132.	-8	3634	127.	132.	-5	
1955	3635	127.	128.	-1	3483	125.	128.	-3	3757	128.	128.	0	
1956	3684	128.	132.	-4	3792	129.	132.	-3	3962	130.	132.	-2	
1957	2910	121.	117.	+4	1921	110.	117.	-7	2227	113.	117.	-4	
1958	3285	124.	130.	-6	3591	126.	130.	-4	4073	130.	130.	0	
1959	3168	123.	112.	+11	2822	120.	112.	+8	2262	113.	112.	+1	
1960	3271	125.	121.	+4	3186	124.	121.	+3	2763	120.	121.	-1	
1961	2834	120.	107.	+13	2727	119.	107.	+12	1584	106.	107.	-1	
1962	3592	126.	129.	-3	3904	129.	129.	0	4379	132.	129.	+3	
1963	3620	127.	134.	-7	4012	130.	134.	-4	4107	130.	134.	-4	
1964	3690	128.	130.	-2	4025	131.	130.	+1	4046	131.	130.	+1	
1965	3651	127.	138.	-11	3936	128.	138.	-10	3793	128.	138.	-10	
1966	2827	120.	110.	+1	3204	124.	119.	+5	2845	120.	119.	+1	
1967	2878	120.	128.	-8	3165	123.	128.	-5	3255	124.	128.	-4	
Standardabweichung der Differenz in Tagen				±7,7					±6,4				

Vorhersagetag festgestellte Abweichung ist mit ±3.7 Tagen aber immer noch groß. Die für die gleichen Vorhersagetage festgestellten Standardabweichungen der Differenz zwischen vorhergesagtem und eingetretenem Blühbeginn betrug bei Steinobst ±8.4; ±7.8 bzw. ±4.7 Tage und bei Birnen ±7.8; ±7.8 bzw. ±4.9 Tage.

Die größten Abweichungen waren in den Jahren 1961 und 1965 aufgetreten. 1961 trat die Blüte infolge des sehr warmen Wetters nach den Vorhersagetagen beinahe um zwei Wochen früher ein, als zu den beiden ersten Terminen vorhergesagt worden wäre. Im Jahre 1965 war es umgekehrt; entgegen der Vorhersage an allen drei Terminen trat die Blüte um acht bis zwölf Tage später ein. Diese Verzögerung lag an der nach dem 15. April aufgetretenen und mehrere Tage anhaltenden Kälteperiode, welche nicht vorhergesagt werden konnte.

Bei einer derartigen Streuung zwischen vorhergesagtem und eingetretenem Blühtermin fragt man sich, ob die Durchführung einer Blühvorhersage ohne einen Anhalt über die künftige Temperaturentwicklung einen Sinn hat. Jedenfalls sind diese Streuungen zwei- bis dreimal größer als diejenige Streuung, welche sich aus den Abweichungen der wirklichen Temperatursumme bis zum Blühbeginn ergibt. Angesichts so großer Differenzen (Tab. 19, Spalte Diff.) sind die Unterschiede, welche sich durch die Wahl verschiedener Starttage oder durch die Verwendung unterschiedlicher Basistemperaturen wie 4, 5 oder 6° C ergeben, belanglos.

Wenn an einem Ort eine wesentlich längere Temperaturmeßreihe als phänologische Beobachtungsreihe vorhanden ist, so kann die Temperatursummenregel sich allerdings als Hilfsmittel erweisen, nun auf Grund der längeren Temperaturmeßreihe nachträglich die wahrscheinlich eingetretenen Blühdaten mit einer Genauigkeit von etwa ±3 Tagen zu ermitteln. Für die Vorhersage ist die Temperatursummenmethode ohne eine halbwegs verlässliche Temperaturvorhersage aber kaum besser geeignet als die zu Anfang gemachte einfache Regel: „Für Jahre mit einem Märzwinter ist der Blühbeginn später als normal und für Jahre ohne Märzwinter ist der Blühbeginn früher als normal“.

Ohne Kenntnis des künftigen Temperaturverlaufes läßt es sich noch vertreten, in Form einer Negativ-

prognose z. B. zu sagen: „Mit dem Blühbeginn ist vor dem 30. April nicht zu rechnen“, wenn man unter der Annahme eines mittleren Verlaufes der Apriltemperatur damit rechnet, daß die Blüte erst am 10. Mai beginnen würde. Man muß demnach den Tag, vor dem man die Blüte nicht erwartet, doch etwa bis zu anderthalb Wochen vor den vorhergesagten Blühbeginn legen.

7. Die Beziehungen zwischen dem Blühbeginn bei Obst und einigen anderen meteorologischen Elementen

7.1. Vergleich von Globalstrahlung und Temperatursumme

Die mittlere Temperatursumme, welche bis zum Blühbeginn notwendig ist, ist in Geisenheim bei allgemein frühen Blühterminen größer als in Weihenstephan. Aus Veröffentlichungen von SEEMANN (44) und SCHNEIDER (46) wissen wir auch, daß diese Regel allgemein für ganz Deutschland gilt: Je später der mittlere Blühbeginn liegt, um so geringer ist die bis zur Blüte notwendige Temperatursumme. SCHNEIDER geht sogar noch weiter und stellt fest, daß auch an einem Ort die Temperatursumme bis zur Blüte in Jahren späteren Blühbeginns geringer ist als in Jahren früheren Blühbeginns. SCHNELLE (47) und andere führen diese Tatsache darauf zurück, daß eine spätere Blüte in einer Jahreszeit mit größerer Tageslänge erfolgt, und daß den Pflanzen bei späterer Blüte ein größerer Strahlungsgenuß zukommt, so daß deswegen die Pflanzen mit einer geringeren Temperatursumme auskommen. Diese Annahme wird ebenfalls von HOLMES und ROBERTSON (26) gemacht. Nach ihnen wird der Temperatursummenanspruch durch die größere Tageslänge besonders bei solchen Pflanzen geringer, welche bei kühlerem Wetter gedeihen. Weiter stellte SCHNELLE fest, daß geringere Temperatursummen in einer Zeiteinheit einen besseren Nutzeffekt haben. Abgesehen davon, daß die Feststellung von SCHNEIDER weiter unten noch nachgeprüft wird, sei im folgenden zunächst versucht festzustellen, ob ein solcher Strahlungseffekt gefunden werden kann.

Die Erforschung der Zusammenhänge zwischen der Strahlung, der Temperatursumme und dem Blühbeginn stößt zunächst deswegen auf Schwierigkeiten, weil in

Weihenstephan Tagessummen der Globalstrahlung erst seit 1957 und Stundensummen erst seit 1961 vorliegen. Trotzdem sei versucht zu ergründen, ob zwischen den einzelnen genannten Faktoren zumindest grundsätzliche Beziehungen bestehen.

Im Spätherbst, Winter und Frühjahr, wenn die Obstbäume ihres Blattkleides entledigt sind, wird ein großer Teil der Strahlung vom Baumstamm absorbiert. „An Stämmen mit derber Oberhaut, Rinde oder Borke, wird kaum eine andere als unspezifische Wirkung, nämlich Erwärmung, zu erwarten sein. Es ist in solchen Fällen strahlenphysiologisch weniger interessant, in welchen Geweben die Strahlung wirklich absorbiert wird, die betreffenden Organe verhalten sich im wesentlichen wie dunkle Körper“ (SAUBERER und HÄRTEL (43), S. 137).

Eine weitere Erschwernis kommt dadurch zustande, daß ein aufrechtstehender Baumstamm und seine in alle Richtung auseinandergehenden Äste und Zweige nicht nur eine andere Strahlungsmenge empfängt als die horizontale Fläche, für welche die Messungen gelten. Der Unterschied unterliegt sogar einem jahreszeitlichen Wechsel. So beträgt nach DIRMHIRN (17) der Genuß eines aufrechtstehenden Zylinders an Globalstrahlung bei wolkenlosem Wetter im Dezember etwa 95% der gleichzeitigen Tagessumme der Globalstrahlung für eine horizontale Fläche, um dann bis zum Juni auf etwa 36% abzunehmen. Der Darstellung von DIRMHIRN ist für den März ein Wert von etwa 56%, für den April von etwa 45% und für den Mai nur noch von etwa 39% zu entnehmen.

Legt man weiterhin die von DIRMHIRN (17) für 200 m Seehöhe angenommenen Globalstrahlungssummen bei wolkenlosem Wetter zu Grunde, so erhält die ebene Fläche im Dezember 130 cal/cm², im März 386 cal/cm², im April 515 cal/cm², im Mai 633 cal/cm² und im Juni 691 cal/cm² pro Tag. Der Baumstamm erhielt dann im Dezember 123, im März 216, im April 232, im Mai 246 und im Juni 249 cal/cm² pro Tag. Das heißt, daß die Zustrahlung für eine ebene Fläche bei wolkenlosem Himmel vom März bis zum Juni sich fast verdoppelt, der Strahlungsgenuß eines Baumstammes aber nur um rund 15% zunimmt. Dieser Tatbestand erschwert natürlich die Einbeziehung der Globalstrahlung in den Vergleich. In Tab. 20 sind in der Spalte G die Gesamtsummen der Globalstrahlung in cal/cm² vom 1. Januar bis zum Blühbeginn eingetragen, wobei jedoch nur diejenigen Tage berücksichtigt wurden, an denen die Tageshöchsttemperatur über 6° C betrug. Es haben also zu dieser Summe nur die Tage beigetragen, die auch einen Beitrag zur Temperatursumme über 6° C leisteten. Diese Zahlen seien zunächst nur als Unterlagen für statistische Berechnungen ohne jegliche biologische Deutung gewertet. In Spalte S ist die Tageslänge zur Zeit des Blühbeginns (am Tage „b“ aus Tab. 32) in der Einheit 1,000 = 12,00 Stunden eingetragen. In der darauffolgenden Spalte ist die in Spalte G angegebene Globalstrahlungssumme durch die Tageslänge der Spalte S dividiert eingetragen. Die letzte Spalte enthält schließlich die Temperaturstundensumme ab 1. Januar bis zum Beginn der Blüte über der Basistemperatur 6° C.

Es zeigt sich, daß die Streuung der bis zur Blüte aufgelaufenen Globalstrahlungssumme, wenn man den Variationskoeffizienten VK als Maß dafür nimmt, nicht sehr viel größer ist als die Streuung der bis zum Blühbeginn erreichten Temperatursumme. Rechnet man die Streuung um, wie groß sie in Zahl der Tage um den Blühbeginn sein würde, so beträgt sie mit ± 4,9 (Äpfel, Birnen) bzw. ± 5,2 Tagen (Steinobst) nur wenig mehr als bei der Temperatursumme. Es wäre also genauso möglich, mit einer nicht erheblich schlechteren Genauigkeit die Globalstrahlungssumme zur Blühvorhersage heranzuziehen.

Tab. 20

Globalstrahlung, Temperatursummen und Obstblüte
Äpfel

Jahr	Beginn der Blüte Datum	Tag seit 1. Jan.	G cal/cm ²	S	G/S	TS °C × h
1958	10. 5.	130.	16.369	1,245	13.148	3390
1959	22. 4.	112.	14.666	1,172	12.514	3350
1960	30. 4.	121.	14.982	1,204	12.444	3075
1961	17. 4.	107.	14.443	1,147	12.595	3625
1962	9. 5.	129.	16.392	1,240	13.219	4010
1963	14. 5.	134.	17.966	1,257	14.293	4150
1964	9. 5.	130.	15.815	1,240	12.754	3810
1965	18. 5.	138.	19.145	1,268	15.098	3465
1966	29. 4.	119.	17.340	1,201	14.438	3775
1967	8. 5.	128.	20.254	1,235	16.400	3119
Summe	—	1248	167.371	—	136.903	35769
Mittelwert		125.	16.737	—	13.690	3577
Stand.streuung		± 9,8	± 1.938		± 1.346	± 360

Bei den einzelnen Obstarten ergaben sich außerdem folgende Zahlen für den

Variationskoeffizienten	Äpfel	Birnen	Steinobst	Äpfel	Birnen	Steinobst
	11,6	12,4	13,2	9,8	10,0	10,7
Mittelwert	± 4,9	± 4,9	± 5,2	± 3,4	± 3,3	± 3,5
in Tagen im Bereich						
(b ± 3 Tage)						

Der Variationskoeffizient und, außer bei Äpfeln, auch die Streuung in Tagen, wird sogar geringer als bei der Temperatursumme, wenn die Globalstrahlungssumme durch die Tageslänge „S“ zur Zeit der Blüte dividiert wird. Mit dieser Größe ist also eine noch engere Bindung an den Beginn der Blüte gegeben als mit der Temperatursumme allein. Es handelt sich aber zunächst nur um eine Rechengröße, welche eine Beziehung zum Blühbeginn hat. Von einer Übertragung auf andere Orte ist sicherlich Abstand zu nehmen. Zur Vorhersage ist die Größe in Spalte G/S aber leider nicht zu gebrauchen, da „S“ die Tageslänge des vorher noch unbekanntes Blühbeginns ist.

Durch die Anwendung der Tageslänge konnte die Streuung der Globalstrahlungssumme um einen Betrag vermindert werden, welcher einer Abweichung von etwa ± 2 Tagen entspricht. Bei Berücksichtigung der Globalstrahlung an allen Tagen mit einer Tageshöchsttemperatur über 6,0° C bleibt natürlich unbefriedigend, daß die Tagessumme der Globalstrahlung ganz in die Summe eingeht, gleichgültig, ob die Temperatur nur eine Stunde oder zwölf Stunden über 6,0° C lag. Leider lagen Stundenwerte der Strahlung erst seit 1961 vor, so daß auf deren Berücksichtigung verzichtet werden mußte.

Um diese Unstimmigkeiten auszuschließen, ist in Tab. 21 noch ein anderer Vergleich angestellt worden. Die Temperatursummen wurden in der Einheit Grad x Tag gebildet und über verschiedene Basistemperaturen berechnet. Die Globalstrahlung ist nur an den Tagen berücksichtigt worden, an welchen die Tagesmitteltemperatur den bestimmten Basiswert erreicht und überschritten hat. Die Streuung der Globalstrahlung einzelner Jahre im Zeitraum 1.1. — „b“ ist, außer bei Äpfeln, geringer geworden.

Tab. 21
Mittelwerte und Standardstreuungen
von Tagesmitteltemperatursummen und Globalstrahlungssummen für den Zeitraum
vom 1. Januar bis zur Obstblüte in Weihenstephan (1958—1965)

B _t	\overline{TS}	σTS	σTS ± Tage	G	σG	σG ± Tage	G _{red}	σG_{red}	σG_{red} ± Tage
Äpfel — mittlerer Blühbeginn: 125. Tag									
2,0	305,2	22,2	2,0	16.324	1.943	5,5	13.339	1.240	3,5
3,0	248,8	20,2	1,8	15.161	1.840	5,2	12.383	1.118	3,2
4,0	199,1	20,3	1,8	13.872	2.058	5,8	11.322	1.322	3,8
5,0	155,7	21,5	1,9	12.534	1.896	5,4	10.237	1.310	3,7
Birnen — mittlerer Blühbeginn: 122. Tag									
2,0	279,8	21,0	2,6	15.333	2.010	5,9	12.657	1.244	3,7
3,0	226,3	16,4	2,0	14.262	1.775	5,2	11.879	1.025	3,0
4,0	179,0	13,3	1,6	13.006	2.098	6,2	10.723	1.723	4,1
5,0	137,9	12,6	1,5	11.668	1.795	5,3	9.628	1.370	4,0
Steinobst — mittlerer Blühbeginn: 120. Tag									
2,0	246,3	28,5	3,3	14.466	1.820	4,7	11.979	1.160	3,0
3,0	204,8	16,9	2,0	13.395	1.672	4,3	11.151	0.933	2,4
4,0	160,3	18,1	2,1	12.139	1.940	5,0	10.096	1.240	3,2
5,0	121,8	19,2	2,2	10.773	1.883	4,9	8.967	1.393	3,6

- B_t Basistemperatur der Tagesmitteltemperatur in °C
- TS Für den Zeitraum 1.1. bis „b“ errechnete durchschnittliche Temperatursumme in Gradtagen (addierte Tagesmitteltemperaturen)
- σTS Streuung der Temperatursummen in ± Gradtagen (± °C d)
- $\sigma TS \pm$ Tage Streuung der Temperatursummen umgerechnet in Tagen
- G Mittlere Globalstrahlungssummen in cal/cm² für Tage mit einer Tagesmitteltemperatur B_t
- σG Streuung der Globalstrahlung in cal/cm²
- $\sigma G \pm$ Tage Streuung der Globalstrahlung in cal/cm² umgerechnet in Tage
- G_{red} Mittlere Summe der Globalstrahlung in cal/cm² bei Berücksichtigung der Tageslänge S am Tag „b“ (Tageslänge „S“ aus Tab. 20)
- σG_{red} Standardstreuung der reduzierten Globalstrahlung in cal/cm²
- $\sigma G_{red} \pm$ Tage Standardstreuung der reduzierten Globalstrahlung umgerechnet in Tage

Auch in dieser Tabelle ist in der letzten Spalte der einzelnen Gruppe (TS, G und G_{red}) die Tageslänge berücksichtigt worden. Bei wachsenden Basistemperaturen sinken natürlicherweise die Werte für mittlere Temperatursummen (Grad x Tage) und für die Globalstrahlung. Die Streuung dieser Reihen hat aber ein Minimum und wird in beiden Richtungen (für kleinere oder größere Basistemperaturen) größer. So erreicht die Streuung der Globalstrahlung ihren kleinsten Wert bei allen Obstarten bei einer Basistemperatur von 3,0°C, also dann, wenn die Tagessummen der Globalstrahlung derjenigen Tage addiert wurden, deren Tagesmitteltemperatur über 3,0°C lag. Ähnlich verhält sich die Streuung der Temperatursummen. Eine Ausnahme bilden hier wiederum die Birnen, welche ihr Minimum bei 5,0°C Basistemperatur haben.

Werden die Streuungen der Temperatursummen mit denen der Globalstrahlung (umgerechnet in Tage) verglichen, so können keine großen Abweichungen festge-

stellt werden. Die Standardstreuung der „reduzierten“ Globalstrahlung, Tab. 20 mit ± 3,4 Tagen, entspricht ziemlich genau derjenigen der Temperatursummen — mit ± 3,2 Tagen. Daraus geht deutlich hervor, daß die Strahlung auch in diesem Abschnitt des Pflanzenlebens einen großen Einfluß ausübt, der dem Einfluß der Temperatur fast ebenbürtig zu sein scheint.

Ähnlich enge Beziehungen zwischen Temperatursummen, Globalstrahlung und Pflanzenentwicklung wurden für das Wachstum von Tomatenpflanzen von VALLI und JAWORSKI (60) festgestellt. Sowohl für die Temperatursummen (Effective Heat Units) als auch für die Globalstrahlung wurden bezüglich ihrer Streuung bestimmte, vom Vegetationsabschnitt abhängige (z. B. Saat — Aufgang; Saat — erste Ernte), günstigste (also die geringste Streuung ergebende) Basistemperaturen gefunden.

BÖER ((11), S. 24) schreibt zum Problem „Strahlung“ folgendes: „Das Phänogramm des Jahres 1950 ist besonders deshalb interessant, weil es einmal den Einfluß der Strahlung, die bei den vorliegenden Betrachtungen im allgemeinen nicht berücksichtigt wurde, deutlich werden läßt. 41 % aller Stationen meldeten in den 5 Tagen vom 11. bis 15. Mai den Beginn der Fliederblüte. Im Temperaturverlauf läßt sich eine derartige Bevorzugung dieser Tage nicht erkennen. Wohl weist die tägliche Sonnenscheindauer hier ebenfalls mit 12,4 Stunden einen kräftigen Gipfel auf.“

In der pflanzenphysiologischen Literatur sind nur wenige Hinweise vorhanden, welche sich auf die Wirkung der Strahlung auf die Pflanzenblüte beziehen, es sei denn, bei der Untersuchung der Langtags- und Kurztagpflanzen, welche aber andere Belange (Photoperiodismus) zur Materie haben, als die hier vorliegenden Probleme aufwerfen.

Allgemeingültige Aussagen bezüglich des Einflusses der Globalstrahlung auf den Blühbeginn der Obstbäume können angesichts der nur kurzen Beobachtungsreihe noch nicht gemacht werden. Die Größe „Globalstrahlung“ darf bei der Behandlung der Obstblüte nicht einfach zu den angelaufenen Temperatursummen ins Verhältnis gesetzt werden. Auf Grund der vorliegenden

Ergebnisse kann jedoch festgestellt werden, daß wie zur Temperatursumme auch zwischen der Globalstrahlung und der Obstblüte ähnliche Zusammenhänge bestehen. Ob diese jedoch nur stochastisch oder pflanzenphysiologisch zu erklären sind, muß dahingestellt bleiben.

Es wurde nun noch versucht, einen Einfluß der Strahlung auf die Dauer von zwei aufeinanderfolgenden phänologischen Phasen zu finden. Nach der Mitteilung von BÖER (s. oben) ist vermutet worden, daß während der Zeitspanne zwischen zwei phänologischen Phasen eine geringere Temperatursumme notwendig ist, wenn ein hoher Strahlungsgenuß herrscht und umgekehrt. Dazu wurden die Zahl der Tage zwischen dem Beginn der Blüte des Steinobstes und dem Beginn der Blüte der Äpfel, die Temperatursumme, die Globalstrahlung sowie die mittlere tägliche Summe der Globalstrahlung zwischen den beiden Terminen miteinander verglichen.

Ein gesicherter Zusammenhang (Tab. 22) konnte jedoch nicht gefunden werden. Vielleicht ist dazu die Beobachtungsreihe zu kurz gewesen. Lediglich die unterschiedliche Dauer in Einzeljahren scheint einen ausgleichenden Einfluß der Strahlung anzuzeigen. So folgte die Apfelblüte 1958 schon zwei Tage nach der Steinobstblüte, weil die Witterung sehr warm und sehr sonnig war. Im Jahre 1960 waren dagegen 9 Tage notwendig. Die absolute und relative Größe der Temperatursumme war sehr gering, jedoch die Absolutmenge der Globalstrahlung groß.

Es hat den Anschein, daß die mittlere Temperatursumme pro Tag um so größer sein muß, je geringer die Gesamtstrahlung in der Periode zwischen der Blüte beider Obstarten ist und umgekehrt. Gesichert ist dieses Ergebnis angesichts der Kürze der Meßreihe jedoch nicht.

Tab. 22

Blühbeginn von Steinobst und Äpfeln, deren zeitlicher Abstand sowie die Temperatursumme und Globalstrahlungssumme zwischen beiden Blühterminen.

Jahr	Steinobst b	Äpfel b	Diff.	TS	TS/Tag	G	G/Tag
1958	128.	130.	2	602,1	301	1071	536
1959	106.	112.	6	409,3	68	1300	217
1960	112.	121.	9	333,2	37	2980	331
1961	100.	107.	7	874,9	125	2228	319
1962	123.	129.	6	875,2	146	2316	388
1963	129.	134.	5	625,6	125	1697	339
1964	124.	130.	6	773,0	129	2228	372
1965	132.	138.	6	1098,8	157	2406	402
1966	112.	119.	7	889,9	127	2625	376
1967	121.	128.	7	543,6	78	2899	414

- b Blühbeginn (Tage seit 1. Januar)
- Diff. Differenz in Tagen zwischen dem Blühbeginn beider Obstarten
- TS Temperatursumme in °C x h für den Zeitraum (Steinobst b — Äpfel b)
- TS/Tag Mittlere Temperatursummen in °C x h pro Tag
- G Summe der Globalstrahlung in cal/cm² für den Zeitraum (Steinobst b — Äpfel b)
- G/Tag Mittlere Globalstrahlungssumme in cal/cm² pro Tag

7.2. Der Einfluß der Winterkälte auf den Blühbeginn

Im folgenden soll noch auf die Beziehungen zwischen den Kältesummen des vorangegangenen Winters, dem Beginn der Obstblüte und den Temperatursummen kurz eingegangen werden. Unter Kältesumme verstehen

wir dabei die Summe der negativen Tagesmitteltemperaturen des ganzen vorangegangenen Winters.

Von HORNEY (26) wurde für Geisenheim zwar festgestellt, daß zwischen der Winterstrenge und dem Blühbeginn bzw. der Temperatursumme keine Beziehungen bestünden, denn nach strengen Wintern gibt es dort sowohl frühe als auch späte Blühtermine, sowohl hohe als auch niedrige Temperatursummen. „Streng“ bedeutet in Geisenheim aber etwas anderes als in Weihenstephan. Unter den in Weihenstephan vorhandenen klimatischen Bedingungen bestehen solche Beziehungen offensichtlich.

Auch BÖER ((11), S. 15) nimmt hierzu Stellung. Er schreibt: „Eine nähere Untersuchung zeigt, daß die Kältesumme den bestimmenden Faktor für diese Veränderlichkeit darstellt.“ Er berechnete in seinen Untersuchungen für Thüringen einen Korrelationskoeffizienten von -0,60 zwischen der Kältesumme des Winters und der bis zur Schneeglöckchenblüte erreichten Temperatursumme über 1°C. Weiter wird von ihm eine nicht lineare, sondern quadratische Abhängigkeit der beiden Meßgrößen vermutet. Bei Berücksichtigung der letzten Tatsache müßten die erwähnten Beziehungen noch stärker sein.

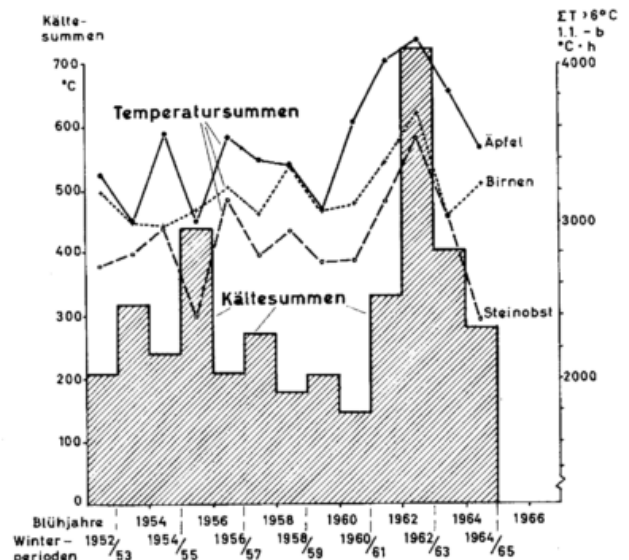


Abb. 11 Kältesummen (Grad x Tag) des vorangegangenen Winters und Temperatursummen über 6° C vom 1. Januar bis zur Blüte bei verschiedenen Obstarten 1953—1965 in Weihenstephan.

Für Äpfel, Birnen und Steinobst (Abb. 11) konnten in den Jahren 1953—1965 in Weihenstephan zwischen den Kältesummen und Temperatursummen folgender Vegetationsperioden bis zur Blüte positive Korrelationen errechnet werden. Die Ergebnisse sind mit 5% Sicherheitsgrenzen fast signifikant. Das hieße, daß nach strengen Wintern bis zur Blüte eher eine hohe Wärmesumme nötig ist als nach milden Wintern.

Zwischen dem Blühtag „b“ und der Kältesumme des vorangegangenen Winters bestehen Beziehungen, die für alle drei Obstarten signifikant sind. Für Äpfel und Steinobst sind die vorliegenden Ergebnisse statistisch gut gesichert. Hohen Kältesummen und somit strengen Wintern entspricht demnach in Weihenstephan auch ein späterer Blühbeginn mit einer höheren Temperatursumme.

	r _A	r _B
Äpfel	0,45	0,64 +
Birnen	0,56 +	0,60 +
Steinobst	0,40	0,64 +

r_A Korrelationskoeffizient für die Beziehung der Kältesummen in (—° C x Tage) zu den Temperatursummen in Grad x Stunden.

r_B Korrelationskoeffizient für die Beziehungen der Kältesummen in (—° C x Tage) zur Zahl der Tage zwischen 1.1. und „b“.

+ Statistisch signifikant mit der Sicherheitsgrenze 5 %.

Hinter dieser Regel verbirgt sich jedoch nichts anderes als die eingangs getroffene Feststellung, daß in Jahren mit langanhaltendem Winter die Blüte später, in früh endenden Wintern (ohne Märzwinter) die Blüte früher als normal ist.

Wenn aber kürzere, unmittelbar vor dem Beginn der Vegetationsperiode stehende Zeiträume betrachtet werden, so sind andernorts Ergebnisse ermittelt worden, die den hier vorliegenden zu widersprechen scheinen. Demnach führt ein Kältereiz in diesem Zeitraum des Spätwinters (insbesondere im Februar) zu einem verminderten Wärmebedürfnis (BÖER (11), S. 59 und TSCHERMAK, in BÖER). Diese Feststellung braucht für andere Gebiete u. U. nicht zuzutreffen; dann nämlich, wenn diesen spätwinterlichen Kälterückfällen (auch den Märzwintern) unvermittelt hohe Temperaturen folgen, die „überoptimal“ sind und bis zum Blühbeginn trotzdem zu hohen Temperatursummen führen können. Auf diese Erscheinung ist in der vorliegenden Arbeit eingegangen worden. LARCHER (33) stellte fest, daß verschiedene Gewebearten von Obst und anderen Gehölzen auf die Kältebehandlung unterschiedlich reagieren, und daß je nach Dauer der Behandlung gewisse Verschiebungen in ihrer wachsenden Frostresistenz zustande kommen. Auf diesen Erscheinungen und den damit verbundenen späteren physiologischen Vorgängen kann die Tatsache einer zeitlichen Verschiebung (im Zu-

sammenhang mit dem dem Winter folgenden Temperaturverlauf) des Blühbeginns der drei Obstarten beruhen.

Die Staffelung des Blühbeginns der Obstarten, wie Steinobst, Birnen und Äpfel, kann ihre Ursache neben den genetisch festgelegten Arteigenschaften auch in der unterschiedlichen spezifischen Reaktion der Obstarten auf die Kältebehandlung und den späteren „Abbau“ der Frostresistenz mit einer früheren oder späteren, mehr oder weniger intensiven Einleitung der zur Blüte führenden physiologischen Prozesse haben. So kann nach SCHREIBER (55) angenommen werden, daß eine gleichzeitige Berücksichtigung der Schneedeckendmächtigkeit und des Bodenfrostes während der Winterperiode zu noch besseren signifikanten Beziehungen zwischen Kältesummen und den die Obstblüte betreffenden Temperatursummen führen dürfte.

8. Die Streuung der Temperatursumme in Abhängigkeit vom Termin des Blühbeginns

Der Vergleich der bis zum Blühbeginn notwendigen Temperatursumme in Weihenstephan und Geisenheim bestätigte zwar die von SEEMANN (44), SCHNEIDER (46) und SCHNELLE (47) gemachte Feststellung, daß bei

Tab. 23

Gruppierungen früher, mittlerer und später Blühjahre mit ihren Auswirkungen auf die Größe der Standardstreuung der Temperatursummen.

Obstart	Blühbeginn	Beobachtungsjahre	Standardstreuung Grad.-Std.
Geisenheim	vor dem 20. 4.	1938, 1948, 1949, 1953	± 241
	20. 4.	1957, 1959, 1960, 1961	
	Äpfel 20. 4.—29. 4.	1936, 1939, 1940, 1942, 1947, 1950, 1952, 1964	± 180
Äpfel	30. 4.— 9. 5.	1937, 1941, 1951, 1954	± 318
		1955, 1956, 1958, 1962	
		1963	
Birnen	vor dem 12. 4.	1936, 1938, 1948, 1953	± 132
	12. 4.—21. 4.	1935, 1937, 1939, 1949	± 290
	22. 4.— 1. 5.	1940, 1941, 1942, 1947, 1951, 1954, 1955, 1956, 1958, 1962, 1963, 1964	± 368
Steinobst	vor dem 9. 4.	1936, 1938, 1948, 1953	± 132
	9. 4.—18. 4.	1935, 1937, 1939, 1949	± 239
	19. 4.—28. 4.	1940, 1941, 1942, 1947, 1951, 1954, 1955, 1956, 1958, 1962, 1963, 1964	± 284
Weihenstephan	vor dem 29. 4.	1947, 1948, 1953, 1957	± 193
	Äpfel 29. 4.— 8. 5.	1959, 1961	
	9. 5.—18. 5.	1940, 1951, 1955, 1960, 1939, 1954, 1956, 1958, 1962, 1963, 1964, 1965	± 349 ± 432
Birnen	vor dem 28. 4.	1953, 1957, 1959, 1960	± 109
	28. 4.— 7. 5.	1961	
	8. 5.—17. 5.	1955, 1962, 1964	± 218 ± 277
Steinobst	vor d. 23. 4.	1953, 1959, 1960, 1961	± 104
	23. 4.— 2. 5.	1957	
	3. 5.—12. 5.	1954, 1955, 1956, 1958, 1962, 1963, 1964, 1965	± 382

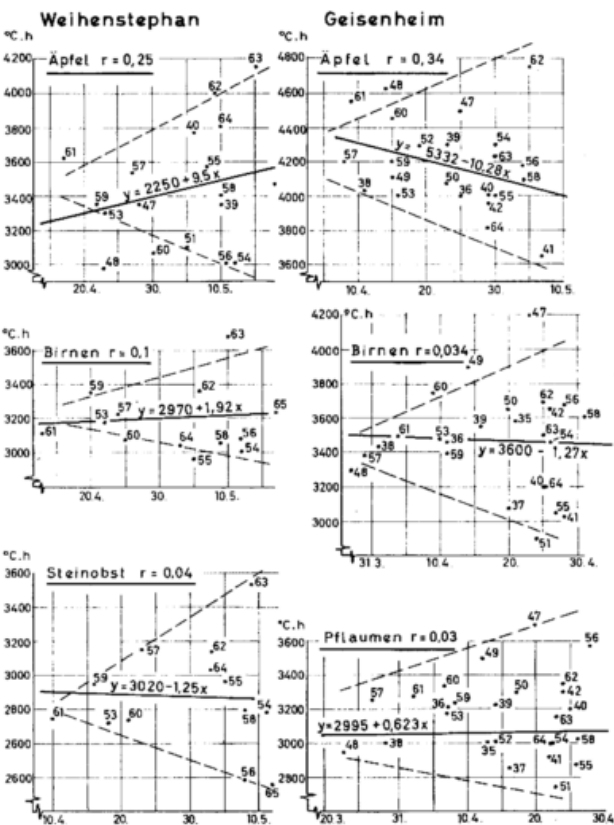


Abb. 12

Zunahme der Variationsbreite von Temperatursummen über 6° C mit Verspätung des Blühbeginns bei drei Obstarten in Weihenstephan und Geisenheim (Zahlen an den Punkten = Jahr).

allgemein früherer Blüte in Geisenheim eine höhere Temperatursumme notwendig ist als in Weihenstephan. Jedoch konnte die Feststellung von SCHNEIDER (46), daß an einem Ort in Jahren mit früher Blüte eine größere Temperatursumme bis zur Blüte notwendig ist als in Jahren mit später Blüte sowohl für Geisenheim als auch für Weihenstephan nicht bestätigt werden.

In der Abb. 12 sind für Weihenstephan und für Geisenheim für die drei Obstarten der Tag des Blühbeginns (Abszisse) und die erreichte Temperatursumme (Ordinate) eingetragen. Zusätzlich wurden der Korrelationskoeffizient und die Regressionsgleichung zwischen beiden Größen bestimmt. Eine signifikante Korrelation besteht an beiden Orten für keine Obstart. Der Verlauf der Regressionsgeraden weicht daher oft nur wenig von der Waagrechten ab. Statt der von SCHNEIDER gemachten Feststellung gewinnt man auf Grund der Abbildungen vielmehr den Eindruck, daß die Streuung der bis zum Blühbeginn notwendigen Temperatursumme um so größer wird, je später die Blüte erfolgt.

Um dieses zu prüfen, wurde die Streuung der Temperatursummen bis zur Blüte, getrennt für Jahre mit frühem, mit annähernd normalem und mit spätem Blühbeginn berechnet. Dazu wurden die Blühtermine in 10-Tage-Intervalle aufgegliedert. Bei allen drei Obstarten erweist sich an beiden Orten, daß die Streuung bei später Blüte erheblich größer ist als bei früher Blüte (Tab. 23).

9. Schlußbetrachtung

Die Aufgabe der vorliegenden Arbeit war es zunächst, zu prüfen, inwieweit die bisher schon an anderen Orten angewandten Methoden zur Vorhersage des Blühbeginns von Obstarten sich auch für Weihenstephan eignen. Außerdem sollte versucht werden, die Kenntnisse über den Zusammenhang zwischen dem Beginn der Obstblüte und den diese auslösenden meteorologischen Faktoren zu erweitern.

Die Untersuchung erfolgte zunächst an Hand der phänologischen Beobachtungen, welche seit 1953 in den Obstanlagen des Institutes für Obstbau der Staatlichen Lehr- und Forschungsanstalt für Gartenbau in Weihenstephan gewonnen wurden. Des weiteren wurden die bis zum Jahre 1926 zurückgehenden, leider etwas lückenhaften Beobachtungsreihen im 4 km entfernten Thalhausen herangezogen.

Ein erster Überblick ergab schon, daß die Blüte von Steinobst, Birnen und Äpfeln in der Regel entweder merklich früher oder merklich später zum mittleren Blühtermin erfolgt, während ein Blühbeginn zum annähernd normalen Termin seltener ist. Entscheidend für den Termin des Blühbeginns erwies sich das Auftreten des sog. „Märzwinters“ oder dessen Ausbleiben. Dieses führt in Weihenstephan zu der brauchbaren *Faustregel*:

Weist der März noch einen ausgesprochenen Märzwinter auf, so wird die Blüte später als zum langjährigen Mittelwert auftreten.

Bei einem Märzwinter wurde der Boden in 20 cm Tiefe erst nach dem 11. März frostfrei. Mit Ausnahme eines Jahres setzte die Blüte früher als normal ein, wenn der Boden schon im Februar endgültig frostfrei wurde. Als Grundlage für die Beziehungen zwischen Blühbeginn und vorangegangener Witterung wurde zunächst die sog. „Temperatursummenregel“ verwendet. Diese Regel besagt, daß bis zum Erreichen der Blüte die Summe der vorangegangenen Temperaturen einen bestimmten Wert erreichen muß. Sie setzt voraus, daß zwischen der Temperatur und der Pflanzenentwicklung eine lineare Beziehung besteht. Es wird gezeigt, daß

das für den Beginn der Obstblüte weitgehend zutrifft. Erst bei Temperaturen über etwa 20°C bewirkt eine weitere Temperatursteigerung um 1°C anscheinend nicht mehr dieselbe Beschleunigung wie bei Temperaturen unter etwa 20°C. Der Unterschied ist aber zu gering, um bei den hier vorkommenden Temperaturen berücksichtigt zu werden.

Derjenige Tag im Winter oder zu Beginn des Frühjahres, von dem ab die gemessenen Temperaturwerte addiert werden, heißt „Starttag“. Die zweite wichtige Größe ist die sog. „Basistemperatur“. Es ist der Temperaturschwellenwert, oberhalb dessen die Temperatur als wirksam erkannt wird. Es werden also nur die Differenzen der Stundenwerte der Temperaturen addiert, wobei negative Differenzen unberücksichtigt bleiben.

Es zeigte sich, daß sowohl „Starttag“ als auch „Basistemperatur“ den Charakter statistischer Rechengrößen tragen. Sie hätten echte biologische Bedeutung, wenn die Entwicklung erbgleicher Pflanzen an allen Orten in gleicher Weise nur von der Temperatursumme abhängen würde.

Es wurde eingehend untersucht, mit welchen Werten für die Basistemperatur und für den Starttag die engsten Beziehungen zwischen der Temperatursumme und dem Blühtermin erzielt werden können. Dazu wurde die Standardstreuung der Temperatursumme in Grad mal Stunden bei verschiedenen Basistemperaturen und Starttagen sowie der Variationskoeffizient ermittelt. Des weiteren wurde die Streuung mit der Dauer in Tagen verglichen, die zur Zeit der Obstblüte notwendig ist, um einen Anstieg der Temperatursumme um den Betrag der Standardstreuung zu erzielen. Ferner wurde die von SCHRÖDTER vorgeschlagene Methode der Hyperbelfunktion angewandt, um die optimalen Werte für Starttag und Basistemperatur zu bestimmen. Es ergab sich, daß mit einem Starttag in der Zeit vom 1. bis 10. März die besten Beziehungen zu erreichen waren. Die Aufsummierung der Temperaturen von jedem Zeitpunkt zwischen 1. Januar und 10. März ergab jedoch für die praktische Anwendung der Regel keine schlechteren Beziehungen. Die von ARZT und LUDWIG vorgeschlagene Methode der Rückwärtsaddition der Temperatursumme zur Feststellung des geeignetsten Starttages erwies sich als völlig ungeeignet. Die Anwendung von Jahr zu Jahr variabler Starttage, wie etwa der Tag des Frostfreiwerdens des Bodens in 20 cm Tiefe oder Daten phänologischer Ereignisse vor der Obstblüte, ergab keine besseren Werte als konstante Daten. Der Einfachheit halber wurde daher der 1. Januar als Starttag gewählt.

Für Weihenstephan ergab sich eine optimale Basistemperatur von 5 bis 6°C. Die Werte für die einzelnen Obstarten waren etwas verschieden. Der Vergleichbarkeit mit Geisenheim wegen wurden die weiteren Berechnungen mit einem Wert von 6.0°C durchgeführt.

Die mittlere Temperatursumme über 6.0°C ab 1. Januar, welche bis zum Beginn der Obstblüte notwendig ist, beträgt bei Steinobst (30. April) $2866 \pm 300^\circ\text{C} \times \text{h}$; bei Birnen (2. Mai) $3180 \pm 194^\circ\text{C} \times \text{h}$ und bei Äpfeln (5. Mai) $3483 \pm 359^\circ\text{C} \times \text{h}$.

Die entsprechenden Werte für Geisenheim sind:

Steinobst (15. April) $3160^\circ\text{C} \times \text{h}$; Birnen (18. April) $3455^\circ\text{C} \times \text{h}$ und Äpfel (24. April) $4160^\circ\text{C} \times \text{h}$.

Die Streuungen der Temperatursummen entsprechen einer mittleren Temperatursummenzunahme zur Zeit des Blühbeginns beim Obst, die in 2–3 Tagen stattfindet. Sie dürften eher ein Maß für die Zuverlässigkeit der phänologischen Beobachtungen als für die Brauchbarkeit der Temperatursummen sein.

Nachdem Starttag und Basistemperatur festgelegt waren, wurde der Verlauf der Temperatursumme (Grad x Stunden) über 6.0°C ab 1. Januar in den ein-

zelen Jahren im Mittel für Weihenstephan und Geisenheim verglichen. Je nach der Witterung im zeitigen Frühjahr liegen diese Kurven sehr weit auseinander. Sobald eine Temperatursumme von $500^{\circ}\text{C} \times \text{h}$ (Anfang März bis Anfang April) erreicht ist, bleibt der Abstand zwischen den äußersten Kurven ziemlich konstant bei etwa 35–40 Tagen. Es ergab sich eine gewisse Bündelung in frühe und späte Blühjahre. Es gab bisher kein Jahr, in dem die Kurve nicht für mehrere Tage waagrecht geblieben wäre, in dem also eine Kälteperiode ohne einen Beitrag zur Temperatursumme auftrat.

Die Durchführung der Blühvorhersage wurde für die Jahre 1966 und 1967 erläutert. Sie erfolgte unter der Annahme eines Temperaturverlaufes zwischen dem Tag, an dem die Vorhersage erstellt wird, und dem vorhergesagten Blühtermin, der dem langjährigen Mittel entspricht. Für beide Jahre besteht eine recht befriedigende Übereinstimmung zwischen vorhergesagtem und eingetretenem Blühtermin. Eine Vorhersage des Blühtermins ohne Kenntnis des Temperaturverlaufes bis zur Blüte muß jedoch in Rechnung stellen, daß dem Ausgabebetrag der Vorhersage sowohl eine sehr kalte als auch eine sehr warme Witterung folgen kann. Wenn bei der Vorhersage die langsamste und die schnellste bisher beobachtete Zunahme der Temperatursumme berücksichtigt wurde, so ergab sich eine Zeitspanne für den vorhergesagten Blühtermin, die bei einer Ausgabe der Vorhersage am 1. April noch drei bis vier Wochen betrug.

Eine nachträgliche Anwendung der Temperatursummenregel für die Jahre 1953 bis 1967, unter Zugrundelegung eines mittleren Verlaufes des Temperatursummenanstieges, ergab eine mittlere Differenz zwischen eingetretenem und vorhergesagtem Blühbeginn von etwa ± 8 Tagen bei einer Ausgabe der Vorhersage am 15. März, von ± 7 Tagen am 1. April und von ± 3 bis 4 Tagen am 15. April. Die Anwendung der Temperatur-

summenregel zur Blühvorhersage steht und fällt somit mit der Möglichkeit einer langfristigen Temperaturvorhersage. Andererseits dürfte es möglich sein, nicht beobachtete phänologische Termine auf Grund von Temperaturbeobachtungsreihen nachträglich mit einer Genauigkeit von ± 2 bis ± 3 Tagen abzuschätzen.

Schließlich wurden noch Beziehungen zwischen der Globalstrahlung, der Temperatursumme und dem Blühtermin hergeleitet. Es ergaben sich signifikante Beziehungen zwischen der Globalstrahlungssumme (für Tage mit Tageshöchsttemperaturen über 6°C) und dem Blühdatum, die keine größere Streuung aufwiesen als die Temperatursummen, wenn die Globalstrahlungssumme durch die Tageslänge zum Blühdatum dividiert wurde.

Positive Korrelationen wurden auch zwischen den Kältesummen des vorangegangenen Winters und der Temperatursumme bzw. dem Blühdatum gefunden, in denen sich aber letztlich nur die gesamte Faustregel über den Märzwinter widerspiegelt.

Während die von anderen Autoren schon gemachte Feststellung, daß in klimatisch günstigeren Gebieten mit früherer Blüte eine größere Temperatursumme bis zum Blühbeginn notwendig ist, bestätigt wurde, konnte weder für Geisenheim noch für Weihenstephan nachgewiesen werden, daß am gleichen Orte in Jahren früher Blüte eine größere Temperatursumme erforderlich ist als in Jahren später Blüte. Vielmehr nimmt die Streuung der bis zum Blühbeginn erreichten Temperatursummen erheblich zu, je später der Blühtermin erfolgt.

Abschließend kann festgestellt werden, daß zwischen mehreren meteorologischen Größen, insbesondere der Temperatursumme und dem Blühbeginn sehr enge Beziehungen bestehen. Eine Anwendung der Temperatursummenregel zur sicheren Vorhersage des Blühbeginns setzt jedoch eine einigermaßen verlässliche Temperaturvorhersage voraus.

Literatur

- (1) AICHELE, H.: Der Beginn der Apfelblüte 1953 am westlichen Bodensee als Hilfsmittel der kleinklimatologischen Geländekartierung. Meteor. Rdsch. 6 (1953) S. 204–206.
- (2) AUJEJSKY, L.: Die Bedeutung des „paradoxen Föhneffekts“ für das Pflanzenklima des Gebirgsvorlandes. Bioklimat. Beibl. Meteor. Z. 1 (1934) S. 19–21.
- (3) ARZT, Th.; LUDWIG, W.: Untersuchungen zur „Temperatursummenregel“ an Huflattich und Salweide. Biol. Zbl. 65 (1946) S. 1.
- (4) ARZT, Th.; LUDWIG, W.: Alte Probleme der Phänologie in neuer Beleuchtung. Naturwiss. Rdsch. 2 (1949) S. 450.
- (5) BAUMGARTNER, S.; KLEINLEIN, G.; WALDMANN, G.: Forstlichphänologische Beobachtungen und Experimente am Großen Falkenstein. Forstw. Zbl. 15 (1956) S. 290–303.
- (6) BIDER, M.: Phänologische Beobachtungen in den Kantonen Basel-Land, Basel-Stadt, Uri und Graubünden. XI. Tätigkeitsbericht der Nat. Forsch. Ges. Basel-Land, Liestal, 1936–38 (1940) S. 51–90.
- (7) BIDER, M.; MAYER, A.: Läßt sich der Zeitpunkt der Kirschenrnte der Nordwestschweiz vorausbestimmen? Schweiz. Obst- u. Weinbau, Wädenswill, 55 (1946) S. 453–456.
- (8) BIJL, W. van der: The constant temperature-sum as a basis for forecasting flowering date. Geofis. pura e appl. 34 (1956/II) S. 246–252.
- (9) BLUNCK, H.: Die Entwicklung des *Ditiscus marginalis* L. vom Ei bis zur Imago. 2. Teil. Z. wiss. Zool. 121 (1923) S. 171–391.
- (10) BLUNCK, H.: Die Erforschung epidemischer Pflanzenkrankheiten auf Grund der Arbeiten über die Rübenfliege. Pflanzenkrankh. 39 (1929) S. 1–28.
- (11) BÖER, W.: Witterung und Pflanzenwachstum. Abh. Meteor. Hydrol. Dienst DDR Nr. 14 (1952).
- (12) BRANDTNER, E.: Methodische Untersuchungen an phänologischen Beobachtungen unter besonderer Berücksichtigung phytopathologischer Probleme. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 47 (1958) S. 1–14.
- (13) BULLRICH, K.: Frühjahrstemperaturen und Apfelblütenstecherbekämpfung. Neue Mitt. f. d. Landw., Hannover, 6 (1951) S. 139–140.
- (14) BÜNNING, E.: Über die Beschleunigung des Blühens in tropischen Gebirgen. Biol. Zbl. 67 (1948) S. 3–6.
- (15) DAVITAYA, F. T.: A method of predicting heat supply and duration of the growth period. Agric. Meteor. 2 (1965) Nr. 2, S. 109–119.
- (16) DICKEL, H.: Probleme phänologischer Methodik am Beispiel einer naturräumlichen Gliederung des Kreises Marburg/Lahn. Diss. Univ. Marburg (1966).
- (17) DIRMHORN, I.: Das Strahlungsfeld im Lebensraum. Frankfurt/M. (1964).
- (18) EIMERN, J. van; KAPS, E.: Der Beginn der Apfelblüte im Harburger Raum, verglichen mit der mittleren Blüte in Nordwestdeutschland. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 42 (1952) S. 395.
- (19) FLOHN, H.: Witterung und Klima in Mitteleuropa. 2. Aufl. Stuttgart (1954).
- (20) FRANKEN, A.: Zur Phänologie der Forsythie. Meteor. Amt f. Nordwestdeutschland, Hamburg (1952).

- (21) FRENZEL, B.; FISCHER, H.: Beobachtungen zur Phänologie eines Alpentales. Arch. Meteor. Geophys. Bioklimat. Ser. B 8 (1957) S. 231—256.
- (22) GEIGER, R.: Das Klima der bodennahen Luftschicht. 4. Aufl. Braunschweig (1961) S. 264.
- (23) GEIGER, R.; WOELFLE, M.; SEIP, L. P.: Höhenlage und Spätfrostgefährdung. Forstw. Zbl. 55 (1953) S. 579—592; 56 (1934) S. 141—151.
- (24) HEGYFOKY, K.: Ein Beitrag zu den Wärmesummen in der Phänologie. Meteor. Z. 29 (1912) S. 210—217, 272—282.
- (25) HERTLEIN, G.: Phänologisch-meteorologische Untersuchungen zur Blühvorhersage bei den Obstgehölzen. Diss. Stuttgart-Hohenheim (1954).
- (26) HOLMES, R. M.; ROBERTSON, G. W.: Heat units and crop growth. Plant Research Institute, Central Experimental Farm, Ottawa, Publ. No. 1042 (1959).
- (27) HOMMEL, K.: Die Verwendbarkeit der aus Maximum und Minimum gebildeten Temperaturmittel. Meteor. Rdsch. 3 (1950) S. 68—73.
- (28) HORNEY, G.: 26 Jahre Blühvorhersage in Geisenheim. Meteor. Rdsch. 18 (1965) S. 33—40.
- (29) JANISCH, E.: Das Exponentialgesetz. Abh. z. Theorie d. org. Entwicklung H. 2 (1927).
- (30) JANISCH, E.: Die Lebens- und Entwicklungsdauer der Insekten als Temperaturfunktion. Zeitschr. f. Wiss. Zool. „Festschrift Korshelt“, 132 (1928) S. 176.
- (31) JUNGES, W.: Die phänologische Winterruhe in einer Population der Roßkastanie. Angew. Meteor. 4 (1962) S. 113—119.
- (32) LANA, E. P.; HABER, E. S.: Seasonal variability as indicated by cumulative degree hours with sweet corn. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 59 (1952) S. 389—392.
- (33) LARCHER, W.: Anwendung des Triphenyltetrazoliumchlorids zur Beurteilung von Frostschäden in verschiedenen Achsengewebe bei Pirus-Arten, Jahresgang der Resistenz. Protoplasma 51 (1960) H. 4.
- (34) MARSEILLE, C.: Über die Abhängigkeit der Obsterträge von Temperatur und Niederschlag. Gartenbauwissenschaft 10 (1937).
- (35) MILLS, W. T.: Heat units system for predicting optimum peanut harvesting time. Transact. ASAE 7 (1964) S. 307—309.
- (36) NAPP-ZINN, K.: Außenfaktoren in Wachstum und Entwicklung. Handbuch der Pflanzenphysiologie 16 (1961).
- (37) PASSECKER, F.: Klimagrenzen für den Obstbau. Kärntner Bauer H. 23 (1946).
- (38) PEPPLER, W.: Zum Einfluß des Föhns auf die Mitteltemperatur im Alpenvorland. Meteor. Z. 43 (1926) S. 374.
- (39) PFAFF, W.: Über den Einfluß der Höhenlage auf den Eintritt der Vegetationsphasen. Arb. d. Landw.-Kammer Hessen 26 (1920) S. 31—38.
- (40) PFAU, R.: Varianz- und Korrelationsanalytische Untersuchungen an phänologischen Phasen im Naturraum 06 (Unterbayerisches Hügelland). Meteor. Rdsch. 17 (1964) S. 113—122.
- (41) POST, J.; KRAMER, C.: Bloievorspelling op ground van de bladontplooiing de wilde kastanje. De Fruitteelt 41 (1951) S. 278.
- (42) RAEUBER, A.; ENGEL, K. H.: Untersuchungen über den Verlauf der Massenzunahme bei Kartoffeln (*Sol. tuberosum* L.) in Abhängigkeit von Umwelt- und Erbguteinflüssen. Abh. Meteor. Hydrol. Dienst DDR Nr. 76 (1966).
- (43) SAUBERER, F.; HÄRTEL, O.: Pflanze und Strahlung. Leipzig (1959).
- (44) SEEMANN, J.: Sind Werte aus der allgemeinen Klimastatistik für agrarmeteorologische Untersuchungen verwendbar? Arch. Wiss. Ges. Land- u. Forstw., Freiburg, (1950) H. 2, S. 47, S. 47—49.
- (45) SEYFERT, F.: Ein Beitrag zur Prognose phänologischer Daten. Akad. Verl. Berlin. Abh. Meteor. Hydrol. Dienst DDR Nr. 80 (1966).
- (46) SCHNEIDER, M.: Summen, Mittel und mittlere Extreme der Temperatur von phänologischen Zeitspannen. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 42 (1952) S. 276—281.
- (47) SCHNELLE, F.: Pflanzenphänologie. Leipzig (1955).
- (48) SCHNELLE, F.; UHLIG, S.: Beiträge zur Phänologie Deutschlands Teil I.: Karten des phänologischen Jahresablaufes der Einzeljahre 1936—1944. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 39 (1952).
- (49) SCHNELLE, F.; WITTERSTEIN, F.: Beiträge zur Phänologie Deutschlands. Teil II.: Tabellen 1936 bis 1944. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 41 (1952).
- (50) SCHNELLE, F.: Beiträge zur Phänologie Deutschlands. Teil III.: 6 Mittelwertskarten (1936—1944), Vorfrühling bis Herbst. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 1 (1953).
- (51) SCHNELLE, F.: Beiträge zur Phänologie Deutschlands. Teil IV.: Tabellen phänologischer Einzelwerte von etwa 500 Stationen der Jahre 1922 bis 1935. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 95 (1964).
- (52) SCHNELLE, F.: Studien zur Phänologie Mitteleuropas. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 2 (1948).
- (53) SCHNELLE, F.; VOLKERT, E.: Internationale Phänologische Gärten. Agricult. Meteor. 1 (1964) S. 22—29.
- (54) SCHNELLE, F.; VOLKERT, E.: Vorschläge zur Einrichtung internationaler Phänologischer Gärten als Stationen eines Grundnetzes für internationale phänologische Beobachtungen. Meteor. Rdsch. 10 (1957) S. 130—133.
- (55) SCHREIBER, K.: Pflanzenphänologische Auswirkungen des Extremwinters 1962/1963 im Gebiet des westlichen Neuenburger Sees. Ber. Geobot. Inst. ETH Zürich 35 (1964).
- (56) SCHRÖDTER, H.: Untersuchungen über die „Temperatursummenregel“ an Hand der phänologischen Beobachtungen in Wernigerode 1854—1884. Angew. Meteor. 1 (1952) S. 225—234.
- (57) SCHRÖDTER, H.: Weitere Untersuchungen über die Anwendung der Temperatursummenregel auf phänologische Phasen. Angew. Meteor. 2 (1954) S. 59—64.
- (58) STRASSBURGER, E.: Lehrbuch der Botanik für Hochschulen. Stuttgart (1962/67).
- (59) TSCHERMAK, L.: Gebirgsklima und Waldbau. Forstw. Zbl. (1950) S. 81—97.
- (60) VALLI, V. J.; JAWORSKI, C. A.: Influence of biometeorological factors in tomato transplant production. Proc. Florida State Hort. Soc., Miami, 78 (1965).
- (61) VOIGTS, H.: Wärmestundensummen und phänologische Erscheinungen. Arch. Meteor. Geophys. Bioklimat. Ser. B 1 (1949) S. 410—421.
- (62) WEBER, E.: Grundriß der biologischen Statistik für Naturwissenschaftler, Landwirte und Mediziner. 3. Aufl. Jena (1957) Tafel 11, S. 447.
- (63) WEGER, N.; HERBST, W.; RUDLOFF, W.: Witterung und Phänologie der Blühphase des Birnbauens. Abh. Reichsamt f. Wetterd. 7, Nr. 1 (1940).
- (64) WIBERG, E.: Lehrbuch der anorganischen Chemie. Berlin (1960) S. 112.
- (65) WITTERSTEIN, F.: Untersuchungen an der langen phänologischen Beobachtungsreihe von Geisenheim. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 42 (1952) S. 313—320.
- (66) ZISLAVSKY, W.: Ein neues direkt anzeigendes Effektivtemperatursummenzählgerät mit Kontaktthermometern sowie allgemeine Erörterungen der Temperatursummenmessung. Pflanzenschutz-Ber., Wien, 35 (1967) S. 81—128.