

# Phänologische Veränderungen wild wachsender Pflanzen in Sachsen-Anhalt 1962-2005

Andrea KOLODZIEJ und Manfred FRÜHAUF

7 Abbildungen und 3 Tabellen

## Abstract

KOLODZIEJ, A.; FRÜHAUF, M.: Phenological changes of wild-growing plants in Saxony-Anhalt 1962-2005. – *Hercynia N.F.* 41 (2008): 23–37.

During the last decades (1962-2005) massive significant changes in plant growing turned out in Saxony-Anhalt. In general spring events (leafing, flowering) showed the largest changes. With rising temperatures during the year and the decrease of monthly temperature fluctuations, the intensity of changes in plant growing takes off. These changes are closely related to the strong temperature increase of late winter months until early spring in this period (s. a.), through which the onsets of the phenological phases/events are meanwhile much earlier in the year. On the other hand a milder late summer delayed leaf colouring in autumn. Spring and summer events significant depend on air temperatures of one till three months before timing. For example flowering of *Salix caprea* begins 20 days earlier in reaction of a warmer February and March. Mild autumn temperatures (August and September) delayed leaf colouring of *Quercus robur* in average of seven days. All in all, plants in Saxony-Anhalt showed therefore reactions on climate change. Warmth speeds up plant growing clearly and most of all increasing temperatures left out to earlier onsets of phenological phases and to an extraordinary extension of the thermal growing-season (nearly about four weeks). This leads plants up to sensitive signs for climate change and environmental changes (CHMIELEWSKI et al. 2004, DONNELLY et al. 2006, DEFILA & MÜLLER-FERCH 2003). A further temperature increase, already predicted by the IPCC (2001) may be the most intensive climate warming since millions of years. Consequences will rise especially in view of natural function of ecosystems, biodiversity, forests, agricultural plants and human civilisation (CHMIELEWSKI et al. 2004).

*Key words:* Phenology (onsets), growing-season, climate change, temperature dependence, Saxony-Anhalt.

## 1 Einführung und Zielstellung

Phänologische Beobachtungen zählen zu den sensibelsten Indikatoren hinsichtlich der Reaktionen von Pflanzen auf klimatische Bedingungen und deren Änderungen (CHMIELEWSKI & RÖTZER 2000). Die Pflanzenentwicklung ist dabei vor allem von variablen Parametern, wie Temperatur (°C) oder dem Niederschlag (mm), aber auch der Geländehöhe in m über Normalnull (NN), der geographischen Länge und Breite in Grad (°) und der Kontinentalität abhängig (HUPFER & KUTTLER 2005, SCHNELLE 1955). Die Phänologie von Wildpflanzen ist dabei besonders geeignet, natürliche Wachstumsbedingungen im Kontext der klimatischen Verhältnisse einer Region zu betrachten (DEUTSCHER WETTERDIENST 1991). Dabei stehen Zusammenhänge zwischen diesen klimatischen Einflüssen und ihren Rückwirkungen auf Wachstumserscheinungen der Pflanzenwelt wie Blüte, Blattentfaltung, Früchte, Blattverfärbung oder Blattfall im jahreszeitlichen Ablauf im Mittelpunkt des Interesses (HUPFER & KUTTLER 2005). Die Angabe eines phänologischen Eintrittstermins erfolgt in der Regel in Tagen nach Jahresbeginn (TnJb).

Durch den Klimawandel, vor allem dem Temperaturanstieg, ist es bereits zu Veränderungen in der Entwicklung und dem Verhalten vieler Pflanzen gekommen. Dies konnte in zahlreichen phänologischen Studien und Untersuchungen großräumig (z. B. DONNELLY et al. 2006, MENZEL et al. 2005, DEFILA & MÜLLER-FERCH 2003, ELLIS 2003, CHMIELEWSKI & RÖTZER 2000, RÖTZER & CHMIELEWSKI 2000, SPARKS et

al. 2000) als auch auf regionaler Ebene (z. B. STREITFERT 2005, STREITFERT et al. 2005, CHMIELEWSKI et al. 2004, LÜERS 2003, CHEN 1994, HUPFER & CHMIELEWSKI 1990, FABIG 2007) belegt werden. Demnach induzieren höhere Temperaturen, vor allem im späten Winter und zeitigen Frühjahr, Verfrühungen in der Blüte oder der Blättentfaltung (BISSOLLI & SCHNADT 2002, CHMIELEWSKI & RÖTZER 2000).

Da für Sachsen-Anhalt diesbezügliche Angaben, unter Berücksichtigung verschiedener Naturräume bisher nicht vorliegen, wurden im Rahmen einer Diplomarbeit (KOŁODZIEJ 2006) neun phänologische Phasen auf Änderungen ihres Eintrittstermin über den Zeitraum 1962 bis 2005 untersucht sowie deren Zusammenhänge zu klimatischen Veränderungen (v. a. Lufttemperatur) aufgezeigt. Ziel war es damit auch, einen Beitrag zum Sachstand und zur Datenbasis des regionalen Klimawandels in Sachsen-Anhalt und seiner Wirkungen zu leisten.

## 2 Datenmaterial und Untersuchungsmethoden

Die für die Problemlösungen wesentlichen phänologischen als auch klimatischen Daten wurden aus der Datenbank des Deutschen Wetterdienstes (DWD) für den Zeitraum 1962 bis 2005 zur Verfügung gestellt. Phänologische Daten liegen beim DWD basierend auf der naturräumlichen Gliederung Deutschlands vor. Diese Naturräume werden nicht nur durch einen ähnlichen Landschaftscharakter, sondern damit zusammenhängend auch durch eine durchschnittliche Höhenlage, dem Mittel der Lufttemperatur, der jährlichen Niederschlagssumme und den Eintrittsterminen der phänologischen Phasen charakterisiert. Damit können diese Naturräume als phänologisch (quasi) einheitliche Raumtypen beschrieben werden, in denen Pflanzen ähnlich auf jährliche Veränderungen der Umwelt- und Klimabedingungen reagieren (vgl. CHEN 1994).

Insgesamt standen phänologische Daten aus 35 Naturräumen in Sachsen-Anhalt für die Untersuchung zur Verfügung. Diese Beobachtungsdaten wurden zu Mittelwerten für zehn Naturraumgruppen (Abb. 3–5) verdichtet (vgl. CHMIELEWSKI & RÖTZER 2000, CHEN 1994). Das Datenmaterial setzt sich dabei aus Beobachtungsdaten von neun phänologischen Phasen entsprechend der phänologischen Jahreszeiten vom Vorfrühling bis zum Spätherbst zusammen. Als Auswahlkriterium galt, dass diese möglichst für alle Naturräume und insbesondere für den genannten Referenzzeitraum (komplett) vorliegen. Tabelle 1 enthält alle untersuchten Phasen mit den Schlüsselnummern nach der Anleitung für phänologische Beobachter des DWD (1991).

Tab. 1 Untersuchte phänologische Phasen

Tab. 1 Phenological events

Phänologische Jahreszeit	Schlüsselnr.	Pflanzenarten	Phänologische Phase
Vorfrühling	4	Sal-Weide - <i>Salix caprea</i>	Blüte
Erstfrühling	116	Löwenzahn - <i>Taraxacum officinale</i>	Blüte
Vollfrühling	13	Stiel-Eiche - <i>Quercus robur</i>	Blättentfaltung
Frühsommer	18	Schwarzer Holunder - <i>Sambucus nigra</i>	Blüte
Hochsommer	64	Sommer-Linde - <i>Tilia platyphyllos</i>	Blüte
Spätsommer	65	Heidekraut - <i>Calluna vulgaris</i>	Blüte
Frühherbst	67	Schwarzer Holunder - <i>Sambucus nigra</i>	Früchte
Vollherbst	68	Roskastanie - <i>Aesculus hippocastanum</i>	Früchte
Spätherbst	73	Stiel-Eiche - <i>Quercus robur</i>	Blattverfärbung

Bei den Klimadaten wurden Tages- oder Monatswerte der Lufttemperatur und des Niederschlags von 12 Stationen in Sachsen-Anhalt und zwei angrenzenden Stationen, Artern (Thüringen) und Leipzig-Schkeuditz (Sachsen), verwendet. Da zum Teil keine Tagesdaten vorlagen oder lückenhaft waren, wurden diese

zu Monatsmittelwerten beziehungsweise zu Monatssummen verdichtet. Für das Landesmittel wurden entsprechend die Werte der einzelnen Stationen (ohne Brocken) gemittelt. (Abb. 1).



Abb. 1 Übersichtskarte von Sachsen-Anhalt zur Lage der Klimastationen (aus KOŁODZIEJ 2006)

Fig. 1 Locations of the climatic stations

Der Zeitraum für die Pflanzenentwicklung wurde durch das manifeste Überschreiten bzw. Unterschreiten von Tagesmitteltemperaturen von 5 °C (CHMIELEWSKI 2001) in Tagen nach Jahresbeginn bestimmt. Die Differenz zwischen diesen beiden Terminen ergab die Länge der thermischen Vegetationsperiode.

Zur Darstellung der Intensität der Veränderungen in den phänologischen Phasen im Jahresverlauf wurden Phasendiagramme entwickelt.

Die Art des Zusammenhangs zwischen den klimatischen Parametern und den phänologischen Daten wurde mittels linearer Regression untersucht. Der Korrelationskoeffizient  $r$  nach PEARSON beschreibt dazu die Stärke des Zusammenhangs.

### 3 Ergebnisse

Für die Ergebnisdiskussion war die Analyse der räumlichen Differenzierung der Lufttemperatur und ihrer Veränderung im Referenzzeitraum von großer Bedeutung. Die Unterschiede in den Lufttemperaturen sind dabei in Sachsen-Anhalt vor allem durch die Topographie geprägt. Die wärmsten Gebiete sind östlich des Harzes zu finden. Der Harz stellt die kälteste Region in Sachsen-Anhalt dar. Diese Grundaussage spiegelt sich auch im Auftreten phänologischer Phasen wider. Die Abhängigkeit der Pflanzenentwicklung von der Topographie äußert sich vor allem über die Höhenabhängigkeit der Temperatur durch einen späteren Beginn der Pflanzenentwicklung mit zunehmender Höhe in späteren Eintrittsterminen. So liegen die Eintrittstermine für die Frühlings- und Sommerphasen im Harz zum Teil mehr als zehn Tage nach dem durchschnittlichen Beginn auf Landesebene.

In thermisch begünstigten Regionen, wie dem Mitteldeutschen Schwarzerdegebiet oder Teilen des Thüringer Beckens und dessen Randplatten, dem Elbe-Mulde-Tiefland und dem Sächsischen Hügelland in Sachsen-Anhalt, beginnt die Pflanzenentwicklung demgegenüber am frühesten (KOŁODZIEJ 2006, CHMIE-

LEWSKI et al. 2004). Dadurch wird in dieser, die Hierarchieebene einer Naturraumgruppe erreichenden „Großlandschaft“ auch die längste Vegetationsperiode erreicht. Dabei ist allerdings zu beachten, dass die innerhalb dieser Räume gegebene Heterogenität der Relief-/Boden-, aber auch Klimaverhältnisse (CHEN 1994), ebenso durch abweichende Entwicklungstrends für die Eintrittstermine der phänologischen Phasen nachweisbar ist.

### 3.1 Thermische Vegetationsperiode

Für die Beurteilung der phänologischen Phasen und ihrer Einflussgrößen spielt der Begriff der thermischen Vegetationsperiode (tV) eine wichtige Rolle. Sie beschreibt den Zeitraum im Jahr, der für die Entwicklung und das Wachstum von Pflanzen zur Verfügung steht (CHMIELEWSKI et al. 2004) und dauert in Sachsen-Anhalt im langjährigen Mittel (1962–2005) etwa 234 Tage. Im Mitteldeutschen Schwarzerdegebiet steht den Pflanzen, mit über 240 Tagen die meiste, im Harz mit nur 154 bis 212 Tage, die geringste Entwicklungszeit zur Verfügung.

In Sachsen-Anhalt hat sich die thermische Vegetationsperiode (Abb. 2) im Beobachtungszeitraum zwischen 1962 und 2005 um fast vier Wochen (0,6 Tage/Jahr,  $p \leq 0,01$ ) und damit auch der Zeitraum für die Pflanzenentwicklung beträchtlich verlängert (CHMIELEWSKI et al. 2004, DEFILA & FERCH 2003, LÄSSIG & MOTSCHALOW 1997, CHEN 1994). Diese zunehmende Pflanzenentwicklung wird dabei maßgeblich durch den viel früheren Beginn ( $V_B$ ) um etwa 22 Tage (0,5 Tage/Jahr) bestimmt. Im Vergleich zu Sachsen (1961–2000:  $tV = +0,22$  Tage/Jahr,  $V_B = -0,26$  Tage/Jahr; CHMIELEWSKI et al. 2004) sind diese Trends in Sachsen-Anhalt besonders stark ausgeprägt. Das Ende ( $V_E$ ) der thermischen Vegetationsperiode zeigte dagegen nur geringe Veränderungen von drei bis vier Tagen ( $p \geq 0,1$ ). In den tiefer gelegenen Regionen Sachsens-Anhalts waren diese Trends der Verlängerung wesentlich stärker ausgeprägt, als in den höheren Lagen. So ist im Harz die Länge der Vegetationsperiode fast unverändert geblieben (STREITFERT et al. 2005, CHMIELEWSKI et al. 2004). Eine mögliche Ursache ist im Zusammenhang mit dem sehr späten Beginn (Ende April bis Anfang Mai) zu sehen, da erst dann das nötige Temperaturoptimum für die Pflanzenentwicklung erreicht wird. Dies erklärt wiederum auch, dass in den übrigen Regionen eine zunehmende Erwärmung, vor allem in den ersten Monaten des Jahres, die Hauptursache für die Verlängerung der thermischen Vegetationsperiode darstellt (KOŁODZIEJ 2006). Diese Aussage wird auch durch Ergebnisse einer Studie von CHMIELEWSKI und RÖTZER (2000) gestützt, die zeigt, dass die Trends in den Verfrühungen der Vegetationsperiode Europas gut mit den Änderungen der Lufttemperatur und den Zirkulationen (NAO-Index) über Europa korrespondieren. Letzteres dokumentieren zunehmend ab den späten 80er Jahren nachweisbare positive Phasen der Nordatlantischen Oszillation (NAO), welche über Westwinde warme und feuchte Luft im späten Winter und zeitigem Frühjahr nach Mitteleuropa bringen (ebd.). Dies erklärt auch, warum die thermische Vegetationsperiode in Sachsen-Anhalt vor allem nach 1980 oftmals länger als 250 Tage dauerte, was außerordentliche Abweichungen von etwas mehr als zwei Wochen vom langjährigen Mittel (234 Tage) darstellt.

## 3.2 Veränderungen in den phänologischen Phasen

### 3.2.1 Frühling

Im Blühbeginn der Sal-Weide (*Salix caprea*, Vorfrühling) ereigneten sich unter allen Phasen in Sachsen-Anhalt die stärksten Veränderungen im Eintrittstermin (Abb. 3, links), wobei die Intensität der Verfrühung im Blühbeginn relativ homogen ausfällt und zwischen 18 Tagen (z. B. Nördliches Harzvorland, Sächsisches Hügelland) und etwa 23 Tagen (z. B. Elbe-Mulde-Tiefland, Elbtalniederung, Altmark, Mitteldeutsches Schwarzerdegebiet) liegt. Der Harz zeigt abweichend, wie auch im Beginn der thermischen Vegetationsperiode, eine geringere Verfrühung der Blüte um 11,5 Tage.

Über den gesamten Zeitraum betrug die Verfrühung im Landesmittel etwa 20 Tage (0,46 Tage/Jahr,  $p \leq 0,01$ ). Dabei zeigen sich allerdings enorme jährliche Schwankungen ( $s = 13,0$  Tage). Nach 1990 beginnt, mit Ausnahme 1996, *Salix caprea* stets vor dem 90. Tag im Jahr zu blühen. Die frühesten Blühterme werden in den Jahren 1990 (26. Februar, 57 TnJb) und 2002 (1. März, 60 TnJb) erreicht.

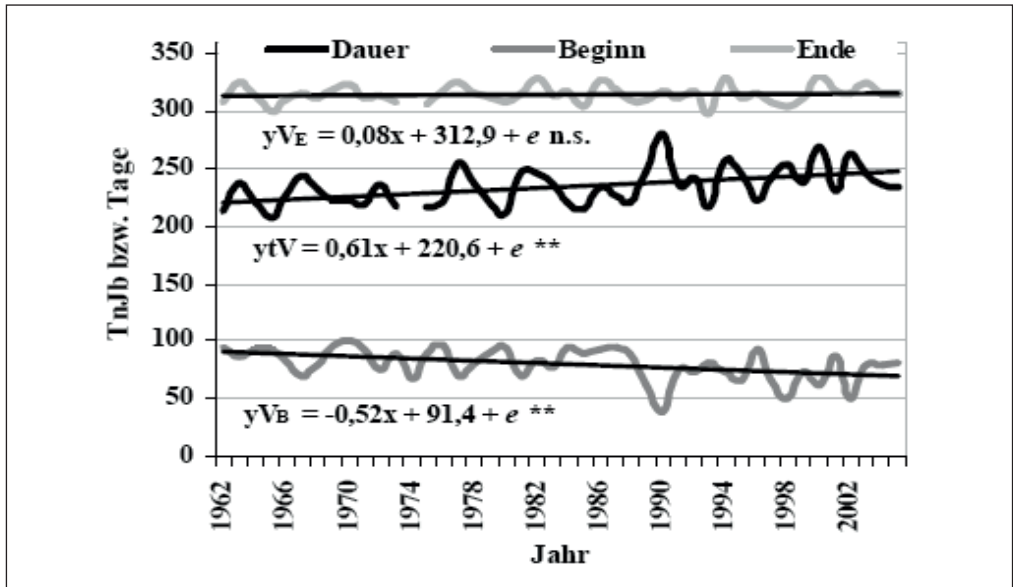


Abb. 2 Thermische Vegetationsperiode in Sachsen-Anhalt 1962–2005, Beginn ( $V_B$ ), Ende ( $V_E$ ), Dauer ( $tV$ ) (aus KOLODZIEJ 2006)

Fig. 2 Thermal growing-season in Saxony-Anhalt 1962–2005, Beginning ( $V_B$ ), ending ( $V_E$ ), length ( $tV$ )

Beim Beginn der Blüte des Löwenzahns (*Taraxacum officinale*, Erstfrühling) konnte eine Verfrüherung von 16,3 Tagen (0,37 Tage/Jahr,  $p \leq 0,001$ ) beobachtet werden. Auch hier zeigen sich weitgehend ähnliche Trends in und zwischen den einzelnen Regionen mit einem Verfrüherungstrend zwischen 14 Tagen (Fläming) und 20 Tagen (Nördliches Harzvorland). Nur der Harz, mit einer Verfrüherung von lediglich 8,4 Tagen, stellt hierbei wiederum eine Ausnahme dar.

Die Periodenmittel über den gesamten Zeitraum fallen, trotz mittlerer Schwankungen von  $s = 8,5$  Tagen, relativ konstant aus. Nach 1990 liegen die Eintrittstermine weitestgehend vor dem 112. Tag im Jahr (22. April). Der früheste mittlere Blühbeginn in Sachsen-Anhalt, am 30. März (89 TnJb) trat, wie beim Blühbeginn der Sal-Weide, im Jahr 1990 auf.

Um 0,33 Tage/Jahr ( $p \leq 0,001$ ) bzw. um 14,6 Tage über den gesamten Zeitraum hat sich der Beginn der Blättentfaltung der Stiel-Eiche (*Quercus robur*, Vollfrühling) näher zum Jahresbeginn verschoben (Abb. 3, rechts): Im nördlichen und mittleren Sachsen-Anhalt kam es dabei zu den stärksten Veränderungen (etwa 17 Tage: Mitteldeutsches Schwarzerdegebiet, Elbtalniederung bzw. 21,5 Tage: Weser-Aller-Flachland). Die Schwankungen im Eintrittstermin sind bei *Quercus robur* moderater als bei den ersten beiden Frühlingsphasen ( $s = 6,1$  Tage). Die Blättentfaltung setzt am 25. April 1999 (115 TnJb) sowie auch in den Jahren 1993 und 2000 (je am 116. Tag im Jahr) sehr früh ein.

### 3.2.2 Sommer

Unter den Sommerphasen ergab sich im Blühbeginn des Schwarzen Holunders (*Sambucus nigra*, Frühsommer) mit 17,6 Tagen (0,40 Tage/Jahr,  $p \leq 0,001$ ) der stärkste Trend einer Verfrüherung. Hierbei zeigen sich wiederum Unterschiede zwischen den Großlandschaften (Abb. 4, links). Sie liegen zwischen 13 und 15 Tage (Harz, Thüringer Becken und Randplatten, Fläming, Altmark, Elbe-Mulde-Tiefland) und bis zu 20 und 24 Tage (z. B. Sächsisches Hügelland, Nördliches Harzvorland).

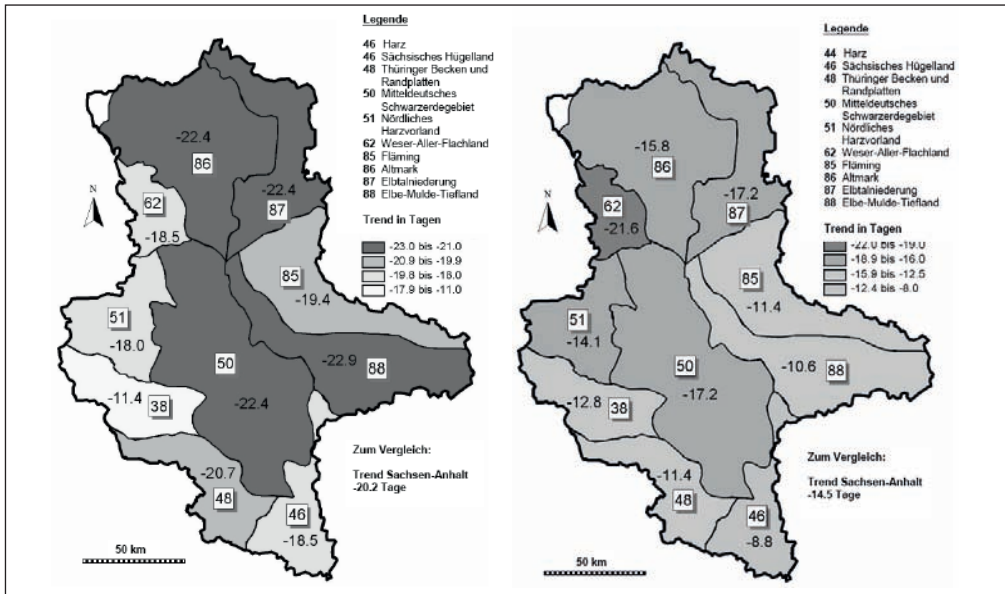


Abb. 3 Frühling: Sal-Weide *Salix caprea* (Blüte) und Stiel-Eiche *Quercus robur* (Blattentfaltung) (aus KOŁODZIEJ 2006)

Fig. 3 Spring: *Salix caprea* (flowering) and *Quercus robur* (leafing)

Auffallend ist, dass sich insbesondere ab 1990 Eintrittstermine vor dem 150. Tag im Jahr (30. Mai) häufen. In Sachsen-Anhalt war der 16. Mai 2000 (136 TnJb) im Mittel der zeitigste Blühtermin bei *Sambucus nigra*. Die Schwankungen im Eintrittstermin ( $s = 8,2$  Tage) sind in dieser Phase besonders stark ausgeprägt.

Der Entwicklungstrend für den Beginn der Blüte der Sommer-Linde (*Tilia platyphyllos*, Hochsommer) zeigt mit einer Verfrüherung von 0,22 Tagen/Jahr beziehungsweise 9,7 Tagen in 44 Jahren ( $p \leq 0,01$ ) im Vergleich mit den bisher betrachteten Phasen nur eine mäßige bis schwache Veränderung. So hat sich der Eintrittstermin in einigen Regionen nur um 3,0 bis 6,5 Tage (Harz, Thüringer Becken und Randplatten, Nördliches Harzvorland, Elbe-Mulde-Tiefland) verfrüht. In anderen Großlandschaften betragen diese (mittleren) Verfrüherungen zwischen 11 und 14,5 Tagen (Sächsisches Hügelland, Mitteldeutsches Schwarzerdegebiet, Weser-Aller-Flachland). Die Jahre 1993 und 2000 zeigten für diese phänologische Phase dabei den frühesten Eintrittstermin am 8. Juni (159 TnJb). Auch 2003 begann die Sommer-Linde sehr früh zu blühen (160 TnJb).

Zwischen 1962 und 2005 hat sich der Beginn der Blüte des Heidekrautes (*Calluna vulgaris*, Spätsommer) nicht wesentlich verändert (Abb. 4, rechts). Es kam lediglich zu einer leichten Verfrüherung von 0,11 Tagen/Jahr beziehungsweise 4,8 Tage über den gesamten Zeitraum ( $p \leq 0,01$ ). Die Veränderungen der Eintrittstermine zwischen den Großlandschaften weisen hierbei große Unterschiede auf. Die geringste Verfrüherungen wurden für das Thüringer Becken und Randplatten, das Weser-Aller-Flachland, den Harz und den Fläming (3,5 bis ~ 6 Tage), deutlichere Verfrüherungen dagegen für das Sächsische Hügelland sowie das Mitteldeutsche Schwarzerdegebiet und das Nördliche Harzvorland (10,5 bis 24 Tage) festgestellt. Nicht signifikante Verzögerungen im Eintrittstermin liegen in der Altmark, der Elbtalniederung und dem Elbe-Mulde-Tiefland vor (0,4 bis 1,3 Tage). Diese geringen Veränderungen gehen konform mit den geringen jährlichen Schwankungen ( $s = 2,9$  Tage). Aber auch hier treten die frühesten Termine der Heidekrautblüte deutlich nach 1990, oftmals schon vor dem 8. August (220 TnJb), auf.



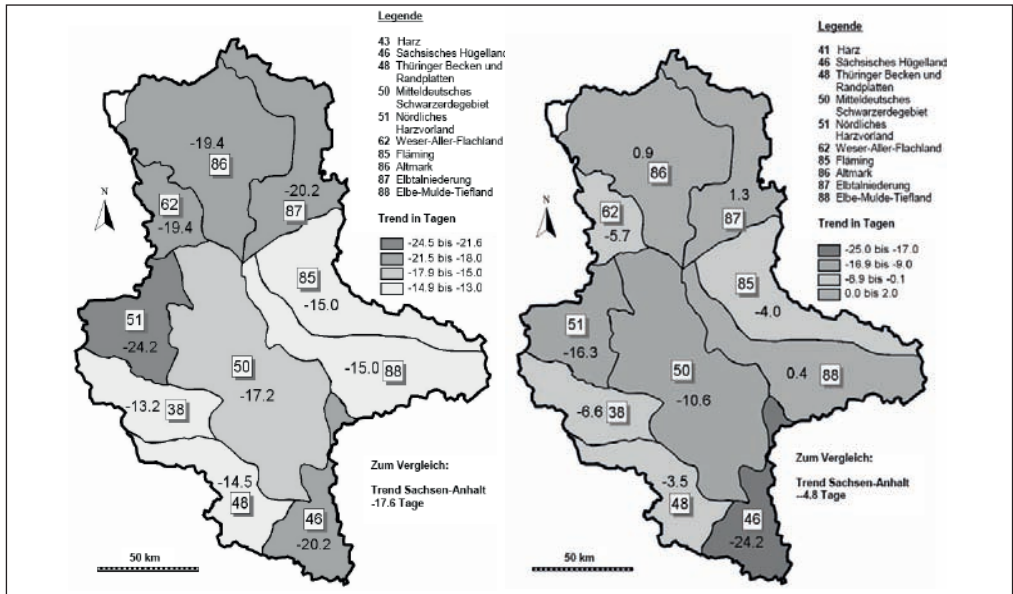


Abb. 4 Sommer: Schwarzer Holunder *Sambucus nigra* (Blüte) und Heidekraut *Calluna vulgaris* (Blüte) (aus KOLODZIEJ 2006)

Fig. 4 Summer: *Sambucus nigra* (flowering) and *Calluna vulgaris* (flowering)

### 3.2.3 Herbst

Auch für das Auftreten der ersten reifen Früchte beim Schwarzen Holunder (*Sambucus nigra*, Frühherbst) lässt sich eine erheblich stärkere Verfrühung, als bei den letzten beiden Sommerphasen (Abb. 5, links), nachweisen. Der Termin hat sich dabei um 12,3 Tage (0,28 Tage/Jahr;  $p < 0,001$ ) näher zum Jahresbeginn verschoben. Regionale Unterschiede sind teilweise beträchtlich: etwa sieben Tage (Altmark, Elbtalniederung), über zehn bis 11 Tage (Mitteldeutsches Schwarzerdegebiet, Fläming) bis zu 19 bis 21 Tage (Sächsisches Hügelland, Elbe-Mulde-Tiefland). Die frühesten mittleren Eintrittstermine liegen wiederum nach 1990 (z. B. 18. August 1993 (230 TnJb) oder am 19. August 2000) vor.

Im mittleren Auftreten der ersten reifen Früchte der Rosskastanie (*Aesculus hippocastanum*, Vollherbst) sind in Sachsen-Anhalt kaum Veränderungen eingetreten. Der Eintrittstermin verfrühte sich lediglich um vier bis fünf Tage über den Referenzzeitraum ( $p \leq 0,05$ ). Schwankungen zwischen den Regionen liegen zwischen + 4,4 Tagen (Thüringer Becken und Randplatten), über nahezu bis keine negative Veränderung (Harz, Nördliches Harzvorland, Fläming) bis zu Verfrühungen von vier bis zehn Tagen (z. B. Elbtalniederung, Mitteldeutsches Schwarzerdegebiet, Weser-Aller-Flachland). Sehr frühe Termine traten in den Jahren 1993 (12. September, 255 TnJb), 2003 (13. September) und 1998 sowie 2000 je am 14. September auf. Die jährlichen Schwankungen im Eintrittstermin mit  $s = 3,9$  Tage, waren relativ gering.

Der Eintrittstermin der Blattverfärbung der Stiel-Eiche (*Quercus robur*, Spätherbst) zeigt im Mittel einen gegenläufigen Trend über den Referenzzeitraum (Abb. 5, rechts). So tritt ein verspäteter Blattverfärbungsbeginn von ungefähr einer Woche oder 0,16 Tage/Jahr auf ( $p \leq 0,001$ ) auf. Schon ab Mitte der 80er Jahre zeigte sich, dass die Blattverfärbung der Stiel-Eiche zunehmend erst nach dem 17. Oktober (290 TnJb) einsetzte. Im Vergleich zu den vorangegangenen Phasen ergibt sich ein stark inhomogenes Bild bezüglich der Veränderung im Eintrittstermin. Das nördliche Sachsen-Anhalt weist so kaum Verzögerungen auf

(drei bis fünf Tage beziehungsweise 0,06-0,11 Tage/Jahr: Elbtalniederung, Weser-Aller-Flachland, Altmark). Demgegenüber zeigt das mittlere und südliche Sachsen-Anhalt mittlere bis starke Verzögerungen im Eintrittstermin (7,5 bis 14 Tage beziehungsweise 0,17-0,31 Tage/Jahr: v. a. Mitteldeutsches Schwarzerdegebiet, Sächsisches Hügelland, Fläming und Elbe-Mulde-Tiefland). Für den Harz wurde als einzige Region sogar eine minimale Verfrühung von zwei Tagen (-0,05 Tage/Jahr) festgestellt, wobei dieser Trend jedoch nicht signifikant ( $p \geq 0,1$ ) zu bewerten ist.

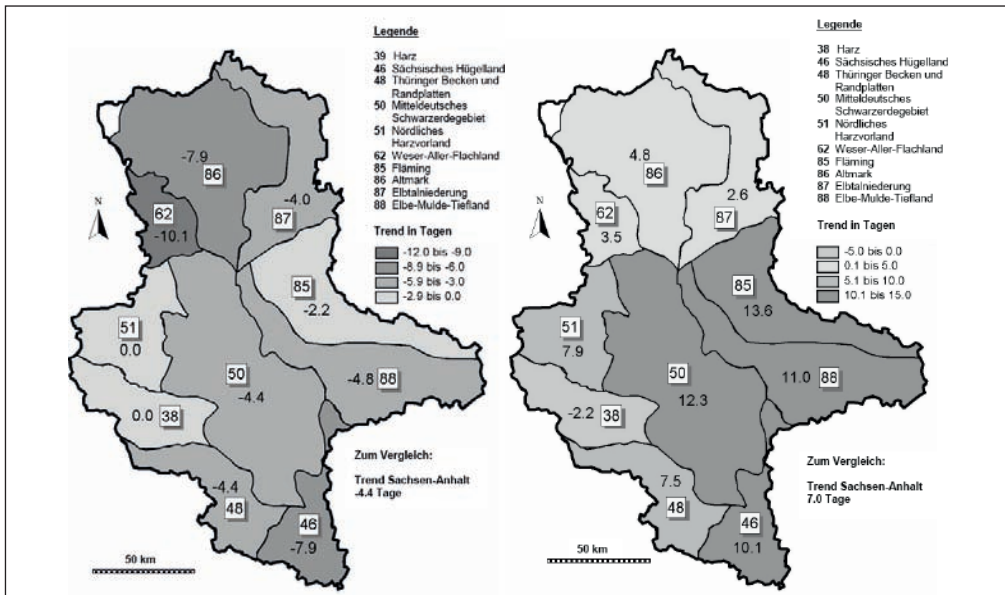


Abb. 5 Herbst: Rosskastanie *Aesculus hippocastanum* (Früchte) und Stiel-Eiche *Quercus robur* (Blattfärbung); aus KOŁODZIEJ 2006)

Fig. 5 Autumn: *Aesculus hippocastanum* (fruits) and *Quercus robur* (leaf colouring)

Darüber hinaus haben sich auch die Zeiträume zwischen den einzelnen Phasen verlängert (Tab. 2). Der Blühbeginn und das Auftreten der ersten reifen Früchte von *Sambucus nigra* zeigen einen Verfrühungstrend, der im Frühsommer prägnanter als im Frühherbst erscheint. Daraus ergibt sich eine (signifikante) Verlängerung des Zeitraums um 0,12 Tage/Jahr, obwohl im Mittel der Eintrittstermine in den einzelnen Perioden kaum Unterschiede festzustellen sind. Hierzu ist anzumerken, dass das Auftreten der ersten reifen Früchte des Schwarzen Holunders weitestgehend mit dem Trend für den Blühbeginn im Frühsommer einhergeht.

Die Ergebnisse der Untersuchung dokumentieren aber auch, dass es zu längeren Zeiträumen zwischen der Blattentfaltung der Stiel-Eiche (*Quercus robur*) und dem Blattverfärbungsbeginn kam. Ein ausgeprägter Verfrühungstrend der Frühlingsphase und die etwas moderatere gegenläufige Entwicklung im Eintrittstermin der Herbstphase führten so zur Verlängerung der Vegetationsperiode um fast 22 Tage über die letzten Jahrzehnte (0,49 Tage/Jahr,  $p \leq 0,001$ ). Auch im Vergleich der mittleren Länge der verschiedenen Phasen lässt sich diese Veränderung nachweisen. Sie betrug in den ersten Jahren der Beobachtungsperiode im Mittel noch 157 Tage und verlängerte sich dann auf 173 Tage in den letzten Jahren.



Tab. 2 Zeiträume zwischen Phasen ( $x$  = langjähriges Mittel), Trends; n.s. = ( $p \geq 0,1$ ); \* = ( $p \leq 0,05$ ); \*\* = ( $p \leq 0,01$ ); \*\*\* = ( $p \leq 0,001$ )

Tab. 2 Periods between events ( $x$  = longterm average), trends

<b>x im Zeitraum</b>	<b>1962-2005</b>	<b>1962-1972</b>	<b>1973-1983</b>	<b>1984-1994</b>	<b>1995-2005</b>	<b>Trend in Tagen</b>
Schwarzer Holunder: Blüte – Früchte	<b>90</b>	88	91	91	92	+5,3 ***
Stiel-Eiche: Blatentfaltung – Blattverfärbung	<b>164</b>	157	159	166	173	+21,6 ***

### 3.2.4 Phasendiagramm Sachsen-Anhalt

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass es zwischen 1962 und 2005 in Sachsen-Anhalt zu signifikanten Veränderungen in der Pflanzenentwicklung gekommen ist. Dies lässt sich zusammenfassend auch aus dem phänologischen Phasendiagramm ablesen (Abb. 6). Es enthält die untersuchten neun Phasen vom Vorfrühling bis zum Spätherbst und setzt sich aus den mittleren Eintrittsterminen der vier Perioden 1962–1972, 1973–1983, 1984–1994 und 1995–2005 zusammen. Eintrittstermine in Tagen nach Jahresbeginn (TnJb) sind über die y-Achse und die phänologischen Phasen entsprechend über die x-Achse definiert. Dabei wird dem Prinzip des T-Tests für gepaarte Stichproben nachgegangen, indem die Mittelwerte der Perioden miteinander verglichen werden. Die Stärke der Balken gibt somit die Intensität der Veränderungen in den Eintrittsterminen an. Aus der Abbildung wird auch deutlich, dass nahezu alle Phasen eine Verfrühung im Eintrittstermin aufweisen (schwarze Balken). Die Blattverfärbung der Stiel-Eiche im Spätherbst hat sich dagegen verzögert (weißer Balken). Es ist offensichtlich, dass der Trend zu früheren Eintrittsterminen in den ersten Phasen am prägnantesten ist. Bei der Heidekrautblüte im Spätsommer und im Auftreten der ersten reifen Früchte der Rosskastanie sind demgegenüber kaum Veränderungen zu erkennen. Der stärkste Trend ist hierbei für die ersten Abschnitte im Frühling, Sommer oder Herbst nachweisbar. Die Intensität dieses Entwicklungstrends der Eintrittstermine nimmt dabei im Jahresverlauf ab. Im Spätherbst tritt sogar eine Verspätung im Phasenbeginn auf.

Aus den Hinweisen über die Periode mit dem spätesten bzw. den frühesten Eintrittstermin wird erkennbar, dass in den ersten Phasen der späteste mittlere Termin für die ersten Jahren (1962–1972) und der früheste für den vierten Zeitabschnitt (1995–2005) belegbar wird. Für die Spätherbstphase gilt entgegengesetztes. Auch regionale Unterschiede werden diesbezüglich sichtbar (KOŁODZIEJ 2006).

Die hieraus erkennbaren Veränderungen in der Pflanzenentwicklung lassen folgende Schlüsse zu:

In den verschiedenen Jahreszeiten reagieren die Pflanzen der unterschiedlichen Höhenlagen differenziert auf Temperaturänderungen. Die Frühjahrsphasen erweisen sich dabei auch in Sachsen-Anhalt am sensibelsten im Hinblick auf die Temperaturzunahme. Hierbei kommt den Temperaturvariabilitäten der Winter- und der ersten Frühlingsmonate eine besondere Bedeutung zu. Hier liegen die Temperaturen zumeist im Mittel noch unter dem pflanzenspezifischen Optimum, wodurch die Pflanzen im stärkeren Maße auf Schwankungen reagieren (CHMIELEWSKI et al. 2004). Dies kommt im Besonderen auch in den starken jährlichen Abweichungen vom langjährigen Mittel der Eintrittstermine (Standardabweichung  $s$ ) zum Ausdruck. Die Herbstphasen lassen demgegenüber nur moderate Veränderungen sichtbar werden. Diese variieren zwischen den verschiedenen Naturräumen Sachsen-Anhalts und sind dabei auch weniger einheitlich stark ausgeprägt, als die Veränderungen im Frühjahr (KOŁODZIEJ 2006, MENZEL et al. 2005, SPARKS et al. 2000, CHMIELEWSKI & RÖTZER 2000). In einigen Regionen kam es im Spätherbst zu sehr deutlichen Verzögerungen (Mitteldeutsches Schwarzerdegebiet, Sächsisches Hügelland, Fläming, Elbe-Mulde-Tiefland), in anderen dagegen kaum zu Veränderungen (Elbtalniederung, Altmark). Eine Verfrühung im Beginn der Blattverfärbung trat allerdings nur im Harz auf. Diese Tendenz deckt sich mit Beobachtungen in anderen Mittelgebirgen (STREITFERT 2005). Ursächlich spielen hierbei Zusammenhänge zur

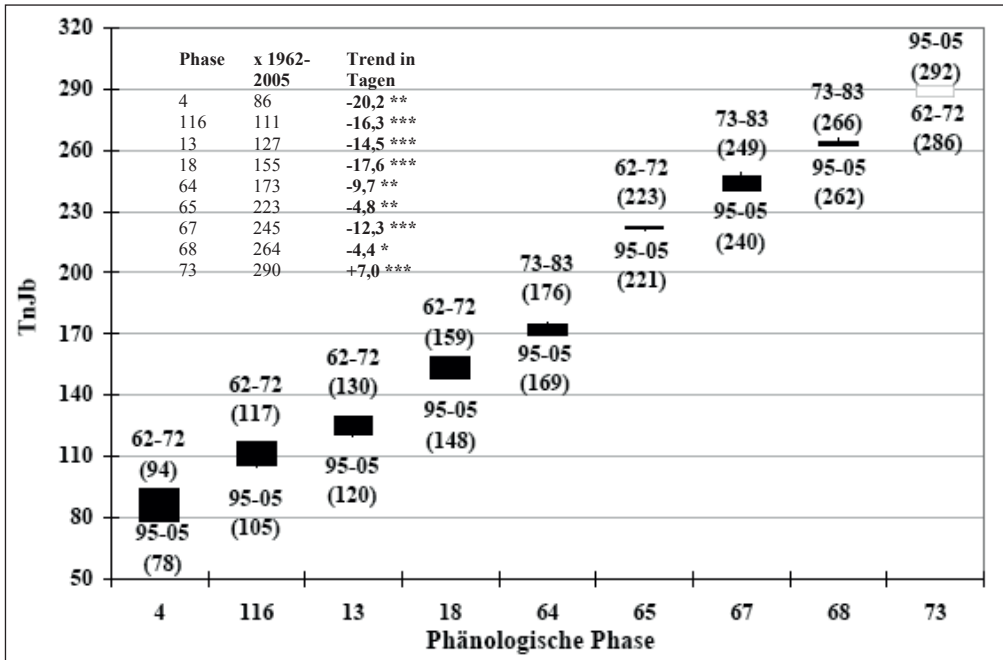


Abb. 6 Phänologisches Phasendiagramm Sachsen-Anhalt (aus KOŁODZIEJ 2006)

Fig. 6 Phenological diagram Saxony-Anhalt

Form der negativen Temperaturentwicklungen der Mittelgebirge im Herbst (Bsp. Brocken: Oktober) eine bisher allerdings nicht näher bekannte Rolle (KOŁODZIEJ 2006).

Geographische Unterschiede werden hierbei vor allem durch den Einfluss der Meereshöhe auf die Phänologie und deren Veränderungen sichtbar. Am deutlichsten zeigen sich diese, im Mittel etwa zwei Wochen, im Um-/Vorland des Harzes, d. h. dem Mitteldeutschen Schwarzerdegebiet, Sächsischen Hügelland, Nördlichen Harzvorland und Weser-Aller-Flachland. Im Harz selbst sind die geringsten Veränderungen in den Eintrittsterminen nachzuweisen. Sie betragen durchschnittlich nur sieben bis acht Tage. Hier werden entwicklungsfördernde Temperaturen für das Einsetzen der Pflanzenentwicklung trotz des Temperaturanstiegs der Wintermonate noch nicht so oft bzw. erst später im Jahr erreicht.

## 4 Zur Abhängigkeit der phänologischen Phasen von den klimatischen Parametern

### 4.1 Klimatische Veränderungen in Sachsen-Anhalt

Die eigenen Recherchen ergaben Hinweise darauf, dass sich auch in Sachsen-Anhalt das Klima in den letzten Jahrzehnten sehr deutlich verändert hat. Im Betrachtungszeitraum (1962 bis 2005) erhöhte sich die mittlere Jahreslufttemperatur um 1,5 °C. Besonders seit den späten 80er Jahren ist eine auffällige Häufung hoher Jahresmitteltemperaturen nachweisbar. Es traten auch erstmals Jahresmitteltemperaturen von über 9,5 °C in Sachsen-Anhalt auf. In den letzten Jahren, vor allem zwischen 1995 und 2005, lag die Jahreslufttemperatur durchschnittlich 0,5 °C über dem langjährigen Mittel der beobachteten Jahre. Dabei zeigt sich in den letzten 20 Jahren eine deutlich stärkere Erwärmung im Winter als im Sommer (CHMIELEWSKI 2001,

IPCC 2001). Hier spielt eine erhöhte Häufigkeit von winterlichen zonalen Wetterlagen, die milde ozeanische Luft nach Deutschland bringen (UBA, 2005, CHMIELEWSKI & RÖTZER, 2000), eine wesentliche Rolle. Dies führte wiederum auch zu Veränderungen im Auftreten von extremen Temperaturereignissen. So lässt sich eine Abnahme von Kälteereignissen, wie Frost- und Eistagen (u. a. hat sich die Zahl der Spätfrosttage von Januar bis Mai 1962–2005 verringert), aber ebenso eine Zunahme der Lufttemperaturmaxima belegen. Die Niederschläge haben sich in diesem Zeitraum über das Jahr hinweg umverteilt. So sind zwischen 1962 und 2005 deutliche Zunahmen der Winter-, teilweise auch der Herbstniederschläge nachweisbar. Demgegenüber ist der Vorsommer (April–Juni) trockener geworden. Diese Entwicklung ist östlich des Harzes weniger stark ausgeprägt, als in den übrigen Regionen Sachsen-Anhalts. In der Entwicklung der Jahresniederschlagssummen zeichnete sich allgemein eine moderate Zunahme von rund 41,7 mm über die letzten Jahrzehnte (0,95 mm/Jahr) ab.

#### 4.2 Zur Korrelation phänologischer und klimatischer Parameter

Stoffwechselfprozesse von Pflanzen sind in starkem Maße von den Temperaturverhältnissen abhängig. Sie können durch die Zunahme der Temperatur beschleunigt oder auch erst in Gang gesetzt werden. Das Eintreten der Frühjahrs- und einiger Sommerphasen wird vor allem von der Temperatur der vorangegangenen ein bis drei Monate beeinflusst. Auch die Sommer- und die ersten Herbstphasen (v. a. Fruchtreifephase) zeigen ebenso Abhängigkeiten von den Frühlingstemperaturen. Die herbstliche Laubverfärbung kann allerdings durch recht warme Spätsommer verzögert oder aber auch durch hohe Temperaturen im Mai und Juni verfrüht werden. (Tab. 3; KOŁODZIEJ 2006, MENZEL et al. 2005, CHMIELEWSKI et al. 2004, MENZEL 2003b). Hierfür spielen aber auch Einflüsse, wie Bodenfeuchte, Trockenheit oder Luftschadstoffe eine Rolle, die aber im Einzelnen noch nicht näher bestimmt wurden.

Zudem kehrt sich im Spätherbst der Temperatureinfluss auf die pflanzliche Entwicklung um: hohe Temperaturen halten dann physiologische Prozesse noch länger aufrecht (HUPFER & CHMIELEWSKI 1990) während niedrigere Temperaturen allmählich die Ruhephase einleiten.

In Tabelle 3 sind die Korrelationskoeffizienten zwischen den phänologischen Phasen sowie den Lufttemperaturmitteln von Sachsen-Anhalt (Mittel aus zwei bis drei zusammengefassten Monaten), den Niederschlägen aber auch der Spätfrosthäufigkeit ersichtlich.

Die Untersuchungen zeigen signifikante Zusammenhänge zwischen den Eintrittsterminen der phänologischen Phasen und der Lufttemperatur auf. Für die ersten acht Phasen ergeben sich dabei negative Regressionen, wobei sich bei höheren Temperaturen die Eintrittstermine verfrühen. Je wärmer der Spätsommer bzw. der Frühherbst ausfällt, desto mehr verzögern sich die Eintrittstermine.

Für den Eintritt der Frühjahrs- und Sommerphasen ist vor allem die Lufttemperatur bis zu drei Monate vor Beginn der Pflanzenentwicklung ausschlaggebend. Dies erklärt wiederum auch die Varianzen der verschiedenen Eintrittstermine. Bei den Frühjahrs- und Sommerphasen werden die Eintrittstermine bis 85 % durch die vorangegangenen Monatstemperaturen bestimmt (Deutschland bis zu 90 % in MENZEL 2003a). Die ersten beiden Herbstphasen zeigen ebenso Abhängigkeiten von den späten Frühjahrs- beziehungsweise Vorsommertemperaturen der Monate April bis Juni, wobei diese jedoch im Wesentlichen mit den Trends des jeweiligen Blühbeginns einhergehen (s. o.). Mit steigenden Temperaturen im Jahresverlauf bis Mai oder Juni nähert sich die mittlere Lufttemperatur dem Optimum für die Pflanzenentwicklung an. Dadurch kommt es in den folgenden Monaten, etwa ab Juni, zu weniger merklichen Reaktionen der Pflanzen auf Temperaturänderungen (CHMIELEWSKI et al. 2004).

Die Temperaturabhängigkeit der Pflanzenentwicklung wird besonders am Beispiel der Sal-Weide (*Salix caprea*) deutlich. Sie weist in Sachsen-Anhalt die stärksten Veränderungen auf. Mit dem Anstieg des Lufttemperaturmittels der Monate Februar und März verfrühte sich der Blühbeginn gravierend (Abb. 7). Extrem frühe Termine traten vor allem ab den späten 80er Jahren auf. Seitdem sind fast alle Jahre, im Vergleich zum langjährigen Mittel der Lufttemperaturen, zu warm gewesen. Eine Ausnahme bildet lediglich 1996, wo der strenge Winter die Eintrittstermine in Deutschland und auch in Sachsen-Anhalt im Früh-

Tab. 3 Korrelationskoeffizienten der phänologischen Phasen in Abhängigkeit von Lufttemperaturmittel, Niederschlägen und Spätfrösten (aus KOŁODZIEJ 2006)

Tab. 3 Correlation coefficients of phenological events in dependence of air temperature, precipitation, late frost

		Phänologische Phase								
		4	116	13	64	65	67	68	73	
<b>Lufttemperatur Mittel</b>										
Januar bis Februar	r	-0,763	-0,709	-0,440	-0,500	-0,188	-0,340	-0,305	-0,133	0,127
	Sign.	***	***	***	***	n.s.	*	*	n.s.	n.s.
Januar bis März	r	-0,859	-0,813	-0,481	-0,580	-0,262	-0,478	-0,371	-0,175	0,126
	Sign.	***	***	***	***	*	***	**	n.s.	n.s.
Februar bis März	r	-0,903	-0,835	-0,459	-0,578	-0,300	-0,498	-0,388	-0,177	0,065
	Sign.	***	***	***	***	*	***	**	n.s.	n.s.
Februar bis April	r	-0,890	-0,887	-0,636	-0,703	-0,432	-0,565	-0,541	-0,311	0,056
	Sign.	***	***	***	***	***	***	***	*	n.s.
März bis April	r	-0,735	-0,840	-0,728	-0,777	-0,574	-0,719	-0,666	-0,448	0,052
	Sign.	***	***	***	***	***	***	***	***	n.s.
März bis Mai	r	-0,690	-0,772	-0,775	-0,907	-0,803	-0,844	-0,816	-0,703	-0,051
	Sign.	***	***	***	***	***	***	***	***	n.s.
April bis Mai	r	-0,280	-0,408	-0,769	-0,817	-0,870	-0,649	-0,844	-0,854	-0,154
	Sign.	*	**	***	***	***	***	***	***	n.s.
April bis Juni	r	-0,217	-0,298	-0,668	-0,766	-0,920	-0,684	-0,850	-0,922	-0,280
	Sign.	(*)	*	***	***	***	***	***	***	*
Mai bis Juni	r	-0,188	-0,167	-0,419	-0,629	-0,849	-0,663	-0,703	-0,863	-0,334
	Sign.	n.s.	n.s.	**	***	***	***	***	***	*
Mai bis Juli	r	-0,256	-0,193	-0,425	-0,588	-0,736	-0,696	-0,656	-0,696	-0,120
	Sign.	*	n.s.	**	***	***	***	***	***	n.s.
August bis September	r	-0,469	-0,445	-0,313	-0,337	-0,287	-0,467	-0,335	-0,107	0,576
	Sign.	***	***	*	*	*	***	*	n.s.	***
<b>Niederschlagssummen</b>										
April bis Juni	r						0,129	0,192	-0,185	
	Sign.						n.s.	n.s.	n.s.	
Juni bis August	r						-0,144	-0,066	-0,264	
	Sign.						n.s.	n.s.	*	
August bis September	r						-0,104	-0,115	-0,264	
	Sign.						n.s.	n.s.	*	
<b>Spätfrosttage (Halle/Kröllwitz) und Phänologie Östliches Harzvorland</b>										
Januar bis Mai	r	0,697	0,610	0,370						
	Sign.	***	***	**						

r = Korrelationskoeffizient nach PEARSON

Signifikanz (einseitig): n.s. = nicht signifikant ( $p \geq 0,1$ ); (\*) Tendenz  $0,1 > p > 0,05$  ( $p \leq 0,1$ );

\* signifikant ( $p \leq 0,05$ ); \*\* sehr signifikant ( $p \leq 0,01$ ); \*\*\* höchst signifikant ( $p \leq 0,001$ )

Sal-Weide Blüte (4), Löwenzahn Blüte (116), Stiel-Eiche Blattentfaltung (13), Schwarzer Holunder Blüte (18), Sommer-Linde Blüte (64), Heidekraut Blüte (65), Schwarzer Holunder erste reife Früchte (67), Rosskastanie erste reife Früchte (68), Stiel-Eiche Blattverfärbung (73)

jahr verzögerte (CHMIELEWSKI et al. 2003). Die aufgezeigte Zunahme der Lufttemperaturen erklärt somit maßgeblich, wenn auch nicht ausschließlich, den Trend zu Verfrühungen in der Pflanzenentwicklung.

In diesem Kontext müssen auch Spätfröste (Frosttage definieren sich über Tagesminimumtemperaturen von unter 0 °C.) berücksichtigt werden, da ihr Auftreten ebenfalls die Phänologie im Frühling mit bestimmt. Je höher die Anzahl der Spätfrosttage zwischen Januar und Mai war, desto später lagen dabei die Eintrittstermine bei den Frühlingsphasen (KOŁODZIEJ 2006). Welche Rolle in diesem Zusammenhang die veränderten Niederschläge haben – die sich insbesondere durch eine Zunahme in den ersten Monaten des Jahres dokumentieren – ist bislang kaum bekannt.

Die nachgewiesenen geringeren Niederschläge von April bis Juni haben scheinbar nur einen geringen Einfluss auf die Pflanzenentwicklung im Herbst. Demgegenüber können eher feuchte Sommer oder Spätsommer auch verfrühte Eintrittstermine der Herbstphasen nach sich ziehen. Dabei spielt aber auch die Zunahme extremer Witterungsereignisse, wie sie in den letzten Jahren zu beobachten waren, keine geringe Rolle (Dürreperiode 2003, Jahrhundertflut an der Elbe 2002, vgl. UBA 2005, RAHMSTORF & SCHELLNHUBER 2006).

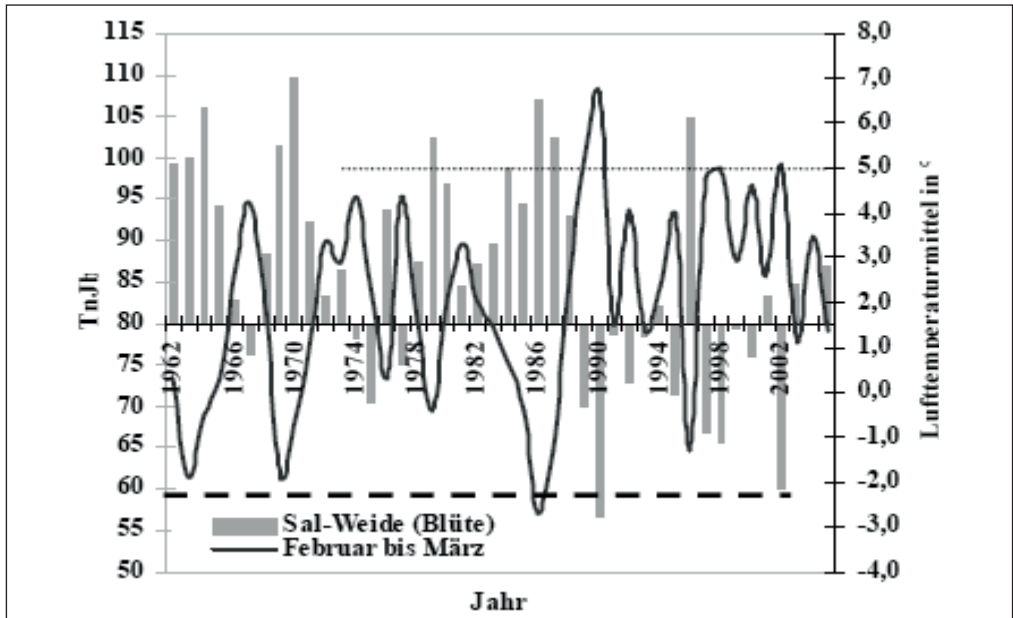


Abb. 7 Entwicklung der mittleren Lufttemperatur Februar–März und der mittlere Blühbeginn der Sal-Weide (*Salix caprea*) in Sachsen-Anhalt 1962–2005 (aus KOŁODZIEJ 2006)

Fig. 7 Coursing of air temperature (February–march) and the average onset of *Salix caprea* (flowering) in Saxony-Anhalt 1962–2005

So kann extremer Wassermangel, aber auch -überfluss die Blattverfärbung und somit auch den Laubfall früher auslösen. Hiervon abgesehen sind Verzögerungen im Beginn phänologischer Phasen im Herbst jedoch nur geringfügig durch die Niederschläge selbst erklärbar (SCHNELLE 1955).

## 5 Ausblick

Lebensvorgänge von Pflanzen wie Keimung, Stoffwechselprozesse, Fortpflanzung, Mobilität und das Verhalten werden vorrangig von der Temperatur bestimmt, da wesentliche Prozesse im Inneren der Pflanze von dieser abhängig sind. Da Pflanzen innerhalb einer ökologischen Amplitude der Standortfaktoren existieren, hat die nachgewiesene Zunahme der Temperaturen in Sachsen-Anhalt und die damit zusammenhängende Zu- oder Abnahme des Wasserangebots, die Lebensbedingungen der Pflanzen nicht nur beeinflusst, sondern auch verändert. Unterschiedliche Reaktionen der Individuen auf den Klimawandel stören zudem interspezifische Beziehungen (Konkurrenzverhalten) in den Ökosystemen. Dies wirkt sich letztendlich auch negativ auf die Biodiversität aus (ELLIS 2003, LÄSSIG & MOTSCHALOW 1997). Veränderungen innerhalb der Pflanzengesellschaften, aber in ihren Bezug zu den landschaftlichen (Raum bezogenen) Gegebenheiten sind die Folge. Hiervon sind zuallererst die Biotope der höheren Lagen betroffen (UBA 2005). Die deutschen Mittelgebirge, darunter der Harz, gelten in Bezug auf ihre Empfindlichkeit gegenüber klimatischen Änderungen derzeit noch als mäßig vulnerabel, da das Klima hier noch kühl und feucht ist (ebd.). Jedoch muss in der Pflanzenentwicklung dieser Regionen bei einer weiteren Erwärmung mit sehr starken Veränderungen gerechnet werden. Hieraus wächst künftig ein zunehmender „Druck“ auf die Mittelgebirge, vor allem hinsichtlich veränderter Bedingungen im Kontext Biodiversität. Aber auch

weitergehende Veränderungen in der Pflanzenentwicklung der anderen Naturräume stehen dabei außer Frage (KOŁODZIEJ 2006).

## 6 Zusammenfassung

KOŁODZIEJ, A.; FRÜHAUF, M.: Phänologische Veränderungen von wild wachsenden Pflanzen in Sachsen-Anhalt 1962–2005. – *Hercynia N.F.* **41** (2008): 23–37.

In Sachsen-Anhalt ist es in den letzten Jahrzehnten im Kontext des Klimawandels zu deutlichen Veränderungen in der Pflanzenentwicklung gekommen. Diese zeigen sich im Besonderen bei den Frühjahrsphasen mit markanten Veränderungen der Eintrittstermine. Mit dem Anstieg der Temperatur im Jahresverlauf und der Abnahme der monatlichen Temperaturschwankungen über das weitere Jahr nimmt die Intensität der Veränderungen in der Pflanzenentwicklung ab. Dies ist vor allem auf Temperaturzunahmen im Spätwinter bis zum zeitigen Frühjahr zurückzuführen und verfrüht die Eintrittstermine deutlich. Ein zunehmend milderer Spätsommer verzögerte dagegen die Blattverfärbung im Herbst. Die Frühlings- und Sommerphasen sind hauptsächlich von den mittleren Lufttemperaturen der vorangegangenen ein bis drei Monate abhängig. So reagierte z. B. die Sal-Weide (*Salix caprea*) mit einem früheren Blühtermin von etwa 20 Tagen auf das zunehmend mildere Klima im Februar bis März. Diese milden Temperaturen bewirken auch im (Früh-) Herbst (August bis September) eine Verzögerung der Blattverfärbung (Stiel-Eiche *Quercus robur* durchschnittlich sieben Tage).

Dies dokumentiert, dass auch in Sachsen-Anhalt die Pflanzen bereits auf den Klimawandel reagieren. Insbesondere größere Wärmemengen beschleunigen die Pflanzenentwicklung. Temperaturzunahmen führen zu früheren Eintrittsterminen phänologischer Phasen und zu einer außerordentlichen Verlängerung der thermischen Vegetationsperiode (nahezu vier Wochen).

Diese Entwicklungen machen Pflanzen eindeutig zu sensiblen Bioindikatoren für den Klimawandel und für Umweltveränderungen. Ein weiterer Anstieg der Temperaturen um mehrere Grad, wie sie bereits durch den IPCC (2001) prognostiziert wurde, würde diese Erscheinungen in einer allerdings im Einzelnen nicht bekannten Art und Weise weiter forcieren.

## 7 Literatur

- BISSOLLI, P.; SCHNADT, K. (2002): Analysen der raumzeitlichen Veränderungen von ausgewählten phänologischen Phasen in Deutschland. – Offenbach am Main.  
>[http://www.dwd.de/de/Funde/Veroeffentlichung/Ergebnisse/FE Bericht Nr. 75.pdf](http://www.dwd.de/de/Funde/Veroeffentlichung/Ergebnisse/FE_Bericht_Nr_75.pdf)< (10.2005)
- CHEN, X. (1994): Untersuchung zur zeitlich-räumlichen Ähnlichkeit von phänologischen und klimatologischen Parametern in Westdeutschland und zum Einfluss geökologischer Faktoren auf die phänologische Entwicklung im Gebiet des Taunus. – Ber. Dt. Wetterdienst, Nr. 189, Offenbach am Main.
- CHMIELEWSKI, F.-M. (2001): Rezente Veränderungen der Lufttemperatur und Niederschlagshöhe in Berlin-Dahlem, 1931–2000 – In: CHMIELEWSKI, F.-M., FOKEN, TH. [Ed.]: Beiträge zur Klima- und Meeresforschung. Aus Anlass des 70. Geburtstages von P. Hupfer, Eigenverlag Chmielewski & Foken, Berlin/Bayreuths: 79–90.
- CHMIELEWSKI, F.-M.; MÜLLER, A.; E. BRUNS (2003): Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961–2000. – *Agrarmeteorolog. Schr.* **121**: 69–78.
- CHMIELEWSKI, F.-M.; MÜLLER, A.; W. KÜCHLER (2004): Mögliche Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf die Vegetationsentwicklung in Sachsen. Abschlussbericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, HU-Projekt Nr. 2010-3102 – Eigenverlag HU, Berlin, 106 S.
- CHMIELEWSKI, F.-M.; RÖTZER, T. (2000): Phenological trends in Europe in relation to climate changes. – *Agrarmeteorolog. Schr.* **108**: 101–112.
- DEFILA, C.; MÜLLER-FERCH, G. (2003): Erste Spuren der Klimaänderung in der Pflanzen- und Tierwelt. – Climate-Press, 16/2003.
- DWD (DEUTSCHER WETTERDIENST) [Ed.] (1991): Anleitung für die phänologischen Beobachter des Deutschen Wetterdienstes. – 3. Aufl., Selbstverlag des DWD, Offenbach a. M.



- DONNELLY, A.; SALAMIN, N.; JONES, M.B. (2006): Changes in tree phenology: An Indicator of spring warming in Ireland? – Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy. Dublin.
- ELLIS, N. E. T. (2003): Natural Heritage Trends 2003. Climate change impacts on habitats and species. – Scottish Natural Heritage, Battleby, Perth.
- FABIG, I. (2007): Wandel der Niederschlagsverhältnisse im Lee des Harzes - Indikatoren eines regionalen Klimawandels? – Hercynia. N.F. **40**: 33-39.
- HUPFER, P.; KUTTLER, W. [Ed.] (2005): Witterung und Klima. Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie. – 11. Aufl., Teubner Verlag, Wiesbaden.
- HUPFER, P.; CHMIELEWSKI, F.-M. [Ed.] (1990): Das Klima von Berlin. – Akademie Verlag, Berlin.
- IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [Ed.] (2001): Climate Change 2001. Impacts, Adaption and Vulnerability. Contribution of the Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – University Press, Cambridge.
- KOLODZIEJ, A. (2006): Klimawandel in Sachsen-Anhalt: Auswirkungen auf die phänologischen Phasen wildwachsender Pflanzen. – Dipl.-Arb., Univ. Halle-Wittenberg.
- LÄSSIG, R.; MOTSCHALOW, S. (1997): Auswirkungen der Klimaerwärmung in Sibirien. Wald- und Steppengebiete verschieben sich nach Norden. – Neue Züricher Zeitung **287**: 65.
- LÜERS, J. (2003): Agrarklimatische und phänologische Auswertungen für das Mittlere Moseltal - Auswirkungen auf den Weinbau. – Terra Nostra 6/2003, 6. Deutsche Klimatagung.
- MENZEL, A. (2003a): Gibt die Phänologie Hinweise für den Klimawandel? – AFZ - Der Wald **17**: 867-869.
- MENZEL, A. (2003b): Anzeichen des Klimawandels in der Pflanzen- und Tierwelt. – LWF aktuell **37**:14-18.
- MENZEL, A.; ESTRELLA, N.; FABIAN, P. (2005): Phänologie-Pflanzen in einer wärmeren Welt. – In: MÜNCHENER RÜCKVERSICHERUNGSGESELLSCHAFT [Ed.]: Wetterkatastrophen und Klimawandel. Auswirkungen auf Natur, Mensch und Ökonomie. – Münchener Rück, München: 144-155.
- RAHMSTORF, S.; SCHELLNHUBER, H. J. (2006): Der Klimawandel. Diagnose, Prognose, Therapie. – Verlag C.H. Beck, München.
- RÖTZER, T.; CHMIELEWSKI, F.-M. (2000): Phenological maps of Europe. – Clim-Res. **18**: 249-257.
- SCHNELLE, F. (1955): Pflanzen-Phänologie. – Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Porting K.-G., Leipzig.
- SPARKS, T. H.; JEFFREE, E. P.; JEFFREE, C.E. (2000): An examination of relationships between flowering times and temperature at the national scale using long-term phenological record from the UK. – Int. J. Biometeorology **44**: 82-87.
- STREITFERT, A. (2005): Einfluss steigender Temperaturen und CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf Pflanzenphänologie und -anatomie. – Dipl.-Arb., Univ. Gießen.
- STREITFERT, A.; GRÜNHAGE, L.; JÄGER, H.-J. (2005): Klimawandel und Pflanzenphänologie in Hessen. – Inst. f. Pflanzenökologie, Univ. Gießen.
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) [Ed.] (2005): Klimawandel in Deutschland. Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. – Forschungsbericht 2014/1253. Bearbeitung: ZEBISCH, M. et al., PIK Climate Change **08/05**, Dessau.

*Manuskript angenommen: 15. Dezember 2007*

Anschrift der Autoren:

Dipl.-Geographin Andrea Kolodziej, Hardenbergstr. 12, 06114 Halle/Saale  
e-mail: a\_kolodziej@freenet.de  
Prof. Dr. Manfred Frühauf, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
Fachbereich Geowissenschaften, Institut für Geographie  
Von-Seckendorff-Platz 4, D-06120 Halle  
e-mail: manfred.fruehauf@geo.uni-halle.de

**Fortsetzung von S. 22**

Literaturverzeichnis mit 1.180 Literaturhinweisen (seit 1982) erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit, enthält aber eine repräsentative Auswahl des floristisch orientierten Schriftgutes.

Der hier vorgelegte Verbreitungsatlas ist eine akribische Zusammenstellung des floristischen Istzustandes zwischen 1982 und 2003. Er ist eine wertvolle Grundlage für die Dokumentation des sich gegenwärtig vollziehenden Florenwandels, der vor allem im Zusammenhang mit einem sich abzeichnenden Klimawandel in der öffentlichen Diskussion ist. Erst solche Werke, die nicht im Alleingang, sondern durch die Zusammenarbeit mehrerer Forschergenerationen entstanden sind, machen es möglich, entsprechende Veränderungen auch zu quantifizieren. Sowohl für die Bearbeitung von wissenschaftlichen als auch angewandten Fragenstellungen ist dieses Werk eine unverzichtbare Informationsquelle und somit jedem botanisch Tätigem zu empfehlen.

Monika PARTZSCH, Halle (Saale)

**GODET, J.-D.: Bäume und Sträucher bestimmen und nachschlagen.** – Eugen Ulmer KG. Stuttgart (Hohenheim), 2007. 216 S. – ISBN 978-3-8001-5354-1. Preis: 19,90 Euro.

In diesem Werk sind über 260 Gehölzarten behandelt, die in Zentraleuropa spontan oder häufig kultiviert vorkommen. Auch wenn die Kriterien für die Auswahl der Gehölze und der geografische Raumbezug des Werkes nicht genannt sind, dürften diese schwerpunktmäßig auf die Schweiz bezogen sein. Für diesen Bereich sind jedenfalls bis auf einige Rosen- und Weidenarten (z. B. *Salix triandra*, *S. viminalis*, *S. repens* agg.), *Malus sylvestris*, *Prunus serotina* und *Crataegus rhipidophylla* agg. alle heimischen und fest eingebürgerten Gehölze enthalten und auch die Auswahl kultivierter Gehölze deutet darauf hin. Es sind außerdem nicht wenige Zwergsträucher einbezogen, bei allerdings subjektiver Auswahl. Beispielsweise ist es nicht nachvollziehbar, warum *Genista pilosa*, nicht aber *Genista tinctoria* oder *G. germanica* enthalten sind.

Der Schwerpunkt des Buches liegt auf der Absicht, sowohl dem interessierten Laien als auch dem Fachmann eine Bestimmung von Gehölzen besonders nach vegetativen Merkmalen (Blätter bzw. Nadeln) zu ermöglichen. In dieser Absicht wird ein instruktives Einleitungskapitel zum Aufbau von Blättern und Nadeln und Aspekten ihrer Biologie vorangestellt. Anschaulich wird dabei gerade im Hinblick auf die Nutzbarkeit der Bestimmungsschlüssel für Anfänger auf die Vielgestaltigkeit beispielsweise bei Spreitenform, Blattrand oder Nervatur eingegangen. Auch wichtige weitere morphologische Aspekte wie Heterophyllie, Nebenblätter, Stellung der Blätter an der Sprossachse etc. werden behandelt. Bei der Auflistung der unterschiedlichen Möglichkeiten hinsichtlich der Lebensdauer vegetativer Organe wird vermisst, dass sehr viele Blätter, die hier unter „1-jährig“ fallen, bei weitem nicht einmal eine ganze Vegetationsperiode funktionsfähig sind, und dass zumindest in Mitteleuropa Laubgehölze mit Blättern mit einer Lebensdauer von mehreren Vegetationsperioden die absolute Ausnahme darstellen.

Diesem Teil folgt ein Kapitel mit dem eigenartigen und sachlich nicht korrekten Titel „Freistehende Baumarten“. Aus diesem Kapitel geht unzweifelhaft die Begeisterung des Autors für Gehölze und sein Kenntnisreichtum in diesem Bereich hervor, nicht aber die mit diesem Inhaltsteil verfolgten Intentionen. Es werden 23 Baumarten, die im Vorwort des Autors als „die wichtigsten Baumarten“ qualifiziert sind, aus Sicht des Rezensenten aber doch recht willkürlich ausgewählt scheinen, mit einem jeweils umfangreichen Textteil vorgestellt. Darin sind verschiedene Charakteristika der Baumarten wie Kronenform und -wachstum, Holzigenschaften und -verwendung, Angaben zu Biologie, Ökologie und Pflanzensoziologie sowie Bezüge zur Geschichte zusammengetragen. Dies ist mehrfach durch das Einfügen von die jeweilige Baumart thematisierenden Gedichten aufgelockert.

**Fortsetzung S. 62**