

# Veränderungen der Pflanzenphänologie in unterschiedlichen Naturräumen Sachsen-Anhalts unter Berücksichtigung ihrer wesentlichen Einflussfaktoren

Alexander SCHEFFLER und Manfred FRÜHAUF

21 Abbildungen und 3 Tabellen

## Abstract

SCHEFFLER, A.; FRÜHAUF, M.: Changes of plant-phenology in Saxony-Anhalt and their factors of influence. - *Hercynia N. F.* 44 (2011): 169 – 189.

Phenology is often used as an indicator for measuring the impacts of climate change. The phenology of the German federal state Saxony-Anhalt has changed in the last fifty years due to rising of air temperatures, caused by climate change. In particular, the growing-season shows a longer duration of up to 23 days, mainly caused by an earlier flowering rather than a delayed leaf-fall. Changes of the NAO-index in the last fifty years show a significant correlation to early-year-phases. Mean temperatures and height above sea-level have proven to be the most influential factors of the phenology of Saxony-Anhalt. The impact of other climatic factors, such as rainfall or dry seasons, appeared to be rather small. Low temperatures in the late spring season have a significant impact on the early-year phenological phases and strongly affect the agriculture, e.g. fruit-plantations.

*Key words:* phenology, Saxony-Anhalt, climate change, growing-season

## 1 Problemstellung

Der Klimawandel und seine Folgen stellen eine der größten Herausforderungen für Gesellschaft, Politik und Wissenschaft des beginnenden 21. Jahrhunderts dar (IPCC 2007). Das Bundesland Sachsen-Anhalt weist gegenüber den verschiedenen Erscheinungsformen und Folgen des Klimawandels nicht nur eine erhöhte Vulnerabilität auf (FABIG 2007, FRÜHAUF 2007), sondern verfügt auch aufgrund seiner geographischen Lage über besondere Klimaverhältnisse. Hieraus erwachsen für die Landnutzung, aber auch das Wachstum der Pflanzen, vielgestaltige Konsequenzen. Mit Methoden der Pflanzenphänologie lassen sich in diesem Kontext direkte Reaktionen der Pflanzen auf Veränderungen der lokalen klimatischen Faktoren analysieren. Untersuchungen von KOŁODZIEJ (2007) dokumentierten diesbezüglich eine Verlängerung der phänologischen Vegetationsperiode um 3 Wochen. Im Rahmen einer Diplomarbeit (SCHEFFLER 2010) sollte versucht werden, den Einfluss des Klimawandels auf die Phänologie ausgewählter Pflanzen für das Gebiet des Bundeslandes Sachsen-Anhalt auf Basis von Naturraumgruppen zu ermitteln. Folgenden Fragestellungen kam besondere Bedeutung zu:

- Inwieweit ist die Verlängerung und das frühere Einsetzen der phänologischen Vegetationsperiode durch klimatische Parameter, insbesondere Temperatur und Niederschlag, begründet?
- Besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen Veränderungen der klimatischen und phänologischen Vegetationsperiode?
- Inwieweit beeinflussen Extremwetterereignisse, wie Spätfröste und Sommertrockenheit, die Phänologie?
- Welche Konsequenzen erwachsen aus der zeitlichen Verschiebung der phänologischen Phasen für den Obstbau in Sachsen-Anhalt?
- Lassen sich Verzerrungen phänologischer Beobachtungsergebnisse durch den städtischen Wärmeinselleffekt erklären?

## 2 Allgemeine Grundlagen und Definitionen

Der Begriff „Phänologie“ leitet sich aus den griechischen Begriffen „phainestai“ (erscheinen) und „logos“ (Lehre) her (KIRCHGÄSSNER 2001). Demnach befasst sich die Phänologie mit den periodisch im Jahresverlauf wiederkehrenden Wachstums- und Entwicklungserscheinungen der Tier- und Pflanzenwelt (DWD 1991, KIRCHGÄSSNER 2001). Innerhalb der Pflanzenphänologie und ihrer Anwendungen in Meteorologie und Klimatologie spielen die Eintrittszeiten bestimmter Vegetationsphasen somit eine wichtige Rolle, da diese phänologischen Leitphasen beziehungsweise Phänophasen in engem Zusammenhang mit verschiedenen klimatischen Erscheinungen, wie zum Beispiel dem jahreszeitlichen Temperaturverlauf, stehen (DWD 1991, DEFILA 2006). Der Beginn phänologischer Phasen wird hierbei in Tagen nach Jahresbeginn (TnJb) gemessen. Pflanzen, die phänologische Phasen markieren, werden Zeigerpflanzen genannt (STREITFERT/ GRÜNHAGE 2009). Anhand der periodisch auftretenden phänologischen Wachstums- und Entwicklungsphasen ist es möglich, ein „Phänologisches Jahr“ mit charakteristischen Jahreszeiten (siehe Tabelle 1) zu konstruieren.

Tab. 1 Phänologischer Kalender nach dem DWD (\*im Rahmen der Diplomarbeit [SCHEFFLER 2010] untersuchte Phasen).

Tab. 1 Phenological calendar (\*analysed phenological phases).

phänologische Jahreszeit	Phasen-Nr.	Zeigerpflanze und Stadium	Phasen-Nr. (Alternativphase)	Zeigerpflanze und Stadium (Alternative)
Vorfrühling	1	Haselnuss, Blüte	2*	Schneeglöckchen, Blüte*
Erstfrühling	6	Forsythie, Blüte	52*	Stachelbeere, Blütfaltung*
Vollfrühling	62*	Apfel frühreifend, Blüte*	13	Stieleiche, Blütfaltung
Frühsommer	18	Schwarzer Holunder, Blüte	123*	Robinie, Blüte*
Hochsommer	64*	Sommerlinde, Blüte*	100	Johannisbeere, Fruchtreife
Spätsommer	109*	Apfel frühreifend, Fruchtreife*	178	Eberesche, Fruchtreife
Frühherbst	67*	Schwarzer Holunder, Fruchtreife*	222	Kornelkirsche
Vollherbst	72*	Stieleiche, Fruchtreife*	68	Rosskastanie, Fruchtreife
Spätherbst	73*	Stieleiche, Blattverfärbung*	69	Rosskastanie, Blattverfärbung
Winter/ Vegetationsruhe	94*	Winterweizen, Auflaufen*	226	Stieleiche, Blattfall

Basierend auf diesen phänologischen Jahreszeiten lässt sich die sogenannte „Phänologische Uhr“ konstruieren. In ihr werden die Eintrittszeiten der einzelnen phänologischen Jahreszeiten ringförmig abgetragen. Jede phänologische Jahreszeit wird dabei durch eine Leitphase eröffnet und endet mit dem Beginn der nächsten Leitphase. Für die jeweilige Jahreszeit werden das mittlere Eintrittsdatum, das mittlere Ende, welches durch Abzug eines Tages vom Beginn der nächsten Phase errechnet wird, sowie die Phasendauer in Tagen angegeben. Jedes der 10 Kreissegmente einer phänologischen Uhr repräsentiert somit die Andauer einer Phänophase beziehungsweise einer phänologischen Jahreszeit. Phänologische Uhren werden zumeist

für Gebiete, seltener für einzelne Punkte, erstellt. Eine Sonderform stellt die sogenannte „Doppelte Phänologische Uhr“ dar. In ihr werden die Eintrittszeiten phänologischer Phasen zweier Zeiträume in jeweils 2 separaten Ringen dargestellt. Hierdurch lässt sich anhand der Verschiebung der beiden Ringe gegeneinander eine Abweichung der Phaseintrittszeiten der beiden Zeiträume sichtbar machen (DWD 1991).

### 3 Datengrundlage und methodische Umsetzung

Die phänologischen Untersuchungen wurden auf Basis der Naturraumgruppen Sachsen-Anhalts durchgeführt (vgl. KOŁODZIEJ 2007; CHEN 1994). Für die Naturraumgruppen „Mecklenburgisches Platten- und Hügelland sowie Luchland“ (Naturraumgruppe 78) und „Mittelbrandenburgische Platten und Niederungen sowie Ostbrandenburgisches Heide- und Seengebiet“ (Naturraumgruppe 81) waren allerdings keine phänologischen Daten verfügbar. Grundlage für die verwendeten Klimadaten bildete die Regionale Klimadatenbank REKLI des Landes Sachsen-Anhalt. Basis der phänologischen Kennwerte war eine ebenfalls beim Landesamt für Umweltschutz existierende Datenbank mit Angaben des Deutschen Wetterdienstes (DWD 1991) für das Land Sachsen-Anhalt, die circa 600.000 Datensätze umfasst und den Zeitraum von 1951 – 2006 abdeckt. Das Hauptkriterium der Phasenauswahl stellte die Datendichte sowohl in zeitlicher als auch in räumlicher Hinsicht dar. Sofern keine erheblichen Lücken im Datenbestand vorhanden waren, wurden die gegebenen Leitphasen verwendet (siehe Tabelle 1). Im Falle größerer Datenlücken wurden die Alternativphasen gewählt. Einen Sonderfall stellte die Phase 94 (Auflaufen des Winterweizens) dar, die eine größere Datenlücke für den Zeitraum 1982 – 1990 aufweist. Insgesamt wurde darüber hinaus aber generell deutlich, dass die Naturraumgruppen des Bundeslandes Sachsen-Anhalt kaum homogene Datendichten aufweisen. So zeichnet sich z.B. die Naturraumgruppe 50 (Östliches Harzvorland und Börden) durch eine auffallende Vielzahl phänologischer Stationen aus. Demgegenüber mussten die Naturraumgruppen 47 und 48 (Thüringer Becken mit Randplatten) sowie 62 (Weser-Aller Tiefland) und 64 (Lüneburger Heide) aufgrund eines Mangels an geeigneten Stationen zusammengefasst werden.

Die phänologischen Daten wiesen darüber hinaus im Beobachtungszeitraum 1951 – 2006 eine starke Streuung hinsichtlich ihres Phaseintrittsdatums auf, die im Durchschnitt 30 – 50 Tage innerhalb der jeweiligen Zeitreihe betrug. Für eine differenzierte Betrachtung des Streuungsverhaltens der phänologischen Daten wurde eine Häufigkeitsanalyse (siehe Abbildung 2) durchgeführt. Besonderes Augenmerk wurde hierbei auf die Frühlings- und Herbstphasen gerichtet. In 80 % der Beobachtungsjahre liegt die Blattentfaltung der Stachelbeere im Bereich von 80 – 108 Tagen nach Jahresbeginn. Im selben Maße traf dies für die Blattverfärbung der Stieleiche für einen Zeitraum von 280 – 300 Tagen nach Jahresbeginn zu (siehe Abbildung 2).

Der Beginn der thermischen Vegetationszeit wird in der Klimadatenbank Sachsen-Anhalt standardmäßig an dem Zeitpunkt angesetzt, an welchem die Tagesmitteltemperatur mindestens 5 °C an sieben aufeinander folgenden Tagen erreicht oder überschreitet. Das Ende der thermischen Vegetationszeit wird bei sieben aufeinander folgenden Tagen mit einer Temperatur von weniger als 10 °C festgelegt (FRANKE et al. 2008). Die phänologische Vegetationsperiode definiert SCHÖNWIESE (2003) als „die Differenzzeit zwischen Blattentfaltung und Blattaussfall (Sic!) einer Auswahl von Naturpflanzen“. Dies berücksichtigend wurde in der eigenen Untersuchung die phänologische Vegetationsperiode als Differenzzeit der Phase 52 (Blattentfaltung der Stachelbeere), als Beginn der pflanzlichen Aktivität sowie der Phase 73 (Blattverfärbung der Stieleiche), welche die Vegetationsruhe einleitet, angesehen. Für ausgewählte Stationen wurden für den Zeitraum 1951 – 2006 auch Angaben zur thermischen Vegetationsperiode aus der Klimadatenbank Sachsen-Anhalt extrahiert. Um Veränderungen der thermischen Vegetationsperioden aufzuzeigen, wurden weiterhin analog zu den phänologischen Daten folgende Zeiträume extrahiert: 1951 – 1980; 1961 – 1990; 1971 – 2000; 1981 – 2006.

Um den Einfluss von Frosttagen auf die Pflanzenphänologie für die Naturraumgruppen Sachsen-Anhalts nachzuweisen, wurde für jedes Jahr des Zeitraumes 1951 – 2006 der jeweils letzte Tag des ersten Kalenderhalbjahres mit einer durchschnittlichen Lufttemperatur von unter 0 °C extrahiert und den Eintrittsdaten der ausgewählten phänologischen Frühlingsphasen gegenübergestellt.

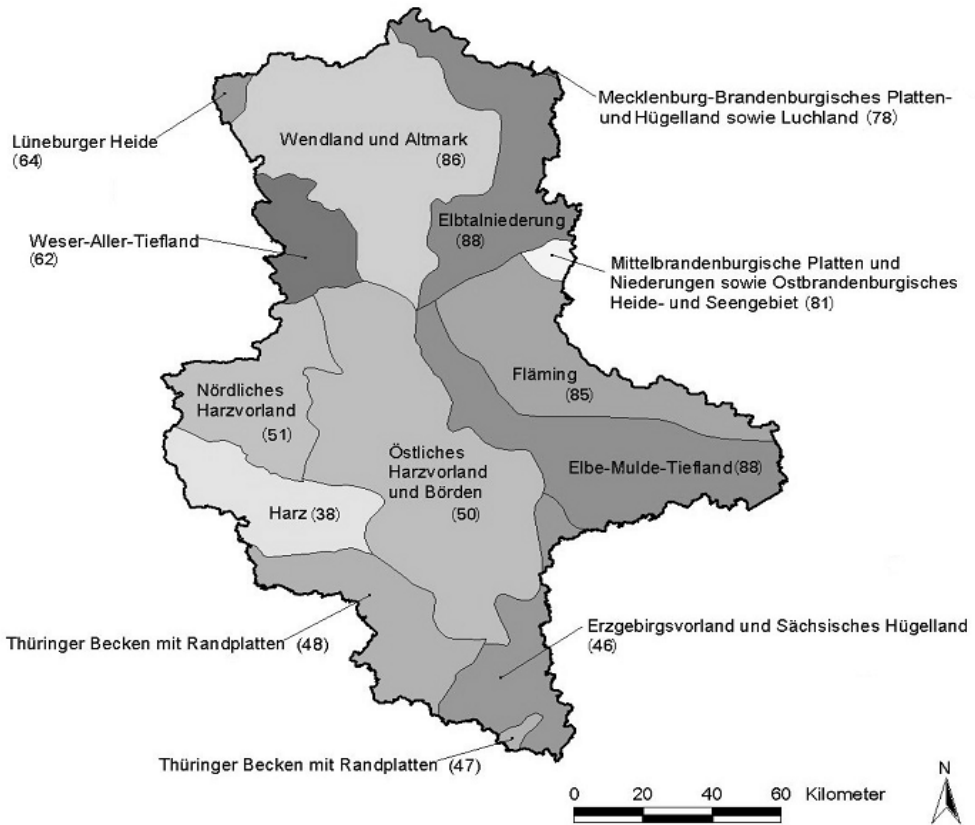


Abb. 1 Übersicht über die Naturraumgruppen Sachsen-Anhalts.

Fig. 1 Phenological zones of Saxony-Anhalt, Datenbasis / source: Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (LAU).

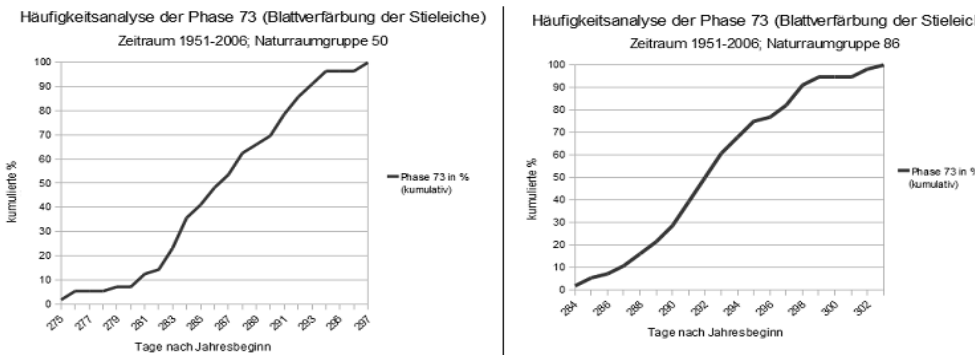


Abb. 2 Diagramme der Häufigkeitsverteilung der Phase 73 (Blattverfärbung der Stieleiche).

Fig. 2 Frequencies of Phase 73 (colour change of oak-foilage).

Einflüsse von Niederschlägen auf die Pflanzenphänologie wurden durch eine Analyse der phänologischen und meteorologischen Daten von zehn ausgewählten Stationen verschiedener Naturraumgruppen, von denen auf Basis von Tageswerten die Monatssummen des Niederschlages berechnet wurden, nachgewiesen.

Für den Nachweis einer phänologischen Reaktion von Pflanzen auf die Häufigkeit von Sommertagen beziehungsweise heißen Tagen im Kontext der Untersuchungsfragestellung wurde die Summe der im Jahr eingetretenen Sommertage und heißen Tage mit den Abweichungen des Phaseneintritts (in TnJb) vom langjährigem Mittel korreliert. Die Analyse erfolgte dabei auf Naturraumgruppenebene für den Zeitraum 1951–2006.

Für die Analyse des Einflusses lang anhaltender Trockenperioden auf pflanzenphänologische Erscheinungen wurden die in der Klimadatenbank als Trockenperioden definierten Zeiträume mit 11 aufeinander folgenden Tagen mit einem Niederschlag von unter 1,0 mm extrahiert. Den zeitlichen Rahmen bildete hierbei das meteorologische Sommerhalbjahr (01.04. – 30.09.). Analog zum Vergleich zwischen Monatssummen des Niederschlages und phänologischem Phaseneintrittsdatum wurde auch hier auf die Untersuchung ausgewählter Einzelstationen verschiedener Naturraumgruppen zurückgegriffen. So wurden die Sommerphase 123 (Blüte der Robinie), 64 (Blüte der Sommerlinde), 109 (Fruchtreife des frühreifenden Apfels) sowie die Frühherbstphase 67 (Fruchtreife des Schwarzen Holunders) näher betrachtet.

Um Aussagen über den Einfluss der Nordatlantik-Oszillation (NAO) auf die Pflanzenphänologie zu gewinnen, erfolgte ein statistischer Vergleich der Phaseneintrittsdaten (in TnJb) der Frühlingsphasen 2 (Blüte des Schneeglöckchens), 52 (Blattentfaltung der Stachelbeere) sowie 62 (Blüte des frühreifenden Apfels) mit dem NAO-Jahresindex und den Indizes der Monate Januar bis April. Ein Vergleich zwischen Phaseneintritt der Phase 73 (Blattverfärbung der Stieleiche) und NAO-Indizes der Monate August und September erbrachte jedoch aufgrund geringer Korrelationen von  $|r| < 0,3$  keine validen Ergebnisse. Einzig für die Monate Januar bis März zeigten sich signifikante Korrelationen der Frühlingsphasen mit Abweichungen der Nordatlantik-Oszillation.

Für die Erfassung des Einflusses der Höhenlage auf die Pflanzenphänologie wurde der durchschnittliche Phasenbeginn für den Zeitraum 1951 – 2006 für 50 phänologische Stationen mit unterschiedlicher Höhenlage über NN in verschiedenen Naturraumgruppen ermittelt. Der Nachweis des Zusammenhanges zwischen Höhenlage und Pflanzenphänologie erfolgte über eine Regressionsanalyse nach PEARSON zwischen Höhe über NN und phänologischem Phaseneintrittsdatum. Hierbei waren jedoch nicht alle Phänophasen für alle Höhenstufen belegbar. So wiesen die Phase 123 (Blüte der Robinie), 109 (Fruchtreife des frühreifenden Apfels), 73 (Fruchtreife und Blattverfärbung der Stieleiche) sowie 94 (Auflaufen des Winterweizens) nur eine geringe Datendichte auf. Für die Betrachtung des Brockengipfels als Extremstandort wurden folgende in der Tabelle 2 aufgeführten Phasen untersucht.

Tab. 2 Ausgewählte Phänophasen des Brockengipfels (Angaben in Tagen nach Jahresbeginn).

Tab. 2 Analysed phenological phases of the Brocken Mountain.

<b>Zeitraum</b>	<b>Phase 3 Huflattich, Beginn der Blüte</b>	<b>Phase 17 Fichte, Maitrieb</b>	<b>Phase 19 Wiesen-Fuchsschwanz, Beginn der Vollblüte</b>	<b>Phase 65 Heidekraut, Beginn der Blüte</b>
<b>1951-1980</b>	102,6	157,6	178,5	217,7
<b>1961-1990</b>	105,9	155,1	177,2	219
<b>1971-2000</b>	97,3	155,6	174,7	216,5
<b>1981-2006</b>	95,6	147,2	174	213,3
<b>1951-2006</b>	99	151,7	176,3	215,1

Zur Analyse von Abhängigkeiten der Phänophasen des Brockengipfels von Temperaturwerten galt es, diese Phasen mit der durchschnittlichen Lufttemperatur mehrerer Monate des Betrachtungszeitraumes 1951 – 2006 mittels einer Korrelationsanalyse zu vergleichen.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Veränderungen der Phänologie Sachsen-Anhalts und ihre naturräumliche Differenzierung

Innerhalb der letzten fünfzig Jahre zeigten sich auf dem Gebiet Sachsen-Anhalts teilweise drastische Veränderungen der Pflanzenphänologie. Hierbei wiesen vor allem die phänologische Frühlingsphase der Blüte des Schneeglöckchens sowie die der Fruchtreife der Stachelbeere einen Trend zu einem sich verfrühenden Phasenbeginn auf. Der Großteil dieser Veränderungen bewegte sich in einem Bereich zwischen 1 und 3 Tagen / Dekade. Die deutlichste Veränderung wies die Phase 67 (Fruchtreife des Schwarzen Holunders) der Naturraumgruppe 47/48 (Thüringer Becken mit Randplatten) mit einer durchschnittlichen Veränderung des Phasenbeginns von nahezu 5 Tagen pro Dekade auf. Für die phänologischen Sommerphasen, wie beispielsweise die Fruchtreife des Schwarzen Holunders, war demgegenüber kein genereller Trend hinsichtlich der Veränderung des Phasenbeginns feststellbar. Die Herbstphasen lassen hingegen eine allgemeine Tendenz hin zu einem verspätet einsetzenden Phasenbeginn erkennen. Hierbei erwies sich die Blattverfärbung der Stieleiche (Phase 73) als ein besonders guter Indikator für diesen Effekt. Der durchschnittliche jährliche Trend dieser Phase betrug je nach Naturraumgruppe zwischen knapp +1 und +3 Tagen pro Dekade. Insgesamt waren die Veränderungen des Phasenbeginns der Herbstphasen jedoch weniger stark ausgeprägt als die der Frühlingsphasen, so dass sich Veränderungen der phänologischen Vegetationsperiode hauptsächlich auf Verfrühungstendenzen im Frühjahr zurückführen lassen.

Die nachfolgende Abbildung 3 zeigt die phänologische Uhr Sachsen-Anhalts für den Zeitraum 1981 – 2006 im Vergleich zur Periode 1951 – 1980. Eine hierbei zu erkennende Verfrühung im Einsetzen des Vorfrühlings setzt sich über die gesamten Frühlings- und frühen Sommerphasen hinweg fort. Der Übergang vom Hochsommer zum Spätsommer findet in beiden Zeitscheiben nahezu zum gleichen Zeitpunkt im Jahresverlauf statt. Aufgrund eines um fast eine Woche verlängerten Vollherbstes wird dieser Trend beim Übergang zu einem sich stark verkürzenden Spätherbst jedoch umgekehrt.

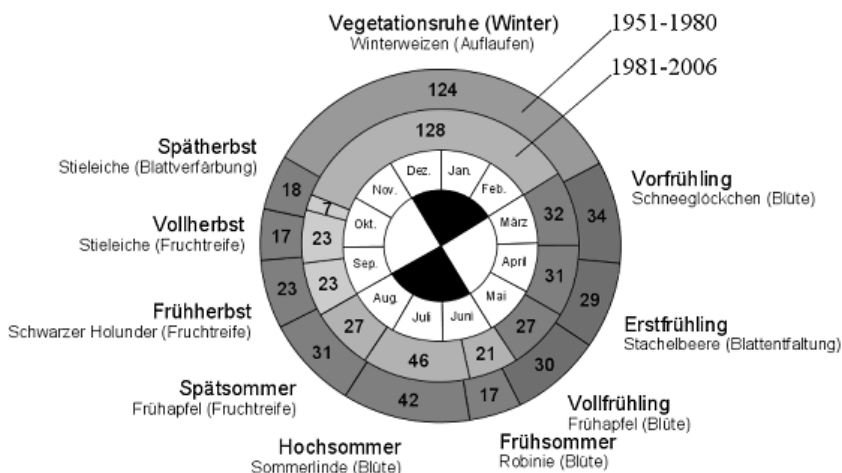


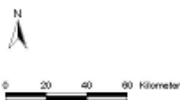
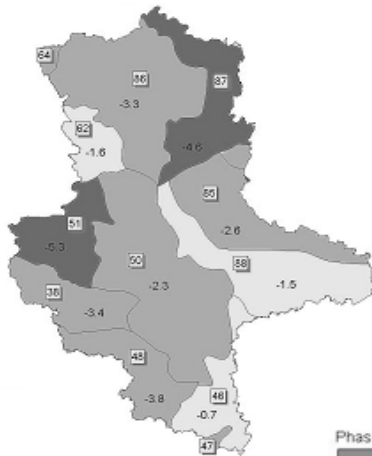
Abb.3 Phänologische Uhr für das Bundesland Sachsen-Anhalt (Vergleichszeiträume 1951 – 1980 zu 1981 – 2006).

Fig. 3 Phenological clock of the federal state of Saxony-Anhalt (1951 – 1980 compared to 1981 – 2006).

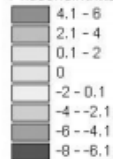
Aus der doppelten phänologischen Uhr der Abbildung 3 werden somit, neben der allgemeinen Verkürzung der winterlichen Vegetationsruhe und der Ausdehnung der Vegetationsperiode selbst, vor allem die Veränderungen in den Frühlings- und Herbstphasen deutlich. Dies soll nachfolgend am Beispiel der Phasen 2 (Blüte des Schneeglöckchens) und 73 (Blattverfärbung der Stieleiche), die stellvertretend für Veränderungen der Frühlings- beziehungsweise Herbstphasen stehen, diskutiert werden.

Die den Beginn der phänologischen Jahreszeit des Vorfrühlings markierende Phase 2 (Blühbeginn des Schneeglöckchens) zeigt in nahezu allen Naturraumgruppen eine starke Verschiebung hin zu einem verfrühten Phasenbeginn. Diese erreichte im Vergleich der Zeiträume 1961 – 1970 im Beobachtungszeitraum 1991 – 2000 teilweise sogar mehrere Wochen. So setzte in den Naturraumgruppen 47+48 (Thüringer Becken mit Randplatten), 50 (Östliches Harzvorland mit Börden) sowie 51 (Nördliches Harzvorland) die Blüte des Schneeglöckchens um mehr als 15 Tage früher ein; - in der Naturraumgruppe 87 (Elbtalniederung) sogar um 21 Tage.

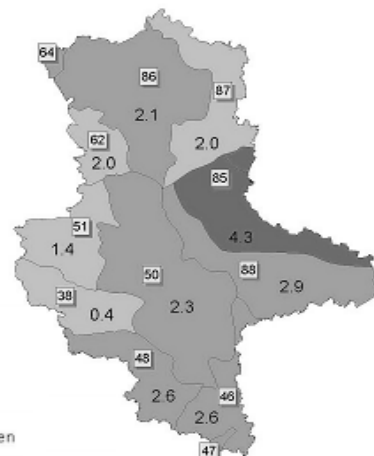
Blüte des Schneeglöckchens  
(Phase 2)



Phaseneintrittsänderung in Tagen



Blattverfärbung der Stieleiche  
(Phase 73)



Naturraumgruppen 64 und 86 sind zusammengefasst  
Naturraumgruppen 47 und 48 sind zusammengefasst

Abb. 4 u. 5 Räumliche Trends der Blüte des Schneeglöckchens (Phase 2) und der Blattverfärbung der Stieleiche (Phase 73); Vergleichszeiträume 1961 – 1999 zu 1971 – 2000.

Fig. 4 and 5 Spatial analysis for the phenological phases 2 (bloom of snowdrop) and 73 (colour change of oak-foliage), 1961 - 1990 compared to 1971 – 2000.

Die Ergebnisse lassen dabei auf räumlicher Ebene einen Nordwest-Südost-Gradienten der phänologischen Veränderungen sichtbar werden (Abbildung 4). Die nördlichen und nordöstlichen Naturraumgruppen zeigen dabei die stärksten Verschiebungen des Phaseneintritts, wie beispielsweise die Naturraumgruppen 51 (nördliches Harzvorland) mit -5,3 Tagen und 87 (Elbtalniederung) mit -4,6 Tagen. Die südöstlichen Naturraumgruppen weisen hingegen einen eher geringen Phasenversatz von weniger als 2 Tagen auf. So beträgt die Veränderung des Phasenbeginns in der Naturraumgruppe 48 (Thüringer Becken mit Randplatten) beziehungsweise Naturraumgruppe 88 (Elbe-Mulde-Tiefland) nur 1 bis 2 Tage.

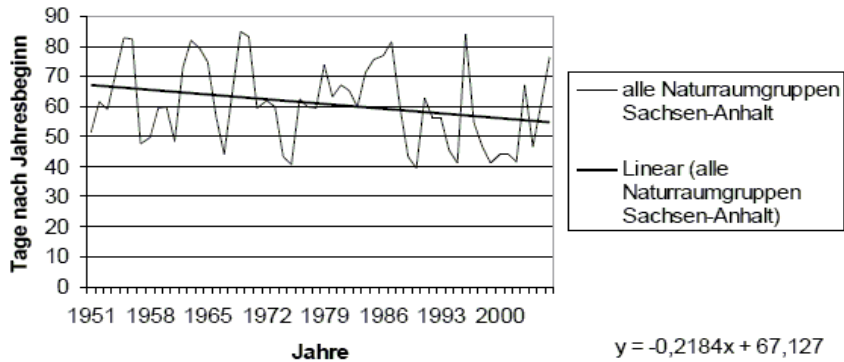


Abb. 6 Phasendiagramm der Blüte des Schneeglöckchens (Phase 2, Zeitraum 1951 – 2006 in Einzeljahren).

Fig. 6 Phenological diagram of phase 2 (bloom of snowdrop); 1951 – 2006.

Aus der obigen Abbildung 6 wird der allgemeine Trend einer Verfrüfung der Schneeglöckchenblüte für das gesamte Bundesland Sachsen-Anhalt im Untersuchungszeitraum deutlich. Eine weiterführende Analyse ließ hierbei jedoch eine „Anomalie“ in Form eines ungewöhnlich späten Blühbeginns des Schneeglöckchens, welche gegen Ende der 1970er Jahre begann und sich nahezu über die gesamte Dekade der 1980er Jahre erstreckte, erkennen. Die nachfolgende Abbildung 7 zeigt dies beispielhaft anhand der zusammengefassten Naturraumgruppen 62 (Weser-Aller-Tiefland) und 64 (Lüneburger Heide).

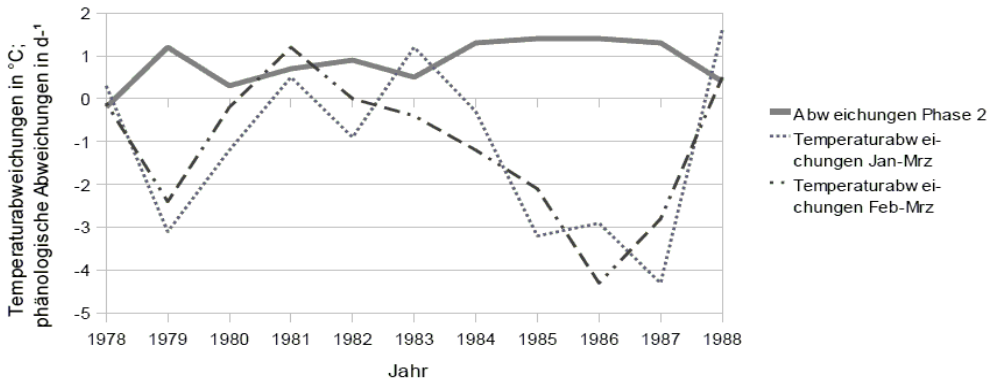


Abb. 7 Abweichungen im Phasenbeginn der Phase 2 (Blüte des Schneeglöckchens) im Zeitraum 1978 – 1988, zusammengefasste Naturraumgruppen 62 und 64.

Fig. 7 Deviation of bloom of snowdrop, 1978 – 1988, phenological zones 62 and 64.

Dies war in allen untersuchten Naturraumgruppen zu beobachten. Ursächlich muss dies mit der Entwicklung der Lufttemperaturen dieses Zeitraumes erklärt werden. So lag die Lufttemperatur von 1978 – 1988 um 0,88 K für die Monate Januar bis März, beziehungsweise um 1,05 K für die Monate Februar bis März, niedriger als während des langjährigen Mittels 1951 – 2006 der entsprechenden Monate.



Mit der aus Abb. 8 ersichtlichen phänologischen Phase 73 (Blattverfärbung der Stieleiche) wird der Beginn des Spätherbstes dokumentiert. Die Untersuchung ergab diesbezüglich ein teilweise deutlich späteres Einsetzen der Blattverfärbung in der jüngeren Zeitscheibe. Begann die Blattverfärbung der Stieleiche in den frühen 1950er Jahren bereits durchschnittlich 285 Tage nach Jahresbeginn, so setzt sie um die Jahrtausendwende nahezu 10 Tage später ein.

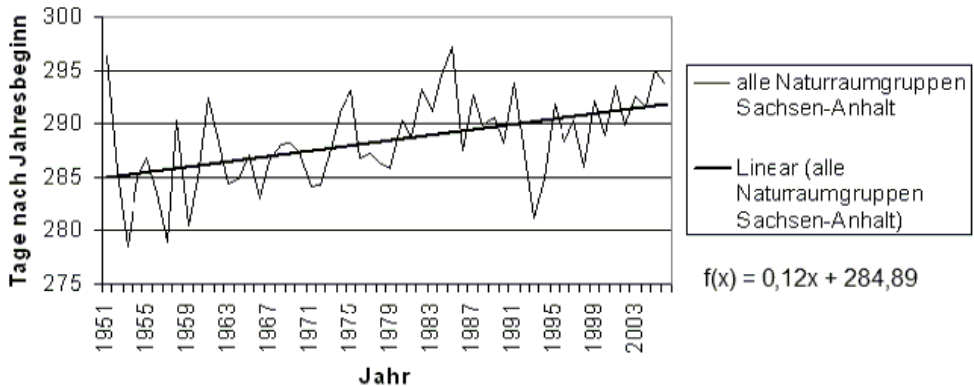


Abb. 8 Phasendiagramm der Blattverfärbung der Stieleiche (Phase 73) im Zeitraum 1951 – 2006 in Einzeljahren.

Fig. 8 Phenological diagram of phase 73 (colour change of oak-foliage), 1951 – 2006.

Hinsichtlich der räumlichen Zuordnung weisen hierbei die Bereiche des Flämings (Naturraumgruppe 88) eine Verlängerung von bis zu mehr als +4 Tagen auf. Diese Veränderungen schwächen sich in Richtung Harz und des nördlichen Harzvorlandes deutlich ab, so dass hier nur geringe Veränderungen der Blattverfärbung der Stieleiche um +0,4 beziehungsweise +1,4 nachweisbar waren. In Verbindung mit dem beschriebenen verfrühten Einsetzen der phänologischen Vorfrühlingsphase 2 lässt dies eine deutliche Tendenz hin zu einer Verlängerung der phänologischen Vegetationsperiode sichtbar werden (vergleiche hierzu Abbildung 5).

#### 4.2 Einfluss der Lufttemperaturen

Es ist gemeinhin bekannt, dass Lufttemperaturen einen großen Einfluss auf pflanzenphänologische Phasen ausüben. Insbesondere trifft dies auf Frühlings- und Herbstphasen zu (STREITFERT & GRÜNHAGE 2009). Der Vergleich zwischen den verschiedenen phänologischen Phasen und den mittleren Lufttemperaturen einzelner Monate zeigt einen unterschiedlichen Einfluss der Lufttemperatur auf die gesamte Pflanzenphänologie auf. Die Frühlingsphasen 2 (Blüte des Schneeglöckchens), 52 (Blattentfaltung der Stachelbeere) und 62 (Blühbeginn des frühreifenden Apfels) erwiesen sich dabei als besonders geeignet, um Zusammenhänge zwischen Veränderungen der Lufttemperatur und Pflanzenphänologie aufzuzeigen. Es zeigt sich, dass vor allem zunehmende Temperaturen in den Spätwintermonaten den Beginn dieser Phänophasen beeinflussen und somit ihre Verlängerung maßgeblich steuern. Von den Herbstphasen erwies sich die Phänophase 73 (Blattverfärbung der Stieleiche) als besonders geeignet für den Nachweis der Temperaturwirkungen auf die Pflanzenphänologie.

Da pflanzenphänologische Stadien und Phasen von den festgelegten Monatsgrenzen unabhängig sind und zudem über den Beobachtungszeitraum hinweg große Spannweiten hinsichtlich des Eintrittsdatums aufweisen, wurden die Korrelationsanalysen mit zwei bis drei zusammengefassten Monatsmittelwerten durchgeführt. Hierdurch konnten unterschiedlich starke korrelative Beziehungen (oftmals  $|r| > 0,8$ ) der einzelnen Phasen zu dem entsprechenden Temperaturmittel besser sichtbar gemacht werden. Dies gilt

besonders für die Frühlingsphasen. So weist die Phase 2 (Blüte des Schneeglöckchens) in nahezu allen Naturraumgruppen die höchsten Korrelationen mit dem Zeitraum Januar bis März auf (siehe Tabelle 3).

Tab. 3: Korrelationen ausgewählter Phänophasen mit der mittleren Lufttemperatur verschiedener Naturraumgruppen.

Tab. 3: Correlations between selected phenological phases and mean air temperatures of several phenological zones.

Phase	Naturraumgruppe 50*	Naturraumgruppe 51*	Naturraumgruppe 47 + 48*	Naturraumgruppe 86*
	* mit Zeiträumen stärkster Korrelation der Phase mit Lufttemperatur			
2	-0,866 (Jan-Mrz)	-0,850 (Jan-Mrz)	-0,874 (Jan-Mrz)	-0,880 (Jan-Mrz)
52	-0,900 (Feb-Mrz)	-0,875 (Feb-Apr)	-0,839 (Feb-Apr)	-0,891 (Feb-Apr)
62	-0,853 (Mrz-Apr)	-0,849 (Mrz-Apr)	-0,817 (Mrz-Apr)	-0,865 (Mrz-Apr)
123	-0,888 (Apr-Mai)	-0,836 (Apr-Mai)	-0,804 (Mrz-Mai)	-0,890 (Apr-Mai)
64	-0,883 (Apr-Jun)	-0,715 (Apr-Jun)	-0,746 (Apr-Jun)	-0,884 (Apr-Jun)
109	-0,714 (Apr-Jun)	-0,656 (Apr-Jun)	-0,765 (Mrz-Mai)	-0,664 (Apr-Jun)
67	-0,767 (Apr-Jun)	-0,824 (Apr-Jun)	-0,677 (Mrz-Mai)	-0,799 (Apr-Jun)
73	0,621 (Aug-Sept)	0,541 (Aug-Sept)	0,424 (Aug-Sept)	0,470 (Aug-Sept)

Lediglich für die Naturraumgruppe 38 (Harz) liegen die höchsten Korrelationen zwischen Lufttemperatur und Phaseintritt im Zeitraum Februar bis März. Die Ursache hierfür ist in dem höhenlagebedingt verspäteten Beginn dieser Phänophase im Vergleich zu tiefer gelegenen Naturraumgruppen zu sehen.

Aus Abbildung 9 sind die Ergebnisse der korrelativen Gegenüberstellung der phänologischen Phaseintrittszeiten mit den durchschnittlichen Lufttemperaturen eines beziehungsweise mehrerer Monate darge-

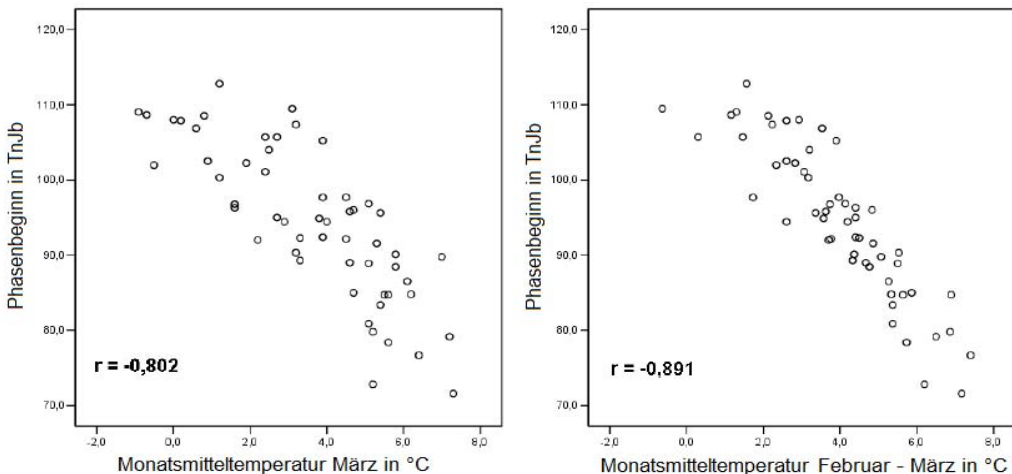


Abb. 9 Korrelation der Phase 52 (Blattentfaltung der Stachelbeere) mit der mittleren Lufttemperatur einzelner und mehrerer zusammengefasster Monate.

Fig. 9 Correlation between phenological phase 52 (leafing of gooseberry) and mean air temperature (single month and two month period).

stellt. Auch hier zeigt sich, dass der gewählte Weg die statistischen Zusammenhänge zwischen Phänophasen und der Temperatur mehrerer zusammengefasster Monate wesentlich klarer sichtbar macht.

Die nachfolgende Abbildung 10 setzt die durchschnittlichen Abweichungen der Blüte des Schneeglöckchens in direkten Bezug zu Temperaturabweichungen der Monate Januar bis März. Deutlich erkennbar ist ein gegenläufiger Trend der beiden Parameter. So wird ersichtlich, dass insbesondere überdurchschnittlich hohe Lufttemperaturen eine früher einsetzende Schneeglöckchenblüte begünstigen.

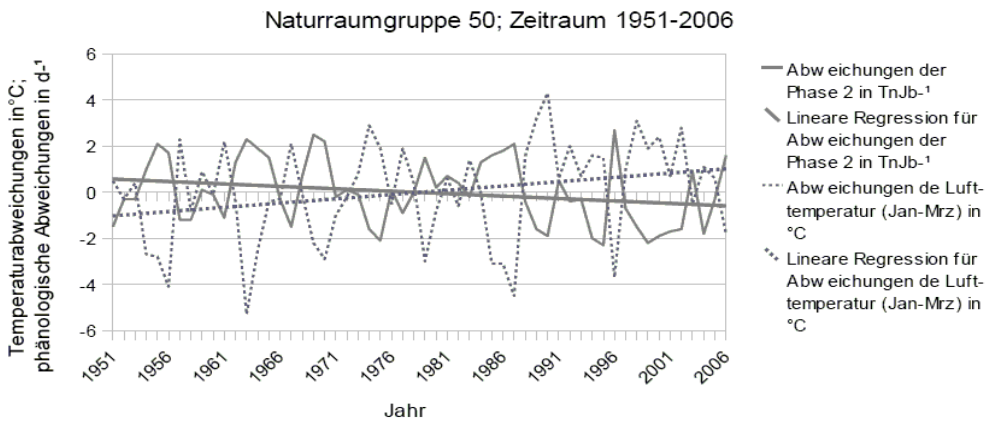


Abb. 10 Abweichungen im Beginn der Phase 2 (Blüte des Schneeglöckchens) im Vergleich mit Abweichungen der mittleren Lufttemperatur.

Fig. 10 Deviations of phase 2 (bloom of snowdrop) in comparison to deviations of mean air temperature.

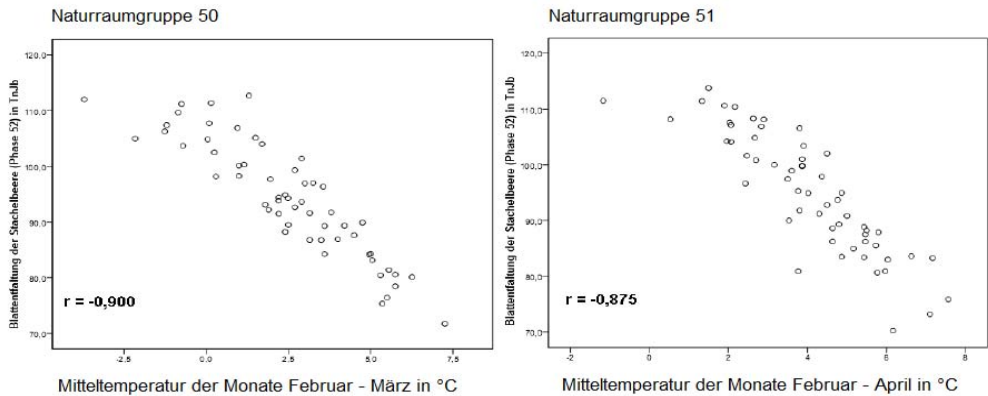


Abb. 11 Korrelation der Phase 52 (Blattentfaltung der Stachelbeere) der mittleren Lufttemperatur.

Fig. 11 Correlations between phase 52 (leafing of gooseberry) and mean air temperature.

Auch die Phase 52 (Blattentfaltung der Stachelbeere) wies hierbei sehr hohe Korrelationen zu den Temperaturwerten der Monate Februar bis März sowie Februar bis April auf (siehe Abbildung 11).

Die am stärksten ausgeprägten Korrelationen der Phase 62 (Blüte des frühreifenden Apfels) zu den mittleren Lufttemperaturen fanden sich für einen Großteil der betrachteten Naturraumgruppen ebenfalls für den

Zeitraum März bis April. Ausnahmen bildeten hiervon die Naturraumgruppen 38 (Harz) und 88 (Elbe-Mulde-Tiefland), deren höchste Korrelationen der Phase 62 (Blüte des frühreifenden Apfels) sich in den Zeiträumen April bis Mai (Naturraumgruppe 38) beziehungsweise Februar bis April (Naturraumgruppe 88) fanden. Ähnlich den bereits für die Schneeglöckchenblüte erwähnten Abweichungen, ist für diese Korrelation innerhalb der Naturraumgruppe 38 (Harz) maßgeblich ein verspäteter Phasenbeginn aufgrund ihrer Höhenlage verantwortlich. Die Phase 123 (Blüte der Robinie) zeigte ein relativ uneinheitliches Bild: nicht für alle Naturraumgruppen waren sehr starke statistische Zusammenhänge von  $|r| > 0,65$  nachweisbar, die stärksten für die Zeiträume April - Mai sowie April - Juni. Allerdings lassen sich auch für andere zusammengefasste Monatsmitteltemperaturen hohe Korrelationen nachweisen, so dass für diese Phase insgesamt nur eingeschränkt Aussagen getroffen werden konnten. Für einen Großteil der betrachteten Naturraumgruppen weist der Beginn der Phase 64 (Blüte der Sommerlinde) die stärksten Korrelationen für den Zeitraum April bis Juni auf. Diese Zusammenhänge waren in den Naturraumgruppen 87 ( $r = -0,865$ ), 86 ( $r = -0,884$ ) und 50 ( $r = -0,883$ ) am deutlichsten ausgeprägt (vergleiche Tabelle 3). Für die Naturraumgruppe 38 (Harz) ließen sich dabei keine Korrelationen von  $|r| > 0,65$  nachweisen.

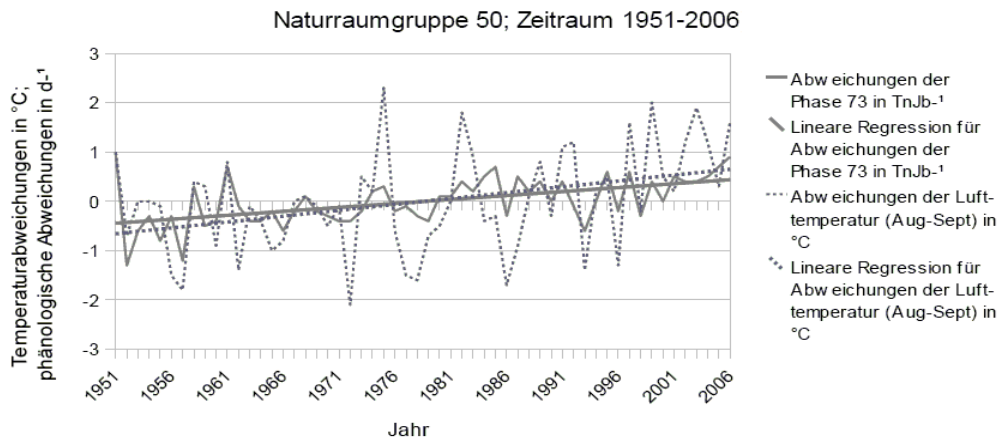


Abb. 12 Abweichungen im Beginn der Phase 73 (Blattverfärbung der Stieleiche) im Vergleich mit Abweichungen der mittleren Lufttemperatur.

Fig. 12 Deviations of phase 73 (colour change of oak-foilage) in comparison to deviations of mean air temperature.

Die Herbstphase 73 (Blattverfärbung der Stieleiche) wies in keiner Naturraumgruppe sehr starke korrelative Beziehungen von  $|r| > 0,65$  zwischen Phasenbeginn und Lufttemperatur auf. Jedoch konnten weniger starke korrelative Beziehungen zu den Zeiträumen August bis September nachgewiesen werden. Damit zeigt sich, dass auch für die Phase 73 (Blattverfärbung der Stieleiche) eine Reaktion auf zunehmende Lufttemperaturen mit einer Verzögerung des Phasenbeginns besteht.

#### 4.3 Veränderungen der thermischen und phänologischen Vegetationsperiode in ihren Beziehungen zu den naturräumlichen Differenzierungen

Aus den Analysen konnte für nahezu alle betrachteten Stationen sowohl eine Verlängerung der thermischen als auch der phänologischen Vegetationsperiode nachgewiesen werden. Die insbesondere durch die Verfrühungen der Phase 52 (Blattentfaltung der Stachelbeere) bedingten Ausdehnungen der phänologischen Vegetationsperiode lassen Beziehungen zu den Schwankungen der Nordatlantik-Oszillation (NAO) und den hieraus erwachsenden Änderungen der Witterung erkennen. Ein positiver NAO-Index führt zu einer

überdurchschnittlich hohen Lufttemperatur, während ein negativer Wert ein eher kühles Witterungsgeschehen zur Folge hat. Die phänologische Vegetationsperiode zeigte diesbezüglich jedoch unterschiedlich stark ausgeprägte Veränderungen. Die thermische Vegetationsperiode wies, bis auf die Stationen Seehausen und Harzgerode, eine durchschnittliche Verlängerung um 2 Wochen für die betrachteten Zeiträume auf.

So dokumentieren die Angaben für die Station Harzgerode für den Zeitabschnitt 1971 – 2000 eine Verkürzung der thermischen Vegetationsperiode um 5 auf 176 Tage im Vergleich zur Klimanormalperiode 1961 – 1990. Demgegenüber ist die phänologische Vegetationsperiode hier nur um wenige Tage kürzer als in anderen Naturraumgruppen. Die Station Harzgerode stellt somit den einzigen Fall unter den betrachteten Standorten dar, in dem die Dauer der phänologischen Vegetationsperiode die der thermischen überstieg (vergleiche Abbildung 13).

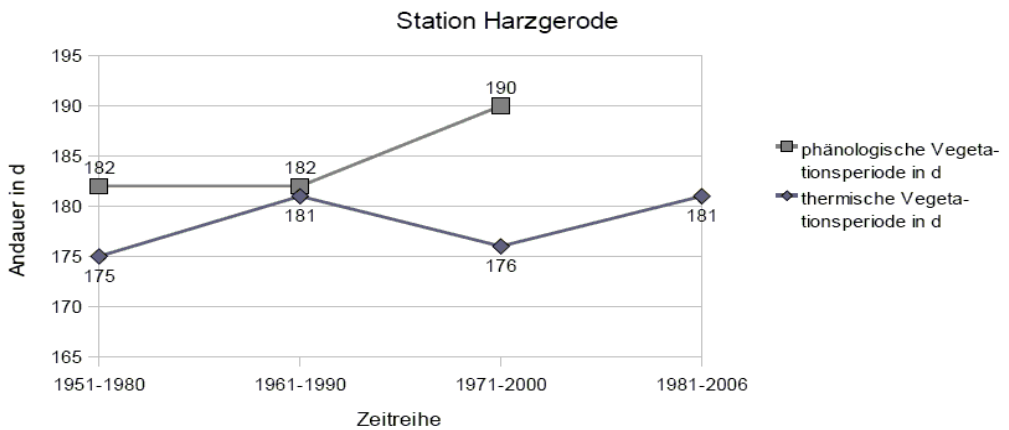


Abb. 13 Entwicklung der thermischen und phänologischen Vegetationsperiode der Station Harzgerode.

Fig. 13 Changes of the thermal and phenological growing season for Harzgerode.

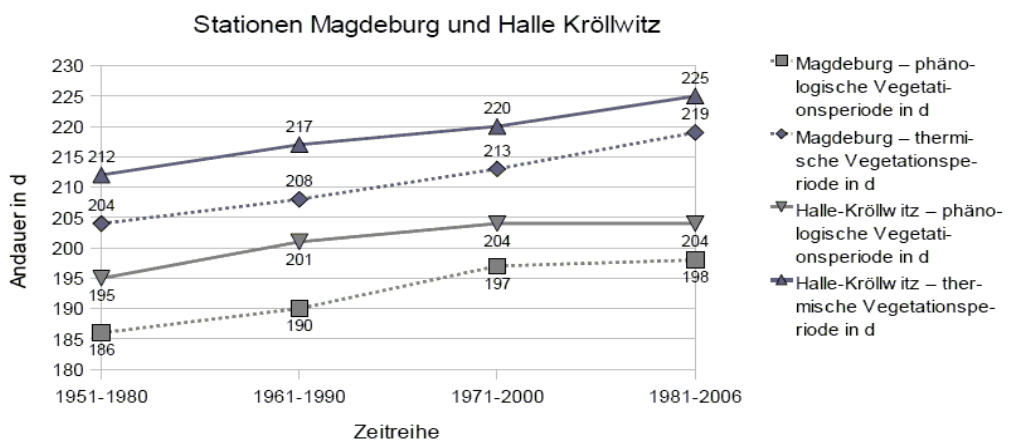


Abb. 14 Entwicklung der thermischen und phänologischen Vegetationsperiode der Stationen Halle-Kröllwitz und Magdeburg.

Fig. 14 Changes of the thermal and phenological growing seasons for Halle-Kröllwitz and Magdeburg.

Die phänologische Vegetationsperiode der Station Magdeburg weist demgegenüber eine im Vergleich der Betrachtung der Zeitscheiben für den Zeitraum 1981 – 2006 um durchschnittlich 12 Tage gekennzeichnete Verlängerung auf. Dies ist sowohl auf einen im Zeitverlauf früher einsetzenden Phasenbeginn der Phase 52 (Blattentfaltung der Stachelbeere), als auch auf ein zunehmend späteres Einsetzen der Phase 73 (Blattverfärbung der Steileiche) zurückzuführen. Gleichzeitig hat sich hier auch die Vegetationsperiode um 15 Tage verlängert, was hauptsächlich auf einen früheren Beginn um 11 Tage zurückzuführen ist. Die Ergebnisse der Analyse der Station Halle-Kröllwitz (Naturraumgruppe 50, Östliches Harzvorland und Börden) sind in etwa mit denen der Station Magdeburg vergleichbar und stützen damit den überwiegenden, diesbezüglichen Trend in Sachsen-Anhalt (vergleiche Abbildung 14).

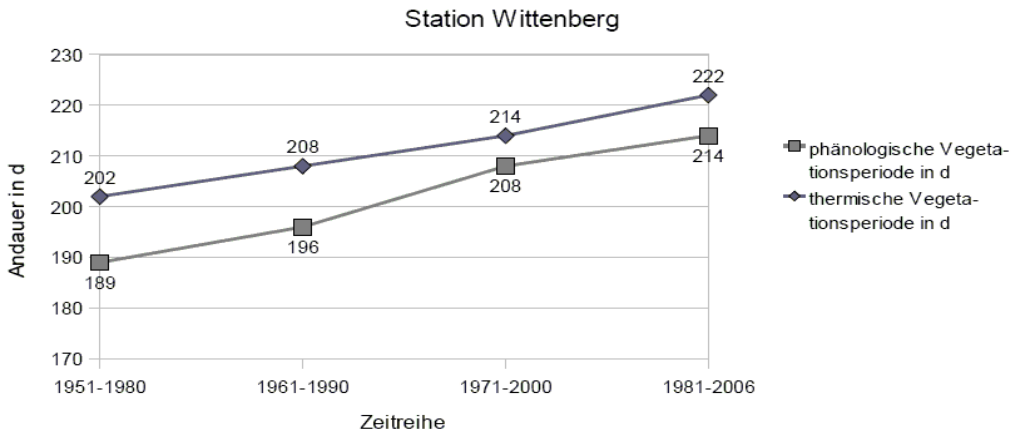


Abb. 15 Entwicklung der thermischen und phänologischen Vegetationsperiode der Station Wittenberg.

Fig. 15 Changes of the thermal and phenological growing season for Wittenberg.

Die Station Wittenberg wies von allen betrachteten Stationen den am deutlichsten ausgeprägten Trend hin zu längeren Vegetationszeiten um mehr als 3 Wochen auf. Hierfür ist ein früherer Beginn der Phase 52 (Blattentfaltung der Stachelbeere) um 9 Tage (Vergleichszeiträume 1951 – 1980 zu 1981 – 2006) sowie ein verspätetes Einsetzen der Phase 73 (Blattverfärbung der Stieleiche) um 16 Tage innerhalb dieses Beobachtungszeitraums prägend. Auch die thermische Vegetationsperiode für den Vergleichszeitraum 1951 – 1980 zu 1981 – 2006 wies eine Verlängerung um 20 Tage auf.

#### 4.4 Einfluss von Frosttagen auf die Pflanzenphänologie

Aus den Analysen wird deutlich, dass die phänologischen Frühlingsphasen einem besonderen Einfluss von Frosttagen unterliegen, welcher jedoch in den verschiedenen Naturraumgruppen unterschiedlich stark ausgeprägt war. Die Phase 2 (Blüte des Schneeglöckchens) in den Naturraumgruppen 62 (Weser-Allertiefeland) und 64 (Lüneburger Heide) sowie die Phase 52 (Blattentfaltung der Stachelbeere) der Naturraumgruppe 46 (Erzgebirgsvorland und sächsisches Hügelland) wiesen diesbezüglich sehr stark korrelative Beziehungen von  $|r| > 0,65$  zu den beobachteten Frosttagen auf.

Die für den Obstbau bedeutsame Phase 62 (Blüte des frühreifenden Apfels) zeigte für nahezu alle Naturraumgruppen ebenfalls klare Abhängigkeiten vom Auftreten von Frosttagen im späten Frühjahr. So wies insbesondere die Apfelblüte in den Naturraumgruppen 62+64 mit  $r = 0,608$  sehr starke Korrelationen zum Auftreten von Spätfrostereignissen auf. Auch für die anderen Naturraumgruppen ließen sich diese Zusammenhänge zwischen Frosttagen und phänologischem Phaseneintritt der Frühlingsphasen nachweisen, jedoch mit deutlich geringeren Beziehungen ( $0,43 < |r| < 0,64$ ).

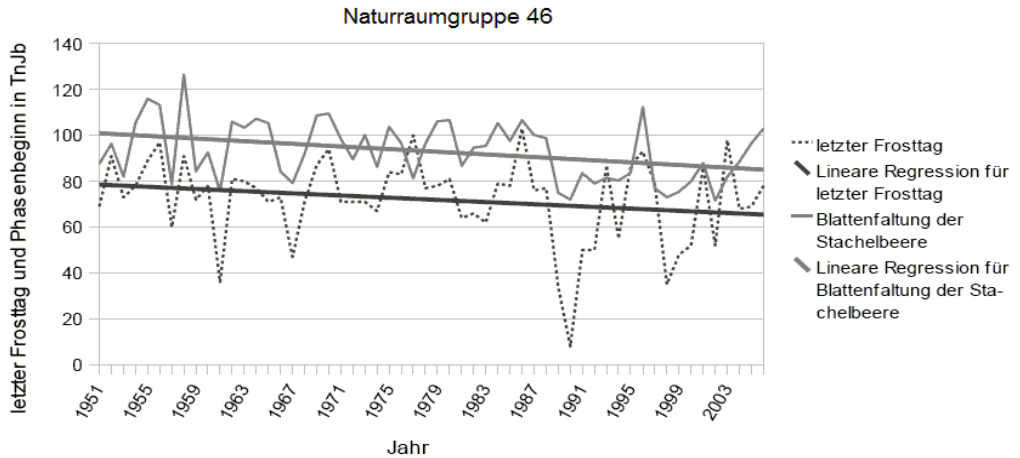


Abb. 16 Reaktion der Phase 52 (Blattentfaltung der Stachelbeere) auf Spätfrostereignisse.

Fig. 16 Reaction of phase 52 (leafing of gooseberry) to late frost.

#### 4.5 Vergleich phänologischer Daten mit der Häufigkeit des Auftretens von Sommertagen und heißen Tagen

Die in diesem Kontext analysierten Korrelationen erreichten allerdings mit  $|r| > 0,36$  deutlich geringere Werte als die Beziehungen zu den Frosttagen. Die deutlichsten Zusammenhänge konnten hierbei zwischen der Häufigkeit von Sommertagen und heißen Tagen am Beispiel der Sommerphasen 123 (Blüte der Robinie), 64 (Blüte der Sommerlinde), 109 (Fruchtreife des frühreifenden Apfels) sowie die Frühherbstphase 67 (Fruchtreife des Schwarzen Holunders) sichtbar gemacht werden. Ebenso wies Phase 72 (Fruchtreife der Stieleiche) in den Naturraumgruppen 47+48 (Thüringer Becken mit Randplatten) und 62+64 (Weser-Aller-Tiefland; Lüneburger Heide) korrelative Zusammenhänge von  $|r| > 0,36$  auf. Bezüglich des Phaseneintritts wird deutlich, dass Hitzestresserscheinungen infolge einer zunehmenden Häufigkeit des Auftretens von Sommertagen und heißen Tagen, Selbigen verspäten. Für die Naturraumgruppe 50 (Östliches Harzvorland und Börden) im mitteldeutsche Trockengebiet konnten in diesem Sachzusammenhang nur für die Phasen 109 (Fruchtreife des frühreifenden Apfels) und 67 (Fruchtreife des Schwarzen Holunders) korrelative Beziehungen zum Auftreten von Sommertagen von  $|r| > 0,4$  bzw. eine hieraus resultierende verspätete Pflanzenentwicklung sichtbar gemacht werden. In den Naturraumgruppen 62+64 der stärker ozeanisch geprägten Landesteile zeigten auch andere Phänophasen Korrelationen zum Auftreten von Sommertagen. Demgegenüber konnte dies für die Naturraumgruppe 88 (Elbe-Mulde-Tiefland) jedoch in keinem Fall beobachtet werden.

#### 4.6 Einfluss von Niederschlägen und Trockenperioden

Die Analysen zu Zusammenhängen zwischen phänologischem Phaseneintritt und den monatlichen Niederschlagssummen erbrachten nur in den seltensten Fällen Werte von  $|r| > 0,4$ . Einzig die Phase 123 (Blüte der Robinie) zeigte für die Harz-Stationen Friedrichsbrunn und Harzgerode Korrelationen von  $|r| > 0,4$  zu den Niederschlagssummen des Monats Mai. Hinsichtlich der Wechselwirkungen zwischen phänologischem Phaseneintritt und der Anzahl der Trockentage konnten nur für die Stationen Magdeburg, Halle-Kröllwitz und Harzgerode, allerdings sehr lockere, Zusammenhänge von  $|r| > 0,36$  ermittelt werden. Das vorliegende Datenmaterial ließ diesbezüglich somit kaum gesicherte Aussagen zum Einfluss von Trockenperioden auf pflanzenphänologische Erscheinungen zu. Andere klimatische Parameter, insbesondere die der Lufttemperatur, haben wesentlich stärkere Auswirkungen auf die Pflanzenphänologie, als Trockenheit.

#### 4.7 Einfluss der Nordatlantik-Oszillation auf die Pflanzenphänologie Sachsen-Anhalts

Die Nordatlantik-Oszillation (NAO) drückt das Verhältnis unterschiedlicher Luftdruckverhältnisse zwischen dem Azorenhoch und dem Islandtief aus (AUGUSTIN & ERSAMI 2008). Ein positiver Index-Wert in den Monaten Januar bis April zeigt eine große Luftdruckdifferenz zwischen diesen Luftmassen an. Als Ergebnis hiervon strömen feucht-warme Luftmassen nach Mittel- und Nordeuropa, was dort zu Temperaturen über dem Durchschnittswert führt (CHMIELEWSKI 2007; AUGUSTIN & ERSAMI 2008). Ein negativer NAO-Index bewirkt demgegenüber eine Verlagerung der Westwindzirkulation in Richtung Süden, so dass weite Teile Mittel- und Nordeuropas einer Beeinflussung kalter Luftmassen aus dem Norden unterliegen (AUGUSTIN & ERSAMI 2008). Die eigenen Untersuchungen verdeutlichen korrelative Zusammenhänge von  $|r| > 0,5$  zu Schwankungen der Nordatlantik-Oszillation im Monat Januar, die vor allem für die Phase 2 (Blüte des Schneeglöckchens) eine Bedeutung haben. Die Phase 52 (Blattentfaltung der Stachelbeere) korrelierte dabei am stärksten mit dem NAO-Index dieses ersten Monats des Jahres ( $r = -0,551$ ) für die Naturraumgruppe 86 beziehungsweise Naturraumgruppe 50 ( $r = -0,572$ ). Dies wird in Abbildung 17 verdeutlicht.

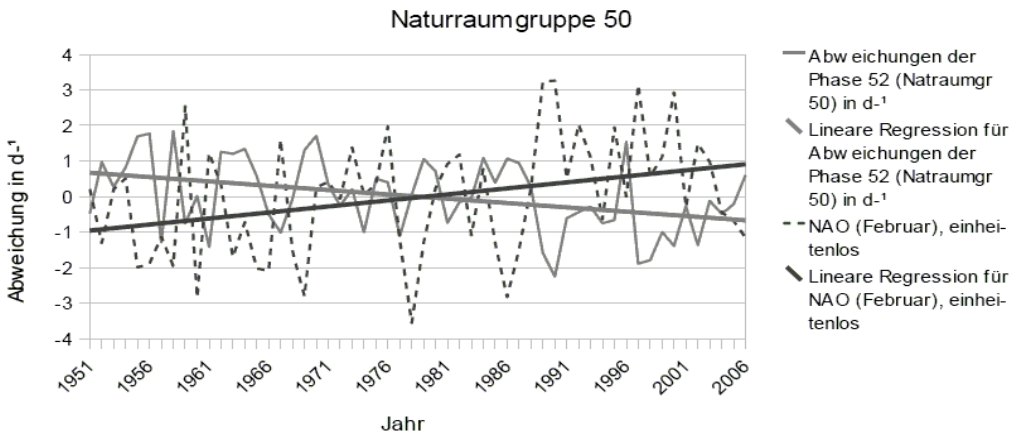


Abb. 17 Einfluss der Nordatlantikoszillation auf die Blattentfaltung der Stachelbeere (Phase 52).

Fig. 17 Influence of the north-Atlantic oscillation on leafing of gooseberry (phase 52).

Ähnliches wurde auch für die Phase 62 (Blüte des frühreifenden Apfels) in Bezug zu den NAO-Indexwerten des Monats Februar ermittelt. Positive Werte des NAO-Index lassen somit eine Verfrüfung des Eintritts dieser Phänophasen plausibel erscheinen. Schwankungen der Nordatlantik-Oszillation wirken sich daher direkt auf die Andauer der phänologischen Vegetationsperiode aus, da diese durch die Blattentfaltung der Stachelbeere (Phase 52) eingeleitet wird.

Für eine bessere Anpassung an die Streuung der Eintrittsdaten der Phänophasen wurde die Korrelationsanalyse zum NAO-Index ebenfalls für mehrere zusammengefasste Monate durchgeführt. Damit wurden bessere Korrelationen (teilweise  $|r| > 0,6$ ), wie beispielsweise für die Phase 52 (Blattentfaltung der Stachelbeere) der Naturraumgruppe 50 ( $r = -0,638$ ), sichtbar. Auch die Phase 2 (Blüte des Schneeglöckchens) zeigte diesbezüglich deutliche Zusammenhänge ( $0,50 < |r| > 0,57$ ) zu den Schwankungen des NAO-Index der zusammengefassten Monate Januar bis Februar sowie Januar bis März auf. Der Vergleich von NAO-Indizes mehrerer zusammengefasster Monate mit phänologischen Daten erwies sich somit ebenfalls als besser geeignet, um einen Einfluss der Nordatlantik-Oszillation auf die Pflanzenphänologie nachzuweisen als ein Vergleich mit Index-Werten von Einzelmonaten.



#### 4.8 Einfluss der Höhenlage auf die Pflanzenphänologie Sachsen-Anhalts

Dass die phänologischen Phasen stark von der Höhenlage abhängig sind und mit zunehmender Höhe über dem Meeresspiegel verzögert einsetzen, ist allgemein bekannt (KLINK & MAYER 1983). Auch die eigenen Analysen bestätigten dies, indem nahezu alle untersuchten Phaseintritte im Jahresverlauf eine starke bis sehr starke Korrelation zur Höhenlage aufweisen. Die stärksten Korrelationen zeigten hierbei die Phänophasen 2 (Blüte des Schneeglöckchens), 62 (Blüte des frühreifenden Apfels) sowie 64 (Blüte der Sommerlinde).

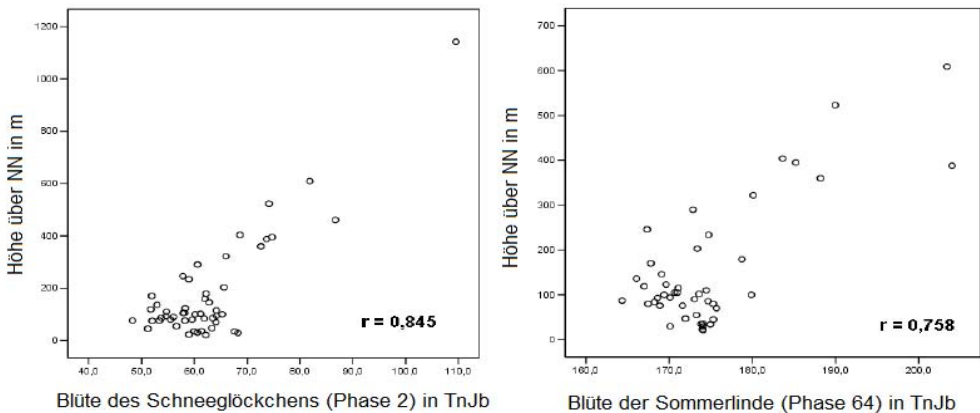


Abb. 18 Einfluss der Höhenlage auf die Pflanzenphänologie Sachsen-Anhalts, dargestellt am Beispiel der Phänophasen 2 und 64.

Fig. 18 Height above sea-level and plant phenology in Saxony-Anhalt. Example of the phenological phases 2 and 64.

## 5 Sonderstandort Brocken und Hochlagen des Harzes

Der im Harz gelegene Brockengipfel weist hinsichtlich seiner klimatologischen und phänologischen Eigenschaften einige Besonderheiten auf. So stellt er mit einer Höhe von 1141 m über NN die höchste Erhebung Sachsen-Anhalts dar und gilt mit durchschnittlich 1600 mm Niederschlag als niederschlagsreichster Punkt im nördlichen Mitteleuropa (OELKE 1997). Aus der Analyse der Klimadaten wird ein Anstieg der mittleren Jahrestemperatur auf dem Brockengipfel von 2,9 °C (Klimanormalperiode 1961 – 1990) auf durchschnittlich circa 3,5 °C (Zeitreihe 1981 – 2006) deutlich. Damit einher geht ein Anstieg der durchschnittlichen jährlichen Niederschlagsmenge von 1608 mm (Zeitreihe 1951 – 1980) auf über 1800 mm.

Bezüglich der phänologischen Entwicklung wird aus Abbildung 19, die den Beginn der Blüte des Schneeglöckchens für den Brockengipfel dokumentiert, der generell später einsetzende Phasenbeginn im Vergleich zu allen Vorlandstationen sichtbar. Wichtiger ist jedoch, dass alle für den Brockengipfel untersuchten Phänophasen, analog zu den Stationen des Vorlandes, ebenfalls eine klare Tendenz hin zu einem früher beginnenden Phaseintritt aufweisen.

Auffällig ist hierbei, dass die Phasen 3, 19 sowie 65 im Zeitraum der Klimanormalperiode 1961 – 1990 eine Abweichung vom Trend der Verfrühung signalisieren. Allerdings wiesen die Phasen 3 (Blühbeginn des Hufattichs) und 19 (Vollblüte des Wiesen-Fuchsschwanzes) erhebliche Datenlücken auf, so dass deren Beziehungen zu den Temperaturwerten als kaum gesichert bezeichnet werden müssen. Demgegenüber wies der Phaseintritt des Maitriebs der Fichte (Phase 17) diesbezüglich jedoch eine sehr hohe Korrelation von  $r = -0,836$  zu den mittleren Lufttemperaturen des Zeitraumes März bis Mai auf (siehe Abbildung 20). Dies trifft auch für die Phase 65 (Blühbeginn des Heidekrauts) für den Zeitraum Mai bis Juli mit einer hohen Korrelation ( $r = -0,662$ ) zu.

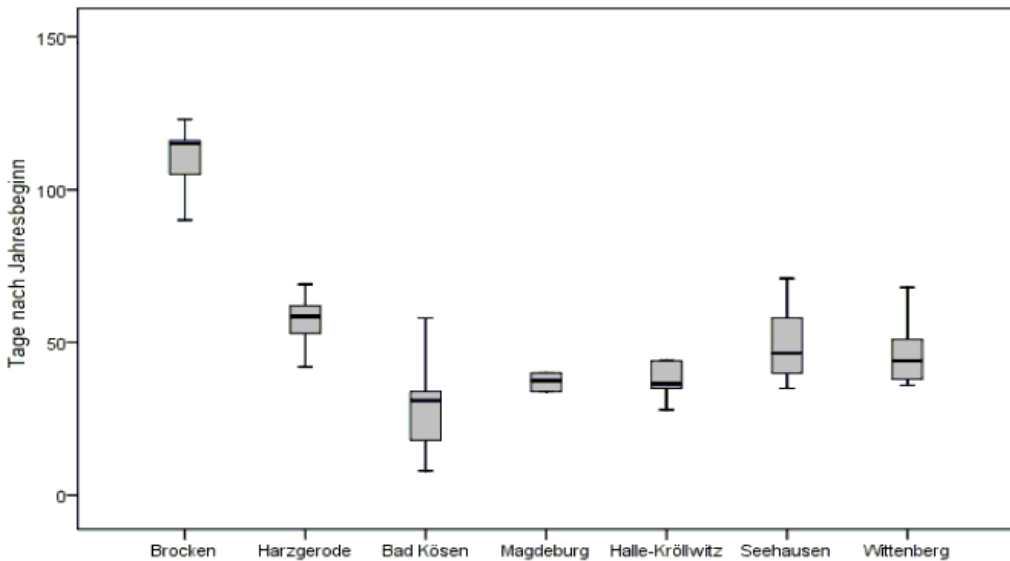


Abb. 19 Blüte des Schneeglöckchens (Phase 2) auf dem Brockengipfel im Vergleich zu tiefer gelegenen Stationen.

Fig. 19 Bloom of snowdrop (phase 2) on the Brocken mountain in comparison to lowland stations.

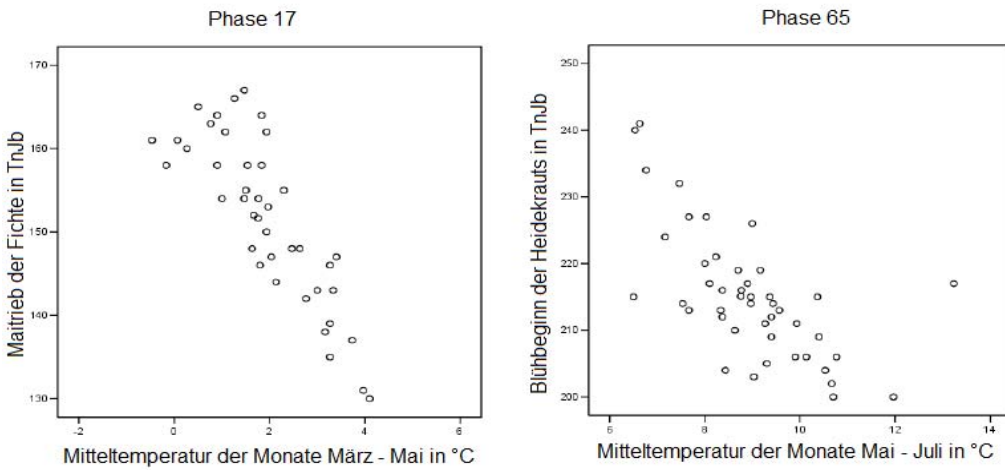


Abb. 20 Zusammenhänge der Brockenphänologie mit der Lufttemperatur, dargestellt am Beispiel der Phasen 17 (Maitrieb der Fichte) und 65 (Blühbeginn des Heidekrauts).

Fig. 20 Correlation between air temperature and the phenology of the Brocken mountain, phenological phases 17 and 65.

## 6 Phänologische Betrachtungen zum Obstbau in Sachsen-Anhalt

Der Obstbau hat nach Angaben des Statistischen Landesamtes mit 1800 Hektar im Vergleich zur landwirtschaftlichen Nutzfläche nur eine geringe, regional jedoch bedeutsame Dimension. Der Landkreis Mansfeld-Südharz weist hierbei nahezu 43 % der gesamten Obstanbaufläche Sachsen-Anhalts auf. Mit einer Anbaufläche von über 1000 ha und mehr als 2 Millionen Bäumen kommt hierbei dem Apfelanbau in Sachsen-Anhalt eine besondere Bedeutung im Obstbau zu (STATISTISCHES LANDESAMT SACHSEN-ANHALT 2009). Im Kontext der eigenen Untersuchungen wurden die Daten zu obstbaulich bedeutsamen Phänophasen der Blüte und Fruchtreife des frühreifenden Apfels (Phasen 62 und 109) für die Naturraumgruppe 50 (Östliches Harzvorland und Börden) analysiert.

Die Ergebnisse lassen für den Beginn der Blüte des frühreifenden Apfels im Beobachtungszeitraum ein klar verfrühtes Einsetzen erkennen (siehe Abbildung 22). In der betrachteten Naturraumgruppe 50 (Östliches Harzvorland und Börden) war der Beginn der Apfelblüte um 11 Tage verschoben. So begann er früher (1951 – 1960) durchschnittlich 123 Tage nach Jahresbeginn, während er nunmehr in der Periode 1991 – 2000 schon 112 Tage nach Jahresbeginn einsetzte. Für die Naturraumgruppe 50 (Östliches Harzvorland und Börden) ließ sich darüber hinaus ein deutlicher korrelativer Zusammenhang zwischen Apfelblüte und Spätfrostereignissen nachweisen ( $r = 0,514$ ).

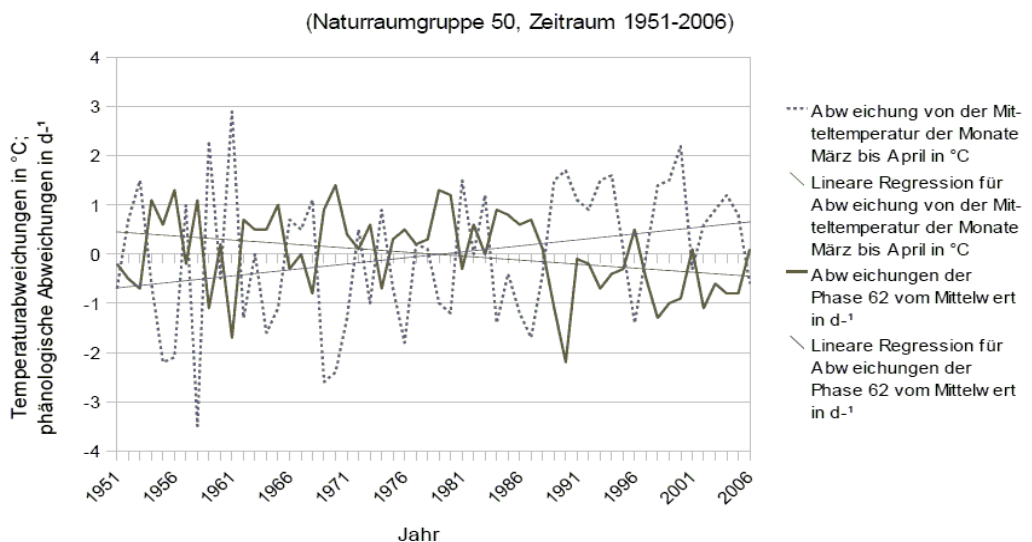


Abb. 21 Abweichungen der Blüte des frühreifenden Apfels und der mittleren Lufttemperatur.

Fig. 21 Deviations of apple bloom and mean air temperature.

Eine weitere wichtige Phase des Obstbaus stellt die Fruchtreife des frühreifenden Apfels (Phase 109) dar. Diesbezüglich zeigten die Analysen, dass ein klarer Trend dieser Phänophase in den verschiedenen Naturraumgruppen Sachsen-Anhalts nicht auszumachen war. So wiesen einige Naturraumgruppen, beispielsweise die Naturraumgruppe 85 (Fläming), einen verfrühten Phasenbeginn auf, während andere ein verspätetes Einsetzen der phänologischen Phase, wie die Naturraumgruppe 50 (Östliches Harzvorland und Börden), erkennen lassen.

## 7 Zusammenfassung

SCHEFFLER, A., FRÜHAUF, M.: Veränderungen der Pflanzenphänologie in unterschiedlichen Naturräumen Sachsen-Anhalts unter Berücksichtigung ihrer wesentlichen Einflussfaktoren. - *Hercynia N. F.* 44 (2011): 169 – 189.

Als Reaktion auf die Klimaänderungen in Sachsen-Anhalt lassen sich für die verschiedenen Naturräume unterschiedliche, jedoch klar erkennbare Veränderungen der Pflanzenphänologie nachweisen. Diese zeigen sich vor allem in einer Verschiebung der phänologischen Jahreszeiten, infolge erhöhter durchschnittlicher Lufttemperaturen. So zeigen die phänologischen Frühlingsphasen, insbesondere die Phase 2 (Blüte des Schneeglöckchens) und 52 (Blattentfaltung der Stachelbeere), für den Zeitraum 1951 – 2006 einen zunehmend früher einsetzenden Phasenbeginn. Die Herbstphasen, insbesondere die Phase 73 (Blattverfärbung der Stieleiche), lassen hingegen einen späteren Phasenbeginn erkennen. Hieraus ergibt sich eine Verlängerung der phänologischen Vegetationsperiode. Ähnliche Entwicklungen sind analog hierzu auch für die thermische Vegetationsperiode zu beobachten. Hauptursache hierfür ist die Temperaturerhöhung der letzten fünfzig Jahre. Die beobachtete Verlängerung der phänologischen Vegetationsperiode um bis zu 23 Tage geht dabei vorrangig auf einen früher einsetzenden Blühbeginn, weniger auf verspäteten Blattfall, zurück. Die mittleren Lufttemperaturen und die Höhenlage erweisen sich dabei als die wichtigsten Faktoren der Phänologie. So waren Zusammenhänge zwischen Pflanzenphänologie und dem Auftreten von Frosttagen, unter anderem für die Phasen 52 (Blattentfaltung der Stachelbeere) und 62 (Blüte des frühreifenden Apfels), erkennbar. Letztere ist für den sachsen-anhaltinischen Obstbau von Bedeutung. Demgegenüber scheint das Niederschlagsgeschehen nur eine geringe Wirksamkeit auf die Pflanzenphänologie auszuüben. Auch hinsichtlich der phänologischen Wirksamkeit von Trockenperioden sowie dem Auftreten von Sommertagen bzw. heißen Tagen konnten für die Sommer- und Herbstphasen nur geringe Zusammenhänge deutlich gemacht werden. In diesem Kontext lassen sich auch Veränderungen des NAO-Index der letzten fünfzig Jahre in ihrer Wirksamkeit für die phänologischen Frühlingsphasen sichtbar machen.

## 8 Literatur

- AUGUSTIN, J., ERSMASMI, S. (2008): Apfelblüte macht das Regionalklima sichtbar. - Nationalatlas aktuell 5.
- AUTORENKOLLEKTIV (1991): Anleitung für die phänologischen Beobachter/innen des Deutschen Wetterdienstes (DWD). 3. Aufl. - Offenbach am Main.
- AUTORENKOLLEKTIV (2007): Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): IV. Assessment Report on Climate Change 2007. - Genf.
- 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. d. Dt. Wetterdienstes (DWD) 189. - Offenbach am Main.
- CHMIELEWSKI, F.-M. (2007): Phänologie. Ein Indikator zur Beurteilung der Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Biosphäre. - *promet - Meteorologische Fortbildung* 1: 2 – 6.
- DEFILA, C. (2006): Klimaerwärmung - Einfluss auf die Waldphänologie. - *Züricher Wald* 4: 10 – 13.
- FABIG, I. (2007): Die Niederschlags- und Starkregenentwicklung der letzten 100 Jahre im Mitteldeutschen Trockengebiet als Indikatoren möglicher Klimaänderungen. In: *Künftige Klimaänderungen in Sachsen-Anhalt - Sachstand und Handlungsfelder*. - Ber. d. Landesamtes f. Umweltschutz Sachsen-Anh., Sonderh. 1. - Landesamt f. Umweltschutz Sachsen-Anh. (Hrsg.). Halle/S.: 18 – 24.
- FRANKE, J., SURKE, M., LANGROCK, M. (2008): Handbuch zur „Klimadatenbank Mitteldeutschland“. Stand Juni 2008. - Tharandt.
- FRÜHAUF, M. (2007): Notwendigkeit und Herausforderungen für eine angewandte Klimafolgenforschung in Sachsen-Anhalt: Erste Überlegungen und Perspektiven. In: *Künftige Klimaänderungen in Sachsen-Anhalt - Sachstand und Handlungsfelder*. - Ber. d. Landesamtes f. Umweltschutz Sachsen-Anh., Sonderh. 1. - Landesamt f. Umweltschutz Sachsen-Anh. (Hrsg.). Halle/S.: 4 – 10.
- KLINK, H. J., MAYER, E. (1983): *Vegetationsgeographie - Das geographische Seminar*. 1. Aufl. - Westermann Verlag, Braunschweig.

- KIRCHGÄSSNER, A. (2001): Phänoklimatologie von Buchenwäldern im Südwesten der Schwäbischen Alb. - Diss. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. - Berichte des meteorologischen Instituts der Universität Freiburg 7. - Freiburg.
- KOŁODZIEJ, A. (2007): Klimawandel in Sachsen-Anhalt: Auswirkungen auf die phänologischen Phasen wildwachsender Pflanzen. - Ber. d. Dt. Wetterdienstes 231. - Offenbach am Main.
- OELKE, E. (1997) (Hrsg.): Perthes Länderprofile: Sachsen-Anhalt. Mit einem Anhang Fakten-Zahlen-Übersichten: 81 Karten und Abbildungen sowie 7 Übersichten und 41 Tabellen. 1. Aufl. - Klett Verlag, Gotha.
- SCHEFFLER, A. (2010): Phänologische Daten im Vergleich mit der Klimadatenbank Sachsen-Anhalt und möglicher Einfluss des Klimawandels auf die Pflanzenphänologie. – Diplomarb., Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- SCHÖNWIESE, C.-D. (2003): Klimatologie. 2. neubearb. und aktual. Aufl. - Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart (Hohenheim).
- STATISTISCHES LANDESAMT SACHSEN-ANHALT (Hrsg.) (2009). Online-Datenbank: [www.stala.sachsen-anhalt.de](http://www.stala.sachsen-anhalt.de), 19.01.2010.
- STREITFERT, A., GRÜNHAGE, L. (2009): Klimawandel und Pflanzenphänologie in Hessen - INKLIM 2012 Baustein II Plus. - Giesen.

*Manuskript angenommen: 10. Juni 2011*

Anschriften der Autoren:

Dipl. Geogr. Alexander Scheffler

Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Umwelttechnik und Energiewirtschaft

Eißendorffer Str. 40, D-21073 Hamburg

E-mail: [scheffler@tu-harburg.de](mailto:scheffler@tu-harburg.de)

Prof. Dr. Dr. hc. mult. Manfred Frühauf

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg,

Naturwissenschaftliche Fakultät III, Institut für Geowissenschaften

Von-Seckendorff-Platz 4, D-06120 Halle (Saale)

E-mail: [manfred.fruehauf@geo.uni-halle.de](mailto:manfred.fruehauf@geo.uni-halle.de)

**KEIL, D. (2010): Pilzflora von Greiz. – Pilze Thüringens, Band 1.** – 428 S., Weissdorn-Verlag Jena, ISBN 978-3-936055-60-3. – Bezugsquelle: Weissdorn-Verlag Jena, Dr. Gerald Hirsch, Wöllnitzer Str., D-07749 Jena, E-Mail: weissdorn-verlag@t-online.de. – Preis: 29,95 Euro.

Das neue Pilzbuch beinhaltet im Wesentlichen eine Artenliste des Autors Dietmar Keil. Er listet die Pilze seiner eigenen Funde auf, die er in ca. 15 Jahren pilzfloristischer Arbeit im Gebiet in und um Greiz ermittelt hat. Die Arten werden kurz kommentiert und zu nahezu 50 % durch farbige Bilder dokumentiert.

Diese festgeschriebenen Ergebnisse seiner Arbeit demonstrieren eine beachtenswerte Breite des mykologischen Terrains, in das sich der Autor eingearbeitet hat. Sie zeigen eindrucksvoll, welche Vielfalt von Arten in einem relativ kleinen Gebiet vorkommen können. Außerdem zeigt das Buch einen neuen Stil der Darstellung und Auswertung persönlicher, pilzfloristischer Arbeitsergebnisse, der noch vor wenigen Jahren undenkbar war. Diapositive können problemlos gescannt und reproduziert werden, Drucktechniken erlauben es, kurzfristig in Buchform zu dokumentieren, was ehemals Unikate einer Privatsammlung waren. In diesem Sinne ist auch das Anliegen des Autors zu verstehen: Seine persönlichen Mühen, seine Aufopferung für diese Arbeit, seine Liebe zu den Pilzen und zu seiner Heimat sollen dauerhaft dokumentiert bleiben. Insgesamt hat Keil die beachtliche Zahl von über 1400 Sippen aus all den Gruppen von Pilzen nachgewiesen, die durch Geländearbeit zu ermitteln sind: hauptsächlich sind dies Asco- und Basidiomyceten mit ansehnlichen Fruchtkörpern, einige Myxomyceten mit gut erkennbaren Sporocarpien oder Aethalien und phytoparasitische Pilze mit auffallenden Befallsbildern aus verschiedenen systematischen Gruppen. Beachtenswert ist die hohe Zahl der *Russula*- und *Cortinarius*-Arten in der Liste. Für diese und auch einige andere Gruppen hat der Autor sicher Pionierarbeit in der Region von Ostthüringen geleistet.

Das Buch erhebt nicht den Anspruch, mit den zahlreichen mykologischen Werken der Gegenwart, den Monographien, Bestimmungsbüchern oder den populären Feldführern in Konkurrenz zu treten. Aus den einleitenden Abschnitten geht bereits hervor, dass lediglich eine Dokumentation aus einem eng begrenzten Gebiet beabsichtigt war.

Der Titel des Buches „Pilzflora ...“ erregt freilich Erwartungen, denen das Buch nicht gerecht werden kann. Es ist nicht alles berücksichtigt, was aus dem Untersuchungsgebiet bekannt ist, sondern nur das, was der Autor selbst ermittelt hat. Auch eine Bibliographie der einschlägigen lokalen pilzfloristischen Literatur vom Gebiet, die man problemlos hätte erstellen können, wird nicht geboten. Lediglich verbal ist auf Vorarbeiten hingewiesen.

Die bildliche Dokumentation umfasst 620 Farbfotos und stellt den Hauptteil des Buches dar (S. 15 – 24). Die Bilder sind z. T. brillante Darstellungen selten abgebildeter Arten. Bei einigen Makroaufnahmen kleiner Fruchtkörper wäre ein Maßstab zum Größenvergleich hilfreich gewesen, zumal dem Buch Beschreibungen der Pilze fehlen. Manche Aufnahmen entsprechen jedoch nicht dem Niveau, das man gegenwärtig von farbigen Abbildungen erwartet. Viele Fotos sind zu dunkel reproduziert. Die Bildtexte beschränken sich durchgehend auf die Namen der dargestellten Sippen und den „Speisewert“. Die stereotype Angabe „kein Speisepilz“ bei der Mehrzahl der abgebildeten Pilze ist beinahe nervenaufreibend. Sie ist leider in der deutschsprachigen Pilzliteratur derzeit weit verbreitet, nicht zuletzt durch die populäre Pilzzeitschrift „Der Tintling“, wo sie in großem Stil verwendet wird. Ursprünglich ist diese Rubrik aus dem Bemühen entstanden, seltene, essbare Pilze nicht als Objekte der Speisepilzsammler zu deklarieren. Dadurch stehen oft gefährdete, aber essbare Pilze – bei Dietmar Keil z. B. die Eichenrotkappe (*Leccinum quercinum*) – in dieser Kategorie neben weniger als 1 mm großen Becherlingen oder phytoparasitischen Mehltaupilzen, die ohnehin keiner vom Blatt der Wirtspflanze abkauen kann. Wenn essbare Pilze aus Naturschutzgründen als „kein Speisepilz“ neben giftverdächtigen Pilzen und unansehnlichen Winzlingen kommentarlos in dergleichen Rubrik des kategorischen Nichtspeisepilzes stehen, ist dies der Pilzaufklärung nicht zuträglich. Aber diese Tendenz der Kategorisierung ist dem Autor nicht anzulasten. Er folgt dem Trend der Zeit. Von den über 600 abgebildeten Pilzen sind nahezu 500 als „kein Speisepilz“, etwa 70 als „essbar“ und reichlich 40 als Giftpilze deklariert, einige als „giftig mit Alkohol“. Daneben gibt es einige „jung“ essbare Pilze und einige „Würzpilze“.

**Fortsetzung S. 228**