

Die Vegetationszeit von Waldbäumen in deutschen Mittelgebirgen

Ihre Klimaabhängigkeit und räumliche Differenzierung

von

FRITZ SCHNELLE

Mit 1 Kartenskizze und 2 Profiltafeln als Beilage

Inhalt

	Seite	
Einleitung	2	6
A. <i>Abgrenzung der Vegetationszeit bei Waldbäumen</i>	2	6
1. Abgrenzung der Vegetationszeit durch phänologische Entwicklungsstufen und nach Wachstumsmessungen an Sproßteilen	2	6
2. Abgrenzung der Vegetationszeit durch Klimadaten	6	10
a) Beginn der Vegetationszeit	6	10
b) Ende der Vegetationszeit	8	12
B. <i>Großräumige Unterschiede des phänologischen Ablaufs während der Vegetationszeit — Phänologische Profile</i>	13	17
1. Phänologische Profile vom Maitrieb der Fichte im Spätfrühling	13	17
2. Unterschiede des Vegetationsablaufs innerhalb des Jahres	13	17
3. Gesetzmäßigkeiten des phänologischen Jahresablaufs, auf Europa übertragen	16	20
C. <i>Kleinräumige Unterschiede der Vegetationszeit von Waldbäumen in deutschen Mittelgebirgen — Kennzeichnung der Vegetationszeit durch Klimadaten</i>	19	23
1. Maximale Unterschiede der Vegetationszeit der Waldbäume in deutschen Mittelgebirgen	20	24
2. Nord-Süd-Vergleich der drei West-Ost-Schnitte in verschiedenen Höhenlagen	22	26
3. Vergleiche innerhalb der drei West-Ost-Schnitte in verschiedenen Höhenlagen	23	27
a) Vergleiche im West-Ost-Schnitt Nord	23	27
b) Vergleiche im West-Ost-Schnitt Mitte	25	29
c) Vergleiche im West-Ost-Schnitt Süd	25	29
D. <i>Jährliche Änderungen der Länge der Vegetationszeit bei Waldbäumen — Abgrenzung der Vegetationszeit durch phänologische Daten</i>	28	32
Literatur	30	34

Einleitung

Die Dauer der Vegetationszeit der Waldbäume hängt von mehreren Gegebenheiten ab. Unter ihnen spielen die meteorologischen Einflüsse eine besondere Rolle. Sofern man unter Vegetationszeit die durchschnittliche Andauer einer bestimmten Lebensaktivität versteht, sind hierfür als Ursache vor allem die unterschiedlichen Klimabedingungen zu nennen, die nach der geographischen Lage, regional bei gleicher Meereshöhe von Gebirge zu Gebirge und innerhalb der jeweiligen Gebirge in verschiedenen Höhen mit mehr oder weniger starken Unterschieden auf die Pflanzen einwirken. Bezieht man andererseits in die Betrachtung das dynamische Element mit ein, so ändert sich die Länge der Vegetationszeit außerdem noch am selben Standort von Jahr zu Jahr infolge des ständig wechselnden Witterungsverlaufs. Dieser letzte Gesichtspunkt soll jedoch nur am Rande Gegenstand der Betrachtung sein, da der Begriff der Vegetationszeit letzten Endes doch mit der durchschnittlichen Länge, mit dem langjährigen Mittelwert, in Verbindung gebracht wird. Bevor auf diese Unterschiede im einzelnen eingegangen wird, ist vorerst auch zu untersuchen, wie die Abgrenzung der Vegetationszeit bei Waldbäumen am besten durchgeführt werden könnte.

A. Abgrenzung der Vegetationszeit bei Waldbäumen

Für eine Abgrenzung der Vegetationszeit bieten sich zunächst die Beobachtungen an der Pflanze an, wo sie fehlen, auch die Benutzung geeigneter Klimadaten. Beide Methoden können brauchbare Hinweise zur Festlegung von Anfang und Ende der Vegetationszeit geben.

1. *Abgrenzung der Vegetationszeit durch phänologische Entwicklungsstufen und nach Wachstumsmessungen an Sproßteilen*

An Pflanzen lassen sich sowohl durch Beobachtung geeigneter phänologischer Entwicklungsstufen der Assimilationsorgane, wie Erscheinen der ersten Blätter und Blattfall bzw. Laubverfärbung, als auch durch die Feststellung der Zeit des Sproßwachstums (das der Wurzel sei hier ausgeklammert) Anfang und Ende der Vegetationszeit näherungsweise ermitteln. Je nachdem, welches Gewicht und welchen Wert man auf die einzelnen Erscheinungsformen der Lebensaktivität legt, ändert sich auch die Vorstellung über den Vegetationszeitbegriff. Es ist daher zunächst eine notwendige Voraussetzung, phänologische Phasen und Wachstumsverhält-

nisse getrennt für sich zu betrachten und sie dann zueinander in Beziehung zu setzen. Schließlich soll versucht werden, über die unterschiedliche Vegetationszeit verschiedener Baumarten zu einer allgemeingültigen Vegetationszeit zu kommen, die man für einen Großraum, etwa für ganz Europa, verwenden kann. Dazu müssen folgende Forderungen hinsichtlich der zu verwendenden Baumarten erfüllt sein: weite Verbreitung, häufiges Vorkommen, möglichst lang anhaltender und zudem auch meßbarer Zuwachs. Als „Leitbaumarten“ bieten sich zu diesem Zweck unter anderem an: Fichte, Kiefer, Rotbuche, Eiche und Birke.

Während die Daten der Entwicklungsstufen leicht zu gewinnen und als phänologische Daten in reichem Maße vorhanden sind, stehen solche über das Sproßwachstum, die sich auf kurze Zeitabschnitte beziehen, nur in geringem Umfang zu Verfügung. Soweit sich diese zudem noch auf das Höhenwachstum beziehen, sind sie jedoch nur von verhältnismäßig geringem Interesse, da die Dauer des Höhenwachstums im Vergleich zum Dickenwachstum im allgemeinen wesentlich kürzer ist. Für diesen Bereich ist es daher naheliegend, die für die Forstwirtschaft wichtige Zeit der Hauptaktivität der Bäume heranzuziehen, die ihren Ausdruck in der irreversiblen Stofflagerung, im Jahresringaufbau, findet. Gerade letztere Messungen, die parallel zu den täglichen meteorologischen Messungen auch Werte des täglichen Dickenwachstums liefern könnten, sind aber leider bisher großräumig noch nicht vorgenommen worden. Nur aus gelegentlichen Spezialuntersuchungen, die an wenigen Stellen exakt durchgeführt wurden, lassen sich Kenntnisse über den Ablauf des Dickenwachstums und im Zusammenhang hiermit auch über die zeitliche Übereinstimmung des Dickenwachstums mit bekannten phänologischen Daten gewinnen. Messungen dieser Art wurden z. B. von GÜNTER HENHAPPL (1965) in Freiburg im Breisgau einige Jahre hindurch an mehreren Baumarten durchgeführt.

Nach den hierbei von einzelnen Bäumen mehrerer Arten gewonnenen Daten (Veröffentlichung und Mitteilung von G. HENHAPPL) wurde in Tabelle 1 das dreijährige Mittel (1960—1962) der Frühjahrs- und Herbstphasen dem vom Zuwachsbeginn und -ende ausgewählter Baumarten gegenübergestellt. Durch Zufall kommt dieses dreijährige Mittel dem langjährigen Mittel sehr nahe.

Aus verschiedenen Gründen können nicht alle vorgenannten Leitbaumarten in gleichem Maße für die Suche nach einem geeigneten Vegetationszeitbegriff herangezogen werden, sei es durch schlecht zu beobachtende Phasen, sei es durch die schwierige Ermittlung der Zeit der Zuwachstätigkeit der Bäume oder der Art, wie das Stammwachstum vor sich geht. Dadurch fällt bereits die Kiefer infolge der nicht einfachen Erfassung der Phase Maitrieb (M) und infolge des Fehlens einer Herbstphase aus; bei

Tabelle 1: Beginn der Laubentfaltung (BO) und des Maitriebs (M) im Frühjahr, der Laubverfärbung (LV) und des Blattfalls (BF) im Herbst und Beginn und Ende des Dickenwachstums der Stämme von Birke, Buche, Stieleiche und Fichte in Freiburg im Breisgau. Mittel 1960 bis 1962 (Nach G. Henhappl)

		Birke	Buche	Stieleiche	Fichte
		Tage seit Jahresbeginn/Datum			
Frühjahrsphasen	BO	95	101	104	M 113 *
		5. 4.	11. 4.	14. 4.	23. 4.
Beginn des Dickenwachstums		99	104	98	111
		9. 4.	14. 4.	8. 4.	21. 4.
Ende des Dickenwachstums		233	259	257	256
		21. 8.	16. 9.	14. 9.	13. 9.
Herbstphasen	LV	280 *	284 *	286 *	—
		7. 10.	11. 10.	13. 10.	
	BF	298	304 *	305 *	—
		25. 10.	31. 10.	1. 11.	

*) teilweise aus allgemeinen phänologischen Beobachtungen ergänzt

der Fichte ist wenigstens M brauchbar. Bei den Angaben zum Dickenwachstum muß zudem korrekterweise gesagt werden, daß die Erfassung derselben durch die der Pflanze eigentümlichen Turgeszenzschwankungen, welche den echten Zuwachs überlagern, mit mehr oder weniger großen Fehlern behaftet ist. Dieser Fehler ist bei der Buche praktisch zu vernachlässigen, weil er nur in der Größenordnung von etwa zwei Tagen liegt; aber bei der Birke, Stieleiche und Fichte muß er größer als die phänologische Ungenauigkeit veranschlagt werden. Die Zuwachsdaten dieser Baumarten können also nur näherungsweise herangezogen werden. Schließlich muß bei der Stieleiche berücksichtigt werden, daß Zuwachs bereits dadurch eintritt, daß im Gegensatz zu den anderen hier genannten Baumarten Leitungsbahnen schon vor Laubausbruch aus Reservestoffen aufgebaut werden.

Bei der Birke und Rotbuche tritt die Phase Blattenfaltung (BO) ein, wenn die ersten Blätter voll entfaltet sind. Dann beginnt auch die volle Assimilationstätigkeit in den Blättern. Den Abschluß der Vegetationszeit im Herbst kennzeichnen bei den Laubbäumen die phänologischen Phasen der Laubverfärbung (LV) und des Blattfalls (BF). Für die Fichte als Nadelbaum fehlt eine entsprechende Herbstphase. Mit der Phase der Laubverfärbung und schließlich mit dem Blattfall ist die Vegetationszeit der Bäume abgeschlossen.

Betrachtet man nun die Daten in Tabelle 1, so zeigt mit Ausnahme der Fichte die Frühjahrsphase BO eine hinreichende zeitliche Überein-

stimmung, mehr jedoch der Beginn des Dickenwachstums. Noch klarer wird das Bild im Herbst, wo ein Ende der Zuwachstätigkeit bei Buche, Stieleiche und Fichte an fast demselben Tag eintritt. Nur bei der Birke endet die Zuwachstätigkeit früher. Die durchschnittliche Laubverfärbung tritt im Mittel der Jahre 1960 bis 1962 in der Oberrheinebene in der zweiten Oktoberwoche ein, also etwa 1 Monat nach dem Ende des Dickenwachstums bei Rotbuche und Stieleiche bzw. etwa $1\frac{1}{2}$ Monate bei der Birke. Festzustellen ist auch hier, daß bei Birke, Rotbuche und Stieleiche sowohl die Laubverfärbung als auch der Blattfall jeweils ebenfalls nur mit wenigen Tagen Abstand beobachtet werden.

Diese Untersuchungen zeigen also, daß die gesamte Zeit des Dickenwachstums der Bäume zwischen den Frühjahrs- und Herbstphasen liegt, wobei im Frühjahr die phänologischen Termine der Blattentfaltung und die Termine des beginnenden Dickenwachstums verhältnismäßig eng zusammenliegen, während im Herbst zwischen den Terminen des Endes des Dickenwachstums und der Laubverfärbung bzw. des Blattfalls eine längere Zeit von mehreren Wochen liegt.

Wägt man nun ab, welche Fixpunkte als Abgrenzung der Aktivität pflanzlicher Tätigkeit zu verwenden wären, so bietet sich im Frühjahr in hervorragender Weise diejenige Zeit an, in welcher sowohl die Blattentfaltung in die Wege geleitet wird als auch der Zuwachs in Gang kommt. Im Herbst dagegen erscheint es vernünftig, aus den drei möglichen Ereignissen Ende des Zuwachses, Laubverfärbung und Blattfall dasjenige der Laubverfärbung herauszugreifen und als Herbstpunkt festzulegen, so daß wir, so weit es möglich ist, unter *Vegetationszeit von Waldbäumen die Zeit verstehen wollen, die zwischen den Phasen Laubentfaltung im Frühjahr und Laubverfärbung im Herbst liegt.*

Aufgrund der weiten Verbreitung und der langen Dauer der Belaubung ist man wohl mit Hilfe der Birke am ehesten in der Lage, eine allgemeingültige Form für die Vegetationszeit der Waldbäume zu finden. In der folgenden Abhandlung — bei Übertragung der an einem Ort gefundenen Zusammenhänge auf die Auswertung des allgemeinen phänologischen Materials — soll daher im wesentlichen auf die Birke, nur in Ausnahmefällen auf die weiter genannten Baumarten zurückgegriffen werden. Da, wo dies aufgrund des Fehlens von Baumdaten nicht möglich ist, muß für eine kontinentbezogene Betrachtung zunächst noch auf das Datenmaterial der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen ausgewichen werden. Auch wenn sich die bei den Waldbäumen und bei landwirtschaftlichen Kulturpflanzen benutzten Vegetationszeitschnitte nicht zeitlich decken, kann man doch die phänologischen Phasen der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen mit heranziehen, um die bei den großräumigen Unterschieden der Waldbäume auftretenden Gesetzmäßigkeiten besser zu erkennen.

2. Abgrenzung der Vegetationszeit durch Klimadaten

a) Beginn der Vegetationszeit

Der bei verschiedenen Laubbäumen weitgehend einheitliche Termin des Beginns des Dickenwachstums und der gleichzeitig eintretende Termin der phänologischen Phase der Laubentfaltung (BO) bei der Birke und häufig auch wenig später bei der Buche wird vor allem durch das Erreichen und Überschreiten eines bestimmten Temperaturschwellenwertes beim allgemeinen Temperaturanstieg im Frühjahr ausgelöst. Die Feststellung eines solchen Temperaturschwellenwertes ist bei der Untersuchung von Einzeljahren kaum möglich, da die Temperatur nicht gleichmäßig ansteigt, sondern von Tag zu Tag unregelmäßig schwankt. Erst beim Vergleich langjähriger Mittelwerte, wenn die Tages- und Jahresschwankungen weitgehend ausgeglichen sind, lassen sich eindeutige Beziehungen zwischen phänologischen Terminen und Temperaturwerten feststellen.

In der Tabelle 2 sind die für den Zeitraum 1931 bis 1960 berechneten 30jährigen Mittelwerte des Beginns der Laubentfaltung (BO) der Birke und der zu diesem Zeitpunkt ermittelten Durchschnittstemperaturen = Temperaturschwellenwerte (Tagesmittel) von 12 Stationen aus tieferen und höheren Lagen von Nord-, Mittel- und Süddeutschland zusammengestellt. Von fast allen Stationen lagen sowohl langjährige phänologische Beobachtungsreihen als auch laufende Temperaturbeobachtungen von der am gleichen Ort befindlichen Klimastation vor. Nur in einem Fall wurde eine benachbarte Klimastation zur Berechnung der Temperaturwerte herangezogen. Die für die Berechnung der phänologischen Mittelwerte (Laubentfaltung der Birke) benötigten Daten wurden mehreren Veröffentlichungen entnommen (Deutsche Meteorologische Jahrbücher 1945 bis 1960; F. SCHNELLE u. F. WITTERSTEIN 1952 u. 1964). Einige fehlende Werte wurden mit Hilfe zeitlich benachbarter anderer Phasen ergänzt. Die Temperaturschwellenwerte, die zu den phänologischen Terminen überschritten wurden, wurden nach der in der Klimatologie üblichen Methode unter Benutzung der Monatsmittelwerte der beiden zeitlich benachbarten Monate ermittelt. Die 30jährigen Mittelwerte (1931 bis 1960) der Lufttemperatur wurden einer Veröffentlichung von H. SCHIRMER (1969) entnommen oder dankenswerterweise vom Deutschen Wetterdienst zur Verfügung gestellt.

Nach der Zusammenstellung in Tabelle 2 liegen die Temperaturwerte am Beginn der Laubentfaltung der Birke bei den hier untersuchten 12 Stationen zwischen $8,1^{\circ}$ und $9,5^{\circ}$ C, im Mittel bei $9,0^{\circ}$ C. Die Gegenüberstellung der je 6 Stationen in tieferen und höheren Lagen zeigt einen Unterschied der mittleren Temperaturwerte von fast $\frac{1}{4}^{\circ}$ C. Im Mittel der 6 Stationen in tieferen Lagen (durchschnittliche Höhe 203 m) beginnt die Laubentfaltung am 17. April beim Überschreiten einer Durchschnittstemperatur von $9,4^{\circ}$ C, im Mittel der 6 Stationen in höheren Lagen (675 m)

Tabelle 2: Durchschnittstemperaturen (Tagesmittel °C) in tieferen (T) und höheren (H) Lagen im 30jährigen Mittel (1931—1960) beim Beginn der Laubentfaltung der Birke und der Laubverfärbung von Birke, Rotbuche und Eiche

Ort	m NN	Laub- entfaltung der Birke		Laubverfärbung von						Für Temperatur- berechnungen benutzte Klim- stationen		
		Tage seit 1. Jan.	Temp. °C	Birke		Buche		Eiche			Mittel: Bi, Bu, Ei	
				Tage seit 1. Jan.	Temp. °C	Tage seit 1. Jan.	Tage seit 1. Jan.	Tage seit 1. Jan.	Tage seit 1. Jan.		Temp. °C	
T Göttingen	150	111 21. 4.	9,0	276 3. 10.	10,7	282 9. 10.	286 13. 10.	281 8. 10.	9,9	Göttingen		
T Holzminden	120	110 20. 4.	9,3	279 6. 10.	10,9	285 12. 10.	289 16. 10.	284 11. 10.	10,2	Holzminden		
H Braunlage	607	124 4. 5.	8,1	276 3. 10.	8,5	—	—	—	—	Braunlage		
T Geisenheim	100	101 11. 4.	9,2	285 12. 10.	10,2	285 12. 10.	288 15. 10.	286 13. 10.	10,0	Geisenheim		
H Kl. Feldberg/T.	820	133 13. 5.	9,1	274 1. 10.	8,5	275 2. 10.	—	—	—	Kl. Feldberg/T.		
T Freiburg	300	99 9. 4.	9,5	287 14. 10.	10,3	290 17. 10.	294 21. 10.	290 17. 10.	9,8	Freiburg		
H Villingen	700	120 30. 4.	8,4	288 15. 10.	6,6	—	—	—	—	Villingen		
H Lenzkirch	810	126 6. 5.	8,3	279 6. 10.	10,1	—	—	—	—	Lenzkirch		
T Coburg	310	111 21. 4.	9,1	280 7. 10.	9,6	279 6. 10.	285 12. 10.	281 8. 10.	9,4	Coburg		
T Bamberg	240	110 20. 4.	9,5	287 14. 10.	8,9	291 18. 10.	290 17. 10.	289 16. 10.	8,5	Bamberg		
H Hof-Oberkotzau	480	122 2. 5.	9,1	272 29. 9.	9,5	278 5. 10.	276 3. 10.	275 2. 10.	9,1	Hof-Oberkotzau		
H Wunsiedel— Marktleuten	525	125 5. 5.	9,1	272 29. 9.	9,2	277 4. 10.	283 10. 10.	277 4. 10.	8,2	Selb— Weißenstadt		
Mittel von 6 Stationen in tieferen Lagen (T)	203	107 17. 4.	9,40	282 9. 10.	10,10	285 12. 10.	289 16. 10.	285 12. 10.	9,63			
Mittel von 6 Stationen in höheren Lagen (H)	675	125 5. 5.	8,68	277 4. 10.	8,73	(277) (4. 10.)	(280) (7. 10.)	(276) (3. 10.)	(8,65)			
Gesamtmittel von 12 Stationen	430	116 26. 4.	9,04	280 7. 10.	9,42							

am 5. Mai aber bei etwa $8,7^{\circ}$ C. Die hier sich zeigende Tendenz der durchschnittlich etwas niedrigeren Temperaturwerte bei höheren Lagen entspricht den Erfahrungen, die auch beim Vergleich von Eintrittsdaten phänologischer Phasen verschiedener landwirtschaftlicher Kulturpflanzen (z. B. Hafer, Winterroggen) mit den gleichzeitig erreichten Durchschnittstemperaturen gemacht wurden (F. SCHNELLE 1948 u. 1955). Je früher eine phänologische Phase infolge durchschnittlich höherer Temperaturen bei einem wärmeren Standort oder als Folge einer günstigeren Jahreswitterung eintritt, um so höher ist auch im allgemeinen der Wärmeanspruch. Je kürzer also die Zeit ist, die während der Pflanzenentwicklung für die Vorbereitung der betreffenden Phase bis zu ihrem Eintritt benötigt wird, um so höher ist die erforderliche Wärmemenge, um so geringer ist in diesem Fall der Nutzeffekt, mit dem die Pflanze arbeitet. Die durchschnittlich geringere Wärmezufuhr bis zu einem bestimmten phänologischen Termin in höheren Lagen wird dort im allgemeinen durch einen erhöhten Strahlungsgenuß ausgeglichen, da infolge des späteren Phasenbeginns bei zunehmender Höhe im Frühjahr die Strahlungsintensität im Durchschnitt schon beträchtlich zugenommen hat.

In der Klimatologie ist es üblich, zur zeitlichen Abgrenzung der Vegetationszeit die Termine des durchschnittlichen Überschreitens (im Frühjahr) und des Unterschreitens (im Herbst) einer Tagesmitteltemperatur von 5° C oder auch von 10° C zu benutzen. Im Hinblick auf die Länge der Vegetationszeit zumindest bei Waldbäumen in unseren Breiten erscheint im allgemeinen der Grenzwert von 5° C zu niedrig, der von 10° C aber zu hoch. In der Forstwirtschaft und -wissenschaft wird bei entsprechenden Untersuchungen meistens die 8° C-Grenze benutzt. Dieser Temperaturwert findet in den in der Tabelle 2 gezeigten Gegenüberstellungen 30jähriger Mittelwerte aus dem Frühjahr eine weitgehende Bestätigung. Wenn man berücksichtigt, daß die Aktivität der Bäume schon vor der ersten sichtbaren Phase der Laubentfaltung der Birke angeregt sein muß, also vor den in Tabelle 2 festgestellten Temperaturwerten (im Mittel 9° C), und wenn man ferner berücksichtigt, daß mit zunehmender Höhe diese Temperaturwerte etwas tiefer liegen, erscheint die Annahme einer *Grenztemperatur von 8° C als Näherungswert zur Kennzeichnung des allgemeinen Vegetationsbeginns der Waldbäume* als durchaus berechtigt.

b) Ende der Vegetationszeit

Das Ende der Vegetationszeit wird durch die phänologischen Herbstphasen Laubverfärbung (LV) und Blattfall (BF) der Laubbäume gekennzeichnet. In der Tabelle 2 sind für die gleichen 12 Stationen nur die 30jährigen Mittelwerte (1931 bis 1960) der Laubverfärbung von Weißbirke, Rotbuche und Stieleiche mit angegeben. Die Mittelwerte des Blattfalls werden aber im Text mit berücksichtigt.

Wegen des begrenzten Höhenvorkommens von Stieleiche und Rotbuche konnten für größere Höhenlagen nur Daten der Weißbirke mitgeteilt werden. Nach den bei phänologischen Beobachtungen geltenden Definitionen für diese Phasen wird der Zeitpunkt festgehalten, an dem 50 % der Blätter verfärbt (LV) bzw. abgefallen sind (BF). Bei den in Tabelle 2 aufgeführten Stationen erstreckt sich, wenn man alle Daten berücksichtigt, die Laubverfärbung von Birke, Rotbuche und Stieleiche im langjährigen Durchschnitt über einen Zeitraum von etwa 2½ Wochen von Ende September bis etwa Mitte Oktober. Der Blattfall erfolgt im Durchschnitt während der zweiten Hälfte des Oktober bis Anfang November. Nach den Mittelwerten setzt die Laubverfärbung zuerst bei der Birke ein. Dann folgt (in tieferen Lagen) nach durchschnittlich 3 Tagen die Rotbuche und nach weiteren 4 Tagen die Stieleiche. Beim Blattfall kommen zunächst praktisch zur gleichen Zeit die Birke und die Rotbuche und nach weiteren etwa 5 bis 6 Tagen die Stieleiche. Zwischen den beiden Phasen Laubverfärbung und Blattfall liegen sowohl bei der Birke als auch bei der Rotbuche und der Stieleiche im Mittel etwa 15 Tage. Bei den einzelnen Stationen beträgt der zeitliche Unterschied zwischen beiden Phasen ein und derselben Baumart etwa 1½ bis 3 Wochen. In der Tabelle 2 sind auch die Tagesmitteltemperaturen angegeben, die im langjährigen Durchschnitt (1931 bis 1960) beim Eintritt der Laubverfärbung und des Blattfalls der Birke und, soweit dies möglich war, im Mittel der drei Baumarten Birke, Rotbuche und Stieleiche unterschritten wurden. Diese Temperaturgrenzwerte, die bei den Herbstphasen etwas größere Schwankungen als im Frühjahr zeigen, liegen bei der Laubverfärbung der Birke, abgesehen von der stärkeren Abweichung in Villingen mit nur 6,6° C, zwischen 8,5° und 10° C und beim Blattfall, abgesehen von Villingen mit 4,8° C und Lenzkirch mit nur 4,3° C, zwischen 6,0° und 8,7° C. Die entsprechenden Temperaturschwellenwerte für die Mitteltermine der drei Baumarten (nur für niedere und mittelhohe Lagen) sind beim Laubfall 8,2° C bis 10,2° C und beim Blattfall 6,1° bis 8,3° C. Auch hier zeigt sich wie bei den entsprechenden Werten im Frühjahr ein deutlicher Unterschied zwischen den Stationen in tieferen und höheren Lagen, was sich jedoch nur bei der Birke, die in allen Höhenlagen beobachtet wurde, eindeutig feststellen läßt. Bei der Laubverfärbung der Birke beträgt der Temperaturgrenzwert im Mittel der hier untersuchten 6 Stationen in tieferer Lage 10,1° C, aber in höherer Lage nur 8,7° C. Beim Blattfall sind die entsprechenden Werte an Stationen in tieferer Lage 7,6° C und in höherer Lage 6,1° C.

Es zeigt sich also hier bei den Herbstphasen Laubverfärbung und Blattfall die gleiche Tendenz wie im Frühjahr, daß in den höheren Lagen diese Phasen erst beim Unterschreiten niedrigerer Temperaturwerte eintreten als in tieferen Lagen. Die Ursachen hierfür sind aber im Herbst

anderer Art als im Frühjahr. Während im Frühjahr der Pflanze einige Zeit hindurch eine gewisse Menge an Wärme- und Strahlungsenergie (behelfsmäßig erfaßt durch Temperaturmessungen) zugeführt werden muß, bis eine Wachstumsphase (z. B. Laubentfaltung) eintritt, wird die Herbstphase der Laubverfärbung verhältnismäßig kurzfristig ausgelöst, wenn infolge des allgemeinen Absinkens der Temperatur im Herbst beim Unterschreiten bestimmter Minimumwerte die Assimilationstätigkeit in den Zellen abgestoppt und damit gleichzeitig die Verfärbung der Blätter eingeleitet wird.

In einer früheren Untersuchung über die Abhängigkeit der Laubverfärbung von der Temperatur (F. SCHNELLE 1952) wurde festgestellt, daß die Verfärbung einsetzt, wenn etwa 5 Tage vorher das Minimum der Lufttemperatur die 5°C -Grenze unterschritten hat. Im langjährigen Durchschnitt entspricht einem Unterschreiten der 5°C -Grenze beim Minimum im Herbst etwa einem gleichzeitigen Wert von etwa 9°C der Tagesmitteltemperatur. Mit der Laubverfärbung ist danach im allgemeinen zu rechnen, wenn die Tagesmitteltemperatur die 9°C -Grenze unterschritten hat. Auch BÖER (1951) fand bei seinen Untersuchungen in Thüringen, daß die Laubverfärbung etwa beim Unterschreiten einer Tagesmitteltemperatur von 9°C einsetzt.

Diese mehrfach erfolgte Feststellung eines Temperaturschwellenwertes von etwa 9°C bei der Laubverfärbung ist allerdings eine starke Verallgemeinerung. In Wirklichkeit sind die Zusammenhänge komplizierter, wie aus folgenden Beispielen zu ersehen ist. So zeigte sich z. B. bei den früheren Untersuchungen über die Abhängigkeit der Laubverfärbung von der Temperatur, die an Beobachtungsmaterial aus verschiedenen Höhenlagen durchgeführt wurden, daß der Termin der Laubverfärbung nicht allein durch den Zeitpunkt des stärkeren Absinkens der Minimumtemperatur bestimmt wird. Geringe zeitliche Verschiebungen des zu erwartenden Termins der Laubverfärbung ergeben sich auch durch das Alter der Blätter. In tieferen Lagen, wo die Laubentfaltung im Frühjahr früher einsetzt, wo dann also im Herbst die Blätter beim ersten Einwirken niedrigerer Temperaturen schon älter sind als zur gleichen Zeit in höheren Lagen, beginnt die Laubverfärbung nach dem Absinken der Temperaturen unter 5°C etwas schneller. In höheren Lagen dagegen, wo die Blätter noch jünger und somit widerstandsfähiger gegen Einflüsse niedrigerer Temperaturen sind, beginnt die Laubverfärbung etwas später, als nach den in tieferen Lagen gewonnenen Erfahrungen anzunehmen ist. In höheren Lagen ist also bei der Laubverfärbung der Temperaturschwellenwert im allgemeinen etwas niedriger als in tieferen Lagen, was sich auch bei den Stationen in Tabelle 2 gezeigt hatte.

Wie kompliziert die Zusammenhänge zwischen dem Termin der Laubverfärbung und dem gleichzeitigen Temperaturmittelwert sind, geht auch aus folgendem hervor. Im allgemeinen ist zu erwarten, daß in niedrigen Lagen wegen der dort durchschnittlich höheren Temperaturen das Absinken des Minimums der Lufttemperatur unter die 5° C-Grenze und damit auch der Beginn der Laubverfärbung erst später erreicht wird als in höheren Lagen. Daß dies jedoch oft nicht der Fall ist und in tieferen Lagen trotz höherer Tagesmitteltemperaturen schon zu einem früheren Termin tiefere nächtliche Minimumtemperaturen erreicht werden, liegt vor allem daran, daß die Tagesschwankung der Lufttemperatur in tieferen Lagen verhältnismäßig groß ist, mit zunehmender Höhe aber ständig geringer wird. Bei gleicher Tagesmitteltemperatur von z. B. 9° C ist also in tieferen Lagen die Wahrscheinlichkeit größer, daß das nächtliche Minimum von etwa 5° C früher unterschritten wird als in höheren Lagen.

Diese allgemein festzustellende Zunahme der Tagesschwankung der Lufttemperatur mit abnehmender Höhe wird häufig noch durch besondere lokalklimatische Bedingungen verstärkt, was vor allem im Gebirge zu beobachten ist (F. SCHNELLE 1972). Wenn sich nämlich die nächtliche Kaltluft in tief eingeschnittenen Talabschnitten sammelt und durch Talverengungen gestaut wird, können dort wegen der noch größeren Tagesschwankung der Lufttemperatur früher tiefe Minimumtemperaturen unter 5° C erreicht werden als in höheren freien Lagen, wo die entstehende nächtliche Kaltluft leicht in die benachbarten Täler abfließen kann. Es kommt dann oft zu den im Gebirge zu beobachtenden Umkehrungen, daß in tieferen Talabschnitten das Laub schon weitgehend verfärbt ist, während an den hochliegenden Talhängen und am oberen Talausgang die Blätter noch grün sind oder die Laubverfärbung erst kaum begonnen hat. Je weiter also in höheren Lagen infolge der relativ günstigeren Klimaverhältnisse (kleinere Schwankungen der Lufttemperatur) die Termine der Laubverfärbung hinausgeschoben werden, um so niedriger liegen auch die Werte der Tagesmitteltemperatur, die zum Zeitpunkt des betreffenden Phaseneintritts unterschritten werden.

Infolge besonderer Witterungserscheinungen kann aber auch die umgekehrte Wirkung erreicht werden. Wenn in muldenartigen Geländeabschnitten, die auch in größerer Meereshöhe, aber zu Nachbargebieten relativ tief liegen können, zur Zeit des Endes der Vegetationszeit, also zur Zeit des zu erwartenden Beginns der Laubverfärbung, infolge besonderer Herbstwetterlagen häufiger mit tiefer liegenden Wolkendecken zu rechnen ist, kann infolge des nächtlichen Ausstrahlungsschutzes und des hierdurch verhinderten stärkeren Absinkens der nächtlichen Minimumtemperatur der Termin des Beginns der Laubverfärbung gegenüber den benachbarten höheren, über der Wolkendecke liegenden Gebieten hinausgezögert wer-

den. Ein Beispiel hierfür ist die in Tabelle 2 angegebene Station Villingen am Nordrand der Baar in 700 m Höhe. Die Laubverfärbung tritt hier verhältnismäßig spät, fast zum gleichen Termin wie in dem über 400 m tiefer liegenden Freiburg, ein. Die Baar und ihre Randgebiete liegen im Herbst oft unter einer Wolkendecke, während die angrenzenden höheren Gebiete des Schwarzwaldes, z. B. bei der Station Lenzkirch in 810 m Höhe, meistens schon über die Wolkendecke hinausragen. In Lenzkirch beginnt die Laubverfärbung im Durchschnitt bereits 9 Tage früher als in Villingen. Damit ist auch in diesem Fall, umgekehrt als sonst, der Schwellenwert der Tagesmitteltemperatur zum Zeitpunkt der Laubverfärbung bei der höher liegenden Station Lenzkirch höher als bei der niedriger liegenden Station Villingen.

Infolge dieser wechselnden Einflüsse, die leicht zu einer mehr oder weniger starken Verschiebung des Termins der Laubverfärbung und damit auch weitgehend des Blattfalls führen können, ergeben sich häufig Abweichungen von den Terminen, die zunächst erwartet werden.

Wenn man davon ausgeht, daß zur Zeit der Laubverfärbung die Assimilationstätigkeit und damit auch die Vegetationszeit beendet sind und wenn man weiter diese verschiedenartigen Zusammenhänge zwischen der Lufttemperatur und dem Termin der Laubverfärbung berücksichtigt, deren Auswirkung bei dieser Herbstphase eine größere Schwankungsbreite als bei den Frühjahrsphasen zeigt, erscheint es berechtigt, eine Grenztemperatur von 8°C als Näherungswert zur Kennzeichnung des allgemeinen Endes der Vegetationszeit der Laubbäume anzunehmen.

Dieser zunächst nur für die Laubbäume angenommene Grenzwert von 8°C kann wohl auch mit einigem Vorbehalt für die Nadelbäume gelten. Es ist anzunehmen, daß auch die Assimilationstätigkeit der Nadelbäume, bei denen eine phänologische Herbstphase außer bei Lärche fehlt, etwa vom Zeitpunkt der Verfärbung der Laubbäume an im wesentlichen eingestellt ist. Das Dickenwachstum der Nadelbäume hat, wie bereits oben gezeigt wurde, ohnehin schon etwa $2\frac{1}{2}$ Wochen vorher völlig aufgehört.

Der Zeitraum vom Überschreiten der Tagesmitteltemperatur von 8°C im Frühjahr bis zum Unterschreiten des gleichen Temperaturwertes von 8°C im Herbst gibt also nach diesen Untersuchungen als Näherungswert einen brauchbaren Maßstab für die Länge der Vegetationszeit im langjährigen Durchschnitt und damit einen geeigneten Ausgangswert für weitere Untersuchungen der Zusammenhänge zwischen Klimabedingungen und Pflanzenwachstum. Damit finden auch die bisherigen forstklimatologischen Untersuchungen, die aufgrund praktischer Erfahrungen von den gleichen Temperaturgrenzwerten von 8°C ausgegangen sind, eine Bestätigung.

B. Großräumige Unterschiede des phänologischen Ablaufs während der Vegetationszeit – Phänologische Profile

1. Phänologische Profile vom Maitrieb der Fichte im Spätfrühling

Bevor die regionalen Unterschiede der Vegetationszeiten bei Waldbäumen näher untersucht werden, ist es notwendig, sich ein Bild von den großräumigen Unterschieden des phänologischen Ablaufs während der Vegetationszeit zu machen. Einen Einblick in die wesentlichen großräumigen vertikalen und horizontalen Unterschiede des phänologischen Geschehens während der Vegetationszeit vermitteln phänologische Profile.

Die Profiltafel 1 zeigt drei solche Profile am Beispiel der Phase „Maitrieb der Fichte“. Der erste Schnitt verläuft vom Harz (Station Oderbrück) in südsüdwestlicher Richtung über die Rhön, den vorderen Odenwald (Melibocus) zum Nordschwarzwald (Hornisgrinde), der zweite vom Harz (Oderbrück) in südsüdöstlicher Richtung über den Frankenwald und das Fichtelgebirge (Schneeberg) zum Bayerischen Wald (Großer Falkenstein) und der dritte vom Nordschwarzwald (Hornisgrinde) in westöstlicher Richtung über die Schwäbische und Fränkische Alb zum Bayerischen Wald (Großer Falkenstein). In diese stark überhöhten Profile sind die Linien gleichen Phasenbeginns mit fünftägigem Abstand eingezeichnet. Diese Linien, die die Gebirge in verschiedenen Höhen schneiden, geben in dem großräumigen Profildreieck ein generalisiertes Bild des unterschiedlichen Beginns des Maitriebs der Fichte in dem gesamten Raum von Nord- bis Süddeutschland.

In den beiden vom Harz ausgehenden Profilen steigen die Linien gleichen Phasenbeginns nach Süden zu annähernd gleichmäßig an. Am Nordschwarzwald-Nordhang und am Bayerischen Wald (Großer Falkenstein) beginnt im langjährigen Durchschnitt der Maitrieb der Fichte bei gleicher Höhenlage (z. B. bei 500 m) etwa 5 Tage früher als am Südhang des Harzes. Der Nordhang des Harzes zeigt gegenüber dem Südhang nochmals eine Verzögerung von etwa 2 Tagen. Auf dem West-Ost-Profil vom Nordschwarzwald zum Bayerischen Wald verlaufen die Linien nach Osten zu nur mit einer sehr geringen Steigung. Am Bayerischen Wald beginnt der Maitrieb der Fichte in gleicher Höhenlage nur um etwa 2 Tage früher als am Osthang des Nordschwarzwaldes. Der wärmebegünstigte Westhang des Schwarzwaldes zur Rheinebene zeigt mit etwa 2 Tage höher liegenden Linien den gleichen Phasenbeginn wie der Bayerische Wald.

2. Unterschiede des Vegetationsablaufs innerhalb des Jahres

Der beim Maitrieb der Fichte festgestellte fast horizontale Verlauf der Linien gleichen Phasenbeginns von West nach Ost bleibt nicht während der ganzen Vegetationszeit bestehen. Vielmehr zeigen sich im Verlauf des Jahres typische Veränderungen, wie bei früheren Untersuchungen (F.

SCHNELLE 1953, F. SCHNELLE u. F. WITTERSTEIN 1970) mit Hilfe phänologischer Karten aus allen Jahreszeiten festgestellt wurde. Hierbei handelte es sich jedoch vor allem um Bearbeitungen phänologischer Phasen verschiedener landwirtschaftlicher Kulturpflanzen (z. B. Hafer-Aussaat, Apfel-Blüte, Winterroggen-Ernte und -Aussaat). Da aber sowohl die landwirtschaftlichen Kulturpflanzen als auch die Waldbäume wie überhaupt alle Pflanzen den gleichen Klimaeinflüssen unterliegen und mit einer entsprechenden Beschleunigung oder Verzögerung der Wachstumsgeschwindigkeit auf die durch den Jahresrhythmus des Klimas bedingten Unterschiede reagieren, können die bei diesen Untersuchungen über den jahreszeitlich wechselnden Einfluß des Klimas an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen gewonnenen Ergebnisse bis zu einem gewissen Grade auch auf die Waldbäume übertragen werden. Es lassen sich so zumindest die allgemein gültigen Gesetzmäßigkeiten des Wachstumsrhythmus der Waldbäume im Jahresablauf in groben Zügen erkennen.

Nach diesen Ergebnissen, die sich bei wiederholten Untersuchungen immer wieder in ihren Grundzügen bestätigt haben, ist im Frühjahr zur Zeit des Vegetationsbeginns der Westen Deutschlands unter dem maritimen Einfluß zu dieser Jahreszeit noch wärmer als der kontinentale Osten, so daß dann in gleichen Höhenlagen im Nordschwarzwald die Pflanzenentwicklung schon weiter fortgeschritten ist als im Bayerischen Wald. Die Linien gleichen Phasenbeginns sind dann auf einem entsprechenden West-Ost-Profil nach dem Bayerischen Wald zu geneigt. Bei fortschreitender Jahreszeit holt mit zunehmender kontinentaler Erwärmung im Osten die Pflanzenentwicklung im Bayerischen Wald so weit auf, daß sie dem Entwicklungsstand im Nordschwarzwald entspricht. Es ist der Zeitpunkt, in dem die Linien gleichen Phasenbeginns horizontal verlaufen, wie dies etwa in Profiltafel 1 am Beispiel der Phase des Maitriebs der Fichte gezeigt wurde, wo dieses Stadium gerade überschritten ist.

Im Hochsommer hat der dann durch den kontinentalen Einfluß stärker aufgeheizte Osten in der Pflanzenentwicklung einen deutlichen Vorsprung gegenüber dem jetzt durchschnittlich etwas kühleren und damit in der Entwicklung deutlich zurückgebliebenen Westen. Ein Beispiel für dieses Stadium ist in Profiltafel 2 die Profildarstellung des Beginns der Winterroggen-Ernte (der Zeitpunkt der Reife des Winterroggens, aber nicht der Zeitpunkt der Mähdruschernte) nach einer im Atlas der deutschen Agrarlandschaft erschienenen Mittelwertskarte (F. SCHNELLE u. F. WITTERSTEIN 1971). Hier im Hochsommer sind die Linien gleichen Phasenbeginns nach dem Nordschwarzwald zu geneigt. Im Osten ist jetzt der Bayerische Wald begünstigt. Bei gleicher Höhenlage hat der Bayerische Wald jetzt einen zeitlichen Vorsprung von fast 10 Tagen vor dem Ostrand des Nordschwarzwaldes.

Nach dem Herbst zu nimmt dann die vorhergehende sommerliche Begünstigung des Pflanzenwachstums im Osten wieder in stärkerem Maße ab, während der Westen im Vergleich hierzu jetzt wieder relativ günstigere Bedingungen aufweist.

Von Interesse ist die Auswirkung des klimabedingten Jahresrhythmus auf die unterschiedliche Länge der Vegetationszeit im Westen und Osten. In Profiltafel 2 ist auch das West-Ost-Profil der landwirtschaftlichen Vegetationszeit dargestellt, das nach einer ebenfalls im Atlas der deutschen Agrarlandschaft erschienenen Karte (F. SCHNELLE u. F. WITTERSTEIN 1971) bearbeitet wurde. Diese landwirtschaftliche Vegetationszeit wurde im Frühjahr durch den Beginn der Hafer-Aussaat und im Herbst durch den Termin des Unterschreitens einer 5°C -Tagesmitteltemperatur abgegrenzt. Die so gewonnene Länge der landwirtschaftlichen Vegetationszeit ist zwar länger als die Vegetationszeit der Waldbäume, aber die Darstellung in Profiltafel 2 gibt ein gutes Bild von den charakteristischen West-Ost-Unterschieden der Vegetationszeit auch bei den Waldbäumen. Bei gleicher Höhenlage ist die landwirtschaftliche Vegetationszeit im Westen etwa 10 Tage länger als im Osten. Bei der kürzeren Vegetationszeit der Waldbäume wird dieser zeitliche Unterschied geringer, er wird aber noch einige Tage betragen.

Während also im Hochsommer zur Zeit der Winterroggen-Ernte die Pflanzenentwicklung im Osten im Bayerischen Wald mehr begünstigt wird als im Westen im Nordschwarzwald, hat die Begünstigung der gesamten Pflanzenentwicklung, wenn man die Gesamtlänge der Vegetationszeit in Betracht zieht, im Osten deutlich abgenommen. Die Unterschiede zwischen West und Ost, die die Wachstumsbedingungen der Pflanzen bei Betrachtung der Gesamtvegetationszeit im Westen etwas günstiger erscheinen lassen, können durch die stärkere Begünstigung während des Hochsommers im Osten bis zu gewissem Grade ausgeglichen werden.

Auf den Nord-Süd-Profilen, wie sie in Profiltafel 1 für die Phase Maitrieb der Fichte dargestellt sind, steigen die Linien gleichen Phasenbeginns in den verschiedenen Jahreszeiten mehr oder weniger stark nach Süden zu an. Da es in Nord-Süd-Richtung stets wärmer wird, wird der Beginn einer Phase bei gleicher Höhenlage im Süden sowohl im Nordschwarzwald als auch im Bayerischen Wald stets früher erreicht als im Harz. Nur je nach der Jahreszeit, ob mehr der Westen oder mehr der Osten begünstigt ist, steigen die Linien gleichen Phasenbeginns nach Süden zu stärker oder schwächer an. Zur Zeit des Vegetationsbeginns, wenn der Westen mehr begünstigt ist, steigen die Linien vom Harz zum Nordschwarzwald stärker an als vom Harz zum Bayerischen Wald. Dagegen steigen umgekehrt im Hochsommer, wenn der Osten mehr begünstigt ist, die Linien vom Harz zum Bayerischen Wald stärker an. In der Übergangszeit vom Spätfrühling zum Frühsommer steigen die Linien in beiden Nord-

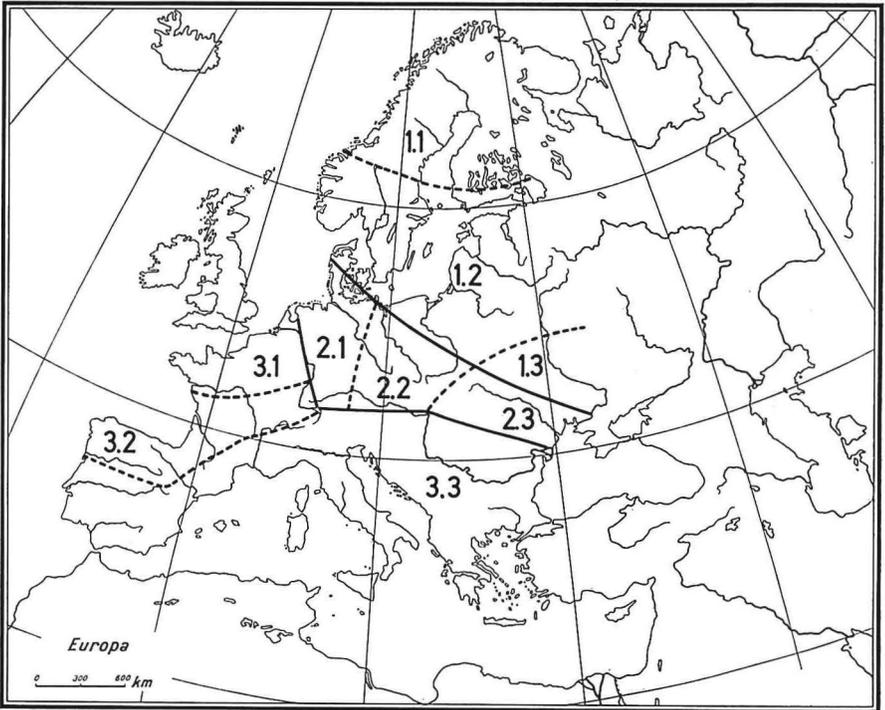
Süd-Profilen gleichmäßig an, wie dies annähernd beim Maitrieb der Fichte der Fall ist.

3. Gesetzmäßigkeiten des phänologischen Jahresablaufs, auf Europa übertragen

Die jahreszeitlichen Unterschiede im Vegetationsablauf, wie sie bereits in Mitteleuropa im Raum der deutschen Mittelgebirge deutlich in Erscheinung treten, werden wesentlich größer, wenn der gesamte europäische Raum in die Betrachtung einbezogen wird. Eine Möglichkeit hierzu geben die bis jetzt erschienenen phänologischen Europakarten (F. SCHNELLE 1965 u. 1970). Bei diesen Karten handelt es sich auch nicht um die Bearbeitung phänologischer Phasen von Waldbäumen, wofür ausreichendes Beobachtungsmaterial bisher nicht zur Verfügung stand, sondern um die Darstellung phänologischer Phasen landwirtschaftlicher Kulturpflanzen mit Einzelphasen aus verschiedenen Jahreszeiten (Sommergetreide-Aussaat, Apfel-Blüte, Winterweizen-Ährenschieben, Winterweizen-Ernte und Winterweizen-Aussaat) und mit den aus Einzelphasen sich ergebenden Teilabschnitten und der Gesamtlänge der Vegetationszeit. Aber auch aus diesen phänologischen Karten landwirtschaftlicher Kulturpflanzen lassen sich die für Europa geltenden Gesetzmäßigkeiten des Vegetationsablaufs ablesen, die wie für alle Pflanzen so auch für die Waldbäume gültig sind.

In der Textabbildung ist eine Übersichtskarte von Europa mit einer Darstellung von 9 Teilgebieten mit verschiedenartigem Charakter der Vegetationszeit gegeben. Zunächst werden drei Hauptgebiete mit verschiedener Länge der Gesamtvegetationszeit unterschieden, die hier durch den Zeitraum zwischen der Sommergetreide-Aussaat im Frühjahr und der Winterweizen-Aussaat im Herbst abgegrenzt wird. Danach liegt das Gebiet mit kürzerer Vegetationszeit (kürzer als die mittlere Vegetationszeit, die aus 80 gleichmäßig über Europa verteilten Stationen berechnet wurde) in Nord- und Osteuropa, das in Südosteuropa bis an den Ostteil des Schwarzen Meeres stößt. Das Gebiet mit längerer Vegetationszeit als im Mittel erstreckt sich von den Britischen Inseln über ganz West- und Südeuropa bis in den Raum des östlichen Mittelmeeres und bis zum Westufer des Schwarzen Meeres. Zwischen diesen beiden extremen Gebieten mit kürzerer und längerer Vegetationszeit liegt ein Übergangsbereich mit annähernd mittlerer Dauer der Vegetationszeit, das sich von der Nordsee- und westlichen Ostseeküste ausgehend durch Mitteleuropa in allgemein südöstlicher Richtung erstreckt und als allmählich schmaler werdendes Band bei Odessa bis zum Schwarzen Meer reicht.

Jedes dieser drei Hauptgebiete mit unterschiedlicher Gesamtlänge der Vegetationszeit ist nochmals in drei Untergebiete geteilt. Zu dieser Unterteilung der Gesamtvegetationszeit diente der Zeitpunkt des Beginns der



Neun Typen des phänologischen Jahresablaufs in Europa (mit Erläuterungsschema)
(Kartengrundlage: Westermanns Umrißkarte Europa)

Haupt- und Untertypen (UT)	Sommergetreide-Aussaat	Winterweizen	
		Aussaat	Ernte
1. Haupttyp	sehr spät		sehr früh
1.1 Erster UT	sehr spät	sehr spät	sehr früh *)
1.2 Zweiter UT	sehr spät	sehr spät	sehr früh
1.3 Dritter UT	etwas verspätet	sehr früh	sehr früh
2. Haupttyp	etwas verspätet bis verfrüht		etwas verspätet bis verfrüht
2.1 Erster UT	etwas verspätet	etwas verspätet	etwas verspätet
2.2 Zweiter UT	normal	normal	normal
2.3 Dritter UT	etwas verfrüht	sehr früh	etwas verfrüht
3. Haupttyp	sehr früh		sehr spät
3.1 Erster UT	sehr früh	etwas verspätet	sehr spät
3.2 Zweiter UT	sehr früh	etwas verfrüht	sehr spät
3.3 Dritter UT	sehr früh	sehr früh	sehr spät

*) Aussaat früher als Ernte

Die Ausdrücke: sehr spät, etwas verspätet, etwas verfrüht, sehr früh bezeichnen verschiedene Grade der Verzögerung oder Verfrühtung der phänologischen Phasen gegenüber dem Gebietsmittel; unter „normal“ ist keine Abweichung vom Mittel zu verstehen.

Winterweizen-Ernte im Hochsommer mit seinen verschiedenen Abweichungen vom Mittelwert. Aus dem früheren oder späteren Beginn der Winterweizen-Ernte und damit auch des Hochsommers ist auch auf eine mehr oder weniger früher oder später einsetzende stärkere Begünstigung des Pflanzenwachstums zu schließen. Je früher der Erntetermin liegt, um so früher und damit um so mehr gelangen auch die Waldbäume infolge höherer Temperaturen bei gleichzeitig verlängerter Vegetationszeit in den Genuß allgemein besserer Wachstumsbedingungen.

Die Unterteilung der drei Hauptgebiete erfolgt jedesmal ausgehend von einem Untergebiet im Norden mit späterem Erntetermin, also mit durchschnittlich ungünstigeren Wachstumsbedingungen während der Vegetationszeit in Süd- bzw. Südostrichtung über ein Untergebiet mit mittlerem Erntetermin bis zum dritten Untergebiet mit durchschnittlich früherer Ernte und damit auch mit früher und in viel stärkerem Maße einsetzenden günstigeren Wachstumsbedingungen im Sommer. Die Abgrenzung der 9 Teilgebiete ist im einzelnen aus der Übersichtskarte zu ersehen.

Die temperaturbedingte Länge der Vegetationszeit in den verschiedenen Teilgebieten (Untertypen) kann von den Pflanzen voll ausgenutzt werden, wenn in dieser Zeit ausreichend Niederschlag zur Verfügung steht. Im allgemeinen ist dies in den meisten Gebieten Europas der Fall, wenn nicht in einzelnen Jahren durch längere Trockenperioden mehr oder weniger starke Behinderungen im Pflanzenwachstum auftreten. Nur in vielen zu den Untertypen 3.3, 2.3 und 1.3 gehörenden Gebieten wird durch die im Sommer regelmäßig eintretende Trockenperiode das Pflanzenwachstum in jedem Jahr längere Zeit in stärkerem Maße behindert. Die während der Vegetationszeit angebotene Wärme und Strahlung kann dort von den Pflanzen nur voll ausgenutzt werden, wenn gleichzeitig genügend Wasser, z. B. durch Bewässerung oder Beregnung, zur Verfügung steht.

Es ist anzunehmen, daß diese sich hier in den großräumigen Unterschieden der Vegetationszeit zeigenden Gesetzmäßigkeiten auch von entscheidendem Einfluß auf die Wachstumsmöglichkeiten der Waldbäume und vor allem auf den wechselnden Rhythmus im jährlichen Wachstumsverlauf in den verschiedenen Teilen Europas sind.

Die Höhenunterschiede der Länge der Vegetationszeit, die für den Waldbau in Gebirgslagen von besonderem Interesse sind, zeigen überall die gleiche Tendenz. Mit zunehmender Höhe nimmt die Gesamtlänge der Vegetationszeit naturgemäß ab. Aber im Verlauf der Vegetationszeit ergeben sich zwischen tieferen und höheren Lagen interessante Unterschiede im früheren oder späteren Einsetzen günstigerer Wachstumsbedingungen. Eine Vorstellung hiervon vermitteln frühere Untersuchungen (F. SCHNELLE 1952 u. 1970) über den Entwicklungsrhythmus des Getreides, und zwar des Hafers und des Winterweizens in verschiedenen Höhenlagen. Hierbei

zeigte sich in gleicher Weise bei beiden Getreidearten ein grundsätzlicher Unterschied zwischen dem ersten und zweiten Wachstumsabschnitt, d. h. zwischen der vegetativen Phase des Wachstums im Frühjahr von der Sommergetreide-Aussaat bis zum Erscheinen der ersten Rispen bzw. der ersten Ähren des Winterweizens und der anschließenden generativen Phase bis zur Hafer- bzw. Winterweizen-Ernte. Die erste, vegetative Phase ist in tieferen Lagen (etwa 100 bis 200 m Höhe) stets länger als in höheren Lagen (500 m und mehr). Die zweite, generative Phase ist aber umgekehrt in tieferen Lagen kürzer als in höheren Lagen.

Damit ergibt sich auch für die Waldbäume die Tatsache, daß die im Frühjahr für die erste Entwicklung der Pflanzen erforderlichen Wachstumsbedingungen in tieferen Lagen zunächst langsamer angeboten werden als in höheren Lagen, wo die Entwicklung zwar später beginnt, dann aber infolge der inzwischen schon fortgeschrittenen und damit wärmeren sowie strahlungsreicheren Jahreszeit in kürzerer Zeit schnell aufholt. Im weiteren Wachstumsverlauf steht das gleiche Ausmaß günstiger Wachstumsbedingungen in tieferen Lagen in kürzerer Zeit zur Verfügung als in höheren Lagen, wo daher dann die Entwicklung entsprechend langsamer vorangeht.

Da die bis zum Vegetationsende verbleibende restliche Zeit in tieferen Lagen länger ist als in höheren Lagen, ergeben sich selbstverständlich für die gesamte Vegetationszeit in tieferen Lagen im allgemeinen günstigere Wachstumsbedingungen.

Es ergibt sich somit bei den Waldbäumen ebenfalls ein in der zeitlichen Verteilung unterschiedliches Angebot der Wachstumsbedingungen in verschiedenen Höhenlagen, das sich in wechselnden Zeitabschnitten mit Beschleunigung oder Verzögerung des Pflanzenwachstums auswirkt: in tieferen Lagen zunächst langsamer, dann schneller, in höheren Lagen aber umgekehrt zunächst schneller und dann langsamer.

C. Kleinräumige Unterschiede der Vegetationszeit von Waldbäumen in deutschen Mittelgebirgen — Kennzeichnung der Vegetationszeit durch Klimadaten

Um zu zeigen, mit welchen Änderungen der Vegetationszeit von Waldbäumen in den deutschen Mittelgebirgen zu rechnen ist, wurden auf drei West-Ost-Schnitten

1. im Norden von der Kölner Bucht über das Rothaargebirge bis zum Harz,
2. in der Mitte vom Taunus über Vogelsberg und Rhön bis zum Fichtelgebirge und
3. im Süden vom Schwarzwald bis zum Bayerischen Wald

für die Klimastationen, an denen Temperaturbeobachtungen durchgeführt werden, die zur Kennzeichnung der Vegetationszeiten erforderlichen Tem-

peraturwerte errechnet. Es wurden folgende aus den üblichen Klimabeobachtungen gewonnenen Daten und Werte benutzt:

1. Datum des Überschreitens einer Tagesmitteltemperatur von 8°C im Frühjahr = Beginn der Vegetationszeit,
2. Datum des Unterschreitens einer Tagesmitteltemperatur von 8°C im Herbst = Ende der Vegetationszeit,
3. Andauer zwischen dem Über- und Unterschreiten einer Tagesmitteltemperatur von 8°C = Länge der Vegetationszeit und
4. Summe der Tagesmitteltemperaturen über 8°C (Summe der täglichen Temperaturwerte, die über 8°C Tagesmitteltemperatur liegen, somit also für die Zeit vom Über- bis Unterschreiten einer Temperatur von 8°C) = Näherungswert zur vergleichenden Abschätzung der Gunst oder Ungunst der Wachstumsbedingungen während der Vegetationszeit.

An einer Auswahl von diesen Stationen mit sehr frühen und späten bzw. sehr hohen und niedrigen Werten werden im folgenden sowohl die bei Nord-Süd- als auch bei West-Ost-Vergleichen auftretenden Unterschiede gezeigt. Für diese Vergleiche werden in den meisten Fällen Mittelwerte benutzt, die jeweils von einigen Stationen in annähernd ähnlicher Höhenlage gewonnen wurden. So wurden die durch abweichende lokal-klimatische Bedingungen verursachten geringeren Schwankungen der Werte ausgeglichen. In einigen Fällen wird auch gezeigt, welche größeren Abweichungen bei Stationen in besonderen Lagen (z. B. engen Tälern) eintreten können.

In der Tabelle 3 sind für jeden der drei West-Ost-Schnitte die Stationen mit extrem günstigen und ungünstigen Werten, also Stationen in sehr tiefen und sehr hohen Lagen (im Mittel um 800 m), zusammengestellt. Zum Vergleich werden auch Stationen aus mittleren Höhenlagen (im Mittel um 530 m) mit angegeben. Um die Berechnung der extremen Unterschiede in den untersuchten Mittelgebirgen zu ermöglichen, enthält die Tabelle 3 auch noch die entsprechenden Angaben der Stationen mit Höhen über 800 m, so auf dem West-Ost-Schnitt Mitte die Station Wasserkuppe (921 m) in der Rhön und auf dem West-Ost-Schnitt Süd die Stationen Hornisgrinde (1140 m) und Feldberg (1486 m) im Schwarzwald sowie Großer Falkenstein (1307 m) im Bayerischen Wald.

1. Maximale Unterschiede der Vegetationszeit der Waldbäume in deutschen Mittelgebirgen

Die maximalen Unterschiede der Länge der Vegetationszeit und der für diese Zeit berechneten Temperatursummen im Bereich der deutschen Mittelgebirge ergeben sich aus dem Vergleich der Stationen in günstigster (tiefer) und ungünstigster (sehr hoher) Lage, die in Tabelle 3 in jedem der drei West-Ost-Schnitte besonders gekennzeichnet (0) sind.

Tabelle 3: Nord-Süd-Vergleiche der drei West-Ost-Schnitte in verschiedenen Höhenlagen
 Extreme Werte: 0

Klimastation		Meereshöhe m	Beginn der Datum	Ende der Vegetationszeit Datum	Andauer Tage	Summe der Tagesmittel- temperaturen über 8°C
1. Tiefe Lagen						
Nord	Leverkusen	44	1. 4.	27. 10.	209	1446
	Düsseldorf	36	1. 4.	29. 10.	211	1423
	0 Bonn	61	1. 4.	2. 11.	215	1427
	Mittel	47	1. 4.	30. 10.	212	1432
Mitte	Geisenheim	109	1. 4.	27. 10.	209	1436
	Mainz - Universität	123	1. 4.	26. 10.	208	1461
	0 Mainz - Weisenau	88	1. 4.	27. 10.	209	1502
	Mittel	107	1. 4.	27. 10.	209	1466
Süd	Freiburg - Botanischer Garten	259	28. 3.	29. 10.	215	1548
	0 Bühlertal	190	26. 3.	31. 10.	219	1540
	Bühl	139	30. 3.	28. 10.	211	1487
	Mittel	196	28. 3.	29. 10.	215	1525
	Differenz: Süd - Nord (Tage bzw. Temp.)		— 3	— 1	3	93
2. Mittelhohe Lagen						
Nord	Hahnenklee	560	1. 5.	8. 10.	160	758
	Clausthal - Zellerfeld	566	1. 5.	8. 10.	160	754
	Torfhaus im Solling	491	1. 5.	9. 10.	161	762
	Mittel	539	1. 5.	8. 10.	160	758
Mitte	Mappersheim	496	20. 4.	17. 10.	180	983
	Kemel	532	21. 4.	15. 10.	177	946
	Platz	540	21. 4.	11. 10.	173	933
	Mittel	523	21. 4.	14. 10.	176	954
Süd	Hechingen	537	16. 4.	18. 10.	185	1110
	Kaisheim - NeuhoF	516	17. 4.	13. 10.	179	1067
	Parsberg	525	17. 4.	16. 10.	182	1119
	Mittel	526	17. 4.	16. 10.	182	1099
	Differenz: Süd - Nord (Tage bzw. Temp.)		— 14	8	22	341
3. Hohe Lagen						
Nord	Kahler Asten	835	11. 5.	29. 9.	141	498
	Altastenberg	780	10. 5.	3. 10.	146	555
	0 Hoher Meißner	750	11. 5.	21. 9.	133	456
	Mittel	788	11. 5.	28. 9.	140	503
Mitte	Kl. Feldberg - Taunus	805	6. 5.	4. 10.	151	645
	Rhönhof	785	6. 5.	4. 10.	151	651
		Mittel	795	6. 5.	4. 10.	151
0	Wasserkuppe	921	12. 5.	29. 9.	140	499
Süd	Freudenstadt - Kienberg	797	30. 4.	10. 10.	163	768
	Heuberg	840	30. 4.	7. 10.	160	776
	Rusel - Irlmoos	804	29. 4.	11. 10.	165	837
	Mittel	814	30. 4.	9. 10.	162	794
0	Hornisgrinde	1140	15. 5.	30. 9.	138	496
	Gr. Falkenstein	1307	25. 5.	24. 9.	122	340
	Feldberg	1486	5. 6.	18. 9.	105	208
	Differenz: Süd - Nord (Tage bzw. Temp.)		— 11	11	22	291
4. Extreme Unterschiede						
Nord	Bonn - Hoher Meißner	689	— 40	42	82	971
Mitte	Mainz-Weisenau - Wasserkuppe	833	— 41	28	69	1003
Süd	Bühlertal - Feldberg	1296	— 71	43	114	1332

Danach beträgt auf dem West-Ost-Schnitt Nord an der sehr günstigen Station Bonn die Länge der Vegetationszeit 215 Tage, an der ungünstigen Station Hoher Meißner nur 133 Tage, der Unterschied zwischen beiden Stationen also 82 Tage. Die für diese Zeitabschnitte berechneten Temperatursummen erreichen in Bonn einen Wert von 1427°C und auf dem Hohen Meißner nur einen Wert von 456°C , so daß sich hier eine Differenz von etwa 970°C ergibt.

Auf dem West-Ost-Schnitt Mitte liegen die entsprechenden extremen Werte der Vegetationszeit an der sehr günstigen Station Mainz-Weisenau bei 209 Tagen und an der sehr ungünstigen Höhenstation Wasserkuppe bei 140 Tagen, so daß sich die Vegetationszeit zwischen beiden extremen Stationen um 69 Tage verkürzt. Für Mainz-Weisenau wurde eine Temperatursumme von 1502°C und für die Wasserkuppe eine solche von 499°C und damit eine Differenz von 1003°C errechnet.

Die größten Unterschiede sind auf dem West-Ost-Schnitt Süd im Schwarzwald festzustellen, und zwar mit einer Vegetationszeit von 219 Tagen an der Station Bühlertal und von 105 Tagen auf dem Feldberg sowie mit einer Temperatursumme von 1540°C in Bühlertal und von nur 208°C auf dem Feldberg. Die Differenzen betragen daher bei der Vegetationszeit 114 Tage und bei der Temperatursumme 1332°C .

Diese im Schwarzwald beobachteten Unterschiede von fast 4 Monaten bei der Vegetationszeit bzw. von über 1300°C bei der Temperatursumme sind gleichzeitig auch die größten in dem gesamten Gebiet der hier untersuchten deutschen Mittelgebirge. Im allgemeinen sind aber zwischen den günstigen Tallagen mit einer Vegetationszeit von ungefähr 7 Monaten und den höheren Mittelgebirgslagen (bis um 800 m) mit nur etwa $4\frac{1}{2}$ Monaten maximale Unterschiede der Vegetationszeit von etwa 2 bis $2\frac{1}{2}$ Monaten zu erwarten.

2. Nord-Süd-Vergleich der drei West-Ost-Schnitte in verschiedenen Höhenlagen

Mit der von Norden nach Süden zunehmenden Erwärmung ist auch eine Zunahme der Länge der Vegetationszeit und der zugehörigen Temperatursummen zu erwarten. Die Größe der Änderungen dieser Werte ist aus Tabelle 3 zu ersehen. Vergleicht man zunächst die Mittelwerte, die aus je drei Stationen in tieferen Lagen gewonnen wurden, so sind bei der Vegetationszeit kaum Unterschiede festzustellen. Gegenüber den Stationen auf dem nördlichen Schnitt mit durchschnittlich 212 Tagen nimmt diese Zahl bis zu den Stationen auf dem mittleren Schnitt im Durchschnitt sogar um 3 Tage ab (209 Tage). Erst bis zum südlichen Schnitt ist dann eine geringe Zunahme bis zu 215 Tagen festzustellen. Eine deutliche, allerdings noch nicht erhebliche Zunahme der Werte erfolgt dagegen schon bei den

zugehörigen Temperatursummen um 93°C von 1432°C (Nord) über 1466°C (Mitte) bis 1525°C (Süd).

Erheblich größer sind jedoch die Unterschiede, wenn Stationen in höheren Lagen verglichen werden. Bei den Stationen über 500 m Höhe (mittlere Höhen 523 bis 539 m) beträgt die durchschnittliche Länge der Vegetationszeit im Norden 160, in der Mitte 176 und im Süden 182 Tage. Von Norden nach Süden nimmt in dieser Höhenlage die Vegetationszeit mit durchschnittlich 22 Tagen um etwa 3 Wochen zu. Bei den entsprechenden Temperatursummen ist die Steigerung noch größer. Sie nimmt von 758°C im Norden über 954°C in der Mitte bis zu 1099°C im Süden zu. Die gesamte Steigerung von Norden bis Süden beträgt demnach durchschnittlich 341°C .

Etwa gleich groß sind die Steigerungen der Werte in Höhenlagen um 800 m (Mittelwerte 788, 795, 814 m). Die Länge der Vegetationszeit nimmt hier von 140 (Norden) über 151 (Mitte) bis 162 Tage (Süden) auch um 22 Tage zu. Bei den Temperatursummen beträgt die Steigerung von 503°C (Norden) über 648°C (Mitte) bis 794°C (Süden) mit 291°C etwas weniger als bei den Stationen in mittlerer Höhenlage.

Wenn man auch berücksichtigt, daß die Stationen in niedrigen Lagen auf den drei West-Ost-Schnitten verschiedenen Höhenstufen angehören (im Süden 150 m höher als im Norden) und daß hierdurch die höher liegenden Stationen im Süden gegenüber dem Norden infolge des Höhenunterschiedes von durchschnittlich 150 m etwas benachteiligt sind, so scheinen doch die Unterschiede in der Länge der Vegetationszeit und in der Höhe der Temperatursummen allgemein in den niedrigeren Höhenlagen geringer zu sein als in den höheren.

3. Vergleiche innerhalb der drei West-Ost-Schnitte in verschiedenen Höhenlagen

Um zu klären, ob auch innerhalb der West-Ost-Schnitte Unterschiede in der Länge der Vegetationszeit und in den zugehörigen Temperatursummen bestehen, wurden westliche und östliche Stationsgruppen in gleichen Höhenlagen verglichen. Da die Stationen oft nicht in der gewünschten Höhenlage auf der gesamten Länge der West-Ost-Schnitte vorhanden waren, wechseln die Höhenlagen, aus denen Stationen zum Vergleich herangezogen werden, bei den drei West-Ost-Schnitten.

a) Vergleiche im West-Ost-Schnitt Nord

Tabelle 4 a zeigt zunächst vom West-Ost-Schnitt Nord den Vergleich von einigen Stationsgruppen in drei verschiedenen Höhenlagen. In Lagen unter 100 m (im Mittel 74 m und 87 m) nimmt die Länge der Vegetationszeit vom Gebiet des Unterrheins in der Kölner Bucht bis zum Wesergebiet

Tabelle 4 a: West-Ost-Vergleiche im West-Ost-Schnitt *Nord* in verschiedenen Höhenlagen

Klimastation	Meereshöhe m	Beginn der Datum	Ende der Vegetationszeit Datum	Andauer Tage	Summe der Tagesmittel- temperaturen über 8°C
Mönchen-Gladbach	75	5. 4.	31. 10.	209	1331
Mönchen-Gladbach Holterheide	80	6. 4.	29. 10.	206	1292
Wahn-Flughafen	68	6. 4.	29. 10.	206	1334
Mittel	74	6. 4.	30. 10.	207	1319
Bad Salzuflen	98	11. 4.	27. 10.	199	1223
Herford	77	11. 4.	27. 10.	199	1219
Hameln	87	11. 4.	26. 10.	198	1210
Mittel	87	11. 4.	27. 10.	199	1217
Differenz: West - Ost (Tage bzw. Temp.) Mönchen-Gladb./Wahn — Bad Salzuflen/Hameln		— 5	3	8	102
Wuppertal-Buchenhofen	128	12. 4.	27. 10.	198	1148
Wuppertal-Elberfeld	178	6. 4.	31. 10.	208	1319
Wuppertal-Mitte	151	4. 4.	1. 11.	211	1343
Solingen-Busch	185	11. 4.	27. 10.	199	1208
Mittel	161	8. 4.	29. 10.	204	1255
Bad Lippspringe	148	12. 4.	27. 10.	198	1180
Göttingen-Pumpstation	150	14. 4.	21. 10.	190	1149
Göttingen-Sternwarte	158	11. 4.	22. 10.	194	1214
Mittel	152	12. 4.	23. 10.	194	1178
Differenz: Wuppertal/Solingen — Lippspringe/Göttingen (Tage bzw. Temp.)		— 4	6	10	77
Kassel-Süd	158	8. 4.	24. 10.	199	1286
Witzenhausen	139	11. 4.	24. 10.	196	1199
Bad Soden-Allendorf	150	11. 4.	24. 10.	196	1244
Eschwege	170	13. 4.	20. 10.	190	1164
Melsungen	170	11. 4.	21. 10.	193	1196
Mittel	157	11. 4.	23. 10.	195	1218
Differenz: Wuppertal/Solingen — Kassel/Melsungen (Tage bzw. Temp.)		— 3	6	9	37
Lüdenscheid	444	20. 4.	17. 10.	180	976
Brilon-Marktstraße	455	23. 4.	16. 10.	176	942
Brilon-Am Dübel	465	25. 4.	15. 10.	173	911
Mittel	460	24. 4.	16. 10.	175	927
Differenz: Lüdenscheid — Brilon (Tage bzw. Temp.)		— 5	2	7	65

oberhalb der Porta Westfalica im Mittel der Stationsgruppen von 207 auf 199 Tage, also um 8 Tage, ab. Bei den Temperatursummen beträgt die Abnahme 102° C von 1319° C im Westen auf 1217° C im Osten.

Beim Vergleich von Stationen in mittleren Höhenlagen von 152, 157 und 161 m zeigte sich vom Raum Wuppertal — Solingen bis Göttingen — Bad Lippspringe eine Abnahme der Länge der Vegetationszeit um 10 Tage von 204 auf 194 Tage und der Temperatursumme um 77° C von 1255° C auf 1178° C. Ein zweiter Vergleich von Wuppertal — Siegen mit dem etwas südlicher liegenden Raum Kassel — Eschwege zeigte ebenfalls eine Verkürzung der Länge der Vegetationszeit von 9 Tagen. Aber die Temperatursummen hatten sich infolge der etwas südlicheren Lage dieses Raumes nur um 37° C verringert. Auch der Vergleich von Stationen um etwa 450 m Höhe (Lüdenscheid und Brilon) zeigt ähnliche Unterschiede. Von West

nach Ost nimmt die Vegetationszeit um 7 Tage und bei den Temperatursummen um 65°C ab.

b) Vergleiche im West-Ost-Schnitt Mitte

Auf dem West-Ost-Schnitt Mitte (Tabelle 4 b) wurden zunächst bei den Stationen in tieferen Lagen (Mittel 133 m bis 148 m) der Rheintalabschnitt Rheingau zwischen Geisenheim, Wiesbaden und Mainz mit der Wetterau (Bad Nauheim – Gelnhausen) und mit dem Lahntal (Limburg – Gießen) verglichen. Gegenüber dem Rheintal ist in der Wetterau die Vegetationszeit um 6 Tage verkürzt und die Temperatursumme um 111°C verringert. Vom Rhein- zum ungünstigen Lahntal ist die Verringerung der Werte etwa doppelt so groß, und zwar 13 Tage bei der Vegetationszeit und 202°C bei der Temperatursumme. Auch in dem engeren und somit etwas ungünstigeren Rheintal bei Aßmannshausen und Lorch sind die betreffenden Werte mit 6 Tagen bei der Vegetationszeit und mit 132°C bei der Temperatursumme geringer als in dem günstigeren offeneren Rheintalabschnitt zwischen Geisenheim und Mainz.

In etwas höheren Lagen (Mittel 253 m bis 286 m) wurde der Taunus-Südhang bei Wiesbaden verglichen mit drei anderen Gebieten. Am ungünstigsten ist der Vergleich mit dem östlich vom Vogelsberg liegenden Gebiet um Lauterbach und Angersbach mit einer Verkürzung der Vegetationszeit um 16 Tage und mit einer Verringerung der Temperatursumme um 163°C . Nicht so groß ist die Abnahme der Werte zum Raum Fulda mit nur 11 Tagen bzw. 107°C . Noch geringer sind die Unterschiede beim Vergleich mit dem Raum östlich der Rhön von Bad Kissingen bis Coburg mit 9 Tagen bzw. nur 26°C .

Beim Vergleich von Stationen um 550 m (im Mittel 536 und 569 m) aus dem Taunus (Kemel) und der Rhön (Platz) einerseits und aus dem weiter östlich liegenden Gebiet des Frankenwaldes (Horlachen, Hof-Hohensaas) und Fichtelgebirges (Selb) ergaben sich Unterschiede von 13 Tagen bei der Vegetationszeit und 101°C bei der Temperatursumme. In jedem Fall nehmen also die Werte für die Länge der Vegetationszeit und für die Temperatursumme von Westen nach Osten deutlich ab.

c) Vergleiche im West-Ost-Schnitt Süd

Auf dem West-Ost-Schnitt Süd (Tabelle 4 c) konnten in zwei Höhenlagen Vergleiche durchgeführt werden. Bei mittleren Höhen von 319 m und 350 m wurden die Stationsgruppen Göppingen-Metzingen-Tübingen und Regensburg-Passau verglichen. Nach Osten zu erfolgte eine Abnahme der Werte um 10 Tage bei der Vegetationszeit und um 45°C bei der Temperatursumme. Auch in der Profildarstellung in Profiltafel 2 betrug bei der dort dargestellten landwirtschaftlichen Vegetationszeit die Abnahme der Andauer von West nach Ost bei gleicher Höhenlage etwa 10 Tage.

Tabelle 4 b: Vergleiche im West-Ost-Schnitt *Mitte* in verschiedenen Höhenlagen

Klimastation	Meereshöhe m	Beginn der Vegetationszeit Datum	Ende der Vegetationszeit Datum	Andauer Tage	Summe der Tagesmittel- temperaturen über 8°C
Geisenheim	109	1. 4.	27. 10.	209	1436
Hattenheim	199	3. 4.	26. 10.	206	1403
Mainz-Weisenu	88	1. 4.	27. 10.	209	1502
Mainz-Universität	123	1. 4.	26. 10.	208	1461
Wiesbaden-Süd	141	2. 4.	25. 10.	206	1411
Wiesbaden-Erbenheim	137	1. 4.	25. 10.	207	1426
Mittel	133	1. 4.	26. 10.	208	1440
Bad Nauheim	145	7. 4.	22. 10.	198	1322
Windecken	153	5. 4.	24. 10.	203	1333
Gelnhausen	155	3. 4.	27. 10.	206	1367
Büdingen	140	7. 4.	23. 10.	199	1292
Mittel	148	6. 4.	24. 10.	202	1329
Differenz: Geisenheim/Wiesbaden — Bad Nauheim/Büdingen (Tage bzw. Temp.)		— 5	2	6	111
Limburg	113	8. 4.	22. 10.	197	1237
Gießen-Liebigshöhe	185	9. 4.	22. 10.	196	1288
Gießen-Versuchsfeld Lahntal	150	11. 4.	19. 10.	191	1187
Mittel	149	9. 4.	21. 10.	195	1238
Differenz: Geisenheim/Wiesbaden — Limburg/Gießen (Tage bzw. Temp.)		— 8	5	13	202
Lorch	112	6. 4.	26. 10.	203	1313
Aßmannshausen	178	7. 4.	26. 10.	202	1303
Mittel	145	7. 4.	26. 10.	202	1308
Differenz: Geisenheim-Wiesbaden — Lorch/Aßmannshausen (Tage bzw. Temp.)		— 6	0	6	132
Wiesbaden-Dotzheim	225	5. 4.	25. 10.	203	1306
Naurod	280	11. 4.	21. 10.	193	1224
Mittel	253	8. 4.	23. 10.	198	1265
Lauterbach	295	16. 4.	16. 10.	183	1107
Angersbach	276	17. 4.	16. 10.	182	1097
Mittel	286	17. 4.	16. 10.	182	1102
Differenz: Wiesbaden/Naurod — Lauterbach/Angersbach (Tage bzw. Temp.)		— 9	7	16	163
Fulda-Stadtkrankenhaus	267	15. 4.	18. 10.	186	1156
Fulda-Städt. Bauhof	293	14. 4.	19. 10.	188	1161
Mittel	280	15. 4.	19. 10.	187	1158
Differenz: Wiesbaden/Naurod — Fulda (Tage bzw. Temp.)		— 7	4	11	107
Bad Kissingen	216	11. 4.	17. 10.	189	1210
Königshofen	278	12. 4.	18. 10.	189	1223
Hofheim	265	10. 4.	20. 10.	193	1360
Coburg-Rückertschule	291	14. 4.	16. 10.	185	1164
Mittel	263	12. 4.	18. 10.	189	1239
Differenz: Wiesbaden/Naurod — Bad Kissingen/Coburg (Tage bzw. Temp.)		— 4	5	9	26
Kemel	532	21. 4.	15. 10.	177	946
Platz	540	21. 4.	11. 10.	173	933
Mittel	536	21. 4.	13. 10.	175	939
Horlachen	586	27. 4.	10. 10.	166	870
Hof-Hohensaas	566	29. 4.	7. 10.	161	820
Selb	555	28. 4.	5. 10.	160	830
Mittel	569	28. 4.	7. 10.	162	838
Differenz: Kemel/Platz — Horlachen/Hof/Selb (Tage bzw. Temp.)		— 7	6	13	101

Ein Sonderfall ist die Station Bad Liebenzell in sehr ungünstiger enger Tallage mit stärkeren Abweichungen gegenüber dem Raum Göppingen — Tübingen und mit einer Verringerung der Vegetationszeit um 16 Tage und der Temperatursumme um 144° C. Auch beim Vergleich von Stationen in größeren Höhen (Mittel 712 bis 785 m) zeigt sich eine deutliche Abnahme der Werte von Westen nach Osten. Gegenüber der Stationsgruppe im Nordschwarzwald (Freudenstadt, Wildbad-Sommerberg, Dobel) zeigen die

Tabelle 4 c: Vergleiche im West-Ost-Schnitt *Süd* in verschiedenen Höhenlagen

Klimastation	Meereshöhe m	Beginn Datum	Ende der Vegetationszeit Datum	Andauer Tage	Summe der Tagesmittel- temperatur- en über 8° C
Göppingen	320	9. 4.	23. 10.	197	1285
Metzingen	360	9. 4.	22. 10.	196	1229
Tübingen-Schloß	370	11. 4.	20. 10.	192	1237
Mittel	350	10. 4.	22. 10.	195	1250
Regensburg	337	14. 4.	15. 10.	184	1200
Passau-Kachlet	301	14. 4.	17. 10.	186	1210
Mittel	319	14. 4.	16. 10.	185	1205
Differenz: Göppingen/Tübingen — Regensburg/Passau (Tage bzw. Temp.)		— 3	6	10	45
Bad Liebenzell	322	23. 4.	19. 10.	179	1106
Differenz: Göppingen/Tübingen — Bad Liebenzell (Tage bzw. Temp.)		— 13	3	16	144
Freudenstadt-Stadt	710	25. 4.	12. 10.	170	935
Wildbad-Sommerberg	726	24. 4.	14. 10.	173	965
Dobel	700	24. 4.	14. 10.	173	931
Mittel	715	24. 4.	13. 10.	172	944
Villingen	710	28. 4.	7. 10.	162	853
Donaueschingen	713	26. 4.	9. 10.	166	884
Mittel	712	27. 4.	8. 10.	164	869
Differenz: Freudenstadt/Dobel — Villingen/Donaueschingen (Tage bzw. Temp.)		— 3	5	8	75
Trochtelfingen	700	1. 5.	4. 10.	156	714
Münsingen	720	28. 4.	8. 10.	163	821
Stötten	734	26. 4.	12. 10.	169	877
Mittel	718	28. 4.	8. 10.	163	804
Differenz: Freudenstadt/Dobel — Trochtelfingen/Stötten (Tage bzw. Temp.)		— 4	5	9	140
St. Blasien	785	3. 5.	4. 10.	154	702
Differenz: Freudenstadt/Dobel — St. Blasien (Tage bzw. Temp.)		— 8	9	18	242

Stationen in der Baar (Villingen, Donaueschingen) eine Verringerung der Werte um 8 Tage bzw. 75° C. Auch die auf der Schwäbischen Alb liegenden Stationen (Trochtelfingen, Münsingen, Stötten) weichen um 9 Tage bzw. 140° C von den Stationen im Nordschwarzwald ab.

Bei den Stationen in dieser Höhenlage zeigt St. Blasien infolge der engen Tallage wesentlich stärkere Abweichungen als die beiden anderen

Stationsgruppen. Die Verkürzung der Vegetationszeit beträgt in St. Blasien gegenüber der Gruppe Freudenstadt – Dobel 18 Tage und die Verringerung der Temperatursumme 242°C .

Während also hier bei den untersuchten Stationsgruppen von Norden nach Süden in mittleren und höheren Lagen mit einer Verlängerung der Vegetationszeit um etwa 3 Wochen und mit einer Vergrößerung der Temperatursumme von etwa 300°C und mehr zu rechnen ist, nehmen die entsprechenden Werte auf den untersuchten drei West-Ost-Schnitten um etwa 1 bis 2 Wochen bei der Vegetationszeit und um häufig weniger als 100°C , in einigen Fällen auch um mehr als 100°C , bei der Temperatursumme ab. Nur in Sonderfällen, zum Beispiel bei ungünstigen engen Tallagen, werden auch unabhängig von dem sonst bestehenden Gefälle von West nach Ost höhere Abweichungen bis zu 3 Wochen bzw. über 200°C erreicht. In allen sonstigen annähernd normalen Fällen ist in West-Ost-Richtung eine deutliche Verkürzung der Vegetationszeit und eine Verringerung der Temperatursumme festzustellen.

D. Jährliche Änderungen der Länge der Vegetationszeit bei Waldbäumen – Abgrenzung der Vegetationszeit durch phänologische Daten

Welchen Änderungen die Länge der Vegetationszeit bei Waldbäumen von Jahr zu Jahr unterliegen kann, zeigt die Tabelle 5. In dieser ist für die 21 Jahre von 1951 bis 1971 die Länge der Vegetationszeit von zwei Stationen mit großen Höhenunterschieden berechnet und gegenübergestellt. Es sind die Beobachtungsorte Weil bei Lörrach im Oberrheintal mit einer Höhe von 280 m in günstiger Tallage und Lenzkirch im Hochschwarzwald mit einer Höhe von 810 m in ungünstiger Höhenlage.

Da in den Einzeljahren infolge des ständig wechselnden Witterungsverlaufs und der damit verbundenen unregelmäßigen Temperaturschwankungen eine Abgrenzung der Vegetationszeit durch Klimadaten (Über- und Unterschreiten von Grenztemperaturen) nicht möglich ist, wurde hier die Abgrenzung durch phänologische Daten vorgenommen. Zur näherungsweise Ermittlung des Anfangs bzw. Endes der Vegetationszeit wurde die Laubentfaltung (BO) bzw. die Laubverfärbung (LV) des Mittels der Daten von Weißbirke und Rotbuche benutzt. Die so aus den phänologischen Mittelwerten von zwei Waldbaumarten berechneten Vegetationszeitlängen waren jedoch etwas kürzer als die mit Hilfe klimatologischer Werte berechneten Vegetationszeiten.

Außer den aus zwei Baumarten berechneten Mittelwerten der Laubentfaltung bzw. der Laubverfärbung wurden auch jeweils die Abweichungen der Einzeljahre vom betreffenden Mittelwert mit angegeben. Die letzte Spalte zeigt die jährlichen Unterschiede der Vegetationszeitlänge der beiden Stationen in günstiger Tal- und ungünstiger Höhenlage.

Tabelle 5: Jährliche Änderungen der Länge der Vegetationszeit (= Zahl der Tage von BO bis LV vom Mittel: Weißbirke + Rotbuche : 2) an einer Talstation (Weil bei Lörrach im Oberrheintal) und einer Höhenstation (Lenzkirch im Hochschwarzwald) (BO = Laubentfaltung, LV = Laubverfärbung)

Jahr	Weil (280 m)						Lenzkirch (810 m)						
	BO Tage seit 1. Jan.	Abweichung vom Mittel Tage	LV Tage seit 1. Jan.	Abweichung vom Mittel Tage	Veg.-Zeit BO-LV Tage	Abweichung vom Mittel Tage	BO Tage seit 1. Jan.	Abweichung vom Mittel Tage	LV Tage seit 1. Jan.	Abweichung vom Mittel Tage	Veg.-Zeit BO-LV Tage	Abweichung vom Mittel Tage	Differenz Veg.-Zeit Weil — Lenzkirch Tage
1951	114	+ 6	306	+ 9	192	+ 3	136	+ 8	274	- 5	138	- 13	54
1952	108	0	300	+ 3	192	+ 3	106	- 22	274	- 5	168	- 17	24
1953	98	- 10	298	+ 1	200	+ 11	116	- 12	269	- 10	152	+ 1	47
1954	112	- 4	286	- 11	174	- 15	136	+ 8	290	+ 11	154	+ 3	20
1955	108	0	291	- 6	183	- 6	140	+ 12	278	- 1	138	- 13	45
1956	114	+ 6	296	- 1	182	- 7	140	+ 12	282	+ 3	142	- 9	40
1957	94	- 14	288	- 9	194	+ 5	124	- 4	277	- 2	153	+ 2	41
1958	118	+ 10	306	+ 9	188	- 1	128	0	284	+ 5	156	+ 5	52
1959	108	0	292	- 5	184	- 5	118	- 10	280	+ 1	162	+ 11	22
1960	98	- 10	292	- 5	194	+ 5	124	- 4	274	- 5	150	- 1	44
1961	89	- 19	306	+ 9	217	+ 28	108	- 20	284	+ 5	176	+ 25	41
1962	114	+ 6	304	+ 7	190	+ 1	130	+ 2	278	- 1	148	- 3	42
1963	110	+ 2	300	+ 3	190	+ 1	130	+ 2	282	+ 3	152	+ 1	38
1964	109	+ 1	300	+ 3	191	+ 2	125	- 3	283	+ 4	158	+ 7	33
1965	112	+ 4	299	+ 2	187	- 2	138	+ 10	279	0	141	- 10	46
1966	100	- 8	286	- 11	186	- 3	124	- 4	278	- 1	154	+ 3	32
1967	112	+ 4	296	+ 9	194	+ 5	132	+ 4	284	+ 5	152	+ 1	42
1968	106	- 2	306	- 1	190	+ 1	125	- 3	276	- 3	151	0	39
1969	114	+ 6	288	- 9	174	- 15	132	+ 4	280	+ 1	148	- 3	26
1970	114	+ 6	298	+ 1	184	- 5	142	+ 14	282	+ 3	140	- 11	44
1971	110	+ 2	290	- 7	180	- 9	128	0	274	- 5	146	- 5	34
Mittel:	107,7	5,7	296,6	5,8	188,9	6,3	127,7	7,5	279,1	3,8	151,4	6,9	37,4

Nach den in der Tabelle 5 angegebenen Werten ändert sich in diesem Zeitabschnitt von 1951 bis 1971 die Länge der Vegetationszeit an der Talstation Weil in dem Bereich von 174 bis 217 Tagen, also um 43 Tage, und an der Höhenstation Lenzkirch in dem Bereich von 138 bis 176 Tagen, also um 38 Tage.

Die mittlere Abweichung vom Mittel ist mit 6,3 Tagen in Weil und mit 6,9 Tagen in Lenzkirch annähernd gleich groß. Es zeigen sich also in der Größe der Streuung der Werte in den Einzeljahren keine grundsätzlichen Unterschiede zwischen der Tal- und Höhenstation.

Die Änderung der Vegetationszeitlänge von Jahr zu Jahr erfolgt jedoch häufig nicht gleichsinnig an den beiden Stationen in Tal- und Höhenlage. Es ergeben sich daher oft erhebliche Unterschiede in der Vegetationszeitlänge zwischen Tal- und Höhenstation im gleichen Jahr. Unabhängig

voneinander ist im gleichen Jahr an der einen Station eine relativ lange, an der anderen Station aber eine relativ kurze Vegetationszeit festzustellen. In manchen Jahren besteht auch an beiden Stationen annähernd die gleiche Tendenz der Verlängerung oder Verkürzung der Vegetationszeit.

Die größte Differenz der Vegetationszeitlänge zwischen Tal- und Höhenstation beträgt in dem hier untersuchten Zeitabschnitt 54 Tage, die geringste aber nur 20 Tage. In 11 der 21 Jahre bestehen Differenzen von 32 bis 42 Tagen, in 4 Jahren solche von 20 bis 26 Tagen und in 6 Jahren solche von 44 bis 54 Tagen bei einer mittleren Differenz von 37,4 Tagen zwischen Tal- und Höhenstation. Jahre mit geringeren Differenzen von 27 bis 31 Tagen sind also nicht vorhanden, Jahre mit sehr geringen Differenzen von 20 bis 26 Tagen nur in vier Fällen. Dies zeigt, daß Jahre, in denen die Vegetationszeit an der Talstation relativ kurz, an der Höhenstation aber relativ lang war, seltener waren als Jahre mit umgekehrter Tendenz der Vegetationszeitlänge. Fast in der Hälfte der Jahre entsprach die relative Länge der Vegetationszeit an der Höhenstation ohne allzu große Abweichungen der Länge der Talstation.

Auch von den Abweichungen der einzelnen Daten der Laubentfaltung und der Laubverfärbung vom jeweiligen Mittel wurden die Mittelwerte (mittlere Abweichung vom Mittel) berechnet. Diese waren an der Talstation Weil bei beiden phänologischen Phasen mit 5,7 bzw. 5,8 Tagen fast gleich groß. Unterschiede zeigten sich dagegen an der Höhenstation Lenzkirch mit einer mittleren Abweichung vom Mittel von 7,5 Tagen bei der Laubentfaltung und nur 3,8 Tagen bei der Laubverfärbung. Danach streuen an der Höhenstation die Daten der Frühjahrsphase Laubentfaltung stärker als die der Herbstphase Laubverfärbung, während an der Talstation die Streuung der Frühjahrs- und Herbstphasenwerte keine Unterschiede zeigt. Ob dies ein grundsätzlicher Unterschied zwischen Tal- und Höhenstationen ist oder ob diese Unterschiede sich aus der besonderen Lage der betreffenden Stationen ergeben, ist durch weitere Untersuchungen festzustellen. Hier sollte zunächst nur gezeigt werden, mit welchen jährlichen Änderungen der Länge der Vegetationszeit der Waldbäume an einer Tal- und einer Höhenstation zu rechnen ist.

Literatur

- Böer, Wolfgang: Witterung und Pflanzenwachstum. — Dissertation Leipzig 1951.
Deutscher Wetterdienst: Deutsche Meteorologische Jahrbücher 1945 bis 1960. — Bad Kissingen 1949—1957 u. Offenbach a. M. 1958—1962.
Henhapp, Günter: Über die Stärkeänderungen der peripheren Stammzone von Waldbäumen im Jahresablauf. — Diss. Freiburg i. Br. 1965.
Schirmer, Hans: Langjährige Monats- und Jahresmittel der Lufttemperatur und des Niederschlags in der Bundesrepublik Deutschland für die Periode 1931 bis 1960. — Offenbach 1969 (Ber. Dt. Wetterdienst Nr. 115)

- Schnelle, Fritz: Studien zur Phänologie Mitteleuropas. — Bad Kissingen 1948 (Ber. Dt. Wetterdienst US-Zone Nr. 2).
- Schnelle, Fritz: Über die Abhängigkeit der Laubverfärbung von der Temperatur. — Bad Kissingen 1952. Weickmann-Festschrift S. 227—228 (Ber. Dt. Wetterdienst US-Zone Nr. 38).
- Schnelle, Fritz: Beiträge zur Phänologie Deutschlands III. 6 Mittelwertskarten (1936—1944) Vorfrühling bis Herbst. — Bad Kissingen 1953 (Ber. Dt. Wetterdienst Nr. 1).
- Schnelle, Fritz: Pflanzenphänologie. — Leipzig: Akad. Verlagsgesellschaft Geest & Portig 1955. 299 S. (Probleme der Bioklimatologie Bd. 3).
- Schnelle, Fritz: Beiträge zur Phänologie Europas I. 5 Mittelwertskarten, Erstfrühling bis Herbst. — Offenbach 1965 (Ber. Dt. Wetterdienst Nr. 101).
- Schnelle, Fritz: Beiträge zur Phänologie Europas II. 4 Mittelwertskarten: Gesamtvegetationszeit und 3 Vegetationsabschnitte. — Offenbach 1970 (Ber. Dt. Wetterdienst Nr. 118).
- Schnelle, Fritz: Lokalklimatische Studien im Odenwald. — Offenbach 1972 (Ber. Dt. Wetterdienst Nr. 128).
- Schnelle, Fritz u. Franz Witterstein: Beiträge zur Phänologie Deutschlands II. Tabellen und phänologische Einzelwerte von etwa 500 Stationen der Jahre 1936—1944. — Bad Kissingen 1952 (Ber. Dt. Wetterdienst US-Zone Nr. 41).
- Schnelle, Fritz u. Franz Witterstein: Beiträge zur Phänologie Deutschlands IV. Tabellen phänologischer Einzelwerte von etwa 500 Stationen der Jahre 1922—1935. — Offenbach 1964 (Ber. Dt. Wetterdienst Nr. 95).
- Schnelle, Fritz u. Franz Witterstein: Kartenblatt 7: Mittlerer Beginn der Winterroggenernte, Periode 1936—1960. — Kartenblatt 8: Vegetationszeit, Dauer des produktiven Pflanzenwachstums, Anzahl der Tage zwischen mittlerem Beginn der Haferaussaat und mittlerem Ende einer Tagesmitteltemperatur von 5° C und mehr. — In: Otremba, Erich (Hrsg.): Atlas der deutschen Agrarlandschaft, Teil I. Wiesbaden (1971).