



Bayerisches Landesamt für  
Umwelt



# Beeinflusst der Klimawandel die Jahreszeiten in Bayern?

Antworten der Phänologie



klima





Bayerisches Landesamt für  
Umwelt



# **Beeinflusst der Klimawandel die Jahreszeiten in Bayern?**

**Antworten der Phänologie**

## Impressum

Beeinflusst der Klimawandel die Jahreszeiten in Bayern?  
Antworten der Phänologie

Herausgeber:  
Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg  
Tel.: 0821 9071-0  
Fax: 0821 9071-5556  
E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)  
Internet: [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)

Bearbeitung/Text/Konzept:  
LfU, Referat 16, Anna Wilk, Margit Krapp, Ludwig Peichl

Redaktion:  
LfU, Referat 15, Claus Hensold

Bildnachweis:  
Bayerisches Landesamt für Umwelt

Stand:  
Mai 2014

Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Druckschrift auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Datenherkunft und Methodik</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>9</b>
3.1	Frühlingsbeginn	9
3.2	Sommerbeginn	12
3.3	Herbstbeginn	14
3.4	Spätherbstbeginn	17
3.5	Phänologische Entwicklung nach Höhenlagen	20
3.6	Dauer der Jahreszeiten und der Vegetationsperiode in Bayern	29
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>33</b>
<b>5</b>	<b>Literatur</b>	<b>35</b>



# 1 Grundlagen

## Was ist Phänologie?

Phänologie bezeichnet die „Lehre von den (Natur-)Erscheinungen“. Sie befasst sich mit den periodisch im Jahresverlauf wiederkehrenden Wachstums- und Entwicklungsstadien der Tier- und Pflanzenwelt. Innerhalb der Pflanzenphänologie spielt der Beginn bestimmter Vegetationsphasen wie z.B. Blüte, Fruchtreife, Laubverfärbung oder Laubfall eine wichtige Rolle.

Diese alljährlich wiederkehrenden Ereignisse werden phänologische Phasen genannt. Der Beginn der einzelnen Jahreszeiten ist durch **phänologische Phasen von Indikatorpflanzen (Leitphasen)** gekennzeichnet, wie z.B. die Haselnussblüte, die den Beginn des Vorfrühlings anzeigt.

Tab. 1: Phänologische Jahreszeiten und zugehörige Leitphasen der Indikatorpflanzen

Jahreszeit	phänologische Jahreszeit	Indikatorpflanze, Leitphase
Frühling	Vorfrühling	Haselnussblüte
	Erstfrühling	Forsythienblüte
	Vollfrühling	Apfelblüte (frühreifende Sorten)
Sommer	Frühsommer	Schwarzer Holunderblüte
	Hochsommer	Sommerlindenblüte
	Spätsommer	Apfel-Fruchtreife (frühreifende Sorten)
Herbst	Frühherbst	Schwarzer Holunder-Fruchtreife
	Vollherbst	Stieleiche-Fruchtreife
	Spätherbst (Vegetationsruhe)	Stieleiche-Blattverfärbung
Winter		Stieleiche-Blattfall

## Was hat die Phänologie mit Klimawandel zu tun?

Die jahreszeitliche Pflanzenentwicklung ist von der vorherrschenden Lufttemperatur abhängig. Im Jahresmittel hat die Lufttemperatur von 1961-2010 um 1,5 °C zugenommen. Alle Jahreszeiten sind dabei wärmer geworden (Abb. 1). Am geringsten ist der Temperaturanstieg im Herbst. Frühlings-, Sommer- und Wintertemperaturen hingegen sind deutlicher angestiegen. Der Temperaturverlauf im Jahresgang wirkt sich auf die aufeinander folgenden phänologischen Phasen der Vegetationsperiode aus. Das verfrühte Aufblühen im Frühling ist z.B. die Folge von Temperaturerhöhungen, die der Blüte bereits Monate vorausgegangen sind. Die Verschiebung phänologischer Phasen, Verfrühung bzw. Verspätung in der jahreszeitlichen Abfolge, stellt somit einen **Indikator für Temperaturänderungen** dar und ist bei wiederholtem Auftreten über einen längeren Zeitraum als Indiz für den Klimawandel anzusehen. Veränderungen phänologischer Ereignisse wirken sich ebenso auf die Natur wie die Landwirtschaft aus.

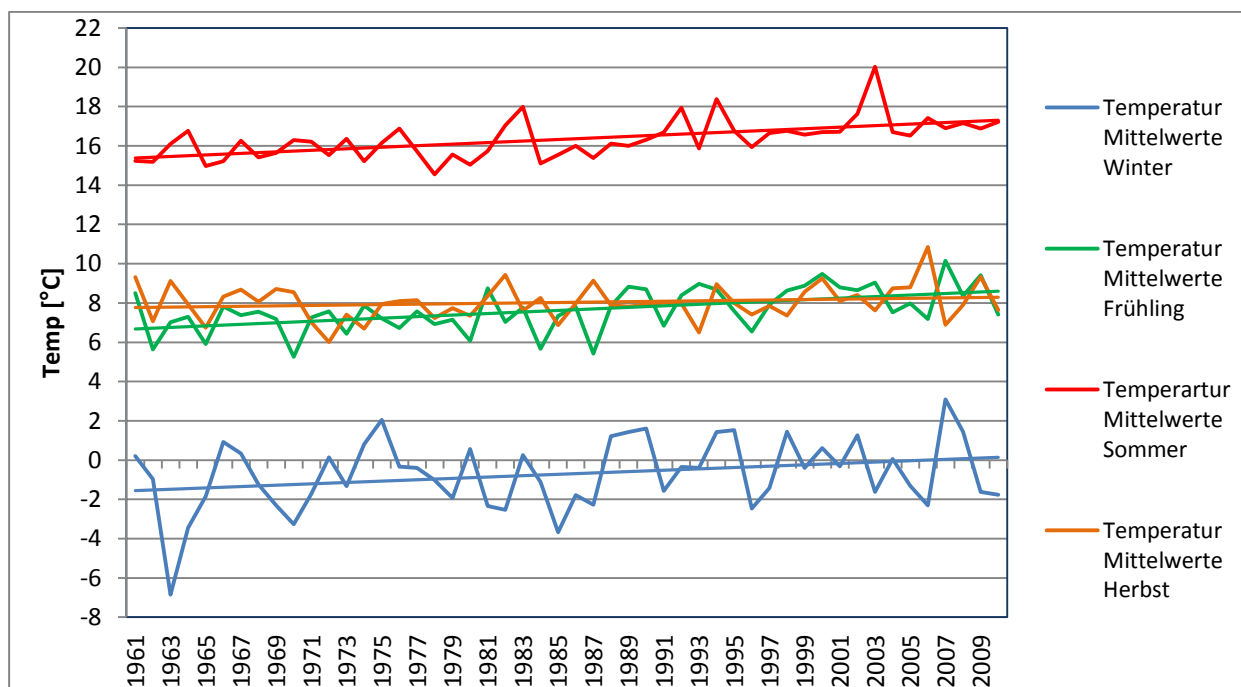


Abb. 1: Temperaturmittelwerte von 1961-2010 für Bayern (Quelle: DWD)



## 2 Datenherkunft und Methodik

### 2.1 Datenbestand des Deutschen Wetterdienstes (DWD)

Seit 1951 gibt es eine große Anzahl an phänologischen Beobachtungsstationen des DWD in Deutschland. Die Daten werden von ehrenamtlichen Mitarbeitern erhoben. Leider sinkt die Zahl freiwilliger Beobachter des DWD von Jahr zu Jahr und damit auch die Zahl der Stationen mit Daten für Langzeitreihen.

Für Bayern dokumentiert die Datenbank des DWD mit Stand 2010 insgesamt 1147 phänologische Beobachtungsstationen. Diese Stationen sind allerdings nicht alle aktiv und weisen unterschiedlich lange Beobachtungszeiträume auf. Die durchschnittliche Anzahl an aktiven Stationen hat im Laufe der Jahrzehnte bis zum heutigen Zeitpunkt deutlich abgenommen (Abb. 2).

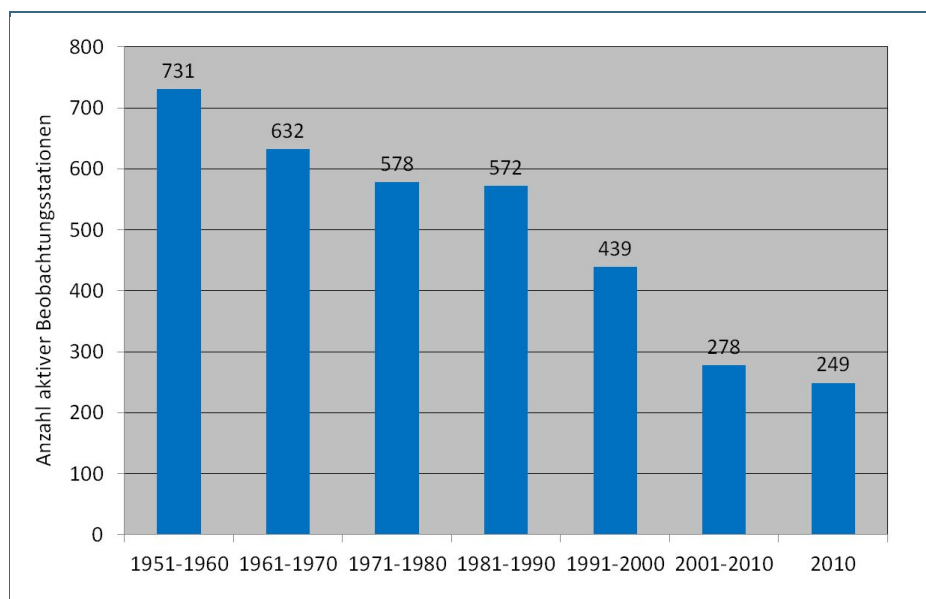


Abb. 2:  
Durchschnittliche Anzahl aktiver phänologischer Stationen in 10-Jahresabschnitten und im Jahr 2010 in Bayern

### 2.2 Datenauswahl und Statistik

Insgesamt wurden Daten von 1951 bis 2010 ausgewertet, an einigen Stationen beginnen die Messreihen jedoch erst 1961. Als Auswahlkriterium für die Beobachtungsstation galt eine Mindestbeobachtungsdauer von 7 Jahren pro Dekade. Da zudem nicht jede phänologische Indikatorpflanze an jeder Station beobachtet wurde, kam für die einzelnen phänologischen Leitphasen eine unterschiedliche Anzahl an Beobachtungsstationen zur Auswertung (Abb. 3).

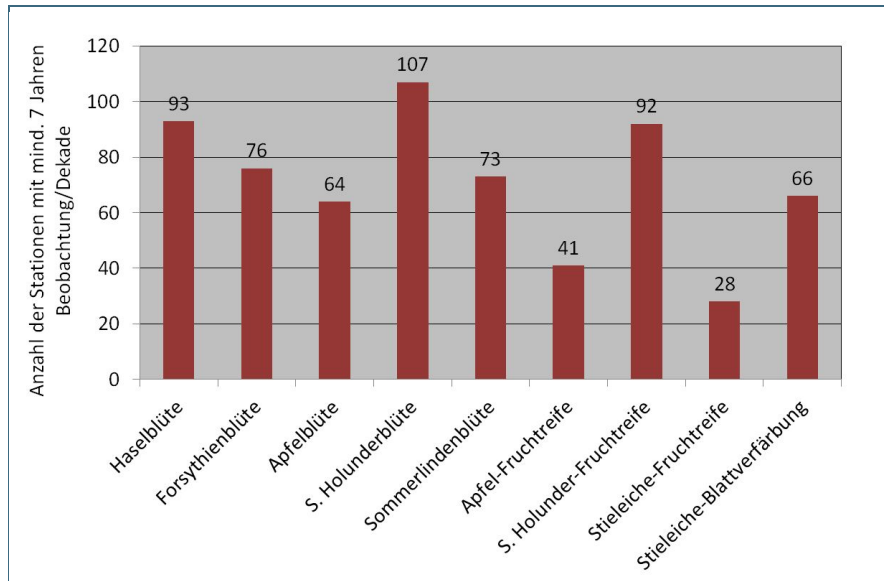


Abb. 3:  
Anzahl der phänologischen Stationen mit mind. 7 Beobachtungsjahren/Dekade für unterschiedliche phänologische Leitphasen

In der Klimatologie wird als Ausgangsbasis für die Analyse von Klimaänderungen der Zeitraum 1961-1990 als sogenannte „**klimatologische Referenzperiode**“ herangezogen. Der früher verwendete Begriff „Klimanormalperiode“ wird heute nicht mehr verwendet, da der Begriff „normal“ eine Normalität des Klimas in diesem Zeitraum suggeriert. Zur Analyse der jüngeren Entwicklung wird in dieser Publikation zusätzlich zur klimatologischen Referenzperiode der aktuelle 30-Jahres-Zeitraum 1981-2010 sowie der gesamte 50-Jahres-Zeitraum 1961-2010 ausgewertet.

Die Datenauswertung erfolgt in fünf Schritten:

1. Es wird dargestellt, an wie vielen und welchen zur Auswertung geeigneten Standorten in Bayern ein signifikanter Trend für den Eintrittsbeginn der phänologischen Leitphasen zwischen 1951 und 2010 vorliegt. An den Kartendarstellungen wird deutlich, wie auch kleinräumig unterschiedlich die Entwicklung in der Fläche je nach Jahreszeit sein kann.
2. Für alle ausgewerteten Standorte werden auf Basis der Dekadenmittelwerte für die Eintrittszeitpunkte der Jahreszeiten von 1951-2010 Trends der zeitlichen Entwicklung berechnet.
3. Für die 30-Jahres-Zeiträume 1961-1990 (klimatologische Referenzperiode) und 1981-2010 (aktueller Vergleichszeitraum) sowie für den gesamten 50-Jahres-Zeitraum 1961-2010 werden Trends der zeitlichen Entwicklung von Eintrittsdaten und Vegetationsdauer auf Basis der Einzeljahre miteinander verglichen.
4. Wegen der hohen Schwankungsbreiten der jährlichen Kenngrößen für die Jahreszeiten werden die Durchschnittswerte der Eintrittsdaten, Jahreszeitdauer und Vegetationsdauer des aktuellen Vergleichszeitraumes 1981-2010 der klimatologischen Referenzperiode 1961-1990 gegenübergestellt und für den gesamten 50-Jahres-Zeitraum 1961-2010 dokumentiert.
5. Die Ergebnisse werden anhand der phänologischen Uhr zusammengefasst.

Ergänzend wurde für Stationen in Höhenlagen unter 300m und zwischen 700 und 900 bzw. 980m untersucht, inwieweit sich die Entwicklungen höhenbedingt unterscheiden.

Als Schwellenwert für die Signifikanz einer Aussage wurde, wenn nicht anders angegeben, eine Irrtumswahrscheinlichkeit  $p$  von maximal 5% ( $p \leq 0,05 =$  signifikant, zweiseitiger Test) festgelegt. Die Trendfunktionen können nur Aussagen für die Entwicklung innerhalb der Auswertzeiträume liefern und nicht in die Zukunft extrapoliert werden, da die Schwankungen der Klimaparameter von Jahr zu Jahr erheblich sind.

### 3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Veränderungen im langjährigen Verlauf des Blühbeginns der Haselnuss (Vorfrühling, Frühlingsbeginn), des Holunders (Frühsommer, Sommerbeginn), der ersten Holunderreife (Frühherbst, Herbstbeginn) und der beginnenden Blattverfärbung der Stieleiche (Spätherbst, Beginn der Vegetationsruhe) beschrieben. Im Kapitel 3.5 folgt eine Auswertung der phänologischen Entwicklung an Stationen in den Höhenbereichen kleiner 300 m sowie zwischen 700 und 900 bzw. 980 m.

Diese auf Jahreszeiten bezogenen Betrachtungen werden in Kapitel 3.6 mit Darstellungen der langjährigen Verlagerungen und Veränderungen der Dauer der Vegetationsperioden innerhalb der Jahre von Frühlingsbeginn bis Vegetationsende ergänzt.

#### 3.1 Frühlingsbeginn

Der **phänologische Beginn des Vorfrühlings** (Frühlingsbeginn) wird durch die **Haselnussblüte** angezeigt. 93 phänologische Beobachtungsstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) erfüllten unsere Auswertekriterien (vgl. Kap. 2). Die Trendanalyse der Eintrittstermine von 1951-2010 erbrachte einen statistisch signifikant früheren Frühlingsbeginn an 65 von 93 Stationen (~ 70%) (Abb. 4).



Abb. 4:  
Phänologische Stationen und Klimabezirke  
in Bayern: **Haselnussblüte**

rot = signifikanter Trend der Verfrühung  
grün = kein signifikanter Trend der Verfrühung

Die mittleren Eintrittsdaten der Haselnussblüte aller Stationen pro Dekade zwischen 1951 und 2010 zeigt Abbildung 5. Die Blühtermine innerhalb einer Dekade schwanken erheblich, der Trend der Mittelwerte zeigt jedoch eine signifikante Verfrühung.

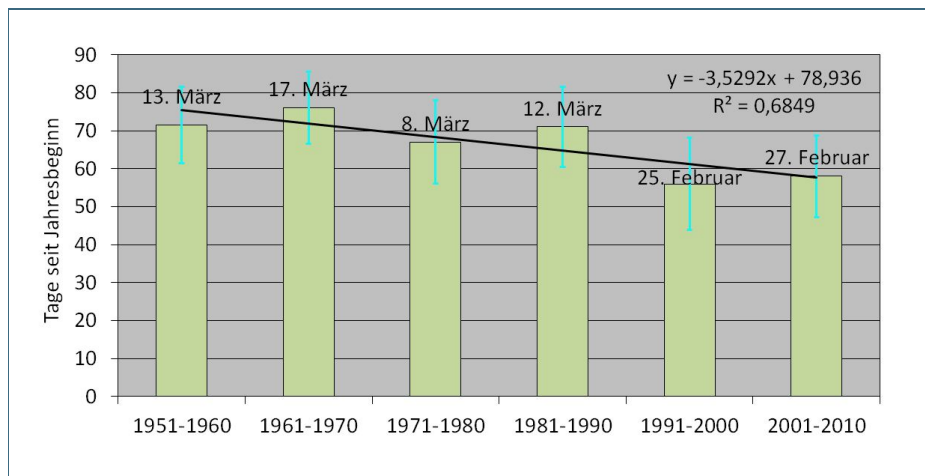


Abb. 5: Blühbeginn der Haselnuss in Bayern 1951-2010, Mittelwert, Trend und Standardabweichung pro Jahrzehnt

### Der Frühlingsbeginn von der klimatologischen Referenzperiode bis heute

Den Frühlingsbeginn in der klimatologischen Referenzperiode 1961-1990, von 1981-2010 sowie über den Gesamtzeitraum von 1961-2010 zeigen die Abbildungen 6 bis 8.

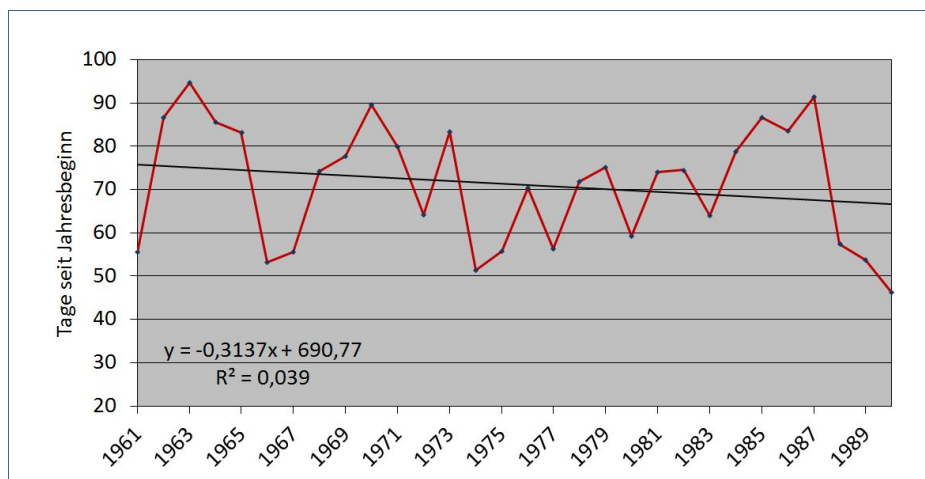


Abb. 6: Eintritt der Haselnussblüte (Frühlingsbeginn) und Trend 1961-1990 in Bayern

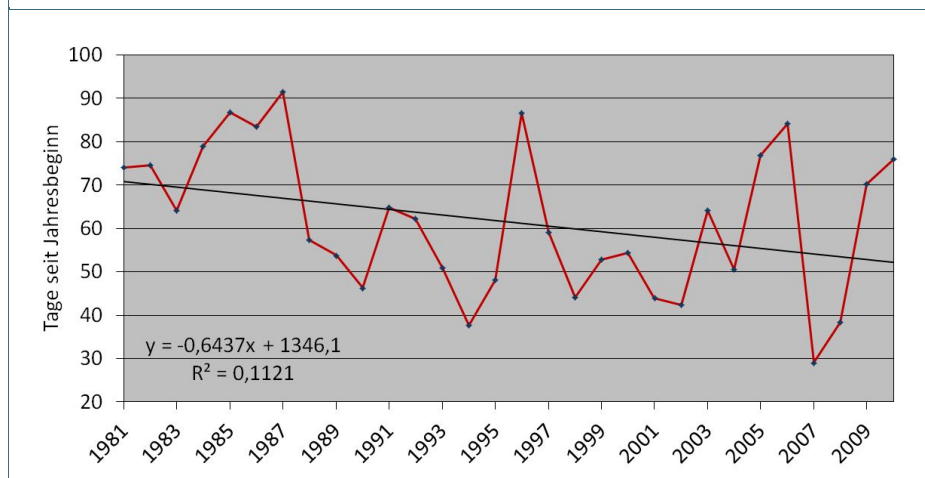


Abb. 7: Eintritt der Haselnussblüte (Frühlingsbeginn) und Trend 1981-2010 in Bayern

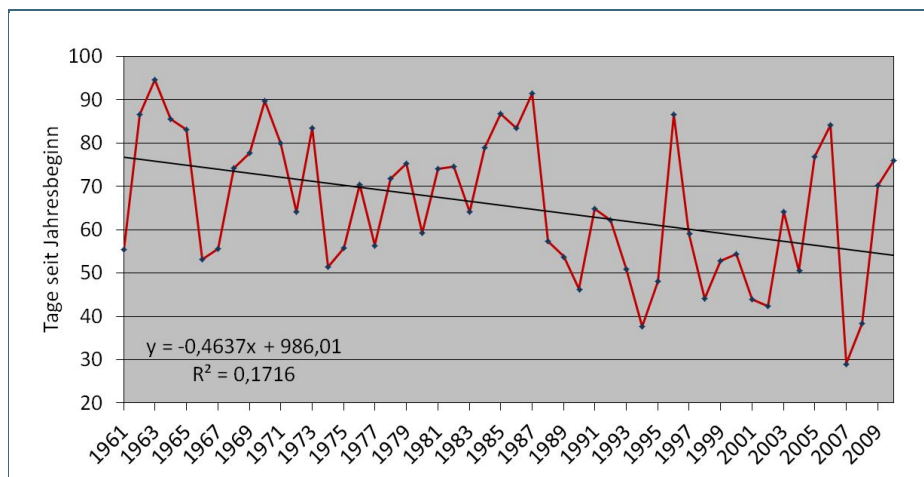


Abb. 8:  
Eintritt der Haselnuss-  
blüte (Frühlingsbeginn)  
und Trend 1961-2010  
in Bayern

Tabelle 2 fasst die Trendaussagen und Eintrittsdaten der Haselnussblüte für die Zeiträume 1961-1990, 1981-2010 und 1961-2010 zusammen. Im Vergleich zu 1961-1990 trat die Haselnussblüte 1981-2010 im Mittel 9 Tage früher ein. Dieser Unterschied ist statistisch signifikant. Die Verfrühungstrends innerhalb der klimatologischen Referenzperiode 1961-1990 und des Zeitraums 1981-2010 sind wegen der hohen Wertestreuungen nicht signifikant. Auf Grund der höheren Anzahl von Daten wird der Trend über den gesamten Auswertzeitraum von 50 Jahren, 1961-2010, jedoch signifikant und führt zu einer Verfrühung von 4,6 Tagen pro Dekade.

Tab. 2: Trend der Haselnussblüte und mittlere Eintrittszeit (Tage seit Jahresbeginn) für Gesamtbayern

	Signifikanz des Trends	Veränderung des Eintrittszeitpunkts	mittlere Eintrittszeit mit Standardabweichung	Signifikanz der Differenz
1961-1990	nein	---	71 ± 14	ja
1981-2010	nein	---	62 ± 17	
1961-2010	ja ( $p \leq 0,01$ )	-4,6 Tage/Dekade insgesamt 23 Tage	65 ± 16	

**Der Frühlingsbeginn hat sich also innerhalb von 50 Jahren um über 3 Wochen nach vorne verschoben.**

### 3.2 Sommerbeginn

Der **phänologische Sommerbeginn** wird durch die **Holunderblüte** eingeleitet. 107 phänologische Beobachtungsstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) wurden hierfür ausgewertet. Die Trendanalyse der Eintrittstermine von 1951-2010 erbrachte eine statistisch signifikante Verfrüfung des Sommerbeginns an 96 von 107 Stationen (~ 90%) (Abb. 9).

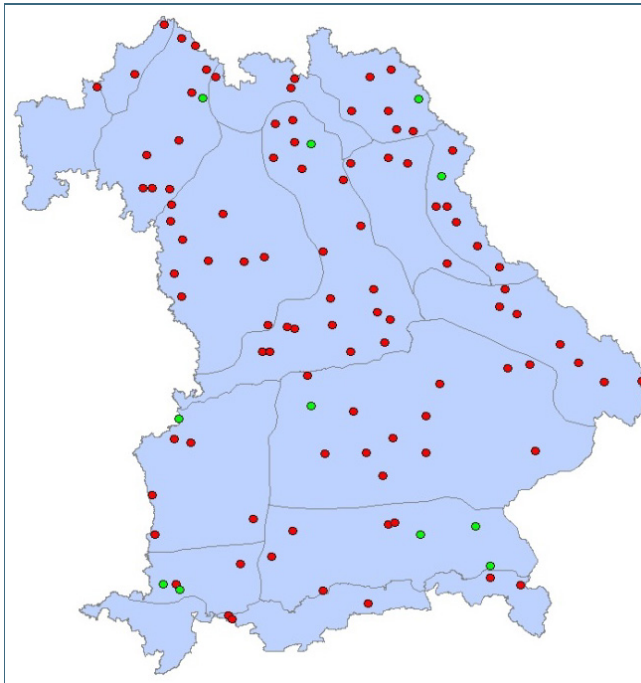


Abb. 9:  
Phänologische Stationen und Klimabezirke  
in Bayern: **Holunderblüte**

rot = signifikanter Trend der Verfrüfung  
grün = kein signifikanter Trend der Verfrüfung

Die mittleren Eintrittsdaten der Holunderblüte aller Stationen pro Dekade zwischen 1951 bis 2010 zeigt Abbildung 10. Die Blühtermine innerhalb einer Dekade schwanken erheblich, der Trend der Mittelwerte zeigt jedoch eine signifikante Verfrüfung.

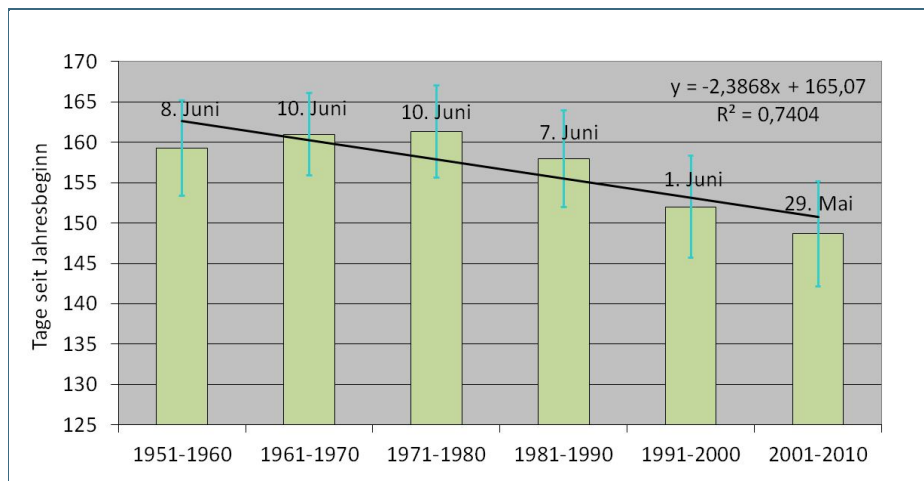


Abb. 10:  
Blühbeginn des Holunders in Bayern 1951-2010, Mittelwert, Trend und Standardabweichung pro Dekade

## Der Sommerbeginn von der klimatologischen Referenzperiode bis heute

Den Sommerbeginn in der klimatologischen Referenzperiode 1961-1990, von 1981-2010 sowie über den Gesamtzeitraum von 1961-2010 zeigen die Abbildungen 11 bis 13.

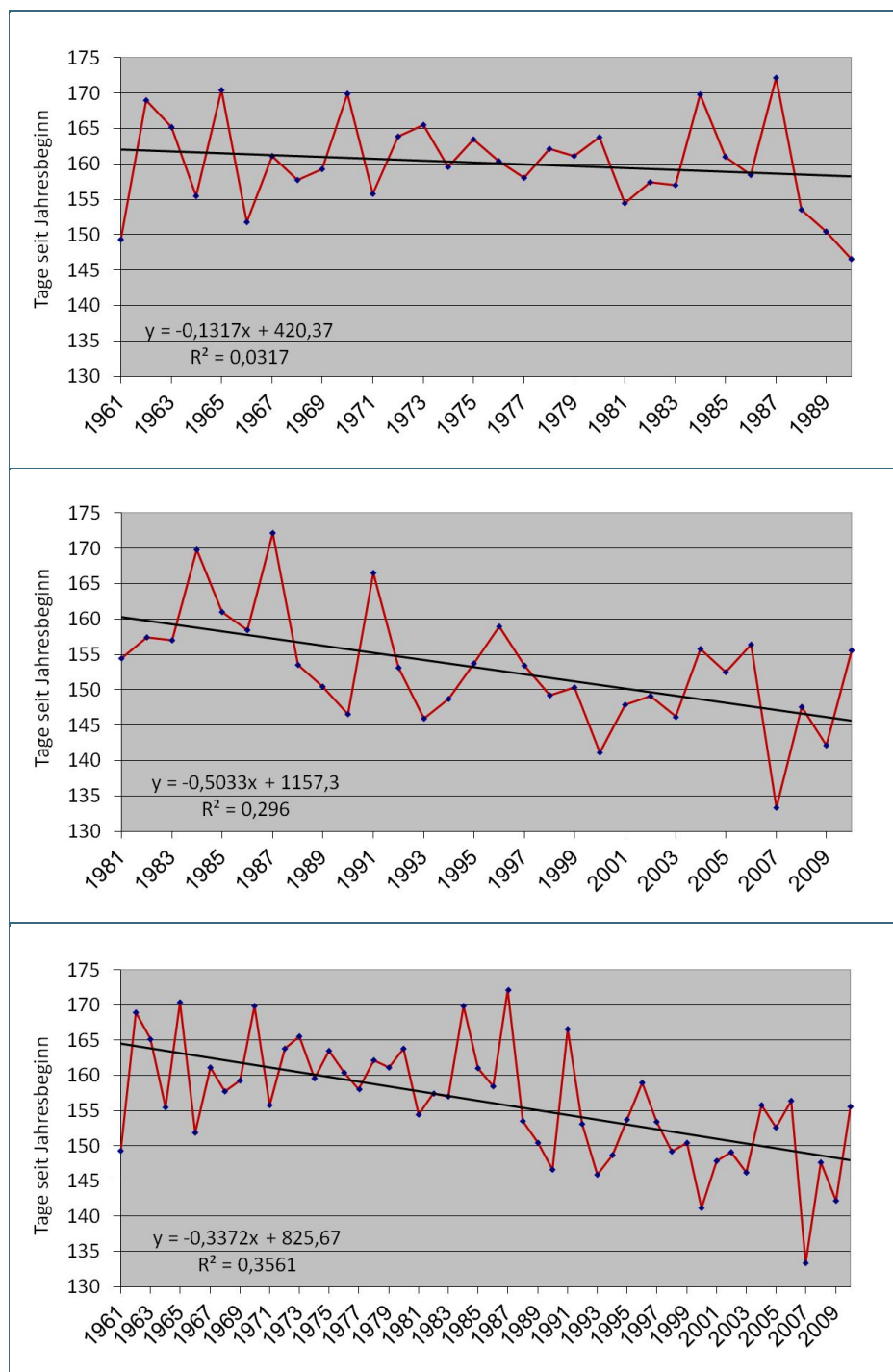


Abb. 11:  
Eintritt der Holunderblüte (Sommerbeginn) und Trend 1961-1990 in Bayern

Abb. 12:  
Eintritt der Holunderblüte (Sommerbeginn) und Trend 1981-2010 in Bayern

Abb. 13:  
Eintritt der Holunderblüte (Sommerbeginn) und Trend 1961-2010 in Bayern

Tabelle 3 fasst die Trendaussagen und Eintrittsdaten der Holunderblüte für die Zeiträume 1961-1990, 1981-2010 und 1961-2010 zusammen. Im Vergleich zu 1961-1990 trat die Holunderblüte 1981-2010 im Mittel 7 Tage früher ein. Dieser Unterschied ist statistisch signifikant. Der Verfrühungstrend innerhalb der klimatologischen Referenzperiode 1961-1990 ist im Gegensatz zum Vergleichszeitraum 1981-2010 nicht signifikant. Im Zeitraum 1981-2010 verschob sich die Holunderblüte dagegen signifikant um 5 Tage pro Dekade Richtung Jahresbeginn. Der signifikante Trend über den gesamten Zeitraum 1961-2010 beschreibt eine Verfrühung von 3,4 Tagen pro Dekade.

Tab. 3: Trend der Holunderblüte und mittlerer Eintrittszeitpunkt (Tage seit Jahresbeginn) für Gesamtbayern

	Signifikanz des Trends	Veränderung des Eintrittszeitpunkts	mittlerer Eintrittszeitpunkt mit Standardabweichung	Signifikanz der Differenz
1961-1990	nein	---	160 ± 6,4	ja
1981-2010	ja	-5,0 Tage/Dekade	153 ± 8,0	
1961-2010	ja	-3,4 Tage/Dekade insgesamt 17 Tage	156 ± 8,2	

**Der Sommerbeginn hat sich demnach innerhalb von 50 Jahren, in etwas geringerem Umfang wie der Frühling, um ca. zweieinhalb Wochen nach vorne verschoben, was vor allem auf die signifikanten Veränderungen nach 1980 zurückzuführen ist.**

### 3.3 Herbstbeginn

Leitphase für die phänologische Erfassung des **Herbstbeginns** ist der **Fruchtreifebeginn des Schwarzen Holunders**. 92 phänologische Beobachtungsstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) wurden hierfür ausgewertet. Die Trendanalyse der Eintrittstermine von 1951-2010 erbrachte eine statistisch signifikante Verfrühung des Herbstbeginns an 67 von 92 Stationen (~ 73%) (Abb. 14).

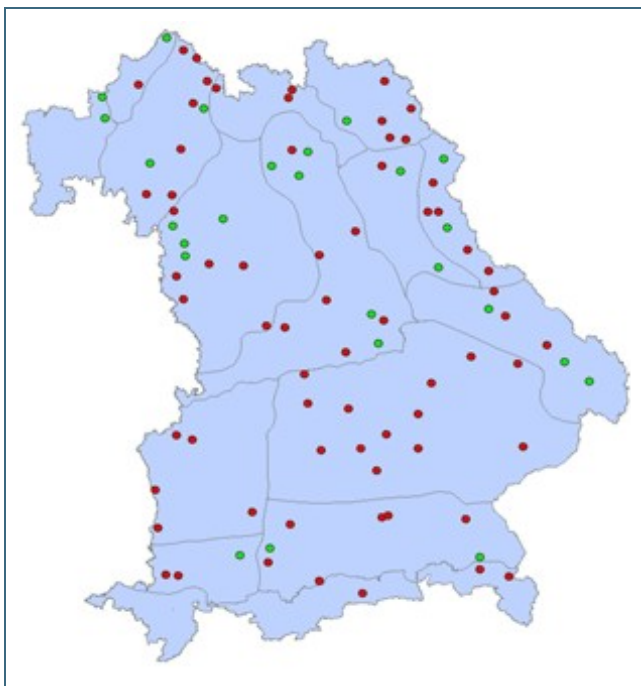


Abb. 14:  
Phänologische Stationen und Klimabezirke in Bayern: **Holunderreife**

rot = signifikanter Trend der Verfrühung  
grün = kein signifikanter Trend Verfrühung



Wie in Abbildung 15 dargestellt, zeichnet sich eine deutliche Verfrüfung des Herbstbeginns ab. Die mittleren Eintrittsdaten der Holunderreife aller Stationen innerhalb einer Dekade schwanken zwar erheblich, der Trend der Mittelwerte zeigt jedoch eine signifikante Verfrüfung.

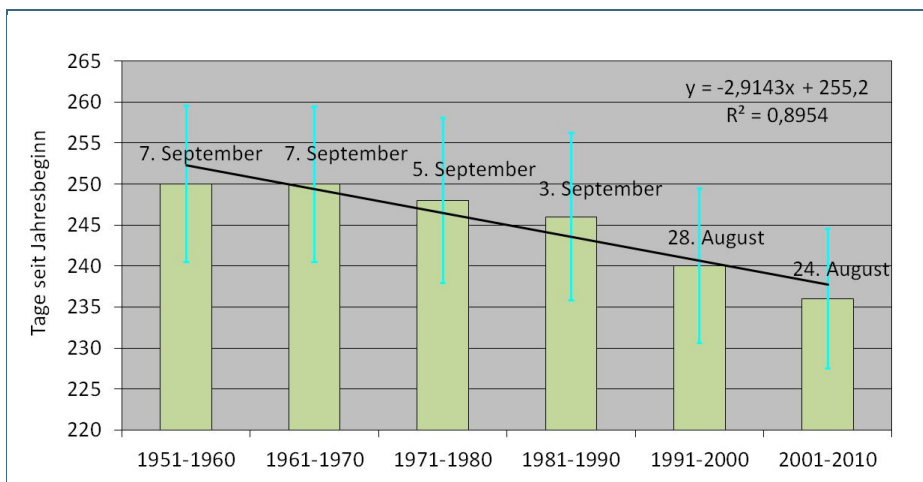


Abb. 15: Reife des Holunders in Bayern 1951-2010, Mittelwert, Trend und Standardabweichung pro Dekade

### Der Herbstbeginn von der klimatologischen Referenzperiode bis heute

Den Herbstbeginn in der klimatologischen Referenzperiode 1961-1990, von 1981-2010 sowie über den Gesamtzeitraum von 1961-2010 zeigen die Abbildungen 16 bis 18.

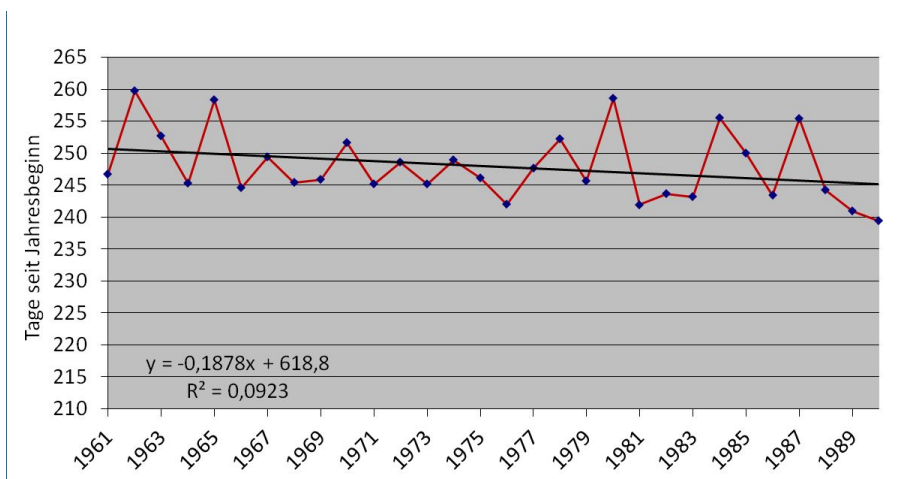


Abb. 16: Eintritt der Holunderreife (Herbstbeginn) und Trend 1961-1990 in Bayern

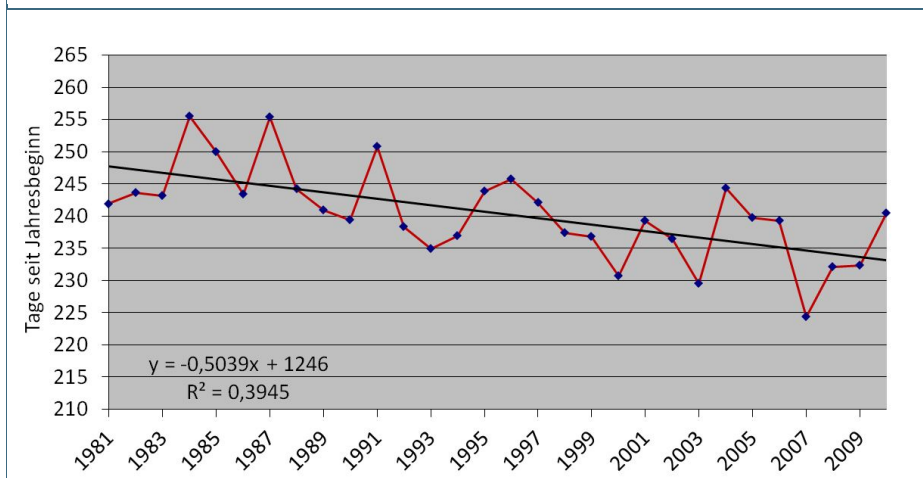


Abb. 17: Eintritt der Holunderreife (Herbstbeginn) und Trend 1981-2010 in Bayern

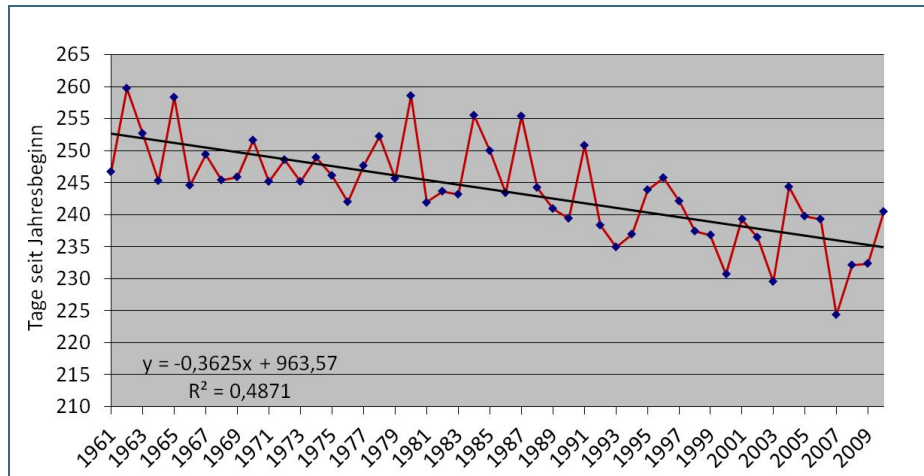


Abb. 18:  
Eintritt der Holunderreife (Herbstbeginn) und Trend 1961-2010 in Bayern

Tabelle 4 fasst die Trendaussagen und Eintrittsdaten der Holunderreife für die Zeiträume 1961-1990, 1981-2010 und 1961-2010 zusammen. Im Vergleich zu 1961-1990 trat die Holunderblüte 1981-2010 im Mittel 8 Tage früher ein. Dieser Unterschied ist statistisch signifikant. Der Verfrühungstrend innerhalb der klimatologischen Referenzperiode 1961-1990 ist nicht signifikant. Im Zeitraum 1981-2010 verschob sich die Holunderreife, so wie die Blüte, signifikant um 5 Tage pro Dekade nach vorne. Der signifikante Trend über den 50-Jahres-Zeitraum 1961-2010 beschreibt eine Verfrühung von 3,6 Tagen pro Dekade.

Tab. 4: Trend der Holunderreife und mittlerer Eintrittszeitpunkt (Tage seit Jahresbeginn) für Gesamtbayern

	Signifikanz des Trends	Veränderung des Eintrittszeitpunkts	mittlerer Eintrittszeitpunkt mit Standardabweichung	Signifikanz der Differenz
1961-1990	nein	---	248 ± 5,4	ja
1981-2010	ja	-5,0 Tage/Dekade	240 ± 6,9	
1961-2010	ja (p ≤ 0,01)	-3,6 Tage/Dekade insgesamt 18 Tage	244 ± 7,5	

**Der Herbstbeginn hat sich innerhalb von 50 Jahren, so wie der Sommerbeginn, um ca. zweieinhalb Wochen nach vorne verschoben. Auch hier sind vor allem die Veränderungen ab den 80er Jahren ausschlaggebend.**

### 3.4 Spätherbstbeginn

Indikator für die phänologische Erfassung des **Spätherbstbeginns** ist die **Blattverfärbung der Stieleiche**. 66 phänologische Beobachtungsstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) wurden hierfür ausgewertet. Die Trendanalyse der Eintrittstermine von 1951-2010 erbrachte eine statistisch signifikante Verspätung des Herbstbeginns an 33 Stationen (~ 50%). 7 Stationen (~ 9%) zeigten eine signifikante Verfrühung. Die restlichen 26 Stationen zeigten keine signifikanten Veränderungen (Abb. 19).



Abb. 19:  
Phänologische Stationen und Klimabezirke  
in Bayern: **Blattverfärbung der Stieleiche**

blau= signifikanter Trend der Verspätung  
rot = signifikanter Trend der Verfrühung  
grün = kein signifikanter Trend

Die mittleren Eintrittsdaten der Blattverfärbung der Stieleiche aller Stationen pro Dekade zwischen 1951 bis 2010 zeigt Abbildung 20. Eintrittstermine innerhalb einer Dekade schwanken erheblich, der Trend der Mittelwerte zeigt jedoch eine signifikante Verspätung.

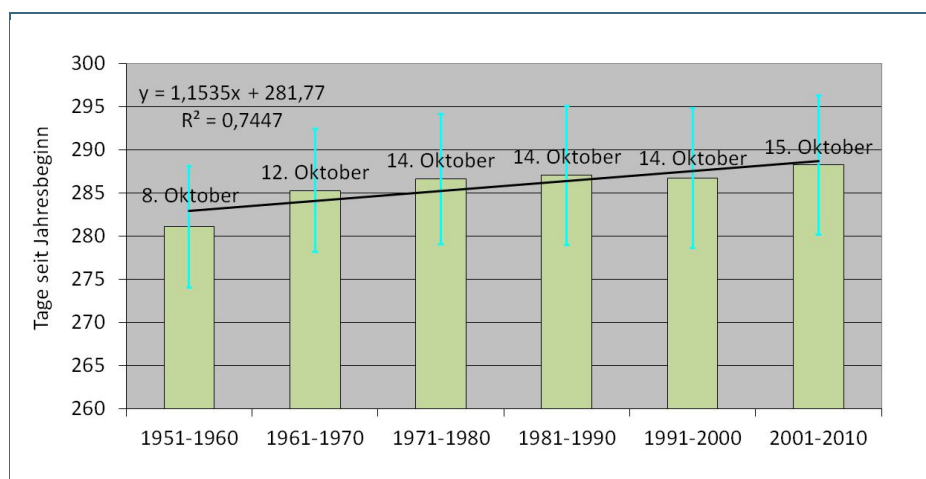


Abb. 20:  
Eintrittsdatum der  
Blattverfärbung der  
Stieleiche in Bayern  
1951-2010, Mittelwert,  
Trend und Standard-  
abweichung pro Deka-  
de

## Der Spätherbstbeginn von der klimatologischen Referenzperiode bis heute

Den Spätherbstbeginn in der klimatologischen Referenzperiode 1961-1990, von 1981-2010 sowie über den Gesamtzeitraum von 1961-2010 zeigen die Abbildungen 21 bis 23.

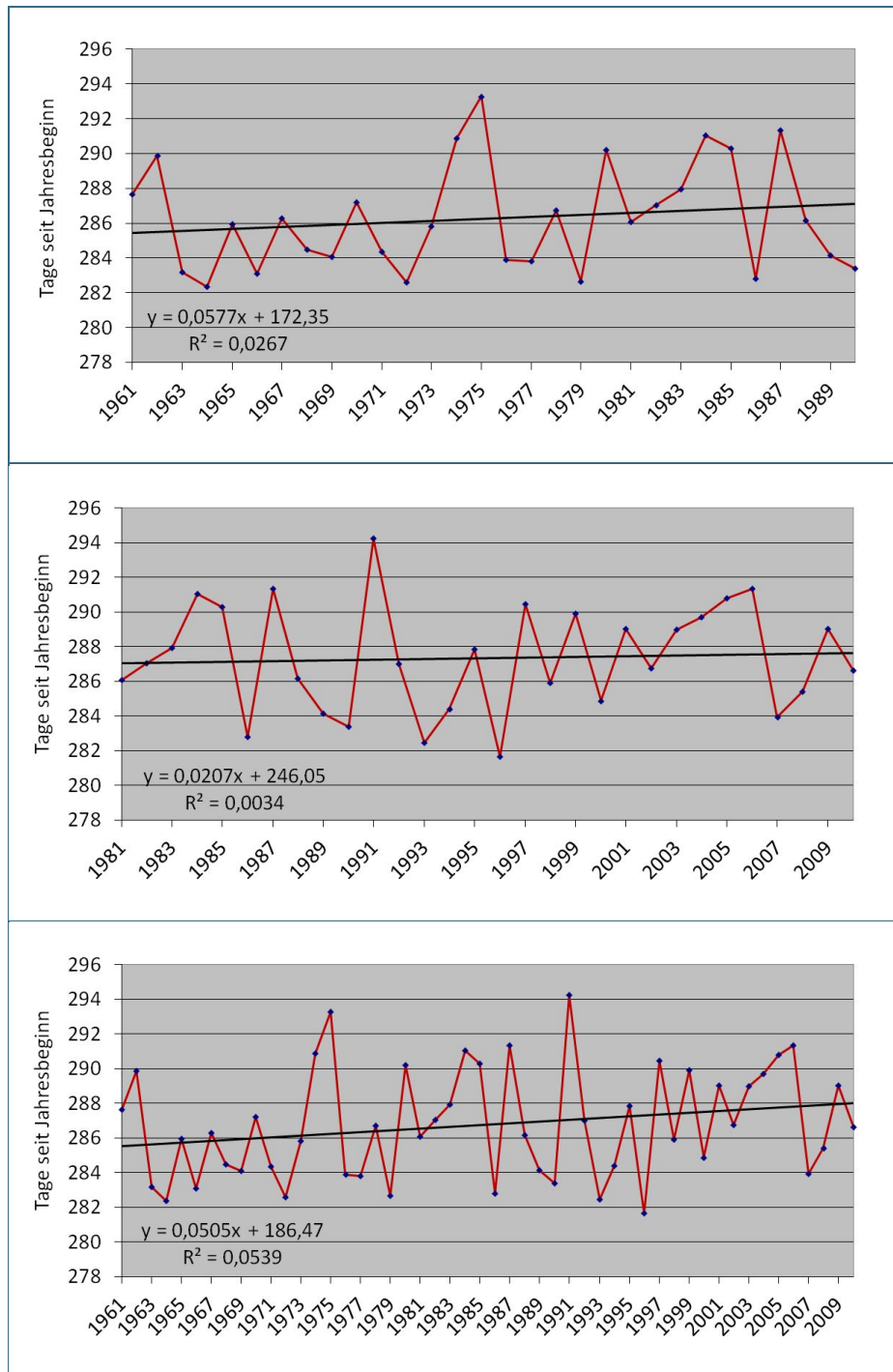


Abb. 21:  
Eintritt der Blattverfärbung der Stieleiche (Spätherbstbeginn) 1961-1990 in Bayern

Abb. 22:  
Eintritt der Blattverfärbung der Stieleiche (Spätherbstbeginn) 1981-2010 in Bayern

Abb. 23:  
Eintritt der Blattverfärbung der Stieleiche (Spätherbstbeginn) 1961-2010 in Bayern

Tabelle 5 fasst die Trendaussagen und Eintrittsdaten der Blattverfärbung der Stieleiche in den Zeiträumen 1961-1990, 1981-2010 und 1961-2010 zusammen. **Da sowohl alle Trends als auch die Differenz der Eintrittstage zwischen den Vergleichszeiträumen nicht signifikant sind, konnte keine Verschiebung des Spätherbstbeginns zwischen 1961 und 2010 nachgewiesen werden.** Nur durch die Einbeziehung der Dekade 1951-1960 und der Trendberechnung auf Basis der Dekadenmittelwerte (vgl. Abbildung 20) wird eine Verspätung des Spätherbstes um ca. einen Tag pro Dekade signifikant.

Tab. 5: Trend der Blattverfärbung der Stieleiche und mittlere Eintrittszeit (Tage seit Jahresbeginn) für Gesamtbayern

	Signifikanz des Trends	Veränderung des Eintrittszeitpunkts	mittlere Eintrittszeit mit Standardabweichung	Signifikanz der Differenz
1961-1990	nein	- - -	286 ± 3,1	nein
1981-2010	nein	- - -	287 ± 3,1	
1961-2010	nein	- - -	287 ± 3,1	

### 3.5 Phänologische Entwicklung nach Höhenlagen

Ergänzend zur Analyse des Eintritts der phänologischen Phasen an allen aktiven phänologischen Stationen in Bayern wurden auch die Unterschiede, die sich aus unterschiedlichen Höhenlagen der Stationen ergeben untersucht. Da sich die Standardabweichungen der Blühzeitpunkte in allen phänologischen Phasen direkt aufeinander folgender Höhen zu stark überschneiden (Beispiel Abb. 24), werden folgend nur die niedrig gelegenen (> 300m) und hoch gelegenen (700-900 bzw. 980m) Stationen miteinander verglichen.

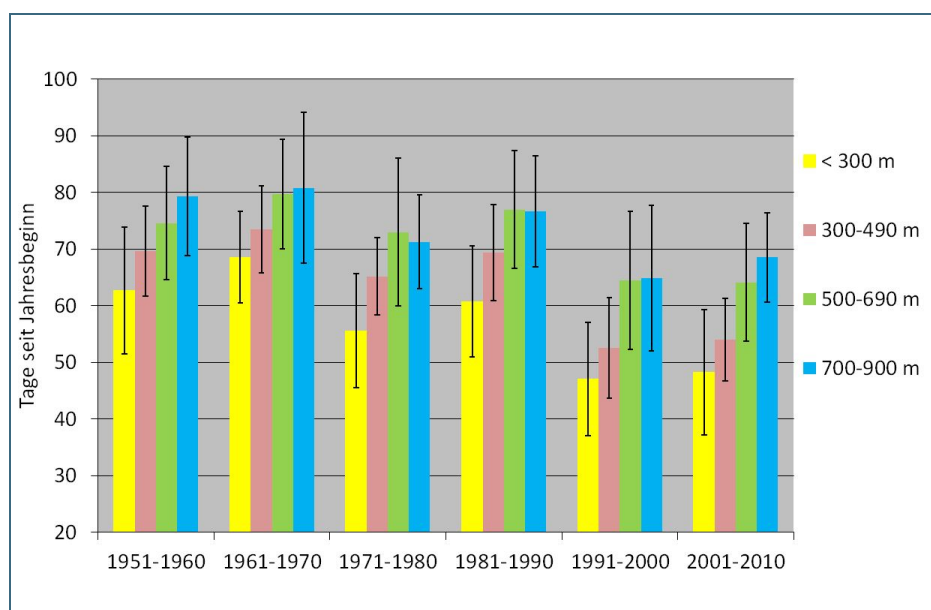


Abb. 24: Mittlerer Eintrittstag der Haselnussblüte 1951-2010 ( $\pm$  Standardabweichung) in unterschiedlichen Höhenlagen

#### 3.5.1 Verschiebungen des Frühlingsbeginns in unterschiedlichen Höhenlagen

Für die Untersuchung der Veränderungen des Frühlingsbeginns in Abhängigkeit von der geographischen Höhe wurden die Beobachtungsstationen vier Höhenlagen zugeordnet: unter 300m, 300 bis unter 500m, 500 bis unter 700m und 700 bis 900m (Abb. 25).

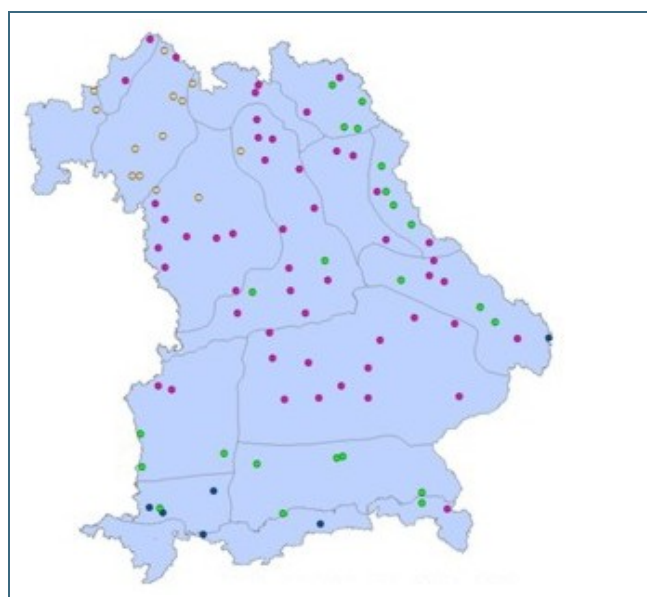


Abb. 25: Phänologische Stationen (Haselnussblüte) zugeordnet zu 4 Höhenlagen

gelb: unter 300m ü.NN.  
 rot: 300 bis unter 500m ü.NN.  
 grün: 500 bis unter 700m ü.NN.  
 blau: 700 bis 900m ü.NN.

In den Abbildungen 26 bis 28 sind die mittleren Eintrittsdaten der Haselnussblüte und der Trend über die 30-Jahresperioden 1961-1990 und 1981-2010 sowie für den 50-Jahres-Zeitraum 1961-2010 für Stationen unter 300 m und in 700-900m Höhe wiedergegeben.

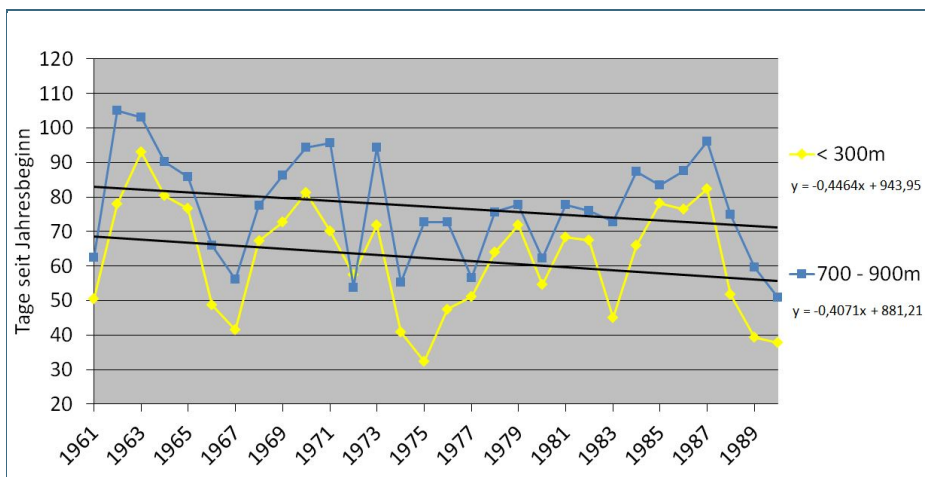


Abb. 26: Mittlere Blühzeitpunkte der Haselnuss (Frühlingsbeginn) und Trend 1961-1990 in den Höhenlagen < 300m und 700-900m

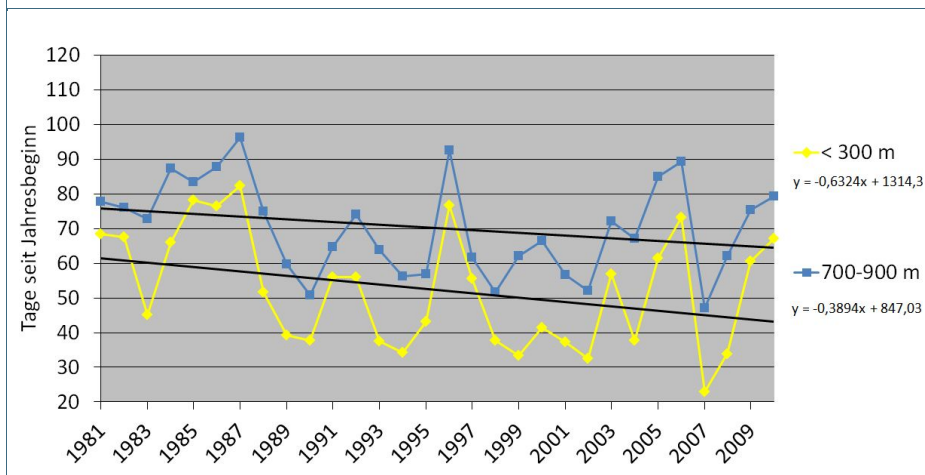


Abb. 27: Mittlere Blühzeitpunkte der Haselnuss (Frühlingsbeginn) und Trend 1981-2010 in den Höhenlagen < 300m und 700-900m

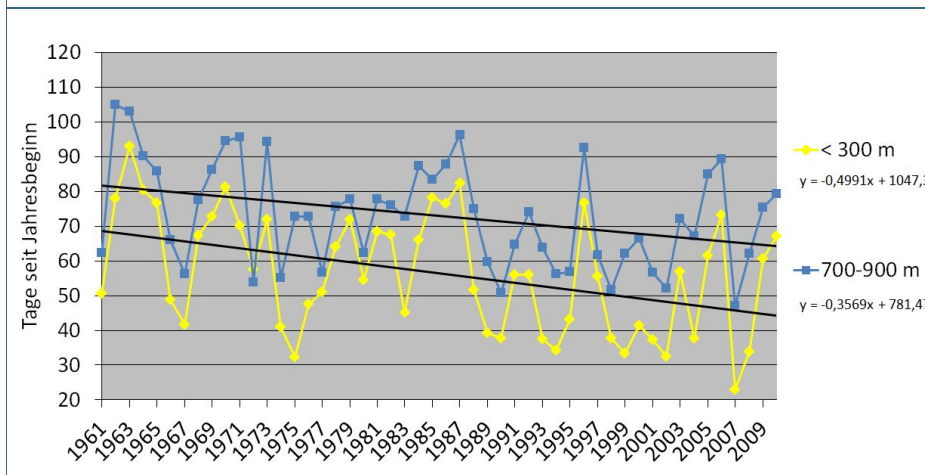


Abb. 28: Mittlere Blühzeitpunkte der Haselnuss (Frühlingsbeginn) und Trend 1961-2010 in den Höhenlagen < 300m und 700-900m

Signifikante Trends der mittleren Blühzeitpunkte der Haselnuss in Tief- und Hochlagen liegen nur für den Zeitraum 1981-2010 für Standorte unter 300 m Höhe und die 50-Jahres-Zeiträume beider Höhenbereiche vor. Die höhenspezifischen Steigungen (= Ausmaß der Veränderung) der Trendfunktionen unterscheiden sich in allen drei ausgewerteten Zeiträumen nicht signifikant voneinander (Tabelle 6).

Tab. 6: Verfrühungstrend der Haselnussblüte 1961-2010 in verschiedenen Höhenlagen

	Signifikanz Trend < 300m	Veränderung des Eintrittszeitpunkts < 300m	Signifikanz Trend 700 – 900m	Veränderung des Eintrittszeitpunkts 700 - 900m	Signifikanz der Steigungsunterschiede der Trendfunktionen
1961-1990	nein	---	nein	---	nein
1981-2010	ja	-6,3 Tage/Dekade	nein	---	nein
1961-2010	ja	-5,0 Tage/Dekade	ja	-3,6 Tage/Dekade	nein

Für den gesamten Beobachtungszeitraum von 1961-2010 haben wir also in beiden Höhenbereichen Verfrühungen von 5 bzw. 3,6 Tagen pro Dekade festzustellen, die aber wegen der hohen Streuung der Messwerte nicht signifikant voneinander verschieden sind. An den Standorten unter 300 m Höhe beruht diese Verfrühung vor allem auf den signifikanten Veränderungen der letzten 30 Jahre.

### 3.5.2 Veränderungen des Frühsommerbeginns in unterschiedlichen Höhenlagen

Auch für die Untersuchung der Veränderungen des Frühsommerbeginns in Abhängigkeit von der Höhenlage wurden die Beobachtungsstationen vier Höhenlagen zugeordnet: unter 300m, 300 bis unter 500m, 500 bis unter 700m und 700 bis 900m (Abb. 29).

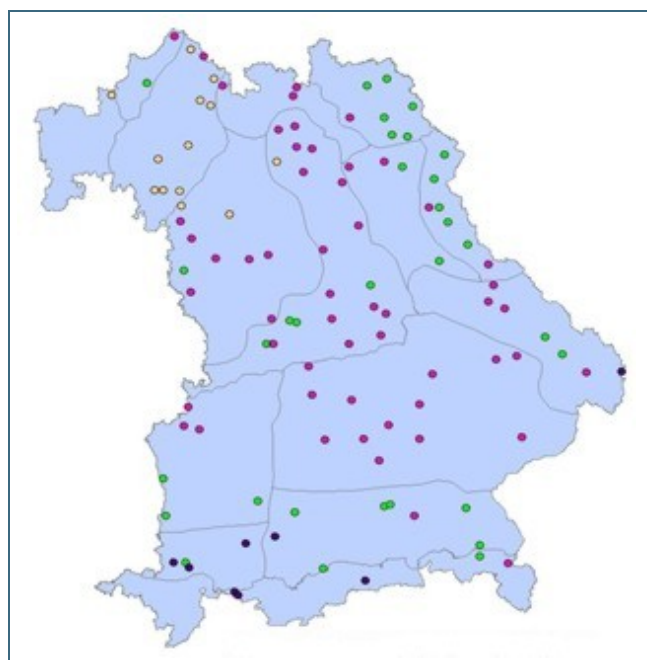


Abb. 29: Phänologische Stationen (Holunderblüte) zugeordnet zu 4 Höhenlagen

- gelb: unter 300m ü.NN.
- rot: 300 bis unter 500m ü.NN.
- grün: 500 bis unter 700m ü.NN.
- blau: 700 bis 900m ü.NN.

In den Abbildungen 30 bis 32 sind die mittleren Eintrittsdaten der Holunderblüte und der Trend über die 30-Jahresperioden 1961-1990 und 1981-2010 sowie für den 50-Jahres-Zeitraum 1961-2010 für Stationen unter 300 m und in 700-900m Höhe wiedergegeben.



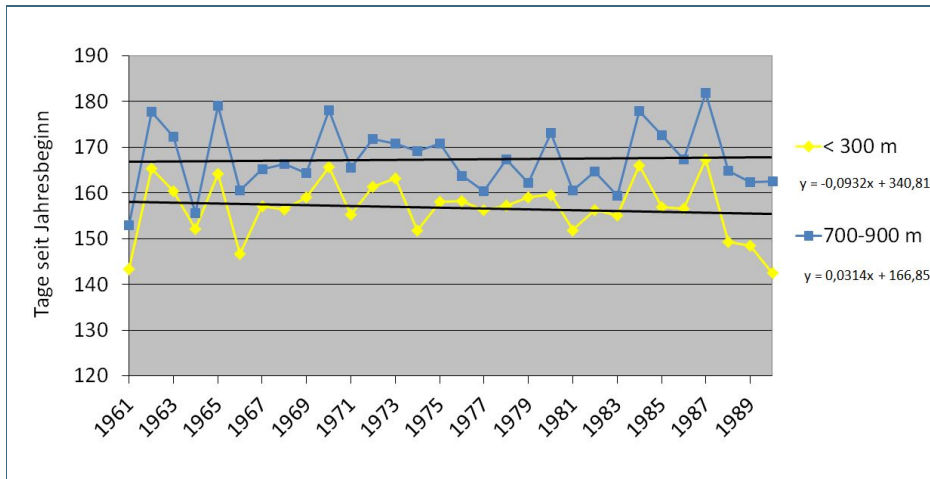


Abb. 30:  
Eintritt der Holunderblüte (Sommerbeginn) und Trend 1961-1990 in den Höhenbereichen <math>< 300\text{m}</math> und <math>700-900\text{m}</math>

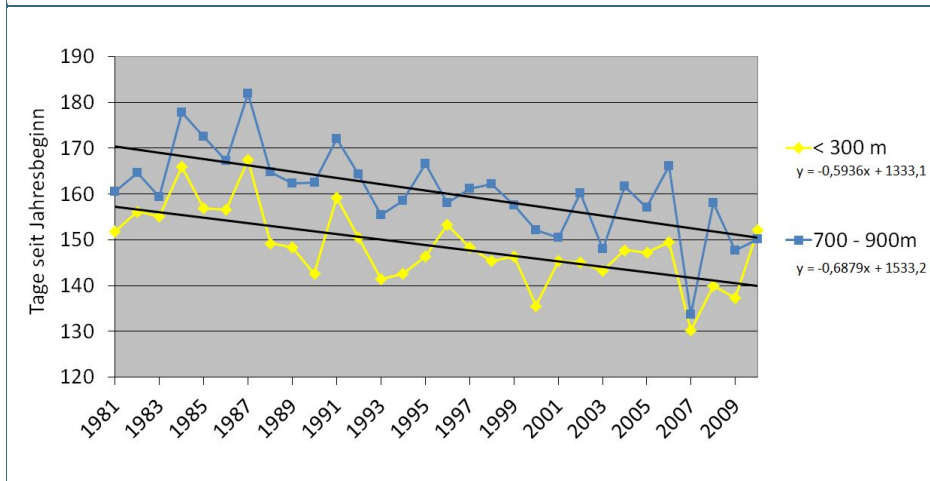


Abb. 31:  
Eintritt der Holunderblüte (Sommerbeginn) und Trend 1981-2010 in den Höhenbereichen <math>< 300\text{m}</math> und <math>700-900\text{m}</math>

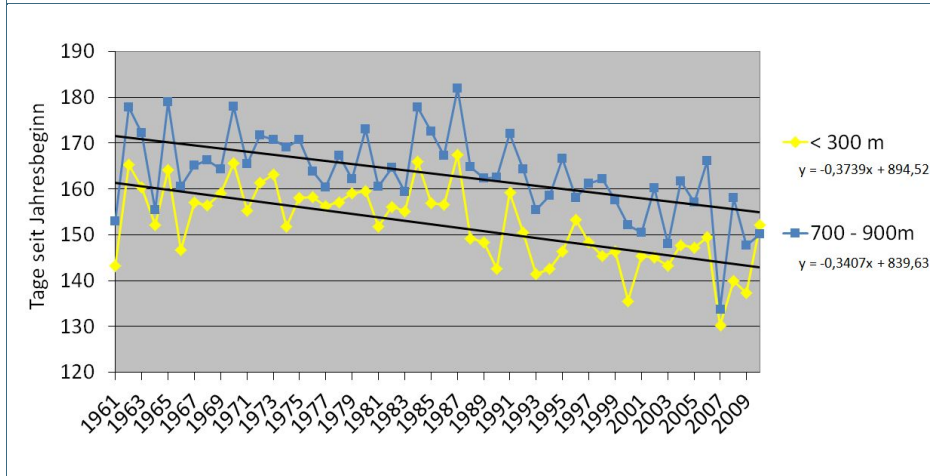


Abb. 32:  
Eintritt der Holunderblüte (Sommerbeginn) und Trend 1961-2010 in den Höhenbereichen <math>< 300\text{m}</math> und <math>700-900\text{m}</math>

Die Trends des mittleren Blühzeitpunkts des Holunders sind für den Zeitraum 1961-1990 (Abb. 30) nicht signifikant (Tabelle 7). Im Zeitraum 1981-2010 (Abb. 31) und im 50-Jahres-Zeitraum 1961-2010 (Abb. 32) verlaufen die Trendlinien in Tief- und Hochlagen annähernd parallel und signifikant in Richtung Verfrüherung. Die Steigungen (Ausmaß der Veränderung) der Trendfunktionen für die Hoch- und Tieflagen unterscheiden sich dabei in keinem der ausgewerteten Zeiträume signifikant voneinander (Tabelle 7).

Tab. 7: Verfrüherungstrend der Holunderblüte 1961-2010 in verschiedenen Höhenlagen

	Signifikanz Trend < 300m	Veränderung des Eintrittszeitpunkts < 300m	Signifikanz Trend 700 – 900m	Veränderung des Eintrittszeitpunkts 700 - 900 m	Signifikanz der Steigungsunterschiede der Trendfunktionen
1961-1990	nein	---	nein	---	nein
1981-2010	ja	-5,9 Tage/ Dekade	ja	-6,9 Tage/ Dekade	nein
1961-2010	ja	-3,7 Tage/ Dekade	ja	-3,4 Tage/ Dekade	nein

Wir können also davon ausgehen, dass sich in beiden Höhenbereichen gleichermaßen im gesamten Auswertungszeitraum von 1961-2010 der Frühsommer um 3 bis 4 Tage pro Dekade, also insgesamt um etwa zweieinhalb Wochen, nach vorne verschoben hat, was vor allem auf Veränderungen in den letzten 30 Jahren beruht.

### 3.5.3 Veränderungen des Herbstbeginns in unterschiedlichen Höhenlagen

Für die Untersuchung der Veränderungen des Herbstbeginns in Abhängigkeit von der Höhenlage wurden die Beobachtungsstationen vier Höhenbereichen zugeordnet: unter 300m, 300 bis unter 500m, 500 bis unter 700m und 700 bis 980m (Abb. 33). Gegenüber den anderen phänologischen Phasen steht hier ein Datensatz der Station Hohenpeißenberg zur Verfügung wodurch Grenze der obersten Höhenlage um 80m angehoben wurde.

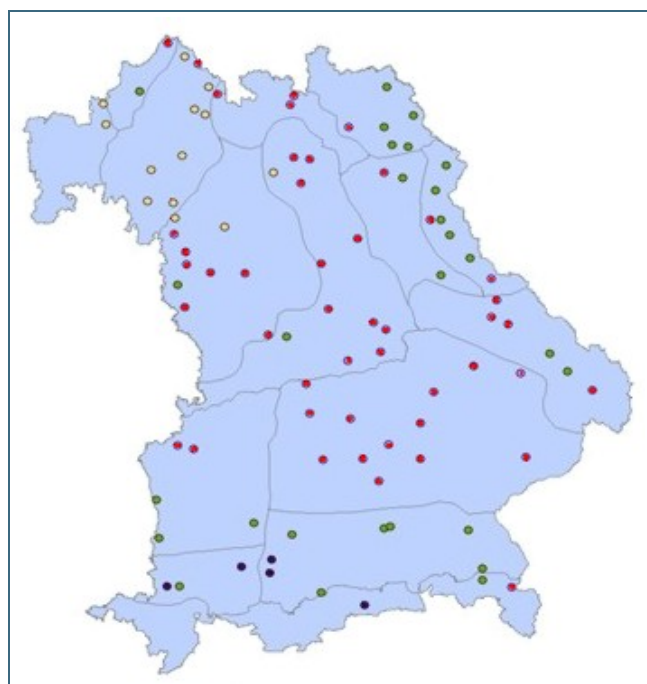
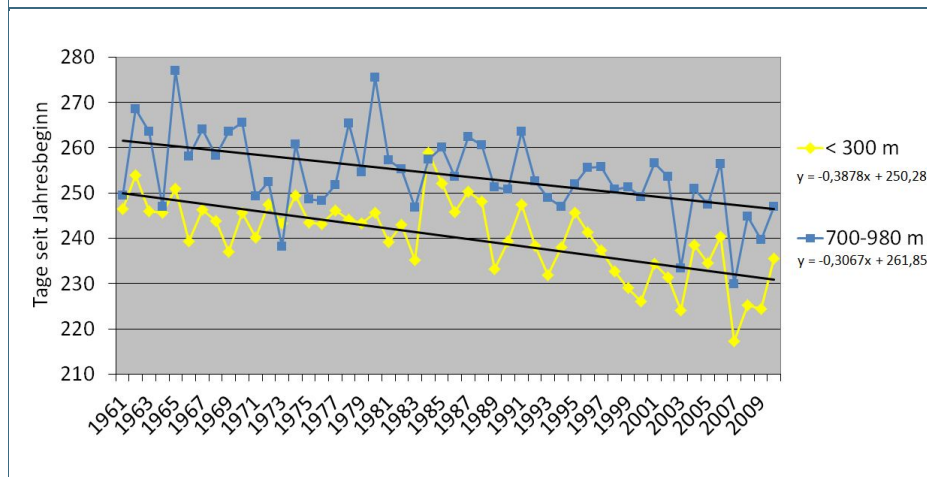
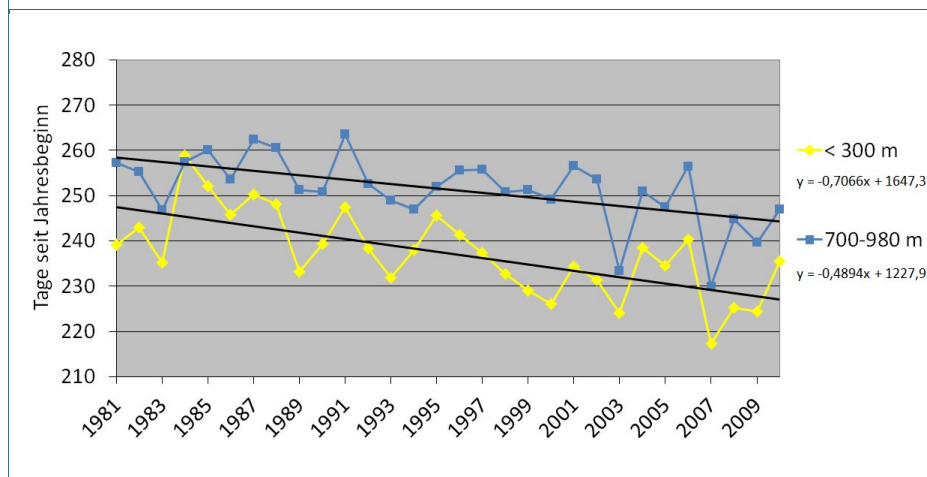
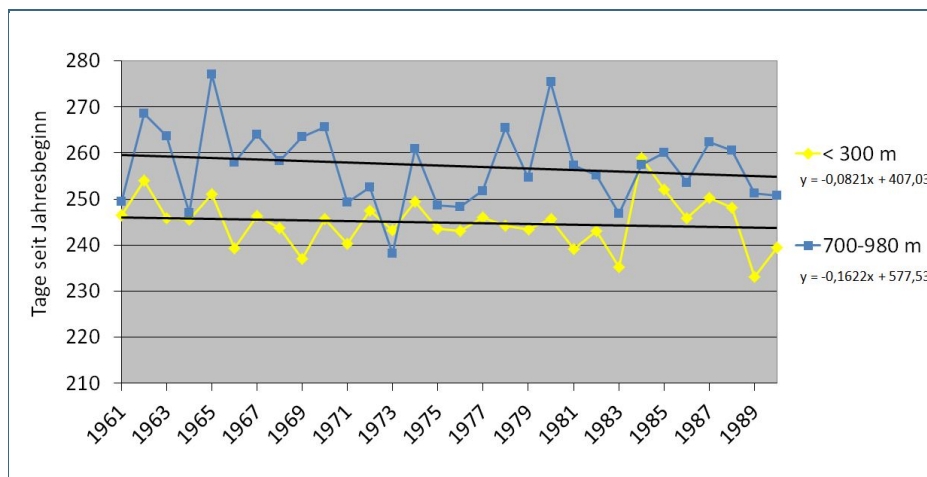


Abb. 33:  
Phänologische Stationen (**Holunderreife**)  
zugeordnet zu 4 Höhenlagen

gelb: 180 bis unter 300m ü.NN.  
rot: 300 bis unter 500m ü.NN.  
grün: 500 bis unter 700m ü.NN.  
blau: 700 bis 980m ü.NN.

In den Abbildungen 34 bis 36 sind die mittleren Eintrittsdaten der Holunderreife und der Trend über die 30-Jahresperioden 1961-1990 und 1981-2010 sowie für den 50-Jahres-Zeitraum 1961-2010 für Stationen unter 300 m und in 700-980m Höhe wiedergegeben.



In der klimatologischen Regelperiode 1961-1990 sind die Trends in beiden Höhenlagen nicht signifikant. Im Vergleichszeitraum 1981-2010 sowie im 50-Jahres-Zeitraum 1961-2010 zeigen die signifikanten Trends in Hoch- und Tieflagen eine deutliche Verfrüherung, wobei die Unterschiede der Steigungen (Ausmaß der Veränderung) der Trendfunktionen nicht signifikant sind (Tab. 8).

Tab. 8: Verfrüherungstrend der Holunderreife 1961-2010 in verschiedenen Höhenlagen

	Signifikanz Trend < 300m	Veränderung des Eintrittszeitpunkts < 300m	Signifikanz Trend 700 – 980m	Veränderung des Eintrittszeitpunkts 700 - 980m	Signifikanz der Steigungsunterschiede der Trendfunktionen
1961-1990	nein	---	nein	---	nein
1981-2010	ja	-7,1 Tage/Dekade	ja	-4,9 Tage/Dekade	nein
1961-2010	ja	-3,9 Tage/Dekade	ja	-3,1 Tage/Dekade	nein

Für den Herbstbeginn gilt das gleiche wie für den Beginn des Fröhsommers. In beiden Höhenbereichen hat sich der Herbstbeginn im gesamten Auswertungszeitraum von 1961-2010 um 3 bis 4 Tage pro Dekade, also insgesamt ca. zweieinhalb Wochen, nach vorne verschoben, was vor allem auf die Veränderungen in den letzten 30 Jahren zurück zu führen ist.

### 3.5.4 Veränderungen des Spätherbstbeginns in unterschiedlichen Höhenlagen

Für die Untersuchung der Veränderung des Spätherbstbeginns in Abhängigkeit von der Höhenlage wurden die Beobachtungsstationen vier Höhenbereichen zugeordnet: unter 300m, 300 bis unter 500m, 500 bis unter 700m und 700 bis 900m (Abb. 37).

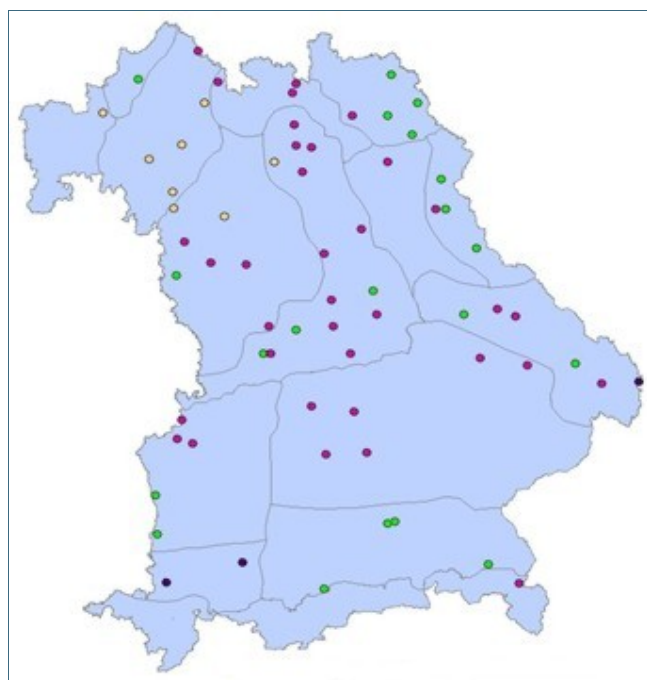


Abb. 37:  
Phänologische Stationen (**Blattverfärbung Stieleiche**) zugeordnet zu 4 Höhenlagen

gelb: unter 300m ü.NN.  
rot: 300 bis unter 500m ü.NN.  
grün: 500 bis unter 700m ü.NN.  
blau: 700 bis 900m ü.NN.

In den Abbildungen 38 bis 40 sind die mittleren Eintrittsdaten der Blattverfärbung der Stieleiche und der Trend über die 30-Jahresperioden 1961-1990 und 1981-2010 sowie für den 50-Jahres-Zeitraum 1961-2010 für Stationen unter 300 m und in 700-900m Höhe wiedergegeben.

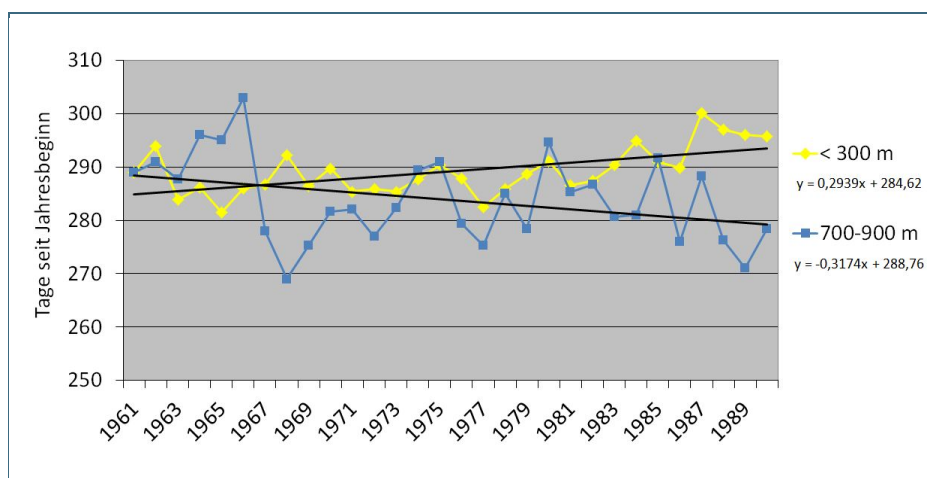


Abb. 38:  
Eintritt der Blattverfärbung der Stieleiche (Spätherbstbeginn) und Trend 1961-1990 in den Höhenlagen < 300m und 700-900m

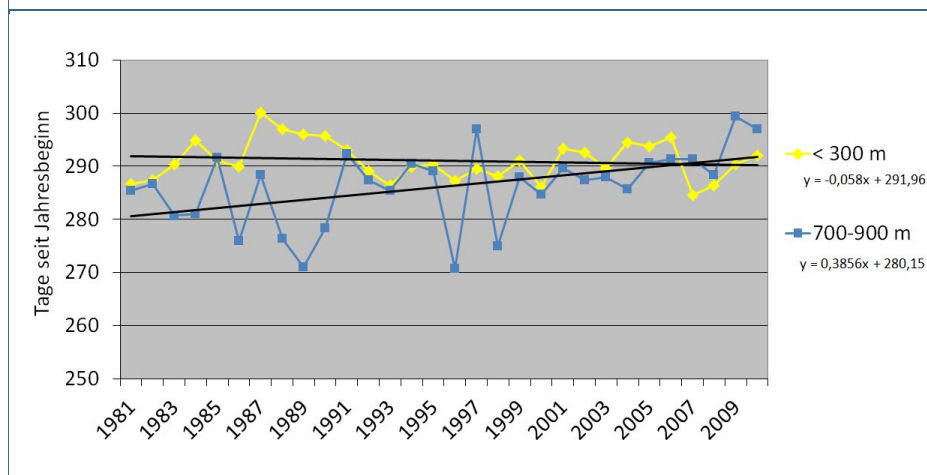


Abb. 39:  
Eintritt der Blattverfärbung der Stieleiche (Spätherbstbeginn) und Trend 1981-2010 in den Höhenlagen < 300m und 700-900m

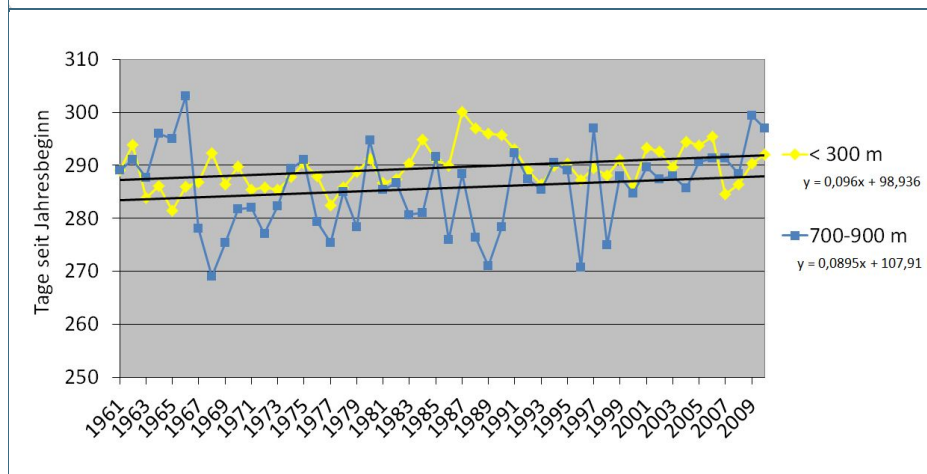


Abb. 40:  
Eintritt der Blattverfärbung der Stieleiche (Spätherbstbeginn) und Trend 1961-2010 in den Höhenlagen < 300m und 700-900m

Die Trends für die Blattverfärbung der Stieleiche weichen von den bisher betrachteten Leitphasen ab. In der klimatologischen Regelperiode 1961-1990 verläuft der Trend für die Tieflagen signifikant ansteigend, zeigt also eine zunehmende Verspätung des Spätherbstbeginns an. Für die Hochlagen sind keine signifikanten Veränderungen nachweisbar. Die Steigungen (Ausmaß der Veränderung) der beiden Trendfunktionen unterscheiden sich jedoch nicht signifikant voneinander. Das heißt, dass in der Regelperiode in den Tieflagen eine Verspätung von 2,9 Tagen pro Dekade eingetreten ist, für die Hochlagen aber weder eine gleichartige noch gegenläufige Aussage getroffen werden kann. Im Vergleichszeitraum 1981-2010 verhält es sich genau umgekehrt. Hier ist nur für die Hochlagen eine Verspätung 3,9 Tagen pro Dekade zu errechnen (Tab. 9).

Tab. 9: Trend der Blattverfärbung der Stieleiche 1961-2010 in verschiedenen Höhenlagen

	Signifikanz Trend < 300m	Veränderung des Eintrittszeitpunkts < 300m	Signifikanz Trend 700 – 900m	Veränderung des Eintrittszeitpunkts 700 - 900 m	Signifikanz der Steigungsunterschiede der Trendfunktionen
1961-1990	ja	+2,9 Tage/ Dekade	nein	- - -	nein
1981-2010	nein	- - -	ja	+3,9 Tage/ Dekade	nein
1961-2010	ja	+1,0 Tage/ Dekade	nein	- - -	nein

Aus der Gesamtbetrachtung des 50-Jahres-Zeitraums von 1961-2010 resultiert nur für die Tieflagen ein signifikanter Trend mit einer Verspätung von einem Tag pro Dekade (1961-2010 insgesamt 5 Tage). Die beiden Trendfunktionen für Tief- und Hochlagen unterscheiden sich jedoch auch hier nicht signifikant voneinander.

### 3.6 Dauer der Jahreszeiten und der Vegetationsperiode in Bayern

In den Kapiteln 3.1 bis 3.4 wurden die Eintrittsdaten des Frühlings (Haselnussblüte), des Sommers (Schwarzer Holunderblüte), des Herbstes (Fruchtreife des Schwarzen Holunders) und des Spätherbstes (Blattverfärbung der Stieleiche) analysiert.

Der Winterbeginn wird normalerweise mit dem Blattfall der Bäume assoziiert. Daten zum Blattfall der Stieleiche, der Leitphase für den phänologischen Winterbeginn, sind aber erst seit 1991 beim DWD vorhanden, da der Blattfall in den alten Bundesländern davor nicht beobachtet wurde. Der DWD berechnet deshalb den Beginn des Blattfalls der Stieleiche für den Zeitraum der klimatologischen Referenzperiode anhand des zeitlichen Abstands zwischen Blattverfärbung und Blattfall der Stieleiche zwischen 1991 und 2010. Ein möglicher Einfluss des Klimawandels auf diesen Abstand bleibt dabei allerdings wegen des kurzen Zeithorizonts unbeachtet. Die Trendanalyse für die Stieleiche (Abb. 41) deutet jedoch auf eine Verkürzung des Zeitraumes zwischen Blattverfärbung und Blattfall in Bayern um ca. einen Tag/Dekade im Zeitraum 1991-2010 hin. Dieser Trend ist statistisch nicht signifikant, zeigt aber, dass ein Klimaeinfluss nicht gänzlich auszuschließen ist.

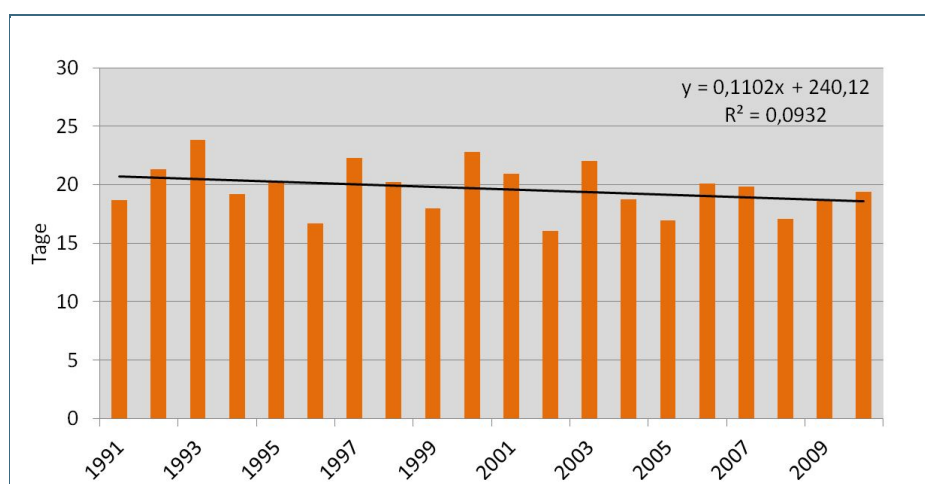


Abb. 41:  
Tage zwischen Blattverfärbung und Blattfall der Stieleiche von 1991-2010

Um diese Problematik zu umgehen, wird alternativ die **Blattverfärbung der Stieleiche als Indikator für das Ende der Vegetationsperiode** bzw. den Beginn der Vegetationsruhe verwendet. Stoffwechselphysiologisch ist dies auch begründet, da Bäume am Ende ihrer Vegetationszeit die zur Photosynthese notwendigen Blattfarbstoffe abbauen.

Unter diesen Annahmen lassen sich die Dauer des phänologischen Frühlings, Sommers, Herbstes und Winters sowie aus der Summe der ersten drei Jahreszeiten die Dauer der Vegetationsperiode errechnen.

Die Vegetationsperiode von Frühlingsbeginn bis Beginn der Vegetationsruhe ist für alle Jahre von 1961-2010 in Abbildung 42 dargestellt. 1963 trat mit 189 Tagen die kürzeste, 2007 mit 255 Tagen die längste Vegetationsperiode auf.

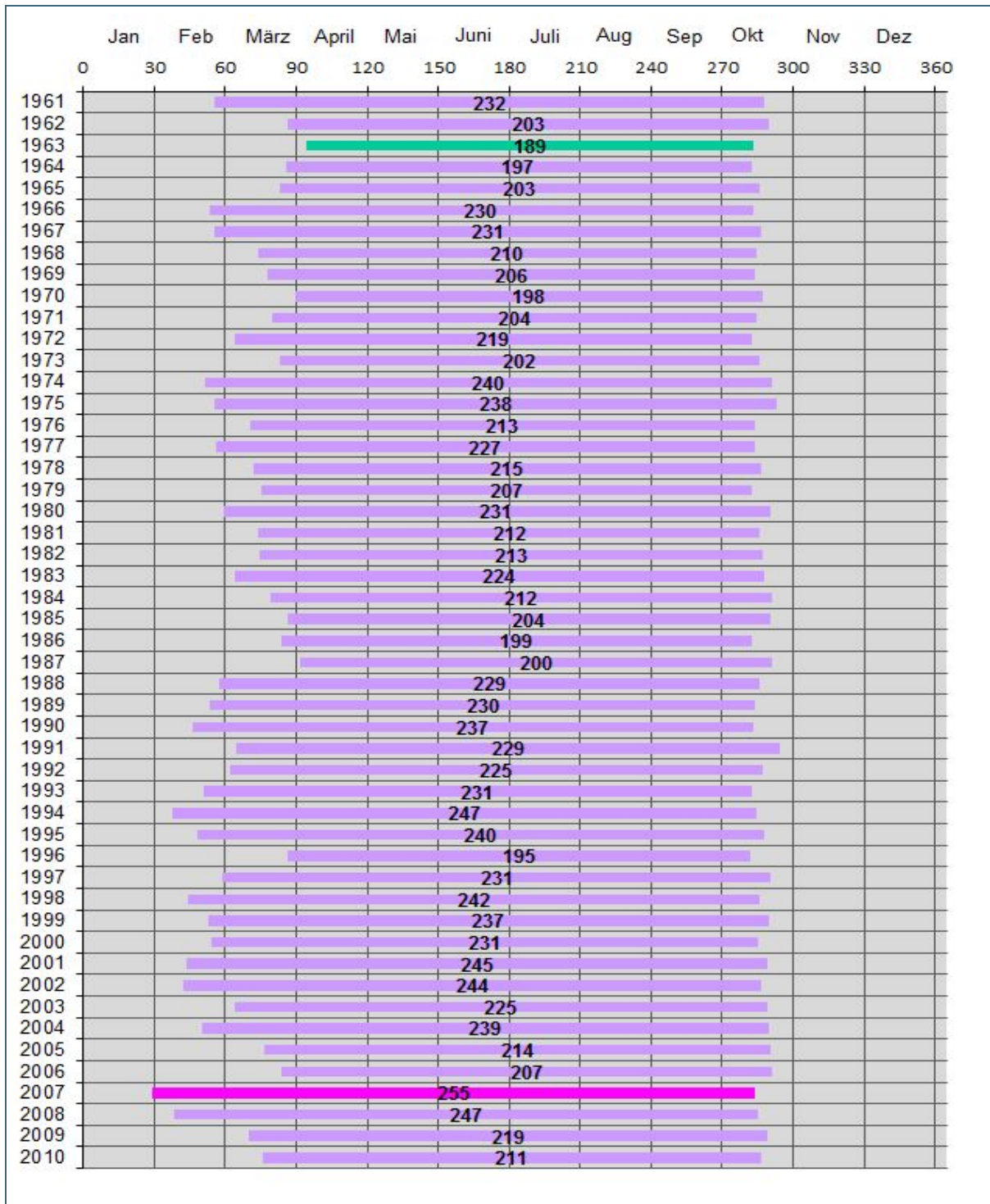


Abb. 42: Vegetationsperioden 1961-2010 in Bayern: Beginn, Dauer (Tage) und Ende (Beginn = Frühling, Haselnussblüte; Ende = Spätherbst, Blattfärbung der Stieleiche); roter Balken=längste Vegetationsperiode (2007), grüner Balken=kürzeste Vegetationsperiode (1963)

Der Trend über den 50-Jahres-Zeitraum von 1961 bis 2010 zeigt eine mittlere Ausdehnung der Vegetationsperiode um 5,1 Tage pro Jahrzehnt, also insgesamt fast 26 Tage. Der Trend ist statistisch höchst signifikant (Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner 0,1%, Abbildung 43). Wie die Streuung der Vegetationsdauer von Jahr zu Jahr zeigt, können für Folgejahre, wie bei allen hier berechneten Trends keine konkreten Vorhersagen getroffen werden.



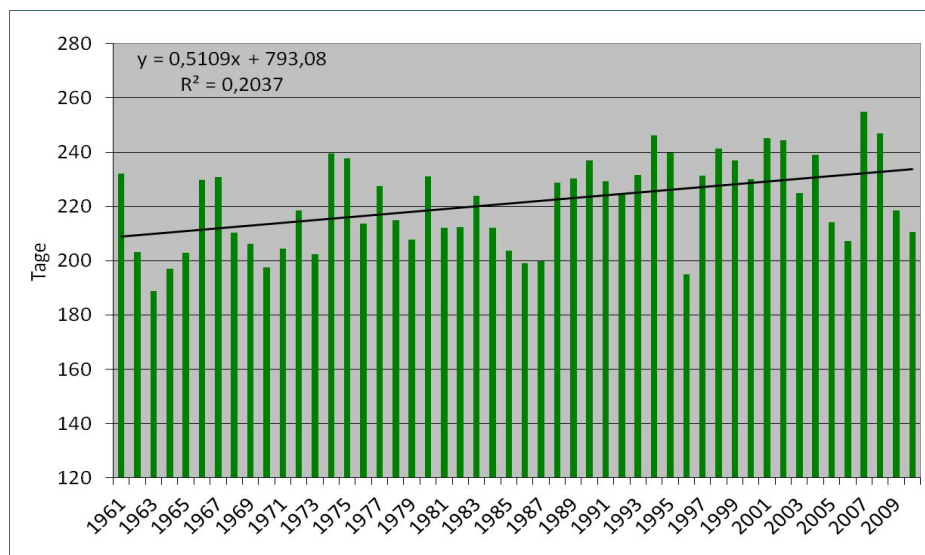


Abb. 43:  
Dauer der Vegetations-  
periode in Bayern  
Trend 1961-2010

Tab. 10: Dauer der phänologischen Jahreszeiten

	Eintrittszeitpunkt (Tage seit Jahresbeginn)	mittlere Dauer (Tage, auf ganze Zahlen gerundet)	Unterscheidet sich die mittlere Dauer im Zeitraum 1961-1990 von der zwischen 1981-2010 signifikant?
<b>Frühling</b>			
<b>1961-1990</b>	71	<b>89</b>	<b>nicht signifikant</b>
<b>1981-2010</b>	62	<b>91</b>	
1961-2010	65	91	
<b>Sommer</b>			
<b>1961-1990</b>	160	<b>88</b>	<b>nicht signifikant</b>
<b>1981-2010</b>	153	<b>87</b>	
1961-2010	156	88	
<b>Herbst</b>			
<b>1961-1990</b>	248	<b>38</b>	<b>höchst signifikant Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner 0,1%</b>
<b>1981-2010</b>	240	<b>47</b>	
1961-2010	244	43	
<b>Vegetationsruhe (Winter)</b>			
<b>1961-1990</b>	286	<b>150</b>	<b>hoch signifikant Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner 1%</b>
<b>1981-2010</b>	287	<b>139</b>	
1961-2010	287	144	
<b>gesamte Vegetationsperiode</b>			
<b>1961-1990</b>		<b>215</b>	<b>hoch signifikant Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner 1%</b>
<b>1981-2010</b>		<b>225</b>	

Im Vergleich zur klimatologischen Referenzperiode 1961-1990 blieben im Zeitraum 1981-2010 Frühling und Sommer im Mittel annähernd gleich lang während der Herbst 9 Tage länger dauerte und der Winter 11 Tage kürzer wurde (Tab. 10). Die mittlere Dauer der Vegetationsperiode im Zeitraum 1961-1990 betrug insgesamt 215 Tage, im Zeitraum 1981-2010 waren es 225 Tage. Diese Verlängerung der Vegetationsperiode ist hoch signifikant und durch die Verlängerung des Herbstes bedingt (Abweichungen der Zahlen sind rundungsbedingt).

## 4 Zusammenfassung

Jahreszeitlich wiederkehrende Erscheinungen von Pflanzen, wie Blüte, Fruchtreife oder Blattverfärbung, definiert als phänologische Phasen, reagieren auf Veränderungen des Klimas. Das Klima in Bayern hat sich im Untersuchungszeitraum von 1951-2010 verändert. Die durchschnittlichen Jahresmittelwerte der Lufttemperatur liegen in der klimatologischen Regelperiode 1961-1990 bei 7,5°C und 1981-2010 bei 8,4°C (Quelle: DWD).

Gleichzeitig beobachten wir in den letzten 60 Jahren Verschiebungen der phänologischen Phasen als Indikatoren für die Jahreszeiten:

- Im Zeitraum vom 1981-2010 beginnen im Vergleich zur klimatologischen Regelperiode von 1961-1990 die phänologischen Phasen für den Frühlings-, Sommer- und Herbstbeginn durchschnittlich 9, 7 bzw. 8 Tage früher.
- Die signifikanten Trendverläufe über den 50-Jahres-Zeitraum 1961-2010 zeigen bei starken jährlichen Schwankungen als Differenz zwischen 2010 und 1961 Verfrühungen des Frühlings um ca. drei Wochen und je zweieinhalb Wochen bei Sommer- und Herbstbeginn. Die jährlichen Schwankungen zeigen, dass natürlich auch künftig, trotz Trend zur Verfrühung, Jahreszeiten verspätet eintreten werden.
- Der Eintritt des Spätherbstes bzw. der Vegetationsruhe, gekennzeichnet durch die Blattverfärbung der Stieleiche, zeigt im Zeitraum 1961-2010 keine signifikanten Veränderungen.

Verschiedene Höhenlagen weisen unterschiedliche Tendenzen der phänologischen Phasen auf:

- So zeigt der Trend für den Frühlingsbeginn im Zeitraum 1981-2010 in Tieflagen unter 300m durchschnittlich eine Verfrühung von 6,3 Tagen pro Dekade, also insgesamt 19 Tagen, während in Lagen zwischen 700 und 900m keine Veränderung nachzuweisen ist.
- Das Ende der Vegetationsperiode (Spätherbstbeginn, Blattverfärbung der Stieleiche) verschob sich von 1961-1990 nur in Tieflagen unter 300m um 2,9 Tage/Dekade, also insgesamt knapp 9 Tage, nach hinten, 1981-2010 dagegen nur in den Hochlagen von 700 – 900 m um 3,9 Tagen pro Dekade, also insgesamt knapp 12 Tage.

Die Vegetationsperiode von Frühlingsbeginn bis Herbstende dehnt sich aus:

- Der höchst signifikante Trend für den 50-Jahres-Zeitraum 1961-2010 weist eine Verlängerung um insgesamt 26 Tage aus.
- Die mittlere Dauer der Vegetationsperiode im aktuellen Vergleichszeitraum 1981-2010 betrug 225 Tage gegenüber 215 Tagen in der klimatologischen Regelperiode von 1961-1990.

Die sogenannte **phänologische Uhr** (Abb. 44) veranschaulicht den Vergleich der phänologischen Jahreszeiten in der klimatologischen Regelperiode 1961-1990 und dem Zeitraum 1981-2010. In ihr werden die jeweiligen Mittelwerte für Anfang, Ende und Dauer der vier Jahreszeiten im Kalenderjahr dargestellt.

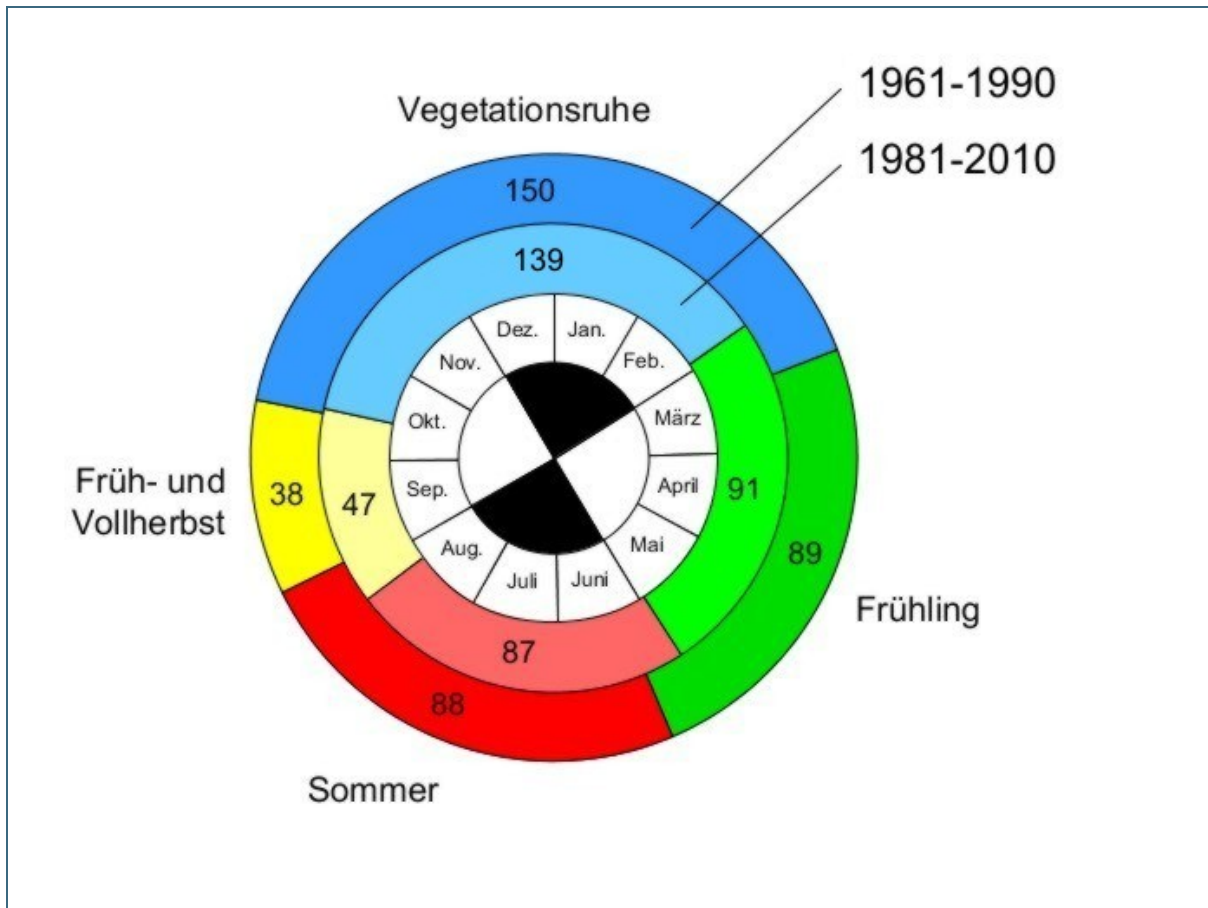


Abb. 44: Phänologische Uhr für die vier Jahreszeiten 1961-1990 und 1981-2010  
 (Die Werte für 1981-2010 ergeben durch Rundungen anstatt 365 nur 364 Tage)

## 5 Literatur

DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD), Nationale Klimaüberwachung, Offenbach  
<http://www.dwd.de/phaenologie> (Stand 24.02.2014)

DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD), Zeitreihen von Gebietsmitteln: Ausgabe der Mitteltemperatur für die einzelnen Bundesländer und Deutschland (gesamt), Online-Abuf am 25.02.2014

GEBHARD, H., RAMMERT, U., SCHRÖDER, W., WOLF, H. (2010): Klima-Biomonitoring: Nachweis des Klimawandels und dessen Folgen für die belebte Umwelt. In: Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung 22 : 7-19.

GENßLER, L. PEICHL, U., RAMMERT, U. (2011): Arbeitskreis Bioindikatoren/Wirkungsermittlung der Landesanstalten und –ämter: Konzeption der künftigen Aufgabenbereiche. In: Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, Nr. 4/2011, S. 147-150,  
[http://www.lfu.bayern.de/umweltqualitaet/umweltbeobachtung/schadstoffe\\_luft/arbeitskreis/doc/arbeitskreis.pdf](http://www.lfu.bayern.de/umweltqualitaet/umweltbeobachtung/schadstoffe_luft/arbeitskreis/doc/arbeitskreis.pdf)

STREITFERT, A. & L. GRÜNHAGE (2009): Klimawandel und Pflanzenphänologie in Hessen. In: INKLIM 2012 Baustein II plus. Institut für Pflanzenökologie, Gießen.

