

**50**

# **Pflanzenphänologie der Schweiz**

**von C. Defila**

**50**

# **Pflanzenphänologie der Schweiz**

**von C. Defila**

Diese Arbeit erscheint gleichzeitig im selben Verlag  
als Dissertation

---

## Zusammenfassung

Seit 1951 existiert in der Schweiz ein phänologisches Beobachtungsnetz, das heute rund 140 Stationen umfasst. Betreut wird dieses Netz durch die Schweizerische Meteorologische Anstalt (SMA). Aus dem phänologischen Beobachtungsprogramm werden 38 phänologische Phasen ausgewertet. Berücksichtigt werden insgesamt über 100 Beobachtungsstationen in verschiedenen Regionen und Höhenlagen der Schweiz.

Es kann gezeigt werden, dass die mittleren Eintrittstermine der Phänophasen im Frühling eine stärkere Abhängigkeit von der Meereshöhe aufweisen als im Herbst. Bei den Streuungen kann keine Höhenabhängigkeit nachgewiesen werden. Ein phänologischer Kalender wird vorgestellt, der Mittelwerte und Streubereiche der einzelnen Phänophasen zum Ausdruck bringt. Es wird der zeitliche Verlauf der phänologischen Jahreszeiten charakterisiert, was eine Uebersicht über den Verlauf der Vegetationsentwicklung von 1951-86 erlaubt. Dabei zeigt sich eine lose Abfolge von "frühen", "normalen" und "späten" Jahren.

Die Korrelationen zwischen verschiedenen Phänophasen innerhalb derselben Stationen sowie die Korrelationen zwischen denselben Phänophasen verschiedener Stationen geben Hinweise auf Prüfmöglichkeiten der phänologischen Daten.

Der Einfluss der Witterung auf die Eintrittstermine ausgewählter Phänophasen wird mittels Temperaturschwellenwerten und multipler Korrelationen untersucht. Bei den Frühlingsphasen scheint die Temperatur die wichtigste Einflussgrösse zu sein, während sich bei den Sommerphasen eine Kombination von Temperatur- und Strahlungsabhängigkeit abzeichnet. Die Herbstphasen reagieren wiederum stark auf die sinkenden Temperaturen sowie auf Trockenperioden während der Vegetationszeit.

Bei den untersuchten phänologischen Zeitreihen (1951-89) kann kein Trend zu früheren oder späteren Eintrittsterminen nachgewiesen werden.

Alle diese Untersuchungen zeigen, dass der Fortbestand des phänologischen Beobachtungsnetzes in der Schweiz und die Kontinuität der Beobachtungen bei den einzelnen Stationen auch in Zukunft gewährleistet werden muss. Nur so wird es uns gelingen, mögliche Aenderungen in der Biosphäre aufgrund vielfältiger, komplexer Umwelteinflüsse frühzeitig zu erkennen.

## Summary

The swiss phenological observation network exists since 1951 and counts today about 140 stations. The Swiss Meteorological Institute (SMI) is running this network. 38 phases of the phenological observation program are processed. For this purpose, data are collected from more than 100 stations distributed all over Switzerland and at all altitudes.

It is demonstrated that the mean starting dates of phenological phases during the spring are more dependent on the height above sea level than during the autumn. Concerning the dispersion, no relation with the altitude can be found. The presented phenological calendar contains the normal values and the variations. It defines the temporal progress of the annual cycle of phenological phases and gives an overview on the evolution of the vegetation between 1951 - 86. We can see, that the "early", "normal" and "late" years succeed one another irregularly.

The correlations between the different phenological phases of a single station and the correlations between these same phenological phases but of several stations give the opportunity to verify the phenological data.

The influence of weather on the start of selected phenological phases is analysed with threshold values of temperature, accumulated temperatures and multiple correlations. For the spring phases it seems that the temperature is the main parameter of influence; for the summer phases it is more a combination of temperature and radiation. The autumn phases are again very sensitive to falling temperatures and also to dryness which occurred during the period of vegetation.

The study of phenological series (1951 - 89) does not show a tendency either to "early" or to "late" starting dates of phenological phases.

All these results imply that the running of the phenological network in Switzerland and the continuity of the observations at each station should be maintained in the future. It is the only way for us to discover in time the possible changes in the biosphere due to various and complex environmental factors.

## Résumé

Le réseau d'observation phénologique suisse a été créé en 1951 et comporte actuellement près de 140 stations. Ce réseau est exploité par l'Institut suisse de météorologie (ISM). 38 phases du programme d'observation phénologique sont mises en valeur. Les données de plus de 100 stations d'observation réparties dans toutes les régions de la Suisse et à toutes les altitudes sont ainsi traitées.

Il est démontré que les dates de commencement "normales" des phases phénologiques varient plus en fonction du niveau de la mer au printemps qu'en automne. Pour les dispersions, en revanche, aucun lien ne peut être établi avec l'altitude. Le calendrier phénologique présenté montre les valeurs moyennes et les écarts. Le déroulement temporel du cycle annuel des phases phénologiques y est défini, ce qui a permis d'obtenir une vue d'ensemble sur l'évolution de la végétation entre 1951 - 86. On découvre que les années "précoces", "normales" et "tardives" se suivent de façon irrégulière.

Les corrélations entre les différentes phases phénologiques d'une seule station d'observation et les corrélations entre ces mêmes phases phénologiques mais de plusieurs stations d'observation offrent une possibilité de vérification des données phénologiques.

L'influence des conditions météorologiques sur le début de quelques phases phénologiques choisies est examinée au moyen de valeurs seuils de température, de températures accumulées et de multiples corrélations. Pour les phases printanières, la température semble être l'élément influent principal, tandis que pour les phases estivales, c'est plutôt une combinaison température/rayonnement. Les phases de l'automne réagissent à nouveau fortement en fonction des températures en baisse ainsi qu'en fonction des périodes de sécheresse survenues durant la période de végétation.

L'examen des séries phénologiques (1951 - 89) ne permet pas de définir de tendance "précoce" ou "tardive" des dates de commencement des phases phénologiques.

L'ensemble de ces analyses montre bien que l'exploitation du réseau d'observation phénologique suisse et la continuité des observations de chaque station doivent être poursuivies. C'est seulement ainsi qu'il nous sera possible de reconnaître à temps les changements possibles dans la biosphère dus aux influences ambiantes multiples et complexes.

## Riassunto

E' dal 1951 che in Svizzera esista una rete di osservazioni fenologiche. Essa comprende oggi circa 140 stazioni ed è curata dall'Istituto svizzero di meteorologia (ISM). Del programma fenologico vengono elaborate in dettaglio 38 fasi, considerando oltre 100 stazioni di osservazione distribuite a diverse quote e in tutte le regioni del Paese.

I dati finora raccolti mostrano che in media in primavera la data della manifestazione delle fasi fenologiche dipende più fortemente dalla quota che non in autunno, mentre non è possibile dimostrare una dipendenza dalla quota per le dispersions. Viene presentato un calendario fenologico, ciò che permette di avere una sintesi dell'andamento dello sviluppo vegetativo tra il 1951 e il 1986. Ne risulta una successione arbitraria di anni "precoci", "normali" e "tardivi".

Il grado di correlazione tra le diverse fasi di una data stazione, così come quello tra le stesse fasi ma di stazioni diverse, dà un'indicazione sulle possibilità di verifica dei dati fenologici.

L'influsso del tempo sulla data della manifestazione di fasi fenologiche scelte viene analizzato mediante soglie di temperatura, somme di temperature e correlazioni multiple. Nelle fasi primaverili la temperatura sembra essere il parametro più importante, mentre nelle fasi estive si delinea una combinazione tra temperatura e radiazione. Le fasi autunnali reagiscono a loro volta fortemente alla temperatura calante e ai periodi di siccità avuti durante il periodo vegetativo.

Analizzando la serie fenologica 1951 - 89, non è riscontrabile nessuna tendenza a un anticipo o a un ritardo delle manifestazioni.

Tutte le elaborazioni eseguite mostrano le necessità di una rete fenologica in Svizzera anche nel futuro e l'importanza di una serie ininterrotta di osservazioni sempre al medesimo luogo. Solo così sarà possibile riconoscere per tempo eventuali modifiche della biosfera dovute a molteplici e complessi influssi ambientali.

## VORWORT

Die vorliegende Arbeit entstand an der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA) in Zürich. 1985 übernahm ich dort die Sektion Agrar- und Biometeorologie und damit auch die Verantwortung für das phänologische Netz der Schweiz. Der tägliche Umgang mit den phänologischen Daten weckte in mir ein starkes Interesse an einer systematischen Bearbeitung des Datenmaterials, um neue Erkenntnisse auf dem Gebiet der Phänologie zu erforschen. Zudem sollen damit auch bessere Grundlagen für die tägliche Arbeit gewonnen werden. Dieses Vorhaben wurde auch durch Herrn Prof. Dr. H. Haefner vom Geographischen Institut der Universität Zürich und von Herrn Prof. Dr. G. Gensler, ehemaliger Mitarbeiter der SMA und Dozent am Geographischen Institut der Universität Zürich, unterstützt. Sie betreuten und begutachteten meine Arbeit. Dafür möchte ich Ihnen ganz herzlich danken.

Die eigentlichen Untersuchungen begannen 1987, nachdem 1986 die Daten auf EDV-Datenträgern erfasst und zeitaufwendig kontrolliert worden waren.

Mein spezieller Dank gilt Herrn Dr. B. Primault, meinem Vorgänger als Leiter der Sektion Agrar- und Biometeorologie und Gründer des phänologischen Netzes in der Schweiz. Ohne seine intensive Vorarbeit wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen. Ich möchte auch der Direktion der SMA danken, dass sie mir die Durchführung dieser Untersuchungen ermöglichten; insbesondere gilt dieser Dank meinem Vorgesetzten, Herrn Dr. Th. Gutermann. Nicht minder danke ich auch meinen MitarbeiterInnen (J. Brändli, A. Fankhauser, E. Gassmann und W. Kummer), die mir wertvolle Anregungen gaben und mich in dieser Arbeit unterstützten.

Die vorliegende Untersuchung soll nicht nur einen Ueberblick über die Pflanzenphänologie der Schweiz geben und neue Erkenntnisse auf dem Gebiet der Phänologie erbringen. Sie soll auch die Nützlichkeit von Naturbeobachtungen in der heutigen Zeit mit den nachhaltigen Veränderungen in unserer Umwelt aufzeigen und nicht zuletzt jüngere Kollegen zu ähnlichen Arbeiten ermuntern.

## INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
VORWORT	3
INHALTSVERZEICHNIS	4
1. EINFUEHRUNG IN DIE PHAENOLOGIE	7
1.1 Definitionen	7
1.2 Zielsetzung und Problemstellung	9
1.3 Die Beziehungen des Menschen zur Phänologie	10
1.4 Nutzen und Anwendungen der Phänologie	10
1.4.1 Allgemeines	10
1.4.2 Prognosen bestimmter phänologischer Phasen	11
1.4.3 Phänologie und integrierter Pflanzenschutz	13
1.4.4 Phänologie und Frostwarnungen	15
1.4.5 Phänologie und Klimakartierungen	19
1.4.6 Phänologie und Schäden in der Biosphäre	20
1.4.7 Phänologie und die Definition der Vegetationsperiode	22
1.4.8 Phänologie und Pollenprognosen	25
1.4.9 Bedürfnisse nach phänologischen Informationen	26
2. HISTORISCHES	27
3. ARBEITSMETHODEN IN DER PHAENOLOGIE	28
3.1 Einführung	28
3.2 Absolute Phänologie	29
3.3 Relative Phänologie	29
3.4 Internationale Phänologische Gärten	30
3.5 Fernerkundung	30
4. PHAENOLOGISCHE BEOBACHTUNGEN IN DER SCHWEIZ SEIT 1951	31
4.1 Rückblick	31
4.2 Das phänologische Beobachtungsnetz	31
4.3 Das phänologische Beobachtungsprogramm	33
4.4 Datenfluss und -bearbeitung	35
4.5 Das phänologische Sofortmeldeprogramm	38
4.5.1 Vorgeschichte	38
4.5.2 Die Organisation des phänologischen Sofortmeldeprogramms	38
5. ARBEITSMETHODIK	45
5.1 Datenaufbereitung	45
5.1.1 Fehlerquellen	45
5.1.2 Datenkontrolle	46
5.1.3 Informationsgehalt und Einflussgrößen der phänologischen Daten	48

6.	MITTELWERTE UND STREUUNGEN DER PHAENOLOGISCHEN DATEN	50
6.1	Einführung	50
6.2	Mittelwerte	50
6.2.1	Kartographische Darstellung der Mittelwerte, 1951-88	50
6.2.2	Höhenabhängigkeiten von phänologischen Mittelwerten, 1951-87	55
6.2.3	Höhenabhängigkeiten von mittleren Differenzen zwischen verschiedenen Phänophasen, 1951-88	61
6.3	Streuungen	63
6.3.1	Kartographische Darstellung der Streuungen	63
6.3.2	Relative Häufigkeiten der Streuungen	66
6.3.3	Gesamtstreuung pro Phänophase und Region	74
6.3.4	Höhenabhängigkeiten der Streuungen von phänologischen Phasen, 1951-88	78
6.4	Phänologischer Kalender von zwei ausgewählten Stationen	79
6.5	Schlussbemerkungen	80
7.	DER VERLAUF DER PHAENOLOGISCHEN JAHRESZEITEN	83
7.1	Einleitung	83
7.2	Methodik	84
7.3	Beurteilung des Verlaufs der phänologischen Jahreszeiten	89
7.4	Kartographische Darstellung einer frühen und späten Vegetationsperiode	92
7.5	Früher und später Frühlingseinzug und die Beziehungen zur Witterung	98
7.6	Früher und später Herbst und die Beziehungen zur Witterung	102
7.7	Dauer der Vegetationsperiode	103
7.8	Vergleich zwischen phänologischen und klimatologischen Vegetationsperioden	105
7.9	Schlussbemerkungen	108
8.	KORRELATIONEN VERSCHIEDENER PHAENOPHASEN DERSELBEN STATION, 1951 - 86	109
8.1	Einleitung	109
8.2	Datenmaterial und Auswertemethode	110
8.3	Ergebnisse	111
8.3.1	Allgemeines zu den Korrelationen	111
8.3.2	Die höchsten und tiefsten Korrelationskoeffizienten pro Station	113
8.3.3	Die höchsten Korrelationskoeffizienten zwischen zwei verschiedenen Phänophasen	117
8.3.4	Relative Häufigkeiten der Korrelationskoeffizienten pro Phänophasenkombination	120
8.3.5	Anzahl Korrelationskoeffizienten $\geq 0,8$	122
8.3.6	Relative Häufigkeiten der Korrelationskoeffizienten pro Station	123
8.3.7	Gesamtheit der Korrelationen zwischen verschiedenen Phänophasen derselben Station	124
8.4	Schlussbemerkungen	129



9.	KORRELATIONEN ZWISCHEN GLEICHEN PHAENOLOGISCHEN PHASEN VERSCHIEDENER STATIONEN	130
9.1	Einleitung	130
9.2	Ergebnisse	130
9.2.1	Die höchsten Korrelationskoeffizienten pro Station und phänologische Phase	131
9.2.2	Relative Häufigkeiten der Korrelationskoeffizienten pro Phänophase	136
9.2.3	Relative Häufigkeiten der Korrelationskoeffizienten	138
9.3	Schlussbemerkungen	141
10.	BEZIEHUNGEN ZWISCHEN DER WITTERUNG UND DEN PHAENOLOGISCHEN PHASEN	142
10.1	Einführung	142
10.2	Der thermische Einfluss	144
10.2.1	Beziehungen zwischen der Lufttemperatur und den Phänophasen	144
10.2.2	Temperatursummen	149
10.3	Der hygri sche Einfluss	150
10.3.1	Niederschlagsverhältnisse und Trockenperioden	150
10.3.2	Die Wasserbilanz	152
10.3.3	Kombinierte Einflüsse	154
10.3.4	Multiple Korrelationen	155
10.4	Schlussbemerkungen	159
11.	TRENDS BEI DEN PHAENOLOGISCHEN REIHEN	160
11.1	Einführung	160
11.2	Resultate der Regressionsberechnungen	160
11.3	Gleitende Mittelwerte	163
11.4	Schlussbemerkungen	168
12.	SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK	168
13.	ZUSAMMENFASSUNG	171
	LITERATURVERZEICHNIS	174
	VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN	200
	VERZEICHNIS DER TABELLEN	203
	ANHANG	205

## 1. EINFUEHRUNG IN DIE PHAENOLOGIE

### 1.1 Definitionen

In der entsprechenden Literatur und in Nachschlagewerken findet man ungefähr gleichviele Definitionen des Begriffes "Phänologie" wie konsultierte Schriften. Die Hauptaussage bleibt jedoch mehr oder weniger gleich, wobei der Begriff je nach Autor etwas enger oder weiter gefasst wird. Das Wort Phänologie wird aus dem Griechischen abgeleitet (phainesthai - erscheinen, logos - Lehre), also die Lehre der Erscheinungen. Eine kleine Auswahl von Definitionen soll hier wiedergegeben und diskutiert werden.

1) "Phänologie: Wissenschaft von den jahreszeitlich bedingten Erscheinungsformen bei Tier und Pflanze" (Duden, Fremdwörterbuch, 1982, Bd. 5, S. 586).

2) "Phänologie: Wissenschaft von den Beziehungen zwischen dem Verlauf der Witterung und der Entwicklung oder dem Verhalten von Organismen im Jahresablauf". (Brockhaus Enzyklopädie, 1972, Bd. 14, S. 514).

3) "Pflanzenphänologie: Im Jahresablauf periodisch wiederkehrende Wachstums- und Entwicklungserscheinungen der Pflanzen" (SCHNELLE, 1955, S. 11).

4) "Phytophänologie: Periodisch wiederkehrende Reaktionserscheinungen der Pflanzenwelt auf die vorangehenden Umweltverhältnisse" (MAHRER, 1985, S. 1).

Bei allen Definitionen kommen in irgend einer Form die Begriffe "periodisch, Jahresablauf, Erscheinungsformen, Wachstums- und Entwicklungsformen" vor. Diese Begriffe können als Schlüsselwörter für die Phänologie betrachtet werden. In den Definitionen 2) und 4) wird schon auf Einflussfaktoren hingewiesen mit den Termen "Witterung, vorangehende Umweltverhältnisse". Da bei der Phänologie das gesamte Erscheinungsbild zum Ausdruck kommt, muss die Definition 2) als ungeeignet betrachtet werden, da neben der Witterung noch zahlreiche weitere Faktoren die Lebewesen mitbeeinflussen. Darauf soll noch später eingehend eingegangen werden (Kap. 5.1.3). Mit dem Begriff "vorangehende Umweltverhältnisse" in Definition 4) sind sämtliche Faktoren miteingeschlossen. Dabei müssen alle vorangehenden Umweltverhältnisse bis unmittelbar zur Beobachtung des entsprechenden Erscheinungsbildes berücksichtigt werden. Die Definitionen 1) und 3) unterscheiden sich nur unwesentlich, wobei Definition 1) ganz allgemein gehalten ist, während sich die Definition 3) auf die Pflanzenphänologie beschränkt. Oft sind den Definitionen noch Beispiele von Erscheinungen, die in der Phänologie beobachtet werden - wie zum Beispiel Vollblüte, Blattentfaltung, Fruchtreife, Blattverfärbung und Blattfall - beigelegt. Diese Phänomene nennt man phänologische Phasen oder kurz Phänophasen. Auch der Begriff "phänologische Stadien" ist gebräuchlich.

Schon diese Definitionen weisen darauf hin, dass das Hauptgewicht bei der Pflanzen- oder Phytophänologie liegt. Dies entspricht auch den Erfahrungen, die man bei Literaturstudien macht. Tierphänologie hat ihre Bedeutung vor allem bei der Schädlingsbekämpfung. Auch bei den phänologischen Beobachtungsformularen verschiedener Länder findet man höchstens eine kleine Spalte mit Angaben über Vogelzüge. Ueber die Phänologie des Menschen findet man kaum eine Arbeit, und der Begriff "Human-Phänologie" scheint nicht zu existieren. Bekannt und nachgewiesen sind saisonale Schwankungen auch beim Menschen, so zum Beispiel Häufungen von bestimmten Krankheiten, Unglücksfällen und Verbrechen, Geburten und Todesfällen zu bestimmten Jahreszeiten. Viele der menschlichen Zyklen sind jedoch infolge der technisierten Umwelt stark verwischt oder überdeckt. Solche Arbeiten findet man eher in der Medizin, Psychologie und Human-Biometeorologie (FAUST, 1976).

Oft wird die Phänologie nochmals feiner unterteilt. So findet man folgende Gliederung der angewandten Phänologie (WERNECK, 1927):

"Phänogenetik: Die Veränderung der erblichen Entwicklungsstufen in der Zeit".

"Phänoökologie: Einfluss des Standortes und der Umwelt auf die Entwicklungsstufen der verschiedenen Arten und Pflanzengesellschaften, wobei folgende Faktorengruppen unterschieden werden: Klimatische Faktoren, edaphische Faktoren, Exposition und Höhenlage, phytobiotische, zoobiotische und anthropobiotische Faktoren".

"Phänogeographie: Allgemeine Phänologie und ihre räumliche Verbreitung (Regionen und Höhenlagen)".

Die vorliegende Arbeit wird sich vor allem mit dem Bereich der Phänoökologie befassen und etwas weniger intensiv mit der Phänogeographie.

Schon nach diesen wenigen einleitenden Sätzen zum Thema Phänologie wird deutlich, dass es sich dabei um eine interdisziplinäre Wissenschaft handelt. Neben der Biologie, Oekologie und Meteorologie müssen auch die Bodenkunde und mögliche Immissionen von Schadstoffen berücksichtigt werden. Am besten ordnet man wohl die Phänologie bei den Umweltwissenschaften ein.

Etwas enger gefasst gehört die Phänologie in den Bereich der Biometeorologie und der Agrarmeteorologie.

"Biometeorologie: Studium der direkten und indirekten Wechselbeziehungen zwischen geophysikalischer und geochemischer Umwelt, der Atmosphäre und der lebenden Organismen wie Pflanzen, Tiere und Menschen" (FAUST, 1976, S. 41).

"Agrarmeteorologie: Untersucht die Einflüsse von Wetter, Witterung und Klima auf die Landwirtschaft. Dabei stehen nicht nur die Kulturpflanzen und Nutztiere im Mittelpunkt, sondern auch die Pflanzenschädlinge und Krankheitserreger sowie die Landtechnik" (DEFILA, 1988b, S. 21).

## 1.2 Zielsetzung und Problemstellung

Der Wert der phänologischen Daten liegt weniger bei den einzelnen Beobachtungen (Momentaufnahmen), als vielmehr bei den langjährigen Beobachtungsreihen sowie bei den Vergleichen zwischen verschiedenen Stationen und Phänophasen. Bis heute wurden in der Schweiz lediglich spezielle Phasen oder einzelne Beobachtungsstationen untersucht. Diese Arbeit soll deshalb eine möglichst gesamthafte Darstellung der Phänologie der Schweiz, unter Berücksichtigung aller brauchbaren Phänophasen, geben. Dabei sind die relativen Angaben von grösserer Bedeutung als die absoluten Daten. Es interessiert weniger, wann zum Beispiel in einer Region die Kirschen blühen, als der Bezug zu anderen Regionen und Phänophasen und ob sich ein Einzeljahr bezüglich den langen Beobachtungsreihen normal oder ausserordentlich verhält. Aufgezeigt werden vor allem regionale Unterschiede, Höhenabhängigkeiten sowie die Beziehungen zwischen den verschiedenen Phänophasen. Bei der Untersuchung der Witterungseinflüsse auf die Eintrittstermine der Phänophasen muss beachtet werden, dass nicht nur ein einzelnes meteorologisches Element, sondern die Gesamtheit des Witterungsgeschehens (der Witterungsakkord) und die meteorologische Vorgeschichte massgebend sind. Bei allen Einflussfaktoren auf die Pflanzen können additive Wirkungen oder Synergismen auftreten. Es gilt also, zwei äusserst komplexe Systeme (Pflanze/Umwelt) zu erforschen und deren Wechselwirkungen mindestens teilweise verstehen zu lernen. Als Fernziel wird angestrebt, hierzu gewisse Regeln und Tendenzen herzuleiten. Aufgrund dieser generellen Zielsetzungen ergeben sich die folgenden einzelnen Problemstellungen:

- Sind Höhenabhängigkeiten und Regionalisierungen der Mittelwerte und Streuungen von Phänophasen nachweisbar?
- Wie kann die mittlere zeitliche Abfolge der Phänophasen mit entsprechenden statistischen Verteilungen für verschiedene Stationen dargestellt werden (phänologischer Kalender)?
- Wie verlief die Vegetationsentwicklung im Zeitraum 1951 bis 1986 gesamthaft und hinsichtlich der einzelnen Jahre?
- Welche Beziehungen bestehen zwischen verschiedenen Phänophasen innerhalb derselben Beobachtungsstationen?
- Welche Beziehungen können zwischen verschiedenen Stationen bei ausgewählten Phänophasen gefunden werden?
- Welcher Einfluss hat die Witterung auf die Eintrittstermine der Phänophasen?
- Können Trends bei den phänologischen Zeitreihen hergeleitet werden?

Mit Hilfe dieser einzelnen Problemstellungen soll ein Beitrag zum besseren Verständnis der Wechselwirkungen zwischen den Pflanzen und ihrer Umwelt erbracht werden. Die Ergebnisse dieser Arbeit ermöglichen der SMA, ihre Beratertätigkeit besser und anhand fundierter Grundlagen auszuüben. Im sogenannten Sanasilva-Projekt werden die Fragen nach einer möglichen Zunahme der Sensibilisie-

zung bestimmter Pflanzen auf extreme Witterungsereignisse infolge verstärkter Schadstoffbelastung zwischen den Fünfziger- und Achtzigerjahren untersucht. Die vorliegende Arbeit kann hierzu wesentliche Grundlagen liefern.

### 1.3 Die Beziehungen des Menschen zur Phänologie

Der Mensch hat eine sehr alte Beziehung zur Phänologie, ohne dass dies uns bewusst ist. Unsere Vorfahren auf der Stufe der Jäger und Sammler mussten - um sich am Leben zu erhalten - genau wissen, wann und wo die geniessbaren Früchte, Beeren, Pilze und Kräuter wuchsen und reiften. Eine ursprünglichere Form der angewandten Phänologie kann man sich kaum vorstellen. Aber auch als Ackerbauer und Viehzüchter war der Mensch auf die Kenntnisse der im Jahresablauf wiederkehrenden Wachstums- und Entwicklungserrscheinungen angewiesen. Davon ist auch dem heutigen Menschen in seiner industrialisierten und technisierten Umwelt etwas geblieben. Kaum einem Naturereignis wird so grosse Beachtung geschenkt, wie etwa dem Erwachen der Natur im Frühling, angekündigt durch das Blühen der ersten Pflanzen und Ergrünen von Wiesen und Wäldern. Wenn auch während des Sommers das allgemeine Interesse an diesen Naturerscheinungen eher nachlässt, so wird im Herbst die Verfärbung der Wälder wieder etwas wehmütig zur Kenntnis genommen. Ebenso gibt die Weinlese zu manchem Gespräch und Spekulation Anlass. Die Menschen unserer Breiten leben noch mit dem Jahresablauf der Natur, der sich auf die menschliche Psyche auswirkt. Werden im Frühjahr die Tage wieder länger und heller, sowie die Farben in der Natur intensiver, erwacht auch der Mensch zu neuen Aktivitäten und seine Lebensfreude wird neu geweckt. So wird der Monat Mai nicht umsonst der Wonnemonat genannt. Im Herbst, wenn die Natur sich wieder zur Ruhe begibt, die Tage kürzer und düsterer werden, ~~schlägt dies doch verschiedenen Leuten auf die Psyche~~ (aufs Gemüt). Damit sind wir schon etwas in das Gebiet der Human-Phänologie geraten.

Aber auch in anderen Bereichen wird offensichtlich, dass sich der Mensch sehr stark mit den jahreszeitlich wechselnden Naturerscheinungen befasst. So findet man zahlreiche Gedichte, Lieder und Schlager, die phänologische Phänomene zum Thema haben, vom Blühen des Flieders bis zu den bunten Wäldern. All diese Werke könnte man vielleicht als phänologische Lyrik bezeichnen. Dieser kleine Exkurs macht doch deutlich, dass es sich bei der Phänologie nicht um eine weltfremde Wissenschaft handelt, sondern um eine Materie, mit der sich die Menschen im Alltag beschäftigen.

### 1.4 Nutzen und Anwendungen der Phänologie

#### 1.4.1 Allgemeines

Aufgrund der Ausführungen im vorangehenden Kapitel wird der Eindruck erweckt, dass die Phänologie einerseits sehr praxisbezogen

sei (Nahrungssuche unserer Vorfahren), andererseits es sich um romantische Schwärmereien (Erwachen der Natur im Frühling, sich zur Ruhe legen im Herbst) handelt. Ist die Phänologie lediglich noch ein Hobby einiger Naturfreunde? Gemüse, Früchte und Beeren werden bei uns zu jeder Jahreszeit auf dem Markt angeboten, so dass den Städtern ein saisongerechtes Konsumverhalten abhanden kommt. Auch der Jahresgang der Naturerscheinungen wird in der Hektik unserer Städte kaum mehr wahrgenommen. Dass die Phänologie nicht eine nostalgische Freizeitbeschäftigung einiger Weniger ist, sondern auch heute noch nützliche, praxisbezogene Anwendungen besitzt, sollen die folgenden Kapitel darlegen.

Auch wenn heute der Anteil der in der Landwirtschaft tätigen Bevölkerung in den Industrieländern sehr klein ist, bleibt die Bedeutung der Landwirtschaft doch erhalten. Kein Land möchte in der landwirtschaftlichen Produktion völlig vom Ausland abhängig sein. Will man eine Landschaft nicht verwildern lassen - was unbestritten auch seine Reize hätte, aber in einem derart dichtbesiedelten Land wie die Schweiz nicht denkbar ist - muss sie gepflegt werden. Die negativen Aspekte einer "verwilderten Schweiz" wären vermehrte Erosion, Ueberschwemmungen, Lawinnenniedergänge und ein Rückgang des Tourismus. Das Thema "der Landwirt als Landschaftsgärtner" wie es oft etwas despektierlich heisst, wird in Zukunft noch viel diskutiert werden. So oder so ist und wird es der Landwirt sein, der seine besondere Aufmerksamkeit der Entwicklung der Vegetation schenkt. Er muss wissen, wann der optimale Termin für die Aussaat, Schädlingsbekämpfung und Ernte eintritt und auch die Landschaftspflege nach phänologischen Kriterien (Blüte, Versamung) ausrichten. Einige Anwendungsbeispiele aus der Sicht der Agrar-, Human- und allgemeinen Biometeorologie sollen hier kurz besprochen werden.

#### 1.4.2 Prognosen bestimmter phänologischer Phasen

Der Wunsch des Menschen, in die Zukunft schauen zu können, ist sehr alt, man denke nur an die Orakel, Wahrsagungen, Horoskope, Zukunftsforschung etc. Entsprechend wurden auch auf den verschiedensten Gebieten Prognosen erstellt, die auf recht unterschiedlichen wissenschaftlichen Grundlagen basieren. Heute dürften Wirtschaftsprognosen und Wetterprognosen am bekanntesten sein. Bald gab man sich auch in der Phänologie nicht mehr mit dem Wissen zufrieden, wann welche Phase im Durchschnitt eintritt. Auch hier wollte man die Termine schon einige Wochen oder Monate im voraus prognostizieren können. Da man schon sehr früh wusste, dass die Entwicklung der Vegetation sehr stark von der Witterung abhängt, lag es nahe, solche Prognosen mit Hilfe von meteorologischen Parametern zu erstellen. Der griechische Philosoph Theophrastos von Lesbos (372-287 v. Chr.) lehrte schon, dass neben dem Boden auch die Witterung den Fruchtertrag bestimme (SEYFERT, 1960). Da im Frühling die Vegetation bei steigenden Temperaturen sich zu entwickeln beginnt und - mindestens in unseren Klimaregionen - in dieser Jahreszeit normalerweise genügend pflanzenverfügbares Wasser vorhanden ist, konzentrierte man sich bald einmal auf die Temperatur als Wachstums- und Entwicklungsregulator. 1735 stellte M. de Réaumur die Temperatursummenregel auf, welche auch heute

noch viel angewendet wird. Dieses Modell basiert auf der Ueberlegung, dass die Pflanzen und auch die Tiere (z.B. Insekten) für ihr Wachstum und ihre Entwicklung eine bestimmte Wärmemenge benötigen. Da aber die Entwicklung erst ab einer bestimmten Temperaturlimite beginnt, muss dieser Schwellenwert für jede Pflanzen- und Tierart berechnet oder mittels Experimenten eruiert werden. Um eine entsprechende phänologische Phase zu erreichen, ist eine bestimmte Temperatursumme nötig. Aufsummiert wird die Differenz zwischen der effektiven Temperatur (z.B. Tagesmittel) und dem artspezifischen Schwellenwert. Mit Hilfe der Kenntnisse der Entwicklungsstadien, der bis zu einem bestimmten Zeitpunkt berechneten Temperatursumme und einer Temperaturvorhersage kann der Eintrittstermin der gewünschten Phase prognostiziert werden. Schwierigkeiten bietet die Festlegung des Startpunktes dieser Berechnungen. Soll man einen bestimmten Kalendertag (z.B. 1. Januar) oder einen bestimmten Temperaturwert als Ausgangspunkt wählen? Genügt es, wenn dieser Wert einmal überschritten wird, oder muss er an mehreren Tagen überschritten werden, ist das Tagesmittel oder -maximum massgebend? Beginnt die Vegetationsentwicklung nach einem Kältereiz (Vernalisation), wo liegt diese Limite und, wie lange muss er andauern? All dies sind Fragen, die nicht allgemein beantwortet werden können. Diese Probleme müssen von Art zu Art unterschiedlich gelöst werden und können auch von den klimatischen Bedingungen abhängen (Anpassung an bestimmte Klimaverhältnisse).

Die Temperatursummenregel (REAUMUR, 1735) ist die einfachste Art einer phänologischen Phasenprognose. Einerseits beruht sie nur auf einem meteorologischen Element - der Temperatur -, andererseits ist die Berechnung einfach und kann ohne grosse Statistikkenntnisse und ohne Computer durchgeführt werden. Heute gibt es viel kompliziertere, multifaktorielle Modelle, welche ohne elektronische Datenverarbeitung kaum mehr zu bewältigen sind. Einige in der Schweiz angewandte Prognosen aufgrund der Temperatursummenregel sollen hier noch erwähnt werden.

#### a) Ernteprognose der Kirschen

In Baselland wird der Haupterntetermin der Kirschen jährlich im voraus bestimmt und durch die Zentralstelle für Obst- und Weinbau, Basel-Landschaft, verbreitet. Die Methode beruht auf den Summen der Lufttemperatur (BIDER, 1946). Dies ermöglicht eine optimale Arbeitsplanung seitens der Obstbauern, der Verteilerorganisationen und der Märkte.

#### b) Kirschenfliegenprognose

Die Maden der Kirschenfliege überwintern im Boden. Aufgrund der Summen der Bodentemperatur in 5 cm Tiefe kann das Ausschlüpfdatum der Kirschenfliege berechnet werden. Diese Warnungen werden durch die Eidg. Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau, Wädenswil, verbreitet. Dies ermöglicht eine gezielte und umweltschonende Bekämpfung dieses Insekts (BOLLER, 1964).

#### c) Aprikosenernte

Für das Wallis existiert eine Prognose für die Aprikosenernte (PRIMAULT, 1970), die aber nicht routinemässig angewendet wird.

### 1.4.3 Phänologie und integrierter Pflanzenschutz

In den landwirtschaftlichen Fachzeitschriften sowie in den Tageszeitungen wurde in den letzten Jahren sehr viel über integrierten Pflanzenschutz (IPS) oder Integrierte Produktion (IP) geschrieben. Diese oft gebrauchten und zum Teil auch missbrauchten Begriffe beinhalten streng genommen keine neuen Erkenntnisse. In der Integrierten Produktion wird eine naturnahe landwirtschaftliche Bewirtschaftung gefordert, welche den natürlichen Gegebenheiten angepasst ist. Der Grundsatz, dass man zu seinem Boden und den darauf wachsenden Pflanzen Sorge tragen soll, galt in der Landwirtschaft schon seit Generationen. Erst nach dem 2. Weltkrieg, vor allem in den Sechziger- und Siebzigerjahren zur Zeit der Technisierung der Landwirtschaft, wurde der Erhaltung eines fruchtbaren Bodens zu wenig Beachtung geschenkt. Die Perspektive vom Traktorensitz aus ist doch eine andere als diejenige des Bauern, der die Feldarbeiten "naturnah" mit beiden Beinen auf dem Boden ausführt. In diesen Jahrzehnten herrschte in allen Wirtschaftszweigen der Glaube an ein unbegrenztes Wachstum, und in der Landwirtschaft galt die Devise der Produktionssteigerung. Da in der gleichen Zeit die landwirtschaftlichen Hilfskräfte immer rarer wurden, sah sich der Landwirt gezwungen, die fehlenden Arbeitskräfte mittels Maschineneinsatz zu kompensieren. Dies führte zu immer zahlreicheren und schwereren Maschinen, was vielerorts zu Bodenverdichtungen und somit Ertragseinbussen führte. Die Intensivierung im Acker-, Gras-, Gemüse- und Obstbau rief einen erhöhten Einsatz von Kunstdüngern, chemischen Schädlingsbekämpfungsmitteln sowie neuen Pflanzenzüchtungen hervor. In der Tierproduktion wurde der Zukauf von Futtermitteln propagiert. All diese Massnahmen haben aber negative Nebenwirkungen wie die Belastung der Umwelt (Flora, Fauna, Boden, Gewässer und Luft), welche sich langfristig negativ auf die Nahrungsproduktion sowie auf das ganze Oekosystem auswirken und die Lebensgrundlage von Pflanzen, Tieren und Menschen gar zerstören. Daraus entstand Ende der Siebzigerjahre und in den Achtzigerjahren die Ideen der integrierten Produktion und Pflanzenschutz. Die neue Philosophie lautet nun am Ende der Achtzigerjahre "Oekonomie und Oekologie" oder etwas anders formuliert: Ohne Oekologie ist langfristig keine positive Oekonomie möglich. Bis sich diese Ansichten in der Praxis völlig durchsetzen können, wird es noch Jahre dauern.

Eine umweltgerechte Landwirtschaft ist aber nur dann möglich, wenn wir wieder lernen, die Natur zu beobachten und die verschiedenen Zusammenhänge kennenlernen. Mit dem Stichwort "Naturbeobachtungen" sind wir nach einem kurzen Ausflug in die Landwirtschaftspolitik wieder zur Phänologie zurückgekehrt. Integrierte Landwirtschaft erfordert gute Kenntnisse über die Schädlinge (Pilze, Insekten), die Pflanzenkrankheiten, die Unkräuter, die Nützlinge (z.B. Insekten) und die Kulturpflanzen. Zwischen all diesen Lebewesen und ihrem Standort (Boden, Klima) bestehen vielfältige Beziehungen und Wechselwirkungen. Ein derartiges Wirkungsdreieck zwischen den Schaderregern, Wirtspflanzen und der Umwelt ist in Abbildung 1 dargestellt. Die integrierte Produktion verlangt nur einen minimalen Einsatz von Chemikalien. Dies kann erfüllt werden, wenn die Schädlingsbekämpfung im richtigen Zeitpunkt geschieht, das heisst, der Schädlingsdruck muss genügend gross sein und der Entwicklungsstand der Kulturpflanzen sowie der



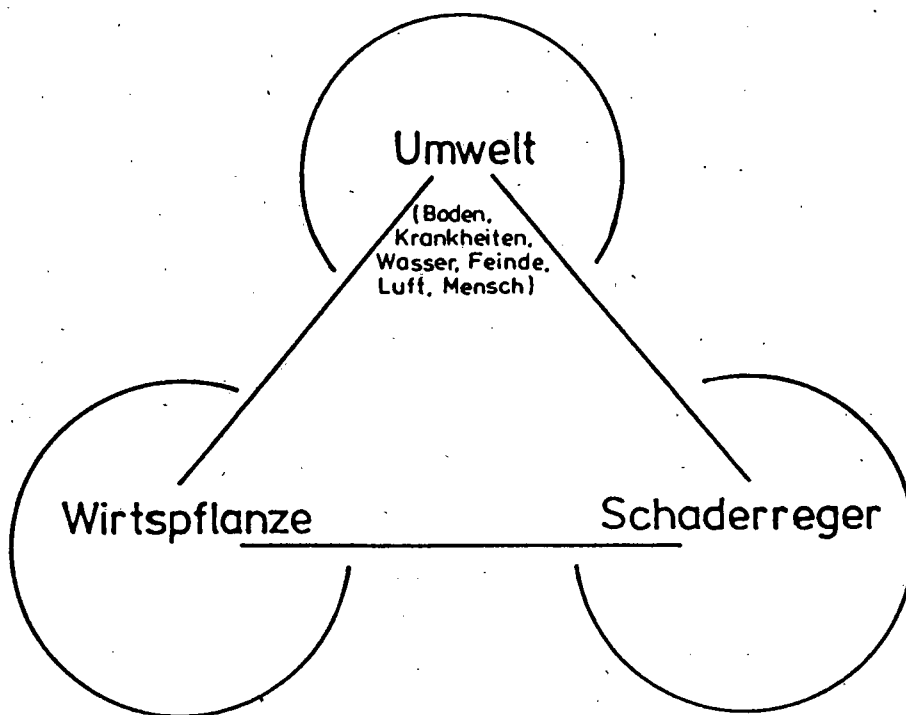


Abb. 1: Wirkungsdreieck (nach BOURKE, 1968)

Schädlinge muss so sein, dass die Wirtspflanzen nachhaltig geschädigt werden. Diesen optimalen Zeitpunkt für den Einsatz von Schädlingsbekämpfungsmitteln zu erwischen ist nur dank der Kenntnisse der Entwicklung beider Kontrahenten sowie mittels Beobachtungen bei Feldbegehungen möglich. Dazu können phänologische Beobachtungen eine wertvolle Hilfe sein, um über den aktuellen Stand der Entwicklung der Kulturen laufend orientiert zu sein.

Neben der bereits im vorangehenden Kapitel erwähnten Kirschenfliegenprognose sollen hier noch zwei weitere Beispiele angefügt werden, die in den Bereich des integrierten Pflanzenschutzes gehören.

- Phytoprog: Es handelt sich dabei um eine Negativprognose der Kartoffelkrautfäule. Diese Krankheit wird durch einen Pilz (*Phytophthora infestans*) hervorgerufen. Der Schädling entwickelt sich bei bestimmten Witterungsverhältnissen (Temperatur und Feuchtigkeit) optimal. Während der Vegetationsperiode werden an der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt für verschiedene Regionen der Schweiz täglich Bewertungsziffern aus Witterungsdaten berechnet. Erreichen diese Ziffern einen bestimmten Wert, sind die Bedingungen für die Entwicklung und Ausbreitung der Kartoffelkrautfäule gegeben. Jetzt muss der Landwirt besonders aufmerksam und häufig seine Kartoffelfelder beobachten und wenn der Befallsdruck zu hoch wird, zur geeigneten Bekämpfung schreiten (ULLRICH u. SCHROEDTER, 1966).

- EPIPPE: Ein ähnliches Programm besteht für Schädlinge im Weizenbau. Auch es basiert auf genauen Kenntnissen der Schädlinge und Krankheiten sowie der Beobachtung der Entwicklungsstadien der Kulturen. Die Qualität der entsprechenden Empfehlungen ist direkt abhängig von der Qualität der notwendigen eigenen Beobachtungen des Landwirts (FORRER, 1987).

Die wichtigsten Schlussfolgerungen lauten somit: Wer nicht prophylaktisch Spritzmittel anwenden will, muss die Natur beobachten und ihre Zusammenhänge kennen. So kann der Landwirt die Natur und sein eigenes Portemonnaie schonen.

#### 1.4.4 Phänologie und Frostwarnungen

Aufgrund des zeitlichen Auftretens unterscheidet man Winter-, Spät- (im Frühling) und Frühfröste (im Herbst). Frostwarnungen werden in der Schweiz nur während der Zeit der Spätfröste erstellt. Deshalb soll das Schwergewicht in diesem Kapitel auch bei den Spätfrösten liegen.

In der Klimatologie spricht man von Frost, wenn die Lufttemperaturen (2m über Boden) unter Null Grad Celsius sinken. In der Agrarmeteorologie ist der Begriff Frost nicht an eine feste Temperaturlimite gebunden. Frostschäden entstehen nicht bei einer fest definierten Temperatur. Je nach der Art der Kultur oder der Pflanzen und deren Entwicklungsstand können Temperaturen bis weit unter Null Grad ohne Schäden ertragen werden. Im Winter überstehen unsere einheimischen Pflanzenarten Temperaturen von unter -20 Grad. Diese Frosthärte ist von Pflanzenart zu Pflanzenart unterschiedlich und kann auch individuell innerhalb bestimmten Grenzen schwanken. Dies ist abhängig vom physiologischen Zustand der einzelnen Pflanze. So können Pflanzen nach einem termingerechten Vegetationsabschluss im Herbst tiefe Temperaturen besser ertragen, als wenn sie plötzlich die Winterruhe antreten müssen, ohne darauf vorbereitet zu sein. Aber auch die witterungsmässige Vorgeschichte spielt bei der Frostresistenz eine entscheidende Rolle. Sinkt die Temperatur kontinuierlich ab, hat die Pflanze Zeit, sich diesen extremen Temperaturverhältnissen anzupassen. Bei einem plötzlichen Temperatursturz ist dies nicht der Fall, die Pflanze erleidet einen Temperaturschock, und es kommt zu Schädigungen. Nicht heimische Pflanzenarten vermögen oft weniger tiefe Temperaturen zu ertragen. So erfrieren Ziersträucher im Winter häufiger. Aber auch die Weinrebe ist diesbezüglich empfindlicher, und die Winter 1984/85 und 1986/87 sind den Winzern der Ostschweiz noch immer in schlechter Erinnerung. Damals sanken die Temperaturen unter -20 Grad, was zu erheblichen Schäden an den Rebkulturen führte. Aber nicht nur die Pflanzenart, sondern auch die Sorten spielen eine wesentliche Rolle. So konnte festgestellt werden, dass die Blauburgunderreben durch extrem tiefe Temperaturen weniger geschädigt wurden als die Riesling x Sylvanerreben.

Besonders kälteempfindlich sind die Pflanzen im Frühling, wenn die Knospen austreiben und die Blust beginnt. Aber gerade im Frühling (April/Mai) sind bei uns Kälterückfälle besonders häufig. Dabei sind verschiedene Obstkulturen (Äpfel, Birnen, Kir-

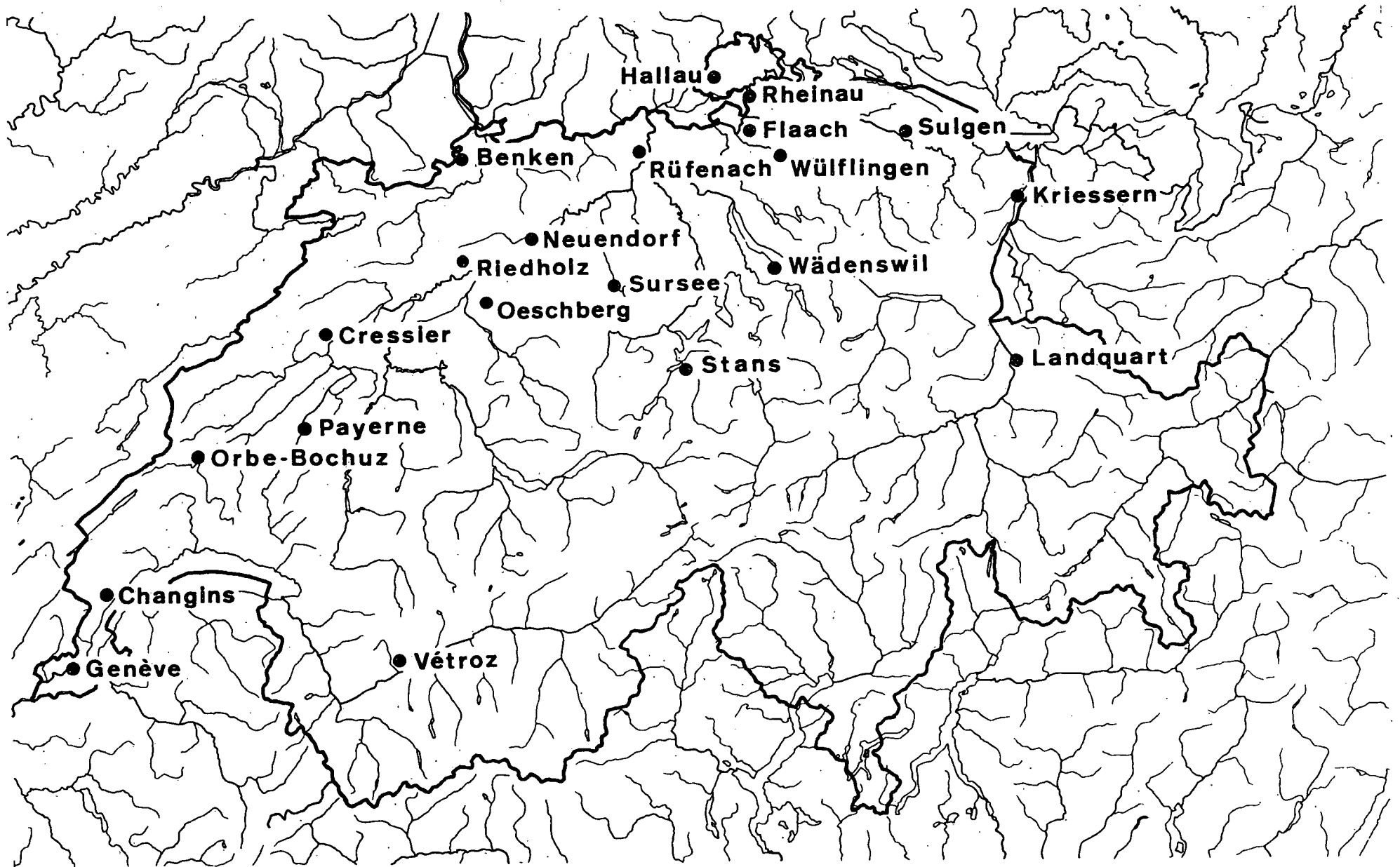


Abb. 2: Das Frostbeobachtungsnetz der Schweiz (Stand 1990)

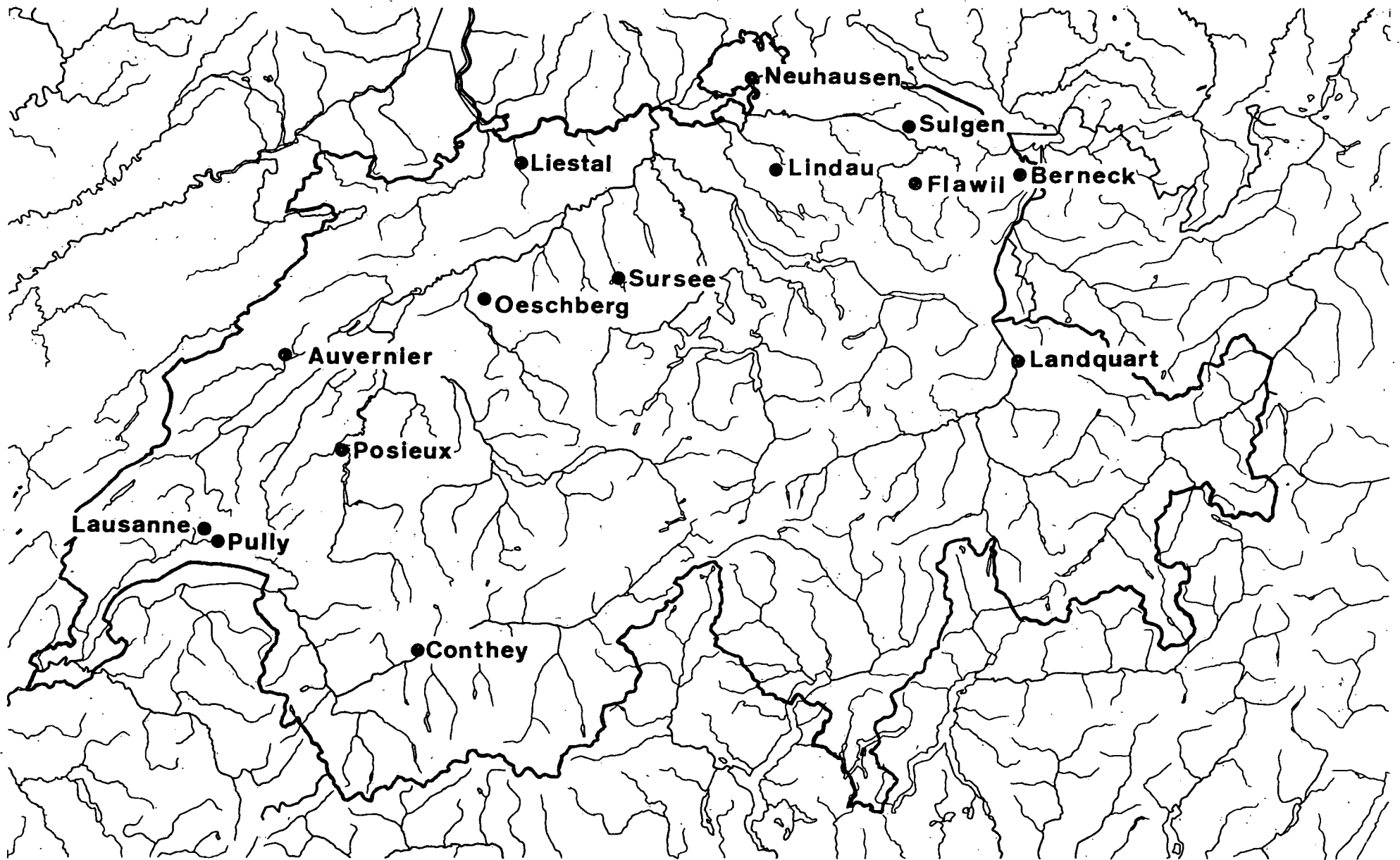


Abb. 3: Phänologische Beobachtungsstationen für die Frostwarnungen (Stand 1990)

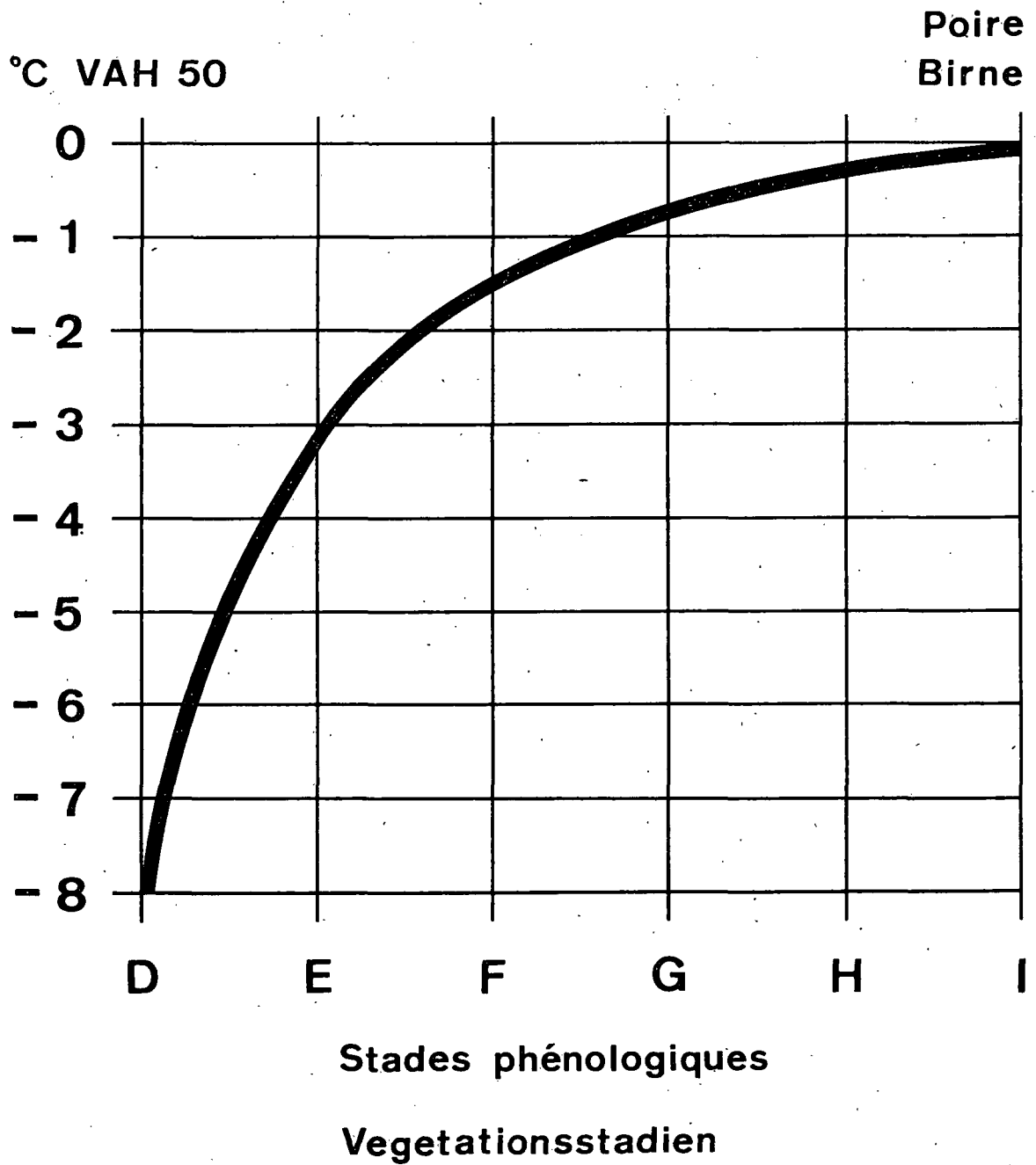


Abb. 4: Natürliche Frostresistenz der Birne für verschiedene phänologische Phasen

schen, Aprikosen, Zwetschgen, Pfirsiche) und die Reben besonders gefährdet. Aus diesem Grunde erstellt die Schweizerische Meteorologische Anstalt während der kritischen Zeit Frostwarnungen. Neben einem speziellen Frostbeobachtungsnetz ist auch ein spezielles phänologisches Netz notwendig. Beide Netze sind nur im Frühling während der kritischen Zeit im Betrieb. Während die Frostbeobachtungsstationen die notwendigen meteorologischen Daten liefern (Abb. 2), sind die phänologischen Beobachtungsstationen für die biologischen Informationen zuständig (Abb. 3). Diese Stationen liegen in den wichtigsten Obst- und Rebbaugebieten der Schweiz. Wie bereits erwähnt, ist die Frostresistenz stark vom Entwicklungsstadium der Pflanzen abhängig. Dies gilt insbesondere im Frühling, wenn die Entwicklung schnell fortschreitet. Diese speziellen phänologischen Beobachtungsstationen haben somit die Aufgabe, recht detailliert die Entwicklung der bereits erwähnten Kulturen zu beobachten und die jeweiligen phänologischen Stadien wöchentlich der Sektion Agrar- und Biometeorologie der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt zu melden. Für jede Kultur existiert ein entsprechendes Diagramm, das die Bestimmung der kritischen Temperatur pro Vegetationsstadium erlaubt (Abb. 4). Aufgrund der regionalen kritischen Temperaturen und der Prognose der nächtlichen Temperaturabsenkungen muss dann täglich entschieden werden, ob, und allenfalls für welche Regionen, eine Frostwarnung ausgesandt werden muss. Dieses phänologische Netz für die Frostwarnungen ist nicht im allgemeinen phänologischen Netz integriert und hat auch ein völlig anderes Beobachtungsprogramm. Die Frostwarnungen sind ein sehr schönes Beispiel für die praktische Anwendung der Phänologie, wo im Extremfall Ernteaufträge in Millionenhöhe verhindert werden können, wenn aufgrund der Frostwarnungen die geeigneten Frostabwehrmassnahmen ergriffen werden. Detaillierte Angaben über Frost allgemein findet man im Handbuch der Pflanzenkrankheiten (LARCHER, 1985), über die schweizerischen Verhältnisse der Frostwarnungen orientiert DEFILA (1986b).

#### 1.4.5 Phänologie und Klimakartierungen

Klimakarten gibt es in den verschiedensten Massstäben, von der globalen Kartierung der verschiedenen Klimatypen bis zu mikroklimatischen Kartierungen kleinster Räume. Am häufigsten sind Temperatur- und Niederschlagskarten anzutreffen, zwei Elemente, die seit Jahrzehnten von allen Klimastationen gemessen werden. Klimastationen sind mehr oder weniger dicht über ein Land verteilt und stellen punktförmige Messungen dar. Obschon sie so aufgestellt werden, dass ihre Messungen für die entsprechende Region repräsentativ sein sollten, sind die genauen Klimaverhältnisse zwischen den Stationen unbekannt. In einem kuppigen Gelände können die Verhältnisse sehr differenziert sein. Eine flächendeckende Karte aus diesen Punktmessungen zu erstellen, braucht daher viel Wissen und Erfahrung. Neben den mehr oder weniger bekannten Regeln von Höhen- und Expositionsabhängigkeiten der verschiedenen Klimaelemente sollte der Verfasser noch möglichst viele zusätzliche lokale Gegebenheiten mitberücksichtigen.

Eine zusätzliche Hilfe bei der Inter- oder Extrapolation zwischen zwei Messstellen kann die Phänologie liefern. In der Annahme,

dass in unseren Klimaregionen die phänologischen Daten vor allem durch die Wärme (Temperatur und Strahlung) beeinflusst werden, gilt dies insbesondere für Temperatur- und Strahlungskarten. Ein verfrühtes Austreiben oder Blühen bestimmter Pflanzen gegenüber der benachbarten Region kann Hinweise auf ein erhöhtes Strahlungs- und Wärmeangebot geben. Aber auch Frostschäden an den Pflanzen erlauben Rückschlüsse auf das Meso- oder Mikroklima, indem Kaltluftseen sehr genau abgegrenzt werden können. Aber nicht nur phänologische Daten ergeben klimatische Hinweise, sondern auch die Pflanzensoziologie, das heisst die Artenzusammensetzung der Flora. Sind wärme-, kälte-, trocken- und feuchtliebende Zeigerpflanzen bekannt, kann ihre Verbreitung durch den Fachmann klimatologisch interpretiert werden.

Die Phänologie unterstützt aber nicht nur die Erstellung von Klimakarten. Es können auch reine phänologische Karten erarbeitet werden. Dabei wird die Kartierung der absoluten und relativen Phänologie angewendet. Bei der absoluten Phänologie werden die Eintrittsdaten ausgewählter phänologischer Phasen eines bestimmten Jahres oder von langjährigen Mittelwerten mittels Isophanen dargestellt. So existieren phänologische Karten von grösseren Gebieten, wie zum Beispiel der Beginn der Apfelblüte in Mitteleuropa (SCHNELLE, 1965) oder eines Landes (PRIMAULT, 1984). Dabei kommt sehr schön das Fortschreiten einer phänologischen Phase von Süden nach Norden, von Westen nach Osten und die Höhenabhängigkeit zur Geltung. Bei der Interpretation dieser Karten muss man sich bewusst sein, dass neben dem Temperatureinfluss noch eine grosse Zahl weiterer Einflussgrössen zum Ausdruck kommen. In den phänologischen Daten ist das Integral aller Einflussgrössen enthalten.

In der relativen Phänologie sind nicht die absoluten Eintrittsdaten massgebend, sondern die relativen Unterschiede von einem Standort zum andern. Eine Anzahl von Testpflanzen und -phasen werden festgelegt, welche bei regelmässigen Messfahrten oder Kontrollgängen beobachtet und kartiert werden. In der Annahme, dass diese phänologischen Phasen stark temperaturabhängig sind, wird mit dieser Methode eine Wärmegliederung der untersuchten Region ermittelt. Anwendung fand diese Methode unter anderem bei der Wärmegliederungskarte der Schweiz (SCHREIBER, 1977). Wie schon erwähnt, wird in den phänologischen Daten nicht nur der Temperatureinfluss manifestiert, sondern die Gesamtheit aller Einflussgrössen. Somit ist bei der Anwendung und Interpretation derartiger Karten die notwendige Vorsicht geboten.

#### 1.4.6 Phänologie und Schäden in der Biosphäre

Die Biosphäre stellt keine unveränderliche Gemeinschaft von Tieren, Pflanzen und Mikroorganismen dar. Es handelt sich vielmehr um ein dynamisches System, dessen Artenvielfalt und -zusammensetzung ständigen Aenderungen unterworfen ist. Die Ursachen können sowohl bei Klimaänderungen oder Naturkatastrophen als auch beim Menschen liegen. Es ist naheliegend, dass sich zum Beispiel die Eiszeiten nachhaltig auf das räumliche Verbreitungsbild von Flora und Fauna auswirken. Nach dem Rückzug der Gletscher siedelten

sich auf den Moränen zuerst wieder Pionierpflanzen wie Flechten und Moose an, welche von höheren Pflanzen abgelöst wurden und im Verlaufe der Jahrhunderte in einem Klimaxstadium endete. Aber auch Ueberschwemmungen, Vulkanausbrüche oder jahrelange Dürreperioden beeinflussen die Biosphäre nachhaltig. In der jüngsten Zeit der Erdgeschichte spielt auch der Mensch eine massgebende Rolle. Mit der Verschmutzung von Wasser, Boden und Luft und der zu dichten Besiedlung greift er massiv in den Naturhaushalt ein. Problematisch wird es, wenn ein Oekosystem irreversibel geschädigt wird. In den letzten Jahren werden wir immer mehr mit der Frage konfrontiert, inwieweit sich die Natur von den verschiedenen Schadstoffeinträgen von Fahrzeugen, Industrie und Heizungen noch erholen kann. Begonnen hat diese Diskussion in den Sechzigerjahren mit der Gewässerverschmutzung und fand in den Siebzigerjahren die Fortsetzung mit dem sauren Regen und der Versauerung von Seen. Richtig wach wurde die Bevölkerung, die Wissenschaft und die Politiker erst durch das Waldsterben (Waldschäden) und die Nuklearkatastrophe (Tschernobyl 1986) und Chemieunfälle (Basel 1986). Verfolgt man die unzähligen Presseerzeugnisse, Theorien und Gegendarstellungen zum Thema Waldsterben in den Medien und in den Fachzeitschriften, wird bald einmal klar, dass die Suche nach Ursachen und Wirkungen nicht einfach ist.

Nachdem sich anfangs der Achtzigerjahre die Meldungen aus dem Ausland über den schlechten Gesundheitszustand der Wälder häuften, begann man in der Schweiz die Wälder genauer zu untersuchen. In der Folge wurde ein Beobachtungsprogramm eingeführt, das mit jährlichen Aufnahmen bei Probeflächen, verteilt über die ganze Schweiz, erlaubt den Gesundheitszustand des Schweizerwaldes festzuhalten und Veränderungen von Jahr zu Jahr zu registrieren (Sanasilva) (MÜHLEMANN, 1989). Um diese Bestandesaufnahmen durchführen zu können, müssen die Schadstufen der Bäume möglichst genau definiert werden. Die Forstfachleute stellten bald einmal fest, dass es nicht so einfach ist, verschiedene Schadstufen vom gesunden Baum bis zum toten Baum zu beschreiben. Man ging dabei vor allem vom Blatt- respektive Nadelverlust der Bäume aus. Bei der Ursachenfindung tat man sich noch schwerer. Zuerst wurde der saure Regen und die entsprechende Bodenversauerung als Hauptursache für die Waldschäden angesehen. Später wurden die Schadstoffe in der Luft (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, etc.) in den Mittelpunkt gestellt und letztlich sogar die Einflüsse von Kernkraftwerken, Sendeanlagen oder anderen elektromagnetischen Quellen untersucht. Nachdem man anfänglich nach monokausalen Zusammenhängen gesucht hat (Ursache/Wirkung), sah man sehr bald, dass die Zusammenhänge viel komplexer sind. Ausdrücke wie Synergismus, komplexes Wirkungsgefüge und additive Wirkungen wurden populär. Man sah ein, dass ein komplexes Oekosystem mit den vielfältigen Einflussgrössen ganzheitlich betrachtet werden muss. Einerseits können die Wirkungen der Schadstoffe nicht einzeln betrachtet werden, andererseits muss auch der Baum in seiner ganzen Umgebung gesehen werden.

Neben den Schadstoffen wird der Wald oder allgemein die Biosphäre noch von vielen weiteren Grössen beeinflusst, so auch von der Witterung. Extreme Witterungsereignisse kamen somit bald auch einmal ins Gespräch als Haupt- oder Mitverursacher bei den Waldschäden. Ein besonderes Augenmerk galt dabei den Dürreperioden (PFISTER et al., 1988). Dabei ist zu unterscheiden zwischen direkten und indirekten Witterungseinflüssen. Starker Frost, Tempe-



raturstürze oder Trockenperioden gehören zu den direkten Witterungseinflüssen. Indirekt hat die Witterung einen Einfluss auf die Entwicklung von Schädlingspopulationen und auf die Wirkung der Schadstoffe in der Luft, im Boden und auf den Pflanzen. Auswaschen der Atmosphäre, Eintrag in den Boden, Nebelfrachten, Bildung von Ozon bei starker Einstrahlung sowie der ganze Transport von Luftschadstoffen in der Atmosphäre sind Beispiele, welche die Zusammenhänge zwischen der Meteorologie und den Schadstoffen aufzeigen sollen. Verschiedene komplexe Systeme gilt es dabei miteinander in Verbindung zu setzen, ein Unterfangen, das nicht ganz einfach ist und das wahrscheinlich nie ganz gelingen wird. Es stellte sich auch bald heraus, dass die Kenntnisse der Beziehungen zwischen der Witterung und den Pflanzen relativ bescheiden sind. Es existieren zwar viele Arbeiten über Witterungseinflüsse, besonders einzelner Elemente, auf bestimmte Pflanzen, vor allem Kulturpflanzen (SEEMANN et al., 1979), aber die Beziehungen des gesamten Witterungskomplexes auf ein Oekosystem (z.B. auf den Wald) sind noch wenig erforscht. Der witterungsmässige Verlauf vorangehender Vegetationsperioden und Ruhephasen sowie der Allgemeinzustand der Pflanzen müssen bei derartigen Untersuchungen ebenfalls berücksichtigt werden. Von grossem Interesse ist auch die Frage, ob die Pflanzen infolge der Umweltbelastungen sensibler auf extreme Witterungseinflüsse reagieren. Aus all diesen aufgeworfenen Fragen wird deutlich, dass deren Beantwortung nicht einfach sein wird und auch hohe Ansprüche an die statistischen Methoden stellt.

Änderungen in der Biosphäre verlaufen häufig sehr langsam und sind ohne kontinuierliche Beobachtungen kaum feststellbar. Wie in den meisten Fällen wird erst heute, nachdem die Schäden schon offensichtlich geworden sind, die Forderung nach entsprechenden Umweltbeobachtungsnetzen laut. Ein derartiges Umweltbeobachtungsprogramm stellt das phänologische Netz der SMA dar. Das Ausmass der Beobachtungen ist beschränkt und vor allem auf die Pflanzenwelt bezogen. Auch die Zeitreihen (seit 1951) sind noch relativ kurz. Von einer Anzahl von Stationen sind Beobachtungen aus den Fünfzigerjahren vorhanden, aus einer Zeit, als die Umweltbelastung noch nicht so gross und die Luft wesentlich sauberer war. Da in den phänologischen Beobachtungen die Gesamtheit aller Umwelteinflüsse zum Ausdruck kommt, müssten auch die Einwirkungen von Schadstoffen feststellbar sein. Dies ist aber nur möglich, wenn die Witterungseinflüsse bekannt sind und quantifiziert werden können, so dass nach deren Eliminierung die Trends, welche auf Schadstoffeinwirkungen schliessen lassen, festgestellt werden können. In Kapitel 10 werden diese Probleme eingehender behandelt. Neben Laborexperimenten sind auch Feldbeobachtungen notwendig. So kann zum Beispiel die Langzeitwirkung von Immissionen nicht im Labor nachvollzogen, sondern nur anhand von langjährigen Beobachtungen der Natur erfasst werden.

#### 1.4.7 Phänologie und die Definition der Vegetationsperiode

Ueber den Begriff der Vegetationsperiode oder -zeit wurde schon sehr viel geschrieben und er diente auch schon als Dissertationsthema (GENSLER, 1946). Etwas volkstümlich ausgedrückt beginnt die

Vegetationszeit mit dem Erwachen der Natur und endet mit beginnender Winterruhe. Schwierigkeiten bereitet aber die Festlegung der entsprechenden Termine. Soll der Beginn und das Ende der Vegetationsperiode mittels Beobachtungen in der Natur definiert werden - z.B. Blühdatum bestimmter Pflanzen und deren Blattverfärbung (Phänologie) - oder aufgrund genau definierter Temperaturschwellenwerte (Klimatologie)? In der Literatur findet man beide Varianten mit den verschiedensten Definitionen, worauf näher eingegangen werden soll.

#### a) Klimatologische Definition der Vegetationsperiode

Im allgemeinen werden bei den klimatologischen Definitionen nur die Lufttemperaturen berücksichtigt. Dabei stellt sich die Frage, ob die Tagesmittel, -maxima oder -minima und welcher entsprechende Schwellenwert massgebend sind. Viele Autoren beziehen sich auf die Tagesmittelwerte, wobei die Limiten von etwa 0 bis 10 Grad Celsius variieren. Diese verschiedenen Ansätze sind in der Dissertation von GENSLER (1946) zusammengestellt. Er ermittelte als beste Schwellenwerte für die Schweiz die Tagesmitteltemperaturen von 7,5 Grad im Frühling und 5 Grad im Herbst. Er bezeichnet diese Periode als Zeit der aktiven pflanzenperiodischen Vorgänge. Für die Assimilationszeit (Grünzeit) postulierte er als beste thermische Umschreibung die Periode zwischen 10 Grad (Frühling) respektive 7,5 Grad (Herbst). Oft wurden auch die Minimumtemperaturen als begrenzende Faktoren gewählt, so zum Beispiel die frostfreie Zeit (Temperaturminimum mindestens 0 Grad). Für die Klimaregionen der Schweiz versagt aber eine derartige Definition, da Temperaturen unter 0 Grad bis Ende Mai auftreten können und in höheren Lagen sogar während des ganzen Sommers. Eine Definition, die den Beginn der Vegetationsperiode auf Ende Mai festlegt, ist wohl wenig sinnvoll, da zu der Zeit schon alles blüht und grünt. In Amerika werden oft die sogenannten "killing frosts" zur Definition der "growing season" beigezogen (SMITH, 1920). Dabei wurde das mittlere Eintrittsdatum des letzten und ersten Schadenfrost berechnet und die Periode dazwischen als Vegetationszeit festgelegt. Hier stellt sich die Frage, an welchen Pflanzen und Kulturen die Schäden festgestellt werden sollen. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass man die Aperaturzeit der Vegetationszeit gleichsetzt. Dies mag in höher gelegenen Gebieten angehen, wo während des ganzen Winters im allgemeinen eine geschlossene Schneedecke liegt (etwa ab 1000m ü.M.). In diesen Höhenlagen kann man beobachten, dass sofort nach der Ausaperung die ersten Frühlingsboten wie Schneeglöckchen, Krokusse oder Soldanellen zu blühen beginnen. Im Mittelland oder auf der Alpensüdseite, wo jeder Wintermonat schneefrei sein kann, muss diese Methode versagen.

Bei der Festlegungen dieser Temperaturlimiten stellt sich die Frage der Andauer des Ueberschreitens der Grenzwerte. Genügt ein einmaliges Erfüllen der Bedingungen oder müssen diese während mehreren Tagen erfüllt werden? Da in den Niederungen des Mittellandes und erst recht auf der Alpensüdseite z.B. Tagesmitteltemperaturen von über 5 Grad während des ganzen Winters erreicht werden können, muss zusätzlich noch eine Andauerzeit definiert oder ein Starttermin (z.B. ab 1. März) festgelegt werden. Es stellt sich dabei die Frage, wie die Pflanzen auf einen Kälteeinbruch, der nach Vegetationsbeginn auftritt und nicht zu sichtbaren Schädigungen führt, reagieren. Wird die Vegetationsentwick-

lung gestoppt oder lediglich verzögert? Die Erfahrung hat gezeigt, dass die Vegetationsentwicklung kaum mehr gestoppt werden kann, wenn sie einmal durch entsprechende Temperaturen angekurbelt wurde. Es stellt sich nur eine Verlangsamung ein, es sei denn, die Pflanze werde nachhaltig geschädigt. PRIMAULT (1972) hat die Vegetationsperiode etwas detaillierter definiert, indem er neben den Temperaturschwellenwerten auch deren Andauer definiert und das Vegetationsende flexibler gestaltet hat. Nach seiner Definition müssen folgende Kriterien erfüllt sein:

"Vegetationsbeginn: 7 nacheinanderfolgende Tage mit Tagesmitteltemperaturen von mindestens 5 Grad Celsius.  
Vegetationsende: 5 nacheinanderfolgende Tage mit Tagesmitteltemperaturen unter 5 Grad.  
oder: 3 nacheinanderfolgende Tage mit Tagesminimumtemperaturen unter 0 Grad.  
oder: 1 Tag mit Tagesminimumtemperatur unter -2 Grad."

Diese Definition trägt unseren Verhältnissen am besten Rechnung, da kurzfristige Wärme- oder Kälteperioden nicht zum Start oder Abbruch der Vegetationszeit führen. Die Uebereinstimmung der Definition mit phänologischen Daten wird im Kapitel 7.8 näher untersucht. Man muss sich bewusst sein, dass alle Definitionen Näherungswerte sind, Modelle, die nie den wirklichen Verhältnissen völlig gerecht werden. Jede Pflanze reagiert unterschiedlich auf die Temperatur und dazu kommt, dass nicht nur die Temperatur, sondern die Gesamtheit aller meteorologischen Elemente auf die Pflanze einwirkt. Für jede Pflanzenart müsste entsprechend die Vegetationsperiode individuell definiert werden. Dabei darf nicht vergessen werden, dass für den Beginn und das Ende der Vegetationszeit auch die Vorgeschichte eine massgebende Rolle spielen kann. Bekannt ist, dass verschiedene Pflanzen während ihrer Ruhepause im Winter eine Kälteperiode benötigen, das heisst, eine bestimmte Temperaturlimite muss unterschritten werden, damit die Pflanzen im Frühling optimal austreiben (Vernalisation) (SCHUEPP, 1950). Aber auch eine Trockenperiode im Sommer kann die Vegetationsperiode frühzeitig beenden (Blattfall infolge Trockenstress). Da in unseren Klimazonen im Frühling normalerweise genügend Wasser im Boden gespeichert ist, kann zur Bestimmung des Vegetationsbeginns das Hauptgewicht auf die Temperatur gelegt werden. Bei Blühphasen darf aber auch der Einfluss der Strahlung (Lichtreiz) nicht vergessen werden. Im Herbst darf die Temperatur im allgemeinen als limitierender Faktor angesehen werden, wobei im Einzelfall die Trockenperioden mitberücksichtigt werden müssen. In ariden und semiariden Zonen muss das Augenmerk vermehrt auf die Niederschlagsverhältnisse (Wasserbilanz) gelegt werden. In extrem heissen Gebieten können auch zu hohe Temperaturen die Vegetationszeit beenden.

#### b) Phänologische Definitionen der Vegetationsperiode

Die klimatische Methode zur Bestimmung der Vegetationszeit muss als Hilfsmittel angesehen werden. In Wirklichkeit wird die Vegetationszeit durch Aeusserungen der Pflanzen bestimmt. Da sie zum Teil nur schwer zu erkennen sind, hat man auf messbare Grössen, wie die Lufttemperatur zurückgegriffen. Bei der phänologischen Begriffsbestimmung stellt sich sofort die Frage, welche Merkmale

sich dazu eignen. Völlig ohne Lebensäusserungen ist nur eine tote Pflanze. Atmungsvorgänge in den Samen, Knollen, Wurzeln und oberirdischen Pflanzenteilen laufen auch während des ganzen Winters ab. Die Vegetationsperiode mit der photosynthetisch aktiven Zeit gleichzusetzen scheitert bei den immergrünen Nadelhölzern. Bei geeigneten Temperaturen kann die Assimilation auch im Winter einsetzen. Sichtbar ist das Strecken der Knospen im Frühling und die Entwicklung neuer Trieb- und Endknospen im Herbst vor der Winterruhe. Da im phänologischen Beobachtungsprogramm der SMA diese Stadien nicht enthalten sind, können wir uns nicht auf diese Merkmale abstützen. Wir sind auf Blüh- und Austreibphasen angewiesen. Allzu frühe Phasen, wie etwa die Blüte des Haselstrauches, eignen sich dazu schlecht, da sie bei bestimmten Witterungsverhältnissen schon im Winter auftreten können. Ein weiteres Problem besteht in der Schweiz darin, Pflanzen zu finden, die in praktisch allen Regionen und Höhenstufen vorkommen. Als mögliche phänologische Phasen für die Festlegung des Vegetationsbeginns kommen Vollblüte des Buschwindröschens, Blattausbruch der Buche (ist jedoch nur in Höhen bis etwa 1000 m ü.M. verbreitet anzutreffen) oder Nadelaustrieb der Lärche in Betracht.

Als Ende der Vegetationszeit wird sehr oft die allgemeine Blattverfärbung angesehen, welche auch mit dem Ende der Assimilationsperiode gleichzusetzen ist (GENSLER, 1946). Da kommt bei unseren phänologischen Beobachtungen wieder nur die Buche in Frage mit dem bereits erwähnten Nachteil. Der Blattfall ist weniger geeignet, da er von kurzfristigen meteorologischen Bedingungen abhängt, wie Sturmwinde oder Fröste. Vergleiche zwischen den klimatischen und phänologischen Definitionen werden im Kapitel 7.8 behandelt.

#### 1.4.8 Phänologie und Pollenprognosen

Laut Statistik leiden in der Schweiz rund 10 % der Bevölkerung an Pollenallergien (WÜTHRICH, 1985). Am meisten verbreitet ist der Heuschnupfen, der in Allergieasthma ausarten kann. Die Schweizerische Arbeitsgruppe für Aerobiologie betreut seit Jahren ein Netz mit rund 12 Pollenfallen in verschiedenen Regionen der Schweiz. Die Pollen werden wöchentlich von Fachleuten bestimmt und ausgezählt. Die Resultate werden während der Saison regelmässig in Form von Bulletins verbreitet (Radio, Zeitungen, Telefon). Es wurden auch schon zahlreiche wissenschaftliche Arbeiten zu diesem Thema geschrieben (LEUSCHNER, 1972; PEETERS, 1986). Seit 1988 erscheint eine Jahreszusammenfassung dieser Pollenauswertungen der verschiedenen Stationen mit entsprechendem Kommentar (SCHWEIZ. ARBEITSGRUPPE FÜR AEROBIOLOGIE, 1989). Neuerdings werden diese wöchentlichen Pollenbulletins auch in graphischer Form publiziert, was für die Aerzte eine wertvolle Hilfe darstellt. Diese Bulletins sind aber keine eigentliche Pollenprognose, da der aktuelle Zustand festgehalten wird und höchstens Angaben wie Tendenz zunehmend, abnehmend oder gleichbleibend, möglich sind. Der Pollinotiker hat aber bereits bevor das Bulletin erscheint auf die entsprechenden Pollen reagiert. Patienten, die während der kritischen Zeit den Polleneinwirkungen durch einen Ferienaufenthalt in den Bergen (wo dieser Pollen noch nicht auftritt) oder

am Meer (wo diese Pollenart gar nicht vorkommt) entfliehen wollen, sollten dies jedoch schon einige Wochen im voraus planen können. Auch eine gezielte medikamentöse Behandlung müsste schon drei bis vier Wochen vor der kritischen Zeit beginnen können. Es existieren zwar sogenannte Pollenkalender für verschiedene Messstationen, welche die Flugzeiten der verschiedenen Pollen angeben (WÜTHRICH et al., 1983). Diese Termine beruhen jedoch auf Mittelwerten, Wer sich nur ein wenig mit der Natur beschäftigt weiss, wie stark die Blühdaten je nach Witterung von Jahr zu Jahr variieren können.

Da es sich bei der Freisetzung der Pollen ebenfalls um eine phänologische Phase handelt, ist es naheliegend, die Pollendaten mit den Daten des phänologischen Beobachtungsprogrammes zu vergleichen. Der phänologische Dienst des Deutschen Wetterdienstes hat entsprechende Untersuchungen realisiert, mit dem Ziel, eine Pollenprognose zu erstellen. Untersucht wurde als allergologische Phase z.B. die Vollblüte des Winterroggens. Aus dem phänologischen Beobachtungsprogramm wurde eine Leit- oder Vorphase gesucht, die etwa einen Monat früher auftritt. Geeignet für diese Vorphase erwies sich die Vollblüte des Flieders. Mit Hilfe eines Regressionsmodells wurde, ausgehend vom Datum der Fliederblüte, das Datum der Blüte des Winterroggens berechnet. Dies wurde rückwirkend für die letzten 30 Jahre durchgeführt. Die mittlere Abweichung betrug 2,8 Tage und die maximale 7 Tage zwischen prognostizierten und beobachteten Terminen (KLANTE, 1989). Dieses Ergebnis muss als sehr gut betrachtet werden, wenn man bedenkt, was witterungsmässig in diesen vier Wochen zwischen der Blüte des Flieders und des Winterroggens alles geschehen kann (DEFILA, 1988b). Für Pollen, die sehr früh im Jahr freigesetzt werden, dürfte eine derartige Prognose nicht möglich sein, da eine phänologische Vorphase fehlt (z.B. beim Haselstrauch). Da erfahrungsgemäss diese frühen phänologischen Phasen sehr starken zeitlichen Variationen unterworfen sind, dürfte auch eine relativ ungenaue Prognose kaum realisierbar sein.

Pollenprognosen aufgrund von phänologischen Daten stellen ein sehr praktisches Anwendungsbeispiel der Phänologie dar. Davon könnte ungefähr jeder zehnte Schweizer profitieren.

#### 1.4.9 Bedürfnisse nach phänologischen Informationen

Neben rein wissenschaftlichen Zielsetzungen findet die Phänologie auch bei alltäglichen Themen Eingang. Phänologische Daten werden oft von Studenten als zusätzliche Informationen für ihre Arbeiten (Semester-, Diplom- oder Doktorarbeiten) verwendet. Gelegentlich entstehen auch eigentliche phänologische Arbeiten (MAHRER, 1985; SCHAER, 1987). Auch Hochschulen oder andere Forschungsstellen möchten immer wieder Auskunft über den aktuellen Stand der Vegetationsentwicklung in einer bestimmten Region oder von einer speziellen Pflanze. Meist sind diese Informationen für Feldarbeiten notwendig, die nur ausgeführt werden können, wenn bestimmte Pflanzen blühen oder aufgrund der Vegetationsentwicklung auf das Vorkommen eines Insektes geschlossen werden kann. Diese Auskünfte setzen ein phänologisches Sofortmeldeprogramm

voraus, wie es im Kapitel 4.5.2 beschrieben wird. Aber auch die Presse (Tageszeitungen, Radio und Fernsehen) ist an der jeweiligen Vegetationsentwicklung interessiert, vor allem wenn diese extrem früh oder spät ist. Berufsfotografen, die für eine Aufnahme z.B. einen blühenden Kirschbaum benötigen, gehören ebenfalls zu den Kunden wie auch Touristen, die in ihren Ferien den Bergfrühling erleben möchten.

Auf grosses Interesse stösst der Rückblick auf die Vegetationsentwicklung der vergangenen Saison. Aus diesem Grunde werden Zusammenstellungen in Form von Tabellen und Texten jährlich für die Forst- und Landwirtschaft erstellt und publiziert (DEFILA, 1987, 1988a, 1989a, 1989b).

## 2. HISTORISCHES

Wie schon in Kapitel 1.3 angetönt wurde, beschäftigt sich der Mensch seit frühesten Zeiten mit der Phänologie. Bei der Nahrungssuche der Sammler und Jäger war das phänologische Wissen lebensnotwendig. Aber auch der Ackerbauer und Viehzüchter musste gute Kenntnisse über die Wachstums- und Entwicklungserscheinungen der verschiedenen Pflanzen besitzen. Schon die Griechen wussten, dass der Ertrag ihrer Kulturen von der Witterung abhängt (Kap. 1.4.2). Später im Mittelalter waren es die Gelehrten (Geistliche), die sich mit den jahreszeitlichen Veränderungen der Natur beschäftigten und dazu oft tagebuchartige Notizen machten (PFISTER, 1984).

Als der Begründer der "modernen" Phänologie gilt der schwedische Botaniker Karl von Linné, der in Schweden schon 1750 ein phänologisches Beobachtungsnetz gründete. Die von ihm beschriebenen Entwicklungsstufen sind noch heute die Grundlage jeder phänologischen Beobachteranleitung. Im 19. Jahrhundert wurde ein erstes internationales, phänologisches Netz mit 80 Stationen errichtet. Beteiligt waren dabei folgende Länder: Belgien, Holland, Deutschland, Italien, Frankreich, England und die Schweiz. Die Aufzeichnungen dauerten von 1841 - 1872. In Deutschland richtete 1882 Prof. H. Hoffmann und sein Schüler E. Ihne ein phänologisches Beobachtungsnetz ein, dessen Resultate jährlich publiziert wurden. In dieser Zeit erstellte H. Hoffmann auch eine erste phänologische Karte von Mitteleuropa. 1905 erschien die erste Karte über den Frühlingseinzug in Mitteleuropa von E. Ihne (1905). Nach dem ersten Weltkrieg entstand ein Phänologischer Reichsdienst, der bis zum zweiten Weltkrieg funktionierte. Ein einheitliches phänologisches Netz entstand erst wieder 1953. Aktiv war damals vor allem F. Schnelle, der auch die Idee der Internationalen Phänologischen Gärten (IPG) entwickelte.

Am weitesten zurück reichen die phänologischen Beobachtungen in Japan. In den Archiven des Kaiserlichen Hofes existieren Aufzeichnungen über den Beginn der Kirschblüte bis zurück ins Jahr 812. Untersuchungen zu den Beziehungen zwischen der Phänologie und der Meteorologie wurden aktuell, als 1735 der Franzose M. de Réaumur die Temperatursummenregel postulierte. Auf diesem Ansatz der Temperatursummen basieren noch heute zahlreiche Untersuchungen. Auch in der vorliegenden Arbeit wird eingehender darauf ein-

gegangen (Kap. 10.2.2). In der Mitte des 19. Jahrhunderts kam man zur Einsicht, dass der Vegetationsnullpunkt nicht dem Nullpunkt des Thermometers entsprechen muss. In der Folge entstanden zu dieser Frage zahlreiche Arbeiten. Man musste bald einmal feststellen, dass jede Pflanzenart, ja sogar jede Rasse, ihren eigenen Vegetationsnullpunkt besitzt. Auf diese Problematik wird noch in Kapitel 7.8 eingegangen.

Die Geschichte der Phänologie in der Schweiz wird eingehender in Kapitel 4 behandelt. Nachdem früher vor allem Untersuchungen zu den Beziehungen zwischen der Temperatur und den phänologischen Phasen durchgeführt wurden, liegt heute das Schwergewicht mehr auf den multifaktoriellen Methoden. Es gibt zahlreiche Modelle für landwirtschaftliche Kulturen (Erntepronosen, Schädlingsbekämpfung etc.); die Behandlung eines gesamten Oekosystems fehlt jedoch fast vollständig.

### 3. ARBEITSMETHODEN IN DER PHAENOLOGIE

#### 3.1 Einführung

Das Grundprinzip der Phänologie besteht im Beobachten und Notieren von Eintrittsterminen verschiedener phänologischer Phasen. Grundsätzlich sind dabei zwei Methoden praktikabel. An verschiedenen Standorten eines Landes werden gemäss einem einheitlichen Beobachtungsprogramm verschiedene Pflanzen und deren Phasen beobachtet und schriftlich festgehalten. Die Beobachtungen müssen sich auf Pflanzen und Kulturen beschränken, die in der näheren Umgebung vorkommen. Diese Beobachtungen sollen während Jahrzehnten möglichst am selben Standort und an denselben Pflanzen durchgeführt werden. Es handelt sich dabei um die sogenannte absolute Phänologie.

Die andere Möglichkeit besteht darin, dass mittels Beobachtungsfahrten oder -gängen entlang ausgewählter Routen Stadien bestimmter Pflanzen notiert werden. Diese Beobachtungen sollten möglichst zu verschiedenen Zeiten der Vegetationsperiode wiederholt werden. Um die Eigenheiten einer Vegetationsperiode zu eliminieren, müssen diese Beobachtungen während einigen Jahren wiederholt werden. Da bei dieser Methode die Verhältnisse der verschiedenen Phasen zueinander zum Ausdruck kommen, nennt man sie relative Phänologie. Bei den Eintrittsterminen der phänologischen Phasen kann die Vererbung und Herkunft (Provenienz) der Pflanzen eine Rolle spielen. Deshalb sind strenge Vergleichbarkeiten zwischen verschiedenen Stationen nur mit Pflanzenmaterial gleicher Herkunft und Abstammung (Klonen) möglich. Aus diesem Grunde wurden die Internationalen Phänologischen Gärten (IPG) (Kap. 3.4) gegründet, wo die Beobachtungen an erbgleichem Pflanzenmaterial durchgeführt werden.

### 3.2 Absolute Phänologie

Die vorliegende Arbeit basiert völlig auf absoluten phänologischen Daten. Viele Länder, vor allem in Europa, besitzen ein phänologisches Beobachtungsnetz, das normalerweise den nationalen Wetterdiensten angeschlossen ist. Die Betreuung obliegt meist dem agrarmeteorologischen Dienst. Diese Methode hat den Vorteil, dass an Beobachtungsstationen, die sich in verschiedenen Regionen und Höhenstufen befinden, langfristige Beobachtungen durchgeführt werden. Man erhält somit lange Beobachtungsreihen mit entsprechender statistischer Aussagekraft. Nachteilig wirkt sich die Tatsache aus, dass die Beobachtungen in den meisten Fällen durch Laien durchgeführt werden, was botanische Verwechslungen nicht ganz ausschliesst. Die schon eingangs erwähnten Unterschiede der Herkunft und Erbmasse führen zu gewissen Inhomogenitäten des Datenmaterials. Ein phänologisches Beobachtungsnetz kann ohne grossen Aufwand in jedem Land aufgebaut werden. Trotz den erwähnten Nachteilen sind Trends und Hinweise aus diesem Datenmaterial ohne weiteres interpretierbar, sofern eine genügend grosse Anzahl von Beobachtungsstationen und -jahren vorhanden ist. In der überwiegenden Zahl der konsultierten Arbeiten wird die absolute Phänologie angewandt. Detaillierte Angaben zu den Arbeitsmethoden in der Schweiz sind in Kapitel 4 zu finden.

### 3.3 Relative Phänologie

Will man auf ein grosses Beobachtungsnetz und auf langjährige Beobachtungen verzichten, kann die Methode der relativen Phänologie wertvolle Dienste leisten. Diese Arbeitsmethode erlaubt eine schnelle und flächenhafte, phänologische Kartierung (ELLENBERG, 1954 und SCHREIBER, 1977). Anhand einiger Testpflanzen wird auf die Wachstums- und Entwicklungsunterschiede der gesamten Vegetation geschlossen. Mittels einer Eichstrecke werden die verschiedenen Stadien der Blüten- und Blattentwicklungen exakt definiert. Beobachtungsfahrten erlauben dann die Kartierung der Phasen der Testpflanzen und somit die relativen standörtlichen Unterschiede. Durch mehrmaliges Wiederholen dieser Beobachtungen können Kartierungen zu verschiedenen Jahreszeiten vorgenommen werden. Dadurch werden die Unterschiede in der Vegetationsentwicklung gefestigt. Bei genügend grosser Dichte der Beobachtungsstrecken kann danach eine flächendeckende Karte für eine Region oder ein Land erstellt werden. Aufgrund der etwas vereinfachten Annahme, dass die phänologische Entwicklung Bioindikatoren für die Wärmeverhältnisse eines Gebietes darstellen, können aufgrund dieser Daten Wärmegliederungskarten erstellt werden (SCHREIBER, 1977). Im Gegensatz zu den punktförmigen Informationsquellen bei der absoluten Phänologie werden hier flächenhafte Aussagen möglich. Das Lokalklima und die Standortsunterschiede kommen dabei sehr gut zum Ausdruck. Eine Wärmegliederungskarte, gestützt auf phänologische Angaben, ist nicht ganz unproblematisch. Die Eintrittstermine der phänologischen Phasen werden nicht alleine durch die Temperatur, sondern noch von weiteren meteorologischen und nichtmeteorologischen Faktoren bestimmt (Kap. 5.1.3).



### 3.4 Internationale Phänologische Gärten

Da die Herkunft (Provenienz) und das Erbgut der Pflanzen die phänologischen Eintrittstermine beeinflussen können, ist streng genommen weder bei der absoluten noch bei der relativen Phänologie eine Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Standorten aussagekräftig. Deshalb hat F. Schnelle die Errichtung von Internationalen Phänologischen Gärten gefordert (SCHNELLE, 1955). Schon einige Jahre später wurde diese Forderung erfüllt (SCHNELLE und VOLKERT, 1958). Erbgleiches Pflanzenmaterial (Klonen) wurden in verschiedenen Gärten in ganz Europa angepflanzt. Um eine optimale Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurden die Pflege- und Düngemassnahmen möglichst einheitlich gehandhabt. Damit auch die Beziehungen zu den meteorologischen Einflussgrössen untersucht werden können, wurden die Gärten nach Möglichkeit in der Nähe einer meteorologischen Station angelegt. In der Schweiz gibt es einen entsprechenden Garten an der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft in Birmensdorf/ZH. Neben den erwähnten Vorteilen dürfen aber auch die Nachteile nicht verschwiegen werden. Die phänologischen Gärten brauchen Land und Pflege, was entsprechende Kosten verursacht. Dazu kommt die Nachzucht des erbgleichen Pflanzenmaterials, das ständig in genügend grosser Menge vorhanden sein muss. Erschwerend ist auch die Betreuung, Organisation und Datensammlung über die Landes- und Sprachgrenzen hinweg. Gespeichert werden die Daten aller Internationalen Phänologischen Gärten in einer Datenbank des Deutschen Wetterdienstes in Offenbach (POLTE, 1986). All diese Erschwernisse werden aufgewogen durch den Vorteil einer optimalen Vergleichbarkeit von phänologischen Daten in verschiedenen Klimaregionen Europas.

### 3.5 Fernerkundung

In Zukunft dürfte auch in der Phänologie vermehrt die Fernerkundung Einzug halten. Wenn die räumliche Auflösung der Daten genügend gross ist, kann sie für die Erfassung von Phänophasen wildwachsender Pflanzen und Kulturen mit grosser Ausbreitung ein wertvolles Arbeitsmittel sein (SZASZ, 1986). So kann zum Beispiel die Reife des Kornes oder der Gesundheitszustand der Wälder sehr gut mittels IR-Farbbildern bestimmt werden. Für Einzelpflanzen (z.B. Vogelbeere, Schwarzdorn oder Herbstzeitlose) ist die Luftbildauswertung jedoch kaum brauchbar. Neben Ernteprognosen und phytomedizinischen Fragestellungen eignet sich die Fernerkundung für die relative Phänologie, wo eine Momentaufnahme erwünscht ist (Kap. 3.3). Bei der absoluten Phänologie müssten pro Vegetationsperiode zu viele Flüge durchgeführt werden, was zu kostspielig wäre (Kap. 3.2). In der Schweiz besteht zudem das Problem, dass die kleinräumige Gliederung eine entsprechende Auswertung sehr erschwert.

#### 4. PHAENOLOGISCHE BEOBACHTUNGEN IN DER SCHWEIZ SEIT 1951

##### 4.1 Rückblick

Der Mensch besitzt seit jeher die Gabe, die Natur zu beobachten, und viele Gelehrte (früher waren es vor allem Aerzte, Geistliche oder Lehrer) hielten oft ihre Beobachtungen tagebuchartig fest. Solche Aufzeichnungen findet man noch heute in Archiven von Klöstern oder weltlichen Bibliotheken. Niedergeschrieben wurden vor allem ausserordentliche Ereignisse wie zum Beispiel sehr später Alpaufzug, gute Weinernte oder das zweimalige Blühen der Kirschbäume in einem Jahr. Ch. Pfister hat diese Dokumente mit grosser Sorgfalt und Fleiss gesammelt und ausgewertet. Daraus entstand eine Klimageschichte bis zurück ins Jahr 1525 (PFISTER, 1984). Leider gibt es kaum systematische Aufzeichnungen über längere Perioden aus älteren Zeiten. Auch später, als man phänologische Beobachtungsnetze einzurichten begann, waren die Beobachtungen zeitlich befristet und auf eine bestimmte Region begrenzt. Solche Beobachtungen existieren aus der Schweiz vom letzten Jahrhundert. Aktiv war vor allem das Forstamt des Kantons Bern und später die Universität Bern. Diese kurzfristigen, regionalen Beobachtungen eignen sich nicht für systematische Auswertungen, da je nach Fragestellung unterschiedliche Pflanzen und Phänophasen beobachtet wurden.

1951 gründete B. Primault, der damalige Leiter der Sektion Agrar- und Biometeorologie an der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt, ein phänologisches Beobachtungsnetz, das die ganze Schweiz umfasst und auf einem einheitlichen Beobachtungsprogramm beruht. Berücksichtigt wurden alle Regionen und Höhenlagen der Schweiz. Die tiefstgelegene Station ist Vira im Kanton Tessin mit 210 m/M und die höchstgelegene Avers im Kanton Graubünden mit 1960 m/M. Von anfänglich 70 Stationen wuchs das Netz auf rund 130 Stationen an (Abb. 5). Das Beobachtungsprogramm blieb, abgesehen von kleineren Modifikationen in den ersten Jahren, bis heute unverändert. Dies ist eine gute Voraussetzung für die statistische Bearbeitung der Datensätze.

##### 4.2 Das phänologische Beobachtungsnetz

Wie im vorangehenden Kapitel erwähnt, wurde das phänologische Beobachtungsnetz der Schweiz im Jahre 1951 mit anfänglich 70 Beobachtungsstationen gegründet (DEFILA, 1986a). Leider waren damals die Stationen nicht gleichmässig über die ganze Schweiz verteilt. Deshalb existieren vom Engadin - mit Ausnahme von St. Moritz - phänologische Daten erst ab 1970. Die Beobachter sind interessierte Laien, welche diese Aufgabe gegen ein bescheidenes Entgelt ausüben. Sie rekrutieren sich aus den verschiedensten Berufszweigen, wobei die Förster die Mehrheit bilden. Leider kommt es relativ häufig zu Beobachterwechseln oder gar zur Aufgabe einzelner Phänostationen. Da die phänologischen Beobachtungen bis zu einem gewissen Grade subjektiv sind, wirken sich Beobachterwechsel nicht förderlich auf die Datenqualität aus. Wir konnten jedoch

# PHAENOLOGISCHE STATIONEN Stand 1989



Abb. 5: Das phänologische Beobachtungsnetz der Schweiz

feststellen, dass bei guter Einführung des Nachfolgers die Homogenität der Beobachtungen gewährleistet bleiben kann. Dies konnte mit einer Diplomarbeit über die Station Liestal nachgewiesen werden (MAHRER, 1985). Die kurzen Beobachtungsreihen nützen nur sehr wenig, da man speziell in der Phänologie auf lange Reihen angewiesen ist. Die Reihen sind oft unvollständig, da in einzelnen Jahren bestimmte Phänophasen verpasst werden oder infolge Ferien-, Militärdienstabwesenheit oder Krankenhausaufenthalt einige Beobachtungen gar nicht gemacht werden können. Zudem wird die Subjektivität der Beobachtungen umso besser ausgeglichen, je länger die Reihen sind. Der aktuelle Stand des Beobachtungsnetzes ist in Abbildung 5 wiedergegeben. Insgesamt besitzen wir heute in der Schweiz rund 280 kürzere oder längere Beobachtungsreihen. Aus diesem Stationskärtchen wird ersichtlich, dass in fast allen Landesteilen die Stationsdichte genügend gross ist. Wichtiger als eine Vielzahl sind qualitativ gute Stationen, deren Daten auch ausgewertet werden können.

#### 4.3 Das phänologische Beobachtungsprogramm

An den Stationen werden 37 verschiedene Pflanzenarten und insgesamt 70 Phänophasen wie Blattaussbruch, Vollblüte, Fruchtreife, Blattverfärbung und Blattfall beobachtet (Abb. 6). Das Beobachtungsprotokoll ist in drei Hauptabschnitte unterteilt (Abb. 6). Der grösste Anteil ist den wildwachsenden Pflanzen gewidmet. Dann folgen die Kulturpflanzen und ein kleiner Abschnitt ist noch für die Zugvögel reserviert sowie für den ersten Reif. Leider wurde die Einteilung nicht ganz konsequent durchgeführt. So figurieren z.B. die Rosskastanien und die Obstbäume (Kirschen, Äpfel und Birnen) unter den wildwachsenden Pflanzen. Die Kulturpflanzen eignen sich nicht sehr gut für die Bearbeitung von langjährigen Beobachtungsreihen. Zu dem ohnehin schon recht komplexen Wirkungsgefüge zwischen der Umwelt und den Wachstums- und Entwicklungserscheinungen der Pflanzen kommen noch zusätzliche Einflussgrössen wie Züchtungen, Anbau- und Erntemethoden, Düngung, Pflegemassnahmen etc. dazu. Es handelt sich dabei um Faktoren, welche in den letzten Jahrzehnten grossen Aenderungen unterworfen waren. Alle Beobachter erhalten eine Anleitung "Phänologischer Atlas", in dem allgemeine Richtlinien enthalten sind sowie jede Pflanze mit einer kleinen Skizze und einer Beschreibung der zu beobachtenden Phasen vorgestellt wird (PRIMAULT, 1971a).

Ein Teilziel dieser Arbeit soll auch darin bestehen, dass aufgrund konkreter Ergebnisse das Beobachtungsprogramm angepasst wird. Da aber solche Aenderungen direkte Konsequenzen auf die statistischen Auswertungen mit sich bringen, soll dies nur in begründeten Fällen geschehen. Auf die Auswahl der ausgewerteten Pflanzen und Phasen wird in Kapitel 5 näher eingegangen.

Résumé des Observations Phénologiques  
Zusammenfassung der Phänologischen Beobachtungen  
Riassunto delle Osservazioni Fenologiche

Station Ort Stazione	Commune Gemeinde Comune	Canton Kanton Cantone	Altitude Meersshöhe Altitudine
Observateur Beobachter Osservatore			

L'endroit est : découvert, abrité, horizontal, dans une vallée, en ville, en forêt (souligner ce qui convient).  
Der Beobachtungsort ist : Offen, geschützt, horizontal, in einem Tal, in der Stadt, im Wald. (Zutreffendes unterstreichen).  
Il posto è : scoperto, riparato, orizzontale, in una valle, in città, in una foresta (sottolineare ciò che fa del caso).

Exposition (si possible sud-ouest)  
Exposition (wenn möglich Südwest)  
Esposizione (possibilmente al sudovest)

Plantes sauvages I. Wildwachsende Pflanzen Piante salvatiche		Déploiement des feuilles Blattausbruch Splegamento delle foglie	Pleine Floraison Vollblüte Fioritura	Fruits mûrs Fruchtreife Frutti maturi	Coloration des feuilles Blattverfärbung Colorazione delle foglie	Chute des feuilles Blattabfall Caduta delle foglie
Marronnier Rosskastanie	Castagno Aesculus hypocastanus	6.	7.	25.	26.	27.
Hêtre Buche	Faggio Fagus sylvatica	10.			28.	30.
Frêne Esche	Frassino Fraxinus excelsior					29.
Orme Bergulme	Olmetto Ulmus montana		8.	48.		
Sorbier des oiseleurs Vogelbeere	Sorbo Sorbus aucuparia			49.		
Carisiers Kirschbäume	Ciglieg )		32. B	32. E		
Pommiers Apfelbäume	Mell )		33. B	33. E		
Poiriers Birnbäume	Peri )		34. B	34. E		
Noisetiers Haselstrauch	Nocciolo Corylus avellana	3.	47.			
Lilas Flieder	Serenella Syringa vulgaris		12.			
Epine noire Schwarzdorn	Biancospino Prunus spinosa		18.			
Tilleul à grandes feuilles Sommerlinde	Tiglio a grandi foglie Tilia grandifolia		19.			
Sureau rouge Roter Haindler	Sambuco rosso Sambucus racemosa		20.			
Sureau noir Schwarzer Haindler	Sambuco nero Sambucus nigra		21.			
Tilleul à petites feuilles Winterlinde	Tiglio a piccole foglie Tilia parvifolia		23.			
Mélèze Lärche	Larice Larix decidua	11.				
Peuplier tremble Espe, Zitterpappel	Ploppo tremulo Populus tremula	14.				
Sapin rouge Fichte	Abete rosso Picea excelsa	17.				
*) Noter la sorte Sorte notieren Notare la specie		Pleine Floraison Vollblüte Fioritura				
Percs-neige Schneeglöckchen	Buca neve Galanthus nivalis	1.				
Pas d'âne Hutfliech	Farfaro Tussilago farfara	2.				
Anémone sylvie Buschwindröschen	Anemone Anemone nemorosa	4.				
Hépatiques Leberblümchen	Erba trinità o Fegatella Anemone hepatica	6.				
Dent de lion Löwenzahn	Dente di leone Taraxacum officinale	9.				
Bruyère Erika, Schneehaide	Erica Erica carnea	24.				
Renoncules, Ficaires Scharbockkraut	Ranuncoli Ranunculus ficaria	18.				
Cardamine des prés Wiesenschaumkraut	Cardamina dei prati Cardamine pratensis	15.				
Grandes marguerites Wucherblume, Margerite	Margherite Chrysanthemum leucantemum	16.				
Genêt à balais Besenginster	Ginestra Sarothamnus scoparius	22.				
Colchique Herbstzeitlosen	Colchico Colchicum autumnale	30.				

Oiseaux migrants III. Zugvögel Uccelli migratori		Arrivée Ankunft Arrivo	Départ Abreise Partenza
Hirondelles Schwalben Rondini		44. R	44. S
Martinets Mauersegler Rondoni		45. R	45. S
Etourneaux Stare Storni		46. R	46. S

Plantes cultivées II. Kulturpflanzen Piante coltivate		Formation des épis Aehrenbildung Formazione delle spighe	Moissons Getreideernte Mietitura
Blé Weizen	Grano	38. O	38. P
Seigle Roggen	Segale	39. O	39. P
Orge Gerste	Orzo	40. O	40. P
Mais Mais	Granoturco	41. O	41. P
Avoine Hafer	Vena	42. O	42. P
		Début Beginn Inizio	Fin Ende Fine
Fenaison Heuernte	Fienagione	37. M	37. N
		Début de plantation Beginn der Pflanzung Inizio della semina	Germination Keimung Germogliazione
Bettaraves à sucre Zuckerrüben	Barbabietola da zucchero	43. H	43. A
		La vigne pleure Bluten der Rebe La vigna piange	Floraison Vollblüte Fioritura
Vigne Weinrebe	Vigna	36. K	36. B
		Début de plantation Beginn der Pflanzung Inizio della semina	Fin de récolte Ende der Ernte Fine del raccolto
Pommes de terre Kartoffeln	Patate *)	35. H	35. J

C) Double pour l'observateur.  
Doppel für den Beobachter.  
Copia per l'osservatore.

Abb. 6: Beobachtungsformular für die phänologische Jahreszusammenfassung

#### 4.4 Datenfluss und -bearbeitung

In das vorgängig beschriebene Beobachtungsprotokoll (Abb. 6) schreibt der Beobachter jedes Jahr die Eintrittsdaten der verschiedenen Phänophasen. Hier sind bereits die ersten Fehler enthalten. Wie schnell hat man sich um einen Monat verschrieben. Ohne genaue Kenntnisse der Beziehungen zwischen den verschiedenen Phänophasen innerhalb einer Station, oder der gleichen Phasen zwischen verschiedenen Stationen, sind derartige Fehler kaum eruierbar, da Schwankungen von einem Monat von einem Jahr zum andern im normalen Streubereich liegen. Nach Abschluss der Vegetationsperiode werden die Beobachtungsprotokolle der SMA zugesandt. Da bestimmte Pflanzen in gewissen Regionen und Höhenstufen nicht vorkommen oder nicht angebaut werden, können die Protokolle nicht bei allen Stationen vollständig ausgefüllt werden. Es ist vorteilhaft, wenn der Beobachter Pflanzen, die er nicht mit Sicherheit erkennt, gar nicht berücksichtigt.

Ein Sachbearbeiter der Sektion Agrar- und Biometeorologie rechnet dann die Daten in den Tag seit Jahresbeginn um und trägt sie stationsweise in Tabellen ein. In dieser "Umrechnung" mittels einer Tabelle liegt die zweite Fehlerquelle verborgen. Sehr schnell hat man sich um eine Kolonne geirrt, was wiederum einen Fehler von einem Monat ergibt. Bis 1986 waren alle Daten nur auf Papier vorhanden, was eine systematische Auswertung verunmöglichte. Deshalb werden jetzt alle Stationen mit längeren Beobachtungsreihen EDV-mässig erfasst. Freundlicherweise hat das Statistische Amt in Bern diese zeitaufwendige Arbeit übernommen. Ueber die notwendige Datenkontrolle wird in Kapitel 5 eingehend orientiert.

Als nächster Schritt wurde 1988 ein Erfassungsprogramm erstellt, das erlaubt, die jährlich anfallenden Daten direkt am Bildschirm aufzunehmen. Dazu dient eine Maske, welche die gleiche Anordnung wie das Beobachterprotokoll aufweist. Die Eingabe der Daten muss zweimal geschehen, damit Tippfehler erkannt werden. Vorteilhaft wird diese Arbeit von zwei verschiedenen Personen durchgeführt, um Lesefehler zu vermindern. Nach Abschluss der Datenerfassung werden jährlich stationsweise Tabellen aufgelistet, die den kompletten Datensatz enthalten, das heisst vom Beginn der Beobachtungen bis zum aktuellen Jahr. Diese Tabellen verfügen noch über eine kleine Statistik. Neben der Anzahl Beobachtungen, dem arithmetischen Mittel und der Streuung (Standardabweichung) werden auch die Extremwerte (Maximum und Minimum), das heisst das früheste und späteste Datum, ermittelt (Abb. 7). Ein zusätzlicher Output enthält die letztgenannte Statistik für alle Stationen. Dabei wird nicht, wie bei den ausführlichen Tabellen, die Reihenfolge der Phänophasen anhand ihrer Numerierung vorgenommen, sondern aufsteigend geordnet aufgrund des arithmetischen Mittels (Abb. 8). Somit besitzen wir eine erste Version eines phänologischen Kalenders für jede Station, der jedes Jahr dem neusten Stand angepasst wird und dessen statistische Aussagekraft von Jahr zu Jahr besser wird. Ein weiteres Beispiel eines phänologischen Kalenders wird in Kapitel 6.4 behandelt. Beide Tabellen sind für Auskünfte und Datenauslieferungen eine wertvolle Hilfe. Diese Dienstleistungen werden oft von den verschiedensten Kunden in Anspruch genommen (Kap. 1.4.9).



IND. = 1355    HOEHE = 0510    LAGE = SW

\* RAFZ

PHASEN	00	47*	1	46R	2*	36K*	8	5	4*	24	43H	13	6*	35H	3*	11*	44R	15*	9*	18*	32B*	10*	43A	14*
ANZAHL		37	36	29	37	36	16	34	37	20	26	37	29	37	35	36	35	37	37	37	36	36	26	24
MINIMUM		27	14	42	56	45	69	53	73	43	84	79	76	85	84	64	91	85	96	92	96	73	100	101
MAXIMUM		90	102	102	102	118	114	115	116	116	121	122	125	126	136	123	134	128	130	133	128	139	132	141
MITTEL		58	64	64	80	83	87	89	94	96	100	101	101	105	105	106	108	110	114	114	115	116	116	118
STREUUNG		17	21	14	12	18	13	17	12	19	10	12	12	9	14	13	10	10	9	10	9	11	9	10

PHASEN	45R	35I	34B*	33B*	22	7*	12*	17*	20*	33B	16*	37M*	400	380	48	21*	390	37N*	420	36B*	19*	35B	23*	32E*
ANZAHL	26	36	36	34	32	32	37	36	32	4	37	37	34	9	11	36	35	36	34	33	36	34	35	35
MINIMUM	102	101	93	105	85	109	98	110	104	119	122	131	116	147	138	147	136	143	163	161	164	163	175	171
MAXIMUM	151	146	140	142	161	143	148	143	160	140	153	176	177	161	175	182	182	207	189	187	207	202	222	204
MITTEL	120	121	123	127	127	128	129	129	129	131	139	144	147	155	159	163	163	172	174	174	179	184	191	191
STREUUNG	11	10	11	8	20	8	12	8	15	10	8	9	15	4	15	8	9	13	7	8	10	11	12	7

PHASEN	40P	410	38P	39P	45S	42P	49	50*	33E*	34E*	44S	25*	35J	41P	26*	46S	36L*	33E	28*	43J	31*	29*	27*	30*
ANZAHL	35	19	10	36	23	36	33	31	32	35	33	28	35	21	30	31	31	3	36	30	36	36	30	36
MINIMUM	179	176	196	197	209	203	196	237	239	245	227	266	253	253	269	245	274	267	274	275	259	291	291	300
MAXIMUM	220	232	219	240	259	287	285	275	289	298	293	288	303	329	308	306	303	309	310	314	325	316	319	350
MITTEL	201	210	211	219	227	230	231	247	260	266	271	275	276	283	286	287	288	291	293	295	298	301	301	316
STREUUNG	11	12	7	11	18	15	16	9	13	12	13	6	13	18	11	13	9	22	10	10	17	6	8	10

Abb. 8: Beispiel einer phänologischen Tabelle, geordnet nach dem arithmetischen Mittel

(Bezeichnung der Phänophasen siehe Abb. 6, \* speziell kontrollierte Phasen)



## 4.5 Das phänologische Sofortmeldeprogramm

### 4.5.1 Vorgeschichte

Immer wieder hört man Aussagen wie "so früh haben die Kirschbäume noch nie geblüht" oder "so spät hat sich das Laub noch nie verfärbt". Derartige Behauptungen sind subjektiv und können sich nicht auf eine Statistik abstützen. Dazu muss folgendes gesagt werden: Der Mensch hat bezüglich meteorologischen oder phänologischen Ereignissen ein sehr kurzes Gedächtnis. Der Grund mag darin liegen, dass sich Witterungsabläufe und die Vegetationsentwicklung jährlich in verschiedenen Variationen wiederholen, und sehr schnell werden die einzelnen Eindrücke im Gedächtnis verwischt. Besinnt man sich auf sein bisheriges Leben zurück, registriert man sehr bald, dass lediglich einschneidende, markante Erlebnisse in unserem Langzeitgedächtnis haften bleiben. Somit bleiben auch einem Durchschnittsbürger nur extreme Witterungserscheinungen oder aussergewöhnliche phänologische Vorkommnisse in Erinnerung. Menschen, deren Tätigkeiten direkt mit dem Wetter im Zusammenhang stehen, haben diesbezüglich oft ein besseres Gedächtnis (z.B. Landwirte, Gärtner, Förster oder auch Bademeister), wobei die Betrachtungsweise je nach Berufsgattungen ebenfalls einseitig sein kann. Alle diese Aussagen sind deshalb mit grosser Vorsicht zu geniessen. Leider liest man immer wieder in der Tagespresse Schlagzeilen mit dem Hinweis, dass seit Menschengedenken dieses oder jenes Phänomen nicht mehr beobachtet werden konnte. Der Leser interpretiert das "Menschengedenken" mit mindestens 70 bis 100 Jahren. Aufgrund unserer Ausführungen umfasst diese Zeitspanne aber kaum 10 Jahre. Würde man heute eine Umfrage starten und nach den grossen Winterfrostschäden an den Rebkulturen in den achtziger Jahren fragen, dann würde kaum die Hälfte der Befragten die richtige Antwort (Winter 84/85 und 86/87) zur Hand haben. Meldungen über verfrühte Blattverfärbung konnten auch oft im Zusammenhang mit dem Waldsterben (Waldschäden) gelesen werden. Da die SMA erst nach Abschluss der Vegetationsperiode über die phänologischen Daten des laufenden Jahres verfügt, können diese Meldungen weder bestätigt noch dementiert werden. Auch während der ganzen Vegetationsperiode werden immer wieder Fragen über den aktuellen Stand der Vegetationsentwicklung an die SMA gerichtet. Deshalb wurde beschlossen ein phänologisches Sofortmeldeprogramm einzurichten, das im Jahre 1986 seinen Betrieb aufnahm (DEFILA, 1986a).

### 4.5.2 Die Organisation des phänologische Sofortmeldeprogramms

Zuerst galt es, die notwendige Anzahl von Stationen auszuwählen, die alle Regionen der Schweiz und die verschiedenen Höhenstufen abdecken. Zudem müssen diese Stationen über eine lange Beobachtungsreihe verfügen und die Beobachter müssen zuverlässig sein. Da ein Sofortmeldeprogramm nicht eine zu grosse Datenflut verursachen darf (Arbeitsbelastung), wurden 40 Stationen ausgewählt (Abb. 9). Aus demselben Grunde konnten auch nicht alle Phänophasen berücksichtigt werden. Die entsprechenden Phasen müssen

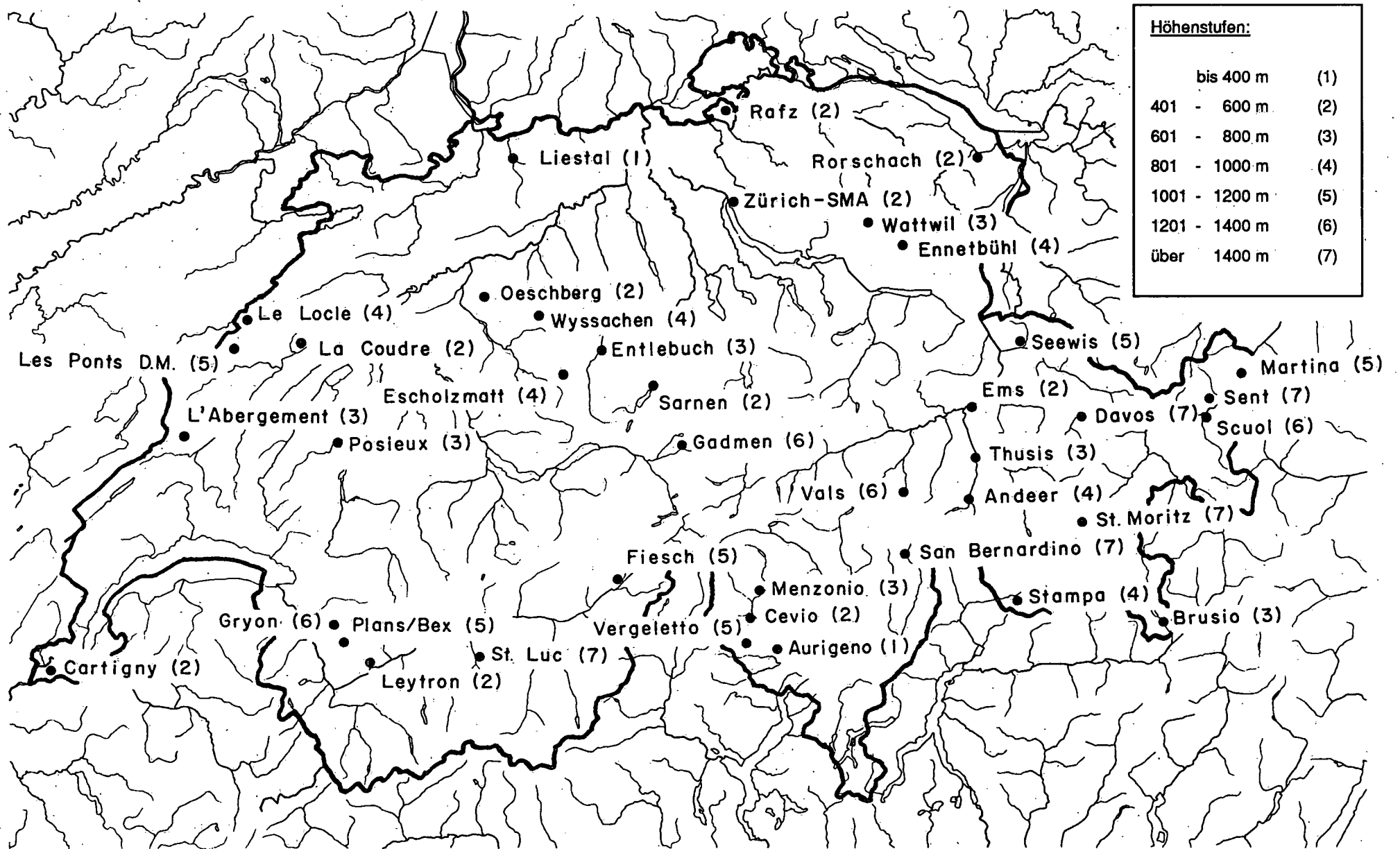


Abb. 9: Das phänologische Netz für das Sofortmeldeprogramm

leicht zu beobachten sein, die Pflanze sollte allgemein bekannt sein und möglichst in allen Regionen und Höhenlagen vorkommen. Ferner müssen sich die Eintrittstermine dieser Phasen auf die gesamte Vegetationsperiode verteilen, damit jederzeit aktuelle Informationen zur Verfügung stehen. Da landwirtschaftliche Tätigkeiten, wie Heuernte oder Weinlese, immer wieder auf grosses Interesse stossen, wurden sie ebenfalls berücksichtigt. Schliesslich wurden die 16 folgenden Phänophasen ausgewählt (Nummern gemäss Abb. 6).

- 6 Blattausbruch der Rosskastanie
- 7 Vollblüte der Rosskastanie
- 9 Vollblüte des Löwenzahns
- 10 Blattausbruch der Rotbuche
- 11 Nadelaustrieb der Lärche
- 16 Vollblüte der Wucherblume (Margerite)
- 19 Vollblüte der Sommerlinde
- 26 Blattverfärbung der Rosskastanie
- 28 Blattverfärbung der Rotbuche
- 32B Vollblüte der Kirschbäume
- 33B Vollblüte der Apfelbäume
- 34B Vollblüte der Birnbäume
- 36B Vollblüte der Weinrebe
- 36L Weinlese
- 37M Beginn der Heuernte
- 47 Vollblüte des Haselstrauches

Jeder Beobachter der ausgewählten Stationen erhält demnach jährlich 16 Formulare (Abb. 10). Sobald eine dieser Phänophasen eintritt, notiert er das entsprechende Datum in das vorgegebene Feld und sendet die Meldung sofort an die SMA nach Zürich.

Die interessierten Stellen (Depeschenagenturen, Medien etc.) sind nicht nur am jeweiligen Eintrittsdatum von phänologischen Phasen interessiert, sondern möchten auch gerne wissen, ob dies früh, normal oder spät sei. Hierzu wird eine spezielle Statistik verwendet. Die Beobachtungsreihen werden pro Phänophase und Station aufsteigend angeordnet und in die fünf folgenden Klassen eingeteilt: sehr früh, früh, normal, spät und sehr spät (Abb. 11). Eine entsprechende Computergraphik wird jährlich für jede Station und Phänophase erstellt und regional zusammengefasst (Abb. 12). In diese Graphiken werden jeweils die aktuellen Werte eingetragen und der entsprechenden Klasse zugeordnet. Phasenweise werden die Angaben (Datum und Qualifizierung) in ein Schweizer Kärtchen übertragen (Abb. 13). Somit erhält man eine sofortige Uebersicht über den jeweiligen Stand der Vegetationsentwicklung und die regionalen Unterschiede. Diesbezügliche Anfragen können jetzt jederzeit beantwortet oder Bulletins für die Presse herausgegeben werden. Das System hat sich in den letzten Jahren bestens bewährt. Von diesem zusätzlichen Informationsangebot wird rege Gebrauch gemacht.

Schweizerische Meteorologische Anstalt  
 Institut suisse de météorologie  
 Istituto Svizzero di Meteorologia

Aktuelle Meldungen von ausgewählten phänologischen Phasen  
 Informations actuelles de phases phénologiques choisies  
 Informazioni attuali di fasi fenologiche scelte

Ort  
 Station  
 Stazione .....

Jahr  
 Année  
 Anno .....

Beobachter  
 Observateur  
 Osservatore .....

	Blattausbruch Déploiement des feuilles Spiegamento della foglie	Vollblüte Pleine Floraison Fioritura	Blattverfärbung Coloration des feuilles Colorazione della foglie
- Haselstrauch Noisetiers Nocciolo		47	
- Lärche Mélèze Larice	11		
- Rosskastanie Marronnier Castagno	6	7	26
- Löwenzahn Dent de Lion Dente di leone		9	
- Buche Hêtre Faggio	10		28
- Kirschbäume Cerisiers Cigliegi	Sorte: sorte: specie:	32 B	
- Apfelbäume Pommiers Meli	Sorte: sorte: specie:	33 B	
- Birnbäume Poiriers Peri	Sorte: sorte: specie:	34 B	
- Wucherblume, Margerite Grandes marguerites Margherite		16	
- Weinrebe Vigne Vigna	Sorte: sorte: specie:	36 B	
- Sommerlinde Tilleul à grandes feuilles Tiglio a grandi foglie		19	
- Heuernte (Beginn) Fenaison (Début) Fienagione (Inizio)	37 M	- Weinrebe (Weinlese) Vigne (vendanges) Vigna (Vendemmia)	36 L

Abb. 10: Formular für das Sofortmeldeprogramm

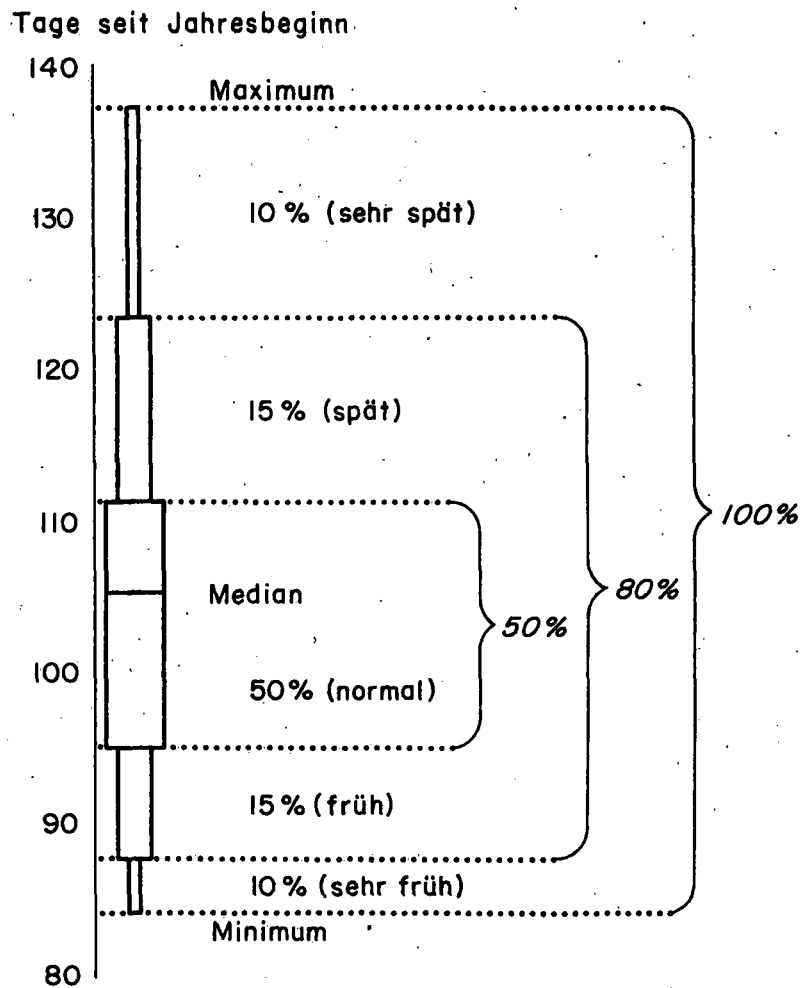


Abb. 11: Statistische Verteilung der Eintrittstermine einer Phänophase

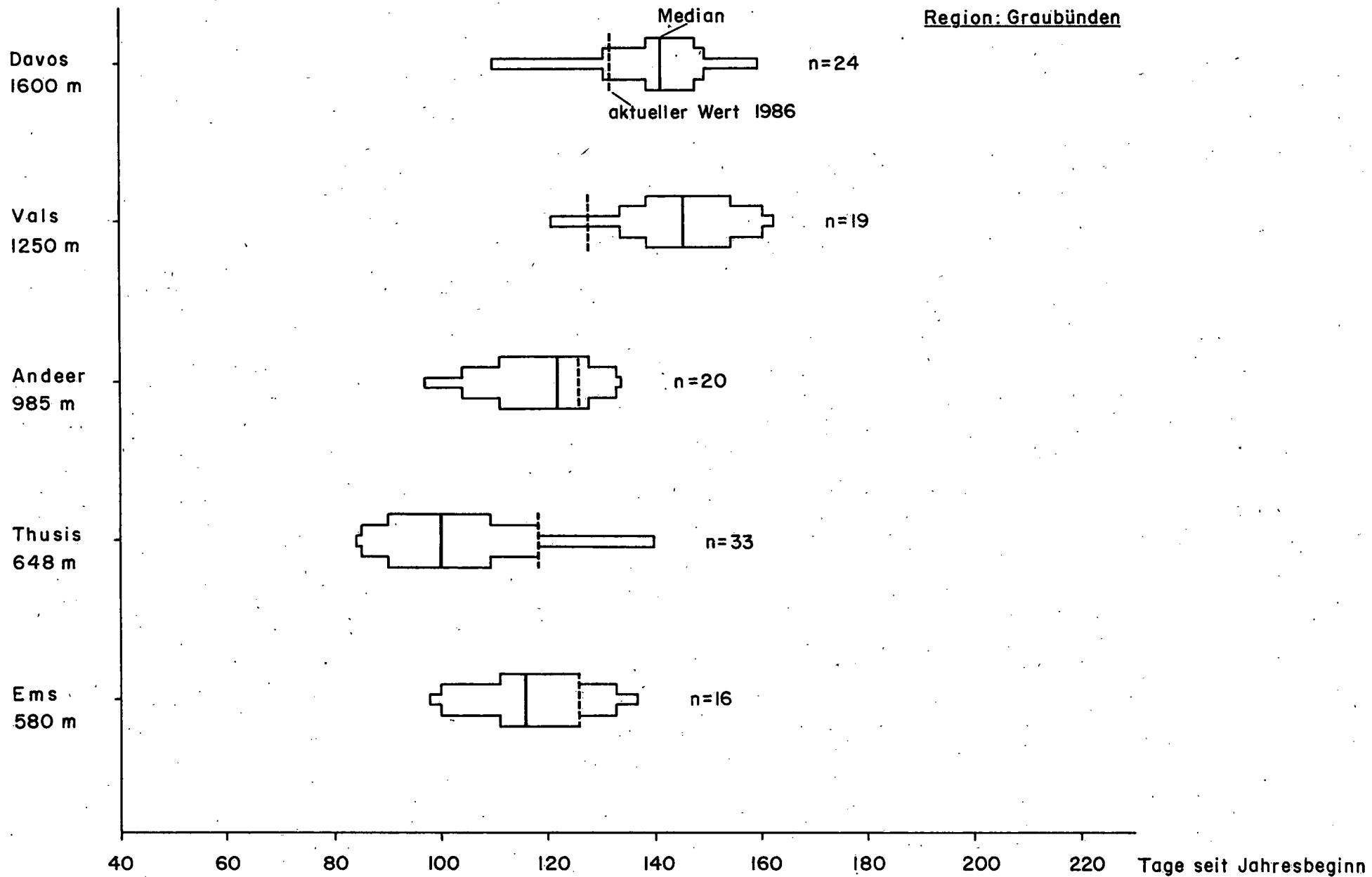


Abb. 12: Nadelaustrieb der Lärche in der Region Graubünden.  
 Verteilung für die gesamte Dauer der Beobachtungsreihe  
 mit Median und aktuellem Wert (1986)

Pleine floraison Dent de Lion

Vollblüte Löwenzahn

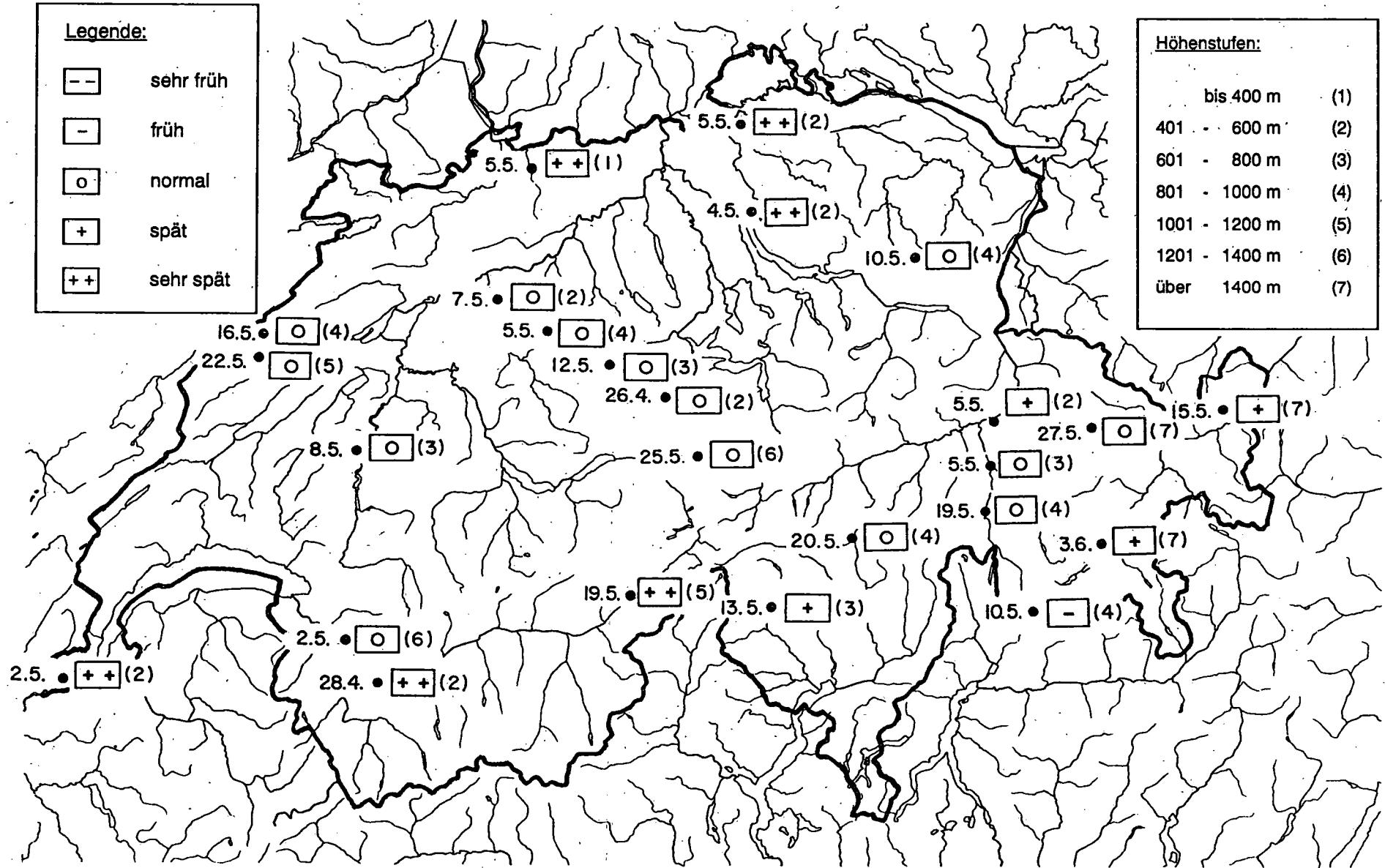


Abb. 13: Datum der Vollblüte des Löwenzahns 1986 und zeitliche Charakterisierung des Eintretens

## 5. ARBEITSMETHODIK

### 5.1 Datenaufbereitung

#### 5.1.1 Fehlerquellen

Die Grundlagen der Datenaufbereitung wurden schon im Kapitel 4 behandelt. Zusammenfassend soll nochmals erwähnt werden, dass in den früheren Jahren alle phänologischen Daten stationsweise in Tabellen zusammengefasst wurden. 1986 wurden die Daten von fast allen Stationen - bei aufgehobenen Stationen mussten mindestens fünf Jahre vorhanden sein - auf EDV-Datenträgern gespeichert. Ab 1988 können die laufend anfallenden Daten direkt am Bildschirm erfasst werden. Die beiden jährlich erstellten Tabellen und Statistiken wurden in Kapitel 4.4 vorgestellt.

Wer mit Mess- und Beobachtungsdaten arbeitet, muss sich bewusst sein, wieviele Fehlerquellen existieren können. Auf dieses Problem soll hier noch vertieft eingegangen werden. Beginnen wir beim Entstehungsort der Daten. Dass den phänologischen Beobachtungen eine gewisse Subjektivität anhaftet, wurde schon erwähnt. Wann ist ein bestimmtes Stadium (Blattausbruch, Vollblüte, Fruchtreife, Blattverfärbung, Blattfall) effektiv erreicht? Auch noch so gute Beschreibungen und Abbildungen, wie sie im "Phänologischen Atlas" enthalten sind (PRIMAULT, 1971a), können nicht alle Unsicherheiten restlos beseitigen. Die Entscheidung für jede Phase obliegt letztlich dem Beobachter. Je nach seinem Charakter bestimmt er diese Termine eher etwas zu früh oder zu spät. Dann werden immer wieder einzelne Phasen verpasst infolge Abwesenheit oder Unaufmerksamkeit. Erfahrungsgemäss ist das Interesse an der Phänologie im Frühling am grössten, nimmt in den Sommermonaten etwas ab und steigt im Herbst wieder an. Dies kann auch bei den Beobachtern festgestellt werden. Gewisse Beobachter lassen die verpassten Spalten richtigerweise leer. Andere wieder versuchen, die fehlenden Werte zu interpolieren. Dies ist kaum nachweisbar, wenn die Interpolationen geschickt gemacht werden und Beobachtungen der Vorjahre zu Rate gezogen werden. Wenn derartige "Fehler" nicht allzu häufig vorkommen, verfälschen sie die Statistik wenig, und es werden dabei kaum Extremwerte produziert. Ganz vereinzelt gibt es Stationen, bei denen man den Verdacht nicht los wird, dass immer wieder dieselben Daten in verschiedenen Variationen auftreten, die mit wirklichen Beobachtungen wenig zu tun haben. Sie können bei den Auswertungen nicht berücksichtigt werden. Wie erwähnt, werden die Beobachtungen durch interessierte Laien durchgeführt. Bei Personen, die nicht im Freien arbeiten wie die Förster oder Landwirte, besteht eine gewisse Gefahr, dass die Beobachtungstouren häufig am Wochenende durchgeführt werden. Werden die Ergebnisse auf die vorangehende oder die kommende Woche interpoliert oder extrapoliert, dann bleibt der dadurch entstehende Fehler klein und innerhalb des Streubereiches. Schwerwiegender fallen die Fehler, die durch botanische Unkenntnisse entstehen, ins Gewicht. Liegen die Daten von Beobachtungen an falschen Pflanzen im normalen zeitlichen Rahmen, dann können diese Fehler kaum eruiert werden. Es gibt Pflanzen, die leicht verwechselt werden können oder infolge Rassenbildung sich nicht für



unsere Auswertungen eignen. Auch die Gartenpflanzen wurden bei den Auswertungen nicht berücksichtigt, da infolge Standortunterschieden grosse mikroklimatische Unterschiede auftreten können. So kann zum Beispiel das Schneeglöckchen im Schatten oder an einem Sonnenplatz nahe einer Hausmauer im selben Garten zu recht unterschiedlichen Zeiten blühen. Ueber die Einflüsse des Standortes, der Exposition, der Hangneigung und des Stadtklimas soll später berichtet werden (Kap. 5.1.3). Eine Anzahl von Beobachtern notiert die Monatsangaben in römischen Zahlen, was leicht zu Fehlern beim Schreiben und Lesen führen kann (z.B. IV anstatt VI etc.). Natürlich besteht auch die Möglichkeit, dass der Beobachter ein Datum in eine falsche Spalte einträgt. Dies konnte häufig bei den Phasen 3 und 47 festgestellt werden. Da die Phase 47 (Vollblüte des Haselstrauches) vor der Phase 3 (Blattausbruch des Haselstrauches) auftritt, jedoch die Phase 3 links von der Phase 47 steht, kommt es relativ oft zu Verwechslungen. Auch Beobachterwechsel können sich ungünstig auf die Datenqualität auswirken. Aber nicht nur beim Beobachter können Fehler entstehen sondern auch bei der Datenerfassung. Auf die Umrechnungsfehler wurde schon im Kapitel 4 hingewiesen. Mit dem direkten Erfassen der Daten am Bildschirm und dem Umrechnen mit dem Computer wurde diese Fehlerquelle ausgeschaltet. Die Tipp- und Lesefehler bleiben aber zurück. Sie können mittels Doppelerfassung durch verschiedene Personen zumindest stark reduziert werden. Zusätzlich besteht die Gefahr, dass scheinbar extreme Daten voreilig durch den Sachbearbeiter als Monatsfehler interpretiert und deshalb korrigiert werden. Heute gilt die Devise, dass im Zweifelsfalle die Originaldaten stehen gelassen werden. Nur bei offensichtlichen Fehlern wird eingegriffen. So wird zum Beispiel die Verwechslung der Spalten 3 und 47 per Computer richtiggestellt.

### 5.1.2 Datenkontrolle

Die Datenkontrolle ist in den naturwissenschaftlichen Bereichen ein grosses Problem, insbesondere wenn es sich um Felddaten handelt. Normalerweise sind Messungen und Beobachtungen weder rekonstruierbar noch nachvollziehbar. Es besteht die Möglichkeit, bei der Datenbearbeitung einen sogenannten Plausibilitätstest einzubauen. Dies setzt aber profunde Kenntnisse der Materie voraus. Ansonsten besteht die Gefahr, dass man die zulässigen Limiten zu eng setzt und dadurch interessante Extremwerte verloren gehen. Eine Kontrolle ist bei phänologischen Daten enorm schwierig. Die Variationsbreite pro Phase und Station kann ohne weiteres 30 Tage und im Extremfall sogar 2 Monate betragen. Ohne genaue Kenntnisse der Beziehungen zwischen Stationen und Phasen sowie des Witterungseinflusses ist eine exakte Datenkontrolle und -interpolation nicht möglich.

Bei der nachträglichen Datenerfassung mit EDV wurden 1986 nicht die Originalbeobachtungsblätter sondern die stationsweisen Tabellen mit den umgerechneten Daten als Grundlage gewählt, da sie am ehesten einem Ablockschema entsprachen. Neben den Erfassungsfehlern galt es auch, die Umrechnungsfehler zu eliminieren. Das Datenmaterial umfasst kürzere und längere Beobachtungsreihen von rund 280 Stationen. Diese riesige Datenmenge konnte jedoch nicht

mehr vollständig anhand der Originalprotokolle kontrolliert werden. Deshalb wurde eine Auswahl bezüglich Stationen und Phasen getroffen. Bei den Stationen wurden diejenigen berücksichtigt, die mindestens 10 Beobachtungsjahre aufwiesen oder noch aktuell in Betrieb sind. Bei den Phänophasen wurden nur Pflanzen berücksichtigt. Da bei den Kulturpflanzen in den letzten Jahrzehnten enorme Aenderungen bezüglich Anbau- und Erntetechnik sowie bei der Düngung, den Pflanzenschutzmassnahmen und den Züchtungen zu verzeichnen sind, eignen sich diese Phänophasen weniger zur Bearbeitung langer Reihen. Es wurden deshalb lediglich die Heuernte und die Stadien der Weinrebe kontrolliert. Bei den wildwachsenden Pflanzen beschränkte sich die Kontrolle auf allgemein gut bekannte Pflanzenarten und auf markante Phänophasen, die möglichst exakt bestimmt werden können. Aufgrund dieser Auswahlkriterien wurden an rund 180 Stationen die folgenden 38 Phänophasen kontrolliert:

- 2 Vollblüte des Huflattichs
- 3 Blattausbruch des Haselstrauches
- 4 Vollblüte des Buschwindröschens
- 6 Blattausbruch der Rosskastanie
- 7 Vollblüte der Rosskastanie
- 9 Vollblüte des Löwenzahns
- 10 Blattausbruch der Rotbuche
- 11 Nadelaustrieb der Lärche
- 12 Vollblüte des Flieders
- 14 Blattausbruch der Espe/Zitterpappel
- 15 Vollblüte des Wiesenschaumkrautes
- 16 Vollblüte der Wucherblume/Margerite
- 17 Nadelaustrieb der Fichte
- 18 Vollblüte des Schwarzdorns
- 19 Vollblüte der Sommerlinde
- 20 Vollblüte des Roten Holunders
- 21 Vollblüte des Schwarzen Holunders
- 23 Vollblüte der Winterlinde
- 25 Fruchtreife der Rosskastanie
- 26 Blattverfärbung der Rosskastanie
- 27 Blattfall der Rosskastanie
- 28 Blattverfärbung der Rotbuche
- 29 Blattfall der Esche
- 30 Blattfall der Rotbuche
- 31 1. Reif
- 47 Vollblüte des Haselstrauches
- 50 Vollblüte der Herbstzeitlose
- 32B Vollblüte der Kirschbäume
- 32E Fruchtreife der Kirschen
- 33B Vollblüte der Apfelbäume
- 33E Fruchtreife der Aepfel
- 34B Vollblüte der Birnbäume
- 34E Fruchtreife der Birnen
- 36K Blüten der Reben
- 36B Vollblüte der Reben
- 36L Weinlese
- 37M Beginn der Heuernte
- 37N Ende der Heuernte

Die ausgewählten Stationen und Phänophasen wurden markiert, was beim Computer-Output mit einem "\*" zum Ausdruck kommt. Neben

Abloch- und Umrechnungsfehlern wurden lediglich ganz offensichtliche Fehler korrigiert. Dabei wurden jedoch nicht alle kontrollierten Phasen und Stationen in dieser Arbeit berücksichtigt. Die Auswahlkriterien werden später (Kap. 6.2.2) behandelt. Wie eingangs erwähnt sind Plausibilitätstests nur möglich und sinnvoll, wenn die Beziehungen zwischen den verschiedenen Phasen und Stationen gut bekannt sind. Diesbezügliche Untersuchungen werden in den Kapiteln 8 und 9 diskutiert.

### 5.1.3 Informationsgehalt und Einflussgrößen der phänologischen Daten

Um eine Zielsetzung zu formulieren, muss der Informationsgehalt der Daten bekannt sein. Bei den verschiedenen Definitionen der Phänologie wurde unter anderem auf die Reaktionserscheinungen auf die Umwelt und auf den Einfluss der Witterung hingewiesen. Diesen exogenen Einflussgrößen ist die Pflanze von der Keimung bis zum Absterben ausgesetzt, und sie beeinflussen auch die Anatomie der verschiedenen Individuen.

Eine der wichtigsten Einflussgrößen ist die Witterung. Sie bestimmt den Zeitpunkt der Keimung eines Samens. Sie ist am Gedeihen der Pflanzen massgeblich beteiligt. Während den Vegetationsperioden und Ruhephasen ist die Witterung ein determinierender Faktor. Sie bestimmt zusammen mit anderen Faktoren die jährliche Zuwachsrate und die Blattgrösse, das heisst die Photosyntheserate und somit den Zuwachs der Biomasse. Neben den vegetativen werden auch die generativen Phasen (Blüten- und Fruchtbildung) qualitativ und quantitativ von den meteorologischen Vorgängen beeinflusst. Aber auch das Auftreten von Feinden (Schadinsekten, Pilze, Viren etc.) hängt teilweise vom Wettergeschehen ab. Die Entwicklung und Vermehrung der Insekten wird vor allem durch die Temperatur bestimmt, während bei den Pilzen eine Kombination von optimalen Temperatur- und Feuchteverhältnissen massgebend ist. Daneben kann es auch zu "meteorologischen Unfällen" kommen, die nicht nur eine Verzögerung der Vegetationsentwicklung bewirken, wie dies zum Beispiel bei Kälteeinbrüchen im Frühling der Fall ist, sondern zum Wachstumsstopp, Verstümmelungen oder gar zum Tode einer Pflanze führen können. Beispiele sind mechanische Windschäden, Windwurf, Schneelast, Schneegebläse, Frost und Trockenheit.

Indirekt sind auch die Schadstoffe in der Luft, im Wasser und im Boden witterungsabhängig. Der Schadstoffeintrag in den Boden wird massgeblich von den Niederschlagsverhältnissen geprägt. Die nasse Deposition von Schadstoffen ist neben dem fallenden Niederschlag auch vom abgesetzten Niederschlag (Tau, Reif, Nebel etc.) und die Trockendepositionen von den Windverhältnissen abhängig. Die Bildung von Sekundärschadstoffen (z.B. Ozon) wird von der Sonneneinstrahlung bestimmt. Ganz allgemein ist der Transport, die Verteilung und die Absetzung der Schadstoffe von der Grosswetterlage sowie von den örtlichen Witterungsverhältnissen (Strömungsverhältnissen) abhängig.

Neben diesen direkten und indirekten Witterungseinflüssen gibt es noch eine Vielzahl weiterer determinierender Faktoren wie Bodenverhältnisse, biotische Schädlinge, Konkurrenz, menschliche Eingriffe (Raubbau oder Pflegemaßnahmen) und nicht zuletzt die genetische Vorbestimmung (Erbmasse). Abbildung 14 stellt das komplexe Wirkungsgefüge stark vereinfacht dar.

Jede Pflanze hat ihren eigenen Charakter (Wuchsform, Habitus) und ist wie jeder Mensch, ein nicht kopierbares Individuum. Entsprechend unterschiedlich fallen auch die Reaktionen auf die Umweltverhältnisse aus. Besonders wichtig ist die meteorologische Vorgeschichte. Sie darf auch bei Schaduntersuchungen in der Biosphäre (z.B. bei Waldschäden) nicht ausser acht gelassen werden. Wie beim Menschen reagiert eine geschwächte Pflanze anfälliger auf Ansteckungen als ein gesunder Organismus. Aber gerade diese Überlegungen komplizieren die Untersuchungen eines Oekosystems und lassen nicht mehr einfache Ursache/Wirkungs- Erklärungen zu. Hier sind nur noch multifaktorielle Methoden zulässig.

All diese Einflussgrößen kommen in den phänologischen Daten zum Ausdruck. Jeder, der mit phänologischen Beobachtungen arbeitet, muss sich dessen bewusst sein und den Informationsgehalt der Daten kennen (Witterung, Standort, Genetik, Krankheiten, Schädlinge, Schadstoffbelastung etc.). Dazu kommen noch die möglichen Fehlerquellen, wie sie in Kap. 5.1.1 eingehend beschrieben wurden. Man mag sich vielleicht fragen, ob eine Bearbeitung phänologischer Daten trotz dieser verschiedenen Unschärfen überhaupt sinnvoll sei. Dazu ist zu sagen, dass alle Daten ein gewisses Mass von Fehlern beinhalten, insbesondere Daten, die aus Felduntersuchungen stammen. Die Fehlerquellen werden vom Bearbeiter aber häufig nicht untersucht oder zumindest nicht in der Publikation aufgezeigt:

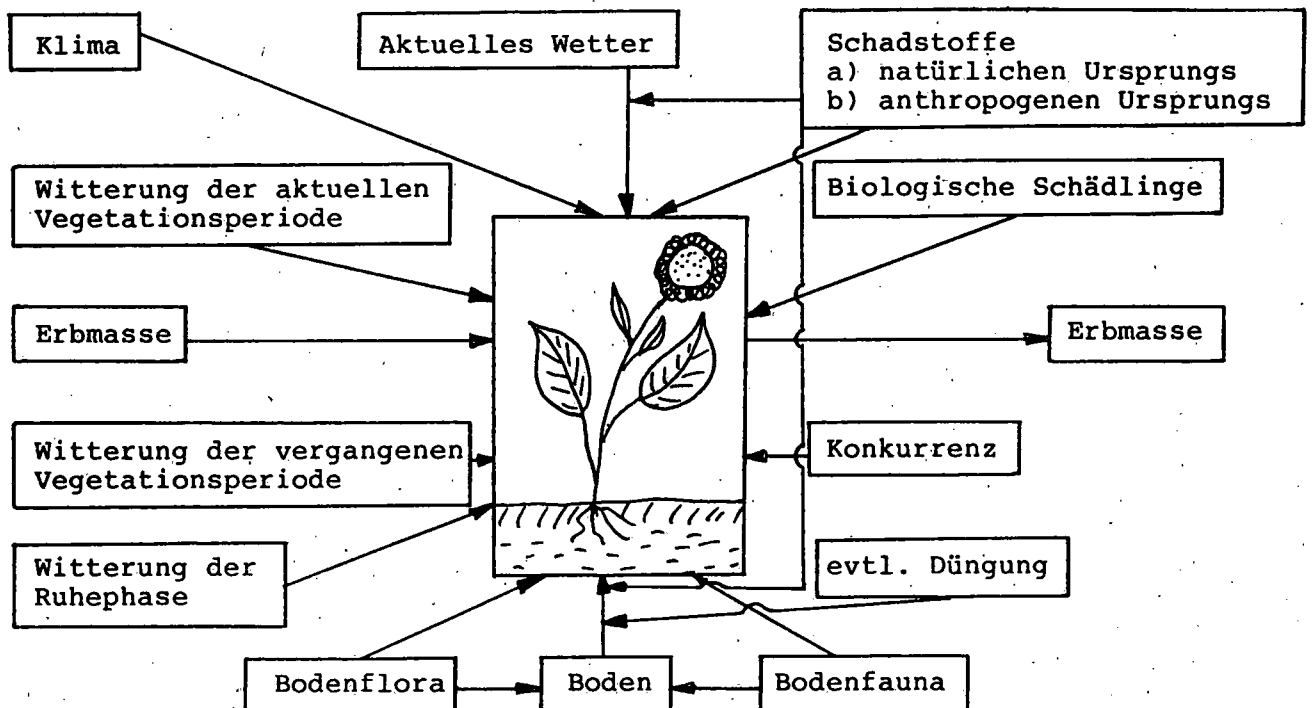


Abb. 14: Pflanze und Umwelt (aus DEFILA, 1988)

## 6. MITTELWERTE UND STREUNGEN DER PHAENOLOGISCHEN DATEN

### 6.1 Einführung

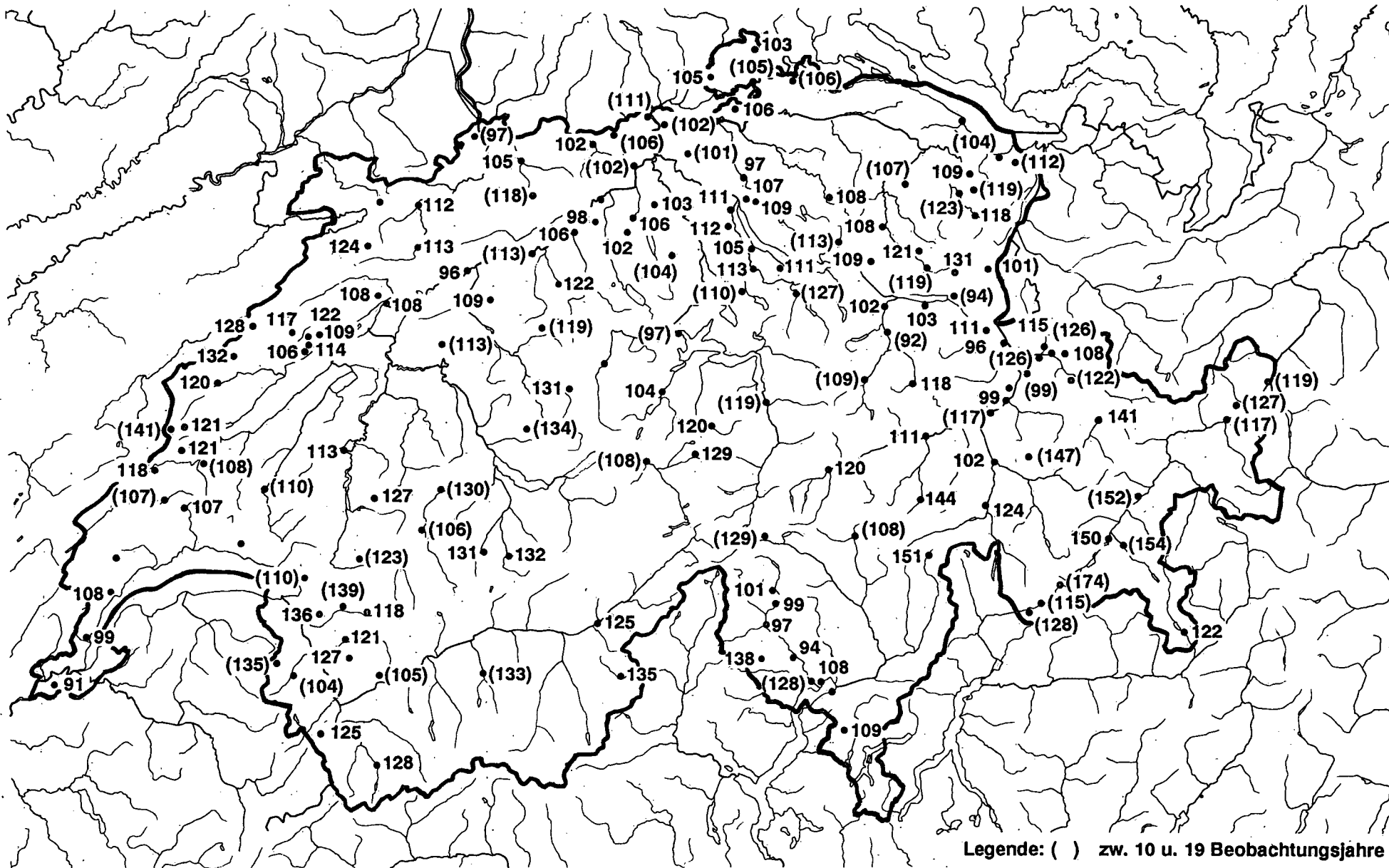
Datenkollektive werden üblicherweise durch die Anzahl der Daten, den Mittelwert (z.B. arithmetisches Mittel) und die Streuung (Standardabweichung) beschrieben. Alle diese statistischen Angaben pro Phänophase sowie die Extremwerte (Minima und Maxima) wurden für alle Beobachtungsstationen erhoben (Kap. 4.4). Dort sind auch die Tabellen beschrieben, bei denen die Phänophasen aufgrund des arithmetischen Mittels geordnet sind. Neben dem arithmetischen Mittel wäre auch der Median zur Beschreibung der Daten denkbar. Dieser wird beim Sofortmeldeprogramm sowie beim phänologischen Kalender angewendet (Kap. 4.5 u. 6.4). In den nachfolgenden Kapiteln soll untersucht werden, ob sich aufgrund der Mittelwerte und Streuungen der phänologischen Daten Regionalisierungen oder Höhenabhängigkeiten ableiten lassen.

### 6.2 Mittelwerte

#### 6.2.1 Kartographische Darstellung der Mittelwerte, 1951-88

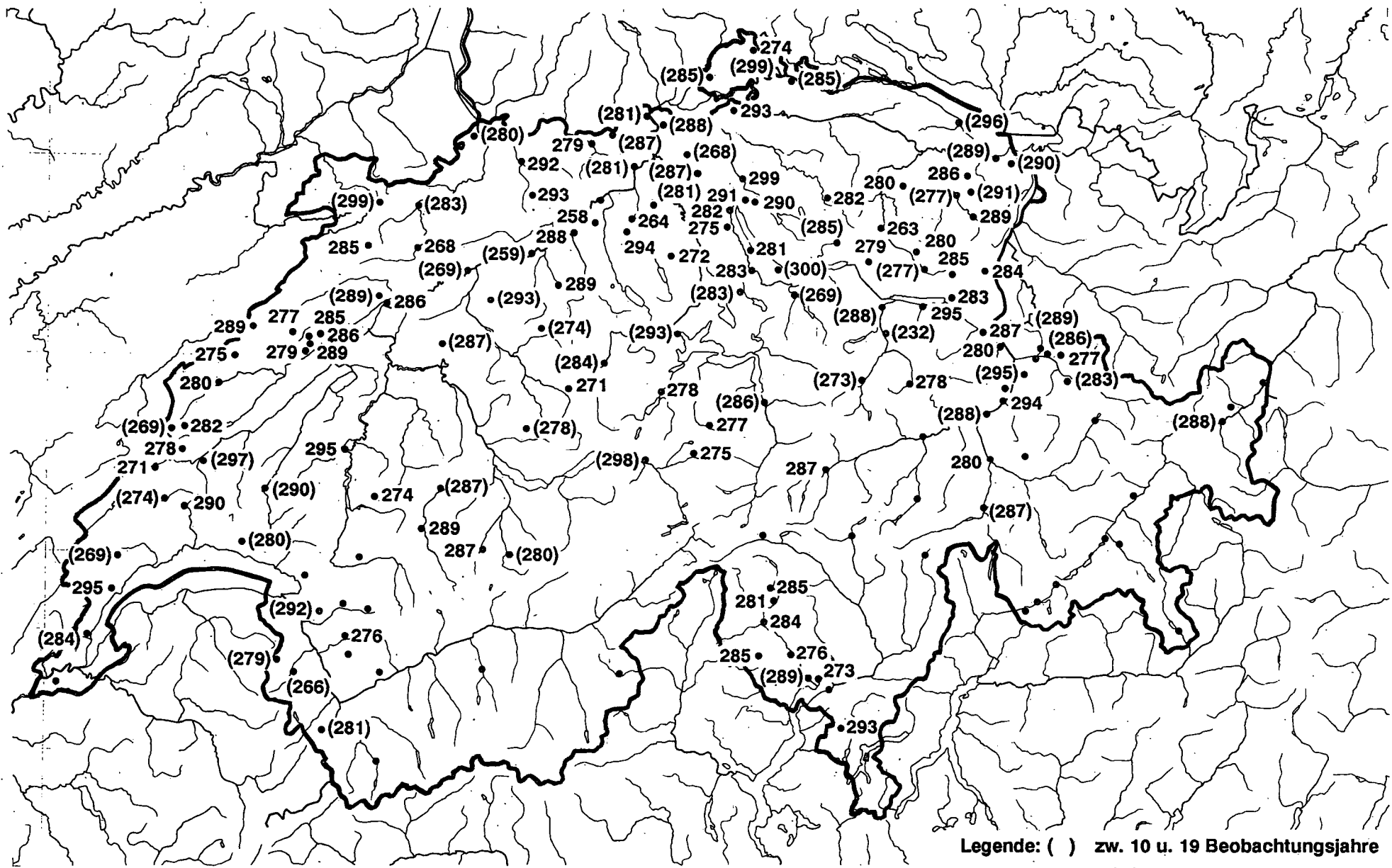
Arithmetische Mittelwerte eignen sich nur bedingt zur Beschreibung klimatologischer und phänologischer Daten. Insbesondere gilt diese Aussage, wenn meteorologische Daten in Beziehung zu Lebewesen zu bringen sind. So kann zum Beispiel ein Monat bezüglich der Mittelwerte der Temperaturen und Niederschläge aus der Sicht des Klimatologen absolut normal sein. Für den Biometeorologen ist es es aber nicht, wenn die erste Monatshälfte zu warm und trocken und die zweite zu nass und zu kalt war. Auch einzelne extreme Werte haben in der Biometeorologie einen grösseren Stellenwert als in der Klimatologie, da sie mit nachhaltigen Schäden in der Biosphäre oder gar mit dem Tod einzelner Pflanzen verknüpft sein können. Wenn in der Agrar- und Biometeorologie Mittelwerte verwendet werden, sollen sie sich auf eine möglichst kurze Periode beziehen (z.B. Fünftagesmittelwerte). Ist man aber auf Monatswerte angewiesen, so sind nach Möglichkeit die Streuung und die Extremwerte anzugeben. Aus den erwähnten Gründen wurde in der vorliegenden Arbeit sehr wenig mit Mittelwerten gearbeitet. Sie geben lediglich Anhaltspunkte über die Eintrittstermine der phänologischen Phasen in den verschiedenen Regionen. Infolge der grossen Streuung können daraus nur sehr vage Aussagen über Eintrittstermine von Phänophasen für das kommende Jahr gemacht werden.

Phänologische Mittelwerte dienen oft als Grundlage für phänologische Karten (Kap. 1.4.5). In den Abbildungen 15 und 16 sind die mittleren Termine des Nadelaustriebs der Lärche und der Blattverfärbung der Rotbuche von verschiedenen Beobachtungsstationen der Schweiz dargestellt. Die Phase 11 (Nadelaustrieb der Lärche) wurde deshalb gewählt, weil sie eine Frühlingsphase repräsentiert, die in allen Regionen und den meisten Höhenstufen der Schweiz beobachtet werden kann. Im Herbst fehlt leider eine entsprechende



Legende: ( ) zw. 10 u. 19 Beobachtungsjahre  
 ohne ( )  $\geq$  20 Beobachtungsjahre

Abb. 15: Mittlerer Nadelaustrieb der Lärche (Tage seit Jahresbeginn) für die entsprechenden Beobachtungsperioden



Legende: ( ) zw. 10 u. 19 Beobachtungsjahre  
 ohne ( )  $\geq$  20 Beobachtungsjahre

Abb. 16: Mittlere Blattverfärbung der Rotbuche (Tage seit Jahresbeginn) für die entsprechenden Beobachtungsperioden

universelle Phase und deshalb muss die Phase 28 (Blattverfärbung der Rotbuche) als Ersatz dienen. Somit fehlen geeignete Herbstdaten aus höheren Lagen. Die Werte sind nicht streng miteinander vergleichbar, da die Bezugsperioden von Station zu Station verschieden sind. Im Prinzip wurden Perioden von mindestens 20 Jahren verwendet, wobei in einigen Regionen Ersatzstationen mit nur 10 bis 19 Beobachtungsjahren herangezogen werden mussten. Diese Werte sind in Klammern gesetzt. Bei den mittleren Eintrittsterminen des Nadelaustriebes der Lärche fällt auf, dass sie sehr stark variieren. Auf den ersten Blick ist weder eine Regionalisierung noch ein West-/Ost- oder Nord-/Südgradient erkennbar. Das früheste Mittel findet man in Cartigny/GE (435 m/M) mit dem 1. April, das späteste in Casaccia/GR (1455 m/M) mit dem 23. Juni. Um den Ueberblick zu erleichtern, wurden die Mittelwerte in Klassen von je 10 Tagen (91-100, 101-110 etc.) eingeteilt und in einer Kartenskizze verschiedenfarbig markiert. Jetzt lassen sich deutliche regionale Tendenzen erkennen. Die früheste Klasse (Tag 91-100) ist vor allem in den tiefsten Lagen (Genf, Basel und Tessin) und in den Föhntälern (Churer- und St. Galler-Rheintal, Raum Luzern) zu finden. Auch die nächstfolgende Klasse (Tag 101-110) konzentriert sich auf die tiefergelegenen Stationen des Mittellandes und der Südschweiz sowie auf die Föhngebiete (Wallis, Haslital, Inner-schweiz, Glarnerland). Bei den spätesten Eintrittsterminen (Klasse 141-150 und 151-160) sind die höchstgelegenen Stationen vertreten wie Pontresina (1805 m/M), Zuoz (1700 m/M), San Bernardino (1625 m/M), St. Moritz (1800 m/M), Davos (1600 m/M), Vals (1250 m/M), Lenzerheide (1500 m/M) und L'Auberson (1100 m/M). Der extrem späte Wert von Casaccia (1455 m/M) ist auf den speziellen Standort zurückzuführen. Casaccia liegt am oberen Ende des Bergells am Fusse des Malojas, mit einer sehr starken Horizontabschirmung und entsprechend wenig Sonnenschein. Die geographische Verteilung der Mittelwerte der Termine des Nadelaustriebes der Lärche zeigen, dass sich die erwartete Höhenabhängigkeit abzeichnet, dass aber auch die lokalklimatischen Gegebenheiten (Föhn, wenig Sonne etc.) zum Ausdruck kommen. Das Ausmass der Höhenabhängigkeit der Phänophasen wird in Kapitel 6.2.2 genau untersucht.

Die Mittelwerte der Blattverfärbung der Rotbuche wurden auf dieselbe Weise bearbeitet. Die Werte variieren noch stärker und es ist kaum eine Regelmässigkeit der Verteilung zu erkennen. Das früheste Datum ist in Glarus (500 m/M) zu finden (20. August), das späteste in Wädenswil (480 m/M) mit dem 27. Oktober. Dieses Resultat ist erstaunlich wenn man bedenkt, dass die zwei Stationen nur wenige Kilometer auseinander liegen und dieselbe Höhenlage aufweisen. Auch die frühesten und spätesten Klassen verteilen sich unsystematisch über die ganze Schweiz. Nachstehend sind die Stationen mit frühen respektive späten Mittelwerten zusammengestellt:



Frühste Werte (bis Tag 270)

späteste Werte (ab Tag 290)

Tag	Station	Höhe/Exp.	n	Tag	Station	Höhe/Exp.	n
232	Glarus	500 SE	11	291	Zürich-SMA	570 SW	20
258	Wiliberg	670 SW	35	291	Teufen	830 SE	18
259	Wynau	450 SE	18	292	Leysin	1250 SE	11
263	Wattwil	650 SW	34	292	Liestal	350 SW	38
264	Seon	500 SW	35	293	Oeschberg	485	14
266	V.-d'Illiez	900 SE	18	293	Reigoldswil	535	20
268	Moutier	530 SE	24	293	Rafz	510 SW	35
268	Ober-ehrendingen	490	14	293	Kloten	460 SW	25
269	Longirod	900 SW	16	293	Fescoggia	840 SE	21
269	Solothurn	500 SW	19	293	Luzern	430	10
269	Einsiedeln	910 NW	16	294	Unterkulm	500 SW	28
269	L'Auberson	1100 SW	11	294	Chur	570 SW	21
				295	Fribourg	680 SE	20
				295	Changins	435 SW	22
				295	Murg	500 N	38
				295	Zizers	600 SW	17
				296	Romanshorn	410 NE	11
				297	Orbe	440 SE	17
				298	Meiringen	600	13
				299	Neuhausen	435	15
				299	L. Rangiers	865 SW	11
				300	Wädenswil	480 SW	18

n: Anzahl Beobachtungsjahre

Aus dieser Zusammenstellung ist weder eine Regionalisierung noch eine Höhenabhängigkeit ersichtlich. Auch bezüglich der Expositionen ist keine Bevorzugung festzustellen. Eindeutig geht aber aus diesen Resultaten hervor, dass der Nadelaustrieb der Lärche eine bessere Höhenabhängigkeit aufweist als die Laubverfärbung der Rotbuche. Offensichtlich spielen die standörtlichen Unterschiede bezüglich der Exposition, des Bodens und somit der Nährstoff- und Wasserversorgung eine wichtige Rolle. So können Dürreperioden vor allem an Trockenstandorten zu verfrühter Blattverfärbung führen. Es ist auch bekannt, dass junge Bäume früher austreiben und spätere Blattverfärbung aufweisen. Kranke Bäume zeigen oft eine Verkürzung der Vegetationszeit (photosynthetisch aktive Zeit).

Aufgrund dieser mosaikartigen Verteilung der Klassen der phänologischen Mittelwerte eine flächendeckende Karte der mittleren Eintrittstermine verschiedener Phänophasen ableiten zu wollen, ist ein sehr schwieriges und gewagtes Unterfangen. Es müssen regionale Höhengradienten bestimmt werden unter Berücksichtigung der Expositionsunterschiede und der mesoklimatischen Eigenheiten (Föhn etc.). Es wurde deshalb bewusst auf die Bearbeitung einer derartigen Karte verzichtet. Für detaillierte regionale Karten wäre ein feinmaschigeres Netz notwendig.

### 6.2.2 Höhenabhängigkeiten von phänologischen Mittelwerten, 1951-87

Dass der Frühling in den höheren Lagen später Einzug hält als in den Niederungen, muss kaum mehr bewiesen werden. Wie steht es aber mit der Höhenabhängigkeit bei der herbstlichen Blattverfärbung und den anderen Phänophasen? Wie gross ist die Beziehung zwischen den mittleren Eintrittsterminen der Phänophasen und der Höhenlage? Sind regionale Unterschiede feststellbar und wie weit wirken sich Expositionsunterschiede, verschiedene Hangneigungen und Horizontabschirmungen auf die Resultate aus? Um diese Fragen abzuklären, wurde das Datenmaterial von rund 100 Beobachtungsstationen ausgewertet. Sie wurden in die sieben folgenden Regionen eingeteilt (Tab. 1, im Anhang):

I	Jura und Juranordfuss	(20 Stationen)
II	Mittelland	(29 Stationen)
III	Alpennordhang	(19 Stationen)
IV	Wallis/Rhonetal	(10 Stationen)
V	Rheinbünden	(10 Stationen)
VI	Südschweiz (Tessin + Südbünden)	(12 Stationen)
VII	Engadin	( 5 Stationen)

Da nicht in allen Regionen eine gleich grosse Anzahl von Beobachtungsstationen zur Verfügung steht, ist ein Vergleich zwischen den verschiedenen Regionen mit der notwendigen Vorsicht zu behandeln. Von den 38 speziell kontrollierten Phänophasen wurden die folgenden 12 ausgewählt, die sich über die ganze Vegetationsperiode verteilen:

- 2 Vollblüte des Huflattichs
- 9 Vollblüte des Löwenzahns
- 10 Blattausbruch der Rotbuche
- 11 Nadelaustrieb der Lärche
- 12 Vollblüte des Flieders
- 17 Nadelaustrieb der Fichte
- 21 Vollblüte des Schwarzen Holunders
- 19 Vollblüte der Sommerlinde
- 23 Vollblüte der Winterlinde
- 50 Vollblüte der Herbstzeitlose
- 26 Blattverfärbung der Rosskastanie
- 28 Blattverfärbung der Rotbuche

Von diesen Phänophasen wurden regionale Korrelationen zwischen den mittleren Eintrittsterminen (arithmetisches Mittel) und den Höhenlagen berechnet. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 2 zusammengestellt. Bei einzelnen Phasen konnten nicht alle Regionen behandelt werden, da nicht genügend Werte vorhanden waren. Die Resultate der verschiedenen Phänophasen sollen nachfolgend einzeln diskutiert werden.

#### Vollblüte des Huflattichs: (Phase 2)

Lediglich in den Regionen I und II kann eine hoch signifikante Korrelation festgestellt werden. Da diese Phase sehr früh im Jahresablauf auftritt, oft einige Tage nach der Ausaperung, ist neben der Höhenlage auch das Mikroklima von grosser Bedeutung. Dies mag in Gebieten, in denen im Frühling die Schneedecke weniger lang liegen bleibt, eine geringere Rolle spielen (Regionen I und

II). In den Regionen VI und VII sind zu wenig Stationen für eine gesicherte Aussage vorhanden.

Vollblüte des Löwenzahns: (Phase 9)

Hoch signifikant korreliert diese Phase in den Regionen I, III und V ( $P=0,001$ ) und etwas weniger stark in den Regionen II und VII ( $P=0,01$ ). In der Region IV korreliert sie noch schwach ( $P=0,02$ ) und in der Region VI sind die Koeffizienten nicht mehr signifikant. Allgemein weist diese Phase eine gute Höhenabhängigkeit auf.

Blattausbruch der Rotbuche: (Phase 10)

Für die Regionen IV und VII sind nicht genügend Daten vorhanden. Hohe Signifikanz findet sich nur in den Regionen I und III und etwas weniger stark in der Region II. Die Höhengradienten zwischen 3,5 und 5,2 Tagen sind recht homogen.

Nadelaustrieb der Lärche: (Phase 11)

Mit Ausnahme der Region IV sind die Korrelationskoeffizienten hoch bis sehr hoch signifikant, was sich im vorangehenden Kapitel bereits abgezeichnet hatte. Die Verteilung der Stationen in der Region IV ist sehr inhomogen, was das schlechte Resultat bewirken mag. Die Höhengradienten sind von sehr ähnlicher Grössenordnung (4 bis 7 Tage). Lediglich in der Region II beträgt er 11,5 Tage. Im Mittelland ist neben dem Höhengradienten auch noch ein West-/Ost-Gradient zu erwarten, da im allgemeinen der Westen gegenüber dem Osten einen Vorsprung in der Vegetationsentwicklung aufweist. Dieser West/Ost-Gradient konnte jedoch mit statistischen Methoden nicht nachgewiesen werden. Er dürfte aber der Grund für den etwas tieferen Korrelationskoeffizienten in der Region II sein.

Vollblüte des Flieders: (Phase 12)

Die Region VII konnte nicht berücksichtigt werden. Allgemein sind sehr hoch signifikante Koeffizienten zu verzeichnen. Die Region IV fällt leicht ab, und vor allem bei der Region VI ist nur noch schwache Signifikanz nachweisbar. Wieder sind - mit Ausnahme der Region II - die Gradienten recht einheitlich.

Nadelaustrieb der Fichte: (Phase 17)

Hoch signifikante Werte findet man nur bei den Regionen III und V und etwas weniger stark bei der Region I. Bei den übrigen Regionen (ohne Region VII) sind die Korrelationen nur schwach oder gar nicht signifikant.

Vollblüte des Schwarzen Holunders: (Phase 21)

Schlechte Koeffizienten findet man in den Regionen IV und VI. In den übrigen berücksichtigten Regionen scheint eine gute Höhenabhängigkeit zu bestehen.

Vollblüte der Sommerlinde: (Phase 19)

Gute bis sehr gute Korrelationen weisen die Regionen I, III und V auf. Bei den übrigen Regionen (ohne Region IV) konnte keine Signifikanz festgestellt werden.

Vollblüte der Winterlinde: (Phase 23)

Die Ergebnisse präsentieren sich sehr ähnlich wie bei der Phase 19. Dies ist nicht erstaunlich, handelt es sich doch um dieselbe Pflanzengattung. Eine Ausnahme bildet die Region V mit hoher Signifikanz bei der Phase 19 ( $P=0,01$ ) und keiner Signifikanz bei der Phase 23. Dieses Resultat darf aber nicht überbewertet werden, da die Anzahl der Stationen in beiden Fällen klein ist.

Vollblüte der Herbstzeitlose: (Phase 50)

Hier sieht es weit schlechter aus als bei den vorangehenden Phasen. Lediglich in der Region I ist eine schwache Beziehung feststellbar. Es scheint, dass diese Phase sehr stark vom Standort

und dem Mikroklima abhängig ist und weniger auf die Höhenlage anspricht. Zusätzlich kann sie auch noch vom Zeitpunkt des letzten Emdschnittes oder der Herbstweide beeinflusst werden.

Blattverfärbung der Rosskastanie: (Phase 26)

Noch schlechter sieht es bei dieser Phase aus. In den meisten Regionen fehlt eine signifikante Höhenabhängigkeit. Auch negative Koeffizienten treten nur bei zwei Regionen auf. Da sich das Laub erfahrungsgemäss in den höheren Regionen früher verfärbt als in den Niederungen, wäre eine negative Höhenabhängigkeit zu erwarten. Die Rosskastanie eignet sich aber nicht sehr gut, da sie nicht in geschlossenen Beständen vorkommt sondern als Einzelbaum in Parks und entlang von Strassen angepflanzt wird. Sie sind somit vielfältigen Stressfaktoren ausgesetzt wie Abgasen, mechanischen Schädigungen, schlechter Durchlüftung des Bodens, Trockenstress (da auf den betonierten Strassen das Wasser oberflächlich abfließt) und Streusalz. Es ist bekannt, dass die Rosskastanien in vielen Städten kränklich sind und oft resistenteren Baumarten weichen müssen. Angeschlagene Bäume verfärben ihr Laub aber viel früher als die gesunden. Deshalb kann auch keine gute Höhenabhängigkeit erwartet werden.

Blattverfärbung der Rotbuche: (Phase 28)

Aehnlich schlecht wie die Phase 26 schneidet auch die Phase 28 ab. In allen Regionen sind die Koeffizienten nur schwach oder gar nicht signifikant. Immerhin sind die Gradienten und Koeffizienten in den meisten Regionen negativ. Aufgrund der Auswertungen im vorangehenden Kapitel waren diese Resultate voraussehbar. Es bestätigt sich, dass die Blattverfärbung der Rotbuche stärker von lokalen Faktoren abhängt (Trockenheit, tiefe Temperaturen etc.) als von der Höhenlage. Wie bereits bei der Phase 10 (Blattaussbruch der Rotbuche) angedeutet wurde, hält sich die Rotbuche an für uns unerfindliche Gesetze, was auch von den Förstern bestätigt wurde.

Um diese Statistik noch zu veranschaulichen, wurden aus dem Sofortmeldeprogramm drei Darstellungen entnommen, wie sie im täglichen Betrieb gebraucht werden (Kap. 4.5.2). Abbildung 17 zeigt die Phase 11 (Nadelaustrieb der Lärche) mit den fünf nach den Höhenlagen geordneten Stationen der Region Jura. Die gute Höhenabhängigkeit ist auch graphisch klar ersichtlich. Abbildung 18 stellt die Phase 26 (Blattverfärbung der Rosskastanie) für die Region Ostschweiz dar. Analog zu den Korrelationskoeffizienten kann keine Höhenabhängigkeit ausgemacht werden. Abbildung 19 lässt die leicht negative Höhenabhängigkeit der Phase 28 (Blattverfärbung der Rotbuche) erahnen. Dargestellt ist hier die Region Zentralschweiz.

Die statistischen Untersuchungen zeigen eindeutig, dass die Frühlingsphasen bessere Höhenabhängigkeit aufweisen als die Sommer- und vor allem als die Herbstphasen. Dies lässt die These ableiten, dass die Frühlingsphasen vor allem durch die Wärme (Temperatur) beeinflusst werden. Die späteren Phasen hingegen werden noch von weiteren Einflussgrössen wie zum Beispiel Trockenheit, Frühfröste oder allgemein dem Mikroklima beeinflusst. Die These wird in Kapitel 10 mit statistischen Methoden näher überprüft. Ueber alle Regionen hinweg betrachtet, findet man die besten Höhenkorrelationen bei den Phasen 9, 11 und 12 und die schlechtesten bei den Phasen 50, 26 und 28. Auf die Regionen bezogen ergeben die Region I und etwas weniger ausgeprägt die Region III signifikante

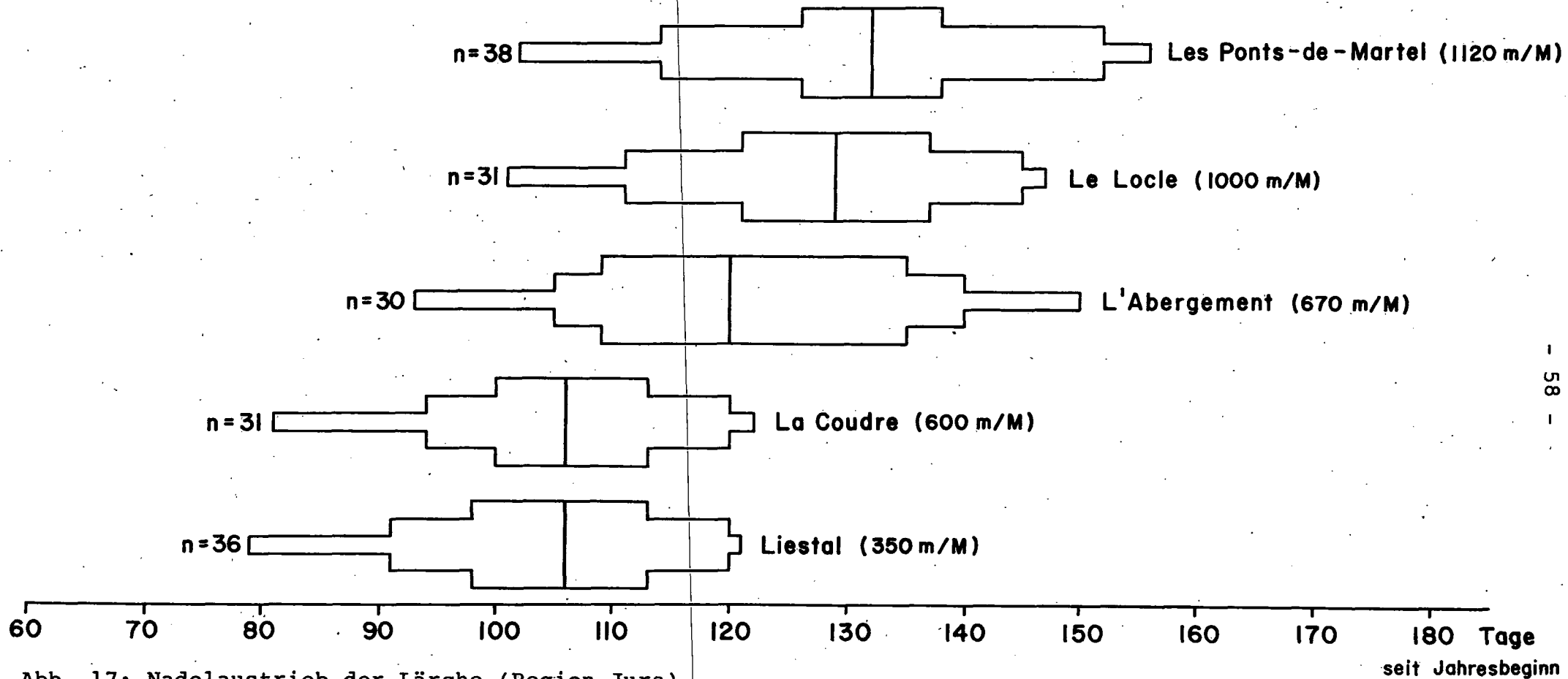


Abb. 17: Nadelaustrieb der Lärche (Region Jura)  
Mittelwert und Streuung für die entsprechenden  
Beobachtungsperioden

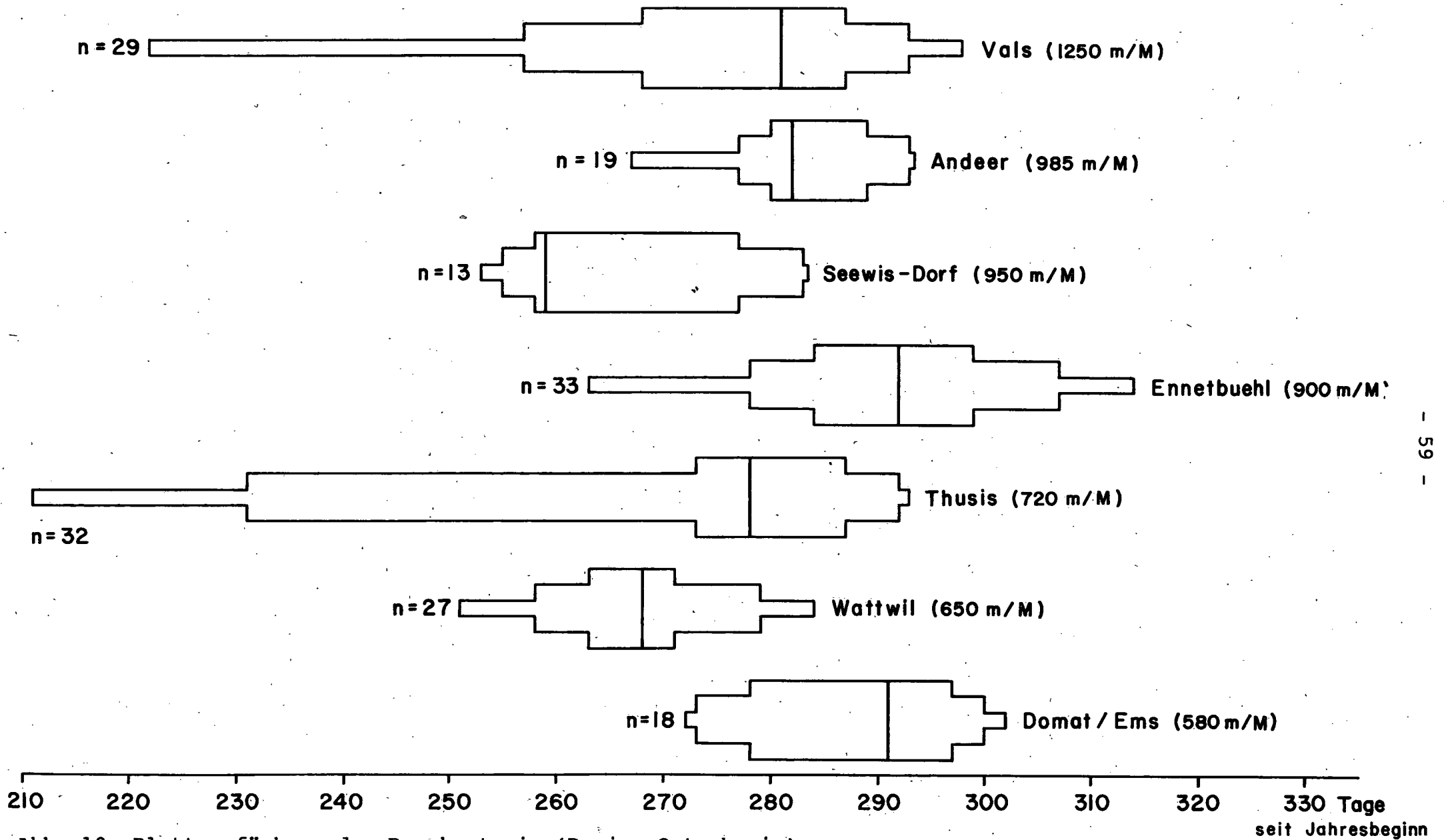


Abb. 18: Blattverfärbung der Rosskastanie (Region Ostschweiz)  
 Mittelwert und Streuung für die entsprechenden  
 Beobachtungsperioden

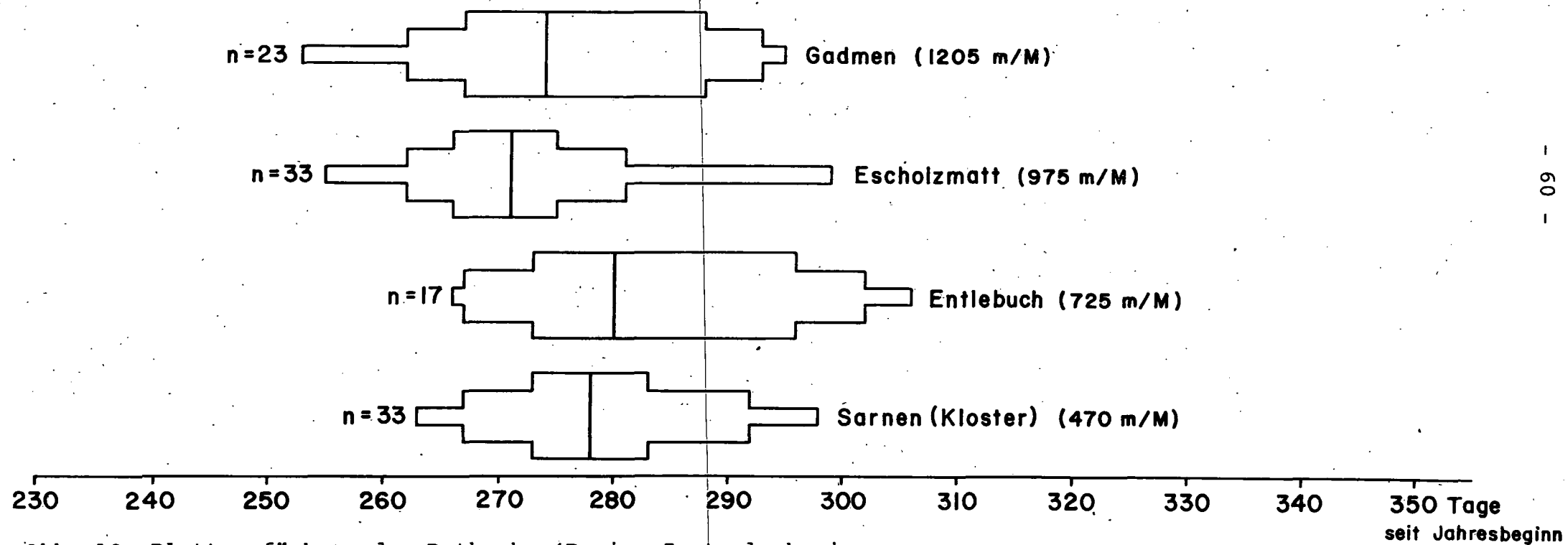


Abb. 19: Blattverfärbung der Rotbuche (Region Zentralschweiz u. Berner Oberland)  
Mittelwert und Streuung für die entsprechenden Beobachtungsperioden

Korrelationswerte. Neben den regionalklimatischen Verhältnissen dürfte auch die Stationsauswahl sowie das Vorkommen von natürlichen Lebensräumen der betreffenden Pflanzen eine wesentliche Rolle spielen.

Die Untersuchungen zeigen, dass sich eine Höhenabhängigkeit der mittleren Eintrittstermine verschiedener Phänophasen nachweisen lässt. Es sind jedoch deutliche regionale und phasenabhängige Unterschiede feststellbar. Allgemein weisen die Frühlingsphasen eine stärkere Höhenabhängigkeit auf als die Sommer- und Herbstphasen. Eine Ausnahme bildet die Phase 2 (Vollblüte des Huflattichs). Die sehr frühen Phänophasen streuen allgemein sehr stark und sind mehr vom Mikroklima beeinflusst als von der Höhenlage (Kap. 6.3.2). Die klimatisch extremen Regionen (Wallis, Südschweiz und Engadin) zeigen allgemein eine schlechtere Höhenabhängigkeit als die übrigen Regionen. Viele Pflanzen sind in diesen Regionen ursprünglich nicht heimisch. So kommen oft nur einzelne Exemplare vor, für die diese Gegend einen Grenzstandort darstellt. Entsprechend gedeihen sie nur an besonders günstigen Stellen, wo das Expositionsklima eine dominierendere Stellung einnimmt als die Höhenlage. Die Höhengradienten weisen ebenfalls regionale Unterschiede auf. In Regionen und bei Phasen die hoch signifikant korrelieren, sind sie relativ klein und betragen ungefähr 5 Tage pro 100 m. Eine Ausnahme bildet dabei die Region II mit rund 10 Tagen pro 100 m. Hier spielt zusätzlich der West-Ostgradient eine entscheidende Rolle.

#### 6.2.3 Höhenabhängigkeiten von mittleren Differenzen zwischen verschiedenen Phänophasen, 1951-88

Da die Lufttemperatur im Mittel eine negative Höhenabhängigkeit aufweist, muss entsprechend eine Verkürzung der Vegetationsperiode mit zunehmender Höhe erwartet werden. Es stellt sich aber die Frage, ob mit steigender Höhe generell eine Verkürzung aller Vegetationsabschnitte (zwischen zwei Phänophasen) eintritt. Für die Beantwortung dieser Frage wurden mittlere Differenzen zwischen einigen ausgewählten Phänophasen gebildet und die Korrelationen mit der Höhenlage berechnet. Es wurden dieselben Stationen und Regionen wie im vorangehenden Kapitel berücksichtigt. Bei den phänologischen Phasen wurde darauf geachtet, dass Phasenkombinationen auftreten, die zeitlich nahe beieinander liegen und solche, die weit auseinander liegen (Frühling/Herbst). Die ersten Kombinationen sollen dazu dienen, die Verkürzung der einzelnen Vegetationsabschnitte mit steigender Höhe (rascheres Wachstum) nachzuweisen. Die zweiten Kombinationen sollen aufzeigen, ob sich mit Hilfe unserer phänologischen Daten eine generelle Verkürzung der Vegetationsperiode mit zunehmender Höhe nachweisen lässt. Für die kürzeren Vegetationsabschnitte wurden folgende Phasenkombinationen gewählt:

- 4/9 Vollblüte des Buschwindröschens und des Löwenzahns
- 9/15 Vollblüte des Löwenzahns und des Wiesenschäumkrautes
- 9/16 Vollblüte des Löwenzahns und der Wucherblume
- 6/7 Blattausbruch und Vollblüte der Rösskastanie



Bei den längeren Zeitabschnitten (Vegetationsperiode) wurden ausgewählt:

- 9/50 Vollblüte des Löwenzahns und der Herbstzeitlose
- 6/26 Blattausbruch und Blattverfärbung der Rosskastanie
- 7/26 Vollblüte und Blattverfärbung der Rosskastanie
- 10/28 Blattausbruch und Blattverfärbung der Rotbuche
- 11/28 Nadelaustrieb der Lärche und Blattverfärbung der Rotbuche
- 2/50 Vollblüte des Huflattichs und der Herbstzeitlose
- 11/50 Nadelaustrieb der Lärche und Vollblüte der Herbstzeitlose

Da es noch schwieriger ist, für zwei Phasen Stationen mit genügend langen Beobachtungsreihen zu finden, konnten nicht durchwegs alle Regionen berücksichtigt werden. So fiel die Region IV (Wallis/Rhonetal) völlig weg, und bei der Region VII konnten nur zwei Phasenkombinationen (9/50 und 11/50) berücksichtigt werden. Die Resultate sind in Tabelle 3. zusammengestellt. Erwartungsgemäss wurden weniger hohe Korrelationen gefunden als bei den einzelnen Phasen. Mehr oder weniger hohe signifikante Abhängigkeiten mit der Höhe treten nur bei Phasenkombinationen auf, die zeitlich weit auseinander liegen. Die besten Resultate sind bei den Kombinationen 11/28 in den Regionen I, II und III, sowie bei den Kombinationen 10/28 bei den Regionen I, II und III und bei der Kombination 2/50 in der Region II anzutreffen ( $P > 0,01$ ). Die grösste Anzahl von schwach signifikanten Resultaten ist in der Region V zu finden. Bei den Kombinationen zwischen Frühlingsphasen resultieren nur vereinzelt, schwach signifikante Korrelationen. Die meisten Höhengradienten und somit auch die Korrelationskoeffizienten sind negativ. Dies bedeutet, dass die Differenzen mit zunehmender Höhe kleiner werden, was einer Verkürzung der Vegetationsabschnitte und der Vegetationsperiode bedeutet. Erstaunlicherweise trifft dies für die einzige schwach signifikante Kombination von Frühlingsphasen (9/16) nicht zu. Da aber die übrigen Frühlingsphasen nur sehr kleine Koeffizienten aufweisen, kann diese Feststellung nicht verallgemeinert werden. Die Auswertungen erlauben konsequenterweise nur die Aussage, dass bei den Kombinationen von Frühlings- und Herbstphasen meist eine gute, negative Korrelation besteht. Dies sagt nichts weiter aus, als dass die Vegetationsperiode mit steigender Höhe verkürzt wird. Die ganze Statistik ist aber wieder mit dem Nachteil behaftet, dass die einzelnen Stationen nicht streng miteinander vergleichbar sind, infolge unterschiedlicher Beobachtungsperioden. Zudem sollte die Verkürzung von Vegetationsabschnitten an derselben Pflanzenart untersucht werden. Diese Forderung konnte nur bei den Kombinationen 6/7, 6/26, 7/26 und 10/28 erfüllt werden. Von diesen Kombinationen sind die besten Resultate bei der Rotbuche (10/28) zu finden. Besonders deutlich tritt aber keine dieser Kombinationen hervor. Von den Frühlingsphasen erfüllt lediglich die Kombination 6/7 die Forderung. Die Koeffizienten sind alle sehr klein und zudem in den meisten Fällen positiv. Eine Verkürzung der Vegetationsabschnitte mit zunehmender Höhe kann nicht nachgewiesen werden, lediglich eine Verkürzung der Vegetationsperiode (Frühling/Herbst) als Ganzes.

### 6.3 Streuungen

#### 6.3.1 Kartographische Darstellung der Streuungen

Bei allen phänologischen Tabellen sind neben den Mittelwerten auch die Streuungen (Standardabweichungen) pro Phänophase und Station angegeben. Es stellt sich nun die Frage, ob bezüglich der Streuungen regionale Unterschiede oder Höhenabhängigkeiten bestehen. Es wäre denkbar, dass in bestimmten Klimaregionen oder Höhenlagen die Eintrittstermine verschiedener Phänophasen weniger variieren als in anderen Gegenden. Um dieser Frage nachzugehen, wurden die Streuungen von zwei Phasen stationsweise in Schweizerkarten übertragen. Es wurden dieselben Stationen und Phasen wie bei der kartographischen Darstellung der Mittelwerte gewählt. Als Vertreter des Frühlings diente die Phase 11 (Nadelaustrieb der Lärche) und der Herbst wurde durch die Phase 28 (Blattverfärbung der Rotbuche) repräsentiert. Ähnlich wie bei den Mittelwerten ist bei der Phase 11 (Abb. 20) keine systematische Verteilung erkennbar. Die kleinsten Streuungen sind bei den Stationen Pontresina (1805 m/M) und Oberlangenegg (950 m/M) mit 6 Tagen zu finden. Die grössten Streuungen weisen die Stationen Casaccia (1455 m/M) und L'Auberson (1100 m/M) mit 18 Tagen auf. Um eine bessere Uebersicht zu gewinnen, wurden die Werte wieder in Klassen von je zwei Tagen eingeteilt (5-6, 7-8 etc.) und verschieden eingefärbt. Trotzdem konnte weder eine Regionalisierung noch eine Höhenabhängigkeit festgestellt werden. Statistisch wird aber eine mögliche Höhenabhängigkeit noch in Kapitel 6.3.4 untersucht. Auffallend ist in dieser Darstellung lediglich die starke Dominanz der Klasse 11-12, das heisst der mittleren Klasse. Es darf somit angenommen werden, dass bei der Phase 11 die mittlere Streuung für die Schweiz ungefähr 11 bis 12 Tage beträgt.

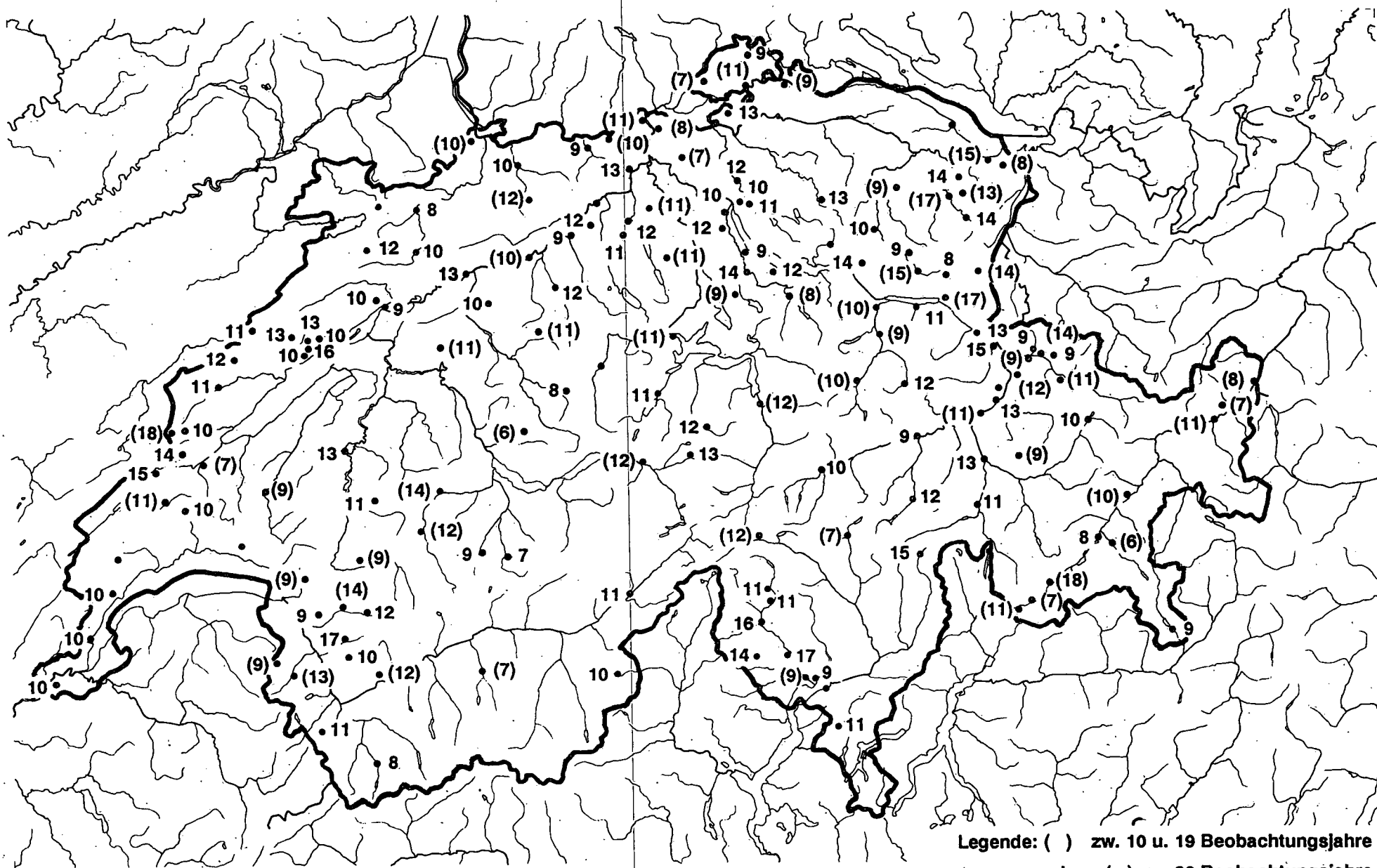
Analog sind in Abbildung 21 die Streuungen der Phase 28 (Blattverfärbung der Rotbuche) stationsweise dargestellt. Die Werte variieren sehr stark von 4 Tagen (Wädenswil) bis zu 24 Tagen (Zweisimmen), wobei der letzte Wert nicht über alle Zweifel erhaben ist. Es wurden wieder Klassen von je zwei Tagen gebildet. Die kleinsten und grössten Streuungen sind aus der folgenden Zusammenstellung ersichtlich.

#### kleinste Streuungen

#### grösste Streuungen

Tage	Stationen	m/M	Exp.	n	Tage	Stationen	m/M	Exp.	n
4	Wädenswil	480	SW	18	19	Les Rangiers	865	SW	11
5	Trient	1300	W	11	19	L'Isle	665	SW	10
6	Altdorf	455		12	22	Wynau	450	SE	18
6	Moutier	530	SE	24	24	Zweisimmen	965	SW	20
6	Witikon	620	SW	22					
6	Reigoldswil	535		20					
6	Otelfingen	440	SW	11					
6	Doettingen	350	SW	14					

Aufgrund der Resultate ist weder eine Regionalisierung noch eine Höhenabhängigkeit der Streuungen bei der Phase 28 festzustellen. Die Höhenabhängigkeit wird noch mit statistischen Methoden in Ka-



Legende: ( ) zw. 10 u. 19 Beobachtungsjahre  
 ohne ( )  $\geq$  20 Beobachtungsjahre

Abb. 20: Streuungen des Nadelaustriebes der Lärche (in Tagen) für die entsprechenden Beobachtungsperioden

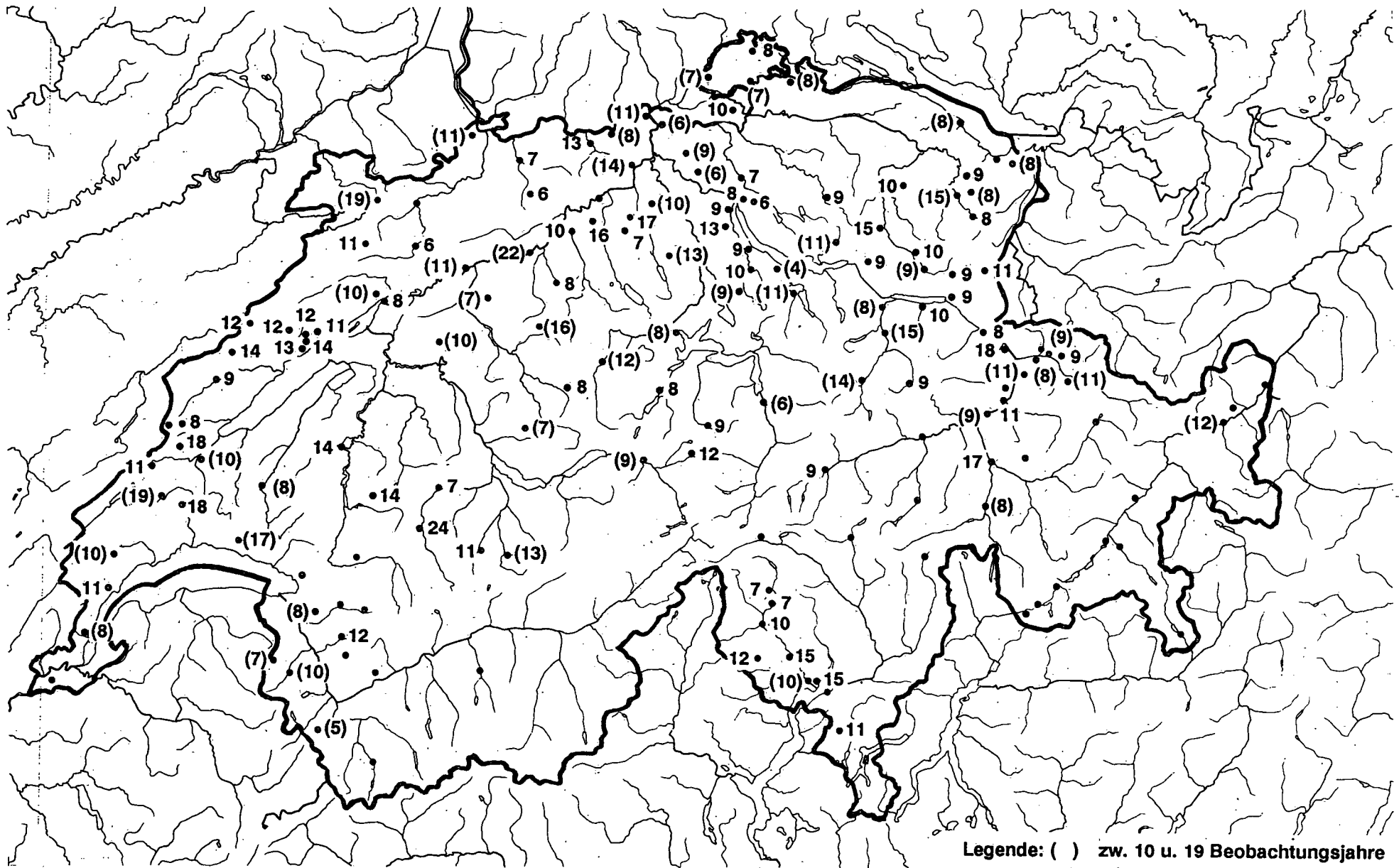


Abb. 21: Streuungen der Blattverfärbung der Rotbuche (in Tagen) für die entsprechenden Beobachtungsperioden

Legende: ( ) zw. 10 u. 19 Beobachtungsjahre  
 ohne ( )  $\geq 20$  Beobachtungsjahre

pitel 6.3.4 geprüft. Im Gegensatz zu Phase 11 kann auch keine Klasse gefunden werden, die besonders häufig auftritt. Einmal mehr wird offensichtlich, dass die Rotbuche - und insbesondere deren Blattverfärbung - eigenen Gesetzen gehorcht. Bestimmt spielt dabei das Mikroklima eine wichtige Rolle (Trockenstandorte, Fröste etc.).

### 6.3.2 Relative Häufigkeiten der Streuungen

Neben der geographischen Verteilung der Streuung von Phänodaten, ist auch deren Häufigkeitsverteilung von Interesse. Für diese Untersuchung wurden die Streuungen von möglichst vielen Stationen in Klassen von je vier Tagen eingeteilt (1-4, 5-8 etc.) und die entsprechenden relativen Häufigkeiten berechnet. Für die Grundauswertungen wurden wieder die sieben bekannten Regionen berücksichtigt (Kap. 6.2). Da die regionalen Unterschiede wenig markant sind, wird auf eine Einzelbehandlung der Regionen verzichtet. Es soll lediglich die Zusammenfassung für die ganze Schweiz zur Darstellung kommen. Es wurde wieder gefordert, dass die Beobachtungsstationen über mindestens 20 Jahre, in Ausnahmefällen über mindestens 15 Jahre verfügen. Bearbeitet wurden die 13 folgenden Phänophasen:

- 2 Vollblüte des Huflattichs
- 9 Vollblüte des Löwenzahns
- 10 Blattausbruch der Rotbuche
- 11 Nadelaustrieb der Lärche
- 12 Vollblüte des Flieders
- 17 Nadelaustrieb der Fichte
- 19 Vollblüte der Sommerlinde
- 21 Vollblüte des Schwarzen Holunders
- 23 Vollblüte der Winterlinde
- 50 Vollblüte der Herbstzeitlose
- 36L Weinlese
- 26 Blattverfärbung der Rosskastanie
- 28 Blattverfärbung der Rotbuche

Da die Anzahl der Beobachtungsjahre pro Station stark variiert, sind die Resultate nicht streng miteinander vergleichbar. Die Anzahl der verwendeten Stationen ist im allgemeinen sehr hoch. Eine Ausnahme bildet die Phase 36L (Weinlese). Deshalb können aus den folgenden Graphiken doch Trends abgeleitet werden (Abb. 22). Die einzelnen Phasen sollen nun detailliert besprochen werden.

#### Phase 2

Die grösste Häufigkeit ist in der Klasse 13-16 zu finden. Die Verteilung ist rechtsschief, das heisst es besteht ein Trend zu den höheren Klassen. Dieses Ergebnis bestätigt die Aussage, dass vor allem die sehr frühen Phasen stark streuen (vergl. Kap. 6.2.2).

#### Phase 9

Hier ist die grösste Häufigkeit bei der Klasse 9-12 anzutreffen. Im Vergleich zur Phase 2 ist eine eindeutige Verschiebung zu den tieferen Klassen erkennbar.

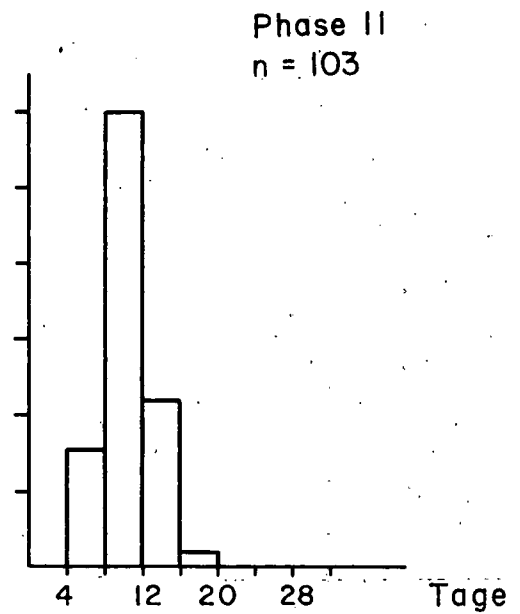
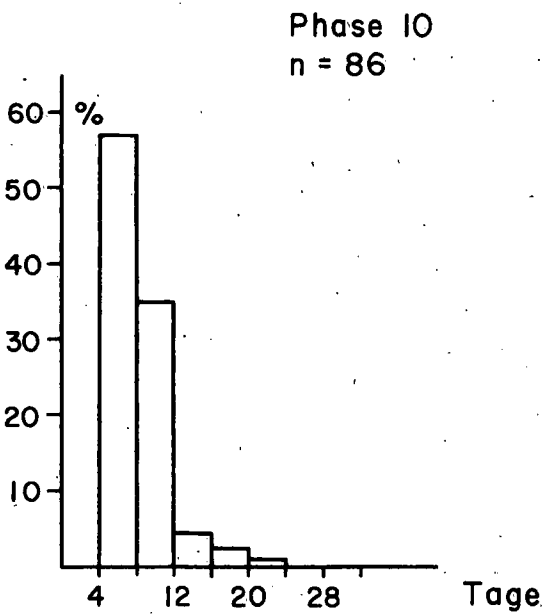
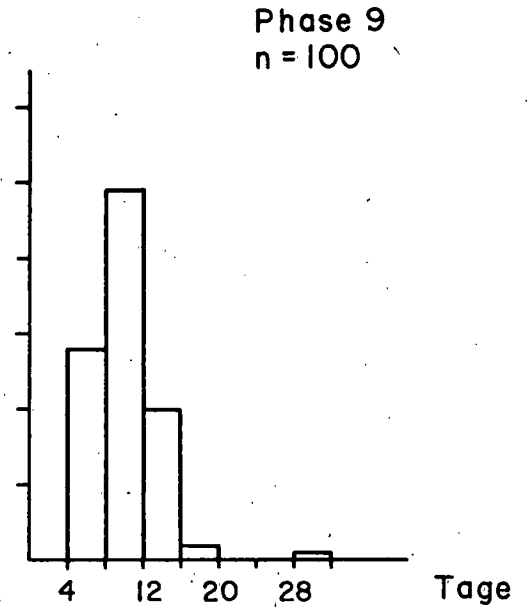
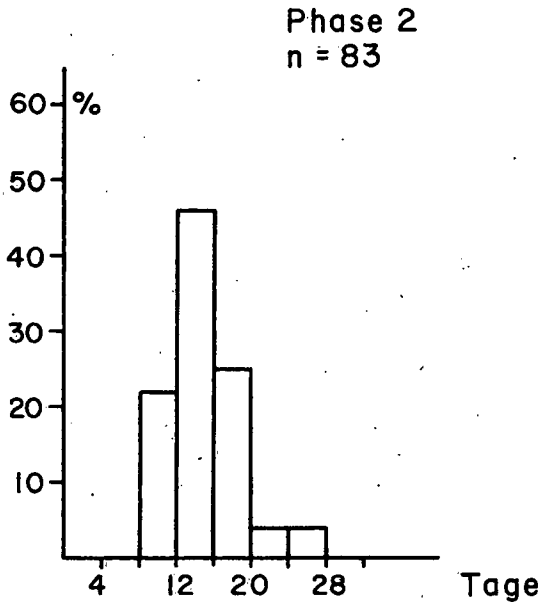
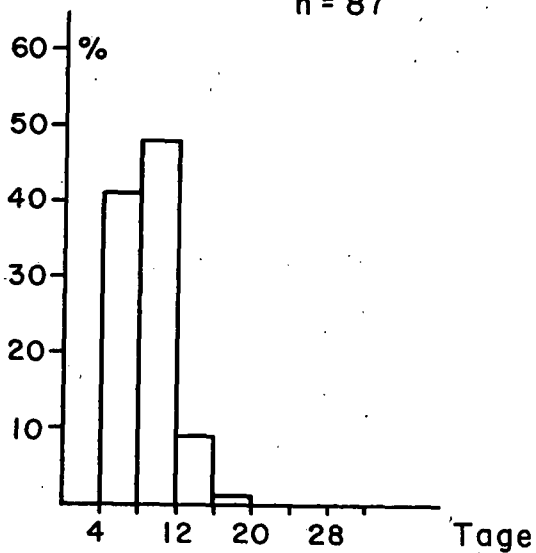


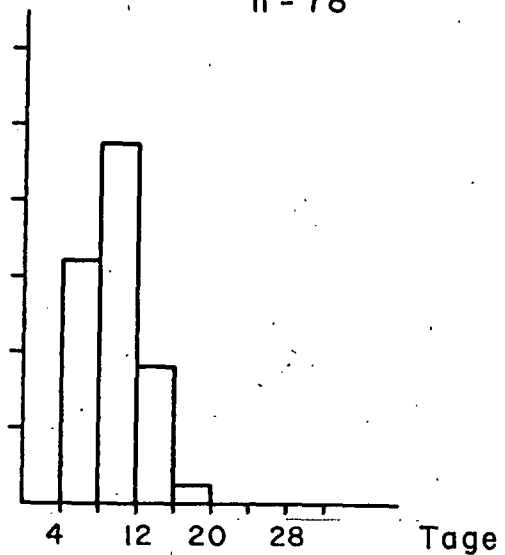
Abb. 22: Relative Häufigkeiten der Streuungen pro Phänophase (1951-87)

Fortsetzung Abb. 22

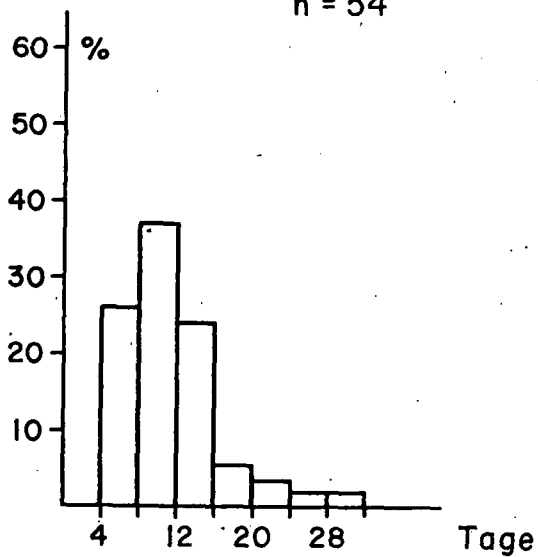
Phase 12  
n = 87



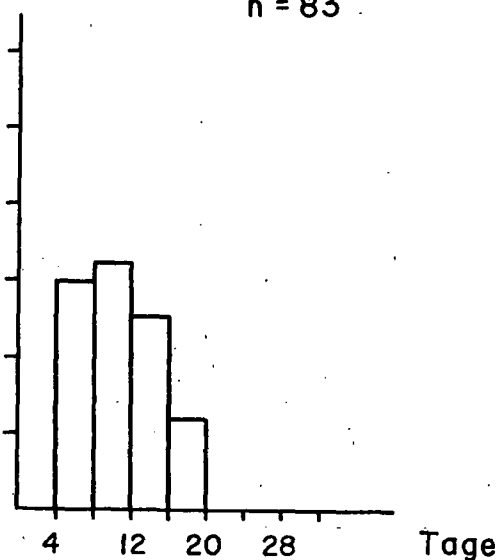
Phase 17  
n = 78



Phase 19  
n = 54

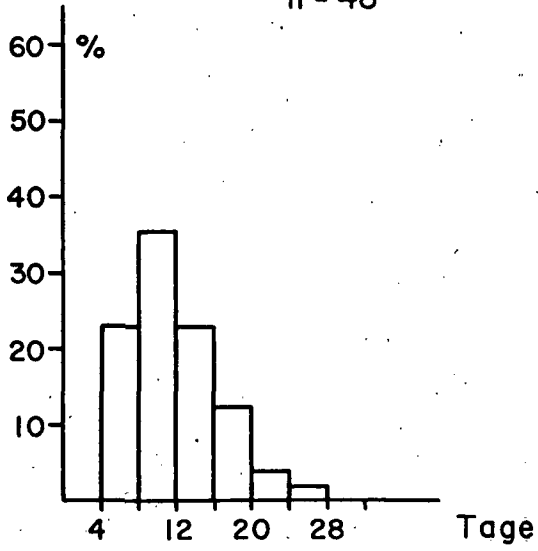


Phase 21  
n = 83

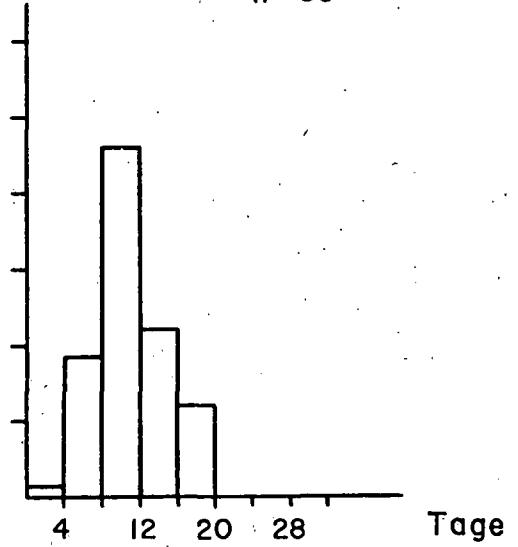


Fortsetzung Abb. 22

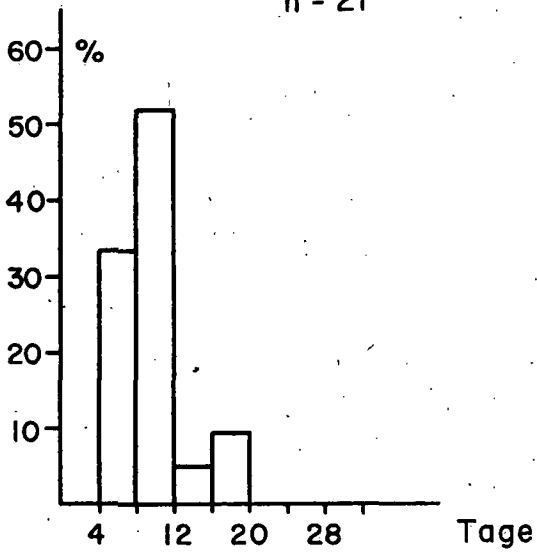
Phase 23  
n = 48



Phase 50  
n = 59



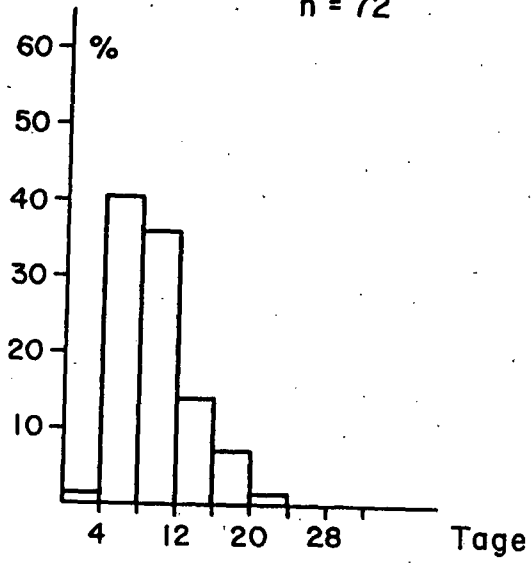
Phase 36 L  
n = 21



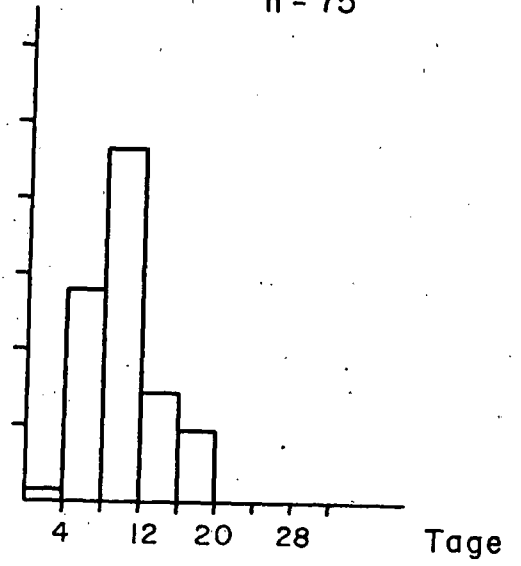


Fortsetzung Abb. 22

Phase 26  
n = 72



Phase 28  
n = 75



#### Phase 10

Neben der Phase 26 ist dies die einzige Phase, welche ihr Maximum in der Klasse 5-8 aufweist, wobei dieses Maximum weit deutlicher ausfällt als bei der Phase 26. Es handelt sich um eine stark rechtsschiefe Verteilung. Obwohl der Verlauf des Blattausbruches allgemein recht unsystematisch verläuft (Höhenabhängigkeit und Regionalisierung), ist der Streubereich relativ klein. Dies bedeutet, dass die Eintrittstermine an den verschiedenen Standorten nur wenig variieren, jedoch sehr grosse lokale Unterschiede bestehen.

#### Phase 11

Die Verteilung ist mit derjenigen der Phase 9 vergleichbar. Sie ist jedoch etwas schmaler, und die Klasse 9-12 weist die grösste Häufigkeit aller ausgewerteten Klassen auf. Der Streubereich des Nadelaustriebes der Lärche ist relativ schmal. Die im vorangehenden Kapitel gemachte Erfahrung, dass für die Schweiz bei der Phase 11 eine mittlere Streuung von 11-12 Tagen angenommen werden darf, wird durch diese Häufigkeitsverteilung bestätigt.

#### Phase 12

Die Klassen 5-8 und 9-12 sind fast gleich stark vertreten mit einer kleinen Mehrheit in der Klasse 9-12. Die Streuungen sind nochmals etwas kleiner als bei den vorangehenden Phasen.

#### Phase 17

Die Verteilung ist beinahe identisch mit derjenigen der Phase 9.

#### Phase 19

Sie zeigt die grösste Variationsbreite aller Phasen auf. Das Maximum liegt in der Klasse 9-12, doch sind die beiden benachbarten Klassen ebenfalls sehr stark vertreten. Auffallend ist die starke Rechtsschiefe dieser Verteilung. Die relativ starke Vertretung in den oberen Klassen könnte darin begründet sein, dass die Sommerlinde nicht in allen Regionen heimisch ist. Vor allem die höheren Lagen stellen für sie einen Grenzstandort dar. Herrschen in einem Jahr für die Sommerlinde gute Witterungsverhältnisse, wird sie auch in diesen Grenzstandorten relativ früh blühen. Entsprechend spät wird sie jedoch blühen, wenn ungünstige Witterungsverhältnisse herrschen, was zu diesem grossen Streubereich führen kann. Es können auch Verwechslungen mit der Winterlinde nicht ausgeschlossen werden. Betrachtet man die Stationen, die bei dieser Phase hohe Streuungen aufweisen, wird der Verdacht verstärkt, dass es sich vor allem um höhergelegene Stationen handelt, wie Les Ponts-de-Martel (1120 m/M), Elm (980 m/), Kandersteg (1180 m/M), Gryon (1150 m/M). Einzig die Station Aurigeno (315 m/M) im Tessin bildet eine Ausnahme.

#### Phase 21

Die Streuungen verteilen sich recht ausgeglichen auf die drei Klassen 5-8, 9-12 und 13-16 mit dem üblichen Maximum in der Klasse 9-12.

#### Phase 23

Die Streuungen der Vollblüte der Winterlinde sind mit denjenigen der Sommerlinde vergleichbar. Deshalb gelten auch dieselben Interpretationen. Wie bei der Phase 19 streuen die höhergelegenen Stationen ebenfalls stark wie Elm (980 m/M), Kandersteg (1180

m/M), Gryon (1150 m/M), Menzonio (725 m/M) und Delémont (415 m/M). Grösstenteils handelt es sich auch um dieselben Stationen. Die Station Delémont bildet die Ausnahme, was durch die Beckenlage im Jura (Kaltluftseen) erklärt werden kann.

#### Phase 50

Die Klasse 9-12 dominiert sehr stark, ansonsten liegt beinahe eine Normalverteilung vor.

#### Phase 36L

Es liegen nur Werte von 21 Stationen vor. Das Maximum ist wieder bei der Klasse 9-12 zu finden mit einem sekundären Maximum bei der Klasse 5-8. Die Weinlese wird jedoch nicht nur von meteorologischen Faktoren, sondern auch von der menschlichen Planung beeinflusst. Oft werden landwirtschaftliche Tätigkeiten traditions-gemäss jedes Jahr ungefähr am gleichen Datum ausgeführt. Die relativ kleinen Streuungen sind aus dieser Sicht zu verstehen.

#### Phase 26

Neben der Phase 10 ist dies die einzige mit dem Maximum in der Klasse 5-8, wobei die Klasse 9-12 nur leicht darunter liegt. Neben den extrem kleinen Streuungen (1-4 Tage), die nur noch bei den Phasen 50 und 28 auftreten, sind auch hohe Werte (bis 24 Tage) noch relativ stark vertreten. Die Inhomogenität der Streuungen dürfte darin begründet sein, dass die Rosskastanien vor allem in Parks und entlang von Strassen vorkommen. Die meisten Bäume sind krank (Abgase, mechanische Schädigungen, Trockenstress, Streusalz) und entsprechend tritt die Blattverfärbung recht früh ein. Rosskastanien, die in begünstigten Gebieten wachsen, verfärben ihre Blätter später. Ein weiterer Grund dürfte auch im Alter der Bäume liegen. Es kann beobachtet werden, dass die jüngeren Bäume spätere Blattverfärbung aufweisen als die älteren Artgenossen. Dies verursacht eine entsprechend grosse Variationsbreite der Streuungen.

#### Phase 28

Hier dominiert wieder eindeutig die Klasse 9-12. Aber auch die Klasse 5-8 ist stark vertreten. Die Verteilung gleicht derjenigen der Phase 26. Auf das merkwürdige Verhalten der Rotbuche bezüglich Blattausbruch und Blattverfärbung wurde schon mehrmals hingewiesen.

Bei fast allen Phasen ist die grösste Häufigkeit der Streuungen in der Klasse 9-12 festzustellen. Ausnahmen bilden nur die Phasen 2 (13-16) und 26 (5-8). Im Normalfall kann mit einer Streuung von rund 10 Tagen gerechnet werden. Lässt man die grossen Streubereiche bei der Linde (Sommer- und Winterlinde) ausser Betracht, fällt eine Tendenz zu grösseren Streuungen zu Beginn und am Ende der Vegetationsperiode auf. Dies wurde bei Stationen mit langen Beobachtungsreihen noch etwas genauer untersucht. Als Beispiel dient die Station Wattwil (Abb. 23). Von möglichst vielen Phänomenen wurden die Streuungen in Abhängigkeit von den mittleren Eintrittsterminen eingezeichnet. Die Darstellung bestätigt, dass eine Tendenz zu einer saisonalen Abhängigkeit der Streuungen besteht. Leider sind im phänologischen Beobachtungsprogramm im Sommer nur wenige Phasen vorhanden. So fehlen bei dieser Station Daten vom 170. bis zum 240. Tag, was die Interpretation stark er-

Streuungen (Tage)

WATTWIL 1951 - 87

n ≥ 20

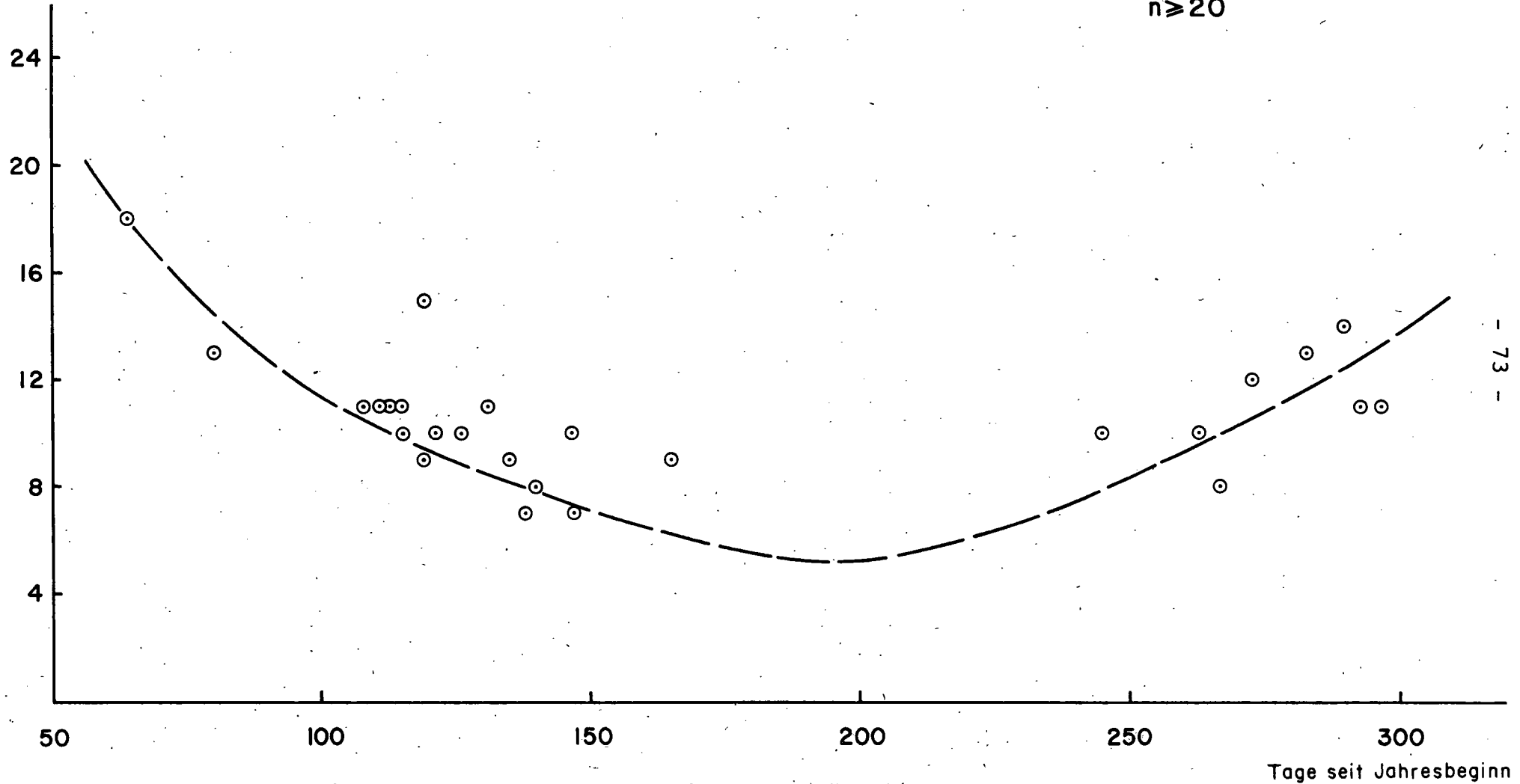


Abb. 23: Jahresgang der Streuungen der verschiedenen Phänophasen für die Station Wattwil

schwert. Zu den grossen Streuungen bei den sehr frühen Phasen soll nochmals erwähnt werden, dass diese Phasen schon sehr früh während des Winters bereit sind und es nur noch eine sehr kurze Wärmeperiode braucht, damit diese Phasen eintreten. Das Auftreten solcher Wärmeperioden variiert jedoch zeitlich von Jahr zu Jahr sehr stark, was diese grossen Streuungen bewirkt. Spätere Phasen brauchen noch vor ihrem Eintreten eine längere Wachstums- und Entwicklungszeit. Naturgemäss sind die Streuungen dann auch entsprechend kleiner. Im Sommer sind in den meisten Fällen optimale Wachstumsbedingungen gegeben, was zu kleinen Streuungen führt. Die wieder grösser werdenden Streuungen im Herbst können bei der Laubverfärbung durch Trockenperioden im Sommer, durch Krankheiten oder Schädlingsbefall hervorgerufen werden, oder beim Laubfall durch zeitlich recht unregelmässiges Auftreten von Frühfrösten und Sturmwinden.

Wie schon mehrmals in diesem Kapitel angedeutet, gibt es neben den meteorologischen Einflussgrössen noch eine Vielzahl weiterer Faktoren, welche die Eintrittstermine verschiedener Phänophasen mitbestimmen können, wie:

- Alter der Pflanzen
- Krankheiten
- Schädlingsbefall
- Vitalität der Pflanzen
- Pflanze als Individuum mit spezieller Entwicklung
- Mechanische Schädigungen am Stamm und an den Wurzeln
- Schadstoffe in der Luft, im Boden, im Wasser und auf den Pflanzen
- Bodenart (Nährstoffe, Wasserspeicherung)
- Aenderung der Umgebung durch Bauten oder pflanzliche Konkurrenz
- Pflegemassnahmen durch den Menschen
- Düngung
- Beobachtung eines neuen Individuums

Bestimmt gibt es noch weitere Einflussgrössen. Die Aufzählung zeigt nochmals die Komplexität der Wirkungsmechanismen zwischen den Pflanzen und der Umwelt. Neben den meteorologischen Einflüssen, die sich nie ganz genau gleich wiederholen, gibt es Grössen, die während des ganzen Lebens der Pflanze mehr oder weniger gleich bleiben (z.B. die Bodenart) sowie Grössen, die ständig Aenderungen unterworfen sind (z.B. Schadstoffe). Eine Tatsache, welche die Interpretation der phänologischen Daten stark erschwert.

### 6.3.3 Gesamtstreuung pro Phänophase und Region

Für alle 38 speziell ausgewerteten Phänophasen wurden Tabellen erstellt mit den stationsweisen Angaben bezüglich Streuung, früheste und späteste Termine (Maximum und Minimum), der Variationsbreite (Max. - Min.) und der Anzahl der Beobachtungsjahre. Es wurden wieder die sieben bekannten Regionen berücksichtigt. Die regionale Zusammenstellung diente nochmals der Datenkontrolle. So gaben grosse Streuungen und extreme Werte Hinweise auf mögliche Fehler. Zudem charakterisiert diese Zusammenstellung die einzelnen Stationen noch besser.

Anschliessend wurde die Gesamtstreuung pro Phänophase und Region berechnet. Diese Werte wurden regional aufgelistet und anhand der Gesamtstreuung geordnet. Hier muss wieder darauf hingewiesen werden, dass eine statistisch einwandfreie Vergleichbarkeit nicht gewährleistet ist, da die Stationen eine unterschiedliche Anzahl von Beobachtungsjahren aufweisen und in den einzelnen Regionen die Anzahl der Stationen recht stark variiert. Zudem konnten nicht bei allen Regionen alle Phasen berücksichtigt werden. Trotzdem lassen sich aus Tabelle 4 gewisse Trends und Regelmässigkeiten herauslesen. Die kleinste Streuung mit 6,6 Tagen findet sich bei der Phase 37M (Beginn der Heuernte) in der Region VII (Engadin). Auch in den Regionen IV (Wallis/Rhonetal), V (Rheinbünden) und VI (Südschweiz) stellt die Phase 37M das Minimum dar. Es handelt sich dabei grösstenteils um landwirtschaftlich orientierte Gebiete (Viehwirtschaft), in denen die Heuernte eine zentrale Rolle spielt. Die Termine hängen ebenfalls von der menschlichen Planung und der Tradition ab. Man beginnt mit dem "Heuet" jedes Jahr ungefähr zur gleichen Zeit. Dies bewirkt die relativ kleine Streuung. Bei den drei übrigen Regionen I - III, (Jura u. Juranordfuss, Mittelland und Alpennordhang) sind die kleinsten Streuungen bei der Phase 10 (Blattausbruch der Rotbuche) zu finden. Sie wurden schon im vorangehenden Kapitel diskutiert. Auch die grössten Streuungen treten in diesen drei Regionen bei derselben Phase 47 (Vollblüte des Haselstrauches), bei den Regionen V und VII bei der Phase 2 (Vollblüte des Hufblattichs) auf. Auf die grossen Streuungen bei den sehr frühen Phasen 2 und 47 wurde schon hingewiesen (Kap. 6.3.2). Bei der Region IV ist die höchste Streuung bei der Phase 20 (Vollblüte des Roten Holunders) zu finden. Dieses Resultat erstaunt doch, da im allgemeinen im Sommer die Streuungen eher klein sind. Die absolut höchste Streuung ist in der Region VI (Südschweiz) bei der Phase 33E (Fruchtreife der Aepfel) mit 20,5 Tagen zu verzeichnen. Bei den phänologischen Phasen der Obstkulturen besteht das Problem der Sortenvielfalt. Wird nicht jedes Jahr dieselbe Sorte beobachtet, führt dies sofort zu sehr grossen Streuungen. So findet man in dieser Region auch sehr hohe Streuungswerte bei der Phase 34E (Fruchtreife der Birnen). Die einzelnen Regionen sollen im folgenden noch genauer betrachtet werden. Um die Uebersicht zu erleichtern, wurden in Tabelle 4 die Streuungen pro Region aufsteigend geordnet.

#### Region I (Jura und Juranordfuss)

Allgemein sind die Streuungen relativ hoch (zwischen 9,2 und 19,4 Tagen). Die tiefsten Werte (< 10 Tage) sind bei den Phasen 10, 6, 7, 12 und 27 anzutreffen. Mit Ausnahme der Phase 27 (Blattfall der Rosskastanie) handelt es sich um Frühlingsphasen. Die grössten Streuungen (über 13 Tage) weisen die Phasen 34E, 3, 4, 2, 31, 20 und 47 auf. Die Fruchtreife der Obstbäume (34E) wurde schon eingehend besprochen. Für die grosse Streuung der Phase 20 kann keine plausible Erklärung gefunden werden. Die Phase 31 (1. Reif) ist keine eigentliche phänologische Phase und ist von sehr kurzfristigen Witterungserscheinungen abhängig, die grossen Schwankungen unterworfen sind. Wieso auch die Phasen 3 (Blattausbruch des Haselstrauches) und 4 (Vollblüte des Buschwindröschens) so grosse Schwankungen aufweisen, bleibt vorläufig eine ungelöste Frage.

#### Region II (Mittelland)

Die Streuungen sind hier allgemein etwas kleiner (zwischen 8,2

und 18,3 Tagen) als für die Region I. Die kleinsten Streuungen (<9 Tage) weisen die Phasen 10, 7, 25, 37M und 12 auf. Es handelt sich wieder vorwiegend um Frühlingsphasen. Die Phase 37M wurde schon besprochen. Lediglich die Phase 25 (Fruchtreife der Rosskastanie) mag in diesen vordersten Rängen erstaunen. Die erste Herbstphase mit einer Streuung von 9,6 Tagen stellt der Blattfall der Esche dar. Die grössten Werte (> 14 Tage) sind bei den Phasen 2, 33E, 36K, 31 und 47 zu finden. Hier braucht es lediglich noch zur Phase 36K (Bluten der Reben) eine Erklärung. Es handelt sich wieder um eine relativ frühe Phase, die zudem nur schlecht beobachtet werden kann. Auch die Phase 20 (Vollblüte des Roten Holunders) weist mit 13,7 Tagen wieder eine relativ grosse Streuung auf.

#### Region III (Alpennordhang)

Die Streuungen liegen ungefähr im gleichen Rahmen wie bei der Region II. Die kleinsten Streuungen (< 10 Tage) weisen die Phasen 10, 37M, 27, 7, 9 und 26 auf. Neu in den vordersten Rängen sind die Herbstphasen 26 (Blattverfärbung der Rosskastanien) und 27 (Blattfall der Rosskastanien) zu finden. Unter der Annahme, dass die Rosskastanien vor allem in den letzten 10 bis 20 Jahren stärker geschädigt wurden (Zunahme des Verkehrs), muss dieses Resultat als erstaunlich angesehen werden. Relativ grosse Streuungen (> 15 Tage) sind bei den Phasen 4, 2, 31, 37N, 33E und 47 zu finden. Mit Ausnahme der Phase 37N wurden diese Phasen schon besprochen. Die Phase 37N (Ende der Heuernte) lässt unterschiedliche Interpretationen zu. Handelt es sich um die erste Heuernte, den 2. oder 3. Schnitt etc.? Je nach Annahme kann dies zu sehr grossen Streuungen führen. Die Phase 20 ist ebenfalls wieder bei den grösseren Streuungen anzutreffen.

#### Region IV (Wallis/Rhonetal)

Die Streuungen liegen in ähnlichen Bereichen wie in den Regionen II und III. Leider konnten nur wenige Phasen ausgewertet werden. Kleine Streuungen (<= 10 Tage) sind bei den Phasen 37M, 32B und 12 anzutreffen. Neu dazu kommt die Phase 32B (Vollblüte der Kirschbäume), die weit weniger durch die verschiedenen Sorten beeinflusst wird als die übrigen Obstarten. Grosse Streuungen (>17 Tage) weisen die Phasen 31, 3, 47 und 20 auf. Es sind durchwegs Phasen, die schon bei anderen Regionen durch grosse Streuungen auffielen.

#### Region V (Rheinbünden)

Allgemein sind die Streuungen noch etwas kleiner (zwischen 7,6 und 15,8 Tagen) als in den vorangehenden Regionen. Die kleinsten Streuungen (<9 Tage) weisen die Phasen 37M, 7, 10, 17, 29, 9, 16 und 6 auf. Hier kommen zwei neue Frühlingsphasen dazu: 16 (Vollblüte der Wucherblume) und 17 (Nadelaustrieb der Fichte). Grosse Streuungen (>= 13 Tage) sind bei den Phasen 26, 50, 34E, 33E, 20, 47, 31 und 2 anzutreffen. In der Region III kam die Phase 26 jedoch bei den kleinsten Streuungen vor. Dies sind deutliche Hinweise, dass die Blattverfärbung der Rosskastanie nicht nur von den meteorologischen Einflüssen abhängt, sondern ebenso vom Gesundheitszustand des Baumes. Die Phase 50 (Vollblüte der Herbstzeitlose) tritt hier das erste Mal bei den grössten Streuungen auf. Es zeigt sich aber, dass auch in den übrigen Regionen, wo

diese Phase ausgewertet werden konnte, relativ grosse Streuungen vorkamen.

Region VI (Südschweiz)

Die Variationsbreite der Streuungen ist hier am grössten (zwischen 7,6 und 20,5 Tagen). Streuungen unter 10 Tagen sind bei den Phasen 37M, 25, 36L, 26 und 12 anzutreffen. Neu ist die Phase 36L, bei der ungefähr dasselbe gilt wie für die Phase 37M. Grosse Streuungen ( $\geq 17$  Tage) sind hingegen bei den Phasen 7, 20, 34E, 47 und 33E zu finden. Aus dem üblichen Rahmen fällt die Phase 7 (Vollblüte der Rosskastanie), die zum Beispiel in der Region I zu den Phasen mit den geringsten Streuungen gehört.

Region VII (Engadin)

Es konnten nur 7 Phasen ausgewertet werden, deren Streuungen zwischen 6,6 und 16 Tagen liegen. Die kleinste Streuung findet sich bei der Phase 37M, die grösste bei der Phase 2. Es sind Phasen, die typisch für kleine, respektive grosse Streuungen sind.

Wie eingangs erwähnt, ist ein Vergleich zwischen den Regionen nicht ohne weiteres möglich, da die Anzahl der Stationen pro Region und berücksichtigten Phänophasen stark variiert. Um trotzdem eine gewisse Vergleichbarkeit zu erreichen, wurden pro Region je die 25% der kleinsten und grössten Streuungen aufgelistet. Kommt eine Phase bei den meisten Regionen in einer dieser Klassen vor, dann kann mit grosser Wahrscheinlichkeit angenommen werden, dass sie allgemein zu denjenigen mit grösseren, respektive kleineren Streuungen zählt. Diese Quartilstatistik für das erste und letzte Viertel lässt sich wie folgt zusammenstellen:

Regionen:	I	II	III	IV	V	VI	VII
-----							
Phasen:							
1. Quartil:	10	10	10	37M	37M	37M	37M
	6	7	37M	32B	7	25	14
	7	25	27	12	10	36L	
	12	37M	7		17	26	
	27	12	9		29	12	
	9	33B	26		9	32B	
	37M	17	17		16	34B	
	26	29	29		6	32E	
	33B	9	6		12	14	
		27				28	
4. Quartil:	18	18	18	3	23	21	37N
	37N	37N	20	47	26	4	2
	34E	4	32E	20	50	31	
	3	34E	4		34E	3	
	4	20	2		33E	7	
	2	2	31		20	20	
	31	33E	37N		47	34E	
	20	36K	33E		31	47	
	47	31	47		2	33E	
		47					

Die Phase 37M (Beginn der Heuernte) ist bei allen Regionen im 1. Quartil anzutreffen. Die Phasen 7 (Vollblüte der Rosskastanie)



und 10 (Blattausbruch der Rotbuche) liegen bei allen ausgewerteten Regionen ebenfalls in diesem Quartil, mit Ausnahme der Region VI. In dieser Region figuriert die Phase 7 sogar im letzten Viertel. Im ersten Quartil ebenfalls sehr gut vertreten ist die Phase 12 (Vollblüte des Flieders). Allgemein kommen die Frühlingsphasen mit 60% aller Fälle häufiger vor als die Sommer- und Herbstphasen. Im letzten Quartil kommen in allen ausgewerteten Regionen die Phasen 47 (Vollblüte des Haselstrauches), 20 (Vollblüte des Roten Holunders) und 4 (Vollblüte des Buschwindröschens) vor. Häufig vertreten sind auch die verschiedenen Phasen der Frucht-reife sowie die sehr frühe Phase 2 (Vollblüte des Huflattichs) und 31 (1. Reif). Allgemein kommen hier die Sommer- und Herbstphasen mit 55% etwas häufiger vor als die Frühlingsphasen. Die Phase 10 (Blattausbruch der Rotbuche) weist allgemein kleinere Streuungen auf als die Phase 28 (Blattverfärbung der Rotbuche). Eine Ausnahme bildet die Region VI. Eine ähnliche Tendenz kann bei den Phasen 6 und 26 (Blattausbruch und Blattverfärbung der Rosskastanien) festgestellt werden. Auch hier bildet wieder die Region VI die Ausnahme. Der Grund der kleineren Streuungen bei den Phasen des Blattausbruches gegenüber der Blattverfärbung könnte darin liegen, dass die erste Phase schon in den vorangehenden Vegetations- und Ruheperioden zumindest teilweise vorbestimmt wird, während die Blattverfärbung noch stark vom Verlauf der aktuellen Vegetationsperiode (z.B. Trockenstress) beeinflusst wird. Somit sind auch grössere Schwankungen möglich. Vergleicht man die einzelnen Regionen untereinander, fällt auf, dass die Region VI markant von den übrigen abweicht. So treten dort höhere Streuungen bei den Phasen 6, 7, 9, 10, 11, 15, 18, 21, 29, 30, 33B, 33E und 34E auf. Der Grund dieser grossen Streuungen auf der Alpensüdseite dürfte klimabedingt sein. Die Vegetationsperiode dauert dank dem milden Klima länger und somit sind auch grössere Variationen bezüglich der Eintrittstermine der verschiedenen Phä-nophasen zu erwarten.

#### 6.3.4 Höhenabhängigkeiten der Streuungen von phänologischen Phasen, 1951-88

Im Kapitel 6.2.2 konnte nachgewiesen werden, dass eine Höhenabhängigkeit der phänologischen Mittelwerte existiert. Es konnte auch gezeigt werden, dass der Streubereich je nach Jahreszeit variiert (Kap. 6.3.3). Es stellt sich nun die Frage, ob auch eine Höhenabhängigkeit der Streuungen besteht. Es wäre denkbar, dass die frühen Phasen im Frühling in den höheren Lagen stärker streuen als in den Niederungen, da sie dort sehr schnell nach der Ausaperung eintreten. Die Ausaperung ihrerseits variiert von Jahr zu Jahr sehr stark. Spätere Phasen dürften eher in den tieferen Lagen stärker streuen, da mit der Höhe die Vegetationszeit verkürzt wird und somit die Möglichkeit der Variationen der einzelnen Eintrittstermine kleiner wird. Die Herbstphasen (Blattverfärbungen) werden stark von lokalen Begebenheiten beeinflusst (Trockenstandorte, lokaler Frost etc.). Somit sind bei diesen Phasen weniger gute Korrelationen mit der Höhenlage zu erwarten. Um diese Fragen abzuklären, wurden für dieselben Phänophasen und Stationen, wie bei den Höhenabhängigkeiten der Mittelwerte, regionale Korrelationen berechnet. In Tabelle 5 sind pro Region und Phänophase die

jeweiligen statistischen Werte enthalten. Aus der Tabelle geht sofort hervor, dass keine guten Beziehungen zwischen den Höhenlagen und den Streuungen der Phänophasen besteht. So konnten bei den Phasen 17 und 23 gar keine signifikanten Höhenabhängigkeiten nachgewiesen werden. Bei den übrigen Phasen treten vereinzelt schwache bis gute Korrelationen auf. Die besten Resultate weisen die Phasen 12 (Region VI), 21 und 28 (Region II) auf, mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,01. Die übrigen hohen Korrelationskoeffizienten sind nur schwach signifikant. Auch bezüglich der Vorzeichen der Koeffizienten kann keine eindeutige Aussage gemacht werden, da positive und negative Vorzeichen ungefähr gleich häufig vertreten sind. Bei keiner Phänophase kann daraus geschlossen werden, ob die Streuungen mit zunehmender Höhe zu- oder abnehmen. Ebenso ist keine eindeutige Aussage bezüglich der regionalen Unterschiede möglich, da in allen Regionen - mit Ausnahme der Region VII, wo nur zwei Phasen ausgewertet werden konnten - sehr schlechte und auch bessere Korrelationen auftreten. Saisonale Unterschiede konnten ebenfalls keine gefunden werden.

Aufgrund dieser Resultate muss deshalb angenommen werden, dass in der Schweiz in allen Regionen und Höhenlagen der Witterungsverlauf von Jahr zu Jahr so grossen Schwankungen unterworfen ist, dass die Eintrittstermine der Phänophasen überall ungefähr im gleichen Ausmass streuen.

#### 6.4 Phänologischer Kalender von zwei ausgewählten Stationen

Unter einem phänologischen Kalender versteht man die Darstellung des Ablaufs der Eintrittstermine verschiedener Phänophasen an einem bestimmten Ort oder in einer Region. Er kann in verschiedenster Form dargestellt werden. So gibt es Kreisscheiben, die nach den verschiedenen phänologischen Jahreszeiten unterteilt werden. Als Datenmaterial dienen meistens Mittelwerte oder statistische Verteilungen der langen Beobachtungsreihen. Die einfachste Form eines phänologischen Kalenders wurde schon im Kapitel 4.4 vorgestellt. Die phänologischen Phasen werden aufgrund ihrer Mittelwerte (arithmetische Mittel) aufsteigend geordnet. Eine Anordnung aufgrund des Medians wäre ebenfalls denkbar. Diese Methoden haben den Nachteil, dass lediglich der Mittelwert angegeben wird, ohne Berücksichtigung der jeweiligen Streuungen. Eine entsprechende graphische Darstellung mit Mittelwert und Streuungsbereich lässt sich leicht realisieren. Da beim Sofortmeldeprogramm der SMA sowie bei anderen Auswertungen die phänologischen Beobachtungsreihen in die fünf Klassen von "sehr früh, früh, normal, spät bis sehr spät" eingeteilt werden (Kap. 4.5.2), ist es naheliegend, auch bei der Darstellung des phänologischen Kalenders dieselbe Unterteilung zu wählen. Diese Darstellungsart hat den Vorteil, dass neben dem Mittelwert (Median) eine detaillierte Verteilung der Daten zum Ausdruck kommt, und dass auch die Extremwerte (frühesten und spätesten Termine) ersichtlich werden. Somit sind auch mögliche Ueberschneidungen von verschiedenen Phasen erkennbar.

In dieser Arbeit sollen zwei Beispiele von phänologischen Kalendern vorgestellt werden, einerseits die Mittellandstation Rafz

(510 m/M) im Zürcher Unterland und andererseits die alpine Station Davos (1600 m/M) (Abb. 24 und 25). Naturgemäss konnten bei der Station Davos weit weniger Phasen berücksichtigt werden (8 gegenüber 23 Phasen). Geordnet wurden die Phänophasen aufgrund der Mediane. Da alle Phasen über eine relativ lange Beobachtungsperiode verfügen - in Davos zwischen 19 und 30 Jahre und in Rafz zwischen 28 und 36 Jahre - dürfen diese Kalender für die jeweiligen Stationen als repräsentativ betrachtet werden. Natürlich kann jedes zusätzliche Jahr gewisse Modifikationen verursachen, vor allem bezüglich der Extremwerte. Die Kurven sind sigmaförmig, mit einem extrem steilen Anstieg im Frühling. Für jede Station wird diese Graphik etwas anders aussehen, doch der Trend dürfte erhalten bleiben. Der Vergleich dieser beiden Stationen zeigt sehr schön die Verzögerung der Vegetationsentwicklung in den höheren Regionen. Die Reihenfolge bleibt bei diesen zwei Stationen, mit Ausnahme der Phase 12 und 16, erhalten. In Davos blüht im Mittel die Margerite etwas früher als der Flieder, während es in Rafz genau umgekehrt ist. Die beiden Phasen liegen jedoch im Mittel nur wenige Tage auseinander. Bei Stationen ähnlicher Höhenlage und derselben Region dürften derartige Phasenumkehrungen öfters vorkommen. Weiter soll auf den Ablauf der Phänophasen nicht eingegangen werden, da dieser stationsspezifisch ist. Die zwei Beispiele sollen lediglich als Illustration dienen, wie ein phänologischer Kalender mit grossem Informationsgehalt dargestellt werden kann.

#### 6.5 Schlussbemerkungen

Eine enge Beziehung zwischen der Höhenlage und den mittleren Eintrittsterminen phänologischer Phasen konnte nur teilweise nachgewiesen werden. Allgemein sind die Höhenabhängigkeiten bei den Frühlingsphasen besser als bei den Herbstphasen. Es scheint, dass bei den Herbstphasen die nicht nur höhenabhängigen Standortunterschiede (lokale Fröste, Trockenstandorte) stärker zum Tragen kommen als bei den Frühlingsphasen. Im Frühling bestimmen vor allem die Temperaturen, die ihrerseits schon einen starken Höhengradienten aufweisen, die Eintrittstermine. Grundsätzlich sind jedoch regionale Unterschiede erkennbar, wobei nicht offensichtlich ist, ob diese aufgrund regionaler Klimaunterschiede oder der geographischen Anordnung der Beobachtungsstationen auftreten. Im Mittelland muss noch zusätzlich ein West-/Ostgradient angenommen werden. Mit statistischen Methoden konnte er jedoch nicht nachgewiesen werden.

Eine Höhenabhängigkeit der mittleren Differenzen zwischen verschiedenen Phänophasen konnte nur bei Phasen nachgewiesen werden, die zeitlich weit auseinander liegen (Frühling/Herbst). Eine Verkürzung der Wachstumszeit bei zeitlich nahe beieinanderliegenden Phasen konnte nicht festgestellt werden. Somit gelang lediglich die statistische Bestätigung der banalen Tatsache, dass sich die Vegetationszeit mit steigender Höhe verkürzt.

Die grösste Häufung der Streuungen liegt bei rund 10 Tagen. Die sehr frühen und späten Phasen streuen tendenziell etwas stärker. Aber auch bezüglich der Streuung sind regionale Unterschiede feststellbar. Allgemein treten bei den Phasen 37M (Beginn der

RAFZ  
510 m ü.M.

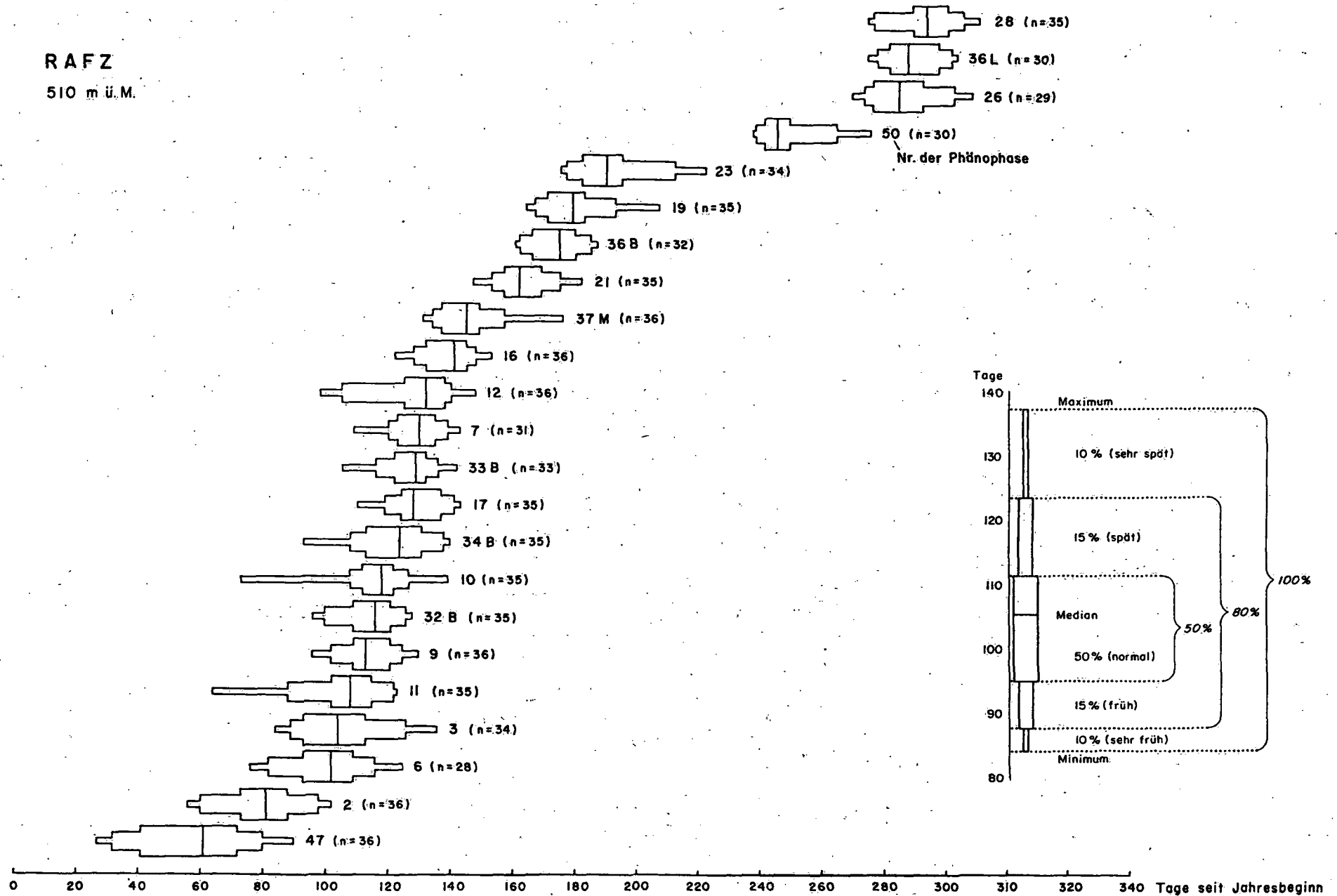


Abb. 24: Phänologischer Kalender von Rafz (1952-87)

Die Phänophasen sind in der Reihenfolge der mittleren Eintrittstermine geordnet.

**DAVOS**  
1600 m ü.M.

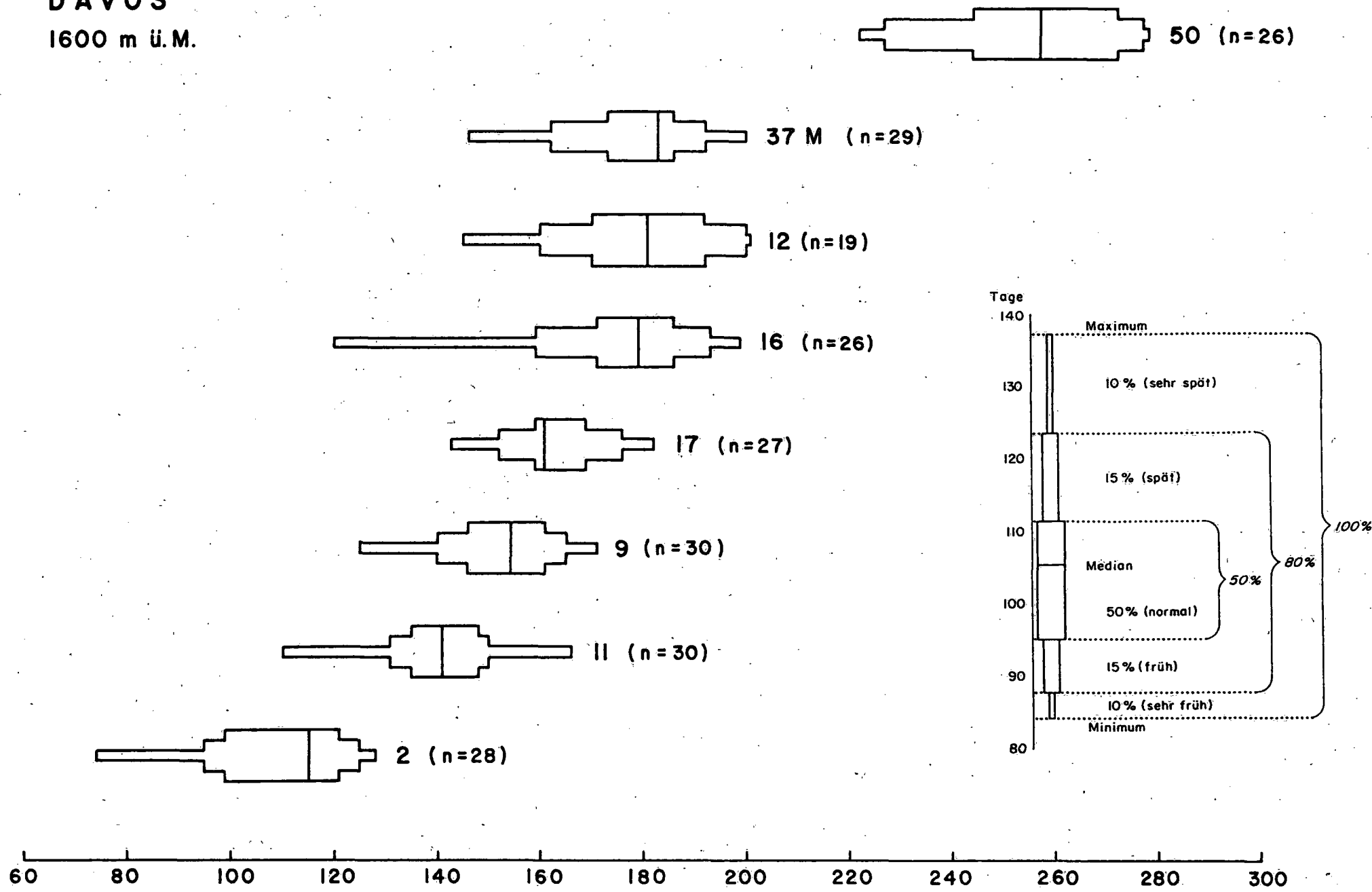


Abb. 25: Phänologischer Kalender von Davos (1951-87)

Heuernte), 7 (Vollblüte der Rosskastanie) und 10 (Blattausbruch der Rotbuche) kleinere Streuungen auf. Hingegen streuen die Phasen 47 (Vollblüte der Hasel) 20 (Vollblüte des Roten Holunders), 4 (Vollblüte des Buschwindröschens) und 2 (Vollblüte des Huflattichs) sehr stark. Eine Höhenabhängigkeit der Streuungen konnte bei den untersuchten Phänophasen - abgesehen von einigen Ausnahmen - nicht belegt werden.

Phänologische Kalender von zwei ausgewählten Stationen (Rafz und Davos), die eine statistische Verteilung der Eintrittstermine beinhalten, sollen als Beispiel dienen, wie phänologische Daten einzelner Stationen informativ dargestellt werden können.

## 7. DER VERLAUF DER PHAENOLOGISCHEN JAHRESZEITEN

### 7.1 Einleitung

Neben den astronomischen und klimatologischen Jahreszeiten wurden auch phänologische Jahreszeiten definiert. Dabei wurde die Vegetationsperiode aufgrund von phänologischen Ereignissen in neun Abschnitte unterteilt. Eine derartige Einteilung ist naturgemäss nicht starr, da sich die Eintrittsdaten der phänologischen Phasen von Jahr zu Jahr ändern. Der Vorteil einer flexiblen Einteilung liegt darin, dass die jeweiligen Jahreszeiten auch dann beginnen, wenn die Natur sich entsprechend entwickelt hat. Dies entspricht auch unserem Empfinden, da wir meinen, eine genaue Vorstellung der Jahreszeiten bezüglich der Vegetationsentwicklung und der Witterungsverhältnisse zu haben. Eine Frühlingsstimmung wird bei uns nicht aufkommen, wenn am 21. März noch eine Schneedecke liegt, andererseits kann es einem bereits Ende Februar frühlingshaft zumute sein, wenn schon überall Schneeglöckchen, Primeln und Krokusse blühen und die Witterung sehr mild ist, wie dies 1988 und 1989 der Fall war.

Eine Feinunterteilung aufgrund der Vegetationsentwicklung wurde im phänologischen Beobachtungsprogramm des Deutschen Wetterdienstes verwirklicht. Da in Deutschland sehr viel mehr Pflanzen und Phänophasen ins Programm aufgenommen wurden als in der Schweiz, sind auch genügend Beobachtungsdaten vorhanden, um die einzelnen Perioden zu charakterisieren. Beim stark reduzierten Beobachtungsprogramm in der Schweiz bereitet es gewisse Schwierigkeiten, für jede phänologische Jahreszeit eine markante Phänophase zu finden, die auch in den meisten Regionen und Höhenstufen unseres Landes beobachtet werden kann. Gleichwohl wurde diese verfeinerte Einteilung der Vegetationsperiode angewendet (Kap. 7.2). Sie erwies sich als sehr nützlich zur Beschreibung des jeweiligen Verlaufs der Vegetationsentwicklung der einzelnen Jahre der Periode 1951-86.

## 7.2 Methodik

Wie im vorangehenden Kapitel erwähnt, galt es im Beobachtungsprogramm, pro phänologischer Jahreszeit mindestens eine geeignete Phänophase zu finden. Dies gelang mit Ausnahme des Spätsommers. Dort wäre lediglich die Fruchtreife der Vogelbeere/Eberesche (*Sorbus aucuparia* L.) in Frage gekommen. Da es aber kaum objektive Kriterien gibt, um die Fruchtreife zu bestimmen, musste auf die detaillierte Beschreibung des Spätsommers verzichtet werden. In der nachstehenden Zusammenstellung sind die einzelnen Jahreszeiten mit den ausgewählten Phänophasen aufgelistet.

Phänologische Jahreszeiten	I	Charakteristische Phänophasen
	I	
	I	
	I	
Vorfrühling	I	Phase 2: Vollblüte des Huflattichs ( <i>Tussilago farfara</i> )
	I	
Erstfrühling	I	Phase 9: Vollblüte des Löwenzahns ( <i>Taraxacum officinale</i> )
	I	Phase 11: Nadelaustrieb der Lärche ( <i>Larix decidua</i> )
	I	
Vollfrühling	I	Phase 12: Vollblüte des Flieders ( <i>Syringa vulgaris</i> )
	I	Phase 17: Nadelaustrieb der Fichte ( <i>Picea abies</i> )
	I	
Frühsommer	I	Phase 21: Vollblüte des Schwarzen Holunders ( <i>Sambucus nigra</i> )
	I	
Hochsommer	I	Phase 19: Vollblüte der Sommerlinde ( <i>Tilia platyphyllos</i> )
	I	Phase 23: Vollblüte der Winterlinde ( <i>Tilia cordata</i> )
	I	
Spätsommer	I	-----
	I	
Frühherbst	I	Phase 50: Vollblüte der Herbstzeitlose ( <i>Colchicum autumnale</i> )
	I	
Vollherbst	I	Phase 26: Blattverfärbung der Rosskastanie ( <i>Aesculus hippocastanum</i> )
	I	Phase 28: Blattverfärbung der Buche ( <i>Fagus sylvatica</i> )
	I	
Spätherbst	I	Phase 36L: Weinlese

Im nächsten Schritt galt es eine Methode zu finden, die es erlaubt, die phänologischen Jahreszeiten und somit den Verlauf der Vegetationsentwicklung möglichst objektiv und einheitlich zu beschreiben. Von Interesse sind vor allem Aussagen, welche die Relationen zu den langen Beobachtungsreihen aufzeigen. Aus diesem Grunde ist es naheliegend, dieselbe Statistik wie beim phänologischen Sofortmeldeprogramm zu verwenden (Kap. 4.5.2). Ausgewählt wurden insgesamt 59 Beobachtungsstationen mit langen Beobach-

tungsreihen in verschiedenen Regionen und Höhenlagen der Schweiz. Als Minimalanforderung wurden 10 Jahre verlangt, wobei die grosse Mehrheit über 20 bis 30 Jahre verfügt. Anfänglich wurden die Stationen in fünf Regionen unterteilt. Die Grundausswertung basiert auf dieser Regionalisierung. Leider standen zu wenig Daten zur Verfügung, um statistisch vertretbare Aussagen zu machen. Deshalb musste man sich auf eine gesamthafte Auswertung für die ganze Schweiz beschränken. Dies konnte um so mehr verantwortet werden, als die Erfahrungen beim aktuellen Phänomeldeprogramm zeigten, dass eine Verspätung oder Verfrühung der Vegetationsentwicklung mehr oder weniger die ganze Schweiz erfasst. In Kapitel 7.4 wird diese Aussage anhand konkreter Beispiele erhärtet.

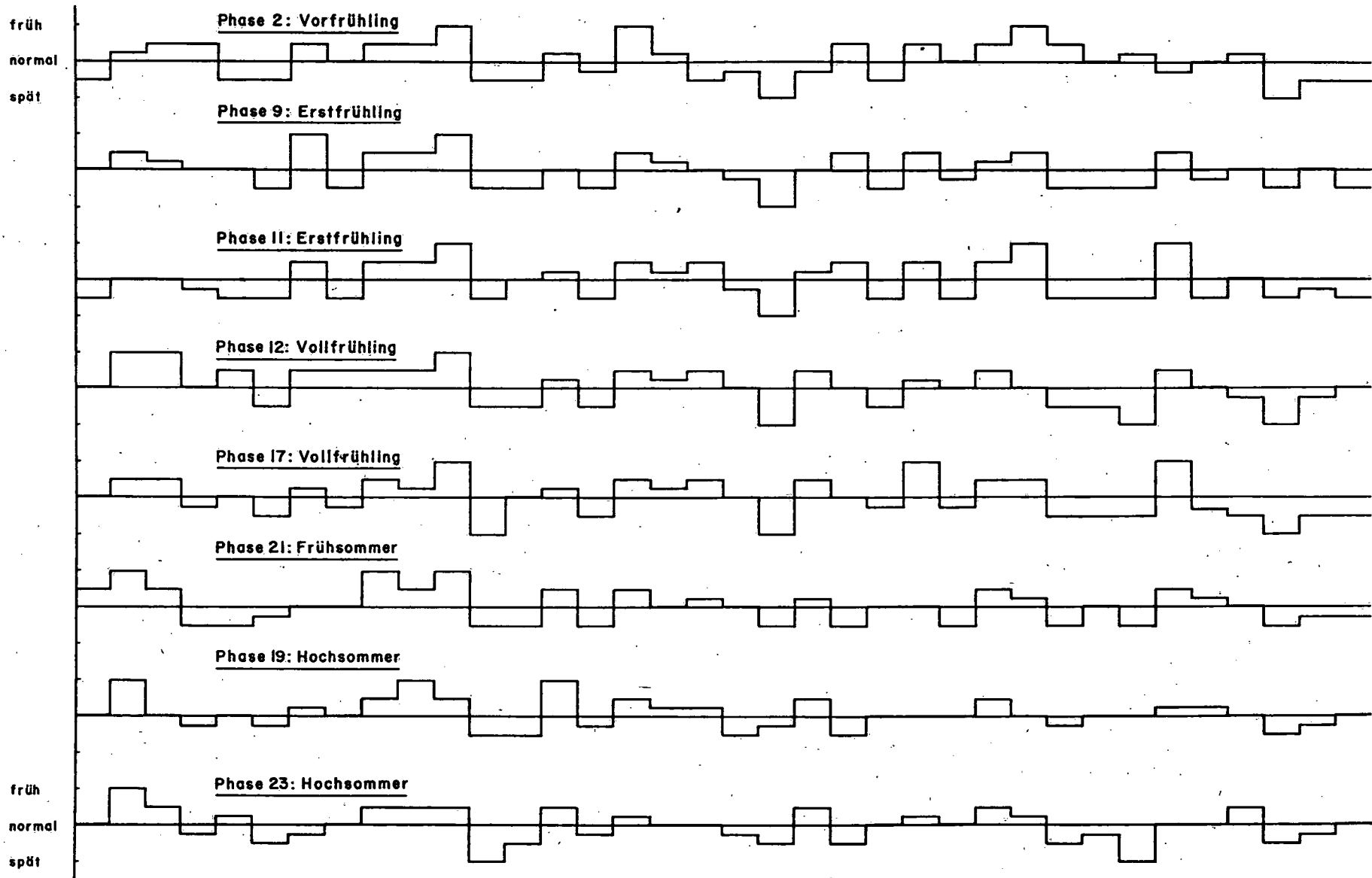
Für jede ausgewählte Phase und Station wurde die in Abbildung 11 gezeigte Graphik erstellt und die Daten der einzelnen Jahre (1951-86) den fünf Klassen (sehr früh, früh, normal, spät und sehr spät) zugeordnet. Dann wurden die einzelnen Stationen für jedes Jahr gesamtschweizerisch zusammengefasst. Dies erlaubte, jede Phase und jedes Jahr einzeln zu charakterisieren. Obschon hier eine rein objektive Klassierung nicht mehr möglich war, da die Angaben über mehrere Klassen verteilt sind, konnte mittels Häufigkeitsverteilungen eine zufriedenstellende Beurteilung gefunden werden. Je nach dem Verteilungsmuster konnte zwischen einer Normalverteilung, schwach links- respektive rechtsschiefen Verteilung, deutlich links- respektive rechtsschiefen Verteilung oder gar stark links- respektive rechtsschiefen Verteilung unterschieden werden. Dies ergab dann eine neue Einteilung pro Phänophase und Jahr in die sieben folgenden Klassen:

- 1 sehr früh bis normal
- 2 früh bis normal
- 3 leichte Tendenz zu früh
- 4 +/- normal
- 5 leichte Tendenz zu spät
- 6 spät bis normal
- 7 sehr spät bis normal

Jede Phase wurde nun gemäss dieser Unterteilung graphisch dargestellt (Abb. 26), was einerseits den Verlauf der Vegetationsentwicklung während eines Jahres aufzeigt und andererseits den Vergleich der einzelnen Jahre untereinander zulässt. In einer weiteren Darstellung wurden die Jahreszeiten (Frühling, Sommer und Herbst) sowie die ganze Vegetationsperiode zusammengefasst (Abb. 27). Bei einzelnen Jahreszeiten oder bei der gesamten Vegetationsperiode ist die Streuung teilweise so gross, dass zusätzlich die Klasse 8 (keine eindeutige Tendenz) eingeführt werden musste. Dies ergibt die folgende Klasseneinteilung:

- |                   |                            |
|-------------------|----------------------------|
| 1 sehr früh       | 5 Tendenz zu spät          |
| 2 früh            | 6 spät                     |
| 3 Tendenz zu früh | 7 sehr spät                |
| 4 +/- normal      | 8 keine eindeutige Tendenz |

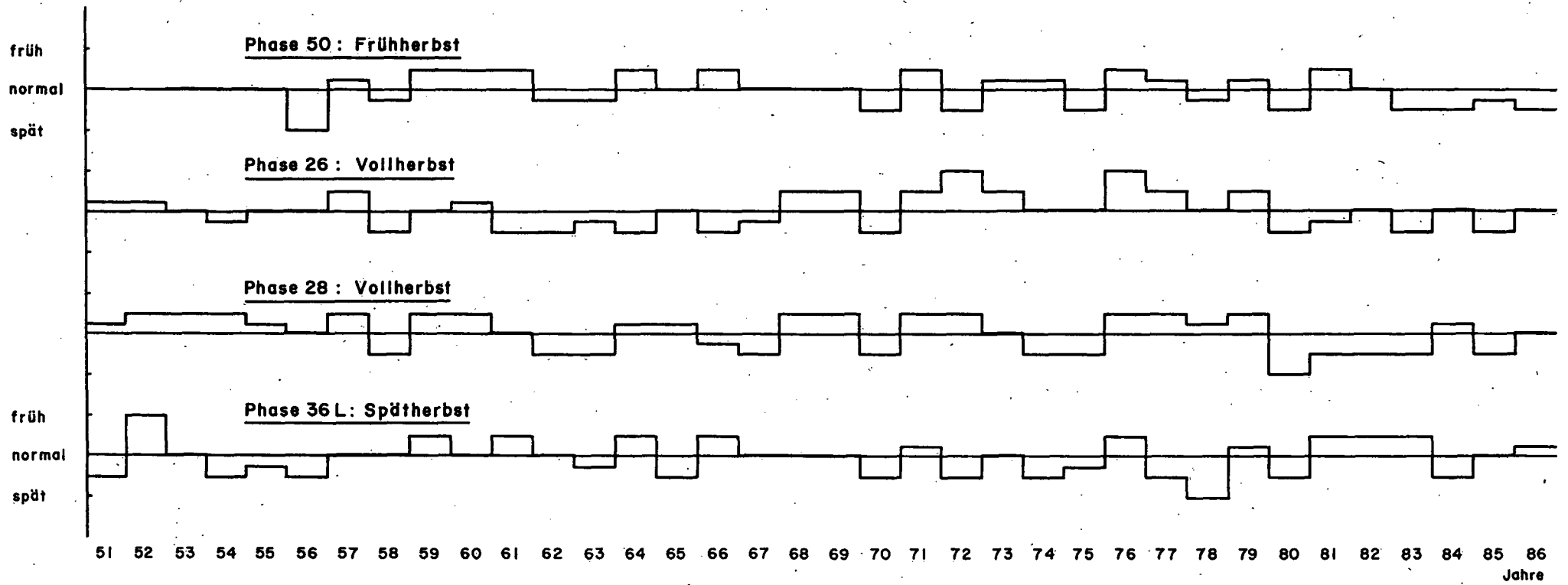




51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86  
 Jahre

Abb. 26: Der Verlauf der phänologischen Jahreszeiten (1951-86)

Fortsetzung Abb. 26



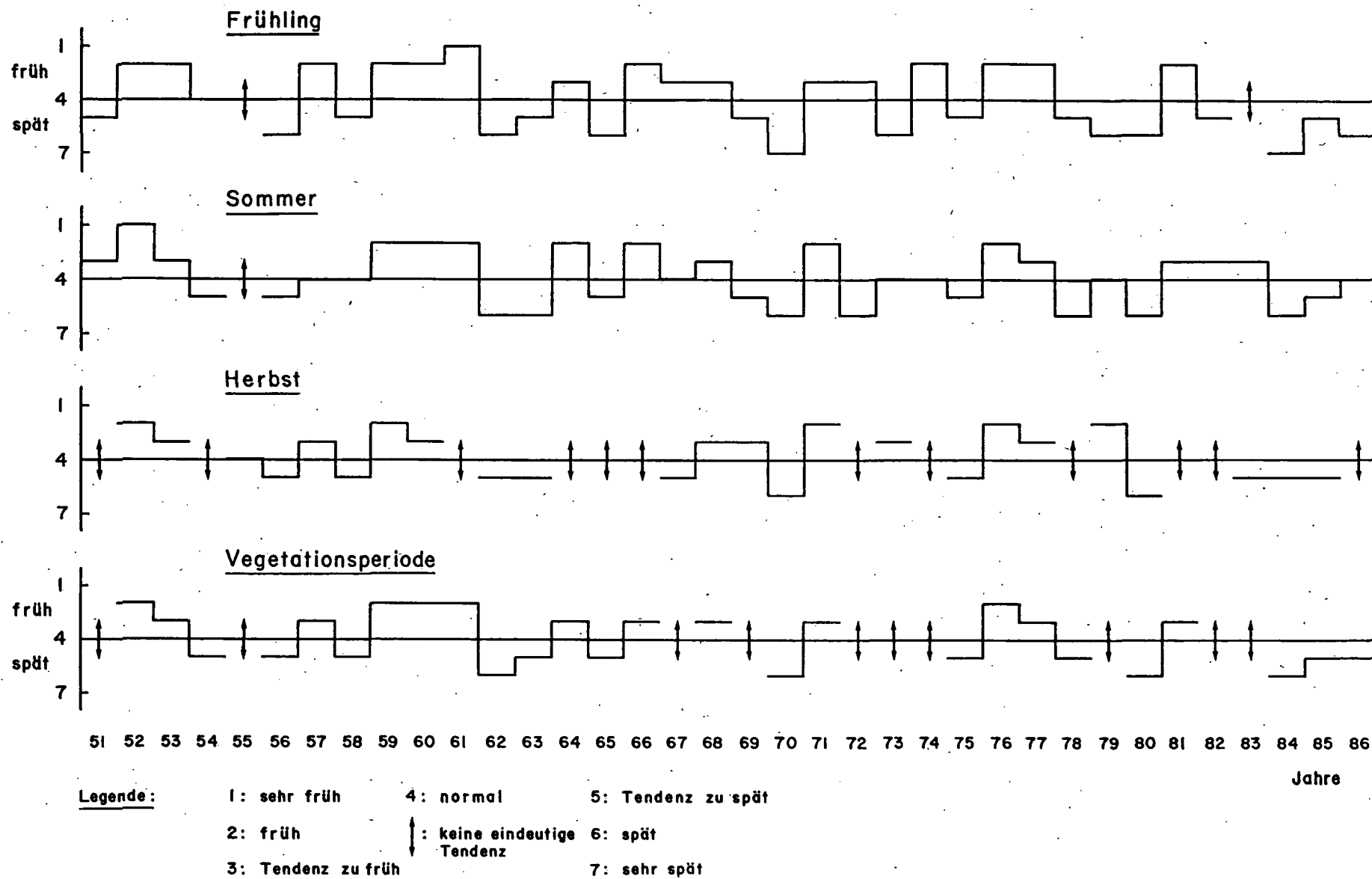


Abb. 27: Der Verlauf der phänologischen Hauptjahreszeiten (1951-86)

### 7.3 Beurteilung des Verlaufs der phänologischen Jahreszeiten

Abbildung 26 vermittelt einen ersten Ueberblick über die Vegetationsentwicklung der einzelnen Jahre und ermöglicht einen Vergleich zwischen den verschiedenen Jahren. Rein optisch fallen die Jahre mit starker Verfrühung oder Verspätung auf. Als Beispiele dienen die Jahre 1961 (frühes Jahr) und 1962 (spätes Jahr). Es stellt sich die Frage, inwieweit diese phänologische Charakterisierung auch durch den Witterungsablauf bestätigt werden kann. Witterungsberichte werden von der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt monatlich erstellt und auch in den Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt veröffentlicht. Der Vergleich aufgrund einer rein beschreibenden Witterungscharakterisierung soll keineswegs den statistisch hergeleiteten Resultaten vorgreifen, wie sie in Kapitel 10 noch eingehend besprochen werden. Eine deskriptive Gegenüberstellung der Beschreibungen der beiden Jahre, basierend auf unterschiedlichen Grunddaten, ist gleichwohl gerechtfertigt, da auf diese einfache Weise ein guter erster Ueberblick gewonnen werden kann.

Aus den erwähnten Annalen (ANNALEN, 1961 u. 1962) geht für die zwei exemplarisch ausgewählten Jahre folgendes hervor:

1961: "Das Jahr 1961 brachte allgemein stark übernormale Temperaturen, jedoch an den meisten Orten weniger Niederschlag als üblich. Die Sonnenscheindauer überschritt grösstenteils den Normalwert."

Februar: "Ungewöhnliche Wärme, in Zürich z.B. höchster Wert seit Beginn der Messungen im Jahre 1864."

März: "Allgemein verhältnismässig sehr hohe Temperaturen."

April: "Charakteristisch für den Monat war der bedeutende Wärmeüberschuss."

In den folgenden Monaten blieb die Temperatur eher unternormal bis normal. Erst der September und Oktober brachten wieder ungewöhnlich hohe Temperaturen.

Der Wärmeüberschuss anfangs des Jahres bewirkte einen Vorsprung in der Vegetationsentwicklung, der sich bis in den Herbst hinein auswirkte.

1962: "Das Jahr 1962 zeigt als hervorstechendes Merkmal eine allgemeine Niederschlagsarmut."

Temperatur: "Im allgemeinen überwiegen die Defizite, vor allem im Nordosten. Dazu trugen besonders die Monate März und Dezember, in geringerem Masse auch der Mai und November bei."

März: "Die Temperatur blieb im März allgemein weit unter dem Normalwert."

Mai: "Der Mai brachte im allgemeinen unternormale Temperaturen."

Juni: "Der Juni brachte ungewöhnlich kleine Niederschläge..."

"Z.T. wurden die tiefsten Werte seit Messbeginn registriert."

Juli: "Ungewöhnliche Trockenheit im Westen und Süden des Landes."

August: "Ungewöhnlich geringe Niederschläge im Westen und Süden..."

September und Oktober: "Niederschlagsarmut".

Die unternormalen Temperaturverhältnisse zu Beginn der Vegetationsperiode und die anschliessende ungewöhnliche Trockenheit wirk-

ten sich ungünstig aus, was sich im Rückstand der Vegetationsentwicklung niederschlug.

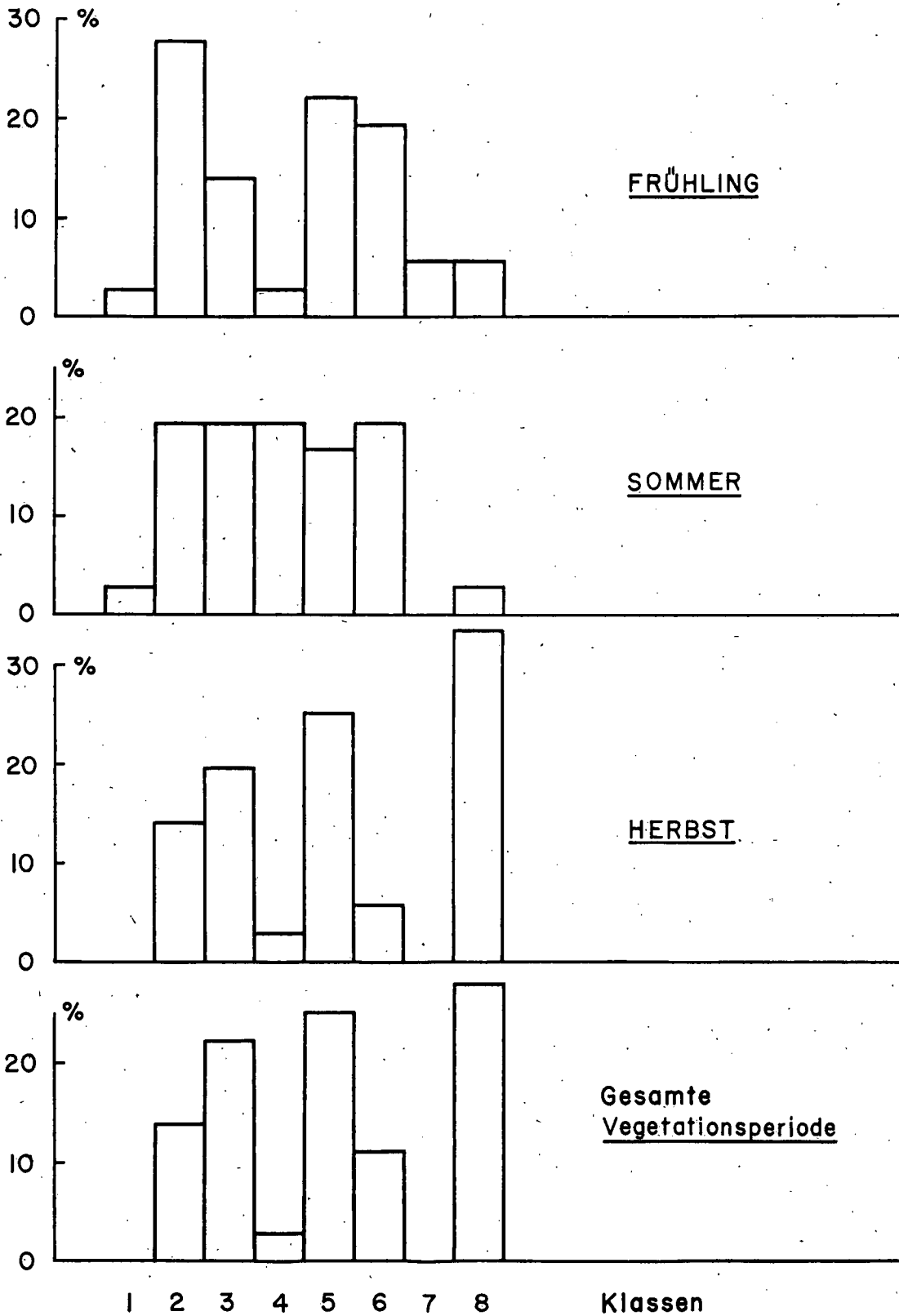
Die beiden Jahre zeigen eine gute Uebereinstimmung zwischen der Vegetationsentwicklung und dem Witterungscharakter. Quantitative Aussagen über diese Relationen und genaue Angaben, welche meteorologischen Elemente und welche Perioden vor allem für die Vegetationsentwicklung massgebend sind, werden in Kapitel 10 mit statistischen Methoden erarbeitet.

Der Abb. 26 ist auch zu entnehmen, dass eine Verspätung oder Verfrühung, die im Frühling auftritt, sich sehr lange fortpflanzt, und sich eine normale Vegetationsentwicklung erst im Hochsommer oder Herbst wieder einstellt oder gar ins Gegenteil umschlägt. Immer wieder wird die These aufgestellt, dass sich infolge der Umweltverschmutzung die Jahreszeiten verschieben. Die Ursache könnte einerseits bei einer möglichen Klimaänderung liegen, andererseits könnten auch direkte Schädigungen der Pflanzen (vergl. Waldschäden) ein früheres oder späteres Austreiben im Frühling oder eine frühere oder spätere Verfärbung des Laubes im Herbst bewirken. Auf welche Seite (früher oder später) sich Schädigungen der Biosphäre auswirken, bleibt nach wie vor umstritten. Da die Beobachtungsreihen bis zurück ins Jahr 1951 reichen, müssten sich Umwelteinflüsse in den phänologischen Daten manifestieren, denn in den fünfziger Jahren war z.B. die Luft im Vergleich zu heute noch relativ sauber. In Abbildung 26 lässt sich jedoch kein entsprechender Trend erkennen. Da die phänologischen Daten von allen Umwelteinflüssen geprägt werden, müssen zuerst die Witterungseinflüsse und deren Auswirkungen bekannt sein, um eine abschliessende Beurteilung geben zu können. Dies wird unter anderem in Kapitel 10 vorgenommen.

In Abbildung 27 sind die einzelnen Phänophasen in die drei Hauptjahreszeiten (Frühling, Sommer und Herbst) sowie in die gesamte Vegetationsperiode zusammengefasst. Detailinformationen gehen dadurch verloren, massgeblich sind hier die generellen Aussagen. Die frühen oder späten Jahre lassen sich einfacher ermitteln, da sie auf einen Blick erfasst werden können. Weiter fällt auf, dass es keine längeren Perioden als drei Jahre gibt, die in dieselbe Klasse fallen. Der Wechsel von frühen zu späten Jahren und umgekehrt ist recht häufig. Die Aussage, dass nach einem extremen Jahr ein weiteres ausserordentliches Jahr aber mit entgegengesetzten Vorzeichen folgt (z.B. nach einem milden Winter ein strenger Winter), konnte mit dieser Auswertung allerdings nicht bestätigt werden.

Die Häufigkeitsdiagramme (Abb. 28) zeigen die Verteilung der verschiedenen Klassen pro Jahreszeit sowie für die ganze Vegetationsperiode. Gesamtheitlich kommt klar zum Ausdruck, dass die extremen Klassen (1 und 7) nur schwach oder gar nicht vertreten sind. Auch die Klasse 4 (+/- normal) ist mit Ausnahme des Sommers stark untervertreten. Die einzelnen Jahreszeiten sowie die gesamte Vegetationsperiode werden im folgenden im Detail beschrieben.

Frühling: Der phänologische Frühling ist geprägt durch ein Maximum in der Klasse 2 (früh), gefolgt von den Klassen 5 und 6 (Tendenz zu spät und spät). Daneben ist nur noch die Klasse 3 (Ten-



**Klassenbezeichnungen:**

- |                   |                            |
|-------------------|----------------------------|
| 1 sehr früh       | 5 Tendenz zu spät          |
| 2 früh            | 6 spät                     |
| 3 Tendenz zu früh | 7 sehr spät                |
| 4 +/- normal      | 8 keine eindeutige Tendenz |

Abb. 28: Relative Häufigkeiten früher und später Jahreszeiten für die Periode 1951-86

denz zu früh) von Bedeutung. Ein früher Frühlingsbeginn ist aufgrund dieser Auswertung also nicht so aussergewöhnlich.

Sommer: Auffallend ist die sehr ausgeglichene Verteilung auf die Klassen 2 bis 6. Im Gegensatz zu den andern Jahreszeiten ist hier auch die Klasse 4 (+/- normal) gleichwertig vertreten.

Herbst: Die Verteilung ist wieder recht unregelmässig und zum ersten Mal ist die Klasse 8 (keine eindeutige Tendenz) am stärksten vertreten. Daneben sind in absteigender Reihenfolge die Klassen 5 (Tendenz zu spät), 3 (Tendenz zu früh) und 2 (früh) stärker vertreten. Es scheint, dass der Herbst häufig keine eindeutigen Tendenzen aufweist. Ob dies nun der tatsächlichen Vegetationsentwicklung entspricht oder ob dieses Phänomen auf die Auswahl der Phänophasen zurückzuführen ist, lässt sich nicht eindeutig aussagen. Neben der Phase 28 (Blattverfärbung der Buche) wird der Herbst durch die Phasen 26 (Blattverfärbung der Rosskastanie) und 36L (Weinlese) charakterisiert. Es handelt sich dabei um Phasen, die nicht ganz unproblematisch sind. Die Rosskastanie kommt häufig in Parkanlagen oder entlang von Strassen und in Alleen vor mit extremen Umwelteinflüssen (Abgase, Wassermangel, Streusalz, mechanische Schäden) und die Weinlese wird durch den Menschen beeinflusst (Arbeitsplanung, aktuelles Wetter).

Gesamte Vegetationsperiode: Auch hier ist die Klasse 8 am besten vertreten. Dies mag kaum erstaunen, da ein bestimmter Wettercharakter kaum während der ganzen Vegetationszeit anhält. Das relativ häufige Auftreten der Klassen 3 und 5 (Tendenz zu früh respektive spät) entspricht den Erwartungen, ebenso der sehr kleine Anteil der Klasse 4 (+/- normal) aus den oben genannten Gründen. Der Unterschied zwischen frühen und späten Jahren ist zu vernachlässigen.

Um die einzelnen Jahre den verschiedenen Klassen auf einen Blick zuordnen zu können, wurde noch Tabelle 6 angefertigt. Pro Jahreszeit und für die ganze Vegetationsperiode wurden die einzelnen Jahre den verschiedenen Klassen zugeteilt. Tabelle 7 ist so konzipiert, dass jedes Jahr und die entsprechenden Jahreszeiten übersichtlich charakterisiert werden. Je nach Fragestellung ist die eine oder andere Tabelle zu bevorzugen. Eine ähnliche Untersuchung der Eidg. Forschungsanstalt in Wädenswil bestätigt diese Einteilung in frühe, normale und späte Frühlinge. Dort wurde eine entsprechende Statistik aufgrund der Blütezeit der Zwetschgen erstellt, die sehr ähnliche Ergebnisse aufzeigte (KELLERHALS und SULZER, 1989).

#### 7.4 Kartographische Darstellung einer frühen und späten Vegetationsperiode

In den Auswertungen des vorangehenden Kapitels wurden die relativen Daten (früh, spät, normal etc.) der einzelnen Stationen regional und gesamtschweizerisch zusammengefasst. Zwei speziell ausgewählte Jahre sollen in diesem Kapitel detailliert kartographisch dargestellt werden. Dabei wurde ein frühes Jahr (1976) und ein spätes Jahr (1970) bezüglich der Vegetationsentwicklung aus-

gewählt. Ausgewertet und dargestellt wurden wieder die verschiedenen Phänophasen, welche die acht phänologischen Jahreszeiten repräsentieren. Es bestehen prinzipiell zwei Möglichkeiten, den Jahresverlauf der Vegetationsentwicklung in Beziehung zu den langen Beobachtungsreihen darzustellen.

Variante 1: Man erstellt für jede Phase und Station die aus Kapitel 4.5.2 bekannte Statistik und ordnet jedes Jahr in die fünf verschiedenen Klassen ein. Pro Phänophase erstellt man eine Karte, in der - mit den bekannten Symbolen aus dem Sofortmeldeprogramm (Kap. 4.5) - die einzelnen Stationen charakterisiert werden. Als Beispiele dienen die Abbildungen 29 und 30, in denen der Erstfrühling durch die Phänophase 9 (Vollblüte des Löwenzahns) und der Hochsommer durch die Phase 19 (Vollblüte der Sommerlinde) für die beiden ausgewählten Jahre 1970 und 1976 dargestellt werden. Mit dieser Methode sollten regionale Unterschiede der relativen Vegetationsentwicklung ersichtlich werden. Die Abbildungen 29 und 30 zeigen aber deutlich, dass keine Regionalisierung erkennbar ist. Als Arbeitsunterlagen wurden für diese zwei Jahre alle im Kapitel 7.2 erwähnten Phänophasen dargestellt. Die Karten zeigen, dass sich von Beginn bis zum Ende der Vegetationsperiode kaum Regionalisierungen abzeichneten. Dies bestätigt, dass die in Kapitel 7.3 praktizierte Zusammenfassung aller Regionen gerechtfertigt war. Die Darstellungen der relativen Abweichungen ermöglichen einen guten Gesamtüberblick. Kleinere Tendenzen zu frühen oder späten Eintrittsterminen lassen sich jedoch nicht feststellen und auch über den Absolutbetrag der Abweichungen ergeben sich keine Auskünfte.

Variante 2: Man stellt die absoluten Abweichungen von der Norm dar. Als Norm wird das arithmetische Mittel der Beobachtungsreihe 1951 - 86 definiert. Die absoluten Abweichungen werden nun stationsweise pro Phänophase kartographisch dargestellt. Als Beispiele werden die Phasen 11 (Nadelaustrieb der Lärche) und 12 (Vollblüte des Flieders) für dieselben Jahre wiedergegeben (Abb. 31 und 32). Diese Darstellung hat den Vorteil, dass man für jede Station bestimmen kann, wieviele Tage der Vorsprung oder die Verspätung bezüglich der Norm betragen. Ob nun ein Vorsprung von 10 Tagen viel ist oder noch im normalen Schwankungsbereich liegt, lässt sich dagegen nicht ermitteln. Für derartige Informationen müssen wir wieder auf die Variante 1 zurückgreifen. In Abbildung 31 wird der Erstfrühling des phänologisch späten Jahres 1970 dargestellt. Abgesehen von acht Ausnahmen sind alle Abweichungen positiv, das heisst sie weisen eine Verspätung gegenüber der Norm auf. Die -33 Tage von Cevio (TI) sind schon eher fragwürdig und es drängt sich die Frage auf, ob es sich eventuell um einen Beobachtungsfehler handeln könnte. Die höchste positive Abweichung wurde in Gryon (VD) mit +30 Tagen registriert. Dies gibt einen Hinweis auf die grossen Streuungen der phänologischen Daten, wie sie vor allem im Frühling auftreten. Auf dieses Problem der Streuungen wurde schon im Kapitel 6.3 eingegangen. Die grossen Unterschiede auf engstem Raume deuten an, wie schwierig es ist, phänologische Daten zu prüfen.

Der Vollfrühling des frühen Jahres 1976 wird in Abbildung 32 dargestellt. Die negativen Abweichungen (Verfrühung) überwiegen eindeutig, doch sind die positiven Abweichungen ebenfalls recht häufig vertreten. Eine eindeutige Regionalisierung lässt sich in



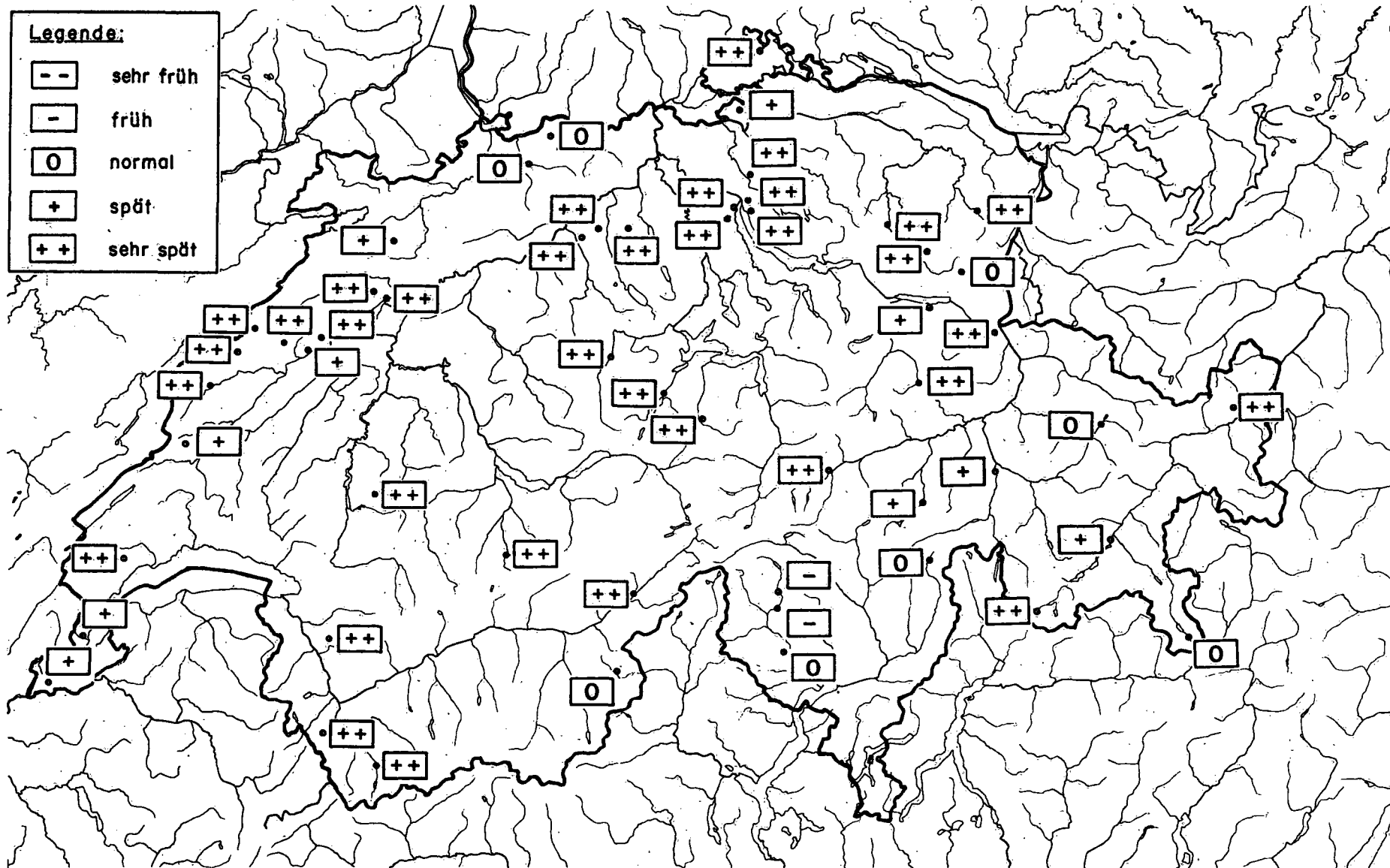


Abb. 29: Kartographische Uebersicht eines späten Erstfrühlings

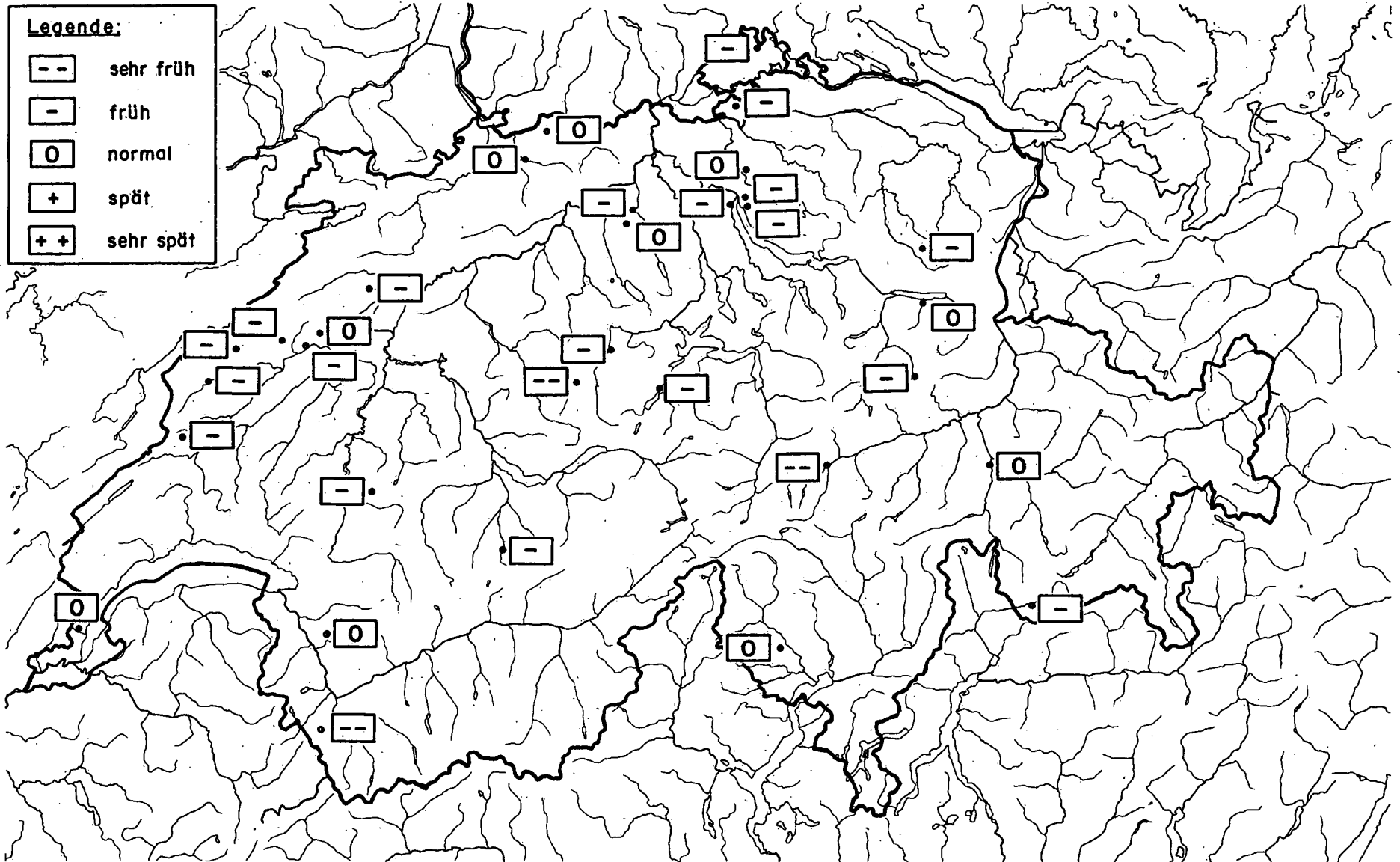


Abb. 30: Kartographische Uebersicht eines frühen Hochsommers

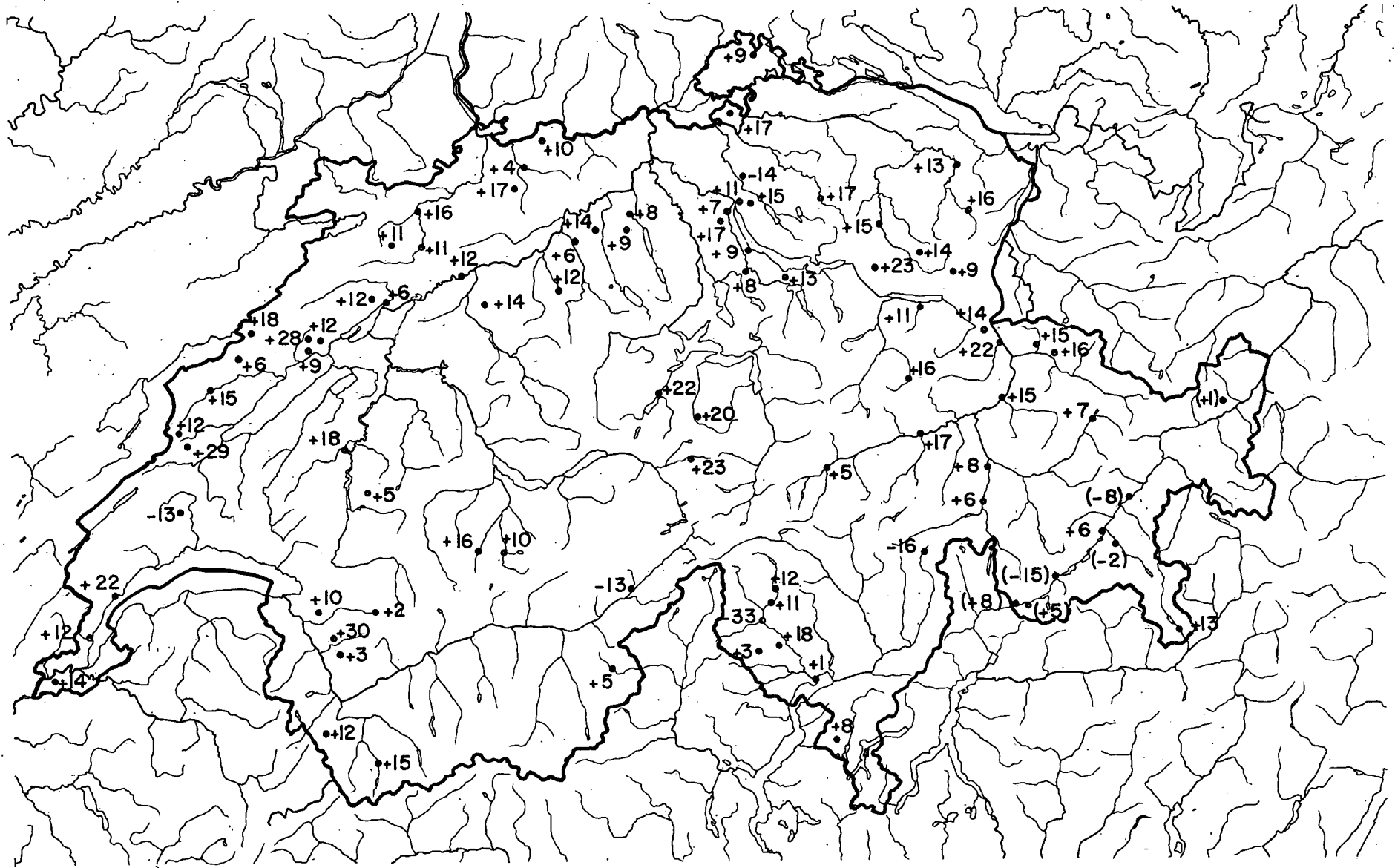


Abb. 31: Die absoluten Abweichungen eines späten Erstfrühlings von der Norm (in Tagen)

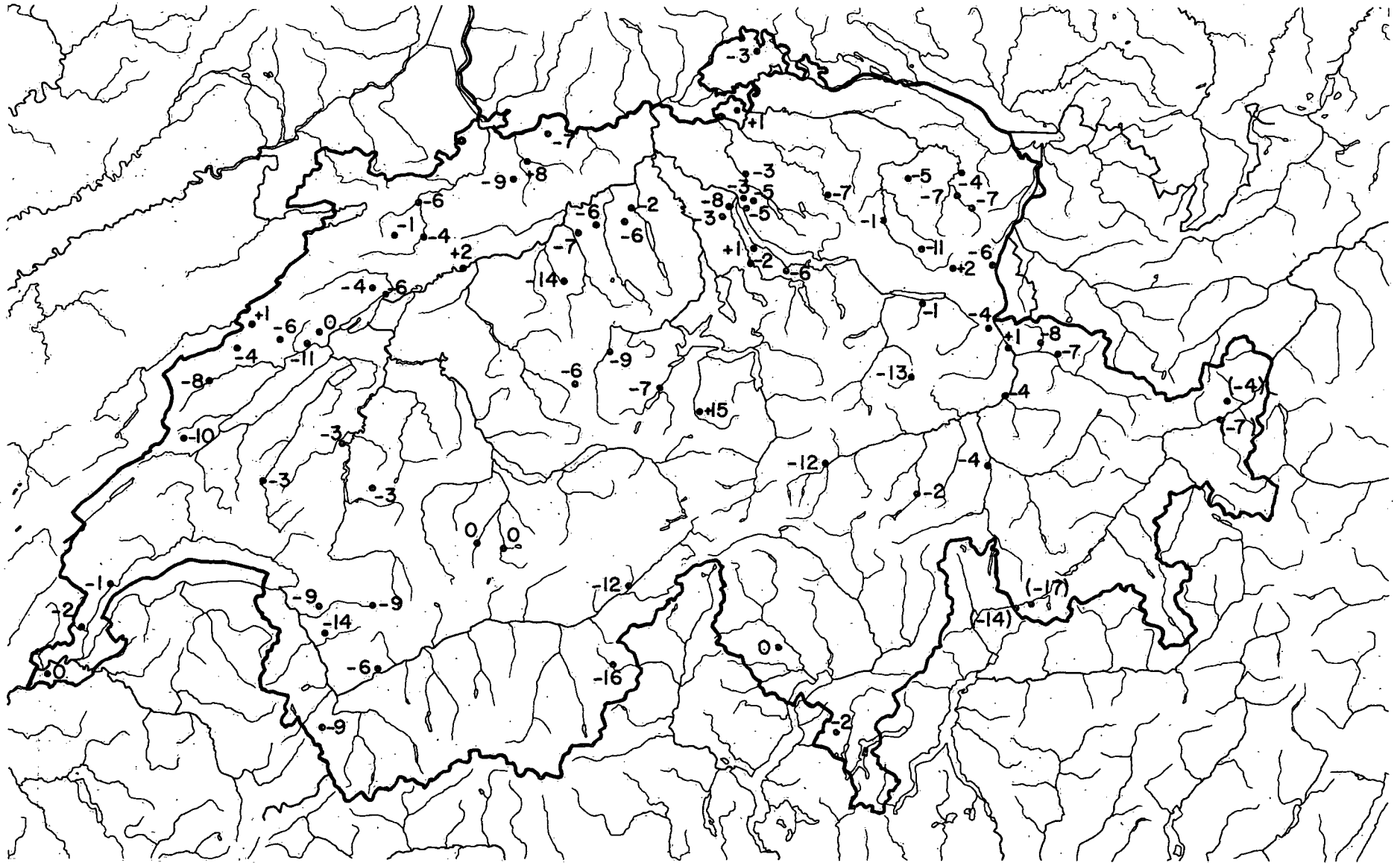


Abb. 32: Die absoluten Abweichungen eines frühen Vollfrühlings von der Norm (in Tagen)

dieser Karte nicht erkennen. Betrachtet man die weiteren Phasen des Jahres, die als Arbeitsunterlage in Kartenform vorhanden sind, so kann dies bestätigt werden. Die Aussage wird durch die tägliche Erfahrung unterstrichen, die mit dem Sofortmeldeprogramm gemacht wird, dass bezüglich der Abweichungen, relativ oder absolut, kaum regionale Unterschiede gefunden werden können. Dass die einzelnen Phasen in den verschiedenen Regionen und Höhenlagen zu unterschiedlichen Zeitpunkten auftreten, muss nicht mehr erwähnt werden. Die Höhenabhängigkeit von Phänophasen wurde schon im Kapitel 6.2.2 behandelt.

Das Fehlen von regionalen Differenzierungen mag doch erstaunen, wenn man bedenkt, wie stark die Schweiz klimatisch gegliedert ist. Man erinnere sich an die markanten Unterschiede zwischen der Alpensüdseite und der -nordseite oder zwischen den trockenen inneralpinen Tälern (Wallis, Rheinbünden, Engadin) und den niederschlagsreichen Voralpen. Dazu kommt noch die Verzögerung der Vegetationsentwicklung in Abhängigkeit von der Meereshöhe (Kap. 6.2.2). Dies alles bewirkt, dass die witterungsmässige Vorgeschichte einer bestimmten Phänophase in den verschiedenen Regionen und Höhenstufen recht unterschiedlich sein kann. Und trotzdem erfasst eine Verfrühung oder Verzögerung der Vegetationsentwicklung normalerweise die ganze Schweiz mehr oder weniger gleichmässig. Aufgrund dieser Tatsachen muss man annehmen, dass der Zeitpunkt des Eintretens der verschiedenen Phänophasen im grösseren zeitlichen Rahmen (früh, normal, spät), schon viel früher in der Entwicklung der Pflanzen vorbestimmt wird. Dem vorgängigen Witterungscharakter (einige Tage bis Wochen vor dem Eintrittszeitpunkt) kommt nur noch modifizierender Charakter zu. Ob diese These statistischen Kriterien standhalten kann, wird in Kapitel 10 behandelt.

#### 7.5 Früher und später Frühlingseinzug und die Beziehungen zur Witterung

Hier sollen einfach und übersichtsmässig die Beziehungen der frühen und späten Frühjahre zur Witterung hergestellt werden. Dabei wird bewusst auf komplizierte, statistische Methoden verzichtet. Sie kommen in Kapitel 10 zur Anwendung. In dieser einfachen Untersuchung werden die verbalen Charakterisierungen der Witterung, wie sie in den monatlichen Witterungsberichten sowie in den Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt erscheinen, in Beziehung zu der jeweiligen Vegetationsentwicklung im Frühling gesetzt. Es soll dabei überprüft werden, ob direkte Rückschlüsse vom Witterungsverlauf auf die Vegetationsentwicklung gezogen werden können und ob die Klassierung der phänologischen Jahreszeiten in frühe und späte Jahre, wie sie in den vorangehenden Kapiteln beschrieben wurde, sinnvoll ist. Dabei wird es jedoch nicht möglich sein, die verschiedenen meteorologischen Elemente zu berücksichtigen. Da allgemein die Vegetationsentwicklung mit der Wärmesumme oder der Temperatur in Verbindung gesetzt wird, werden nur die Temperaturverhältnisse berücksichtigt. Dies ist umso mehr gerechtfertigt, als in der Temperatur auch weitere Elemente wie Sonnenscheindauer, Strahlung, Niederschläge oder Windverhältnisse integriert sind. Berücksichtigt wird der gesamte Witterungscha-

rakter der einzelnen Monate (Januar bis Mai). Auf einzelne Witterungsereignisse wie Kälteeinbrüche wird hier nicht eingegangen, obschon derartige Perioden die Vegetationsentwicklung stark beeinflussen. In Kapitel 10 sollen die Einzelereignisse dann besser berücksichtigt werden.

A. Früher Frühlingseinzug aus der Sicht der Phänologie

---

Sehr früher Frühling:

1961: Jan.: übernormale Temperaturen  
Feb.: ungewöhnliche Wärme  
März: sehr hohe Temperaturen  
Apr.: Wärmeüberschuss  
Mai : unternormale Temperaturen

früher Frühling:

1952: Jan.: +/- normale Temperaturen  
Feb.: zu kalt  
März - Aug.: ausgesprochen warm

1953: Jan.: sehr kalt  
Feb.: unternormale Temperaturen  
März - Mai: ausgesprochener Temperaturüberschuss

1957: Jan.: +/- normale Temperaturen  
Feb. u. März: viel zu warm  
Apr.: etwas zu warm  
Mai : kalt

1959: Jan.: etwas übernormale Temperaturen  
Feb.: +/- normale Temperaturen  
März: ungewöhnlich hohe Temperaturen  
Apr.: überdurchschnittlich hohe Temperaturen  
Mai : übernormale Temperaturen

1960: Jan.: leicht übernormale Temperaturen  
Feb.: übernormale Temperaturen  
März: grosser Wärmeüberschuss  
Apr.: übernormale Temperaturen  
Mai : übernormale Temperaturen

1966: Jan.: unternormale Temperaturen  
Feb.: aussergewöhnlich hohe Temperaturen  
März: kühl  
Apr.: übernormale Temperaturen  
Mai : übernormale Temperaturen

1974: Jan. - Apr.: mild  
Mai : Wärmedefizit

1976: Jan. u. Feb.: mild  
März: kühl  
Apr.: +/- normale Temperaturen  
Mai : übernormale Temperaturen

1977: Jan. - März: mild  
Apr.: zu kühl  
Mai : Temperaturen unter der Norm

1981: Jan.: unternormale Temperaturen  
Feb. u. März: mild  
Apr.: 1. Hälfte ausserordentlich warm  
Mai : +/- normale Temperaturen

Bei diesen Charakterisierungen der Monatswitterung werden soweit wie möglich die Originalausdrücke wiedergegeben.

Bei all diesen Jahren mit einem frühen Beginn der Vegetationsentwicklung fällt auf, dass die Monate März und/oder April zu warm waren, das heisst über der Norm. Die Norm entspricht dem Mittelwert von 30 Jahren (1931-60), wobei bei Stations- und Instrumentenwechsel gewisse Anpassungen vorgenommen werden mussten. Oft war auch der Februar schon mild, während der Januar aufgrund dieser Auswertungen die Vegetationsentwicklung kaum zu beeinflussen scheint. In den Jahren 1966 und 1976 war der März jeweils zu kühl, doch waren in diesen Fällen die Vormonate mild, was zur frühen Vegetationsentwicklung führte. Allgemein kühle Witterung im April trat nur im Jahre 1977 auf. Dass es trotzdem zu einem frühen Frühling kam, bewirkte die milde Witterung vom Januar bis März. Kälteperioden, wie sie oft im Frühling auftreten, bremsen zwar die Vegetationsentwicklung, doch kommt es abgesehen von ganz extremen Ereignissen nicht zu einem Stillstand. Dies konnte auch im Frühling 1989 sehr schön beobachtet werden. Nach einem sehr frühen Start der Vegetationsentwicklung infolge eines sehr milden Winters und sehr hohen Temperaturen im März und der ersten Aprilhälfte, brach der Winter am 13. April nochmals mit Schneefall zum Teil bis in die Niederungen ein. Dies bewirkte aber keinen Stopp in der weiteren Vegetationsentwicklung, sondern lediglich eine Verzögerung. Bildlich kann dies am ehesten mit einer Maschine verglichen werden, die mit Energie versorgt wird. Bis die Maschine voll auf Touren kommt, braucht es eine gewisse Energiemenge. Wird nun aber die Energiezufuhr gestoppt, so wird sie noch eine Zeitlang weiterlaufen (auslaufen), bis sie zum Stillstand kommt. Ähnlich wird es sich bei den Pflanzen verhalten, deren Energiespender, die Sonne, den ganzen Metabolismus ankurbelt und aufrecht hält. Wird durch eine Schlechtwetterperiode die Energiezufuhr gedrosselt, werden die biochemischen Prozesse, die in der Pflanze ablaufen, reduziert aber nicht völlig abgebremst und entsprechend auch deren Entwicklung. Dies erklärt zum Teil, dass die Witterung im Mai kaum noch einen Einfluss auf den terminlichen Ablauf der Vegetationsentwicklung ausübt. Die Mechanismen werden schon früher aktiviert und laufen im Mai nur noch unterschiedlich schnell ab. Zudem sind die Phänophasen, die den Frühling definieren, im Mai schon grösstenteils vorbei.

#### B. Später Frühlingseinzug aus der Sicht der Phänologie

-----

sehr später Frühling:

1970: Jan.: leicht übernormale Temperaturen  
Feb.: +/- normale Temperaturen  
März: unternormale Temperaturen  
Apr.: übernormale Temperaturen  
Mai : unternormale Temperaturen  
1984: Jan.: mild  
Feb.: +/- normale Temperaturen  
März: zu kalt  
Apr.: zu kühl  
Mai : zu kalt

später Frühling:

- 1956: Jan.: zu warm  
Feb.: sehr kalt  
März: zu warm  
Apr.: zu kalt  
Mai : etwas zu warm
- 1962: Jan.: zu warm  
Feb.: unternormale Temperaturen  
März: weit unter der Norm  
Apr.: +/- normale Temperaturen  
Mai : unternormale Temperaturen
- 1965: Jan.: übernormale Temperaturen  
Feb.: zu kalt  
März: etwas zu kalt  
Apr.: leicht unternormale Temperaturen  
Mai : etwas unternormale Temperaturen
- 1973: Jan.: +/- normale Temperaturen  
Feb.: unternormale Temperaturen  
März: zu kalt  
Apr.: stark unternormale Temperaturen  
Mai : übernormale Temperaturen
- 1979: Jan.: zu kalt  
Feb.: sehr mild  
März: eher zu warm  
Apr.: zu kalt  
Mai : etwas zu kalt
- 1980: Jan.: +/- normale Temperaturen  
Feb.: mild  
März: +/- normale Temperaturen  
Apr.: zu kalt  
Mai : Wärmedefizit
- 1986: Jan.: zu mild  
Feb.: sehr kalt  
März: +/- normale Temperaturen  
Apr.: zu kalt  
Mai : zu warm

Bei allen untersuchten Jahren, die einen späten Vegetationsbeginn aufweisen, sind die Monate März und/oder April zu kalt, d.h. unter der Norm. Die Witterung im Januar und Februar scheint die Vegetationsentwicklung weniger zu beeinflussen, da es trotz milder Witterung in diesen Monaten zu einem späten Frühlingseinzug kommen kann. Auch hier ist der Vergleich mit der Maschine angebracht. Auch die Pflanze braucht eine ganz bestimmte Energiemenge, um den Mechanismus in Gang zu bringen. Dies wird durch zahlreiche Untersuchungen bestätigt, in denen aufgrund von Wärmesummen (Temperatursummen) phänologische Phasen berechnet wurden (BIDER und MAYER, 1946).

Die Resultate zeigen, dass aufgrund einer sehr einfachen Witterungscharakterisierung, in der weder auf einzelne Ereignisse noch auf die regionalen Unterschiede Rücksicht genommen wird, recht gut auf eine frühe oder späte Vegetationsentwicklung geschlossen werden kann. Andererseits bestätigen die Ergebnisse auch, dass die Einteilung in frühe und späte Frühjahre mit Hilfe der Phänologie richtig ist. Diese Aussagen scheinen trivial zu sein, zei-



gen aber, dass entsprechend vertiefte Studien erfolgsversprechend sein können (Kap. 10).

## 7.6 Früher und später Herbst und die Beziehung zur Witterung

Sehr oft hört und liest man die Aussage, dass der Zeitpunkt der herbstlichen Laubverfärbung stark vom Niederschlagsangebot abhängig sei. Insbesondere wird eine frühe Laubverfärbung mit Trockenheit im Sommer in Verbindung gesetzt. Analog zum vorangehenden Kapitel wurden die Witterungscharakterisierungen mit dem frühen und späten Herbst verglichen. Im Gegensatz zum Frühling wurden hier neben den Temperaturen vor allem die Niederschlagsverhältnisse der Monate Juli bis November berücksichtigt.

### A. Früher Herbst aus der Sicht der Phänologie

-----

früher Herbst:

- 1952: Juli: sehr warm und sehr trocken  
Aug.: sehr warm, regional unterschiedliche Niederschläge  
Sep.: zu kalt, +/- normale Niederschläge  
Okt.: +/- normale Temperaturen, zu nass  
Nov.: +/- normale Temperaturen, zu nass
- 1959: Juli: zu warm, zu trocken  
Aug.: zu warm, zu trocken  
Sep.: +/- normale Temperaturen, zu trocken  
Okt.: leicht zu warm, zu trocken  
Nov.: leicht zu kalt, zu trocken
- 1971: Juli: zu warm, zu trocken  
Aug.: zu warm, etwas zu nass  
Sep.: leicht zu warm, zu trocken  
Okt.: zu warm, stark zu trocken  
Nov.: zu kühl, zu feucht
- 1976: Lange Trockenperiode vom März bis Juni, in einzelnen  
Regionen auch schon früher  
Juli: zu warm, zu feucht  
Aug.: kühl, +/- normale Niederschläge mit regionalen  
Unterschieden  
Sep.: zu kühl, +/- normale Niederschläge  
Okt.: zu warm, zu trocken  
Nov.: mild, zu nass
- 1979: Juli: +/- normale Temperaturen, zu trocken  
Aug.: zu kühl, +/- normale Niederschläge  
Sep.: zu warm, im Westen und Tessin zu trocken  
Okt.: zu warm, zu nass  
Nov.: +/- normale Temperaturen, Süden und Westen zu  
trocken, in den übrigen Gebieten zu nass

## B. Später Herbst aus der Sicht der Phänologie

---

### später Herbst:

- 1970: Juli: +/- normale Temperaturen, leicht zu trocken  
Aug.: leicht zu warm, zu feucht  
Sep.: zu warm, zu trocken  
Okt.: +/- normale Temperaturen, im Osten zu nass,  
sonst zu trocken  
Nov.: zu warm, z.T. zu nass, z.T. zu trocken
- 1980: Juli: zu kalt, zu nass  
Aug.: zu warm, zu trocken  
Sep.: ausgesprochen warm, zu trocken  
Okt.: +/- normale Temperaturen, zu nass  
Nov.: zu kühl, zu trocken

Allein aufgrund der Monatswerte wird ersichtlich, dass in allen Jahren mit einem frühen Herbst, zwischen Juli und September eine Trockenperiode vorkam. 1976 wurde die Trockenperiode schon vor dem Juli registriert. Diese einfache Untersuchung scheint zu bestätigen, dass Trockenperioden im Sommer einen frühen Herbst (frühe Laubverfärbung) verursachen. Sie sind entsprechend mit hohen Temperaturen gekoppelt. Beim späten Herbst lassen sich kaum Aussagen machen, da nur zwei Jahre zur Verfügung stehen. Es scheint aber, dass eine nasskühle Witterung in den Sommermonaten eine späte Laubverfärbung begünstigt. Aus der Sicht der Pflanzenphysiologie sind diese Ergebnisse absolut plausibel. Trockenperioden lösen bei den Pflanzen einen Stress aus, was eine verfrühte Laubverfärbung induzieren kann. Bei extremen Dürreperioden kann sogar sommerlicher Laubfall beobachtet werden, als Ausdruck einer Ueberlebensstrategie der Pflanze. Damit verhindert sie einen zusätzlichen Wasserverlust durch Transpiration der Blätter und entgeht Trockenschädigungen. Bei feuchtkalter Witterung versucht die Pflanze die Photosynthese möglichst lange aufrecht zu erhalten, um den Biomassenzuwachs zu optimieren. Auch diese Untersuchung bezüglich Sommer- und Herbstwitterung und frühe respektive späte Herbste lassen die sehr enge Beziehung zwischen Phänologie und Witterung erahnen. Sie soll ebenfalls durch statistische Untersuchungen untermauert werden (Kap. 10).

### 7.7 Dauer der Vegetationsperiode

Die Dauer der Vegetationsperiode ist einer der Indikatoren, der die Biomassenzunahme pro Jahr mitbestimmt. Je länger die Vegetationsperiode, desto länger dauert die photoaktive Zeit. Daneben spielt die Witterung während der vegetativen Periode der Pflanzen eine wesentliche Rolle. Es gibt Arbeiten, die eine mehr oder weniger konstante Dauer der Vegetationsperioden postulieren, das heisst, einem frühen Beginn folgt ein frühes Ende und umgekehrt (PFAU, 1964). Dies konnte in der Arbeit über die Blattverfärbung der Buche im Raume Liestal (MAHRER, 1985) nicht bestätigt werden. In jener Arbeit wurde die Vegetationsperiode vom Blattausbruch bis zur Blattverfärbung der Rotbuche definiert. Damit sind wir schon beim zentralen Problem: die Definition der Vegetationsperi-

ode. Die verschiedenen Möglichkeiten einer Definition (klimatologisch und phänologisch) wurden schon im Kapitel 1.4.7 beschrieben und werden im Kapitel 7.8 noch konkret miteinander verglichen. Hier sollen ganz einfach die Prädikate "sehr früh, früh, spät und sehr spät" für den Frühling und Herbst berücksichtigt werden, wie sie in Kapitel 7.2 hergeleitet wurden. Es handelt sich dabei wieder um ein sehr vereinfachtes Verfahren, das gewisse Hinweise geben soll, die dann im nächsten Kapitel vertieft werden. In der folgenden Zusammenstellung wird die Charakterisierungen der Frühjahre und Herbste aufgelistet. In der letzten Kolonne wird aufgrund dieser Angaben die ganze Vegetationsperiode klassiert. Kombinationen bezüglich Frühjahr/Herbst, wie früh/früh oder spät/spät und alle die mit "ohne eindeutige Tendenz" bezeichnet werden, erhalten eine Null "0". Lange Vegetationsperioden (früh/spät) werden mit einem "+" und die kurzen (spät/früh) mit einem "-" bezeichnet.

Charakterisierung der Vegetationsperioden, 1951-86

	Frühling	Herbst	Vegetationsperiode
1951	Tendenz zu spät	keine eindeutige Tendenz	0
52	früh	früh	0
53	früh	Tendenz zu früh	0
54	+/- normal	keine eindeutige Tendenz	0
55	keine eindeutige T.	+/- normal	0
56	spät	Tendenz zu spät	0
57	früh	Tendenz zu früh	0
58	Tendenz zu spät	Tendenz zu spät	0
59	früh	früh	0
1960	früh	Tendenz zu früh	0
61	sehr früh	keine eindeutige Tendenz	0
62	spät	Tendenz zu spät	0
63	Tendenz zu spät	Tendenz zu spät	0
64	Tendenz zu früh	keine eindeutige Tendenz	0
65	spät	keine eindeutige Tendenz	0
66	früh	keine eindeutige Tendenz	0
67	Tendenz zu früh	Tendenz zu spät	(+)
68	Tendenz zu früh	Tendenz zu früh	0
69	Tendenz zu spät	Tendenz zu früh	(-)
1970	sehr spät	spät	0
71	Tendenz zu früh	früh	0
72	Tendenz zu früh	keine eindeutige Tendenz	0
73	spät	Tendenz zu früh	(-)
74	früh	keine eindeutige Tendenz	0
75	Tendenz zu spät	Tendenz zu spät	0
76	früh	früh	0
77	früh	Tendenz zu früh	0
78	Tendenz zu spät	keine eindeutige Tendenz	0
79	spät	früh	-
1980	spät	spät	0
81	früh	keine eindeutige Tendenz	0
82	Tendenz zu spät	keine eindeutige Tendenz	0
83	keine eindeutige T.	Tendenz zu spät	0
84	sehr spät	Tendenz zu spät	0
85	Tendenz zu spät	Tendenz zu spät	0
86	spät	keine eindeutige Tendenz	0

Diese Zusammenstellung zeigt deutlich, dass aufgrund einer sehr einfachen Auswertung die überwiegende Mehrzahl aller Jahre eine ausgeglichene Vegetationsperiodenlänge aufweist. Lediglich das Jahr 1979 zeigt eine eindeutig kurze Vegetationsperiode (spät/früh). Die Jahre 1969 und 1973 weisen eine Tendenz zu kürzeren und das Jahr 1967 zu einer längeren Vegetationsperiode auf. Diese Voruntersuchungen deuten eher auf eine Konstanz der Länge der Vegetationsperioden hin.

### 7.8 Vergleiche zwischen phänologischen und klimatologischen Vegetationsperioden

Es sollen hier die Vor- und Nachteile der Definitionen der klimatologischen und phänologischen Vegetationszeiten miteinander verglichen werden. Bei der klimatologischen Definition wird diejenige von Primault angewendet (PRIMAULT, 1972), wobei das Computerprogramm so gestaltet wurde, dass die Limiten flexibel gewählt werden konnten (Kap. 1.4.7). Für die phänologische Definition galt es, zwei markante Phänophasen zu finden, die für den Beginn und das Ende repräsentativ sind. Dabei musste darauf geachtet werden, dass die Phasen gut erkennbar sind und an Pflanzen beobachtet werden können, die in allen Regionen und möglichst allen Höhenstufen vorkommen. Wie schon in Kapitel 1.4.7 angedeutet, muss man sich bewusst sein, dass solche sichtbaren Lebensäußerungen, wie sie in der Phänologie beobachtet werden, nie den eigentlichen Beginn und das Ende der Vegetationsperiode, im Sinne der photosynthetisch aktiven Zeit, wiedergeben können. Es kann sich lediglich um eine Annäherung handeln. Wie schon mehrmals erwähnt, streuen die sehr frühen Phasen sehr stark (z.B. Vollblüte der Hasel), so dass sie sich für die Definition des Vegetationsbeginns kaum eignen. Dasselbe gilt für die Phase 2 (Vollblüte des Huflattichs). Aus diesem Grunde wurde diese Phase in den nachfolgenden Statistiken nur ganz am Rande behandelt. Eingehender wurden für den Beginn die Phasen 4 (Vollblüte des Buschwindröschens), 10 (Blattausbruch der Rotbuche) und 11 (Nadelaustrieb der Lärche) ausgewertet. Für die Definition des Vegetationsendes war es nicht möglich, eine geeignete Phase zu finden, die in allen Höhenstufen beobachtet werden kann. So musste man sich auf die Phasen 28 und 30 (Blattverfärbung und -fall der Rotbuche) beschränken. Als erste Voruntersuchung wurden für 46 phänologische Stationen diejenigen Phasen herausgesucht, deren mittlere Eintrittstermine am besten mit dem mittleren Datum der klimatologischen Definition der Vegetationsperiode (nach Primault) übereinstimmen. Diese Auswertung wurde für jede Station für den Vegetationsbeginn und das -ende durchgeführt. Dabei wurden folgende Phasen mit den entsprechenden Häufigkeiten gefunden:

<u>Beginn</u>		<u>Ende</u>	
Phase	2: 18mal	Phase	30: 17mal
	4: 11mal		27: 9mal
36K:	5mal		29: 7mal
11:	4mal		31: 6mal
6:	2mal		26: 3mal
47:	2mal		50: 2mal
9:	2mal		28: 1mal
3:	1mal		25: 1mal
34B:	1mal		

In dieser Zusammenstellung sind, mit Ausnahme der Phase 10, alle für die kommenden Auswertungen ausgewählten Phasen mindestens einmal vertreten. Es wird auch offensichtlich, wie unterschiedlich häufig die verschiedenen Phasen auftreten. Da die Klimastationen nie direkt neben den beobachteten Pflanzen stehen, ist ein Vergleich auch nur bedingt aussagekräftig. Die phänologischen Phasen werden unmittelbar vom Mikro- oder Bestandesklima des entsprechenden Standortes beeinflusst. Die Auswertungen zeigen auch nur auf, welche mittleren phänologischen Eintrittstermine am besten mit dem mittleren Beginn und Ende der klimatologischen Vegetationsperiode übereinstimmen. Sie sagen aber nichts aus über die Einzeljahre. Es ist denkbar, dass die Mittelwerte rein zufällig gut übereinstimmen, ohne dass dies auch die Einzelwerte tun. Aus diesem Grunde wurden für ein Stationspaar (Basel-Binningen/Klimastation und Liestal/phänologische Station) die entsprechenden Korrelationen berechnet. Dabei wurde mit verschiedenen Phänophasen gearbeitet und mit verschiedenen Limiten bei der klimatologischen Definition. Neben der ursprünglichen Definition - in der Folge mit "normal" bezeichnet - wurden noch folgende Abänderungen verwendet:

- a) Beginn: 7. Tag  $\geq 7,0$  Grad  
Ende: 5. Tag  $< 7,0$   
oder 3. Tag  $< 0,0$   
oder 1. Tag  $< -2,0$
- b) Beginn: 5. Tag  $\geq 7,0$  Grad  
Ende: 5. Tag  $< 5,0$   
oder 3. Tag  $< 0,0$   
oder 1. Tag  $< -2,0$
- c) Beginn: 7. Tag  $\geq 10,0$  Grad  
Ende: 5. Tag  $< 10,0$   
oder 3. Tag  $< 0,0$   
oder 1. Tag  $< -2,0$
- d) Beginn: 5. Tag  $\geq 10,0$  Grad  
Ende: 5. Tag  $< 5,0$   
oder 3. Tag  $< 0,0$   
oder 1. Tag  $< -2,0$

Normalerweise wurde ab 1. Januar gerechnet und bei der Definition b) noch zusätzlich ab 1. März. Berücksichtigt wurde die Periode 1951-88, das heisst 38 Jahre. Neben den Korrelationen bezüglich des Beginns und dem Ende wurden jeweils auch die Längen der Vegetationsdauer miteinander verglichen. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass bei keiner Definition eine gute Beziehung gefunden

werden konnte. Die folgende Zusammenstellung zeigt die Korrelationskoeffizienten, wie sie für die verschiedenen klimatologischen Definitionen und Phänophasenkombinationen gefunden wurden.

Klimat. Def.	Phänophasen	Korrelationskoeffizienten		
		Beginn	Ende	Dauer
normal	2/30	0,4909	0,2109	0,4587
normal	4/28	0,4509	0,2680	0,3620
Def. a)	4/28	0,4321	0,0233	0,2599
Def. b)	4/28	0,5555	0,0233	0,3859
Def. b) ab 1. März	4/28	0,5340	0,0233	0,3368
Def. c)	4/28	0,0640	0,2191	0,0883
Def. d)	4/28	0,2180	0,2191	0,1665
normal	10/30	0,4725	0,2109	0,4797
Def. a)	10/30	0,4753	0,1482	0,2445
Def. b)	10/30	0,3236	0,1482	0,1495
Def. c)	10/30	0,4477	0,2399	0,2077
Def. d)	10/30	0,3129	0,2399	0,0410
normal	11/30	0,4818	0,2444	0,5166
Def. a)	11/30	0,4439	0,1629	0,2538
Def. b)	11/30	0,4544	0,1629	0,2572
Def. c)	11/30	0,1638	0,2077	0,0655
Def. d)	11/30	0,3423	0,2077	0,0977

Das beste Resultat für den Beginn der Vegetationsperiode zeigt die Phasenkombination 4/28 (Vollblüte des Buschwindröschens/ Blattverfärbung der Rotbuche) mit der Definition b) bei der klimatologischen Vegetationsperiode. Das schlechteste Ergebnis tritt bei derselben Phasenkombination mit der Definition c) auf. Allgemein sind die Korrelationen am Ende der Vegetationszeit schlechter. Der höchste Wert ist bei der Phasenkombination 4/28 mit der ursprünglichen klimatologischen Definition zu finden, die schlechtesten bei denselben Phasen mit den Definitionen a) und b) sowie b) ab 1. März. Die Definition b) ab 1. März wurde in der Hoffnung gewählt, dass das relativ gute Resultat beim Beginn der Vegetationsperiode mit der Definition b) noch verbessert werden könnte. Diese Hoffnung wurde jedoch nicht erfüllt. Bei der Dauer der Vegetationsperiode bringt eine andere Phasenkombination das beste Ergebnis. Es handelt sich um die Kombination 11/30 (Nadel-austrieb der Lärche/ Blattfall der Rotbuche) mit der normalen klimatologischen Definition. Am schlechtesten schnitten die Kombinationen 10/30 (Blattausbruch der Rotbuche/ Blattfall der Rotbuche) mit der Definition d) ab.

Die Statistik wurde nicht auf weitere Stationen ausgeweitet, da aus den oben beschriebenen Resultaten klar wird, dass allgemein keine guten Uebereinstimmungen erwartet werden dürfen. Ein gutes Ergebnis mit hohen Korrelationskoeffizienten müsste als Zufall gewertet werden. Es wird auch offensichtlich, dass es keine Phasenkombination gibt, die für den Beginn, das Ende und für die Dauer der Vegetationsperiode einigermaßen gute Resultate liefert. Diesbezüglich schneidet die Kombination 11/30 mit der normalen klimatologischen Definition noch am besten ab.

Wie schon im Kapitel 1.4.7 vermutet wurde, ist es äusserst schwierig, eine Definition der Vegetationszeit auf der Basis von klimatologischen Daten zu finden, die mit einer phänologischen

Definition übereinstimmt. Die meteorologischen Variationen sind von Jahr zu Jahr so verschieden (v.a. im Frühling), dass ein einfaches Modell, wie zum Beispiel aufgrund von Temperaturgrenzwerten, versagen muss. Beim Vegetationsende im Herbst kommt noch dazu, dass die herbstliche Blattverfärbung wahrscheinlich weniger vom Unterschreiten bestimmter Temperaturlimiten abhängt, als vom Witterungsgeschehen während der Vegetationsperiode (Trockenstress, Dauer der photoaktiv nutzbaren Zeit etc.). Das Beispiel zeigt einmal mehr, dass sich die Natur nicht einfach in ein Schema einpassen lässt. Die Variationen und Kombinationen des Witterungseinflusses und deren pflanzliche Reaktionen sind so vielfältig, dass kaum allgemein gültige Gesetze aufgestellt werden können.

Bis jetzt ist es nur gelungen, gewisse Trends und Vermutungen herauszukristallisieren, aber keine Regeln. Es muss an dieser Stelle nochmals unterstrichen werden, dass für jede Pflanzenart, ja für jede Rasse und jeden Standort, eine spezielle Definition der Vegetationsperiode eruiert werden müsste. Deshalb erwies es sich als wenig sinnvoll, alle möglichen Kombinationen seitens der Klimatologie und der Phänologie auszutesten. Hätte man eine gute Übereinstimmung gefunden, würde die entsprechende Kombination mit Sicherheit schon bei der nächsten oder übernächsten Station versagen. Es gibt auch kaum eine praktische Anwendung, bei der eine genaue Definition der allgemeinen Vegetationsperiode notwendig wäre. Viel wichtiger und von grösserer praktischer Bedeutung ist die Prognose von einzelnen Phänophasen (Ernteprognosen, Schädlingsbekämpfung etc.). Für Kulturen ist es von Bedeutung, wie lange die zur Verfügung stehende Wachstums- und Entwicklungsperiode dauert. Diese ist aber für jede Kulturart spezifisch und hat wenig mit der allgemeinen Vegetationszeit zu tun.

## 7.9 Schlussbemerkungen

Die Einteilung der phänologischen Jahreszeiten in verschiedene Klassen (früh bis spät) ergibt eine gute Uebersicht über den Verlauf der Vegetationsentwicklung der einzelnen Jahre und einen Vergleich der einzelnen Jahre untereinander. So kristallisieren sich sehr frühe und sehr späte Jahre heraus (z.B. 1970 spät und 1976 früh). Eine relative Häufigkeitsverteilung der Klassen für die Frühlings-, Sommer- und Herbstphasen sowie für die gesamte Vegetationsperiode zeigt deutlich, dass im Frühling frühe und späte Jahre überwiegen. Im Sommer kommen alle Klassen ungefähr gleich häufig vor, während im Herbst die frühen und späten Klassen stärker vertreten sind, neben der dominierenden Klasse "ohne eindeutige Tendenz".

Aufgrund von kartographischen Darstellungen von frühen und späten phänologischen Jahreszeiten (absolute und relative Abweichungen von der Norm), zeichnet sich in den seltensten Fällen eine Regionalisierung der Vegetationsentwicklung ab. Ein Vergleich der frühen und späten Frühlinge mit deskriptiven Witterungsberichten ergab, dass vor allem die Temperatur in den Monaten März und April für ein verfrühtes respektive verspätetes Eintreten verantwortlich ist. Die Eintrittstermine der Herbste scheinen vorab vom

Witterungsgeschehen im Sommer determiniert zu werden. So bewirkt eine Trockenperiode im Sommer einen frühen Herbst (Blattverfärbung), während feuchtkühle Witterung im Sommer eher einen späten Herbst nach sich zieht. Die Dauer der Vegetationsperiode scheint, aufgrund dieser relativ groben Einteilung in die verschiedenen Klassen, in den allermeisten Fällen konstant zu sein. Ein Vergleich zwischen phänologischen und klimatologischen Vegetationsperioden zeigt, dass von den untersuchten klimatologischen Definitionen keine auch nur annäherungsweise mit phänologischen Definitionen übereinstimmt. Die besten Resultate wurden noch mit der Phasenkombination 11/30 (Nadelaustrieb der Lärche/Blattfall der Rotbuche) erzielt. Allgemein konnten nur Trends aber keine Regeln gefunden werden.

## 8. KORRELATIONEN VERSCHIEDENER PHAENOPHASEN DERSELBEN STATION, 1951 - 86

### 8.1 Einleitung

Das Interesse gilt hier den Beziehungen zwischen den Phänophasen innerhalb denselben Stationen. Es darf angenommen werden, dass bei der gleichen Station vor allem Phänophasen hoch miteinander korrelieren, die zeitlich nahe beieinander liegen (z.B. die Frühlingsphasen und die Herbstphasen untereinander). Zwischen Frühlings- und Herbstphasen dürfen weniger enge Beziehungen erwartet werden. Die Ueberlegungen, die zu dieser Annahme führen, basieren auf der Tatsache, dass die Phasen, die zeitlich nahe beieinander liegen, mehr oder weniger denselben meteorologischen Bedingungen ausgesetzt waren. Liegen die Phasen jedoch einige Monate auseinander (Frühling/Herbst), so kann witterungsmässig in dieser Zeit sehr viel geschehen, was die Eintrittstermine der Phänophasen beeinflussen kann. Werden Frühlings- und Herbstphasen jedoch an denselben Pflanzen beobachtet - zum Beispiel Blattausschuss und -verfärbung der Buche - muss überprüft werden, ob die Dauer der photosynthetisch aktiven Periode mehr oder weniger konstant bleibt. Dies würde bedeuten, dass zwischen den zeitlich weit auseinanderliegenden Phasen eine gute Korrelation besteht. Für die Station Liestal wurde dies untersucht (MAHRER 1985). Eine konstante Vegetationsperiode konnte jedoch aufgrund des Blattausschusses und der -verfärbung der Buche nicht gefunden werden. Im phänologischen Beobachtungsprogramm werden Kräuter, Sträucher und Bäume berücksichtigt, deren Höhen über Boden recht unterschiedlich sind. Somit werden auch ihre photosynthetisch aktiven Pflanzenteile (Blätter, Nadeln) von unterschiedlichen mikroklimatischen Verhältnissen beeinflusst. Mit Hilfe der Korrelationsberechnungen kann überprüft werden, ob signifikante Unterschiede zwischen den Eintrittsterminen der Phänophasen derselben Vegetationsschicht oder unterschiedlicher Schichten bestehen (Kraut-, Strauch- und Baumschicht). Unter der Annahme, dass Wachstums- (vegetativ) und Blühphasen (generativ) nicht auf dieselben Witterungseinflüsse reagieren, müssten bei den Korrelationen zwischen den vegetativen respektive generativen Phasen unter sich und zwischen generativen und vegetativen Phasen markante Unterschiede feststellbar sein. Ist genügend pflanzenverfügbares Wasser im Bo-



den vorhanden, werden die Wachstumsphasen vor allem durch die Temperaturverhältnisse gesteuert. Bei den Blühphasen spielen die Temperaturverhältnisse ebenfalls eine massgebende Rolle (Wachstum und Entwicklung der Blüte), doch der eigentliche Blühvorgang (Oeffnen der Blüte) wird stark vom Lichteinfluss (Sonneneinstrahlung) gesteuert. Dies kann sehr gut bei Pflanzen beobachtet werden, die während der Nacht ihre Blüten wieder schliessen (z.B. Löwenzahn). An einem Regentag oder einem stark bewölkten Tag öffnen sich die Blüten gar nicht, da der nötige Lichtreiz fehlt.

Die Untersuchungen der Korrelationen zwischen den verschiedenen Phänophasen sind einerseits von rein wissenschaftlichem Interesse. Aufgrund der Beziehungen zwischen den verschiedenen Phasen können erste Rückschlüsse auf die relevanten Umwelteinflüsse gezogen werden. Andererseits haben sie auch praktische Bedeutung bei der Kontrolle und Interpolation von phänologischen Daten. Anhand der Erkenntnisse der Beziehungen der Phänophasen untereinander sollten zum Beispiel die Monatsfehler (der Beobachter verschreibt sich um einen Monat) erkannt werden.

## 8.2 Datenmaterial und Auswertemethode

Für die Auswertungen standen die je 38 kontrollierten Phänophasen von rund 180 Beobachtungsstationen zur Verfügung. Ziel wäre es, pro Station jede Phase mit jeder korrelieren zu können. Obschon nach Möglichkeit nur Stationen in die Auswertung miteinbezogen wurden, die über mindestens 20 Beobachtungsjahre verfügen, konnte diese Forderung nicht erfüllt werden. Wie schon im Kapitel 4.2 erwähnt wurde, sind die Beobachtungsreihen der Phänophasen leider nicht lückenlos. Es kommen immer wieder Jahre vor, in denen einzelne Beobachtungen fehlen oder gar während einer ganzen Vegetationsperiode nicht beobachtet wurde (z.B. bei Beobachterwechsel).

Für die Korrelationsberechnungen müssen aber für alle berücksichtigten Phasen dieselben Perioden verfügbar sein. Somit stellte sich die nicht ganz einfache Aufgabe, die Auswahl der Phasen stationsweise zu optimieren. Es galt bei jeder Station zu entscheiden, ob eine möglichst lange Reihe oder eine grosse Vielfalt von Phänophasen zu bevorzugen sei. Die optimale Auswahl könnte im Prinzip mittels eines Computerprogramms getroffen werden, wenn die Mindestdauer der Beobachtungsperiode definiert wird. Oft sind aber auch noch subjektive Entscheidungen notwendig, zum Beispiel, welche Phänophase einer anderen vorzuziehen ist. Deshalb wurde auf die Hilfe des Computers verzichtet. Für jede Station wurden die zu verwendenden Phasen und Jahre individuell bestimmt. In diese Auswertung flossen die Daten von 107 Stationen ein.

Aus der Sicht der Statistik weisen die Korrelationsberechnungen folgende Schwachpunkte auf:

- Die berücksichtigten Phänophasen sind von Station zu Station verschieden bezüglich Anzahl und Auswahl.
- Die Beobachtungsreihen sind unterschiedlich lang, und in den seltensten Fällen wurden bei zwei Stationen genau dieselben Jahre berücksichtigt.

Diese nicht vermeidbaren Einschränkungen erlauben keinen endgültigen Vergleich zwischen den verschiedenen Stationen. Absolute

Angaben über die Anzahl von hohen Korrelationen sind nur bedingt aussagekräftig. Deshalb wurden in den folgenden Zusammenstellungen oft relative Angaben, bezogen auf die Anzahl der möglichen Korrelationen, verwendet. Dieser Mangel an Vergleichbarkeit dürfte mindestens teilweise mit der hohen Anzahl von Beobachtungsstationen kompensiert werden. Kann bei vielen Stationen das gleiche Ergebnis gefunden werden, darf angenommen werden, dass der Trend allgemein in diese Richtung zielt. Innerhalb der Stationen ist jedoch eine Vergleichbarkeit ohne weiteres möglich, da bei allen Phasen dieselben Jahre verwendet wurden.

Als Ausgangsmaterial für alle weiteren Auswertungen dienten die Korrelationsmatrizen, die stationsweise ausgedruckt wurden. Als Beispiel wird der Output der Station Liestal dargestellt (Tab. 8). Bei den Korrelationsmatrizen variiert die Anzahl der Beobachtungsjahre von 11 (Leytron und Martina) bis 34 Jahre (Wildhaus). Wären alle Phänophasen lückenlos vorhanden, würde die Beobachtungsperiode 36 Jahre (1951-86) umfassen. Die Reihe mit nur 11 Beobachtungsjahren ist im Prinzip zu kurz, um eine gesicherte Aussage machen zu können. Doch befinden sich diese zwei Stationen in Regionen, die keine besseren phänologischen Reihen aufweisen. Der grösste Teil der Stationen verfügt jedoch über eine auswertbare Periode von rund 20 Jahren. Auch die Anzahl der miteinander korrelierten Phasen ist von Station zu Station recht unterschiedlich. Die höchste Anzahl auswertbarer Phasen ergab sich bei der Station Sarnen (35 Phasen) und die kleinste bei der Station Les Plans-sur-Bex (2 Phasen) von insgesamt 38 möglichen. Die Anzahl der Korrelationskoeffizienten pro Station kann mit der folgenden Formel berechnet werden:  $n(n-1) \times 1/2$  (wobei  $n$  = Anzahl Phasen). Dabei wurden die Autokorrelationen nicht berücksichtigt, da diese zwangsläufig 1 ergeben.

### 8.3 Ergebnisse

#### 8.3.1 Allgemeines zu den Korrelationen

Wie in Kapitel 8.2 erwähnt, lieferte das Statistikprogramm für jede Station eine entsprechende Korrelationsmatrix. In den Tabellen wurden die Koeffizienten grösser/gleich 0,8 respektive 0,9 speziell markiert sowie der höchste und tiefste Wert pro Station. Alle Korrelationskoeffizienten ( $\geq 0,8$ ) wurden nach Phänophasen geordnet aufgelistet. Aus Platzgründen werden nicht alle Tabellen in dieser Arbeit wiedergegeben. Als Beispiel muss die Tabelle 9 genügen. Die Phasen wurden entsprechend den Ziffern im Beobachtungsprotokoll gekennzeichnet. Die Korrelation wurde mit dem Zeichen "X" symbolisiert. Auf diese Weise erhält man eine erste Übersicht über die Phasen, die gut miteinander korrelieren. Unter dem Korrelationskoeffizienten wurde jeweils noch der dazugehörige Stationsname sowie in Klammern die Anzahl Beobachtungsjahre angefügt. Zu jedem Koeffizienten wurde die entsprechende Irrtumswahrscheinlichkeit (P) des t-Tests mit den folgenden Symbolen angegeben:

P= 0,001: xxx  
 0,01 : xx  
 0,02 : x  
 0,05 : o  
 0,10 : -  
 0,20 : --

Beim weitaus grössten Teil der Koeffizienten sind die Ergebnisse hoch signifikant, das heisst die Nullhypothese kann aufgrund des t-Tests mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.001 verworfen werden. Die sehr kleine Anzahl von weniger gut gesicherten Resultaten (P=0,01) soll im folgenden noch aufgelistet werden. Erwartungsgemäss handelt es sich dabei um Stationen mit relativ kurzen Beobachtungsreihen.

Station	Anzahl Beobachtungsjahre	Phasen	Koeff.
Leytron	11	6 X 7	0,8363
Leytron	11	12 X 32E	0,8159
Leytron	11	32E X 33B	0,8070
Leytron	11	32E X 34E	0,8146
Leytron	11	12 X 14	0,8307
Martina	11	11 X 14	0,8168
Martina	11	14 X 32B	0,8215
Martina	11	20 X 32B	0,8171

Die Tatsache, dass bei diesen weniger gut gesicherten Ergebnissen ausschliesslich die zwei Stationen mit nur 11 Beobachtungsjahren vorkommen, bestätigt die Annahme, dass eine Beobachtungsreihe von 11 Jahren für derartige Untersuchungen nicht genügt. Bei Stationen mit nur 13 Beobachtungsjahren konnten jedoch bereits durchwegs hoch signifikante Ergebnisse festgestellt werden. Da der grösste Teil der Stationen über rund 20 Beobachtungsjahre verfügt, dürfen die Resultate als aussagekräftig bezeichnet werden.

Dass von den insgesamt 713 Korrelationskoeffizienten ( $\geq 0,8$ ) lediglich 8 (1,1%) statistisch nicht ganz so gut gesichert sind, ist sehr erfreulich. Insgesamt wurden über alle Stationen 16'825 Korrelationskoeffizienten berechnet. Davon sind 713 (4,2%)  $\geq 0,8$  und 141 (0,8%)  $\geq 0,9$ . Die etwas "magere" Ausbeute mag erstaunen, doch darf nicht vergessen werden, dass die verschiedenen Pflanzen innerhalb derselben Station nicht unbedingt am selben Standort vorkommen müssen (Mikroklima), dass sehr wenige Phasen an denselben Pflanzen beobachtet werden, und dass die Phasen teilweise zeitlich weit auseinander liegen. Zudem kommt noch die Mischung von vegetativen und generativen Phasen und von Kräutern, Sträuchern und Bäumen (Kap. 8.1) dazu. Es ist zudem zu erwähnen, dass die Limite von 0,8 relativ hoch ist. Es gibt noch eine grosse Anzahl von Korrelationskoeffizienten, die darunter liegen und ebenfalls hoch signifikant sind. Diese können aber nicht auch noch in dieser Arbeit behandelt werden.

Es treten auch immer wieder negative Korrelationskoeffizienten auf. Diese sind folgendermassen zu interpretieren: Tritt die Phase A früh auf, so erscheint die Phase B spät oder umgekehrt. Die negativen Koeffizienten treten allerdings weniger häufig auf als die positiven, und in den allermeisten Fällen sind sie sehr klein (nahe bei Null). Diese Werte müssen als rein zufällig eingestuft

werden. Zwei Fälle mit hoch signifikanten ( $P = 0,001$ ), negativen Korrelationen konnten doch gefunden werden. Es handelt sich dabei um die Stationen Leytron ( $n=11$ ) und Locarno ( $n=18$ ) mit einem Korrelations-Koeffizienten von  $-0,8637$  respektive  $-0,8014$ . Bei Leytron sind die Phasenkombinationen 19 X 33E und bei Locarno 6 X 34E beteiligt. In Worten besagen diese Resultate, dass in Leytron einer späten Vollblüte der Sommerlinde eine frühe Fruchtreife der Aepfel folgt und umgekehrt, und dass in Locarno einem frühen Blattausbruch der Rosskastanie eine späte Birnenernte folgt und umgekehrt. Weder physiologisch noch biometeorologisch ergeben diese Aussagen einen Sinn. Bemerkenswert ist die Tatsache, dass bei beiden Phasenkombinationen die Fruchtreife von Obstkulturen enthalten ist. Praktisch ist die Fruchtreife mit dem Erntetermin identisch. Erntetermine sind einerseits von der Witterung der Vegetationsperiode (Fruchtreife) aber andererseits auch von menschlichen Eingriffen (Planung) und von kurzfristigen Witterungseinflüssen (Schönwetterperioden) abhängig. Die Erntedaten sind also mehr oder weniger willkürlich, was die negativen Korrelationen provoziert haben könnte. Da beide Stationen aus Regionen mit intensiven Obstkulturen stammen, wo die Erntedaten aus organisatorischen Gründen vorausgeplant werden, dürfte diese Annahme zutreffen. Sucht man bei der Station Leytron nach weiteren relativ hohen, negativen Korrelationskoeffizienten, so findet man noch mit  $-0,5273$  die Phasenkombination 14 X 33E und mit  $-0,5710$  die Kombination 47 X 31. Wieder ist die Fruchtreife (Erntetermin) der Aepfel vertreten und ein weiterer kurzfristiger Witterungseinfluss, der 1. Reif (31). Bei der Station Locarno fällt auf, dass nicht nur bei der Phase 34E (Fruchtreife der Birnen) hohe negative Koeffizienten auftreten, sondern auch bei der Phase 33E (Fruchtreife der Aepfel). Bei der Phasenkombination 6 X 33E wurde ein Korrelationskoeffizient von  $-0,7857$  gefunden. Erstaunlich ist auch der relativ hohe negative Koeffizient, der bei der Blattentfaltung und -verfärbung der Buche (10 X 28) mit  $-0,5574$  auftritt. Aus der Sicht des Witterungsablaufes müssen diese Ergebnisse so interpretiert werden, dass einem frühen, schönen Frühling ein später Herbst folgt und umgekehrt. Ein entsprechendes Ergebnis aufgrund klimatologischer Untersuchungen ist jedoch nicht bekannt und müsste auch bei mehreren Phasen und Stationen bestätigt werden. Es widerspricht auch der These der konstanten Vegetationsperiode (Kap. 7.7). Ein plausibler Grund für die hohen negativen Korrelationen konnte nicht gefunden werden und aufgrund der auftretenden Phasen (Fruchtreife, 1. Reif) muss eher auf einen Zufall geschlossen werden.

### 8.3.2 Die höchsten und tiefsten Korrelationskoeffizienten pro Station

Im vorangehenden Kapitel wurden die hohen Korrelationskoeffizienten behandelt. Von Interesse sind auch die besten und schlechtesten Koeffizienten pro Station. Sie sind in Tabelle 10 zusammengestellt, wo auch die beteiligten Phasenkombinationen angegeben sind. Die Stationen sind aufgrund ihrer Indikative geordnet und mit der Anzahl der berücksichtigten Beobachtungsjahre versehen. Zusätzlich wird auch die Anzahl der korrelierten Phänophasen angeführt, was gewisse Resultate relativiert. So kann der Grund für

schlechte Korrelationen bei einer Station darin liegen, dass nur wenige Fälle vorhanden waren und somit die Wahrscheinlichkeit einer guten Korrelation geringer wird. In der Annahme, dass die Qualität der Korrelationen eine Funktion der zeitlichen Differenzen zwischen den berücksichtigten Phasen darstellt, wurden die jeweiligen mittleren Differenzen zwischen den entsprechenden Phasen aufgeführt.

Bei den höchsten Korrelationskoeffizienten ist das absolute Maximum mit 0,9935 bei der Station Horgen zu finden. Es handelt sich dabei um die Phänophasen 9 X 15 (Vollblüte des Löwenzahns und des Wiesenschaukrautes) mit einer mittleren Differenz von 1 Tag. Das Minimum innerhalb der höchsten Werte verzeichnet die Station San Bernardino mit einem Korrelationskoeffizienten von -0,4922 und einer mittleren Differenz von 78 Tagen mit den Phasen 31 X 37M (1. Reif und Beginn der Heuernte). Die Phasenkombination beim Maximum ist absolut plausibel, handelt es sich doch um Frühlings- und Blühphasen von Wiesenpflanzen, die von ähnlichen Umweltbedingungen (Mikroklima) beeinflusst werden. Dass zwischen dem 1. Reif und dem Beginn der Heuernte kein kausaler Zusammenhang besteht, muss nicht erklärt werden. Die markanten Unterschiede bei den mittleren Differenzen erhärtet die Theorie, dass die Güte der Korrelationen von den zeitlichen Differenzen der beteiligten Phasen abhängig ist. Bei der Station San Bernardino muss noch berücksichtigt werden, dass nur fünf Phänophasen miteinander korreliert werden konnten. Das Resultat hat also eher zufälligen Charakter. Das Problem der Phasenauswahl besteht bei allen Stationen (Kap. 8.2). Je nach Auswahl der Phasen könnten die Resultate der Tabelle 11 ein etwas anderes Aussehen bekommen.

Bei den tiefsten Korrelationen pro Station bewegen sich die Werte um 0, das heisst, dass keine Beziehungen zwischen den einzelnen Phasen bestehen. Das Maximum der tiefsten Werte wurde bei der Station Seewis-Dorf gefunden mit einem Koeffizienten von 0,2589 zwischen den Phasen 10 X 11 (Blattausbruch der Buche und Nadel-austrieb der Lärche). Dieses Resultat ist erstaunlich, handelt es sich doch um ähnliche vegetative Phasen an Bäumen mit einer mittleren Differenz von nur 14 Tagen. Die absoluten Minima sind bei den Stationen Domat-Ems und Menzonio mit 0,0000 bei den Phasen 3 X 28 (Blattausbruch des Hasels und Blattverfärbung der Buche) respektive 33E X 28 (Fruchtreife der Aepfel und Blattverfärbung der Buche) anzutreffen. Das Ergebnis von Domat-Ems gibt kaum Rätsel auf, beträgt doch die mittlere Differenz zwischen den beiden Phasen 163 Tage. Bei Menzonio ist die mittlere Differenz lediglich 8 Tage. Dabei ist aber wieder eine Fruchtreifephase (Erntephase) beteiligt. Im vorangehenden Kapitel wurde schon auf die Besonderheiten dieser Termine hingewiesen (Einfluss des Menschen und der kurzfristigen Witterung).

Betrachtet man die beteiligten Phänophasen bei den höchsten Korrelationskoeffizienten pro Station etwas genauer, so fällt auf, dass es sich im weitaus grössten Teil der Fälle um Kombinationen von Frühlingsphasen handelt. Phasen, die zeitlich nicht weit auseinander liegen und somit ähnlichen Bedingungen unterworfen waren. Vereinzelt kommen auch Herbstphasen vor, für die dasselbe gilt wie für die Frühlingsphasen. Der Grund für die geringere Häufigkeit der Herbstphasen ist darin zu suchen, dass die Zahl der Herbstphasen viel kleiner als diejenige der Frühlingsphasen

ist. Die Stationen mit den höchsten Koeffizienten bei den Herbstphasen sind nachstehend aufgeführt:

Stationen	n	Koeffizienten	Phänophasen
Bellelay	23	0,5710	28 X 30
Sihlbrugg	23	0,8493	28 X 29
Vallorbe	25	0,9638	26 X 28
Couvet	27	0,8563	26 X 28
La Coudre	23	0,8775	29 X 30
Cossonay	20	0,9805	29 X 30
Le Locle	24	0,8876	27 X 30
Fescoggia	20	0,8506	26 X 27
Stampa	15	0,8748	26 X 27

n: Anzahl Beobachtungsjahre

Zu den einzelnen Phasenkombinationen muss erwähnt werden, dass es sich bei den zwei höchsten Werten (Vallorbe und Cossonay) jeweils um denselben physiologischen Vorgang handelt. Im ersten Fall um die Blattverfärbung, im zweiten um den Blattfall, ein weiteres Indiz, dass diese Phasen von denselben Einflüssen gesteuert werden. Bei der Zusammensetzung der Stationen fällt auf, dass vor allem - mit Ausnahme der Station Sihlbrugg - Standorte der West- und Südschweiz auftreten, also eher trockene Gebiete. Die Vermutung, dass in diesen Gebieten die Blattverfärbung und der Blattfall von einer vorangehenden Trockenheit im Sommer induziert werden, liegt somit nahe. Diese Möglichkeit wird in Kapitel 10 genauer untersucht.

Kombinationen zwischen Frühlings- und Herbstphasen treten bei der Zusammenstellung der höchsten Korrelationskoeffizienten nur zweimal auf. Es sind dies die Stationen Sion mit der Blüte und Ernte der Weinrebe und Brusio mit der Vollblüte des Löwenzahns und dem Blattfall der Rosskastanie. Im ersten Fall handelt es sich immerhin um dieselbe Pflanze, doch erstaunlicherweise ist ein Erntetermin darin enthalten. Erntetermine korrelieren nach unseren Erfahrungen normalerweise schlecht mit anderen Phasen. Die hohe Korrelation zwischen der Vollblüte des Löwenzahns und dem Blattfall der Rosskastanie kann kaum kausal erklärt werden. Bei diesen Korrelationsberechnungen muss klar erkannt werden, dass auch wenn hoch signifikante Beziehungen zwischen zwei Phasen bestehen, nicht notwendigerweise ein kausaler Zusammenhang aufgrund biologischer oder bioklimatologischer Gegebenheiten bestehen muss. Zufälligkeiten können nicht ausgeschlossen werden. Dass zwischen der Vollblüte der Sommer- und Winterlinde in Trient sowie zwischen der Vollblüte des Roten und Schwarzen Holunders in Chaumont I ein enger Zusammenhang besteht, ist nicht erstaunlich. Die hohe Korrelation bei der Station Thusis zwischen der Vollblüte der Kirschen und dem Ende der Heuernte mit 0,8546 ist jedoch aus der Sicht der Biometeorologie nicht erklärbar. Die mittlere Differenz zwischen den beiden Phasen beträgt immerhin 61 Tage.

Bei den tiefsten Korrelationskoeffizienten pro Station treten von den insgesamt 107 Fällen 49 mal Korrelationen zwischen Frühlings- und Herbstphasen auf, das sind 45,8%. Relativ häufig sind auch die Kombinationen zwischen Frühlings- und Sommerphasen, so dass

für Frühling/Frühling- und Herbst/Herbst-Kombinationen nur noch wenige Fälle übrig bleiben. Frühling/Frühling-Kombinationen sind 22 mal (20,5%) zu verzeichnen und Herbst/Herbst-Kombinationen 5 mal (4,7%). Bei den ersten fällt auf, dass sehr häufig die sehr frühen Phänophasen 2 und 47 auftreten, zwei Phasen, die - wie schon früher erklärt (Kap. 6.2.2) - sehr stark streuen. Bei den Herbstphasen sind meist Erntetermine oder der 1. Reif vertreten. Auch darüber wurde schon diskutiert. Die Resultate bestätigen die Annahme, dass die Korrelationen schlechter werden, je grösser die zeitliche Differenz zwischen den Phänophasen ist.

Betrachtet man die mittleren Differenzen zwischen den jeweiligen Phänophasen, so fällt auf, dass bei den höchsten Korrelationskoeffizienten im allgemeinen die Werte der mittleren Differenzen kleiner sind als bei den tiefsten Koeffizienten. Berechnet man den Mittelwert über alle Stationen hinweg, so beträgt er 12,1 Tage bei den höchsten und 103,9 Tage bei den tiefsten Koeffizienten. Dies ist ein weiterer starker Hinweis zur Stützung der These der Abhängigkeit der Korrelationen von den mittleren zeitlichen Differenzen. Es muss aber auch erwähnt werden, dass bei beiden Klassen (höchste und tiefste Werte) Ausreisser vorkommen können, wie zum Beispiel die schon besprochenen Kombinationen 32B X 37N mit einer Differenz von 61 Tagen in Thusis oder 116 Tage in Sion zwischen 36B X 36L und die 202 Tage in Brusio zwischen 9 X 27.

Interessant sind auch die schlechten Ergebnisse trotz kleinen mittleren Differenzen, wovon einige extreme Beispiele aufgeführt werden sollen:

Stationen	n	Koeff.	Phasen	Diff.
Seewis-Dorf	17	0,2589	10 X 11	-14
Reigoldswil	12	-0,0173	25 X 28	23
Flawil	20	-0,0017	27 X 28	-17
Elm	27	0,0051	3 X 17	19
Gadmen	23	-0,1560	3 X 11	-12
Posieux	18	-0,0010	17 X 37M	19
Ponts-de-Martel	26	-0,0001	3 X 10	8
Enges	24	0,0028	3 X 17	15
Escholzmatt	24	0,0015	33B X 37M	24
Zofingen	23	0,1326	4 X 10	17
Tour de Gourze	19	-0,0276	4 X 10	23
Menzonio	20	0,0000	28 X 33E	-8
Locarno	18	-0,0002	28 X 36L	12
Cartigny	26	-0,0068	27 X 31	-21
St. Moritz	18	0,2029	9 X 17	24
Pontresina	14	-0,0253	17 X 37M	17

Wieder fällt die Präsenz der Erntetermine auf. Erstaunlicher sind die schlechten Resultate bei den Frühlingsphasen und Herbstphasen untereinander. So zum Beispiel die schwachen Beziehungen zwischen dem Blattausschuss der Buche und dem Nadelaustrieb der Lärche, zwei vegetative Phasen, die an Bäumen beobachtet werden und von denselben meteorologischen Faktoren beeinflusst werden. Auch bei den höchsten Koeffizienten findet man diese Kombination nur einmal, mit einem relativ schlechten Ergebnis von 0,5262 bei der Station Les Plans-sur-Bex. Die Resultate dürfen jedoch nicht ver-

allgemeinert werden und müssen noch bei der Auswertung der Gesamtheit aller möglichen Korrelationen erhärtet werden.

### 8.3.3 Die höchsten Korrelationskoeffizienten zwischen zwei verschiedenen Phänophasen

Von Interesse sind nicht nur die höchsten Korrelationskoeffizienten pro Station, sondern auch pro Phasenkombination. In Tabelle 11 ist eine entsprechende Korrelationsmatrix der höchsten Koeffizienten für alle berücksichtigten Phänophasen dargestellt. Dabei handelt es sich um eine Auswertung aller 107 ausgewählten Stationen, das heisst der jeweils höchsten Werte aus den 16'825 Koeffizienten. Die Phänophasen sind aufgrund der Kennziffern, wie sie im Beobachtungsprotokoll auftreten, geordnet. Von den 703 möglichen Korrelationskoeffizienten sind 62  $\geq 0,9$  (8,8%) und 157  $\geq 0,8$  (22,3%). Der höchste Wert ist mit 0,9935 bei den Phasen 9 X 15 zu finden (Kap. 8.3.2), der tiefste Absolutbetrag ergibt -0,2126 bei den Phasen 36L X 50. Es handelt sich dabei um zwei Herbstphasen mit kleiner mittlerer Differenz, doch ist wiederum ein Erntetermin vertreten, der erfahrungsgemäss schlecht mit andern Phasen korreliert. Zur Phase 50 (Vollblüte der Herbstzeitlose) soll später noch einiges gesagt werden.

Gesamthaft betrachtet fällt bei dieser Korrelations-Matrix auf, dass vor allem zwischen den Frühlingsphasen sehr hohe Werte bestehen, bis etwa zur Phase 18 inklusive die Blühphasen der Obstbäume (32B, 33B, 34B). Dabei fallen die sehr frühen Phasen (2 und 47) ab, wie dies schon im Kapitel 8.3.2 bemerkt wurde, sowie die Frühlingsphasen der Weinrebe (36K und 36B). Eine gewisse Konzentration von guten Korrelationen findet man wieder innerhalb der Frühsommer- und Sommerphasen (19, 20, 21, 23). Dabei fallen die hohen Korrelationen zwischen den Phasen 19 X 23 auf, was aber nicht weiter erstaunlich ist, handelt es sich doch um die Vollblüte der Sommer- und Winterlinde. Bei den Herbstphasen findet man wieder gute Korrelationen zwischen den Phasen 26 bis 30, ohne die Erntephasen, den 1. Reif sowie die Phase 50 (Vollblüte der Herbstzeitlose).

Von besonderem Interesse sind die Resultate zwischen den Phasen, die an denselben Pflanzen beobachtet werden. Sie sind im folgenden zusammengestellt:



<u>Phänophasen</u>	<u>Pflanzenart</u>	<u>Koeffizienten</u>
47 X 3	Haselstrauch	0,8312
6 X 7	Rosskastanie	0,8867
6 X 26	"	0,6099
7 X 25	"	0,7995
26 X 27	"	0,8748
10 X 28	Buche	0,6169
28 X 30	"	0,8345
32B X 32E	Kirschen	0,8122
33B X 33E	Aepfel	0,6958
34B X 34E	Birnen	0,6026
36K X 36B	Weinrebe	0,7005
36B X 36L	"	0,8124
36K X 36L	"	0,4897

Erwartungsgemäss sind - diese Korrelationen im allgemeinen recht gut, wobei auch hier wieder zum Ausdruck kommt, dass eine Beziehung zu den mittleren zeitlichen Differenzen zwischen den Phasen besteht. So sinkt der Koeffizient bei den folgenden Kombinationen unter 0,8: 6 X 26, 7 X 25, 10 X 28, 33B X 33E, 34B X 34E, 36B X 36L und 36K X 36L. Der tiefste Wert ist bei den Phasen 36K X 36L zu finden, zwei Phasen, die zeitlich sehr weit auseinander liegen. Die Phase 36K (Bluten der Reben) ist nicht ganz einfach zu bestimmen und die Phase 36L (Weinlese) hängt von anthropogenen Faktoren sowie den kurzfristigen Witterungseinflüssen ab.

Auf die einzelnen Phänophasen bezogen, weisen folgende Stadien nur wenige hohe Korrelationen auf: 2, 19, 23, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 47, 33E, 34E, 36B, 36L, 37M und 37N. Dabei fällt auf, dass wieder die Fruchtreifephase (Erntetermine) sowie die Sommer- und Herbstphasen stark vertreten sind. Auf die erste Kategorie muss nicht mehr eingegangen werden. Bei den Sommer- und Herbstphasen muss nochmals darauf hingewiesen werden, dass weniger Phasen beobachtet wurden und somit die Wahrscheinlichkeit von guten Resultaten sinkt. Die sehr frühen Phasen 2 und 47 sind diesbezüglich schon mehrmals aufgefallen. Es muss angenommen werden, dass die Bereitschaft zur Vollblüte des Haselstrauches und des Huflattichs während des ganzen Winters - eventuell nach einer Periode von tiefen Temperaturen (Vernalisation) - potentiell vorhanden ist. Es braucht nur noch eine kurze Schönwetterperiode mit hohen Temperaturen und genügend Sonneneinstrahlung, um die Phasen zu induzieren. So können sie in einzelnen Jahren schon im Januar, in anderen Jahren erst im März beobachtet werden. Dies bewirkt eine grosse Variabilität der Phasen, welche die späteren Frühlingsphasen nicht mehr so stark mitmachen. Diese brauchen eine längere Wärmeperiode im Frühling, bis ihre Blüh- oder Austreibbereitschaft vorhanden ist. Keine hohen Korrelationskoeffizienten ( $\geq 0,8$ ) weisen folgende Phasen auf: 25, 50, 36K. Die Phasen 36K (Bluten der Weinreben) und 25 (Fruchtreife der Rosskastanie) sind nicht leicht und eindeutig zu bestimmen. Auch die Phase 50 ist bei den schlechten Resultaten schon aufgefallen. Es handelt sich dabei um eine Herbstphase (Vollblüte der Herbstzeitlose), wo - wie schon erwähnt - nur wenige Beobachtungen vorhanden sind. Zudem ist es zu diesem Zeitpunkt die einzige Phänophase, die an Kräutern beobachtet wird. Alle weiteren Herbstphasen beziehen sich auf Bäume. Auf welche Witterungseinflüsse die Phase 50 rea-

giert, ist nicht einfach herzuleiten und muss noch besser untersucht werden (Kap. 10).

Unter der Annahme, dass generative Phasen (Blühphasen, Fruchtreife) und vegetative Phasen (Wachstumsphasen) untereinander besser korrelieren als generative mit vegetativen, als Folge unterschiedlicher Witterungsansprüche (Kap. 8.1), wurden bei diesen drei Kategorien die möglichen Kombinationen noch speziell untersucht. Aus der Zusammenstellung der höchsten Koeffizienten wurden aufgrund der vorangehenden Kriterien diejenigen  $\geq 0,9$  herausgesucht.

	<u>Anzahl</u>	<u>mögl. Korr.</u>	<u>§</u>
generativ X generativ	24	253	9,5
vegetativ X vegetativ	14	66	21,2
generativ X vegetativ	23	198	11,6

Aus der Verteilung der möglichen Fälle können die erwarteten Fälle pro Kombination berechnet werden. Mittels des  $\chi^2$ -Tests (Chi-Quadrat-Test) wurden die Abweichungen statistisch gesichert.

beobachtet	erwartet	Differenz	Diff. <sup>2</sup> /erw.
24	29,8	-5,8	1,13
14	7,8	6,2	4,93
23	23,4	-0,4	0,01

$$\chi^2 = 6,07$$

FG (Freiheitsgrade) = 2

$$\chi^{2*} = 5,991 \quad P = 0,05 \quad \text{--->} \chi^2 > \chi^{2*}$$

Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% kann die Nullhypothese zurückgewiesen werden, das heisst, die beobachteten Werte weichen signifikant von den erwarteten ab.

Weniger gut sieht es bei den Koeffizienten  $\geq 0,8$  aus.

	<u>Anzahl</u>	<u>mögl. Korr.</u>	<u>§</u>
generativ X generativ	64	253	25,3
vegetativ X vegetativ	24	66	36,4
generativ X vegetativ	57	198	28,8

Die Ergebnisse des  $\chi^2$ -Tests sehen wie folgt so aus:

beobachtet	erwartet	Differenz	Diff. <sup>2</sup> /erw.
64	70,9	-6,9	0,07
24	18,6	5,4	1,57
57	55,5	1,5	0,004

$$\chi^2 = 1,68$$

FG = 2

$$\chi^{2*} = 3,219 \quad P = 0,20 \quad \text{---->} \chi^2 < \chi^{2*}$$

Die Nullhypothese lässt sich nicht verwerfen, das heisst, die Abweichungen sind rein zufällig. Diese Statistik zeigt, dass bei den sehr hohen Korrelationskoeffizienten ( $\geq 0,9$ ) eine signifikante Abweichung zwischen den erwarteten und beobachteten Werten festgestellt werden kann. Bei den Koeffizienten ( $\geq 0,8$ ) sind diese Abweichungen hingegen rein zufällig. Bei den höchsten Koeffizienten ( $\geq 0,9$ ) wurden bei den Korrelationen zwischen den generativen Phasen (Blühphasen, Fruchtreife etc.) weniger Fälle beobachtet als erwartet, während bei den vegetativen Phasen (Wachstumsphasen, Blattaussbruch etc.) mehr Fälle als erwartet beobachtet wurden. Dies bedeutet, dass die vegetativen Phasen im Gegensatz zu den generativen Phasen häufiger hoch korrelieren als erwartet. Dies entspricht der Theorie, die davon ausgeht, dass zur Bestimmung der vegetativen Phasen der längerfristige Witterungsverlauf massgebend ist, während bei den generativen Phasen zusätzlich kurzfristige Witterungserscheinungen (Strahlungstage) massgebend sind. Dies kann bei den Blühphasen sehr schön beobachtet werden. Wenn die Pflanze ein bestimmtes Entwicklungsstadium erreicht hat, braucht es lediglich noch einige Schönwettertage (Strahlungstage), um die Pflanze zum Blühen zu bringen. Bei den vegetativen Phasen handelt es sich um längerfristige Prozesse. So kann zum Beispiel der Blattaussbruch kaum noch von einer kurzen Schlechtwetterperiode gestoppt, höchstens noch etwas verzögert werden. Dieser Ansatz muss noch erhärtet werden (Kap. 10); und es müsste bestätigt werden, dass das Gesetz der Temperatursummen bei vegetativen Phasen besser spielt als bei den generativen. Die Anzahl der hohen Korrelationen zwischen den vegetativen und generativen Phasen entspricht den Erwartungen.

Diese Aussagen dürfen nicht verallgemeinert werden, da in diese Untersuchung lediglich die höchsten Koeffizienten pro Phasenkombination einfließen. Sie müssen noch anhand des gesamten Datenkollektivs überprüft werden.

#### 8.3.4 Relative Häufigkeiten der Korrelationskoeffizienten pro Phänophasenkombination

Untersucht wurden die Korrelationskoeffizienten  $\geq 0,8$  von 147 Phasenkombinationen der Periode 1951-86. Wie bereits im Kapitel 8.2 erwähnt, ist der Vergleich der Häufigkeiten der hohen Korrelationskoeffizienten problematisch, da die Anzahl der möglichen Korrelationen für jede Station verschieden ist. Um diese Schwäche der Auswertungen etwas zu verbessern, wurden Verhältniszahlen der hohen Korrelationen zu den möglichen Korrelationen (in Prozenten) gebildet. Bei Phasenkombinationen mit sehr vielen möglichen Korrelationen ist somit die Vergleichbarkeit gewährleistet. Vorsichtig muss man bei den Interpretationen sein, wenn nur wenige mögliche Korrelationen existieren. Um die sehr hohen Korrelationen ( $\geq 0,9$ ) stärker zu bewerten, wurden diese doppelt gezählt. Aus der Summe der Koeffizienten ( $\geq 0,8$ ) und ( $\geq 0,9$ ) wurde der gewichtete Wert gebildet, der in Prozenten der jeweils möglichen Korrelationen ausgedrückt wurde. In der Tabelle 12 sind alle Angaben enthalten und geordnet anhand der Prozentzahlen der gewichteten Werte. Infolge der unterschiedlichen Anzahl von möglichen

Korrelationen darf diese Rangfolge nicht als absolut gültig betrachtet werden, gewisse Tendenzen lassen sich aber erkennen.

In den vordersten Rängen sind häufig die Blühphasen der Obstkulturen vertreten. Bis zum Rang 9 treten überdies nur Blühphasen (generative Phasen) auf. Erst im Rang 10 kommt die erste vegetative Phase (Blattfall). Die erste vegetative Frühlingsphase (Blattausbruch) ist sogar erst in Rang 11 anzutreffen. Eine Kombination zwischen vegetativen und generativen Phasen tritt erstmals im Rang 18 auf. Diese Aussagen widersprechen den im Kapitel 8.3.3 gemachten Erfahrungen, dass vegetative Phasen häufiger als erwartet hoch korrelieren im Gegensatz zu den generativen Phasen. Es muss diesbezüglich die Gesamtheit aller Resultate ausgewertet werden. In den hintersten Rängen fällt auf, dass alle möglichen Kombinationen - generative, vegetative und anthropogene Phasen sowie der 1. Reif - vorkommen. Hier ist keine eindeutige Tendenz mehr feststellbar. Einige Resultate, die nicht erwartet werden konnten, sollen noch erwähnt werden. Erstaunlich sind die schlechten Resultate bei den Kombinationen 6 X 7, 32B X 32E und 3 X 47. Es handelt sich dabei um Phasen, die an denselben Pflanzen beobachtet werden, und beim Haselstrauch (3 X 47) ist auch der zeitliche Abstand zwischen diesen Phasen relativ klein. Der Grund des schlechten Abschneidens mag darin liegen, dass die Phase 47 viel stärker variiert als die Phase 3 (Kap. 6.3.3). Auch die Kombination 10 X 11 fällt wieder negativ auf, wie schon in Kapitel 8.3.2 aufgezeigt wurde.

Aufgrund der Rangfolge der Phasenkombinationen wurde auch untersucht, ob signifikante Unterschiede zwischen Beobachtungen an Kräutern, Sträuchern und Bäumen festgestellt werden können. Sie wären theoretisch möglich, sind doch die photosynthetisch aktiven Pflanzenteile in recht unterschiedlichen Höhen über dem Boden und somit in verschiedenen mikroklimatischen Bereichen anzutreffen. Mangels genügend grosser Anzahl von Daten wurden die Sträucher und Bäume in einer Klasse zusammengefasst. Dies ist umso mehr gerechtfertigt als die Höhen von Sträuchern und Bäumen nicht streng trennbar sind. Für diese spezielle Auswertung wurden die mittleren Rangierungen der folgenden Kombinationen berechnet:

		<u>Anzahl</u>	<u>mittl. Rang</u>
Bäume/Sträucher	X Bäume/Sträucher	90	53,3
Bäume/Sträucher	X Kräuter	40	57,8
Kräuter	X Kräuter	5	61,4

Leider wurde die Kombination (Kräuter X Kräuter) nur fünfmal gefunden, so dass diese Werte nicht aussagekräftig sind. Ansonsten konnte aber kein signifikanter Unterschied zwischen den verschiedenen Stockwerken der Vegetation gefunden werden.

Auch die mittlere Rangfolge der Kombinationen zwischen vegetativen und generativen Phasen wurde berechnet:

	<u>Anzahl</u>	<u>mittl. Rang</u>
vegetativ X vegetativ	23	49,4
generativ X generativ	59	54,7
vegetativ X generativ	53	57,6

Der mittlere Rang über alle Phasen beträgt 54,9. Diese Unterschiede sind aber laut  $\chi^2$ -Test nicht signifikant. Der mittlere Rang der Phasenkombinationen zwischen den generativen Phasen beträgt 54,7 und entspricht ziemlich genau dem erwarteten Wert von 54,9. Bei den Korrelationen zwischen den vegetativen Phasen ist der mittlere Rang mit 49,4 etwas besser als erwartet, das heisst, die Korrelationskoeffizienten zwischen den vegetativen Phasen sind tendenziell etwas besser als bei den anderen Kombinationen. Bei den Korrelationen zwischen generativen und vegetativen Phasen ist der mittlere Rang mit 57,6 leicht höher als der erwartete. Diese Korrelationen sind im Mittel etwas schlechter als die übrigen, was wieder die Theorie bestätigt, dass Korrelationen zwischen generativen, respektive vegetativen, Phasen besser sind als diejenigen zwischen generativen und vegetativen. Diese Annahme konnte jedoch statistisch nicht gesichert werden. Eine Untersuchung, die alle Koeffizienten berücksichtigt, ist also absolut notwendig.

### 8.3.5 Anzahl Korrelationskoeffizienten $\geq 0,8$

Im vorangehenden Kapitel wurden die Korrelationen zwischen zwei Phänophasen behandelt und die Rangfolge der Phasenkombinationen diskutiert. Aufgrund der Kenntnisse der Phasen, die gut miteinander korrelieren, kann ein Plausibilitätsprogramm entwickelt werden, das die fragwürdigen Daten eruiert. Damit könnten falsche Daten (z.B. Monatsfehler) korrigiert und eventuell sogar fehlende Daten interpoliert werden. Von Interesse sind aber nicht nur die Beziehungen zwischen den Phasen, sondern auch die Kenntnis, welche Phasen häufig mit andern gut korrelieren. Für die Beantwortung dieser Frage wurde die Anzahl der hohen Korrelationen ( $\geq 0,8$ ) für den Zeitraum 1951-86 pro Phänophase aufgelistet (Tab. 13). Die absoluten Zahlen geben aber wieder kein repräsentatives Bild, da die Zahl der möglichen Korrelationen nicht für alle Phasen gleich gross ist (Kap. 8.3.4). Deshalb wurde der relative Anteil der hohen Korrelationen ( $\geq 0,8$ ) in Prozenten der Anzahl der möglichen Korrelationen berechnet und der Tabelle angefügt. Die Phänophasen wurden aufgrund der Prozentzahlen geordnet. Bei den Phasen, die prozentual am häufigsten hoch korrelieren, ist zu bemerken, dass vor allem die Blühphasen der Obstkulturen auftreten. Bis zum Rang 5 sind lediglich Blühphasen und bis zum Rang 14 nur Frühlingsphasen vertreten. Im Rang 15 findet man die erste Sommer- und im Rang 18 die erste Herbstphase. Da die Frühlingsphasen im phänologischen Beobachtungsprogramm überwiegen, ist die Wahrscheinlichkeit von vielen hohen Korrelationen bei diesen Phasen grösser, da die Höhe der Korrelationen direkt von der zeitlichen Differenz zwischen den kombinierten Phasen abhängt. Eine Ausnahme bei den Frühlingsphasen bilden die Phasen 10 und 4 (Rang 16 und 17). Die Buschwindröschen (Phase 4) sind vor allem im Wald - mit seinem speziellen Bestandesklima - anzutreffen. Dort besteht ein ausgeglichener Temperaturverlauf und eine höhere Luftfeuchtigkeit. Somit besteht die Möglichkeit, dass sich das Buschwindröschen im homogenen Klimabereich kontinuierlicher entwickeln kann als die Kräuter auf der frei exponierten Wiese oder die Blätter des Kronendaches des Waldes, die stärker den Witterungsextremen ausgesetzt sind. Entsprechend kann auch keine so gute

Beziehung zwischen der Phase 4 und anderen Frühlingsphasen erwartet werden. Dieser Frage wird im Kapitel 10 nachgegangen. Beim Blattausbruch der Buche (Phase 10) ist ein Grund für das schlechte Abschneiden weniger offensichtlich. Schon weiter vorn wurde auf die schlechte Korrelation zwischen den Phasen 10 und 11 (Nadeltrieb der Lärche) hingewiesen. Auch von Förstern wurde bestätigt, dass der Blattausbruch der Buche eigenen, unerfindlichen Gesetzen gehorcht. Weit hinten in der "Rangliste" befinden sich die Phasen 47 und 2. Auf die kurzfristigen Witterungseinflüsse, welche die Termine dieser zwei Phasen beeinflussen, wurde in Kapitel 8.3.3 hingewiesen. Am Ende der Tabelle befinden sich vor allem die Erntetermine (Fruchtreife) sowie die Phase 31 (1. Reif). Auch die schwer bestimmbare Phase 36K (Blüten der Reben) ist in den hinteren Rängen angesiedelt. Die meisten dieser Phasen werden von kurzfristigen Witterungseinflüssen bestimmt oder sind nur schwer eruierbar. Bei der Phase 50 (Vollblüte der Herbstzeitlose) liegen die Gründe des schlechten Abschneidens nicht auf der Hand. Ein wesentlicher Grund mag darin liegen, dass im Herbst, abgesehen von der Herbstzeitlose, keine Wiesenpflanzen beobachtet werden. Die Einflussgrößen, die das Blühen der Herbstzeitlose oder die Laubverfärbung respektive den -fall bewirken, dürften kaum dieselben sein. So kann eine Trockenperiode eine verfrühte Laubverfärbung oder eine kurzfristige Witterungsperiode (Sturmwinde, Frost) den Laubfall bewirken. Für den Zeitpunkt der Vollblüte der Herbstzeitlose sind determinierende Witterungseinflüsse weniger offensichtlich. Wärme und Strahlung sind im Sommer und Herbst im Normalfall ausreichend vorhanden. Ob Trockenstress das Blühverhalten zu beeinflussen vermag, wird noch eingehender untersucht werden (Kap. 10). Der Blühtermin der Herbstzeitlose ist auch stark vom Termin des ersten oder zweiten Emdschnittes abhängig, da dadurch die Pflanzen geköpft werden (mündliche Mitteilung von Prof. G. Gensler).

Die Ergebnisse bestätigen mehr oder weniger die Erkenntnisse, die schon in früheren Kapiteln gemacht wurden. Tabelle 13 zeigt für die praktische Anwendung, welche Phasen mittels Korrelationsmodellen leicht kontrollier- und korrigierbar sind und welche kaum mit anderen Phasen korrelieren.

#### 8.3.6 Relative Häufigkeiten der Korrelationskoeffizienten pro Station

Während im Kapitel 8.3.4 die relativen Häufigkeiten der Korrelationskoeffizienten pro Phasenkombination besprochen wurden und im Kapitel 8.3.5 die Anzahl der Korrelationskoeffizienten pro Phänophase, sollen nun noch die Häufigkeiten der hohen Korrelationskoeffizienten (1951-86) pro Station behandelt werden (Tab. 14). Für die Auswertung wurde die Anzahl der Korrelationskoeffizienten  $\geq 0,8$  und  $\geq 0,9$  pro Station ermittelt. Analog zur Tabelle 12 wurden die Werte gewichtet, indem die Anzahl der Koeffizienten  $\geq 0,9$  doppelt gezählt wurden. Das Problem der Vergleichbarkeit stellt sich auch hier wieder infolge der unterschiedlichen Anzahl Korrelationen pro Station. Deshalb wurde bei der Tabelle 14 eine Spalte mit der Anzahl der möglichen Korrelationen pro Station angefügt und die Resultate in Prozenten der möglichen Korrelationen

ausgedrückt. Die Rangfolge wurde somit aufgrund der Prozentzahlen der gewichteten Werte erstellt. Bei der Interpretation der Resultate ist bei den Stationen mit wenigen möglichen Korrelationen Vorsicht geboten.

Betrachtet man die ersten 20 Ränge der Zusammenstellung, so fällt auf, dass Stationen von allen Regionen der Schweiz vertreten sind. Dasselbe gilt auch für den letzten Rang, wo die Stationen ohne Korrelationskoeffizienten  $\geq 0,8$  figurieren. Regionale Unterschiede bezüglich der Häufigkeiten der hohen Korrelationen können somit nicht festgestellt werden. Bei den letztplazierten Stationen ist zu erwähnen, dass es sich eher um höhergelegene Orte handelt, während in den vordersten Rängen häufig tiefergelegene Stationen vorkommen. Aufgrund dieser Beobachtung wurde eine Statistik der Rangfolge und Höhenlage erstellt, mit der nachstehenden Klasseneinteilung:

- 1:  $\leq 400$  m/M
- 2: 401 - 600 m/M
- 3: 601 - 800 m/M
- 4: 801 - 1000 m/M
- 5: 1001 - 1200 m/M
- 6: 1201 - 1400 m/M
- 7:  $> 1400$  m/M

Pro je 10 Ränge wurden dann die mittleren Höhenstufen berechnet, was zu den folgenden Ergebnissen führte:

<u>Rang</u>	<u>mittl. Höhenstufe</u>
1 - 10	2,8
11 - 20	4,3
21 - 30	2,1
31 - 40	2,8
41 - 50	3,4
51 - 60	3,3
$> 60$	5,0

Ein eindeutiges Ergebnis geht aus dieser Statistik nicht hervor. Offensichtlich wird, dass ab Rang 41 die oberen Höhenstufen überwiegen. Diese Erkenntnis muss jedoch etwas relativiert werden, da mit steigender Höhe im allgemeinen die Anzahl der möglichen Korrelationen kleiner wird.

Die Ergebnisse in Tabelle 14 zeigen, welche Stationen häufig hohe Korrelationen aufweisen. Sie bringen aber keine grundlegend neuen Erkenntnisse, da weder eine Regionalisierung noch eine Höhenabhängigkeit eindeutig feststellbar ist.

### 8.3.7 Gesamtheit der Korrelationen zwischen verschiedenen Phänomenen derselben Station

Bisher wurden lediglich die sehr guten Korrelationen, im Kapitel 8.3.2 zusätzlich auch die schlechtesten, berücksichtigt und besprochen. An verschiedenen Stellen wurde darauf hingewiesen, dass

die Resultate noch anhand einer Gesamtauswertung verifiziert werden müssen. Um eine Gesamtübersicht zu erhalten, wurden die Korrelationskoeffizienten pro Phasenkombination der Jahre 1951 bis 1986 in Klassen eingeteilt. Die Klassenbreite wurde mit 0,2 so gewählt, dass fünf Klassen entstehen und die Korrelationen  $\geq 0,8$  in einer Klasse zusammengefasst sind. Wieder besteht aus der Sicht der Statistik der Nachteil, dass pro Phasenkombination unterschiedliche Anzahlen von Fällen existieren. Deshalb musste man sich wieder auf Prozentzahlen abstützen. Bei den Phänophasen der Weinreben (36K, 36B und 36L) sind zu wenig Daten vorhanden, um eine gültige Aussage machen zu können.

Pro Phase wurde eine Gesamthäufigkeit (über alle Phasen) ermittelt, welche auch graphisch dargestellt wurde. Diese Zusammenfassungen sollen zuerst diskutiert werden. Es wurde versucht, die Graphiken der relativen Häufigkeiten der Korrelationskoeffizienten in Gruppen ähnlicher Erscheinungsbilder einzuteilen. So konnten drei Gruppen gebildet werden, die sich mehr oder weniger deutlich voneinander abheben. Die Zuordnung präsentiert sich wie folgt:

Gruppe 1: 2,19,23,25,26,27,28,29,30,31,47,50,33E,34E,36K,  
36B,36L,37M,37N.

Gruppe 2: 3,4,7,10,11,16,17,20,21,32E.

Gruppe 3: 6,9,12,14,15,18,32B,33B,34B.

Zur Aufteilung ist zu bemerken, dass die Gruppen 2 und 3 relativ ähnlich sind und die eine oder andere Phase ebenso gut in die andere Gruppe passen würde. Die Gruppe 1 hingegen hebt sich deutlich von den zwei andern ab.

Die Gruppe 1 ist charakterisiert durch die grösste Häufigkeit bei den tiefen Korrelationskoeffizienten. Es sind also die Phasen, die nur selten mit andern hoch korrelieren. Dazu gehören die sehr frühen Phasen 2 und 47, die auch eine grosse Streuung aufweisen und die Sommer- und Herbstphasen, die weniger stark vertreten sind und bei denen deshalb auch die Möglichkeit von guten Korrelationen geringer ist. Hier sind auch alle Phasen der Weinreben anzutreffen, die keine statistische Aussage erlauben, da zu wenig Werte vorhanden sind, sowie die Reifephasen (Erntephasen), mit Ausnahme der Kirschenernte. Bei den schlechten Korrelationen sind die Phänophasen, die schlecht beobachtbar sind (z.B. 25, 36K), die einzige Herbstphase in der Krautschicht (50) sowie die nicht phänologische Phase 31 (1. Reif) anzutreffen. Es sind wieder diejenigen Phasen, die schon bei der Betrachtung der hohen Korrelationen entsprechend aufgefallen sind (Kap. 8.3.4).

Bei der Gruppe 2 sind die Häufigkeitsverteilungen wesentlich flacher. Im Gegensatz zur Gruppe 3 sind aber die tiefen Korrelationen noch sehr stark vertreten. Hier sind vor allem die Frühlingsphasen anzutreffen, die unter sich eine recht gute Beziehung aufweisen. Es sind aber auch Phasen vertreten, die schon dem Frühsommer anzurechnen sind (16,21,32E). Dadurch werden die zeitlichen Differenzen zwischen den Phasen grösser, was die schlechteren Ergebnisse verursachen mag.

Bei der Gruppe 3 sind alle Häufigkeiten ungefähr gleich stark vertreten, mit Ausnahme der höchsten Koeffizienten. Es handelt



sich dabei um die typischen Frühlingsphasen, die zeitlich sehr nahe beieinander liegen.

Die in den vorangehenden Kapiteln gemachten Aussagen können mit der Auswertung der Gesamtheit aller Korrelationen bestätigt werden.

Die Häufigkeiten der Korrelationskoeffizienten der einzelnen Phasenkombinationen sollen noch detailliert diskutiert werden, ohne dass das umfangreiche Tabellenmaterial beigefügt wird. Als Häufigkeitsverteilungen mit eher hohen Korrelationskoeffizienten sollen diejenigen bezeichnet werden, die eine eindeutig rechtsschiefe Verteilung aufweisen. Um dies nicht bei jeder Phase zu wiederholen, sollen sie mit A bezeichnet werden. Unter B ist jeweils die Phase zu verstehen, die den grössten Anteil sehr hoher Koeffizienten ( $\geq 0,8$ ) aufweist.

Phase 2: A: 4,9,15,32B (Blühphasen im Frühling)  
B: 4

Phase 3: A: 6,9,10,11,14,15,17,18,32B,33B,34B  
(Blüh- und Blattausbruchphasen im Frühling)  
B: 6

Phase 4: A: 2,3,6,9,11,14,15,17,18,32B,33B,34B  
(Blüh- und Blattausbruchphasen im Frühling)  
B: 14

Phase 6: A: 3,4,7,9,10,11,12,14,15,18,20,32B,33B,34B  
(Blüh- und Blattausbruchphasen im Frühling)  
B: 3  
Abgesehen von der Phase 7 fallen die übrigen an der Rosskastanie beobachteten Phasen nicht speziell auf.

Phase 7: A: 6,9,10,12,14,15,17,18,20,32B,33B,34B  
(Blüh- und Blattausbruchphasen im Frühling)  
B: 12 (50%  $\geq 0,8$  und 80%  $\geq 0,6$ )

Phase 9: A: 3,4,6,7,11,12,14,15,16,18,32B,33B,34B  
(Blüh- und Blattausbruchphasen im Frühling)  
B: 15 (nur Klassen  $\geq 0,4$  vertreten)

Phase 10: A: 3,6,7,12,14,15,18,32B,33B,34B  
(Blüh- und Blattausbruchphasen im Frühling)  
B: 6  
Auffallend sind die relativ schlechten Korrelationen mit den anderen Phänophasen, die an der Buche beobachtet werden, sowie mit der Phase 11.

Phase 11: A: 3,6,9,14,15,17,18,32B,33B,34B  
(Blüh- und Blattausbruchphasen im Frühling)  
B: 6  
Sehr stark rechtsschief ist die Verteilung bei den Phasen 14 und 15.

- Phase 12: A: 6,7,9,10,14,15,16,17,18,32B,33B,34B  
(Blüh- und Blattausbruchphasen im Frühling)  
B: 7
- Phase 14: A: 7,9,10,11,12,15,17,18,,32B,33B,34B  
(Blüh- und Blattausbruchphasen im Frühling)  
B: 4  
Auffallend sind die stark rechtsschiefen Verteilungen bei den Phasen 11 und 15.
- Phase 15: A: 3,4,6,9,10,11,12,14,18,32B,33B,34B  
(Blüh- und Blattausbruchphasen im Frühling)  
B: 32B. (aber auch die Phasen 9,14 und 18 weisen eine sehr starke rechtsschiefe Verteilung auf)
- Phase 16: A: 9,12,21  
(neben Frühlingsphasen sind auch Frühlingsommerphasen vertreten)  
B: 12
- Phase 17: A: 6,7,11,12,14,18,32B,33B,34B  
(Blüh- und Blattausbruchphasen im Frühling)  
B: 12
- Phase 18: A: 3,4,6,7,9,10,11,12,14,15,20,32B,33B,34B  
(Blüh- und Blattausbruchphasen im Frühling)  
B: 32B (ebenfalls eine sehr starke rechtsschiefe Verteilung weist die Phase 15 auf)
- Phase 19: A: 23  
B: 23  
Leicht rechtsschief ist noch die Verteilung bei der Phase 21. Bei der Phase 23 handelt es sich um den nächsten Verwandten der Sommerlinde, um die Winterlinde.
- Phase 20: A: 14,15,18,32B,34B  
(Blüh- und Blattausbruchphasen im Frühling)  
B: 18
- Phase 21: A: 19,20,23  
(Blühphasen im Sommer)  
B: 20 (es handelt sich um den verwandten Roten Holunder)
- Phase 23: A: 19  
B: 19 (Vollblüte der Sommerlinde)
- Phase 25: A: -  
B: -  
Es handelt sich um eine schwer bestimmbare Phase (Fruchtreife), die zudem zu einer Zeit auftritt, in der nur wenige Phänophasen beobachtet werden.

Phase 26: A: 27, 28  
(Herbstphasen, welche ebenfalls die Laubverfärbung kennzeichnen, sowie Laubfall derselben Pflanze)  
B: 28

Phase 27: A: 28, 29, 30 (Herbstphasen)  
B: 30 (ebenfalls Laubfallphase)

Phase 28: A: 26, 27, 29, 30 (Herbstphasen)  
B: 26 (ebenfalls Laubverfärbungsphase)

Phase 29: A: 27, 28, 30 (Herbstphasen)  
B: 30 (ebenfalls Laubfallphase)

Phase 30: A: 27, 28, 29 (Herbstphasen)  
B: 27 (ebenfalls Laubfallphase)

Phase 31: A: -  
B: 9 (diese eine hohe Korrelation muss als Zufall gewertet werden)  
Auffallend sind die schlechten Korrelationen mit den Laubverfärbungsphasen, obschon vielfach zu lesen ist, dass Frühfrost die Laubverfärbung fördere.

Phase 32B: A: 3, 4, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 33B, 34B  
(Blüh- und Blattausbruchphasen im Frühling)  
B: 34B (extrem rechtsschiefe Verteilung weisen auch die Phasen 15 und 18 auf)

Phase 32E: A: -  
B: 18

Phase 33B: A: 3, 6, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 17, 18, 32B, 34B, 36K  
(Blüh- und Blattausbruchphasen im Frühling)  
B: 34B

Phase 33E: A: -  
B: 34E

Phase 34B: A: 4, 6, 7, 11, 12, 14, 15, 18, 20, 32B, 33B  
(Blüh- und Blattausbruchphasen im Frühling)  
B: 33B (ebenfalls stark rechtsschiefe Verteilung bei der Phase 32B)

Phase 34E: A: -  
B: 33E

Bei den Phasen der Obstkulturen fällt auf, dass unter ihnen eine sehr starke Korrelation besteht.

Phase 36K: A: -  
B: -

Phase 36B: A: -  
B: 36L

Phase 36L: A: -

B: 36B

Bei den Phasen der Weinreben sind zu wenige Daten für eine aussagekräftige Statistik.

Phase 37M: A: -

B: 20

Phase 37N: A: -

B: 20

Phase 47: A: 2

B: 2 (ebenfalls frühe Frühlingsphase)

Phase 50: A: -

B: -

Die Gesamtauswertung brachte keine prinzipiell neuen Erkenntnisse. Sie hat aber diejenigen Resultate bestätigt, die schon bei der Auswertung der hohen Korrelationen erkannt wurden. Es konnte nochmals eindrücklich gezeigt werden, dass vor allem diejenigen Phasen hoch untereinander korrelieren, die zeitlich kurz nacheinander auftreten.

#### 8.4 Schlussbemerkungen

Es wurden vor allem die hohen Korrelationskoeffizienten zwischen verschiedenen Phänophasen innerhalb denselben Stationen untersucht. Allgemein konnte festgestellt werden, dass eine Beobachtungsreihe von 20 Jahren repräsentative, statistische Aussagen erlaubt. Die Beziehungen zwischen den Phänophasen sind direkt abhängig von der zeitlichen Differenz zwischen den untersuchten Phasen. So korrelieren Frühlings-, Sommer- und Herbstphasen gut untereinander, während Frühlings- mit Herbstphasen nur schwach korrelieren. Je näher zwei Phasen zeitlich beieinander liegen, desto ähnlicher sind die Einflussgrößen, denen sie ausgesetzt waren. Eine Ausnahme bilden die zwei sehr frühen Phasen (Vollblüte des Huflattichs und der Hasel), die stark streuen und deshalb selten hoch mit anderen Frühlingsphasen korrelieren. Diese Phasen besitzen schon sehr früh im Winter die Bereitschaft zum Blühen und benötigen nur noch einen letzten Wärmeschub (Schönwetterperiode). Phasen, die von kurzfristigen Witterungsepisoden oder anthropogenen Eingriffen beeinflusst werden, korrelieren allgemein nur schlecht mit andern Phänophasen (Erntetermine, 1. Reif etc.). Bei den allerhöchsten Koeffizienten ( $\geq 0,9$ ) konnte nachgewiesen werden, dass die vegetativen Phasen (Wachstumsphasen) untereinander häufiger hoch korrelieren als erwartet. Bei diesen Phasen sind die längerfristigen Witterungseinflüsse massgebend, während bei den generativen Phasen die kurzfristigen Witterungsereignisse stark mitbestimmen. Allgemein sind jedoch die Blühphasen bei den Koeffizienten  $\geq 0,8$  sehr stark vertreten und bei den relativen Häufigkeiten in den vordersten Rängen zu finden. Eine bemerkenswerte Ausnahme bilden dabei die Phasen 10 und 11 (Blattausbruch der Rotbuche und Nadelaustrieb der Lärche). Obschon es sich dabei

um denselben physiologischen Prozess handelt, der fast gleichzeitig im ähnlichen mikroklimatischen Bereich (Stockwerk der Vegetation) stattfindet, sind die Beziehungen zwischen diesen beiden Phasen nur schwach. Signifikante Unterschiede bei den Korrelationen zwischen den verschiedenen Stockwerken der Vegetation konnten nicht gefunden werden. Ebenso kristallisierte sich keine Regionalisierung bei den hohen Korrelationskoeffizienten aus, und eine Höhenabhängigkeit zeichnete sich nur andeutungsweise ab. Bei allen Untersuchungen konnten die folgenden Aussagen bestätigt werden:

- Gute Korrelationen der Frühlingsphasen untereinander (ohne Phase 2 und 47)
- Schlechte Korrelationen zwischen Phasen, die zeitlich weit auseinander liegen (Frühling/Herbst)
- Schlechte Beziehungen zwischen Erntetermin, 1. Reif und den übrigen Phasen
- Signifikante Unterschiede zwischen generativen und vegetativen Phasen

Da diese Ergebnisse trotz den statistischen Schwächen der Auswertungen (ungleiche Anzahl Beobachtungsjahre bei den verschiedenen Stationen) bei verschiedenen Untersuchungen gefunden werden konnten, müssen sie als starkes Indiz für ihre allgemeine Gültigkeit bewertet werden. Eine Auswertung aller Korrelationskoeffizienten brachte keine neuen Erkenntnisse mehr. Sie bestätigte lediglich nochmals die in den früheren Kapiteln gefundenen Ergebnisse.

## 9. KORRELATIONEN ZWISCHEN GLEICHEN PHAENOLOGISCHEN PHASEN VERSCHIEDENER STATIONEN

### 9.1 Einleitung

Es wurden insgesamt 76 Stationen berücksichtigt, die über mindestens 20 Beobachtungsjahre verfügen. 43 Stationen wurden für die gesamtschweizerische Untersuchung verwendet und zusätzlich 33 für die regionalen Auswertungen. Die Schweiz wurde wiederum in die sieben bekannten Regionen unterteilt (Kap. 6.2.2). Die Auswahl der Beobachtungsstationen pro Region ist in der Tabelle 15 zusammengestellt. 23 Phänophasen erwiesen sich für die Auswertung geeignet. Die Auswahl der Stationen pro Phänophase konnte - aus denselben Gründen, die im Kapitel 8 beschrieben wurden - nicht mit einem Computerprogramm vorgenommen werden.

### 9.2 Ergebnisse

Untersucht wurden die höchsten Korrelationskoeffizienten pro Station und Phänophase sowie die relativen Häufigkeiten der Korrelationskoeffizienten pro Phänophase und Station.

### 9.2.1 Die höchsten Korrelationskoeffizienten pro Station und phänologische Phase

Für die gesamte Schweiz und pro Region wurden die Korrelationsmatrizen pro Phänophase berechnet. Daraus wurden die höchsten Koeffizienten pro Station und Phänophase herausgesucht. Die entsprechenden Stationspaare wurden aufgrund ihrer Koeffizienten absteigend geordnet. Als Beispiel dient die Phase 10 (Blattausbruch der Rotbuche) (Tab. 16). Diese statistischen Beziehungen zwischen den Stationen wurden zudem kartographisch dargestellt (Abb. 33), wobei die Koeffizienten  $\geq 0,7$  speziell gekennzeichnet wurden. Dabei wurden die entsprechenden Stationspaare miteinander verbunden und mit dem dazugehörigen Rang versehen (Abb. 33). Im folgenden werden die einzelnen Phasen kurz besprochen.

Phase 2: Das beste Resultat liefern die Kombinationen der Stationen Les Ponts-de-Martel und Le Locle der Region I. Nur schlechte Koeffizienten ( $< 0,7$ ) sind in den Regionen V, VI und VII zu finden.

Phase 3: Die beste Korrelation ergibt sich zwischen den Stationen Merishausen und Wiliberg der Region II. Keine hohen Koeffizienten sind in den Regionen V und VII anzutreffen.

Phase 6: Auffallend ist der überwiegende Anteil von hohen Koeffizienten. An der Spitze steht das Stationspaar Zürich-SMA und Uetliberg der Region II.

Phase 7: Der höchste Koeffizient ist zwischen den Stationen Prato-Sornico und Cevio der Region VI erkennbar. In der Region II treten nur hohe Koeffizienten ( $\geq 0,7$ ) auf, während in den Regionen IV und V nur tiefe Koeffizienten vorkommen.

Phase 9: An der Spitze steht das Stationspaar Versoix und Cartigny der Region II, die relativ nahe beieinander liegen. Die tiefen Korrelationen konzentrieren sich auf die Regionen IV, VI und VII.

Phase 10: Der höchste Koeffizient tritt zwischen den Stationen Wiliberg und Unterkulm der Region II auf, also zwischen zwei benachbarten Stationen. Die hohen Koeffizienten sind in der Uebersahl. Auffallend ist der hohe Anteil guter Koeffizienten innerhalb der Region VI, während sie in den Regionen IV, V und VII fehlen.

Phase 11: Wie bei der Phase 3 findet sich der höchste Koeffizient zwischen den Stationen Merishausen und Wiliberg der Region II. Markant ist der hohe Anteil der guten Koeffizienten sowie die zahlreichen Beziehungen über die Regionen hinweg. Erstaunlich sind die schlechten Resultate in der Region VII, da die Lärche im Engadin heimisch ist und es sich um eine relativ einheitliche Klimaregion handelt.

Phase 12: Der höchste Koeffizient ist zwischen den Stationen Sargans (Region III) und Zürich-SMA (Region II) festzustellen. Dies ist das erste Mal, dass das beste Resultat nicht zwischen Stationen derselben Region auftritt. Ausschliesslich schlechte Ergeb-

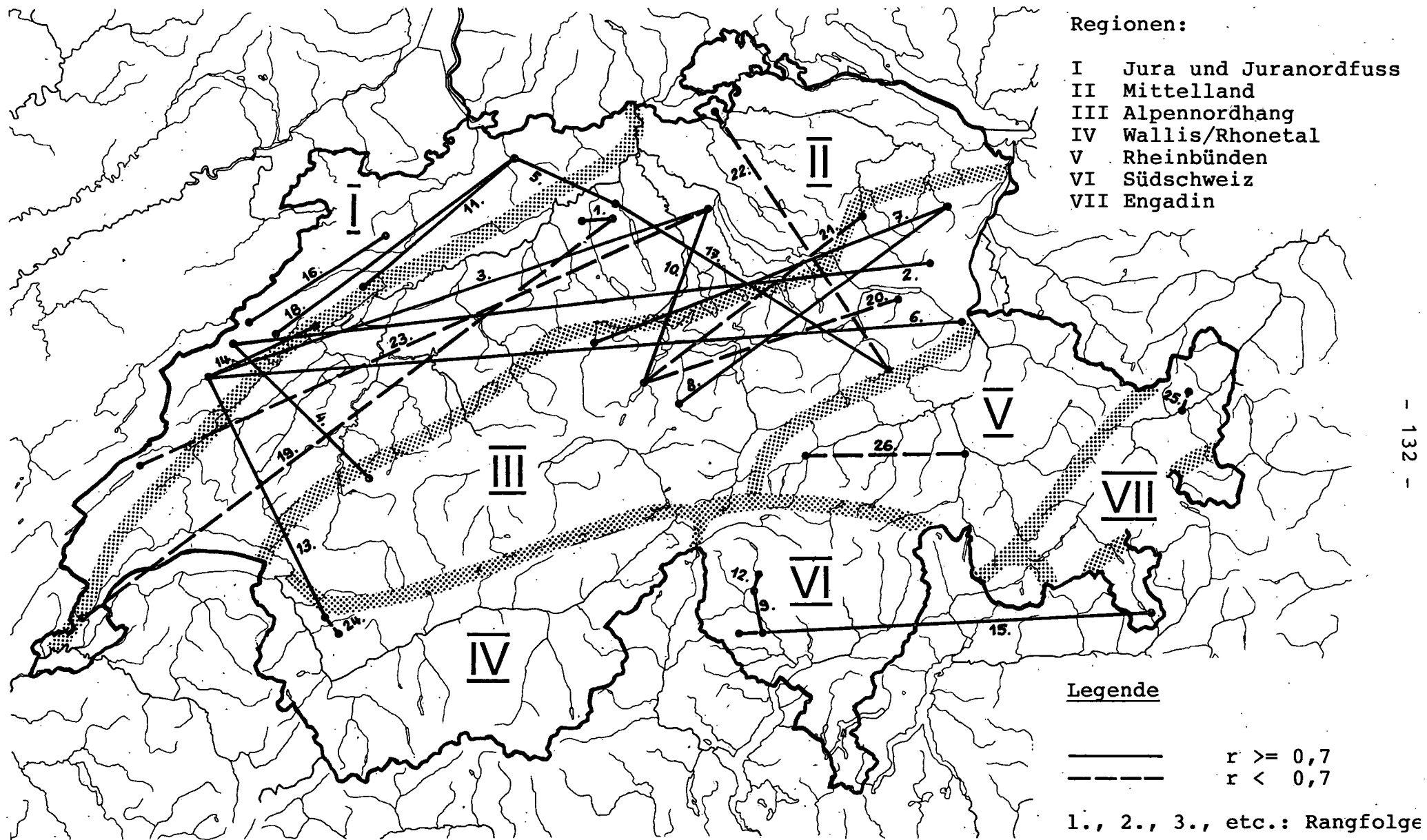


Abb. 33: Die höchsten Korrelationskoeffizienten zwischen Stationen für die Phase 10 (Blattausbruch der Buche)

nisse findet man in den Regionen IV, V, VI und VII. Allgemein sind die Koeffizienten höher in den tieferen Lagen. Dies dürfte ein Hinweis dafür sein, dass der Flieder in höheren Lagen nicht dem Klima angepasst ist.

Phase 16: Der höchste Koeffizient ist zwischen den Stationen Liestal (Region I) und Trient (Region IV) zu finden. Dies ist ein erstaunliches Resultat, da es sich um zwei völlig verschiedene Klimaregionen und um zwei unterschiedliche Höhenstufen handelt (Kap. 8.3.6). Liestal liegt nur 350 m/M (Höhenstufe 1) während Trient in 1300 m/M liegt (Höhenstufe 6). Allgemein fällt der hohe Anteil der tiefen Koeffizienten auf, insbesondere innerhalb der Regionen IV, V, VI und VII.

Phase 17: An der Spitze liegt das Stationspaar Prato-Sornico und Menzonio der Region VI. Es handelt sich um zwei benachbarte Stationen. In den Regionen IV, V und VII sind nur schlechte Korrelationen vertreten.

Phase 19: Die höchste Korrelation ergibt sich zwischen den Stationen Sarnen (Region III) und Trient (Region IV). Auch hier ist der Höhenunterschied beträchtlich. Da diese Phase nicht überall beobachtet werden kann, gibt es entsprechend wenige Koeffizienten. Schlecht schneiden die Regionen I, III, V und VI ab.

Phase 21: Auch hier können nur wenige Fälle ausgewertet werden. Allgemein überwiegen die tiefen Koeffizienten. Die beste Beziehung besteht zwischen den Stationen Couvet und Enges der Region I.

Phase 23: Es sind nur wenige Fälle vorhanden. Entsprechend gibt es nur einen Koeffizienten  $\geq 0,7$  zwischen den Stationen Zollikon und Wiliberg der Region II.

Phase 26: Es treten keine hohen Koeffizienten ( $\geq 0,7$ ) auf. Das beste Resultat mit 0,6920 besteht zwischen den Stationen Liestal und Les Ponts-de-Martel der Region I. Die schlechten Resultate lassen sich dadurch erklären, dass es sich bei den Rosskastanien meist um Einzelbäume in Parkanlagen und entlang von Strassen mit speziellen mikroklimatischen Verhältnissen handelt.

Phase 28: Es ist nur ein einzelner Koeffizient  $\geq 0,7$  anzutreffen zwischen den Stationen Prato-Sornico und Menzonio der Region VI analog der Phase 17. Diese schlechten Ergebnisse bestätigen die Aussage, dass die Blattverfärbung der Rotbuche eigenen, noch nicht erklärbaren Gesetzen gehorcht (Kap. 6.2.2).

Phase 32B: Es sind viele hohe Koeffizienten zu verzeichnen. Zwischen den Stationen Zürich-SMA und Zürich-Witikon der Region II besteht das beste Resultat. Erstmals tritt auch eine hohe Korrelation in der Region VII auf. Ausschliesslich hohe Koeffizienten findet man in den Regionen II, III und IV, dagegen in der Region V nur schlechte.

Phase 33B: Der höchste Korrelationskoeffizient ist zwischen den Stationen Wattwil und Entlebuch der Region III zu registrieren. Ähnlich wie bei der Phase 32B sind relativ viele gute Korrelationen zu finden. Schlecht schneiden wieder die Regionen V und VI



ab. In den Regionen II und III treten hingegen nur gute Korrelationen auf. Erstaunlich schlecht ist die Beziehung zwischen den Stationen La Coudre und Enges ( $r = 0.3878$ ), obwohl es sich um Nachbarstationen handelt.

Phase 34B: Auch hier ist der überwiegende Anteil der Koeffizienten  $\geq 0,7$ . Die beste Korrelation liefern die Stationen Wattwil und Sarnen der Region III. Negativ fallen wieder die Regionen V und VI auf.

Bei den Obstkulturen ist die Aussagekraft der Resultate nicht sehr gross, da es sich um verschiedene Obstsorten handelt, die zu unterschiedlichen Terminen blühen.

Bei den folgenden Phasen 36B und 36L konnten nur sehr wenige Stationen berücksichtigt werden.

Phase 36B: Das beste Resultat liefert das Stationspaar Wädenswil und Zürich-Witikon der Region II. Erstaunlich schlecht sind die Resultate in den Weinanbaugebieten der West- und Südschweiz.

Phase 36L: Der beste Koeffizient ist zwischen den Stationen Domat-Ems und Chur der Region V zu registrieren. Bei der Blühphase der Weinrebe (36B) schneiden diese zwei Stationen jedoch sehr schlecht ab ( $r = 0,2700$ ). Das Resultat zeigt einmal mehr, dass die Erntephase sehr stark von der Willkür der Menschen sowie von der kurzfristigen Witterung (Erntewetter) abhängen. Im Tessin und in der Westschweiz herrschen wieder die schlechten Ergebnisse vor.

Phase 37M: Der Anteil der guten Korrelationen ist relativ gering. Das beste Resultat liefern die Stationen La Valsainte und Escholzmatt der Region III. Auffallend ist die Tatsache, dass die meisten Beziehungen über die Regionen hinweg bestehen. Analog zur Phase 36L handelt es sich wieder um eine Erntephase mit ihren Besonderheiten. Zudem hat sich in den letzten 40 Jahren infolge der Mechanisierung bei der Heuernte einiges geändert. Die Dauer der Heuernte konnte dank des intensiven Maschineneinsatzes und der Trocknungsanlagen wesentlich verkürzt werden. Dies bedeutet, dass der Landwirt eher eine sichere Schönwetterperiode abwarten kann. Bei verschiedenen Betrieben findet, als Folge der Silofütterung, keine eigentliche Heuernte mehr statt. Ohne hohe Korrelationen bleiben wieder die Regionen I, IV, V, VI und VII. Da es sich um Berggebiete handelt, wo die Heuernte noch eher auf traditionelle Weise erfolgt, waren diese Ergebnisse nicht zu erwarten.

Phase 47: Der Anteil der hohen Korrelationen ist erstaunlich gross. Es handelt sich um eine sehr frühe Phase, die sofort nach einer günstigen Witterungsperiode eintritt. Entsprechend sind grosse Unterschiede von Standort zu Standort zu erwarten. Zwischen den Stationen Prato-Sornico und Menzonio der Region VI besteht das beste Resultat (analog der Phasen 17 und 28). Keine hohen Korrelationen sind in den Regionen V, VI und VII zu finden.

Phase 50: Bei dieser Phase ergaben sich keine Koeffizienten  $\geq 0,7$ . Mit einem Koeffizienten von 0,6903 steht das Stationspaar Uetliberg (Region II) und Les Ponts-de-Martel (Region I) an der Spitze. Dieses Ergebnis kann mit denjenigen des Kapitels 8 ver-

glichen werden und bestärkt die Vermutung, dass die Vollblüte der Herbstzeitlose sehr stark von den Standortsfaktoren abhängt.

Nach dieser kurzen Beschreibung der einzelnen Phänophasen folgen einige allgemeine Bemerkungen. Der absolut höchste Korrelationskoeffizient konnte bei der Phase 17 ( $r=0,9651$ ) zwischen den Stationen Prato-Sornico und Menzonio der Region VI gefunden werden. Der tiefste hingegen bei der Phase 50 ( $r=0,0052$ ) zwischen den Stationen Vals und Disentis der Region V. Bei einzelnen Phasen ergaben sich auch negative Koeffizienten. Da es sich aber um sehr kleine Werte handelt, fallen diese kaum ins Gewicht und müssen als Zufall betrachtet werden. Bei den obigen Beschreibungen der einzelnen Phasen ist aufgefallen, dass die höchsten Korrelationskoeffizienten mehrheitlich zwischen Stationen derselben Region auftreten. Diese Vermutung soll noch besser untersucht werden, indem alle höchsten Koeffizienten berücksichtigt werden. Das Verhältnis beträgt 3 zu 1 zugunsten der Korrelationen innerhalb derselben Region. Das Ergebnis ist zwar leicht verfälscht, weil allgemein die Möglichkeiten von Korrelationen innerhalb derselben Region grösser sind, da mehr Stationen zur Auswahl standen. Es ist aber gleichwohl ein Hinweis, dass die Wahl der Regionen gut getroffen wurde. Bei fast allen Phasen fällt auf, dass vor allem in den Regionen IV, V, VI und VII mehrheitlich schlechte Resultate vorkommen. Es handelt sich um die Bergregionen, wo infolge der lebhaften Topographie (Täler, Berge, unterschiedliche Exposition) sehr inhomogene Klima- und Bodenverhältnisse herrschen. Entsprechend können die Phänophasen innerhalb kurzer Distanzen zu recht unterschiedlichen Terminen eintreten. Zudem reagieren vor allem die höheren Lagen stark sensitiv auf einen Schlechtwettereinbruch. Tiefe Temperaturen, zum Teil verbunden mit Schneefall auch während der ganzen Vegetationsperiode, bewirken öfters einen Wachstums- und Entwicklungsstopp. Dies kann bewirken, dass bei der Station A die Phänophase X schon eingetreten ist, während in einem Jahr dieselbe Phase beim Standort B nach einigen Tagen ebenfalls zu beobachten ist, da die günstige Witterung anhält. In einem anderen Jahr erfolgt nach dem Eintrittstermin der Phase X beim Standort A eine Schlechtwetterperiode und entsprechend ist der Termin der Phase X beim Standort B um einige Wochen verzögert. In tieferen Lagen kann eine Schlechtwetterperiode ebenfalls eine Verzögerung der Vegetationsentwicklung bewirken. Da aber die Temperaturen im allgemeinen nicht so tief sinken, wirkt sich diese Verzögerung weniger stark aus als in den Berglagen.

Neben den Regionen dürften auch die Höhenstufen einen massgeblichen Einfluss auf die Beziehungen zwischen den Stationen ausüben. Es ist zu erwarten, dass bei den hohen Koeffizienten ( $\geq 0,7$ ) die Differenzen zwischen den Höhenstufen der beteiligten Stationen kleiner sind als bei den schlechten Korrelationen. Bei jedem Stationspaar wurden die Höhenstufen (wie schon in Kapitel 4.5.2 beschrieben) hinzugefügt und die entsprechenden Differenzen gebildet. Danach wurde die mittlere Differenz der Fälle mit Koeffizienten  $\geq 0,7$  und derjenigen  $< 0,7$  gebildet. Da bei zwei Phasen (26 und 37M) keine Koeffizienten  $\geq 0,7$  auftraten, konnten nur 21 Phänophasen berücksichtigt werden. Dies ergibt die folgenden mittleren Differenzen pro Phänophase:

Phasen	Mittlere Differenzen >=0,7	Mittlere Differenzen <0,7
2	1,18	1,44
3	0,63	1,20
6	1,24	1,40
7	0,40	1,90
9	1,43	1,07 *
10	1,33	0,88 *
11	0,95	1,42
12	0,60	1,33
16	2,14	1,17 *
17	0,83	1,08
19	2,00	1,82 *
21	0,67	1,47
23	1,00	1,42
28	0,00	1,09
32B	0,56	1,17
33B	0,87	1,13
34B	0,53	1,25
36B	0,67	0,67
36L	0,00	1,00
37M	1,00	0,77 *
47	0,50	1,36

\* Mittlere Differenzen sind bei den Koeffizienten  $\geq 0,7$  grösser als bei den Koeffizienten  $< 0,7$

Von den insgesamt 21 Phänophasen ist lediglich 5 mal die mittlere Differenz bei den Koeffizienten  $\geq 0,7$  grösser als bei denjenigen  $< 0,7$  (mit einem \* bezeichnet) und einmal sind die Differenzen gleich (Phase 36B). Mehrheitlich sind also die Differenzen zwischen den Höhenstufen bei den guten Korrelationen kleiner als bei den schlechten. Es war auch zu erwarten, dass Stationen gleicher oder ähnlicher Höhenstufen besser miteinander korrelieren als solche unterschiedlicher Höhenstufen. Erstaunlicherweise trifft dies bei den Phasen 9 (Vollblüte des Löwenzahns) und 16 (Vollblüte der Wucherblume) nicht zu. Eher zu erwarten war dies bei der Phase 10 (Blattausbruch der Rotbuche), da schon im Kapitel 6.2.2 festgestellt wurde, dass die Buche keine starke Höhenabhängigkeit aufweist. Bei der Phase 19 (Vollblüte der Sommerlinde) handelt es sich um Einzelbäume, die erst noch in höheren Lagen nicht standortsgerecht sind. Bei der Phase 37M (Beginn der Heuernte) treffen wir wieder auf die vom Menschen und durch kurzfristige Wetterlagen beeinflusste Phase.

### 9.2.2 Relative Häufigkeiten der Korrelationkoeffizienten pro Phänophase

Von Interesse ist auch die Frage, welche Phasen vor allem mit anderen Stationen hoch korrelieren. Diese Fragestellung hat eine ganz praktische Anwendung. Will man Phänodaten kontrollieren oder gar interpolieren (fehlende Beobachtungen), muss bekannt sein, welche Phasen möglichst oft hoch mit anderen Stationen und mit

welchen korrelieren. Wie schon erwähnt, ist wieder die Anzahl der möglichen Korrelationen pro Phase recht unterschiedlich. Deshalb können nicht die absoluten sondern nur die relativen Werte (Prozentzahlen) miteinander verglichen werden. Pro Phänophase wurden die Anzahl der möglichen Korrelationen sowie die Anzahl der Korrelationskoeffizienten  $\geq 0,7$  respektive  $\geq 0,8$  (1951-86) ermittelt. Die sehr hohen Koeffizienten ( $\geq 0,8$ ) erhielten ein besonderes Gewicht, indem sie doppelt gezählt wurden. Die entsprechenden Prozentzahlen der gewichteten Werte wurden geordnet und in einer Rangfolge tabellarisch dargestellt (Tab. 17). Bei den Phasen mit nur sehr wenigen möglichen Korrelationen müssen die Resultate mit der nötigen Vorsicht interpretiert werden. Dies gilt insbesondere für die Phasen 36B und 36L.

Der grösste Anteil an hohen Korrelationen konnte bei der Vollblüte der Obstkulturen (32B, 34B und 33B) registriert werden. Dann folgt erstaunlicherweise die sehr frühe Phase 47 (Vollblüte der Hasel), gefolgt von weiteren Frühlingsphasen. Die Phase 3 (Blattausschlag der Hasel) schneidet hingegen wesentlich schlechter ab. Die Phase 10 (Blattausschlag der Rotbuche) steht auf Platz 10 mit nur 16,3% guter Korrelationen. Wie schon bei anderen Auswertungen fällt die Buche wieder ab. Am Schluss der Rangliste sind die Phasen 23, 26, 28 und 50 zu finden, die keine hohen Korrelationen ( $\geq 0,7$ ) aufweisen. Neben der Sommerphase 23 gehören die übrigen zu den Herbstphasen (Laubverfärbungen und Vollblüte der Herbstzeitlose). Auf das Eigenleben der Herbstzeitlose wurde schon mehrmals hingewiesen. Das Resultat bestärkt die Vermutung, dass diese Phase von sehr lokalen Standortfaktoren abhängt. Dasselbe gilt auch bei den Laubverfärbungsphasen. Im Kapitel 7.6 wurde die Vermutung geäußert, dass die Laubverfärbung der Buche und Rosskastanie sehr stark von Trockenperioden während der Vegetationsperiode abhängt. Diese Aussage wird durch die vorliegenden Resultate unterstrichen. Die Trockenperioden sind in den meisten Fällen sehr stark regional differenziert. Zudem spielt auch der Boden eine entscheidende Rolle (Speicherkapazität). Gerade im Sommer mit regen Schauer- und Gewittertätigkeiten können bezüglich der Niederschlagsmengen beträchtliche regionale Unterschiede auftreten. Die Wärmeperioden hingegen erfassen viel mehr das ganze Land. Lediglich lokale Bewölkungsunterschiede modifizieren die Wärmeverteilung etwas. Grössere Temperaturunterschiede aufgrund der Wetterlagen sind vor allem zwischen der Alpensüdseite und -nordseite feststellbar. Damit wird deutlich, dass bei den wärmebeeinflussten Frühlingsphasen regionale Beziehungen zwischen den Beobachtungsstationen viel häufiger auftreten als bei den Herbstphasen, bei denen die Trockenheit ein starker Einflussfaktor zu sein scheint. Sollten neben der Trockenheit bei der Laubverfärbung auch noch die Frühfröste einen entscheidenden Einfluss ausüben, treten auch wieder sehr grosse lokale Unterschiede auf. Das Resultat der Phase 23 (Vollblüte der Winterlinde) muss mit Vorsicht betrachtet werden, da nur 28 mögliche Korrelationen vorhanden waren.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Rangliste sehr stark derjenigen im Kapitel 8.3.5 (Tab. 14) gleicht. Dies bedeutet eine gegenseitige Bestätigung der Ergebnisse.

### 9.2.3 Relative Häufigkeiten der Korrelationskoeffizienten

Es wurden wieder die 7 Regionen und insgesamt 76 Stationen (Tab. 15) berücksichtigt. Für jede Station wurde die Anzahl der möglichen Korrelationen ermittelt. Da die Anzahl von Station zu Station recht unterschiedlich ist, musste die Häufigkeit der hohen Korrelationen in Prozentwerten ausgedrückt werden. Dabei wurden alle Koeffizienten  $\geq 0,7$  berücksichtigt, wobei diejenigen  $\geq 0,8$  doppelt gezählt wurden. Die daraus resultierenden gewichteten Werte wurden in Prozente der möglichen Korrelationen umgerechnet. Als Vorarbeit hierzu wurden pro Phänophase alle Koeffizienten  $\geq 0,7$  mit dem dazugehörenden Stationspaar in Tabellen zusammengestellt. Dabei wurde unterschieden zwischen den Berechnungen über die gesamte Schweiz und der regionenweisen Auswertung. Die guten Beziehungen zwischen den verschiedenen Stationen wurden auch kartographisch dargestellt, indem die entsprechenden Stationen mit einer Geraden miteinander verbunden wurden. Es wurden alle Stationen eingetragen, die bei den entsprechenden Berechnungen berücksichtigt wurden. In einer ersten Karte ist die gesamtschweizerische Auswertung dargestellt, in einer zweiten die regionalen Untersuchungen. Als Beispiel dient die Phase 9 (Vollblüte des Löwenzahns: Tab. 18 sowie Abb. 34 und 35). Von ganz vereinzelt Ausnahmen abgesehen sind alle diese Korrelationen hoch signifikant ( $P = 0,001$ ).

In einer weiteren Tabelle wurden die Stationen aufgrund ihrer Prozentzahlen geordnet (Tab. 19). Dabei wurden aber nur diejenigen Stationen berücksichtigt, bei denen die Anzahl der möglichen Korrelationen mindestens 50 beträgt. Bei kleineren Gesamtsummen würden schon wenige gute Korrelationen eine hohe Prozentzahl ergeben, was die Ergebnisse verfälschen könnte. So verblieben für diese Zusammenstellung noch 36 Stationen. An der Spitze der Rangliste (bis zum Platz 10) sind ausschliesslich Stationen der Regionen II und III zu finden. Eher am Schluss der Tabelle liegen die Tessiner Stationen. Die Stationen der Region VII (Engadin) konnten nicht ausgewertet werden.

Es stellt sich die Frage, ob die einzelnen Regionen in dieser Rangliste gleichmässig verteilt sind. Dafür konnten nur die Regionen I bis III miteinbezogen werden, da bei den übrigen Regionen nicht genügend Werte vorhanden sind. Statistisch geprüft wurde die Verteilung mit Hilfe des Chi-Quadrat-Tests. Pro Region wurde der erwartete mittlere Rang berechnet und dieser mit dem tatsächlichen mittleren Rang verglichen. Dies ergibt die folgende Auswertung:

	beobachtet	erwartet	Differenz	Diff. <sup>2</sup> /erw.
Region I	22,8	15,1	7,7	3,9
Region II	7,3	15,1	-7,8	4,0
Region III	18,6	18,5	0,1	0,001

$$x^2 = 7,901$$

FG (Freiheitsgrade) = 2

$$x^{2*} = 7,824 \quad P = 0,02 \quad \text{--->} x^2 > x^{2*}$$

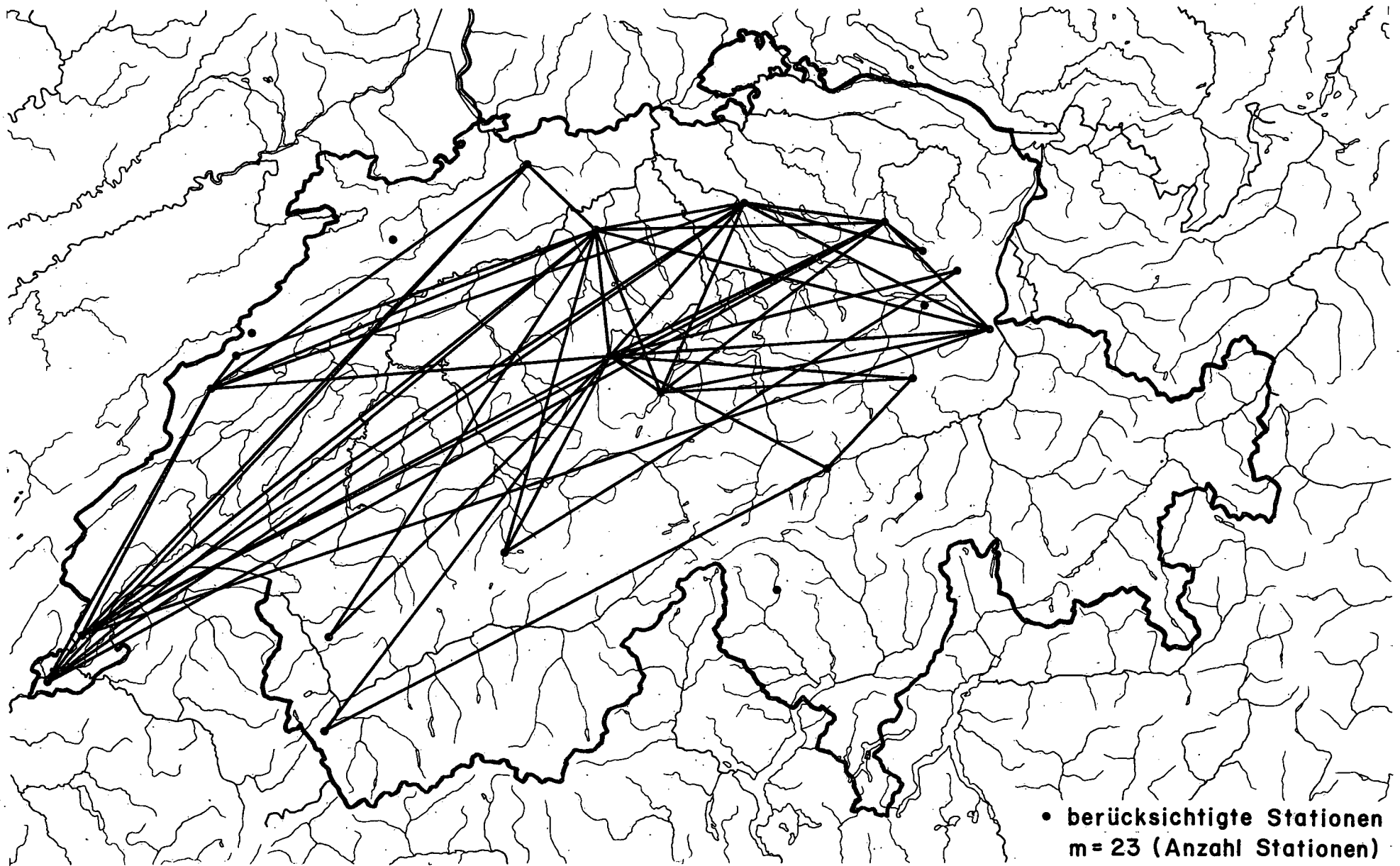


Abb. 34: Stationspaare mit Korrelationskoeffizienten  $\geq 0,7$   
der Phase 9 (Vollblüte des Löwenzahns)

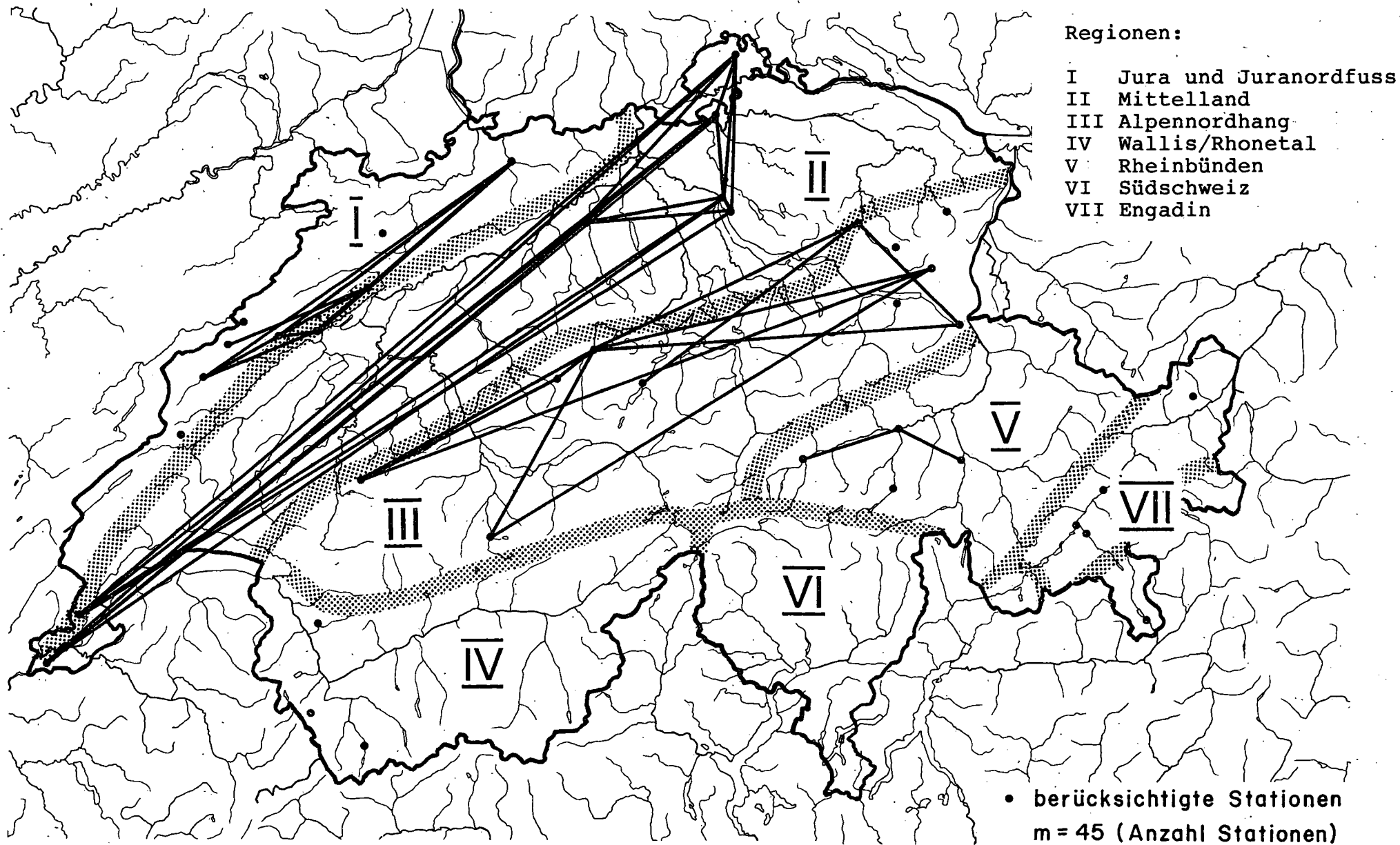


Abb. 35: Stationspaare mit Korrelationskoeffizienten  $\geq 0,7$   
der Phase 9 (Vollblüte des Löwenzahns)  
(regionale Auswertung)

Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 2% kann die Nullhypothese zurückgewiesen werden, das heisst, die beobachteten Werte weichen signifikant von den erwarteten ab. Die Region I schneidet schlechter und die Region II besser ab als erwartet. Bei der Region III entsprechen die beobachteten Ränge ziemlich genau den erwarteten. Aus der Sicht der Phänologie darf die Region II als sehr homogen bezeichnet werden. Dies erstaunt wenig, da in dieser Region (Mittelland) keine grossen Höhenunterschiede auftreten.

### 9.3 Schlussbemerkungen

Gute Korrelationen treten vor allem innerhalb der einzelnen Regionen auf, wobei die Regionen IV, V, VI und VII schlechtere Resultate aufweisen als die übrigen. Der Grund mag bei den komplizierteren orographischen Verhältnissen liegen, die dort vorherrschen. Einzig die Region VII (Engadin) weist recht einheitliche Verhältnisse bezüglich Klima und Stationsverteilung auf. Weshalb diese Region gleichwohl abfällt, konnte nicht eruiert werden. Bei Stationen gleicher/ähnlicher Höhenlage findet man mehrheitlich bessere Resultate als zwischen Stationen unterschiedlicher Höhenstufen. Die relativen Häufigkeiten der Korrelationskoeffizienten pro Phänophase ergeben ähnliche Ergebnisse wie in früheren Kapiteln. Die relativen Häufigkeiten der Korrelationskoeffizienten pro Station zeigen dagegen regionale Unterschiede. So fallen die Resultate der Region II besser als erwartet aus, diejenigen der Region I hingegen schlechter. Den Erwartungen entsprechend verhält sich die Region III. Allgemein fallen bei den schlechten Resultaten die gleichen Phänophasen wie schon in den früheren Kapiteln auf, was die Richtigkeit der Ergebnisse unterstreicht.

Die Interpretation der Resultate bereitet jedoch mehrheitlich Schwierigkeiten. Zuerst stellt sich die Frage, was eine hohe (signifikante) Korrelation bei einer bestimmten Phänophase zwischen zwei Stationen aussagt. Sie bedeutet nicht unbedingt, dass bei Stationen A und B die jeweiligen Phänophasen etwa zur gleichen Zeit auftreten, sondern lediglich, dass die zeitlichen Abstände zwischen den Eintrittsterminen jedes Jahr ungefähr gleich sind. Unter welchen Bedingungen tritt nun dieses Phänomen auf? Wenn die Stationen sehr nahe beieinander liegen (Nachbarstationen) und etwa dieselbe Lage aufweisen, dürften auch die jeweiligen Eintrittstermine zeitlich nicht weit auseinander liegen. Dies besagt, dass in der Zwischenzeit die Möglichkeit für extreme Witterungseinflüsse gering ist und sich somit gute Korrelationen einstellen.

Nun gibt es aber auch gute Korrelationen zwischen Stationen, die sich in sehr unterschiedlichen Regionen und zum Teil sogar in stark verschiedenen Höhenstufen befinden. Hier muss also die Differenz der Eintrittstermine zwischen der Station A und B über die Jahre hinweg mehr oder weniger konstant bleiben. Dies kann nur dann geschehen, wenn sich der Witterungsverlauf zwischen den beiden Terminen ungefähr gleich verhält. Bei ähnlichen Höhenstufen ist dies vor allem im Frühling, bezüglich der thermischen Verhältnisse, mehr oder weniger der Fall, sofern wir uns auf die Alpennordseite oder -südseite beschränken. Nördlich und südlich der



Alpen können jedoch grosse Unterschiede eintreten. Diese Aussage wird durch das Fehlen einer hohen Korrelation ( $r \geq 0,7$ ) zwischen einer Station der Alpennordseite und der -südseite bestätigt. Für die Datenkontrolle genügt das Wissen über die hohen Korrelationen zwischen verschiedenen Stationen.

## 10. BEZIEHUNGEN ZWISCHEN DER WITTERUNG UND DEN PHAENOLOGISCHEN PHASEN

### 10.1 Einführung

Die Frage ob die phänologischen Termine von der Witterung abhängen, bedarf kaum einer wissenschaftlichen Untersuchung. Jeder Laie, der die Natur etwas genauer beobachtet, erkennt Zusammenhänge zwischen den atmosphärischen Bedingungen und der Vegetationsentwicklung. Besonders im Frühling wird ersichtlich, wie ein Wärmeschub die Pflanzen zum Treiben und Blühen bringt. Es bleibt aber die Frage, welche Klimaelemente und in welcher Kombination das Wachstum und die Entwicklung der Pflanzen steuern. Wichtig ist auch zu wissen, welche meteorologischen Elemente in welchem Zeitpunkt der Vegetationsentwicklung massgebend wirksam sind. Werden die Frühlingsphasen vor allem durch die Wärme und Strahlung beeinflusst und die Herbstphasen durch das Wasserangebot?

Ueber Kulturpflanzen gibt es zahlreiche Arbeiten, die sich mit diesen Fragestellungen auseinandersetzen. Meist wurde mit Temperatursummen gearbeitet. Wie schon im Kapitel 1.4.2 erwähnt, sind diesbezügliche Arbeiten bereits im 18. Jahrhundert zu finden (REAUMUR, 1735). In der Schweiz existieren seit 1946 Kirschenernteprognosen aufgrund von Temperatursummen (BIDER, 1946). Auf diese Temperatursummenregel und weitere statistische Methoden, die der Prognose von Eintrittsterminen von Phänophasen dienen, soll später genauer eingegangen werden.

Es sind jedoch nicht alleine die atmosphärischen Bedingungen, welche die Eintrittstermine der Phänophasen beeinflussen. Betrachtet man nochmals Abbildung 14 (Kap. 5.1.3), wird deutlich, dass noch eine Vielzahl weiterer Einflussgrössen existieren müssen. So kann zum Beispiel das Erbgut eine entscheidende Rolle spielen. Da - im Gegensatz zu den phänologischen Gärten - kein einheitliches genetisches Pflanzenmaterial beobachtet wird, sind die Daten schon aus diesem Grunde streng genommen nicht vergleichbar. Aber auch Standortfaktoren wie Bodenwasserverhältnisse, Exposition, Hangneigung etc. sind bei den verschiedenen Beobachtungsstationen nicht einheitlich. Auch das Alter und der Gesundheitszustand der Pflanzen (Vitalität) beeinflussen die phänologischen Phasen. So kann immer wieder beobachtet werden, dass junge Pflanzen früher austreiben oder blühen als ihre älteren Artgenossen, oder dass sich das Laub bei kranken Bäumen früher verfärbt als bei den gesunden. Diese wenigen Bemerkungen zeigen, wie komplex die Einflussgrössen sind, die auf eine Pflanze einwirken. Daraus geht hervor, dass es kaum möglich sein wird, ein allgemein gültiges Modell zu erstellen, das die meteorologischen Einflüsse auf die verschiedenen Stadien der Pflanzen zu erfassen

vermag. Ein entsprechendes Modell kann für eine bestimmte Pflanze an einem definierten Standort Gültigkeit haben, muss aber nicht auf ein anderes Individuum in einer anderen Region übertragbar sein.

Die Witterungseinflüsse sind an und für sich schon sehr komplex. So wirkt nicht nur ein einzelnes Klimaelement (wie zum Beispiel die Temperatur, der Niederschlag oder die Strahlung) auf die Pflanzen ein, sondern der gesamte "Witterungsakkord". Erschwerend kommt dazu, dass jedes Jahr witterungsmässig einmalig ist. Es ist nie eine Witterungsperiode bis in alle Details genau gleich wie die andere. Witterungsmässig gibt es kein Normjahr. Die Kälterückfälle, die im Frühling häufig auftreten, komplizieren zudem die ganze Problematik. Als Folge eines Kaltlufteinbruches kann beobachtet werden, dass beim Standort A die Phänophase X gerade noch eintritt, während beim Standort B dazu noch 1 bis 2 warme Tage fehlen. So kann sich der Eintrittstermin beim Standort B um 2 bis 3 Wochen verzögern. Die statistische Erfassung dieser Bremsung ist nicht einfach. Wie schon angetönt, reagiert eine bestimmte Pflanze im Verlaufe der Vegetationsperiode auf dieselben meteorologischen Reize recht unterschiedlich. Deutlich wird dies zum Beispiel bei der Frostresistenz der Pflanzen, die gegen den Frühling hin stark abnimmt. Dies bedingt, dass bei einem Modell die verschiedenen Klimaelemente je nach Vegetationsstand unterschiedlich gewichtet werden müssten.

Eine zusätzliche Schwierigkeit besteht darin, dass in der Nähe von phänologischen Stationen, die über eine lange Beobachtungsreihe verfügen, in den meisten Fällen keine geeignete Klimastation steht. Somit wird die Auswahl von auswertbaren Stationen stark eingeschränkt. Da aber eine Klimastation für eine grössere Umgebung repräsentativ sein sollte, können Stationen herangezogen werden, die in der Nähe liegen. Es muss auch ganz klar darauf hingewiesen werden, dass keine Messungen des Mikro- oder Bestandesklimas zur Verfügung stehen, welche die beobachteten Pflanzen beeinflussen. Die Auswertungen und deren Resultate müssen deshalb mit der nötigen Vorsicht interpretiert werden.

Die Ausführungen zeigen deutlich, dass ein gutes Modell, das die Beziehungen zwischen der Witterung und den Pflanzen herstellt, kaum verwirklicht werden kann. Mit starken Vereinfachungen mag es gelingen, gewisse meteorologische Einflüsse auf die Pflanzen aufzuzeigen, so zum Beispiel mit Hilfe der Temperatursummen oder multipler Korrelationen. Leider ist unsere Datenreihe mit knapp 40 Jahren auch relativ kurz für statistische Untersuchungen. Trotzdem sollte es möglich sein, gewisse Tendenzen aufzuzeigen, die sich bei verschiedenen Stationen abzeichnen. Möglicherweise müssen diese Resultate in etwa 20 Jahren überprüft werden.

## 10.2 Der thermische Einfluss

### 10.2.1 Beziehungen zwischen der Lufttemperatur und den Phänophasen

Wie oben erwähnt, kann man sehr schön beobachten, wie im Frühling eine Wärmeperiode einen starken Schub in der Vegetationsentwicklung bewirkt. Das Wasserangebot ist bei uns im Frühling kaum ein Problem, da der Boden durch die winterlichen Niederschläge, die Schneeschmelze und durch die kleine Verdunstungsrate im Winter meist völlig gesättigt ist. Wie schon aus den deskriptiven Untersuchungen (anhand der monatlichen Witterungsberichte) in Kapitel 7.5 hervorging, sind die Frühlingsphasen stark temperaturabhängig. Es konnte gezeigt werden, dass bei den frühen Frühlingen die Monate März und/oder April (zum Teil auch Februar) zu warm waren. Bei den späten Frühlingen hingegen waren die Monate März und/oder Februar zu kalt. Aus dieser Ueberlegung heraus wurden alle Jahre mit frühen respektive späten Frühjahren genauer analysiert (siehe Tab. 6 im Kap. 7.3). Dabei wurden die sehr frühen, frühen, späten und sehr späten Frühjahre berücksichtigt in der Meinung, dass bei extremen phänologischen Ereignissen die Unterschiede am besten sichtbar werden. Es wurde das Beispiel der phänologischen Beobachtungsstation Liestal und der Klimastation Basel-Binningen (1951-86) diskutiert und die zeitlichen Verläufe der Lufttemperaturen bis zum Eintrittstermin der Phase 11 (Nadelaustrieb der Lärche) aufgezeichnet. Diese Phase wurde gewählt, weil die Lärche in allen Regionen und Höhenlagen vorkommt und der Nadelaustrieb eines Baumes weniger vom Mikroklima beeinflusst wird als etwa eine Phase einer Krautpflanze. Zudem sind diese Beobachtungen auch leicht durchführbar, da das Ergrünen der Lärchen sehr augenfällig ist.

Aus der Sicht der Phänologie wird der Frühling 1961 zu den sehr frühen und die Frühlinge 1970 und 1984 zu den sehr späten gezählt. Betrachtet man den Verlauf der Tagesmittel der Lufttemperatur - ab 1. Januar bis zum Eintritt der Phase 11 - so zeigt das Jahr 1961 ein völlig anderes Bild als die Jahre 1970 und 1984 (Abb. 36). Die zwei sehr späten Jahre 1970 und 1984 weisen dagegen einen sehr ähnlichen Kurvenverlauf auf. Nach einer kurzen Wärmeperiode zwischen dem 30. und 40. Tag beginnt die eigentliche Frühjahrserwärmung erst etwa ab dem 70. Tag. 1961 (sehr früh) wird es schon ab dem 30. Tag merklich wärmer und es folgt kein Kälterückfall mehr. Diese drei extremen Frühlinge zeigen deutlich, dass das Mass des Wärmeangebotes für den Verlauf der Vegetationsentwicklung im Frühling verantwortlich ist. In der Folge wurden auch die frühen und späten phänologischen Frühjahre in der gleichen Art dargestellt. Als früh gelten die Jahre 1952, 1953, 1957, 1959, 1960, 1966, 1974, 1976, 1977 und 1981. Später Frühlingseinzug war in den Jahren 1956, 1962, 1965, 1973, 1979, 1980 und 1986 zu verzeichnen. Als Beispiel für den typischen Temperaturverlauf eines frühen und späten Frühjahrs mögen die Jahre 1956 (spät) und 1974 (früh) dienen (Abb. 37). Markant sind die Unterschiede zwischen dem 30. und 60. Tag. 1956 herrschte zu dieser Zeit eine Kälteperiode, während es 1974 zur selben Jahreszeit relativ warm war. Das unterschiedliche thermische Verhalten zwischen frühen und späten Frühlingen wird auch hier eindeutig er-

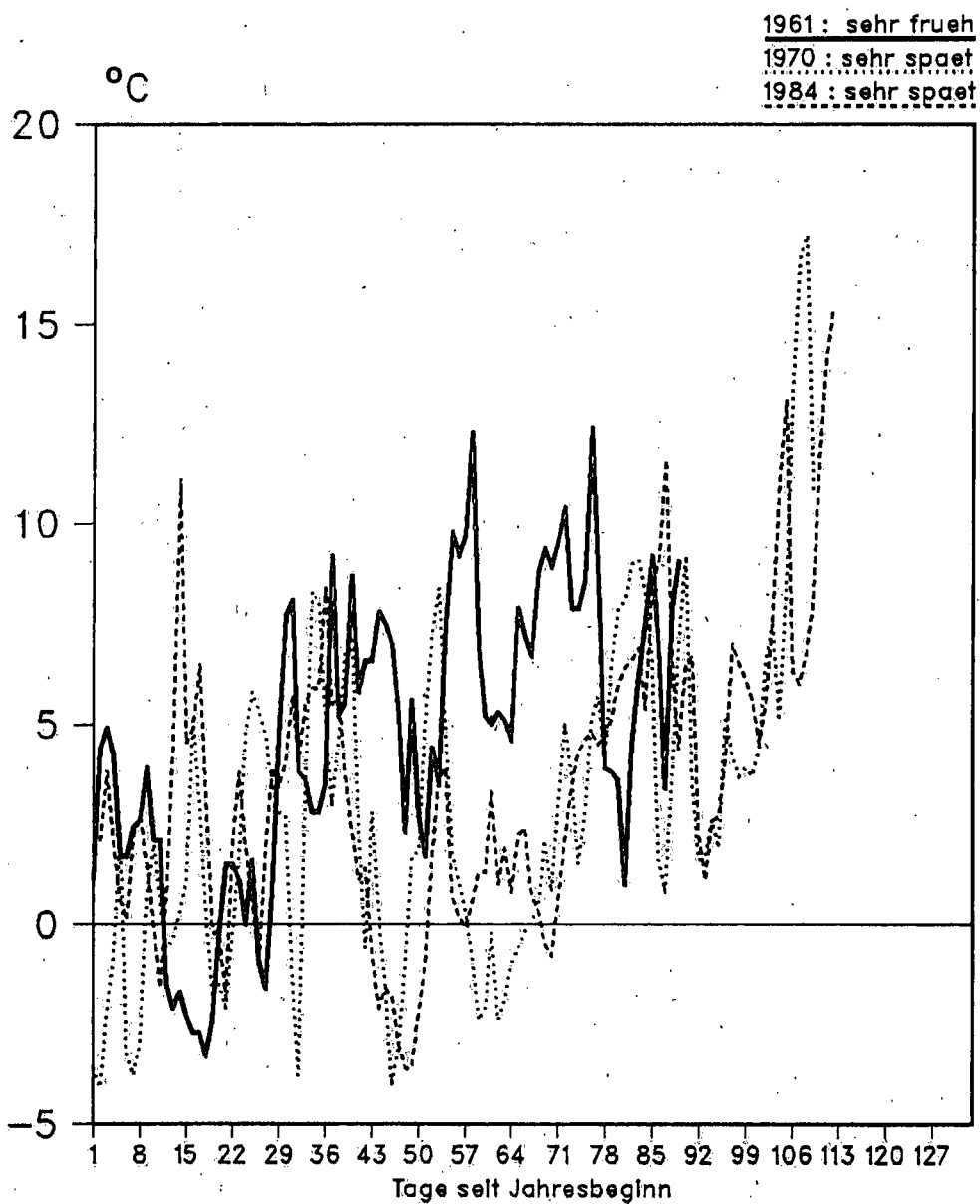


Abb. 36: Der Verlauf der Tagesmitteltemperaturen von Basel-Binningen der Jahre 1961, 1970 und 1984 bis zum Eintritt der Phase II (Nadelaustrieb der Lärche)

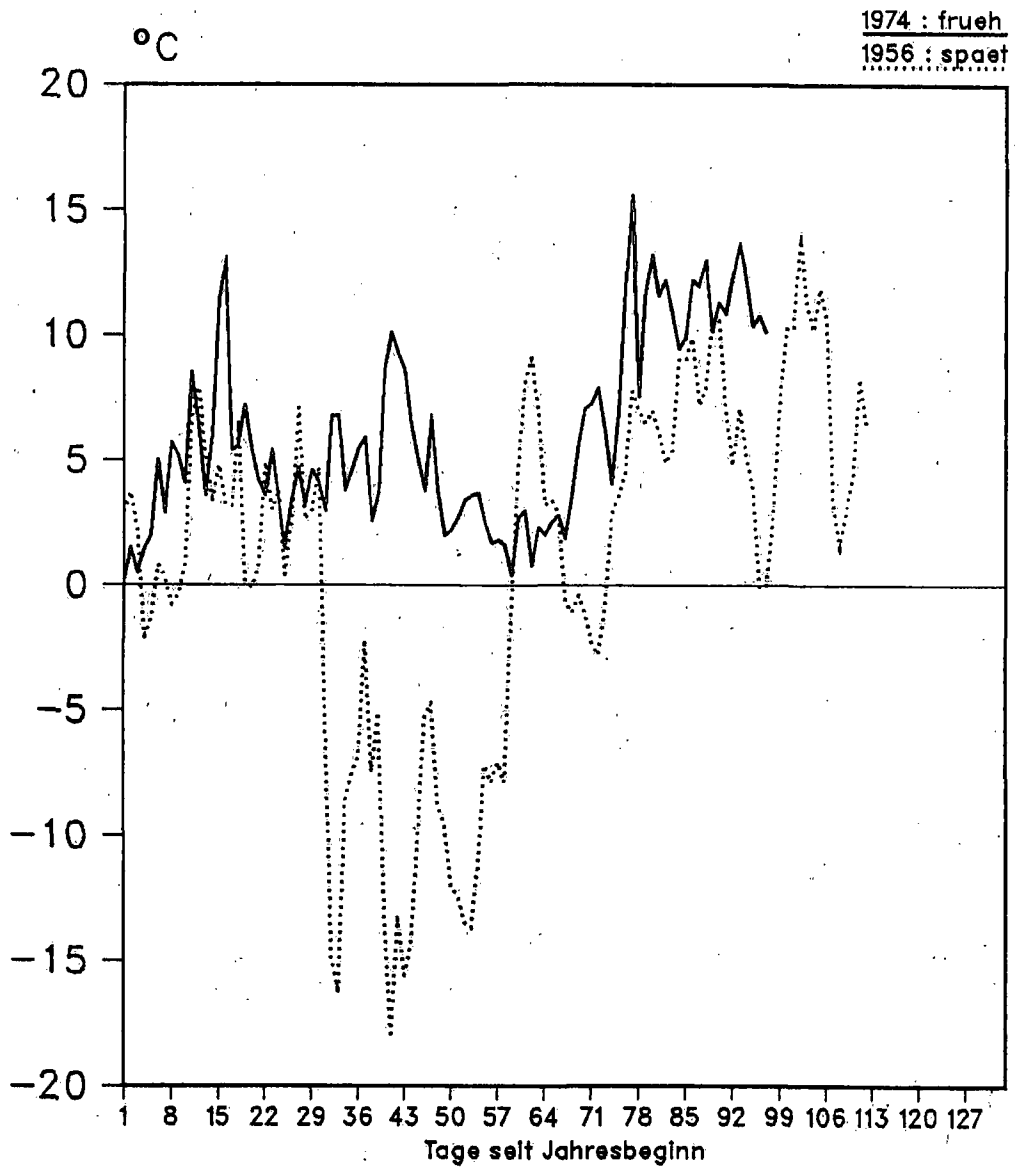


Abb. 37: Der Verlauf der Tagesmitteltemperaturen von Basel-Binningen der Jahre 1956 und 1974 bis zum Eintritt der Phase II (Nadelaustrieb der Lärche)

sichtlich. Aehnliche Charakteristika weisen die übrigen untersuchten Jahre auf. Eine graphische Darstellung mit allen Temperaturkurven erwies sich als zu wenig übersichtlich. Deshalb wurden die Mittelwerte der Tagesmitteltemperaturen aller frühen und aller späten Jahre gebildet und diese zwei Kurven miteinander verglichen (Abb. 38). Daraus wird ersichtlich, dass die Temperaturkurve der frühen Jahre ab dem 30. Tag höher verläuft als diejenige der späten Jahre. Teilweise betragen die Differenzen zwischen den beiden Kurven fünf Grad Celsius und mehr, was für Mittelwerte beträchtlich ist. Der Wärmegenuss ist bei den phänologischen frühen Frühlingsen ab etwa anfangs Februar wesentlich grösser als bei den späten. Dies bestätigt die im Kapitel 7.5 gemachten Feststellungen. Inwieweit auch die Strahlung für die Frühlingsphasen massgebend ist, lässt sich schwer nachweisen, da sie sehr stark mit der Temperatur gekoppelt ist. Zudem spielt bei der Strahlung auch die Pflanzenart eine Rolle, da es bekanntlich Licht- und Schattenpflanzen gibt und möglicherweise die unterschiedlichen phänologischen Phasen verschieden reagieren. So kann man sich vorstellen, dass die Blühphasen stärker auf Strahlungsreize reagieren als die vegetativen Phasen wie etwa der Blattaussbruch. Aus diesen Gründen wurde auf eine Auswertung verzichtet.

An der Phänophase 10 (Blattaussbruch der Rotbuche) wurde zusätzlich untersucht, ob eine bestimmte Temperaturlimite vor dem Eintreten überschritten werden muss. Verwendet wurden wieder die Phänodaten von Liestal sowie die Meteodaten von Basel-Binningen (1951-88). Es konnte gezeigt werden, dass in allen Jahren vor dem Eintritt der Phase 10 Tagesmitteltemperaturen von mindestens +12 Grad Celsius überschritten wurden. Die Tagesmitteltemperatur wurde gewählt, weil sie am ehesten den gesamten thermischen Einfluss wiedergibt. Bei sehr vielen Jahren (32 von 38) konnte beobachtet werden, dass der Blattaussbruch der Rotbuche während oder kurz nach einer Wärmeperiode erfolgte. Es scheint, dass ein letzter Wärmeschub die bereits vorbereiteten Knospen zur Entfaltung bringt. Eine ähnliche Untersuchung für die Station Engelberg hat eine Temperaturlimite von +10 Grad Celsius ergeben (DEFILA, 1990c). Diese beiden Werte scheinen plausibel zu sein unter der Annahme, dass bei höher gelegenen Stationen infolge eines geringeren Wärmeangebotes die Temperaturlimiten etwas tiefer liegen müssen. Es handelt sich um eine klimatische Anpassung der Bäume an ihren speziellen Standort. Diese Temperaturgrenzen dürfen jedoch nicht verallgemeinert werden. Sie gelten für die untersuchten Beobachtungsstationen und speziell für den beobachteten Bestand. In anderen Regionen und Höhenlagen dürften die Werte leicht variieren. Es muss auch klar festgehalten werden, dass die Grenzwerte durch andere Einflussfaktoren modifiziert werden können. Es ist denkbar, dass unter anderem Alter, Vitalität, Krankheiten, Schadstoffe etc. die Limiten auf die eine oder andere Seite verschieben können. Es kann zum Beispiel beobachtet werden, dass am selben Standort bei den jungen Buchen die Blätter früher ausbrechen als bei den älteren Individuen. Dabei darf nicht vergessen werden, dass die weniger hohen Jungbäume im Kronenbereich ein grösseres Wärmeangebot erhalten als die alten, hohen Bäume. Die Erwärmung der bodennahen Luftschicht ist speziell im Frühling viel stärker als diejenige der höheren Schichten.

In diesem Problembereich sind noch viele Fragen offen. Ein vielversprechender Ansatz wären intensive, regionale Untersuchungen.

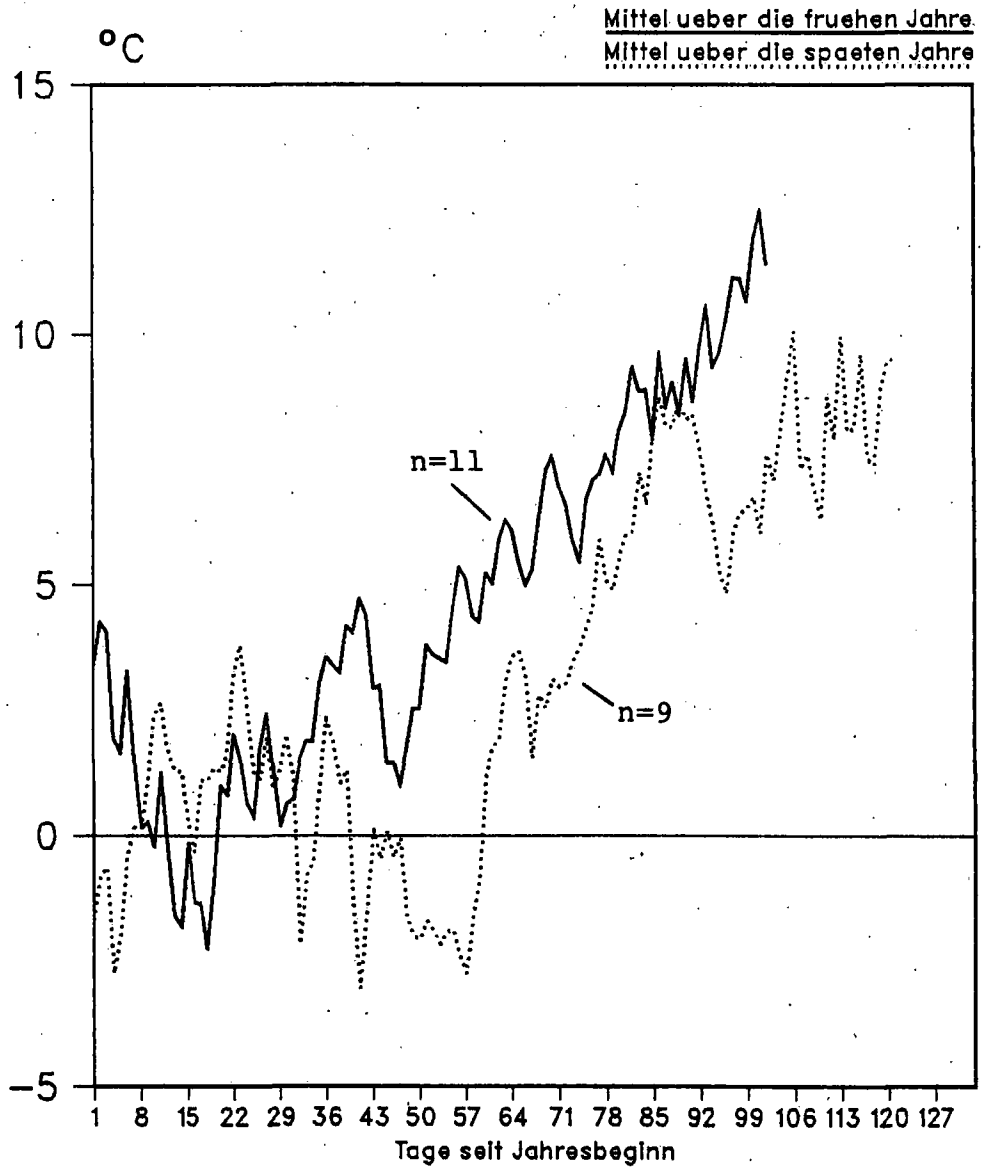


Abb. 38. Der mittlere Verlauf der Tagesmitteltemperaturen von Basel-Binningen aller fruhen und spaeten Jahre (1951-86) bis zum Eintritt der Phase 11 (Nadelaustrieb der Lärche)

### 10.2.2 Temperatursummen

Wie erwähnt, basieren zahlreiche Arbeiten auf der Temperatursummenregel. Es handelt sich dabei meist um Prognosemodelle für spezielle Phänophasen von Kulturpflanzen. In der Regel wurden Summen ab verschiedenen Temperaturschwellen getestet, die für einen Vegetationsbeginn plausibel erscheinen (meist Tagesmittelwerte über 0 Grad Celsius). Dabei wurde speziell darauf geachtet, mit welcher Temperaturlimite die kleinsten Abweichungen zwischen den berechneten und beobachteten Terminen erreicht werden können. Eine fundamentale Frage ist diejenige nach dem Startdatum der Berechnungen. Einfach zu beantworten ist sie, wenn Modelle zwischen zwei verschiedenen Phasen erstellt werden müssen (z.B. zwischen Blüh- und Erntetermin der Kirschen). Möchte man aber eine frühe Frühlingsphase (Blattausbruch, Vollblüte) prognostizieren, dann muss man sich für einen Starttermin entscheiden. In sehr vielen Fällen wurde mit dem 1. Januar begonnen, obschon pflanzenphysiologisch kein plausibler Grund für dieses Datum spricht. Dasselbe gilt auch für den 1. Februar, 1. März etc..

Theoretisch bestehen zwei Möglichkeiten, um den Startpunkt zu bestimmen. Entweder beginnt man nach dem Erreichen einer bestimmten, artspezifischen Temperaturlimite (vergl. Definition der Vegetationsperiode im Kap. 7.8) oder nach dem Unterschreiten einer bestimmten Temperatur (Vernalisation). Dies würde aber die Modellrechnungen komplizieren, da mit einem flexiblen Beginn gerechnet werden müsste. Bei der Definition der Vegetationsperiode konnten keine allgemeingültigen Schwellenwerte gefunden werden. Deshalb wurde auf unterschiedliche Schwellenwerte pro Station und Phänophase verzichtet. Das Problem der Vernalisation kann jedoch nur mit Laboruntersuchungen gelöst werden.

In einem ersten Schritt wurden alle Berechnungen mit dem 1. Januar gestartet. Berücksichtigt wurden die folgenden Stationen: Aurigeno, Liestal, Cartigny, Zürich-SMA, Elm, Engelberg, Disentis und Davos. Es handelt sich um Beobachtungsstationen in verschiedenen Regionen und Höhenlagen, die in der Nähe einer geeigneten Klimastation liegen. In der Annahme, dass die Frühlingsphasen vor allem auf die thermischen Einflüsse reagieren, wurden für diese Untersuchungen folgende Frühlingsphasen gewählt: 4 (Vollblüte des Buschwindröschens), 9 (Vollblüte des Löwenzahns), 10 (Blattausbruch der Rotbuche), 11 (Nadelaustrieb der Lärche) und 15 (Vollblüte des Wiesenschaumkrautes). Es wurde darauf geachtet, dass sowohl Pflanzen der Kraut- und der Baumschicht als auch generative und vegetative Phasen berücksichtigt wurden.

Statistisch wurde so vorgegangen, dass die Temperatursummen für verschiedene Temperaturschwellen berechnet wurden. Aufgrund dieser Temperatursummen und -schwellen wurden die berechneten Eintrittstermine der entsprechenden Phasen ermittelt. Sie wurden mit den beobachteten Terminen verglichen und anschliessend wurde für die ganze Beobachtungsperiode die Summe der Abweichungsquadrate gebildet. Diejenige Temperaturschwelle und -summe mit dem kleinsten aufsummierten Abweichungsquadrat wurde als die beste Lösung betrachtet. Da mit dieser Methode auch negative Schwellenwerte vorkommen können, handelt es sich um rein theoretische Grössen, die nichts mit einem physiologischen Vegetationsnullpunkt zu tun



haben. Für eine Prognose einer bestimmten Phänophase ist dies jedoch vertretbar. In Tabelle 20 sind die Schwellenwerte und dazugehörigen Temperatursummen für die ausgewählten Stationen und Phänophasen zusammengestellt. Da die Anzahl der Beobachtungsjahre unterschiedlich ist, wurden die Abweichungsquadrate der Tabelle nicht beigefügt, da sie nicht vergleichbar sind. Aus der Zusammenstellung ist absolut keine Systematik ersichtlich. Weder die Schwellenwerte noch die Temperatursummen weisen eine Höhenabhängigkeit auf. Auch innerhalb der Stationen ist kein logischer Zusammenhang ersichtlich. Um die Tauglichkeit der Methode für eine Phasenvorhersage zu überprüfen, wurden die absolut grössten Abweichungen zwischen den beobachteten und berechneten Terminen näher untersucht. Sie schwanken zwischen 10 und 31 Tagen. Die grösste Häufigkeit liegt etwa zwischen 16 und 20 Tagen. Für eine Prognose (z.B. Ernteprognose, Behandlungsprognose in der Phytomedizin oder Allergieprognose in der Humanmedizin) sind diese Resultate jedoch zu ungenau.

Für die Station Liestal wurden zusätzlich unterschiedliche Starttermine für die Berechnung berücksichtigt. In Tabelle 21 sind die entsprechenden Schwellenwerte und Temperatursummen zusammengestellt. Wie schon bei der vorangehenden Tabelle kann keine Systematik gefunden werden. Weder sind die Resultate sinnvoll, noch sind die absoluten Abweichungen zwischen den berechneten und beobachteten Terminen kleiner. Somit kann geschlossen werden, dass zumindest für die ausgewerteten Stationen und Phänophasen und angewandten Methoden keine befriedigenden Resultate zu verzeichnen sind. Ob mit einer Methode, bei der der Startpunkt durch eine Phänophase gegeben ist, bessere Ergebnisse zu erzielen sind, bleibt offen.

### 10.3 Der hygrische Einfluss

#### 10.3.1 Niederschlagsverhältnisse und Trockenperioden

Wie in Kapitel 7.6 ausgeführt, kann aufgrund rein deskriptiver Methoden eruiert werden, dass die Herbstphasen (Laubverfärbung) stark vom Wasserangebot abhängen. Es wurde gezeigt, dass frühe Laubverfärbung vor allem dann eintritt, wenn während der Vegetationszeit (meist im Sommer) eine Trockenperiode auftrat. Analog zu Kapitel 10.2.1 wurden nun die Jahre mit frühem respektive spätem Herbst genauer untersucht. Sehr frühe und sehr späte Herbste kamen leider in der untersuchten Periode (1951-86) nicht vor. So wurden die Jahre 1952, 1959, 1971, 1976, 1979 (früh) und 1970, 1980 (spät) analysiert. Es wurden die Klimadaten der Station Zürich-SMA ausgewertet. Als Grundlage dienten die monatlichen Niederschlagssummen, die ab Januar aufsummiert wurden. In der entsprechenden Graphik (Abb. 39) ist keine eindeutige Trennung zwischen frühen und späten Jahren erkennbar. Lediglich das Jahr 1970 (spät) erwies sich als sehr niederschlagsreich.

In einer Arbeit über Witterungsextreme und Waldschäden in der Schweiz (PFISTER et al., 1988) wurden die Trockenjahre mittels eines Dürreindex ermittelt. Ist die These richtig, dass Dürre-

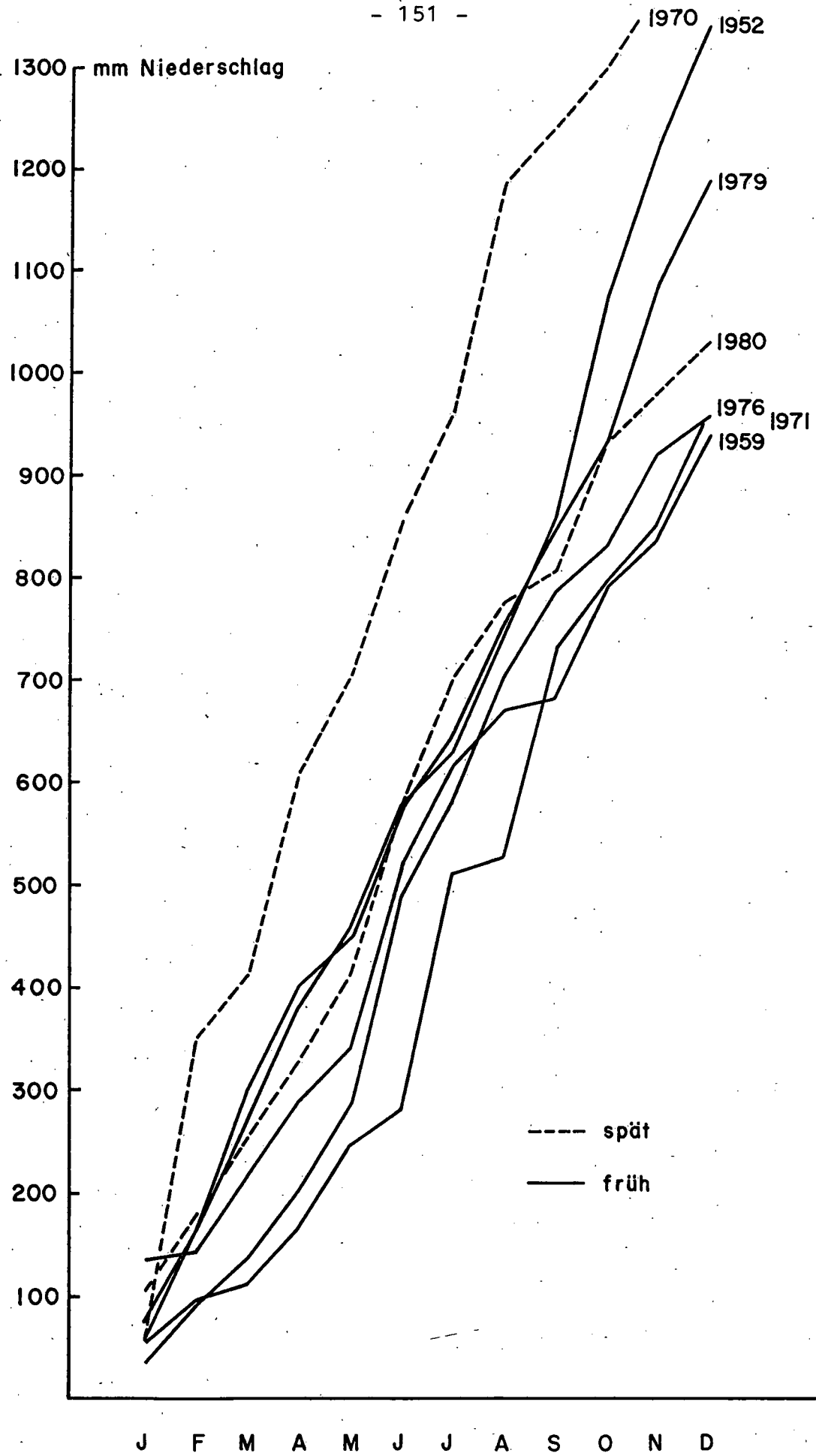


Abb. 39: Aufsummierte Niederschlagsmengen (Zürich-SMA) der frühen und späten phänologischen Herbste

perioden während der Vegetationszeit die herbstliche Laubverfärbung verfrühen, dann müsste bei diesen Dürrejahren auch ein phänologischer früher Herbst ersichtlich sein. Die folgende Zusammenstellung soll diese Frage klären:

Dürrejahre nach Pfister	Phänologischer Herbst
-----	-----
1952	früh
1953	Tendenz zu früh
1959	früh
1962	Tendenz zu spät (!)
1964	nicht eindeutig
1971	früh
1976	früh
1983	Tendenz zu spät (!)

Bei der Mehrzahl der Jahre kann die Aussage bestätigt werden, dass einer Dürreperiode ein früher Herbst folgt. Zweimal wird dieser These widersprochen (1961 und 1983), auch wenn es keine extrem späten Jahre sind.

### 10.3.2 Die Wasserbilanz

Da die Trockenperioden nicht nur vom Input des Wassers (Niederschlag) sondern auch vom entsprechenden Output (Verdunstung) abhängen, wurde eine weitere Untersuchung mittels der Wasserbilanz vorgenommen. Die Wasserbilanz bildet sich aus der Differenz zwischen dem Niederschlag und der Evapotranspiration. Da die reelle Evapotranspiration bei den meisten Standorten nicht bekannt ist, wurde die potentielle Evapotranspiration (ETP) verwendet. Es handelt sich dabei um eine berechnete Grösse. An der SMA wird routinemässig die Formel nach Primault (PRIMAULT, 1981) verwendet:

$$ETP = (1.03 - H) \cdot (S+2n) \cdot c \cdot j$$

-----

- ETP: Potentielle Evapotranspiration (mm)
- H : Relative Feuchtigkeit (%)
- S : Sonnenscheindauer (h)
- n : Anzahl Tage (berücksichtigte Periode)
- c : Höhenkorrekturfaktor
- j : Saisonaler Korrekturfaktor

Die Niederschlagswerte werden um 10% erhöht, da am Boden mehr Niederschlag erfasst wird als in der Normmesshöhe von 1,5 m über Boden (SEVRUK, 1981). Analog zu den Niederschlagssummen wurden die aufsummierten Wasserbilanzwerte der Station Zürich-SMA ab Januar aufgezeichnet. Zusätzlich wurde die entsprechende Mittelwertkurve (1901-80) eingezeichnet. In die Abbildung 40 sind alle aufsummierten Wasserbilanzwerte der phänologisch frühen Herbste (1952, 1959, 1971, 1976 und 1979) sowie diejenigen der späten Herbste (1970 und 1980) eingetragen. Aus dieser Darstellung wird klar ersichtlich, dass mit Ausnahme des Jahres 1979 alle frühen Jahre eine Trockenperiode während der Vegetationszeit aufweisen.

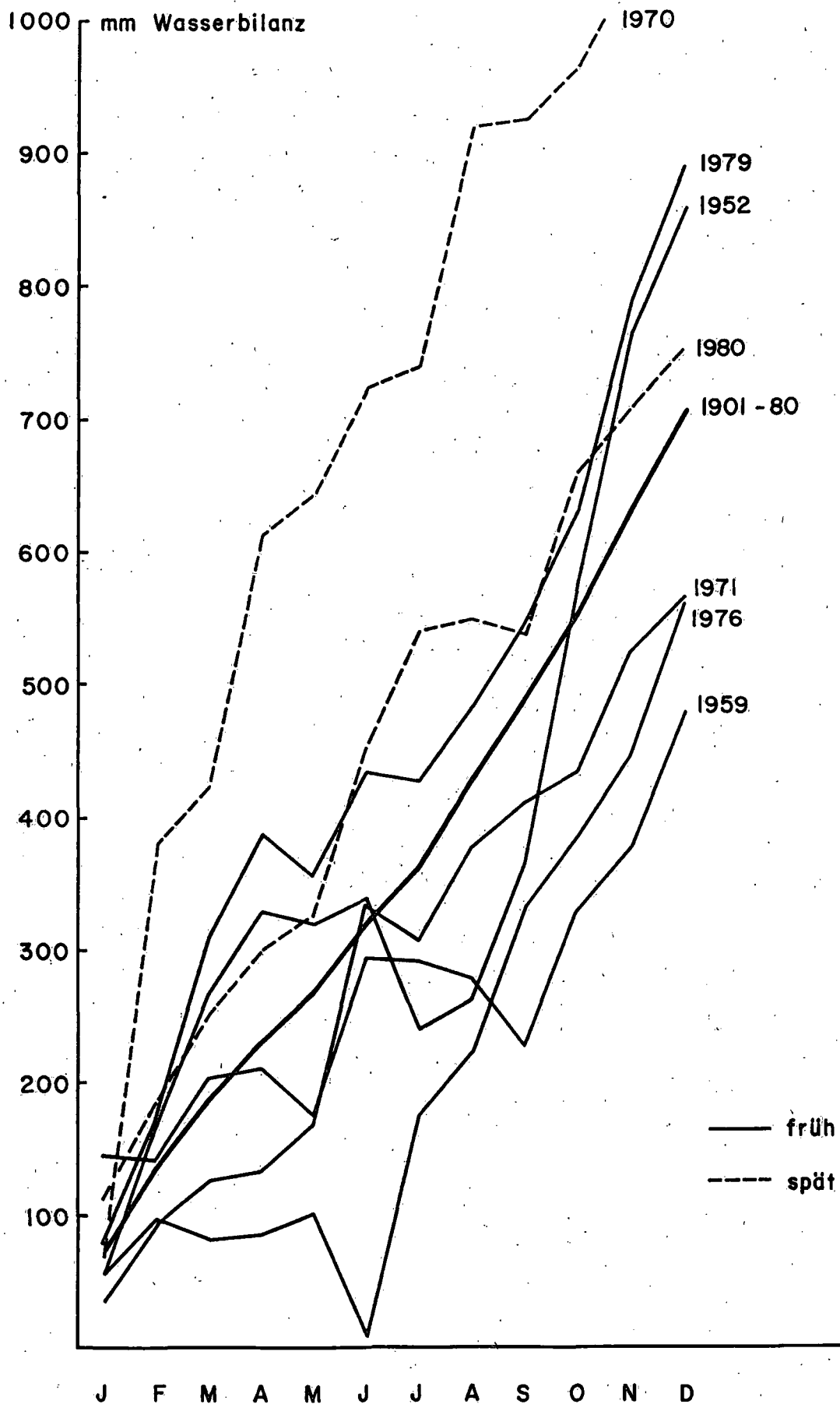


Abb. 40: Aufsummierte Wasserbilanzwerte (Zürich-SMA) der frühen und späten phänologischen Herbste im Vergleich mit der Normkurve (1901-80)

Alle Kurven unterschreiten während einigen Monaten deutlich die Normkurve (1901-80). Am extremsten fällt das Jahr 1976 aus, das als Trockenjahr mit Schäden an landwirtschaftlichen Kulturen bekannt ist (COURVOISIER et al., 1977). Aus der Sicht der Phänologie existieren leider nur zwei späte Herbste (1970 und 1980). Bei beiden Jahren ist eine gute Wasserversorgung der Pflanzen offensichtlich. Die Kurven bewegen sich durchwegs oberhalb der Normkurve. Diese Auswertungen bestätigen eindrücklich die im Kapitel 7.6 gemachten Aussagen, dass bei früher Laubverfärbung (früher Herbst) eine Trockenperiode während der Vegetationszeit vorangeht. Das Ausnahmejahr 1979 muss noch genauer untersucht werden. Bezüglich der Wasserbilanzwerte würde es eher zu den späten Jahren gehören, da die Kurve ständig über der Norm liegt. Betrachtet man aber die Temperaturwerte, fällt auf, dass 1979 Ende September eine Kälteperiode herrschte (etwa vom 21. bis 27.9.79). Es ist denkbar, dass sich die Laubverfärbung nach dem Unterschreiten einer bestimmten Temperaturlimite einstellt. Somit dürfte dieser Kälteeinfluss den frühen phänologischen Herbst bewirkt haben. Vergleicht man die zwei späten Herbste (1970 und 1980) mit dem Jahr 1979, so erkennt man, dass Kälteperioden bei den späten Jahren erst etwa ab Mitte Oktober eintreffen.

Bei den Jahren mit Tendenzen zu frühen oder späten Herbsten konnten keine eindeutigen Ergebnisse festgestellt werden. Dies erstaunt nicht weiter, da die Verfrühung oder Verspätung nicht markant ist.

### 10.3.3 Kombinierte Einflüsse

Wie im vorangehenden Kapitel ausgeführt, kann die herbstliche Laubverfärbung nicht alleine durch das Wasserangebot für die Pflanzen erklärt werden. Jahre mit ausgeprägten Trockenperioden während der Vegetationszeit zeigen eine eindeutige Verfrühung der Herbstphasen. Welche Faktoren determinieren aber die Blattverfärbung bei Jahren mit genügend Niederschlägen? Bestimmt spielt das physiologische Alter der Blätter eine entscheidende Rolle. Die Blätter altern, verfärben sich und fallen danach ab. Da bis anhin keine eindeutige konstante Periode zwischen dem Blattausbruch und der Blattverfärbung gefunden werden konnte, wird diese Fragestellung nicht mehr weiter verfolgt. Analog zu den Frühlingsphasen, wo eine bestimmte Temperaturlimite überschritten werden muss (Kap. 10.2.1), kann man annehmen, dass vor der Blattverfärbung ein Schwellenwert unterschritten werden muss. Dies soll anhand der Blattverfärbung der Rotbuche untersucht werden. Die phänologischen Daten stammen wieder von Liestal und die entsprechenden meteorologischen Werte von der Klimastation Basel-Binningen. In der Annahme, dass vor allem die tiefen Temperaturen die Blattverfärbung induzieren, wurden diesmal die Tagesminima berücksichtigt. In den Jahren 1951 - 88 wurde vor dem Eintritt der Phase 28 (Blattverfärbung der Rotbuche), abgesehen von zwei Ausnahmen, die Minimumtemperatur von 5 Grad Celsius unterschritten. Die zwei Ausnahmen bilden die Jahre 1976 und 1988. 1976 ist das bekannte Dürrejahr und bedarf somit keiner weiteren Erklärung (Kap. 10.3.2). Für das Jahr 1988 konnte kein plausibler Grund gefunden

werden, es sei denn, der Beobachter habe sich im Datum geirrt. Einige Tage nach diesem Datum war eine Kälteperiode zu verzeichnen. Das physiologische Alter der Blätter dürfte in diesem Jahr kaum massgebend gewesen sein, da der Blattausbruch sowie die Blattverfärbung in Liestal im normalen zeitlichen Rahmen stattfanden.

Diese 5 Grad Celsius (Minimumtemperatur) gelten wieder nur für diese Beobachtungsstation und dürfen nicht zu stark bewertet werden. Wie schon angedeutet, spielt zusätzlich das Alter der Blätter, das Wasserangebot sowie der physiologische Zustand der Pflanzen (Vitalität) und somit die Vorgeschichte eine entscheidende Rolle. Auch hier sind noch weitere Untersuchungen in anderen Klimaregionen notwendig. Es drängt sich somit auf, die verschiedenen Regionen einzeln und detailliert zu behandeln.

#### 10.3.4 Multiple Korrelationen

Verschiedentlich wurde schon darauf hingewiesen, dass die Witterungseinflüsse auf die Eintrittstermine der phänologischen Phasen mittels multipler Korrelationen untersucht werden müssen. Dies liegt auf der Hand, wenn man an die multifaktoriellen Witterungseinflüsse denkt, die auf die Pflanzen einwirken. Die multiple Korrelation hat den Vorteil, dass mit einem Modell verschiedene Einflussgrössen statistisch getestet und gewichtet werden können. Leider sind die phänologischen Beobachtungsreihen von knapp 40 Jahren für diese statistische Methode relativ kurz. Dies erlaubt lediglich, fünf bis sechs Variable ins Modell einfliessen zu lassen. Ueberlegt man sich nochmals die Vielfalt der Witterungsfaktoren, die massgebend für das Wachstum und die Entwicklung der Pflanzen verantwortlich sind (Kap. 5.1.3), wird bald klar, dass ein derartiges Modell der Natur nie gerecht werden kann. Neben den einzelnen meteorologischen Elementen wie Temperatur, Niederschlag, Strahlung etc. wirkt insbesondere der Gesamtakkord auf die Vegetation ein. Dazu kommt die witterungsmässige Vergangenheit der aktuellen und vergangenen Vegetationsperioden und der Ruhephasen. Es können leider als Folge der Begrenzung der Variablen nicht alle Faktoren berücksichtigt werden. Aufgrund dieser Beschränkung, die uns die Statistikmethode auferlegt, ist es nur möglich, mit Monatswerten (Mittel oder Summen) zu arbeiten. Dies ist unbefriedigend wenn man bedenkt, wie nachhaltig kurzfristige Witterungsperioden (Frost, Hitze oder Dürre) die Pflanzen beeinflussen können.

Als Teststation dient die Phänostation Liestal, da sie über eine lange Beobachtungsreihe (1951 - 88) verfügt und in der Nähe einer repräsentativen Klimastation (Basel-Binningen) liegt. Um alle phänologischen Jahreszeiten zu berücksichtigen, wurden die Frühlingsphasen 7, 9, 10, und 11, die Sommerphase 19 und die Herbstphasen 28 und 50 ausgewählt. Bei den Frühlingsphasen sind Blattausbruch- und Blühphasen sowie Krautpflanzen und Bäume enthalten.

Gewählt wurde die Methode der schrittweisen, multiplen Korrelationsanalyse mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %. Wie schon

aus den rein deskriptiven Untersuchungen hervorgeht (Kap. 7.5) und bei den Auswertungen der Temperaturverläufe der frühen und späten Frühlinge gezeigt werden konnte (Kap. 10.2.1), ist bei den Frühlingsphasen vor allem der thermische Einfluss massgebend. Somit wurden beim ersten Versuch für alle berücksichtigten Phasen die Temperaturmittel der Monate Januar bis April als Variablen gewählt. In der folgenden Zusammenstellung sind die wichtigsten Resultate wiedergegeben.

Phänophasen	1. Schritt		2. Schritt		3. Schritt	
	Variable	r	Variable	r	Variable	r
7	TA	-0,5073	TM	-0,6293	--	
9	TA	-0,4376	TM	-0,5975	TJ	-0,6567
10	TA	-0,4868	TM	-0,6142	TJ	-0,6657
11	TM	-0,5309	TF	-0,6167	--	
19	--					
28	--					
50	TF	-0,5603	--			

r: Korrelationskoeffizient  
 TJ: Temperaturmittel Januar  
 TF: Temperaturmittel Februar  
 TM: Temperaturmittel März  
 TA: Temperaturmittel April

Sobald im nächsten Schritt keine markante Verbesserung mehr eintritt, wird die Berechnung abgebrochen. Deshalb sind je nach Phase die Anzahl der Schritte unterschiedlich. Bei den Phasen 7, 9 und 10 wurden im 1. Schritt die Temperaturen des Monats April berücksichtigt, bei der Phase 11 diejenige des Monats März. Da die Phase 11 im Durchschnitt in Liestal etwas früher eintritt als die drei anderen Phasen, ist dieser Unterschied erklärbar. Im 2. Schritt erschienen entsprechend die Monate März respektive Februar. Bei den Phasen 9 und 10 wurde noch ein 3. Schritt gerechnet. Der Beitrag zur Erklärung des Modells ist jedoch so gering, dass diesem 3. Schritt keine grosse Bedeutung mehr zugeschrieben werden kann. Die Korrelationskoeffizienten sind alle negativ, das heisst je wärmer die entsprechenden Monate waren, desto früher traten die Phänophasen ein. Allgemein sind die Koeffizienten nicht sehr hoch, doch wenn man bedenkt, welche weiteren Einflussfaktoren noch vorhanden sind (Boden, Vitalität der Pflanzen, Mikroklima etc.), erstaunt dies nicht weiter. Die Resultate bestätigen die in den Kapiteln 7.5 und 10.2.1 gemachten Aussagen. Die Abbildung 38 im Kapitel 10.2.1 zeigt auch deutlich anhand der Phase 11, dass die mittlere Temperaturkurve der frühen Jahre ab etwa Februar deutlich höher liegt als diejenige der späten Jahre. Auch die im Kapitel 10.3.3 gefundene Temperaturlimite für die Phase 10 weist auf den thermischen Einfluss hin. Mit vier verschiedenen Methoden konnte dasselbe Resultat gefunden werden, wenn auch bei allen Auswertungen die Ergebnisse statistisch nicht besonders gut gesichert sind. Es darf gleichwohl die Aussage gewagt werden, dass die Frühlingsphasen sehr stark von den Temperaturverhältnissen der Vormonate determiniert werden. Diese Feststellung entspricht auch den physiologischen sowie bioklimatologischen Erfahrungen. Für das Wachstum und die Entwicklung der Pflanzen sind im Frühling die Wärme und damit eng gekoppelt die Strahlung die bestimmenden Faktoren.

Bei der Sommerphase 19 wurde keine der vier Variablen berücksichtigt. Die Temperaturen der Monate Januar bis April vermögen die Vollblüte der Sommerlinde, welche rund zwei Monate später eintritt, kaum stark zu beeinflussen.

Bei den Herbstphasen verhält sich die Phase 50 merkwürdig. Im 1. Schritt wird die Februartemperatur berücksichtigt. Der Korrelationskoeffizient ist ebenfalls negativ und etwa in der gleichen Größenordnung wie bei den Frühlingsphasen. Wie die Temperatur im Februar die Blühphase der Herbstzeitlose, welche rund vier Monate später eintritt, beeinflussen kann, dafür kann keine plausible Erklärung gefunden werden. Wie schon mehrmals erwähnt, verhält sich die Herbstzeitlose völlig anders als die übrigen untersuchten Pflanzen. Bei der Phase 28 wurde keine der vorgegebenen Variablen berücksichtigt.

Im nächsten Schritt wurden für dieselben Phänophasen die Variablen neu definiert. Neben den Temperaturmittelwerten aus den Monaten Januar und Februar sowie März und April wurden die Summen der Niederschläge und der Sonnenscheindauer derselben Monatskombinationen miteinbezogen. Die wichtigsten Resultate sind nachstehend zusammengefasst.

Phänophase	1. Schritt Variable r	2. Schritt Variable r	3. Schritt Variable r	4. Schritt Variable r
7	TMA -0,6048	--		
9	TMA -0,5862	TJF -0,6609	SJF -0,7106	SMA -0,7484
10	TMA -0,5937	SMA -0,7127	TJF -0,7746	--
11	TMA -0,6078	SMA -0,6646	--	
19	--			
28	--			
50	TJF -0,5156	--		

r: Korrelationskoeffizient

TJF: Temperaturmittel (Januar+Februar)

TMA: Temperaturmittel (März+April)

SJF: Sonnenscheindauersumme (Januar+Februar)

SMA: Sonnenscheindauersumme (März+April)

Die Resultate unterscheiden sich im 1. Schritt kaum von den vorgehenden. Bei den Frühlingsphasen wurden die März/April-Temperaturen berücksichtigt, bei den Phasen 19 und 28 wurde wieder keine Variable berücksichtigt, und bei der Phase 50 unerklärlicherweise die Januar/Februar-Temperaturen. Die Korrelationskoeffizienten sind leicht höher als bei der ersten Berechnung. Bei den Phasen 9, 10 und 11 wurde noch ein 2. Schritt gerechnet, wobei bei der Phase 9 die Januar/Februar-Temperaturen und bei den Phasen 10 und 11 die Sonnenscheindauer der Monate März und April berücksichtigt wurden. Ob dieser Unterschied zwischen der Phase 9 und den Phasen 10 und 11 rein zufällig ist oder ob zwischen den vegetativen und generativen Phasen oder zwischen der Kraut- und Baumschicht unterschiedliche Einflussgrößen massgebend sind, kann aufgrund dieser Auswertung nicht geklärt werden. Dazu müssten weitere Phasen und Stationen untersucht werden. Bei den Phasen 9 und 10 wurde noch ein 3. Schritt gerechnet mit den Variablen Sonnenscheindauer (Januar/Februar) respektive Temperatur (Januar/Februar). Bei der Phase 9 kam es noch zu einem 4. Schritt



mit der Sonnenscheindauer der Monate März und April. Der Anteil zur Erklärung der Resultate, den diese zwei letzten Schritte beitrugen, ist so gering, dass es nicht sinnvoll ist, nach einer Erklärung zu suchen. Die Gesamtkoeffizienten sind unter Berücksichtigung aller Schritte recht hoch geworden.

Für die Phasen 19, 28 und 50 wurden noch weitere Variablen getestet. Bei der Phase 19 wurden bei einem ersten Versuch die Monatsmitteltemperaturen vom Januar bis Mai eingegeben. Im 1. Schritt wurde die Mai-Temperatur berücksichtigt mit einem Korrelationskoeffizienten ( $r$ ) von  $-0,4330$  und im 2. Schritt die Februar-Temperatur ( $r = -0,5547$ ). Wie bei den Frühlingsphasen ist auch hier die Temperatur des Vormonates vor allem massgebend. Die Februar-Temperatur im 2. Schritt ist nicht erklärbar. Im zweiten Versuch wurden als Variablen die Temperaturmittelwerte vom März und April sowie vom Mai und die Summen der Sonnenscheindauer und der Niederschläge derselben Monatskombinationen ausgewählt. Im 1. Schritt wurde die Sonnenscheindauer vom Mai berücksichtigt ( $r = -0,5806$ ), im 2. Schritt die Temperaturen vom März und April ( $r = -0,6529$ ). Es scheint, dass kurz vor dem Blühtermin der Sommerlinde die Pflanze vor allem genügend Strahlung (Sonnenscheindauer) benötigt. Dies ist plausibel, da im Sommer im Normalfall genügend Wärme vorhanden ist. Es kann auch beobachtet werden, dass die Linden nach einigen sonnigen Tagen zu blühen beginnen. Während der Wachstumsphase (März/April) hingegen ist die Temperatur der bestimmende Faktor.

Im Kapitel 10.3.2 konnte gezeigt werden, dass die Herbstphasen auch durch Trockenperioden beeinflusst werden. Deshalb wurden für die Phasen 28 und 50 die Wasserbilanzwerte bis und mit August für die Phase 50 und bis und mit Oktober für die Phase 28 aufsummiert. Bei der Phase 28 wurden neben den Temperaturmittelwerten der Monate Mai/Juni, Juli/August und September/Oktober auch die Summen der Sonnenscheindauer derselben Monatskombinationen sowie die Wasserbilanz (aufsummiert bis Oktober) eingegeben. Gerechnet wurde nur der 1. Schritt, wobei die Temperaturen der Monate September und Oktober ( $r = 0,5127$ ) berücksichtigt wurden. Es mag erstaunen, dass die Wasserbilanz nicht einbezogen wurde. Im Kapitel 10.3.2 wurde auf die Bedeutung der Wasserbilanz (Trockenperioden) für die Blattverfärbung der Rotbuche hingewiesen. Es konnte aber auch im Kapitel 10.3.3 gezeigt werden, dass vor der herbstlichen Laubverfärbung jeweils eine Temperaturlimite (Minimumtemperatur) unterschritten wurde. Der positive Korrelationskoeffizient in der vorliegenden Untersuchung bedeutet, dass je tiefer die Temperaturen in den Monaten September und Oktober sinken, desto früher die Blattverfärbung der Buche eintritt. Dies bestätigt die Aussagen im Kapitel 10.3.3. Die Wasserbilanz hingegen ist nur bei Dürre Jahren massgebend. Diese einzelnen Extremjahre verschwinden in der gesamten Statistik und somit fällt die Wasserbilanz als determinierender Faktor ausser Betracht.

Bei der Phase 50 wurden die Temperaturmittelwerte der Monate Mai/Juni und Juli/August sowie die entsprechende Sonnenscheindauer und die Wasserbilanz bis und mit August als Variablen eingegeben. Es wurden jedoch keine dieser Variablen miteinbezogen. Diese Auswertung hat nichts zur Klärung der seltsamen Phase 50 beigetragen.

Die schrittweise, multiple Korrelation hat bestätigt, dass die Frühlingsphasen vor allem durch die Temperatur bestimmt werden. Sie hat auch gezeigt, dass bei der Sommerphase 19 nach der temperaturabhängigen Wachstumsphase, die Blühphase stark durch die Strahlung (Sonnenscheindauer) induziert wird. Das sonderbare Verhalten der Herbstphase 50 konnte auch mit einer statistischen Methode nicht geklärt werden. Die Phase 28 wird durch die sinkenden Temperaturen der Monate September und Oktober bestimmt und in extremen Jahren durch Trockenperioden (Wasserbilanz). Abgesehen von diesen ausserordentlichen Situationen (Dürrejahre) spielen die Niederschlagsverhältnisse nie eine entscheidende Rolle.

#### 10.4 Schlussbemerkungen

Untersucht man den Witterungseinfluss auf die Eintrittstermine der verschiedenen Phänophasen, muss man sich bewusst sein, dass neben der Witterung noch eine Vielzahl weiterer Einflussgrössen existiert. Es ist mit dem zur Verfügung stehenden Datenmaterial und den angewendeten Auswertemethoden nicht möglich, kurzfristige Witterungsereignisse sowie den Gesamtakkord der atmosphärischen Bedingungen zu erfassen.

Anhand des mittleren Temperaturverlaufes von frühen und späten Frühlingsphasen konnte der massgebende Temperatureinfluss auf die Frühlingsphasen gezeigt werden. Dieser wird bestätigt, indem für Liestal für die Phase 10 (Blattaussbruch der Rotbuche) eine Temperaturlimite von 10 Grad Celsius gefunden werden konnte. Untermauert wurden diese Ergebnisse durch multiple Korrelationsanalysen, die einen starken Temperatureinfluss der Vormonate ergaben. Bei der Sommerphase 19 (Vollblüte der Sommerlinde) ist während der Wachstumsphase (März/April) eine starke Temperaturabhängigkeit feststellbar; kurz vor dem Blühtermin (Mai) ist jedoch die Strahlung (Sonnenscheindauer) massgebend. In Jahren mit einer ausgesprochenen Trockenperiode während der Vegetationsperiode kann eine Verfrühung der Blattverfärbung der Rotbuche (Phase 28) festgestellt werden. In normalen Jahren ist die Phase 28 ebenfalls temperaturabhängig. Je tiefer die Temperaturen in den Monaten September und Oktober sinken, desto früher tritt die Laubverfärbung ein. Es konnte für Liestal auch eine Temperaturlimite von 5 Grad Celsius (Tagesminimumtemperatur) gefunden werden, die vor der Blattverfärbung unterschritten werden muss. Bei der Phase 50 (Vollblüte der Herbstzeitlose) konnte keine vernünftige Witterungsabhängigkeit gefunden werden. Temperatursummen brachten keine befriedigenden Resultate. Die Abweichungen der berechneten Termine von den beobachteten sind zum Teil zu gross. Die eruierten Temperaturlimiten sind teilweise so tief, dass sie jeglichen pflanzenphysiologischen Erfahrungen widersprechen. Alle Resultate müssen anhand weiterer regionaler Arbeiten bestätigt werden.

## 11. TRENDS BEI DEN PHAENOLOGISCHEN REIHEN

### 11.1 Einführung

Zur Erklärung und Lösung der vielfältigen Umweltprobleme, mit denen wir heute konfrontiert sind, werden langjährige, homogene Messreihen, die Aenderungen in unserer Umwelt objektiv belegen können, dringend benötigt. Im Zusammenhang mit den neuartigen Waldschäden ist es wichtig zu wissen, wie die Waldbestände früher ausgesehen haben. Aehnliche Fragen stellen sich bezüglich der drohenden Klimaänderungen als Folge des Treibhauseffektes. Hier sind vor allem lange, homogene Temperaturreihen gefragt. Die Interpretation der phänologischen Reihen hinsichtlich allfälliger Trends ist nicht einfach, da bei den phänologischen Daten eine Vielzahl von Einflussfaktoren mitspielen. Vor allem müssen bei derartigen Untersuchungen verschiedene Phänophasen berücksichtigt werden. Bei einer einzelnen Phase - besonders wenn es sich um ein einzelnes Individuum handelt, das beobachtet wird - könnten Krankheiten, Alterung etc. einen Trend vortäuschen, der entsprechend falsch interpretiert werden könnte. Ein Trend bei den Frühlingsphasen könnte durch einen Anstieg der Temperaturen verursacht werden. Bei den Herbstphasen müsste auch die Wasserbilanz berücksichtigt werden. Allmähliche Aenderungen der Eintrittstermine könnten auch als Folge vermehrten Schadstoffeintrags in die Bio-, Atmo-, Hydro- oder Pedosphäre auftreten. Eine Folge davon wäre eine Verfrühung der herbstlichen Blattverfärbung oder eine Verspätung der Frühlingsphasen. Bezüglich Schäden in der Biosphäre ist die Frage von Interesse, ob heute die Pflanzen empfindlicher auf Witterungsextreme reagieren als früher, z.B. in den Fünfzigerjahren, zur Zeit eines wesentlich geringeren Schadstoffausstosses. Eine entsprechende Studie ist in Zusammenarbeit mit der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) und der Abteilung für Forstwirtschaft an der Eidg. Technischen Hochschule in Bearbeitung. Die Resultate stehen aber noch aus.

Obschon rund 40 Jahre für eine Trendanalyse sehr wenig sind, wurden gleichwohl einige Phänophasen der Beobachtungsstation Liestal (ab 1951) untersucht. Von Liestal existiert zusätzlich eine lange phänologische Reihe über die Vollblüte eines Kirschbaumes, die bis in das Jahr 1894 zurückreicht (BIDER, 1960). Diese Reihe wurde ebenfalls in die Auswertungen miteinbezogen. Einerseits konnten die Daten der SMA damit verglichen werden und andererseits eignet sich diese lange Reihe zur Untersuchungen von Trends in den letzten beinahe 100 Jahren.

### 11.2 Resultate der Regressionsberechnungen

Die Trendanalysen wurden mit Hilfe eines Regressionsmodells durchgeführt, das die Beziehungen zwischen den Eintrittsterminen der Phänophasen und den einzelnen Jahren (1951-89) herstellt. Folgende Phänophasen, die über die gesamte Vegetationsperiode verteilt sind, wurden in diese Untersuchung miteinbezogen:

- 2 Vollblüte des Huflattichs
- 3 Blattausbruch der Hasel
- 6 Blattausbruch der Rosskastanie
- 7 Vollblüte der Rosskastanie
- 9 Vollblüte des Löwenzahns
- 10 Blattausbruch der Rotbuche
- 11 Nadelaustrieb der Lärche
- 16 Vollblüte der Margerite
- 19 Vollblüte der Sommerlinde
- 23 Vollblüte der Winterlinde
- 26 Blattverfärbung der Rosskastanie
- 28 Blattverfärbung der Rotbuche
- 47 Vollblüte der Hasel
- 50 Vollblüte der Herbstzeitlose

Wie bereits in der Einführung erwähnt, wurde auch die Kirschenblüte von Liestal der Jahre 1894 - 1990 in dieser Untersuchung berücksichtigt. Für jede Phänophase wurden die Regressionsgeraden berechnet, gezeichnet und die Korrelationskoeffizienten bestimmt.

Vorerst sollen nur die Daten der offiziellen Phänostation Liestal betrachtet werden. Bei allen Phasen kann ein leichter Trend zu späteren Eintrittsterminen beobachtet werden. Eine Ausnahme bildet lediglich die Phase 28 (Blattverfärbung der Rotbuche), wo kein Trend registriert werden kann. In der folgenden Zusammenstellung sind pro Phänophase die Korrelationskoeffizienten (r) mit der entsprechenden Irrtumswahrscheinlichkeit (P) sowie die dazugehörige Verspätung in Tagen zwischen 1951 und 1989 aufgelistet.

<u>Phänophasen</u>	<u>Korrelationskoeffizienten</u>	<u>Trend in Tagen</u>
2	0,2420 --	+10
3	0,3256 o	+13
6	0,1312 n. sign.	+ 5
7	0,3932 *	+14
9	0,3311 o	+12
10	0,2294 --	+ 6
11	0,3133 -	+12
16	0,2689 --	+ 8
19	0,5151 ***	+12
23	0,2500 --	+ 6
26	0,0986 n. sign.	+ 3
28	0,0063 n. sign.	0
47	0,3213 -	+23
50	0,1353 n. sign.	+ 4

P= 0,20	--	n. sign.: nicht signifikant
0,10	-	
0,05	o	
0,02	*	
0,01	**	
0,001	***	

Die Resultate zeigen deutlich, dass die Korrelationskoeffizienten nicht hoch und nur schwach signifikant sind. Das beste Ergebnis liefert die Phase 19 (Vollblüte der Sommerlinde). Die entsprechende Regressionsgerade ist in Abbildung 41 dargestellt. Es

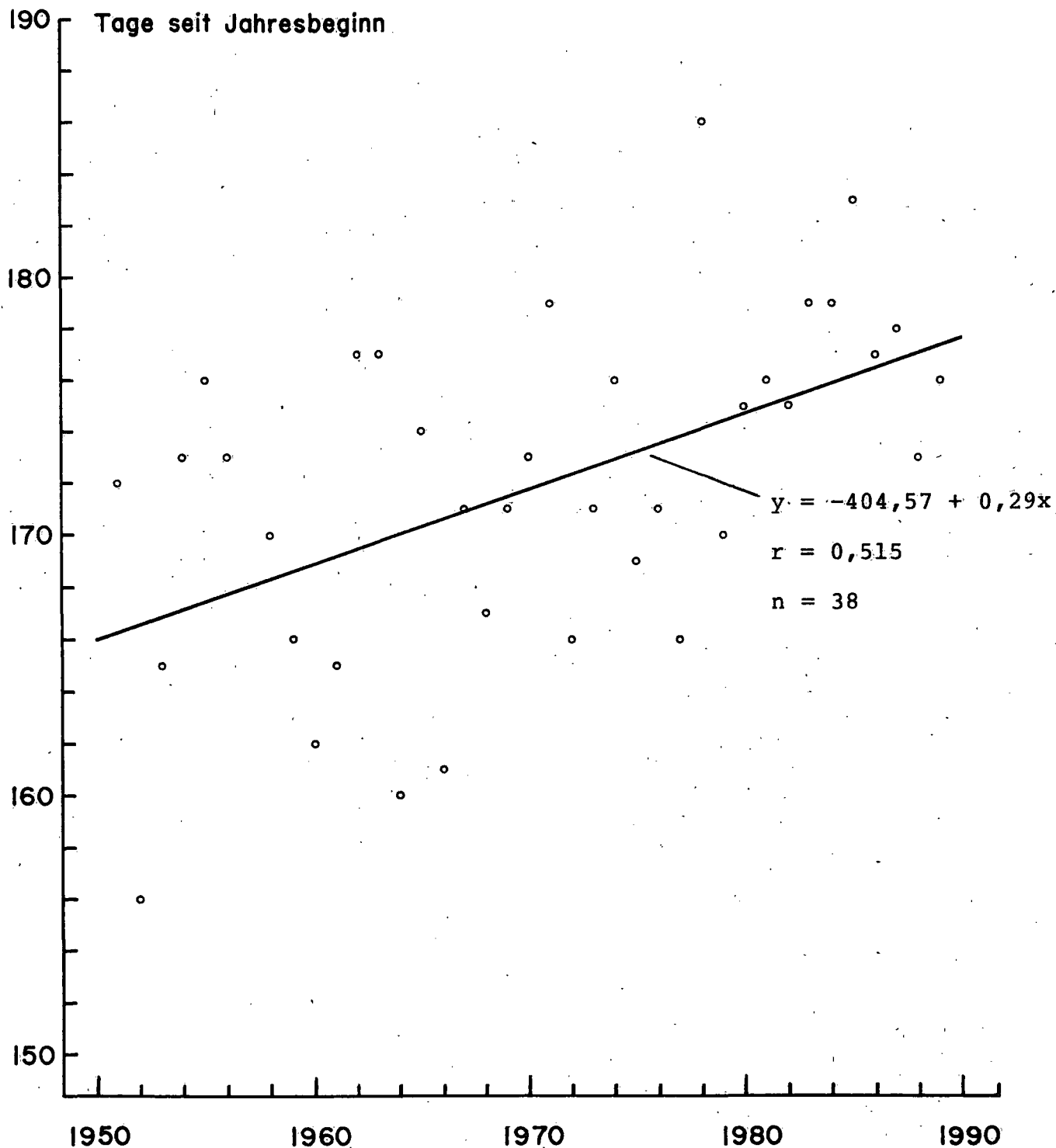


Abb. 41: Eintrittsdaten der Phänophase 19 (Vollblüte der Sommerlinde) von Liestal

stellt sich die Frage, wieso ausgerechnet bei der Sommerlinde ein so deutlicher Trend auftritt, der bei der Phase 23 (Vollblüte der Winterlinde) nicht bestätigt wird. Aufgrund dieser Ergebnisse darf eine Klimaschwankung oder die Umweltverschmutzung als Ursache ausgeschlossen werden. Als einzige zufriedenstellende Interpretation bleibt die Annahme, dass es sich bei der beobachteten Sommerlinde um einen Alterungsprozess handelt. Auch bei der Buche und Lärche kann beobachtet werden, dass die jungen Individuen früher austreiben als die älteren Artgenossen. Dies ist auch bei der Vollblüte der Linde denkbar. Ob es sich dabei um ein physiologisches Faktum handelt oder um ein mikroklimatologisches (größerer Wärmegewinn in Bodennähe) kann nicht mit Sicherheit gesagt werden.

Bei den untersuchten Phänophasen der Station Liestal kann allgemein kein gesicherter Trend gefunden werden. Dies durfte bei dieser relativ kurzen Zeitperiode auch kaum erwartet werden. Eine mögliche Klimaänderung kann sich in dieser kurzen Zeit noch nicht auswirken und es scheint, dass die zunehmende Schadstoffbelastung bis heute auch keinen direkten Einfluss auf die Eintrittstermine hat.

Ob bei längeren Beobachtungsreihen ein Trend ersichtlich ist, wurde mit der langen Kirschenblütereihe von Liestal getestet. Es wurde dieselbe Berechnungsmethode wie bei den anderen Phasen angewendet. Im Gegensatz zu den bereits behandelten Phasen ist hier ein leicht negativer Trend ersichtlich, was eine Tendenz zur Verfrühung der Kirschenblüte bedeutet. Der Korrelationskoeffizient ist jedoch mit  $-0,0590$  sehr klein und nicht signifikant. Die Differenz zwischen 1894 und 1990 beträgt jedoch nur 2 Tage. Betrachtet man dieselbe Periode wie bei den übrigen Phasen (1951 -89), ist gar kein Trend mehr erkennbar. Der Korrelationskoeffizient ist mit  $0,0019$  verschwindend klein und nicht signifikant. Auch bei dieser langen Beobachtungsreihe kann also kein Trend nachgewiesen werden. Dies bedeutet, dass zumindest für diesen Standort und für die untersuchten Phasen keine gravierenden Änderungen der Umweltverhältnisse stattfanden, welche die Eintrittstermine der Phänophasen nachhaltig beeinflussten.

### 11.3 Gleitende Mittelwerte

Um den Verlauf der phänologischen Zeitreihen besser verfolgen zu können, wurden für die ausgewählten Phasen von Liestal (Kap. 11.2) gleitende Mittelwerte über 10 Jahre gebildet. In den Abbildungen 42, 43 und 44 sind diese Kurven wiedergegeben, unterteilt in Frühlings-, Sommer- und Herbstphasen. In der Abbildung 42 ist zusätzlich noch die Kirschenblüte von Liestal aus der langen Beobachtungsreihe eingezeichnet. Da bei der offiziellen Phänostation erst in den letzten Jahren die Kirschenblüte beobachtet wird, kann diese Reihe leider nicht mit den Daten der SMA verglichen werden. Obschon die Kurven individuelle Besonderheiten aufweisen, ist der allgemeine Verlauf sehr ähnlich. Die Kurven der Phasen 2,10 und der Kirschenblüte heben sich leicht von den übrigen ab, infolge einer stärkeren Depression in den Siebzigerjahren. Betrachtet man die Gesamtheit der Kurven, dann wird, deutlicher als bei den Regressionsgeraden, eine allgemeine Tendenz zu späteren

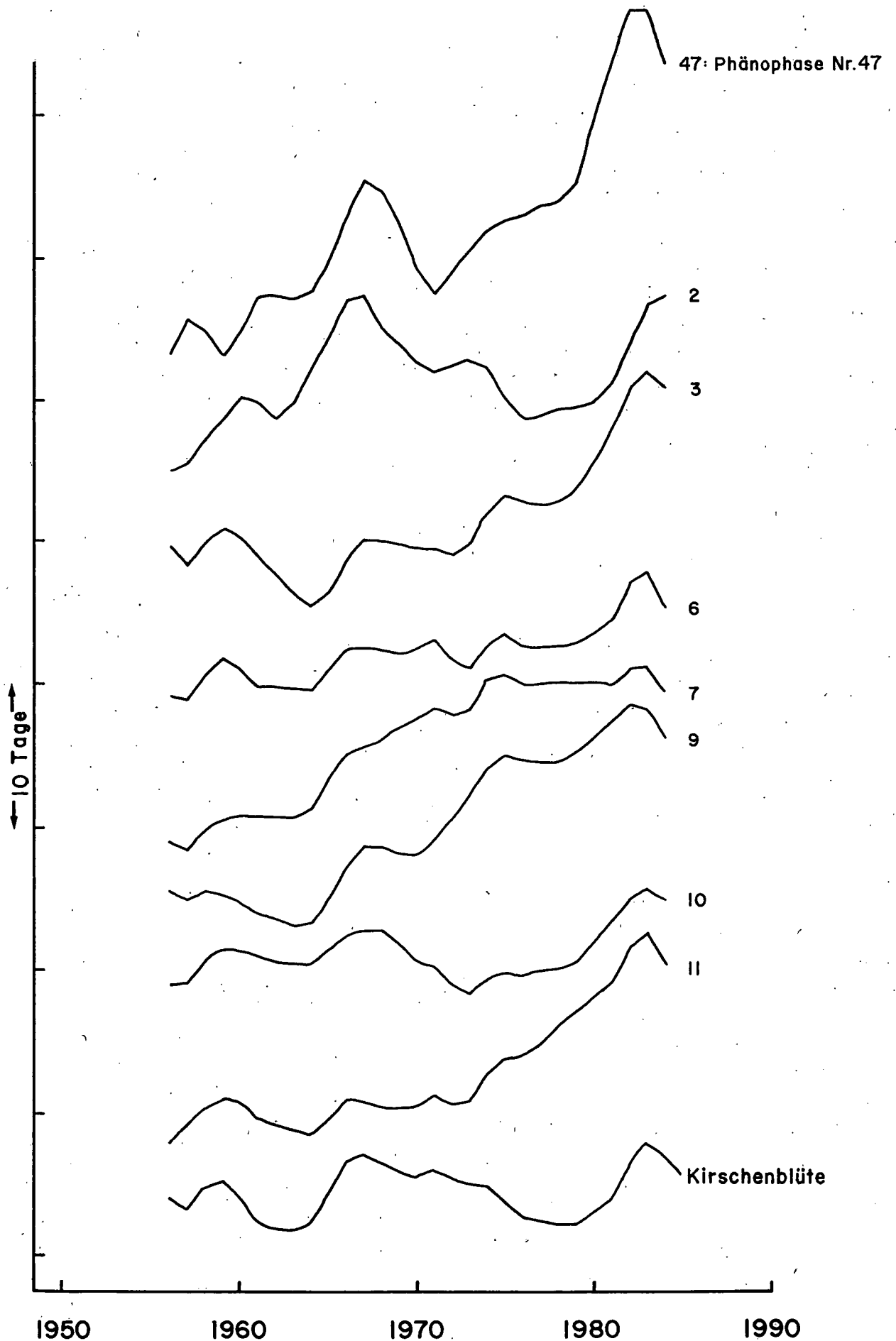


Abb. 42: Gleitende 10-Jahresmittel der Eintrittstermine der phänologischen Frühlingsphasen von Liestal

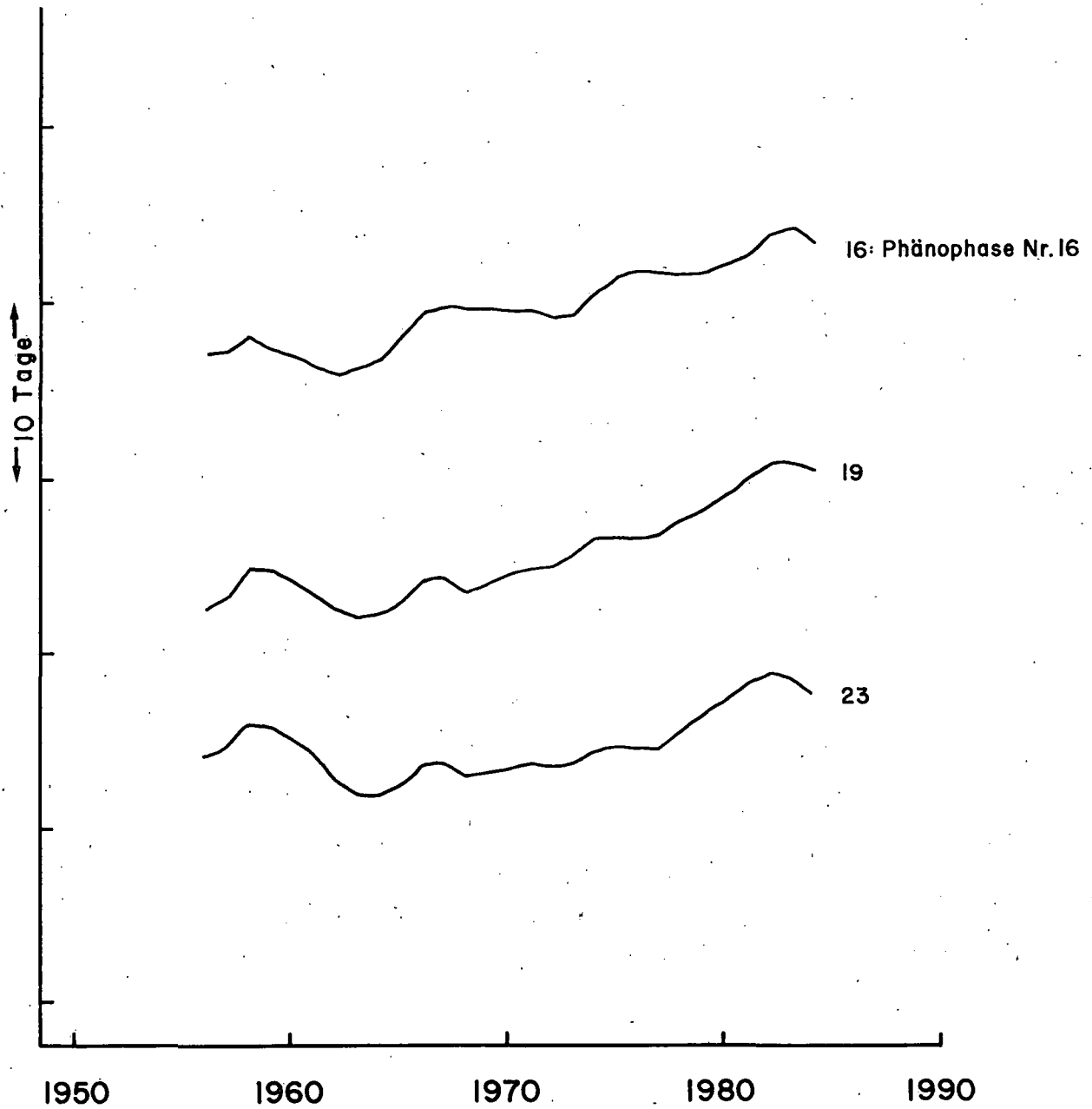


Abb. 43: Gleitende 10-Jahresmittel der Eintrittstermine der phänologischen Sommerphasen von Liestal



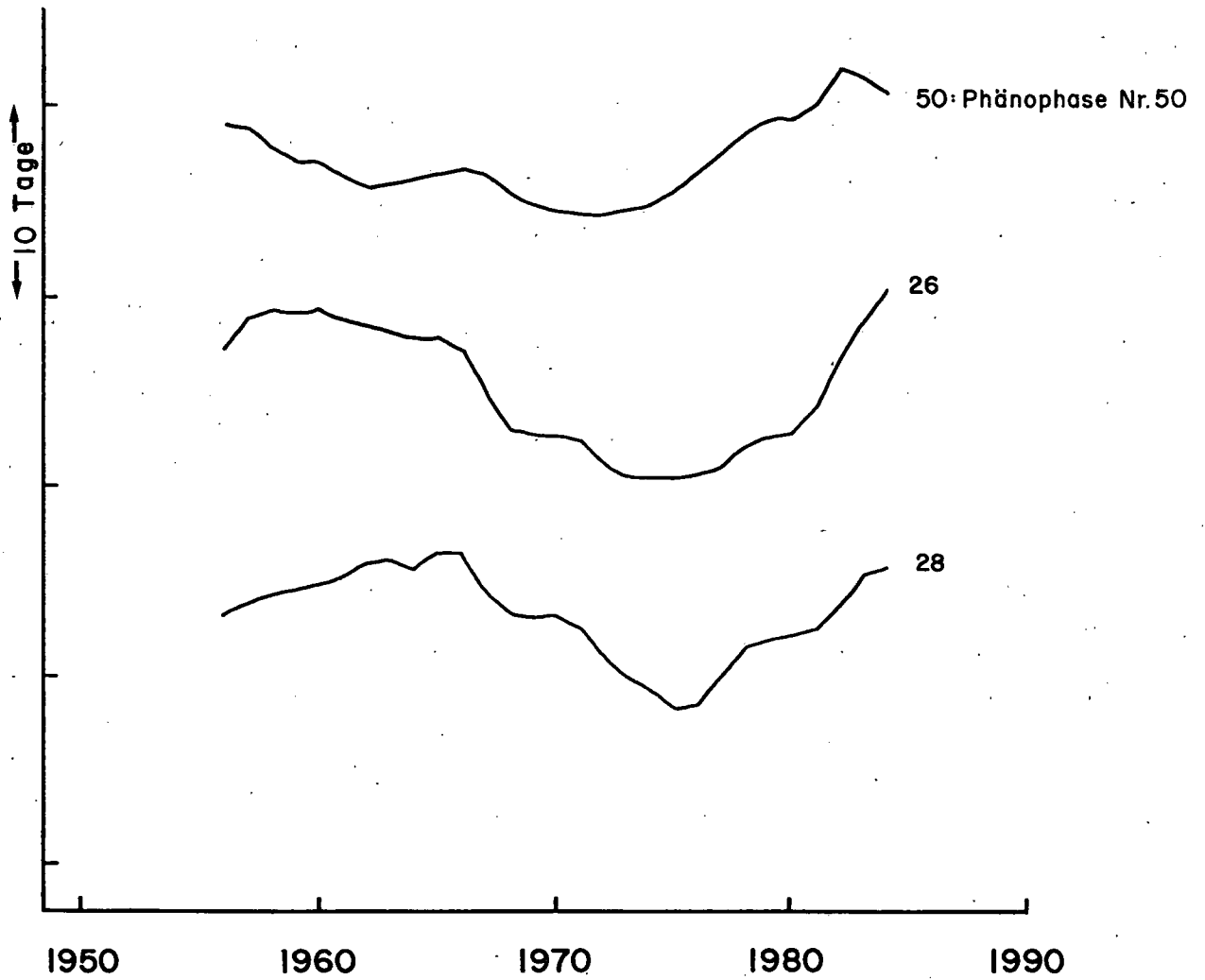


Abb. 44: Gleitende 10-Jahresmittel der Eintrittstermine der phänologischen Herbstphasen von Liestal



Abb. 45: Gleitende 10-Jahresmittel der Eintrittstermine der Kirschenblüte von Liestal, 1894 - 1990

Eintrittsterminen ersichtlich. Diesbezüglich verhalten sich die Sommerphasen (16,19 und 23) sehr ähnlich. Wie bei den Frühlingsphasen kommt auch eine Tendenz zur Verspätung in den späteren Fünfzigerjahren zum Ausdruck, sowie eine Tendenz zu früheren Terminen in den frühen Sechzigerjahren. Bei den Herbstphasen (50,26 und 28) ist die Tendenz zu früheren Terminen in den Siebzigerjahren markant. Ein Trend zu späteren Terminen ist erst in den letzten Beobachtungsjahren ersichtlich. Gesamthaft kann bei den Herbstphasen kein Trend erkannt werden. Die Tatsache, dass innerhalb derselben phänologischen Jahreszeiten die Kurven sehr ähnliche Charakteristika aufweisen, spricht für die Qualität der Daten.

Dieselben gleitenden Mittelwerte wurden auch für die lange Kirschenblustreihe von Liestal gebildet (Abb. 45). Wie bei der Regressionsanalyse kann auch hier kein Trend beobachtet werden. Frühe und späte Perioden wechseln ziemlich regelmässig ab. Markant ist lediglich die anhaltende Verspätung der Eintrittstermine Ende der Zwanziger-, anfangs der Dreissigerjahre.

#### 11.4 Schlussbemerkungen

Aufgrund der Regressionsanalysen kann bei der Station Liestal für die ausgewählten Phänophasen kein gesicherter Trend nachgewiesen werden. Eine Ausnahme bildet die Phase 19 (Vollblüte der Sommerlinde), bei der eine Tendenz zu späteren Terminen festgestellt werden kann. Die Vermutung geht aber dahin, dass es sich dabei um eine Alterserscheinung eines einzelnen Individuums handelt. Auch bei der sehr langen Kirschenblütereihe von Liestal (1894 - 1990) wird kein Trend ersichtlich. Aus diesen Resultaten geht hervor, dass zumindest für die untersuchte Station weder eine Klimaänderung noch vermehrte Umweltverschmutzung zu einer markanten Beeinflussung der Eintrittstermine der Phänophasen führte. Bei den gleitenden Mittelwerten (über 10 Jahre) werden bei den Frühlings- und Sommerphasen Tendenzen zu späteren Terminen ersichtlich. Bei den Herbstphasen ist lediglich eine starke Tendenz zu früheren Terminen in den späteren Siebzigerjahren auffällig. Die lange Reihe der Kirschenblüte von Liestal weist keinen Trend auf. Markant ist die anhaltende Verspätung Ende der Zwanziger-, anfangs der Dreissigerjahre. Alle Aussagen müssen noch anhand weiterer Stationen bestätigt werden. Dies soll später in einer regionalen Phänologie der Schweiz geschehen.

## 12. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

### Anmerkungen zu den Ergebnissen

Viele der Resultate zeigen lediglich Tendenzen auf, ohne statistisch gesichert werden zu können. Sehr oft erreichte man aber mittels unterschiedlichen Auswertemethoden dieselben Aussagen, was die Wahrscheinlichkeit der Richtigkeit der Resultate stark erhöht. Viele Aussagen - insbesondere was die Beziehungen zwi-

schen der Witterung und der Phänologie betrifft - sind nicht neu. Sie könnten auch im Gedankenmodell erarbeitet werden. Es spricht aber für die phänologischen Daten, dass entsprechende Relationen nachgewiesen werden könnten, obschon die Daten gewisse Unschärfen enthalten. Derartige Auswertungen wurden noch nie für die gesamte Schweiz durchgeführt. Dies betrifft vor allem die Beziehungen zwischen den Phänophasen, zwischen den Stationen sowie die regionalen Höhenabhängigkeiten der Mittelwerte, der Streuungen und der Differenzen zwischen Phänophasen. Ebenso wurde noch nie ein phänologischer Kalender mit dieser statistischen Aussagekraft veröffentlicht sowie die phänologischen Jahreszeiten in frühe, normale und späte Jahre eingeteilt.

### Praktische Bedeutungen

Die Arbeit hat auch zahlreiche praktische Erkenntnisse gebracht, die nun in die tägliche Routinearbeit einfließen werden. So hat die wissenschaftliche Auswertung der phänologischen Daten aufgezeigt, welche Phänophasen sich für den phänologischen Routinedienst eignen und welche zu ergänzen sind. Aufgrund dieser Erfahrung soll das Beobachtungsprotokoll überarbeitet werden. Dabei müssen auch die Anliegen der Beobachter sowie der Benutzer (spez. der Land- und Forstwirtschaft) berücksichtigt werden. Umgekehrt darf das Beobachtungsprotokoll nicht völlig umgestaltet werden, da sonst die sehr wichtige Kontinuität verloren geht. Es wird aber sinnvoll und möglich sein, gewisse Phänophasen zu streichen und dafür neue zu berücksichtigen. Die Kenntnisse über die Beziehungen zwischen den phänologischen Phasen innerhalb derselben Stationen und zwischen verschiedenen Stationen soll die Erstellung eines sinnvollen Prüfprogramms erlauben. So wird es künftig möglich sein, die phänologischen Daten zu kontrollieren und gegebenenfalls zu korrigieren.

### Komplexität eines Oekosystems

Verschiedene Untersuchungen innerhalb dieser Arbeit haben gezeigt, wie komplex die Wechselwirkungen zwischen einer Pflanze oder Pflanzengruppe und ihrer Umwelt sind. Neben den biotischen Faktoren wie Konkurrenz, Schädlinge und Krankheiten spielen auch die physischen Faktoren wie Standort, Bodenart und atmosphärische Bedingungen eine wesentliche Rolle. Dabei dürfen pflanzenphysiologische Vorgänge wie Vererbung, Vitalität, Alterung etc. nicht vergessen werden. Die Wechselbeziehungen einer Pflanze zur Umwelt sind so kompliziert, dass es vorerst nur gelingt, Teilaspekte zu untersuchen und wirklich zu verstehen. Diese Erkenntnisse zeigen uns auch deutlich, dass wir die Gesamtzusammenhänge in der Natur kaum jemals völlig verstehen werden. Dies soll uns auch als Warnung dienen, möglichst wenig in den Verlauf der Natur einzugreifen. Wer kann schon für sich beanspruchen, genau zu wissen, welche Auswirkungen aufgrund von Aufschaukelungen, Rückkopplungen und Vernetzungen unsere Eingriffe bewirken.

## Zukünftige Anwendungen der Phänologie

Für die Ursachenfindung bei Schäden in der Biosphäre ist das Wissen über den früheren Zustand der Natur unerlässlich. Phänologische Daten sind besonders gut geeignet, um Veränderungen in der Pflanzenwelt zu belegen. Der Vorteil der Phänologie besteht darin, dass in diesen Daten die Gesamtheit aller Umwelteinflüsse zur Geltung kommt. Aufgrund der heutigen Umweltsituation müssen deshalb Dauerbeobachtungsflächen gefordert und geplant werden. Dort sollen neben der Vegetation, deren Zusammensetzung und Gesundheitszustand auch die Böden und die entsprechenden Veränderungen kontinuierlich untersucht werden. Unsere phänologischen Beobachtungsstationen sind derartige minimale Beobachtungsflächen, die bis in die Fünfzigerjahre zurückreichen.

Erkenntnisse über die verschiedenen Einflussfaktoren auf die Pflanzen sind bei der Problematik um Klimaänderungen ebenfalls enorm wichtig. Nur dank diesem Wissen wird es möglich sein, die Auswirkungen einer Klimaänderung (erhöhte Temperaturen, mehr oder weniger Niederschlag, Änderungen der Verdunstungsraten etc.) auf die Kulturpflanzen wie auch auf die natürliche Vegetation zu prognostizieren. Eine mögliche Klimaänderung kann den ganzen phänologischen Jahreszyklus verändern. Die Eintrittstermine der verschiedenen phänologischen Phasen werden sich je nach Szenarium verschieben und die Vegetationszeit verlängern oder verkürzen. Zudem wird sich auch die Artenzusammensetzung ändern. Arten, die den neuen klimatischen Bedingungen besser angepasst sind, werden sich auf Kosten weniger angepasster Arten ausbreiten. Nicht nur die Vegetation im engeren Sinn wird derartigen Änderungen unterworfen sein, sondern auch ihre Umgebung. So werden die Pflanzenschädlinge (seien es Pilze oder Insekten) entsprechend den neuen klimatischen Bedingungen sich stärker oder schwächer vermehren und ausbreiten. Zudem sind auch andere Arten von Schädlingen zu erwarten. Bei den Kulturpflanzen kommt noch das Problem der Unkräuter hinzu, die gleichermassen ein verändertes Verhalten aufzeigen werden. Aus diesen sicher nicht vollständigen Ausführungen wird die Bedeutung der phänologischen Beobachtungen für die Umweltforschung ersichtlich.

## Erhaltung des phänologischen Netzes der Schweiz

Bei allen Auswertungen hat sich die Bedeutung von möglichst langen phänologischen Beobachtungsreihen gezeigt. Für viele Untersuchungen erwiesen sich die heute knapp 40 verfügbaren Jahre als noch zu kurz. Deshalb ist es absolut notwendig, dass das phänologische Netz der Schweiz erhalten bleibt. Insbesondere dürfen die Stationen, die seit 1951 in Betrieb sind, auf keinen Fall aufgehoben oder verlegt werden. Langjährige Beobachtungsreihen sollten von allen Klimaregionen der Schweiz vorhanden sein.

Beobachterwechsel sind leider bei derartig langen Perioden unausweichlich. Es muss dabei stets darauf geachtet werden, dass der neue Beobachter möglichst durch den Vorgänger eingeführt wird, und dass weiterhin dieselben Pflanzen beobachtet werden. Müssen Einzelbäume oder -sträucher gefällt werden oder sterben sie ab, muss dies vom Beobachter gemeldet und darauf hingewiesen werden, wenn er ein neues, eventuell jüngeres Individuum beobachtet. Al-

leine die Einhaltung derartiger Massnahmen führt zu homogenen und kontinuierlichen Beobachtungsreihen, die zuverlässige Aussagen über mögliche Änderungen in der Biosphäre erlauben.

### Ausblick

Bei mehreren Fragen konnten nur Tendenzen festgestellt werden und zahlreiche Fragen blieben unbeantwortet. Gleichwohl konnte ein erster Ueberblick über die Phänologie der Schweiz vermittelt werden. Es ist daher eine absolute Notwendigkeit, auf diesem Gebiet weiterzuforschen. Wie angetönt, sollten in erster Linie regionale Phänologien die Erkenntnisse vertiefen und ergänzen. Derartige regionale Arbeiten sind auch dazu geeignet, die Besonderheiten der verschiedenen Klimate der Schweiz besser zu charakterisieren. Besonders wertvoll wäre es auch, die vorliegende Arbeit in etwa 20 Jahren zu wiederholen. Die Aussagekraft einer sechzigjährigen Reihe ist viel grösser und eventuelle Umweltänderungen und -beeinflussungen würden dann besser zum Ausdruck kommen.

### 13. ZUSAMMENFASSUNG

Seit 1951 führt die Schweizerische Meteorologische Anstalt (SMA) in der Schweiz systematische phänologische Beobachtungen durch. Das Beobachtungsnetz und -programm der SMA sowie das 1986 eingeführte Sofortmeldeprogramm werden ausführlich beschrieben. Ein Rückblick in die Anfänge der Phänologie zeigt die Geschichte und Methoden bis in die heutige Zeit auf. Die Anwendungsmöglichkeiten der Phänologie, von den Frostwarnungen bis zur Ursachenfindung bei Schäden in der Biosphäre, werden eingehend diskutiert.

Anschliessend wird eine Auswahl von phänologischen Phasen (38) und Beobachtungsstationen (über 100) wissenschaftlich ausgewertet. Untersucht wurden Mittelwerte und Streuungen der phänologischen Daten und deren Höhenabhängigkeiten, der Verlauf der phänologischen Jahreszeiten und die Beziehungen zur entsprechenden Witterung, Beziehungen zwischen verschiedenen Phänophasen sowie zwischen verschiedenen Beobachtungsstationen, der Einfluss der Witterung auf die Eintrittstermine der Phänophasen sowie Trends bei phänologischen Zeitreihen. Die wichtigsten Resultate der durchgeführten Auswertungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Mittelwerte und Streuungen: Die mittleren Eintrittstermine der Frühlingsphasen weisen eine strengere Höhenabhängigkeit auf als diejenigen der Herbstphasen. Bei Differenzen zwischen den Phänophasen ist vor allem dann eine Höhenabhängigkeit feststellbar, wenn die Phasen zeitlich weit auseinander liegen (Frühlings-/Herbstphasen). Bei den Streuungen ist keine Höhenabhängigkeit nachweisbar. Die Grösse der Streuungen ist stark von den betreffenden Phänophasen und den Regionen abhängig. Anhand von zwei ausgewählten Stationen wird ein phänologischer Kalender erstellt, der Mittelwerte und Streubereiche der Daten zum Ausdruck bringt.

Phänologische Jahreszeiten: Um den zeitlichen Verlauf der phänologischen Jahreszeiten charakterisieren zu können, wurden die Daten in Klassen von sehr früh bis sehr spät eingeteilt. Dies ermöglicht eine Uebersicht über den Verlauf der Vegetationsentwicklung der einzelnen Jahre und einen Vergleich der verschiedenen Jahre untereinander. Erste, einfache Beziehungen zwischen der Witterung (Witterungsbericht der SMA) und den Eintrittsterminen der Phänophasen zeigen, dass die Frühlingsphasen stark temperaturabhängig sind, während die Herbstphasen durch das pflanzenverfügbare Wasser im Sommer (Trockenperioden) determiniert werden. Relationen zwischen klimatologischen und phänologischen Vegetationsperioden konnten nicht gefunden werden.

Korrelationen zwischen Phänophasen: Die Beziehungen zwischen den Phänophasen sind abhängig von den zeitlichen Differenzen zwischen den Phasen. So korrelieren Frühlings- oder Herbstphasen besser untereinander als Frühlings- mit Herbstphasen. Ausnahmen bilden die sehr frühen Phasen, die Erntetermine und der 1. Reif. Zwischen generativen und vegetativen Phasen bestehen signifikante Unterschiede, indem die vegetativen Phasen häufiger als erwartet untereinander hoch korrelieren. Signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Stockwerken der Vegetation konnten nicht aufgezeigt werden.

Korrelationen zwischen Stationen: Es wurden Korrelationen derselben Phänophasen zwischen verschiedenen Stationen berechnet. Innerhalb der gleichen Region und Höhenlage sind die Beziehungen zwischen den Stationen gut. Zwischen der Alpennordseite und -südseite konnten keine hohen Korrelationskoeffizienten gefunden werden. Verschiedene gute Korrelationen zwischen Stationen unterschiedlicher Regionen und Höhenstufen konnten nicht erklärt werden.

Einfluss der Witterung: Im Frühling ist der Witterungseinfluss auf die Eintrittstermine der Phänophasen stark temperaturabhängig. Zwischen späten und frühen Frühlingsen konnten markante Unterschiede des Temperaturverlaufes festgestellt werden. Für eine ausgewählte Phase (Blattausbruch der Rotbuche) konnte eine Temperaturschwelle von 10 Grad Celsius gefunden werden, die vor dem Eintrittstermin überschritten werden muss. Bei einer ausgewählten Herbstphase (Blattverfärbung der Rotbuche) muss hingegen eine Temperaturlimite von 5 Grad Celsius (Minimumtemperatur) unterschritten werden. Neben dem Temperatureinfluss bei normalen hygrischen Verhältnissen konnte bei Trockenjahren zudem eine Abhängigkeit von der Wasserbilanz nachgewiesen werden. Trockenperioden während den Sommermonaten bewirken eine frühere Laubverfärbung. Bei der untersuchten Sommerphase (Vollblüte der Sommerlinde) zeichnete sich eine Kombination von Temperaturabhängigkeit (während der Wachstumsphase) und Strahlungsabhängigkeit (während der Blühphase) ab. Mit Hilfe von Temperatursummen konnten die Eintrittstermine der phänologischen Phasen nicht mit genügender Genauigkeit bestimmt werden.

Phänologische Zeitreihen: Bei der überwiegenden Mehrzahl der untersuchten Phänophasen von Liestal konnte aufgrund der Regressionsanalyse kein gesicherter Trend nachgewiesen werden. Gleitende Mittelwerte (über 10 Jahre) zeigen bei den Frühlings- und Sommerphasen eine Tendenz zu späteren Eintrittsterminen (1951-89). Bei

den Herbstphasen treten Tendenzen zu früheren Terminen in den späteren Siebzigerjahren auf.

Schlussfolgerungen: Viele der erarbeiteten Resultate zeigen lediglich Tendenzen auf. Weitere regionale Arbeiten und eine Wiederholung dieser Untersuchungen in etwa 20 Jahren sind deshalb unbedingt notwendig. Änderungen in der Biosphäre und die Wechselbeziehungen zwischen den Pflanzen und ihrer Umwelt können nur aufgrund von langen Beobachtungsreihen erkannt werden. Aus diesen Gründen ist es unerlässlich, dass das phänologische Netz der Schweiz nicht nur erhalten bleibt, sondern so ausgebaut wird, dass alle Klimaregionen genügend berücksichtigt sind. Dabei sind Verbesserungen des Beobachtungsprogrammes aufgrund der Erkenntnisse dieser Arbeit, insbesondere eine überarbeitete Liste der zu beobachtenden Phänophasen, vorzunehmen.



LITERATURVERZEICHNIS

(X) In der Arbeit zitierte Literatur

- AICHELE, H., 1953: Der Beginn der Apfelblüte 1953 am westlichen Bodensee als Hilfsmittel der kleinklimatischen Geländekartierung. Met. Rundschau, 6 (11/12): 204-206
- AICHELE, H., 1956: Die Beeinflussung des Pflanzenwachstums durch das Kleinklima in süddeutschen Mittelgebirgslagen. Diss., Landwirtschaftliche Hochschule Hohenheim; 61 S.
- AICHELE, H., 1964: Beitrag zu Festlegung phänologischer Jahreszeiten und deren Höhenabhängigkeit in Rheinland-Pfalz. Meteorologische Rundschau, 17 (2): 42-46
- ALBERT, O., 1894: Beiträge zur Entwicklung der Knospen einiger Laubhölzer, Diss., München; 60 S.
- ANISZEWSKI, T., 1986: Thermic Thresholds of Grassland in Kainuu Region. Arboreta Phaenologica, Nr. 31: 77- 80
- ANNALEN der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt.  
(X) Verschiedene Jahrgänge
- ANONYMUS, 1986: Phänomenal. Kosmos 3/86: 66-73
- ARAKAWA, H., 1956: Climatic changes as revealed by the blooming dates of the cherry blossoms at Kyoto. Journal of Meteorology, 13 (6): 599-600
- ARZT, T., 1949: Alte Probleme der Phänologie in neuer Beleuchtung. Naturwissenschaftliche Rundschau, 2 (10): 450-459
- AULITZKY, H., 1968: Ueber spezielle Erfordernisse des Phänologischen Beobachtungsdienstes eines Gebirgslandes. Wetter und Leben, 20: 16-19
- BAGGIOLINI, M., 1952a: Stades repérés du cerisier. Revue romande d'agriculture, de viticulture et d'arboriculture, 8 (3): 22
- BAGGIOLINI, M., 1952b: Stades repérés du prunier. Revue romande d'agriculture, de viticulture et d'arboriculture, 8 (3): 23
- BAGGIOLINI, M., 1952c: Les stades repérés dans le développement annuel de la vigne et leur utilisation pratique. Stations fédérales d'essais agricoles, Lausanne, Publ. No. 12: 98
- BAND, G., 1959: Phänologische Daten als Ausdruck klimatischer Wirkungen. Abh. Meteorolog. u. Hydrol. Dienst DDR, VII/47, Berlin; 24 S.
- BAUMGARTNER, A., 1950: Methodisches zur Darstellung des Witterungseinflusses auf den Verlauf der Pflanzenentwicklung; Erläutert an den Phänologischen Beobachtungen 1947 in Bad Kissingen. Meteorologische Rundschau, 3 (9/10): 217-221

- BAUMGARTNER, A., 1952: Zur Phänologie von Laubhölzern und ihre Anwendung bei lokalklimatischen Untersuchungen. Bericht des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone, 42: 69-73
- BAUMGARTNER, A., 1986: Phänologie und Internationale Phänologische Gärten. Arboreta Phaenologica, Nr. 31: 1-6
- BAUMGARTNER, A., G. KLEINLEIN und G. WALDMANN, 1956: Forstlich-phänologische Beobachtungen und Experimente am Grossen Falkenstein (Bayerischer Wald). Forstwirtschaftliches Zentralblatt, 75: 290-303
- Bentle, B., 1917: Phänologische Untersuchungen aus Württemberg. Diss., SA aus den Jahreshften des Vereins f. vaterländische Naturkunde, Jhg. 1917: 93-143
- BERG, H., 1952: Bedeutung und Grenzen der Phänologie für die Klimatologie. Berichte des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone, 42: 354-362
- BIDER, M., 1936: Phänologische Beobachtungen in den Kantonen Baselland, Basel-Stadt, Uri und Graubünden. XI. Tätigkeitsbericht der Naturforschenden Gesellschaft Baselland, 38: 57-90
- BIDER, M., 1946: Versuch einer frühzeitigen Prognose des Kirschen-(X) ertrages. Schweiz. Z. Obst- u. Weinbau, 55 (25): 484-494
- BIDER, M., 1953: Die Aufblühdaten eines Kirschbaumes während sechs Dezennien. Bericht über das Int. agrarmet. Kolloquium in Freiburg i.Br.
- BIDER, M., 1958: Beziehungen zwischen Witterung und Pflanzenwachstum. Nationalzeitung Nr. 161 u. 173
- BIDER, M., 1960: Untersuchungen an einer 67-jährigen Reihe von (X) Beobachtungen der Kirschblüte bei Liestal (Basel-Landschaft). Wetter und Leben, 12 (9-10): 221-230
- BIDER, M., 1968: Die Auswertung meteorologischer Daten für die Prognose der Kirschenenernte. Die Grüne: 1074-1078
- BIDER, M. und A. MEYER, 1946: Lässt sich der Zeitpunkt der (X) Kirschenenernte der Nordwestschweiz vorausbestimmen? Schweiz. Z. f. Obst- u. Weinbau, 55 (25): 476-483
- BIJL van der, W., 1956: The constant temperature-sum as a basis for forecasting flowering date. Geofisica pura e applicata, II: 246-252
- BLAZEK, J., J. KUCERA und F. PARSTEJN, 1983: Phänologie der Blühdauer bei Apfelsorten. Wiss. Arb. Obstbau, Forsch.-Veredel.-Anst. Obstbau, No. 9: 101-102
- BLOC, D. et J.P. GOUET, 1981: Influence des sommes de températures sur la date de floraison femelle et la maturité du maïs. Production and Utilization of the Maize Crop, Proceedings of the First European Maize Congress, Euromais 1979, E.S. Bunting (Ed.): 193-203

- BÖER, W., 1952: Witterung und Pflanzenwachstum. Abh. Meteorol. u. Hydrol. Dienst DDR, II/14; 63 S.
- BOLLER, E., 1964: Auftreten der Kirschenfliege (*Rhagoletis* (X) *cerasi* L.) und Prognose mittels Bodentemperaturen im Jahre 1963. Schweiz. Zeitschrift für Obst- und Weinbau 73, Nr. 3: 53-58
- BOS, H., 1917: Die Intervalle zwischen verschiedenen Pflanzenphasen. In Ihne, E. (ed): Phänologische Mitteilungen. Arbeiten der Landwirtschaftskammer Hessen; Darmstadt. Jhg. 1916: 33-38
- BOS, H., 1931: Begriff und Zukunft der Phänologie. Acta Phaenologica I (1); 40 S.
- BOURKE, P.M.A., 1968: Meteorological influences of epidemiology (X) of potato blight (*Phytophthora infestans*). Proc Regional Training Seminar Agrometeorology, Agric Univ Wageningen: 57-67
- BOX, E.O. und J.D. WICKHAM, 1987: Phenological Observations in the Deciduous Forests of the Eastern United States, Spring 1984. Abstract, 11th International Congress of Biometeorology, ISB 4.3; S 13
- BRANDTNER, E., 1958: Methodische Untersuchungen an phänologischen Beobachtungen unter besonderer Berücksichtigung phytopathologischer Probleme. Berichte des Deutschen Wetterdienstes, 7 (47); 14 S.
- BRANDTNER, E. und O. ESSENWANGER, 1957: Zur Statistik phänologischer Daten. Meteorologische Rundschau, 10 (5): 151-156
- 
- BRANZI, G.P. und A.L. ZANOTTI, 1989: Methods in phenological mapping. Aerobiologia, 5 (1898): 44-54
- BRAZIER, C.E. und M. MARCEL, 1931: Contribution à l'étude de l'influence des facteurs météorologiques sur la date de la floraison de l'Acacia (*Robinia pseudo acacia* Linn.). Soixantes Congrès des Sociétés Savantes.
- BUENNING, E., 1955: Jahreszeiten und Pflanzenleben. Studium Generale, 8 (12): 733-742
- BUYS, M.E.L. und A.V. KOTZE, 1963: Forecasting the maturity of fruits. The Deciduous Fruit Grower, 13 (10): 335-341
- CALAME, F., 1977: Observation phénologique et mesure bioclimatologique dans plusieurs sites viticoles valaisans à différentes altitudes en vue de la délimitation de l'aire viticole. XVe Congrès international de la vigne et du vin. 57e Assemblée générale de l'Office internationale de la vigne et du vin. Nyon-Changins: 24-30
- CAPRIO, J.M., 1974: The Solar Thermal Unit Concept in Problems Related to Plant Development. Phenology and Seasonality Modeling. Ecological Studies 8: 353-363

- CAPRIO, J.M., 1987: Comparison of Thermal and Solar-Thermal Phenological Models at seven Locations for Begin Bloom Phase of *Syringa vulgaris* L. Abstract, 11th International Congress of Biometeorology, IBS 4.2; S 12
- CAPUTA, J. und F. SUSTAR, 1975: Beobachtungen über Wachstumsstadien der Wiesenpflanzen auf verschiedenen Höhen über Meer. *La recherche agronomique en Suisse*, 14 (1): 15-33
- CARLSON, J.D. und S.H. GAGE, 1987: Quantitative Relationship between Crop Phenology, Insect Pest Phenology, and Temperature for Field Corn in Michigan. 18th Conference Agricultural and Forest Meteorology and 8th Conference Biometeorology and Aerobiology, Sept. 15-18, 1987 W. Lafayette, Indiana: 259-262
- CASTONGUAY, Y., J. BOISVERT und P.A. DUBE, 1984: Comparaison de techniques statistiques utilisées dans l'élaboration de modèles prévisionnels phéoclimatiques. *Agricultural and Forest Meteorology*, 31: 273-288
- CASTONGUAY, Y. und P.A. DUBE, 1985: Climatic analysis of phenological zonation: A multivariate approach. *Agricultural and Forest Meteorology*, 35 (1-4): 31-46
- CATZEFLIS, J., 1969: Somme de températures requises pour la floraison des arbres fruitiers. *La Recherche agronomique en Suisse*, 8 (3/4): 372-379
- CAZALIS DE FONDOUCE, O., 1971: Répercussions phénologiques de la température, de la humidité et de l'ensoleillement. *Travail de semestre, VII*; 16 S.
- CHMIELEWSKI, F.M., 1989: Der Einfluss des Klimas auf die Phänologie des Winterroggens im Nordwesten der DDR. *Z. Meteorol.* 39 (5): 278-282
- CHMIELEWSKI, F.M., 1990: Untersuchungen zu regionalen Unterschieden in den Eintrittsterminen phänologischer Phasen im Gebiet der DDR. *Z. Meteorol.* 40 (3): 167-170
- CONRAD, C., 1959: Ueber Schwankungen der Vegetationsperiode und über Variationen ausgewählter phänologischer Phasen von Kulturpflanzen. *Angewandte Meteorologie*, 3 (7): 193-205
- COURVOISIER, H.W. et al., 1977: Die Dürre 1976 und ihre Auswirkungen. *Arbeitsbericht der Schweiz. Meteorologischen Anstalt*, No. 73; 37 S.
- DAENIKER, A.U., 1947: Phänologische Beobachtungen im Botanischen Garten Zürich in den Jahren 1931-1940. *Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich*, Beiheft Nr. 2, 92; 26 S. u. 16 Tab.
- DEFILA, C., 1986a: Phänologische Beobachtungen in der Schweiz (X) (gestern-heute-morgen). *Arboreta Phaenologica* Nr. 31/1986: 61-69. Sonderheft zum Int. Phänologie-Symposium, Univ. f. Bodenkultur, Wien, 17.-20. Sept. 1986

- DEFILA, C., 1986b: Frostwarnungen im Frühling. Die Grüne, 114 (X) (17): 9-14
- DEFILA, C., 1987: Phänologische Beobachtungen in der Schweiz (X) im Jahre 1986. Schweiz. Z. Forstwes., 138 (6): 539-543
- DEFILA, C., 1988a: Phänologische Beobachtungen in der Schweiz (X) im Jahre 1987. Schweiz. Z. Forstwes., 139 (5): 429-432
- DEFILA, C., 1988b: Phänologische Beobachtungen und Anwendungsmöglichkeiten für die Pollenprognose. SWISS MED, 10 (5): 21-25
- DEFILA, C., 1988c: Der Verlauf der Vegetationsentwicklung 1988, 1 S. in: Pollenflug in der Schweiz 1988, Schweiz. Arbeitsgruppe für Aerobiologie.
- DEFILA, C., 1989a: Phänologische Beobachtungen in der Schweiz (X) im Jahre 1988. Schweiz. Z. Forstwes., 140 (5): 437-440
- DEFILA, C., 1989b: Rückblick auf die phänologischen Beobachtungen (X) in der Schweiz im Jahre 1988. Landwirtschaft Schweiz, Bd 2 (6): 352-354
- DEFILA, C., 1989c: Der Verlauf der Vegetationsentwicklung 1989, 1 S. in: Pollenflug in der Schweiz 1989, Schweiz. Arbeitsgruppe für Aerobiologie.
- DEFILA, C., 1990a: Phänologische Beobachtungen in der Schweiz im Jahre 1989. Schweiz. Z. Forstwes., 141(5): 377-381
- DEFILA, C., 1990b: Rückblick auf die phänologischen Beobachtungen in der Schweiz im Jahre 1989. Landwirtschaft Schweiz, Bd 3(5): 255-256
- DEFILA, C., 1990c: Phänologische Beobachtungen in Engelberg, (X) 1956-82. ITAM 90, 21. Int. Tagung f. Alpine Meteorologie in Engelberg, Tagungsbericht 1. Teil, Veröff. d. Schweiz. Meteorologischen Anstalt, Nr. 48: 389-393
- DESJARDINS, R.L. und C.E. Ouellet, 1980: Determination of the Importance of Various Phases of Wheat Growth on Final Yield. Agricultural Meteorology, 22 (2): 129-136
- DICKEL, H., 1966: Probleme phänologischer Methodik am Beispiel einer naturräumlichen Gliederung des Kreises Marburg/Lahn. Marburger Geographische Schriften, 31; 150 S.
- DIETRICH, O., 1960: Beiträge zur Phänologie Spaniens. Berichte des Deutschen Wetterdienstes, 9 (60); 27 S.
- DIRMHIRN, I., 1985: Ergebnisse von Studentarbeiten. Agrophanologie, Tabak, Agrophänologie, Heilkräuter. Wetter und Leben, 37: 104-112
- DIRMHIRN, I., 1986: Hat die Agrophänologie eine Zukunft? Arboreta Phaenologica, Nr. 31: 129-133

- DISCH, F., 1968: Einzug des Erstfrühlings im Dinkelbergraum. Eine phänologische Kartierung. Regio Basiliensis, IX/1: 44-49
- DORAISWAMY, P.C. und D.R. THOMPSON, 1982: A crop moisture stress index for large areas and its application in the prediction of spring wheat phenology. Agricultural meteorology, 27 (1-2): 1-16
- DOSTAL, R., 1926: Ueber die Sommerperiodizität von Quercus und Fagus. Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft, 45: 436-446
- DUBE, P.A., P. ROCHETTE und Y. CASTONGUAY, 1987: An Application of Phenology to Crop Zonation in Quebec, Canada. Abstract, 11th International Congress of Biometeorology, ISB 4.4; S. 14
- EIMERN van, J. und G.T. GUZMANN, 1975: Die Körnermaisreife lässt sich errechnen. Mais, 3 (3): 3-7
- ELLENBERG, H., 1954: Naturgemässe Anbauplanung, Melioration und (X) Landespflege. Landw. Pflanzensoziologie, 3, Stuttgart, 109 S.
- ELLENBERG, H., 1956: Wuchsklimakarte von Südwest-Deutschland 1:200'000, nördl. und südl. Teil. Stuttgart
- ELLENBERG, H., 1974: Wuchsklima-Gliederung von Hessen 1:200'000 auf pflanzenphänologischer Grundlage. Hess. Minister. für Landw. und Umwelt (Hrsg.), Wiesbaden
- ENGLER, A., 1911: Untersuchungen über den Blattausbruch und das sonstige Verhalten von Schatten- und Lichtpflanzen der Buche und einiger anderer Laubhölzer. Mitteilungen der Schweiz. Centralanstalt f.d. forstliche Versuchswesen, 10 (2): 107-188
- ERLENBACH, W., und H. WEBER, 1987: Internationales Phänologie-Symposium Wien, 17.-20. September 1986. Ein Tagungsbericht. Erdkunde, 41: 146-149
- ESPINOSA CERECEDA, A.A., 1984: Phenological observations in five bush fruits in Valdivia, Chile. Valdivia/Chile: Universidad Austral de Chile; 99 S.
- FAUST, F., 1976: Biometeorologie. Der Einfluss von Wetter und (X) Klima auf Gesunde und Kranke. Hippokrates Verlag Stuttgart; 360 S.
- FLECKINGER, J., 1945: Notations phénologiques et représentations graphiques du développement des bourgeons floraux du poirier. Association Française pour L'Avancement des Sciences, 64ième session, Tome III; 15 S.
- FLECKINGER, J., 1965: Phénologie. Phénologie et Arboriculture Fruitière. Bon Jardinier, Tom I, 2ième Partie, Section C: 362-372

- FLEMING, T.H., C.F. WILLIAMS, F.J. BONACCORSO und L.H. HERBST, 1985: Phenology, seed dispersal, and colonization in *Muntingia calabura*, a neotropical pioneer tree. *Amer. J. Bot.*, 72 (3): 383-391
- FORRER, H.R., 1987: Weizenbauern sagen ja zu EPIPPE. *UFA-REVUE* 4: (X) 4-5
- FRANKEN, A., 1952: Zur Phänologie der Forsythie. *Meteorologisches Amt für Nordwestdeutschland, Hamburg*; 39 S.
- FREITAG, E., 1965: Studien zur phänologischen Agrarklimatologie Europas. *Ber. Deutsch. Wetterdienst*, 14 (98); 58 S.
- FREITAG, E., 1985: Historical phenologic data sets from Rhinegau and Rhine Palatine. Final report to project 15. *Dt. Wetterdienst*; 48 S.
- FREITAG, E., 1986: Historische Phänologische Datenbank. *Arboreta Phaenologica*, Nr. 31. 7-17
- FREITAG, E., 1987a: Auswirkungen von Klimaänderungen auf den Entwicklungsrythmus der Pflanzen für historische Zeiträume. *Deutscher Wetterdienst, Abt. Agrarmeteorologie*; 66 S.
- FREITAG, E., 1987b: Aufbau, Nutzen und Konsequenzen einer IPG-Datenbank. *Arboreta Phaenologica*, 32: 1-11
- FREITAG, E. und B. KLANTE 1986: Pflanzenphänologie beim Deutschen Wetterdienst (DWD). *Arboreta Phaenologica*, Nr. 31: 81-91
- FREITAG, E. und B. KLANTE, 1989: Grundzüge des phänologischen Dienstes in der Bundesrepublik Deutschland. 2. Europäisches Pollenflug-Symposium, 17./18. März 1989 Bad Honnef, Vorträge und Berichte: 52-60
- FRENCH, V. und T. HODGES, 1985: Comparison of crop phenology models. *Agron. J.*, 77 (1): 170-171
- FRENZEL, B. und H. FISCHER, 1958: Beobachtungen zur Phänologie eines Alpentales. *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie*; Springer Verlag, Wien: 231-256
- FREY, F., und J. NÖSSBERGER, 1980: Einfluss konstanter und wechselnder Strahlungsintensitäten auf die phänologische Entwicklung, Substanzproduktion und Verteilung der Trockenmasse von *Trifolium pratense* L. *Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau*, 149: 355-366
- FREY, H., 1931: Der Frühlingseinzug am Zürichsee. *Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft Zürich* auf 1931, 133. Stück; 49 S.
- FUSS, F., 1956: Zur Frage des Wachstumsnullpunktes der Temperatur bei Winterweizen unter Freilandbedingungen. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Martin-Luther-Universität, Halle-Wittenberg*, 5 (3): 513-522

- GAJAR, B. und L. NOVAK, 1986: Optimalization of phenological stations network in Slovakia. Meteorol. Zpr., 39 (3): 72-75
- GANEVNA, B. und V. GEORGIEVA, 1969: A Temperature indices for Establishing the Beginning of Blossoming in some Fruit Types. Hidrologija ni Meteorologija, Godina XVIII, No. 2: 33-37
- GAT, Z. und U. BARAK, 1985: Fenology and climate. For a national agrophenological data bank. Alon Hanotea, 12: 1-8
- GENSLER, G.A., 1946: Der Begriff der Vegetationszeit. Diss. (X) Samedan und St. Moritz; 145 S.
- GENSLER, G.A., 1987: Das Klima von Zürich. Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich, 132 (1): 1-18
- GRESSEL, W., 1977: Der Einfluss des Wetterablaufes auf die Blattentfaltung. Carinthia II, 167/87. Jhg.: 333-334
- HAUG, M., 1986: Phänologische Beobachtungen im Nationalpark Bayer. Wald. Arboreta Phaenologica, Nr. 31: 70
- HAUG, M., 1988: Phänologische Beobachtungen im Nationalpark Bayer. Wald. Arboreta Phaenologica, Nr. 33: 3-11
- HECHLER, P., 1990: Zu den Auswirkungen rezenter Klimaänderungen auf ausgewählte phänologische Phasen. Z. Meteorol. 40 (3): 171-178
- HEER, O., 1844: Zur Untersuchung der periodischen Erscheinungen der Pflanzenwelt und Tierwelt. Verh. der Schweiz. Naturf. Ges.: 134-156
- HEGG, O., 1967: Das Blühen im Alpengarten. Beilage zum 40. Jahresbericht. Alpengarten Schynige Platte; 12 S.
- HEGYFOKY, K., 1912: Ein Beitrag zu den Wärmesummen in der Phänologie. Meteorologische Zeitschrift, 29: 217-272
- HEGYFOKY, K., 1913: Der Zeitraum zwischen dem Aufblühen und der Fruchtreife. Meteorologische Zeitschrift, 30: 360-362
- HEIGEL, K., 1955: Exposition und Höhenlage in ihrer Wirkung auf die Pflanzenentwicklung. Meteorologische Rundschau, 8 (9/10): 146-148
- HENHAPPL, G., 1986a: 17 Jahre Internationale Phänologische Gärten im Südschwarzwald. Erfahrungen, Gedanken, Empfehlungen. Arboreta Phaenologica, Nr. 31: 71-74
- HENHAPPL, G. 1986b: 17 Jahre Phänologische Gärten im Südschwarzwald, wissenschaftliche Erkenntnisse. Arboreta Phaenologica, Nr. 31: 74-76
- HERBST, W., 1941: Kann man den Blühtermin der Obstgehölze vorausbestimmen? Geisenheimer Mitteilungen, 56. Jhg.; s 25 ff.



- HERBST, W. und C.F. RUDLOFF, 1939: Zur Physiologie des Fruchstens bei den Obstgehölzen. Die Gartenbauwissenschaft, 13 (3): 286-317
- HILD, J., 1980: Use of Animal and Plant Phenology for Flight Safety. Int. Journal of Biometeorology, 24 (3): 217-222
- HILTNER, E., 1926: Die Phänologie und ihre Bedeutung; unter besonderer Berücksichtigung der phänologischen Beobachtungen am Winterroggen in Bayern während der Jahre 1917 bis 1923. Naturwissenschaft und Landwirtschaft, Heft 8; 86 S.
- HOFFMANN, H., 1881: Vergleichende phänologische Karten von Mitteleuropa. Petermanns geographische Mitteilungen: 19-26
- HOFFMANN, K., 1962: Untersuchungen über den Einfluss meteorologischer Faktoren auf den Blühverlauf einiger Apfelsorten. Angewandte Meteorologie, 4 (5): 146-154
- HOFFMANN, K., 1969: Agrarmeteorologische Untersuchungen zur Standortforschung im Obstbau auf der Grundlage phänologischer Beobachtungen. Abh. Meteorol. Dienst DDR XII/93, Berlin; 100 S.
- HORNEY, G., 1965: 26 Jahre Blühvorhersage in Geisenheim. Meteorologische Rundschau, 18 (2): 33-40
- HORNEY, G., 1966: Die Vorhersage des Blühtermins der Reben. Weinberg und Keller, 13: 263-273
- HOWARD, W.L., 1906: Untersuchungen über die Winterruhperiode der Pflanze. Diss., Halle; 112 S.
- HRUSKOVA, H., 1986: Effect of the phenological phase at the time of alfalfa (*Medicago sativa*) cutting on its regeneration. Rostl. Vyr., 32 (3): 279-286
- HULT, R., 1880: Discussions préliminaires sur les relations entre les phénomènes périodiques des plantes et les variations diurnes et annuelles de la température. Nova acta Regiae Societatis Scientiarum Upsaliensis, Serie III: 9-51
- IHNE, E., 1884: Beiträge zur Phänologie: 1. Geschichte der pflanzenphänologischen Beobachtungen von Hoffmann und Ihne 1882 und 1883. Grundlage der in denselben niedergelegt sind, Giessen; 138 S.
- IHNE, E., 1895: Ueber phänologische Jahreszeiten. SA aus Naturwissenschaftlichen Wochenschrift, X (4): 37-43
- IHNE, E., 1905: Phänologische Karte des Frühlingseinzuges in (X) Mitteleuropa. Petermanns Mitteilungen, Heft 5: 97-108
- IHNE, E., 1916: Auf den Spuren des Frühlings im Odenwald und am Vogelsberg, wie die Belaubung und das Aufblühen verschieden wandern. Phänologische Mitteilungen, 33 Jhg., in den Arbeiten der Landwirtschaftskammer für das Grossherzogtum Hessen, Heft 20: 33-39

- IHNE, E., 1922: Ueber den Eintritt des Frühlings in dem Jahrzehnt 1901 bis 1910. Phän. Mitteilungen, Jhg. 1921 in den Arbeiten der Landwirtschaftskammer für Hessen, Heft 31: 27
- IHNE, E., 1927: Das botanisch-phänologische Verhalten des Jahres 1926 in Darmstadt. Phän. Mitteilungen, Jhg. 1926, in den Arbeiten der Landwirtschaftskammer für Hessen, Heft 40: 33-36
- IHNE, E., 1930: Das phänologische Verhalten des Jahres 1929 in Darmstadt nebst einigen Ausführungen über Allgemeine Laubverfärbung. Acta Phänologica I: 157-159
- IHNE, E., 1931: Ueber den zeitlichen Eintritt des phänologischen Frühlings in Mitteleuropa im Jahrzehnt 1921 bis 1930. Phän. Mitteilungen 1930, in den Arbeiten der Landwirtschaftskammer für Hessen, Heft 49: 32
- IHNE, E., 1932: Ueber die Phänologie von Hafer und Winterroggen in Schweden. Phänologische Mitteilungen, 50. Jhg.: 33-36, in den Arbeiten der Hessischen Bauernkammer, Heft 51
- IHNE, E., 1933: Ueber die Phänologie des Sommerroggen in Schweden. Phänologische Mitteilungen, 51. Jhg.: 36-38
- IHNE, E., 1934: Ueber die Phänologie der Gerste in Schweden. Phänologische Mitteilungen, 52. Jhg.: 35-39
- IHNE, E. : Phänologische Mitteilungen. Arbeiten der Landwirtschaftskammer für Hessen. Div. Jahrgänge von 1898-1936.
- IHNE, E. und H. HOFFMANN : Aufruf zur Anstellung pflanzenphänologischer Beobachtungen von Hoffmann und Ihne 1882 und 1883. Grundlage der in den "Phänologischen Mitteilungen" von E. Ihne jährlich abgedruckten Instruktionen.
- JEANNERET, F., 1984: Statistische und Kartographische Bearbeitung phänologischer Beobachtungen - am Beispiel der Daten der Weizenernte 1970. Informationen und Beiträge zur Klimaforschung, Nr. 11; Geogr. Inst. der Univ. Bern; 30 S.
- JONES, P.G. und D.R. Laing: The effects of phenological and meteorological factors on Soyabean yield. Agricultural Meteorology, 19 (6): 485-496
- JUGO, B., 1953: Einige Ergebnisse phänologischer Untersuchungen in Kroatien. Glasnik Biolosk Sekcije, Ser. II, B-T: 203-205
- JUNGES, W., 1962: Die phänologische Winterruhe in einer Population der Rosskastanie. Angewandte Meteorologie, 4 (4): 113-119
- KEIL, K. und F. SCHNELLE, 1981: Phänologische Beobachtungen und Klimaschwankungen. Meteorol. Rdsch., 34 (6): 180-181
- KELLER, C. und M. Baggiolini, 1954: Les stades repérés dans la végétation du blé. Revue romande d'agriculture, de viticulture et d'arboriculture, 10 (3): 17-20

- KELLERHALS, M. und Y. SULZER, 1989: Früher schon frühe Jahre? (X) (Blütezeit der Zwetschgensorte Fellenberg an der Eidg. Forschungsanstalt Wädenswil). Schweiz. Z.schrift f. Obst- u. Weinbau, 125 (9): 255-256
- KESSLER, O., 1938: Zur Phänologie des Rheinlandes; Karten der Jahre 1934 und 1935. Deutsches Reichsamt für Wetterdienst, Wissenschaftl. Abh., IV (3); 13 S. und 24 Karten
- KIAS, U. und M. GFELLER, 1986: Die Wärmeverhältnisse im Bündner Rheintal. Ergebnisse pflanzenphänologischer Beobachtungen in den Jahren 1984-1986. Jber. natf. Ges. Graubünden, 103: 141-152
- KLANTE, B., 1986: Synthetische phänologische Karten. Arboreta Phaenologica, Nr. 31: 97-102
- KLANTE, B., 1988: Qualitätskontrolle phänologischer Daten. DWD intern, Nr. 23, Beiträge zur Agrarmeteorologie Nr. 5/88; 47 S.
- KLANTE, B., 1989: Erste Forschungsergebnisse zur Anwendung phäno- (X) logischer Daten für Polleninformationsdienste. 2. Europäisches Pollenflug-Symposium, 17./18. März 1989 Bad Honnef, Vorträge und Berichte: 61-69
- KLEBS, G., 1914: Ueber das Treiben der einheimischen Bäume speziell der Buche. Abhandlungen der Heidelberger Akademie der Wissenschaften, Heidelberg, Bd. 3: 1-113
- KNOERZER, A., 1926: Ueber den Frühlingseinzug in der Seen- und Föhnzone der Nordschweiz; mit einem Nachwort von IHNE E. Phänologische Mitteilungen, Jhg. 1925 in den Arbeiten der Landwirtschaftskammer für Hessen, Heft 38: 31-36
- KOBLET, W., 1966: Fruchtansatz bei Reben in Abhängigkeit von Triebbehandlung und Klimafaktoren. Schweiz. Zeitschrift für Obst- und Weinbau, 102: 587-592
- KOCH, E., 1986a: Auswirkungen der urbanen Wärmeinsel auf die Obstblüte. Arboreta Phaenologica, Nr. 31: 120-128
- KOCH, E., 1986b: Temperatursummenregel und urbane Wärmeinsel. Wetter und Leben, 38 (4): 190-201
- KÖNIG, CH. und H. MAYER, 1988: Phänologie und Frühjahrswitterung unter dem Aspekt "neuartiger Waldschäden". Fachtagung "Umweltmeteorologie" München 1988, Wissenschaftliche Mitteilung Nr. 61: 11-19
- KREEB, K., 1953: Phänologische Untersuchungen auf kleinem Raum. Diss. Stuttgart; 109 S.
- KREEB, K., 1954: Die Schneeschmelze als phänologischer Faktor. Meteorologische Rundschau, 7 (3/4): 48-49

- KRUMMBIEGEL, D., F. HEYTER und D. SCHULZKE: Prognose des Applikationszeitraumes für Camposan in Winterroggen mittels phänologischer Grenzwerte. Tagungs-Bericht der Akademischen Landwirtschaftlichen Wissenschaft der DDR, Vol. 163: 115-118
- KUHN, N., 1967: Natürliche Waldgesellschaften und Waldstandorte der Umgebung von Zürich. Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der ETH, 40. Heft; 87 S.
- KUJALA, V., 1924: Berechnungen über die Länge der Laubperiode und der Ruhezeit der Bäume in Finnland. *Communicationes ex instituto quaestorium forestalium finlandiae*, editae VII; 50 S.
- LAKON, G., 1914: Ueber einige Abweichungen im herbstlichen Laubfall und ihre Natur. *Biologisches Zentralblatt*, Bd. XXXIV: 161-170
- LAKON, G., 1917: Zur Frage des Laubfalles bei den einheimischen Eichenarten und der Buche. *Jahrbuch der wissenschaftlichen Botanik*, Bd. 57: 378-386
- LARCHER, W. et al., 1985: Handbuch der Pflanzenkrankheiten, (X) Bd. 1. Die nichtparasitären Krankheiten. Verlag Paul Parey, Berlin; 326 S.
- LARDINOIS, E., 1960: Observations phénologiques à Uccle au cours de l'année 1959. *Ciel et Terre*, LXXVI (3-4): 128-132
- LAUSCHER, F., 1978: Neue Analysen ältester und neuerer phänologischer Reihen. *Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B*, 26: 373-385
- LAUSCHER, F., 1979: Zur Klärung botanischer Fragen mit Hilfe phänologischer Pflanzgärten im Gebiet von Wien und in Norwegen. *Wetter und Leben*, 31: 231-243
- LAUSCHER, F., 1980: Klima, Klimaschwankungen und phänologischer Jahresablauf am europäischen Nordkap. *Mitteilungen der Oesterreichischen Geographischen Gesellschaft*, 122/II: 193-220
- LAUSCHER, F., 1981: Frühe Schneefälle 1980 in Wien - ohne Einfluss auf Verfärbung und Blattfall. *Wetter und Leben*, 33. Jhg.: 230-238
- LAUSCHER, F., 1982: Klimatische Kartierung Norwegens auf Grund phänologischer Beobachtungen. *Mitteilungen der Oesterreichischen Geographischen Gesellschaft*, 124: 77-88
- LAUSCHER, F., 1985a: Zur Phänologie vegetativ vermehrter Pflanzen einheitlicher Herkunft - Beobachtungen in phänologischen Pflanzgärten in Norwegen 1963-1982. *Phyton (Austria)*, 25 (2): 253-272
- LAUSCHER, F., 1985b: Beiträge zur Wetterchronik seit dem Mittelalter. *Oesterreichische Akademie der Wissenschaften*, 194 (1-3): 93-131

- LAUSCHER, A., F. LAUSCHER und H. PRINTZ, 1955: Die Phänologie Norwegens; Teil I: Allgemeine Übersicht. Skrifter utgitt av Det Norske Videnskaps-Akademi i Oslo; 1. Mat.-Naturv. Klasse, No. 1; 99 S.
- LAUSCHER, A., F. LAUSCHER und H. PRINTZ, 1959: Die Phänologie Norwegens; Teil II: Phänologische Mittelwerte für 260 Orte. Skrifter utgitt av Det Norske Videnskaps-Akademi i Oslo; 1. Mat.-Naturv. Klasse, No.1; 176 S.
- LAUSCHER, A., F., LAUSCHER und H. PRINTZ, 1978: Die Phänologie Norwegens; Teil III: Tabellen-Karten der Mittelwerte. Skrifter utgitt av Det Norske Videnskaps-Akademi i Oslo; 1. Mat.-Naturv. Klasse, Ny Serie, No. 37; 253 S.
- LAUSCHER, A. und M. ROLLER, 1980: Comparisons of Observations in Phenological Gardens and Phenological Networks. Intern. Journal of Biometeorology, Suppl. Vol. 24: 85-86
- LAUSCHER, A. und F. LAUSCHER, 1981: Vom Einfluss der Temperatur auf Belaubung der Rosskastanie nach den Beobachtungen in Genf seit 1808. Wetter und Leben, 33: 103-112
- LAUSCHER, F. und F. SCHNELLE, 1986: Beiträge zur Phänologie Europas V. Lange Phänologische Reihen Europas und ihre Beziehung zur Temperatur. Berichte des Deutschen Wetterdienstes, 169; 24 S.
- LAUSCHER, F. und M. ROLLER, 1987: Vom Wachstum der Bäume. (Mit Beiträgen aus den Pflanzgärten von Wien und Obersiebenbrunn). Wetter und Leben, 39: 28-42
- LAUSI, D. und S. PIGNATTI, 1973: Die Phänologie der europäischen Buchenwälder auf pflanzensoziologischer Grundlage. Phytocoenologie 1: 1-63
- LAVIN, A., 1985: Phenology of berry development in unirrigated vines cv. Pais (Syn. Mission), at Cauquenes, Chile. Agric. tec., 45 (2): 145-151
- LAWRYNOWICZ, R., 1968: Untersuchungen zur Abhängigkeit des Beginns der Obstblüte von der Witterung. Berichte des Deutschen Wetterdienstes, Bd. 15, Nr. 111; Offenbach a/M
- LEIBUNDGUT, H. und R. KUNZ, 1952: Zur Phänologie der Laubbäume, insbesondere der Buche.  
I. Mitteilung: Schweiz. Z. Forstwes., 103 (1/2): 29-46  
II. Mitteilung: Schweiz. Z. Forstwes., 105 (5/6): 296-302
- LETTAU, K., 1987: The Wisconsin Phenological Society. Arboreta Phaenologica, Nr. 31a: 7-9
- LEUSCHNER, R.M., 1972: Luftpollenuntersuchungen in der Schweiz - (X) Methoden und Ergebnisse: eine kurze Uebersicht. Verhandlungen der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft: 130-134
- LIETH, H. (Ed.), 1974: Phenology and Seasonality Modelling. Ecological Studies 8, New York; 444 S.

- LOPEZ, G.T.G, 1974: Phänologie und Reife des Körnermais in der Bundesrepublik Deutschland in Abhängigkeit von Witterung und Klima. Diss. Techn. Univ. München; 48 S.
- LYNOV, Yu.S., 1984: Phenological inversions in Alpin terrain (western Tien Shan). Soviet J. Ecol., 15 (4): 185-188
- MAEDE, A., 1952: Bemerkungen zur Vereinfachung des phänologischen Meldeprogramms. Bericht des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone, 42: 110-114
- MAEDE, A. und V. SCHOENE, 1965: Zur Ausgliederung frostgefährdeter Gebiete mittels phänologischer Beobachtungen. Angewandte Meteorologie, 5 (5): 148-152
- MAHRER, T., 1985: Untersuchungen über die herbstliche Laubverfärbung der Buche in der Region Liestal - Möhlin - Basel auf Grund von langjährigen phänologischen Beobachtungsreihen und ihre Zusammenhänge mit klimatologischen Parametern. Diplomarbeit ETH Zürich; 117 S.
- MARRET, E. 1952: Der Laubfall als Anpassung, Veranlagung und Gewohnheit. Leben und Umwelt: 116-119
- MAY, TH., 1986: Phänologische Untersuchungen zur Temperatursummenregel an Reben. Wetter und Leben, 38 (1): 18-25
- MAYR, E., 1969: Der Aussagewert von einfachen Korrelationen und Teilkorrelationen zwischen meteorologischen Messwerten und dem Ertrag sowie der Vegetationsdauer, untersucht an Sommergerste und Sommerweizen. Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau, 129: 112- 120
- MAYR, E. und E. OLBRICH, 1964: Der Einfluss der Globalstrahlung auf Vegetationsdauer und Ertrag bei Sommergerste und Sommerweizen. Zeitschrift für Pflanzenzüchtungen, 51: 57-73
- MORGEN, A., 1949: Phänometrie des Flächenwachstums lebender (X) Pflanzenblätter. Wetter und Klima, 2: 1-15
- MOSER, H.R., 1984: Phänologische Kartierung der Regio Basiliensis - Ein Arbeitsbericht. Regio Basiliensis XXV (1): 29-36
- MÜHLEMANN, P. und PH. DOMONT, 1989: Das Programm Sanasilva 1988-91. (X) Eidg. Forstdirektion u. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft; 31 S.
- MÜLLER, K., 1957: Untersuchungen über die Abhängigkeit der Winterroggenreife von der Witterung. Veröffentlichungen des Institutes für Agrarmeteorologie der Karl-Marx-Univ. Leipzig, I (3): 121-173
- MÜLLER, W., 1979: Die Eignung meteorologischer Größen zur Blühvorhersage von Kirsche und Apfel. Wetter und Leben, 31 (2): 76 - 94
- MURPHY, E., 1986: Der phänologische Garten des Valentia-Observatoriums Irland. Arboreta Phaenologica, 30; 39 S.

- NAEGLER, W., 1923: Klima- und Vegetationskalender für Leipzig.  
Das Wetter, XXXX: 121-124
- NARWAL, S.S. et al., 1986: Influence of sowing dates on the  
growing degree days and phenology in winter maize.  
Agricultural and Forest Meteorology, 38 (1-3): 47-58
- NEILD, R.E., 1982: Temperature and rainfall influences on the  
phenology and yield of grain sorghum and maize: a comparison.  
Agricultural Meteorology, 27 (1-2): 79-88.
- OBRESKA - STARKEL, B., 1986: Relationships between the seasonal  
dynamics of plant development and thermal conditions in the  
West Carpathians. Arboreta Phaenologica, Nr. 31: 134-142
- OEUVRAY, P., 1990: Etude du Mesoclimat du Vallon d'Orvin.  
Diplomarbeit am Geogr. Institut der Universität Bern,  
66 S.
- OGER, R. et L. Glibert: Une échelle de temps biométéorologique  
pour l'estimation du degré de précocité de la végétation.  
11 S.
- OSTERWALDER, A., 1941: Wachstum und Reife der Obstfrüchte und  
Trauben in ihrer Abhängigkeit vom Klima. Schweiz. Zeitschrift  
für Obst- und Weinbau, Nr. 1: 1-7
- OYARZUN, E., 1985: Phenological study effect of girdling, gibber-  
rellic acid and cluster productivity in grapes (*Vitis vini-  
fera* L.) cv. Ruby Seedlings. Quillota/Chile: Universidad  
Catolica de Valparaiso; 115 S.
- PANDEYA, S.C., 1987: The Concept of "ritu" as a better Deter-  
minant of Vegetational Changes and Phenology. Abstract, 11th  
International Congress of Biometeorol, ISB 4.10; S. 22
- PATZER, H.E., 1938: Beiträge zur Phänologie des Frühlings.  
Jubiläumsheft des Deutschen Naturwissenschaftlichen Vereins  
Poznan: 78-102
- PEETERS, G., 1986: Recherches Aéropalynologiques à Samedan,  
(X) Hautes Engadine (Suisse), de 1983 à 1985. Diss. Universität  
Basel; 181 S.
- PETER-CONTESSÉ, J.: Météorologie et croissance printanière.  
La forêt, 18 (2): 38-41
- PEYER, E. und W. KOBLET, 1966: Der Einfluss der Temperatur und  
der Sonnenstunden auf den Blütezeitpunkt der Reben. Schweiz.  
Zeitschrift für Obst- und Weinbau, 102: 250-255
- PFAFF, W., 1915: Pflanzenphänologische Beobachtungen aus Bozen-  
Gries. In Ihne, E. (ed.): Phänologische Mitteilungen. Arbei-  
ten der Landwirtschaftskammer Hessen, Darmstadt, Jhg. 1914:  
32-43

- PFAFF, W., 1919: Ueber den Einfluss der Höhenlage auf den Eintritt der Vegetationsphasen. In Ihne, E. (ed.): Phänologische Mitteilungen. Arbeiten der Landwirtschaftskammer Hessen, Darmstadt, Jhg. 1919: 31-38
- PFAFF, W., 1920: Ueber den Einfluss der Höhenlage auf den Eintritt der Vegetationsphasen. Phänologische Mitteilungen, 37. Jhg.: 31-38, in Arbeiten der Landwirtschaftskammer für Hessen, Heft 26
- PFAU, R., 1964: Varianz- und korrelationsanalytische Untersuchungen an phänologischen Phasen. Meteorologische Rundschau, 17 (4): 113-122
- PFISTER, Ch., 1984: Klimageschichte der Schweiz 1525 bis 1860 - (X) Das Klima der Schweiz 1525 bis 1860 und seine Bedeutung in der Geschichte von Bevölkerung und Landwirtschaft; Band 1, Haupt, Bern; 184 S.
- PFISTER, Ch. et al., 1988: Witterungsextreme und Waldschäden in (X) der Schweiz. Bundesamt für Forstwesen und Landschaftsschutz; 70 S.
- PODOLSKY, A.S., 1958: A New Method for Phenological Forecasting and Agroclimatic Estimations Using the Heat Factor. J. Rep. Acad. Sci. USSR, Moscow, 121 (5): 932-935
- PODOLSKY, A.S., 1967: A Novelty in Phenological Forecasting, Kolos Publishing House, Moscow; 232 S. + 4 Insets.
- PODOLSKY, A.S., 1974: Phenological Forecasting, Kolos Publishing House, Moscow; 287 S. + 5 Insets.
- PODOLSKY, A.S., 1984: New Phenology, Elements of Mathematical Forecasting in Ecology. A Wiley-Interscience Publication, New York; 504 S.
- PODOLSKY, A.S., 1986: New Methods for Forecasting the Development Dates of Plants and Poikilotherm Organisms. Arboreta Phaenologica, Nr. 31: 103-110
- POLTE, C., 1986: Die Internationalen Phänologischen Gärten (IPG) (X) aus der Sicht der Netzverwaltung. Arboreta Phaenologica, Nr. 31: 92-96
- POLTE, C., 1987: Bemerkungen zu den phänologischen Beobachtungen im Jahre 1985. Arboreta Phaenologica, 32: 12-31
- PRIMAULT, B., 1955: Cinq ans d'observations phénologiques systématiques en Suisse. Annales der Schweiz. Meteorologischen Anstalt, 92. Jhg.: 7/4-7/5
- PRIMAULT, B., 1956: Phänologischer Atlas. Schweiz. Meteorologische Anstalt; 65 S.
- PRIMAULT, B., 1957: Contribution à l'étude des réactions végétales aux éléments météorologiques. Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles, 80: 115-162



- PRIMAULT, B., 1964a: Date de floraison de la "Dent-de-Lion" (*Taraxacum officinale*) Moyenne 1951-1960. *Annalen der Schweiz. Meteorologischen Anstalt*; 5/10
- PRIMAULT, B., 1964b: Les dates d'apparition du printemps. *Annalen der Schweiz. Meteorologischen Anstalt*, 101. Jhg.: 5/5-5/10
- PRIMAULT, B., 1970: Essais de prévision de la date de maturité (X) des abricots en Valais. *Recherche agronomique en Suisse*, 9 (3/4): 288-306
- PRIMAULT, B., 1971a: *Phänologischer Atlas*. 3. Auflage, Zürich (X) 1971, 76 S.
- PRIMAULT, B., 1971b: Comparaison des méthodes climatiques et phénologique pour la détermination des vocations culturelles d'un lieu donné. *Verhandlungen der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft*, 151: 134-135
- PRIMAULT, B., 1971c: Einfluss der Winterkälte auf das Blühen der Obstbäume. *Arbeitsberichte der Schweiz. Meteorologischen Anstalt*, 26; 8 S.
- PRIMAULT, B., 1972: Etude méso-climatique du Canton de Vaud. (X) *Cahiers de l'aménagement régional* 14. Office cantonal vaudoise de l'urbanisme Lausanne; 186 S.
- PRIMAULT, B., 1977: De deux particularités phénologiques. *Arbeitsbericht der Schweiz. Meteorologischen Anstalt*, Nr. 78, 7 S.
- PRIMAULT, B., 1981: Extension de la validité de la formule suisse (X) de calcul de l'évapotranspiration. *Arbeitsbericht der Schweiz. Meteorologischen Anstalt*, 103; 6 S.
- PRIMAULT, B., 1984: Phänologie; Blatt 13.1, 13.2; in Kirchhofer, W.: (X) *Klimaatlas der Schweiz*; 2. Lieferung. Verlag des Bundesamtes der Landestopographie Bern; 2 Kartenblätter
- RALHAN, P.K. und S.P. SINGH, 1987: Seasonal Periodicity of Shoot Growth in Major Species of the Central Himalayan Forests along 350-2150 m altitudinal Transect. Abstract, 11th Intern. Congress of Biometeorology, ISB 4.5; S. 15
- RALL, A. und H. MAYER, 1989: Klimatische Verhältnisse in Bayern im Hinblick auf die neuartigen Waldschäden. *Münchener Universitäts-Schriften, Wiss. Mitteilung* Nr. 63, 185 S.
- RATHCKE, B., 1987: A Community Analysis of Flowering Phenologies. Abstract, 11th International Congress of Biometeorology, ISB 4.1; S 11
- REAUMUR de, R.A., 1735: Observations du thermomètre faites à Paris (X) pendant l'année 1735. *Mém. d. l'acad. roy. d. sc. Paris*: 737-754
- REGEL, C. und V. SCITCITE, 1934: Le spectre phénologique d'une prairie en Lithouanie. *Acta Phaenologica* III (3); 10 S.

- REISS, M., 1959: Die Phänologie in Oesterreich seit 1826 und ihre Beziehungen zur Klimakunde. Wetter und Leben, 11 (5-7): 71-115
- ROLLER, M., 1960: Ein Musterbeispiel alpin-phänologischer Beobachtungen. Wetter und Leben, 12 (9-10): 295-302
- ROLLER, M., 1961: Die Phänologie des Marchfeldes nach Beobachtungen aus 1928 bis 1960. Wetter und Leben, 13 (9-10): 207-214
- ROLLER, M., 1963: Durchschnittswerte phänologischer Phasen aus dem Zeitraum 1946 bis 1960 für 103 Orte Oesterreichs. Wetter und Leben, 15 (1-2): 1-12
- ROLLER, M., 1964: Die phänologischen Beobachtungen aus Kremsmünster (Zeitraum 1842-1962). Wetter und Leben, 16: 187-197
- ROLLER, M., 1965a: Neue Untersuchungen über alpine Phänologie. Carinthia II, 24. Sonderheft der. 8. alpin.-meteorol. Tagung in Villach 1964: 131-139
- ROLLER, M., 1965b: Markante Abschnitte im phänologischen Jahresablauf in der Steiermark und den angrenzenden Gebieten im Zeitraum 1928-1960. Wetter und Leben, 17: 228-236
- ROLLER, M., 1966: Markante Abschnitte des phänologischen Jahresablaufs im Gebiet von Linz/Donau. Naturkundliches Jahrbuch der Stadt Linz: 153-173
- ROLLER, M., 1967: Klimatische Probleme des Almauf- und -abtriebes des Weideviehs in den Ostalpenländern. Veröffentlichungen der Schweiz. Meteorologischen Anstalt, Nr. 4: 321-330
- ROLLER, M., 1969: Phänologie und Witterung am Alpenostrand 1959 bis 1968. Wetter und Leben, 21: 195-203
- ROLLER, M., 1970: Die jahreszeitliche Entwicklung der Pflanzen- und Tierphänologie als Klimazeiger. Naturgeschichte Wiens, Bd. 1, Jugend und Volk: 377-390
- ROLLER, M., 1978a: Neue Normalwerte der Höhenabhängigkeit phänologischer Phasen in den Ostalpen. Zentralanstalt für Meteorologie u. Geodynamik, Jahrbuch 1978, Anhang 6: D57-D69
- ROLLER, M., 1978b: Der phänologische Jahresablauf in einem Tal der Hohen Tauern in 1000 m Seehöhe. Arbeiten aus der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Heft 31: 96/1-96/7
- ROMPEL, J., 1928: Beobachtungen über die bis zum Aufblühen alpiner Arten verstreichende Aperaturzeit. Oesterreichische botanische Zeitschrift, Bd. LXXVII: 179-194
- ROSENKRANZ, F., 1937: Die Kirschblüte in Niederösterreich. Verh. der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Wien, 86 bis 87: 283-287

- ROSENKRANZ, F. 1938: Die Phänologie der Rosskastanie und der Rotbuche in Oesterreich. Beiheft zu den Jahrbüchern der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Nr. 5 zu 1932, 12 S.
- ROSENKRANZ, F., 1949: Vorfrühling in Mitteleuropa, Wetter und Leben, 1 (11): 332-334
- ROSENKRANZ, F., 1951: Grundzüge der Phänologie. Fromme Verlag, Wien; 69 S.
- ROSENKRANZ, F., 1954: Ueber die Veränderungen phänologischer Daten in den letzten fünfundzwanzig Jahren. Wetter und Leben, 6 (1-2): 19-21
- RUBINSTEIN, E., 1924: Beziehungen zwischen dem Klima und dem Pflanzenreiche. Meteorologische Zeitschrift, 41 (1): 15-17
- RUBNER, K., 1937: Zur Phänologie der Stieleiche. Tharandter Forstliches Jahrbuch, 89: 251-256
- RÜEGG, J. und J. NÖSBERGER, 1977: Influence of the Temperature on the Phenological Development, Dry Matter Distribution, total nonstructural Carbohydrates and Crude Protein of *Festuca pratensis* Huds. Angewandte Botanik, 51: 167-177
- RUNGE, K. und C.-D. SCHÖNWIESE, 1986: Statistik phänologischer Zeitreihen Europas. Einige Charakteristika und klimatologische Zusammenhänge. Arboreta Phaenologica, Nr. 31: 51-60
- RYABOV, V.A., 1978: Experience of Phytophenological Forecasting in Central Black-Earth Reservation. Bot. J. Academy of Sciences of the USSR, Leningrad, 63 (11): 1656-1663
- SALSI, A., 1986: Phenological observations of the principal cultures in Emilia Romagna (Italy). Arboreta Phaenologica, Nr. 31: 18-50
- SAUTER, J.J., 1965: Warum im Herbst die Blätter fallen. Allg. Forstzeitschrift, 20: 712-713
- SCHAER, E., 1957: Zu welcher Zeit blühen die Obstbäume. Schweiz. Zeitschrift für Obst- und Weinbau, 10: 230-231
- SCHAER, T., 1987: Zusammenhänge zwischen der phänologischen Entwicklung (X) wicklung (Phänostufenzugehörigkeit) und dem Einflussfaktor Klima in der Region Basel. Geographisches Institut Universität Basel; 200 S.
- SCHIBLER, W., 1897: Wie es Frühling wird in Davos, eine botanische Skizze. Jahrbuch des Schweiz. Alpenklubs, 32. Jhg.: 251-281
- SCHNEIDER, M., 1949: Periodische Schwankungen in der Vegetationszeit der Laubbäume. Meteorologische Rundschau, 2 (5/6): 146-151

- SCHNEIDER, M., 1952: Summen, Mittel und mittlere Extreme der Temperatur von phänologischen Zeitspannen. Bericht des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone, 42: 276-281
- SCHNELLE, F., 1948: Studien zur Phänologie Mitteleuropas. Berichte des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone, 2; 28 S.
- SCHNELLE, F., 1950: Hundert Jahre phänologische Beobachtungen im Rhein-Main-Gebiet 1841-1939, 1867-1947. Meteorologische Rundschau, 3 (7/8): 150-156
- SCHNELLE, F., 1952a: Ueber die Abhängigkeit der Laubverfärbung von der Temperatur. Berichte des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone, 38: 227-228
- SCHNELLE, F., 1952b: Karte der naturräumlichen Gliederung im mittleren Europa auf Grund phänologischer Grundlagen. Ber. Deutsch. Wetterdienst der US-Zone, 7 (42): 320-322
- SCHNELLE, F., 1953: Beiträge zur Phänologie Deutschlands III. 6 Mittelwertskarten (1936-1944) Vorfrühling bis Herbst. Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 1
- SCHNELLE, F., 1955: Pflanzenphänologie. Probleme der Bioklimatologie 3. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig; 299 S.
- SCHNELLE, F., 1958: Einrichtung der Internationalen Phänologischen Gärten. Arbeitsgemeinschaft Internationale Phänologische Gärten; 9 S.
- SCHNELLE, F., 1965: Beiträge zur Phänologie Europas I. 5 Mittelwertskarten, Erstfrühling bis Herbst. Bericht des Deutschen Wetterdienstes, 14 (101); 6 S. u. 5 Karten
- SCHNELLE, F., 1966: Abriss einer Methodik der Phänologie. Mitteilungen des Deutschen Wetterdienstes, 5 (38); 28 S.
- SCHNELLE, F., 1970: Beiträge zur Phänologie Europas II. 4 Mittelwertskarten: Gesamtvegetationszeit und 3 Vegetationsabschnitte. Berichte des Deutschen Wetterdienstes, Nr. 18
- SCHNELLE, F., 1973: Die Vegetationszeit von Waldbäumen in Deutschen Mittelgebirgen. Erlanger Geographische Arbeiten, 32; 31 S.
- SCHNELLE, F., 1977: Beiträge zur Phänologie Europas III. Ergebnisse aus den Internationalen Phänologischen Gärten. Berichte des Deutschen Wetterdienstes, Nr. 144; 31 S.
- SCHNELLE, F., 1979: Phänologische Spezialkarten der Laubentfaltung und Laubverfärbung von Rosskastanie, Weissbirke, Rotbuche und Stieleiche auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland. Fachliche Mitteilung Amt für Wehrgeophysik, Traben-Trarbach; 33 S.
- SCHNELLE, F., 1981: Beiträge zu Phänologie Europas IV. Lange phänologische Beobachtungsreihen in West-, Mittel- und Osteuropa. Ber. Deutsch. Wetterdienst Nr. 158; 35 S.

- SCHNELLE, F., 1985a: 25 Jahre phänologische Beobachtungen in den Phänologischen Gärten. *Arboreta Phaenologica*, 29; 44 S.
- SCHNELLE, F., 1985b: 10 jährige Mittel (Zeiträume 1963-72 und 1973-82) für 17 Phasen, die in 13 IPG beobachtet wurden. *Arboreta Phaenologica*, Nr. 29: 12-13
- SCHNELLE, F., 1986: Ergebnisse aus den Internationalen Phänologischen Gärten in Europa - Mittel 1973-82. *Wetter und Leben*, 38: 5-17
- SCHNELLE, F., 1987: Ergebnisse aus den Internationalen Phänologischen Gärten (IPG) Europas, Mittel 1973-1982. *Arboreta Phaenologica*, Nr. 31a: 10-15
- SCHNELLE, F. und F. Witterstein, 1952: Beiträge zu Phänologie Deutschlands II. Tabellen und phänologische Einzelwerte von etwa 500 Stationen der Jahre 1936-1944. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes der US-Zone*, Nr. 41; 120 S.
- SCHNELLE, F. und E. VOLKERT, 1957: Vorschläge zur Einrichtung "Internationaler Phänologischer Gärten" als Stationen eines Grundnetzes für internationale phänologische Beobachtungen. *Meteorologische Rundschau*, 10 (4): 130-133
- SCHNELLE, F. und E. VOLKERT 1958: Einrichtung der Internationalen (X) Phänologischen Gärten. *Mitt. d. Arbeitsgem. Internationaler Phänologischer Gärten*, Nr. 1; 7 S.
- SCHNELLE, F. und E. VOLKERT 1964: Internationale Phänologische Gärten. Stationen eines Grundnetzes für Internationale phänologische Beobachtungen. *Agricultural Meteorology*, 1,1: 22-29
- SCHNELLE, F. und F. WITTERSTEIN, 1964: Beiträge zur Phänologie Deutschlands IV. Tabellen und phänologische Einzelwerte von etwa 500 Stationen der Jahre 1922-1935. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone*, Nr. 95; 123 S.
- SCHNELLE, F. und E. VOLKERT, 1967: Bericht über die Ergebnisse der phänologischen Beobachtungen bis 1965 an mehreren internationalen phänologischen Gärten in Europa. *Arboreta Phaenologica*, 10; 11 S.
- SCHNELLE, F. und E. VOLKERT, 1969: International Phenological Gardens as a help for study of the effects of weather and climate on the development of plants. *Proceedings of the fifth Int. Biometeorological Congress held at Montreux*, 4, Part II: 61-62
- SCHREIBER, K.-F., 1964: Pflanzenphänologische Auswirkungen des Extremwinters 1962/63 im Gebiet des westlichen Neuenburger Sees. *Berichte des Geobotanischen Institutes ETH, Stiftung Rübel*, 35: 119-123
- SCHREIBER, K.-F. 1968: Standortsgemässe Gliederung des Wärmeklimas mit Hilfe der Phänologie. *Die Grüne*, 96 (37): 1390-1401

- SCHREIBER, K.-F., 1975: Ueber einige methodische Probleme und Ergebnisse der phänologischen Kartierungen der Schweiz. In Tuexen, R. (ed.), 1977: Vegetation und Klima: 271-287
- SCHREIBER, K.-F., 1977: Wärmegliederung der Schweiz. Grundlagen (X) für die Raumplanung, Eidg. Justiz- und Polizeidepartement, Bern; 69 S., 5 Karten
- SCHREIBER, K.-F., 1983a: Die thermischen Verhältnisse des Ruhrgebietes und angrenzender Räume - dargestellt mit Hilfe der phänologischen Entwicklung der Pflanzendecke. Münstersche Geographische Arbeiten, 15: 308-319
- SCHREIBER, K.-F., 1983b: Die phänologische Entwicklung der Pflanzendecke als Bioindikator für natürliche und anthropogen bedingte Differenzierungen der Wärmeverhältnisse in Stadt und Land. Verhandlungen der Gesellschaft für Oekologie, Bd. XI: 385-396
- SCHREPFER, H., 1923: Das phänologische Jahr der deutschen Landschaft. Geographische Zeitschrift: 260-276
- SCHROEDTER, H., 1952: Untersuchungen über die Temperatursummenregel. Angewandte Meteorologie, 1 (1): 225-234
- SCHROEDTER, H., 1954: Weitere Untersuchungen über die Anwendungen der Temperatursummenregel auf phänologische Phasen. Angewandte Meteorologie, 2 (2): 59-64
- SCHROETER, C., 1934: Laubfall und Herbstverfärbung. Neue Zürcher Zeitung vom 28. Oktober 1934.
- SCHUBERT, J., 1941: Die Abhängigkeit der Blatt- und Blütenphase von der Temperatur. Mitteilungen der Hermann-Göring-Akademie der Deutschen Forstwirtschaft, 1: 140-147
- SCHUEPP, W., 1948: Ein phänologisches Experiment mit Forsythia. Leben und Umwelt, IV (12): 279-284
- SCHUEPP, W., 1950: Phänometrische Experimente über die Winter- (X) ruhe einiger Pflanzen. Wetter und Leben, 2: 205-211
- SCHULTZ, G.E., 1982: Geographische Phänologie in der UdSSR. Wetter und Leben, 34: 160-168
- SCHWENDENER, S., 1856: Ueber die periodischen Erscheinungen in der Natur, insbesondere der Pflanzenwelt, Diss., Zürich; 49 S.
- SCHWEIZ. ARBEITSGRUPPE FÜR AEROBIOLOGIE, 1989: Pollenflug in der (X) Schweiz 1988. Publ. der Schweiz. Arbeitsgruppe für Aerobiologie; 56 S.
- SEEMANN, J. et al., 1979: Agrometeorology. Springer-Verlag (X) Berlin, Heidelberg, New York 1979; 324 S.
- SEEMANN, J., 1969: Sortenbedingte Einflüsse auf die Eintrittszeit der phänologischen Phase der Apfelblüte. Meteorol. Rundschau, 22 (3): 79-83

- SEDLITZ, W., 1986: Phenomenal. Phenology, when do they bloom. Kosmos, 82 (3): 66-73
- SEVERINI, M., M. RICCI und B. OLIVIERI, 1987: A Case of Secondary Dormancy detected by Means of a Forcing Experiment. Arboreta Phaenologica, Nr. 31a: 1-6
- SEVRUK, B., 1981: Methodische Untersuchungen des systematischen (X) Messfehlers der Hellmann-Regenmesser im Sommerhalbjahr in der Schweiz. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie u. Glaziologie Nr. 52; 290 S.
- SEYFERT, F., 1955: Eintritt phänologischer Phasen und auslösende Wetterlagen. Angewandte Meteorologie, 2 (3): 183-190
- SEYFERT, F., 1957: Phänologische Tabellen 1947-1950 aus dem Gebiet der Deutschen Demokratischen Republik. Abhandlungen des meteorologischen und hydrologischen Dienstes der Deutschen Demokratischen Republik, V (37); 366 S.
- SEYFERT, F., 1959: Anleitung zur Durchführung phänologischer Beobachtungen. Akademie-Verlag, Berlin; 160 S.
- SEYFERT, F., 1960: Phänologie. A. Ziemsen Verlag, Wittenberg (X) Lutherstadt; 103 S.
- SEYFERT, F., 1961: Phänologische Tabellen 1954-1956. Abhandlungen des meteorologischen und hydrologischen Dienstes der DDR, VIII (57); 460 S.
- SEYFERT, F., 1966: Ein Beitrag zur Prognose phänologischer Daten. Abhandlungen des Meteorologischen Dienstes der DDR, Bd. X, Nr. 80, Berlin; 31 S.
- SEYFERT, F., 1970: Phänologische Studien im Erzgebirge. Abhandlungen des Meteorologischen Dienstes der DDR, Nr. 91, Akademie-Verlag, Berlin; 38 S.
- SEYFERT, F., 1972: Phänologische Gebietsmittelwerte der Jahre 1957 bis 1966 und des Grenzraumes 1947 bis 1966 aus dem Höhenbereich 0 bis 300m NN in der Deutschen Demokratischen Republik auf der Grundlage naturbedingter Landschaften. Abhandlungen des Meteorologischen Dienstes der DDR, Nr. 12; 102 S.
- SEYFERT, F., 1974: Mittel- und Extremwerte 47-66 phänologischer Phasen an ausgewählten Beobachtungsstellen. Abhandlungen des Meteorologischen Dienstes der DDR, Nr. 112, Akademie-Verlag, Berlin; 331 S.
- SINGH, S.P. und J.S. SINGH, 1987: Seasonality in Ecosystem Functions along an Altitudinal Gradient in the Central Himalaya, India. Abstract, 11th International Congress of Biometeorology, ISB 4.6; S. 16
- SIMONIS, R., 1960: Modifizierung phänologischer Daten durch lokalklimatische Sonderverhältnisse. Angewandte Meteorologie, 3 (11): 339-345

- SMITH, J.W., 1920: Agricultural Meteorology, the effect of (X) weather on crops. Rural Text Books Series, H. Bailey New York; 304 S.
- SOERENSEN, T., 1941: Temperature relations and phenology of Northeast Greenland flowering plants. Meddelelser om Grönland, 125 (9); 305 S.
- STEINERT, H., 1983: Herbstfarben. Das grosse Recycling im Wald. Tagesanzeiger Zürich vom 15. November 1983: 49
- SZASZ, G., 1986: Die Bedeutung der Fernerkundung in der gross- (X) räumigen phänologischen Beobachtung. Arboreta Phaenologica, Nr. 31: 111-119
- TOPITZ, A., 1960: Wärmestundensummen und Obstbaumblüte. Wetter und Leben, 12 (9-10): 303-307
- TRENKLE, H., 1969: Die Verwendung phänologisch-klimatologischer Beobachtungen bei der Gütebewertung von Weinbergslagen. Die Wein-Wissenschaft, 24. Jhg.: 327-338
- TROJER, H., 1968: The phenological equator for coffee planting in Colombia. Méthodes agroclimatologiques, Actes du colloque de Reading, UNESCO: 107-113
- UHLIG, S., 1952: Die Phänologie als Hilfsmittel der kleinklimatischen Geländeaufnahme. Berichte des Deutschen Wetterdienstes in der U.S.-Zone, Nr. 42: 238-243
- UHLIG, S., 1953: Phänologische Kreisbeschreibungen. Mitteilungen des Deutschen Wetterdienstes, 4; 24 S.
- ULLRICH, J. und H. SCHROEDTER, 1966: Das Problem der Vorhersage (X) der Kartoffelfäule (Phytophthora infestans) und die Möglichkeit einer Lösung durch eine "Negativprognose". Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes, 18 (3): 33-40
- VANDOVA, M. et al., 1984: Temperature indicators of peach tree development in the Varna district of Black Sea region. Chidrol. i Meteorol., 33 (4): 33-40
- VILLASECAC, S., R. NOVOAS-A und I. MUNOZH, 1986: Phenology and sum of temperatures above 10 degree C in 24 grape varieties. Agric. tec, 46 (1): 63-67
- VOGEL, W., 1955: Der Einfluss der Witterung auf den Ausflug und die Ovarialentwicklung des Maikäfers. Landwirtschaftl. Jahrbuch der Schweiz, 69 (8): 971-1000
- VOLKERT, E., 1973: Erfahrungsbericht über den Verlauf des Aufbaues eines Netzes internationaler Phänologischer Gärten mit erbgleichen perennierenden Pflanzen unter Berücksichtigung forstlicher Gesichtspunkte. Manuskript 44 S. mit 16 Anlagen.
- VOLKERT, E. und F. SCHNELLE, 1966: Erläuterungen zur Beobachtung phänologischer Termine. Arboreta Phaenologica, Nr. 3-8; 5 S.



- VOLKERT, E., und F. SCHNELLE, 1968: Stand und zukünftige Aspekte des Programms "Internationale Phänologische Gärten" *Arboreta Phaenologica*, Nr. 11; 26 S.
- VOLZ, R., 1978: Phänologische Karten von Frühling, Sommer und Herbst als Hilfsmittel für eine klimatische Gliederung des Kantons Bern. Beiträge zum Klima des Kantons Bern, Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft von Bern; S. 23-58
- VOLZ, R., 1979: Phänologischer Vergleich zwischen Berner Jura und Berner Oberland auf Grund von zwei Ereignissen im Frühling und Herbst. Contribution à recherche climatologique, Institut de Géographie de l'Université de Berne, No. 17: 13-29
- WAGNER, H. und H.-J. DINGER, 1955: Die Besonnung im oberen Vogtland und ihre Bedeutung für das Pflanzenwachstum. *Angewandte Meteorologie*, 2 (4): 122-125
- WAGOONER, P.E., 1985: The hatching of Gypsy Moth eggs, a phenological model. *Agricultural and Forest Meteorology*, 33 (1): 53-66
- WANNER, H., 1972: 1970-1972: Die ersten zwei phänologischen Beobachtungsjahre des Berner Netzes - Probleme und vorläufige Resultate. *Inform. u. Beitr. zur Klimaforsch.* Nr. 8, Geogr. Inst. Univ. Bern: 5-14
- WANNER, H., 1973: Eine Karte der Vegetationszeit im Kanton Bern. *Geographica Helvetica*, 28 (3): 152-158
- WEBER, ROHR, FANKHAUSER und RAEZ, 1870-1883: Klimatologische und phänologische Beobachtungen im Kanton Bern. Hsgg. von der Forstdirektion Bern.
- WEGER, N., W. HERBST und C.F. RUDLOFF, 1940: Witterung und Phänologie der Blühphase des Birnbaumes. *Wiss. Abh. Reichsamt für Wetterdienst VII/1*; 28 S.
- WEISE, R., 1952: Mikroklimatische Geländestudien an der Laubverfärbung der Reben im Herbst 1951 und ihre Folgerung für den fränkischen Weinbau. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes in der U.S.-Zone*, Nr. 38: 237-240
- WERNECK, H.L., 1927: Versuch einer neuzeitlichen Gliederung der (X) angewandten Phänologie. *Angewandte Botanik*, 2, Berlin
- WERNECK, H.L., 1937: Oberösterreich im Bilde der Phänologie von 1926 bis 1930. Beihefte zu den Jahrbüchern der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, 3. Beiheft zum Jhg. 1930: 9-38
- WERNECK, H.L. 1959: *Angewandte Phänologie. Wetter und Leben*, 11. Jhg., Heft 2-4: 51-56
- WHITE, L.M., 1979: Relationship between meteorological Measurements and flowering of index species to flowering of 53 plants species. *Agricultural Meteorology*, 20 (3): 189-204

- WILLIAMS G.D.V., 1971: Wheat phenology in relation to latitude, longitude and elevation on the canadian great plains. Canadian Journal of Plant Sciences, Vol. 51: 1-12
- WILMERS, F., 1975: Zur Problematik der Korrelation klimatologischer Daten und Vegetationsanalysen. Natur und Landschaft, 50 (7): 193-196
- WINTER, F., 1973: Ein Simulationsmodell über die Phänologie und den Verlauf der Frostresistenz bei Apfelbäumen. Oecologia Plantarum, 8 (2): 141-152
- WITTERSTEIN, F., 1952: Untersuchungen an den langen phänologischen Beobachtungsreihen von Geisenheim. Bericht des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone 42: 313-320
- WITTERSTEIN, F., 1960: Bedeutung und Aufgaben des Phänologischen Dienstes. Mitteilungen des Deutschen Wetterdienstes, Nr. 19; 22 S.
- WÜTHRICH, B., 1985: Heuschnupfen - die häufigste allergische (X) Krankheit. Swiss Med, 7 (7): 35-48
- WÜTHRICH, B. et al., 1983: Pollinosis III. Pollenkalender von (X) Zürich mit den allergologisch wichtigsten Pollenarten. Schweiz. Medizinische Wochenschrift, 113 (5): 170-183
- ZACHARIAS, F., 1972a: Vegetation von Stadtbäumen. Inaugural-Dissertation, Berlin; 309 S.
- ZACHARIAS, F., 1972b: Blühphaseneintritt an Strassenbäumen (insbesondere Tilia x euchlora KOCH) und Temperaturverteilung in Westberlin. Inaugural-Diss., F.U. Berlin; 309 S.
- ZELLER, O., 1958: Ueber die Jahresrhythmik in der Entwicklung der Blütenknospen einiger Obstsorten. Die Gartenbauwissenschaft, 23 (5), München: 167-181
- ZHANG, F., 1982: The phenology method for climatic investigation in a small area. Sci. Geogr. Sinica, 2 (1): 40-48
- ZHANG, F., 1983: Statistic analysis on the phenophase of trees in spring of Beijing. Geogr. Res., 2 (2): 55-64

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

	Seite
Abb. 1: Wirkungsdreieck (nach BOURKE, 1968)	14
Abb. 2: Das Frostbeobachtungsnetz der Schweiz (Stand 1990)	16
Abb. 3: Phänologische Beobachtungsstationen für die Frostwarnungen (Stand 1990)	17
Abb. 4: Natürliche Frostresistenz der Birne für verschiedene phänologische Phasen	18
Abb. 5: Das phänologische Beobachtungsnetz der Schweiz	32
Abb. 6: Beobachtungsformular für die phänologische Jahreszusammenfassung	34
Abb. 7: Beispiel einer phänologischen Tabelle	36
Abb. 8: Beispiel einer phänologischen Tabelle, geordnet nach dem arithmetischen Mittel	37
Abb. 9: Das phänologische Netz für das Sofortmeldeprogramm	39
Abb. 10: Formular für das Sofortmeldeprogramm	41
Abb. 11: Statistische Verteilung der Eintrittstermine einer Phänophase	42
Abb. 12: Nadelaustrieb der Lärche in der Region Graubünden. Verteilung für die gesamte Dauer der Beobachtungsreihe mit Median und aktuellem Wert (1986)	43
Abb. 13: Datum der Vollblüte des Löwenzahns 1986 und zeitliche Charakterisierung des Eintretens	44
Abb. 14: Pflanze und Umwelt (aus DEFILA, 1988)	49
Abb. 15: Mittlerer Nadelaustrieb der Lärche (Tage seit Jahresbeginn) für die entsprechenden Beobachtungsperioden	51
Abb. 16: Mittlere Blattverfärbung der Rotbuche (Tage seit Jahresbeginn) für die entsprechenden Beobachtungsperioden	52
Abb. 17: Nadelaustrieb der Lärche (Region Jura) Mittelwert und Streuung für die entsprechenden Beobachtungsperioden	58
Abb. 18: Blattverfärbung der Rosskastanie (Region Ostschweiz), Mittelwert und Streuung für die entsprechenden Beobachtungsperioden	59

Abb. 19:	Blattverfärbung der Rotbuche (Region Zentral- schweiz u. Berner Oberland) Mittelwert und Streuung für die entsprechenden Beobachtungsperioden	60
Abb. 20:	Streuungen des Nadelaustriebes der Lärche für die entsprechenden Beobachtungsperioden	64
Abb. 21:	Streuungen der Blattverfärbung der Rotbuche für die entsprechenden Beobachtungsperioden	65
Abb. 22:	Relative Häufigkeiten der Streuungen pro Phänophase (1951-87)	67
Abb. 23:	Jahresgang der Streuungen der verschiedenen Phänophasen für die Station Wattwil	73
Abb. 24:	Phänologischer Kalender von Rafz (1952-87) Die Phänophasen sind in der Reihenfolge der mittleren Eintrittstermine geordnet.	81
Abb. 25:	Phänologischer Kalender von Davos (1951-87)	82
Abb. 26:	Der Verlauf der phänologischen Jahreszeiten (1951-86)	86
Abb. 27:	Der Verlauf der phänologischen Hauptjahreszeiten (1951-86)	88
Abb. 28:	Relative Häufigkeiten früher und später Jahreszeiten für die Periode 1951-86	91
Abb. 29:	Kartographische Uebersicht eines späten Erstfrühlings	94
Abb. 30:	Kartographische Uebersicht eines frühen Hochsommers	95
Abb. 31:	Die absoluten Abweichungen eines späten Erstfrühlings von der Norm (in Tagen)	96
Abb. 32:	Die absoluten Abweichungen eines frühen Vollfrühlings von der Norm (in Tagen)	97
Abb. 33:	Die höchsten Korrelationskoeffizienten zwischen Stationen für die Phase 10 (Blattausbruch der Buche)	132
Abb. 34:	Stationspaare mit Korrelationskoeffizienten >= 0,7 der Phase 9 (Vollblüte des Löwenzahns)	139
Abb. 35:	Stationspaare mit Korrelationskoeffizienten >= 0,7 der Phase 9 (Vollblüte des Löwenzahns) (regionale Auswertung)	140
Abb. 36:	Der Verlauf der Tagesmitteltemperaturen von Basel- Binningen der Jahre 1961, 1970 und 1984 bis zum Eintritt der Phase 11 (Nadelaustrieb der Lärche)	145

Abb. 37:	Der Verlauf der Tagesmitteltemperaturen von Basel-Binningen der Jahre 1956 und 1974 bis zum Eintritt der Phase 11 (Nadelaustrieb der Lärche)	146
Abb. 38:	Der mittlere Verlauf der Tagesmitteltemperaturen von Basel-Binningen aller frühen und späten Jahre (1951-86) bis zum Eintritt der Phase 11 (Nadelaustrieb der Lärche)	148
Abb. 39:	Aufsummierte Niederschlagsmengen (Zürich-SMA) der frühen und späten phänologischen Herbste	151
Abb. 40:	Aufsummierte Wasserbilanzwerte (Zürich-SMA) der frühen und späten phänologischen Herbste im Vergleich mit der Normkurve (1901-80)	153
Abb. 41:	Eintrittsdaten der Phänophase 19 (Vollblüte der Sommerlinde) von Liestal	162
Abb. 42:	Gleitende 10-Jahresmittel der Eintrittstermine der phänologischen Frühlingsphasen von Liestal	164
Abb. 43:	Gleitende 10-Jahresmittel der Eintrittstermine der phänologischen Sommerphasen von Liestal	165
Abb. 44:	Gleitende 10-Jahresmittel der Eintrittstermine der phänologischen Herbstphasen von Liestal	166
Abb. 45:	Gleitende 10-Jahresmittel der Eintrittstermine der Kirschenblüte von Liestal, 1894 - 1990	167

VERZEICHNIS DER TABELLEN (im Anhang)

- Tab. 1: Ausgewählte phänologische Stationen pro Region
- Tab. 2: Regionale Höhenabhängigkeiten ausgewählter Phänophasen, 1951-87 (mittlere Eintrittstermine)
- Tab. 3: Regionale Höhenabhängigkeiten von Differenzen zwischen Phänophasen, 1951-88
- Tab. 4: Rangfolge der mittleren Streuung der verschiedenen Phänophasen pro Region, 1951-88
- Tab. 5: Regionale Höhenabhängigkeiten der Streuungen von Phänophasen, 1951-88
- Tab. 6: Charakterisierung der Eintrittstermine der Phänophasen, 1951-86
- Tab. 7: Der Verlauf der phänologischen Jahreszeiten, 1951-86
- Tab. 8: Korrelationsmatrix (zwischen verschiedenen Phänophasen)
- Tab. 9: Korrelationskoeffizienten  $\geq 0,8$  pro Phänophase (Beispiel der Phase 2)
- Tab. 10: Die höchsten und tiefsten Korrelationskoeffizienten pro Station zwischen verschiedenen Phänophasen, 1951-86
- Tab. 11: Die höchsten Korrelationskoeffizienten zwischen verschiedenen Phänophasen, 1951-86
- Tab. 12: Relative Häufigkeiten der Korrelationskoeffizienten  $\geq 0,8$  resp.  $\geq 0,9$  pro Phasenkombination, 1951-86
- Tab. 13: Relative Häufigkeiten der Korrelationskoeffizienten  $\geq 0,8$  pro Phänophase, 1951-86
- Tab. 14: Relative Häufigkeiten der Korrelationskoeffizienten  $\geq 0,8$  resp.  $\geq 0,9$  pro Station, 1951-86
- Tab. 15: Ausgewählte phänologische Stationen pro Region
- Tab. 16: Die höchsten Korrelationskoeffizienten pro Station, für die Phase 10 (Blattausbruch der Rotbuche), 1951-86
- Tab. 17: Korrelationen zwischen verschiedenen Stationen derselben Phänophasen ( $r \geq 0,7$ ), 1951-86
- Tab. 18: Korrelationsmatrix zwischen den Stationen für die Phase 9 (Vollblüte des Löwenzahns), 1951-86 (Beispiel der Region Mittelland)
- Tab. 19: Korrelationskoeffizienten  $\geq 0,7$  resp.  $\geq 0,8$  pro Station, 1951-86

Tab. 20: Temperatursummen ab 1. Januar (über verschiedenen Schwellenwerten) ausgewählter Stationen und Phänophasen

Tab. 21: Temperatursummen (über verschiedenen Schwellenwerten) von Liestal (350 m/M), 1951-88

VERZEICHNIS DER BEOBACHTUNGSSTATIONEN

VERZEICHNIS DER PHAENOLOGISCHEN PHASEN

# ANHANG



Tab. 1: Ausgewählte phänologische Stationen pro Region

<u>Region I</u>	<u>Region II</u>	<u>Region III</u>
<u>Stationen</u>	<u>Stationen</u>	<u>Stationen</u>
Möhlin	St. Gallen	Bad Ragaz
Reigoldswil	Merishausen	Sargans II
Liestal	Rafz	Grabs
Moutier	Flawil	Wildhaus
Bellelay Delémont	Bauma (Schönenberg)	Ennetbühl
Basel-Binningen	Kloten	Wattwil
Vallorbe	Wädenswil	Appenzell
L'Abergement	Horgen	Stein AR
Ste. Croix	Zürich-Witikon	Murg
Couvet	Zollikon	Elm
Les Ponts-de-Martel	Zürich-SMA	Gommiswald
Cernier	Sihlbrugg	Engelberg
La Coudre	Zürich-Albisgütli	Sarnen (Kloster)
Chaumont I	Uetliberg	Entlebuch
Enges	Posieux	Gadmen
Chaumont II	Moudon	Kandersteg
Orvin	Biel	Adelboden
Longirod	Solothurn (Rüttenen)	La Valsainte
Le Locle	Oeschberg	Escholzmatt
	Wyssachen	
	Grossdietwil	
	Zofingen	
	Wiliberg	
	Unterkuhl	
	Seon	
	Tour de Gourze	
	Cossonay	
	Changins	
	Versoix	
	Cartigny	

Fortsetzung Tab. 1

Region IV

Stationen

Fiesch  
St. Luc  
Sion  
Leytron  
Liddes  
Trient  
Gryon  
Les Plans s. Bex  
Les Diablerets  
Simplon-Dorf

Region V

Stationen

Disentis I  
Vals  
Ilanz  
Andeer  
Thusis  
Davos-Dorf  
Domat/Ems  
Chur  
Schiers  
Seewis-Dorf

Region VI

Stationen

Olivone  
San Bernardino  
Prato-Sornico  
Menzonio  
Cevio  
Aurigeno  
Vergeletto  
Locarno  
Fescoggia  
Brusio  
Casaccia  
Stampa  
Bondo

Region VII

Stationen

St. Moritz  
Pontresina  
Zuoz  
Scuol  
Sent  
Martina

Tab. 2: Regionale Höhenabhängigkeiten ausgewählter Phänophasen, 1951 - 87 (mittlere Eintrittstermine)

Regionen		Phase 2	Phase 9	Phase 10	Phase 11	Phase 12	Phase 17	Phase 21	Phase 19	Phase 23	Phase 50	Phase 26	Phase 28
I Jura	r	0,781xxx	0,825xxx	0,734xxx	0,831xxx	0,922xxx	0,742 xx	0,800xxx	0,854xxx	0,819xxx	0,686 x	0,539 o	-0,141 *
	n	16	20	20	19	16	15	19	13	14	11	17	18
	G	4,5	5,3	3,5	4,2	5,2	5,0	5,9	3,9	4,8	5,2	7,0	-23,6
II Mittel- land	r	0,714xxx	0,529 xx	0,570 xx	0,510 xx	0,656xxx	0,346 --	0,624xxx	0,316 *	0,400 --	0,100 *	-0,053 *	-0,322 -
	n	26	30	28	27	28	22	28	18	15	17	26	27
	G	9,2	9,8	5,4	11,5	10,1	21,2	9,2	14,1	15,0	64,1	-133,3	-22,9
III Alpen- nord- hang	r	0,574 x	0,860xxx	0,947xxx	0,917xxx	0,900xxx	0,900xxx	0,883xxx	0,872xxx	0,894xxx	0,300 *	0,400 --	-0,173 *
	n	17	19	18	17	18	16	18	12	10	14	13	18
	G	8,5	4,4	3,9	4,6	5,1	4,2	5,4	5,8	3,9	13,9	8,7	-16,3
IV Wallis Rhone- tal	r	0,374 *	0,831 x	----	0,768 o	0,949 xx	0,566 *	0,806 --	----	----	----	----	----
	n	7	8	----	8	7	5	4	----	----	----	----	----
	G	15,2	8,2	----	3,8	5,4	10,1	4,2	----	----	----	----	----
V Rhein- bünden	r	0,490 --	0,975xxx	0,672 --	0,849 xx	0,970xxx	0,917xxx	0,900 xx	0,970 xx	0,794 *	-0,400 *	-0,574 *	-0,075 *
	n	10	10	7	10	10	9	8	5	4	7	5	6
	G	6,5	3,6	5,2	5,3	4,9	3,5	5,4	5,8	5,0	-7,5	-5,1	-49,8
VI Süd- schweiz	r	0,964 o	0,400 *	0,486 *	0,854xxx	0,806 -	0,714 o	0,648 -	0,539 *	0,510 *	-0,520 *	0,458 *	0,678 -
	n	4	9	5	12	6	10	9	4	4	5	9	7
	G	7,3	6,6	5,2	6,7	4,2	6,4	8,8	13,0	10,0	-4,3	-5,9	2,9
VII Enga- din	r	0,600 *	0,970 xx	----	0,980 xx	----	----	----	----	----	----	----	----
	n	4	5	----	5	----	----	----	----	----	----	----	----
	G	14,6	7,8	----	6,9	----	----	----	----	----	----	----	----

Legende: r: Korrelationskoeffizient      P: 0,001 xxx      0,05 o  
n: Anzahl Stationen                      0,01 xx            0,10 -  
G: Höhengradient/100m                  0,02 x             0,20 --  
P: Irrtumswahrscheinlichkeit  
(t-Test)                                      nicht signifikant: \*

Tab. 3: Regionale Höhenabhängigkeiten von Differenzen zwischen Phänophasen, 1951 - 88

Regionen		4/9	9/15	9/16	6/7	9/50	6/26	7/26	10/28	11/28	2/50	11/50
I Jura	r	0,1911*	0,0454*	0,1053*	0,2537*	-0,3986--	-0,3526--	-0,3653--	-0,5900xx	-0,7084 <sup>xxx</sup>	-0,0400*	-0,1557*
	n	15	14	18	16	15	17	16	20	19	13	14
	G	0,4	0,1	0,3	0,7	-1,4	-1,3	-1,8	-2,2	-3,2	-0,2	-0,5
II Mittel- land	r	0,2879--	-0,3843°	0,1596*	0,4016°	-0,2806--	-0,2331*	-0,4727x	-0,4900xx	-0,6645 <sup>xxx</sup>	-0,5825xx	-0,2378*
	n	29	27	29	27	23	27	27	28	26	19	18
	G	1,2	-1,7	0,5	1,8	-2,0	-1,9	-4,2	-3,8	-6,0	-5,6	-2,0
III Alpen- nord- hang	r	-0,3926--	0,2362*	-0,0591*	-0,2292*	-0,4073--	-0,6184x	-0,5479-	-0,8525 <sup>xxx</sup>	-0,8206 <sup>xxx</sup>	-0,1110*	-0,5384°
	n	16	16	18	13	15	14	13	19	17	15	15
	G	-1,6	0,4	-0,1	-0,5	-1,6	-3,7	-2,9	-3,9	-4,1	-0,5	-2,2
IV Wallis Rhone- tal	r	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	n											
	G											
V Rhein- bünden	r	----	-0,4357*	-0,3035*	0,2588*	-0,8268x	-0,8493x	-0,8492x	-0,5719*	-0,6212--	-0,8108x	-0,6802-
	n		5	9	8	8	7	7	6	6	8	8
	G		-2,2	-0,4	0,5	-4,1	-5,7	-6,1	-2,2	-3,2	-2,9	-4,7
VI Süd- schweiz	r	-0,5246*	----	0,6574°	0,1672*	-0,8583-	0,2269*	0,0528*	-0,0121*	-0,3790*	----	-0,8496-
	n	5		10	9	5	9	9	7	7		5
	G	-3,2		2,9	9,9	-9,1	1,3	0,3	-0,0	-1,8		-9,2
VII Enga- din	r	----	----	----	----	-0,8863°	----	----	----	----	----	-0,8705-
	n					5						5
	G					-12,6						-11,6

Legende: r: Korrelationskoeffizient      P: 0,001 xxx      0,05 o  
n: Anzahl Stationen                      0,01 xx      0,10 -  
G: Höhengradient/100m                  0,02 x      0,20 --  
P: Irrtumswahrscheinlichkeit  
(t-Test)                                      nicht signifikant: \*



Tab. 5: Regionale Höhenabhängigkeiten der Streuungen von Phänophasen, 1951 - 88

Regionen		Phase 2	Phase 9	Phase 10	Phase 11	Phase 12	Phase 17	Phase 21	Phase 19	Phase 23	Phase 50	Phase 26	Phase 28
I Jura	r	0,3863--	-0,0235*	0,1867*	0,3696--	0,2426*	0,3061*	0,3644--	0,5475-	0,3333*	0,4742--	-0,3473-	0,1809*
	n	16	20	20	19	16	15	19	13	13	11	17	18
	G	0,4	-0,0	0,2	0,3	0,2	0,3	0,5	0,8	0,5	0,4	-0,5	0,2
II Mittel- land	r	0,4669x	0,4167o	0,2937--	0,3138-	0,1120*	0,0156*	0,4866xx	0,1541*	-0,1949*	0,1146*	-0,0246*	0,5017xx
	n	26	30	29	28	28	22	28	19	16	17	27	27
	G	1,2	0,7	0,4	0,4	0,2	0,0	1,4	0,3	-0,4	0,3	-0,1	1,4
III Alpen- nord- hang	r	0,3732--	-0,2193x	-0,3349--	-0,5351o	-0,0055*	-0,2559*	0,0855*	0,5174--	0,3723*	-0,1866*	-0,2649*	0,0846*
	n	17	19	18	17	18	16	18	11	10	14	14	18
	G	0,4	-0,2	-0,2	-0,4	-0,0	-0,2	0,1	0,5	0,6	-0,1	-0,3	0,1
IV Wallis Rhone- tal	r	-0,2245*	-0,2610*	----	-0,5994--	0,4673*	0,1352*	----	----	----	----	----	----
	n	7	8	----	8	8	5	----	----	----	----	----	----
	G	-0,5	-0,5	----	-0,9	0,4	0,3	----	----	----	----	----	----
V Rhein- bünden	r	0,0720*	0,6944o	-0,0746*	-0,1849*	0,7544x	0,4655*	-0,5158	-0,0395*	----	0,4381*	0,0246*	-0,2932*
	n	10	10	7	10	10	9	8	5	----	8	5	6
	G	0,1	0,4	-0,1	-0,1	0,5	0,3	-0,6	-0,0	----	0,6	0,1	-0,4
VI Süd- schweiz	r	----	-0,1733*	-0,6879-	0,2271*	-0,9429xx	-0,3901*	-0,3489*	----	----	0,6085*	-0,7038o	-0,4645*
	n	----	11	8	12	6	10	9	----	----	5	9	7
	G	----	-0,2	-1,4	0,2	-1,0	-0,6	-0,7	----	----	0,5	-1,0	-0,5
VII Enga- din	r	----	-0,0567*	----	-0,5444*	----	----	----	----	----	----	----	----
	n	----	5	----	5	----	----	----	----	----	----	----	----
	G	----	-0,1	----	-0,4	----	----	----	----	----	----	----	----

Legende: r: Korrelationskoeffizient      P: 0,001 xxx      0,05 o  
n: Anzahl Stationen                      0,01 xx            0,10 -  
G: Höhengradient/100m                  0,02 x             0,20 --  
P: Irrtumswahrscheinlichkeit  
(t-Test)                                      nicht signifikant: \*

Tab. 6: Charakterisierung der Eintrittstermine der Phänophasen, 1951 - 86

Klassen	Frühling	Sommer	Herbst	Vegetationsperiode
1 sehr früh	1961	1952	-	-
2 früh	1952, 1953, 1957, 1959, 1960, 1966, 1974, 1976, 1977, 1981	1959, 1960, 1961, 1964, 1966, 1971, 1976	1952, 1959, 1971, 1976, 1979	1952, 1959, 1960, 1961, 1976
3 Tendenz zu früh	1964, 1967, 1968, 1971, 1972	1951, 1953, 1968, 1977, 1981, 1982, 1983	1953, 1957, 1960, 1968, 1969, 1973, 1977	1953, 1957, 1964, 1966, 1968, 1971, 1977, 1981
4 +/- normal	1954	1957, 1958, 1967, 1973, 1974, 1979, 1986	1955	-
5 Tendenz zu spät	1951, 1958, 1963, 1969, 1975, 1978, 1982, 1985	1954, 1956, 1965, 1969, 1975, 1985	1956, 1958, 1962, 1963, 1967, 1975, 1983, 1984, 1985	1954, 1956, 1958, 1963, 1965, 1975, 1978, 1985, 1986
6 spät	1956, 1962, 1965, 1973, 1979, 1980, 1986	1962, 1963, 1970, 1972, 1978, 1980, 1984	1970, 1980	1962, 1970, 1980, 1984
7 sehr spät	1970, 1984	-	-	-
8 keine eindeutige Tendenz	1955, 1983	1955	1951, 1954, 1961, 1964, 1965, 1966, 1972, 1974, 1978, 1981, 1982, 1986	1951, 1955, 1967, 1969, 1972, 1973, 1974, 1979, 1982, 1983

Tab. 7: Der Verlauf der phänologischen Jahreszeiten, 1951 - 1986

(Zusammenfassung)

Jahr	Frühling	Sommer	Herbst	Vegetationsperiode
1951	Tendenz zu spät	Tendenz zu früh	keine eindeutige Tendenz	keine eindeutige Tendenz
52	früh	sehr früh	früh	früh
53	früh	Tendenz zu früh	Tendenz zu früh	Tendenz zu früh
54	+/- normal	Tendenz zu spät	keine eindeutige Tendenz	Tendenz zu spät
55	keine eindeutige Tendenz	keine eindeutige Tendenz	+/- normal	keine eindeutige Tendenz
56	spät	Tendenz zu spät	Tendenz zu spät	Tendenz zu spät
57	früh	+/- normal	Tendenz zu früh	Tendenz zu früh
58	Tendenz zu spät	+/- normal	Tendenz zu spät	Tendenz zu spät
59	früh	früh	früh	früh
1960	früh	früh	Tendenz zu früh	früh
61	sehr früh	früh	keine eindeutige Tendenz	früh
62	spät	spät	Tendenz zu spät	spät
63	Tendenz zu spät	spät	Tendenz zu spät	Tendenz zu spät
64	Tendenz zu früh	früh	keine eindeutige Tendenz	Tendenz zu früh
65	spät	Tendenz zu spät	keine eindeutige Tendenz	Tendenz zu spät
66	früh	früh	keine eindeutige Tendenz	Tendenz zu früh
67	Tendenz zu früh	+/- normal	Tendenz zu spät	keine eindeutige Tendenz
68	Tendenz zu früh	Tendenz zu früh	Tendenz zu früh	Tendenz zu früh
69	Tendenz zu spät	Tendenz zu spät	Tendenz zu früh	keine eindeutige Tendenz
1970	sehr spät	spät	spät	spät
71	Tendenz zu früh	früh	früh	Tendenz zu früh
72	Tendenz zu früh	spät	keine eindeutige Tendenz	keine eindeutige Tendenz
73	spät	+/- normal	Tendenz zu früh	keine eindeutige Tendenz
74	früh	+/- normal	keine eindeutige Tendenz	keine eindeutige Tendenz
75	Tendenz zu spät	Tendenz zu spät	Tendenz zu spät	Tendenz zu spät
76	früh	früh	früh	früh
77	früh	Tendenz zu früh	Tendenz zu früh	Tendenz zu früh
78	Tendenz zu spät	spät	keine eindeutige Tendenz	Tendenz zu spät
79	spät	+/- normal	früh	keine eindeutige Tendenz
1980	spät	spät	spät	spät
81	früh	Tendenz zu früh	keine eindeutige Tendenz	Tendenz zu früh
82	Tendenz zu spät	Tendenz zu früh	keine eindeutige Tendenz	keine eindeutige Tendenz
83	keine eindeutige Tendenz	Tendenz zu früh	Tendenz zu spät	keine eindeutige Tendenz
84	sehr spät	spät	Tendenz zu spät	spät
85	Tendenz zu spät	Tendenz zu spät	Tendenz zu spät	Tendenz zu spät
86	spät	+/- normal	keine eindeutige Tendenz	Tendenz zu spät



Tab. 8: Korrelationsmatrix (zwischen verschiedenen Phänophasen)

INDIKATIV: 1668 STATION: LIESTAL

ANZAHL BEOBACHTUNGEN: 27

I/J	2	3	4	6	7	9	10	11	12	14
2	1.0000									
3	0.1872	1.0000								
4	0.3138	0.7198	1.0000							
6	0.0565	0.8228	0.5194	1.0000						
7	0.0682	0.6120	0.4743	0.7255	1.0000					
9	0.2005	0.7779	0.7064	0.6569	0.5926	1.0000				
10	0.2119	0.6405	0.3448	0.8229	0.6943	0.4420	1.0000			
11	0.1794	0.8930	0.6241	0.8297	0.7446	0.6806	0.7036	1.0000		
12	0.1650	0.6081	0.5308	0.7452	0.9151	0.5894	0.6908	0.7567	1.0000	
14	0.0004	0.5542	0.3263	0.7096	0.7233	0.5395	0.6952	0.6232	0.6183	1.0000
15	0.3131	0.6353	0.7219	0.5537	0.5711	0.8584	0.3271	0.5499	0.6086	0.4177
16	0.2355	0.6508	0.5831	0.6670	0.7984	0.6193	0.6811	0.7529	0.7115	0.6776
17	0.2179	0.5972	0.5134	0.6228	0.7163	0.3349	0.6106	0.6544	0.7508	0.4804
18	0.3652	0.8490	0.7800	0.8203	0.6850	0.7712	0.6531	0.8302	0.7164	0.5642
19	0.4749	0.4959	0.4994	0.3495	0.4427	0.4337	0.2475	0.5898	0.4703	0.3897
20	0.2076	0.6911	0.7271	0.6029	0.7530	0.7138	0.4463	0.6786	0.7692	0.6388
21	0.4926	0.5103	0.5435	0.4481	0.4729	0.4054	0.3703	0.5794	0.6186	0.3665
23	0.3483	0.4471	0.2998	0.3139	0.3531	0.2452	0.2822	0.6134	0.2887	0.3346
26	0.2930	0.3311	0.2895	0.3014	0.2688	0.0725	0.2622	0.4773	0.3650	0.1653
27	0.1425	0.4538	0.2781	0.4321	0.4752	0.2358	0.3088	0.6320	0.6419	0.2564
28	-0.0330	0.1070	-0.1999	0.2488	0.2336	-0.1445	0.3763	0.2662	0.2807	0.0469
29	0.1157	0.4655	0.4167	0.3709	0.5514	0.4289	0.2347	0.6479	0.6346	0.3054
30	0.0123	0.2779	-0.0095	0.3624	0.2803	0.0770	0.3754	0.5261	0.3185	0.2238
31	-0.2502	-0.2003	-0.2227	-0.1645	0.0256	-0.0922	-0.1312	-0.0943	0.1443	-0.1944
47	0.4555	0.3787	0.3856	0.1729	0.2314	0.4026	0.2735	0.2388	0.2822	0.2803
50	0.1809	0.4717	0.3828	0.4122	0.3441	0.4008	0.4837	0.6185	0.4502	0.2845

I/J	15	16	17	18	19	20	21	23	26	27
15	1.0000									
16	0.5438	1.0000								
17	0.3451	0.6764	1.0000							
18	0.7519	0.7223	0.6033	1.0000						
19	0.4697	0.5485	0.4927	0.4895	1.0000					
20	0.7149	0.6592	0.6588	0.7235	0.6223	1.0000				
21	0.4811	0.5597	0.6675	0.5934	0.8085	0.7096	1.0000			
23	0.1958	0.5052	0.3729	0.3862	0.8333	0.3883	0.6023	1.0000		
26	0.2861	0.3152	0.4022	0.3131	0.4327	0.1976	0.4485	0.4542	1.0000	
27	0.3647	0.3700	0.5077	0.3702	0.5327	0.4198	0.5951	0.4270	0.7522	1.0000
28	-0.1127	0.1678	0.2454	0.0646	0.0296	-0.0824	0.0295	0.1774	0.3631	0.4320
29	0.4180	0.5024	0.5451	0.3749	0.5908	0.6328	0.6061	0.4880	0.4376	0.6969
30	0.1017	0.2831	0.1669	0.1643	0.2656	0.0359	0.1547	0.4430	0.6711	0.6142
31	-0.1605	-0.2161	0.0472	-0.2205	-0.0862	-0.0418	-0.0241	-0.1873	-0.0830	0.1126
47	0.3914	0.2151	0.2869	0.3344	0.4591	0.5411	0.5719	0.2176	0.0953	0.1025
50	0.3361	0.5878	0.3815	0.4327	0.4857	0.2690	0.4545	0.4927	0.5529	0.5022

I/J	28	29	30	31	47	50
28	1.0000					
29	0.2123	1.0000				
30	0.5888	0.4919	1.0000			
31	0.3602	0.2640	0.1164	1.0000		
47	-0.1362	0.3277	-0.0838	0.0638	1.0000	
50	0.2859	0.5245	0.5193	0.1473	0.2094	1.0000

Tab. 9: Korrelationskoeffizienten  $\geq 0,8$  pro Phänophase  
(Beispiel der Phase 2)

<u>2 X 47</u>	<u>2 X 4</u>	<u>2 X 9</u>
0,9006 *** Chur (16)	0,9229 *** Wattwil (27)	0,8338 *** Wattwil (27)
0,8019 *** Horgen (17)	0,8640 *** Kloten (23)	0,8250 *** Gommiswald (18)
0,8306 *** Liddes (23)	0,8940 *** Horgen (17)	
	0,9641 *** Chaumont II (19)	
	- 0,8232 *** Wyssachen (16)	

( ): Anzahl Beobachtungsjahre

\*\*\* :  $P=0,001$



Fortsetzung Tab. 10

Stationen	Anzahl Jahre	Anzahl korrelierte Phasen	Höchste Korrelationen		Mittlere Differenzen zw. den Phasen (Tage)	Tiefste Korrelationen		Mittlere Differenzen zw. den Phasen (Tage)
			Koeff.	Phasen		Koeff.	Phasen	
Wyssachen	16	29	0,9052	( 3 x 6 )	-6	-0,0012	( 7 x 36L)	129
Grossdietwil	18	11	0,9120	(32B x 34B)	6	-0,0146	( 7 x 31 )	141
Zofingen	23	11	0,9074	(15 x 32B)	-1	0,1326	( 4 x 10 )	17
Williberg	27	14	0,9116	( 9 x 15 )	-3	0,0039	(31 x 32E)	-96
Unterkulm	22	12	0,9200	( 3 x 15 )	0	0,0091	(11 x 47 )	-48
Seon	24	25	0,9067	(15 x 32B)	5	-0,0111	( 7 x 37N)	35
Fiesch	24	10	0,8614	( 9 x 17 )	20	-0,0123	( 2 x 32B)	29
St. Luc	16	7	-0,6441	(21 x 37N)	43	0,0113	(21 x 47 )	-49
Sion	23	10	0,8124	(36B x 36L)	116	0,0051	(27 x 32B)	-200
Leytron	11	20	0,8866	( 7 x 32E)	34	0,0053	(47 x 36B)	112
Liddes	23	5	0,8306	( 2 x 47 )	-6	0,1543	( 2 x 11 )	43
Trient	29	13	0,9572	(19 x 23 )	-1	0,0020	(17 x 31 )	123
Gryon	22	22	0,8720	(33B x 34B)	-3	-0,0060	( 3 x 34E)	151
Plan s. Bex	21	2	0,5262	(10 x 11 )	-5	----	----	----
Les Diablerets	18	7	0,6721	( 4 x 11 )	6	-0,0617	(11 x 37N)	149
Tour de Gourze	19	4	0,5301	( 4 x 32B)	33	-0,0276	( 4 x 10 )	23
Cossonay	20	31	0,9805	(29 x 30 )	0	-0,0004	(33E x 37N)	-91
Longirod	22	6	0,7444	( 6 x 32B)	22	0,0757	( 9 x 31 )	159
Changins	18	24	0,9340	(12 x 33B)	-2	-0,0015	( 4 x 34E)	160
Versoix	31	16	0,9042	( 9 x 34B)	5	0,1312	( 3 x 19 )	67
Cartigny	26	15	0,9356	( 9 x 18 )	-3	-0,0068	(27 x 31 )	-21
Le Locle	24	18	0,8876	(27 x 30 )	0	-0,0053	( 6 x 29 )	160
S. Bernardino	24	5	-0,4922	(31 x 37N)	-78	-0,0379	(11 x 37N)	48
Prato-Sornico	24	22	0,9507	(33B x 34B)	-1	-0,0005	( 9 x 37N)	70
Menzonio	20	19	0,9503	(33B x 34B)	-2	0,0000	(28 x 33E)	-8
Cevio	17	19	0,9733	( 6 x 11 )	-8	-0,0282	( 3 x 28 )	179
Aurigeno	24	18	0,9490	( 3 x 10 )	14	-0,0057	(30 x 47 )	-246
Vergeletto	27	6	0,9270	(11 x 17 )	4	0,0901	(10 x 31 )	159
Locarno	18	28	0,9843	( 6 x 10 )	0	-0,0002	(28 x 36L)	12
Fescoggia	20	19	0,8506	(26 x 27 )	16	0,0002	(50 x 37M)	-98
Simplon-Dorf	23	6	0,6924	( 2 x 12 )	62	0,0200	(12 x 37N)	58
Brusio	22	14	-0,7853	( 9 x 27 )	202	-0,0021	( 9 x 31 )	177
Casaccia	16	7	0,9181	(11 x 14 )	2	-0,1680	( 2 x 37N)	109
Stampa	15	25	0,8748	(26 x 27 )	17	-0,0034	( 6 x 50 )	166
Bondo	15	24	0,9049	(33E x 34E)	0	-0,0084	(17 x 27 )	151
St. Moritz	18	5	0,8060	(11 x 16 )	29	0,2029	( 9 x 17 )	24
Pontresina	14	9	0,6670	( 2 x 9 )	42	-0,0253	(17 x 37M)	17
Zuoz	14	6	0,5652	( 2 x 9 )	41	-0,0245	( 9 x 37M)	40
Scuol	13	11	0,8609	(10 x 12 )	27	0,0113	(10 x 30 )	189
Sent	17	13	0,9318	(14 x 32B)	3	0,0036	(10 x 37M)	35
Martina	11	8	0,9222	(18 x 32B)	-2	-0,0122	(18 x 47 )	-47

Tab. 11: Die höchsten Korrelationskoeffizienten zwischen verschiedenen Phänophasen, 1951 - 86

Phasen	2	3	4	6	7	9	10	11	12	14	15	16	17	18	19	20	21	23	25	26
2	-	0,6681	0,9641	0,7663	0,5689	0,8338	0,6903	0,7975	0,6924	0,7301	0,7826	0,6770	0,6770	0,7636	0,4749	0,7341	0,6904	0,4172	0,4798	0,4488
3		-	0,8624	0,9086	0,8131	0,9192	0,9490	0,9799	0,7547	0,8972	0,9308	0,7050	0,9267	0,9248	0,4959	0,8284	0,6733	0,4471	0,5815	0,4471
4			-	0,8615	0,6021	0,8209	0,7393	0,9404	0,6406	0,8969	0,8432	0,6416	0,7498	0,8745	-0,5521	0,7271	0,6809	0,5114	0,4512	0,4337
6				-	0,8867	0,8864	0,9843	0,9733	0,7869	0,8416	0,8859	0,6796	0,9011	0,9304	0,5259	0,8089	0,7355	0,4831	0,7921	0,6099
7					-	0,8150	0,8341	0,8818	0,9586	0,7233	0,7812	0,8234	0,8676	0,8613	0,7128	0,7530	0,8112	0,7064	0,7995	0,7557
9						-	0,8554	0,8483	0,8161	0,7715	0,9935	0,7986	0,8614	0,9356	0,6657	0,8743	0,6953	0,5757	0,3827	-0,7983
10							-	0,9392	0,8609	0,8530	0,8472	0,7454	0,9185	0,9039	0,5092	0,8538	0,8467	0,5557	0,6171	-0,5583
11								-	0,8159	0,9181	0,9322	0,8060	0,9270	0,9423	0,7324	0,7902	0,6153	0,6134	0,7010	0,4820
12									-	0,8307	0,8485	0,8815	0,8930	0,8479	0,7915	0,7692	0,8249	0,7114	0,7130	0,7139
14										-	0,8100	0,6776	0,8603	0,9223	0,5596	0,8508	0,7976	-0,6687	0,6634	0,5206
15											-	0,8100	0,9425	0,9294	0,6896	0,8250	0,6677	0,4494	0,5419	0,5500
16												-	0,8810	0,7223	0,6453	0,6592	0,7814	0,7571	0,7190	0,5784
17													-	0,9396	0,7880	0,6650	0,7724	0,6529	0,6502	-0,6390
18														-	0,4895	0,8984	0,6479	0,4086	0,4581	0,5141
19															-	0,6223	0,8085	0,9572	0,7243	0,5915
20																-	0,8670	0,6341	0,4330	0,4447
21																	-	0,7231	0,7338	0,6683
23																		-	0,7604	0,4542
25																			-	0,6740
26																				
27																				
28																				
29																				
30																				
31																				
47																				
50																				
32B																				
32E																				
33B																				
33E																				
34B																				
34E																				
36K																				
36B																				
36L																				
37M																				
37N																				

Fortsetzung Tab. 11

27	28	29	30	31	47	50	32B	32E	33B	33E	34B	34E	36K	36B	36L	37M	37N	Phasen
0,6040-0,3097	0,6651-0,4734	0,6535	0,9006	0,5514	0,6903	0,5186	0,6806-0,5841	0,6884-0,5575	0,5824	0,5321	0,3638	0,7984	0,6755	2				
0,6736	0,6520	0,8157	0,7824	0,4555	0,8312	0,4717	0,9315	0,7243	0,8377	0,7469	0,9195	0,5992	0,6418	0,3396	0,3587	0,6726	0,5510	3
-0,5207	0,3594	0,5031	0,5654	0,5051	0,8331	0,6419	0,7941	0,5370	0,6643-0,5567	0,7183	0,5862	0,5676	0,2992-0,2305	0,5657-0,4611	4			
0,7186	0,6064	0,7512	0,7263	0,7339	0,7019	0,4524	0,9368	0,7188	0,9082-0,7857	0,8908-0,8014	0,6462	0,5502	0,4885	0,9301	0,8199	6		
0,6268	0,6762	0,5514	0,6858	0,5626	0,5481	0,5780	0,8073	0,8866	0,8709	0,7361	0,8807	0,7417	0,5995	0,7100	0,7135	0,7400	0,6445	7
0,7853-0,4879	0,5433	0,5396	0,8096	0,8450	0,7450	0,9583	0,7089	0,9365	0,5960	0,9042-0,6151	0,6133	0,5062-0,5479	0,6887	0,7269	9			
0,6069	0,6169	0,7375	0,6698	0,7257	0,6933	0,4837	0,9035	0,7132	0,7937-0,7447	0,8165-0,7590	0,5451	0,3211-0,4378	0,8042	0,8478	10			
0,6320	0,7302	0,6479	0,6802	0,6329	0,7735	0,6185	0,9665	0,6491	0,8502	0,5177	0,9229	0,4523	0,5677	0,5035	0,5598	0,8726	0,7035	11
0,6419	0,6316	0,6346-0,4950	0,5326	0,6018	0,5991	0,9371	0,8159	0,9491	0,7100	0,9031	0,5902	0,5120	0,6345	0,6274	0,6553	0,6335	12	
0,5741	0,6103	0,5976	0,5307	0,4167	0,6624	0,4926	0,9318	0,7106	0,9466	0,7256	0,8983	0,7299	0,7207	0,7990	0,2794	0,6500	0,8422	14
0,5614	0,4217	0,4180	0,6162	0,6030	0,8208	0,4403	0,9687	0,7261	0,9058-0,5492	0,9560	0,5114	0,4892	0,6251	0,5689	0,6058	0,5582	15	
0,6839	0,6189	0,6636	0,6450-0,7073-0,6445	0,6096	0,8333	0,7171	0,9020	0,7882	0,8188	0,8049	0,6485	0,7155	0,5549	0,7677	0,6465	16		
0,6505-0,6390	0,6533	0,6701-0,6352	0,6364	0,5035	0,9668	0,8104	0,9112	0,5860	0,9266	0,5991	0,5703	0,6772	0,5886	0,8313	0,7178	17		
0,6735	0,5868	0,7348	0,5866	0,4023	0,6944	0,6023	0,9741	0,8070	0,8825	0,5617	0,9447	0,5947	0,5100	0,4497-0,2552	0,5827	0,5740	18	
0,5327	0,5675	0,5908	0,4789-0,3368	0,4591	0,4857	0,5383	0,7493	0,6636-0,8637-0,6049	0,6632	0,4583	0,4445	0,7476	0,6452	0,7166	19			
0,5673	0,4744	0,6328-0,5394	0,7249	0,5760	0,6280	0,8171	0,6473	0,8934-0,5844	0,8943-0,6241	0,3320	0,3536-0,3637	0,8883	0,8324	20				
0,6944	0,7376	0,6061	0,5708	0,5668	0,5719	0,4545	0,7589	0,6135	0,8267	0,6116	0,6759	0,6504	0,4796	0,7396-0,4376	0,7224	0,6766	21	
0,4270	0,5189	0,5705	0,5673	0,6941	0,3486	0,4927	0,5683	0,7242	0,6971	0,5318	0,5072-0,4388	0,4720-0,2034	0,7590	0,6250	0,6517	23		
0,7645	0,4086	0,4588	0,6143-0,4664	0,6974	0,5246	0,6755	0,6819	0,7665	0,5919	0,5410	0,6942	0,7663	0,6477	0,6031	0,7609	0,7304	25	
0,8748	0,9638	0,7894	0,7521	0,4875	0,4481	0,5529	0,4460	0,5744	0,5817	0,7070	0,4730	0,6458-0,5038-0,4411	0,3742	0,5882	0,6983	26		
-	0,8291	0,9313	0,9407	0,6911	0,5851	0,6596	0,5524	0,7044	0,6749	0,7969	0,5972	0,5804	0,5053	0,6018-0,4443	0,7180	0,6559	27	
-	-	0,8991	0,8345	0,5173-0,5707	0,6215	0,5789-0,4734	0,4389-0,3350	0,4739	0,4228	0,4260-0,2647-0,3566	0,6123	0,6361	28					
-	-	0,9805	0,5388	0,2640	0,5245	0,5588	0,6270	0,6020	0,4095	0,5029	0,3937-0,2414	0,3111-0,2973-0,4228	0,6512	29				
-	-	-	0,5877-0,5250	0,5947	0,6031	0,5826	0,4503	0,5012	0,5159	0,5789	0,4976-0,3181-0,6765	0,5690	0,6402	30				
-	-	-	0,7488	0,5139	0,5706	0,4544	0,6309-0,5905	0,5340-0,6083	0,7666	0,3660-0,5576	0,6196-0,6161	31						
-	-	-	-	0,6515	0,7871	0,6167	0,6618-0,7088	0,7669-0,6799	0,3925	0,5246	0,4123	0,5360	0,8053	47				
-	-	-	-	-	0,6283	0,4153	0,5383	0,3540	0,6191	0,5661-0,6215	0,4474-0,2126	0,4014	0,4134	50				
-	-	-	-	-	-	0,8122	0,9049	0,6084	0,9660	0,4992	0,5807	0,5183	0,4401	0,6999	0,8546	32B		
-	-	-	-	-	-	-	0,8070	0,5531	0,8511	0,8146	0,3461	0,7007	0,6675	0,6693	0,5816	32E		
-	-	-	-	-	-	-	-	0,6958	0,9817	0,6345	0,5600	0,6446	0,5674	0,7031	0,6015	33B		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,7054	0,9801-0,6198	0,6590	0,6135	0,5865-0,6863	33E				
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6026	0,5823	0,5966	0,5207	0,5571	0,5124	34B		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,6205	0,7879	0,6230	0,5181-0,7126	34E			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,7005	0,4897	0,5184	0,4050	36K		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8124	0,4858	0,5474	36B		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4252	0,5202	36L		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,7902	37M		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37N		

Tab. 12: Relative Häufigkeiten der Korrelationskoeffizienten  $\geq 0,8$  resp.  $\geq 0,9$  pro Phänophasenkombination, 1951 - 86 (geordnet nach gewichteten Werten)

Rang	Phasen- kombinationen	Anzahl mögl. Korrela- tionen	Koeff. $\geq 0,8$		Koeff. $\geq 0,9$		gewichtete Werte	
			n	%	n	%	n	%
1.	33B x 34B	48	32	66,7	12	25,0	44	91,7
2.	32B x 34B	49	31	63,3	10	20,4	41	83,7
3.	15 x 32B	32	18	56,3	4	12,5	22	68,8
4.	18 x 32B	33	16	48,5	6	18,2	22	66,7
5.	15 x 18	21	11	52,4	2	9,5	13	61,9
6.	7 x 12	39	19	48,7	5	12,8	24	61,5
7.	19 x 23	15	6	40,0	3	20,0	9	60,0
8.	9 x 15	42	19	45,2	4	9,5	23	54,8
9.	15 x 34B	27	10	37,0	2	7,4	12	44,4
10.	27 x 30	29	8	27,6	4	13,8	12	41,4
11.	3 x 6	42	14	33,3	3	7,1	17	40,5
12.	9 x 34B	45	16	35,6	2	4,4	18	40,0
13.	32B x 33B	56	21	37,5	1	1,8	22	39,3
14.	9 x 32B	64	21	32,8	4	6,3	25	39,1
	6 x 11	46	14	30,4	4	8,7	18	39,1
15.	9 x 18	34	11	32,4	2	5,9	13	38,2
16.	3 x 11	47	13	27,7	4	8,5	17	36,2
17.	15 x 33B	28	9	32,1	1	3,6	10	35,7
18.	3 x 15	31	7	22,6	3	9,7	10	32,3
19.	18 x 34B	25	6	24,0	2	8,0	8	32,0
20.	6 x 18	29	7	24,1	2	6,9	9	31,0
21.	12 x 33B	46	11	23,9	3	6,5	14	30,4
22.	6 x 15	31	9	29,0	-	-	9	29,0
23.	26 x 28	35	8	22,9	2	5,7	10	28,6
24.	3 x 18	25	6	24,0	1	4,0	7	28,0
25.	11 x 15	36	8	22,2	2	5,6	10	27,8
26.	11 x 18	33	7	21,2	2	6,1	9	27,3
27.	6 x 10	48	8	16,7	5	10,4	13	27,1
28.	33E x 34E	23	4	17,4	2	8,7	6	26,1
29.	11 x 32B	52	12	23,1	1	1,9	13	25,0
	3 x 32B	44	9	20,5	2	4,5	11	25,0
30.	6 x 34B	37	9	24,3	-	-	9	24,3
31.	27 x 29	17	3	17,6	1	5,9	4	23,5
32.	7 x 33B	35	8	22,9	-	-	8	22,9
33.	6 x 32B	54	10	18,5	2	3,7	12	22,2
34.	14 x 32B	23	4	17,4	1	4,3	5	21,7
35.	14 x 33B	19	3	15,8	1	5,3	4	21,1
36.	11 x 14	29	5	17,2	1	3,4	6	20,7
37.	17 x 33B	34	5	14,7	2	5,9	7	20,6
38.	12 x 17	44	9	20,5	-	-	9	20,5
39.	2 x 4	35	5	14,3	2	5,7	7	20,0
	3 x 14	20	4	20,0	-	-	4	20,0
	9 x 33B	50	9	18,0	1	2,0	10	20,0
	14 x 18	20	3	15,0	1	5,0	4	20,0
40.	14 x 34B	16	3	18,8	-	-	3	18,8
41.	26 x 27	44	8	18,2	-	-	8	18,2
	20 x 34B	11	2	18,2	-	-	2	18,2
42.	15 x 17	28	3	10,7	2	7,1	5	17,9
43.	3 x 34B	34	5	14,7	1	2,9	6	17,6
44.	12 x 34B	41	6	14,6	1	2,4	7	17,1
45.	3 x 9	49	7	14,3	1	2,0	8	16,3
46.	3 x 17	38	5	13,2	1	2,6	6	15,8
47.	10 x 32B	51	7	13,7	1	2,0	8	15,7
48.	20 x 33B	13	2	15,4	-	-	2	15,4

Fortsetzung Tab. 12

Rang	Phasen- kombinationen		Anzahl mögl. Korrela- tionen	Koeff. $\geq 0,8$		Koeff. $\geq 0,9$		gewichtete Werte		
				n	%	n	%	n	%	
49.	2	x 47	27	3	11,1	1	3,7	4	14,8	
50.	6	x 33B	41	5	12,2	1	2,4	6	14,6	
51.	11	x 17	56	6	10,7	2	3,6	8	14,3	
	17	x 18	28	3	10,7	1	3,6	4	14,3	
	14	x 15	14	2	14,3	-	-	2	14,3	
52.	12	x 32B	58	7	12,1	1	1,7	8	13,8	
53.	7	x 17	30	4	13,3	-	-	4	13,3	
54.	4	x 11	42	4	9,5	1	2,4	5	11,9	
55.	20	x 21	17	2	11,8	-	-	2	11,8	
56.	17	x 32B	43	4	9,3	1	2,3	5	11,6	
57.	18	x 33B	26	3	11,5	-	-	3	11,5	
58.	11	x 34B	35	3	8,6	1	2,9	4	11,4	
59.	17	x 34B	27	2	7,4	1	3,7	3	11,1	
	3	x 10	45	3	6,7	2	4,4	5	11,1	
	12	x 16	45	5	11,1	-	-	5	11,1	
	12	x 15	36	4	11,1	-	-	4	11,1	
60.	28	x 30	46	5	10,9	-	-	5	10,9	
61.	10	x 18	31	2	6,5	1	3,2	3	9,7	
62.	6	x 14	21	2	9,5	-	-	2	9,5	
63.	6	x 9	53	5	9,4	-	-	2	9,4	
64.	16	x 17	43	4	9,3	-	-	4	9,3	
65.	4	x 6	35	3	8,6	-	-	3	8,6	
66.	6	x 17	37	2	5,4	1	2,7	3	8,1	
67.	4	x 18	25	2	8,0	-	-	2	8,0	
68.	3	x 33B	39	3	7,7	-	-	3	7,7	
	28	x 29	26	2	7,7	-	-	2	7,7	
	18	x 32E	13	1	7,7	-	-	1	7,7	
	36B	x 36L	13	1	7,7	-	-	1	7,7	
	20	x 37N	13	1	7,7	-	-	1	7,7	
	10	x 17	39	2	5,1	1	2,6	3	7,7	
	69.	4	x 14	14	1	7,1	-	-	1	7,1
		14	x 37N	14	1	7,1	-	-	1	7,1
	70.	2	x 7	30	2	6,7	-	-	2	6,7
	71.	20	x 32B	16	1	6,3	-	-	1	6,3
20		x 37M	16	1	6,3	-	-	1	6,3	
19		x 33E	16	1	6,3	-	-	1	6,3	
72.	6	x 37M	33	1	3,0	1	3,0	2	6,1	
	3	x 7	34	2	5,9	-	-	2	5,9	
73.	47	x 37N	17	1	5,9	-	-	1	5,9	
	9	x 11	69	4	5,8	-	-	4	5,8	
75.	7	x 10	35	2	5,7	-	-	2	5,7	
	4	x 15	35	2	5,7	-	-	2	5,7	
	27	x 28	35	2	5,7	-	-	2	5,7	
	16	x 33B	35	1	2,9	1	2,9	2	5,7	
76.	10	x 34B	36	2	5,6	-	-	2	5,6	
	17	x 32E	18	1	5,6	-	-	1	5,6	
	6	x 34E	18	1	5,6	-	-	1	5,6	
	3	x 4	36	2	5,6	-	-	2	5,6	
77.	10	x 11	57	2	3,5	1	1,8	3	5,3	
	7	x 32E	19	1	5,3	-	-	1	5,3	
78.	16	x 34E	19	1	5,3	-	-	1	5,3	
	3	x 29	20	1	5,0	-	-	1	5,0	
79.	11	x 33B	42	2	4,8	-	-	2	4,8	
	10	x 14	21	1	4,8	-	-	1	4,8	
	32E	x 34E	21	1	4,8	-	-	1	4,8	



Fortsetzung Tab. 12

Rang	Phasen- kombinationen		Anzahl mögl. Korrela- tionen	Koeff. $\geq 0,8$		Koeff. $\geq 0,9$		gewichtete Werte	
				n	%	n	%	n	%
80.	19	x 21	22	1	4,5	-	-	1	4,5
	15	x 47	22	1	4,5	-	-	1	4,5
81.	7	x 32B	45	2	4,4	-	-	2	4,4
82.	6	x 7	47	2	4,3	-	-	2	4,3
	12	x 14	23	1	4,3	-	-	1	4,3
	12	x 32E	23	1	4,3	-	-	1	4,3
	32E	x 34B	23	1	4,3	-	-	1	4,3
83.	14	x 17	24	1	4,2	-	-	1	4,2
	7	x 18	24	1	4,2	-	-	1	4,2
	4	x 47	24	1	4,2	-	-	1	4,2
84.	32E	x 33B	26	1	3,8	-	-	1	3,8
85.	9	x 17	54	2	3,7	-	-	2	3,7
86.	6	x 37N	28	1	3,6	-	-	1	3,6
	10	x 37N	28	1	3,6	-	-	1	3,6
87.	7	x 16	29	1	3,4	-	-	1	3,4
88.	9	x 10	60	1	3,3	-	-	1	3,3
	15	x 16	30	1	3,3	-	-	1	3,3
	3	x 47	30	1	3,3	-	-	1	3,3
	32B	x 32E	30	1	3,3	-	-	1	3,3
89.	9	x 12	63	2	3,2	-	-	2	3,2
	7	x 34B	31	1	3,2	-	-	1	3,2
90.	16	x 34B	32	1	3,1	-	-	1	3,1
91.	12	x 18	33	1	3,0	-	-	1	3,0
92.	9	x 47	34	1	2,9	-	-	1	2,9
	17	x 37M	34	1	2,9	-	-	1	2,9
	32B	x 37N	34	1	2,9	-	-	1	2,9
93.	10	x 15	36	1	2,8	-	-	1	2,8
	10	x 37M	36	1	2,8	-	-	1	2,8
94.	7	x 11	37	1	2,7	-	-	1	2,7
	21	x 33B	37	1	2,7	-	-	1	2,7
95.	7	x 9	42	1	2,4	-	-	1	2,4
	16	x 32B	42	1	2,4	-	-	1	2,4
96.	10	x 12	48	1	2,1	-	-	1	2,1
	11	x 37M	48	1	2,1	-	-	1	2,1
97.	4	x 9	50	1	2,0	-	-	1	2,0
	11	x 16	50	1	2,0	-	-	1	2,0
98.	11	x 12	54	1	1,9	-	-	1	1,9
99.	9	x 31	55	1	1,8	-	-	1	1,8

Tab. 13: Relative Häufigkeiten der Korrelationskoeffizienten  $\geq 0,8$  pro Phäno-  
phase, 1951 - 86 (innerhalb der Stationen) [geordnet nach Prozent-  
zahlen]

Rang	Phäno- phasen	Anzahl mögl. Korrela- tionen	Koeff. $\geq 0,8$		Rang	Phäno- phasen	Anzahl mögl. Korrela- tionen	Koeff. $\geq 0,8$	
			n	%				n	%
1.	34B	980	130	13,3	20.	30	966	19	2,0
2.	32B	1321	167	12,6	21.	26	968	16	1,7
3.	15	852	106	12,4	22.	28	1054	17	1,6
4.	18	792	83	10,5	23.	16	1133	16	1,4
5.	33B	1112	116	10,4	24.	32E	637	8	1,3
6.	6	1183	94	7,9	25.	23	489	6	1,2
7.	3	1093	83	7,6	26.	34E	608	7	1,2
8.	9	1458	102	7,0	27.	47	803	8	1,0
9.	11	1332	83	6,2	28.	2	1088	10	0,9
10.	14	591	33	5,6	29.	21	1000	8	0,8
11.	12	1283	69	5,4	30.	33E	612	5	0,8
12.	17	1075	54	5,0	31.	37N	890	6	0,7
13.	7	974	44	4,5	32.	37M	1047	5	0,5
14.	20	494	21	4,3	33.	36B	303	1	0,3
15.	19	682	18	2,6	34.	36L	308	1	0,3
16.	10	1210	29	2,4	35.	31	1084	1	0,1
17.	4	947	21	2,2	36.	25	625	-	-
18.	27	942	21	2,2	37.	50	636	-	-
19.	29	611	12	2,0	38.	36K	312	-	-

Tab. 14: Relative Häufigkeiten der Korrelationskoeffizienten  $\geq 0,8$  resp.  $\geq 0,9$  pro Station, 1951 - 86 (geordnet nach gewichteten Werten)

Rang	Stationen	Anzahl mögl. Korrelationen	Koeff. $\geq 0,8$		Koeff. $\geq 0,9$		gewichtete Werte	
			n	%	n	%	n	%
1.	Zürich-SMA	45	14	31,1	2	4,4	16	35,6
2.	Solothurn	253	48	19,0	11	4,3	59	23,3
3.	Entlebuch	66	12	18,2	2	3,0	14	21,2
4.	Horgen	190	24	12,6	10	5,3	34	17,9
	Vallorbe	28	3	10,7	2	7,1	5	17,9
	Martina	28	4	14,3	1	3,6	5	17,9
5.	Cevio	171	19	11,1	9	5,3	28	16,4
6.	Wattwil	120	16	13,3	3	2,5	19	15,8
7.	Grabs	45	7	15,6	-	-	7	15,6
8.	Cartigny	105	14	13,3	2	1,9	16	15,2
9.	Ste. Croix	120	17	14,2	1	0,8	18	15,0
	Aurigeno	153	17	11,1	6	3,9	23	15,0
10.	Bauma	231	25	10,8	6	2,6	31	13,4
11.	Vergeletto	15	1	6,7	1	6,7	2	13,3
12.	Witikon	435	43	9,9	14	3,2	57	13,1
13.	Orvin	78	9	11,5	1	1,3	10	12,8
	Sent	78	8	10,3	2	2,6	10	12,8
14.	Zofingen	55	6	10,9	1	1,8	7	12,7
15.	Kloten	91	9	9,9	2	2,2	11	12,1
16.	Fiesch	45	5	11,1	-	-	5	11,1
17.	Moudon	55	5	9,1	1	1,8	6	10,9
18.	Biel	66	6	9,1	1	1,5	7	10,6
19.	Stein AR	10	1	10,0	-	-	1	10,0
	Liddes	10	1	10,0	-	-	1	10,0
	St. Moritz	10	1	10,0	-	-	1	10,0
20.	Engelberg	21	2	9,5	-	-	2	9,5
	Chaumont II	21	1	4,8	1	4,8	2	9,5
	Casaccia	21	1	4,8	1	4,8	2	9,5
21.	Chur	435	32	7,4	8	1,8	40	9,2
22.	Möhlin	253	19	7,5	4	1,6	23	9,1
	Unterkulm	66	5	7,6	1	1,5	6	9,1
23.	Ilanz	36	3	8,3	-	-	3	8,3
	Merishausen	351	25	7,1	4	1,1	29	8,3
24.	Wiliberg	91	6	6,6	1	1,1	7	7,7
25.	Domat/Ems	561	37	6,6	5	0,9	42	7,5
	Versoix	120	8	6,7	1	0,8	9	7,5
26.	Oeschberg	28	1	3,6	1	3,6	2	7,1
27.	Basel-Binningen	91	6	6,6	-	-	6	6,6
28.	Zollikon	220	13	5,9	1	0,5	14	6,4
29.	Grossdietwil	55	2	3,6	1	1,8	3	5,5
	St. Gallen	55	3	5,5	-	-	3	5,5
30.	Gommiswald	190	10	5,3	-	-	10	5,3
31.	Flawil	78	3	3,8	1	1,3	4	5,1
	Sargans II	253	12	4,7	1	0,4	13	5,1
32.	Andeer	435	19	4,4	2	0,5	21	4,8
33.	Ennetbühl	153	6	3,9	1	0,7	7	4,6
34.	Sion	45	2	4,4	-	-	2	4,4
	Escholzmatt	91	4	4,4	-	-	4	4,4
35.	Seon	300	12	4,0	1	0,3	13	4,3
36.	Leytron	190	8	4,2	-	-	8	4,2
37.	Menzonio	171	5	2,9	2	1,2	7	4,1
38.	Schiers	78	2	2,6	1	1,3	3	3,8
	Sihlbrugg	105	4	3,8	-	-	4	3,8

Fortsetzung Tab. 14

Rang	Stationen	Anzahl mögl. Korrelationen	Koeff. $\geq 0,8$		Koeff. $\geq 0,9$		gewichtete Werte	
			n	%	n	%	n	%
39.	Liestal	325	11	3,4	1	0,3	12	3,7
	Locarno	378	12	3,2	2	0,5	14	3,7
40.	Scuol	55	2	3,6	-	3,6	2	3,6
41.	Wädenswil	378	11	2,9	2	0,5	13	3,4
42.	Le Locle	153	3	2,0	2	1,3	5	3,3
43.	Bondo	391	11	2,8	1	0,3	12	3,1
44.	Cernier	66	2	3,0	-	-	2	3,0
45.	Bad Ragaz	105	3	2,9	-	-	3	2,9
46.	La Valsainte	78	1	1,3	1	1,3	2	2,6
	Trient	78	1	1,3	1	1,3	2	2,6
	Cossonay	465	7	1,5	5	1,1	12	2,6
	Prato Sornico	231	5	2,2	1	0,4	6	2,6
47.	Albisgütli	378	9	2,4	-	-	9	2,4
48.	Gryon	231	5	2,2	-	-	5	2,2
	Changins	276	4	1,4	2	0,7	6	2,2
49.	Murg	406	5	1,2	3	0,7	8	2,0
50.	Wildhaus	210	3	1,4	1	0,5	4	1,9
51.	Sarnen	595	11	1,8	-	-	11	1,8
52.	Stampa	300	5	1,7	-	-	5	1,7
53.	Thusis	190	3	1,6	-	-	3	1,6
54.	Reigoldswil	66	1	1,5	-	-	1	1,5
55.	Vals	78	1	1,3	-	-	1	1,3
	La Coudre	528	7	1,3	-	-	7	1,3
	Chaumont I	78	1	1,3	-	-	1	1,3
	Enges	231	3	1,3	-	-	3	1,3
56.	Rafz	406	4	1,0	1	0,2	5	1,2
57.	Disentis I	190	2	1,1	-	-	2	1,1
58.	Wyssachen	406	3	0,7	1	0,2	4	1,0
	Couvet	210	2	1,0	-	-	1	1,0
59.	Ponts-d.-Martel	378	2	0,5	1	0,3	3	0,8
60.	Moutier	406	3	0,7	-	-	3	0,7
	Delémont	153	1	0,7	-	-	1	0,7
61.	Fescoggia	171	1	0,6	-	-	1	0,6
62.	Elm	190	1	0,5	-	-	1	0,5
63.	Adelboden	300	1	0,3	-	-	1	0,3
64.	Davos-Dorf	36	-	-	-	-	-	-
	Seewis-Dorf	21	-	-	-	-	-	-
	Bellelay	78	-	-	-	-	-	-
	Appenzell	28	-	-	-	-	-	-
	Uetliberg	28	-	-	-	-	-	-
	Gadmen	3	-	-	-	-	-	-
	Posieux	105	-	-	-	-	-	-
	L'Abergement	78	-	-	-	-	-	-
	Kandersteg	120	-	-	-	-	-	-
	St. Luc	21	-	-	-	-	-	-
	Plans s. Bex	1	-	-	-	-	-	-
	Les Diablerets	21	-	-	-	-	-	-
	Tour de Gourze	6	-	-	-	-	-	-
	Longirod	15	-	-	-	-	-	-
	San Bernardino	10	-	-	-	-	-	-
	Simplon-Dorf	15	-	-	-	-	-	-
	Brusio	91	-	-	-	-	-	-
	Pontresina	36	-	-	-	-	-	-
	Zuoz	15	-	-	-	-	-	-

Tab. 15: Ausgewählte phänologische Stationen pro Region

<u>Region I</u>	<u>Region II</u>	<u>Region III</u>
<u>Stationen</u>	<u>Stationen</u>	<u>Stationen</u>
Liestal	St. Gallen	Sargans II
Bellelay	Merishausen	Wildhaus
Vallorbe	Rafz	Ennetbühl
L'Abergement	Wädenswil	Wattwil
Couvet	Horgen	Appenzell
Les Ponts-de-Martel	Zürich-Witikon	Murg
Cernier	Zollikon	Elm
La Coudre	Zürich-SMA	Engelberg
Enges	Uetliberg	Sarnen (Kloster)
Orvin	Moudon	Entlebuch
Longirod	Oeschberg	Gadmen
Le Locle	Zofingen	Kandersteg
	Wiliberg	La Valsainte
	Unterkulm	Escholzmatt
	Seon	
	Changins	
	Versoix	
	Cartigny	

Fortsetzung Tab. 15

Region IV

Station

Fiesch  
Sion  
Liddes  
Trient  
Gryon  
Les Plans s. Bex  
Les Diablerets  
Simplon-Dorf

Region V

Station

Disentis I  
Vals  
Ilanz  
Thusis  
Domat/Ems  
Chur

Region VI

Station

San Bernardino  
Prato-Sornico  
Menzonio  
Cevio  
Aurigeno  
Vergeletto  
Locarno  
Fescoggia  
Brusio Casaccia  
Stampa  
Bondo

Region VII

Station

St. Moritz  
Pontresina  
Zuoz  
Scuol  
Sent  
Martina

Tab. 16: Die höchsten Korrelationskoeffizienten pro Station für die Phase 10 (Blattausbruch der Rotbuche), 1951-86

Rang	Stationen	Korrelationskoeffizienten	Regionen	Höhenstufen
1.	6815X6859	0,9199	II/II	3/2
2.	6238X2018	0,8681	I/III	5/4
3.	3880X6231	0,8670	II/I	4/3
4.	5650X6238	0,8353	III/I	5/5
5.	1668X6905	0,8443	I/II	1/2
6.	0798X6231	0,8437	III/I	2/3
7.	6470X2280	0,8263	III/III	4/3
8.	4410X2280	0,8261	III/III	5/3
9.	9352X9315	0,8163	VI/VI	1/3
10.	4560X3880	0,8049	III/II	2/4
11.	6402X1668	0,7928	I/I	3/1
12.	9309X9315	0,7927	VI/VI	3/3
13.	7800X6231	0,7843	IV/I	6/3
14.	6352X6231	0,7788	I/I	4/3
15.	9353X9710	0,7733	VI/VI	5/3
16.	1760X8539	0,7563	I/I	4/4
17.	3182X6905	0,7549	III/II	4/2
18.	6326X1668	0,7435	I/I	3/1
19.	8338X6859	0,6666	II/II	2/2
20.	3075X4560	0,6135	III/III	2/2
21.	2082X4560	0,6058	III/III	3/2
22.	1355X3182	0,5697	II/III	2/4
23.	6052X3880	0,4963	I/II	4/4
24.	7820X7800	0,4513	IV/IV	5/6
25.	9931X9932	0,0653	VII/VII	6/7
26.	0060X0360	0,0340	V/V	5/3

Legende:

Höhenstufen:

- 1: bis 400 m/M
- 2: 401 - 600 m/M
- 3: 601 - 800 m/M
- 4: 801 - 1000 m/M
- 5: 1001 - 1200 m/M
- 6: 1201 - 1400 m/M
- 7: über 1400 m/M

Regionen:

- I Jura
- II Mittelland
- III Alpennordhang
- IV Wallis, Rhonetal
- V Rheinbünden
- VI Südschweiz
- VII Engadin

Die Stationsnamen mit ihren Indikativen sind im Anhang enthalten.

Tab. 17: Korrelationen zwischen verschiedenen Stationen derselben Phänophasen ( $r \geq 0,7$ ), 1951 - 86

Anzahl Beobachtungsjahre  $\geq 20$

Rang	Phase	Anzahl mögl. Korrelationen	Koeff. $\geq 0,7$	Koeff. $\geq 0,8$	gewichtete Werte	
			n	n	n	%
1.	32 B	190	81	40	121	63,7
2.	34 B	105	37	16	53	50,5
3.	33 B	105	29	5	34	32,4
4.	47	66	10	6	16	24,2
5.	9	253	49	11	60	23,7
6.	11	171	26	7	33	19,3
7.	6	210	29	11	40	19,0
8.	12	153	16	10	26	17,0
9.	36 B	6	1	-	1	16,7
	36 L	6	1	-	1	16,7
10.	10	190	24	7	31	16,3
11.	17	91	8	2	10	11,0
12.	7	66	6	1	7	10,6
13.	2	136	10	2	12	8,8
14.	3	91	5	1	6	6,6
15.	16	171	10	-	10	5,8
16.	19	45	1	1	2	4,4
17.	37 M	171	2	-	2	1,2
18.	21	120	1	-	1	0,8
19.	23	28	-	-	-	-
	26	66	-	-	-	-
	28	120	-	-	-	-
	50	66	-	-	-	-



Tab. 18: Korrelationsmatrix zwischen den Stationen für die Phase 9 (Vollblüte des Löwenzahns), 1951-86 (Beispiel der Region Mittelland)

Stationen		Korrelationskoeffizienten
Merishausen	X Rafz	0,8471
Merishausen	X Wiliberg	0,8445
Merishausen	X Versoix	0,8509
Rafz	X Versoix	0,8059
Zollikon	X Zürich-SMA	0,8496
Zürich-SMA	X Wiliberg	0,8298
Zürich-SMA	X Versoix	0,8395
Wiliberg	X Versoix	0,8384
Merishausen	X Zollikon	0,7298
Merishausen	X Zürich-SMA	0,7616
Merishausen	X Cartigny	0,7899
Rafz	X Zürich-SMA	0,7868
Rafz	X Wiliberg	0,7948
Rafz	X Cartigny	0,7007
Zollikon	X Wiliberg	0,7756
Zollikon	X Versoix	0,7381
Zürich-SMA	X Cartigny	0,7805
Wiliberg	X Cartigny	0,7263

Anzahl Stationen: 8

Anzahl Beobachtungsjahre: 25

Korrelationskoeffizient ( $r$ )  $\geq 0,7$

Irrtumswahrscheinlichkeit ( $P$ )  $\leq 0,001$

Diese Tabellen existieren für alle Regionen und für die gesamte Schweiz.

Tab. 19: Korrelationskoeffizienten  $\geq 0,7$  resp.  $\geq 0,8$  pro Station, 1951 - 86

Anzahl mögl. Korr.  $\geq 50$

alle Regionen

Rang	Stationen	Anzahl mögl. Korrelationen	Anzahl Korr.		gewichtete Werte	
			$\geq 0,7$	$\geq 0,8$	n	%
1.	Zürich-SMA	190	97	61	158	83,2
2.	Merishausen	122	59	29	88	72,1
3.	Entlebuch	148	68	28	96	64,9
4.	Wiliberg	200	75	29	104	52,0
5.	Cartigny	187	65	27	92	49,2
6.	Zollikon	124	39	21	60	48,4
7.	Wattwil	240	83	33	116	48,3
8.	Versoix	331	98	50	148	44,7
9.	Uetliberg	102	28	15	43	42,2
10.	Seon	224	43	16	59	26,3
11.	Enges	122	22	9	31	25,4
12.	Sargans II	294	50	21	71	24,1
13.	Orvin	71	14	3	17	23,9
14.	Sarnen	437	69	34	103	23,6
15.	Couvet	312	51	16	67	21,5
16.	Escholzmatt	215	33	11	44	20,5
17.	Ennetbühl	285	44	12	56	19,6
18.	Gryon	253	35	8	43	17,0
19.	Trient	153	19	6	25	16,3
20.	Murg	431	47	21	68	15,8
21.	Rafz	276	35	6	41	14,9
22.	La Valsainte	125	13	3	16	12,8
23.	Disentis I	213	23	4	27	12,7
24.	Liestal	327	33	6	39	11,9
25.	Cernier	113	12	1	13	11,5
26.	L'Abergement	86	6	2	8	9,3
27.	Les Ponts-de-Martel	379	26	8	34	9,0
28.	Prato-Sornico	246	13	8	21	8,5
29.	Le Locle	245	15	2	17	6,9
30.	Elm	367	21	4	25	6,8
31.	Kandersteg	225	12	-	12	5,3
32.	Vergeletto	51	2	-	2	3,9
33.	Wildhaus	342	11	-	11	3,2
34.	Thusis	100	3	-	3	3,0
35.	Bellelay	147	3	-	3	2,0
36.	Aurigeno	204	3	1	4	2,0

Tab. 20: Temperatursummen ab 1. Januar (über verschiedenen Schwellenwerten) ausgewählter Stationen und Phänophasen

Phasen	Aurigeno 1) 315 m/M	Liestal 2) 350 m/M	Cartigny 3) 435 m/M	Zürich-SMA 570 m/M	Elm 980 m/M	Engelberg 1020 m/M	Disentis 1175 m/M	Davos 1600 m/M	
4									
Schwellenwert	--	4	-4	-7	--	-4	--	--	°C
Temp.-summe	--	100	640	890	--	480	--	--	°C
9									
Schwellenwert	-6	-6	-7	-5	1	4	1	1	°C
Temp.-summe	1300	1020	1130	860	290	140	340	270	°C
10									
Schwellenwert	--	7	-7	-6	--	2	3	--	°C
Temp.-summe	--	110	1260	1180	--	250	190	--	°C
11									
Schwellenwert	6	6	-7	-6	4	-1	3	0	°C
Temp.-summe	900	100	910	900	90	350	130	230	°C
15									
Schwellenwerte	-5	-9	--	-4	2	-1	--	--	°C
Temp.-summe	1330	1300	--	710	160	410	--	--	°C

- 1) Temperaturdaten von Locarno-Monti  
 2) Temperaturdaten von Basel-Binningen  
 3) Temperaturdaten von Genf

Phänophasen:

- 4 Vollblüte des Buschwindröschens  
 9 Vollblüte des Löwenzahns  
 10 Blattausbruch der Rotbuche  
 11 Nadelaustrieb der Lärche  
 15 Vollblüte des Wiesenschaumkrautes

Tab. 21: Temperatursummen (über verschiedenen Schwellenwerten)  
von Liestal (350 m/M), 1951-88

Beginn	Phase 4	Phase 9	Phase 10	Phase 11	Phase 15	
ab 1. Januar						
Schwellenwert	4	-6	7	6	-9	°C
Temp.-summe	100	1020	110	100	1300	°C
ab 1. Februar						
Schwellenwert	4	-8	-7	4	-7	°C
Temp.-summe	900	960	1080	170	850	°C
ab 1. März						
Schwellenwert	-3	-1	4	5	-4	°C
Temp.-summe	250	370	220	110	470	°C
ab 1. April						
Schwellenwert	-2	1	2	2	5	°C
Temp.-summe	90	130	190	100	50	°C

Temperaturdaten von Basel-Binningen

Phänophasen:

- 4 Vollblüte des Buschwindröschens
- 9 Vollblüte des Löwenzahns
- 10 Blattausbruch der Rotbuche
- 11 Nadelaustrieb der Lärche
- 15 Vollblüte des Wiesenschaumkrautes

VERZEICHNIS DER BEOBACHTUNGSSTATIONEN  
(mit den entsprechenden Indikativen)

0060	Disentis I	6182	Ste. Croix
0201	Vals	6231	Couvet
0221	Ilanz	6238	Les Ponts-de-Martel
0338	Andeer	6326	Cernier
0360	Thusis	6342	La Coudre
0442	Davos-Dorf	6350	Chaumont I
0588	Domat/Ems	6352	Enges
0640	Chur	6355	Chaumont II
0702	Schiers	6371	Biel
0720	Seewis-Dorf	6402	Orvin
0782	Bad Ragaz	6432	Solothurn
0798	Sargans II	6470	Escholzmatt
0865	Grabs	6580	Oeschberg
1030	St. Gallen	6599	Wyssachen
1279	Merishäusen	6605	Grossdietwil
1355	Rafz	6671	Zofingen
1520	Möhlin	6815	Wiliberg
1660	Reigoldswil	6859	Unterkulm
1668	Liestal	6905	Seon
1722	Moutier	7069	Fiesch
1760	Bellelay	7330	St. Luc
1800	Delémont	7503	Sion
1940	Basel-Binningen	7573	Leytron
2018	Wildhaus	7642	Liddes
2052	Ennetbühl	7715	Trient
2082	Wattwil	7800	Gryon
2201	Flawil	7820	Les Plans s. Bex
2280	Appenzell	7940	Les Diablerets
2300	Stein AR	8060	Tour de Gourze
2711	Bauma (Schönenberg)	8180	Cossonay
2939	Kloten	8260	Longirod
3075	Murg	8290	Changins
3182	Elm	8338	Versoix
3317	Gommiswald	8452	Cartigny
3540	Wädenswil	8539	Le Locle
3560	Horgen	9131	San Bernardino
3629	Zürich-Witikon	9309	Prato-Sornico
3650	Zollikon	9315	Menzonio
3700	Zürich-SMA	9318	Cevio
3838	Sihlbrugg	9352	Aurigeno
3865	Zürich-Albisgütli	9353	Vergeletto
3880	Uetliberg	9403	Locarno
4410	Engelberg	9520	Fescoggia
4560	Sarnen (Kloster)	9578	Simplon-Dorf
4650	Entlebuch	9710	Brusio
5050	Gadmen	9743	Casaccia
5230	Kandersteg	9759	Stampa
5270	Adelboden	9778	Bondo
5650	La Valsainte	9829	St. Moritz
5742	Posieux	9851	Pontresina
5871	Moudon	9858	Zuoz
6052	Vallorbe	9931	Scuol
6070	L'Abergement	9932	Sent
		9959	Martina

Adresse

- Nr. 1a Uttinger H., Die Niederschlagsstunden in Zürich.  
22 Seiten, 1962
- Nr. 1b Ambrosetti Fl., Die Niederschlagsstunden in Locarno-Monti.  
12 Seiten, 1965
- Nr. 2 Thams J.C., unter Mitarbeit von A. Aufdermaur, P. Schmid und E. Zenone.  
Die Ergebnisse des Grossversuches III zur Bekämpfung des Hagels im  
Tessin in den Jahren 1957-1963.  
32 Seiten, 1966 (vergriffen)
- Nr. 3 Grütter M., Die bemerkenswertesten Niederschläge der Jahre  
1948-1964 in der Schweiz.  
20 Seiten, 1966
- Nr. 4 Schram K. und Thams J.C., [Redaktion], 9. Internationale Tagung für Alpine  
Meteorologie in Brig und Zermatt, 14.-17. September 1966.  
366 Seiten, 1967
- Nr. 5 Ambrosetti Fl. und Thams J.C., Die direkte Sonnenstrahlung auf die Flächen eines  
nach Süden orientierten Würfels ohne Grundfläche in Locarno-Monti.  
16 Seiten, 1967
- Nr. 6 Schram K. und Thams J.C., Der Tagesgang der Abkühlungs- und  
Aufwärmungsgrösse in Locarno-Monti.  
20 Seiten, 1968 (vergriffen)
- Nr. 7 Ambrosetti Fl., Schram K. und Thams J.C., Die Intensität der direkten  
Sonnenstrahlung in verschiedenen Spektralbereichen in  
Locarno-Monti.  
13 Seiten, 1968 (vergriffen)
- Nr. 8 Uttinger H., Die Zahl der Tage mit Windspitzen von mindestens  
20 Metern pro Sekunde in Zürich (1934-1967).  
22 Seiten, 1968
- Nr. 9 Mäder F., Untersuchung über die Windverhältnisse in Bodennähe  
bei verschiedenen Wetterlagen.  
42 Seiten, 1968
- Nr. 10 Schram K., Die Windverhältnisse in der bodennahen Luftschicht  
an einem Hang von etwa 25 Grad Neigung.  
13 Seiten, 1968 (vergriffen)
- Nr. 11 Schüepp M., Kalender der Wetter- und Witterungslagen von 1955 bis 1967.  
44 Seiten, 1968 (vergriffen)
- Nr. 12 Ackermann P., Die neue Radiosondenstation Payerne  
der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt.  
36 Seiten, 1968 (vergriffen)
- Nr. 13 Junod A., Contribution à la méthodologie granulométrique  
des aérosols amicroscopiques.  
70 Seiten, 1969
- Nr. 14 Joss J., Schram K., Thams J.C., Waldvogel A., Untersuchungen zur quantitativen  
Bestimmung von Niederschlagsmengen mittels Radar.  
37 Seiten, 1969 (vergriffen)
- Nr. 15 Courvoisier H.W., Die quantitative Niederschlagsprognose winterlicher  
zyklonaler Witterungslagen auf der Alpennordseite der Schweiz.  
15 Seiten, 1970 (vergriffen)

- Nr. 16 Schram Karin und Thams J.C., Die kurzweilige Globalstrahlung und die diffuse Himmelsstrahlung auf dem Flugplatz Zürich-Kloten. 18 Seiten, 1970
- Nr. 17 Kasser P., Schram Karin und Thams J.C., Die Strahlungsverhältnisse im Gebiet der Baye de Montreux. 46 Seiten, 1970
- Nr. 18 Gutermann Th., Vergleichende Untersuchungen zur Föhnhäufigkeit im Rheintal zwischen Chur und Bodensee. 68 Seiten, 1970
- Nr. 19 Ginsburg Theo, Die statistische Auswertung von langjährigen Temperaturreihen. 42 Seiten, 1970
- Nr. 20 Primault B., Du risque de gel et de sa prévision. 20 Seiten, 1971
- Nr. 21 Piaget A., Utilisation de l'ozone atmosphérique comme traceur des échanges entre la troposphère et la stratosphère. 72 Seiten, 1971
- Nr. 22 Zenone E., Die Gewitterverhältnisse in den südlichen Zentralalpen und Voralpen. 24 Seiten, 1971
- Nr. 23 Kirchhofer W., Abgrenzung von Wetterlagen im zentralen Alpenraum. 72 Seiten, 1971
- Nr. 24 Primault B., Le climat, élément du plan d'aménagement. Das Klima, eine der Grundlagen der Landesplanung. The climate as an element of the land management. 28 Seiten und eine Karte, 1971
- Nr. 25 Fröhlich C. und Wierzejewski, Die verschiedenen Messverfahren zur Bestimmung der Strahlungsintensität mit dem Kompensationspyheliometer und die Entwicklung eines verbesserten Modells. 36 Seiten, 1972
- Nr. 26 Bouët M., Le foehn du Valais. 12 Seiten, 1972
- Nr. 27 Zenone E., Die Gewitterverhältnisse in den südlichen Zentralalpen und Voralpen 32 Seiten, 1972
- Nr. 28 Catzeflis J., Primault B., Strehler H., Analyse de la pluviosité dans le Valais central. 15 Seiten, 1972
- Nr. 29 Courvoisier H.W., Die Niederschlagswirksamkeit markanter, hochreichender Kaltlufteinbrüche im Sommer in der Schweiz. 11 Seiten, 1973
- Nr. 30 Sevruck B., Erfahrungen mit Totalisatoren mit schiefen, geneigten und bodenebenen Auffangflächen im Einzugsgebiet der Baye de Montreux. Einfluss der Temperatur auf die Messung des Niederschlages mit Totalisator. 44 Seiten, 1973
- Nr. 31 Strehler H., Beziehung zwischen Witterung und Zuckerrübenmerkmalen im Spätsommer. 20 Seiten, 1975
- Nr. 32 Courvoisier H.W., Katalog objektiv-statistischer Wetterprognosen für die Alpensüdseite und das Oberengadin. 24 Seiten, 1975
- Nr. 33 Primault B., Essais d'évaluation climatologique du risque de gel. 28 Seiten, 1975



- Nr. 34 Kirchhofer W., Stationsbezogene Wetterlagenklassifikation  
50 Seiten, 1976
- Nr. 35 Piaget A., L'évolution orageuse au nord des Alpes  
et la tornade du Jura vaudois du 26 août 1971  
114 Seiten, 1976
- Nr. 36 Bouët M., Contribution à l'étude de la variation diurne  
de pression en Suisse romande  
23 Seiten, 1976
- Nr. 37 Zenone E., Die Gewitterverhältnisse in den südlichen  
Zentralalpen und Voralpen  
60 Seiten, 1976
- Nr. 38 Primault B., Diagrammes psychrométriques  
Quiby J., différenciés en altitude  
36 Seiten, 1977
- Nr. 39 Courvoisier H. W., Katalog objektiv-statistischer Wetterprognosen  
für die Alpennordseite, das Wallis sowie  
Nord- und Mittelbünden  
58 Seiten, 1978
- Nr. 40 Gutermann Th., 15. Internationale Tagung für alpine Meteorologie,  
Mäder F., Grindelwald 19.-23. September 1978, 332 Seiten, 1978  
(Redaktion) Tagungsbericht 1. Teil
- Nr. 41 Gutermann Th., 15. Internationale Tagung für alpine Meteorologie,  
Mäder F., Grindelwald 19.-23. September 1978, 1979  
(Redaktion) Tagungsbericht 2. Teil
- Nr. 42 Courvoisier H. W., Starkniederschläge in der Schweiz in Abhängigkeit  
vom Druck-, Temperatur- und Feuchtefeld  
59 Seiten, 1981
- Nr. 43 Urfer Charlotte, Mittlere Temperatur- und Windverteilung im  
Dischmatal bei Davos bei typischen sommerlichen  
Witterungslagen.  
32 Seiten, 1981
- Nr. 44 J.-D. Altherr, Prévision objective des hauteurs de précipitations  
M. Dupanloup, et de l'ensoleillement relatif au moyen de l'analyse  
Y. Ganter, discriminante  
E. Junet, 43 Seiten, 1982
- Nr. 45 Courvoisier H. W., Abgeschlossene Höhentiefs und ihre Wetter-  
auswirkungen in der Schweiz  
44 Seiten, 1984
- Nr. 46 Perret R., Une classification des situations météorologiques  
à l'usage de la prévision  
127 Seiten, 1987
- Nr. 47 Courvoisier H. W., Regionale Wetterauswirkung und Prognose von Staulagen in der Schweiz  
22 Seiten, 1988
- Nr. 48 Gutermann Th., 21. Internationale Tagung für alpine Meteorologie,  
Mäder F., Engelberg 17.-21. September 1990, 437 Seiten 1990  
(Redaktion) Tagungsbericht 1. Teil
- Nr. 49 Gutermann Th., 21. Internationale Tagung für alpine Meteorologie,  
Mäder F., Engelberg 17.-21. September 1990, 135 Seiten, 1991  
(Redaktion) Tagungsbericht 2. Teil
- Nr. 50 Defila C., Pflanzenphänologie der Schweiz,  
238 Seiten, 1991

