

Berichte des Deutschen Wetterdienstes

**189**

**Untersuchung zur zeitlich-räumlichen  
Ähnlichkeit von phänologischen  
und klimatologischen Parametern  
in Westdeutschland und zum Einfluß  
geoökologischer Faktoren  
auf die phänologische Entwicklung  
im Gebiet des Taunus**

von  
Xiaoqiu Chen

Zur Herstellung dieses Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

Vom Fachbereich Geowissenschaften der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main genehmigte  
Dissertation

ISSN 0072-4130

ISBN 3-88148-301-2

---

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, verboten. Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Deutschen Wetterdienstes in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Für den Inhalt ist der Autor verantwortlich.

---

Herausgeber und Verlag:  
Deutscher Wetterdienst  
Zentralamt  
Frankfurter Str. 135  
63067 Offenbach am Main

Anschrift des Autors:  
Xiaoqiu Chen  
Deutscher Wetterdienst  
Zentralamt  
Frankfurter Str. 135  
63067 Offenbach

# INHALT

<b>Zusammenfassung/Abstract</b> . . . . .	<b>V</b>
<b>1 Einleitung und Zielsetzung</b> . . . . .	<b>1</b>
<b>2 Auswahl und Aufbereitung der Daten</b> . . . . .	<b>3</b>
2.1 Phänologische Daten . . . . .	3
2.2 Klimatologische Daten . . . . .	4
2.3 Geoökologische Daten . . . . .	5
<b>3 Statistische Klassifikation von Naturräumen/Stationen anhand von phänologischen und klimatologischen Zeitreihen</b> . . . . .	<b>6</b>
3.1 Clusteranalytisches Verfahren . . . . .	6
3.2 Phänologische Klassifikation von Naturräumen für verschiedene Jahreszeiten . . . . .	10
3.2.1 Vorfrühling . . . . .	10
3.2.2 Erstfrühling . . . . .	15
3.2.3 Frühsommer . . . . .	18
3.2.4 Vollherbst . . . . .	24
3.2.5 Eine Anwendungsmöglichkeit der phänologischen Klassifikation von Naturräumen . . . . .	26
3.3 Klimatologische Klassifikation von Stationen für verschiedene Monate . . . . .	27
3.3.1 Januar . . . . .	27
3.3.2 April . . . . .	30
3.3.3 Juli . . . . .	33
3.3.4 Oktober . . . . .	36
3.3.5 Schlußfolgerung . . . . .	39
3.4 Räumlicher Zusammenhang zwischen phänologisch und klimatologisch einheitlichen Raumtypen . . . . .	40
3.4.1 Vorfrühling - Januar . . . . .	40
3.4.2 Erstfrühling - April . . . . .	41
3.4.3 Frühsommer - Juli . . . . .	41
3.4.4 Vollherbst - Oktober . . . . .	41
<b>4 Zeitliche Charaktere der phänologischen und klimatologischen Reihen in repräsentativen Naturräumen</b> . . . . .	<b>42</b>
4.1 Phänologischer und klimatologischer Jahrestyp . . . . .	44
4.1.1 Vorfrühling . . . . .	45
4.1.2 Erstfrühling . . . . .	50
4.1.3 Frühsommer . . . . .	55
4.1.4 Vollherbst . . . . .	61

4.2	Phänologischer und klimatologischer Trend .....	63
4.2.1	Vorfrühling .....	63
4.2.2	Erstfrühling .....	66
4.2.3	Frühsommer .....	69
4.2.4	Vollherbst .....	71
<b>5</b>	<b>Räumliche und zeitliche Zusammenhänge zwischen phänologischen Erscheinungen und geoökologischen Faktoren im Gebiet des Taunus .....</b>	<b>74</b>
5.1	Räumlicher phänologischer Unterschied in Abhängigkeit von der Reliefstruktur und vom Boden .....	75
5.1.1	Phänologischer Eintrittstermin und Höhenlage .....	75
5.1.2	Phänologischer Eintrittstermin und Exposition .....	77
5.1.3	Phänologischer Eintrittstermin und Bodenart .....	78
5.2	Zeitliche phänologische Variabilität in Abhängigkeit von den Klimabedingungen .....	80
5.2.1	Phänologischer Eintrittstermin und Vegetationszeit .....	80
5.2.2	Phänologischer Eintrittstermin und Frost .....	84
5.2.3	Phänologischer Eintrittstermin und Erdbodentemperatur .....	89
<b>6</b>	<b>Wertung .....</b>	<b>92</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>93</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>95</b>
<b>9</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>99</b>

## Zusammenfassung

Mit Hilfe eines statistischen Gruppierungsverfahrens, der sogenannten Cluster-Analyse, wurden 30jährige phänologische und klimatologische Zeitreihen (1960-1989) Westdeutschlands auf ihre zeitlich - räumliche Ähnlichkeit untersucht. Die phänologischen Phasen liegen als Gebietsmittel von ca. 270 Naturräumen vor. Bei den Klimadaten wurde auf rund 110 Stationen mit monatlichen Summen der Sonnenscheindauer, sowie auf 260 Stationen mit Monatsmitteln der Lufttemperatur und monatlichen Niederschlagshöhen zurückgegriffen.

Die in dieser Arbeit festgestellte phänologische Klassifikation von Naturräumen zeigt eine dynamische räumliche Ähnlichkeitsstruktur Westdeutschlands auf der Grundlage der phänologischen Eintrittstermine. Diese Ähnlichkeitsstruktur wird von phänologisch einheitlichen Raumtypen gebildet. Ein phänologisch einheitlicher Raumtyp ist eine "Naturräumliche Einheit", die aus verschiedenen Naturräumen mit ähnlichem zeitlichen Verlauf (ähnlichem Zeitmuster) markanter phänologischer Phasen besteht. D.h., er kennzeichnet ein Gebiet mit einer ähnlichen ökologischen Reaktion von Pflanzen auf jährliche Veränderungen der Umwelt- und Klimabedingungen. Dies kann zum Teil aus der räumlichen Übereinstimmung zwischen den geographischen Verteilungsmustern der Raumtypen der phänologischen und der klimatologischen Zeitreihen nachgewiesen werden.

Herausgefunden wurden zueinander inverse lineare Trends der Zeitreihen der phänologischen Phasen und der Monatsmitteltemperaturen sowie die zeitliche Übereinstimmung zwischen den "ungewöhnlichen" und "besonderen" Jahrestypen der beiden Parameter in fast allen "Größeren Naturräumlichen Landschaftseinheiten". Es ist ein Hinweis, daß die Phänologie ein effektiver biologischer Indikator der regionalen Witterung und Klimaveränderungen ist. Das Ergebnis liefert einen Beweis und eine Methode für die Abschätzung der Auswirkung der Klimaänderung auf die jahreszeitliche und jährliche Rhythmik der Biosphäre mit Hilfe von phänologischen Daten.

Ein wichtiger Beitrag dieser Arbeit für die phänologische Untersuchung im Gelände ist die Bestimmung der statistischen Beziehung zwischen den phänologischen Eintrittsterminen der Blühphasen im Frühling und der frostfreien Zeit im Jahr. Mit den in dieser Arbeit aufgestellten flächenbezogenen Gleichungen können die jährlichen frostfreien Tage im Taunus durch die phänologischen Beobachtungen annähernd abgeschätzt werden.

## Abstract

A cluster analysis of phenological and climatological time series (1960-1989) is used to determine the spatial and temporal similarity of natural regions for West Germany. The yearly regional average of phenophases from about 270 natural regions and the climatological data of 110 sites for the monthly sum of sunshine and of 260 sites for the monthly average of the air temperature and the monthly precipitation have been under consideration.

The phenological classification of natural regions indicates a similar kind of dynamical regional structure in West Germany based on phenological dates. This regional structure is made up of several phenological area types. A phenological area type deals with a natural region unit, which consists of different natural regions with similar fluctuations of characteristic phenological time series. This also means that it marks a region with a similar ecological reaction of plants on annual fluctuations of environmental and climatological conditions, which can be partially proved by the regional agreement between geographical distribution patterns of area types of phenological phases and climatological elements.

The inverse linear trends of the time series of the phenological date and the air temperature as well as the agreement in time between abnormal and particular year types of the above two parameters in almost all West German large natural regions point out that phenology is a very effective biological indicator of regional climate change. These results supply a kind of evidence and a method to assess the climatological impact on the seasonal and annual rhythm of the biosphere with phenological data.

An important contribution of this study for the phenological investigation in small areas is the determination of the statistical relationship between the blooming date in spring and the frost-free period. By using the regression equations, which is set up in this study, the annual frost-free period can be approximately estimated by phenological observations in the Taunus area.

# 1 Einleitung und Zielsetzung

Die Geographie ist die Wissenschaft über Ort und Region (Richardson, 1992). Die Klassifikation der Landoberfläche in homogene Teilflächen (Naturräume) zählt seit langer Zeit zu den Hauptaufgaben der Geographie (Takeuchi et. al., 1990). In Deutschland geht die Diskussion über die Erfassung und Festlegung von Naturräumen bis in das letzte Jahrhundert zurück. Die derzeit gültige Einteilung Deutschlands in Naturräume wurde im Standardwerk "*Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands*" (Meynen und Schmithüsen et. al., 1962) publiziert. Gemäß der Definition ist eine "Naturräumliche Einheit", auch Naturraum genannt, im geographischen Sinne ein "nach dem Gesamtcharakter seiner Landesnatur abgegrenzter Erdraum". Naturräumliche Einheiten sind räumliche Individuen, die sich in einzelnen, mehreren oder allen Naturraumfaktoren unterscheiden. Auf der Grundlage der "Naturräumlichen Gliederung" läßt sich über die übergeordnete Gliederung in Naturraumtypen und Naturpotentiale nachdenken, um die physikalische Gleichheit der Naturräume zu berücksichtigen. Naturraumtypen sind naturräumliche Einheiten, die wegen der Gleichheit im horizontalen und vertikalen Gefüge der Naturraumfaktoren nicht nur an einer Stelle auftreten, sondern die mehrfach mit gleicher qualitativer Ausstattung nachweisbar und daher typisch für mehrere Areale sind. Die bisherigen Arbeiten von Naturraumtypen konzentrierten sich auf relativ "statische" Faktoren, z.B. Relief, Gestein und Bodengüte (Richter, 1978; Liedtke, 1988). Um die "dynamischen" Charaktere der Naturräume zu erfassen, untersucht diese Arbeit die zeitlichen und räumlichen Ähnlichkeiten von pflanzenphänologischen Eintrittsterminen und klimatologischen Faktoren im Gebiet Westdeutschlands.

Die Pflanzenphänologie befaßt sich mit den im Jahresablauf periodisch wiederkehrenden Wachstums- und Entwicklungserscheinungen der Pflanzen. In den phänologischen Daten kommt das gesamte Spektrum von Umwelteinflüssen zum Vorschein. Deshalb gilt die Phänologie als Indikator für Umwelt- und Klimaveränderungen. Als ein Faktor des Naturraumpotentials besitzt die Phänologie im klimatisch-biologischen Bereich einen ähnlichen Stellenwert wie der Boden in der physiogeographischen Betrachtung (Liedtke, 1988). Innerhalb der gegenwärtig dominierenden umweltpolitischen und wissenschaftlichen Zielsetzungen kommt der Phänologie eine immer stärker werdende Bedeutung zu. Speziell gedacht sei hier an die Klimawirkungsforschung (Shigehara, 1991; Hechler, 1990), an die landschafts-ökologische Forschung (Leser, 1991) und an die landwirtschaftliche Forschung bezüglich des Anbaus verschiedener Kulturpflanzen.

Die Klimawirkungsforschung betreffend werden derzeit globale Klimaszenarien für die Dauer mehrerer Dekaden gerechnet, wobei die Modelle die Landoberflächenbedeckung nur sehr schematisch berücksichtigen und in der Regel nur ein sehr einfaches Verhalten der Vegetationsparameter zulassen. Dies verwundert umso mehr, da unter verschiedenen Umweltfaktoren gerade das Klima den stärksten Einfluß auf die Wachstumsbedingungen ausübt (Schnelle, 1955). Da die phänologische Entwicklung hauptsächlich von der Temperatur gesteuert wird (Hodges, 1991), ist gerade im Hinblick auf die prognostizierten Temperaturänderungen ein Anpassungsprozeß der Biosphäre an die neuen klimatologischen Bedingungen zu erwarten. Dieser Anpassungsprozeß kann sich im Extremfall in der Verschiebung ganzer Vegetationsgürtel äußern (Melillo et. al., 1990). Gleichzeitig werden vegetationsabhängige Landoberflächenparameter, wie etwa das Emissionsvermögen der Landoberfläche, die Albedo, die Rauigkeitslänge etc., nicht nur eine jahresperiodische Schwankung aufweisen, sondern einem zusätzlichen Trend unterliegen, der - derzeit in nicht bekannter Weise - rückkoppelnd auf das Klima wirkt. Diese Trends können nur in langfristig betriebenen phänologischen und klimatologischen Beobachtungsnetzen erfaßt werden. Deshalb wird eine der Hauptaufgaben für die nächsten Jahre sein, aus den phänologischen Daten die Einwirkung des Klimas auf die Vegetation zu analysieren. Da die phänologischen Daten sowohl groß- als auch lokalklimatische Verhältnisse widerspiegeln, kann durchaus eine zeitlich-räumliche Ähnlichkeit der phänologischen und klimatologischen Reihen erwartet werden.

In gegliedertem Gelände wird die Vegetation im Rahmen ihres Anpassungsprozesses an veränderte Klimaverhältnisse durch Standortfaktoren, z.B. Höhenlage und Böden mitbeeinflußt, was wiederum auf die Gestaltung der Pflanzengesellschaften und damit auf das phänologische Geschehen rückwirkt.

Im folgenden sollen deshalb die räumlichen und zeitlichen Zusammenhänge zwischen dem phänologischen Eintrittstermin und den Klimaparametern in großem Raum und auch in gegliedertem Gelände untersucht werden. Die vorliegende Arbeit verfolgt drei Ziele:

1. Die Verteilungsmuster der Naturraumtypen mit einem ähnlichen **30jährigen zeitlichen Verlauf** markanter phänologischer Eintrittstermine und relevanter Klimaparameter festzustellen. Weiter wird überprüft, inwieweit die geographische Verteilung der phänologisch einheitlichen Raumtypen mit dem Verteilungsmuster der einheitlichen Raumtypen von Klimaparametern übereinstimmt.

Hier werden nicht die mehrjährigen Mittelwerte sondern die 30jährigen zeitlichen Verläufe der phänologischen Eintrittstermine und der Klimaparameter berücksichtigt. Die geographische Verteilung der mittleren phänologischen Eintrittstermine und der mittleren Klimaparameter, z.B. der Lufttemperatur und der Niederschlagshöhe für Jahre und Monate in Deutschland, wurden schon von zahlreichen Autoren beschrieben (Schnelle, 1953, 1955; Deutscher Wetterdienst, 1979, 1980, 1985).

2. Die zeitliche Ähnlichkeit und den Charakter (z.B. den Jahrestyp und den Trend) der phänologischen und klimatologischen Zeitreihen in repräsentativen Naturräumen aufzuzeigen und die mögliche Auswirkung des Klimas auf die phänologische Entwicklung abzuschätzen.

3. Die räumlichen und zeitlichen Zusammenhänge zwischen phänologischen und geoökologischen Faktoren im orographisch stark gegliederten Gelände des Taunus festzustellen und zu überprüfen, in welchen Fällen und in welchem Niveau die phänologischen Eintrittstermine als geoökologische Indikatoren verwendbar sind.

## 2 Auswahl und Aufbereitung der Daten

### 2.1 Phänologische Daten

Im Gebiet Westdeutschlands ist die Phänologie seit 1953 Bestandteil des Deutschen Wetterdienstes. Die phänologischen Daten werden derzeit von rund 1900 Beobachtern erhoben. Im Zentralamt des Deutschen Wetterdienstes werden jahrgangsweise die von den einzelnen Beobachtern gemeldeten Daten erfaßt und mit der Stationskennzahl, den Namen der Orte und Landkreise, den geographischen und Gauß-Krüger-Koordinaten und der Höhe des Beobachtungsgebietes in die phänologische Datenbank eingespeichert. Das Beobachtungsprogramm umfaßt drei Pflanzengruppen: Wildpflanzen, Forst- und Ziergehölze; landwirtschaftliche Kulturpflanzen; Obst und Weinreben mit insgesamt 212 phänologischen Phasen, die gemäß gleicher Beobachtungsrichtlinien beobachtet werden (DWD, 1953; 1960; 1991). Diese Daten liefern die Grundlage für diese Untersuchung. Die Beobachtungsrichtlinien und ihre Befolgung gewährleisten weitgehend homogene phänologische Datenreihen.

Die Pflanzenentwicklung richtet sich in der Regel nach klimatologischen und ökologischen Standortbedingungen. Kausale Zusammenhänge zwischen Biologie, Klimatologie und Landschaftsökologie lassen deshalb erwarten, daß sich verändernde klimatologische und geoökologische Einflüsse im Pflanzenwachstum widerspiegeln. Da an den Anbauorten von Kulturpflanzen entwicklungsrückwirkende ökologische Eingriffe wie Bodenbearbeitung, Düngung, Sortenwahl etc. nicht zum Meldegut der phänologischen Beobachtungen gehören und folglich nicht erfaßt werden, sollen nur wildwachsende Pflanzen untersucht werden. Das der Arbeit zugrundeliegende Datenmaterial beschränkt sich auf den Beginn der Blüte der Hasel (*Corylus avellana*), der Forsythie (*Forsythia suspensa*) und des Schwarzen Holunders (*Sambucus nigra*) sowie auf die Blattverfärbung der Roßkastanie (*Aesculus hippocastanum*). Die Auswahl dieser Pflanzen und der Phasen erfolgt aus dreierlei Gründen:

- die Pflanzen sind im gesamten Untersuchungsgebiet verbreitet;
- die Eintrittstermine der Phasen sind von den Beobachtern eindeutig bestimmbar;
- die Phasen können den Beginn der phänologischen Jahreszeiten (Vorfrühling, Erstfrühling, Frühsommer und Vollherbst) markieren und haben deshalb einen klimatologischen Bezug.

Ein Nachteil des phänologischen Datenmaterials liegt darin, daß keineswegs von allen Stationen und allen Phasen lückenlose Beobachtungen aus einem Zeitraum von 30 Jahren vorliegen. Um mehr Informationen gewinnen zu können, wurden von einer Phase alle Beobachtungen eines Gebietes für jedes Jahr angesprochen und statistisch behandelt (Pfau, 1964). Dadurch, daß die phänologischen Daten von  $x$  Stationen eines Gebietes gemittelt werden, werden die individuellen lokalen Eigenheiten und die Abweichungen, verursacht von der Topographie, Höhenlage und von anderen lokalen Faktoren, teilweise ausgeglichen. Auf diese Art erhält man eine homogene und flächenmäßig repräsentative phänologische Reihe. Deshalb wurde für Deutschland der Gebietsmittelwert von phänologischen Eintrittsterminen bereits in zahlreichen Untersuchungen verwendet (Brandtner, 1958; Seyfert, 1962; Freitag, 1967; Klante, 1990; Chmielewski, 1990). Auf dem Gebiet der Klimatologie, insbesondere für die Untersuchungen der räumlichen Verteilung des Niederschlags, ist es ebenfalls üblich, Gebietsmittelwerte zu benutzen (Finkelstein and Truppi, 1991; Flohn, 1981; Fovell and Fovell, 1993).

Um neben der biologischen auch eine geographisch vertretbare Datenreduktion durchzuführen, wird eine räumliche Mittelung in einen sogenannten Gebietsmittelwert durchgeführt, die auf der geographischen Untergliederung Westdeutschlands in 354 Naturräumliche Einheiten (Naturräume) beruht. Bei diesen Naturräumen handelt es sich um Gebiete mit ähnlichem Landschaftscharakter, der durch definierte geographische, hydrologische und klimatologische Merkmale - wie z.B. die Höhenlage eines Gebietes, den Mittelwert der Lufttemperatur, die Jahressumme des Niederschlags und die mittleren phänologischen Eintrittstermine beschrieben wird (Meynen und Schmithüsen, et. al. 1962). Wie bei der Untersuchung der raum-zeitlichen Analyse der Ähnlichkeiten von Witterung und Ertrag in Westdeutschland, "sollte die räumliche Einheit so klein sein, daß ihr möglichst homogene Naturbedingungen zu eigen sind, sie sollte aber auch so groß sein, daß sich die Vielzahl der nicht-klimatischen Einfluß-

größen durch Mittelung reduziert" (Frankenberg, 1984). Die naturräumliche Gliederung Deutschlands hat gerade die geeignete räumliche Grundeinheit für die vorliegende Studie geliefert. Eine Karte mit der naturräumlichen Gliederung für das Gebiet Westdeutschlands zeigt Abb. 2.1.

Für jeden Naturraum und jedes Jahr wurden die phänologischen Einzelbeobachtungen zu einem Gebietsmittelwert des phänologischen Eintrittstermins zusammengefaßt. Eine weitere, auf einem Zeitkriterium basierende Datenreduktion ließ jene Naturräume unberücksichtigt, die sich nicht durch eine mindestens 30jährige lückenlose phänologische Beobachtungsreihe des Zeitraums 1960-1989 auszeichneten. Die Forderung eines 30jährigen Zeitraums (bzw. die Vernachlässigung kleinerer Zeiträume) läßt eine Stabilität der statistischen Aussagen erwarten.

Damit steht für jede phänologische Phase eine Datenmatrix zur Verfügung, die aus n Zeilen bzw. Objekten (Naturräume) und p Spalten bzw. Merkmalen (Jahre) besteht (Tab. 2.1). Diese phänologischen Daten wurden direkt von der "Aktuellen Phänologischen Datenbank" (APDB) des Deutschen Wetterdienstes geliefert.

Tab. 2.1 Datenmatrix des jährlichen Gebietsmittelwerts des phänologischen Eintrittstermins

Objekte	Merkmale				
	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	.....	M <sub>p</sub>
O <sub>1</sub>	x <sub>11</sub>	x <sub>12</sub>	x <sub>13</sub>	.....	x <sub>1p</sub>
O <sub>2</sub>	x <sub>21</sub>	x <sub>22</sub>	x <sub>23</sub>	.....	x <sub>2p</sub>
O <sub>3</sub>	x <sub>31</sub>	x <sub>32</sub>	x <sub>33</sub>	.....	x <sub>3p</sub>
.	.	.	.	.....	.
.	.	.	.	.....	.
O <sub>n</sub>	x <sub>n1</sub>	x <sub>n2</sub>	x <sub>n3</sub>	.....	x <sub>np</sub>

M: Jahr (1960-1989)  
O: Naturraum  
x: jährlicher Gebietsmittelwert des phänologischen Eintrittstermins

Die Dimension der Matrix variiert geringfügig: Aufgrund der Wahl eines konstanten 30jährigen Untersuchungszeitraums ist in allen zu untersuchenden Fällen p = 30, während die Anzahl der Naturräume im Fall des Beginns der Blüte der Hasel bei n = 266, der Forsythie bei n = 265, des Schwarzen Holunders bei n = 279 und im Fall der Blattverfärbung der Roßkastanie bei n = 260 liegt.

## 2.2 Klimatologische Daten

Um zu klären, inwiefern ein räumlicher Bezug zwischen phänologischen und klimatologischen Zeitreihen besteht, werden das Tagesmittel der Lufttemperatur, die tägliche Sonnenscheindauer und der Tageswert des Niederschlags auf ihre regionale Verteilung analysiert. Die Beschränkung auf diese Parameter erfolgt in Übereinstimmung mit verschiedenen Untersuchungen, welche darauf hinweisen, daß die genannten Klimafaktoren primär die Pflanzenentwicklung beeinflussen (Seyfert, 1966; Lieth et. al., 1974).

Die Auswahl der in der Untersuchung zu berücksichtigenden klimatologischen Stationen erfolgt auch hier unter dem Zeitkriterium, daß mindestens 30jährige Reihen vorliegen müssen. Von den möglichen 400 westdeutschen Klimastationen verbleiben rund 260 Stationen mit ununterbrochenen Temperaturreihen und mit vollständigen Niederschlagsreihen, und rund 110 Stationen mit kompletten Reihen der Sonnenscheindauer. Eine sich anschließende zeitliche Datenreduktion läßt sich durch zeitliche Mittelbildung der Tageswerte zu Monatswerten vornehmen. Die Beschränkung auf Monatsmittel der

Abb. 2.1 Karte  
mit  
naturräumlicher Gliederung  
für die  
Bundesrepublik Deutschland

Stand 1.1.1961



Lufttemperatur (in 2 Meter Höhe gemessen), Monatssummen des Niederschlags und der Sonnenscheindauer erscheint insofern sinnvoll, als Pflanzen in ihrer physiologischen Entwicklung nicht spontan auf Witterungseinflüsse, sondern zeitversetzt, d.h. erst nach Erreichen integraler Schwellenwerte reagieren.

Da entsprechend den obigen Angaben die klimatologischen Beobachtungsorte zahlenmäßig die phänologischen unterschreiten, muß auf eine naturraumbezogene Mittelung verzichtet und jeder Beobachtungspunkt einzeln bei der Untersuchung berücksichtigt werden. Damit steht für jeden Monat von jedem Klimaparameter eine ähnliche Datenmatrix wie bei den phänologischen Eintrittsterminen zur Verfügung, die ebenfalls aus  $n$  Zeilen bzw. Objekten (Klimastationen) und  $p$  Spalten bzw. Merkmalen (Jahre) besteht (vgl. Tab. 2.1).

### 2.3 Geoökologische Daten

Gemäß der gängigen Landschaftsökosystemtheorie und den einschlägigen Begriffserklärungen wird mit den Geoökofaktoren Georelief, Boden, Bodenwasserhaushalt, Oberflächenwässer, geologischer Untergrund, Klima, Vegetation und anthropogene Einflüsse gearbeitet (Leser und Klink, 1988). Entsprechend den bisherigen Untersuchungen werden die phänologischen Eintrittstermine in einem orographisch stark gegliederten Gelände hauptsächlich von der Höhenlage, Exposition, Bodenart und von Klimaparametern beeinflusst (Uhlig, 1953, Walter und Breckle, 1986). Um den räumlichen Unterschied und die zeitliche Variabilität der phänologischen Eintrittstermine in Abhängigkeit von den geoökologischen Faktoren im Gebiet des Taunus festzustellen, werden Höhenlage und Bodenart von den phänologischen Beobachtungsorten als "statische" Einflußfaktoren ausgewählt. Die Bodenart ist nach "Klassen ökologisch ähnlicher Bodenarten" numeriert und die Kennzahl der Klassen wurde direkt aus den Bodenkarten 1:25000 unter den Blatt-Nummern 5715, 5716, 5717, 5814, 5815, 5816, 5913, 5914, 5915, 5916 und aus der geomorphologischen Karte 1:25000 unter der Blatt-Nummer 6013 für alle möglichen phänologischen Stationen bestimmt und gemittelt. Als "dynamische" Einflußfaktoren werden der Beginn, das Ende und die Andauer des Auftretens definierter Temperaturschwellen von  $10^{\circ}\text{C}$ , die Anzahl der Frosttage pro Monat und Jahr ( $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$ ) und der monatliche Mittelwert der Erdbodentemperatur in 20, 50 und 100 cm, gemessen um 14:00 Uhr MOZ (Klimatermin II), analysiert. Es gibt insgesamt 62 phänologische Beobachtungsorte in diesem Gebiet, davon liegen allerdings nur 3 Beobachtungsorte (Geisenheim, Königstein und Kleiner Feldberg) in unmittelbarer Nähe zu einer Klimastation und besitzen eine rund 30jährige phänologische und klimatologische Beobachtungsreihe. Der Untersuchungszeitraum ist auf die Jahre 1951 - 1990 beschränkt.

### 3 Statistische Klassifikation von Naturräumen/Stationen anhand von phänologischen und klimatologischen Zeitreihen

#### 3.1 Clusteranalytisches Verfahren

Um die Vielfalt dieser jeweils aus rund 8000 Elementen bestehenden Datenbasis (ca. 260 Naturräume/Klimastationen mal 30 jahresbezogene phänologische Eintrittstermine bzw. 30 klimatologische Monatswerte) überschaubar zu gestalten, wird nun die Hypothese vertreten, daß sich im jeweiligen phänologischen oder klimatologischen Beobachtungsfeld räumlich homogene Gruppen finden lassen, die aus untereinander ähnlichen Zeitreihen bestehen. Das Auffinden einer zeitlich-räumlichen Ähnlichkeitsstruktur im phänologischen und klimatologischen Beobachtungsfeld sowie die Zusammenfassung ähnlicher Gebiete zu größeren homogenen Raumtypen kann mit Hilfe einer automatischen Klassifikationstechnik erfolgen. Hier wird das Verfahren der Clusteranalyse gewählt, um Gruppierungen des Beobachtungsmaterials vorzunehmen.

Den Ausgangspunkt der Klassifikation bildet die aus  $n$  Objekten ( $n$  Naturräumen bzw. Klimastationen) bestehende Objektmenge:

$$S = \{O_1, \dots, O_n\}.$$

Klassifikationsziel ist, Objekte mit ähnlichen Eigenschaften in einer homogenen Gruppe (Cluster) zusammenzufassen, unähnliche Objekte dagegen verschiedenen, gut unterscheidbaren Gruppen zuzuordnen. Die Eigenschaften der Objekte werden durch  $p$  Merkmale erfaßt (z.B.  $p$  Jahre). Als Grundlage zur Lösung des Klassifikationsproblems ergibt sich dann eine  $n \times p$  Datenmatrix  $X = (x_{ij})$  (s. Kapitel 2.1).

Zum Erreichen des Klassifikationsziels kann man Ähnlichkeits- oder Distanzmaße verwenden. Bei den erstgenannten Maßen wird die Ähnlichkeit der Objektpaare  $O_i, O_k$  durch den Zahlenwert  $r_{ik}$  ( $1 \leq i, k \leq n$ ) gemessen. Als Ähnlichkeitsmaß wird in dieser Arbeit der Korrelationskoeffizient  $r_{ik}$  gewählt

$$r_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^p (x_{ij} - \bar{x}_i) (x_{kj} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{j=1}^p (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \sum_{j=1}^p (x_{kj} - \bar{x}_k)^2}}$$

mit

$$\bar{x}_i = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^p x_{ij}; \bar{x}_k = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^p x_{kj}.$$

Die Ähnlichkeit von Datensätzen ist proportional  $|r_{ik}|$ ; d.h. je näher die Werte an 0 liegen, umso geringere Ähnlichkeit ist vorhanden; bei  $r_{ik} = -1$  ist die Ähnlichkeit vollständig, jedoch phasenverschoben. Die Größe  $x_{ij}$  bezeichnet das Element (phänologischer Eintrittstermin oder klimatologischer Monatswert) des  $i$ -ten Objektes (Naturraum/Station) und des  $j$ -ten Merkmals (Jahr). Hier bedeutet die Ähnlichkeit einen statistischen Zusammenhang zwischen zwei Objekten. Wenn zwei Naturräume oder Klimastationen sehr ähnlich sind, zeigen die Elemente (phänologische Eintrittstermine oder klimatologische Monatswerte) der beiden Naturräume oder Klimastationen einen über 30 Jahre gleichartigen, quasi-parallelen Verlauf. Auf der Basis von Ähnlichkeiten gruppiert die Clusteranalyse die Objekte so, daß die Unterschiede zwischen den Clustern möglichst groß, und die Unterschiede der Objekte innerhalb eines Clusters möglichst gering sind.

Hierarchische Verfahren beginnen mit der feinsten Partitionierung, bei der jedes Objekt ein eigenes Cluster bildet. Man berechnet die paarweisen Ähnlichkeiten zwischen allen Objekten und fusioniert diejenigen zwei Objekte zu einem neuem Cluster, die gemäß dem gewählten Ähnlichkeitsmaß am ähnlichsten sind. Man erhält somit  $(n-1)$  Cluster, nämlich 1 Cluster, der aus den beiden zusammengelegten Objekten besteht, und  $(n-2)$  Cluster, die den noch nicht zusammengefaßten, ursprünglichen Objekten entsprechen. Auf die  $(n-1)$  Cluster wird wieder das Ähnlichkeitsmaß angewandt, und die beiden ähnlichsten Cluster werden im 2. Schritt zusammengefaßt. Dadurch ergeben sich  $(n-2)$  Cluster. Dieses Verfahren wird so lange fortgeführt, bis nach dem  $(n-1)$ ten Schritt alle Objekte in einem Cluster vereinigt sind.

Das Problem der hierarchischen Klassifikation besteht also darin, für die Objekte  $O_1, \dots, O_n$  eine Hierarchie zu finden, die die Ähnlichkeitsstruktur dieser Objekte bzw. den Zusammenhang der verschiedenen Cluster miteinander möglichst optimal wiedergibt. Das entspricht in etwa der Forderung, daß die Stufe der Hierarchie, auf der sich zwei beliebige Objekte  $O_i, O_k$  "treffen", umso niedriger sein soll, je kleiner die Ähnlichkeit zwischen  $O_i$  und  $O_k$  ist, d.h. mit jedem Schritt wächst der Grad der Generalisierung bzw. der Informationsverlust.

Die verschiedenen Methoden der Clusterbildung unterscheiden sich nun darin, wie die Ähnlichkeit zwischen zwei Clustern  $C_p$  und  $C_q$  mit  $n_p$  bzw.  $n_q$  Objekten ( $1 \leq n_p, n_q < n$ ) definiert wird. Dies ist bereits ab dem zweiten Schritt der Fall. Wenn die Cluster  $C_p$  und  $C_q$  zu einem neuen Cluster  $C_{p+q}$  fusioniert worden sind, gilt für die Ähnlichkeit zwischen dem Cluster  $C_i$  und dem neuen Cluster  $C_{p+q}$  (Wishart, 1987):

$$r_{i,p+q} = a_p r_{ip} + a_q r_{iq} + b r_{pq} + g | r_{ip} - r_{iq} |$$

In dieser Arbeit erfolgt das Zusammenfassen der Cluster auf der Grundlage eines "Weighted Average"-Verfahrens, welche auf den Parametern  $a_p = a_q = 1/2$ ,  $b = g = 0$  beruht. Hier dient als Ähnlichkeitsmaß zwischen  $C_i$  und  $C_{p+q}$  der durchschnittliche Korrelationskoeffizient aller Objektpaare von den Objekten aus  $C_i$  und  $C_{p+q}$ . Diese Methode hat den Vorteil, daß alle Objekte eines Clusters in die Bestimmung der Ähnlichkeit mit anderen Clustern eingehen (Bahrenberg, Giese und Nipper, 1992; Stooksbury and Michaels, 1991).

Bei der Frage nach der Anzahl der Cluster muß also offensichtlich ein Kompromiß gefunden werden zwischen einem genügend großen Grad an Generalisierung, damit überhaupt ein Mindestmaß an Übersicht erreicht wird, und einem nicht zu hohen Grad an Generalisierung, um den Informationsverlust zu begrenzen.

Darüber hinaus liefern aber die schrittweisen Verfahren bereits einige Anhaltspunkte über die Anzahl der zu bildenden Gruppen. Dies wird an einem Beispiel demonstriert. Es wurde für die 266 Naturräume Westdeutschlands auf der Grundlage der phänologischen Phase des Beginns der Haselblüte eine Clusteranalyse durchgeführt. Als Merkmale wurden die 30jährigen phänologischen Eintrittstermine verwendet. Die Ähnlichkeit zwischen den Naturräumen wurde durch den Korrelationskoeffizient in dem 30jährigen Zeitraum beschrieben. Als Methode der schrittweisen Clusterbildung wurde das "Weighted Average" - Verfahren benutzt. Das Ergebnis zeigt Tab. 3.1.1, aus der sich der Prozeß der Clusterbildung ablesen läßt. Die Tabelle zeigt, welche beiden Cluster oder Objekte bei jedem Schritt zusammengefaßt werden, und sie führt das Maß der Ähnlichkeit der beiden Cluster oder Objekte vor der Zusammenlegung auf. Nach der Zusammenlegung wird der neue Cluster rechnerintern mit der niedrigeren der beiden Clusternummern versehen, so daß der gesamte Prozeß gut verfolgt werden kann.

Zur Interpretation der Tabelle dient das folgende Beispiel:

Beim ersten Schritt werden die Naturräume Nr. 19 und 28 (laufende Nummer) vereinigt, dessen Korrelationskoeffizient 0.9735 beträgt. Dieser Cluster wird fortan unter der Nr. 19 geführt. Er wird beim 10. Schritt (vgl. zweite Spalte in Tab. 3.1.1) mit dem Cluster Nr. 25 verbunden. Dieser Cluster (Nr. 25) wurde noch nicht vereinigt. Die im zehnten Schritt zusammengefügte Cluster 19 und 25 sind mit  $r = 0.9640$  korreliert und werden bis zum 21. Schritt als Nr.19 bezeichnet.

Tab. 3.1.1

Clusteranalyse der 266 Naturräume mit 30jährigen phänologischen Eintrittsterminen des Beginns der Haselblüte, Ähnlichkeitsmaß: Korrelationskoeffizient, Weighted Average-Verfahren (Auszug)

Schritt Nr.	kombinierte Cluster	r	neue Clusternummer
1	19 und 28*	0.9735	19
2	49 und 64	0.9731	49
3	12 und 22	0.9729	12
4	53 und 63	0.9712	53
5	60 und 61	0.9691	60
6	248 und 253	0.9688	248
7	32 und 33	0.9676	32
8	263 und 265	0.9660	263
9	248 und 256	0.9648	248
10	19 und 25	0.9640	19
.	.....	.....	.
.	.....	.....	.
.	.....	.....	.
248	30 und 79	0.6900	30
249	99 und 131	0.6870	99
250	30 und 98	0.6815	30
251	1 und 7	0.6711	1
252	30 und 105	0.6404	30
253	30 und 221	0.6272	30
254	1 und 4	0.6108	1
255	102 und 243	0.6037	102
256	30 und 104	0.5972	30
257	36 und 182	0.5968	36
258	1 und 204	0.5949	1
259	1 und 36	0.5614	1
260	1 und 30	0.5241	1
261	24 und 102	0.4171	24
262	1 und 24	0.3978	1
263	1 und 99	0.3586	1
264	1 und 45	0.3271	1
265	1 und 3	0.2291	1

\* laufende Nummer des Naturraums

Tabelle 3.1.1 ist sozusagen das Rohergebnis der Clusteranalyse. Aus ihr läßt sich leicht die eingängigere Ergebnisdarstellung der Tab. 3.1.2 gewinnen. Diese Tabelle zeigt, welche Objekte (Natur-

räume) zu welchem Cluster (Raumtyp) gehören, und zwar nach dem 251. Schritt (15 Cluster), dem 252. Schritt (14 Cluster), ..., und nach dem 264. Schritt (2 Cluster). In Tab. 3.1.2 sind die Cluster einfach von 2 bis I (I = Anzahl der Cluster) durchnummeriert worden. Die zu einem Naturraum gehörende Nr. gibt an, welchem Cluster (Raumtyp) das Naturraum zugeordnet ist. So gehört der Naturraum Nr. 5 (Hegäu) bei der Klassifikation in 15 Raumtypen dem Cluster 6 an und bei der Klassifikation in 10 Raumtypen dem Cluster 1. Das Ergebnis einer solchen Klassifikation läßt sich darüber hinaus graphisch als Dendrogramm darstellen. Hierbei sind die einzelnen Cluster nach Art eines Stammbaums angeordnet; jeder Cluster entsteht durch Fusion der direkt unter ihr stehenden Untercluster (s. Bahrenberg, Giese und Nipper, 1992).

Tab. 3.1.2 Zuordnung der Naturräume zu den Clustern aus Tab. 3.1.1 Lösungen für 2 bis 15 Cluster (Auszug)

Lfd. Nr. +	Zahl*	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4	6	6	6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	6	6	6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
24	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1
..	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
..	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
36	5	5	5	5	5	5	5	5	5	1	1	1	1	1	1
..	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
..	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
45	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1
..	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
..	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
99	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	1	1
..	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
101	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	1	1	1	1	1
102	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	3	1	1	1
103	6	6	6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
104	8	8	8	8	8	8	15	15	15	15	1	1	1	1	1
105	11	15	15	15	15	15	15	15	15	15	1	1	1	1	1
...	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
...	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
182	10	10	10	10	10	10	10	5	5	1	1	1	1	1	1
...	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

...	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
201	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	1	1	1	1
202	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	1	1	1	1
203	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	1	1	1	1
204	14	14	14	14	14	14	14	14	1	1	1	1	1	1
205	11	15	15	15	15	15	15	15	15	15	1	1	1	1
...	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
...	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
243	12	12	12	12	7	7	7	7	7	7	7	3	1	1
...	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
...	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
262	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	1	1	1	1
263	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	1	1	1	1
264	13	13	15	15	15	15	15	15	15	15	1	1	1	1
265	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	1	1	1	1
266	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	1	1	1	1

- + laufende Nummer des Naturraums
- \* Anzahl der Cluster

Ein formales Kriterium zur Bestimmung der Anzahl der Cluster kann aus Tab. 3.1.1 gewonnen werden. Der Korrelationskoeffizient in Tab. 3.1.1 gibt für jeden Schritt an, wie groß die Ähnlichkeit der bei diesem Schritt vereinigten Cluster ist. Daher erscheint es sinnvoll, auf solche Stellen in der Reihe der Korrelationskoeffizienten zu achten, an denen diese einen Sprung machen, an denen sie also um einen deutlich größeren Betrag als vorher ansteigen. Es ist vernünftig, die Clusterbildung direkt vor einem Schritt mit einer sprunghaften Abnahme der Ähnlichkeit zu stoppen. Ferner ist die Anzahl der Cluster dem Untersuchungszweck anzupassen (Demirmen, 1972; Fang and Pan, 1982), somit böte sich z.B. eine Naturraumtypisierung nach dem Beginn der Haselblüte im Gebiet Westdeutschlands in 15 Cluster (Raumtypen) an (s. Kapitel 3.2).

Im folgenden Abschnitt wird das Ergebnis in Form einer phänologischen oder klimatologischen Gebietskennzeichnung (als phänologische oder klimatologische Raumtypisierung) präsentiert. Die Farben in der Kartendarstellung stellen Flächen gleicher Clusterzuordnung dar, was einer räumlichen Homogenität der benutzten Maßzahlen entspricht.

Die Clusteranalyse wurde auf dem Großrechnersystem des Deutschen Wetterdienstes durchgeführt. Für die statistischen Untersuchungen stand die "Cluster analysis software" (Wishart, 1987) zur Verfügung.

## 3.2 Phänologische Klassifikation von Naturräumen für verschiedene Jahreszeiten

### 3.2.1 Vorfrühling

Gemäß des in Kapitel 3.1 dargestellten clusteranalytischen Verfahrens und der Kriterien für die Anzahl der zu bildenden Cluster erhält man 15 phänologische einheitliche Raumtypen des Beginns der

Phaenologisch einheitliche Raumtypen in Westdeutschland  
aufgrund der Clusteranalyse (Beginn der Haselblüte)

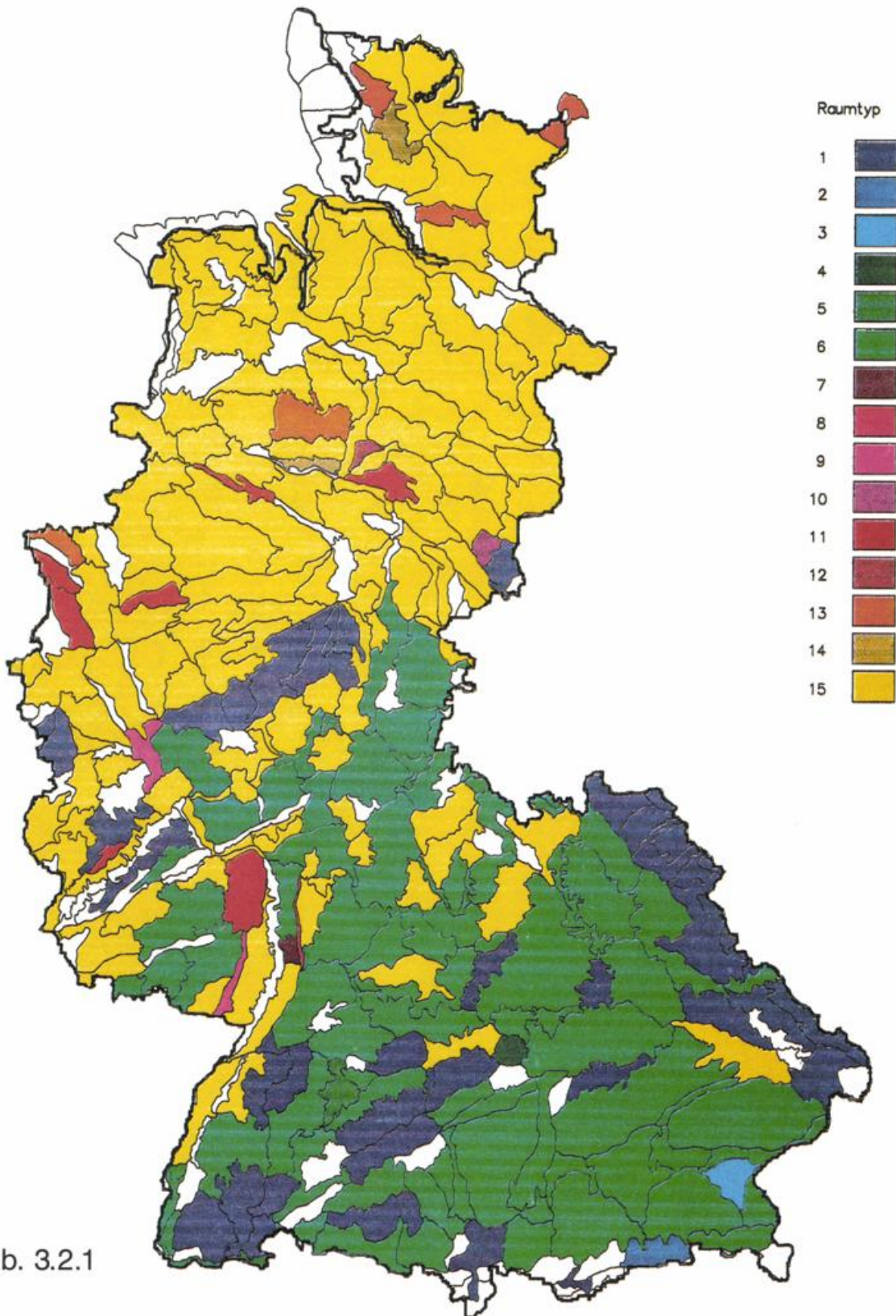


Abb. 3.2.1

Haselblüte in Westdeutschland, wobei innerhalb jedes Raumtyps die Korrelationskoeffizienten  $r$  zwischen den phänologischen Zeitreihen der Naturräume größer als 0.67 (Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.001) sind. Dieser Grenzwert wird als Definitionsmerkmal für einen homogenen, aus mehreren Naturräumen bestehenden phänologischen Raumtyp festgelegt. Wenn die Korrelationskoeffizienten zwischen den phänologischen Zeitreihen der Naturräume oder der Cluster (Raumtypen) den Wert 0.67 unterschreiten, wird eine Inhomogenität in den phänologischen Zeitreihen impliziert. Die Abbildung 3.2.1 zeigt die Raumtypisierung für den Beginn der Haselblüte.

Zur leichteren Interpretierbarkeit der Cluster (Raumtypen) sind in Tab. 3.2.1 als zusätzliche Informationen die geringsten Korrelationskoeffizienten innerhalb eines Clusters ( $r_{\min}$ ) und die Differenz der Korrelationsniveaus zwischen einem Cluster und seinem ähnlichsten Cluster bei der nächster Fusion ( $D_i$ ) in den einzelnen Cluster aufgeführt (s. Stooksbury and Michaels, 1991). Dabei ist zu beachten, daß der geringste Korrelationskoeffizient ( $r_{\min}$ ) in den nur von einem Naturraum besetzten Cluster jeweils gleich eins sind.

Das in Abb. 3.2.1 und in Tab. 3.2.1 wiedergegebene Ergebnis der Raumtypisierung läßt sich wie folgt zusammenfassen:

Ein aus 124 Naturräumen bestehender phänologischer Raumtyp (Raumtyp 15) überwiegt in der Norddeutschen Tiefebene, in der Niederrheinischen Bucht und im Niedersächsischen Bergland. Dieses Gebiet nimmt mehr als ein Drittel der Fläche Westdeutschlands ein, was bedeutet, daß in dem gesamten Gebiet der zeitliche phänologische Ablauf vom Jahr 1960 bis zum Jahr 1989 ähnlich ist. Zwar können die Eintrittstermine des phänologischen Vorfrühlings von Jahr zu Jahr und von Naturraum zu Naturraum variieren, in den 124 Naturräumen herrscht jedoch eine enge Parallelität des zeitlichen Verlaufs vor (s. Abb. 3.2.2).

Tab. 3.2.1 Statistische Maße der phänologisch einheitlichen Raumtypen (Cluster) zu Beginn der Haselblüte

Raumtyp Nr.	Häufigkeit des Naturraums	$r_{\min}$	$D_i$	ähnlichster Raumtyp Nr.
1	42	0.6711	0.0603	6
2	1	(1.0000)	0.7709	1
3	1	(1.0000)	0.5829	7
4	1	(1.0000)	0.6729	1
5	3	0.7220	0.1252	10
6	74	0.7004	0.1055	1
7	1	(1.0000)	0.3963	12
8	1	(1.0000)	0.4028	15
9	2	0.6870	0.3284	1
10	1	(1.0000)	0.4032	5
11	7	0.7669	0.1265	15
12	1	(1.0000)	0.3963	7
13	5	0.6973	0.0701	15
14	2	0.8513	0.2564	1
15	124	0.6815	0.0411	11
$\Sigma$	266			

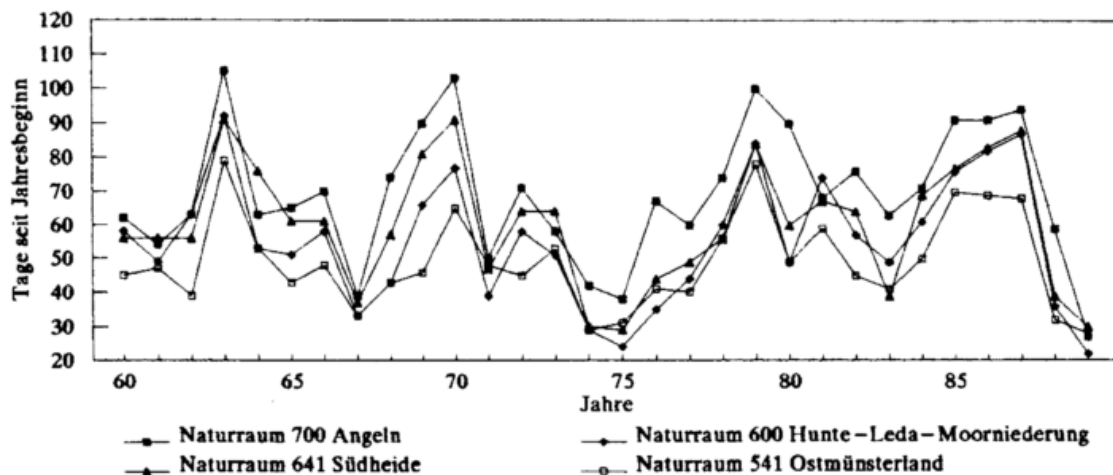


Abb. 3.2.2 Typische phänologische Kurven des Raumtyps 15, Beginn der Haselblüte

Im Süddeutschen Stufenland, im deutschen Alpenvorland und in Teilen des hessischen Berglands und des südwestdeutschen Stufenlands dominiert ein anderer phänologischer Raumtyp, bestehend aus 74 Naturräumen (Raumtyp 6). Das Gebiet nimmt ebenfalls mehr als ein Drittel der Fläche Westdeutschlands ein. Die zeitliche Abfolge der Eintrittstermine des phänologischen Vorfrühlings während des 30 jährigen Untersuchungszeitraums ist ebenfalls in den einzelnen Naturräumen nahezu identisch (Abb. 3.2.3).

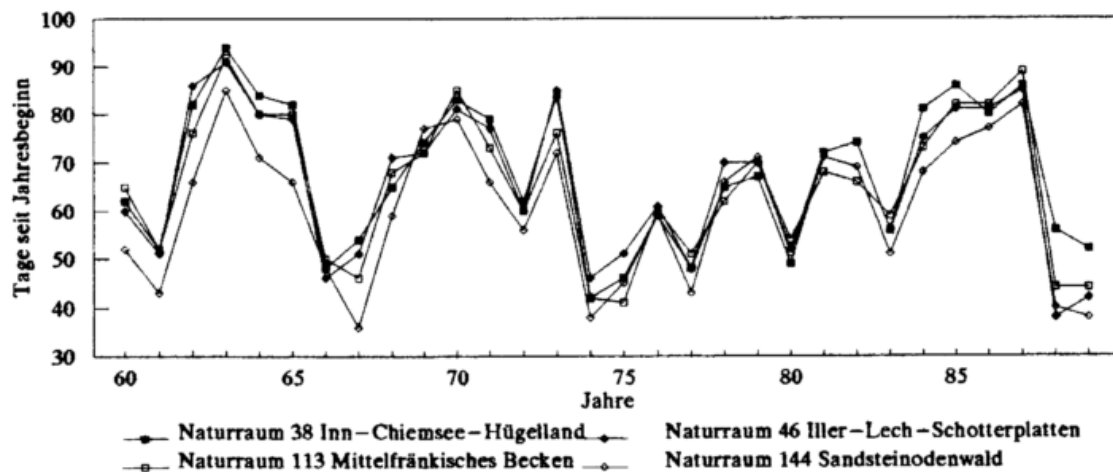


Abb. 3.2.3 Typische phänologische Kurven des Raumtyps 6, Beginn der Haselblüte

Der phänologisch einheitliche Raumtyp 1 umfaßt das Thüringisch-Fränkische Mittelgebirge, den Mittelharz, den Schwarzwald, den Oberpfälzisch-Bayerischen Wald und die Bayerischen Kalkalpen mit insgesamt 42 Naturräumen. Obwohl der Raumtyp räumlich sehr diskontinuierlich ist, zeigen die Variationen der Eintrittstermine des phänologischen Vorfrühlings in den einzelnen Naturräumen einen nahezu gleichartigen quasi-parallelen 30jährigen Verlauf (Abb. 3.2.4).

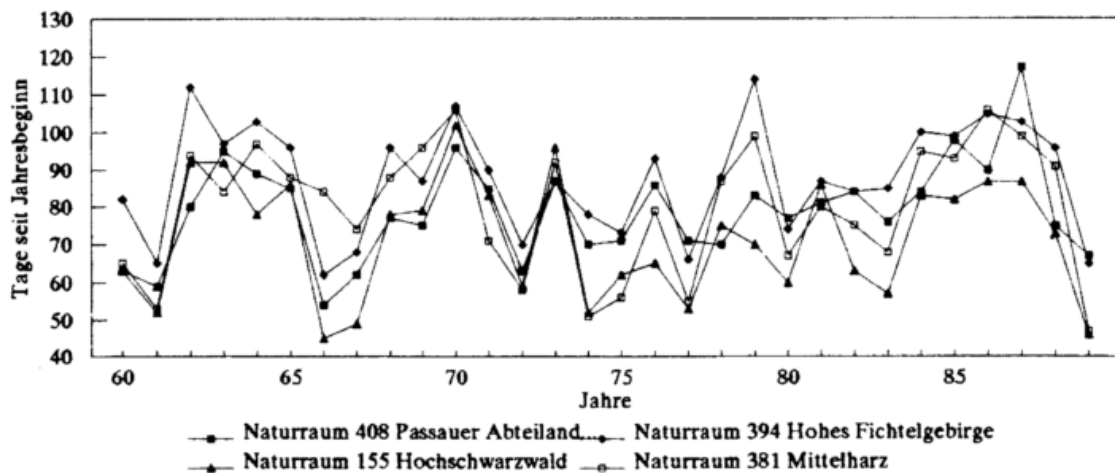


Abb. 3.2.4 Typische phänologische Kurven des Raumtyps 1, Beginn der Haselblüte

Da ein Zyklus in den phänologischen Zeitreihen der Haselblüte auftritt, wird eine zeitliche Autokorrelationsanalyse durchgeführt. Es zeigt sich, daß in den Zeitreihen der Haselblüte der obengenannten Hauptraumtypen (Raumtyp 15, 6 und 1) eine Persistenz (Erhaltungsneigung) von 4 Jahren besteht. D.h. die Eintrittstermine der Haselblüte zeigen alle 4 Jahre eine enge Verknüpfung.

Die anderen 12 kleinen phänologisch einheitlichen Raumtypen zeichnen sich durch einen untypischen zeitlichen Verlauf der Haselblüte aus und verteilen sich räumlich diskontinuierlich. Im nächsten Fusionsschritt werden 7 von diesen 12 Raumtypen (Raumtyp 2, 4, 8, 9, 11, 13, 14) mit den obengenannten 3 Hauptraumtypen zusammengefaßt (s. Tab. 3.2.1).

Die in Westdeutschland gefundene Dreiteilung der phänologischen Verteilung im Vorfrühling, d.h. die Existenz eines phänologisch einheitlichen Raumtyps in Norddeutschland (Raumtyp 15), eines in Süddeutschland (Raumtyp 6), sowie die Existenz eines phänologischen Raumtyps in den Mittel- und Hochgebirgen Süd- und Mitteldeutschlands (Raumtyp 1) korrespondiert mit dem Relief und der geographischen Lage. Die Ähnlichkeitsniveaus innerhalb der drei Hauptraumtypen sind in Norddeutschland (Raumtyp 15) und in Süddeutschland (Raumtyp 6) deutlich höher als in den Mittel- und Hochgebirgen Süd- und Mitteldeutschlands (Raumtyp 1). Eine Häufigkeitsanalyse von fusionierten Naturräumen bei verschiedenen  $r$ -Niveaus in diesen drei Raumtypen zeigt die Tabelle 3.2.2. Wenn der Korrelationskoeffizient  $r \geq 0.90$  als Definitionsmerkmal gewählt wird, sind 78.4% aller Naturräume in Süddeutschland (Raumtyp 6) und 62.9% aller Naturräume in Norddeutschland (Raumtyp 15) bereits zusammengefaßt worden, allerdings beträgt in den Mittel- und Hochgebirgen Süd- und Mitteldeutschlands (Raumtyp 1) diese Häufigkeit von Naturräumen auf diesem  $r$ -Niveau nur 42.9%. Ferner ist die Ähnlichkeit zwischen dem Raumtyp 6 und dem Raumtyp 1 größer als die zwischen diesen beiden Raumtypen und dem Raumtyp 15. Tab. 3.2.1 zeigt, daß im nächsten Fusionsschritt der Raumtyp 6 und der Raumtyp 1 einen phänologisch einheitlichen Raumtyp bilden. Somit herrschen nur noch zwei phänologische Hauptraumtypen im Gebiet Westdeutschlands vor: der norddeutsche Raumtyp und der süddeutsche Raumtyp.

Tab. 3.2.2 Relative Häufigkeit von fusionierten Naturräumen bei verschiedenen r-Niveaus in den drei Hauptraumtypen, Beginn der Haselblüte

r	Raumtyp		
	1	6	15
≥0.95	4.8%	37.8%	22.6%
≥0.90	42.9%	78.4%	62.9%
≥0,85	69.0%	90.5%	86.3%
≥0,80	90.5%	95.9%	97.6%
≥0,75	100%	100%	100%

Da die Pflanzen in ihren phänologischen Merkmalen (z.B. den Eintrittsterminen phänologischer Phasen) eine ökologische Reaktion auf jährliche Veränderungen der Umweltbedingungen zeigen können, sollten die in dieser Arbeit festgestellten phänologisch einheitlichen Raumtypen eine Grundlage für die Interpretation der Ähnlichkeit der Umweltbedingungen im Gebiet Westdeutschlands sein. Deshalb wird der räumliche Zusammenhang zwischen den phänologisch einheitlichen Raumtypen und den von Müller-Miny (1960) und Liedtke (1984) zusammengestellten "Größeren Naturräumlichen Landschaftseinheiten" untersucht. Tab. 3.2.3 zeigt die absolute Häufigkeit von Naturräumen in den phänologisch einheitlichen Raumtypen in Abhängigkeit von den "Größeren Naturräumlichen Landschaftseinheiten".

Tab. 3.2.3 Absolute Häufigkeit von Naturräumen in den phänologisch einheitlichen Raumtypen in Abhängigkeit von "Größeren Naturräumlichen Landschaftseinheiten" (GNLE), Haselblüte

GNLE	Typ															Σ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
I*											3	1	5	1	55	65
II	1										2			1	14	18
III	1									1						2
IV	8					4			1		1				21	35
V	3				1	7									6	17
VI	6															6
VII						3									3	6
VIII						1									4	5
IX						6	1	1	1		1				9	19
X	4					1									1	6
XI	8			1	2	29									10	50
XII	6					1										7
XIII	3		1			21									1	26
XIV	2	1				1										4
Σ	42	1	1	1	3	74	1	1	2	1	7	1	5	2	124	266

* Größere naturräumliche Landschaftseinheiten:			
I	Norddeutsches Tiefland	VIII	Saar-Nahe-Bergland
II	Niedersächsisches Bergland	IX	Oberrheinisches Tiefland
III	Harz	X	Schwarzwald
IV	Rheinisches Schiefergebirge	XI	Süddeutsches Stufenland
V	Hessisches Bergland	XII	Oberpfälzisch-Bayerischer Wald
VI	Thüringisch-Fränkisches Mittelgebirge	XIII	Deutsches Alpenvorland
VII	Südwestdeutsches Stufenland	XIV	Bayerische Alpen

Für die drei Hauptraumtypen konzentrieren sich die zugehörigen Naturräume in bestimmten "Größeren Naturräumlichen Landschaftseinheiten":

- der Raumtyp 15 dominiert im Norddeutschen Tiefland, im Niedersächsischen Bergland, im Rheinischen Schiefergebirge und im Saar-Nahe-Bergland;
- der Raumtyp 6 dominiert im Süddeutschen Stufenland und im Deutschen Alpenvorland;
- der Raumtyp 1 dominiert in 4 anderen Landschaftseinheiten: im Thüringisch-Fränkischen Mittelgebirge, Schwarzwald, Oberpfälzisch-Bayerischen Wald und in den Bayerischen Alpen.

Das bedeutet, daß die "Größeren Naturräumlichen Landschaftseinheiten" nicht nur nach dem räumlichen Gesamtcharakter ihrer Landesnatur, sondern auch nach der zeitlichen Variation des phänologischen Eintrittstermins ähnlich sind. Ein solches Ergebnis erhält man auch im Gebiet Nordchinas (vgl. Chen and Yang, 1988; Chen, 1990).

### 3.2.2 Erstfrühling

Der phänologische Erstfrühling beginnt mit der Blüte der Forsythie. Im Vergleich zu der Haselblüte ist der räumliche Korrelationskoeffizient zwischen den phänologischen Zeitreihen von verschiedenen Naturräumen bei der Forsythienblüte angestiegen. Mit einem Korrelationskoeffizient von  $r \geq 0.72$  (Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.001) wurden 10 phänologisch einheitliche Raumtypen in Westdeutschland klassifiziert. Das Ergebnis der Raumtypisierung für die Forsythienblüte zeigen Abb. 3.2.5 und Tab. 3.2.4.

Tab. 3.2.4 Statistische Maße der phänologisch einheitlichen Raumtypen (Cluster) zu Beginn der Forsythienblüte

Raumtyp Nr.	Häufigkeit des Naturraums	$r_{min}$	$D_r$	ähnlichster Raumtyp Nr.
1	64	0.7430	0.0335	7
2	1	(1.0000)	0.4482	6
3	1	(1.0000)	0.4057	1
4	3	0.7525	0.0687	9
5	173	0.7432	0.0675	10
6	2	0.7443	0.1925	2
7	1	(1.0000)	0.2905	1
8	1	(1.0000)	0.3479	5
9	1	(1.0000)	0.3162	4
10	18	0.7209	0.0452	5
$\Sigma$	265			

Wie im Fall der geographischen Verteilungsmuster der phänologisch einheitlichen Raumtypen im Vorfrühling (s. Abb. 3.2.1) herrschen im Erstfrühling ebenfalls drei Hauptraumtypen vor. Diese Hauptraumtypen umfassen rund 96% der Gesamtanzahl der Naturräume. Ein eindeutiger Unterschied zwischen den beiden geographischen Verteilungsmustern ist, daß der norddeutsche Raumtyp des Erstfrühlings, der sich aus 18 Naturräumen zusammensetzt (Raumtyp 10), nur noch in Schleswig-Holstein anzutreffen ist. Die typische phänologische Kurve des Raumtyps ist in Abb. 3.2.6 dargestellt.

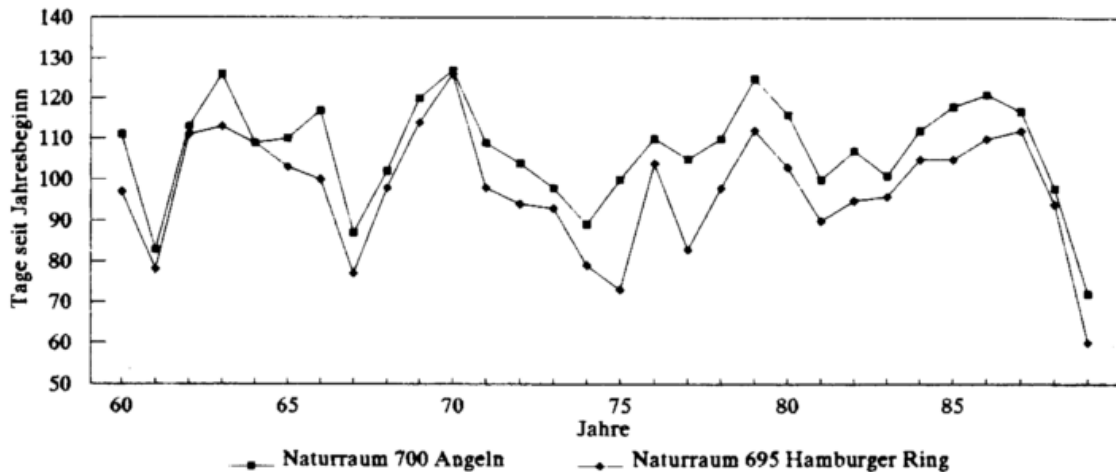


Abb. 3.2.6 Typische phänologische Kurven des Raumtyps 10, Beginn der Forsythienblüte

Ein aus 173 Naturräumen bestehender phänologisch einheitlicher Raumtyp überwiegt im Südteil des Norddeutschen Tieflands und im größeren Teil der Mittelgebirge und Süddeutschlands (Raumtyp 5). Dieser Raumtyp nimmt mehr als zwei Drittel der Fläche Westdeutschlands ein, was bedeutet, daß die Zeitmuster des Eintrittstermins der Forsythienblüte vom südlichen Norddeutschen Tiefland bis ins Alpenvorland sehr einheitlich sind (Abb. 3.2.7).

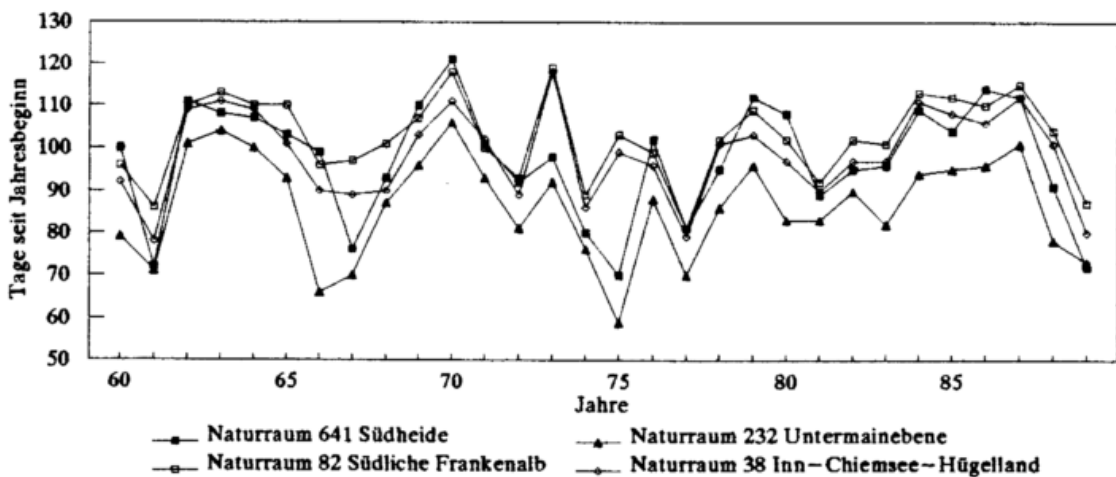


Abb. 3.2.7 Typische phänologische Kurven des Raumtyps 5, Beginn der Forsythienblüte

Der aus 64 Naturräumen bestehende dritte Hauptraumtyp (Raumtyp 1) faßt den Harz, das Hessische Bergland, den Bayerischen Wald und die Bayerischen Alpen zusammen. Seine typischen Zeitmuster zeigt Abb. 3.2.8.

Phaenologisch einheitliche Raumtypen in Westdeutschland  
aufgrund der Clusteranalyse (Beginn der Forsythienblüte)

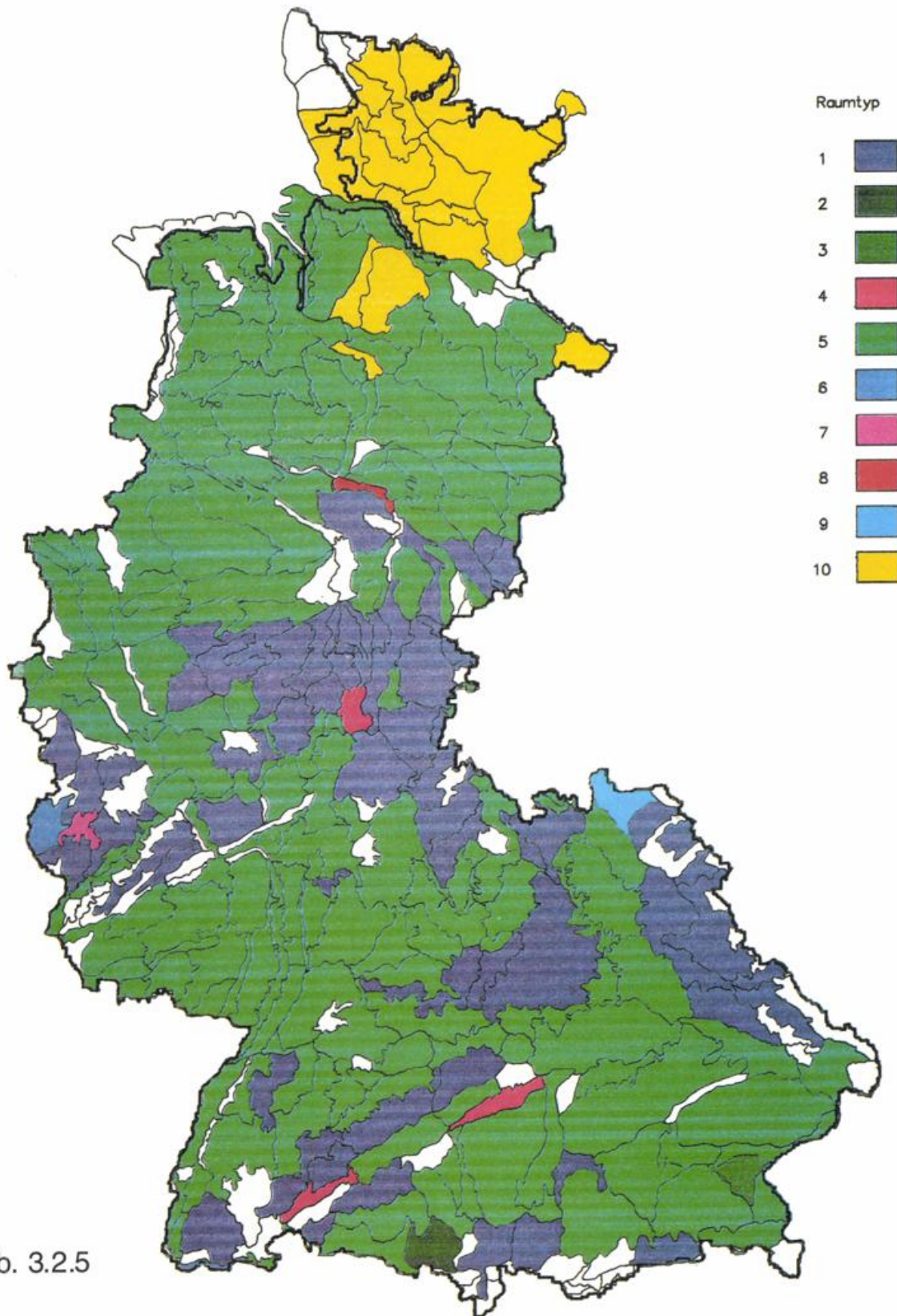


Abb. 3.2.5

Ähnlich wie bei der Haselblüte dominiert auch eine 4jährige Persistenz bei den Zeitreihen der Forsythienblüte in Nord- und Süddeutschland (Raumtyp 10 und 5). Aber im Raumtyp 1 findet man nur wenige Zeitreihen mit einer signifikanten Persistenz von 4 Jahren.

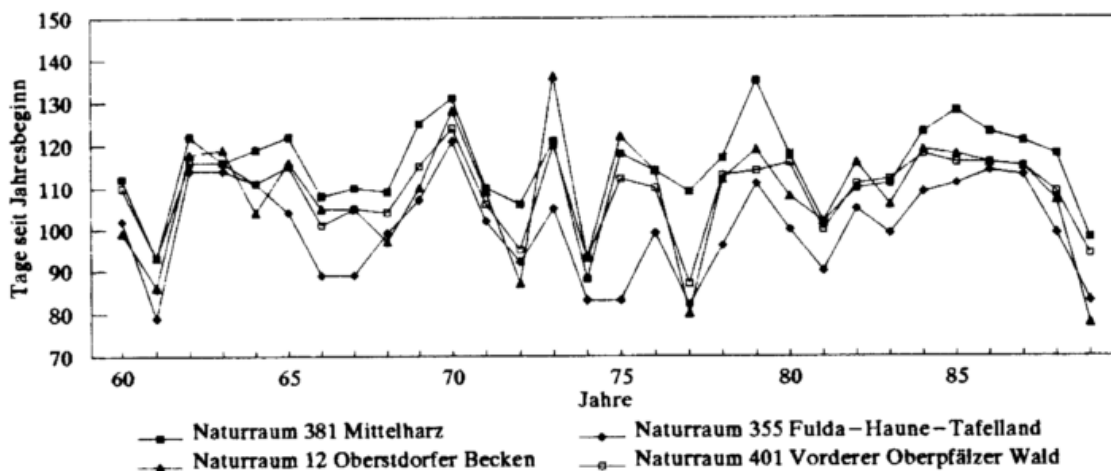


Abb. 3.2.8 Typische phänologische Kurven des Raumtyps 1, Beginn der Forsythienblüte

Die anderen 7 kleinen phänologisch einheitlichen Raumtypen haben in Westdeutschland nur lokale Bedeutung. Im nächsten Fusionsschritt werden 3 der 7 Raumtypen (Raumtyp 3, 7 und 8) mit den obengenannten Hauptraumtypen zusammengefaßt (s. Tab. 3.2.4).

Das geographische Verteilungsmuster der drei phänologisch einheitlichen Hauptraumtypen im Erstfrühling wird vermutlich vom stärker werdenden ozeanischen Einfluß in Norddeutschland, insbesondere in Schleswig-Holstein, und vom Einfluß der Reliefstruktur in den Mittel- und Hochgebirgen verursacht.

Das Ähnlichkeitsniveau innerhalb der drei Hauptraumtypen weist darauf hin, daß die räumliche Ähnlichkeit der Forsythienblüte in den zwei südlichen phänologischen Raumtypen (Raumtyp 1 und 5) größer als im Schleswig-Holsteinischen Land (Raumtyp 10) ist. Dies kann auch durch eine Häufigkeitsanalyse von fusionierten Naturräumen bei verschiedenen r-Niveaus in den drei Hauptraumtypen nachgewiesen werden (Tab. 3.2.5).

Tab.3.2.5 Relative Häufigkeit von fusionierten Naturräumen bei verschiedenen r-Niveaus in den drei Hauptraumtypen, Beginn der Forsythieblüte

r	Raumtyp 1	5	10
≥ 0.95	42.2%	57.8%	55.6%
≥ 0.90	78.1%	90.2%	66.7%
≥ 0.85	96.9%	97.7%	72.2%
≥ 0.80	100%	100%	94.4%
≥ 0.75			94.4%
≥ 0.70			100%

Es zeigt sich, daß im nächsten Fusionsschritt der Raumtyp 5 und 10 vereinigt wurde (s. Tab. 3.2.4), d.h. das gesamte Norddeutsche Tiefland und der größere Teil der Mittelgebirge und Süddeutschlands ist hinsichtlich der phänologischen Entwicklung im Erstfrühling ähnlicher als die beiden geographischen

Bereiche und der Bereich des Raumtyps 1. Das Ergebnis zeigt eine genau umgekehrte Fusionsrichtung der räumlichen Kombination wie im Vorfrühling.

Der räumliche Zusammenhang zwischen den phänologisch einheitlichen Raumtypen und den "Größeren Naturräumlichen Landschaftseinheiten" ist in Tab. 3.2.6 dargestellt.

Tab. 3.2.6 Absolute Häufigkeit von Naturräumen in den phänologischen einheitlichen Raumtypen in Abhängigkeit von "Größeren Naturräumlichen Landschaftseinheiten" (GNLE), Forsythienblüte

GNLE	Typ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Σ
I						53					18	71
II	4					12			1			17
III	2											2
IV	14					17	1	1				33
V	13				1	5						19
VI	3									1		4
VII	1					5						6
VIII						6						6
IX	1					18						19
X	2					3						5
XI	13				1	35	1					50
XII	4					1						5
XIII	5	1	1	1	1	17						25
XIV	2					1						3
Σ	64	1	1		3	173	2	1	1	1	18	265

Die meisten Naturräume der drei Hauptraumtypen konzentrieren sich in folgenden "Größeren Naturräumlichen Landschaftseinheiten":

- der Raumtyp 10 dominiert in der Nordfriesischen Marsch, in der Schleswig-Holsteinischen Geest und im Schleswig-Holsteinischen Hügelland;
- der Raumtyp 5 dominiert in 9 "Größeren Naturräumlichen Landschaftseinheiten": im Norddeutschen Tiefland mit Ausnahme des Schleswig-Holsteinischen Landes, im Niedersächsischen Bergland, Rheinischen Schiefergebirge, Südwestdeutschen Stufenland, Saar-Nahe-Bergland, Oberrheinischen Tiefland, Schwarzwald, Süddeutschen Stufenland und Deutschen Alpenvorland;
- der Raumtyp 1 dominiert im Harz, im Hessischen Bergland, im Thüringisch-Fränkischen Mittelgebirge, im Oberpfälzisch-Bayerischen Wald und in den Bayerischen Alpen.

Es bedeutet, daß die obigen "Größeren Naturräumlichen Landschaftseinheiten", die überwiegend zu einem bestimmten phänologischen Raumtyp gehören, ein ähnliches phänologisches Zeitmuster des Beginns der Forsythienblüte besitzen.

### 3.2.3 Frühsommer

Der Beginn des phänologischen Frühsommers ist fixiert durch den Beginn der Blüte des Schwarzen Holunders. Im Vergleich zu der Haselblüte im Vorfrühling und zu der Forsythienblüte im Erstfrühling ist

Phaenologisch einheitliche Raumtypen in Westdeutschland  
 aufgrund der Clusteranalyse  
 (Beginn der Blüte des Schwarzen Holunders)

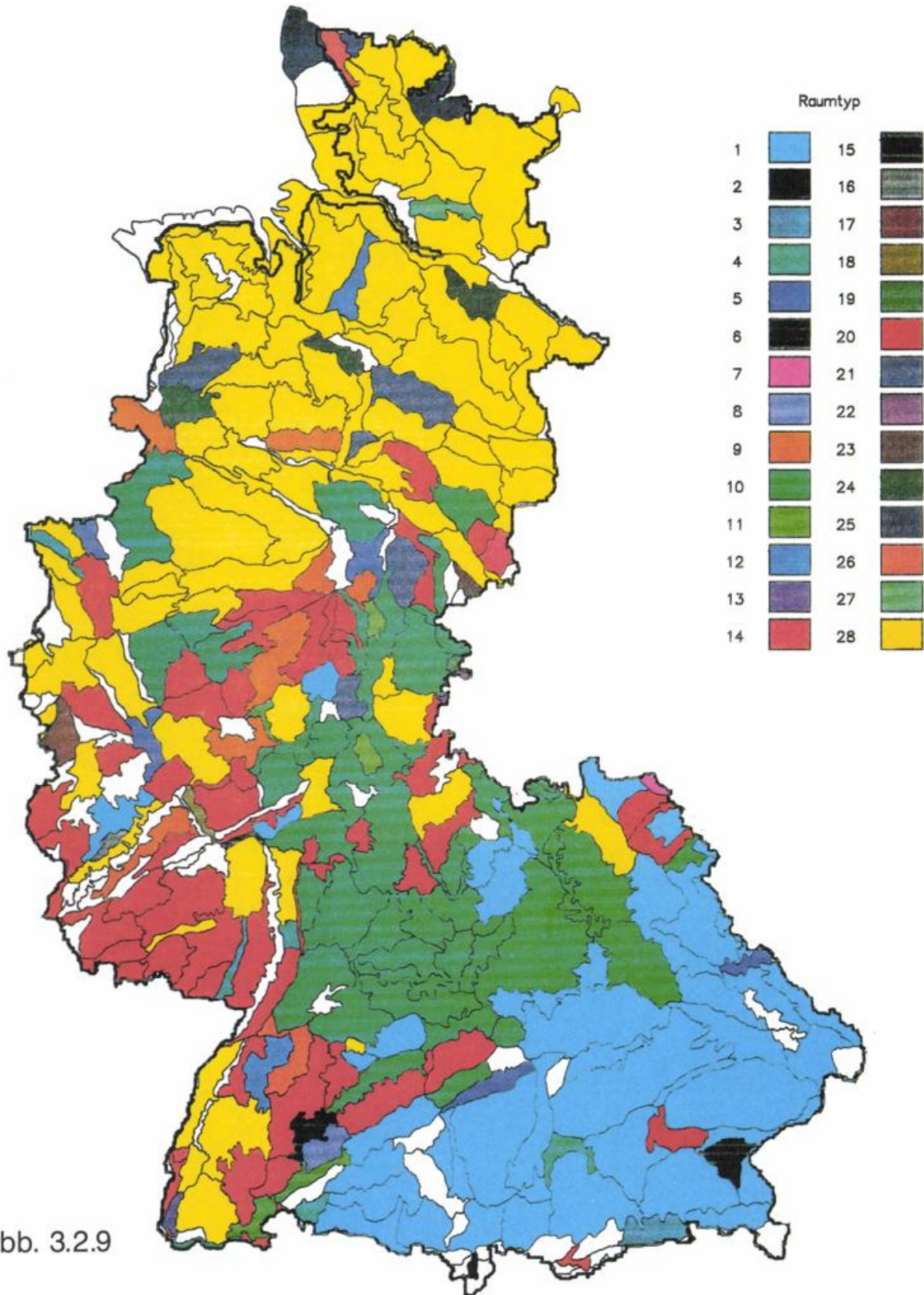


Abb. 3.2.9

der räumliche Korrelationskoeffizient zwischen den phänologischen Zeitreihen der Naturräume bei der Blüte des Schwarzen Holunders niedriger. Um eine Überschaubarkeit der regionalen Klassifikation zu erhalten, wurde nach den im Kapitel 3.1 dargestellten Kriterien das Gebiet Westdeutschlands in 28 phänologisch einheitliche Raumtypen unterteilt, wobei innerhalb jedes Raumtyps die Korrelationskoeffizienten zwischen den phänologischen Zeitreihen der Naturräume größer als 0.59 (Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.001) sind. Unter diesen 28 Raumtypen dominieren 4 (Abb. 3.2.9, Tab. 3.2.7).

Tab. 3.2.7 Statistische Maße der phänologisch einheitlichen Raumtypen (Cluster) zu Beginn der Blüte des Schwarzen Holunders

Raumtyp Nr.	Häufigkeit des Naturraums	$r_{\min}$	$D_r$	ähnlichster Raumtyp Nr.
1	42	0.6323	0.0742	20
2	2	0.6512	0.2883	20
3	1	(1.0000)	0.4952	22
4	5	0.6814	0.1292	11
5	5	0.6437	0.0701	21
6	2	0.5923	0.2445	2
7	1	(1.0000)	0.5674	3
8	1	(1.0000)	0.4176	17
9	8	0.6279	0.1003	26
10	46	0.7069	0.1139	28
11	5	0.7006	0.1415	18
12	2	0.7040	0.178	5
13	1	(1.0000)	0.4651	15
14	2	0.6278	0.0469	16
15	1	(1.0000)	0.4651	13
16	1	(1.0000)	0.4191	14
17	1	(1.0000)	0.4176	8
18	1	(1.0000)	0.4409	11
19	1	(1.0000)	0.511	8
20	54	0.6193	0.0612	1
21	6	0.5983	0.0247	5
22	1	(1.0000)	0.4952	3
23	1	(1.0000)	0.4639	24
24	3	0.6691	0.133	23
25	2	0.7117	0.1713	27
26	1	(1.0000)	0.4724	9
27	1	(1.0000)	0.4596	25
28	82	0.6341	0.0411	10
$\Sigma$	279			

Das Norddeutsche Tiefland zeichnet sich aufgrund des phänologischen Zeitmusters der Blüte des Schwarzen Holunders als einheitlich aus (Raumtyp 28). Insgesamt umfaßt dieser phänologische Raumtyp 82 Naturräume. Die typischen phänologischen Kurven zeigt Abb. 3.2.10.

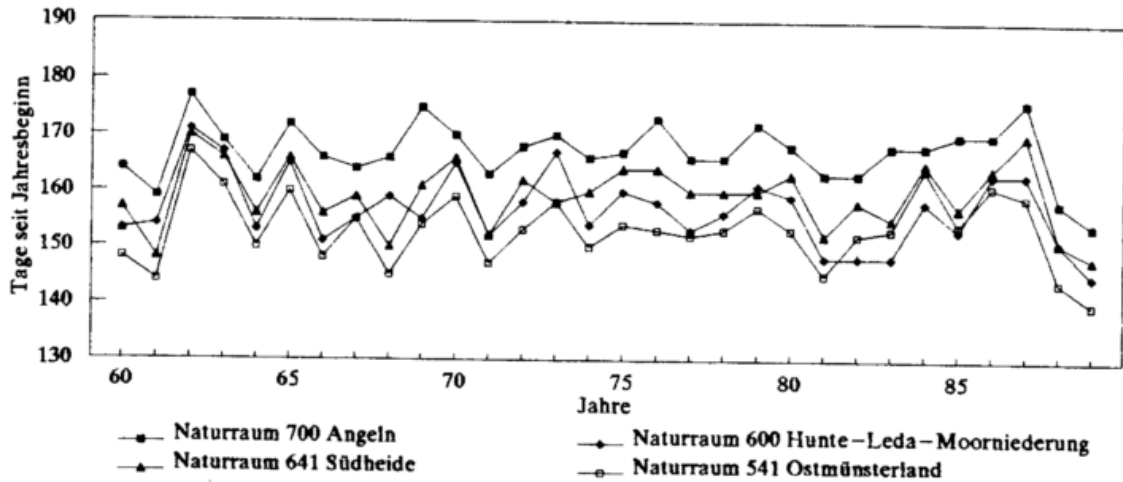


Abb. 3.2.10 Typische phänologische Kurven des Raumtyps 28, Beginn der Blüte des Schwarzen Holunders

Ein aus 42 Naturräumen bestehender zweiter dominierender phänologisch einheitlicher Raumtyp überdeckt das Deutsche Alpenvorland, den Oberpfälzischen und Bayerischen Wald und das Thüringisch-Fränkische Mittelgebirge (Raumtyp 1). Dieser Raumtyp ist durch die in Abb. 3.2.11 dargestellten phänologischen Kurven typisiert.

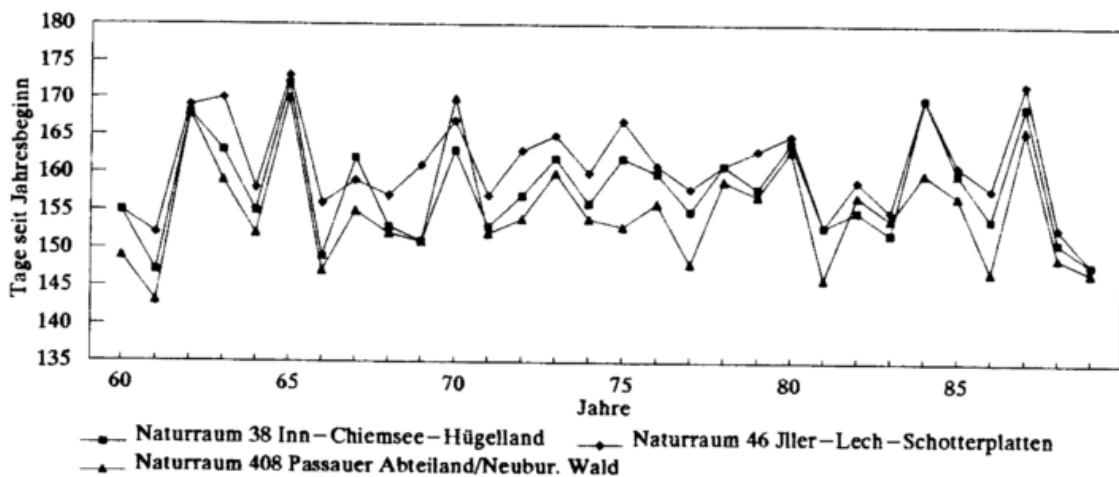


Abb. 3.2.11 Typische phänologische Kurven des Raumtyps 1, Beginn der Blüte des Schwarzen Holunders

Ein dritter erstreckt sich von Franken und dem nördlichen Teil Baden-Württembergs nach Hessen und Nordrhein-Westfalen (Raumtyp 10). In diesem Raumtyp wurden 46 Naturräume mit ähnlichen phänologischen Zeitmustern zusammengefaßt (Abb. 3.2.12).

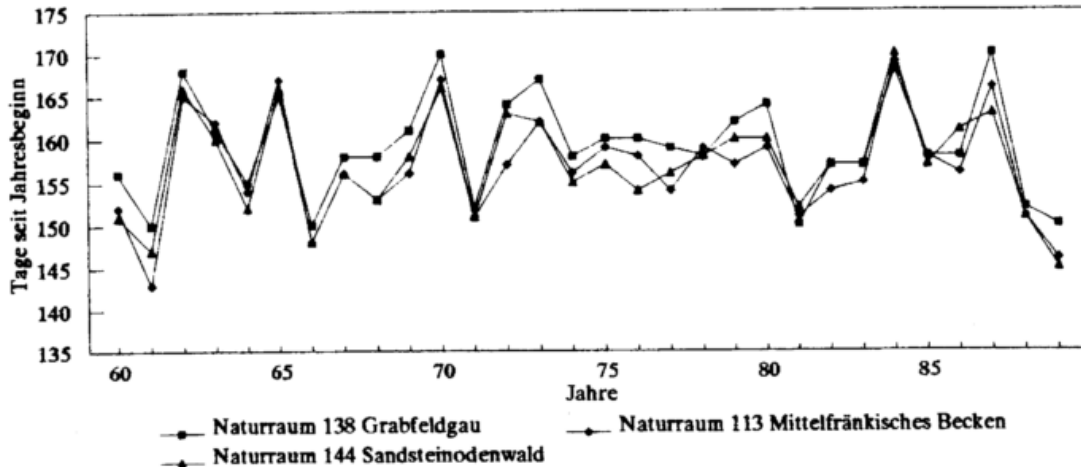


Abb. 3.2.12 Typische phänologische Kurven des Raumtyps 10, Beginn der Blüte des Schwarzen Holunders

Der phänologisch einheitliche Raumtyp 20 umfaßt 54 Naturräume und verteilt sich über mehrere verschiedene geographische Bereiche. Ein relativ kontinuierliches Verteilungsgebiet dieses Raumtyps dominiert im Südwestdeutschen Stufenland und im Saar-Nahe Bergland (s. Abb. 3.2.9). Die typischen phänologischen Kurven zeigt Abb. 3.2.13.

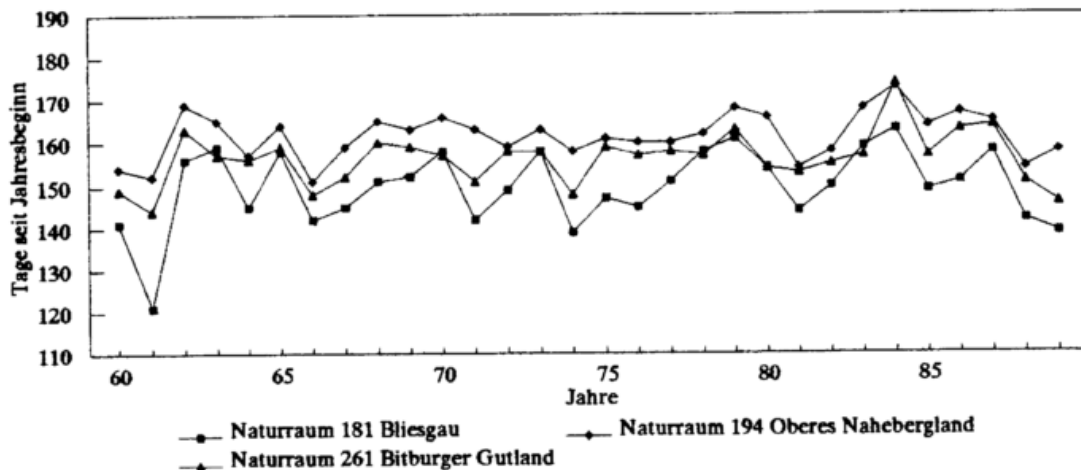


Abb. 3.2.13 Typische phänologische Kurven des Raumtyps 20, Beginn der Blüte des Schwarzen Holunders

Da die signifikante Persistenz bei den Zeitreihen der Holunderblüte nur schwach nachweisbar ist, werden hier nur einige Beispiele genannt. Im Norddeutschen Tiefland (Raumtyp 28) weist die Zeitreihe des Naturraums 700 (Angeln) zwei Persistenzen von jeweils 2 und 7 Jahren auf, während im Süddeutschen Stufenland (Raumtyp 10) und im Deutschen Alpenvorland (Raumtyp 1) die 4jährige Persistenz im Naturraum 113 und 38 auftritt.

Das geographische Verteilungsmuster der Blüte des Schwarzen Holunders ist stärker meridional als zonal ausgerichtet, insbesondere in Süddeutschland. Ferner verteilen sich die meisten Raumtypen räumlich sehr diskontinuierlich, selbst im Norddeutschen Tiefland. Dort stellen einige Naturräume der Sand- und Marschböden Ausnahmen dar. Im mittleren Gebiet Westdeutschlands erweist sich der Beginn der Blüte des Schwarzen Holunders als inhomogen, was durch große Unterschiede der für benachbarte Naturräume berechneten Korrelationskoeffizienten zum Ausdruck kommt. Es ergeben sich bei einem Korrelationsniveau von  $r \geq 0.59$  insgesamt mehr als 10 phänologisch einheitliche Raumtypen

in diesem Gebiet. Das insgesamt nicht einheitlichere Bild des Fröhsummers (im Vergleich zum Vorfröhling und Erstfröhling) deutet darauf hin, daß mit stärker werdender Dominanz von Strahlungstagen zum Sommer hin geländeklimatologische und geoökologische Einflüsse an Bedeutung gewinnen. Ein Beispiel hierfür ist der Schwarzwald, der zu dem nördlichen phänologisch einheitlichen Raumtyp gehört (s. Abb. 3.2.9). Diese räumliche Heterogenität wird durch die Existenz der anderen 24 kleineren Raumtypen verstärkt.

Es zeigt sich, daß das Gebiet mit dem höchsten räumlichen Ähnlichkeitsniveau innerhalb der vier Hauptraumtypen im nördlichen Teil des Süddeutschen Stufenlandes und in Teilen des Hessischen Berglandes (Raumtyp 10) liegt und das Gebiet mit dem geringsten Ähnlichkeitsniveau im Südwestdeutschen Stufenland und Saar-Nahe-Bergland (Raumtyp 20) konzentriert ist (Tab. 3.2.7 und 3.2.8). Interessant ist, daß diese beiden Raumtypen mit extremen Ähnlichkeitsniveaus gleichzeitig im Mittelgebirge Westdeutschlands dominieren, der ein ganz anderes räumliches Ähnlichkeitsmuster als im phänologischen Fröhling aufweist.

Tab. 3.2.8 Relative Häufigkeit von fusionierten Naturräumen bei verschiedenen r-Niveaus in den Hauptraumtypen, Beginn der Blüte des Schwarzen Holunders

r	Raumtyp 1	10	20	28
≥0.95	11.9%	15.2%	0%	2.4%
≥0.90	45.2%	71.7%	16.7%	35.4%
≥0.85	66.7%	95.7%	48.1%	72.0%
≥0.80	85.7%	95.7%	81.5%	84.1%
≥0.75	92.9%	95.7%	90.7%	98.8%
≥0.70	100%	100%	96.3%	98.8%
≥0.65			100%	98.8%
≥0.60				100%

Im nächsten Fusionsschritt der Clusteranalyse wurde Raumtyp 1 und 20 zusammengefaßt und gleichzeitig bildeten Raumtyp 10 und 28 einen größeren Raumtyp. Dann bleiben wie im Fröhling nur noch zwei phänologische Hauptraumtypen im Gebiet Westdeutschlands übrig. Ein größerer Hauptraumtyp erstreckt sich vom Norddeutschen Tiefland durch das Hessische Bergland zum Süddeutschen Stufenland, während der andere das Südwestdeutsche Stufenland, das Deutsche Alpenvorland, den Oberpfälzisch-Bayerischen Wald und das Thüringisch-Fränkische Mittelgebirge umfaßt (s. Tab. 3.2.7 und Abb. 3.2.9).

Die räumliche Beziehung zwischen den phänologisch einheitlichen Raumtypen und den "Größeren Naturräumlichen Landschaftseinheiten" ist für den Beginn des phänologischen Fröhsummers in Tab. 3.2.9 dargestellt.

Bezüglich der vier Hauptraumtypen konzentrieren sich die zugehörigen Naturräume in folgenden "Größeren Naturräumlichen Landschaftseinheiten":

- der Raumtyp 28 dominiert im Norddeutschen Tiefland und im Niedersächsischen Bergland;
- der Raumtyp 20 dominiert im Südwestdeutschen Stufenland und im Saar-Nahe-Bergland;
- der Raumtyp 10 dominiert im Süddeutschen Stufenland;
- der Raumtyp 1 dominiert im Oberpfälzisch-Bayerischen Wald und im Deutschen Alpenvorland.

Im Vergleich zum Fröhling ist diese obige räumliche Beziehung schwächer geworden, d.h. im Fröhsummer gibt es weniger "Größere Naturräumliche Landschaftseinheiten", die im Hinblick auf die phänologische Entwicklung ähnlich sind wie im Fröhling.

Tab. 3.2.9 Absolute Häufigkeit von Naturräumen in den phänologisch einheitlichen Raumtypen in Abhängigkeit von "Größeren Naturräumlichen Landschaftseinheiten" (GNLE), Beginn der Blüte des Schwarzen Holunders

GNLE	Typ													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
I				1	1				2	1		1		
II					1				2	3				
III														1
IV	1				1				3	4	1			
V	1									8	2	1		
VI	2						1			1				
VII														
VIII														
IX	1			2						2			1	1
X									1					
XI	10					1		1		27	2			
XII	6				1									
XIII	20			2	1	1								
XIV	1	2	1											
Σ	42	2	1	5	5	2	1	1	8	46	5	2	1	2

Tab. 3.2.9 Fortsetzung

GNLE	Typ														Σ
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
I						3	4			3	2	1	1	54	74
II						1	1		1					9	18
III						1									2
IV		1	1	1		14								6	33
V					1	3	1	1						2	20
VI						2									6
VII						6									6
VIII						4								1	5
IX	1					7								5	20
X						2								2	5
XI						9								3	53
XII															7
XIII						1									25
XIV						1									5
Σ	1	1	1	1	1	54	6	1	1	3	2	1	1	82	279

### 3.2.4 Vollherbst

Im Vergleich zu den Blühphasen vom Frühling bis zum Sommer liefern die phänologischen Zeitreihen der Herbstphasen, z.B. Fruchtreife und Blattverfärbung, insgesamt räumlich inhomogenere Muster in Westdeutschland. In diesem Kapitel wird das Ergebnis der Clusteranalyse von der Blattverfärbung der Roßkastanie dargestellt. Mit dieser Phase beginnt der phänologische Vollherbst.

Anhand der bis  $r \geq 0.33$  absteigenden Korrelationskoeffizienten wurde das Gebiet Westdeutschlands in 30 phänologisch einheitliche Raumtypen unterteilt. Das Korrelationsniveau  $r = 0.33$  (Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.1) ist im Vollherbst vergleichbar mit dem des Frühlings und des Sommers niedriger. Von den 30 Raumtypen überwiegen 2 (s. Abb. 3.2.14 und Tab. 3.2.10).

Der Raumtyp 14 umfaßt 79 Naturräume und dominiert im Deutschen Alpenvorland, im Süddeutschen Stufenland, in Teilen des Hessischen Berglands (Osthessisches Bergland und Rhön) und im westlichen Teil des Süderberglands. Nach Norden erstreckt sich dieser Raumtyp bis ins Norddeutsche Tiefland. Die Irrtumswahrscheinlichkeit der räumlichen Korrelation innerhalb des Raumtyps liegt bei 0.05; die typischen phänologischen Kurven des Raumtyps zeigt Abb. 3.2.15.

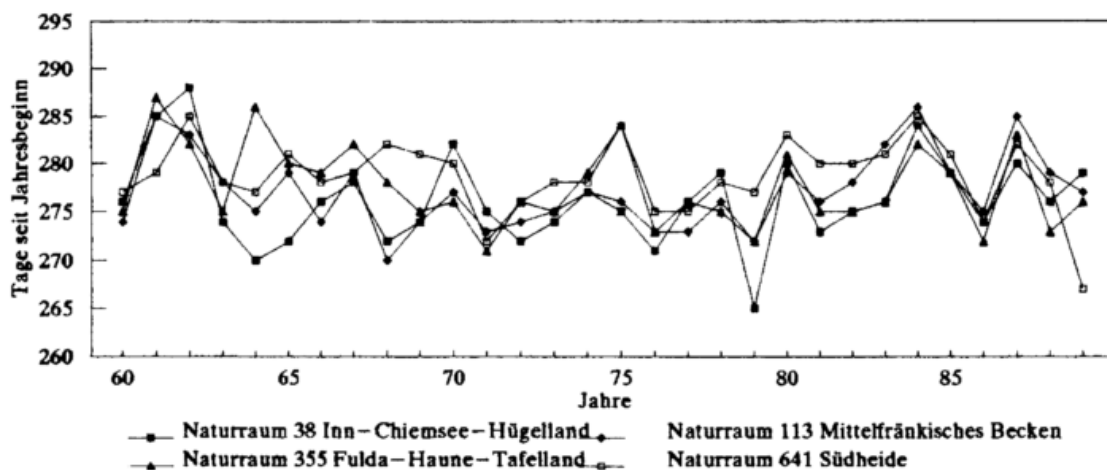


Abb. 3.2.15 Typische phänologische Kurven des Raumtyps 14, Blattverfärbung der Roßkastanie

Der zweite Hauptraumtyp (Raumtyp 18) zeigt eine räumlich sehr inhomogene Verteilung, die unabhängig vom Makroklima und von der geographischen Lage ist. Die Irrtumswahrscheinlichkeit der räumlichen Korrelation innerhalb des Raumtyps liegt bei 0.1. Dieses Ergebnis weist auf eine geringe räumliche Homogenität hin.

Die übrigen phänologischen Raumtypen nehmen nur kleine geographische Bereiche ein und stellen sich als sehr getrennt dar (s. Abb. 3.2.14).

Die Ursache für die räumliche Inhomogenität des Verteilungsmusters vom Eintrittstermin der Blattverfärbung der Roßkastanie ist unklar. Allerdings wird diese phänologische Phase stärker von pflanzenphysiologischen und genetischen Faktoren sowie von vielfältigen lokalen Umweltbedingungen gesteuert, als andere Phasen (DWD, 1991; Schnelle, 1952).

Phaenologisch einheitliche Raumtypen in Westdeutschland  
 aufgrund der Clusteranalyse  
 (Blattverfärbung der Roßkastanie)

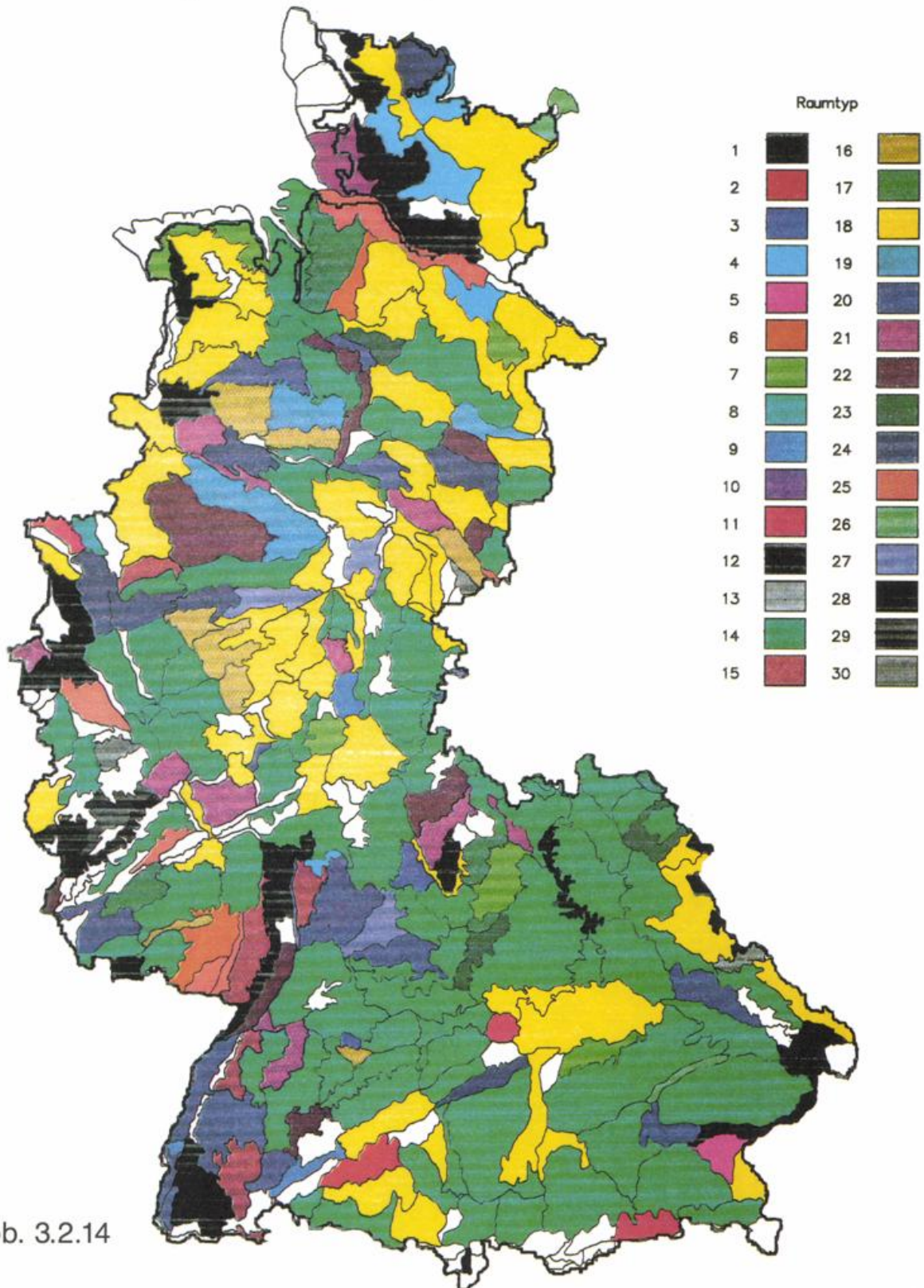


Abb. 3.2.14

Tab. 3.2.10 Statistische Maße der phänologisch einheitlichen Raumtypen (Cluster) bei der Blattverfärbung der Roßkastanie

Raumtyp Nr.	Häufigkeit des Naturraums	$r_{\min}$	$D_i$	ähnlichster Raumtyp Nr.
1	9	0.3263#	0.1286	2
2	1	(1.0000)	0.699	3
3	3	0.4506*	0.1496	2
4	5	0.3515#	0.1119	2
5	1	(1.0000)	0.6823	6
6	2	0.4076*	0.0899	5
7	5	0.3346#	0.0668	8
8	1	(1.0000)	0.7322	7
9	3	0.3523#	0.0416	10
10	1	(1.0000)	0.6893	9
11	3	0.4488*	0.1707	12
12	13	0.3951*	0.0777	13
13	1	(1.0000)	0.6826	12
14	79	0.3735*	0.077	15
15	6	0.3842*	0.0877	14
16	7	0.3919*	0.072	17
17	5	0.428*	0.1081	16
18	54	0.353#	0.0523	19
19	3	0.4641**	0.1634	18
20	14	0.3583#	0.0751	18
21	11	0.3429#	0.1154	18
22	9	0.3789*	0.0856	23
23	3	0.3742*	0.0809	22
24	6	0.4248*	0.1367	25
25	6	0.3536#	0.0655	24
26	2	0.46*	0.1433	27
27	3	0.4399*	0.1232	26
28	1	(1.0000)	0.6912	29
29	1	(1.0000)	0.6912	28
30	2	0.3549#	0.2638	28
$\Sigma$	260			

# nicht signifikant  
 \* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.05  
 \*\* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.01

### 3.2.5 Eine Anwendungsmöglichkeit der phänologischen Klassifikation von Naturräumen

Die phänologische Klassifikation von Naturräumen liefert eine Unterteilung der Naturraumtypen in Gebiete mit ähnlichem zeitlichen Verlauf markanter phänologischer Phasen. Die Ähnlichkeit des zeitlichen Verlaufs wird durch die Korrelationskoeffizienten zwischen den phänologischen Zeitreihen verschiedener Naturräume dargestellt. Obwohl die Eintrittstermine der repräsentativen phänologischen Phasen in einem phänologisch einheitlichen Raumtyp von Jahr zu Jahr und von Naturraum zu Naturraum variieren können, zeigen die phänologischen Reihen aus verschiedenen Naturräumen des Raumtyps eine ähnliche ökologische Reaktion auf jährliche Veränderungen der Umwelt- und Klimabedingungen. Aufgrund dieser Ähnlichkeit kann eine phänologische Prognose zwischen verschiedenen Naturräumen innerhalb eines phänologischen Raumtyps durch eine Regressionsanalyse erstellt werden, wobei die phänologische Reihe aus denjenigen Naturräumen mit früheren Eintrittsterminen als "unabhängige Variable" und die phänologische Reihe aus jenen Naturräumen mit späteren Eintrittsterminen als "abhängige Variable" in die Berechnungen eingeht. Hierzu ein Beispiel:

Bei der Blüte des Schwarzen Holunders (s. Kapitel 3.2.3) wurde das Gebiet Westdeutschlands in 28 phänologisch einheitliche Raumtypen unterteilt, wobei der Raumtyp 28 insgesamt 82 Naturräume mit einem Korrelationskoeffizient  $\geq 0.6341$  umfaßt. Die frühesten Eintrittstermine der Holunderblüte in diesem Raumtyp findet man im Niederrheinischen Tiefland und im Münsterland, womit dieses Gebiet als Ausgangsgebiet für die Prognose der Holunderblüte in diesem Raumtyp in Frage kommt. Von dort aus kann man die räumliche Entwicklung des phänologischen Fröhsommers vorhersagen.

Der mittlere Eintrittstermin der Holunderblüte im Naturraum 541 (Kernmünsterland) ist im Zeitraum 1960-1989 am 153. Tag des Jahres zu datieren (2. Juni), der Eintrittstermin im Naturraum 700 (Angeln) ist der 167. Tag (16. Juni). Der Korrelationskoeffizient zwischen den beiden phänologischen Zeitreihen vom Naturraum 541 (x, unabhängige Variable) und vom Naturraum 700 (y, abhängige Variable) ist 0.7972 (Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.001), was die Aufstellung einer linearen Regressionsgleichung erlaubt:

$$y_{700} = 67.5 + 0.65x_{541}$$

mit x,y als Eintrittstermine der Holunderblüte in Tagen seit Jahresbeginn.

Die durchschnittliche Differenz zwischen den berechneten und den beobachteten Eintrittsterminen der Holunderblüte im Zeitraum 1960-1989 liegt bei ca. 2 Tagen (s. Abb. 3.2.16).

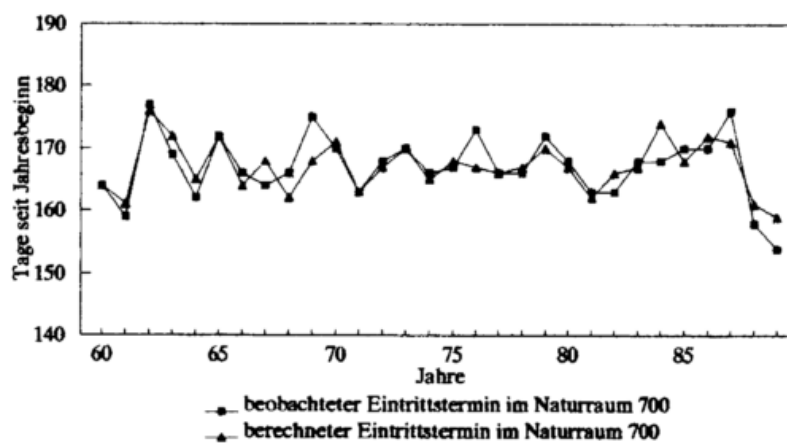


Abb. 3.2.16 Vergleich der berechneten und beobachteten Eintrittstermine für die Blüte des Schwarzen Holunders

Im allgemeinen kann eine derartige lineare Regressionsgleichung auch für andere phänologisch einheitliche Raumtypen und andere Phasen aufgestellt werden. Mit diesem Verfahren kann man die aktuellen phänologischen Entwicklungen in verschiedenen Gebieten bzw. Landschaften vorhersagen. Eine Abschätzung der Zeiträume, in denen sich die entsprechenden landwirtschaftlichen Arbeiten in verschiedenen Agrar-Ökosystemen am geeignetsten durchführen lassen, ist möglich, sobald man die frühesten Eintrittstermine einer phänologischen Phase in einem Gebiet durch die phänologischen Sofortmelder erhält. Die abgeschätzten phänologischen Informationen sind besonders wertvoll für die regionale und überregionale agrarmeteorologische Beratung.

Diese räumliche phänologische Prognose kann auch dazu benutzt werden, unterbrochene oder abgebrochene phänologische Reihen in einem Gebiet mit den durchgehenden phänologischen Reihen der selben Phase aus anderen Gebieten zu füllen bzw. zu verlängern. Die so vervollständigten phänologischen Reihen stehen dann weiteren statistischen Untersuchungen zur Verfügung.

### **3.3 Klimatologische Klassifikation von Stationen für verschiedene Monate**

Im Kapitel 3.2 wurde dargelegt, wie sich verschiedene Naturräume mit ähnlich phänologischem Zeitverhalten zu einheitlichen Raumtypen zusammenlegen lassen. Ein identisches Vorgehen wird hier nun gewählt, um Klimastationen, die ein ähnliches Zeitmuster in ihren 30jährigen Beobachtungsreihen aufweisen, geographisch zu typisieren.

Als phänologisch relevante Klimaparameter werden deshalb der Monatsmittelwert der Lufttemperatur, die Monatssumme der Sonnenscheindauer und die monatliche Niederschlagshöhe des Zeitraums 1960-1989 untersucht.

Da die räumliche Ähnlichkeit der Klimaparameter in den meisten Monaten nach der Cluster-Analyse wesentlich größer ist als die der phänologischen Phasen, ist eine geeignete Gruppierung in maximal 8 klimatologisch einheitliche Raumtypen am sinnvollsten. Die Beschränkung auf diese Anzahl garantierte deutliche unterschiedliche Zeitmuster zwischen den einzelnen Raumtypen.

Hier werden die Ergebnisse der Monate Januar, April, Juli und Oktober dargestellt, da sie als typische Repräsentanten des Winters, des Frühlings, des Sommers und des Herbsts angesehen werden können.

#### **3.3.1 Januar**

Die Abbildungen 3.3.1-3.3.3 zeigen die Verteilung klimatologisch einheitlicher Raumtypen im Januar. Innerhalb dieser Raumtypen ist der Korrelationskoeffizient bei der Temperatur größer als 0.93 (Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.001) und beim Niederschlag größer als 0.72 (Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.001). Im Vergleich hierzu ist der räumliche Korrelationskoeffizient bei der Sonnenscheindauer nur größer als 0.44 (Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.05). Dieser Wert ist der geringste Korrelationskoeffizient bei der Sonnenscheindauer in den vier ausgewählten Monaten.

Die Raumtypisierung der Temperatur zeigt eine großräumige Einheitlichkeit in Nord- und Süddeutschland (Dominanz der Hauptraumtypen I und III). Es zeigt sich, daß im Norden das räumliche Ähnlichkeitsniveau höher ist als das im Süden (Tab. 3.3.1). Dies bedeutet, daß die zeitlichen Abfolgen der mittleren Temperatur im norddeutschen Raumtyp (Typ I) während des Zeitraums 1960-1989 im Januar insgesamt gleichartiger sind als diejenigen im süddeutschen Raumtyp (Typ III).

Der Raumtyp II dominiert im Mittelgebirge und ist räumlich sehr diskontinuierlich, während der Raumtyp IV nur im Hochgebirge, z.B. in den Alpen dominiert (s. Abb. 3.3.1).

Tab. 3.3.1 Statistische Maße der klimatologisch einheitlichen Raumtypen (Cluster) bezüglich der Monatsmitteltemperatur im Januar

Raumtyp Nr.	Anzahl der Stationen	$r_{\min}$	D,	ähnlichster Raumtyp Nr.
I	62	0.9546	0.0586	III
II	25	0.9340	0.0458	I
III	167	0.9269	0.0309	I
IV	3	0.9529	0.1516	I
$\Sigma$	257			



Abb. 3.3.1 Einheitliche Raumtypen bezüglich der mittleren Temperatur im Januar



Abb. 3.3.2 Einheitliche Raumtypen bezüglich der mittleren Sonnenscheindauer im Januar

Bei der Sonnenscheindauer und beim Niederschlag erhält man ein anderes Verteilungsmuster (s. Abb. 3.3.2. und 3.3.3). Das Norddeutsche Tiefland und das Niedersächsische Bergland sind hinsichtlich der zwei Parameter weitgehend homogen (Raumtyp I und II). In Süddeutschland sind die klimatologisch einheitlichen Raumtypen im allgemeinen inhomogener verteilt und auf kleinere Gebiete begrenzt, was in der höheren Anzahl der unterschiedlichen Raumtypen zum Ausdruck kommt. Das flächenmäßig größte einheitliche Gebiet der Sonnenscheindauer im Süden liegt in Bayern (Raumtyp IV) (mit Ausnahme der Alpen und der Umgebung Münchens). Beim Niederschlag dominiert als größtes einheitliches Gebiet allein der hessische und angrenzende Raum (Raumtyp III).



Abb. 3.3.3 Einheitliche Raumtypen bezüglich des mittleren Niederschlags im Januar

Die statistische Analyse zeigt, daß das räumliche Ähnlichkeitsniveau bei der Sonnenscheindauer in Süddeutschland höher ist als das in Norddeutschland (Tab. 3.3.2). Diese Ähnlichkeitsstruktur verhält sich umgekehrt wie die der Temperatur. Beim Niederschlag liegen die räumlich ähnlichsten Gebiete in der Norddeutschen Tiefebene (Raumtyp I) und in Nordbayern (Raumtyp V, s. Tab. 3.3.3).

Tab. 3.3.2 Statistische Maße der klimatologisch einheitlichen Raumtypen (Cluster) bezüglich der mittleren Sonnenscheindauer im Januar

Raumtyp Nr.	Anzahl der Stationen	$r_{\min}$	$D_i$	ähnlichster Raumtyp Nr.
I	43	0.4391 *	0.1113	III
II	12	0.4814 **	0.2585	I
III	8	0.4931 **	0.1161	IV
IV	23	0.5207 **	0.1437	III
V	5	0.4673 **	0.1211	VI
VI	21	0.4651 **	0.1189	V
$\Sigma$	112			

\* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.05;

\*\* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.01

Tab. 3.3.3 Statistische Maße der klimatologisch einheitlichen Raumtypen (Cluster) bezüglich des mittleren Niederschlags im Januar

Raumtyp Nr.	Anzahl der Stationen	$r_{\min}$	$D_r$	ähnlichster Raumtyp Nr.
I	30	0.7831	0.1526	II
II	73	0.7654	0.0898	III
III	64	0.7475	0.0719	II
IV	37	0.7167	0.1531	V
V	29	0.7671	0.0688	VI
VI	20	0.7438	0.0455	V
VII	2	0.7457	0.0875	V
$\Sigma$	255			

### 3.3.2 April

Bezogen auf Vergleichswerte des Januars sind im April aufgrund der Beschränkung auf maximal 8 einheitliche Raumtypen die Korrelationskoeffizienten bezüglich der untersuchten Klimaparameter deutlich verändert. Aufgrund der räumlich höheren Ähnlichkeit der Sonnenscheindauer steigt der Korrelationskoeffizient innerhalb der Raumtypen auf einen Wert von 0.817, während die Korrelationskoeffizienten bezüglich der Temperatur und des Niederschlags auf Werte jeweils von 0.86 und von 0.65 sinken (s. Tab. 3.3.4-3.3.6). Damit ist das Zeitmuster der Sonnenscheindauer im Frühling räumlich weniger variabel als im Winter, während sich die Zeitmuster der Temperatur und des Niederschlags umgekehrt hierzu verhalten (vgl. Tab. 3.3.1-3.3.3). Die geographischen Verteilungsmuster sind für die drei Parameter stärker zonal als meridional ausgerichtet (s. Abb. 3.3.4-3.3.6).

Aufgrund des maritimen Einflusses im Frühjahr erweist sich das Norddeutsche Tiefland im Vergleich zum Winter bei der Temperatur als weniger homogen. Es wird in drei Raumtypen von der Küste bis zum Niedersächsischen Bergland unterteilt (Raumtyp I, II, III). Nach Süden hin bis zum Deutschen Alpenvorland dominiert der Raumtyp IV, der ungefähr zwei Drittel der Fläche Westdeutschlands einnimmt und 140 Stationen umfaßt. Ferner zeichnen der Schwarzwald, das Alpenvorland, die Bayerischen Alpen und der Bayerische Wald sich aufgrund des zeitlichen Verlaufs der Temperatur im April als einheitlich aus (Raumtyp V). Es zeigt sich wie im Januar, daß das räumliche Ähnlichkeitsniveau innerhalb der Raumtypen im Norddeutschen Tiefland höher ist als in Süddeutschland (s. Tab. 3.3.4).

Tab. 3.3.4 Statistische Maße der klimatologisch einheitlichen Raumtypen (Cluster) bezüglich der Monatsmitteltemperatur im April

Raumtyp Nr.	Anzahl der Stationen	$r_{\min}$	$D_r$	ähnlichster Raumtyp Nr.
I	2	0.9087	0.1119	II
II	21	0.9101	0.1133	I
III	31	0.8849	0.0525	IV
IV	140	0.8618	0.0294	III
V	63	0.8668	0.0630	III
$\Sigma$	257			



Abb. 3.3.4 Einheitliche Raumtypen bezüglich der mittleren Temperatur im April



Abb. 3.3.5 Einheitliche Raumtypen bezüglich der mittleren Sonnenscheindauer im April

Bei der Sonnenscheindauer und beim Niederschlag erweist sich Norddeutschland im Vergleich zum Januar erneut als recht einheitlich (Raumtyp I und II). In Süddeutschland sind die einheitlichen Raumtypen im Vergleich zum Januar homogener verteilt. Die flächenmäßig größten einheitlichen Gebiete der Sonnenscheindauer liegen in Hessen und den angrenzenden Bereichen der Nachbarländer (Raumtyp III) und in Baden-Württemberg und Bayern mit Ausnahme der Alpen (Raumtyp IV, s. Abb. 3.3.5). Als größtes einheitliches Gebiet des Niederschlags dominieren der hessische und angrenzende Raum und die nördlichen Teile Baden-Württembergs und Bayerns (Raumtyp IV, s. Abb. 3.3.6).

Tab. 3.3.5 Statistische Maße der klimatologisch einheitlichen Raumtypen (Cluster) bezüglich der mittleren Sonnenscheindauer im April

Raumtyp Nr.	Anzahl der Stationen	$r_{\min}$	$D_r$	ähnlichster Raumtyp Nr.
I	23	0.8167	0.2476	II
II	16	0.8933	0.0840	III
III	19	0.8785	0.0692	II
IV	50	0.8372	0.0858	II
V	5	0.8833	0.1793	II
$\Sigma$	113			

Die räumlich ähnlichsten Gebiete innerhalb der Raumtypen bei der Sonnenscheindauer liegen im mitteleuropäischen Bereich (Raumtyp II und III) und in den Bayerischen Alpen (Raumtyp V, s.Tab. 3.3.5), während beim Niederschlag die räumlich ähnlichsten Gebiete sich in der Kölner Tieflandsbucht (Raumtyp III) und in den Alpen konzentrieren (Raumtyp VIII, s. Tab. 3.3.6).



Abb. 3.3.6 Einheitliche Raumtypen bezüglich des mittleren Niederschlags im April

Tab. 3.3.6 Statistische Maße der klimatologisch einheitlichen Raumtypen (Cluster) bezüglich des mittleren Niederschlags im April

Raumtyp Nr.	Anzahl der Stationen	$r_{\min}$	$D_i$	ähnlichster Raumtyp Nr.
I	58	0.6698	0.0619	II
II	30	0.7367	0.1288	I
III	2	0.8886	0.4196	IV
IV	90	0.6549	0.1120	VI
V	8	0.6553	0.0326	VII
VI	29	0.7204	0.1775	IV
VII	27	0.7032	0.0805	V
VIII	11	0.7899	0.2828	I
$\Sigma$	255			

### 3.3.3 Juli

Im Vergleich zum Frühling (April) ist der räumliche Korrelationskoeffizient des Niederschlags im Sommer deutlich auf den Wert von 0.47 (Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.01) gesunken. Dieser Wert entspricht dem geringsten Korrelationskoeffizienten beim Niederschlag in den vier ausgewählten Monaten. Dagegen sind die räumlichen Korrelationskoeffizienten bezüglich der Temperatur und der Sonnenscheindauer auf Werte jeweils von 0.88 und 0.824 leicht gestiegen. Die im April bestehenden stärker zonalen Verteilungsmuster erhält man auch im Juli, insbesondere bei der Temperatur und der Sonnenscheindauer.

Ein aus drei Hauptraumtypen bestehendes Verteilungsmuster zeigt die mittlere Temperatur im Juli (s. Abb. 3.3.7). Der Raumtyp I dominiert im Norddeutschen Tiefland, im Niedersächsischen und Hessischen Bergland und im nördlichen Teil des Rheinischen Schiefergebirges, während der Raumtyp IV sich vom Rhein-Main-Gebiet nach Franken und zur Oberpfalz erstreckt. In Baden-Württemberg und in Bayern dominiert der Raumtyp V. Es zeigt sich, daß das räumliche Ähnlichkeitsniveau innerhalb der drei Hauptraumtypen in Nord- und Süddeutschland höher ist als das im mitteldeutschen Bereich (s. Tab. 3.3.7).



Abb. 3.3.7 Einheitliche Raumtypen bezüglich der mittleren Temperatur im Juli

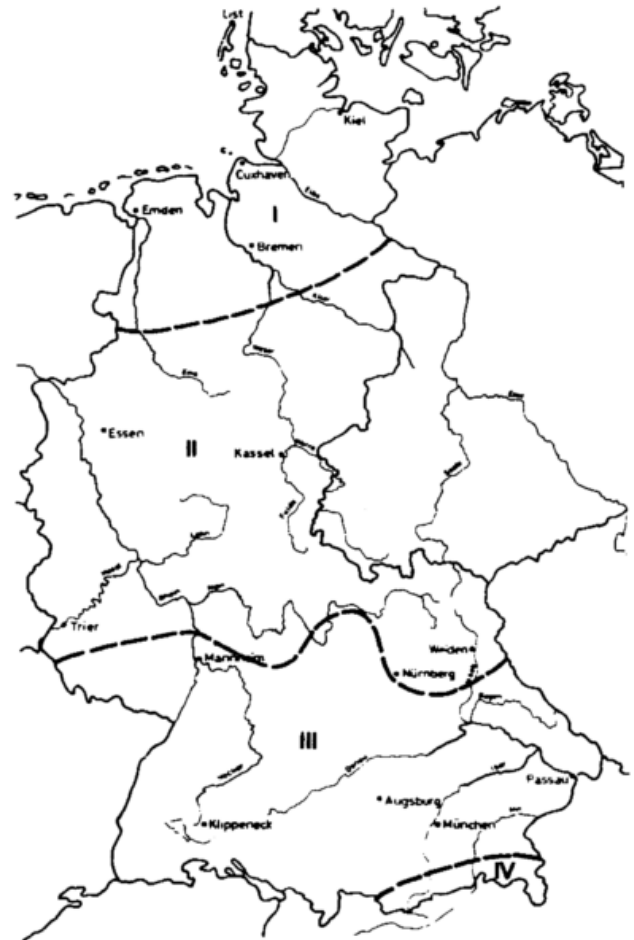


Abb. 3.3.8 Einheitliche Raumtypen bezüglich der mittleren Sonnenscheindauer im Juli

Tab. 3.3.7 Statistische Maße der klimatologisch einheitlichen Raumtypen (Cluster) bezüglich der Monatsmitteltemperatur im Juli

Raumtyp Nr.	Anzahl der Stationen	$r_{\min}$	$D_r$	ähnlichster Raumtyp Nr.
I	88	0.8963	0.0334	II
II	1	(1.0000)	0.1371	I
III	2	0.9042	0.0557	I
IV	116	0.8753	0.0358	V
V	53	0.9054	0.0659	IV
$\Sigma$	260			

Bei der Sonnenscheindauer weist die Raumtypisierung ein regelmäßiges zonales Verteilungsmuster auf (s. Abb. 3.3.8). Damit erfolgt eine Unterteilung in vier einheitliche Raumtypen. Diese Raumtypen liegen in der Norddeutschen Tiefebene (Raumtyp I) und in den Deutschen Alpen (Raumtyp IV), und erstrecken sich jeweils von Nordrhein-Westfalen nach Franken (Raumtyp II) sowie vom Saarland nach Bayern (Raumtyp III).

Das räumliche Ähnlichkeitsniveau innerhalb dieser Raumtypen zeigt bei der Sonnenscheindauer ähnliche Verhältnisse wie bei der Temperatur, d.h. der mitteldeutsche Bereich und das Süddeutschland besitzen eine geringere räumliche Ähnlichkeit als die Norddeutsche Tiefebene und die Alpen (s. Tab. 3.3.8).

Tab. 3.3.8 Statistische Maße der klimatologisch einheitlichen Raumtypen (Cluster) bezüglich der mittleren Sonnenscheindauer im Juli

Raumtyp Nr.	Anzahl der Stationen	$r_{\min}$	$D_r$	ähnlichster Raumtyp Nr.
I	20	0.8515	0.3267	II
II	45	0.8313	0.1423	III
III	44	0.8237	0.0833	IV
IV	4	0.8818	0.1414	III
$\Sigma$	113			

Beim Niederschlag erweist sich Norddeutschland im Vergleich zum April homogener. In Süddeutschland bzw. in Baden-Württemberg und in Südbayern sind die Raumtypen weniger homogen verteilt als im April und auf mehrere kleinere Gebiete begrenzt (Abb. 3.3.9).

Es zeigt sich, daß das räumliche Ähnlichkeitsniveau des Niederschlags im allgemeinen in Süddeutschland höher ist als das in Norddeutschland (s. Tab. 3.3.9).



Abb. 3.3.9 Einheitliche Raumtypen bezüglich des mittleren Niederschlags im Juli

Tab. 3.3.9 Statistische Maße der klimatologisch einheitlichen Raumtypen (Cluster) bezüglich des mittleren Niederschlags im Juli

Raumtyp Nr.	Anzahl der Stationen	$r_{\min}$	$D_r$	ähnlichster Raumtyp Nr.
I	87	0.4739	0.0841	III
II	16	0.5332	0.1033	III
III	95	0.4759	0.0229	V
IV	19	0.5531	0.3176	I
V	3	0.6258	0.1728	III
VI	3	0.5761	0.1503	VII
VII	7	0.6070	0.1812	VI
VIII	28	0.4826	0.1658	I
$\Sigma$	258			

### 3.3.4 Oktober

Aufgrund der räumlich höheren Ähnlichkeit des Niederschlags im Oktober steigt der Korrelationskoeffizient auf einen Wert von 0.74, der im Vergleich zu den anderen Monaten am höchsten ist, während die räumliche Ähnlichkeit der Sonnenscheindauer die Werte des Julis und Aprils unterschreitet ( $r \geq 0.75$ ). Die geographische Verteilung der einheitlichen Raumtypen hinsichtlich aller drei Klimaparameter weist ein Wechsellmuster zwischen Sommer (Juli) und Winter (Januar) auf (Abb. 3.3.10-3.3.12).

Die Raumtypisierung der Temperatur zeigt eine annähernde Nord-Süd-Differenzierung mit drei Hauptraumtypen (Raumtyp I, II, und V). Wie in den anderen Jahreszeiten erweist sich das Norddeutsche Tiefland als weitgehend homogen. Das Mittelgebirge und Süddeutschland erweisen sich als inhomogen. Zwar dominieren dort die Raumtypen II und V, gleichzeitig besitzen der Raumtyp V im Mittelgebirge und die Raumtypen II, III und IV in Süddeutschland lokale Bedeutung (s. Abb. 3.3.10). Ferner zeigt es sich, daß generell das räumliche Ähnlichkeitsniveau im Norddeutschen Tiefland (Raumtyp I) höher ist als das im Mittelgebirge und in Süddeutschland (Raumtyp II und V) (s. Tab. 3.3.10).



Abb. 3.3.10 Einheitliche Raumtypen bezüglich der mittleren Temperatur im Oktober

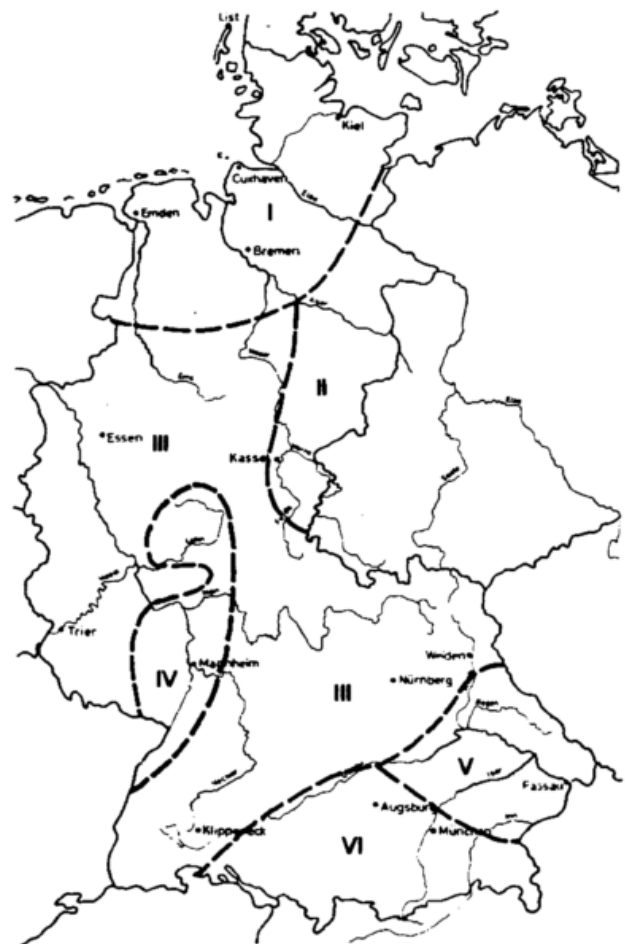


Abb. 3.3.11 Einheitliche Raumtypen bezüglich der mittleren Sonnenscheindauer im Oktober

Tab. 3.3.10 Statistische Maße der klimatologisch einheitlichen Raumtypen (Cluster) bezüglich der Monatsmitteltemperatur im Oktober

Raumtyp Nr.	Anzahl der Stationen	$r_{\min}$	$D_r$	ähnlichster Raumtyp Nr.
I	46	0.9077	0.1738	II
II	70	0.8901	0.0409	III
III	1	(1.0000)	0.1508	II
IV	6	0.9561	0.1232	II
V	136	0.8828	0.1094	II
$\Sigma$	259			

Bei der Sonnenscheindauer weist das Verteilungsmuster dagegen eine annähernde Ost-West-Differenzierung auf, insbesondere im Mittelgebirgsraum, womit eine Ähnlichkeit zum Januar besteht (s. Abb. 3.3.11, vgl. Abb. 3.3.2). Es erfolgt eine Unterteilung in drei Raumtypen. Der Raumtyp II erstreckt sich vom südöstlichen Teil des Norddeutschen Tieflandes ins Hessische Mittelgebirge, während der Raumtyp IV im Oberrheinischen Tiefland dominiert. Im übrigen Gebiet des Mittelgebirges herrscht der Raumtyp III vor. Die anderen drei Raumtypen (Typ I, V und VI) liegen jeweils im nördlichen Teil des Norddeutschen Tieflandes und im Deutschen Alpenvorland, im Oberpfälzisch-Bayerischen Wald sowie in den Bayerischen Alpen. Das räumliche Ähnlichkeitsniveau innerhalb der Raumtypen zeigt ein ähnliches Verhalten wie im Juli, d.h. es ist im mitteldeutschen Bereich geringer als im Norden und im Süden Westdeutschlands (s. Tab. 3.3.11, vgl. Tab. 3.3.8).

Tab. 3.3.11 Statistische Maße der klimatologisch einheitlichen Raumtypen (Cluster) bezüglich der mittleren Sonnenscheindauer im Oktober

Raumtyp Nr.	Anzahl der Stationen	$r_{\min}$	$D_r$	ähnlichster Raumtyp Nr.
I	19	0.8309	0.1044	II
II	7	0.7837	0.0572	I
III	52	0.7482	0.1079	IV
IV	10	0.8214	0.0887	V
V	8	0.8816	0.1489	IV
VI	16	0.7890	0.1744	III
$\Sigma$	112			

Das geographische Verteilungsmuster des Niederschlags ist stärker zonal als meridional ausgerichtet. Damit erfolgt eine Unterteilung in sechs einheitliche Raumtypen. Norddeutschland umfaßt drei Raumtypen (Raumtyp I, II und III) und erweist sich im Vergleich zum Juli weniger homogen. In Süddeutschland sind die Raumtypen (Typ IV, V, VI) dagegen homogener verteilt als im Juli (s. Abb. 3.3.12). Das räumliche Ähnlichkeitsniveau innerhalb dieser sechs Raumtypen zeigt ein ähnliches Muster wie im Juli, d.h. es ist im Süden höher als im Norden (s. Tab. 3.3.12).



Abb. 3.3.12. Einheitliche Raumtypen bezüglich des mittleren Niederschlags im Oktober

Tab. 3.3.12 Statistische Maße der klimatologisch einheitlichen Raumtypen (Cluster) bezüglich des mittleren Niederschlags im Oktober

Raumtyp Nr.	Anzahl der Stationen	$r_{\min}$	$D_r$	ähnlichster Raumtyp Nr.
I	8	0.7780	0.1339	II
II	26	0.7373	0.0932	I
III	75	0.7519	0.0573	IV
IV	48	0.7893	0.0649	V
V	49	0.8270	0.1026	IV
VI	52	0.7835	0.1914	III
$\Sigma$	258			

### 3.3.5 Schlußfolgerung

Aus der oben dargestellten klimatologischen Klassifikation lassen sich vier Schlußfolgerungen ziehen:

1. Die räumliche Ähnlichkeit hinsichtlich der drei Klimaparameter ist für die ausgewählten vier Monate unterschiedlich. Der höchste und geringste räumliche Korrelationskoeffizient erscheint bei der Temperatur jeweils im Januar und im April, obwohl die Unterschiede zwischen den verschiedenen Monaten nicht gravierend sind. Bei der Sonnenscheindauer und beim Niederschlag sind die jahreszeitlichen Schwankungen des räumlichen Korrelationskoeffizienten sehr stark. Der höchste und geringste räumliche Korrelationskoeffizient erscheint beim Niederschlag jeweils im Oktober und im Juli und bei der Sonnenscheindauer im Juli und im Januar, was dem Untersuchungsergebnis der Globalstrahlung (Trapp und Kasten, 1988) ähnelt (s. Abb. 3.3.13).

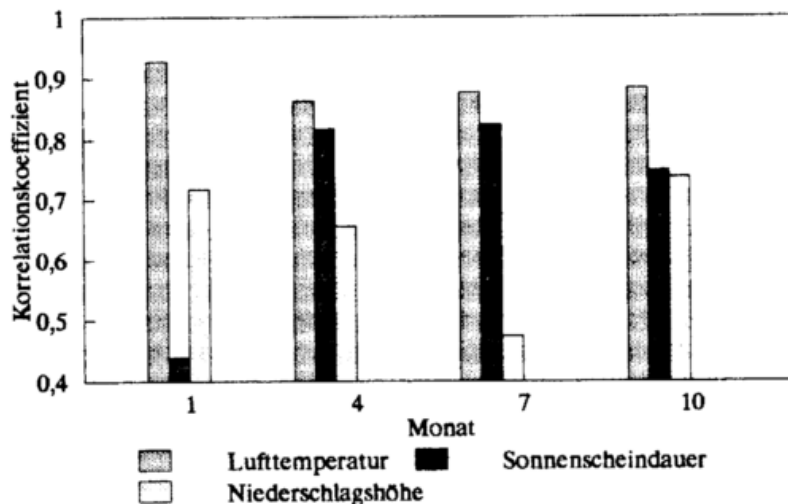


Abb. 3.3.13 Die geringsten räumlichen Korrelationskoeffizienten innerhalb der klimatologisch einheitlichen Raumtypen für verschiedene Monate

2. Das zonale Verteilungsmuster hinsichtlich eines Parameters tritt gewöhnlich in jenem Monat auf, in dem eine höhere räumliche Ähnlichkeit erreicht wird, z.B. bei der Temperatur im Januar, bei der Sonnenscheindauer im Juli und beim Niederschlag im Oktober (s. Abb. 3.3.1, Abb. 3.3.8 und Abb. 3.3.12). Im Gegensatz dazu erscheint das meridionale Verteilungsmuster hinsichtlich eines Parameters in jenem Monat, in dem eine geringere räumliche Ähnlichkeit erreicht wird, z.B. bei der Temperatur im April, bei der Sonnenscheindauer im Januar und beim Niederschlag im Juli (s. Abb. 3.3.4, Abb. 3.3.2 und Abb. 3.3.9).

3. Das räumliche Ähnlichkeitsniveau innerhalb der Hauptraumtypen ist bei der Temperatur in den meisten Monaten in Norddeutschland höher als in Süddeutschland. Ein ähnliches Ergebnis erhält man auch mit der räumlichen Korrelationsanalyse des Jahresmittels der Temperatur (Malcher und Schönwiese, 1987). Bei der Sonnenscheindauer erscheint ein anderes Muster. Das räumliche Ähnlichkeitsniveau ist im Januar in Süddeutschland höher als in Norddeutschland, während es im Juli und im Oktober im mitteldeutschen Bereich am geringsten ist. Beim Niederschlag besitzt Süddeutschland im Juli und im Oktober insgesamt ein höheres Ähnlichkeitsniveau als Norddeutschland, aber im Januar ist dieser Sachverhalt gerade umgekehrt, d.h. Norddeutschland ist bezüglich des Zeitmusters des Niederschlags ähnlicher als Süddeutschland.

4. Im Unterschied zu den zahlreichen statistischen Klassifikationen von Klimastationen auf der Grundlage der Mittelwertsklimatologie (Helen and Bunce, 1985; Jongman, 1990; Sun and Feoli, 1991; Stooksburg and Michaels, 1991; Schwarzmaier and Mayer, 1992) zeigt diese vorliegende klimatologische Klassifikation die räumliche dynamische Homogenität der einzelnen Klimaparameter im Gebiet Westdeutschlands auf. D.h. die Zeitmuster der klimatologischen Veränderung innerhalb von 30 Jahren (1960-1989) besitzen in einem einheitlichen Raumtyp ähnlichere Charaktere als die Zeitmuster zwischen den verschiedenen Raumtypen. Das Ergebnis liefert eine Möglichkeit, die Eigenschaft der regionalen klimatologischen Veränderung in einem Raumtyp durch wenige repräsentative klimatologische Reihen zu erfassen. Diese Möglichkeit kann Bedeutung in der regionalen Klimawirkungsforschung, der Klimadiagnostik und in der Planung einer optimalen klimatologischen Netzdichte (vgl. Müller, 1980) erlangen.

### **3.4 Räumlicher Zusammenhang zwischen phänologisch und klimatologisch einheitlichen Raumtypen**

In diesem Kapitel wird übergeprüft, inwieweit und in welcher Jahreszeit die Verteilungsmuster von phänologisch einheitlichen Raumtypen mit den Verteilungsmustern von klimatologisch einheitlichen Raumtypen übereinstimmen. Damit wird der wesentliche Klimafaktor, der die räumliche Ähnlichkeit von phänologischen Zeitreihen beeinflusst, aufgezeigt. Um die phänologischen Jahreszeiten und die Monate einander anzupassen, wurden die Verteilungsmuster der Haselblüte mit den Klimaparametern des Januars, die Verteilungsmuster der Forsythienblüte mit den Klimaparametern des Aprils, die Verteilungsmuster der Holunderblüte mit den Klimaparametern des Julis sowie die Verteilungsmuster der Blattverfärbung der Roßkastanie mit den Klimaparametern des Oktobers verglichen.

#### **3.4.1 Vorfrühling - Januar**

Es zeigt sich, daß die Verteilungsmuster des Eintrittstermins der Haselblüte und der mittleren Temperatur im Januar ziemlich ähnlich sind. Beide Verteilungsmuster bestehen aus drei Hauptraumtypen (s. Abb. 3.2.1 und 3.3.1). Der sogenannte norddeutsche phänologische Raumtyp (Raumtyp 15) überdeckt den Raumtyp I der Temperatur, während der süddeutsche phänologische Raumtyp (Raumtyp 6) und der Raumtyp III der Temperatur sich überlagern. Allerdings ist die Übereinstimmung zwischen phänologischem Raumtyp 1 und den Raumtypen II und IV der Temperatur im Mittel- und Hochgebirgsraum nicht so deutlich.

Ferner sind die einheitlichen Raumtypen der mittleren Temperatur im Januar räumlich homogener verteilt als die der Haselblüte, was in dem höheren Korrelationskoeffizienten und in der geringeren Anzahl der einheitlichen Raumtypen bei der Temperatur zum Ausdruck kommt (vgl. Tab. 3.2.1 und 3.3.1).

Ein Zusammenhang zwischen den einheitlichen Raumtypen der Haselblüte und den einheitlichen Raumtypen der mittleren Sonnenscheindauer und des mittleren Niederschlags im Januar ist nur in Norddeutschland erkennbar (vgl. Abb. 3.2.1, Abb. 3.3.2 und Abb. 3.3.3).

### 3.4.2 Erstfrühling - April

Wie die Raumtypisierung des Beginns der Haselblüte kann auch die Raumtypisierung des Beginns der Forsythienblüte fast nur allein durch die Raumtypisierung der mittleren Temperatur erklärt werden. Der phänologische Raumtyp 10 und der Raumtyp II der mittleren Temperatur korrespondieren in Schleswig-Holstein (s. Abb. 3.2.5 und Abb. 3.3.4). Eine weitere räumliche Übereinstimmung zwischen den beiden Verteilungsmustern tritt vom Südteil des Norddeutschen Tieflandes bis ins Bayerische Alpenvorland auf. Das Gebiet umfaßt den phänologisch einheitlichen Raumtyp 5 und 1, und den einheitlichen Raumtyp IV der Temperatur. Die Korrelationskoeffizienten zeigen, daß das räumliche Verteilungsmuster der mittleren Temperatur im April homogener ist als das Verteilungsmuster der Forsythienblüte (vgl. Tab. 3.2.4 und 3.3.4).

Es gibt keinen räumlichen Zusammenhang zwischen den Raumtypen der Forsythienblüte und den Raumtypen der mittleren Sonnenscheindauer und des mittleren Niederschlags (vgl. Abb. 3.2.5, Abb. 3.3.5 und Abb. 3.3.6).

### 3.4.3 Frühsommer - Juli

Der norddeutsche einheitliche Raumtyp des Beginns der Holunderblüte (Raumtyp 28) stimmt mit dem jeweiligen Raumtyp der drei Klimaparameter (Raumtyp I) im Juli räumlich gut überein (vgl. Abb. 3.2.9 und Abb. 3.3.7-3.3.9). Es zeigt sich, daß der räumliche Korrelationskoeffizient innerhalb der phänologischen Raumtypen kleiner als jener der Temperatur und jener der Sonnenscheindauer ist, aber größer als der des Niederschlags ist (vgl. Tab. 3.2.7 und Tab. 3.3.7-3.3.9). In Süddeutschland korrespondiert der Raumtyp IV der mittleren Temperatur mit dem phänologisch einheitlichen Raumtyp 10, während die Raumtypen V der mittleren Temperatur und III der mittleren Sonnenscheindauer das Gebiet der phänologischen Raumtypen 1 und 20 einschließen.

### 3.4.4 Vollherbst - Oktober

Eine deutliche räumliche Übereinstimmung zwischen den phänologischen und klimatologischen Verteilungsmustern ist in dieser Jahreszeit nicht erkennbar. Es korrespondiert ansatzweise nur der einheitliche Raumtyp 14 bezüglich der Blattverfärbung der Roßkastanie mit dem Raumtyp V der mittleren Temperatur und dem Raumtyp VI des Niederschlags im Gebiet Bayerns (vgl. Abb. 3.2.14, Abb. 3.3.10 und Abb. 3.3.12).

Diese Übereinstimmung zwischen phänologisch und klimatologisch einheitlichen Raumtypen für verschiedene Jahreszeiten liefert eine Grundlage zur Regionalisierung agrarmeteorologischer Einflußgrößen. Sie kann z.B. für die räumliche Abgrenzung der Anwendung agrarklimatologischer Modelle und zur zielgerichteten Durchführung von Sortenversuchen genutzt werden.

Abschließend folgt, daß eine vollständige räumliche Übereinstimmung jedoch auszuschließen ist, da die Pflanzenentwicklung nicht nur von klimatologischen Faktoren wie z.B. Temperatur und Strahlung, sondern auch von den Bodenverhältnissen, d.h. von Bodenart, Wasser- und Nährstoffmengen abhängig ist. Zudem spielen Erbanlagen eine Rolle, die bei Pflanzen -trotz gleicher Artenzugehörigkeit- zu individuell unterschiedlichen Eintrittsdaten der generativen und vegetativen Wachstumsphasen führen.

## 4 Zeitliche Charaktere der phänologischen und klimatologischen Reihen in repräsentativen Naturräumen

Es zeigt sich, daß jeder phänologische und klimatologische einheitliche Raumtyp einen einzigartigen Verlauf der phänologischen und klimatologischen Zeitreihen bzw. Zeitmuster besitzt. Diese Zeitmuster werden in diesem Kapitel statistisch analysiert, um die wichtigen zeitlichen Charaktere -wie z.B. den Jahrestyp und den Trend der typischen phänologischen und klimatologischen Zeitreihen in verschiedenen Landschaften Westdeutschlands- sowie ihre geographischen Unterschiede aufzuzeigen und um die möglichen Auswirkungen des Klimas auf die phänologische Entwicklung abzuschätzen.

Tab. 4.1 Ausgewählte Naturräume mit Klimastationen im Gebiet Westdeutschlands

Ld. Nr.	Ort der Station	Naturraum (Nr.) der Station	GNLE* des Naturraums
1	Garmisch-Partenkirchen	Niederwerdenfelser Land (23)	Bayerische Alpen
2	Rosenheim	Inn-Chiemsee-Hügelland (38)	Deutsches Alpenvorland
3	Krumbach	Iller-Lech-Schotterplatten (46)	Deutsches Alpenvorland
4	Nürnberg	Mittelfränkisches Becken (113)	Süddeutsches Stufenland
5	Buchen	Sandsteinodenwald (144)	Süddeutsches Stufenland
6	St. Blasien	Hochschwarzwald (155)	Schwarzwald
7	Pirmasens	Zweibrücker Westrich (180)	Südwestdeutsches Stufenland
8	Karlsruhe	Hardtebenen (223)	Oberrhinesisches Tiefland
9	Bad Kreuznach	Unteres Naheland (228)	Saar-Nahe-Bergland
10	Halsdorf	Bitburger Gutland (261)	Südwestdeutsches Stufenland
11	Lüdenscheid	Westsauerländisches Oberland (336)	Rheinisches Schiefergebirge
12	Bad Hersfeld	Fulda-Werra-Bergland (355)	Hessisches Bergland
13	Bad Salzflun	Lipper Bergland (364)	Niedersächsisches Bergland
14	Braunlage	Mittelharz (381)	Harz
15	Fichtelberg	Hohes Fichtelgebirge (394)	Thüringisch-Fränkisches Mittelgebirge
16	Passau	Passauer Abteiland-Neuburger Wald (408)	Oberpfälzisch-Bayerischer Wald
17	Münster	Kernmünsterland (541)	Norddeutsches Tiefland
18	Friesoythe	Hunte-Leda-Moorniederung (600)	Norddeutsches Tiefland
19	Soltau	Südheide (641)	Norddeutsches Tiefland
20	Schleswig	Angeln (700)	Norddeutsches Tiefland

\* Größere Naturräumliche Landschaftseinheiten

Um die Beziehungen zwischen phänologischen Eintrittsterminen und Klimaparametern statistisch, räumlich und zeitlich differenziert erarbeiten zu können, sollte für jeden ausgewählten Naturraum (die Grundraumeinheit der phänologischen Klassifikation) eine repräsentative Klimastation bestimmt werden. Dies erfolgte über einen Vergleich der mittleren Höhe der Flächen eines Naturraums und der Höhenlage der Klimastation.

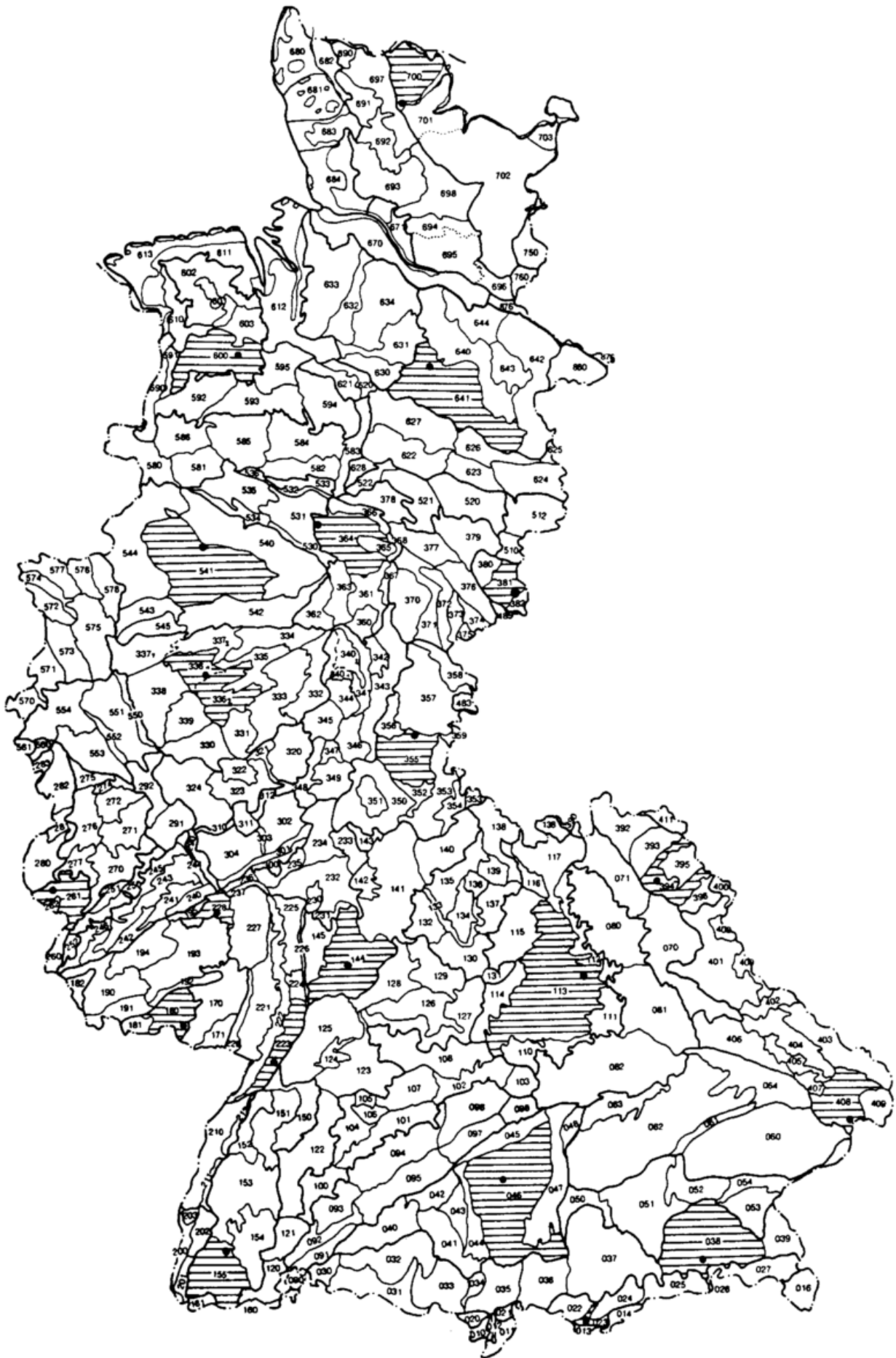


Abb. 4.1 Geographische Verteilung der ausgewählten Naturräume mit Klimastationen in Westdeutschland

Da sich die jährlichen Schwankungen der Klimaparameter in einem Gebiet, z.B. in einem Naturraum, sehr homogen verhalten (vgl. Kap. 3.3), kann eine Klimastation, die auf der mittleren Höhe des Gebiets (Naturraum) liegt, die zeitliche Varianz des Klimas für das Gebiet (Naturraum) ausreichend genau repräsentieren.

Die 20 ausgewählten Naturräume sind repräsentativ für die "Größeren Naturräumlichen Landschaftseinheiten", so daß die zeitlichen Charaktere der phänologischen und klimatologischen Reihen von sichtbarer geographischer Bedeutung sind. Diese Naturräume und Klimastationen sind in Tab. 4.1 aufgelistet, ihre geographische Verteilung zeigt Abbildung 4.1.

Die zeitlichen Charaktere der phänologischen und klimatologischen Reihen werden nachfolgend nach phänologischen Jahreszeiten und den entsprechenden Monaten dargestellt.

#### 4.1 Phänologischer und klimatologischer Jahrestyp

Ein offensichtliches Merkmal der phänologischen und klimatologischen Zeitreihen ist ihre Schwankung. Deshalb gibt es phänologisch frühe und späte Jahre, sowie warme und kalte Jahre usw. (sogenannter Jahrestyp). Um den phänologischen und klimatologischen Jahrestyp objektiv bestimmen zu können, benötigt man zwei statistische Merkmale: die absolute Abweichung ( $d$ ) und die Standardabweichung ( $s$ ),

$$d_i = x_i - \bar{x}$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p (d_i)^2}$$

wobei  $x_i, i = 1, \dots, p$  (= Stichprobenumfang, z.B. 30 Jahre) die Merkmalwerte (z.B. jährliche phänologische Eintrittstermine) und  $\bar{x}$  der arithmetische Mittelwert der Merkmalwerte sind.

Für die phänologischen Zeitreihen lauten die Kriterien, mit denen man den phänologischen Jahrestyp bestimmen kann, wie folgt (nach Chen, 1990):

**Kriterium 1:** Wenn in einem Jahr  $|d_i| < s$  ist, nennt man das Jahr ein phänologisch "normales" Jahr.

**Kriterium 2:** Wenn in einem Jahr  $|d_i| \geq s$  ist, nennt man das Jahr ein phänologisch "ungewöhnliches" Jahr; und  $d_i > 0$  entspricht dem phänologisch späten Jahr,  $d_i < 0$  dagegen dem phänologisch frühen Jahr. Wenn in einem Jahr  $|d_i| \geq 1.5s$  ist, nennt man das Jahr ein phänologisch "besonderes" Jahr; und  $d_i > 0$  entspricht dem sehr späten Jahr,  $d_i < 0$  dagegen dem sehr frühen Jahr.

Eine bildliche Aussage für den Jahrestyp der Haselblüte zeigt Abb. 4.1.1.

Mit den zwei Kriterien kann man auch den klimatologischen Jahrestyp bestimmen; in diesem Fall sind die Merkmalwerte Klimaparameter. Als Beispiel zeigt Abb. 4.1.2 die Bestimmung des Jahrestyps der mittleren Temperatur im Januar.

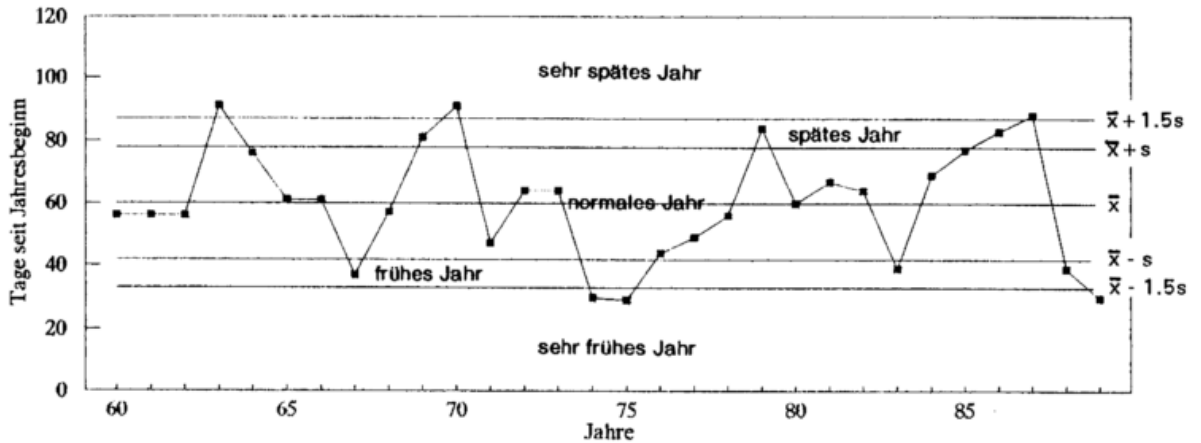


Abb. 4.1.1 Unterteilung des phänologischen Jahrestyps; Beginn der Haselblüte, Naturraum 641

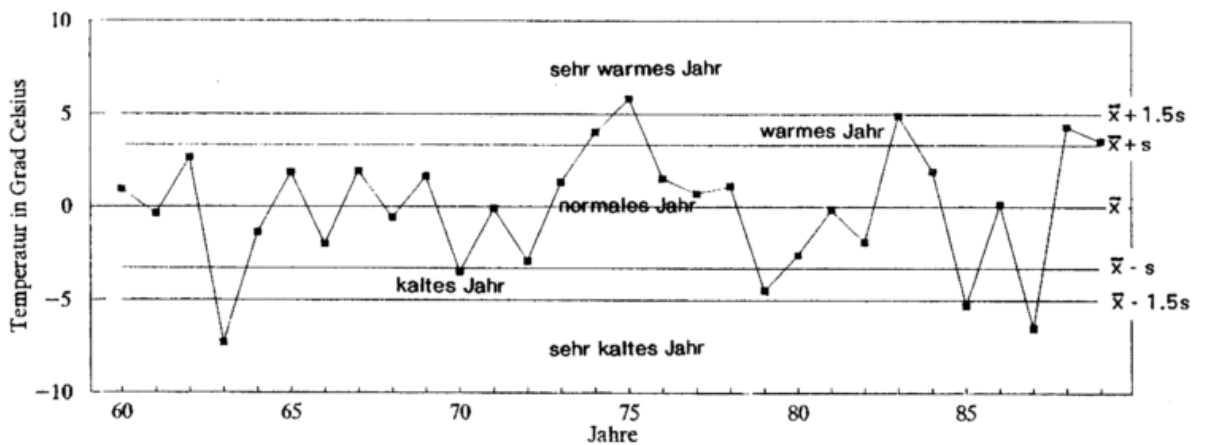


Abb. 4.1.2 Unterteilung des klimatologischen Jahrestyps; mittlere Temperatur im Januar, Station: Soltau

#### 4.1.1 Vorfrühling

Tab. 4.1.1 zeigt die Korrelationskoeffizienten zwischen den Eintrittsterminen der Haselblüte und den Monatsmittelwerten der Klimaparameter für die ausgewählten Naturräume/Stationen. Eine signifikante negative Korrelation besteht zwischen dem Beginn der Haselblüte und der mittleren Temperatur im Januar und Februar, d.h. je höher die Monatsmitteltemperatur an den repräsentativen Klimastationen ist, desto früher ist der Eintrittstermin der Haselblüte in den entsprechenden Naturräumen. Dies bedeutet, daß der Beginn des phänologischen Vorfrühlings hauptsächlich von der Monatsmitteltemperatur gesteuert wird. Ferner ist diese statistische Korrelation im phänologischen Raumtyp 15, insbesondere im Norddeutschen Tiefland, deutlicher als in anderen Gebieten (s. Tab. 4.1.1). Da im phänologischen Raumtyp 1 die Eintrittstermine der Haselblüte wesentlich später als im Raumtyp 6 und 15 auftreten, wurden die Korrelationskoeffizienten in diesem Gebiet mit der Februartemperatur berechnet. Eine signifikante Korrelation zwischen dem Beginn der Haselblüte und der mittleren Sonnenscheindauer bzw. dem mittleren Niederschlag im Januar und Februar ist selten zu finden.

Da die drei Klimaparameter miteinander korreliert sind, wird eine partielle Korrelationsrechnung durchgeführt (s. Tab. 4.1.1). Wenn sowohl die Sonnenscheindauer als auch die Niederschlagshöhe konstant gehalten werden, spielt die Temperatur eine dominante Rolle für die Eintrittstermine der Haselblüte. Unter der Bedingung einer konstanten Temperatur und einer konstanten Niederschlagshöhe ist der Einfluß der Sonnenscheindauer dagegen gering. Der Einfluß der Niederschlagshöhe auf den

Termin der Haselblüte ist bei einer konstanten Temperatur und einer konstanten Sonnenscheindauer nur in einigen Regionen nachweisbar, z.B. im Norddeutschen Tiefland (Naturraum 700 und 600), im Harz (Naturraum 381), im Thüringisch-Fränkischen Mittelgebirge (Naturraum 394) und im Saar-Nahe-Bergland (Naturraum 228). Auf dieser Grundlage werden nur die Jahrestypen der Haselblüte und der Monatsmitteltemperatur miteinander verglichen.

Tab. 4.1.1 Einfache und partielle Korrelationskoeffizienten zwischen dem Eintrittstermin der Haselblüte (Hb) und den Klimaparametern im Januar und Februar (nur für den Raumtyp 1)

Typ	Naturraum Nr./Station	$r_{Hb-T}$ (1)	$r_{Hb-S}$ (2)	$r_{Hb-N}$ (3)	$r_{Hb-T,SN}$ (4)	$r_{Hb-S,TN}$ (5)	$r_{Hb-N,TS}$ (6)
15	700/Schleswig	-0.7908***	0.3903*	-0.1806#	-0.8167***	-0.1155#	0.4871**
15	641/Soltau	-0.7944***	0.2341#	-0.2369#	-0.8084***	-0.2984#	0.1361#
15	600/Friesoythe	-0.7536***	0.1942#	-0.1015#	-0.7942***	-0.121#	0.4182*
15	541/Münster	-0.8231***	0.2454#	-0.1797#	-0.831***	-0.2116#	0.2321#
15	364/Bad Salzuflen	-0.6766***	-0.0436#	-0.0316#	-0.7291***	-0.3285#	0.015#
15	336/Lüdenscheid	-0.6735***	-0.1836#	-0.03#	-0.7109***	-0.3075#	0.0436#
15	261/Halsdorf	-0.5234**	-----	0.0624#	-0.5867***	-----	0.3167#
15	228/Bad Kreuznach	-0.6152***	0.1697#	0.2914#	-0.6924***	-0.0448#	0.5133**
15	223/Karlsruhe	-0.7477***	0.1183#	-0.1565#	-0.79***	-0.3499#	0.1908#
6	38/Rosenheim	-0.5231**	-0.1929#	0.0469#	-0.4979**	0.037#	0.0505#
6	46/Krumbach	-0.5408**	0.04#	0.1908#	-0.5818**	0.1485#	0.2992#
6	113/Nürnberg	-0.6092***	0.02#	0.0063#	-0.7054***	-0.2649#	0.2741#
6	144/Buchen	-0.6119***	0.08#	0.0539#	-0.6802***	0.2428#	0.3315#
6	180/Pirmasens	-0.6704***	-----	-0.0387#	-0.7162***	-----	0.3415#
6	355/Bad Hersfeld	-0.6958***	0.2419#	0.0361#	-0.7295***	-0.1392#	0.3492#
1	23/Garmisch-Partenk.	-0.6322***	-0.2693#	0.2524#	-0.6549***	-0.1023#	0.1601#
1	155/St. Blasien	-0.6892***	-----	0.07#	-0.7165***	-----	0.2786#
1	381/Braunlage	-0.7076***	-0.0831#	0.1749#	-0.7917***	-0.0712#	0.4505*
1	394/Fichtelberg	-0.7097***	-----	-0.0005#	-0.7609***	-----	0.3892*
1	408/Passau	-0.6359***	0.0332#	0.08#	-0.6719***	-0.0253#	0.2682#

- \*\*\* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.001      \*\* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.01  
 \* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.05      # nicht signifikant  
 (1) einfacher Korrelationskoeffizient zwischen der Haselblüte und der Temperatur  
 (2) einfacher Korrelationskoeffizient zwischen der Haselblüte und der Sonnenscheindauer  
 (3) einfacher Korrelationskoeffizient zwischen der Haselblüte und dem Niederschlag  
 (4) partieller Korrelationskoeffizient zwischen der Haselblüte und der Temperatur  
 (5) partieller Korrelationskoeffizient zwischen der Haselblüte und der Sonnenscheindauer  
 (6) partieller Korrelationskoeffizient zwischen der Haselblüte und dem Niederschlag

Eine zeitliche Übereinstimmung zwischen den "ungewöhnlichen" sowie "besonderen" Jahrestypen des Beginns der Haselblüte und der Monatsmitteltemperatur im Januar und Februar zeigt sich in allen ausgewählten Naturräumen sehr deutlich (s. Tab. 4.1.2 - 4.1.4). In der Regel entsprechen die warmen und sehr warmen Jahre den frühen und sehr frühen Jahren des Beginns der Haselblüte; und die kalten und sehr kalten Jahre entsprechen den späten und sehr späten Jahren des Beginns der Haselblüte.

Tab. 4.1.2 Vergleich der Jahrestypen der Haselblüte (Hb) und der Monatsmitteltemperatur im Januar (T<sub>1</sub>) für den phänologischen Raumtyp 15

Jahre	20(1)		19		18		17		13		11		10		9		8	
	Hb	T <sub>1</sub>	Hb	T <sub>1</sub>	Hb	T <sub>1</sub>	Hb	T <sub>1</sub>	Hb	T <sub>1</sub>	Hb	T <sub>1</sub>	Hb	T <sub>1</sub>	Hb	T <sub>1</sub>	Hb	T <sub>1</sub>
1960	n*	n+	n	n	n	n	n	n	f	n	n	n	n	n	n	n	f	n
1961	n	n	n	n	n	n	n	n	f	n	n	n	f	n	f	n	n	n
1962	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	f	n	f	n	n	n
1963	ss	sk	ss	sk	ss	sk	ss	sk	ss	sk	s	sk	ss	sk	ss	sk	ss	sk
1964	n	n	n	n	n	n	n	n	s	n	n	n	n	n	n	n	s	k
1965	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1966	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1967	sf	n	f	n	f	n	f	n	f	n	f	n	sf	n	f	n	f	n
1968	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1969	s	n	s	n	n	n	n	n	s	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1970	ss	k	ss	k	s	n	s	n	s	n	s	n	n	n	n	n	n	n
1971	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1972	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1973	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1974	f	w	sf	w	f	w	f	w	sf	w	sf	w	f	w	n	w	f	w
1975	sf	sw	sf	sw	sf	sw	f	sw	f	sw	f	sw	f	sw	f	sw	f	sw
1976	n	n	n	n	f	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	w	n	n
1977	n	n	n	n	n	n	n	n	f	n	f	n	n	n	n	n	n	n
1978	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1979	ss	sk	s	k	ss	sk	ss	k	s	k	s	sk	s	sk	n	sk	n	k
1980	s	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	f	n	n	n	n	n
1981	n	n	n	n	s	n	n	n	n	n	n	n	s	n	n	n	s	n
1982	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1983	n	sw	f	w	n	sw	n	w	n	w	sf	w	n	w	n	sw	f	w
1984	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	s	n	n	n	n	n
1985	s	sk	n	sk	s	sk	ss	sk	n	sk	s	sk	s	sk	s	k	s	sk
1986	s	n	s	n	s	n	s	n	s	n	ss	n	ss	n	ss	n	s	n
1987	s	k	ss	sk	ss	sk	s	sk	ss	sk	s	sk	s	sk	s	sk	s	sk
1988	n	w	f	w	f	w	f	w	f	w	n	w	n	w	n	w	sf	w
1989	sf	w	sf	w	sf	w	sf	n	sf	n	f	w	f	n	sf	n	f	n
Mittel(2)	69	0.1	60	0.0	55	0.9	49	1.6	63	1.2	64	0.0	60	0.4	52	0.8	47	1.2
s(3)	20	2.8	18	3.3	19	3.2	14	3.1	16	3.1	18	2.6	14	2.7	19	2.8	12	2.8

(1) laufende Nummer der ausgewählten Naturräume/Stationen (s. Tab. 4.1);

(2) 30jähriger Mittelwert der Zeitreihe der Haselblüte (Tage seit Jahresbeginn) und der mittleren Temperatur im Januar (°C);

(3) Standardabweichung der Zeitreihe der Haselblüte (Tage) und der mittleren Temperatur im Januar (°C).

\* n:normal f: früh s: spät + n:normal w: warm k: kalt  
 sf: sehr früh ss: sehr spät sw: sehr warm sk: sehr kalt

Tab. 4.1.3 Vergleich der Jahrestypen der Haselblüte (Hb) und der Monatsmitteltemperatur im Januar (T<sub>1</sub>) für den phänologischen Raumtyp 6 (1)

Jahre	2		3		4		5		7		12	
	Hb	T <sub>1</sub>	Hb	T <sub>1</sub>	Hb	T <sub>1</sub>	Hb	T <sub>1</sub>	Hb	T <sub>1</sub>	Hb	T <sub>1</sub>
1960	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1961	f	n	f	n	n	n	f	n	n	n	n	n
1962	n	n	s	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1963	ss	sk	ss	sk	ss	sk	ss	sk	ss	sk	s	sk
1964	s	k	n	k	s	k	n	k	n	n	n	n
1965	n	n	n	n	s	n	n	n	s	n	n	n
1966	f	n	f	n	f	n	n	n	n	n	n	n
1967	n	n	f	n	f	n	sf	n	f	n	sf	n
1968	n	n	n	n	n	n	n	n	s	n	n	n
1969	n	n	n	n	n	n	s	n	n	n	s	n
1970	s	n	s	n	s	n	s	n	n	n	s	n
1971	n	k	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1972	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1973	s	n	s	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1974	sf	w	f	w	sf	w	sf	w	sf	sw	sf	w
1975	sf	sw	f	sw	sf	sw	f	sw	f	sw	sf	sw
1976	n	w	n	n	n	w	n	n	n	n	n	n
1977	f	n	f	n	n	n	f	n	f	n	n	n
1978	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1979	n	k	n	k	n	k	n	sk	n	sk	s	k
1980	f	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1981	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1982	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1983	n	sw	n	sw	n	sw	n	sw	f	w	n	w
1984	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1985	s	sk	s	sk	s	sk	n	sk	s	sk	s	sk
1986	n	n	s	n	s	n	s	n	s	n	s	n
1987	s	k	s	sk	ss	sk	s	sk	s	sk	ss	sk
1988	n	w	sf	w	f	w	f	w	sf	sw	n	w
1989	f	n	sf	n	f	n	sf	n	f	n	f	n
Mittel	68	-1.6	66	-1.4	65	-0.9	61	-1.0	54	0.2	65	-0.3
s	15	2.8	15	2.8	15	2.9	15	2.8	15	2.6	16	3.1

(1) Abkürzungen s. Tab. 4.1.2.

Tab. 4.1.4 Vergleich der Jahrestypen der Haselblüte (Hb) und der Monatsmitteltemperatur im Februar (T<sub>2</sub>) für den phänologischen Raumtyp 1 (1)

Jahre	1		6		14		15		16	
	Hb	T <sub>2</sub>	Hb	T <sub>2</sub>	Hb	T <sub>2</sub>	Hb	T <sub>2</sub>	Hb	T <sub>2</sub>
1960	sf	n	n	n	n	n	n	n	f	n
1961	f	sw	f	w	sf	sw	sf	w	sf	w
1962	ss	n	s	n	n	n	ss	n	n	n
1963	ss	sk	s	sk	n	sk	n	sk	s	sk
1964	n	n	n	n	s	n	s	n	n	n
1965	n	k	n	sk	n	n	n	n	n	k
1966	sf	sw	sf	sw	n	w	sf	w	sf	sw
1967	n	n	f	n	n	n	f	n	f	n
1968	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1969	n	n	n	n	n	k	n	n	n	n
1970	s	n	ss	n	ss	n	s	n	s	n
1971	s	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1972	n	w	n	n	f	w	f	n	f	n
1973	s	n	ss	n	n	n	n	n	n	n
1974	n	n	f	n	sf	w	n	w	n	w
1975	n	n	n	n	f	n	f	n	n	n
1976	f	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1977	n	n	f	w	sf	n	sf	w	n	w
1978	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1979	n	n	n	n	s	k	ss	n	n	n
1980	n	n	n	n	n	n	n	w	n	w
1981	n	k	n	n	n	n	n	n	n	n
1982	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1983	n	n	n	k	n	n	n	n	n	n
1984	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1985	n	n	n	n	n	k	n	k	s	k
1986	n	sk	s	sk	ss	sk	s	sk	n	sk
1987	s	n	s	n	s	n	s	n	ss	n
1988	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1989	n	w	sf	w	sf	w	sf	w	n	w
Mittel	77	-1.1	72	-1.2	80	-2.0	88	-2.5	79	-0.5
s	15	2.7	16	2.2	17	2.6	15	2.5	13	2.5

(1) Abkürzungen s. Tab. 4.1.2.

Eine phänologisch-klimatologische Übereinstimmung (d.h. Verfrühung der phänologischen Entwicklung bei Wärmeüberschuß, Verspätung der phänologischen Entwicklung bei Wärmedefizit) wird mindestens in 70% aller "ungewöhnlichen" und "besonderen" Jahre bei der Monatsmitteltemperatur in 12 von 20 Naturräumen (Naturraum 700, 641, 600, 541, 364, 336, 261, 223, 113, 180, 355 und 155) vorgefunden. Allerdings ist diese zeitliche Übereinstimmung in Norddeutschland, hauptsächlich im phänologischen Raumtyp 15, besser als in Süddeutschland. Die geringsten zeitlichen Übereinstimmungen zwischen den "ungewöhnlichen" und "besonderen" Jahrestypen der Haselblüte und der mittleren Temperatur im Januar und Februar liegen vor allem im Saar-Nahe-Bergland (Naturraum 228), im Oberpfälzischen-Bayerischen Wald (Naturraum 408) und in den Bayerischen Alpen (Naturraum 23).

Die geographische Verteilung der zeitlichen Übereinstimmung zwischen den "ungewöhnlichen" und "besonderen" Jahrestypen des Beginns der Haselblüte und der Temperatur im Januar und Februar weist einen deutlichen räumlichen Unterschied auf. Die "kalten" und damit "späten" Jahre herrschen in den phänologischen Raumtyp 15 und 6 in den Jahren 1963, 1985 und 1987 vor, während die "warmen" und damit "frühen" Jahre in den Jahren 1974, 1975 und 1988 dominieren. Im Jahr 1979 tritt ein "kaltes" und damit ein "spätes" Jahr nur im phänologischen Raumtyp 15, bzw. in Norddeutschland auf (s. Tab. 4.1.2 und Tab. 4.1.3).

Im Vergleich zu den phänologischen Raumtypen 15 und 6 besitzt der Raumtyp 1 eine einzigartige zeitliche Übereinstimmung der "ungewöhnlichen" und "besonderen" Jahrestypen des Beginns der Haselblüte und der Monatsmitteltemperatur. Die "warmen" und damit "frühen" Jahre treten 1961, 1966 und 1989, die "kalten" und damit "späten" Jahre 1963 und 1986 auf (s. Tab. 4.1.4).

#### 4.1.2 Erstfrühling

Das Ergebnis der Korrelationsanalyse zwischen dem Beginn der Forsythienblüte und der drei Klimaparameter im März zeigt, daß eine signifikante negative Korrelation zwischen der Forsythienblüte und der Monatsmitteltemperatur in allen ausgewählten Naturräumen/Stationen besteht, d.h. je höher die Märztemperatur an den repräsentativen Klimastationen ist, desto früher ist der Eintrittstermin der Forsythienblüte in den entsprechenden Naturräumen. Im Vergleich zum Vorfrühling sind die Korrelationskoeffizienten in Norddeutschland kleiner geworden, während das Korrelationsniveau in Süddeutschland gestiegen ist (vgl. Tab. 4.1.5 und Tab. 4.1.1). Die höheren Korrelationskoeffizienten (z. B.  $r \geq 0.70$ ) liegen im Norddeutschen Tiefland, Hessischen Bergland, Südwestdeutschen Stufenland, Süddeutschen Stufenland, Oberpfälzisch-Bayerischen Wald und im Deutschen Alpenvorland.

Eine signifikante negative Korrelation zwischen der Forsythienblüte und der mittleren Summe der Sonnenscheindauer im März findet man nur in zwei Naturräumen/Stationen: Naturraum 38 (Inn-Chiemsee-Hügelland)/Rosenheim und Naturraum 155 (Hochschwarzwald)/St. Blasien. Es gibt keine signifikante Korrelation zwischen der Forsythienblüte und dem mittleren Niederschlag im März (s. Tab. 4.1.5).

Ein ähnliches Ergebnis erhält man auch bei der partiellen Korrelationsrechnung. D.h. wenn die anderen zwei Parameter konstant gehalten werden, bleibt die Märztemperatur immer noch der wichtigste Faktor für den Eintrittstermin der Forsythienblüte. Der März-niederschlag allein spielt dafür keine Rolle, während die Sonnenscheindauer im Naturraum 155 und 641 den Eintrittstermin der Forsythienblüte stärker beeinflusst (s. Tab. 4.1.5).

Die zeitliche Übereinstimmung zwischen den "ungewöhnlichen" sowie "besonderen" Jahrestypen des Beginns der Forsythienblüte und der Märztemperatur ist schwächer als die zwischen diesen beiden Jahrestypen des Beginns der Haselblüte und der Temperatur im Januar und Februar. Dies bedeutet, daß die "warmen" sowie "sehr warmen" Jahre und die "kalten" sowie "sehr kalten" Jahre bei der Märztemperatur mit geringer Wahrscheinlichkeit den "frühen" sowie "sehr frühen" Jahren und den "späten" sowie "sehr späten" Jahren der Forsythienblüte entsprechen (vgl. Tab. 4.1.2 - 4.1.4 und 4.1.6 - 4.1.8). Nur in 4 Naturräumen und an den ihnen zugewiesenen Stationen wird die phänologisch-

klimatologische Übereinstimmung in mindestens 70% aller "ungewöhnlichen" und "besonderen" Jahre bei der Märztemperatur angetroffen. Diese Naturräume/Stationen sind der Naturraum 113 (Mittel-fränkisches Becken)/Nürnberg, der Naturraum 144 (Sandsteinodenwald)/Buchen, der Naturraum 355 (Fulda-Werra-Bergland)/Bad Hersfeld und der Naturraum 408 (Passauer Abteiland - Neuburger Wald)/Passau. Die geringsten zeitlichen Übereinstimmungen zwischen den "ungewöhnlichen" und "besonderen" Jahrestypen der Forsythienblüte und der Märztemperatur konzentrieren sich im Nord-deutschen Tiefland (Naturraum 700 und 641) und im Harz (Naturraum 381).

Tab. 4.1.5 Einfache und partielle Korrelationskoeffizienten zwischen dem Eintrittstermin der Forsythienblüte (Fb) und den Klimaparametern im März (1)

Typ	Naturraum Nr./ Station	$r_{Fb-T}$	$r_{Fb-S}$	$r_{Fb-N}$	$r_{Fb-T.SN}$	$r_{Fb-S.TN}$	$r_{Fb-N.TS}$
10	700/Schleswig	-0.7578***	-0.3341#	-0.064#	-0.7426***	-0.2796#	0.072#
5	641/Soltau	-0.7499***	-0.1265#	-0.2663#	-0.7633***	-0.4644*	0.2673#
5	600/Friesoythe	-0.7153***	-0.0574#	-0.2147#	-0.7143***	-0.2699#	-0.0378#
5	541/Münster	-0.6472***	0.0283#	-0.1597#	-0.6334***	0.0101#	-0.0129#
5	408/Passau	-0.7735***	-0.2175#	0.1072#	-0.7714***	-0.1973#	-0.0872#
5	228/Bad Kreuznach	-0.6019***	-0.1876#	0.2214#	-0.6242***	-0.2625#	0.0054#
5	223/Karlsruhe	-0.6188***	-0.0387#	0.0173#	-0.6225***	0.0778#	-0.001#
5	180/Pirmasens	-0.6379***	-----	0.0663#	-0.6362***	-----	0.0276#
5	144/Buchen	-0.7435***	-----	0.1425#	-0.7399***	-----	0.0929#
5	46/Krumbach	-0.7734***	-0.2445#	0.1568#	-0.7848***	-0.2269#	0.0833#
5	38/Rosenheim	-0.7925***	-0.391*	0.0663#	-0.7523***	-0.2515#	-0.0925#
1	381/Braunlage	-0.6685***	-0.167#	-0.0755#	-0.6578***	-0.2651#	0.0036#
1	364/Bad Salzuflen	-0.679***	0.0548#	-0.06#	-0.687***	0.0269#	0.1469#
1	355/Bad Hersfeld	-0.733***	-0.0837#	-0.0009#	-0.7577***	-0.2613#	0.0354#
1	336/Lüdenscheid	-0.6701***	0.01#	-0.0686#	-0.6693***	0.0586#	0.0178#
1	261/Halsdorf	-0.7833***	-----	0.0964#	-0.8109***	-----	0.3494#
1	155/St. Blasien	-0.6447***	-0.4834**	0.2464#	-0.7083***	-0.5583**	-0.0814#
1	113/Nürnberg	-0.7543***	-0.2195#	0.1273#	-0.7796***	-0.3558#	-0.113#

(1) Abkürzungen s. Tab. 4.1.1.

Die "warmen" und damit "frühen" Jahre im Gebiet Westdeutschlands dominierten 1961 und 1989. Die "kalten" und damit "späten" Jahre herrschen 1962 und 1970 nur für die phänologischen Raumtypen 5 und 1 vor, während 1974 und 1977 "warme" und damit "frühe" Jahre hauptsächlich auch in den Raumtypen 5 und 1 auftraten. 1987 war nur im Raumtyp 5 ein "kaltes" und damit "spätes" Jahr. Ferner waren 1967 und 1969 die einzigen "ungewöhnlichen" und "besonderen" Jahre der Forsythienblüte und der Märztemperatur in Schleswig-Holstein (Raumtyp 10) (s. Tab. 4.1.6 - 4.1.8).

Tab. 4.1.6

Vergleich der Jahrestypen der Forsythienblüte (Fb) und der Monatsmitteltemperatur im März ( $T_3$ ) für die phänologischen Raumtypen 10 und 5 (1)

Jahre	20		19		18		17	
	Fb	$T_3$	Fb	$T_3$	Fb	$T_3$	Fb	$T_3$
1960	n	n	n	n	n	n	n	n
1961	sf	w	sf	w	sf	w	f	w
1962	n	k	s	sk	s	sk	s	sk
1963	s	n	n	n	s	n	s	n
1964	n	sk	n	sk	n	k	n	k
1965	n	n	n	n	n	n	n	n
1966	n	n	n	n	n	n	f	n
1967	sf	w	sf	w	sf	n	f	n
1968	n	n	n	n	n	n	n	n
1969	s	sk	n	sk	n	sk	n	sk
1970	ss	n	ss	n	ss	n	s	k
1971	n	n	n	k	n	n	n	k
1972	n	n	n	n	n	n	n	n
1973	n	w	n	n	n	n	n	n
1974	f	n	f	n	f	n	f	n
1975	n	n	sf	n	sf	n	sf	n
1976	n	k	n	k	n	k	n	k
1977	n	w	f	w	f	n	f	w
1978	n	n	n	n	n	n	n	n
1979	s	n	s	n	s	n	s	n
1980	n	n	n	n	s	n	n	n
1981	n	w	n	sw	n	sw	n	sw
1982	n	n	n	n	n	n	n	n
1983	n	n	n	n	n	n	n	n
1984	n	n	n	n	n	n	n	n
1985	n	n	n	n	n	n	n	n
1986	s	n	s	n	s	n	s	n
1987	n	sk	s	sk	s	sk	s	sk
1988	n	n	n	n	n	n	sf	n
1989	sf	sw	sf	sw	sf	sw	sf	sw
Mittel	107	2.7	97	3.4	94	4.0	87	4.9
s	13	1.9	14	2.1	13	2.0	13	1.9

(1) Abkürzungen s. Tab. 4.1.2.

Tab. 4.1.7 Vergleich der Jahrestypen der Forsythienblüte (Fb) und der Monatsmitteltemperatur im März (T<sub>3</sub>) für den phänologischen Raumtyp 5 (1)

Jahre	16		9		8		7		5		3		2	
	Fb	T <sub>3</sub>	Fb	T <sub>3</sub>	Fb	T <sub>3</sub>	Fb	T <sub>3</sub>	Fb	T <sub>3</sub>	Fb	T <sub>3</sub>	Fb	T <sub>3</sub>
1960	f	n	n	n	f	n	n	w	n	n	f	n	n	n
1961	f	n	sf	w	sf	w	sf	sw	sf	w	sf	w	sf	w
1962	s	k	n	sk	n	sk	s	k	s	sk	s	k	n	sk
1963	n	n	s	n	ss	n	s	n	s	n	s	n	s	n
1964	n	k	s	k	n	k	n	k	n	k	n	k	n	k
1965	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1966	n	n	sf	n	sf	n	f	n	sf	n	n	n	n	n
1967	f	n	n	k	f	n	f	n	f	n	f	n	n	n
1968	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1969	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1970	ss	n	s	n	s	k	ss	k	ss	k	s	k	s	n
1971	n	k	n	k	n	sk	n	k	n	k	n	sk	n	sk
1972	sf	w	n	n	n	n	n	sw	n	n	f	n	n	n
1973	n	n	n	n	n	n	n	n	s	n	ss	n	ss	n
1974	sf	sw	n	w	f	w	f	w	f	w	f	w	f	w
1975	n	n	sf	n	sf	n	sf	n	f	n	n	n	n	n
1976	n	k	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1977	sf	w	sf	w	sf	sw	sf	w	sf	w	sf	sw	sf	sw
1978	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1979	n	n	ss	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1980	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1981	f	sw	n	sw	n	sw	n	sw	n	sw	n	sw	n	sw
1982	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1983	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1984	n	n	n	n	n	n	s	k	n	n	n	k	s	n
1985	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1986	n	n	s	n	s	n	s	n	s	n	n	n	n	n
1987	s	sk	s	sk	s	sk	n	sk	s	sk	n	sk	s	sk
1988	n	n	n	n	n	n	f	n	n	n	n	n	n	n
1989	f	sw	sf	sw	n	sw	f	w	sf	sw	sf	sw	sf	sw
Mittel	104	3.4	90	5.2	83	6.0	92	4.2	95	3.5	101	3.2	99	3.8
s	10	2.2	11	1.8	12	1.9	13	1.8	11	2.0	11	2.1	11	2.2

(1) Abkürzungen s. Tab. 4.1.2.

Tab. 4.1.8

Vergleich der Jahrestypen der Forsythienblüte (Fb) und der Monatsmitteltemperatur im März (T<sub>3</sub>) für den phänologischen Raumtyp 1 (1)

Jahre	14		13		12		11		10		6		4	
	Fb	T <sub>3</sub>	Fb	T <sub>3</sub>	Fb	T <sub>3</sub>	Fb	T <sub>3</sub>	Fb	T <sub>3</sub>	Fb	T <sub>3</sub>	Fb	T <sub>3</sub>
1960	n	n	n	n	n	n	f	n	sf	w	n	n	n	n
1961	sf	sw	sf	w	sf	w	sf	sw	sf	w	sf	n	sf	n
1962	n	sk	n	sk	s	sk	s	sk	s	sk	s	sk	s	sk
1963	n	n	s	n	s	n	n	n	s	n	n	n	s	n
1964	n	k	s	k	s	k	n	k	n	k	n	n	n	k
1965	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1966	n	n	n	n	f	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1967	n	n	sf	n	f	n	f	n	f	n	n	n	n	n
1968	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1969	n	sk	n	sk	n	k	n	n	n	n	n	n	n	n
1970	s	n	ss	k	ss	n	ss	k	ss	k	ss	k	ss	k
1971	n	k	n	k	n	k	n	sk	n	sk	n	sk	n	k
1972	n	w	n	n	n	n	n	w	n	n	n	w	f	w
1973	n	n	n	n	n	n	s	n	n	n	s	n	s	n
1974	sf	w	n	n	sf	w	f	w	f	w	f	w	f	w
1975	n	n	sf	n	sf	n	sf	n	n	n	n	n	f	n
1976	n	k	n	k	n	n	n	n	n	k	n	n	n	k
1977	n	w	sf	w	sf	w	sf	w	sf	w	sf	sw	sf	w
1978	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1979	ss	n	s	n	s	n	n	n	s	n	s	n	n	n
1980	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1981	f	sw	n	sw	n	sw	n	sw	n	sw	n	w	f	sw
1982	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1983	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1984	n	n	n	n	n	n	s	n	s	n	n	k	s	n
1985	s	n	n	n	s	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1986	n	n	s	n	s	n	s	n	n	n	s	n	s	n
1987	n	sk	s	sk	s	sk	n	sk	n	sk	n	sk	s	sk
1988	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
1989	sf	sw	sf	sw	sf	sw	f	sw	f	sw	f	sw	sf	sw
Mittel	115	0.6	97	4.6	100	3.8	100	3.2	97	4.1	104	1.3	98	3.9
s	11	2.2	13	2.0	11	2.1	13	1.9	11	1.7	13	1.8	10	2.1

(1) Abkürzungen s. Tab. 4.1.2.

### 4.1.3 Frühsommer

Im Vergleich zu der Haselblüte und Forsythienblüte ist das Korrelationsniveau des Eintrittstermins der Holunderblüte mit der Monatsmitteltemperatur im Mai in den ausgewählten Naturräumen und an den repräsentativen Klimastationen deutlich gesunken, während das Korrelationsniveau zwischen dem Eintrittstermin der Holunderblüte und der mittleren Sonnenscheindauer im Mai in den meisten Naturräumen und an den entsprechenden Klimastationen gestiegen ist. Eine signifikante positive Korrelation zwischen dem Eintrittstermin der Holunderblüte und der monatlichen Niederschlagshöhe im Mai ist in den Naturräumen 700, 541, 408, 336 und 180 zu finden (Tab. 4.1.9).

Da eine enge Korrelation zwischen der Monatsmitteltemperatur und der Monatssumme der Sonnenscheindauer sowie zwischen der Monatssumme der Sonnenscheindauer und dem monatlichen Niederschlag im Mai besteht, wird eine partielle Korrelationsrechnung durchgeführt. Mit ihr wird festgestellt, ob der Einfluß eines Parameters, wie z.B. jener der Sonnenscheindauer, auf den Blühtermin des Schwarzen Holunders durch die anderen zwei Parameter (Lufttemperatur, Niederschlag) unterdrückt wird. Es zeigt sich, daß der Einfluß der Sonnenscheindauer im allgemeinen durch die Einflüsse der anderen zwei Parameter überdeckt wird und deshalb enge Zusammenhänge bei der einfachen Korrelationsrechnung in den meisten ausgewählten Naturräumen auftreten. Die Sonnenscheindauer spielt eine nur geringe Rolle für den Blühbeginn des Schwarzen Holunders. Dies gilt aber auch für den Niederschlag, bei dem eine signifikante partielle Korrelation nur im Naturraum 336 (Westsauerländisches Oberland) besteht. Im Vergleich zu den obengenannten zwei Parametern ist der Einfluß der Maitemperatur auf den Blühtermin des Schwarzen Holunders wesentlich eindeutiger. Die signifikante partielle Korrelation erscheint in 10 von 19 Naturräumen/Stationen (s. Tab. 4.1.9). Die negativen Korrelationskoeffizienten zwischen dem Eintrittstermin der Holunderblüte und der Temperatur bedeuten, daß sich mit einsteigender Monatsmitteltemperatur im Mai der Termin der Holunderblüte in den entsprechenden Naturräumen verfrüht.

Hier wird nur der Jahrestyp der Holunderblüte und der Monatsmitteltemperatur im Mai analysiert.

Die zeitliche Übereinstimmung zwischen den "ungewöhnlichen" sowie "besonderen" Jahrestypen des Beginns der Holunderblüte und der Monatsmitteltemperatur im Mai ist schwächer als die zwischen den beiden Jahrestypen der Forsythienblüte und der Temperatur im März. In 10 von 19 Naturräumen und an den entsprechenden Stationen sind die phänologisch-klimatologischen Übereinstimmungen kleiner als 50% aller "ungewöhnlichen" und "besonderen" Jahre bei der Maitemperatur (Naturraum 700, 600, 155, 23, 180, 223, 261, 394, 381, 408). Die Gebiete mit höherer zeitlicher Übereinstimmung (> 60%) der "ungewöhnlichen" und "besonderen" Jahrestypen der Holunderblüte und der Maitemperatur liegen im Süddeutschen Stufenland (Naturraum 144: Sandsteinodenwald und Naturraum 113: Mittelfränkisches Becken).

Ein "kaltes" und damit "spätes" Jahr für das Gebiet Westdeutschlands tritt nur 1987 auf. Als "kaltes" sowie "spätes" Jahr und "warmes" sowie "frühes" Jahr gelten 1962 und 1988 für die meisten ausgewählten Naturräume/Stationen mit Ausnahme der Naturräume/Stationen im phänologischen Raumtyp 20. Ein "warmes" und damit "frühes" Jahr dominiert 1989 in den Raumtypen 28, 20 und 10, während ein "kaltes" und "spätes" Jahr 1984 in den Raumtypen 20 und 10 auftritt. Ferner herrschen in den Jahren 1965 und 1970 "kalte" und "späte" Frühsommer nur im Raumtyp 1 vor (s. Tab. 4.1.10 - 4.1.13).

Nicht erwartet wurde, daß sich manche Jahre als "kaltes" und gleichzeitig "frühes" Jahr (z.B. 1961) oder "warmes" sowie "spätes" Jahr (z.B. 1986) in einigen Gebieten erwiesen haben. Diese phänologischen "ungewöhnlichen" Jahre wurden sehr wahrscheinlich nicht von der Maitemperatur, sondern hauptsächlich von der Apriltemperatur beeinflusst, z.B. trat 1961 der wärmste April des Zeitraums 1960-1989 auf, während im Jahr 1986 ein relativ kalter April herrschte (s. Tab. 4.1.10 - 4.1.13).

Tab. 4.1.9 Einfache und partielle Korrelationskoeffizienten zwischen dem Eintrittstermin der Holunderblüte (SHb) und den Klimaparametern im Mai (1)

Typ	Naturraum Nr./Station	$r_{SHb-T}$	$r_{SHb-S}$	$r_{SHb-N}$	$r_{SHb-T.SN}$	$r_{SHb-S.TN}$	$r_{SHb-N.TS}$
28	700/Schleswig	-0.5565**	-0.5736***	0.4632**	-0.3551#	-0.1871#	0.1245#
28	641/Soltau	-0.4369*	-0.3431#	0.204#	-0.3101#	-0.0865#	0.0182#
28	600/Friesoythe	-0.5695**	-0.3735*	0.2035#	-0.4748*	-0.1073#	-0.083#
28	541/Münster	-0.4773**	-0.5028**	0.444*	-0.2026#	-0.1349#	0.1796#
28	355/Bad Hersfeld	-0.483**	-0.4202*	0.2373#	-0.3229#	-0.1798#	-0.032#
28	155/St. Blasien	-0.4475*	-----	0.2454#	-0.3986*	-----	0.1079#
20	23/Garmisch-Partenk.	-0.4808**	-0.2655#	-0.2946#	-0.3746*	-0.0454#	-0.35#
20	180/Pirmasens	-0.5718***	-----	0.3788*	-0.503**	-----	0.2226
20	223/Karlsruhe	-0.3564#	-0.3178#	0.3164#	-0.1845#	-0.0371#	0.1499#
20	261/Halsdorf	-0.516**	-----	0.27#	-0.4697*	-----	0.1231#
20	394/Fichtelberg	-0.5564**	-----	0.1145#	-0.554**	-----	-0.098#
14	381/Braunlage	-0.4419*	-0.2066#	-0.0557#	-0.426*	-0.0974#	-0.291#
10	364/Bad Salzflun	-0.4761**	-0.3995*	0.3161#	-0.3042#	-0.0791#	0.0678#
10	336/Lüdenscheid	-0.5822***	-0.4105*	0.5712**	-0.3955*	0.2106#	0.3745*
10	144/Buchen	-0.4998**	-----	0.3178#	-0.4328*	-----	0.1614#
10	113/Nürnberg	-0.4313*	-0.4635**	0.1664#	-0.1274#	-0.2455#	-0.082#
1	38/Rosenheim	-0.5446**	-0.4655**	0.1208#	-0.3493#	-0.1447#	-0.08#
1	46/Krumbach	-0.4963**	-0.4055*	0.1918#	-0.3267#	-0.0995#	-0.029#
1	408/Passau	-0.556**	-0.376*	0.4963**	-0.405*	0.1906#	0.2954#

(1) Abkürzungen s. Tab. 4.1.1.

Tab. 4.1.10

Vergleich der Jahrestypen der Blüte des Schwarzen Holunders (SHb) und der Monatsmitteltemperatur im Mai (T<sub>5</sub>) für den phänologischen Raumtyp 28 (1)

Jahre	20 SHb T <sub>5</sub>	19 SHb T <sub>5</sub>	18 SHb T <sub>5</sub>	17 SHb T <sub>5</sub>	12 SHb T <sub>5</sub>	6 SHb T <sub>5</sub>
1960	n n	n n	n n	n n	n n	n n
1961	sf k <u>sw</u> *	sf sk <u>sw</u>	n k	f sk <u>sw</u>	f sk <u>sw</u>	sf n <u>sw</u>
1962	ss sk	ss sk	ss sk	ss sk	ss sk	s k
1963	n n	s n	ss n	s n	n n	ss n
1964	f n	n n	n w	n w	sf w	n w
1965	s k	s n	s n	s n	n n	n n
1966	n w	n n	f n	n n	sf n	f n
1967	n n	n n	n n	n n	n n	n n
1968	n sk	sf k <u>sw</u>	n k	f k <u>sw</u>	n n	n n
1969	ss k	n n	n n	n n	n n	n n
1970	n n	s n	s n	s n	n n	s k
1971	n w	f sw	n w	f sw	n w	n w
1972	n n	n n	n n	n n	n n	n n
1973	n n	n n	ss n	n n	n n	n n
1974	n k	n n	n n	n n	n n	n n
1975	n n	n n	n k	n n	n n	n n
1976	s n	n n	n n	n n	n n	f n
1977	n n	n n	n n	n n	n n	n n
1978	n n	n n	n n	n n	n n	n n
1979	s n	n n	n n	n n	n n	n n
1980	n n	n k	n n	n n	n n	n n
1981	n sw	f w	f sw	f w	n n	n n
1982	n n	n n	f n	n n	n n	n n
1983	n n	n n	f n	n k	n n	n k
1984	n n	s n	n n	ss k	n k	n k
1985	n n	n w	n w	n w	n w	n w
1986	n w	n w	s w <u>k</u>	s w <u>k</u>	n sw	n sw
1987	ss sk	ss sk	s sk	s sk	ss sk	ss sk
1988	sf w	f sw	f sw	f sw	sf sw	f sw
1989	sf w	sf w	sf w	sf w	sf w	sf sw
Mittel	167 11.0	159 12.3	157 12.2	153 12.9	161 12.6	167 9.7
s	5 0.9	6 1.4	6 1.3	6 1.4	6 1.4	6 1.3

(1) Abkürzungen s. Tab. 4.1.2.

\* Jahrestyp der Apriltemperatur

Tab. 4.1.11

Vergleich der Jahrestypen der Blüte des Schwarzen Holunders (SHb) und der Monatsmitteltemperatur im Mai (T<sub>5</sub>) für den phänologischen Raumtyp 20 (1)

Jahre	1 SHb T <sub>5</sub>	7 SHb T <sub>5</sub>	8 SHb T <sub>5</sub>	10 SHb T <sub>5</sub>	15 SHb T <sub>5</sub>
1960	n n	f w	f n	f w	f n
1961	f k <u>sw</u>	sf n <u>sw</u>	sf k <u>sw</u>	sf n <u>sw</u>	f k <u>sw</u>
1962	n k	n k	n k	s sk	n sk
1963	n n	n n	s n	n n	n n
1964	sf sw	n sw	n sw	n sw	f w
1965	n n	s n	s n	n n	n n
1966	sf n	sf w	sf n	f n	f n
1967	n n	n n	n n	n n	n n
1968	n n	n n	f n	n k	n k
1969	n w	n w	n n	n n	n n
1970	s k	s n	ss n	n n	n k
1971	n n	n sw	n sw	n sw	sf w
1972	s n	n n	n n	n n	n n
1973	s w <u>sk</u>	n n	n n	n n	n n
1974	n n	f n	n n	f n	n k
1975	n n	n n	n n	n n	n n
1976	n n	n n	n w	n n	n n
1977	n n	n n	n n	n n	n n
1978	n n	n n	n n	n n	ss n
1979	s n	s n	n n	s n	n n
1980	s k	n k	n n	n n	s k
1981	n n	n n	f n	n n	sf n
1982	n n	n n	n n	n n	n n
1983	f n	n k	n n	n k	n n
1984	ss k	ss sk	ss sk	ss sk	ss k
1985	n w	n n	n n	n n	n n
1986	n sw	n n	n w	s w <u>k</u>	n sw
1987	ss sk	ss sk	s sk	s sk	ss sk
1988	n w	n n	n sw	n w	n sw
1989	sf n	sf n	f sw	sf sw	f w
Mittel	168 10.9	155 12.1	144 14.2	156 11.9	171 10.0
s	7 1.3	7 1.4	6 1.4	6 1.3	7 1.4

(1) Abkürzungen s. Tab. 4.1.10.

Tab. 4.1.12 Vergleich der Jahrestypen der Blüte des Schwarzen Holunders (SHb) und der Monatsmitteltemperatur im Mai (T<sub>5</sub>) für die phänologischen Raumtypen 14 und 10 (1)

Jahre	14 SHb T <sub>5</sub>	13 SHb T <sub>5</sub>	11 SHb T <sub>5</sub>	5 SHb T <sub>5</sub>	4 SHb T <sub>5</sub>
1960	n n	f n	n n	f n	n n
1961	n sk	sf k <u>sw</u>	sf k <u>sw</u>	sf k <u>sw</u>	sf sk <u>sw</u>
1962	ss sk	s sk	ss sk	ss sk	s sk
1963	n n	n n	n n	n n	n n
1964	f w	n w	n w	n k	n n
1965	n n	s n	s n	ss n	ss n
1966	f n	n n	n n	sf n	sf n
1967	n n	n n	n n	n n	n n
1968	n k	n k	n k	n n	n n
1969	n n	n n	n n	n n	n n
1970	n n	n n	n n	ss n	ss n
1971	sf sw	n w	sf sw	f sw	f sw
1972	n n	n n	s n	s n	n n
1973	n n	s n	n n	n n	n n
1974	n n	n n	n n	n n	n n
1975	n n	n n	n n	n n	n n
1976	n n	n n	n n	n n	n w
1977	n n	n n	n n	n n	n n
1978	n n	n n	n n	n n	n n
1979	n n	n n	n n	n n	n n
1980	ss k	n n	n n	n n	n n
1981	f w	sf w	n n	n n	f n
1982	n n	n n	n n	n n	n n
1983	n n	n n	n k	n n	n n
1984	ss n	ss k	ss k	ss k	ss k
1985	ss w <u>n</u>	n w	n n	n n	n n
1986	n w	s w <u>k</u>	n w	n sw	n sw
1987	n sk	ss sk	ss sk	s sk	ss sk
1988	n sw	f sw	f sw	f sw	f sw
1989	n w	sf w	sf sw	sf sw	sf w
Mittel	170 9.5	160 12.7	163 11.2	157 12.1	157 13.1
s	5 1.5	6 1.4	7 1.6	6 1.4	6 1.5

(1) Abkürzungen s. Tab. 4.1.10.

Tab. 4.1.13

Vergleich der Jahrestypen der Blüte des Schwarzen Holunders (SHb) und der Monatsmitteltemperatur im Mai ( $T_5$ ) für den phänologischen Raumtyp 1 (1)

Jahre	2		3		16	
	SHb	$T_5$	SHb	$T_5$	SHb	$T_5$
1960	n	n	f	n	n	n
1961	sf	sk <u>sw</u>	sf	k <u>sw</u>	sf	sk <u>sw</u>
1962	ss	sk	s	sk	ss	sk
1963	n	n	ss	n	n	n
1964	n	n	n	w	n	n
1965	ss	k	ss	k	ss	k
1966	f	n	n	n	f	n
1967	n	n	n	n	n	n
1968	n	n	n	n	n	n
1969	f	w	n	w	n	w
1970	n	k	s	k	ss	k
1971	n	n	n	w	n	w
1972	n	n	n	n	n	n
1973	n	n	n	n	n	n
1974	n	n	n	n	n	k
1975	n	n	s	n	n	n
1976	n	n	n	n	n	n
1977	n	n	n	n	f	n
1978	n	k	n	n	n	k
1979	n	n	n	n	n	n
1980	n	k	n	k	s	k
1981	n	n	f	n	f	n
1982	n	n	n	n	n	n
1983	n	n	f	n	n	n
1984	ss	n	ss	sk	n	n
1985	n	w	n	n	n	w
1986	n	sw	n	sw	f	sw
1987	ss	sk	ss	sk	ss	sk
1988	f	w	f	w	n	sw
1989	sf	w	sf	n	f	n
Mittel	158	12.7	161	11.7	155	12.7
s	7	1.4	6	1.3	7	1.5

(1) Abkürzungen s. Tab. 4.1.10.

#### 4.1.4 Vollherbst

Im Vergleich zu den Blühphasen im Frühling und Sommer ist das Korrelationsniveau zwischen den Herbstphasen, z. B. der Fruchtreife und der Blattverfärbung, und der Temperatur deutlich geringer. Dies haben auch andere Untersuchungen gezeigt (z.B. Runge und Schönwiese, 1986). Hier wird das Ergebnis der Blattverfärbung der Roßkastanie dargestellt.

Die einfache Korrelationsanalyse deutet darauf hin, daß die Blattverfärbung der Roßkastanie nur in einigen Gebieten des Mittelgebirges und Süddeutschlands, wie z. B. im Naturraum 355 (Fulda-Werra-Bergland) und in den Naturräumen 46 (Iller-Lech-Schotterplatten), 113 (Mittelfränkisches Becken) und 223 (Hardtebenen), durch niedrige Temperaturen im September ausgelöst wird (positive Korrelation). Im Schleswig-Holsteinischen Land, z.B. im Naturraum 700 (Angeln) spielt die Sonnenscheindauer im September für die Blattverfärbung der Roßkastanie eine wichtige Rolle. Dort zeigt sich eine positive Korrelation, d.h. je kürzer die Sonnenscheindauer ist, desto früher tritt die Blattverfärbung der Roßkastanie ein und umgekehrt. Die Korrelation mit dem Niederschlag ergibt signifikante Ergebnisse nur im Rheinischen Schiefergebirge, z. B. im Naturraum 336 (Westsauerländisches Oberland) und im Südwestdeutschen Stufenland, z. B. im Naturraum 261 (Bitburger Gutland). Die positiven Korrelationskoeffizienten weisen darauf hin, daß die verfrühte Blattverfärbung der Roßkastanie von der geringeren Niederschlagsmenge im September verursacht wird und umgekehrt (Tab. 4.1.14).

Tab. 4.1.14 Einfache und partielle Korrelationskoeffizienten zwischen dem Eintrittstermin der Blattverfärbung der Roßkastanie (RBV) und Klimaparametern im September (1)

Typ	Naturraum Nr./ Station	$r_{RBV-T}$	$r_{RBV-S}$	$r_{RBV-N}$	$r_{RBV-T,SN}$	$r_{RBV-S,TN}$	$r_{RBV-N,TS}$
24	700/Schleswig	0.0714#	0.5554**	0.0224#	-0.053#	0.6614***	0.436*
23	394/Fichtelberg	0.0063#	-----	0.06#	0.0406#	-----	0.0722#
22	541/Münster	0.2098#	-0.0794#	0.3571#	0.2408#	0.0133#	0.3504#
22	223/Karlsruhe	0.3906*	-0.0894#	0.3399#	0.5056**	-0.0798#	0.3834*
20	144/Eberbach(2)	0.1649#	-----	0.1068#	0.1793#	-----	0.1282#
18	600/Friesoythe	0.1114#	-0.0616#	0.3288#	0.0886#	0.1025#	0.3353#
18	364/Bad Salzflun	0.1916#	0.2191#	-0.1212#	0.1161#	0.1071#	-0.0466#
18	228/Bad Kreuznach	0.0387#	0.0693#	-0.07#	0.0244#	0.0324#	-0.0444#
16	336/Lüdenscheid	0.3551#	0.0283#	0.3672*	0.35#	0.3313#	0.5495**
14	38/Wasserburg(3)	0.2012#	-----	-0.0557#	0.194#	-----	-0.0121#
14	46/Krumbach	0.3695*	0.3534#	0.0849#	0.2319#	0.3155#	0.2209#
14	113/Nürnberg	0.4047*	0.0447#	0.1442#	0.4211*	-0.0601#	0.1741#
14	180/Pirmasens	-0.0084#	-----	0.0632#	0.0057#	-----	0.0629#
14	355/Bad Hersfeld	0.3644*	0.0265#	0.3161#	0.3027#	0.1077#	0.3293#
14	381/Braunlage	0.3209#	0.2717#	0.0825#	0.2236#	0.2766#	0.301#
14	641/Soltau	0.17#	0.0283#	0.2862#	0.1268#	0.2219#	0.3739#
12	261/Halsdorf	0.0943#	-----	0.4428*	0.0982#	-----	0.4435*
1	155/St. Blasien	0.2748#	-----	0.183#	0.3283#	-----	0.2593#
1	408/Passau	0.0693#	0.0316#	-0.0265#	0.0635#	-0.0115#	-0.0198#

(1) Abkürzungen s. Tab. 4.1.1.

(2) Ersatzstation von Buchen;

(3) Ersatzstation von Rosenheim

Tab. 4.1.15

Vergleich der Jahrestypen der Blattverfärbung der Roßkastanie (RBV) mit Klimaparametern im September ( $T_9$ ,  $S_9$  und  $N_9$ ) für die Naturräume/Stationen mit signifikanten Korrelationen

Jahre	20 RBV $S_9$	12 RBV $T_9$	8 RBV $T_9$	4 RBV $T_9$	3 RBV $T_9$	11 RBV $N_9$	10 RBV $N_9$
1960	ss sl*	n n	sf k	n k	n k	f n+	n n
1961	n n	ss sw	n sw	ss sw	n sw	ss n	s n
1962	n l	s k	n n	ss n	ss n	f n	n n
1963	n n	n n	n n	n n	n n	n n	f n
1964	n n	ss n	n n	n n	n n	f n	n n
1965	n n	n n	n k	n n	s n	n n	n n
1966	n n	n n	n n	n n	f n	sf n	n t
1967	sf n	s n	n n	n n	n n	n n	s n
1968	sf sk	n n	ss n	sf n	sf n	n sn	n sn
1969	n sl	n n	n n	n n	sf n	n t	n t
1970	n n	n n	n n	n n	n n	n n	f n
1971	n n	sf k	sf k	f k	sf k	f st	sf t
1972	n l	n sk	n sk	n sk	n sk	n n	n n
1973	n n	n n	n n	n n	s n	s n	n n
1974	n n	n n	n n	n n	s n	n n	sf n
1975	ss l	ss sw	ss sw	n sw	s sw	n n	n n
1976	sf sk	f n	n n	f n	sf k	sf n	n n
1977	n n	n n	sf k	f k	f k	n n	n t
1978	n sk	n n	n n	n n	n n	n sn	n n
1979	n n	sf n	n n	f n	n n	n t	n n
1980	n l	n n	s n	n n	s n	ss n	n n
1981	n n	n n	n n	n n	f n	n n	n n
1982	n n	n sw	n sw	n sw	n w	s n	n n
1983	n n	n n	n n	s n	n n	n n	n n
1984	n k	s n	n n	ss n	s n	ss sn	ss sn
1985	n n	n n	ss n	n n	n n	n n	n n
1986	n n	sf k	n k	n sk	f n	n n	ss n
1987	s n	s n	ss sw	ss w	s sw	n n	ss sn
1988	n n	f n	n n	n n	n n	n n	ss n
1989	n l	n n	n n	n n	n n	s n	n n
Mittel	273 147.4	278 13.6	272 15.4	277 14.0	277 12.9	280 92.3	280 67.4
s	5 27.1	4 1.3	4 1.4	4 1.4	4 1.3	5 42.9	5 34.1

\* n: normal + n: normal  
 l: lang ( $S_9$ ); k: kurz n: naß ( $N_9$ )  
 sl: sehr lang; sk: sehr kurz sn: sehr naß t: trocken  
 st: sehr trocken

Die partielle Korrelationsberechnung zeigt ein ähnliches Ergebnis wie die einfache Korrelationsanalyse. Allerdings tritt eine signifikante partielle Korrelation zwischen der Blattverfärbung der Roßkastanie und dem Niederschlag im September nicht nur in den Naturräumen 336 und 261, sondern auch in den Naturräumen 700 (Angeln) und 223 (Hardtebenen) auf (s. Tab. 4.1.14).

Die Jahrestypen der Blattverfärbung der Roßkastanie und der Klimaparameter wurden nur für die 7 Naturräume/Stationen, in denen sich eine signifikante einfache Korrelation zwischen der Blattverfärbung der Roßkastanie und den Klimaparametern zeigte, analysiert. Die zeitliche Übereinstimmung zwischen den "ungewöhnlichen" und "besonderen" Jahrestypen der Blattverfärbung der Roßkastanie und der Sonnenscheindauer tritt in den Jahren 1960, 1975 (sehr späte Blattverfärbung und sehr lange sowie lange Sonnenscheindauer im September), 1968 und 1976 (sehr frühe Blattverfärbung und sehr kurze Sonnenscheindauer im September) auf. Bei der Temperatur waren 1971 und 1977 "kalte" sowie "frühe" Jahre, während 1975 und 1987 "warme" und "späte" Jahre waren. Beim Niederschlag wurde ein "trockenes" und damit "frühes" Jahr 1971 und ein "regenreiches" sowie "spätes" Jahr 1984 gefunden (s. Tab. 4.1.15).

## 4.2 Phänologischer und klimatologischer Trend

Der lineare Trend eines phänologischen oder klimatologischen Parameters, z.B. jener des Eintrittstermins einer phänologischen Phase oder jener der Monatsmitteltemperatur von 1960 bis 1989, ergibt sich aus der Korrelation mit der Zeit in Form von Regressionsgleichungen (Schönwiese, 1992). Wenn eine signifikante positive Korrelation zwischen dem Parameter und der Zeit existiert, zeigt dieser Parameter einen positiven Trend, d.h. daß z.B. die Eintrittstermine der phänologischen Phase in dem Zeitraum sich verspäten oder die Temperatur ansteigt. Wenn eine signifikante negative Korrelation existiert, besitzt dieser Parameter einen negativen Trend, d.h. die Eintrittstermine der phänologischen Phase treten in dem Zeitraum immer früher auf und die jährliche Temperatur zeigt eine Abnahme. Der Trendwert bezeichnet die Differenz des Ordinaten-Wertes (des Eintrittstermins einer phänologischen Phase oder der Monatsmitteltemperatur) am Ende des Untersuchungszeitraums gegenüber dem Beginn (Schönwiese, 1993).

Um den phänologischen und klimatologischen Trend deutlicher erkennen zu können, wird ein fünfjähriger gleitender Mittelwert verwendet. Da die phänologischen Eintrittstermine hauptsächlich von der Monatsmitteltemperatur beeinflußt sind (s. Kapitel 4.1), werden hier nur die Zeitreihen der Temperatur analysiert.

### 4.2.1 Vorfrühling

Ein signifikanter phänologischer und klimatologischer Trend zeichnet sich selten in den ausgewählten Naturräumen und an den Klimastationen im Zeitraum 1960-1989 ab (s. Tab. 4.2.1). Bei dem Beginn der Haselblüte zeigen nur die Zeitreihen des Naturraums 261 (Bitburger Gutland) und 408 (Passauer Abteiland-Neuburger Wald) einen signifikanten positiven Trend, d.h. eine phänologische Verspätung; bei der Monatsmitteltemperatur zeigt sich dagegen ein negativer Trend, d.h. ein Temperaturrückgang im Harz (Station: Braunlage), im Thüringisch-Fränkischen Mittelgebirge (Station: Fichtelberg) und in den Bayerischen Alpen (Station: Garmisch-Partenkirchen). Erst wenn die Korrelationskoeffizienten zwischen den phänologischen Eintrittsterminen der Haselblüte und der Zeit bzw. zwischen der Monatsmitteltemperatur und der Zeit in zwei Zeitintervallen separat berechnet werden, zeigen sich eindeutige Trends (s. Tab. 4.2.2 und 4.2.3; s. Anhang: Abb. 4.2.1 - 4.2.20).

Es zeigt sich, daß von 1962 bis 1976 eine phänologische Verfrühung (negativer Trend) und ein Temperaturanstieg (positiver Trend) in fast allen "Größeren Naturräumlichen Landschaftseinheiten" auftreten. Die Trends liegen bei der Haselblüte zwischen -11 und -23 Tagen und bei der Monatsmittel-

temperatur zwischen 1.4 und 4.6°C in diesem Zeitraum (s. Tab. 4.2.2). Die geographische Verteilung dieser Trends zeigt, daß die phänologische Verfrühung und der Temperaturanstieg im phänologischen Raumtyp 15 (überwiegend in Norddeutschland) und im phänologischen Raumtyp 6 (überwiegend in Süddeutschland) stärker ist als im phänologischen Raumtyp 1 (überwiegend in den Mittel- und Hochgebirgen Süd- und Mitteldeutschlands). Der nicht signifikante Trend liegt bei der Haselblüte im Schleswig-Holsteinischen Land (Naturraum 700), im Süddeutschen Stufenland (Naturraum 144), im Schwarzwald (Naturraum 155) und im Oberpfälzisch-Bayerischen Wald (Naturraum 408), und bei der Temperatur in den Bayerischen Alpen (Klimastation: Garmisch-Partenkirchen).

In dem zweiten Zeitintervall von 1977 bis 1987 zeigen die Zeitreihen des Beginns der Haselblüte einen signifikanten positiven Trend (s. Tab. 4.2.3), d.h. eine phänologische Verspätung in 18 von 20 ausgewählten Naturräumen (mit Ausnahme von Naturraum 700: Angeln und Naturraum 541: Kernmünsterland). Die Trendwerte der Haselblüte sind aber im phänologischen Raumtyp 1 (15-26 Tage) größer als die im phänologischen Raumtyp 15 und 6 (6-22 Tage). Dieser geographische Unterschied von phänologischen Trendwerten ist umgekehrt als der in dem ersten Zeitintervall. Allerdings erscheint der entsprechende signifikante Temperaturrückgang (negativer Trend) nur im phänologischen Raumtyp 1 (-2.3 bis -3.5°C), während die meisten anderen ausgewählten Klimastationen einen leichten negativen Temperaturtrend zeigen (s. Tab. 4.2.3).

Tab. 4.2.1 Korrelationskoeffizienten zwischen den fünfjährigen gleitenden Mittelwerten der Haselblüte und der Monatsmitteltemperatur im Januar und Februar (nur für den Raumtyp 1) und der Zeit (Jahre); Zeitraum: 1962-1987

Phäno. Raumtyp Nr.	Naturraum Nr./Station	Haselblüte	Temperatur
15	700/Schleswig	0.3410#	-0.0806#
15	641/Soltau	-0.0070#	0.0418#
15	600/Friesoythe	0.2855#	0.0412#
15	541/Münster	0.3476#	0.0775#
15	364/Bad Salzuflen	-0.1212#	0.0843#
15	336/Lüdenscheid	-0.0387#	-0.0245#
15	261/Halsdorf	0.3920*	-0.0995#
15	228/Bad Kreuznach	0.2276#	0.1720#
15	223/Karlsruhe	0.0219#	0.2353#
6	38/Rosenheim	-0.0825#	0.3359#
6	46/Krumbach	-0.1428#	0.1476#
6	113/Nürnberg	-0.1158#	0.2670#
6	144/Buchen	0.2681#	0.1418#
6	180/Pirmasens	-0.1865#	0.0566#
6	355/Bad Hersfeld	0.2544#	0.1253#
1	23/Garmisch-Partenk.	-0.1520#	-0.6622***
1	155/St. Blasien	-0.1086#	-0.3513#
1	381/Braunlage	0.0387#	-0.4156*
1	394/Fichtelberg	0.0686#	-0.4259*
1	408/Passau	0.5959**	-0.3639#

\*\*\* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.001;  
\* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.05;

\*\* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.01;  
# nicht signifikant

Tab. 4.2.2

Trends und Korrelationskoeffizienten (r) von fünfjährigen gleitenden Mittelwerten des Beginns der Haselblüte (Hb) und der mittleren Temperatur (T) im Januar und Februar (nur für den Raumtyp 1), Zeitraum:1962-1976

Raumtyp Nr.	Naturraum Nr./ Station	Hb-Trend (Tage)	Hb-r	T-Trend (°C)	T-r
15	700/Schleswig(1)	---	-0.5316#	2.2	0.6851**
15	641/Soltau(1)	-21	-0.7838***	3.0	0.7697**
15	600/Friesoythe(1)	-22	-0.8056***	3.1	0.8126***
15	541/Münster	-13	-0.7944***	4.3	0.9336***
15	364/Bad Salzuflen	-22	-0.7639***	4.2	0.9156***
15	336/Lüdenscheid	-23	-0.8350***	3.8	0.9577***
15	261/Halsdorf	-11	-0.6468**	3.5	0.9214***
15	228/Bad Kreuznach	-17	-0.8135***	3.5	0.8338***
15	223/Karlsruhe	-13	-0.8024***	3.6	0.8658***
6	38/Rosenheim	-20	-0.7664***	3.9	0.8725***
6	46/Krumbach	-15	-0.7092**	4.1	0.9011***
6	113/Nürnberg	-20	-0.8026***	4.6	0.9056***
6	144/Buchen	---	-0.4899#	3.8	0.8688***
6	180/Pirmasens	-23	-0.9386***	3.8	0.9406***
6	355/Bad Hersfeld	-16	-0.6609**	4.2	0.8335***
1	23/Garmisch-Partenk.(2)	-13	-0.6204*	---	0.1356#
1	155/St. Blasien	---	-0.4753#	1.4	0.6935**
1	381/Braunlage(1)	-16	-0.6429*	2.2	0.7822***
1	394/Fichtelberg(1)	-13	-0.8193***	1.8	0.7126**
1	408/Passau	---	-0.2748#	2.5	0.7896***

\*\*\* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.001

\*\* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.01

\* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.05

# nicht signifikant

(1) Zeitintervall: 1962-1975

(2) Zeitintervall: 1962-1977

Tab. 4.2.3 Trends und Korrelationskoeffizienten (r) von fünfjährigen gleitenden Mittelwerten des Beginns der Haselblüte (Hb) und der mittleren Temperatur (T) im Januar und Februar (nur für den Raumtyp 1); Zeitraum: 1977-1987

Raumtyp Nr.	Naturraum Nr./ Station	Hb-Trend (Tage)	Hb-r	T-Trend (°C)	T-r
15	700/Schleswig(1)	--	0.4563#	---	-0.3378#
15	641/Soltau(1)	18	0.7497**	---	-0.5010#
15	600/Friesoythe(1)	22	0.8152**	---	-0.4482#
15	541/Münster	--	0.3036#	---	-0.4816#
15	364/Bad Salzuflen	15	0.8503***	---	-0.3770#
15	336/Lüdenscheid	16	0.7909**	---	-0.3608#
15	261/Halsdorf	18	0.8813***	---	-0.1691#
15	228/Bad Kreuznach	17	0.8624***	---	-0.0707#
15	223/Karlsruhe	6	0.6570*	---	-0.2309#
6	38/Rosenheim	22	0.9166***	---	0.0557#
6	46/Krumbach	14	0.8139**	---	-0.3964#
6	113/Nürnberg	17	0.8758***	---	-0.3335#
6	144/Buchen	10	0.7908**	---	-0.0728#
6	180/Pirmasens	11	0.8096**	---	-0.1539#
6	355/Bad Hersfeld	17	0.8902***	---	-0.3097#
1	23/Garmisch-Partenk.(2)	20	0.9353***	-2.3	-0.7010*
1	155/St. Blasien	15	0.8676***	-2.7	-0.7095*
1	381/Braunlage(1)	26	0.9181***	-2.9	-0.8367***
1	394/Fichtelberg(1)	17	0.8841***	-3.5	-0.8760***
1	408/Passau	16	0.9411***	-3.4	-0.8488***

- \*\*\* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.001
- \*\* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.01
- \* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.05
- # nicht signifikant
- (1) Zeitintervall: 1976-1987
- (2) Zeitintervall: 1978-1987

#### 4.2.2 Erstfrühling

Einen signifikanten Trend zeigen im Zeitraum 1962-1987 nur die Zeitreihen der Märztemperatur. Hierbei besitzen 9 von 18 Klimastationen einen positiven Trend. Die Trendwerte der Märztemperatur liegen zwischen 0.6 und 1.5°C und erscheinen in folgenden "Größeren Naturräumlichen Landschaftseinheiten": dem Norddeutschen Tiefland (repräsentative Stationen: Soltau und Friesoythe); dem Oberpfälzisch-Bayerischen Wald (repräsentative Station: Passau); dem Oberrheinischen Tiefland (repräsentative Station: Karlsruhe); dem Süddeutschen Stufenland (repräsentative Stationen: Buchen und Nürnberg); dem Deutschen Alpenvorland (repräsentative Station: Rosenheim); dem Niedersächsischen Bergland (repräsentative Station: Bad Salzuflen) und dem Hessischen Bergland (repräsentative Station: Bad Hersfeld).

Tab. 4.2.4 Korrelationskoeffizienten zwischen den fünfjährigen gleitenden Mittelwerten der Forsythienblüte und der Monatsmitteltemperatur im März und der Zeit (Jahre); Zeitraum: 1962-1987

Phäno. Raumtyp Nr.	Naturraum Nr./Station	Forsythienblüte	Temperatur
10	700/Schleswig	0.0825#	0.3251#
5	641/Soltau	0.0686#	0.3975* (T=0.6)(1)
5	600/Friesoythe	0.06#	0.4124* (T=1.0)
5	541/Münster	0.0539#	0.3561#
5	408/Passau	0.2978#	0.3908* (T=1.3)
5	228/Bad Kreuznach	-0.0906#	0.3625#
5	223/Karlsruhe	0.2668#	0.41* (T=1.3)
5	180/Pirmasens	0.1068#	-0.09#
5	144/Buchen	0.1539#	0.4557* (T=1.5)
5	46/Krumbach	0.098#	0.3003#
5	38/Rosenheim	0.1546#	0.4782* (T=1.5)
1	381/Braunlage	0.348#	0.3366#
1	364/Bad Salzungen	0.0883#	0.444* (T=1.3)
1	355/Bad Hersfeld	0.0721#	0.466* (T=1.5)
1	336/Lüdenscheid	0.209#	0.2653#
1	261/Halsdorf	-0.2629#	0.2124#
1	155/St. Blasien	0.3043#	0.2663#
1	113/Nürnberg	0.1086#	0.4343* (T=1.5)

- \* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.05
- # nicht signifikant
- (1) Trendwert in Grad Celsius

Um die Trends der Zeitreihen der Forsythienblüte und der mittleren Temperatur im März genauer zu erkennen, wurden auch diese Zeitreihen wie im Vorfrühling in zwei Zeitintervalle unterteilt. Für die Forsythienblüte zeichnet sich eine phänologische Verfrühung (negativer Trend) von 1962 bis 1976 ab, während der entsprechende Temperaturanstieg (positiver Trend) bis 1979 zu erkennen ist (s. Anhang: Abb. 4.2.21 - 4.2.38). Ferner weisen die sechs Naturräume 223, 144, 38, 381, 336 und 155 einen negativen Trend mit nicht signifikanten Korrelationskoeffizienten bei der Forsythienblüte auf und die Trendwerte der Zeitreihen mit signifikanten Korrelationskoeffizienten zeigen eine Verfrühung zwischen -7 und -15 Tagen. Bei der Temperatur sind die positiven Trends an allen Stationen signifikant und die Trendwerte erreichen 1.4 - 3.1°C (s. Tab. 4.2.5).

Die geographische Verteilung dieser Trends zeigt, daß die phänologische Verfrühung im allgemeinen im Norddeutschen Tiefland stärker ist als die in Süddeutschland. Die stärksten phänologischen Verfrühungen der Forsythienblüte erschienen im Norddeutschen Tiefland (Naturraum 641, 600 und 541), im Saar-Nahe-Bergland (Naturraum 228), im Südwestdeutschen Stufenland (Naturraum 180) und im Hessischen Bergland (Naturraum 355). Der Temperaturanstieg war dagegen in Süddeutschland deutlicher als der in Norddeutschland. Acht von elf Stationen, an denen die Trendwerte größer gleich 2°C sind, liegen in der südlichen Hälfte Westdeutschlands. Es sind Passau, Bad Kreuznach, Karlsruhe, Buchen, Krumbach, Rosenheim, St. Blasien und Nürnberg (s. Tab. 4.2.5).

Tab. 4.2.5 Trends und Korrelationskoeffizienten (r) von fünfjährigen gleitenden Mittelwerten des Beginns der Forsythienblüte (Fb) und der mittleren Temperatur im März (T<sub>3</sub>); Zeitraum: 1962-1976 (für die Forsythienblüte), 1962-1979 (für die Temperatur)

Raumtyp Nr.	Naturraum Nr./Station	Fb-Trend (Tage)	Fb-r	T <sub>3</sub> -Trend (°C)	T <sub>3</sub> -r
10	700/Schleswig	-9	-0.6161*(1)	1.7	0.7588**(1)
5	641/Soltau	-15	-0.7143**	2.0	0.7915***
5	600/Friesoythe	-14	-0.7426**	1.7	0.7716***
5	541/Münster	-14	-0.7367**	1.9	0.795***
5	408/Passau	-7	-0.6976**	2.9	0.8993***
5	228/Bad Kreuznach	-14	-0.7864***	2.0	0.8101***
5	223/Karlsruhe	---	-0.4677#	2.2	0.7955***
5	180/Pirmasens	-14	-0.6927**	1.4	0.7376***
5	144/Buchen	---	-0.4493#	2.7	0.8569***
5	46/Krumbach	-7	-0.6398*	2.7	0.8375***
5	38/Rosenheim	---	-0.4951#	2.7	0.8594***
1	381/Braunlage	---	-0.1396#(2)	1.9	0.7382***
1	364/Bad Salzflen	-10	-0.5213*	2.0	0.8128***
1	355/Bad Hersfeld	-14	-0.7719***	2.9	0.869***
1	336/Lüdenscheid	---	-0.4728#	1.5	0.7215***
1	261/Halsdorf	-11	-0.6331*	1.4	0.668**
1	155/St. Blasien	---	-0.3771#	2.0	0.7524***
1	113/Nürnberg	-10	-0.7472**	3.1	0.9131***

\*\*\* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.001

\*\* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.01

\* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.05

# nicht signifikant

(1) Zeitintervall: 1962-1975

(2) Zeitintervall: 1962-1973

Von 1977 bis 1987 wurde eine phänologische Verspätung (positiver Trend) bei der Forsythienblüte, von 1980 bis 1987 dagegen ein Temperaturrückgang (negativer Trend) bei der Märztemperatur nachgewiesen. Die phänologische Verspätung ist im Norddeutschen Tiefland relativ schwach (mit geringeren Korrelationskoeffizienten), während diese Verspätung in den übrigen Gebieten Westdeutschlands sehr deutlich ist. Die Trendwerte der Forsythienblüte liegen zwischen 9 und 14 Tagen im Zeitraum 1977-1987. Der Märztemperaturrückgang des Zeitintervalls 1980-1987 war überall in Westdeutschland signifikant. Die Trendwerte erreichen -1.1 bis -3.3°C (s. Tab. 4.2.6).

Tab. 4.2.6 Trends und Korrelationskoeffizienten (r) von fünfjährigen gleitenden Mittelwerten des Beginns der Forsythienblüte (Fb) und der mittleren Temperatur im März (T<sub>3</sub>); Zeitraum: 1977-1987 (für die Forsythienblüte) und 1980-1987 (für die Temperatur)

Raumtyp Nr.	Naturraum Nr./Station	Fb-Trend (Tage)	Fb-r	T <sub>3</sub> -Trend (°C)	T <sub>3</sub> -r
10	700/Schleswig	--	0.0173#(1)	-1.1	-0.6084*(1)
5	641/Soltau	9	0.6926*	-2.1	-0.8579**
5	600/Friesoythe	--	0.4807#	-2.4	-0.8641**
5	541/Münster	--	0.5642#	-2.3	-0.8823**
5	408/Passau	9	0.8434**	-3.2	-0.9191**
5	228/Bad Kreuznach	9	0.7928**	-2.6	-0.883**
5	223/Karlsruhe	13	0.8734***	-2.3	-0.8628**
5	180/Pirmasens	11	0.7444**	-2.3	-0.8643**
5	144/Buchen	11	0.8795***	-2.7	-0.8952**
5	46/Krumbach	9	0.8149**	-3.3	-0.8806**
5	38/Rosenheim	11	0.8365**	-2.6	-0.8438**
1	381/Braunlage	10	0.785***(2)	-2.3	-0.857**
1	364/Bad Salzuflen	9	0.7316*	-2.4	-0.8904**
1	355/Bad Hersfeld	14	0.9019***	-2.7	-0.8947**
1	336/Lüdenscheid	12	0.7969**	-2.1	-0.8695**
1	261/Halsdorf	9	0.7918**	-2.2	-0.8858**
1	155/St. Blasien	9	0.7956**	-2.5	-0.8875**
1	113/Nürnberg	13	0.8791***	-3.1	-0.9067**

- \*\*\* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.001
- \*\* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.01
- \* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.05
- # nicht signifikant
- (1) Zeitintervall: 1976-1987
- (2) Zeitintervall: 1974-1987

#### 4.2.3 Frühsommer

Der lineare Trend der fünfjährigen gleitenden Zeitreihe der Holunderblüte zeigt ein ganz anderes Muster als jener der Zeitreihe der Hasel- und Forsythienblüte. In 11 von 19 repräsentativen Naturräumen wird ein linearer Trend im Zeitraum von 1962-1987 nachgewiesen. Allerdings sind in der Hunte-Leda-Moorniederung (Naturraum 600) und im Passauer Abteiland-Neuburger Wald (Naturraum 408) die linearen Trends negativ. Dies bedeutet, daß die beiden Zeitreihen der Holunderblüte eine Verfrühung (mit Trendwerten von -7 und -2 Tagen) aufweisen. Die Gebiete, in denen die Zeitreihen der Holunderblüte einen positiven Trend zeigen, erstrecken sich hauptsächlich auf die phänologischen Raumtypen 20 und 10 bzw. auf Südwestdeutschland (Naturraum 180 und 261), das Mittelgebirge (Naturraum 355, 381, 364 und 336) sowie auf Süddeutschland (Naturraum 144, 223 und 394); d.h. in der Regel treten die Eintrittstermine der Holunderblüte in diesen Gebieten immer später auf. Die Trendwerte liegen zwischen 3 und 9 Tagen. Die Gebiete, in denen die phänologischen linearen Trends statistisch nicht signifikant sind, dominieren im größeren Teil des Norddeutschen Tieflandes (Naturraum 700, 641

und 541), im Schwarzwald (Naturraum 155), im Teil des Süddeutschen Stufenlandes (Naturraum 113), im Deutschen Alpenvorland (Naturraum 38 und 46) und in den Bayerischen Alpen (Naturraum 23) (s. Tab. 4.2.7).

Es zeigt sich, daß 10 Temperaturreihen einen linearen Trend im Zeitraum 1962-1987 aufweisen. In Südwestdeutschland (Station: Pirmasens, Halsdorf und Karlsruhe) ist der Trend negativ (Temperaturrückgang), während in den anderen Gebieten, z.B. im Norddeutschen Tiefland (Station: Schleswig, Soltau und Friesoythe), im Mittelgebirge (Station: Bad Hersfeld und Braunlage) und in Süddeutschland (Station: Rosenheim und Passau) ein positiv linearer Trend (Temperaturanstieg) auftritt. Die Trendwerte liegen zwischen -0.5 und -1.8°C in Südwestdeutschland und zwischen 0.5 und 1.0°C in den anderen Gebieten (s. Tab. 4.2.7).

Tab. 4.2.7 Trends und Korrelationskoeffizienten (r) von fünfjährigen gleitenden Mittelwerten der Blüte des Schwarzen Holunders (SHb) und der mittleren Temperatur im Mai (T<sub>5</sub>), Zeitraum: 1962-1987

Phäno. Raumtyp Nr.	Naturraum Nr./Station	SHb-Trend (Tage)	SHb-r	T <sub>5</sub> -Trend (°C)	T <sub>5</sub> -r
28	700/Schleswig	--	0.02#	0.8	0.7942***
28	641/Soltau	--	-0.0849#	1.0	0.6559***
28	600/Friesoythe	-7	<u>-0.7007</u> ***	0.8	<u>0.5561</u> **
28	541/Münster	--	-0.0469#	---	0.2608#
28	355/Bad Hersfeld	5	<u>0.6895</u> ***	0.5	<u>0.3942</u> *
28	155/St. Blasien	--	-0.0678#	---	0.2062#
20	23/Garmisch-Partenk.	--	0.2798#	---	-0.1319#
20	180/Pirmasens	6	<u>0.7024</u> ***	-1.8	<u>-0.7723</u> ***
20	223/Karlsruhe	4	<u>0.6471</u> ***	-0.5	<u>-0.4322</u> *
20	261/Halsdorf	6	<u>0.744</u> ***	-0.8	<u>-0.4737</u> *
20	394/Fichtelberg	9	0.8014***	---	0.2518#
14	381/Braunlage	4	<u>0.5926</u> **	0.5	<u>0.4541</u> *
10	364/Bad Salzuflen	3	0.4279*	---	0.3348#
10	336/Lüdenscheid	4	0.5644**	---	0.0663#
10	144/Buchen	3	0.4989**	---	0.0141#
10	113/Nürnberg	--	0.1393#	---	0.2915#
1	38/Rosenheim	--	0.0678#	1.0	0.6932***
1	46/Krumbach	--	-0.3176#	---	-0.05#
1	408/Passau	-2	<u>-0.4225</u> *(1)	1.0	<u>0.6697</u> ***

- \*\*\* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.001
- \*\* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.01
- \* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.05
- # nicht signifikant
- (1) Zeitraum: 1963-1987

Die umgekehrten Trends der Zeitreihen der Holunderblüte und der Maitemperatur, d.h. eine phänologische Verfrühung bei einem Temperaturanstieg oder eine phänologische Verspätung bei einem Tempe-

raturrückgang, wurde nur in fünf Naturräumen nachgewiesen und zwar in der Hunte-Leda-Moorniederung (Naturraum 600), im Zweibrücker Westrich (Naturraum 180), in den Hardebenen (Naturraum 223), dem Bitburger Gutland (Naturraum 261) und dem Passauer Abteiland-Neuburger Wald (Naturraum 408) (s. Tab. 4.2.7 und s. Anhang; Abb. 4.2.39 - 4.2.43). Im Fulda-Werra-Bergland (Naturraum 355) und im Mittelharz (Naturraum 381) wurde aber ein gleichartiger Trend der Zeitreihen der Holunderblüte und der Maitemperatur angetroffen, hier entspricht die phänologische Verspätung einem Temperaturanstieg (s. Tab. 4.2.7 und s. Anhang; Abb. 4.2.44 - 4.2.45).

Für diejenigen Gebiete, in denen die Zeitreihen der Holunderblüte oder der Maitemperatur im Zeitraum von 1962 bis 1987 keinen Trend zeigen, wurde die Korrelationsanalyse zwischen den beiden Zeitreihen und der Zeit (Jahre) in kleineren Zeitintervallen durchgeführt. Die phänologische Zeitreihe im Kernmünsterland (Naturraum 541) weist eine Verfrühung (negativer Trend) für das Zeitintervall 1962-1970 auf, während die Temperaturreihe einen Anstieg (positiver Trend) für das gleiche Zeitintervall zeigt. Allerdings dominiert in den Alpen (Naturraum 23), im Thüringisch-Fränkischen Mittelgebirge (Naturraum 394), im Rheinischen Schiefergebirge (Naturraum 336) und im westlichen Teil des Süddeutschen Stufenlandes (Naturraum 144) eine umgekehrte Trendkombination zwischen den Zeitreihen der Holunderblüte und der Maitemperatur für die Zeitintervalle 1962-1982 (Naturraum 23), 1965-1982 (Naturraum 394) und 1965-1985 (Naturraum 336 und 144), d.h. es herrscht eine phänologische Verspätung (positiver Trend) bei einem Temperaturrückgang (negativer Trend) vor. Schließlich existiert ein paralleler negativer Trend der beiden Zeitreihen von 1971 (oder 1972) bis 1981 (oder 1982) im Mittelfränkischen Becken (Naturraum 113) und den Iller-Lech-Schotterplatten (Naturraum 46) (s. Tab. 4.2.8).

Tab. 4.2.8 Trends und Korrelationskoeffizienten ( $r$ ) von fünfjährigen gleitenden Mittelwerten der Blüte des Schwarzen Holunders (SHb) und der mittleren Temperatur im Mai ( $T_5$ ) für verschiedene Zeitintervalle (1)

Naturraum Nr./Station	SHb-Trend (Tage)	SHb- $r$	Zeitintervall	$T_5$ -Trend ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_5$ - $r$	Zeitintervall
541/Münster	-5	-0.7675*	1962-70	1.4	0.8548**	1962-71
23/Garmisch-Partenk.	5	0.4569*	1962-82	-0.6	-0.6068**	1962-82
394/Fichtelberg	8	0.7687***	1965-82	-0.5	-0.6295**	1965-82
336/Lüdenscheid	4	0.6398**	1965-85	-0.8	-0.7276***	1965-85
144/Buchen	3	0.5992**	1965-85	-0.8	-0.7076***	1965-85
113/Nürnberg	-4	-0.8413**	1971-81	-0.9	-0.8624***	1971-82
46/Krumbach	-4	-0.8593***	1971-81	-0.9	-0.8315**	1972-82

\*\*\* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.001

\*\* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.01

\* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.05

(1) Nur die Ergebnisse mit den signifikanten Korrelationskoeffizienten von der Holunderblüte und der Maitemperatur werden hier dargestellt.

#### 4.2.4 Vollherbst

Die Korrelations- und Regressionsanalyse zwischen der Blattverfärbung der Roßkastanie und der Zeit (Jahre) zeigt ein ähnliches Ergebnis wie jenes der Holunderblüte. Mehr als 50% der fünfjährigen gleitenden Zeitreihen der Blattverfärbung der Roßkastanie besitzen einen signifikanten linearen Trend im Zeitraum von 1962 bis 1987. Außerdem erscheinen diese signifikanten Trends der Blattverfärbung der Roßkastanie in fast denselben Gebieten bzw. Naturräumen, in denen die Trends der Holunderblüte auftreten. Diese Trends der beiden phänologischen Phasen besitzen in einigen Naturräumen ähnliche

Merkmale (positive oder negative), was bedeutet, daß die linearen Trends der Zeitreihen der Blattverfärbung der Roßkastanie im Vollherbst und der Holunderblüte im Frühsommer ähnliche geographische Verteilungen aufweisen (vgl. Tab. 4.2.7 und Tab. 4.2.9). Die zwei inversen linearen Trends der Blattverfärbung der Roßkastanie treten jeweils im Niedersächsischen Bergland (Naturraum 364; Verfrühung) und im Hessischen Bergland (Naturraum 355; Verfrühung) auf. Der größte Trendwert liegt im Saar-Nahe-Bergland ( $T = -19$  Tage), während der geringste Trendwert im Oberrheinischen Tiefland ( $T = 3$  Tage) erscheint (s. Tab. 4.2.9).

Im Vergleich zum Mai weisen nur wenige Klimastationen im September einen linearen Temperaturtrend auf (Tab. 4.2.9). Es zeigt sich, daß ein Temperaturanstieg (positiver Trend) zwischen  $0.5$  und  $0.8^\circ\text{C}$  im September des Zeitraums 1962-1987 im Oberrheinischen Tiefland (Station: Karlsruhe), im Deutschen Alpenvorland (Station: Wasserburg), im Hessischen Bergland (Station: Bad Hersfeld) und im Schwarzwald (Station: St. Blasien) auftritt. Der einzige negative Trend ( $T = -2.3^\circ\text{C}$ ) erscheint im Südwestdeutschen Stufenland (Station: Pirmasens).

Tab. 4.2.9 Trends und Korrelationskoeffizienten ( $r$ ) von fünfjährigen gleitenden Mittelwerten der Blattverfärbung der Roßkastanie (RBV) und der mittleren Temperatur im September ( $T_g$ ); Zeitraum: 1962-1987

Phäno. Raumtyp Nr.	Naturraum Nr./Station	RBV-Trend (Tage)	RBV-r	$T_g$ -Trend ( $^\circ\text{C}$ )	$T_g$ -r
24	700/Schleswig	4	0.6319**	---	-0.3574#
23	394/Fichtelberg	--	0.3772#	---	-0.01#
22	541/Münster	--	0.3012#	---	-0.02#
22	223/Karlsruhe	3	<u>0.513**</u>	0.5	<u>0.3953*</u>
20	144/Eberbach	--	-0.2828#	---	0.1682#
18	600/Friesoythe	-5	-0.5972**	---	-0.3528#
18	364/Bad Salzuffen	-10	-0.9572***	---	0.103#
18	228/Bad Kreuznach	-19	-0.904***	---	0.3585#
16	336/Lüdenscheid	9	0.8424***	---	-0.1879#
14	38/Wasserburg	--	0.1233#	0.8	0.4751*
14	46/Krumbach	--	0.0624#	---	0.0624#
14	113/Nürnberg	--	0.3612#	---	0.3775#
14	180/Pirmasens	7	0.819***	-2.3	-0.8494***
14	355/Bad Hersfeld	-4	-0.5525**	0.5	0.4147*
14	381/Braunlage	--	0.1034#	---	-0.2117#
14	641/Soltau	--	0.1667#	---	-0.2903#
12	261/Halsdorf	6	0.468*	---	-0.0678#
1	155/St. Blasien	-6	-0.7011***	0.8	0.5046**
1	408/Passau	-10	-0.75***	---	0.012#

- \*\*\* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.001
- \*\* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.01
- \* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.05
- # nicht signifikant

Eine Übereinstimmung der Trends der Blattverfärbung der Roßkastanie und der Temperatur im September findet man im Naturraum 223 (Hardtebenen). Dort entspricht eine Verspätung der Blattverfärbung der Roßkastanie (positiver Trend) einem Temperaturanstieg (positiver Trend) der letzten 30 Jahre. Aber in den anderen drei Naturräumen (Naturraum 180, 355 und 155) erscheinen inverse Trends der Blattverfärbung der Roßkastanie und der Temperatur im September, d.h. die Blattverfärbung der Roßkastanie verspätet sich bei der Temperaturabnahme und umgekehrt (s. Tab. 4.2.9; s. Anhang: Abb. 4.2.46 - 4.2.49).

Für diejenigen Gebiete, in denen die Zeitreihen der Blattverfärbung der Roßkastanie oder der Septembertemperatur im Zeitraum von 1962 bis 1987 keinen Trend zeigen, wurde die Korrelationsanalyse zwischen den beiden Zeitreihen und der Zeit (Jahre) in kleineren Zeitintervallen durchgeführt. Es zeigt sich, daß 7 von 9 der beiden Zeitreihen-Paare einen parallelen negativen Trend aufweisen. Dies bedeutet, daß eine phänologische Verfrühung der Blattverfärbung der Roßkastanie mit einem Temperaturrückgang in den entsprechenden Zeitintervallen einhergeht (s. Tab. 4.2.10).

Tab. 4.2.10 Trends und Korrelationskoeffizienten (r) von fünfjährigen gleitenden Mittelwerten der Blattverfärbung der Roßkastanie (RBV) und der mittleren Temperatur im September ( $T_9$ ) für verschiedene Zeitintervalle (1)

Naturraum Nr./Station	RBV-Trend (Tage)	RBV-r	Zeitintervall	$T_9$ -Trend (°C)	$T_9$ -r	Zeitintervall
541/Münster	3	0.8818***	1978-87	-1.3	-0.6672*	1979-87
144/Eberbach	-4	-0.7684***	1962-78	-0.6	-0.5367*	1962-78
600/Friesoythe	-6	-0.7692***	1962-80	-0.7	-0.7104***	1962-79
600/Friesoythe	8	0.9566***	1981-87	-1.3	-0.8392**	1980-87
38/Wasserburg	-4	-0.5977*	1962-77	-0.5	-0.5004*	1962-78
46/Krumbach	-8	-0.9509***	1962-70	-1.2	-0.8542**	1962-70
381/Braunlage	-11	-0.9656***	1962-76	-0.8	-0.636**	1962-78
641/Soltau	-2	-0.6267**	1962-78	-0.8	-0.6716**	1962-78
261/Halsdorf	-9	-0.8768***	1962-72	-0.8	-0.7838**	1962-72

\*\*\* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.001

\*\* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.01

\* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.05

(1) Nur die Ergebnisse mit den signifikanten Korrelationskoeffizienten von der Blattverfärbung der Roßkastanie und der Septembertemperatur werden hier dargestellt.

## 5 Räumliche und zeitliche Zusammenhänge zwischen phänologischen Erscheinungen und geökologischen Faktoren im Gebiet des Taunus

Die phänologischen Eintrittstermine der wildwachsenden Pflanzen sind im orographisch stark gegliederten Gelände von der Reliefstruktur (Höhenlage, Exposition), den Bodenverhältnissen (Bodenart, Bodentemperatur) und klimatologischen Parametern (hauptsächlich von der Lufttemperatur) abhängig. Als ein Beispiel wird der räumliche und zeitliche Zusammenhang zwischen phänologischen und geökologischen Faktoren im Gebiet des Taunus untersucht. Das Untersuchungsgebiet umfaßt insgesamt 7 Naturräume, zu denen 62 phänologische Beobachtungsorte gehören. Es wurden 35 Stationen, die mindestens eine 15jährige phänologische Beobachtungsreihe des Zeitraums 1951-1990 besitzen, für die räumliche Analyse ausgewählt. Zusätzlich wurden 3 Klimastationen, die in unmittelbarer Nähe zu einem phänologischen Beobachtungsort liegen, ausgewählt; es sind Geisenheim (N 49°59', E 7°57', Höhe über NN: 118 m), Königstein (N 50°11', E 8°29', Höhe über NN: 388 m) und der Kleine Feldberg (N 50°13', E 8°27', Höhe über NN: 805 m). Eine Liste der ausgewählten Naturräume und phänologischen Beobachtungsorte mit ihren geographischen Koordinaten zeigt Tab. 5.1.

Tab. 5.1 Ausgewählte Naturräume und phänologische Beobachtungsorte im Taunus

NR*	Ort	geogr. Breite	geogr. Länge	Höhe ü.NN	NR*	Ort	geogr. Breite	geogr. Länge	Höhe ü.NN
300	Eppstein	50°09'	8°24'	200	304	Hahn	50°09'	8°09'	340
300	Langenhain	50°06'	8°24'	330	304	Laufenselden	50°13'	7°59'	370
300	Medenbach	50°06'	8°21'	210	304	Lindschied	50°10'	8°04'	380
300	Bad Homburg	54°14'	8°37'	170	304	Bad Schwalbach	50°09'	8°04'	340
300	Königstein	50°11'	8°28'	340	304	Bettendorf	50°14'	7°52'	310
300	Oberursel	50°12'	8°35'	200	304	Nastätten	50°12'	7°52'	260
301	Niedernhausen	50°10'	8°19'	280	304	Katzenelnbogen	50°16'	7°59'	290
301	Stephanshausen	50°02'	7°57'	340	235	Wiesbaden (1)	50°06'	8°18'	200
301	Kleiner Feldberg	50°13'	8°27'	820	235	Wiesbaden (2)	50°06'	8°14'	220
302	Hasselbach	50°20'	8°21'	400	235	Hochheim	50°01'	8°21'	120
302	Heftrich	50°13'	8°20'	320	235	Hofheim	50°05'	8°27'	140
302	Anspach	50°18'	8°31'	350	235	Kelkheim	50°08'	8°27'	200
302	Eschbach	50°21'	8°32'	320	236	Eichberg	50°02'	8°04'	220
302	Michelbach	50°22'	8°32'	400	236	Geisenheim	49°59'	7°58'	90
302	Usingen	50°20'	8°32'	300	236	Kiedrich	50°03'	8°05'	160
302	Wernborn	50°22'	8°34'	280	236	Oberwalluf	50°03'	8°09'	120
302	Braunfels	50°31'	8°23'	220	236	Winkel	50°00'	8°01'	95
304	Dickschied	50°07'	7°57'	420					

\* Naturraum: Vortaunus (300), Hoher Taunus (301), Östlicher Hintertaunus (302), Idsteiner Senke (303), Westlicher Hintertaunus (304); Main-Taunusvorland (235), Rheingau (236) (s. Abb. 2.1).

(1) Wiesbaden-Kloppenheim; (2) Wiesbaden-N. Friedhof.

## 5.1 Räumlicher phänologischer Unterschied in Abhängigkeit von der Reliefstruktur und vom Boden

### 5.1.1 Phänologischer Eintrittstermin und Höhenlage

Der Taunus nimmt den südöstlichen Teil des Rheinischen Schiefergebirges ein und erreicht im Süden mit 881 m seine größte Höhe. Von dort aus dacht sich der Taunus allmählich nach Nordwesten hin ab. Die Idsteiner Senke teilt den Taunus in eine westliche und eine östliche Hälfte. Rhein und Lahn bilden die West- und Nordgrenze. Der Südrand des Taunus neigt sich stufenförmig zum Rheingraben und der Osten geht in die Wetterau über oder fällt zu ihr ab. Trotzdem sind Süd- und Ostgrenze verhältnismäßig sicher zu ziehen (vgl. Liedtke, 1984) (s. Abb. 2.1).

Zur Bestimmung der Höhenabhängigkeit der phänologischen Phasen wird eine Korrelations- und Regressionsanalyse zwischen den langjährigen Mittelwerten des phänologischen Eintrittstermins und den Seehöhen der einzelnen Beobachtungsorte durchgeführt. Hier stellt die Seehöhe die unabhängige Variable dar und der langjährige Mittelwert des phänologischen Eintrittstermins die abhängige Variable. 19 phänologische Phasen wurden ausgewählt, die in verschiedenen Höhen beobachtet wurden und sich über die ganze Vegetationszeit verteilen.

Tab. 5.1.1 Korrelations- (r) und Regressionskoeffizienten (b) zwischen dem mittleren phänologischen Eintrittstermin und der Seehöhe im Taunus

Phäno. Jahreszeit	Phänophase	Anzahl der Orte	r	b
Vorfrühling	Hasel B (1)	28	0.8691***	0.07
Vorfrühling	Schneeglöckchen B	34	0.7724***	0.05
Vorfrühling	Huflattich B	27	0.5644**	0.02
Vorfrühling	Sal-Weide B	30	0.7253***	0.04
Erstfrühling	Hänge-Birke BO	26	0.777***	0.04
Erstfrühling	Löwenzahn B	25	0.7794***	0.04
Erstfrühling	Rotbuche BO	26	0.5154**	0.02
Vollfrühling	Fichte M	26	0.4218*	0.02
Vollfrühling	Winter-Linde BO	20	0.5809**	0.03
Vollfrühling	Flieder B	32	0.8768***	0.05
Vollfrühling	Goldregen B	25	0.8523***	0.05
Vollfrühling	Eberesche B	22	0.7336***	0.03
Vollfrühling	Wiesen-Fuchsschwanz AB	23	0.4407*	0.02
Frühsommer	Wiesen-Knäuelgras AB	21	0.5871**	0.02
Hochsommer	Winter-Linde B	17	0.5789*	0.04
Spätsommer	Eberesche F	18	0.6831**	0.03
Spätsommer	Heidekraut B	22	0.0815#	0.003
Vollherbst	Hänge-Birke BV	28	0.1811#	-0.01
Vollherbst	Rotbuche BV	25	0.2369#	-0.01

\*\*\* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.001

\* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.05

(1) Abkürzungen der phänologischen Phasen:

\*\* Irrtumswahrscheinlichkeit von 0.01

# nicht signifikant

AB: Vollblüte; B: Beginn der Blüte; BO: Beginn der Blattentfaltung; BV: Blattverfärbung; F: Erste reife Früchte; M: Beginn des Maitriebs.

Es zeigt sich, daß vom Vorfrühling bis zum Spätsommer eine enge positive Korrelation zwischen den beiden Variablen besteht. D.h. je höher die Beobachtungsorte liegen, desto später treten die phänologischen Phasen ein. Die Regressionskoeffizienten besagen, daß sich die durchschnittlichen Eintrittstermine dieser Phasen bei einer Höhenzunahme von 100 m für die Haselblüte um 7 Tage und bei den anderen Phasen um 2 bis 5 Tage verspätet. Bei den Herbstphasen, z.B. bei der Blattverfärbung der Hänge-Birke und der Rotbuche ist eine Höhenabhängigkeit der phänologischen Eintrittstermine kaum erkennbar. Darauf weisen die niedrigen Regressionskoeffizienten hin (Tab. 5.1.1). Ein ähnliches Ergebnis erhält man auch bei den Untersuchungen im Bereich des niedersächsischen Harzes (Bockelmann, 1990) und in der Schweiz (Defila, 1991).

Zur Veranschaulichung des Zusammenhanges zwischen dem mittleren phänologischen Eintrittstermin und der Reliefstruktur erfolgte eine kartographische Aufbereitung der phänologischen Daten zur Herstellung von Flächenverbreitungskarten mit der Rastersoftware UNIMAP (UNIRAS A/S, 1989). Die Karten wurden über ein dreidimensionales Geländemodell des Taunus gelegt. Die Maßeinheit der geographischen Koordinaten ist Grad. Da die phänologischen Isolinien auf einem Gitternetz durch Interpolationsverfahren ermittelt werden, wird ein möglichst dichtes Beobachtungsnetz benötigt. Deshalb wird in diesem Kapitel nur die regionale Verteilung des Beginns der Haselblüte und Fliederblüte analysiert; die anderen untersuchten phänologischen Phasen werden weniger häufig gemeldet.

In Abbildung 5.1.1 ist die regionale Verteilung des Beginns der Haselblüte bei Blickrichtung aus Südwest dargestellt. Die morphologischen Großformen des Untersuchungsgebietes sind aus dieser Perspektive gut zu erkennen. Im Rheingau beginnt die Haselblüte Mitte Februar (früher als der 50. Tag des Jahres), im Taunusvorland und Vortaunus gegen Ende Februar (früher als der 60. Tag des Jahres). Von dort aus wandert sie zum Hohen Taunus. Das hat zur Folge, daß in der Umgebung des Kleinen Feldbergs die Haselblüte erst Mitte April, d.h. ca. 2 Monate später als im Rheingau, einzieht. Im Vergleich zum Vortaunus tritt die Haselblüte im Hintertaunus etwa 5-10 Tage später ein.

Wie die Haselblüte beginnt auch die Fliederblüte am frühesten im Rheingau und im Taunusvorland (Ende April). Mit zunehmender Höhe verzögert sich der Einzug der Fliederblüte, d.h. sie beginnt im Vortaunus ca. 5 Tage später und im Hohen Taunus mindestens 10 Tage später als im Rheingau und im Taunusvorland. Auf dem Kleinen Feldberg blüht der Flieder Anfang Juni ca. ein Monat später als im Rheingau. Wie bei der Haselblüte liegen die Eintrittstermine der Fliederblüte im Hintertaunus ebenfalls später als im Vortaunus (Abb.5.1.2).

Abb. 5.1.1 Mittlere Eintrittstermine der Haselnußblüte  
im Gebiet des Taunus, Zeitraum 1951-1990

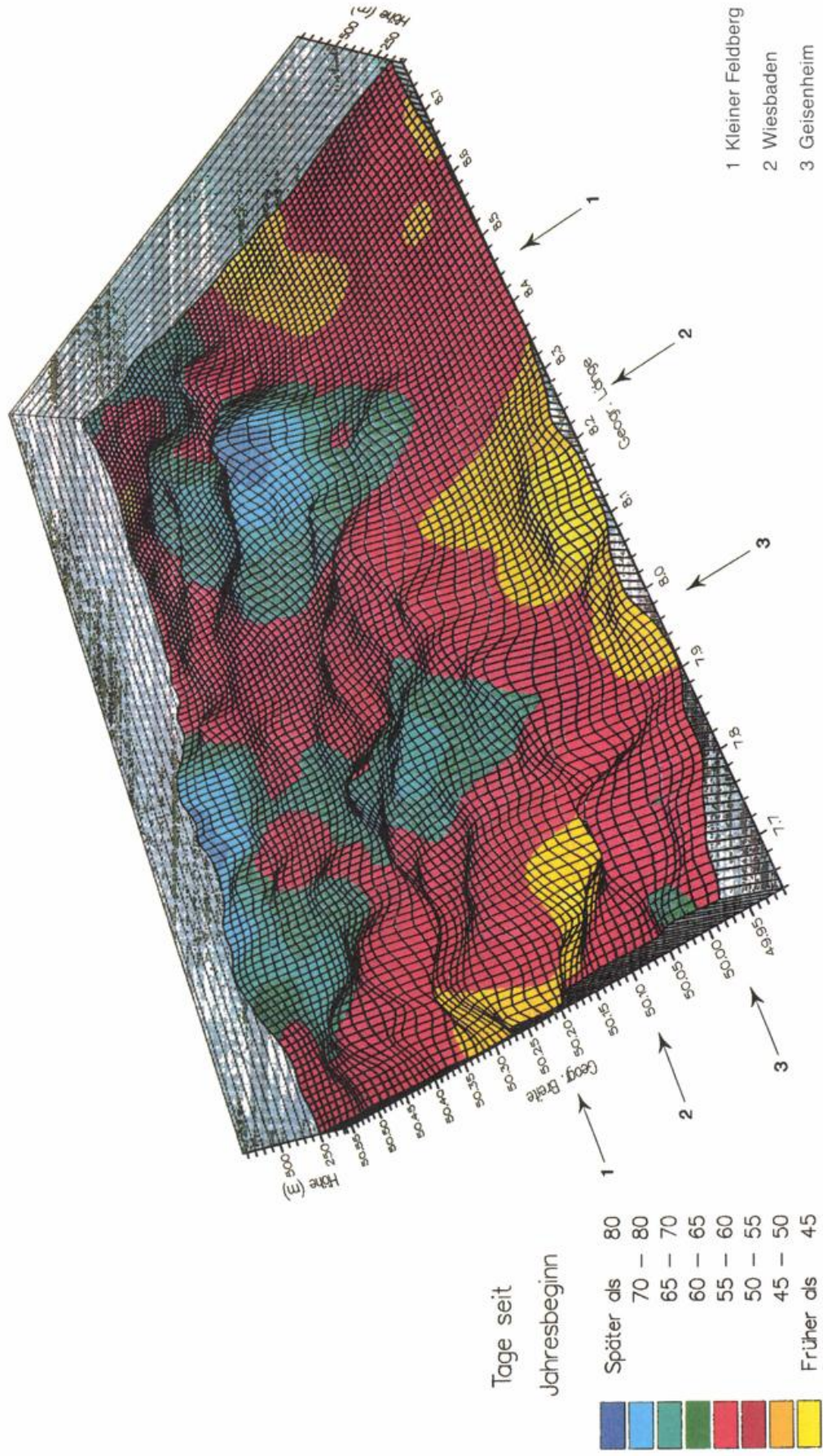
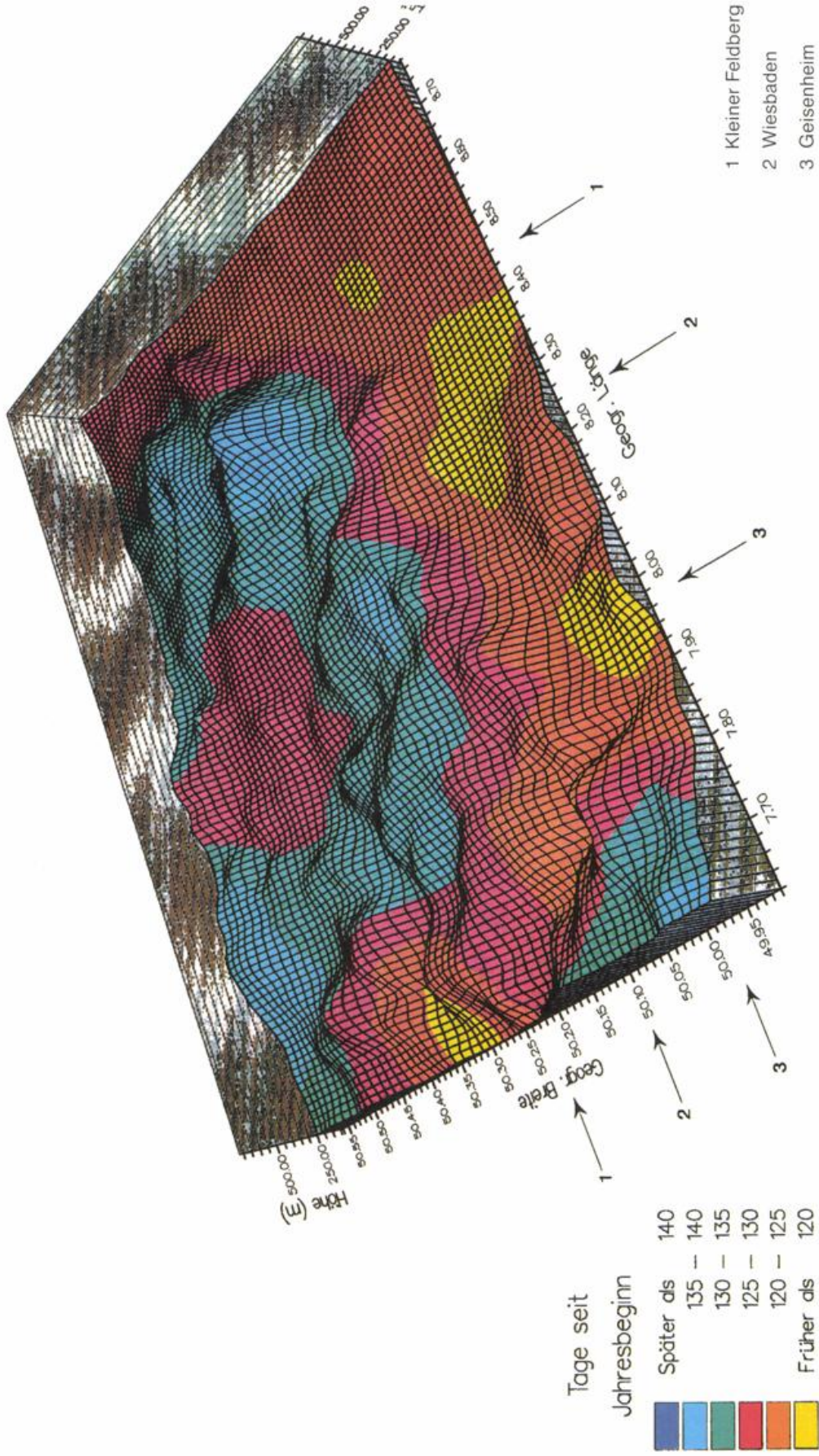


Abb. 5.1.2 Mittlere Eintrittstermine der Fliederblüte  
im Gebiet des Taunus, Zeitraum 1951–1990



### 5.1.2 Phänologischer Eintrittstermin und Exposition

Nach den phänologischen Beobachtungsrichtlinien soll der Wuchsort der einzelnen Pflanzen für das betreffende Gebiet möglichst charakteristisch sein. Pflanzen, die in tiefen Mulden, Frostlöchern, schmalen Tälern, auf äußerst trockenen Südhängen oder auf immer schattigen Nordabdachungen wachsen, sind für die phänologische Beobachtung nicht geeignet (DWD, 1991). Nur unter diesen genannten Einschränkungen kann der Einfluß der Exposition auf den phänologischen Eintrittstermin mit den Daten des Deutschen Wetterdienstes untersucht werden.

Zu diesem Zweck wurden vier Beobachtungsorte (Eppstein, Königstein, Anspach und Braunfels) berücksichtigt, die jeweils am Südhang und Nordhang des Feldbergmassivs mit ähnlichen bzw. vergleichbaren geographischen Längen und Höhenlagen liegen (vgl. Tab. 5.1). Die mittleren Eintrittstermine der 12 phänologischen Phasen von Bäumen aus den obengenannten Orten sind in Tab. 5.1.2 miteinander verglichen.

Tab. 5.1.2 Vergleich der mittleren phänologischen Eintrittstermine am Süd- und Nordhang des Taunus

Phase	Eppstein (Südhang, Höhe ü. NN: 200 m)	Braunfels (Nordhang, Höhe ü. NN: 220 m)	Königstein (Südhang, Höhe ü. NN: 340 m)	Anspach (Nordhang, Höhe ü. NN: 350 m)
Hasel B	56*	59	57	63
Hänge-Birke BO	108	122	110	110
Winter-Linde BO	126	138	122	126
Flieder B	131	132	133	134
Eberesche B	134	142	138	140
Eberesche F	214	218	215	222
Sal-Weide B	87	84	76	84
Rotbuche BO	115	136	121	116
Winter-Linde B	194	197	197	186
Fichte M	134	132	128	125
Hänge-Birke BV	288	273	275	291
Rotbuche BV	288	281	280	290

\* Tage seit Jahresbeginn

Es zeigt sich, daß vom Frühling bis zum Sommer die ersten 6 Phasen am Südhang bis zu 12 Tage früher eintreten als am Nordhang. Diese Charakteristik ist bei den anderen Phasen, etwa der Sal-Weidenblüte, der Blattentfaltung der Rotbuche und der Winter-Lindenblüte nur schwach nachweisbar. Die Sal-Weide blüht am Südhang in der tieferen Lage später als am Nordhang der gleichen Höhe, während die Blattentfaltung der Rotbuche und die Blüte der Winter-Linde am Südhang in der mittleren Höhenlage später auftreten als am Nordhang in der gleichen Höhe. Dagegen zeigt sich beim Maitrieb der Fichte ein ganz anderes Ergebnis: in beiden Höhenlagen (200 m und 350 m über NN) beginnt diese Phase am Südhang später als am Nordhang. Das Ergebnis hängt oft mit einer umgekehrten Höhenabhängigkeit der phänologischen Eintrittstermine zusammen (Tab. 5.1.2).

Im Herbst beginnt die Blattverfärbung der Hänge-Birke und der Rotbuche in der tieferen Lage des Südhangs später als in der gleichen Höhenlage des Nordhangs; in der mittleren Höhenlage tritt der Eintrittstermin der beiden Phasen am Südhang früher auf als am Nordhang (s. Tab. 5.1.2).

Die umgekehrte Höhenabhängigkeit der phänologischen Eintrittstermine kann von mehreren Faktoren, wie z.B. von der Lufttemperaturumkehr (Inversionslagen), insbesondere von der Nachttemperatur im Gebirge (Geiger, 1950), verursacht werden. Um den Zusammenhang zwischen den phänologischen Eintrittsterminen und der Exposition genauer untersuchen zu können, wird ein spezielles phänologisches Beobachtungsnetz benötigt (vgl. Uhlig, 1953).

### 5.1.3 Phänologischer Eintrittstermin und Bodenart

Die Böden des Taunus sind in hohem Maße einheitlich und entsprechen der Gesteinsverbreitung. Im östlichen und westlichen Hintertaunus überwiegen steinige flach- bis mittelgründige Lehmböden. Im Hohen Taunus findet man in den Quarzitgebieten anlehmgige bis lehmige Sandböden. Die orographischen Muldenzonen des Hohen Taunus werden von feinsandigen, schluffigen Lehmböden eingenommen. Am südlichen Taunusrand geben nur die Phyllite und Serizitgneise für landwirtschaftliche Nutzung geeignete Böden ab. Es handelt sich um Lehme mit einem relativ hohen Gehalt an Kali. Als landwirtschaftlich bevorzugte Gebiete erweisen sich daher die Idsteiner Senke, das Usinger Becken und einige kleinere Becken und Täler besonders in den Randlagen, wo Löß zur Ablagerung gekommen ist. In den höheren Lagen sind die daraus entstandenen Lehmböden jedoch stark ausgewaschen und basenarm (Kuls, 1962).

Wegen der vielfältigen Reliefstruktur und der sehr unterschiedlichen Höhenlage im Taunus findet man kaum Beobachtungsorte mit topographisch und klimatologisch ähnlichen Bedingungen aber unterschiedlichen Bodenarten. Es wird deshalb der Zusammenhang zwischen phänologischem Eintrittstermin und Bodenart nur statistisch analysiert. Um das statistische Verfahren durchführen zu können, wurde die Bodenart der Umgebung der einzelnen Beobachtungsorte nach "Klassen ökologisch ähnlicher Bodenarten" (s. Tab. 5.1.3) numeriert (vgl. Kap. 2.3).

Tab 5.1.3 Klassen ökologisch ähnlicher Bodenarten (aus Leser und Klink, 1988)

Klasse der Bodenart	Bezeichnung der Bodenarten (mit Abkürzungen)
1	sandiger Ton (sT), lehmiger Ton (lT), Ton (T)
2	schluffig-toniger Lehm (utL), toniger Lehm (tL), sandig-toniger Lehm (stL)
3	lehmiger Schluff (lU), sandig-lehmiger Schluff (slU), schluffiger Lehm (uL)
4	sandiger Lehm (sL)
5	stark lehmiger Sand bis stark sandiger Lehm (tS-SL), toniger Sand (tS)
6	sandiger Schluff (sU), schluffiger Sand (uS)
7	lehmiger Sand (lS), schwach toniger Sand (t'S), schwach schluffiger Sand (u'S)
8	Sand (S)

Das Ergebnis der einfachen Korrelationsanalyse zwischen dem mittleren phänologischen Eintrittstermin und der Klasse der Bodenart weist eine positive Korrelation bei 10 von 19 phänologischen Phasen auf (s. Tab. 5.1.4): Die Phasen auf den sandigen Böden (bei größeren Kennzahlen der Bodenartsklassen) treten später als auf den lehmigen Böden (bei kleineren Kennzahlen der Bodenartsklassen) ein. Dies widerspricht den bisherigen Forschungsergebnissen (vgl. Illichevsky, 1933; Seyfert, 1955,; Walter und Breckle, 1986).

Tab. 5.1.4 Einfache ( $r$ ) und partielle Korrelationskoeffizienten ( $r_p$ ) zwischen den mittleren phänologischen Eintrittsterminen und den Klassen der Bodenarten im Taunus\*

Phänophase	Anzahl der Orte	$r$	$r_p$
Hasel B	20	0.6199**	0.4046#
Schneeglöckchen B	24	0.6769***	0.4803*
Huflattich B	20	0.11#	-----
Sal-Weide B	21	0.4694*	0.0549#
Hänge-Birke BO	18	0.7212***	0.4442#
Löwenzahn B	19	0.6489**	0.3363#
Rotbuche BO	17	0.5521*	0.0905#
Fichte M	18	0.5271*	0.3352#
Winter-Linde BO	15	0.4641#	-----
Flieder B	23	0.538**	0.1225#
Goldregen B	19	0.6728**	0.372#
Eberesche B	16	0.6706**	0.1693#
Wiesen-Fuchsschwanz AB	15	0.3459#	-----
Wiesen-Knäuelgras AB	15	0.4194#	-----
Winter-Linde B	13	0.3005#	-----
Eberesche F	13	0.5055#	-----
Heidekraut B	15	0.0066#	-----
Hänge-Birke BV	18	-0.0693#	-----
Rotbuche BV	17	0.0385#	-----

\* Abkürzungen s. Tab. 5.1.1.

Um die Ursache herauszufinden, wurde die partielle Korrelationsanalyse durchgeführt. Sie soll die Frage beantworten, ob der Einfluß der Bodenart auf die mittleren phänologischen Eintrittstermine durch die Höhenlage unterdrückt wird und weshalb statistische Zusammenhänge bei der einfachen Korrelation auftreten. Die Ergebnisse machen deutlich, daß der Einfluß der Höhenlage im allgemeinen über den Einfluß der Bodenart dominiert, d.h. die Bodenart allein spielt für die räumlichen Unterschiede der mittleren phänologischen Eintrittstermine im Taunus kaum eine Rolle. Ein signifikantes Ergebnis zeigt sich in diesem Fall nur für die Schneeglöckchenblüte (s. Tab. 5.1.4). Dies wurde auch in einer speziellen Untersuchung von Dickel im Westhessischen Bergland (Kreis Marburg/Lahn) nachgewiesen. Er hat festgestellt, daß die Differenz der arithmetischen Mittel bei einem Vergleich der Gesamternte sowie der Reife von Winterroggen auf lehmigem Sand und sandigem Lehm nur 1.1 Tage ergibt (Dickel, 1966). Vermutlich wird der Einfluß der Bodenart auf die phänologischen Phasen im Flachland, wo Höhenlage und klimatologische Bedingungen einheitlicher sind, durch die Auswirkungen des Wärme- und Wassergehaltes der verschiedenen Böden eindeutiger. Eine diesbezügliche Untersuchung erfolgt hier allerdings nicht.

## 5.2 Zeitliche phänologische Variabilität in Abhängigkeit von den Klimabedingungen

### 5.2.1 Phänologischer Eintrittstermin und Vegetationszeit

Die Vegetationszeit wurde ursprünglich als jener Zeitraum eines Jahres definiert, in welchem das Wachstum der Pflanzen erfolgt (Wang, 1963). Die zeitliche Abgrenzung der Vegetationszeit wird häufig durch die Termine des durchschnittlichen Überschreitens (im Frühjahr) und des Unterschreitens (im Herbst) einer Tagesmitteltemperatur von 5°C oder 10°C bestimmt (van Eimern und Häckel, 1979). Diese Vegetationszeit kann somit auch als klimatologische Vegetationszeit bezeichnet werden. Um einen Zusammenhang zwischen der klimatologischen Vegetationszeit und dem jahreszeitlichen Ablauf von Wachstum und Entwicklung der Pflanzen zu finden, versucht Schnelle (1973) über die unterschiedliche Vegetationszeit verschiedener Baumarten zu einer allgemeingültigen Vegetationszeit zu kommen, die man für einen Großraum, etwa für ganz Europa, verwenden kann. Er kommt bei einem Vergleich von Dickenzuwachsmessungen und phänologischen Daten von Waldbäumen zu dem Schluß, daß in guter Näherung der Zeitraum zwischen der Blattentfaltung (im Frühjahr) und Blattverfärbung (im Herbst) der Leitbaumarten Hänge-Birke, Rotbuche und Stieleiche als phänologische Vegetationszeit gelten kann. Als brauchbaren Näherungswert zur Kennzeichnung der Vegetationszeit der Waldbäume stellt er im langjährigen Durchschnitt den Zeitraum vom Überschreiten bis Unterschreiten der Tagesmitteltemperatur von 8°C fest.

Nach dieser Definition wird die mittlere Vegetationszeit der Waldbäume für die drei ausgewählten Stationen im Taunus berechnet. Die Längenunterschiede der Vegetationszeit zwischen den verschiedenen Baumarten erscheinen an verschiedenen Orten unregelmäßig, beispielsweise weist die Hänge-Birke die längste phänologische Vegetationszeit in Geisenheim und Königstein auf, aber am Kleinen Feldberg ist ihre Vegetationszeit kürzer als die der Rotbuche. Die Höhenabhängigkeit der phänologischen Vegetationszeit zeigt sich ganz deutlich. Die Vegetationszeit der Hänge-Birke beginnt in Geisenheim am 12. April und endet am 10. Oktober. Die Länge dieser Vegetationszeit beträgt 181 Tage. Mit zunehmender Höhe verkürzt sich die Länge dieser Vegetationszeit. Beim Vergleich von Stationen in mittleren und größeren Höhen zeigt sich in Königstein und auf dem Kleinen Feldberg eine Abnahme der Länge dieser Vegetationszeit jeweils um 16 und 44 Tage, d.h. die Vegetationszeit der Hänge-Birke verkürzt sich bei einer Höhenänderung von 100 m um ungefähr 6 Tage. Bei der Vegetationszeit von Rotbuche und Stieleiche ist diese Situation ähnlich, nur die Termine des Beginns und des Endes sowie die Dauer der Vegetationszeit in verschiedenen Höhenlagen sind anders (Tab. 5.2.1).

Tab. 5.2.1 Beginn(B), Ende(E) und Dauer(D) der phänologischen Vegetationszeit im Taunus (langjähriges Mittel des Zeitraums von 1951-1990)

Ort	Birke			Buche			Eiche		
	B	E	D	B	E	D	B	E	D
Geisenheim	12.4.	10.10.	181	24.4.	4.10.	163	22.4.	10.10.	171
Königstein	20.4.	2.10.	165	1.5.	7.10.	159	10.5.	9.10.	152
Kl. Feldberg	14.5.	28.9.	137	13.5.	1.10.	141	----	----	---

Die Korrelationskoeffizienten zwischen dem Beginn, Ende und der Dauer der phänologischen Vegetationszeit zeigt, daß die sich am selben Ort von Jahr zu Jahr ändernde Länge der Vegetationszeit entweder mit den Terminen des Beginns oder des Endes dieses Vegetationszeitraums eng korreliert ist. D.h. je früher die Blattentfaltung der drei Baumarten im Frühjahr an einem Ort eintritt, desto länger hält die entsprechende Vegetationszeit (negative Korrelation) an. Aber je früher die Blattverfärbung der drei Baumarten im Herbst an einem Ort beginnt, desto kürzer ist die entsprechende Vegetationszeit (positive Korrelation). Diese Abhängigkeit ist am Ende der Vegetationszeit noch stärker nachweisbar als am Beginn der Vegetationszeit (Tab. 5.2.2.).

Tab. 5.2.2 Korrelationskoeffizienten (Anzahl der Jahre) zwischen dem Beginn, dem Ende und der Dauer der phänologischen Vegetationszeit (1)

Ort	Vegetationszeit	Birke		Buche		Eiche	
		BO	BV	BO	BV	BO	BV
Geisenheim (90 m ü.NN)	Birke BO-BV	-0.59*** (38)	0.72*** (38)				
	Buche BO-BV			-0.33* (40)	0.84*** (40)		
	Eiche BO-BV					-0.48** (40)	0.75*** (40)
Königstein (340 m ü. NN)	Birke BO-BV	-0.61*** (33)	0.75*** (33)				
	Buche BO-BV			-0.51** (32)	0.74*** (32)		
	Eiche BO-BV					-0.62*** (32)	0.67*** (32)
Kleiner Feldberg (820 m ü. NN)	Birke BO-BV	-0.48* (20)	0.67** (20)				
	Buche BO-BV			-0.66*** (34)	0.79*** (34)		
	Eiche BO-BV					----	----

(1) Abkürzungen s. Tab. 5.1.1.

Mit diesem Ergebnis kann die Dauer der phänologischen Vegetationszeit in der Regel auch aus den Eintrittsterminen der Blattentfaltung und der Blattverfärbung der drei Baumarten abgeschätzt werden. Bedeutung besitzt diese Abschätzung insbesondere für diejenigen Orte, von denen entweder nur die Blattentfaltung oder nur die Blattverfärbung einer Baumart eines Jahres bekannt ist.

Die phänologische Bestimmung der Vegetationszeit sollte bevorzugt in jenen Gebieten erfolgen, aus denen keine klimatologischen Meßergebnisse vorliegen. Ob diese phänologische Vegetationszeit mit der klimatologischen Vegetationszeit für einzelne Jahre vergleichbar ist, soll nachfolgend beantwortet werden. Hierzu wird eine Korrelationsanalyse zwischen den beiden Vegetationszeiten in Geisenheim, Königstein und am Kleinen Feldberg durchgeführt. Als klimatologische Vegetationszeit wird der Zeitraum vom Überschreiten (im Frühjahr) bis zum Unterschreiten (im Herbst) der Tagesmitteltemperatur von 10°C (bestimmt mit dem Mittelwert über 5 Tage) definiert. Im Hinblick auf die Länge der Vegetationszeit der oben genannten Baumarten an den drei Orten erscheint im allgemeinen dieser Grenzwert von 10°C sinnvoll.

Das Ergebnis zeigt, daß die signifikanten Korrelationen nur zwischen den Terminen des Beginns der klimatologischen Vegetationszeit und der phänologischen Vegetationszeit der Rotbuche (in Geisenheim und am Kleinen Feldberg) und der Stieleiche (in Geisenheim und Königstein) bestehen. Die Korrelationskoeffizienten zwischen der Dauer beider Vegetationszeiten und zwischen den Terminen des Endes der beiden Vegetationszeiten sind sehr gering (Tab. 5.2.3). D.h. die zeitliche Entwicklung der beiden Vegetationszeiten ist sehr unterschiedlich.

Tab. 5.2.3 Korrelationskoeffizienten (Anzahl der Jahre) zwischen den phänologischen und klimatologischen Vegetationszeiten im Taunus (1951-1990) (1)

Ort	Phäno. Vegetationszeit	Beginn der $T \geq 10^\circ\text{C}$	Ende der $T \geq 10^\circ\text{C}$	Dauer der $T \geq 10^\circ\text{C}$
Geisenheim	Birke BO	0.0817# (38)		
	Birke BV		0.1325# (40)	
	Birke BO-BV			0.2909# (38)
	Buche BO	0.4888** (40)		
	Buche BV		0.1198# (40)	
	Buche BO-BV			0.0287# (40)
	Eiche BO	0.4876** (40)		
	Eiche BV		0.2473# (40)	
	Eiche BO-BV			0.2398# (40)
Königstein	Birke BO	0.0387# (28)		
	Birke BV		-0.11# (31)	
	Birke BO-BV			0.0721# (28)
	Buche BO	0.0849# (27)		
	Buche BV		0.048# (31)	
	Buche BO-BV			0.1086# (27)
	Eiche BO	0.3928* (28)		
	Eiche BV		-0.1962# (30)	
	Eiche BO-BV			0.178# (28)
Kleiner Feldberg	Birke BO	-0.0346# (25)		
	Birke BV		0.117# (26)	
	Birke BO-BV			-0.0313# (20)
	Buche BO	0.3735* (35)		
	Buche BV		0.2243# (34)	
	Buche BO-BV			0.2888# (34)
	Eiche BO	-----		
	Eiche BV		-----	
	Eiche BO-BV			-----

(1) Abkürzungen s. Tab. 5.1.1.

Ein Vergleich der in Abb. 5.2.1 - 5.2.3 dargestellten Zeitreihen der beiden Vegetationszeiten läßt erkennen,

- daß die jährliche Schwankung der klimatologischen Vegetationszeit wesentlich stärker ist als die Schwankung der phänologischen Vegetationszeit der Rotbuche;
- daß in den meisten Jahren die Dauer der beiden Vegetationszeiten reziprok ist, d.h. die Jahre mit der längeren klimatologischen Vegetationszeit entsprechen den Jahren mit der kürzeren phänologischen Vegetationszeit der Rotbuche. Dies hängt wahrscheinlich mit der geringen Korrelation zwischen dem

Ende der beiden Vegetationszeiten zusammen (s. Tab. 5.2.3);

- daß die klimatologische Vegetationszeit an den drei Orten einen leichten negativen Trend (Verkürzung) aufweist, während die Vegetationszeit der Rotbuche einen leichten positiven Trend (Verlängerung) in Königstein und einen negativen Trend auf dem Kleinen Feldberg zeigt.

Aus diesem Grund darf im Prinzip für einzelne Jahre die klimatologische Vegetationszeit nicht als Näherungswert zur Kennzeichnung der Vegetationszeit von Waldbäumen im Gebiet des Taunus verwendet werden.

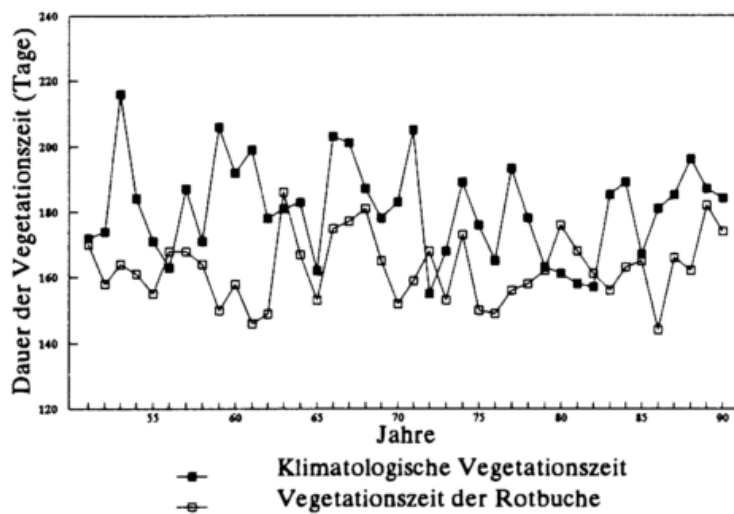


Abb. 5.2.1 Zeitliche Entwicklung der beiden Vegetationszeiten in Geisenheim

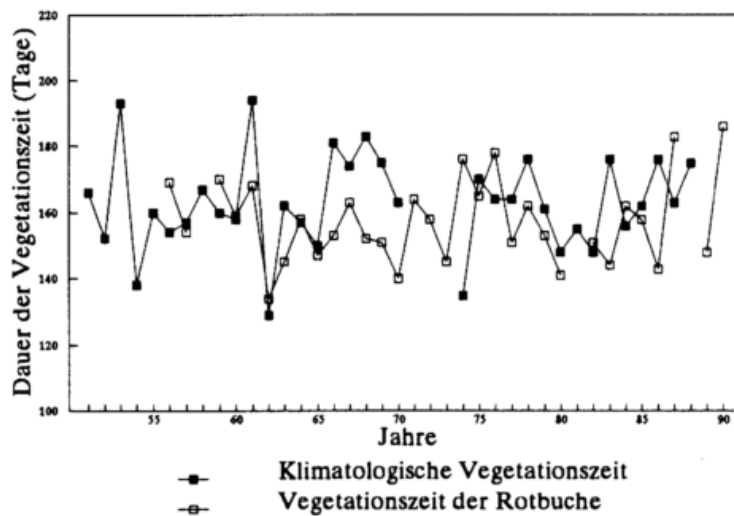


Abb. 5.2.2 Zeitliche Entwicklung der beiden Vegetationszeiten in Königstein

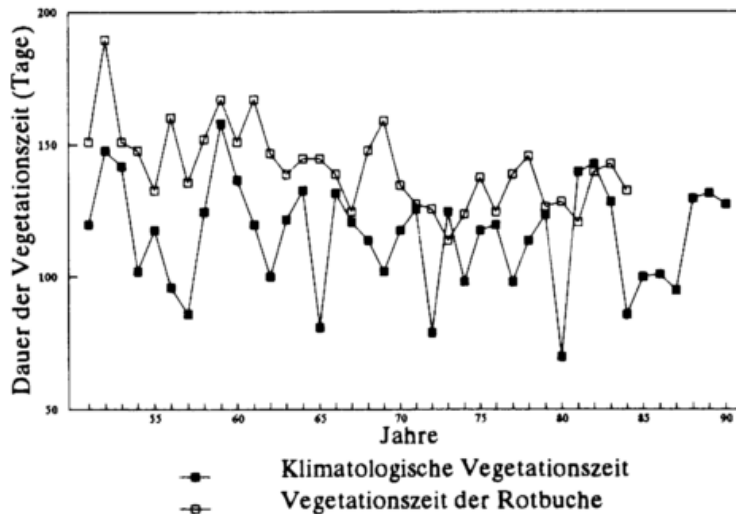


Abb. 5.2.3 Zeitliche Entwicklung der beiden Vegetationszeiten am Kleinen Feldberg

Aus dieser Untersuchung ergibt sich, daß die mehrjährige Zeitreihe der phänologischen Vegetationszeit nicht streng parallel zu derjenigen der klimatologischen Vegetationszeit verläuft. Ein ähnliches Ergebnis erhält man sogar, wenn man auf unterschiedlichen klimatologischen Definitionen beruhende klimatologische Vegetationszeiten vergleicht (Brinkmann, 1979). Insofern ist die phänologische Beobachtung der Leitbaumarten für einen Großraum, wie z.B. für ganz Europa, sinnvoll, um mittels der phänologisch definierten Vegetationszeit die üblicherweise klimatologisch berechnete Vegetationszeit zu ersetzen.

### 5.2.2 Phänologischer Eintrittstermin und Frost

Aufgrund der Bedeutung des Frostes für Vegetation und Landwirtschaft wird die Frostgefährdung als ein wichtiger Faktor auf dem Gebiet der Geoökologie und der Agrarmeteorologie angesehen (Leser und Klink, 1988; Seemann, 1951; Schnelle, 1963). In diesem Kapitel wird untersucht, welcher Zusammenhang zwischen dem phänologischen Eintrittstermin und den monatlichen Frosttagen sowie der frostfreien Zeit im Taunus besteht.

In der Klimatologie ist es üblich, zur Bestimmung des Frostes das tägliche Temperaturminimum (in 2 Meter Höhe gemessen) von  $<0^{\circ}\text{C}$  zu benutzen. Nach diesem Kriterium wird die mittlere Anzahl der Frosttage im Monat und im Jahr für die drei ausgewählten Klimastationen berechnet und in Tab. 5.2.4 dargestellt. Die Anzahl der Frosttage ist in fast allen Monaten in Geisenheim am kleinsten. Im Durchschnitt ist damit zu rechnen, daß das tägliche Temperaturminimum an 62.5 Tagen jährlich die  $0^{\circ}\text{C}$ -Grenze unterschreitet. Dagegen ist die größte Anzahl der Frosttage pro Monat und Jahr auf dem Kleinen Feldberg ermittelt worden. Im Vergleich zu Geisenheim werden auf dem Kleinen Feldberg doppelt so viele Frosttage im Jahr beobachtet (126.8 Tage), d.h. die Frostperiode verlängert sich bei einem Höhenunterschied von 100 m um ca. 9.4 Tage.

Tab. 5.2.4 Die Anzahl der Frosttage im Taunus (Mittelwert der Jahre 1951 - 1990)

Ort	Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Summe
Geisenheim	16.0	14.3	8.9	2.1	0.1	---	---	1.0	6.7	13.5	62.5
Königstein	21.6	18.7	12.2	4.1	0.4	---	---	0.6	9.8	18.9	87.1
Kl. Feldberg	27.0	23.2	19.7	12.1	2.1	0.1	0.03	2.9	16.1	23.7	126.8

Den Einfluß der Frosttage auf die phänologischen Eintrittstermine zeigt der Korrelationskoeffizient zwischen den Frosttagen für die Monate Januar/Februar und Februar/März, sowie März/April und den Eintrittsterminen der phänologischen Frühphasen. Die phänologischen Frühphasen werden sehr stark von der Anzahl der Frosttage beeinflusst (mit Ausnahme der Huflattichblüte in Königstein). Der positive Korrelationskoeffizient bedeutet: je häufiger die Frosttage in den entsprechenden Monaten auftreten, um so später setzen die phänologischen Frühphasen ein und umgekehrt (Tab.5.2.5). Eine Korrelationsanalyse für die phänologischen Herbstphasen und die Anzahl der Frosttage im November und Dezember wurde nicht durchgeführt, weil es keine phänologische Beobachtung der wildwachsenden Pflanzen in diesem Zeitraum gibt.

Tab. 5.2.5 Korrelationskoeffizienten (Anzahl der Jahre) zwischen dem phänologischen Eintrittstermin und der Anzahl der Frosttage (1951-1990) (1)

Ort	Phase	Frosttage (Jan. + Feb.)	Frosttage (Feb. + März)	Frosttage (März + Apr.)
Geisenheim	Hasel B	0.5989***(40)		
	Schneeglöckchen B	0.762***(40)		
	Huflattich B		0.6405***(40)	
	Sal-Weide B		0.8442*** (40)	
	Forsythie B		0.7805***(39)	
Königstein	Hasel B	0.6773***(30)		
	Schneeglöckchen B	0.6592***(33)		
	Huflattich B		0.3937#(23)	
	Sal-Weide B		0.3554*(32)	
	Forsythie B		0.8101***(30)	
Kleiner Feldberg	Hasel B			0.6974**(16)
	Schneeglöckchen B		0.7333***(35)	
	Huflattich B		0.7141***(35)	
	Sal- Weide B			0.6323***(35)

(1) Abkürzungen s. Tab. 5.1.1.

Die Angaben über die Zahl der Frosttage oder den frostfreien Zeitraum im Jahr haben sich für die Beurteilung des Naturraumpotentials und für viele praktische Fragen als besonders wichtig erwiesen (Liedtke, 1988; DWD, 1981; Kalma et al., 1992). Daher ist die Abschätzung der jährlichen Frosttage oder frostfreien Zeit angezeigt. Ein Versuch zur Abschätzung der frostfreien Zeit im Taunus wird hier mit den phänologischen Daten durchgeführt.

Zunächst werden die Korrelationskoeffizienten zwischen den phänologischen Eintrittsterminen der Frühphasen, die vor der frostfreien Zeit auftreten, und der frostfreien Zeit (Tage/Jahr) für die drei ausgewählten Klimastationen berechnet. Das Ergebnis zeigt, daß eine negative Korrelation zwischen den beiden Parametern für alle drei Stationen besteht, d.h. je früher die phänologischen Frühphasen in einem Jahr auftreten, um so länger ist die frostfreie Zeit in dem selben Jahr und umgekehrt (Tab. 5.2.6).

Tab. 5.2.6 Korrelationskoeffizienten (Anzahl der Jahre) zwischen dem phänologischen Eintrittstermin der Frühphasen und der frostfreien Zeit (1)

Ort	Phase	Frostfreie Zeit
Geisenheim	Hasel B	-0.5127***(40)
	Schneeglöckchen B	-0.7548***(40)
	Huflattich B	-0.6604***(40)
	Sal-Weide B	-0.79***(40)
	Forsythie B	-0.7183***(39)
Königstein	Hasel B	-0.6993***(29)
	Schneeglöckchen B	-0.6116***(32)
	Huflattich B	-0.475*(22)
	Sal-Weide B	-0.363*(31)
	Forsythie B	-0.6023***(29)
Kleiner Feldberg	Hasel B	-0.5346*(16)
	Schneeglöckchen B	-0.681***(35)
	Huflattich B	-0.5646***(35)
	Sal-Weide B	-0.52**(35)

(1) Abkürzungen s. Tab. 5.1.1.

Bei ausreichend hohen Korrelationskoeffizienten lassen sich die ortsbezogenen Regressionsbeziehungen zwischen den phänologischen Frühphasen und dem frostfreien Zeitraum zu einer Flächenbeziehung, die alle 3 Stationen einschließt, erweitern (vgl. Chen, 1992).

Eine statistische Beziehung des flächenbezogenen Polynoms besteht zwischen dem Blühbeginn der Hasel, des Schneeglöckchens und der Sal-Weide und der frostfreien Zeit (s. Abb. 5.2.4, 5.2.5, 5.2.7 und Tab. 5.2.7). Die früheren Eintrittstermine dieser Phasen, die oft in den "frühen phänologischen Jahren" der tieferen Lagen auftreten, stehen in Verbindung mit der längeren frostfreien Zeit und umgekehrt. Eine Ausnahme bilden einige sehr frühe Eintrittstermine dieser phänologischen Phasen (z. B. in Geisenheim), die mit einer relativ kurzen frostfreien Zeit verbunden sind. Dies ist besonders deutlich bei der Schneeglöckchenblüte und der Sal-Weidenblüte. Die lineare Beziehung besteht nur zwischen dem Eintrittstermin der Huflattichblüte und der frostfreien Zeit (s. Abb. 5.2.6 und Tab. 5.2.7). Die Standardfehler ( $S_p$ ) zwischen der geschätzten ( $\hat{y}$ ) und beobachteten ( $y$ ) frostfreien Zeit liegen bei den vier flächenbezogenen Gleichungen jeweils bei 15 bis 26 Tagen (Tab. 5.2.7).

Tab. 5.2.7 Ergebnis der Regressionsanalyse zwischen dem phänologischen Eintrittstermin (x) und der frostfreien Zeit (y) im Taunus (drei Stationen; Zeitraum: 1951-1990) (1)

x	Gleichung	R	n (Jahre)	$S_p$ (Tage)
Hasel B	I: $\hat{y} = 318.86 - 0.25x - 0.005x^2$	0.8544***	85	15.2
Schneeglöckchen B	II: $\hat{y} = 312.18 + 0.23x - 0.01x^2$	0.8428***	107	17.5
Huflattich B	III: $\hat{y} = 370.53 - 1.22x$	-0.6475***(2)	97	25.5
Sal-Weide B	IV: $\hat{y} = 289.08 + 1.06x - 0.014x^2$	0.7425***	106	21.9

(1) Abkürzungen s. Tab. 5.1.1.

(2) Die lineare Korrelation ist negativ.

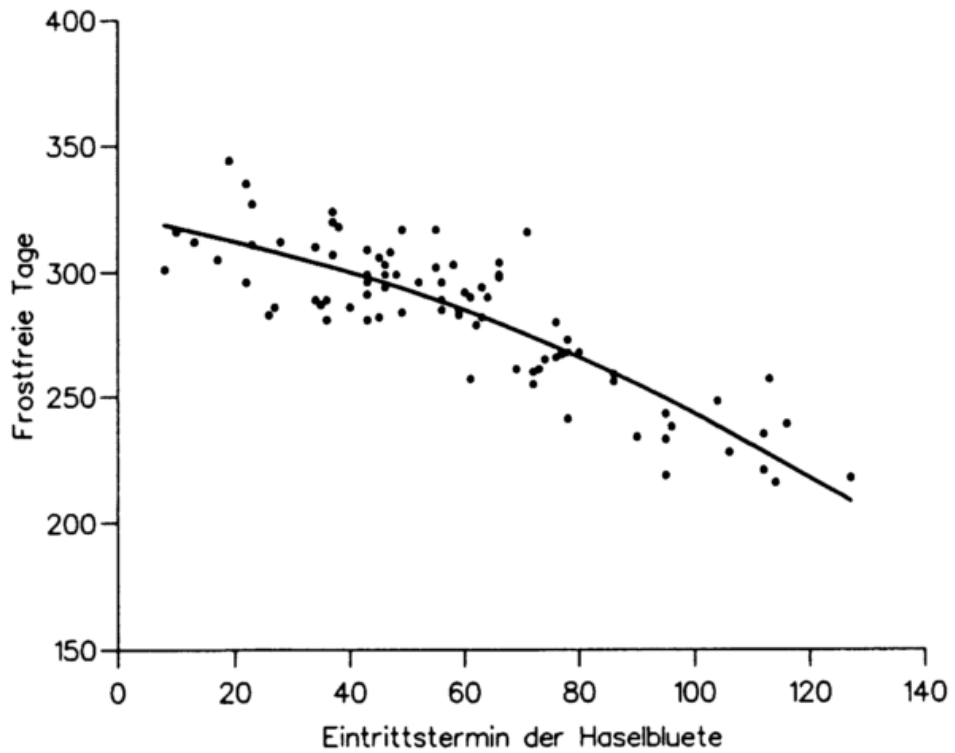


Abb. 5.2.4 Regressionsanalyse zwischen dem Eintrittstermin der Haselblüte und der frostfreien Zeit im Taunus (drei Stationen; Zeitraum:1951-1990)

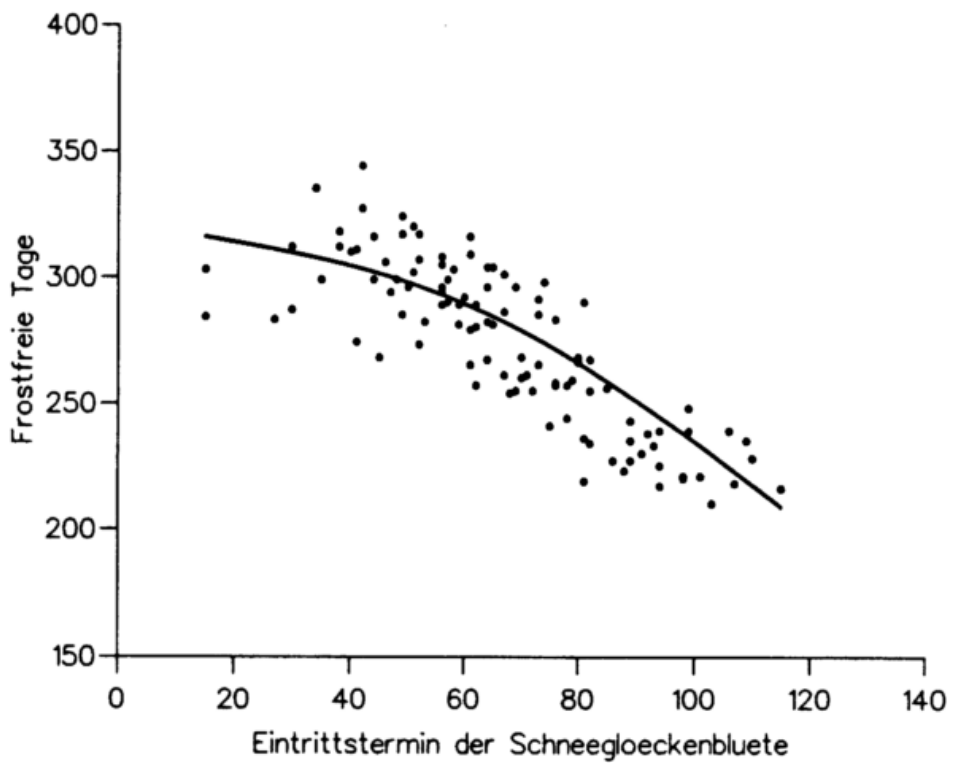


Abb. 5.2.5 Regressionsanalyse zwischen dem Eintrittstermin der Schneeglockchenblüte und der frostfreien Zeit im Taunus (drei Stationen; Zeitraum:1951-1990)

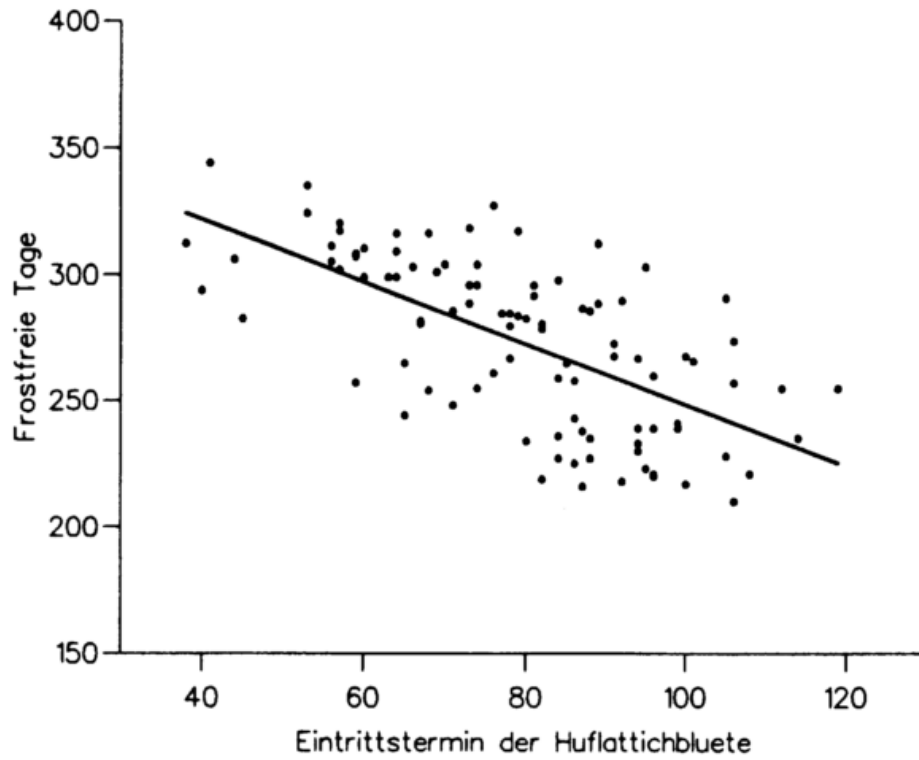


Abb. 5.2.6 Regressionsanalyse zwischen dem Eintrittstermin der Hufattichblüte und der frostfreien Zeit im Taunus (drei Stationen; Zeitraum:1951-1990)

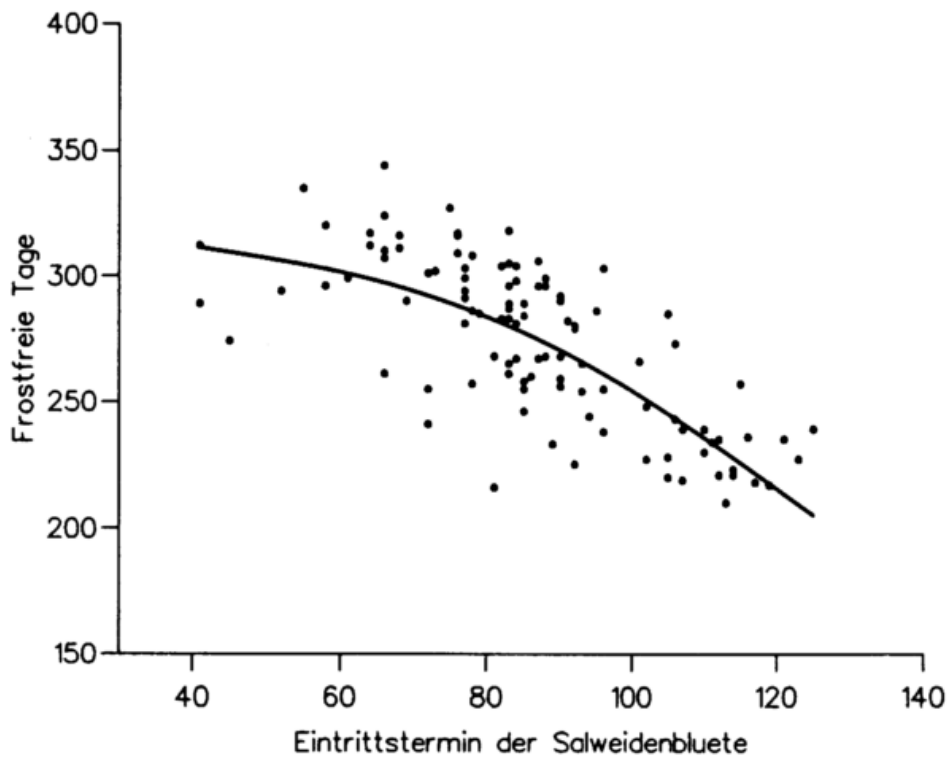


Abb. 5.2.7 Regressionsanalyse zwischen dem Eintrittstermin der Sal-Weidenblüte und der frostfreien Zeit im Taunus (drei Stationen; Zeitraum:1951-1990)

Da die vier statistischen flächenbezogenen Gleichungen die Beziehung zwischen dem phänologischen Eintrittstermin und der frostfreien Zeit in verschiedenen Höhenlagen des Taunus darstellen können, gelten in der Regel diese Gleichungen nicht nur für die drei betreffenden Orte, sondern auch näherungsweise für diejenigen Orte, die in einer Höhenlage zwischen ca. 100 m und 800 m über NN liegen und an denen die zeitlichen Fluktuationen der phänologischen Eintrittstermine nicht den Parameterbereich der unabhängigen Variable  $x$  in den Gleichungen überschreiten (z. B.  $8 \leq x \leq 127$  in der Gleichung I). Dies ist besonders für die Abschätzung der frostfreien Zeit jener Regionen bedeutsam, aus denen keine regelmäßigen klimatologischen Beobachtungen vorliegen. Als ein Beispiel wird die frostfreie Zeit des Zeitraums von 1973 bis 1989 in Wiesbaden-Süd durch die Extrapolation der Gleichung II abgeschätzt und mit den beobachteten Daten verglichen. Das Ergebnis zeigt, daß die durchschnittliche Differenz zwischen der geschätzten und beobachteten frostfreien Zeit in Wiesbaden-Süd bei 11 Tagen liegt, ein Ergebnis, das noch kleiner als der Standardfehler dieser Gleichung ist (Tab. 5.2.8).

Tab. 5.2.8 Vergleich der geschätzten ( $\hat{y}$ ) und beobachteten ( $y$ ) frostfreien Zeit in Wiesbaden-Süd (N 50°04', E 08°16', Höhe über NN: 145 m); unabhängige Variable  $x$ : Beginn der Schneeglöckchenblüte

Jahr	$y$ (Tage)	$\hat{y}$ (Tage)	$ y - \hat{y} $ (Tage)
1973	308	287.0	21.0
1974	348	312.4	35.6
1975	316	312.4	3.6
1976	311	313.3	2.3
1977	328	308.4	19.6
1978	313	311.1	1.9
1979	306	296.3	9.7
1980	305	306.5	1.5
1981	290	290.0	0.0
1982	308	304.8	3.2
1983	298	313.3	15.3
1984	316	290.9	25.1
1985	274	288.0	14.0
1986	295	276.9	18.1
1987	289	295.4	6.4
1988	323	307.5	15.5
1989	313	313.2	0.2
Mittel			11.4

### 5.2.3 Phänologischer Eintrittstermin und Erdbodentemperatur

Über den Einfluß der Bodentemperatur auf die phänologische Entwicklung weiß man durch viele Versuche, daß die landwirtschaftlichen Kulturpflanzen zum Keimen eine Mindesttemperatur des Bodens verlangen; z.B. das heimische Getreide braucht eine Keimtemperatur von etwa 2 bis 4°C (Geisler, 1980). Die Apfelblüte beginnt erst dann, wenn die Bodentemperatur in 50 cm Tiefe auf mindestens 10°C gestiegen ist (Schnelle, 1955). Nachfolgend soll der Einfluß der Bodentemperatur

auf die phänologischen Eintrittstermine durch statistische Methoden untersucht werden. Da die phänologischen Phasen der bodennahen Pflanzen unmittelbar dem Einfluß der Bodentemperatur unterliegen, werden hier nur die phänologischen Daten von den krautigen Pflanzen analysiert. Von den drei ausgewählten Klimastationen stehen allerdings nur die Geisenheimer Bodentemperaturen für diese Untersuchung zur Verfügung. Um festzustellen, in welcher Tiefe der größte Einfluß der Bodentemperatur auf die phänologische Entwicklung besteht, werden die Korrelationskoeffizienten zwischen dem phänologischen Eintrittstermin und der monatlichen Bodentemperatur in 20, 50 und 100 cm vom Klimatermin II (14:00 MOZ) berechnet. Zusätzlich wird eine Korrelationsrechnung zwischen dem phänologischen Eintrittstermin und dem Monatsmittel der Lufttemperatur durchgeführt (Tab. 5.2.9).

Tab. 5.2.9 Korrelationskoeffizienten zwischen dem phänologischen Eintrittstermin und der Bodentemperatur in den verschiedenen Tiefen sowie der Lufttemperatur (LT) in Geisenheim (1)

Monat	Temperatur	Phase 002	Phase 003	Phase 115	Phase 116	Phase 019	Phase 020	Phase 065	Phase 066
Februar	20 cm	0.80***							
	50 cm	0.80***							
	100 cm	0.76***							
	2 m (LT)	0.68***							
März	20 cm		0.55***						
	50 cm		0.60***						
	100 cm		0.63***						
	2 m (LT)		0.40*						
April	20 cm			0.23#	0.33#				
	50 cm			0.38#	0.45*				
	100 cm			0.59**	0.62**				
	2 m(LT)			0.07#	0.16#				
Mai	20 cm					0.33*	0.60***		
	50 cm					0.39*	0.62***		
	100 cm					0.28#	0.36*		
	2 m(LT)					0.15#	0.44*		
August	20 cm							0.03#	0.19#
	50 cm							0.003#	0.18#
	100 cm							0.00#	0.11#
	2 m(LT)							0.02#	0.31#

- (1) Phase 002: Schneeglöckchen B, n = 40; Phase 003: Huflattich B, n = 40;  
Phase 115: Busch-Windröschen B, n = 23; Phase 116: Löwenzahn B, n = 23;  
Phase 019: Wiesen-Fuchsschwanz AB, n = 39; Phase 020: Wiesen-Knäuelgras AB, n = 39;  
Phase 065: Heidekraut B, n = 40; Phase 066: Herbstzeitlose B, n = 40

Abkürzungen s. Tab. 5.1.1.

Die Ergebnisse zeigen, daß

- der Einfluß der Bodentemperatur auf die phänologischen Frühphasen meist größer ist als der Einfluß der Lufttemperatur;
- der größte Einfluß der Bodentemperatur auf die Blüte des Schneeglöckchens und die Vollblüte der zwei Wiesen-Gräser aus der Tiefe 20 bis 50 cm kommt. Der signifikanteste Einfluß auf die Blüte des Huflattichs, des Busch-Windröschens und des Löwenzahns kommt hingegen aus der Tiefe 50 bis 100 cm;
- der Einfluß der Boden- sowie der Lufttemperatur auf die Blüte des Heidekrauts und der Herbstzeitlosen unbedeutend erscheint.

Da die Klimastation nicht direkt neben den beobachteten Pflanzen steht, ist die obige Analyse nur bedingt aussagekräftig. Trotzdem ergibt sich, daß die Bodentemperatur eine große Rolle für die phänologische Entwicklung der wildwachsenden krautigen Pflanzen spielt.

## 6 Wertung

Die bisherigen phänologischen Arbeiten konzentrierten sich überwiegend auf zwei Richtungen: Erstens, die räumlichen Unterschiede der mittleren phänologischen Eintrittstermine zu untersuchen; zweitens, die zeitlichen Zusammenhänge zwischen verschiedenen phänologischen Reihen und zwischen den phänologischen Eintrittsterminen und Umweltbedingungen, insbesondere den Klimaparametern, durch einfache statistische Methoden zu analysieren. Die vorliegende Arbeit versucht, die räumlichen und zeitlichen Ähnlichkeitsstrukturen von markanten phänologischen und relevanten klimatologischen Parametern mittels einer anspruchsvollen statistischen Methode, der sogenannten Cluster-Analyse, zu ergünden. Da in der Bundesrepublik Deutschland das zahlenmäßig größte phänologische Beobachtungsnetz der Welt seit Jahrzehnten betrieben wird und umfangreiches phänologisches Datenmaterial gesammelt wurde, ist Deutschland ein optimales Untersuchungsgebiet für diese Arbeit.

Die in dieser Arbeit festgestellte phänologische Klassifikation von Naturräumen zeigt eine dynamische räumliche Ähnlichkeitsstruktur Westdeutschlands auf der Grundlage der phänologischen Eintrittstermine auf. Diese Ähnlichkeitsstruktur wird von phänologisch einheitlichen Raumtypen gebildet. Ein phänologisch einheitlicher Raumtyp ist eine "Naturräumliche Einheit", die aus verschiedenen Naturräumen mit ähnlichem zeitlichem Verlauf (ähnlichem Zeitmuster) markanter phänologischer Phasen bestehen. D.h. er kennzeichnet ein Gebiet mit einer ähnlichen ökologischen Reaktion von Pflanzen auf jährliche Veränderung der Umwelt- und Klimabedingungen. Dies kann zum Teil aus der räumlichen Übereinstimmung zwischen den geographischen Verteilungsmustern der Raumtypen der phänologischen und klimatologischen Zeitreihen nachgewiesen werden. Die herausgefundenen zueinander inversen linearen Trends der phänologischen Phasen und der Monatsmitteltemperatur sowie die zeitliche Übereinstimmung zwischen den "ungewöhnlichen" und "besonderen" Jahrestypen der beiden Parameter in fast allen "Größeren Naturräumlichen Landschaftseinheiten" weist darauf hin, daß die Phänologie ein effektiver biologischer Indikator der Witterung und Klimaveränderungen ist. Das Ergebnis liefert einen Beweis und eine Methode für die Abschätzung der Auswirkung der Klimaänderung auf die jahreszeitliche und jährliche Rhythmik der Biosphäre mit Hilfe von phänologischen Daten.

Ein wichtiger Beitrag dieser Arbeit für die phänologische Untersuchung im Gelände ist die Bestimmung der statistischen Beziehung zwischen den phänologischen Eintrittsterminen der Blühphasen im Frühling und der frostfreien Zeit im Jahr. Mit den in dieser Arbeit aufgestellten flächenbezogenen Gleichungen können die jährlichen frostfreien Tage durch die phänologische Beobachtung abgeschätzt werden. Diese Abschätzung ist besonders wertvoll für die geoökologische und agrarklimatologische Analyse im Gebiet des Taunus.

## 7 Zusammenfassung

Mit Hilfe eines statistischen Gruppierungsverfahrens, der sogenannten **Cluster-Analyse**, wurden 30jährige phänologische und klimatologische Zeitreihen (1960-1989) Westdeutschlands auf ihre zeitlich - räumliche Ähnlichkeit untersucht. Als statistisches Klassifikationsmerkmal wurde der **Korrelationskoeffizient** gewählt.

Die Analyse wurde einerseits auf der Grundlage der Eintrittstermine ausgewählter phänologischer Phasen (Beginn der Blüte der Hasel, der Forsythie und des Schwarzen Holunders sowie Beginn der Blattverfärbung der Roßkastanie), andererseits auf der Grundlage von Klimaparametern des Januars, Aprils, Julis und Oktobers (Monatsmittel der Lufttemperatur, monatliche Summe der Sonnenscheindauer und monatliche Niederschlagshöhe) durchgeführt. Die phänologischen Phasen liegen als Gebietsmittel von ca. 270 Naturräumen vor, während bei den Klimadaten auf rund 110 Stationen bei der Sonnenscheindauer und 260 Stationen bei der Temperatur und Niederschlagshöhe zurückgegriffen wurde.

Die **phänologische Klassifikation von Naturräumen** zeigt, daß die phänologischen Zeitreihen der Blühphasen vom Vorfrühling bis zum Frühsommer weitgehend räumlich homogene Verteilungsmuster ergeben. In diesen Verteilungsmustern dominieren 3 bis 4 **phänologisch einheitliche Hauptraumtypen** mit zeitlich gleichartigem Verlauf. Diese phänologisch einheitlichen Hauptraumtypen konzentrieren sich hauptsächlich in bestimmten "Größeren Naturräumlichen Landschaftseinheiten". Es bedeutet, daß die "Größeren Naturräumlichen Landschaftseinheiten" Westdeutschlands nicht nur nach dem räumlichen Gesamtcharakter ihrer Landesnatur, sondern auch nach der zeitlichen Entwicklung der phänologischen Eintrittstermine der obengenannten Blühphasen ähnlich sind. Die räumlichen inhomogenen Verteilungsmuster liefern dagegen die phänologischen Zeitreihen der Herbstphasen, z.B. die Blattverfärbung der Roßkastanie.

Die ausgewählten Klimaparameter weisen im Norddeutschen Tiefland und im Mittelgebirge ebenfalls flächenmäßig große einheitliche Gebiete mit ähnlichem zeitlichem Verhalten auf. Nach Süden hin wird die **räumliche Ähnlichkeit der Klimaparameter** immer schwächer. Allerdings ist die räumliche Ähnlichkeit der Klimaparameter in den meisten Monaten nach der Cluster-Analyse wesentlich größer als die der phänologischen Phasen. Der höchste und geringste räumliche Korrelationskoeffizient erscheint bei der Temperatur jeweils im Januar und im April, bei der Sonnenscheindauer im Juli und im Januar, beim Niederschlag im Oktober und im Juli. Die räumliche Ähnlichkeit zwischen den verschiedenen Klimaparametern im selben Monat sind im allgemeinen bei der Temperatur am größten und bei der Niederschlagshöhe am geringsten.

Ein räumlicher Zusammenhang zwischen den geographischen Verteilungsmustern der phänologischen und klimatologischen Zeitreihen zeigt sich besonders im Frühling und im Sommer, was auf eine strenge Abhängigkeit der phänologischen Entwicklung von Klimabedingungen hinweist. Im Herbst dagegen sind die geographischen Verteilungsmuster der phänologischen Zeitreihen sehr unregelmäßig und unterscheiden sich von der Anordnung der geographischen Verteilungsmuster der klimatologischen Zeitreihen.

Die zeitlichen Charaktere der phänologischen und klimatologischen Reihen manifestieren sich im **phänologischen und klimatologischen Jahrestyp** und im **phänologischen und klimatologischen Trend**. Diese Charaktere wurden nur in repräsentativen Naturräumen untersucht. Es zeigt sich, daß eine deutliche zeitliche Übereinstimmung zwischen den "ungewöhnlichen" und "besonderen" Jahrestypen der phänologischen Blühphasen und der Monatsmitteltemperatur vom Frühling bis zum Sommer besteht. Das phänologisch "frühe" Jahr entspricht demnach dem klimatologisch "warmen" Jahr und umgekehrt. Diese Übereinstimmung ist aber im Herbst nur schwach nachweisbar. Eine phänologische Verfrühung (negativer Trend) und ein Temperaturanstieg (positiver Trend) wurden ab Anfang der Sechziger Jahre bis Mitte der Siebziger Jahre (im Vorfrühling) und Ende der Siebziger Jahre (im Erstfrühling) in fast allen "Größeren Naturräumlichen Landschaftseinheiten" beobachtet; in dem

folgenden Zeitraum ist die phänologische Verspätung (positiver Trend) mit einem Temperaturrückgang (negativer Trend) verbunden. Allerdings wurden diese zueinander inversen Trends der Zeitreihen im Sommer und im Herbst nur in wenigen Gebieten gefunden.

Weiterhin befaßt sich diese Arbeit mit dem Gebiet des Taunus, um Zusammenhänge zwischen den phänologischen Eintrittsterminen und den geoökologischen Faktoren im Gelände herauszufinden.

Es zeigt sich, daß die mittleren Eintrittstermine der phänologischen Phasen im Frühling und im Sommer eine stärkere Abhängigkeit von der Seehöhe der Beobachtungsorte aufweisen als im Herbst. Die regionale Verteilung mittlerer phänologischer Eintrittstermine und ihr Zusammenhang mit der Reliefstruktur wird durch ein dreidimensionales phänologisches Geländemodell des Taunus dargestellt. Allerdings kann ein enger Zusammenhang zwischen den mittleren phänologischen Eintrittsterminen und der Bodenart in diesem Gebiet nicht nachgewiesen werden.

Die Korrelation zwischen der Dauer der phänologischen und klimatologischen Vegetationszeiten ist sehr gering. Deshalb darf in der Regel die klimatologische Vegetationszeit, bestimmt durch die Termine des durchschnittlichen Überschreitens (im Frühjahr) und des Unterschreitens (im Herbst) einer Temperaturschwelle, nicht als Näherungswert zur Kennzeichnung der Vegetationszeit von Waldbäumen im Gebiet des Taunus benutzt werden.

Vier statistische flächenbezogene Gleichungen werden zwischen den phänologischen Eintrittsterminen der Frühphasen und den frostfreien Tagen im Jahr aufgestellt, damit die jährlichen frostfreien Tage im Gebiet des Taunus abgeschätzt werden können.

Schließlich ergibt sich, daß die phänologischen Eintrittstermine verschiedener krautiger Pflanzen abhängig von der Erdbodentemperatur in verschiedenen Tiefen sind.

## 8 Literaturverzeichnis

- Bahrenberg, G., Giese, E. und Nipper, J. (1992): 'Statistische Methoden in der Geographie', Bd. 2: Multivariate Statistik. B. G. Teubner Stuttgart.
- Bockelmann, D. (1990): 'Baumphänologie und Klimausprägungen im Bereich des niedersächsischen Harzes'. Diplomarbeit. Göttingen.
- Brandtner, E. (1958): 'Methodische Untersuchungen an phänologischen Beobachtungen unter besonderer Berücksichtigung phytopathologischer Probleme'. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes*, Nr. 47 (Bd. 7), Offenbach am Main.
- Brinkmann, W. A. R. (1979): 'Growing season length as an indicator of climatic variations?'. *Climatic Change*, Nr. 2, 127-138.
- Chen, X. Q. (1990): 'A Study of Phenological Seasonal Rhythm in Spring and Summer of North China Region'. *Scientia Geographica Sinica*, Vol. 10, No. 1, 69-76, Beijing, China (in Chinese).
- Chen, X. Q. (1992): 'Research on regional phenological models in North China'. In: *Abstract, Technical Program of the 27th International Geographical Congress*, Washington.
- Chen, X.Q. and Yang, G.D. (1988): 'Research on Regional Forecasting Models of Tree Phenology in the North China region'. *Agricultural Meteorology*, Vol. 9, No. 3, 42-45, Beijing, China (in Chinese).
- Chmielewski, F.-M. (1990): 'Untersuchungen zu regionalen Unterschieden in den Eintrittsterminen phänologischer Phasen im Gebiet der DDR'. *Z. Meteorol.* 40, 3, 167-170.
- Defila, C. (1991): 'Pflanzenphänologie der Schweiz'. Inaugural-Dissertation, Zürich.
- Demirmen, F. (1972): 'Mathematical Search Procedures in Facies Modelling in Sedimentary Rocks'. In: *Mathematical Models of Sedimentary Process*, Plenum Press, New York.
- Deutscher Wetterdienst (1979, 1980, 1985): 'Das Klima der Bundesrepublik Deutschland, Zeitraum: 1931-1960'. Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach am Main.
- Deutscher Wetterdienst, Zentralstelle, Abt. Agrarmeteorologie (1953): 'Anleitung für den phänologischen Beobachter'. Bad Kissingen.
- Deutscher Wetterdienst, Zentralamt, Abt. Agrarmeteorologie (1960): 'Anleitung für den phänologischen Beobachter'. Offenbach am Main.
- Deutscher Wetterdienst, Zentralamt (1991): 'Anleitung für den phänologischen Beobachter des Deutschen Wetterdienstes'. Vorschriften und Betriebsunterlagen Nr.17, Dritte, völlig neu gestaltete Auflage, Offenbach am Main.
- Dickel, H. (1966): 'Probleme phänologischer Methodik am Beispiel einer naturräumlichen Gliederung des Kreises Marburg/Lahn'. Marburger Geographische Schriften, Heft 31.
- Fang, K. T. and Pan, N. P. (1982): 'Cluster Analysis'. Geology Press, Beijing, China (in Chinese).
- Finkelstein, P.L. and Truppi, L.E. (1991): 'Spatial Distribution of Precipitation Seasonality in the United States'. *Journal of Climate*, Vol. 4, 373-385.

- Flohn, H. (1981): 'Climatic Variability and Coherence in Time and Space'. In: W. Bach, J. Pankrath and S.H. Schneider (Eds): *Food-Climate Interactions*, 423-441, D. Reidel Publishing Company.
- Fovell, R.G. and Fovell, M.-Y (1993): 'Cluster Analyses of U.S. Temperature and Precipitation Data: Regionalization and Data Reduction'. In: American Meteorological Society (Ed.): *Eighth Conference on Applied Climatology*, Anaheim, California.
- Frankenberg, P. (1984): '*Ähnlichkeitsstrukturen von Ernteertrag und Witterung in der Bundesrepublik Deutschland*'. Erdwissenschaftliche Forschung, Band XVII, Franz Steiner Verlag Wiesbaden GMBH.
- Freitag, E. (1967): 'Phänologische Gebietsmittel für die Bundesrepublik Deutschland'. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes*, Nr. 108 (Bd. 15), Offenbach am Main.
- Geiger, R. (1950): '*Klima der bodennahen Luftschicht*'. 3. Auflage, Braunschweig.
- Geisler, G. (1980): '*Pflanzenbau*', S. 230, Verlag Paul Parey . Berlin und Hamburg.
- Hechler, P. (1990): 'Zu den Auswirkungen rezenter Klimaänderungen auf ausgewählte phänologische Phasen'. *Z. Meteorol.* 40, Nr. 3, 171-178.
- Helen, E. J. and Bunce R. G. H. (1985): 'A preliminary classification of the climate of Europe from Temperature and precipitation records'. *J. environ. Mgmt.* 20, 17-29.
- Hodges, T. (1991): 'Temperature and Water Stress Effects on Phenology'. In: T. Hodges (Ed.): *Predicting Crop Phenology*, Chapter 3, 7-13, CRC Press, Boca Raton Ann Arbor Boston.
- Illichevsky, S. (1933): 'Plant flowering and local factors'. *Acta Phaenologica*, 2, 20-29.
- Jongman, R. H. G. (1990): 'Ecological classification of the climate of the Rhine catchment'. *Int. J. Biometeorol.* 34, 194-203.
- Kalb, M. und Vent-Schmidt, V. (1981): '*Das Klima von Hessen: Standortkarte im Rahmen der Agrarstrukturellen Vorplanung*'. Wiesbaden.
- Kalma, J. D.; Laughlin, G. P.; Caprio, J. M. and Hamer, P. J. C. (1992): '*Advances in Bioclimatology\_2: The Bioclimatology of Frost -- Its Occurrence, Impact and Protection*'. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Klante, B. (1991): 'Erste Forschungsergebnisse zur Anwendung phänologischer Daten für Pollen informationsdienste'. In: W. Kersten und P.-G. von Wahl (Eds): *2. europäisches Pollenflug-Symposium, Vorträge und Berichte*, 61-69, Bad Honnef.
- Kuls, W. (1962): 'Taunus'. In: Meynen, E., Schmithüsen, J, et. al.: '*Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands*', 432-435, Bad Godesberg.
- Leser, H. und Klink, H.-J. (Herg.) (1988): '*Handbuch und Kartieranleitung Geoökologische Karte 1:25000*'. Forschungen zur deutschen Landeskunde, Bd. 228, Trier.
- Leser, H. (1991): '*Landschaftsökologie*'. UTB 521, 3. Aufl., Stuttgart.
- Liedtke, H. (1984): '*Namen und Abgrenzungen von Landschaften in der Bundesrepublik Deutschland*'. Forschungen zur deutschen Landeskunde, Bd. 222, Trier.
- Liedtke, H. (1988): 'Naturräume der Bundesrepublik Deutschland und ihr Naturraumpotential'. *Geographische Rundschau* 40, 12-19.

- Lieth, H. (Ed.) (1974): *'Phenology and Seasonality Modeling'*. Springer-Verlag, Berlin-New York.
- Malcher, J. and Schönwiese, Ch.-D. (1987): 'Homogeneity, Spatial Correlation and Spectral Variance Analysis of Long European and North American Air Temperature Records'. *Theor. Appl. Climatol.* 38, 157-166.
- Melillo, J. M., Callaghan, T. V., Woodward, F. I., Salati, E. and Sinha, S. K. (1990): 'Effects on Ecosystems'. In: J.T. Houghton, G.J. Jenkins, J.J. Ephraums (Eds.): *Climate Change, The IPCC Scientific Assessment*, Chapter 10, 283-310, Cambridge University Press, Cambridge.
- Meynen, E., Schmithüsen, J., et. al. (1962): *'Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands'*. Bad Godesberg.
- Müller, G. (1980): 'Meßnetze und Meßtechnik'. *Promet* 3, 4-9.
- Müller-Miny, H. (1960): 'Deutschland: Die Großregionen als naturräumliche Erscheinungen'. In: *Geographisches Taschenbuch 1960/1961*, 267-286, Bad Godesberg.
- Pfau, R. (1964): 'Varianz- und Korrelationsanalytische Untersuchungen an phänologischen Phasen im Naturraum 06 (Unterbayerisches Hügelland)'. *Meteorol. Rundschau*, 17. Jg., Heft 4, 113-122.
- Richardson, B.C. (1992): 'Places and Regions'. In: R.F. Abler, M.G. Marcus and J.M. Olson (Eds.): *Geography's Inner Worlds*, 27-49, Rutgers University Press New Brunswick, New Jersey.
- Richter, H. (1978): 'Eine naturräumliche Gliederung der DDR auf der Grundlage von Naturraumtypen'. *Beiträge zur Geographie* 29, 323-340.
- Runge, K. und Schönwiese, C.-D. (1986): 'Statistik phänologischer Zeitreihen Europas - Einige Charakteristika und klimatologische Zusammenhänge'. *ARBORETA PHAENOLOGICA*, Nr. 31, 51-60, Offenbach am Main.
- Schnelle, F. (1952): 'Über die Abhängigkeit der Laubverfärbung von der Temperatur'. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone*, Nr. 38, 227-228, Bad Kissingen.
- Schnelle, F. (1953): 'Beiträge zur Phänologie Deutschlands'. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes*, Nr. 1, Bad Kissingen.
- Schnelle, F. (1955): *'Pflanzen-Phänologie'*. Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G., Leipzig.
- Schnelle, F. (1963): 'Vorwort'. In: Schnelle, F. (Herg.): *Frostschutz im Pflanzenbau*, Bd. 1, BLV Verlagsgesellschaft München Basel Wien.
- Schnelle, F. (1973): 'Die Vegetationszeit von Waldbäumen in deutschen Mittelgebirgen: Ihre Klimaabhängigkeit und räumliche Differenzierung'. *Erlanger Geographische Arbeiten*, Heft 32, Erlangen.
- Schönwiese, Ch.-D. (1992): *'Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler'*. 2. Aufl., Borntraeger, Stuttgart.
- Schönwiese, Ch.-D., Rapp, J., Fuchs, T. und Denhard, M. (1993): 'Klimatrend-Atlas Europa 1891-1990'. *Berichte des Zentrums für Umweltforschung*, Nr. 20-Januar 1993, ZUF-Verlag, Frankfurt.
- Schwarzmaier, G. and Mayer, H. (1992): 'Regionalization of global runoff data by cluster analysis'. *Meteorol. Zeitschrift*, N.F. 1, 269-275.

- Seemann, J. (1951): 'Ein Beitrag zur allgemeinen Spätfrostgefährdung in Nord-West-Deutschland, besonders für den Obstbau'. *Zeitfragen der Baumschule*, Folge 7, Verlag Deutsche Gärtnerbörse, Aachen.
- Seyfert, F. (1955): 'Eintritt phänologischer Phasen und auslösende Wetterlagen. In: *Angewandte Meteorologie* 2, 183-190.
- Seyfert, F. (1962): 'Phänologische Gebietsmittelwerte 1947-1956 des Höhenbereichs 0-300 m NN in der DDR auf der Grundlage naturbedingter Landschaften'. *Abh. Meteorol. Hydrol. Dienst DDR*, Nr. 60, Bd. 8.
- Seyfert, F. (1966): 'Ein Beitrag zur Prognose phänologischer Daten'. *Abh. Meteorol. Dienst DDR*, Nr.80, Bd. 10.
- Shigehara, K. (1991): 'Phenological Observation Data in Japan to be Utilized as an Indicator of Climatic Variation'. In: *Proceedings of the International Conference on Climatic Impacts on the Environment and Society* (CIES), C-1 - C-6, University of Tsukuba, Ibaraki, Japan.
- Stooksbury, D. E. and Michaels, P. J. (1991): 'Cluster Analysis of U.S. Climate Stations'. *Theor. Appl. Climatol.* 44, 143-150.
- Sun, C. Y. and Feoli, E. (1991): 'A numerical phytoclimatic classification of China'. *Int. J. Biometeorol.* 35, 76-87.
- Takeuchi, K., Tsunekawa, A. and Ikeguchi, H. (1990): 'Numerical Classification of Natural Region of Japan'. *Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University*, No. 25, 269-287.
- Trapp, R. und Kasten, F. (1988): 'Kleinskalige Variabilität der Sonnenstrahlung'. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes*, Nr. 177, Offenbach am Main.
- Uhlig, S. (1953): 'Phänologische Kreisbeschreibungen'. *Mitteilungen des Deutschen Wetterdienstes*, Nr. 4, Bad Kissingen
- UNIRAS A/S (1989): '*UNIMAP 2000, Users Manual*', Danmark.
- van Eimern, J. und Häckel, H. (1979): '*Wetter- und Klimakunde*'. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart.
- Walter, H. und Breckle, S.-W. (1986): '*Spezielle Ökologie der Gemäßigten und Arktischen Zonen Euro-Nordasiens*'. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Wang, J. Y. (1963): '*Agricultural Meteorology*'. Pacemaker Press, Milwaukee.
- Wishart, D. (1987): '*Clustan User Manual, Cluster Analysis Software*'. Computing Laboratory, University of St. Andrews.

## **9 Anhang**

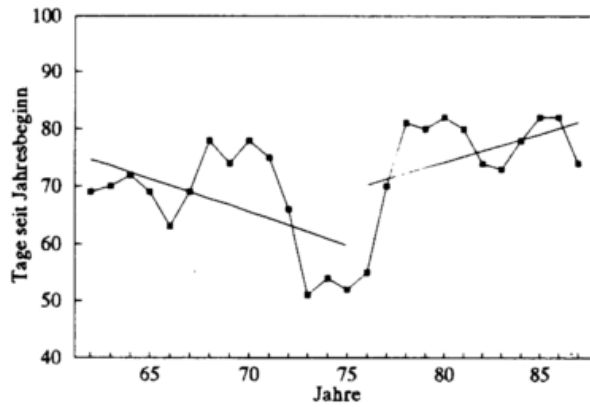


Abb. 4.2.1a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Haselblüte Naturraum 700: Angeln

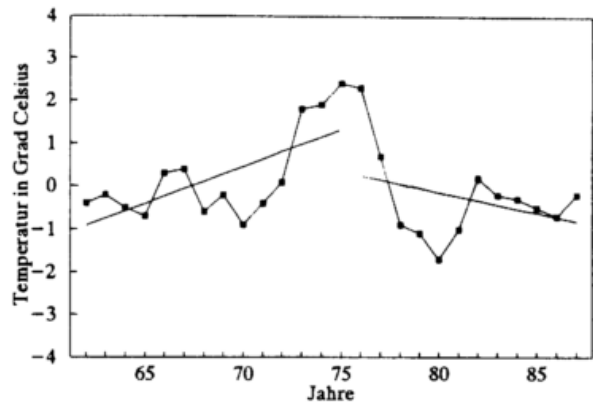


Abb. 4.2.1b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im Januar Station: Schleswig

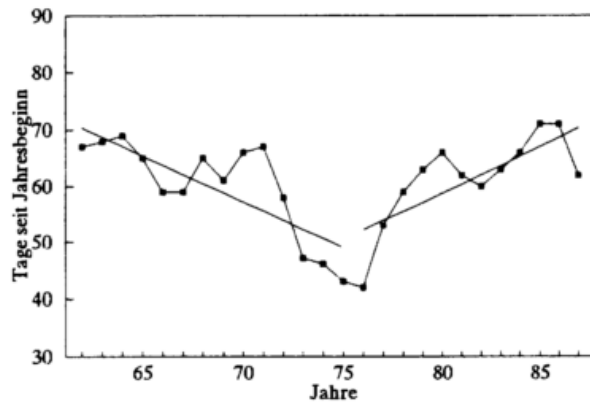


Abb. 4.2.2a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Haselblüte Naturraum 641: Südheide

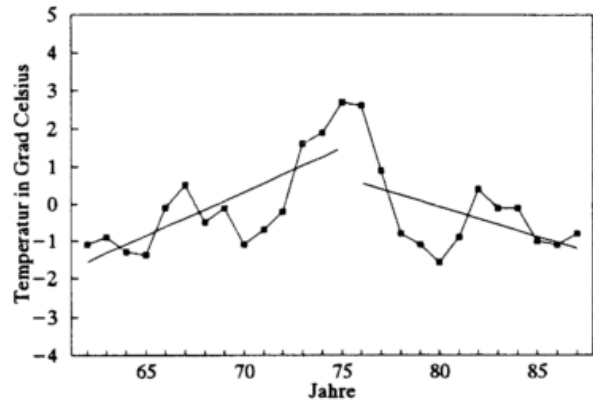


Abb. 4.2.2b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im Januar Station: Soltau

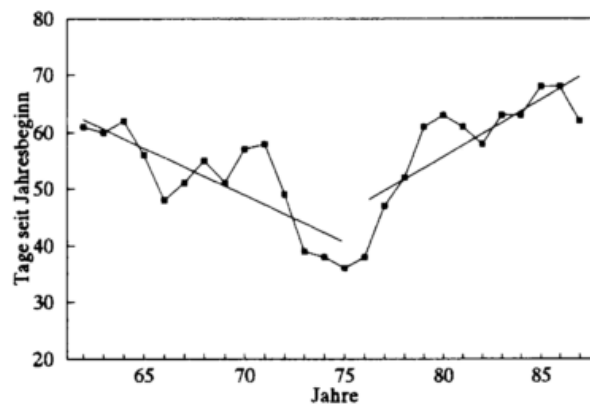


Abb. 4.2.3a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Haselblüte Naturraum 600: Hunte-Leda-Moorniederung

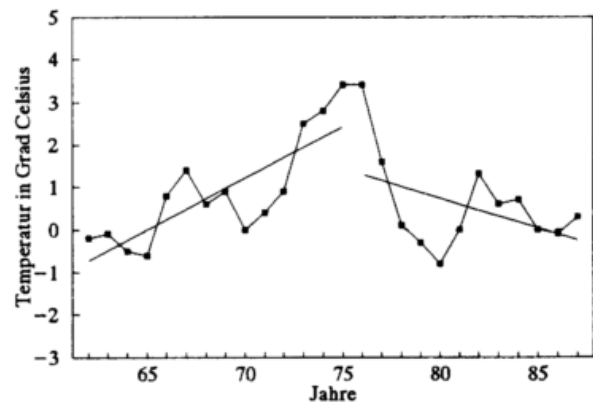


Abb. 4.2.3b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im Januar Station: Friesoythe

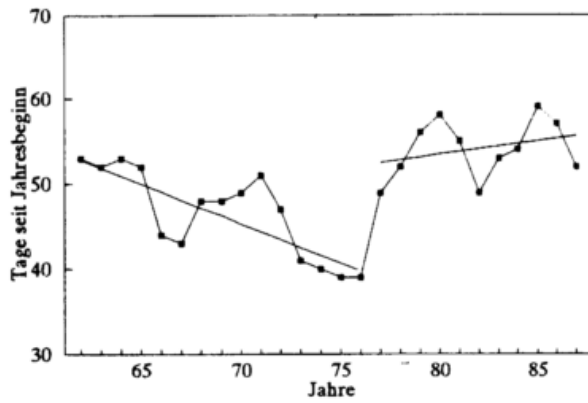


Abb. 4.2.4a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Haselblüte  
Naturraum 541: Kernmünsterland

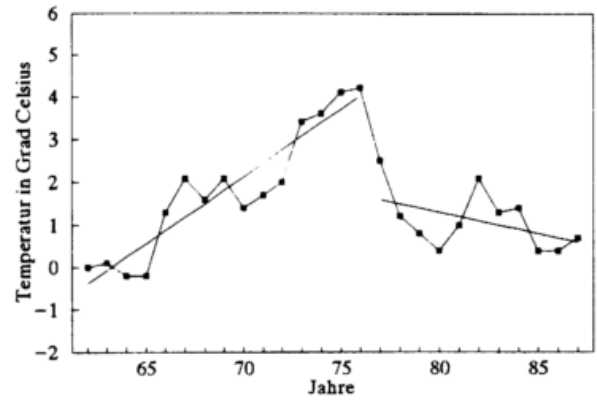


Abb. 4.2.4b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im Januar  
Station: Münster

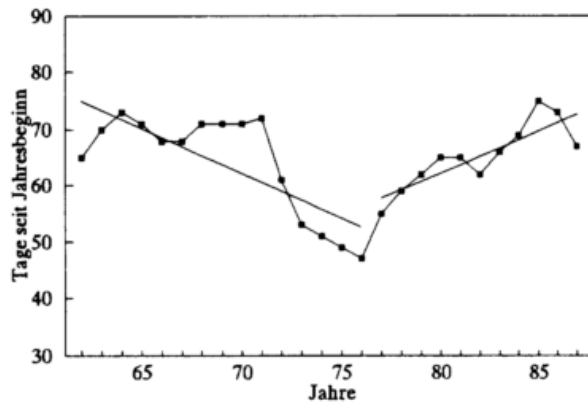


Abb. 4.2.5a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Haselblüte  
Naturraum 364: Lipper Bergland

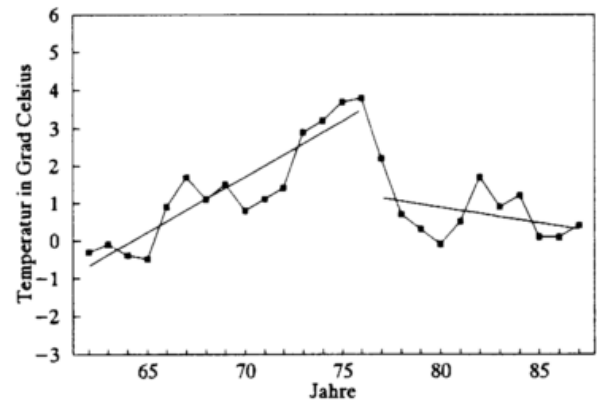


Abb. 4.2.5b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im Januar  
Station: Bad Salzufen

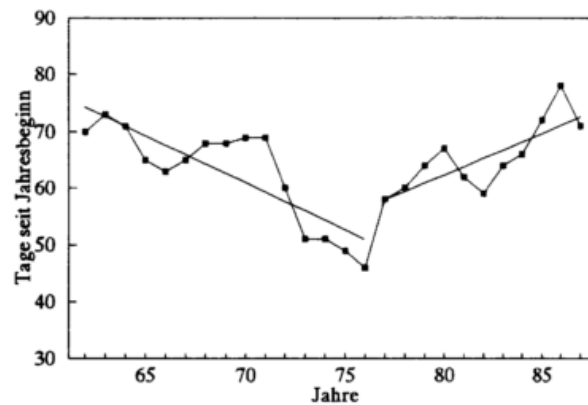


Abb. 4.2.6a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Haselblüte  
Naturraum 336: Westsauerländisches Oberland

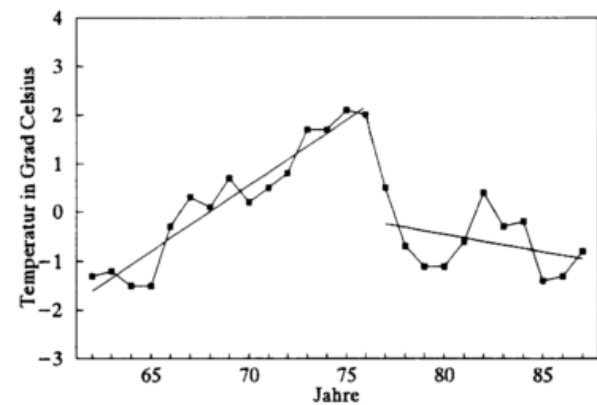


Abb. 4.2.6b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im Januar  
Station: Lüdenscheid

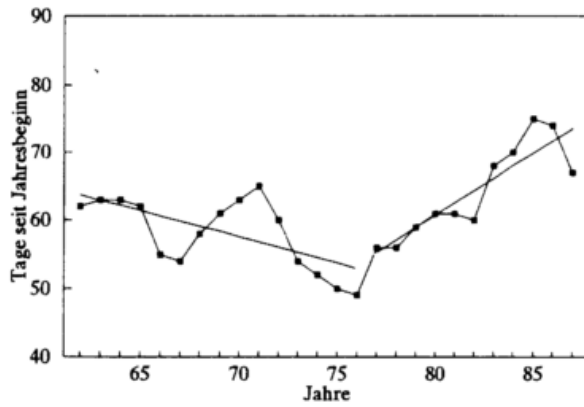


Abb. 4.2.7a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Haselblüte Naturraum 261: Bitburger Gutland

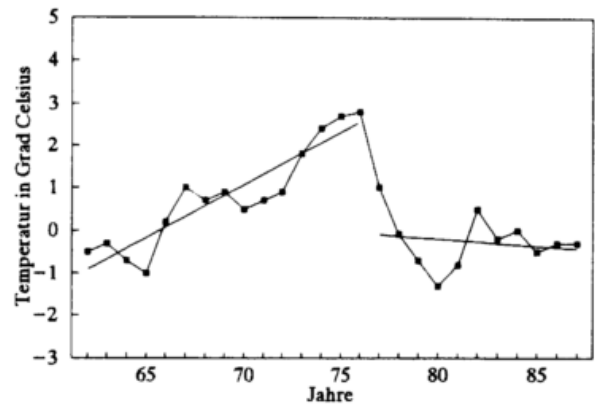


Abb. 4.2.7b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im Januar Station: Halsdorf

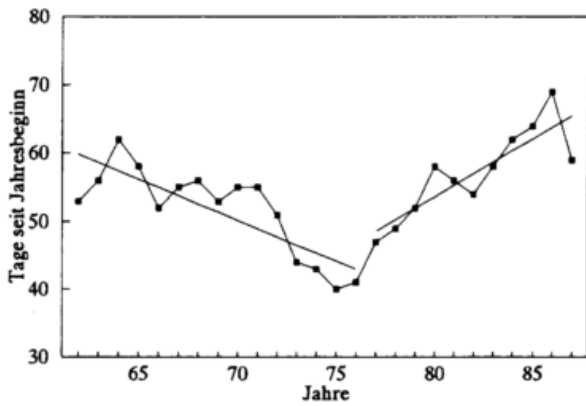


Abb. 4.2.8a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Haselblüte Naturraum 228: Unteres Naheland

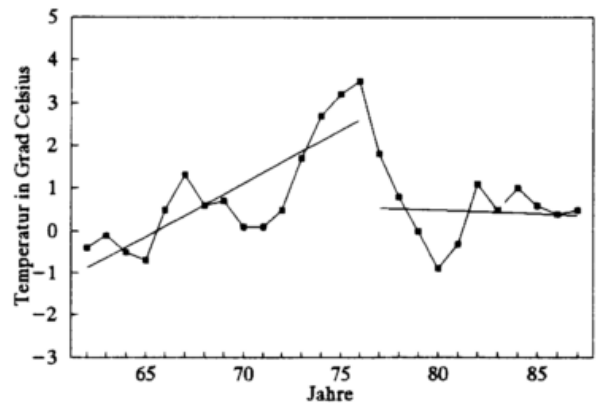


Abb. 4.2.8b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im Januar Station: Bad Kreuznach

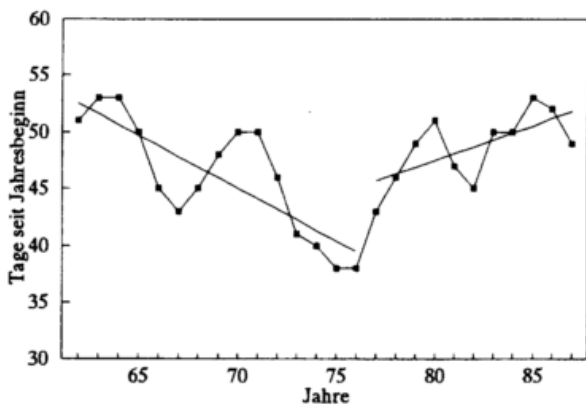


Abb. 4.2.9a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Haselblüte Naturraum 223: Hardtebenen

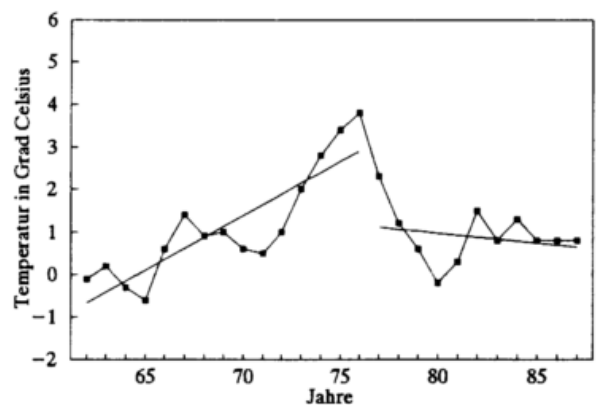


Abb. 4.2.9b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im Januar Station: Karlsruhe

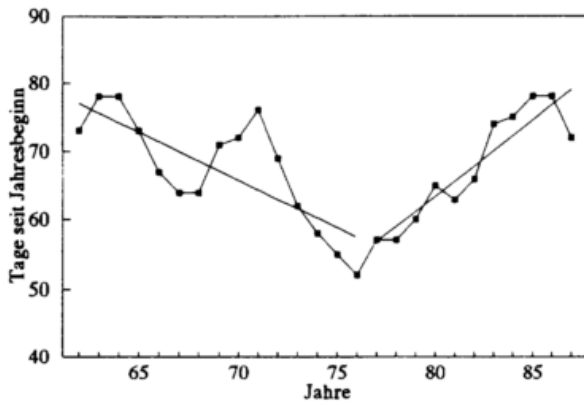


Abb. 4.2.10a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Haselblüte  
Naturraum 38: Inn-Chiemsee-Hügelland

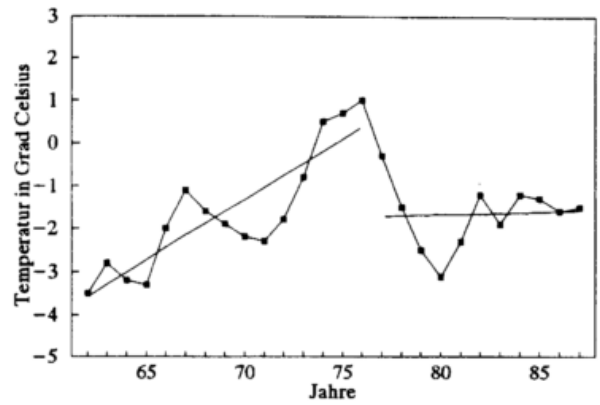


Abb. 4.2.10b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im Januar  
Station: Rosenheim

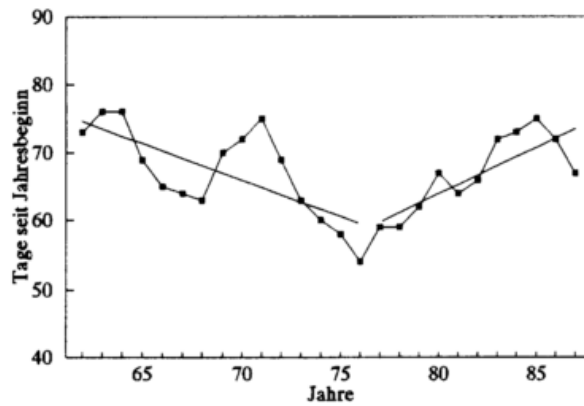


Abb. 4.2.11a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Haselblüte  
Naturraum 46: Iller-Lech-Schotterplatten

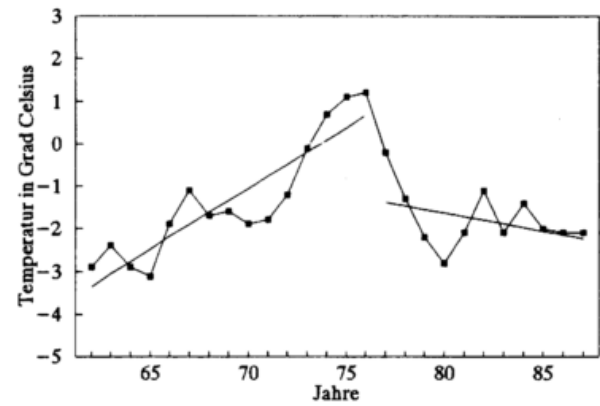


Abb. 4.2.11b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im Januar  
Station: Krumbach

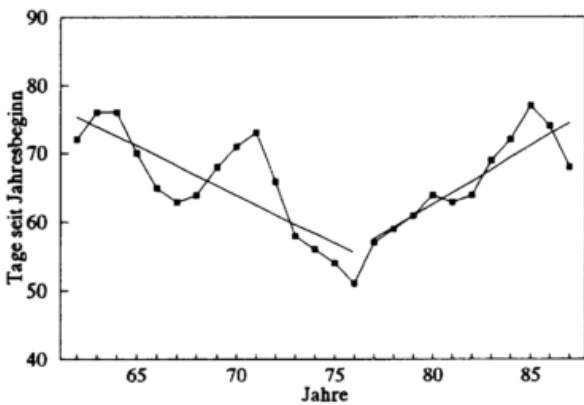


Abb. 4.2.12a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Haselblüte  
Naturraum 113: Mittelfränkisches Becken

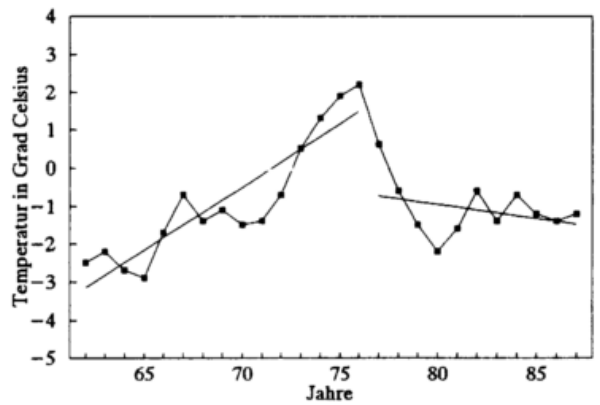


Abb. 4.2.12b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im Januar  
Station: Nürnberg

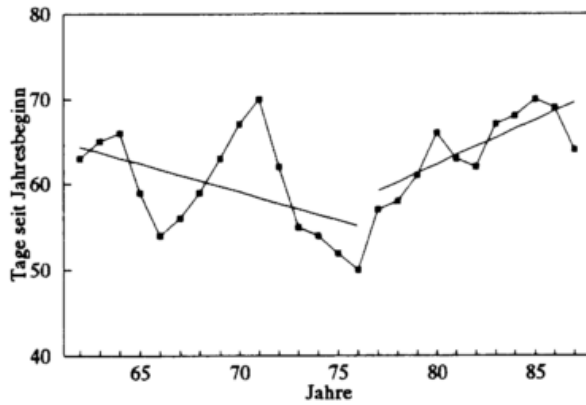


Abb. 4.2.13a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Haselblüte  
Naturraum 144: Sandsteinodenwald

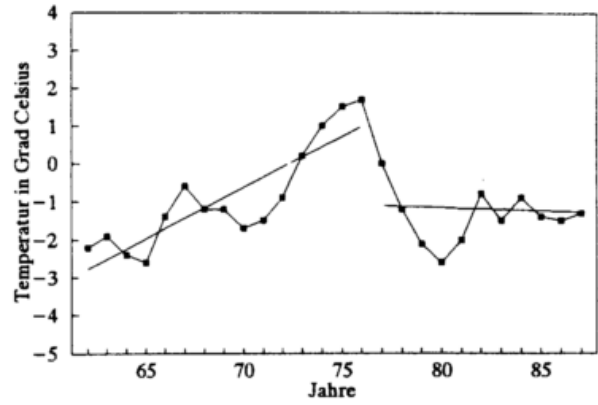


Abb. 4.2.13b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im Januar  
Station: Buchen

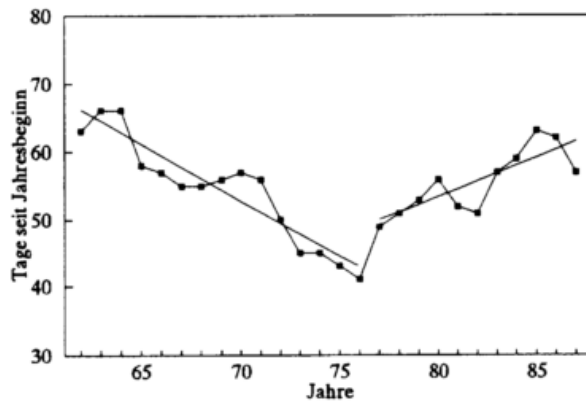


Abb. 4.2.14a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Haselblüte  
Naturraum 180: Zweibrücker Westrich

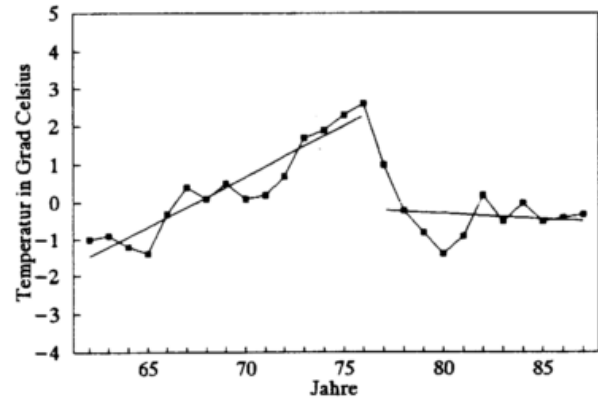


Abb. 4.2.14b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im Januar  
Station: Pirmasens

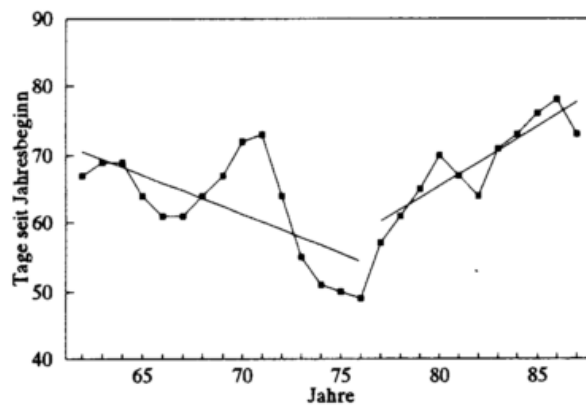


Abb. 4.2.15a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Haselblüte  
Naturraum 355: Fulda-Werra-Bergland

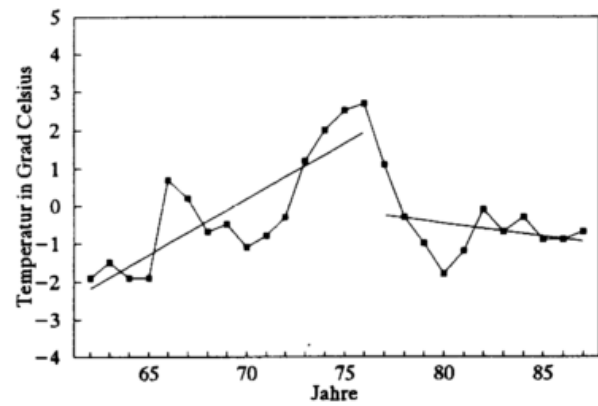


Abb. 4.2.15b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im Januar  
Station: Bad Hersfeld

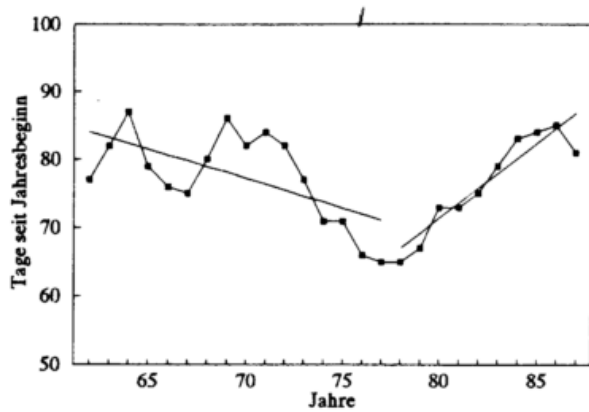


Abb. 4.2.16a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Haselblüte  
Naturraum 23: Niederwerdenfelser Land

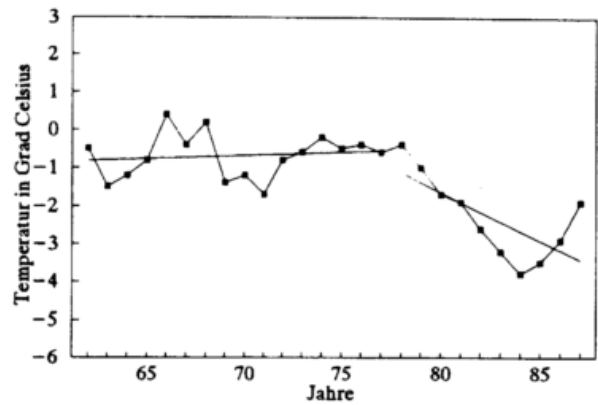


Abb. 4.2.16b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im Februar  
Station: Garmisch-Partenkirchen

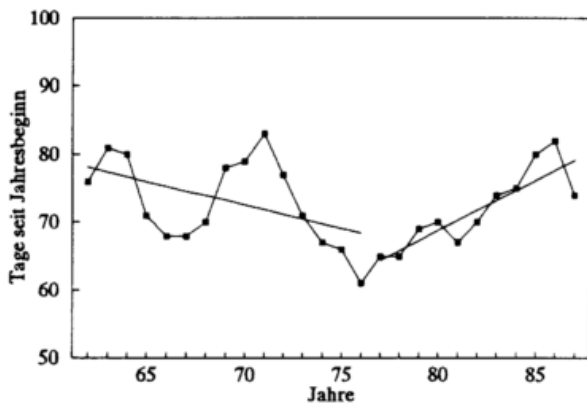


Abb. 4.2.17a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Haselblüte  
Naturraum 155: Hochschwarzwald

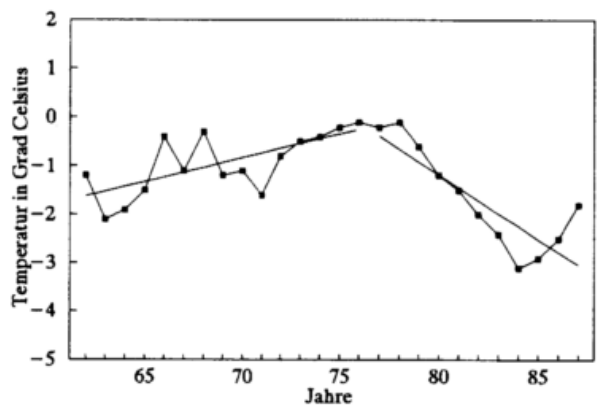


Abb. 4.2.17b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im Februar  
Station: St. Blasien

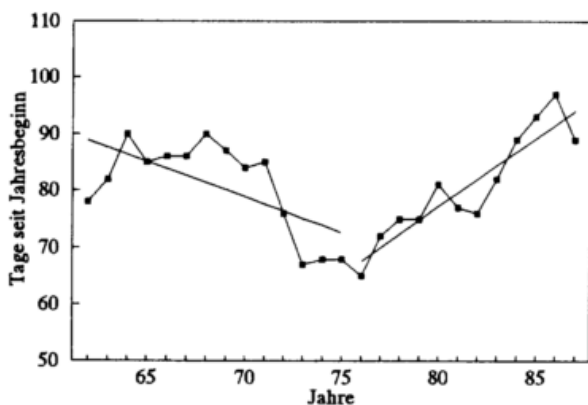


Abb. 4.2.18a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Haselblüte  
Naturraum 381: Mittelharz

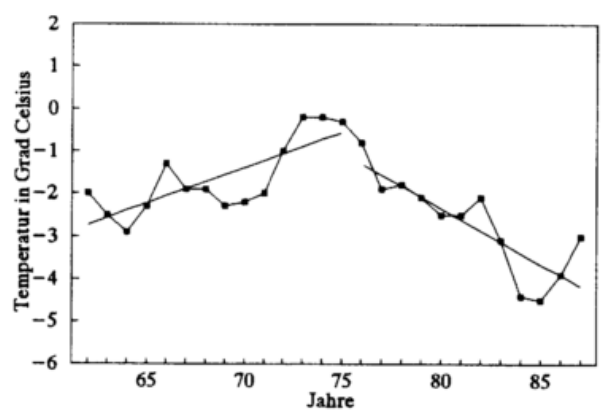


Abb. 4.2.18b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im Februar  
Station: Braunlage

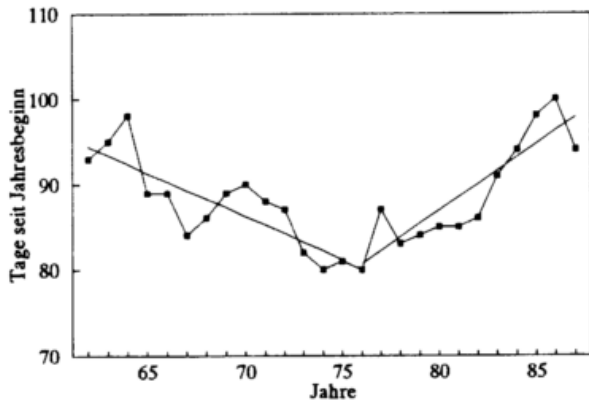


Abb. 4.2.19a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Haselblüte Naturraum 394: Hohes Fichtelgebirge

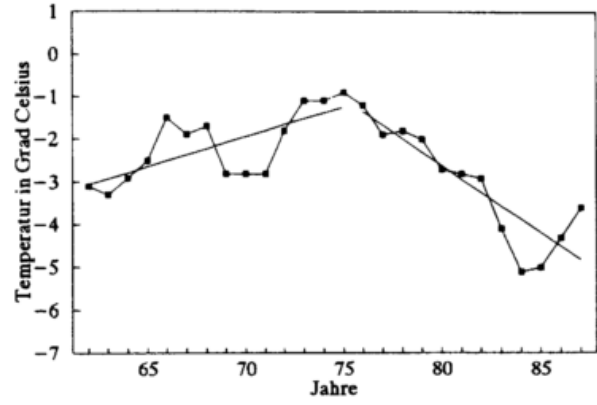


Abb. 4.2.19b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im Februar Station: Fichtelberg

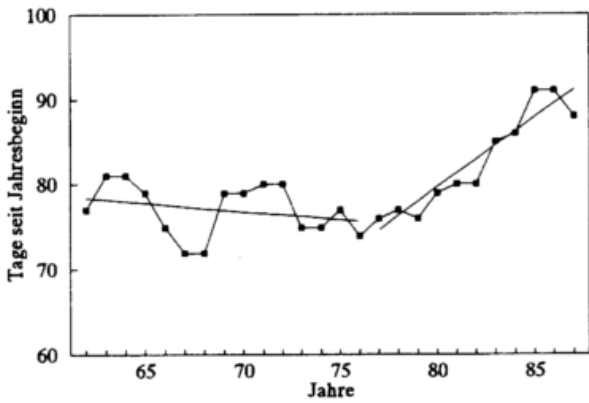


Abb. 4.2.20a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Haselblüte Naturraum 408: Passauer Abteiland-Neuburger Wald

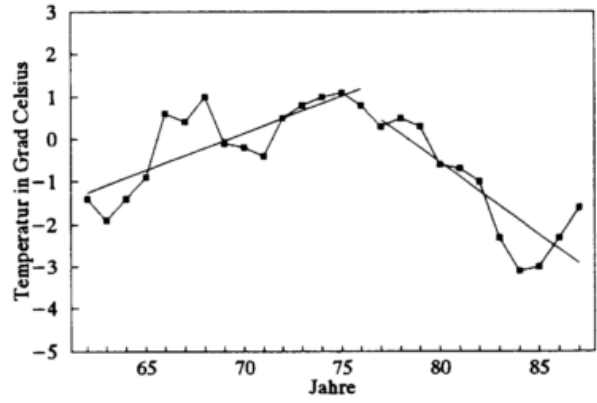


Abb. 4.2.20b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im Februar Station: Passau

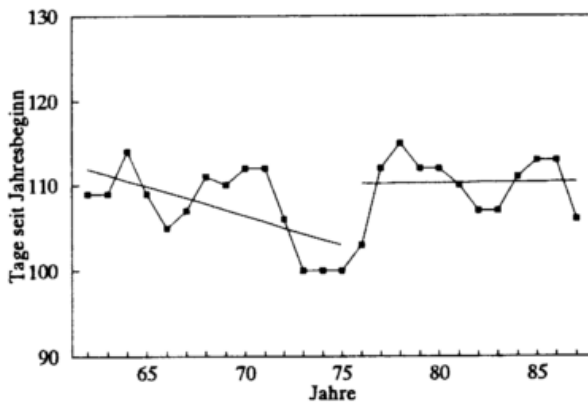


Abb. 4.2.21a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Forsythienblüte Naturraum 700: Angeln

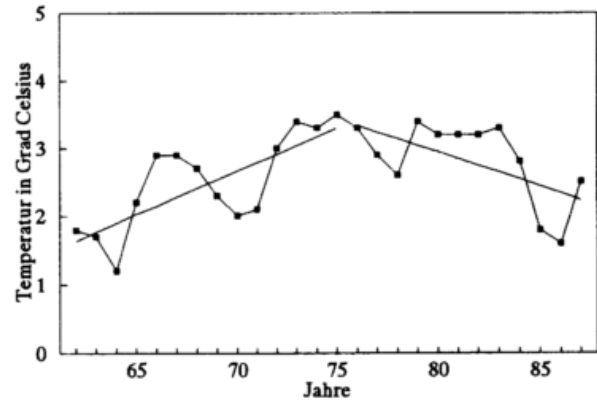


Abb. 4.2.21b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im März Station: Schleswig

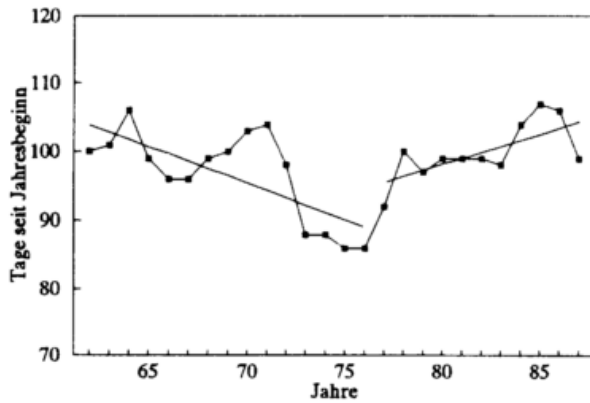


Abb. 4.2.22a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Forsythienblüte Naturraum 641: Südheide

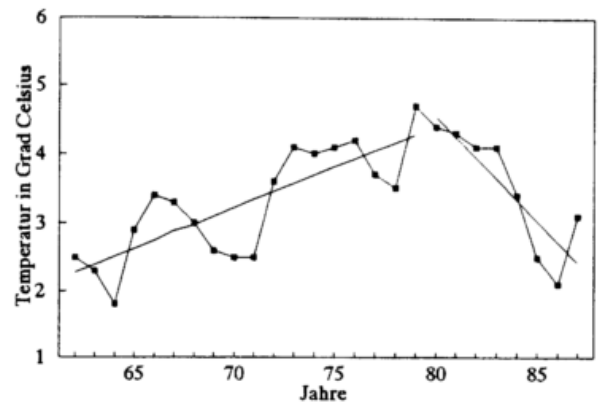


Abb. 4.2.22b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im März Station: Soltau

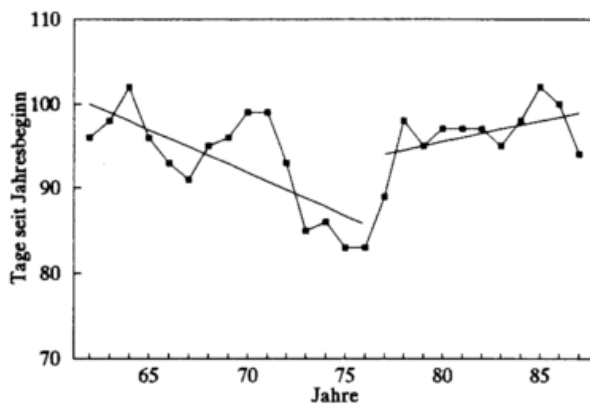


Abb. 4.2.23a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Forsythienblüte Naturraum 600: Hunte-Leda-Moorniederung

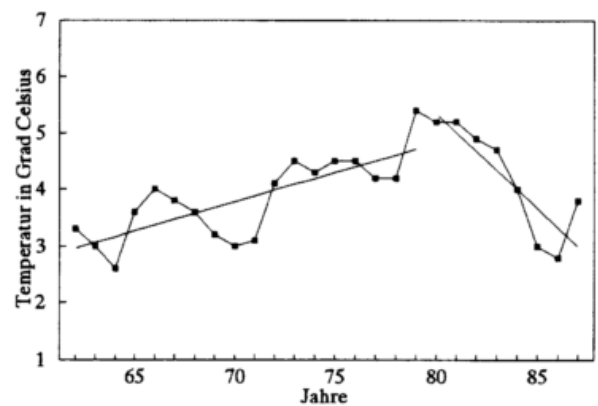


Abb. 4.2.23b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im März Station: Friesoythe

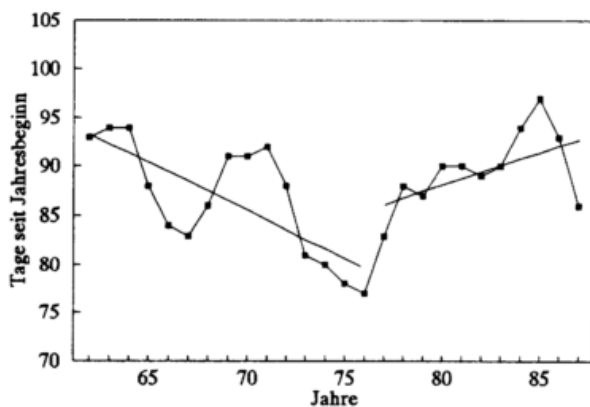


Abb. 4.2.24a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Forsythienblüte Naturraum 541: Kernmünsterland

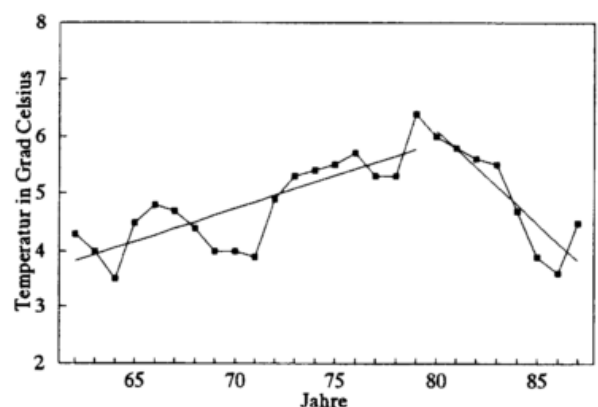


Abb. 4.2.24b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im März Station: Münster

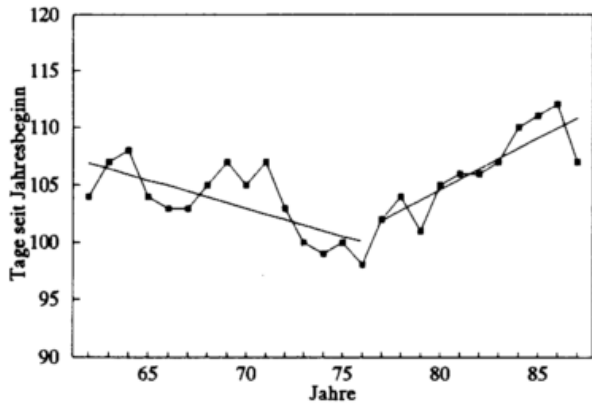


Abb. 4.2.25a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Forsythienblüte  
Naturraum 408: Passauer Abteiland-Neuburger Wald

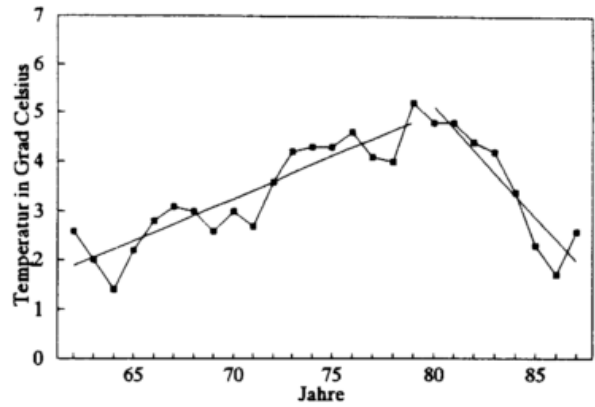


Abb. 4.2.25b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im März  
Station: Passau

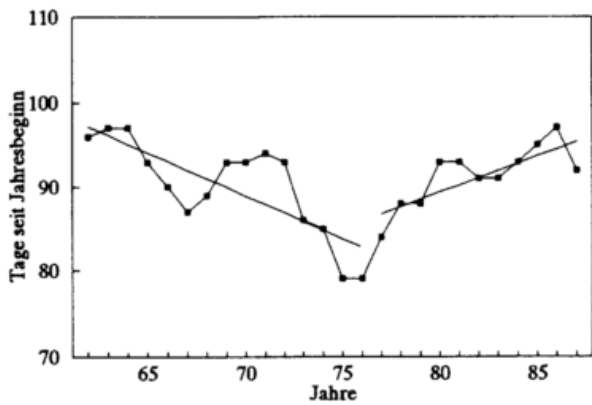


Abb. 4.2.26a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Forsythienblüte  
Naturraum 228: Unteres Naheland

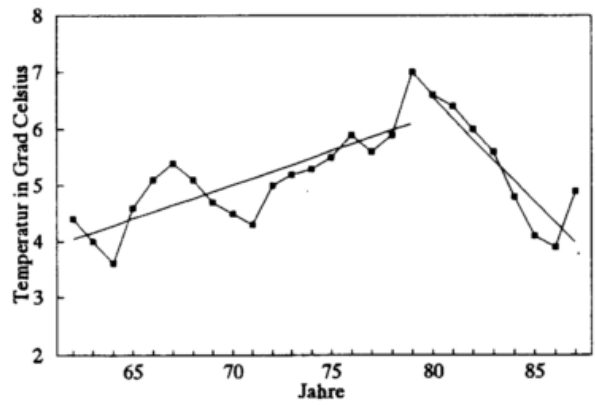


Abb. 4.2.26b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im März  
Station: Bad Kreuznach

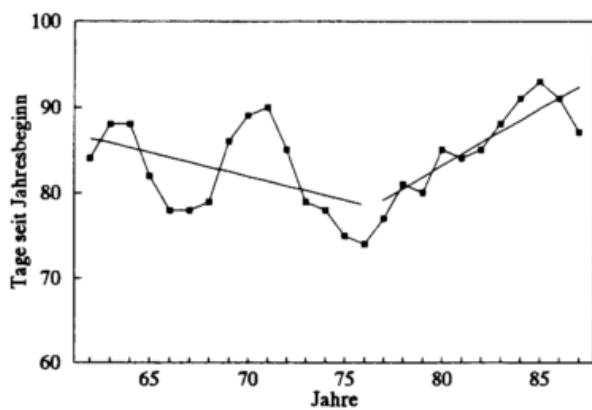


Abb. 4.2.27a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Forsythienblüte  
Naturraum 223: Hardtebenen

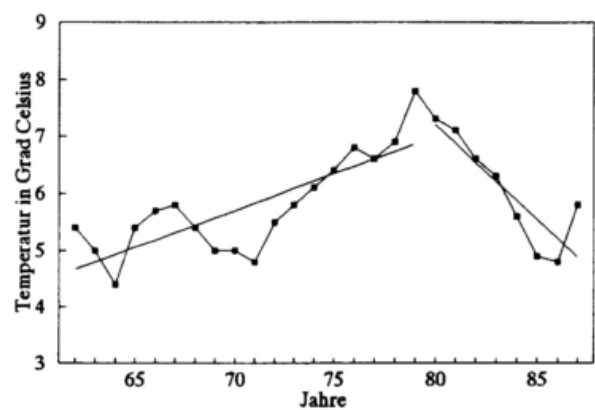


Abb. 4.2.27b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im März  
Station: Karlsruhe

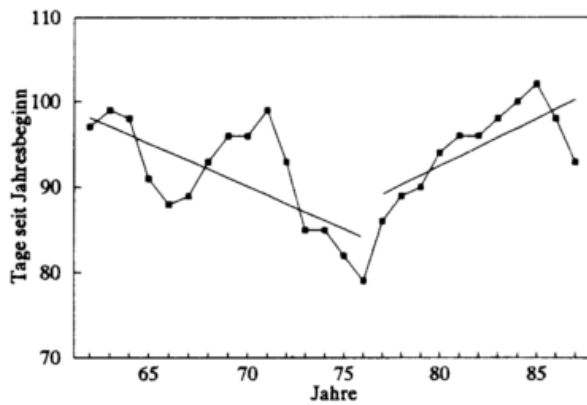


Abb. 4.2.28a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Forsythienblüte Naturraum 180: Zweibrücker Westrich

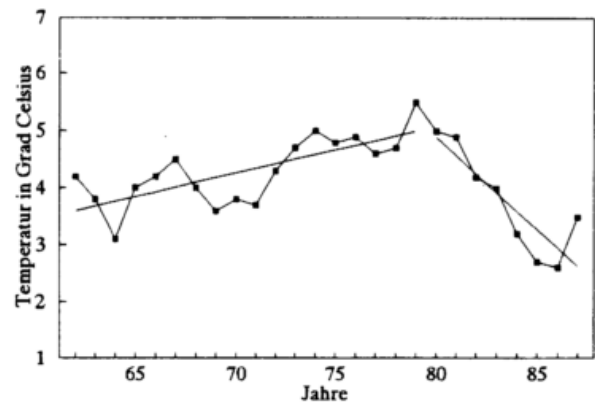


Abb. 4.2.28b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im März Station: Pirmasens

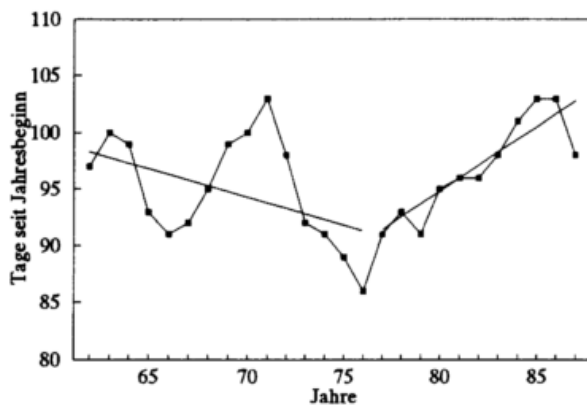


Abb. 4.2.29a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Forsythienblüte Naturraum 144: Sandsteinodenwald

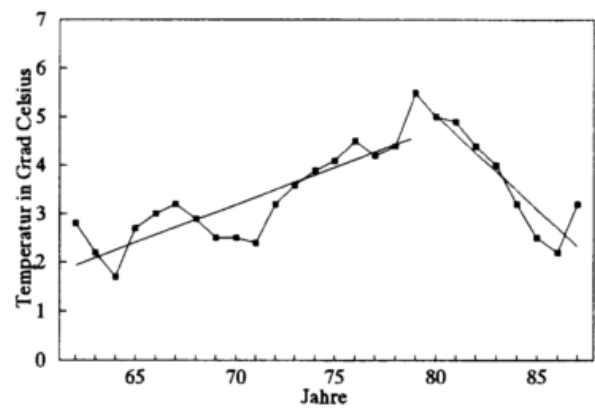


Abb. 4.2.29b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im März Station: Buchen

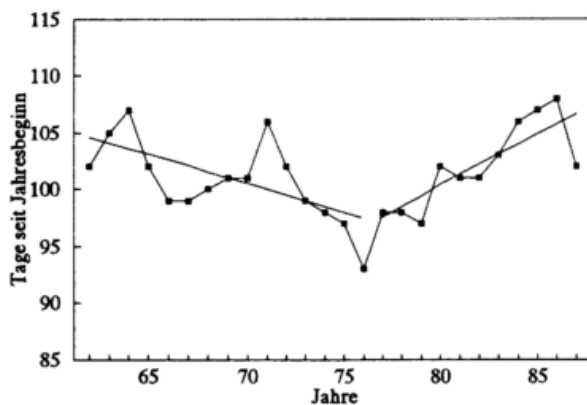


Abb. 4.2.30a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Forsythienblüte Naturraum 46: Iller-Lech-Schotterplatten

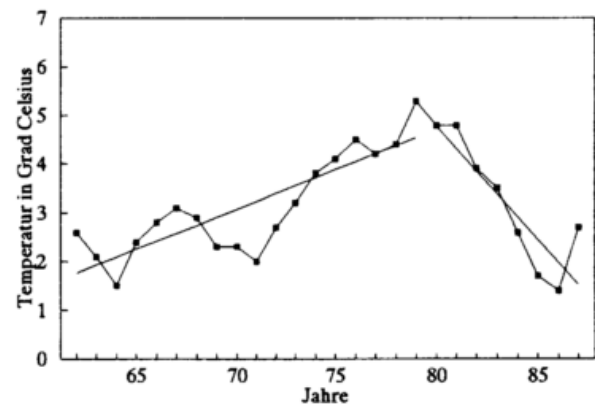


Abb. 4.2.30b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im März Station: Krumbach

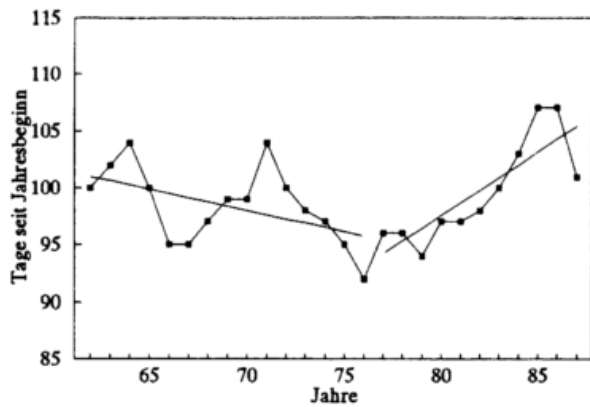


Abb. 4.2.31a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Forsythienblüte  
Naturraum 38: Inn-Chiemsee-Hügelland

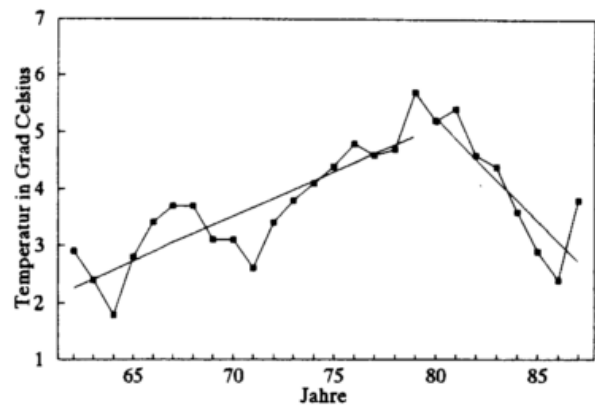


Abb. 4.2.31b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im März  
Station: Rosenheim

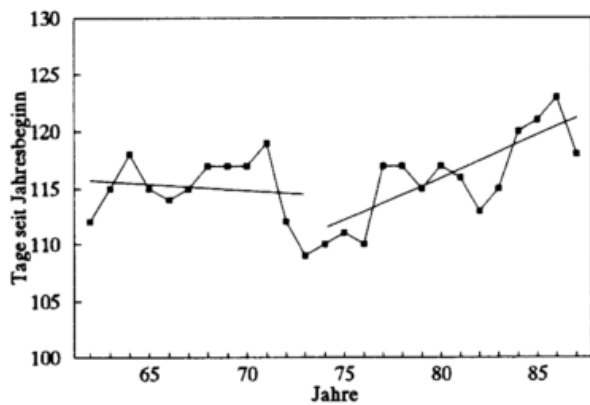


Abb. 4.2.32a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Forsythienblüte  
Naturraum 381: Mittelharz

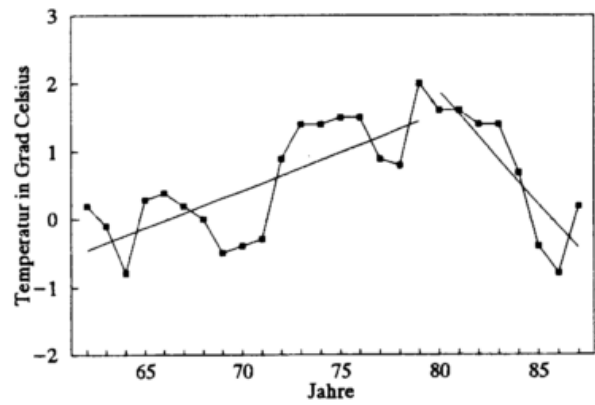


Abb. 4.2.32b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im März  
Station: Braunlage

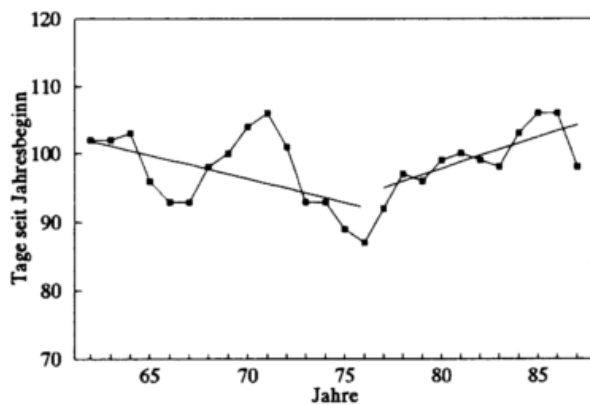


Abb. 4.2.33a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Forsythienblüte  
Naturraum 364: Lipper Bergland

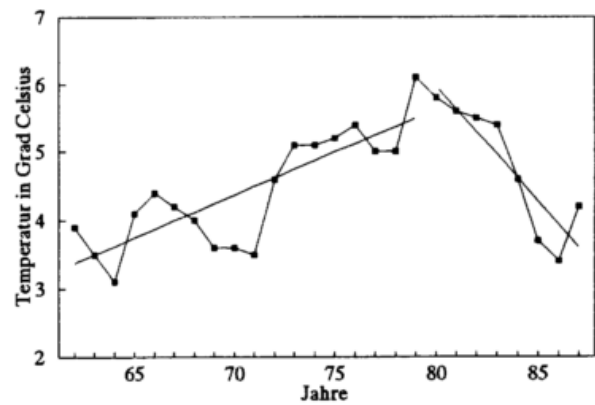


Abb. 4.2.33b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im März  
Station: Bad Salzufflen

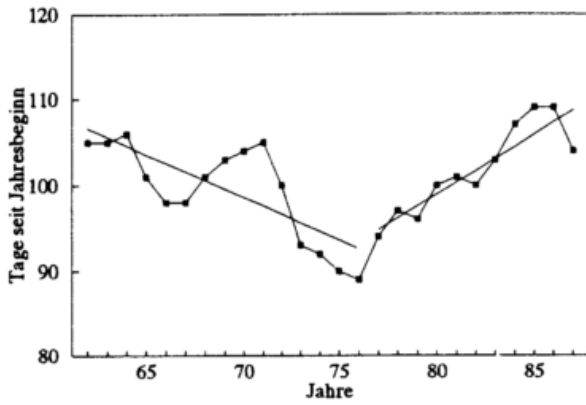


Abb. 4.2.34a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Forsythienblüte  
Naturraum 355: Fulda-Werra-Bergland

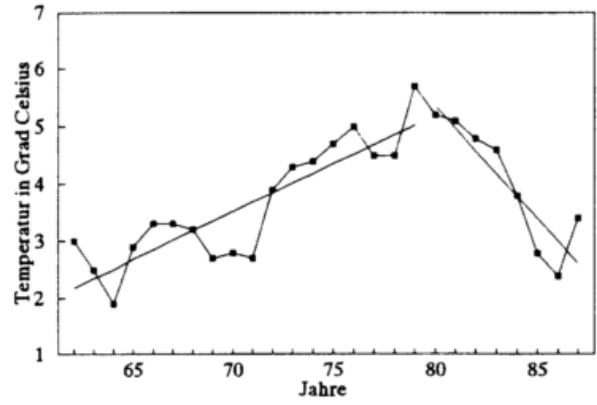


Abb. 4.2.34b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im März  
Station: Bad Hersfeld

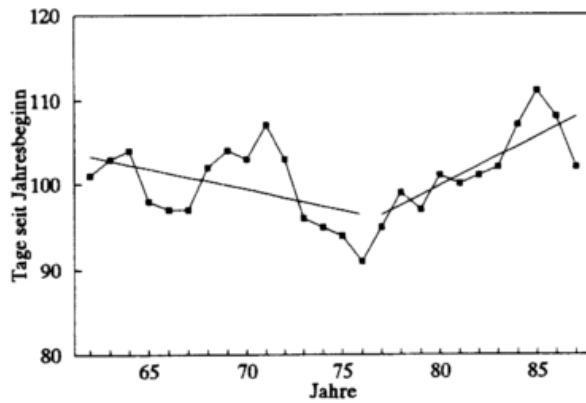


Abb. 4.2.35a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Forsythienblüte  
Naturraum 336: Westsauerländisches Oberland

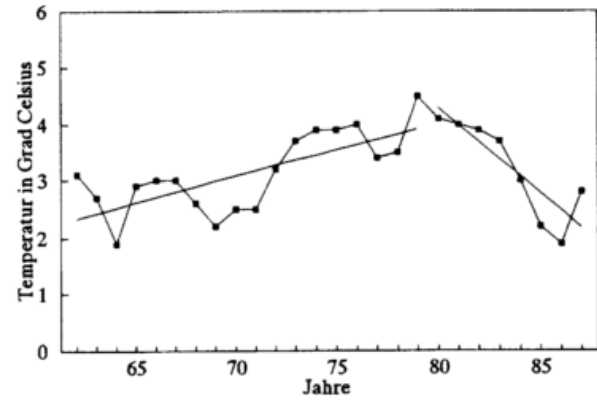


Abb. 4.2.35b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im März  
Station: Lüdenscheid

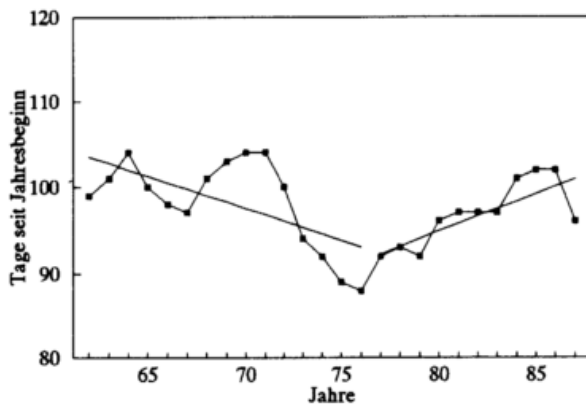


Abb. 4.2.36a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Forsythienblüte  
Naturraum 261: Bitburger Gutland

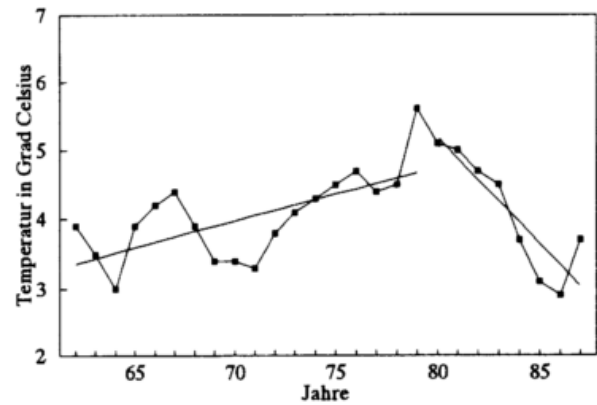


Abb. 4.2.36b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im März  
Station: Halsdorf

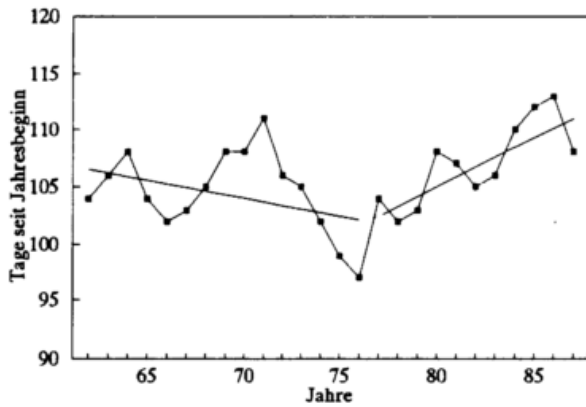


Abb. 4.2.37a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Forsythienblüte Naturraum 155: Hochschwarzwald

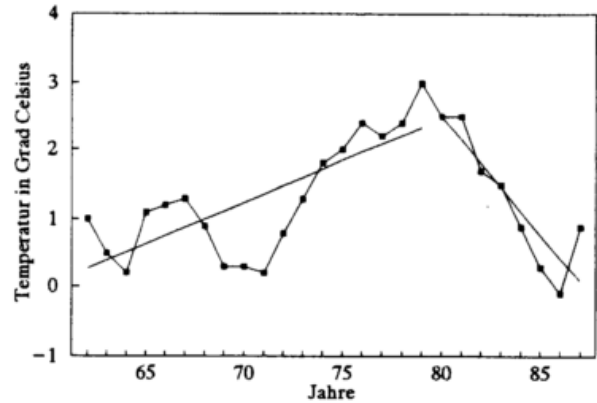


Abb. 4.2.37b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im März Station: St. Blasien

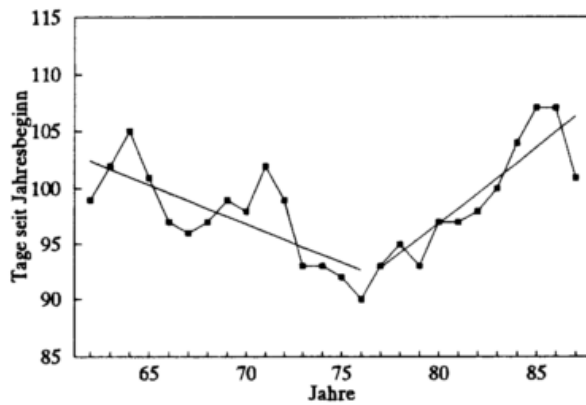


Abb. 4.2.38a Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Forsythienblüte Naturraum 113: Mittelfränkisches Becken

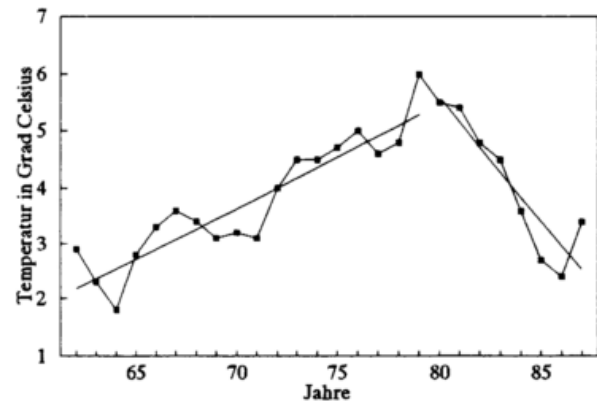


Abb. 4.2.38b Lineare Trends des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im März Station: Nürnberg

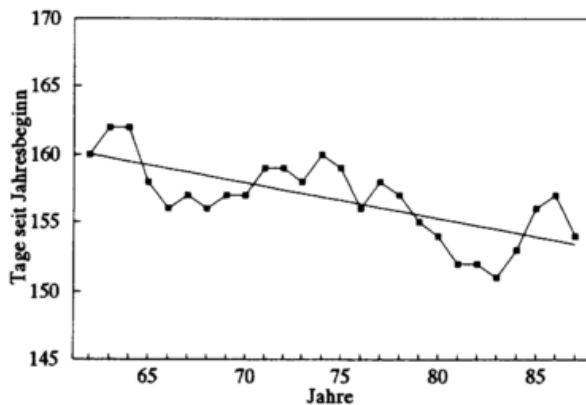


Abb. 4.2.39a Linearer Trend des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Holunderblüte Naturraum 600: Hunte-Leda-Moorniederung

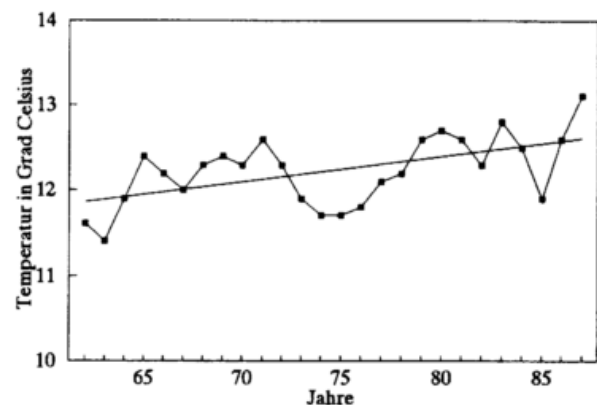


Abb. 4.2.39b Linearer Trend des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im Mai Station: Friesoythe

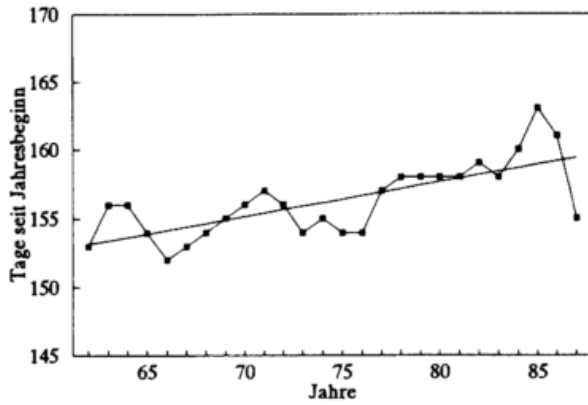


Abb. 4.2.40a Linearer Trend des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Holunderblüte  
Naturraum 180: Zweibrücker Westrich

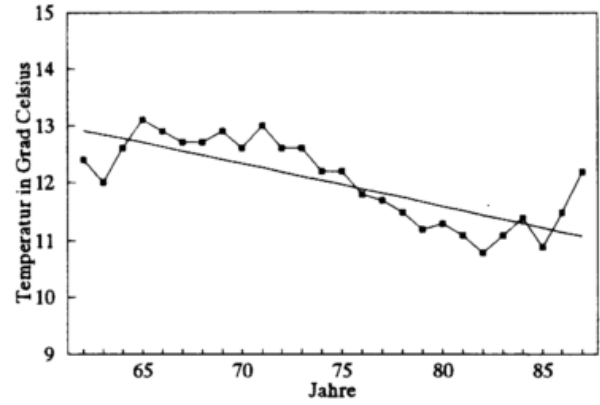


Abb. 4.2.40b Linearer Trend des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im Mai  
Station: Pirmasens

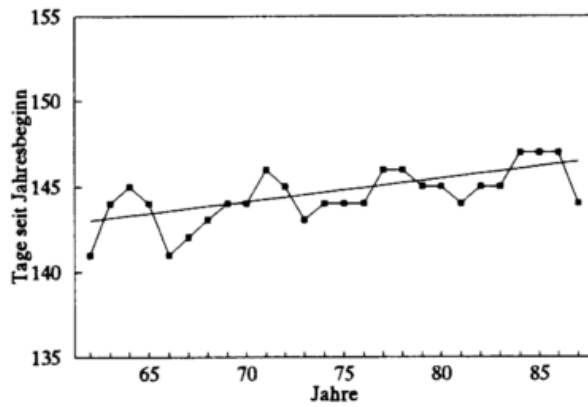


Abb. 4.2.41a Linearer Trend des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Holunderblüte  
Naturraum 223: Hardtebenen

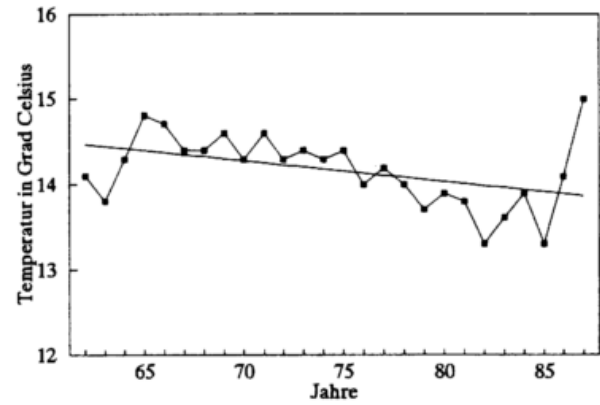


Abb. 4.2.41b Linearer Trend des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im Mai  
Station: Karlsruhe

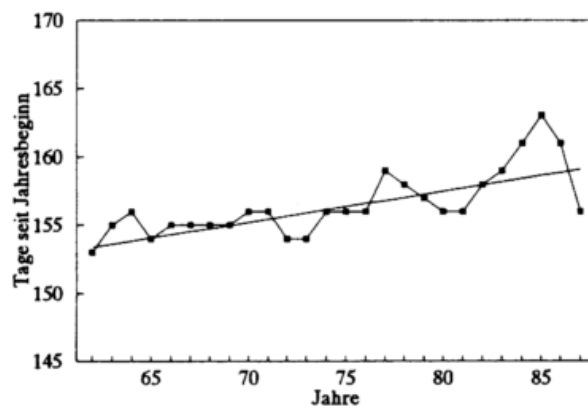


Abb. 4.2.42a Linearer Trend des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Holunderblüte  
Naturraum 261: Bitburger Gutland

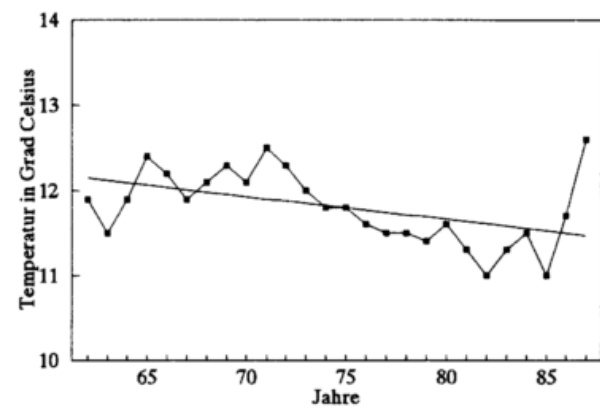


Abb. 4.2.42b Linearer Trend des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im Mai  
Station: Halsdorf

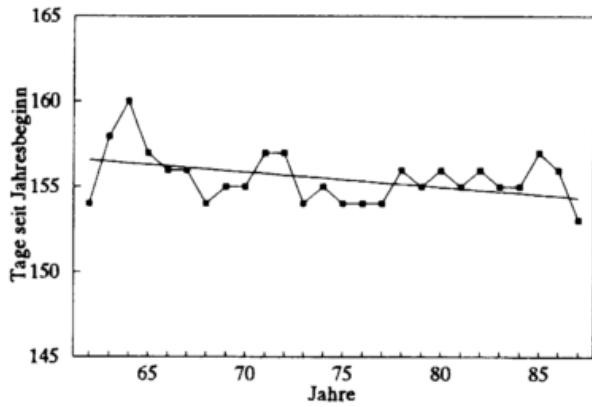


Abb. 4.2.43a Linearer Trend des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Holunderblüte  
Naturraum 408: Passauer Abteiland-Neuburger Wald

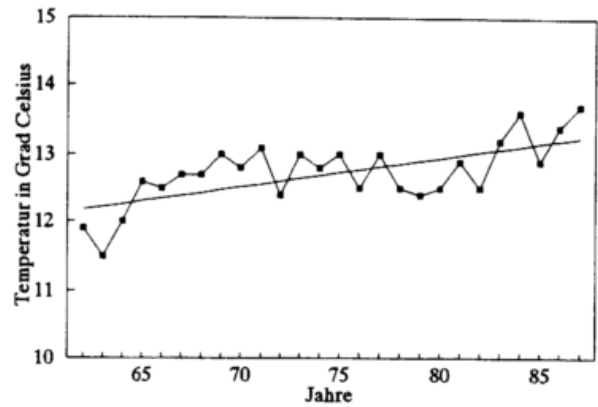


Abb. 4.2.43b Linearer Trend des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im Mai  
Station: Passau

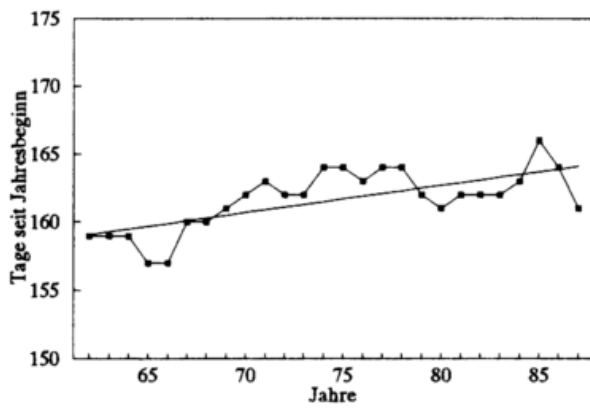


Abb. 4.2.44a Linearer Trend des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Holunderblüte  
Naturraum 355: Fulda-Werra-Bergland

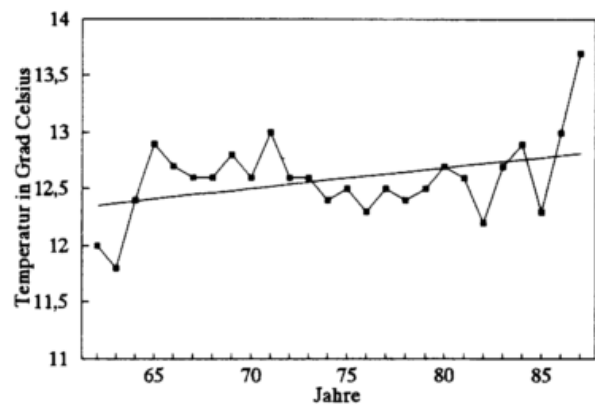


Abb. 4.2.44b Linearer Trend des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im Mai  
Station: Bad Hersfeld

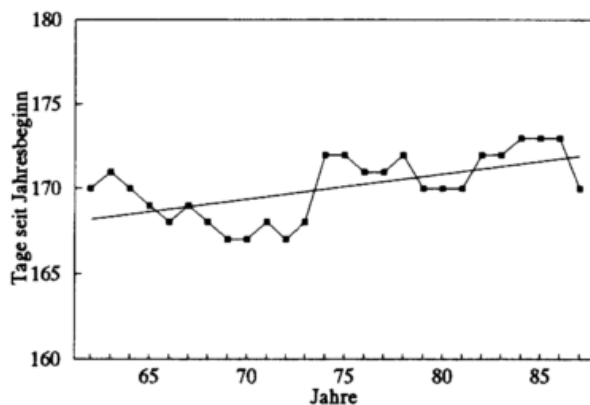


Abb. 4.2.45a Linearer Trend des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Holunderblüte  
Naturraum 381: Mittelharz

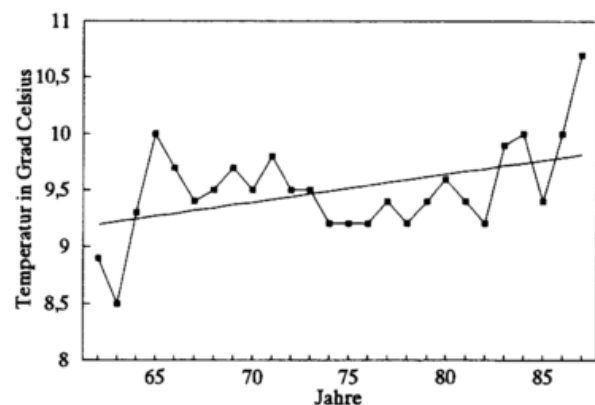


Abb. 4.2.45b Linearer Trend des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im Mai  
Station: Braunlage

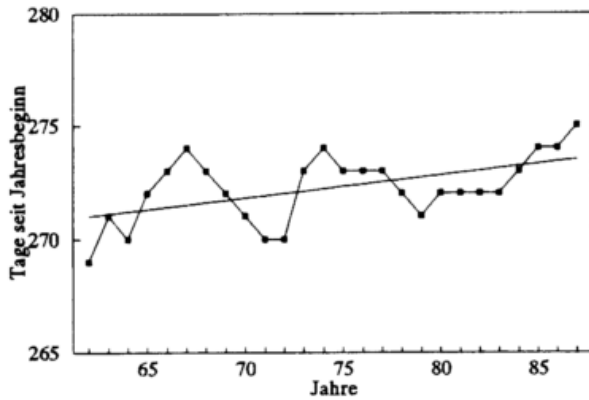


Abb. 4.2.46a Linearer Trend des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Blattverfärbung der Roßkastanie  
Naturraum 223: Hardebenen

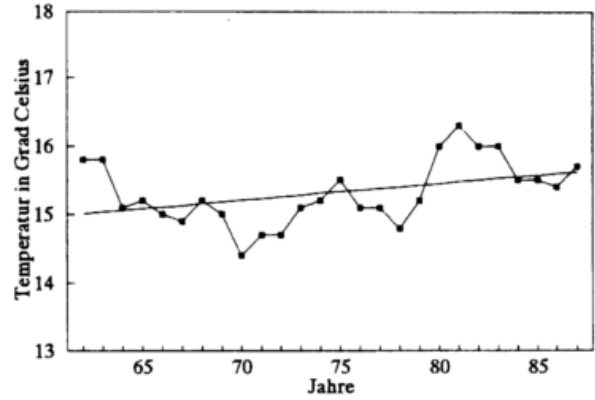


Abb. 4.2.46b Linearer Trend des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im September  
Station: Karlsruhe

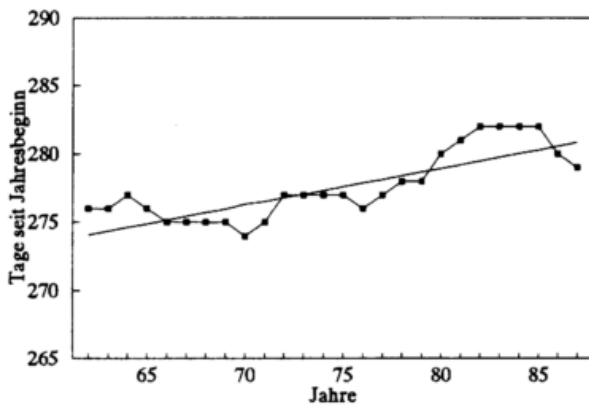


Abb. 4.2.47a Linearer Trend des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Blattverfärbung der Roßkastanie  
Naturraum 180: Zweibrücker Westrich

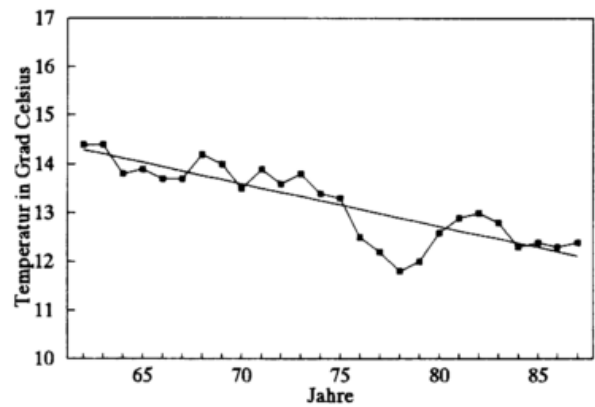


Abb. 4.2.47b Linearer Trend des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im September  
Station: Pirmasens

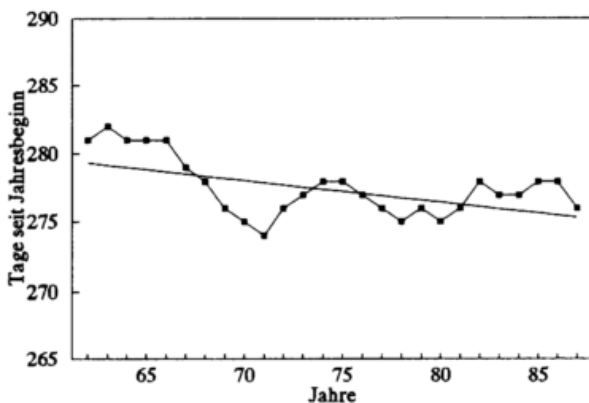


Abb. 4.2.48a Linearer Trend des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Blattverfärbung der Roßkastanie  
Naturraum 355: Fulda-Werra-Bergland

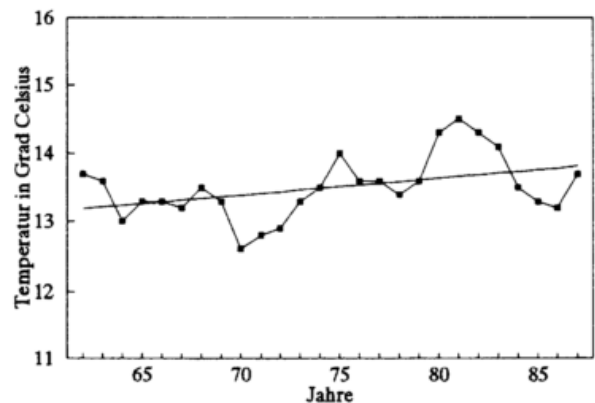


Abb. 4.2.48b Linearer Trend des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im September  
Station: Bad Hersfeld

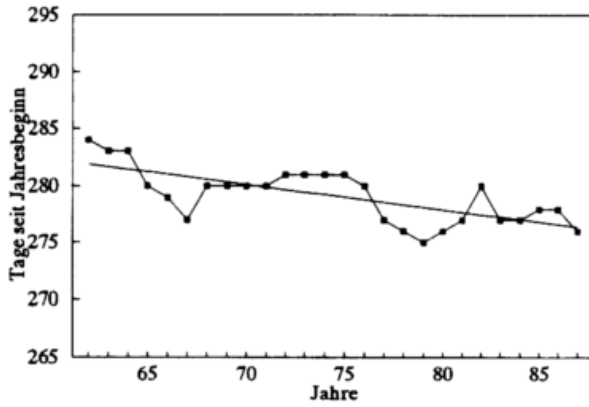


Abb. 4.2.49a Linearer Trend des fünfjährig gleitenden Gebietsmittels der Blattverfärbung der Roßkastanie  
Naturraum 155: Hochschwarzwald

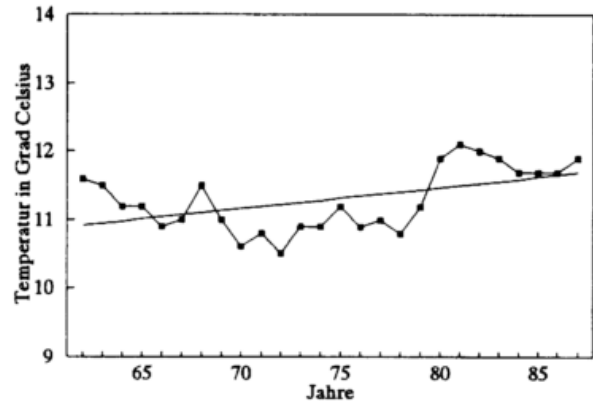


Abb. 4.2.49b Linearer Trend des fünfjährig gleitenden Mittels der Lufttemperatur im September  
Station: St. Blasien

## Danksagung

Die vorliegende Dissertation wurde unter Anleitung von Herrn Professor Dr. Norbert Stein am Institut für Physische Geographie und von Herrn Professor Dr. Christian-D. Schönwiese am Institut für Meteorologie und Geophysik der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main angefertigt. Mein Dank gilt ihnen für ihre wissenschaftliche Unterstützung und fachliche Betreuung während der Durchführung der Arbeit.

Ebenfalls danke ich dem Präsidenten des Deutschen Wetterdienstes, Herrn Dr. Tillmann Mohr, daß er mir einen Fortbildungsaufenthalt als Gastwissenschaftler in der Abteilung Agrarmeteorologie des Deutschen Wetterdienstes ermöglicht hat, sowie dem Leiter der Abteilung Agrarmeteorologie, Herrn Dr. Karsten Heger, für die Bereitstellung eines Arbeitsplatzes in dieser Abteilung. Dem Leiter des Referats AM 4 (Phänologie und Agrarklimatologie), Herrn Dipl.-Met. Hartmut Scharrer, danke ich besonders für die volle Unterstützung meiner Forschungsarbeiten. Herrn Dr. K.-Peter Wittich danke ich ganz herzlich für seine wissenschaftliche Unterstützung und fachliche Betreuung. Beide letztgenannten halfen mir darüberhinaus bei meiner Interessenvertretung nach außen. Allen Mitarbeitern der Abteilung Agrarmeteorologie möchte ich hiermit für ihre Hilfsbereitschaft und Freundlichkeit danken. Besonders gilt dies für Herrn Frank Grebe vom Referat AM2, der eine große Hilfe bei der Datenaufbereitung und der kartographischen Bearbeitung war. Das gleiche gilt für Herrn Ekko Bruns, den Netzverwalter der nationalen phänologischen Beobachtungsnetze, der mir stets für alle Fragen zur Phänologie zur Verfügung stand. Schließlich sind noch Frau Dr. Gisela Augter, Herr Dipl.-Met. Rainer Krüger und Herr Rainer Sedlatschek zu nennen, die mich in den PC-Arbeitsplatz einarbeiteten. Auch Herrn Dipl.-Met. Hans-J. Koppert von der Abteilung Wettervorhersage (W3) des Deutschen Wetterdienstes danke ich für seine fachliche Hilfe bei der Benutzung des Programms "Clastan".

Last not least möchte ich darauf hinweisen, daß die Bearbeitung meines Themas während der letzten beiden Jahre in Deutschland erst möglich wurde, weil ich ein **Promotionsstipendium der Friedrich-Naumann-Stiftung** erhielt. Dafür und für die erstklassige akademische Betreuung durch das Institut für Forschung und Begabtenförderung dieser Stiftung möchte ich mich ganz besonders bedanken.