



**Berichte des Deutschen Wetterdienstes**

**231**

**Klimawandel in Sachsen-Anhalt:  
Auswirkungen auf die phänologischen Phasen  
wildwachsender Pflanzen**

von  
Andrea Kolodziej



Zitationsvorschlag:

Kolodziej, Andrea: Klimawandel in Sachsen-Anhalt : Auswirkungen auf die phänologischen Phasen wildwachsender Pflanzen. - Offenbach am Main: Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, 2007  
(Berichte des Deutschen Wetterdienstes ; 231)

ISSN der Onlineausgabe: 2194-5969

ISSN der Druckausgabe: 0072-4130

---

## Nutzungsbedingungen



Dieses Dokument steht unter folgender Creative Commons-Lizenz

Sie dürfen das Werk bzw. den Inhalt unter folgenden Bedingungen vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen: Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen. Dieses Werk bzw. dieser Inhalt darf nicht für kommerzielle Zwecke verwendet werden und es darf nicht bearbeitet, abgewandelt oder in anderer Weise verändert werden.

Mit der Verwendung dieses Dokumentes erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

---

Herausgeber und Verlag: :

Deutscher Wetterdienst  
Frankfurter Straße 135  
D- 63067 Offenbach am Main

Internet: [www.dwd.de](http://www.dwd.de)  
Mail: [bibliothek@dwd.de](mailto:bibliothek@dwd.de)

## Zusammenfassung

Das Klima in Sachsen-Anhalt hat sich in den letzten Jahrzehnten nachweislich verändert. Seit 1962 hat sich das Jahresmittel der Lufttemperatur um 1,5 °C erhöht. Diese positiven Temperaturentwicklungen führten zu Veränderungen im Auftreten von extremen Temperaturereignissen mit einer Abnahme von Kälteereignissen wie Frost- und Eistagen sowie einer Zunahme der Lufttemperaturmaxima.

In der Jahressumme der Niederschläge war für die Regionen Sachsen-Anhalts kaum eine Veränderung feststellbar. Jedoch erfolgten geringe Zunahmen vor allem südlich der Linie Harz-Fläming, als auch geringe Abnahmen in der Niederschlagssumme nördlich dieser Linie. Insgesamt haben dabei haben die Winter- und zum Teil auch die Herbstniederschläge erheblich zugenommen. Der Vorsommer ist dagegen auffallend trockener geworden.

In der Pflanzenentwicklung ist es zu massiven Veränderungen in Sachsen-Anhalt gekommen mit den stärksten Veränderungen im Eintrittstermin der Frühjahrsphasen. Mit dem Anstieg der Temperatur im Jahresverlauf und der Abnahme der monatlichen Schwankungen der Temperaturen nimmt die Intensität der Veränderungen in der Pflanzenentwicklung über das Jahr ab. Die Frühlings- und Sommerphasen sind im Wesentlichen sehr stark von den mittleren Lufttemperaturen der vorangegangenen ein bis drei Monate abhängig. Sie werden durch die Temperaturen im Spätwinter bis zum zeitigen Frühjahr beeinflusst. Zum Beispiel reagierte die Sal-Weide (*Salix caprea*) mit einem früheren Blühtermin von durchschnittlich 20 Tagen auf das zunehmend mildere Klima der ersten Monate des Jahres. Milde Temperaturen im Herbst haben die Blattverfärbung von Stiel-Eiche (*Quercus robur*), um durchschnittlich sieben Tage, verzögert.

In Sachsen-Anhalt haben die Pflanzen somit bereits auf den Klimawandel reagiert. Anstiege der Temperaturen im späten Winter und im Frühling sowie sehr warme Spätsommer korrespondieren gut mit den Veränderungen der Eintrittstermine. Es wurde deutlich, dass Wärme die Pflanzenentwicklung beschleunigt und die Temperaturzunahme zu Verfrühungen in den Eintrittsterminen phänologischer Phasen und zu einer außerordentlichen Verlängerung der thermischen Vegetationsperiode in Sachsen-Anhalt führte. Somit wird deutlich, dass vor allem (wildwachsende) Pflanzen sensitive Bioindikatoren für den Klimawandel und für Umweltveränderungen sind (Vgl. CHMIELEWSKI et al., 2004; DONNELLY et al., 2005, DEFILA & MÜLLER-FERCH, 2003).

## Abstract

During the last decades (1962-2005) climate has changed in Saxony-Anhalt. Since 1962 average air temperatures increased 1,5 °C. This development results in changes of the amount of extreme temperatures - a reduction of frost and icy days and an increase of air temperatures.

The annual sum of precipitation showed hardly changes in the regions of Saxony-Anhalt with low increases south the line Harz-Fläming and low decreases above this line. All in all winter and partly autumn precipitation increased considerably. Against it, pre-summertime got striking dry.

In plant growing massive significant changes 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, through which the onsets of the phenological phases/events are meanwhile much earlier in the year. On the other hand milder late summer delayed leaf colouring in autumn. Spring and summer events significant depend on air temperatures of one til 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 (wild growing) plants up to sensitive signs for climate change and environmental changes (CHMIELEWSKI et al., 2004; DONNELLY et al., 2005, DEFILA & MÜLLER-FERCH, 2003).

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
Tabellenverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
Abkürzungen und Symbole	VI
<b>1. Einleitung und Zielsetzung</b>	<b>1</b>
<b>2. Allgemeine Grundlagen und Methoden</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Der Begriff Phänologie</b>	<b>5</b>
<b>2.2. Zum Datenmaterial</b>	<b>6</b>
2.2.1. Klimadaten	6
2.2.2. Phänologische Daten	7
2.2.3. Zur Datenaufbereitung und -ergänzung	10
<b>2.3. Methoden der Datenauswertung</b>	<b>11</b>
2.3.1. Statistische Grundlagen	11
2.3.2. Allgemeine Vorgehensweise	13
2.3.3. Thermische Vegetationsperiode	15
2.3.4. Phänologische Phasendiagramme	15
<b>3. Ergebnisse der Datenauswertung</b>	<b>17</b>
<b>3.1. Klimaänderungen in Sachsen-Anhalt</b>	<b>17</b>
3.1.1. Lufttemperaturmittel	17
3.1.2. Thermische Vegetationsperiode	20
3.1.3. Niederschlagssummen	22
<b>3.2. Klimaänderungen am Beispiel Halle/Kröllwitz und Brocken</b>	<b>25</b>
3.2.1. Entwicklung der Lufttemperaturen	25
3.2.2. Veränderungen der thermischen Vegetationsperiode	26
3.2.3. Entwicklung von Temperaturextremen	27
3.2.4. Niederschlagsentwicklung	29
<b>3.3. Veränderungen in der Pflanzenentwicklung in Sachsen-Anhalt und den Naturraumgruppen</b>	<b>30</b>
3.3.1. Entwicklungen in den phänologischen Phasen Sachsen-Anhalts	30
3.3.1.1. <i>Vorfrühling: Blühbeginn der Sal-Weide</i>	31
3.3.1.2. <i>Erstfrühling: Blühbeginn des Löwenzahn</i>	31
3.3.1.3. <i>Vollfrühling: Blattentfaltung der Stiel-Eiche</i>	32
3.3.1.4. <i>Vorsommer: Blühbeginn des Schwarzen Holunders</i>	33
3.3.1.5. <i>Hochsommer: Blühbeginn der Sommer-Linde</i>	33
3.3.1.6. <i>Spätsommer: Blühbeginn des Heidekrauts</i>	34
3.3.1.7. <i>Frühherbst: erste reife Früchte beim Schwarzen Holunder</i>	35
3.3.1.8. <i>Vollherbst: erste reife Früchte der Rosskastanie</i>	36
3.3.1.9. <i>Spätherbst: Blattverfärbung der Stiel-Eiche</i>	37

3.3.2. Veränderungen in der Pflanzenentwicklung in den Naturraumgruppen	39
3.3.2.1. <i>Harz</i>	40
3.3.2.2. <i>Sächsisches Hügelland</i>	41
3.3.2.3. <i>Thüringer Becken und Randplatten</i>	42
3.3.2.4. <i>Mitteldeutsches Schwarzerdegebiet</i>	43
3.3.2.5. <i>Nördliches Harzvorland</i>	44
3.3.2.6. <i>Weser-Aller-Flachland</i>	45
3.3.2.7. <i>Fläming</i>	46
3.3.2.8. <i>Altmark</i>	47
3.3.2.9. <i>Elbtalniederung</i>	48
3.3.2.10. <i>Elbe-Mulde-Tiefland</i>	49
<b>3.4. Zur Abhängigkeit der phänologischen Phasen von den klimatischen Parametern</b>	<b>50</b>
3.4.1. Abhängigkeit vom Lufttemperaturmittel	50
3.4.1.1. <i>Frühling</i>	50
3.4.1.2. <i>Sommer</i>	52
3.4.1.3. <i>Herbst</i>	54
3.4.2. Pflanzenentwicklung und die Häufigkeit von Spätfrösten (Beispiel Östliches Harzvorland-Halle/Kröllwitz)	56
3.4.3. Einfluss des Niederschlags auf die Herbstphänologie	56
<b>4. Diskussion der Ergebnisse</b>	<b>58</b>
4.1. <b>Klimaänderungen in Sachsen-Anhalt</b>	<b>58</b>
4.2. <b>Veränderungen in der Pflanzenentwicklung und Abhängigkeiten von klimatischen Parametern</b>	<b>61</b>
4.3. <b>Ökologische Folgen</b>	<b>66</b>
<b>5. Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>68</b>
<b>6. Quellenverzeichnis</b>	<b>71</b>
<b>7. Anhang</b>	<b>77</b>

**Tabellenverzeichnis**

	<b>Seite</b>
<b>Tab. 1:</b> Zeigerpflanzen der phänologischen Jahreszeiten (nach SCHNELLE, 1955).	9
<b>Tab. 2:</b> Untersuchte phänologische Phasen.	9
<b>Tab. 3:</b> Die Irrtumswahrscheinlichkeit $p$ und ihre Bedeutung. (in Anlehnung an BÜHL & ZÖFEL, 2005, S. 113)	11
<b>Tab. 4:</b> Monatsmitteltemperaturen in Sachsen-Anhalt 1962-2005 und Monatsmitteltemperaturen der vier Perioden in °C.	19
<b>Tab. 5:</b> Niederschlagsmonatsummen in Sachsen-Anhalt 1962-2005 und Monatssummen der vier Perioden in mm.	24
<b>Tab. 6:</b> Entwicklung der thermischen Vegetationsperiode, Beginn ( $V_B$ ), Ende ( $V_E$ ) und Dauer ( $tV$ ) 1962-2005 in Halle/Kröllwitz, Brocken und in Sachsen-Anhalt mit Trend in Tagen.	26
<b>Tab. 7:</b> Entwicklungen der Temperaturextreme: Frosttage, Eistage, Sommertage, heiße Tage in Halle/Kröllwitz und auf dem Brocken in den vier Perioden, Trend in Tagen.	28
<b>Tab. 8:</b> Entwicklung der Anzahl der Spätfrosttage in Halle/Kröllwitz und auf dem Brocken in den vier Perioden, Trend in Tagen.	29
<b>Tab. 9:</b> Trends der Entwicklung der Monatsniederschlagssummen von Halle/Kröllwitz und Brocken 1962-2005 in mm.	30
<b>Tab. 10:</b> Mittlere Eintrittstermine und Trends 1962-2005 der phänologischen Phasen im Harz.	40
<b>Tab. 11:</b> Mittlere Eintrittstermine und Trends 1962-2005 der phänologischen Phasen im Sächsischen Hügelland.	41
<b>Tab. 12:</b> Mittlere Eintrittstermine und Trends 1962-2005 der phänologischen Phasen des Thüringer Beckens und Randplatten.	42
<b>Tab. 13:</b> Mittlere Eintrittstermine und Trends 1962-2005 der phänologischen Phasen im Mitteldeutschen Schwarzerdegebiet.	43
<b>Tab. 14:</b> Mittlere Eintrittstermine und Trends 1962-2005 der phänologischen Phasen im Nördlichen Harzvorland.	44
<b>Tab. 15:</b> Mittlere Eintrittstermine und Trends 1962-2005 der phänologischen Phasen im Weser-Aller-Flachland.	45
<b>Tab. 16:</b> Mittlere Eintrittstermine und Trends 1962-2005 der phänologischen Phasen im Fläming.	46

---

<b>Tab. 17:</b>	Mittlere Eintrittstermine und Trends 1962-2005 der phänologischen Phasen in der Altmark.	47
<b>Tab. 18:</b>	Mittlere Eintrittstermine und Trends 1962-2005 der phänologischen Phasen in der Elbtalniederung.	48
<b>Tab. 19:</b>	Mittlere Eintrittstermine und Trends 1962-2005 der phänologischen Phasen im Elbe-Mulde-Tiefland.	49
<b>Tab. 20:</b>	Blühbeginn (B) der Sal-Weide und Beginn der thermischen Vegetationsperiode ( $V_B$ ) in Sachsen-Anhalt $x$ ( $N = 13$ Stationen).	65
<b>Anhang</b>		
<b>Tab. 21:</b>	Umrechnungsschlüssel der phänologischen Eintrittstermine (Tage nach Jahresbeginn) (Quelle: DWD).	77
<b>Tab. 22:</b>	Korrelationskoeffizienten Phänologie und Lufttemperatur (Monats-mittel).	92
<b>Tab. 23:</b>	Korrelationskoeffizienten Phänologie und Lufttemperatur (Mittel aus zwei bis drei zusammengefassten Monaten).	92
<b>Tab. 24:</b>	Tab. 24: Korrelationskoeffizienten Phänologie und Niederschlag (Mittel aus zwei bis drei zusammengefassten Monaten), sowie Spätfröste.	93

## Abbildungsverzeichnis

	Seite
<b>Abb. 1:</b> Jährliche Anomalien der globalen mittleren Lufttemperatur 1880-2005. (Quelle: NOAA (National Oceanic and Atmospheric administration), 2005 at: <a href="http://www.epa.gov/climatechange/science/recenttc_triad.html">www.epa.gov/climatechange/science/recenttc_triad.html</a> )	1
<b>Abb. 2:</b> Übersichtskarte von Sachsen-Anhalt zur Lage der Klimastationen.	7
<b>Abb. 3:</b> Die Naturraumgruppen Sachsen-Anhalts. (Nummerierung nach MEYNEN & SCHMITHÜSEN et al., 1962)	8
<b>Abb. 4:</b> Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen in Sachsen-Anhalt $x$ ( $N = 13$ Stationen) und in Deutschland 1962-2005 mit linearem Trend.	18
<b>Abb. 5:</b> Anomalien der Jahresmitteltemperatur in Sachsen-Anhalt vom langjährigen Mittelwert (8,5 °C) 1962-2005.	18
<b>Abb. 6:</b> Monatsmitteltemperaturen der vier Perioden in Sachsen-Anhalt.	19
<b>Abb. 7:</b> Trends der Temperaturentwicklungen im Jahresverlauf (links) und in den Jahreszeiten (rechts) 1962-2005 in Sachsen-Anhalt $x$ ( $N = 13$ Stationen).	20
<b>Abb. 8:</b> Entwicklung der thermischen Vegetationsperiode in Sachsen-Anhalt 1962- 2005, Beginn ( $V_B$ ), Ende ( $V_E$ ) und Dauer (tV).	21
<b>Abb. 9:</b> Entwicklung der mittleren Jahresniederschlagssumme in Sachsen-Anhalt $x$ ( $N = 13$ Stationen) und in Deutschland 1962-2005 mit linearem Trend.	23
<b>Abb. 10:</b> Mittlere Monatsniederschlagssummen der vier Perioden in Sachsen-Anhalt.	23
<b>Abb. 11:</b> Trends der Niederschlagssummenentwicklung im Jahresverlauf (links) und in den Jahreszeiten (rechts) 1962-2005 in Sachsen-Anhalt $x$ ( $N = 13$ Stationen).	25
<b>Abb. 12:</b> Entwicklungen der Jahresmitteltemperaturen in Halle/Kröllwitz und auf dem Brocken 1962-2005 mit linearem Trend.	26
<b>Abb. 13:</b> Entwicklung der Dauer der thermischen Vegetationsperiode in Halle/Kröllwitz und auf dem Brocken 1962-2005 mit linearem Trend.	27
<b>Abb. 14:</b> Entwicklungen der Jahresniederschlagssummen in Halle/Kröllwitz und auf dem Brocken mit linearem Trend.	29
<b>Abb. 15:</b> Mittlerer Blühbeginn der Sal-Weide in Sachsen-Anhalt 1962-2005.	31
<b>Abb. 16:</b> Mittlerer Blühbeginn des Löwenzahns in Sachsen-Anhalt 1962-2005.	32
<b>Abb. 17:</b> Mittlerer Beginn der Blattentfaltung der Stiel-Eiche in Sachsen-Anhalt 1962-2005.	32

<b>Abb. 18:</b> Mittlerer Blühbeginn des Schwarzen Holunders in Sachsen-Anhalt 1962-2005.	33
<b>Abb. 19:</b> Mittlerer Blühbeginn der Sommer-Linde in Sachsen-Anhalt 1962-2005.	34
<b>Abb. 20:</b> Mittlerer Blühbeginn des Heidekrauts in Sachsen-Anhalt 1962-2005.	34
<b>Abb. 21:</b> Mittleres Auftreten der ersten reifen Früchte des Schwarzen Holunders in Sachsen-Anhalt 1962-2005.	35
<b>Abb. 22:</b> Mittleres Auftreten der ersten reifen Früchte der Rosskastanie in Sachsen-Anhalt 1962-2005.	36
<b>Abb. 23:</b> Mittlerer Beginn der Blattverfärbung der Stiel-Eiche in Sachsen-Anhalt 1962-2005.	37
<b>Abb. 24:</b> Phänologisches Phasendiagramm Sachsen-Anhalt.	38
<b>Abb. 25:</b> Zusammenhang Lufttemperaturmittel (Februar-März) in °C $x$ ( $N = 13$ Stationen) und dem Blühbeginn der Sal-Weide (TnJb).	50
<b>Abb. 26:</b> Zusammenhang Lufttemperaturmittel (Februar-April) in °C $x$ ( $N = 13$ Stationen) und dem Blühbeginn des Löwenzahns (TnJb).	51
<b>Abb. 27:</b> Zusammenhang Lufttemperaturmittel (März-Mai) in °C $x$ ( $N = 13$ Stationen) und dem Beginn der Blatentfaltung der Stiel-Eiche (TnJb).	51
<b>Abb. 28:</b> Zusammenhang Lufttemperaturmittel (März-Mai) in °C $x$ ( $N = 13$ Stationen) und dem Blühbeginn des Schwarzen Holunders (TnJb).	52
<b>Abb. 29:</b> Zusammenhang Lufttemperaturmittel (April-Juni) in °C $x$ ( $N = 13$ Stationen) und dem Blühbeginn der Sommer-Linde (TnJb).	53
<b>Abb. 30:</b> Zusammenhang Lufttemperaturmittel (März-Mai) in °C $x$ ( $N = 13$ Stationen) und dem Blühbeginn des Heidekrauts (TnJb).	53
<b>Abb. 31:</b> Zusammenhänge Lufttemperaturmittel (April-Juni) in °C $x$ ( $N = 13$ Stationen) und dem Auftreten der ersten reifen Früchte des Schwarzen Holunders und der Rosskastanie (TnJb).	54
<b>Abb. 32:</b> Zusammenhang Lufttemperaturmittel (August-September) in °C $x$ ( $N = 13$ Stationen) und dem Beginn der Blattverfärbung der Stiel-Eiche (TnJb).	55
<b>Abb. 33:</b> Zusammenhang Lufttemperaturmittel (Mai-Juni) in °C $x$ ( $N = 13$ Stationen) und dem Beginn der Blattverfärbung der Stiel-Eiche (TnJb).	55
<b>Abb. 34:</b> Zusammenhang Anzahl der Spätfrosttage in Halle/Kröllwitz und der Blühbeginn der Sal-Weide, des Löwenzahns und der Blatentfaltung der Stiel-Eiche im Östlichen Harzvorland.	56
<b>Abb. 35:</b> Zusammenhänge Niederschlagssummen Juni-August (oben) und August-September (unten) und dem Beginn der Blattverfärbung der Stiel-Eiche in Sachsen-Anhalt.	57

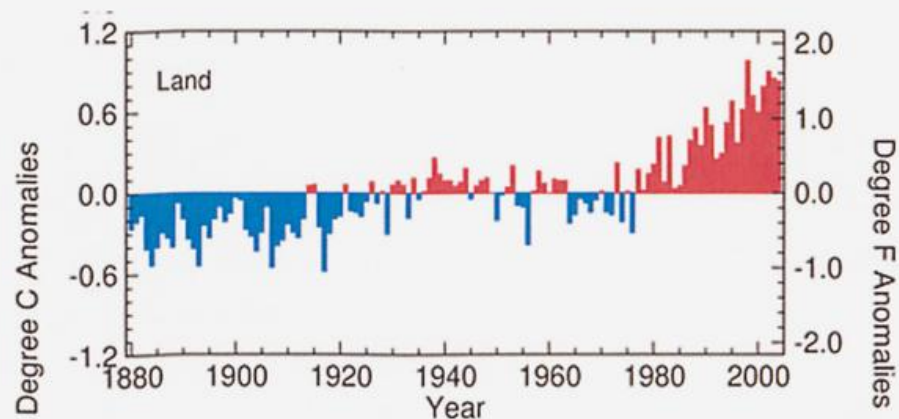
<b>Abb. 36:</b>	Entwicklung der mittleren Lufttemperatur Februar-März $x$ ( $N = 13$ Stationen) und der mittlere Blühbeginn der Sal-Weide in Sachsen-Anhalt 1962 bis 2005.	65
<b>Anhang</b>		
<b>Abb. 37:</b>	Phasendiagramm Harz.	78
<b>Abb. 38:</b>	Phasendiagramm Sächsisches Hügelland.	78
<b>Abb. 39:</b>	Phasendiagramm Thüringer Becken und Randplatten.	79
<b>Abb. 40:</b>	Phasendiagramm Mitteldeutsches Schwarzerdegebiet.	79
<b>Abb. 41:</b>	Phasendiagramm Nördliches Harzvorland.	80
<b>Abb. 42:</b>	Phasendiagramm Weser-Aller-Flachland.	80
<b>Abb. 43:</b>	Phasendiagramm Fläming.	81
<b>Abb. 44:</b>	Phasendiagramm Altmark.	81
<b>Abb. 45:</b>	Phasendiagramm Elbtalniederung.	82
<b>Abb. 46:</b>	Phasendiagramm Elbe-Mulde-Tiefland.	82
<b>Abb. 47:</b>	Veränderungen im Blühbeginn der Sal-Weide in Sachsen-Anhalt 1962-2005, Trend in Tagen.	83
<b>Abb. 48:</b>	Veränderungen im Blühbeginn des Löwenzahns in Sachsen-Anhalt 1962-2005, Trend in Tagen.	84
<b>Abb. 49:</b>	Veränderungen der Blattentfaltung der Stiel-Eiche in Sachsen-Anhalt 1962-2005, Trend in Tagen.	85
<b>Abb. 50:</b>	Veränderungen im Blühbeginn des Schwarzen Holunders in Sachsen-Anhalt 1962-2005, Trend in Tagen.	86
<b>Abb. 51:</b>	Veränderungen im Blühbeginn der Sommer-Linde in Sachsen-Anhalt 1962-2005, Trend in Tagen.	87
<b>Abb. 52:</b>	Veränderungen im Blühbeginn des Heidekrauts in Sachsen-Anhalt 1962-2005, Trend in Tagen.	88
<b>Abb. 53:</b>	Veränderungen Auftreten der ersten reifen Früchte beim Schwarzen Holunder in Sachsen-Anhalt 1962-2005, Trend in Tagen.	89
<b>Abb. 54:</b>	Veränderungen im Auftreten der ersten reifen Früchte bei der Rosskastanie in Sachsen-Anhalt 1962-2005, Trend in Tagen.	90
<b>Abb. 55:</b>	Veränderungen im Beginn der Blattverfärbung der Stiel-Eiche in Sachsen-Anhalt 1962-2005, Trend in Tagen.	91

**Abkürzungen und Symbole**

NN	Normalnull
m	Meter
mm	Millimeter
°C	Grad Celsius
$\Sigma$	Summe
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
CH <sub>4</sub>	Methan
N <sub>2</sub> O	Stickstoffdioxid
HFKW	Halogenisierte Fluorkohlenwasserstoffe
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoff
SF <sub>6</sub>	Schwefelhexafluorid
tV	Dauer der thermischen Vegetationsperiode
V <sub>B</sub>	Beginn der thermischen Vegetationsperiode
V <sub>E</sub>	Ende thermischen Vegetationsperiode
TnJb	Tage nach Jahresbeginn
AU	Auflaufen
B	Blühbeginn
BO	Blattentfaltung
BST	Bestellung
BF	Blattfall
BV	Blattverfärbung
E	Ernte
F	erste reife Früchte
VB	Vollblüte
4	Blühbeginn Sal-Weide
116	Blühbeginn Löwenzahn
13	Blattentfaltung Stiel-Eiche
18	Blühbeginn Schwarzer Holunder
64	Blühbeginn Sommer-Linde
65	Blühbeginn Heidekraut
67	Erste reife Früchte Schwarzer Holunder
68	Erste reife Früchte Rosskastanie
73	Blattverfärbung Stiel-Eiche
<i>a</i>	Ordinatenabschnitt
<i>b</i>	Regressionskoeffizient
<i>e</i>	Zufallsbedingte Abweichungen
<i>N</i>	Anzahl der Stichproben
<i>p</i>	Irrtumswahrscheinlichkeit
<i>r</i>	Korrelationskoeffizient
<i>R</i> <sup>2</sup>	Bestimmtheitsmaß
<i>s</i>	Standardabweichung
<i>t, F</i>	Prüfgrößen
<i>x</i>	Mittelwert
<i>x<sub>i</sub>, y<sub>i</sub></i>	Variablen

## 1. Einleitung und Zielsetzung

In den letzten Jahren hat sich das Klima auf der Erde nachweislich verändert. Der Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) zeigt, dass die globale Mitteltemperatur im 20. Jahrhundert um  $0,6\text{ °C}$  ( $\pm 0,2\text{ °C}$ ) gestiegen ist. Die Erwärmung erfolgte vorrangig in zwei Perioden, zum einen 1910 bis 1945 und hält seit 1976 (IPCC, 2001) an. Aus der Abbildung 1 ist deutlich die Zunahme positiver Temperaturanomalien ab den späten 80er Jahren des vergangenen Jahrhunderts abzulesen, was den Anstieg der mittleren globalen Lufttemperatur verdeutlicht. Laut der Prognose des IPCC ist mit einem weiteren Anstieg um  $1,4\text{ °C}$  bis  $5,8\text{ °C}$  zum Jahr 2100 zu rechnen.



**Abb. 1: Jährliche Anomalien der globalen mittleren Lufttemperatur 1880 bis 2005**  
(Quelle: NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), 2005 at: [www.epa.gov](http://www.epa.gov)).

Als Ursachen des Klimawandels werden Änderungen der Umlaufbahn um die Sonne oder in der Sonne, die die ankommende Sonnenstrahlung auf der Erde beeinflussen, Veränderungen des reflektierten Anteils (Albedo), der durch den Bewölkungs- und Helligkeitsgrad der Erdoberfläche bestimmt wird, Veränderungen der Sonnenaktivität und dem Gehalt der Luft und der Atmosphäre an Treibhausgasen und Aerosolen genannt (RAHMSTORF & SCHELLNHUBER, 2006; UMWELTBUNDESAMT (UBA), 2005a).

Die Konzentrationserhöhung der Treibhausgasen in der Atmosphäre, welche vor allem in den letzten Jahren zum Klimawandel beigetragen hat, ist fast ausschließlich auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen (UBA, 2005a; IPCC, 2001). Regional können die Auswirkungen des Klimawandels unterschiedlich sein, da diese stark von atmosphärischen und ozeanischen Zirkulationen abhängig sind (IPCC, 2001).

Mit der Unterzeichnung des Kyoto-Protokolls und dessen Ratifizierung im Februar 2005 haben sich die Industrieländer der Erde verpflichtet die Emissionen der Treibhausgase (v.a. CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFKW, FCKW, SF<sub>6</sub>) um 5%, die Länder der EU sogar um 8%, zwischen 2008 und 2012 zum Ausgangswert von 1990 zu mindern (UBA, 2005b).

Nicht nur Deutschland als Ganzes, sondern auch die einzelnen Bundesländer stehen in der Verantwortung Klimaschutzpolitik zu betreiben und Maßnahmen zur Begrenzung und Reduzierung von Treibhausgasen zu ergreifen. Die natürlichen Ressourcen sind bei der Energieversorgung zu schonen und nach dem Vorsorgeprinzip ist auch auf alternative und regenerative Energien zurückzugreifen sowie die Energieeffizienz zu steigern. Den Rahmen schaffen hierzu „[...] die Konventionen der Vereinten Nationen (Kyoto-Protokoll), die Differenzierung der Reduktionsverpflichtungen durch die Europäische Union (burden-sharing) und das nationale Klimaschutzprogramm der Bundesrepublik Deutschland“<sup>1</sup>. Im Klimaschutzprogramm 2000 des Bundes wurden konkrete Klimaschutzziele festgeschrieben, die vor allem auf die Reduzierung der Kohlendioxidwerte (CO<sub>2</sub>) und anderer Treibhausgase ausgerichtet sind. Das Land Sachsen-Anhalt konnte nach der politischen Wende, durch den Umbau der Energiewirtschaft, der Heizungs- und Gebäudesanierungen und durch den Aufbau moderner Industrie- und Betriebsanlagen zwischen 1990 und 1994, seine CO<sub>2</sub>-Emissionen sogar um 56% senken und trägt somit zum Klimaschutz bei. (UMWELTALLIANZ SACHSEN-ANHALT, 2002)

Auch sind im Bundesnaturschutzgesetz §2 die Grundsätze des Naturschutzes und der Landschaftspflege verankert. Zu den Zielen zählen vor allem der Schutz und der Erhalt der Biodiversität und der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushaltes.

Phänologische Beobachtungen zählen zu den sensibelsten Indikatoren hinsichtlich der Reaktionen von Pflanzen auf klimatische Bedingungen und deren Änderungen (CHMIELEWSKI & RÖTZER, 2000a). Dieser Zusammenhang wurde bereits 1955 von SCHNELLE beschrieben. Die Pflanzenentwicklung, wie es der Jahresverlauf erfordert, ist vor allem von variablen Parametern, wie Temperatur (°C) oder dem Niederschlag (mm), als auch von den festen Parametern eines Standorts, wie der Geländehöhe in m über Normalnull (NN), der geographischen Länge und Breite in Grad (°) und der Kontinentalität abhängig (HUPFER & KUTTLER, 2005; SCHNELLE, 1955).

---

<sup>1</sup> **Umweltallianz Sachsen-Anhalt (2002):** Grundlegende Belange des Landes Sachsen-Anhalt bei der europaweiten und nationalen Gestaltung eines Handelssystems für Berechtigungen zur Emission von Treibhausgasen, S.2.

Durch den Klimawandel, vor allem dem Temperaturanstieg, ist es bereits zu Veränderungen in der Entwicklung und dem Verhalten von Pflanzen gekommen. Dies konnte in zahlreichen Studien und Untersuchungen großräumig (z.B. DONNELLY et al., 2006; LINDERHOLM et al., 2005; MENZEL et al., 2005; DEFILA & MÜLLER-FERCH, 2003; ELLIS, 2003; CHMIELEWSKI & RÖTZER, 2000a; RÖTZER & CHMIELEWSKI, 2000; SPARKS et al., 2000) als auch auf regionaler Ebene (z.B. STREITFERT et al., 2005a; STREITFERT, 2005b; CHMIELEWSKI et al., 2004; LÜERS, 2003; CHEN, 1994; HUPFER & CHMIELEWSKI, 1990) belegt werden. Demnach induzieren höhere Temperaturen, vor allem im späten Winter und zeitigem Frühjahr, Verfrühungen in der Blüte oder der Blattentfaltung.

Aktuell wird nicht nur über die rezenten, sondern auch über die künftigen Klimaänderungen in Sachsen-Anhalt diskutiert, speziell im Hinblick auf die besondere Vulnerabilität des Landes (Vgl. UBA, 2005a). Dazu wurden der Sachstand hinsichtlich der Datenbasis und Erkenntnisse verschiedener landesinterner und -externer Einrichtungen sowie die verschiedenen Handlungsfelder in einem Workshop zusammengetragen. Daraus ergaben sich schwerpunktmäßig die besondere Betrachtung des Wasserhaushalts und der Wasserwirtschaft, der Landwirtschaft und Bodennutzung, der Forstwirtschaft, Extremereignisse (Trockenperioden, Hochwasserereignisse), der Arten- und Lebensgemeinschaften von Ökosystemen und der Vegetationsentwicklung (LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ, 2006).

Folglich ergibt sich das Ziel dieser Arbeit einen Beitrag zu leisten, indem für Sachsen-Anhalt Klimadaten und phänologische Zeitreihen über den Zeitraum 1962 bis 2005 ausgewertet wurden, unter dem Aspekt, dass insbesondere im Rahmen der Klimafolgenforschung phänologische Größen als Indikator für Klimavariabilitäten gut geeignet sind (BISSOLLI & SCHNADT, 2002; CHMIELEWSKI & RÖTZER, 2000a, 2000b). Die Phänologie von Wildpflanzen ist dabei der Ausdruck natürlicher Wachstumsbedingungen und der klimatischen Verhältnisse in einer Region (DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD), 1991).

Dazu wurde folgenden Ziel- beziehungsweise Fragestellungen nachgegangen:

- Welche klimatischen Veränderungen sind zwischen 1962 und 2005 in Sachsen-Anhalt aufgetreten?
- Sind in den letzten Jahren zeitliche Verschiebungen in der Vegetationsentwicklung festzustellen? Gibt es naturräumliche Unterschiede?
- Welche Zusammenhänge und Abhängigkeiten bestehen zwischen klimatischen Parametern und der Phänologie?

Zunächst wird im Kapitel 2 ein allgemeiner Überblick mit Beschreibungen zur Phänologie, dem verwendeten Datenmaterial und den grundlegenden Methoden zur Datenauswertung gegeben. Kapitel 3 beinhaltet den Hauptteil mit den Ergebnissen der Datenauswertung zu klimatischen Veränderungen, Änderungen in der Phänologie und Untersuchungen der Zusammenhänge und Abhängigkeiten der Pflanzenentwicklung in Sachsen-Anhalt von klimatischen Parametern. Diese werden im 4. Kapitel diskutiert und anschließend im 5. Kapitel zusammengefasst.

## **2. Allgemeine Grundlagen und Methoden**

### **2.1. Der Begriff Phänologie**

Die Phänologie ist die Lehre der Wachstumserscheinungen in der Pflanzen- und Tierwelt, die den jahreszeitlichen Ablauf von Phasen und ihre Entwicklungsstadien beschreibt. Sie ist von äußeren Faktoren wie Witterung, Klima, Boden, Höhenlage und Geländebeschaffenheit (s.o.) als auch von anthropogenen Einflüssen abhängig. (HUPFER & KUTTLER, 2005; SCHNELLE, 1955)

Bereits seit Jahrhunderten wird die Pflanzenphänologie beobachtet, da diese als Indikator für meteorologische Faktoren gilt. Aus Japan sind im Allgemeinen die längsten Beobachtungen bekannt, dort wird seit 705 n. Chr. der Beginn der Kirschbaumblüte beobachtet. (HUPFER & KUTTLER, 2005; DWD, 1991)

In Deutschland begann man mit den ersten phänologischen Beobachtungen erst gegen Ende des 18. Jahrhunderts. Heute sind sie jedoch ein wichtiger Bestandteil im Bereich der Agrarmeteorologie des Deutschen Wetterdienstes. (SCHMIDT, 1996)

Dem DWD gehören derzeit rund 1550 zumeist ehrenamtliche phänologische Melder an (HUPFER & KUTTLER, 2005, S.482). Beobachtet werden wildwachsende Pflanzen, landwirtschaftliche Kulturen und Obstarten. Einen Überblick gibt die „Anleitung für die phänologischen Beobachter des Deutschen Wetterdienstes“ (1991) und ist unter dem Link: ([http://www.dwd.de/de/Funde/Klima/KLIS/daten/nkdz/fachdatenbank/datenkollektive/phaenologie/beob\\_programm/wildphas.htm](http://www.dwd.de/de/Funde/Klima/KLIS/daten/nkdz/fachdatenbank/datenkollektive/phaenologie/beob_programm/wildphas.htm)) nachzulesen.

Beobachtungen der Eintrittstermine phänologischer Phasen ermöglichen die Charakterisierung der Pflanzenentwicklung sowie die Analyse räumlicher Unterschiede (z.B. MENZEL, 2003a; DWD, 1991). Vor allem werden ausdauernde Pflanzen beobachtet, da deren Phasen den Wechsel ihres physiologischen Zustands beschreiben. Zu den Entwicklungsstadien zählen der Beginn der Blattentfaltung, der Blühbeginn, erste Früchte bzw. Pflückreife, der Blattverfärbungsbeginn und der Beginn des Blattfalls. (DWD, 1991) Bei landwirtschaftlichen Nutzpflanzen treten unter anderem Phasen wie der Beginn der Bestellung, des Auflaufens, des Schossens, des Ährenschiebens und der Beginn der Ernte hinzu (HUPFER & KUTTLER, 2005; Vgl. DWD, 1991).

Der Zeitpunkt des Eintretens einer phänologischen Phase wird in der Regel nach dem Julianischen Kalender in Tagen nach Jahresbeginn (TnJb) angegeben. Der Umrechnungsschlüssel in das genaue Datum befindet sich im Anhang (Tab. 21, S.77).

## **2.2. Zum Datenmaterial**

Meteorologische Daten werden beim Deutschen Wetterdienst (DWD) aus den Messnetzen aufbereitet und in einer Klimadatenbank gesammelt. Zu diesen zählen zum Beispiel Niederschlag, Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftdruck, Wind, Sichtweite, Bewölkung und Erdbodentemperaturen an über 4000 Stationen in Deutschland, sowie Großwetterlagen und phänologische Beobachtungen. (DWD, 1999)

Das Datenmaterial für diese Arbeit, sowohl Klima- als auch phänologische Daten, wurden aus der Datenbank des DWD über den Zeitraum 1962 bis 2005 für die Auswertung zur Verfügung gestellt und zusammengetragen.

### **2.2.1. Klimadaten**

Zur Auswertung wurden die klimatischen Parameter Lufttemperatur (2 m über dem Grund) und der Niederschlag herangezogen. Für beide Größen lagen teilweise Tagesmittel- und Tagessummenwerte oder Monatsmittel- beziehungsweise Monatssummenwerte vor. Da sich zum Teil erhebliche Lücken in den Tageswerten ergaben oder keine Daten zur Verfügung standen, wurden Monatsmittel- beziehungsweise Monatssummenwerte verwendet oder zu diesen verdichtet, um möglichst lückenlose Datenreihen zu erhalten (Vgl. CHMIELEWSKI et al., 2004).

Vollständige Tageswerte der Lufttemperatur (Minimum, Maximum) von Halle/Kröllwitz und dem Brocken sind zur Ermittlung extremer Temperaturereignisse (Kapitel 3.2.) genutzt worden. Zusätzlich lagen für Deutschland Jahreswerte des Lufttemperaturmittels und der Niederschlagssummen vor.

Als Grundlage dienten Klimadaten von 12 Stationen in Sachsen-Anhalt sowie jeweils einer angrenzenden Klimastation in Thüringen (Artern) und in Leipzig/Schkeuditz in Sachsen (Abb. 2, S.7). Zur klimatischen Charakterisierung von Sachsen-Anhalt sowie die entsprechenden Veränderungen in der Lufttemperatur und den Niederschlagssummen ergeben sich über die Mittelung der Werte der einzelnen Stationen. Die Daten des Brockens sind dazu nicht berücksichtigt worden, um das Landesmittel bei der geringen Stationsdichte nicht zu sehr zu drücken (Lufttemperatur) beziehungsweise zu heben (Niederschlagssummen).



Abb. 2: Übersichtskarte von Sachsen-Anhalt zur Lage der Klimastationen.

### 2.2.2. Phänologische Daten

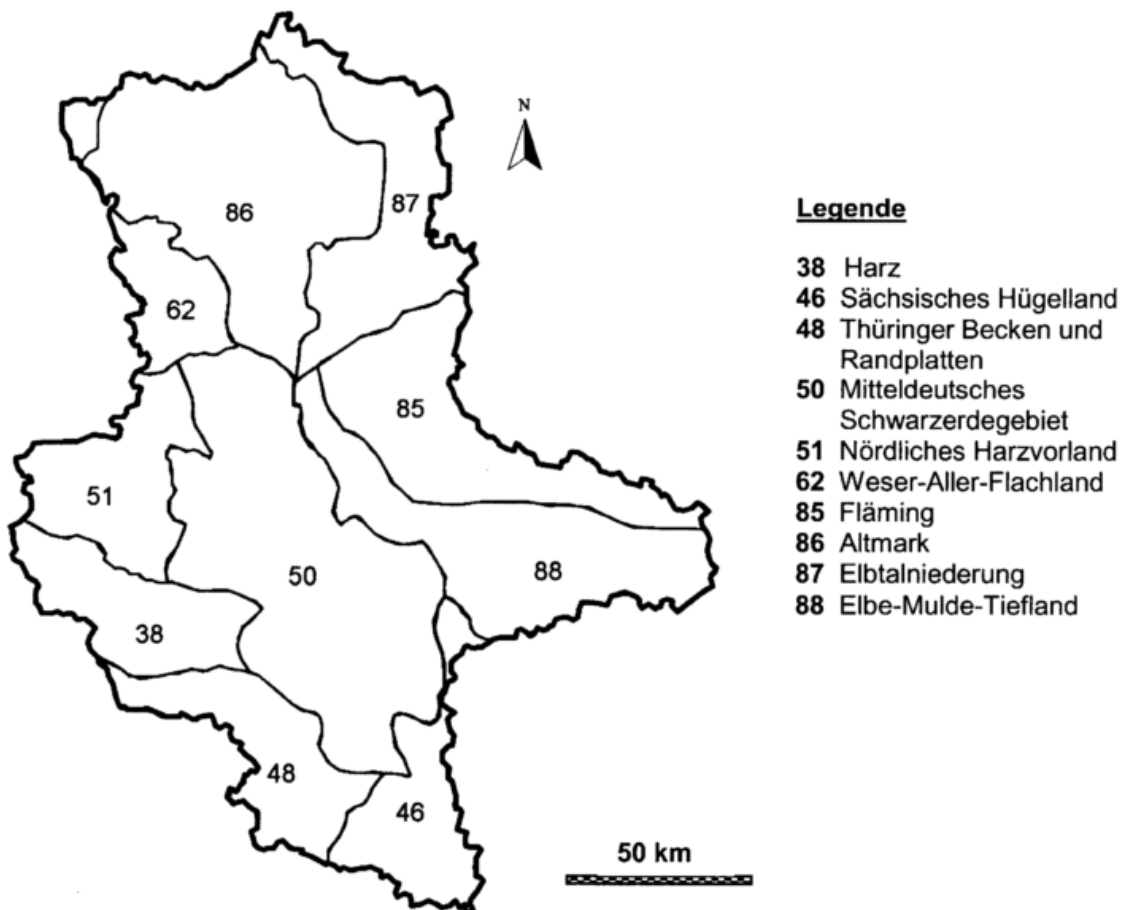
Phänologische Daten liegen beim DWD entsprechend der naturräumlichen Gliederung Deutschlands nach MEYNEN & SCHMITHÜSEN et al. (1962) vor. Für die Beobachtungsstationen sind dazu allgemeine Informationen wie Stationskennziffern, Beobachtungsort, Landkreis, geographische Koordinaten (Länge, Breite), die Höhe in m über Normalnull (NN), Gauß-Krüger-Koordinaten (Hoch-, Rechtswerte), die Naturraumkennziffer sowie die Kennzahl der Naturraumgruppe mit Bezeichnung angegeben. Die Kennzahlen der Naturraumgruppen wurden entsprechend übernommen.

Naturräume können als Gebiete definiert werden, die einen ähnlichen Landschaftscharakter aufweisen (MEYNEN & SCHMITHÜSEN et al., 1962). Dieser wird maßgeblich bestimmt durch die Höhenlage, dem Mittel der Lufttemperatur, der jährlichen Niederschlagssumme und den Eintrittsterminen der phänologischen Phasen.

Naturraumgruppen werden als phänologisch einheitliche Raumtypen beschrieben und kennzeichnen Gebiete beziehungsweise fassen Naturräume zusammen, in denen Pflanzen ähnlich auf jährliche Veränderungen der Umwelt- und Klimabedingungen reagieren (Vgl. CHEN, 1994).

Naturraumgrenzen entsprechen demnach nicht den politischen Grenzen der Bundesländer, sondern überlappen sich teilweise. Für die Berechnungen sind daher auch phänologische Beobachtungsstationen innerhalb der Naturräume aus angrenzenden Bundesländern mit einbezogen worden, unter der Bedingung, dass sich der Großteil des Naturraums innerhalb der politischen Grenzen Sachsen-Anhalts befindet.

Insgesamt standen phänologische Daten aus 35 Naturräumen in Sachsen-Anhalt zur Verfügung. Diese Beobachtungsdaten wurden zu Mittelwerten für die zehn Naturraumgruppen (Abb. 3) verdichtet (Vgl. CHMIELEWSKI & RÖTZER, 2000a, 2000b; CHEN, 1994).



**Abb. 3: Die Naturraumgruppen Sachsen-Anhalts.**  
(Nummerierung nach MEYNEN & SCHMITHÜSEN et al., 1962)

Für den Beginn der phänologischen Jahreszeiten ergeben sich nach SCHNELLE (1955) folgende Zeigerpflanzen (Tab. 1):

**Tab. 1: Zeigerpflanzen der phänologischen Jahreszeiten (nach SCHNELLE, 1955).**

Phänologische Jahreszeit	Zeigerpflanze
Vorfrühling	Haselnuss (B), Schneeglöckchen (B)
Erstfrühling	Forsythie (B), Hafer (BES), Süßkirsche (B) Stachelbeere (BO)
Vollfrühling	Apfel (B), Winterraps (B), Rosskastanie (B), Stiel-Eiche (BO)
Frühsommer	Schwarzer Holunder (B), Winterroggen (VB)
Hochsommer	Sommer-Linde (B), Sauerkirsche (F), Johannisbeere (F)
Spätsommer	Frühapfel (F), Winterweizen (E), Eberesche (F)
Frühherbst	Schwarzer Holunder (F)
Vollherbst	Rosskastanie (F), Stiel-Eiche (F)
Spätherbst	Stiel-Eiche (BV), Rosskastanie (BV)
Winterruhe	Winterweizen (A), Apfel, spät (BF), Stiel-Eiche (BF)

**B** (Blüte), **BO** (Blattentfaltung), **BES** (Bestellung), **VB** (Vollblüte), **F** (Fruchtreife), **E** (Ernte), **BV** (Blattverfärbung), **BF** (Blattfall), **A** (Auflaufen)

Beim Meteorologischen Dienst (MD) der ehemaligen DDR wurden weniger phänologische Beobachtungen zur Winterruhe vorgenommen. Somit ergaben sich beim MD mit der Vereinigung des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und der Übernahme des Beobachtungssystems des DWD Lücken in den Datenreihen. Damit lag in den Naturräumen Sachsen-Anhalts zu wenig Datenmaterial für die zehnte Jahreszeit (Winterruhe) über den Referenzzeitraum vor. Weiterhin sollten alle Phasen der ausgewählten wildwachsenden Pflanzen möglichst in allen 35 Naturräumen des Landes beobachtet werden. Somit ergaben sich Abweichungen in dieser Arbeit zu den oben aufgeführten phänologischen Zeigerpflanzen nach SCHNELLE (1955). In Tabelle 2 sind die untersuchten phänologischen Phasen mit entsprechender Zuordnung zu den Jahreszeiten (Vgl. DWD, 1991) zusammengetragen. Die Schlüsselnummern entsprechen denen der Anleitung für phänologische Beobachter des DWD und dienen in verschiedenen Abbildungen als Abkürzung zur Phasenkennzeichnung.

**Tab. 2: Untersuchte phänologische Phasen. (Vgl. dazu DWD, 1991)**

Phänologische Jahreszeit	Schlüsselnr.	Pflanzenname (dt. und wissenschaftlicher Name), bzw. Phänologische Phase
Vorfrühling	4	Sal-Weide <i>Salix caprea</i> (B)
Erstfrühling	116	Löwenzahn <i>Taraxacum officinale</i> (B)
Vollfrühling	13	Stiel-Eiche <i>Quercus robur</i> (BO)
Frühsommer	18	Schwarzer Holunder <i>Sambucus nigra</i> (B)
Hochsommer	64	Sommer-Linde <i>Tilia platyphyllos</i> (B)
Spätsommer	65	Heidekraut <i>Calluna vulgaris</i> (B)
Frühherbst	67	Schwarzer Holunder <i>Sambucus nigra</i> (F)
Vollherbst	68	Rosskastanie <i>Aesculus hippocastanum</i> (F)
Spätherbst	73	Stiel-Eiche <i>Quercus robur</i> (BV)

### 2.2.3. Datenaufbereitung und -ergänzungen

Um mit den Rohdaten aus den Datenbanken zu arbeiten, wurden diese entsprechend aufbereitet und aus ihnen homogene Datensätze erstellt. Fehlende Klimadaten konnten zum Teil aus Materialien in Papierform oder mit Hilfe der internen Datenbank des Deutschen Wetterdienstes, in der Klimawerte für eine Auswahl an Stationen vorhanden sind, ergänzt werden. Allerdings lagen diese Daten nicht für alle Stationen einheitlich vor, teilweise waren Tageswerte, bei manchen Stationen nur Monatsmittel oder Monatssummen für die Lufttemperatur und die Niederschläge verfügbar (s.o.). Dabei sind auch die Monatsdatensätze über den Zeitraum 1962 bis 2005 nicht komplett vollständig gewesen.

Nach Berechnung der Monatsmittelwerte beziehungsweise Monatssummen waren noch vorhandene Lücken zu ergänzen. Eine Möglichkeit bot die lineare Regression mit den Datenreihen von benachbarter Stationen (Vgl. CHMIELEWSKI et al., 2004). Über die Regressionsgleichungen ließen sich die fehlenden Werte berechnen, dies betraf etwa 8,3% der Klimadaten.

Auch im phänologischen Datenmaterial ergaben sich erhebliche Lücken in den Beobachtungsjahren 1962 bis 2005 für die Naturräume. Fast 9% der Daten fehlten, welche ebenso mittels linearer Regression ergänzt werden konnten. Hierzu wurde über die stärkste Korrelation gleicher Phasen verschiedener Naturräume oder verschiedener Phasen gleicher Naturräume die entsprechende Regressionsgleichung ermittelt.

Für folgende Räume waren keine Beobachtungen verfügbar: Heidekrautblüte der Bode-niederung (Naturraum 503 im Mitteldeutschen Schwarzerdegebiet), im Leipziger Land (Naturraum 467 des Sächsischen Hügellandes) sowie im Großen Bruch (Naturraum 511 im Nördlichen Harzvorland) und die Blüte der Sal-Weide der Bittkauer Platte (Naturraum 871 der Elbtalniederung).

### 2.3. Methoden der Datenauswertung

#### 2.3.1. Statistische Grundlagen

Zunächst sind sämtliche Stichproben (intervallskaliert) auf ihre Verteilung mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test geprüft worden, um zu testen, ob die Stichproben normal verteilt sind. Dazu geht man davon aus, dass „[...] sich die meisten Werte um den Mittelwert gruppieren, während die Häufigkeiten nach beiden Seiten hin gleichmäßig abfallen“ (BÜHL & ZÖFEL, 2005, S.110). Signifikante Abweichungen von der Normalverteilung liegen bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p < 0,1$  in dieser Arbeit vor. In der Regel sind nicht-parametrische Tests, zum Beispiel Wilcoxon oder Mann-Kendall anzuwenden, wenn keine Normalverteilungen vorliegen.

Die Irrtumswahrscheinlichkeit  $p$  dient der Überprüfung, mit welcher Wahrscheinlichkeit man sich irrt, wenn Hypothesen für richtig erklärt werden. Im SPSS 11.5 werden die Irrtumswahrscheinlichkeiten nach bestimmten Formeln (Prüfgrößen  $t$  und  $F$ ) berechnet, die theoretischen Verteilungen folgen (BÜHL & ZÖFEL, 2005, S. 133). Für die Irrtumswahrscheinlichkeit  $p$  gilt:  $1 > p > 0$ . Es wird somit gekennzeichnet, ob eine zu prüfende Besonderheit signifikant (nicht zufällig) ist (SCHÖNWIESE, 2000, S. 119).

Die Wahrscheinlichkeit einen Fehler 1.Art zu begehen, ist die Nullhypothese zu verwerfen, obwohl sie richtig ist. Nullhypothesen können sein: „Die mittlere Lufttemperatur hat im Zeitraum 1962 bis 2005 zugenommen.“, „Die Eintrittstermine der phänologischen Phasen haben sich verfrüht.“ oder „Die Eintrittstermine sind von der Temperatur abhängig.“ Je strenger die Irrtumswahrscheinlichkeit für das Verwerfen der Hypothese ist, desto mehr besteht das Risiko einen Fehler 2.Art zu begehen, dass heißt, die Nullhypothese zu behalten, obwohl sie falsch ist. (BÜHL & ZÖFEL, 2005) Daher wurden auch Irrtumswahrscheinlichkeiten bis 10% berücksichtigt um auch tendenzielle Effekte darzustellen (Vgl. STREITFERT et al., 2005a). Tabelle 3 gibt die Grenzen der Irrtumswahrscheinlichkeiten wieder, wonach im Kapitel 3 stets die Güte der Trends und die der Zusammenhänge beziehungsweise Abhängigkeiten angegeben werden.

**Tab. 3: Die Irrtumswahrscheinlichkeit  $p$  und ihre Bedeutung.**  
(in Anlehnung an BÜHL & ZÖFEL, 2005, S.113)

Irrtumswahrscheinlichkeit	Bedeutung	Symbolisierung
$p > 0,10$ ( $> 10\%$ )	Nicht signifikant	n.s.
$p \leq 0,10$ ( $\leq 10\%$ )	Tendenz $0,10 > p > 0,05$	(*)
$p \leq 0,05$ ( $\leq 5\%$ )	Signifikant	*
$p \leq 0,01$ ( $\leq 1\%$ )	Sehr signifikant	**
$p \leq 0,001$ ( $\leq 0,1\%$ )	Höchst signifikant	***

Mit dem paarigen T-Test wurde untersucht, ob zum Beispiel die Temperatur, der Niederschlag oder die Eintrittstermine der phänologischen Phasen sich über den Referenzzeitraum signifikant verändert haben. Dazu sind die Mittelwerte verschiedener Zeitabschnitte miteinander verglichen worden, um festzustellen, ob durch Änderungen im Klima Auswirkungen auf die Pflanzenentwicklung möglich sind.

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 (BÜHL & ZÖFEL, 2005, S.232f.). Einfache lineare Regressionen dienen zur Analyse von Zusammenhängen zwischen Variablen, zum Beispiel wie eine abhängige Variable  $y_i$  (z.B. Eintrittstermin einer phänologischen Phase) von einer unabhängigen Variable  $x_1, \dots, x_n$  (z.B. Temperatur, Niederschlag...) beeinflusst wird mit  $y_i = b * x_i + a + e$ . Eine Darstellung der  $y_i$ - und  $x_i$ -Werte in Streudiagrammen lässt bestimmte Tendenzen erkennen, die durch die Regressionsgeraden verdeutlicht werden (Vgl. Kapitel 3.4.). Der Regressionskoeffizient  $b$  gibt den Steigungswinkel der Geraden an und  $a$  den Ordinatenabschnitt beziehungsweise den Schnittpunkt der Geraden auf der y-Achse (Regressionskonstante).

Zufallsbedingte Abweichungen werden stets durch  $e$  beschrieben. Sie können beispielsweise durch Messungenauigkeiten klimatischer Parameter entstehen oder durch fehlerhafte Einschätzungen der phänologischen Beobachter, die trotz Anleitung durch den DWD nicht vollkommen ausgeschlossen werden können. Auch sind Ungenauigkeiten durch das Ergänzen fehlender Daten möglich. (BÜHL & ZÖFEL, 2005; BAHRENBERG et al., 1999; SCHNELLE, 1955)

Die Regressionsanalyse schätzt  $a$  und  $b$  unter der Bedingung für die Gerade, dass jeweils die Summe der quadratischen vertikalen Abstände der einzelnen Messpunkte minimal wird und somit die Punktwolke optimal nach dem Gaußschen Prinzip der kleinsten Quadrate „least squares principle“ repräsentiert wird (BAHRENBERG et al., 1999, S.141).

Die Quadratsumme (Regression) ist die Varianz, die durch die Regressionsgleichung erklärt wird, die Quadratsumme „Residuen“ ist der Teil, der nicht erklärbar ist. Der durch die Regression von  $y_i$  (z.B. phänologische Phasen) nach  $x_i$  (z.B. Temperatur) erklärte Varianzanteil von  $y_i$  wird mit  $R^2$  dem Bestimmtheitsmaß angegeben (BAHRENBERG et al., 1999). Je höher der Anteil dieser Varianz ist, desto stärker lässt sich auf einen linearen Zusammenhang schließen (BÜHL & ZÖFEL, 2005). Der prozentuale Anteil ergibt sich aus  $R^2 * 100$ , die Wurzel aus  $R^2$  entspricht dem Korrelationskoeffizienten  $r$  nach PEARSON.

### 2.3.2. Allgemeine Vorgehensweise

Die statistische Datenanalyse erfolgte im Excel 2002 sowie dem Programmsystem SPSS 11.5 für Windows. Mit dem Programm ARC VIEW 3.2 wurden die Trendkarten zur Veränderung der Eintrittstermine der phänologischen Phasen erstellt (Vgl. Anhang).

Um das Datenmaterial verschiedener Zeitabschnitte des Referenzzeitraums 1962 bis 2005 vergleichen zu können (z.B. T-Test, Phasendiagramme s.u.), wurde dieser in vier Perioden à elf Jahre (1962-1972, 1973-1983, 1984-1994, 1995-2005) eingeteilt.

Auf dem beiliegenden Datenträger sind zusätzlich die Datengrundlagen und Berechnungen zur Klimabeschreibung und -entwicklung sowie zur Phänologie dokumentiert. Ab Seite 94 sind dazu genauere Informationen zu finden.

Die Darstellungen der Veränderungen der phänologischen Phasen und der klimatischen Parameter der Kapitel 3.1. bis 3.3. erfolgen als Kurvenverläufe über den Referenzzeitraum. Lineare Zusammenhänge zwischen verschiedenen Variablen sind in den Streudiagrammen (Kapitel 3.4.) wiedergegeben. Trendlinien mit Gleichung sowie die Regressionsgleichungen auf der Grundlage  $y_i = b * x_i + a + e$  sind stets dazu angegeben.

Bei positiven Trends ( $b * x > 0$ ) handelt es sich beispielsweise um Verspätungen der Termine für phänologische Phasen oder einem Anstieg der Lufttemperatur über den betrachteten Zeitraum. Negative Trends ( $b * x < 0$ ) können verfrühte Eintrittstermine phänologischer Phasen oder die Abnahme der Niederschlagssumme über den Referenzzeitraum beschreiben. Negative Regressionen zeigen unter anderem an, dass sich bei steigenden Temperaturen die Pflanzenentwicklung verfrüht.

Stoffwechselprozesse von Pflanzen sind temperaturabhängig. Sie können durch die Zunahme der Temperatur beschleunigt oder auch erst in Gang gesetzt werden. (SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT, 2005)

Das Eintreten der Frühjahrs- und einiger Sommerphasen wird vor allem von der Temperatur der vorangegangenen ein bis drei Monate beeinflusst. Fruchtreifephasen im Sommer und die ersten Herbstphasen sind ebenso von den Frühlingstemperaturen abhängig. Die herbstliche Laubverfärbung kann im Allgemeinen durch recht warme Spätsommer verzögert oder aber auch durch hohe Temperaturen im Mai und Juni verfrüht werden. (z. B. MENZEL et al., 2005; MENZEL, 2003b)

Dementsprechend wurden lineare Regressionen durchgeführt, um die Art und die Stärke des Zusammenhangs der Eintrittstermine der phänologischen Phasen von der Lufttemperatur zu beschreiben. Auch wurde geprüft, inwiefern sich Variabilitäten in der

Anzahl der Spätfrosttage von Januar bis Mai auf die Pflanzenentwicklung im Frühling auswirken. Da sich Frosttage über die Anzahl der Tage definieren, an denen die Tagesminimumtemperatur unter 0 °C liegt, kann diese Betrachtung die Temperaturabhängigkeit der Pflanzenentwicklung verdeutlichen. Als Beispiel wurden die Spätfrosttage von Halle/Kröllwitz aus den Jahren 1962 bis 2005 genutzt und deren Einfluss auf die Phänologie im Östlichen Harzvorland (Naturraum 500 im Mitteldeutschen Schwarzerdegebiet) untersucht.

Wasser gilt als bestimmender Faktor für die Produktivität von Pflanzen und Ökosystemtypen. Die Wirkung des Wasserangebots kann durch die Temperatur optimiert werden oder durch zu hohe oder zu niedrige Temperaturen gesenkt werden. Je höher beispielsweise die Temperaturen sind, desto mehr Wasser muss für die Nettoprimärproduktion bereitgestellt werden, da zwangsläufig mehr Wasser über die Stomata transpiriert wird. (EHLERS, 1996) Niederschläge sind demnach auch Antriebsgrößen der Vegetationsentwicklung, wobei geringe Frühjahrsniederschläge kaum Auswirkungen auf die Phänologie (CHMIELEWSKI et al., 2004), vor allem wildwachsender Pflanzen, haben. Es wurde dagegen untersucht, wie sich das jährliche Wasserangebot im Vorsommer, Sommer und im Spätsommer auf die Phänologie im Herbst auswirkt.

Zunächst wurden die Korrelationskoeffizienten für die Zusammenhänge aller neun phänologischen Phasen und den Monatsmitteltemperaturen der Monate Januar bis September bestimmt sowie für zwei bis drei zusammengefasste Monate.

Diese Koeffizienten und jene für die Zusammenhänge zwischen der Herbstphänologie und den Niederschlagssummen sowie den Eintrittsterminen der Frühlingsphasen in Abhängigkeit von der Anzahl der Spätfrosttage sind mit dem Signifikanzniveau im Anhang (Tab. 22-24, S.92f.) enthalten.

In den Streudiagrammen im Kapitel 3.4. (Abb. 25-35) ist jeweils das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  und die Regressionsgleichung angegeben. In den Unterschriften dieser Darstellungen sind zudem die Stärke des Zusammenhangs (Korrelationskoeffizient  $r$ ) und das Signifikanzniveau der Regression aufgeführt. Dargestellt wurden jene Abhängigkeiten, bei denen die Varianzen der Einflussgrößen den größten Anteil der Eintrittstermine der phänologischen Phasen beschreiben.

### 2.3.3. Thermische Vegetationsperiode

Die Vegetationsperiode ist der Zeitraum im Jahr, der für die Entwicklung und das Wachstum von Pflanzen zur Verfügung steht (CHMIELEWSKI et al., 2004, S.23). Durch das manifeste Über- beziehungsweise Unterschreiten der Tagesmitteltemperatur von 5 °C leitet sich die thermische Vegetationsperiode ab (CHMIELEWSKI, 2001).

Für diese Arbeit wurde ein vereinfachtes Verfahren angewandt, das abweichend von den Tagesmitteltemperaturen auf Monatsmitteltemperaturen beruht. Dabei wurde jeweils für den Beginn und das Ende der thermischen Vegetationsperiode das Datum mit Hilfe von Nomogrammen festgelegt. Bei den Nomogrammen handelt es sich um Koordinatensysteme mit zwei y-Achsen, aus denen sich die Monatsmitteltemperaturen ablesen lassen. Dem ersten Monat ist die linke Achse mit einer Monatsmitteltemperatur unter 5 °C für den Beginn beziehungsweise über 5 °C für das Ende zugeordnet. Die rechte Achse enthält jeweils die Monatsmitteltemperatur des darauf folgenden Monats, entweder Temperaturwerte über 5 °C für den Beginn der thermischen Vegetationsperiode oder unter 5 °C für das Ende. Auf der x-Achse wird das Datum von der Mitte eines Monats zur Mitte des Folgemonats (bspw. 16. März bis 15. April) beschrieben. Der Schnittpunkt der Linie, die sich aus den Temperaturwerten der y-Achsen ergibt, auf der x-Achse kennzeichnet das Datum für den Beginn oder das Ende der thermischen Vegetationsperiode. Aus der Differenz vom Ende und dem Beginn in Tagen nach Jahresbeginn ( $T_{nJb}$ ) errechnet sich hier die Dauer der thermischen Vegetationsperiode in Tagen.

### 2.3.4. Phänologische Phasendiagramme

In der Regel bietet die phänologische Uhr die Möglichkeit, über verschiedene Zeitabschnitte, Verschiebungen der Zeiträume zwischen den phänologischen Jahreszeiten darzustellen, die sich aus den mittleren Eintrittsterminen bestimmter Zeigerpflanzen (z.B. nach SCHNELLE, 1955; Vgl. Kapitel 2.2.2.) ergeben. Somit können Rückschlüsse auf Trends in der Pflanzenentwicklung beziehungsweise Veränderungen in den Eintrittsterminen der Phasen gezogen werden.

Mit dem Fehlen des Datenmaterials für die Winterruhe (s.o.) war es nicht möglich phänologische Uhren zu erstellen. Um die Phasen mit ihren Veränderungen in den Eintrittsterminen in Sachsen-Anhalt und den Naturraumgruppen zu veranschaulichen, wurden als Alternative phänologische Phasendiagramme entwickelt.

Sie enthalten die untersuchten neun Phasen vom Vorfrühling bis zum Spätherbst nach Tabelle 2 (S.7) und setzen 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 (Vgl. BÜHL & ZÖFEL, 2005, S.282f.), indem die Mittelwerte der Perioden miteinander verglichen werden. Die Balken geben die Differenzen zwischen den Perioden mit dem frühesten und dem spätesten Eintrittstermin an, die mit dem mittleren Eintrittstermin in Klammern im Diagramm angegeben sind. Mittelwerte der anderen Zeiträume liegen entsprechend zwischen den Werten der angegebenen Perioden.

Auch gibt die Stärke der Balken Informationen zur Intensität der Veränderungen in den Eintrittsterminen. Je stärker diese sind desto deutlicher unterscheiden sich die Mittelwerte der vier Perioden voneinander. Es liegen somit intensive Veränderungen vor. Sind die Balken eher flach, ist es zu geringeren Veränderungen gekommen beziehungsweise unterscheiden sich die Mittelwerte kaum.

Schwarze Balken sind so genannte Abwärtsbalken und zeigen zunehmende Verfrühungen in der Pflanzenentwicklung an. Die weißen sind Aufwärtsbalken mit einem Trend zur Verspätung. Für die Naturraumgruppen sind die phänologischen Phasendiagramme im Anhang (S.37ff.) zu finden.

### **3. Ergebnisse der Datenauswertung**

Der erste Teil dieses Kapitels gibt einen Überblick zu den klimatischen Veränderungen in Sachsen-Anhalt aus  $x$  ( $N = 13$  Stationen) über den Referenzzeitraum 1962 bis 2005. Anschließend werden Veränderungen im Klima an den Beispielen Halle/Kröllwitz und dem Brocken dargestellt sowie extreme Temperaturereignisse untersucht.

Änderungen in der Pflanzenentwicklung von Sachsen-Anhalt werden im Kapitel 3.3. beschrieben. Das Kapitel 3.4. enthält schließlich die Untersuchungen der Zusammenhänge und Abhängigkeiten der Phänologie von den klimatischen Parametern.

#### **3.1. Klimaänderungen in Sachsen-Anhalt**

##### **3.1.1. Lufttemperaturmittel**

Die Datenrecherche lieferte für Sachsen-Anhalt über die Untersuchungsperiode 1962 bis 2005 eine Jahresmitteltemperatur von  $8,5\text{ °C}$  mit einer Standardabweichung  $s = 0,9\text{ °C}$ . Sie liegt damit etwa  $0,3\text{ °C}$  unter dem langjährigen Mittelwert von Deutschland mit  $8,8\text{ °C}$  im gleichen Zeitraum. Östlich des Harzes werden die höchsten Jahresmitteltemperaturen, zum Teil über  $9,0\text{ °C}$ , erreicht und die niedrigsten im Harz. Im langjährigen Mittel war der Januar der kälteste Monat des Jahres mit  $-0,2\text{ °C}$  und der Juli der wärmste mit  $17,5\text{ °C}$ .

In Sachsen-Anhalt ist es zu deutlichen Veränderungen der Jahresmitteltemperaturen gekommen. Diese äußern sich in einer signifikanten Zunahme ( $p \leq 0,001$ ) um  $0,034\text{ °C}$  pro Jahr beziehungsweise um rund  $1,5\text{ °C}$  über die letzten Jahrzehnte, was sich auch für die Temperaturentwicklung von Deutschland feststellen ließ. Über den gleichen Zeitraum kam es ebenso zu einer Zunahme der Jahresmitteltemperatur um  $0,034\text{ °C}$  pro Jahr (Abb. 4, S.18). Allgemein war in Sachsen-Anhalt für alle Regionen eine Zunahme zwischen  $0,03$  und  $0,04\text{ °C}$  pro Jahr zu beobachten.

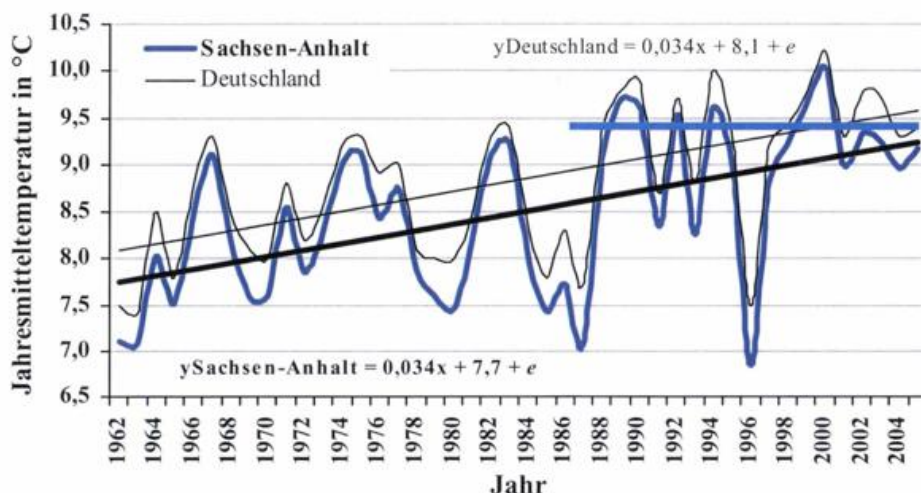


Abb. 4: Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen in Sachsen-Anhalt  $x$  ( $N = 13$  Stationen) und in Deutschland 1962-2005 mit linearem Trend (jeweils  $p \leq 0,001$ ).

Aus der Abbildung 4 geht hervor, dass ab den späten 80er Jahren vermehrt Jahresmitteltemperaturen von über  $9,5^\circ\text{C}$  (blaue Linie) aufgetreten sind. Im Jahr 2000, dem wärmsten der letzten Jahrzehnte, wurden sogar  $10,0^\circ\text{C}$  in Sachsen-Anhalt erreicht. Sehr anschaulich vermittelt dies auch die folgende Darstellung der Anomalien der Jahresmitteltemperaturen in Bezug zum langjährigen Mittel 1962 bis 2005 (Abb. 5). Ebenso sind seit Ende der 80er vermehrt positive Temperaturanomalien aufgetreten, außerdem zeigten sich nach 1997 keine negativen Anomalien mehr.

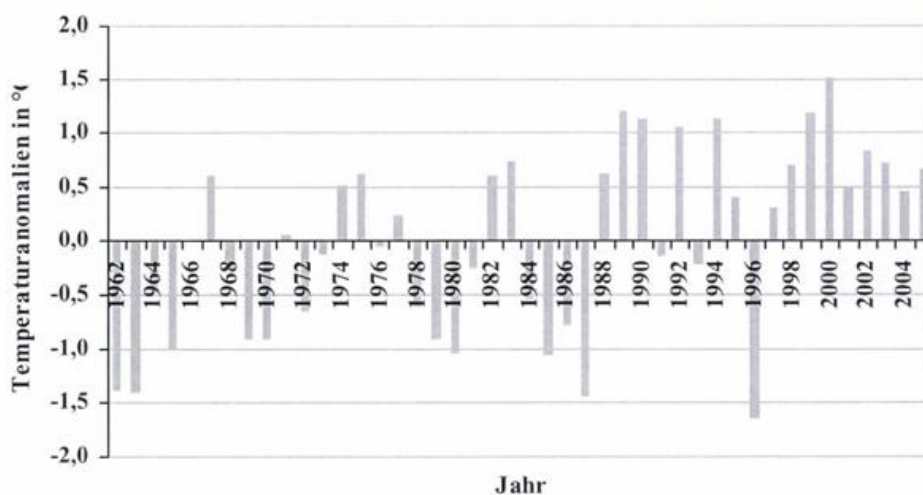


Abb. 5: Anomalien der Jahresmitteltemperatur vom langjährigen Mittelwert ( $8,5^\circ\text{C}$ ) 1962-2005 in Sachsen-Anhalt.

Die Temperaturkurven der Monatsmittel für die vier Perioden in Abbildung 6 (S.19) veranschaulichen, dass sich die ursprüngliche „Glockenkurve“, wie sie noch in der ersten Periode vorlag, eindeutig verschoben hat. Auffällig ist die Zunahme der Temperaturen der

ersten Monate des Jahres sowie die des Sommermonats August, der sich in den letzten Jahren zum wärmsten Monat des Jahres entwickelt hat.

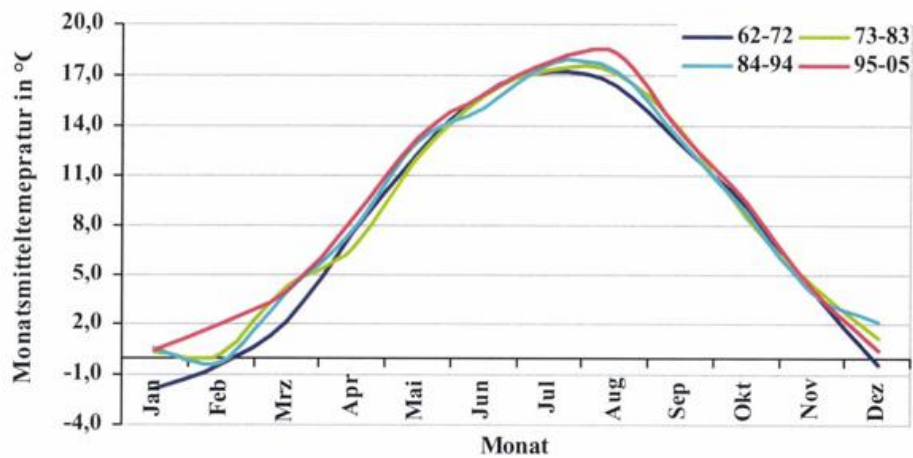


Abb. 6: Monatsmitteltemperaturen der vier Perioden in Sachsen-Anhalt.

Für fast alle Monate ergab sich in Sachsen-Anhalt ein enormer Trend zu höheren Temperaturen (Tab. 4). Eine Ausnahme bildet der Juni. Hier war über den Betrachtungszeitraum kaum eine Änderung festzustellen, bis auf eine minimale Abnahme, vor allem im Vergleich der Temperaturmittel der ersten (1962-1972) zur dritten Periode (1984-1994). In verschiedenen Regionen war zudem ein negativer Trend in der Lufttemperaturentwicklung des Junis ermittelt worden.

Tab. 4: Monatsmitteltemperaturen in Sachsen-Anhalt 1962-2005 und Mitteltemperaturen der vier Perioden in °C. (langj.Mittelwert  $\bar{x}$ , Standardabweichung  $s$ , Minimum, Maximum, Trend)

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
$\bar{x}$	-0,2	0,4	3,6	7,6	12,7	15,7	17,5	17,3	13,4	9,0	4,1	0,9	8,5
$s$	3,2	3,1	2,2	1,3	1,4	1,3	1,6	1,4	1,3	1,6	1,7	2,4	0,8
Max Jahr	5,0 1975	6,1 1990	7,1 1990	10,5 2000	15,0 1993	18,9 2003	21,7 1994	20,3 2003	17,3 1999	12,4 2001	7,5 1963	5,2 1974	10,0 2000
Min Jahr	-8,8 1963	-8,2 1986	-1,3 1987	5,1 1973	9,5 1991	13,6 1991	14,8 1962	15,0 1965	10,8 1996	5,6 2003	-0,5 1993	-6,0 1969	6,9 1996
Trend Sign.	3,0 (*)	2,6 n.s.	2,6 *	1,8 *	1,8 *	-0,0 n.s.	1,3 n.s.	2,2 ***	0,9 n.s.	0,4 n.s.	0,4 n.s.	1,8 n.s.	1,5 ***
	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	$\bar{x}$ Periode
62-72	-1,9	-0,4	2,2	7,6	12,3	16,0	17,2	16,4	12,9	9,0	4,0	-0,4	7,9
73-83	0,2	0,2	4,2	6,7	12,1	15,8	17,3	17,1	13,8	8,5	4,4	1,2	8,5
84-94	-0,3	-0,3	3,9	7,8	13,0	15,1	17,7	17,2	13,1	8,9	3,9	2,2	8,6
95-05	2,0	2,0	4,1	8,5	13,3	16,0	17,8	18,3	13,7	9,4	4,2	0,5	9,0

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 ( $p \leq 0,001$ )

In den Diagrammen der Abbildung 7 (S.20) sind Trends über den gesamten Referenzzeitraum enthalten. Die Darstellung der Entwicklungstrends für die einzelnen Monate in Sachsen-Anhalt verdeutlicht, dass die Temperaturzunahmen im Januar, Februar, März und August überaus prägnant sind. Sie liegen bei über 2,0 °C bis zu 3,0 °C.

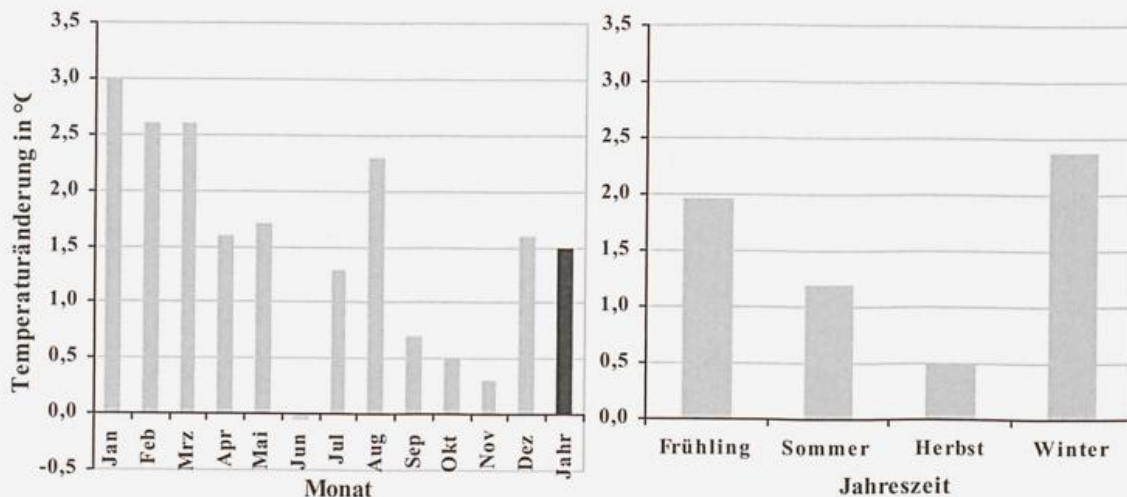


Abb. 7: Trends der Temperaturentwicklung im Jahresverlauf (links) und in den Jahreszeiten (rechts) 1962-2005 in Sachsen-Anhalt  $x$  ( $N = 13$  Stationen).

Positive Trends in der Temperaturentwicklung ergaben sich somit auch für alle Jahreszeiten (Abb. 7, rechts). Zunehmend treten mildere Winter und Frühjahre dabei besonders hervor. Im Winter sind die Temperaturen um  $0,05$  °C und im Frühling um  $0,04$  °C pro Jahr gestiegen. Dagegen fielen die Trends im Sommer mit fast  $0,03$  °C und im Herbst mit  $0,01$  °C pro Jahr geringer aus. Bis auf die Entwicklung der Zunahme der Herbsttemperaturen, sind die Trends in den anderen Jahreszeiten signifikant (Frühling:  $p \leq 0,001$ ; Sommer und Winter:  $p \leq 0,05$ ).

### 3.1.2. Thermische Vegetationsperiode

In Sachsen-Anhalt dauert die thermische Vegetationsperiode (tV) im langjährigen Mittel ( $x$  aus  $N = 13$  Stationen) 234 Tage und ist damit 11 Tage länger als in Sachsen (SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT, 2005, S.51). Auch ist sie sehr stark von der Topographie abhängig. Im Mitteldeutschen Schwarzerdegebiet steht den Pflanzen die meiste Zeit, mit über 240 Tagen, für die Entwicklung und das Wachstum zur Verfügung. Am kürzesten ist die thermische Vegetationsperiode im Harz, wo sie im Mittel 154 bis 212 Tage lang ist.

In der Beschreibung des Klimawandels in Sachsen des SÄCHSISCHEN STAATSMINISTERIUMS FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (2005) wird geschildert, dass Regionen unter 450 m NN die frühesten Termine im Beginn der Vegetationsperiode zeigen. Dies ließ sich auch für Sachsen-Anhalt feststellen. Im Mitteldeutschen Schwarzerdegebiet beginnt die thermische Vegetationsperiode im Mittel schon um den 14. März. Das Ende liegt ebenso im mittleren Sachsen-Anhalt am spätesten im Jahr, etwa um den 14./15. November (318 bis 319 TnJb). Im Harz dagegen werden Tagesmitteltemperaturen von 5 °C über einen längeren Zeitraum erst gegen Anfang April (z.B. Harzgerode: 5. April) oder Anfang Mai (Brocken: 10. Mai) erreicht, was sich mit den Aussagen von RÖTZER und CHMIELEWSKI (2000) deckt. Für Bergregionen werden Unterschiede im Beginn, vor allem für Hochlagen ab 1500 m, bis zu vier Wochen angegeben.

Die thermische Vegetationsperiode hat sich in Sachsen-Anhalt um zirka 0,61 Tage pro Jahr verlängert oder um fast vier Wochen über den gesamten Zeitraum. Der Trend ist signifikant auf dem Niveau von  $p \leq 0,01$ . Insgesamt ergibt sich die Verlängerung vor allem durch einen deutlich früheren Beginn um 0,52 Tage pro Jahr ( $\sim 23$  Tage über 44 Jahre). Auch dieser Trend ist für Sachsen-Anhalt signifikant auf dem Niveau  $p \leq 0,01$ . Eine leichte Verzögerungstendenz beim Ende um drei bis vier Tage konnte nicht statistisch gesichert werden und es ist auch optisch in Abbildung 8 kein Trend zu erkennen. Unter anderem war im Harz abweichend keine statistisch sichere Verlängerung der thermischen Vegetationsperiode festzustellen als auch eine zunehmende Verfrühung im Termin für das Ende.

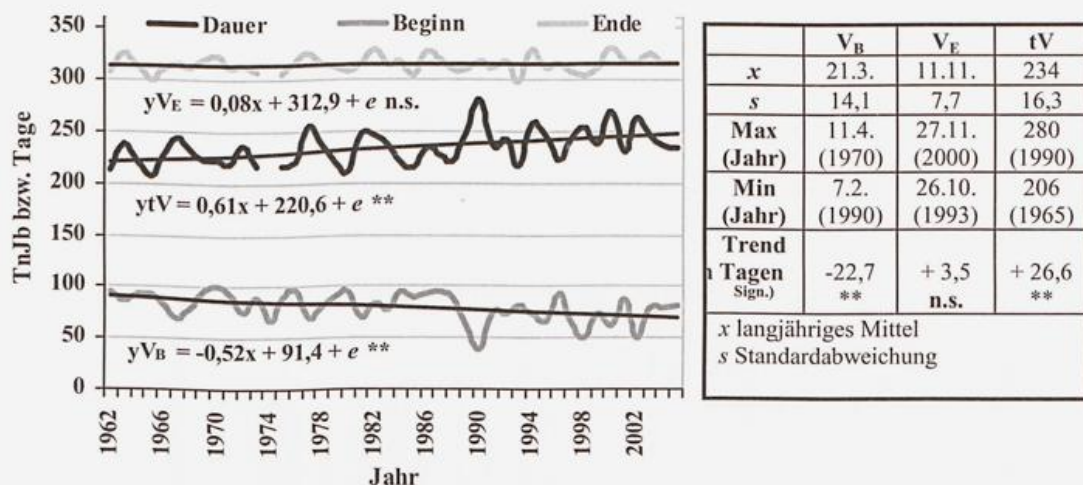


Abb. 8: Entwicklung der thermischen Vegetationsperiode in Sachsen-Anhalt 1962-2005, Beginn (V<sub>B</sub>), Ende (V<sub>E</sub>) und Dauer (tV).

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 ( $p \leq 0,001$ )

### 3.1.3. Niederschlagssummen

Zwischen 1962 und 2005 betrug die mittlere Jahresniederschlagssumme in Sachsen-Anhalt 587,5 mm ( $s = 101,2$  mm) aus  $x$  ( $N = 13$  Stationen). Sie liegt damit 135 mm unter der mittleren Summe Deutschlands mit 722,4 mm im gleichen Zeitraum. Zwischen 1962 und 2005 war der Juni mit 62,2 mm und der Juli mit 61,8 mm Niederschlag die feuchtesten Monate des Jahres und der Februar der trockenste mit 35,9 mm.

Deutschlandweit gehört Sachsen-Anhalt, im Besonderen das Mitteldeutsche Trockengebiet östlich des Harzes oder auch die Unstrut-Helme-Niederung (Goldene Aue) im Südwesten, zu den trockensten Regionen. Aseleben bei Eisleben in Sachsen-Anhalt, mit im Mittel 429 mm Niederschlag in der Jahressumme, gilt unter anderem als trockenster Punkt (OELKE, 1997, S.49). Regional variieren demnach die Jahressummen der Niederschläge sehr stark, von 463,7 mm (Artern) bis 1308,4 mm (Schierke) beziehungsweise 1738,7 mm auf dem Brocken. Es besteht ein Zusammenhang zwischen der Höhe NN in m und der Jahresniederschlagssumme sowie der Orographie mit mehr Niederschlägen in Luvlagen (Brocken) und geringeren Summen in Leelagen (Vgl. OELKE, 1997; CHMIELEWSKI et al., 2004) wie zum Beispiel Halle/Kröllwitz, Magdeburg oder Artern. In diesen Regionen liegen die jährlichen Niederschlagsjahressummen im Mittel unter 500 mm.

Für die Jahressumme der Niederschläge konnte für Sachsen-Anhalt kein signifikanter Trend ermittelt werden. Die Abbildung 9 gibt die Entwicklung der Jahresniederschlagssummen für das Bundesland wieder, in der dennoch eine geringe Zunahme von 0,95 mm pro Jahr, etwa 41,7 mm in 44 Jahren, zu erkennen ist. Im Vergleich zu Deutschland, mit einem positiven Entwicklungstrend der Jahresniederschlagssumme von 0,38 mm pro Jahr, ist die Zunahme in Sachsen-Anhalt sogar zweieinhalb Mal höher. Auffallend sind starke Variabilitäten der Niederschlagssummen in den einzelnen Jahren in Sachsen-Anhalt als auch im Mittel für Deutschland.

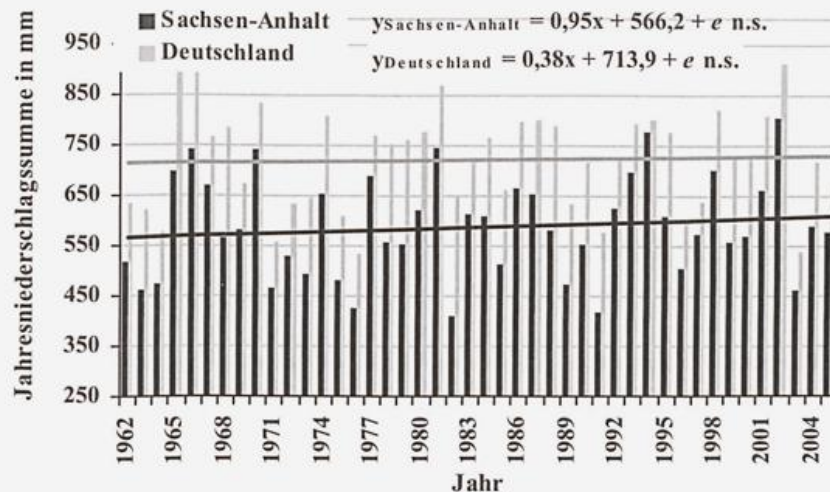


Abb. 9: Entwicklung der mittleren Jahresniederschlagssummen in Sachsen-Anhalt ( $N = 13$  Stationen) und in Deutschland 1962-2005 mit dem Trend (jeweils  $p > 0,1$ ).

Weiterhin ergaben die Trendbetrachtungen regionale Unterschiede in den Entwicklungen der Jahresniederschlagssummen. Bei der Betrachtung der Summen der vier Perioden für die einzelnen Stationen, besonders im Vergleich der ersten (1962-1972) und der vierten Periode (1995-2005), fiel auf, dass sich zumeist südlich der Linie Harz-Fläming eine Zunahme zeigte und vor allem nördlich dieser Linie eine Abnahme in den Niederschlagssummen. Jedoch sind auch die Entwicklungstrends der einzelnen Stationen nicht statistisch sicher. Die Irrtumswahrscheinlichkeiten liegen auch hier über 10%.

Aus Abbildung 10 ist abzulesen, dass sich die Verteilung der Niederschläge über das Jahr verändert hat. Dabei taten sich im Besonderen in der letzten Periode sichtbare Abweichungen auf. Es haben sich die Sommerniederschläge umverteilt: in den ersten drei Perioden lag das sommerliche Maximum in den Monaten Juni und August und in der vierten Periode hat es sich ausschließlich auf den Juli verlagert.

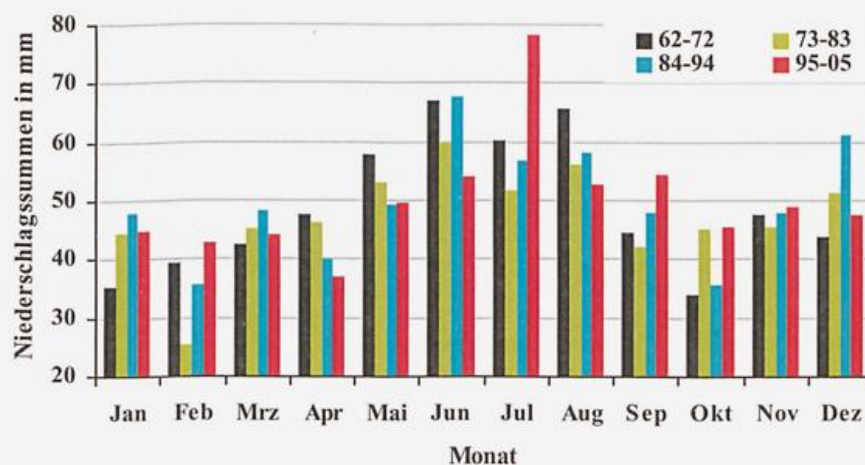


Abb. 10: Mittlere Monatsniederschlagssummen der vier Perioden in Sachsen-Anhalt.

Auch haben die Niederschläge im Vorsommer (April-Juni) sowie im August auffallend abgenommen. Alle anderen Monate zeigten dagegen positive Trends über den Beobachtungszeitraum, wobei der Entwicklungstrend der Juliniederschläge als einziger statistisch gesichert ist mit einer tendenziellen Zunahme ( $0,1 > p > 0,05$ ) um 23,3 mm in Sachsen-Anhalt zwischen 1962 und 2005 (Tab. 5).

**Tab. 5: Niederschlagsmonatsummen in Sachsen-Anhalt 1962-2005 und Monatssummen der vier Perioden in mm.** (langj. Mittelwert  $\bar{x}$ , Standardabweichung  $s$ , Minimum, Maximum, Trend)

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
$\bar{x}$	43,2	35,9	45,1	42,8	52,5	62,2	61,8	58,1	47,2	40,2	47,6	50,9	587,5
$s$	21,3	20,1	24,1	20,7	19,8	19,7	26,9	20,7	21,2	24,9	17,7	24,0	101,2
<b>Max Jahr</b>	112,3 1996	88,8 1970	113,3 1994	103,1 1983	89,6 1994	93,5 1981	127,8 1997	107,7 1994	111,2 2001	130,9 1998	100,5 2002	105,6 1993	805,8 2002
<b>Min Jahr</b>	4,0 1976	7,0 1972	13,3 1984	10,8 1988	11,1 1990	21,2 1976	16,2 1990	23,5 2003	14,2 1997	8,3 1962	9,8 1978	5,9 1972	410,9 1982
<b>Trend Sign.</b>	13,9 n.s.	5,7 n.s.	8,0 n.s.	-11,9 n.s.	-7,7 n.s.	-9,6 n.s.	23,4 (*)	-11,5 n.s.	12,3 n.s.	7,8 n.s.	3,4 n.s.	8,2 n.s.	41,7 n.s.

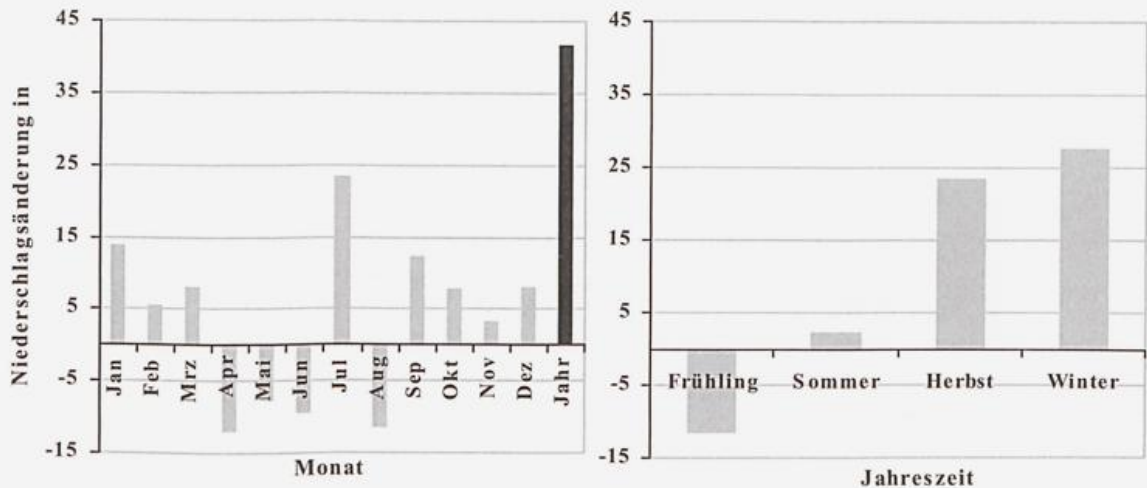
  

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	$\Sigma$ Periode
<b>62-72</b>	35,3	39,4	42,6	47,5	57,7	67,1	60,4	65,7	44,4	34,1	47,8	43,7	585,8
<b>73-83</b>	44,7	25,6	45,4	46,4	53,1	59,9	51,6	56,1	42,2	45,4	45,4	51,2	566,8
<b>84-94</b>	47,8	35,6	48,3	40,3	49,4	67,6	56,9	58,0	48,0	35,8	48,0	61,1	596,7
<b>95-05</b>	45,0	43,0	44,3	37,0	49,8	54,2	78,2	52,6	54,3	45,4	49,0	47,6	600,6

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 ( $p \leq 0,001$ )

Aus Tabelle 5 ist ersichtlich, dass im Mittel die Jahre 1973 bis 1983 die geringsten Jahresniederschlagssummen aufwiesen. In den letzten Jahren wurden dagegen im Mittel kaum mehr als 600 mm erreicht. Generell wurden maximale Niederschlagssummen in den Monaten sowie in der Jahressumme nach 1980 erreicht. Die höchste mittlere Jahressumme von 805,8 mm konnte in Sachsen-Anhalt für das Jahr 2002 ermittelt werden (Jahrhundertflut an der Elbe). Nochmals sei auf die enorme Zunahme der Juliniederschläge hinzuweisen, die entsprechenden Werte sind in der Tabelle 4 rot markiert.

Hauptsächlich sind über das Jahr positive Trends in der Niederschlagsentwicklung zu erkennen, die sich im Wesentlichen auf die Herbst- und Wintermonate verteilen (Abb. 11, S.25). Im späten Frühling liegen negative Entwicklungstrends vor, die für die Zunahme der vorsommerlichen Trockenheit verantwortlich sind.



**Abb. 11: Trends der Niederschlagssummenentwicklung im Jahresverlauf (links) und in den Jahreszeiten (rechts) 1962-2005 in Sachsen-Anhalt  $x$  ( $N = 13$  Stationen).**

Folgende Entwicklungen der Niederschlagssummen stellten sich in den Jahreszeiten über die letzten Jahrzehnten ein: im Frühling haben die Niederschläge um etwa 11,7 mm (0,27 mm pro Jahr) abgenommen. Die Zunahmen in den übrigen Jahreszeiten liegen bei mäßigen 2,2 mm (0,05 mm pro Jahr) für den Sommer und weitaus deutlicher bei 23,5 mm (0,53 mm pro Jahr) für den Herbst und im Winter haben sich die Niederschläge um insgesamt 27,7 mm (0,63 mm pro Jahr) erhöht. Dennoch ließen sich auch diese Trends nicht statistisch sichern.

### 3.2. Klimaänderungen am Beispiel Halle/Kröllwitz und Brocken

#### 3.2.1. Entwicklung der Lufttemperaturen

Über den Untersuchungszeitraum 1962 bis 2005 weisen die Entwicklungen der Jahresmitteltemperaturen an den Stationen Halle/Kröllwitz und Brocken sehr ähnliche Trends auf (Abb. 12, S.26). Für Halle/Kröllwitz wurde eine Zunahme von 0,031 °C und auf dem Brocken 0,034 °C pro Jahr ermittelt. Die Trends entsprechen damit auch der Temperaturzunahme Sachsens-Anhalts mit 0,034 °C pro Jahr beziehungsweise etwa 1,5 °C über den gesamten Zeitraum (Vgl. Kapitel 3.1.1.). Die Trends sind zu über 99,9% statistisch sicher.

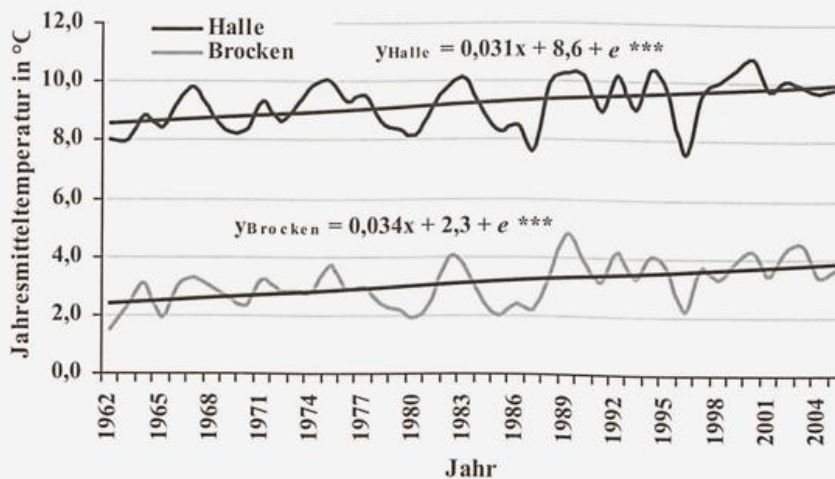


Abb. 12: Entwicklungen der Jahresmitteltemperaturen in Halle/Kröllwitz und auf dem Brocken 1962-2005 mit linearem Trend (jeweils  $p \leq 0,001$ ).

### 3.2.2. Veränderungen der thermischen Vegetationsperiode

Hinsichtlich der Entwicklungen der thermischen Vegetationsperiode (Beginn, Ende und Dauer) unterscheiden sich die Stationen deutlich (Tab. 6). Der Termin für den Beginn hat sich im Bezugszeitraum in Halle/Kröllwitz um fast 27 Tage näher zum Jahresbeginn verschoben. Auf dem Brocken war im Gegensatz eine Verfrühung von nur 12 Tagen eingetreten (Sachsen-Anhalt: -22,7 Tage).

Wie auch im Landesmittel ergaben sich keine statistisch gesicherten Trends für die Entwicklung der Termine für das Ende der thermischen Vegetationsperiode. Dennoch ist es in Halle/Kröllwitz zu einer Verzögerung um 4,1 Tage gekommen. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass sich auf dem Brocken das Ende, entgegen dem allgemeinen Trend, um etwa drei bis vier Tage verfrüht hat.

Tab. 6: Entwicklung der thermischen Vegetationsperiode, Beginn ( $V_B$ ), Ende ( $V_E$ ) und Dauer ( $tV$ ) 1962 bis 2005 in Halle/Kröllwitz, Brocken und in Sachsen-Anhalt mit Trend in Tagen.

	Halle/Kröllwitz			Brocken			Sachsen-Anhalt		
	$V_B$	$V_E$	$tV$ in Tagen	$V_B$	$V_E$	$tV$ in Tagen	$V_B$	$V_E$	$tV$ in Tagen
$x$	14.3.	15.11.	246	10.5.	11.10.	154	21.3.	11.11.	234
$s$	17,3	9,1	19,8	10,7	10,7	15,3	14,1	7,7	16,3
Trend 62-05 Sign.	-26,8 **	+ 4,1 n.s.	+ 30,9 **	-12,0 *	-4,3 n.s.	+ 7,6 n.s.	-22,7 **	+ 3,5 n.s.	+ 26,6 **

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 ( $p \leq 0,001$ )

Bei beiden Stationen hat die Länge der Vegetationsperiode zugenommen (Abb. 13). Dass die Verlängerung maßgeblich durch den starken Verfrühungstrend im Beginn verursacht wird, wurde bereits im Kapitel 3.1.2. angesprochen. Daher ergibt sich eine intensivere Verlängerung in Halle/Kröllwitz als auf dem Brocken.

Folgende Trends liegen für die Stationen vor: die thermische Vegetationsperiode hat sich um 31 Tage (+0,7 Tage pro Jahr) in Halle/Kröllwitz verlängert, der Trend ist auf dem Niveau  $p \leq 0,01$  signifikant. Für die Brockenstation ist die Tendenz zu einer längeren Vegetationsperiode, um 0,2 Tage pro Jahr, nicht statistisch sicher.

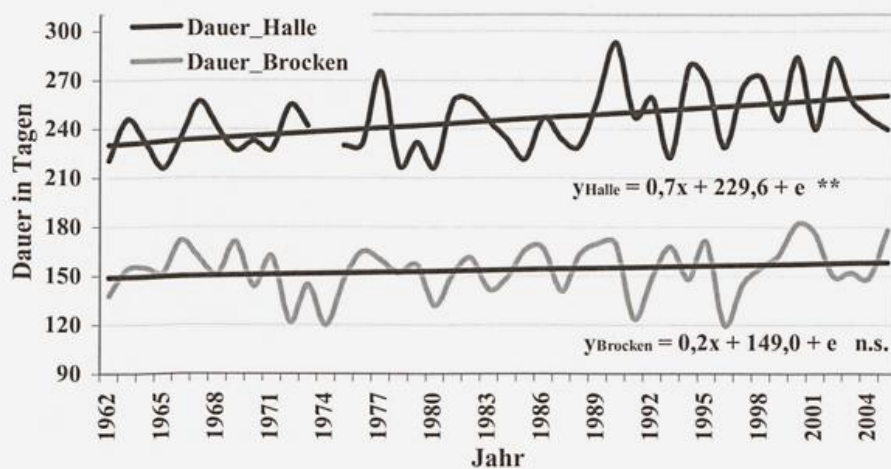


Abb. 13: Entwicklung der Dauer der thermischen Vegetationsperiode in Halle/Kröllwitz und auf dem Brocken 1962-2005 mit linearem Trend (Halle/Kr.:  $p \leq 0,01$  Brocken:  $p > 0,1$ ).

### 3.2.3. Entwicklung von Temperaturextremen

Frosttage definieren sich durch die Anzahl der Tage, an denen die Tagesminimumtemperatur unter  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  liegt. Werden  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  im Tagesmaximum der Lufttemperatur nicht erreicht, spricht man von Eistagen. An Sommertagen werden Tagesmaximumtemperaturen von  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  oder mehr erreicht und an heißen Tagen  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  oder mehr (DWD, 1999).

Tabelle 7 (S.28) enthält die Mittelwerte für die vier Perioden, den langjährigen Mittelwert  $x$  (1962-2005) sowie den Trend pro Jahr mit dem Signifikanzniveau.

Tab. 7: Entwicklungen der Temperaturextreme: Frosttage, Eistage, Sommertage, heiße Tage in Halle/Kröllwitz und auf dem Brocken in den vier Perioden, Trend in Tagen.

	Halle/Kröllwitz				Brocken			
	Frost-tage	Eis-tage	Sommer-tage	Heiße Tage	Frost-tage	Eis-tage	Sommer-tage	Heiße Tage
1962-1972	84,6	32,9	27,9	7,1	172,9	108,3	0,1	-
1973-1983	70,9	19,4	27,4	5,7	177,2	107,3	0,0	-
1984-1994	71,5	22,6	27,5	6,0	164,4	90,8	0,5	-
1995-2005	83,7	18,8	32,5	8,3	160,8	87,1	0,7	-
$\bar{x}$ 1962-2005	77,7	23,4	28,8	6,8	168,8	98,4	0,3	-
Trend <sup>Sign.</sup> Pro Jahr	-0,05 n.s.	-0,38 *	0,16 n.s.	0,05 n.s.	-0,48 ***	-0,76 ***	0,02 *	-

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 ( $p \leq 0,001$ )

In Halle/Kröllwitz sind die markantesten Veränderungen in der Entwicklung der Anzahl der jährlichen Eistage aufgetreten, sie haben zwischen 1962 und 2005 um fast 0,4 Tage pro Jahr signifikant abgenommen. Trends der Veränderungen bei den Frosttagen mit einer Abnahme um 0,05 Tage pro Jahr als auch die für die Zunahme der Sommer- und heißen Tage ließen sich nicht statistisch sichern.

Auf dem Brocken sind die Veränderungen sehr viel stärker ausgeprägt. Frost- und Eistage haben signifikant abgenommen ( $p \leq 0,001$ ). Dagegen hat sich die Anzahl der Sommertage um 0,02 Tage pro Jahr erhöht. Zwischen 1984 und 2005 wurden insgesamt 13 Tage gezählt, wovon acht in den letzten Jahren aufgetreten sind, fünf davon im Hitzesommer 2003.

Veränderungen in der Anzahl der Spätfröste zwischen Januar bis Mai (Tab. 8, S.29) haben sich ebenfalls deutlicher für den Brocken eingestellt. Insgesamt liegt bei beiden Stationen eine Abnahme in der Anzahl der Spätfröste über den Referenzzeitraum vor. Auf dem Brocken sind es 0,34 Tage pro Jahr weniger und der Schwerpunkt der Abnahme liegt hier zwischen Februar und Mai. Der Trend ist signifikant auf dem Niveau  $p \leq 0,001$ . In Halle/Kröllwitz wird die Verringerung der Anzahl durch die Abnahme der Spätfrosttage um lediglich 0,14 Tage pro Jahr von Januar bis März verursacht und im April ist sogar eine Zunahme zu verzeichnen. Diese Entwicklungen sind jedoch nicht statistisch gesichert.

Tab. 8: Entwicklung der Anzahl der Spätfrosttage in Halle/Kröllwitz und auf dem Brocken in den vier Perioden, Trend in Tagen.

Halle/Kröllwitz						
	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jan-Mai
1962-1972	20,5	18,4	14,3	2,6	0,0	55,8
1973-1983	16,0	18,0	9,4	4,1	0,3	47,7
1984-1994	15,0	16,8	10,3	3,7	0,0	45,8
1995-2005	18,0	15,2	13,6	5,2	0,0	52,0
$\bar{x}$ 1962-2005	17,4	17,1	11,9	3,9	0,1	50,3
Trend <sup>Sign.</sup> Pro Jahr	-0,08 n.s.	-0,08 n.s.	-0,05 n.s.	0,07 n.s.	-0,00 n.s.	-0,14 n.s.
Brocken						
	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jan-Mai
1962-1972	30,2	26,8	28,3	19,7	7,6	112,6
1973-1983	31,0	26,2	25,8	22,9	8,2	114,1
1984-1994	31,0	24,9	25,8	18,5	7,2	107,5
1995-2005	31,0	24,9	25,5	16,1	6,1	103,5
$\bar{x}$ 1962-2005	30,8	25,7	26,3	19,3	7,3	109,4
Trend <sup>Sign.</sup> Pro Jahr	0,02 **	-0,07 *	-0,10 *	-0,14 **	-0,06 n.s.	-0,34 ***

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 ( $p \leq 0,001$ )

### 3.2.4. Niederschlagsentwicklung

Die jährliche Niederschlagssumme hat in Halle/Kröllwitz und auf dem Brocken leicht zugenommen. In Halle/Kröllwitz waren es 60,2 mm und auf dem Brocken 84,1 mm zwischen 1962 und 2005 (Abb. 14), was sich jedoch wiederum nicht statistisch sichern ließ. Bezogen auf die Jahresniederschlagssummen (Halle/Kröllwitz mit 472,2 mm und 1738,7 mm für den Brocken im langjährigen Mittel) war der Zuwachs der Niederschläge in Halle/Kröllwitz größer als auf dem Brocken.

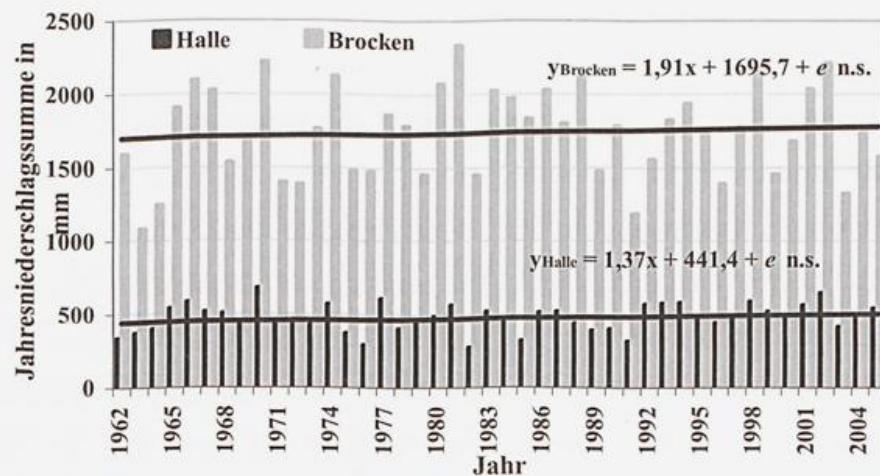


Abb. 14: Entwicklungen der Jahresniederschlagssummen in Halle/Kröllwitz und auf dem Brocken mit linearem Trend (jeweils  $p > 0,1$ ).

Abweichend vom Landesmitteltrend war in Halle/Kröllwitz für den November eine signifikante Zunahme in der Niederschlagssumme aufgetreten (Tab. 9). Unter anderem ist hier auch die zunehmende Vorsommertrockenheit weniger stark ausgeprägt als im Mittel für Sachsen-Anhalt.

**Tab. 9: Trends der Entwicklung der Monatsniederschlagssummen von Halle/Kröllwitz und Brocken 1962-2005 in mm.**

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
<b>Halle/Kröllwitz</b>													
<b>Trend</b>	6,8	-2,5	10,9	-8,6	-7,5	-0,2	28,8	-11,6	9,5	-0,4	25,3	9,8	60,2
<b>Sign.</b>	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	(*)	n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.
<b>Brocken</b>													
<b>Trend</b>	46,5	27,8	16,2	-46,5	-27,0	-28,4	38,5	17,6	66,8	44,1	-47,4	-24,3	84,1
<b>Sign.</b>	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

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 ( $p \leq 0,001$ )

### 3.3. Veränderungen in der Pflanzenentwicklung in Sachsen-Anhalt und den Naturraumgruppen

Die Untersuchung der Veränderungen in der Pflanzenentwicklung erfolgt zunächst für ganz Sachsen-Anhalt mit den Entwicklungen in den einzelnen Phasen. Anschließend wird auf die phänologischen Veränderungen der Naturraumgruppen eingegangen.

#### **3.3.1. Entwicklungen der phänologischen Phasen Sachsen-Anhalts**

Die Beschreibungen zu den Veränderungen in den Eintrittsterminen der einzelnen Phasen gliedern sich entsprechend der Abfolge der phänologischen Jahreszeiten. Die Werte für Sachsen-Anhalt (mittlere Eintrittstermine, Trends) ergeben sich aus der Mittelung der Eintrittstermine der 35 Naturräume. In den Abbildungen 15 bis 23 sind die Entwicklungskurven mit dem linearen Trend dargestellt. Die beistehende Übersichtstabelle enthält dazu die mittleren Eintrittstermine der vier Perioden in Tagen nach Jahresbeginn (TnJb), den Trend von 1962 bis 2005 mit dem Signifikanzniveau, den langjährigen Mittelwert  $\bar{x}$  und die Standardabweichung  $s$ . Das phänologische Phasendiagramm (Abb. 24, S.38) veranschaulicht zusammenfassend die Intensitäten der Änderungen in den Eintrittsterminen im Jahresverlauf.

### 3.3.1.1. Vorfrühling: Blühbeginn der Sal-Weide (*Salix caprea*)

Im Blühbeginn der Sal-Weide ereigneten sich unter allen Phasen in Sachsen-Anhalt die stärksten Veränderung im Eintrittstermin. Über den gesamten Zeitraum betrug die Verfrühung etwa 20 Tage beziehungsweise 0,46 Tage pro Jahr (Abb. 15).

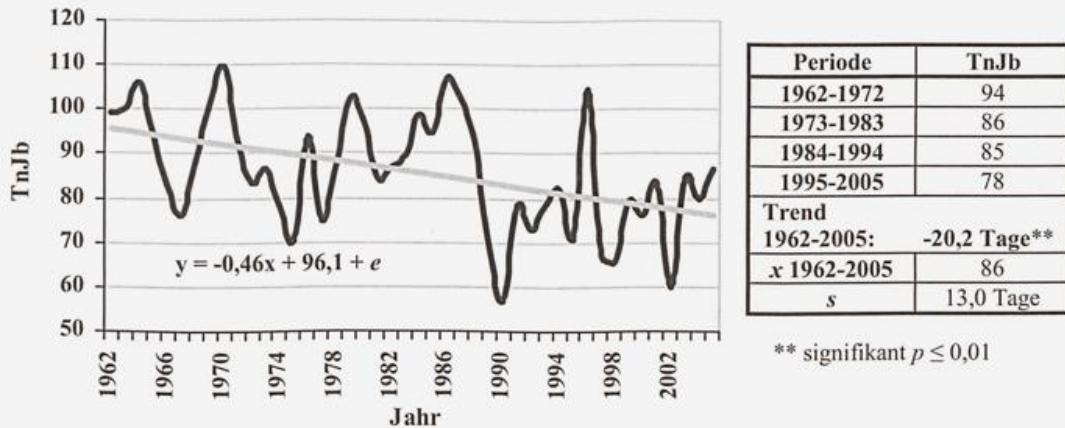


Abb. 15: Mittlerer Blühbeginn der Sal-Weide (*Salix caprea*) in Sachsen-Anhalt 1962-2005 ( $N = 34$  Naturräume).

Im Kurvenverlauf und an der Standardabweichung  $s = 13,0$  Tage wird deutlich, dass bei *Salix caprea* enorme jährlichen Schwankungen im Eintrittstermin vorliegen.

In der zweiten und dritten Periode sind die Eintrittstermine im Mittel nahezu unverändert geblieben. Im Vergleich der ersten Periode (1962-1972) und der vierten (1995-2005) ergaben sich dagegen frühere Eintrittstermine von etwas mehr als zwei Wochen (16 Tage). Nach 1990 beginnt, mit Ausnahme 1996, die Sal-Weide stets vor dem 90. Tag im Jahr zu blühen. In den Jahren 1990 (26. Februar, 57 TnJb) und 2002 (1. März, 60 TnJb) kam es zu den frühesten Blühterminen.

### 3.3.1.2. Erstfrühling: Blühbeginn des Löwenzahns (*Taraxacum officinale*)

Beim Beginn der Blüte des Löwenzahns konnte eine Verfrühung von 0,37 Tage pro Jahr beobachtet werden (Abb. 16, S.32). Der Verfrühungstrend im Eintrittstermin fiel bei der Betrachtung der Periodenmittel über den gesamten Zeitraum recht kontinuierlich aus, trotz stärkerer Schwankungen ( $s = 8,5$  Tage). Auch liegen nach 1990 die Eintrittstermine weitestgehend vor dem 112. Tag im Jahr (22. April). Der früheste mittlere Blühbeginn, am 30. März (89 TnJb) war wie bei dem Blühbeginn von *Salix caprea* im Jahr 1990 aufgetreten.

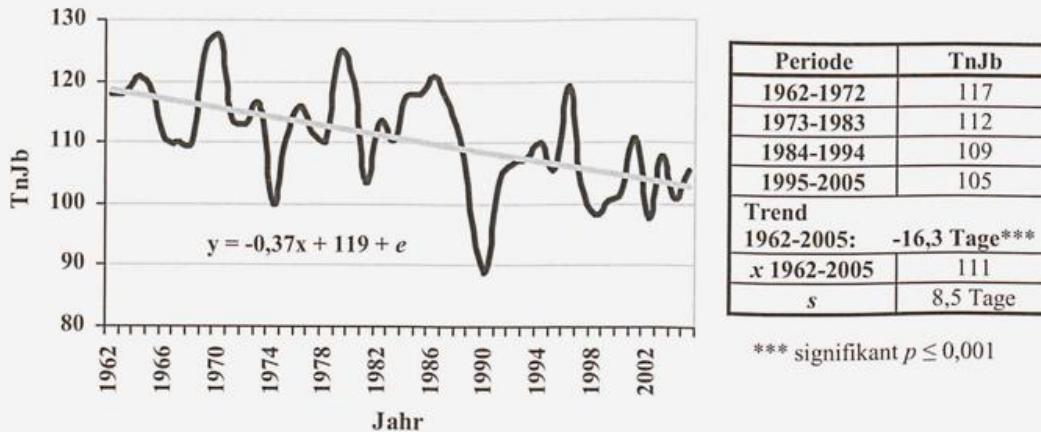


Abb. 16: Mittlere Blühbeginn des Löwenzahns (*Taraxacum officinale*) Sachsen-Anhalt 1962-2005  $\bar{x}$  ( $N = 35$  Naturräume).

### 3.3.1.3. Vollfrühling: Blattentfaltung der Stiel-Eiche (*Quercus robur*)

Um 0,33 Tage pro Jahr beziehungsweise um 14,6 Tage über den gesamten Zeitraum hat sich der Eintrittstermin für den Beginn der Blattentfaltung der Stiel-Eiche näher zum Jahresbeginn verschoben (Abb. 17).

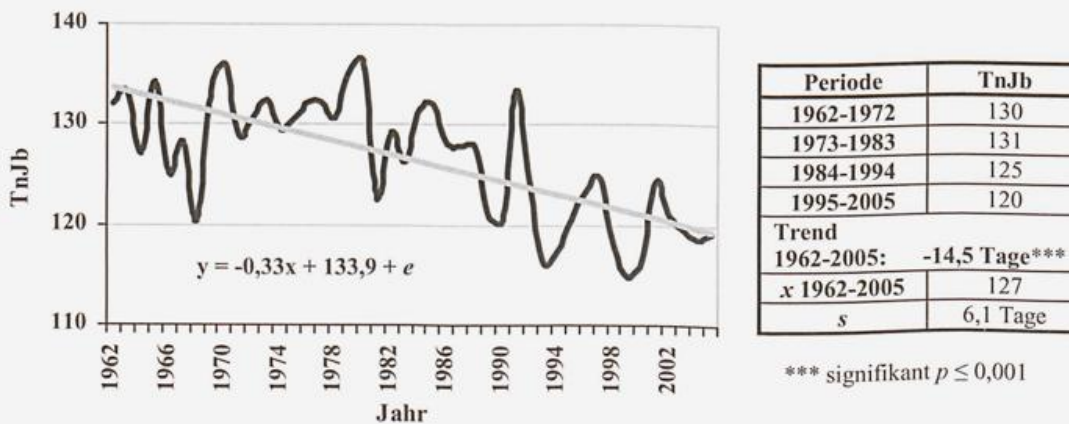


Abb. 17: Mittlerer Beginn der Blattentfaltung der Stiel-Eiche (*Quercus robur*) in Sachsen-Anhalt 1962-2005  $\bar{x}$  ( $N = 35$  Naturräume).

Innerhalb der ersten beiden Perioden kam es im Mittel kaum zu Änderungen im Eintrittstermin. Diese setzten maßgeblich ab der dritten Periode ein mit einer Verfrühung um sechs Tage im direkten Vergleich zur zweiten sowie um fünf Tage vom dritten zum letzten Zeitabschnitt. Schwankungen im Eintrittstermin sind bei *Quercus robur* moderater als bei den ersten beiden Frühlingsphasen ( $s = 6,1$  Tage). Am 25. April 1999 (115 TnJb) sowie auch in den Jahren 1993 und 2000 jeweils am 116. Tag im Jahr setzte die Blattentfaltung sehr früh im Jahr ein.

### 3.3.1.4. Frühsommer: Blühbeginn des Schwarzen Holunders (*Sambucus nigra*)

Unter den Sommerphasen hatte sich im Blühbeginn des Schwarzen Holunders der stärkste Trend zu einer Verfrühung um 0,4 Tage pro Jahr ergeben. Auch waren, wie bei der Blattentfaltung von *Quercus robur*, in der ersten Hälfte des Referenzzeitraums keine wesentlichen Unterschiede im mittleren Auftreten dieser phänologischen Phase zu verzeichnen. Die Termine lagen jeweils um den 8. Juni (Abb. 18).

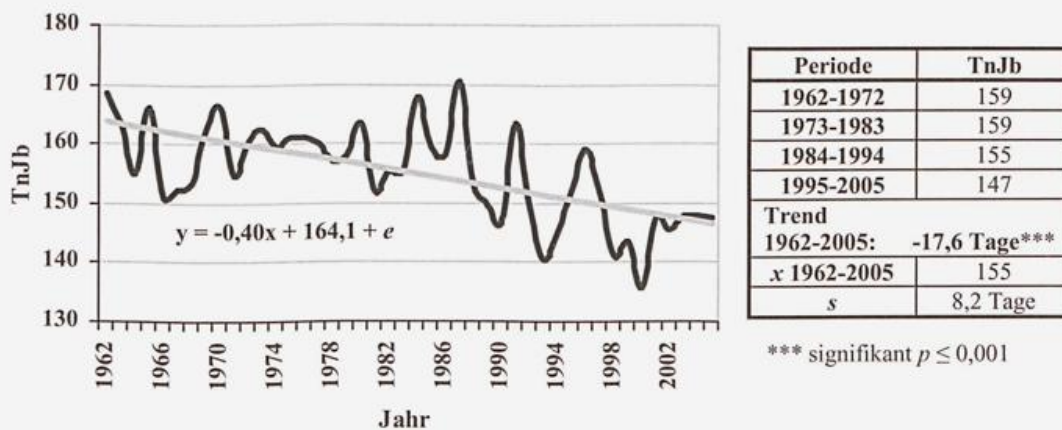


Abb. 18: Mittlerer Blühbeginn des Schwarzen Holunders (*Sambucus nigra*) in Sachsen-Anhalt 1962-2005  $x$  ( $N = 35$  Naturräume).

Schwankungen im Eintrittstermin ( $s = 8,2$  Tage) sind unter den Sommerphasen bei der Blüte von *Sambucus nigra* am auffälligsten. Den größten Verfrühungsschub setzte in den letzten Jahren ein. Die Abbildung 18 zeigt, dass nach 1990 sich Eintrittstermine vor dem 150. Tag im Jahr (30. Mai) häufen. Darüber hinaus lag der mittlere Blühbeginn im letzten Zeitabschnitt acht Tage früher im Jahr als in den vorangegangenen Jahren. In Sachsen-Anhalt war der 16. Mai 2000 (136 TnJb) im Mittel der zeitigste Blühtermin bei *Sambucus nigra*.

### 3.3.1.5. Hochsommer: Blühbeginn der Sommer-Linde (*Tilia platyphyllos*)

Der Entwicklungstrend für den Beginn der Blüte der Sommer-Linde (mit einer Verfrühung von nur -0,22 Tagen pro Jahr beziehungsweise 9,7 Tagen über 44 Jahre), fiel zu den bisher betrachteten Phasen vergleichsweise gemäßigt aus (Abb. 19, S.34). Im Vergleich der mittleren Eintrittstermine der ersten beiden Perioden ist sogar ein gegenläufiger Trend erkennbar. Der Eintrittstermin lag zwischen 1973 und 1983 durchschnittlich zwei Tage später im Jahr.

Die Jahre 1993 und 2000 zeigten für diese phänologische Phase den frühesten Eintrittstermin am 8. Juni (159 TnJb) und auch im Jahr 2003 begann die Sommer-Linde sehr früh zu blühen (160. Tag im Jahr).

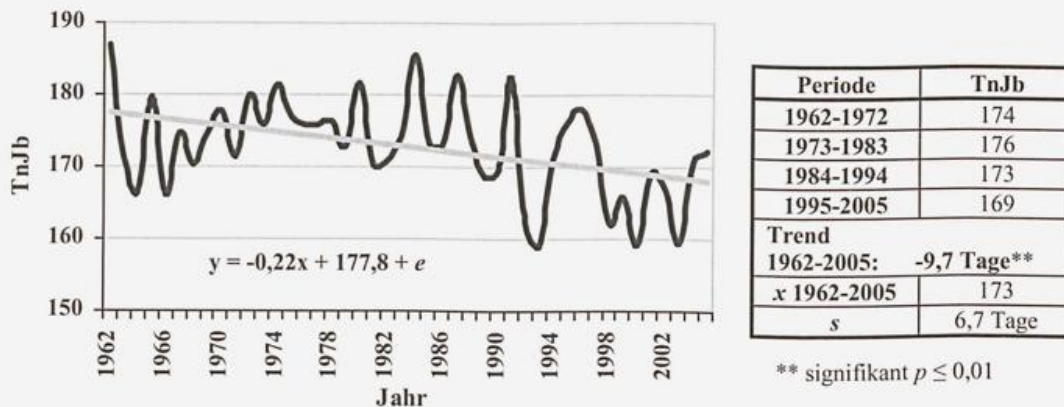


Abb. 19: Mittlerer Blühbeginn der Sommer-Linde (*Tilia platyphyllos*) in Sachsen-Anhalt 1962-2005 ( $N = 35$  Naturräume).

### 3.3.1.6. Spätsommer: Blühbeginn des Heidekrauts (*Calluna vulgaris*)

Zwischen 1962 und 2005 hat sich der Termin für den Beginn der Blüte beim Heidekraut nicht wesentlich verändert. Es kam lediglich zu einer leichten Verfrühung von 0,11 Tagen pro Jahr beziehungsweise nur 4,8 Tage über den gesamten Zeitraum.

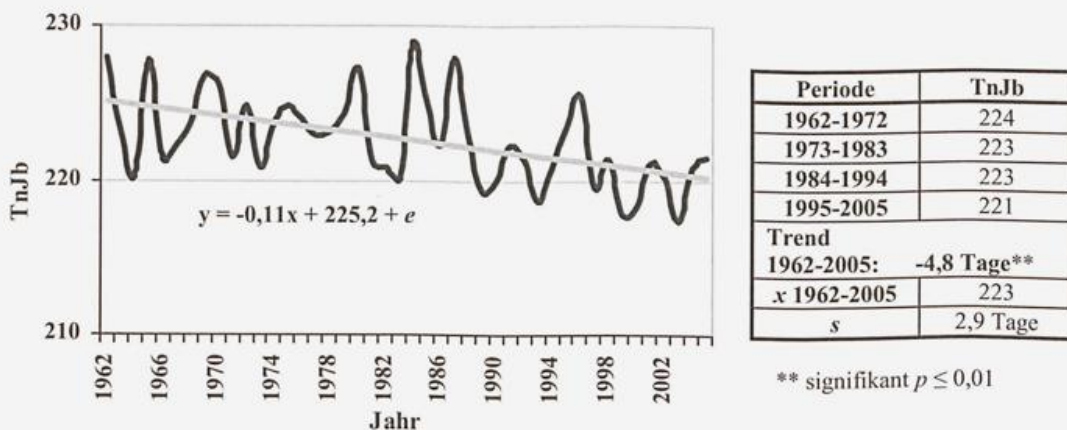


Abb. 20: Mittlerer Blühbeginn des Heidekrauts (*Calluna vulgaris*) in Sachsen-Anhalt 1962-2005 ( $N = 32$  Naturräume).

Das hier kaum Veränderungen aufgetreten sind, lässt sich auch bei der Betrachtung der mittleren Eintrittstermine der vier Perioden ablesen, die sich nahezu einander entsprechen (Abb. 20, S.34). Dennoch sind die frühesten Termine der Heidekrautblüte deutlich nach 1990 aufgetreten, oftmals schon vor dem 8. August (220 TnJb). Von allen betrachteten Phasen liegen bei der Entwicklung der Eintrittstermine dieser phänologischen Phase die geringsten Schwankungen vor ( $s = 2,9$  Tage).

### 3.3.1.7. Frühherbst: erste reife Früchte beim Schwarzen Holunder (*Sambucus nigra*)

Für das Auftreten der ersten reifen Früchte bei *Sambucus nigra* stellte sich eine erheblich stärkere Verfrühung ein als bei den letzten beiden Sommerphasen. Der Termin hat sich um 12,3 Tage zwischen 1962 und 2005 (0,28 Tage pro Jahr) zum Jahresbeginn verschoben (Abb. 21). Auch erfolgte der Verfrühungstrend, wie bei *Tilia platyphyllos*, nicht kontinuierlich. Zwischen 1973 und 1983 lag der mittlere Termin am spätesten im Jahr. Anfang der 70er bis Anfang der 90er erscheinen die Schwankungen zudem etwas geringer als in den übrigen Jahren. Die frühesten mittleren Eintrittstermine dieser phänologischen Phase liegen nach 1990 zum Beispiel am 18. August 1993 (230 TnJb) oder am 19. August 2000.

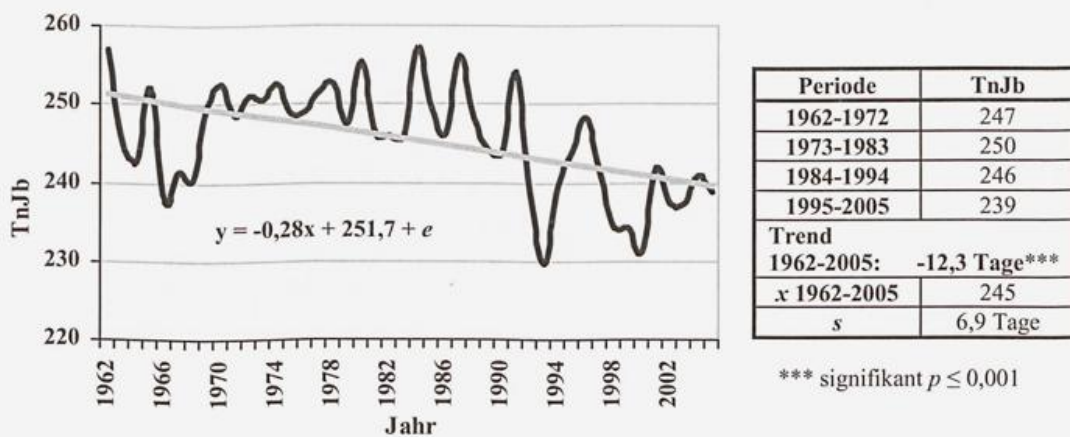


Abb. 21: Mittleres Auftreten der ersten reifen Früchte des Schwarzen Holunders (*Sambucus nigra*) in Sachsen-Anhalt 1962-2005 ( $N = 35$  Naturräume).

Darüber hinaus hat sich der Zeitraum zwischen dem Blühbeginn und dem Auftreten der ersten reifen Früchte des Schwarzen Holunders (*Sambucus nigra*) gering verlängert. Beide Phasen zeigten Verfrühungstrends, der bei der Fröhsommerphase prägnanter war als im Frühherbst. Daraus ergab sich eine höchst signifikante Verlängerung des Zeitraums um 0,12 Tage pro Jahr, obwohl im Mittel der Eintrittstermine in den einzelnen Perioden kaum Unterschiede feststellbar waren. Die Länge des Zeitraums betrug im Mittel in den ersten Jahren 88 Tage, 1973 bis 1994 waren es 91 und nach 1995 ungefähr 92 Tage.

### 3.3.1.8. Vollherbst: erste reife Früchte der Rosskastanie (*Aesculus hippocastanum*)

Im mittleren Auftreten der ersten reifen Früchte der Rosskastanie sind kaum Veränderungen aufgetreten. Der Eintrittstermin verfrühte sich um lediglich 4,4 Tage über den Referenzzeitraum. Abermals war die zweite Periode der Zeitabschnitt mit den spätesten mittleren Eintrittsterminen. (Abb. 22)

Wie aus der Abbildung 22 abzulesen ist, lagen sehr frühe Termine in den Jahren 1993 (12. September, 255 TnJb), 2003 (13. September) und 1998 sowie 2000 je am 14. September. Schwankungen im Eintrittstermin zum langjährigen Mittel, mit einer Standardabweichung von 3,9 Tagen, waren relativ gering.

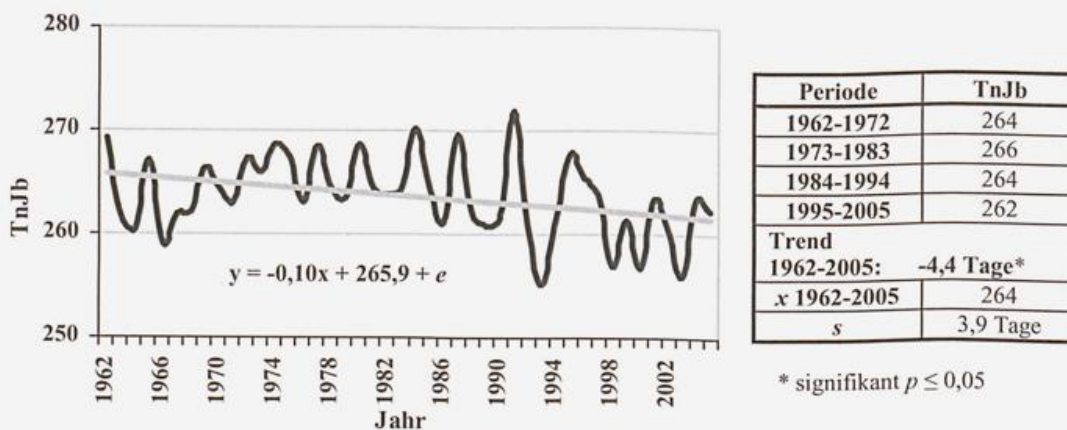


Abb. 22: Mittleres Auftreten der ersten reifen Früchte der Rosskastanie (*Aesculus hippocastanum*) in Sachsen-Anhalt 1962-2005  $\bar{x}$  ( $N = 35$  Naturräume).

### 3.3.1.9. Spätherbst: Blattverfärbung der Stiel-Eiche (*Quercus robur*)

Bei der Blattverfärbung der Stiel-Eiche ist im Mittel ihrer Entwicklung der Eintrittstermine als einzige Phase ein gegenläufiger Trend über den Referenzzeitraum eingetreten. Es ist zu einem verspäteten Blattverfärbungsbeginn von ungefähr einer Woche oder 0,16 Tage pro Jahr gekommen (Abb. 23). Schon ab Mitte der 80er zeigte sich, dass die Blattverfärbung von *Quercus robur* zunehmend erst nach dem 17. Oktober (290 TnJb) einsetzte.

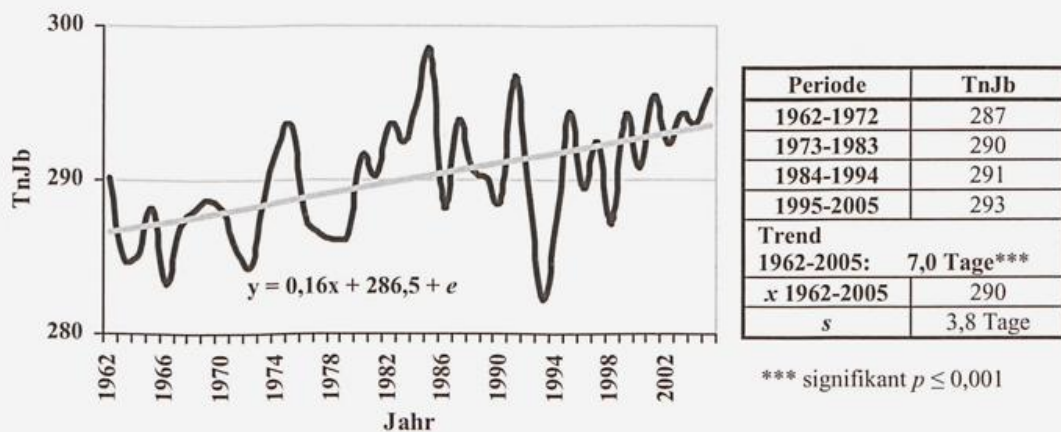


Abb. 23: Mittlerer Beginn der Blattverfärbung der Stiel-Eiche (*Quercus robur*) in Sachsen-Anhalt 1962-2005  $x$  ( $N = 35$  Naturräume).

Der Zeitraum zwischen der Blattentfaltung und dem Blattverfärbungsbeginn von *Quercus robur* hat sich ebenso maßgeblich verlängert. Ein ausgeprägter Verfrühungstrend der Frühlingsphase und die etwas moderatere gegenläufige Entwicklung im Eintrittstermin der Herbstphase ergaben somit eine Verlängerung des Zeitraums um fast 22 Tage über die letzten Jahrzehnte (0,49 Tage pro Jahr). Dieser Entwicklungstrend ist zu über 99,9% statistisch sicher. Auch beim Vergleich der mittleren Länge in den verschiedenen Zeitabschnitten tritt die Veränderung deutlich hervor. Sie betrug in den ersten Jahren im Mittel noch 157 Tage und verlängerte sich auf 173 Tage in den letzten Jahren.

Zwischen 1962 und 2005 ist es in Sachsen-Anhalt zu signifikanten Veränderungen in der Pflanzenentwicklung gekommen, was sich zusammenfassend aus dem phänologischen Phasendiagramm ablesen lässt (Abb. 24). Nahezu alle Phasen weisen Verfrühungen im Eintrittstermin auf. Die Blattverfärbung von Stiel-Eiche (*Quercus robur*) 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 (*Aesculus hippocastanum*) sind kaum Veränderungen zuerkennen, die Balken sind hier sehr flach. Auch liegt jeweils bei der ersten Phase im Frühling, Sommer oder Herbst der stärkste Trend vor. Im Allgemeinen nimmt die Intensität der Entwicklungstrends der Eintrittstermine im Jahresverlauf ab bis im Spätherbst eine Verspätung im Phasenbeginn eintritt.

Die Werte über den Balken geben jeweils die Periode mit dem spätesten Eintrittstermin an und die Werte unter den Balken jene mit dem frühesten. In den ersten Phasen liegt der späteste mittlere Termin stets in den ersten Jahren (1962-1972) und der früheste im vierten Zeitabschnitt. Für die Spätherbstphase gilt entgegengesetztes.

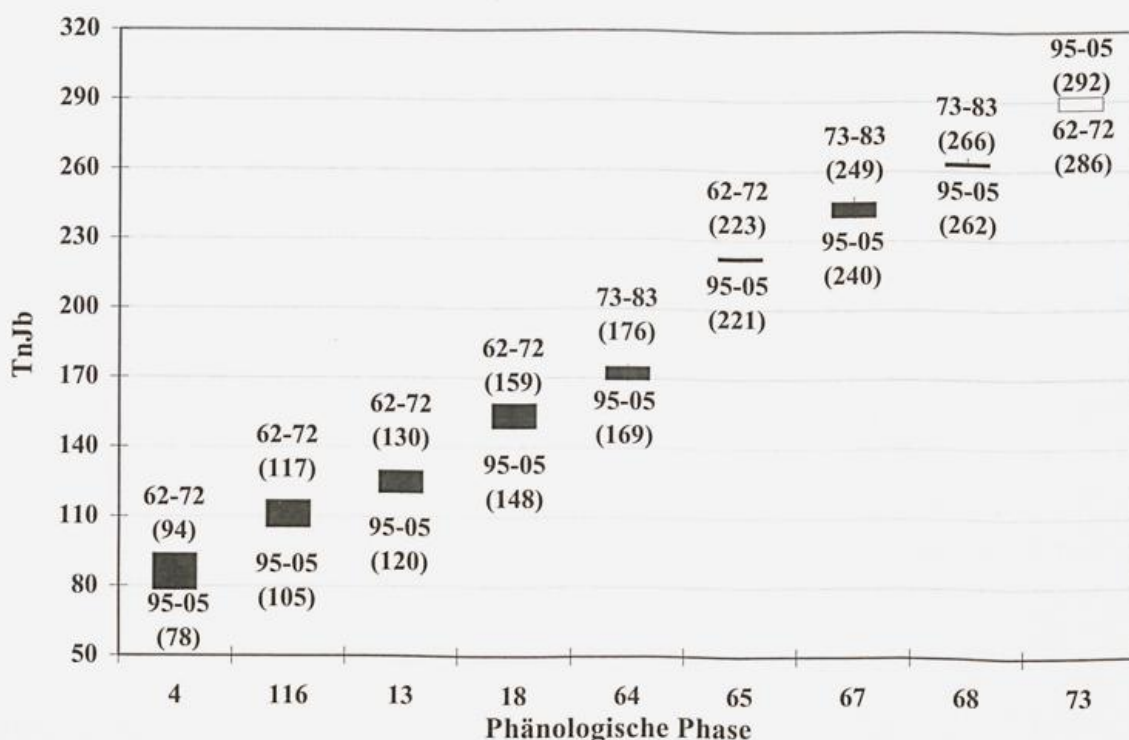


Abb. 24: Phänologisches Phasendiagramm Sachsen-Anhalt.

Vorfrühling: 4 Sal-Weide (B) Erstfrühling: 116 Löwenzahn (B) Vollfrühling: 13 Stiel-Eiche (BO)  
Frühsommer: 18 Schwarzer Holunder (B) Hochsommer: 64 Sommer-Linde (B) Spätsommer: 65 Heidekraut (B)  
Frühherbst: 67 Schwarzer Holunder (F) Vollherbst: 68 Rosskastanie (F) Spätherbst: 73 Stiel-Eiche (BV)

### 3.3.2. Veränderungen in den phänologischen Phasen der Naturraumgruppen

Unterschiede in den Lufttemperaturen sind in Sachsen-Anhalt vor allem durch die Topographie geprägt, wodurch die wärmsten Gebiete östlich des Harzes zu finden sind und der Harz die kälteste Region in Sachsen-Anhalt ist, dies spiegelt sich auch im Auftreten phänologischer Phasen wider. Die topographische Temperaturabhängigkeit äußert sich in einer späteren Pflanzenentwicklung mit zunehmender Höhe durch unterschiedliche klimatische Ausgangsbedingungen der verschiedenen Räume. Die spätesten Eintrittstermine wurden für die Harzregion bei den Frühlings- und Sommerphasen ermittelt, die zum Teil mehr als zehn Tage nach den Eintrittsterminen des Landesmittels liegen. In thermisch begünstigten Regionen, wie dem Mitteldeutschen Schwarzerdegebiet, oder Teilen des Thüringer Beckens und Randplatten, dem Elbe-Mulde-Tiefland und dem Sächsischen Hügelland in Sachsen-Anhalt, beginnt die Pflanzenentwicklung am frühesten (Vgl. dazu CHMIELEWSKI et al., 2004).

Da Naturraumgruppen Gebiete (Naturräume) zusammenfassen, in denen Pflanzen ähnlich auf Veränderungen der Umwelt- und Klimabedingungen reagieren, (Vgl. CHEN, 1994; Kapitel 2.2.2.) sind somit auch abweichende Entwicklungstrends für die Eintrittstermine der phänologischen Phasen in den Naturraumgruppen zu erwarten.

Die Tabellen in den folgenden Abschnitten enthalten jeweils für die einzelnen Naturraumgruppen die mittleren Eintrittstermine über den gesamten Referenzzeitraum sowie für die erste (1962-1972) und vierte Periode (1995-2005). Weiterhin ist der Entwicklungstrend über die letzten Jahrzehnte in Tagen pro Jahr mit dem Signifikanzniveau angegeben. Im Anhang sind zusätzlich die Phasendiagramme (Abb. 37- 46, S.78ff.) für die Darstellung der Stärke der Veränderung und die Trendkarten (Abb. 47-55, S.83ff.) zur Veranschaulichung regionaler Unterschiede enthalten.

### 3.3.2.1. Harz (Mittelharz, Unterharz, Östliche Harzabdachung)

Im Harz beginnt die Pflanzenentwicklung am spätesten in Sachsen-Anhalt. Die Eintrittstermine der meisten Phasen liegen zwischen vier und 14 Tage später im Jahr als im Landesmittel. Eine Ausnahme ist der Beginn der Blattverfärbung der Stiel-Eiche. Deren Termine, in der Regel um den 15. Oktober, mit denen der anderen Regionen vergleichbar sind.

Hinsichtlich der Veränderungen in der Phänologie sind bei allen Phasen Verfrühungen im Eintrittstermin aufgetreten (Tab. 10). Nur für das Auftreten der ersten reifen Früchte der Rosskastanie war über den Referenzzeitraum kein Trend zu ermitteln. Im direkten Vergleich der Mittelwerte der Perioden ist es lediglich zu einem verspäteten Auftreten gekommen. Die spätesten mittleren Eintrittstermine traten häufig zwischen 1973 und 1983 auf. (Vgl. Anhang, Abb. 37, S.78)

Die deutlichsten Verfrühungstrends zeigten sich bei der Blattentfaltung der Stiel-Eiche als auch im Blühbeginn des Schwarzen Holunders. Über den Betrachtungszeitraum haben sich die Eintrittstermine um etwa je 13 Tage zum Jahresbeginn verschoben. Entgegen der Entwicklung der anderen Regionen, kam es bei der Blattverfärbung der Stiel-Eiche zu einer geringen Verfrühung im Eintrittstermin. Dieser Trend ist jedoch nicht statistisch sicher. Ebenso sind die Trends der Entwicklungen für den Blühbeginn der Sommer-Linde und dem Auftreten der ersten reifen Früchte der Rosskastanie nicht signifikant. Insgesamt kam es im Harz zu den moderatsten Veränderungen in der Phänologie.

**Tab. 10: Mittlere Eintrittstermine und Trends 1962-2005 der phänologischen Phasen im Harz.**

Phänologische Jahreszeit	Phänologische Phase	Mittlerer Eintrittstermin In Tagen nach Jahresbeginn			Trend <sup>Sign.</sup> Tage/Jahr
		1962-2005	1962-1972	1995-2005	
Vorfrühling	Sal-Weide (B)	96	101	92	-0,26*
Erstfrühling	Löwenzahn (B)	121	123	117	-0,19*
Vollfrühling	Stiel-Eiche (BE)	136	138	130	-0,29***
Frühsommer	Holunder (B)	166	168	160	-0,30**
Hochsommer	Sommer-Linde (B)	187	185	184	-0,07 <sup>n.s.</sup>
Spätsommer	Heidekraut (B)	223	226	221	-0,15**
Frühherbst	Holunder (F)	257	258	253	-0,20**
Vollherbst	Roskastanie (F)	268	267	269	0,00 <sup>n.s.</sup>
Spätherbst	Stiel-Eiche (BV)	288	289	288	-0,05 <sup>n.s.</sup>

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 ( $p \leq 0,001$ )

### 3.3.2.2. Sächsisches Hügelland (*Leipziger Land, Altenburg-Zeitzer-Lößgebiet*)

Die mittleren Eintrittstermine der betrachteten phänologischen Phasen liegen im Sächsischen Hügelland in Sachsen-Anhalt deutlich vor dem Landesmittel. Durchschnittlich beginnt die Pflanzenentwicklung zwischen ein und sieben Tage früher im Jahr.

Über den Referenzzeitraum traten in den ersten acht Phasen, dem allgemeinen Trend entsprechend, Verfrühungen im Eintrittstermin auf (Tab. 11). Sie sind bei den Sommerphasen und den ersten beiden Herbstphasen in dieser Region markanter als im Mittel für Sachsen-Anhalt. Geringfügig unter dem Landesmittel fallen die Trends der Frühlingsphasen. Die Verzögerung im Eintrittstermin der Blattverfärbung der Stiel-Eiche liegt bei etwa 10 Tagen in 44 Jahren und somit etwas darüber. Im Verlaufe der letzten Jahrzehnte ist es beim Blühbeginn des Heidekrauts zu einer ungewöhnlichen Verfrühung von etwa 24 Tagen gekommen. Dieser Trend weicht sehr stark vom Gesamtmittel ab. Womöglich liegt die Ursache im fehlenden Datenmaterial aus dem Leipziger Land in Sachsen-Anhalt für diese Phase (Vgl. Kapitel 2.2.3., S.10).

In den ersten acht Phasen lag der früheste Eintrittstermin ausnahmslos in den letzten Jahren, die spätesten dagegen in der ersten Hälfte des gesamten Zeitraums. (Vgl. Anhang, Abb. 38, S.78)

Insgesamt ist es zu außerordentlichen Veränderungen in der Pflanzenentwicklung im Sächsischen Hügelland gekommen, mit ausschließlich signifikanten Entwicklungstrends auf dem Niveau  $p \leq 0,05$  bis  $p \leq 0,001$ .

**Tab. 11: Mittlere Eintrittstermine und Trends 1962-2005 der phänologischen Phasen im Sächsischen Hügelland.**

Phänologische Jahreszeit	Phänologische Phase	Mittlerer Eintrittstermin In Tagen nach Jahresbeginn			Trend <sup>Sign.</sup> Tage/Jahr
		1962-2005	1962-1972	1995-2005	
Vorfrühling	Sal-Weide (B)	82	90	76	-0,42**
Erstfrühling	Löwenzahn (B)	109	115	103	-0,36***
Vollfrühling	Stiel-Eiche (BE)	126	127	121	-0,20**
Frühsommer	Holunder (B)	153	157	142	-0,46***
Hochsommer	Sommer-Linde (B)	170	172	162	-0,31**
Spätsommer	Heidekraut (B)	216	221	201	-0,55***
Frühherbst	Holunder (F)	240	243	228	-0,48***
Vollherbst	Roskastanie (F)	259	261	255	-0,18*
Spätherbst	Stiel-Eiche (BV)	289	288	294	0,23**

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 ( $p \leq 0,001$ )

### 3.3.2.3. Thüringer Becken und Randplatten (Südharzer Zechsteingürtel, Helme-Unstrut-Niederung, Unteres Unstrut-Berg- und Hügelland, Querfurter Platte, Untere Unstrutplatten)

In der Region des Thüringer Beckens und der Randplatten gibt es kaum Abweichungen in den langjährigen Mittelwerten der Eintrittstermine von denen ganz Sachsen-Anhalts. Sie entsprechen in den ersten Phasen dem Landesmittel, wogegen die letzten vier Phasen ein bis drei Tage früher einsetzen.

Es ist bei allen Phasen zu signifikanten Veränderungen im Eintrittstermin gekommen, lediglich der Trend für den Blühbeginn des Heidekrauts ist nicht statistisch sicher. Auch erfolgten in den Naturräumen des Thüringer Beckens und den Randplatten in den ersten acht Phasen Verfrühungen. Im Spätherbst verzögerte sich der Eintrittstermin um etwa sieben bis acht Tage (0,17 Tage pro Jahr) über die letzten Jahrzehnte (Tab. 12). Im Wesentlichen lief die früheste Pflanzenentwicklung in den letzten Jahren (1995-2005) an. (Vgl. Anhang, Abb. 39, S.79)

Die Intensitäten der Veränderungen sind insgesamt mit denen von ganz Sachsen-Anhalt vergleichbar. Im Blühbeginn der Sal-Weide kam es zu den massivsten Veränderungen. Der Termin hat sich um fast 23 Tage (-0,47 Tage pro Jahr) verfrüht. Trends für den Blühbeginn der Sommer-Linde und des Heidekrauts sowie für die ersten reifen Früchte der Rosskastanie liegen geringfügig unter dem Landesmittel. Mit fast 18 Tagen ist die Verfrühung der ersten reifen Früchte des Schwarzen Holunders als außerordentlich zu beurteilen (Sachsen-Anhalt: ~12 Tage). Erheblichere Verfrühungstrends dieser phänologischen Phase wurden lediglich im Sächsischen Hügelland mit ungefähr 21 Tagen (Vgl. Tabelle 11) und im Elbe-Mulde-Tiefland mit knapp 19 Tagen (Vgl. Tabelle 19) erreicht.

**Tab. 12: Mittlere Eintrittstermine und Trends 1962-2005 der phänologischen Phasen des Thüringer Beckens und Randplatten.**

Phänologische Jahreszeit	Phänologische Phase	Mittlerer Eintrittstermin In Tagen nach Jahresbeginn			Trend <sup>Sign.</sup> Tage/Jahr
		1962-2005	1962-1972	1995-2005	
Vorfrühling	Sal-Weide (B)	85	93	76	-0,47**
Erstfrühling	Löwenzahn (B)	111	116	105	-0,34***
Vollfrühling	Stiel-Eiche (BE)	128	130	122	-0,26***
Frühsommer	Holunder (B)	155	159	150	-0,33***
Hochsommer	Sommer-Linde (B)	173	174	171	-0,15*
Spätsommer	Heidekraut (B)	220	223	221	-0,08 <sup>n.s.</sup>
Frühherbst	Holunder (F)	242	246	234	-0,40***
Vollherbst	Roskastanie (F)	263	263	261	-0,10*
Spätherbst	Stiel-Eiche (BV)	289	285	291	0,17**

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 ( $p \leq 0,001$ )

### 3.3.2.4. Mitteldeutsches Schwarzerdegebiet (Östliches Harzvorland, Köthener Ebene, Nordöstliches Harzvorland, Bodeniederung, Magdeburger Börde)

Im Mitteldeutschen Schwarzerdegebiet beginnt die Pflanzenentwicklung neben dem Sächsischen Hügelland in Sachsen-Anhalt am frühesten. Die mittleren Eintrittstermine liegen zwischen zwei und vier Tagen vor dem Landesmittel.

In dieser Region des Landes haben sehr drastische Veränderungen in der Pflanzenentwicklung stattgefunden (Tab. 13), die sich zwischen 0,24 und 0,51 Tagen pro Jahr beziehungsweise zwischen 11 und etwas über 22 Tagen bewegen. Nur der Entwicklungstrend für das Auftreten der ersten reifen Früchte der Rosskastanie zeigte sich weniger intensiv, dieser entspricht dabei dennoch dem mittleren Trend in Sachsen-Anhalt mit einer Verfrühung von 4,4 Tagen über den Referenzzeitraum.

Die deutlichsten Änderungen der Eintrittstermine stellten sich bei den Frühlingsphasen und der Frühsommerphase (Blühbeginn Schwarzer Holunder) ein. Weitestgehend nimmt die Intensität der Verfrühung im Jahresverlauf ab, bis sich im Spätherbst der Beginn der Blattverfärbung der Stiel-Eiche um etwa 12 Tage verzögert.

Hauptsächlich lief die Pflanzenentwicklung zum Beginn des Betrachtungszeitraums am spätesten an. Wie auch im Landesmittel wurden sehr frühe Eintrittstermine in den letzten Jahren erreicht. Die Blattverfärbung der Stiel-Eiche begann im Mittel des ersten Zeitabschnitts früher im Jahr als im Mittel Periode 1995 bis 2005. (Vgl. Anhang, Abb. 40, S.79)

**Tab. 13: Mittlere Eintrittstermine und Trends 1962-2005 der phänologischen Phasen im Mitteldeutschen Schwarzerdegebiet.**

Phänologische Jahreszeit	Phänologische Phase	Mittlerer Eintrittstermin In Tagen nach Jahresbeginn			Trend <sup>Sign.</sup> Tage/Jahr
		1962-2005	1962-1972	1995-2005	
Vorfrühling	Sal-Weide (B)	83	92	73	-0,51**
Erstfrühling	Löwenzahn (B)	107	114	100	-0,44***
Vollfrühling	Stiel-Eiche (BE)	124	129	116	-0,39***
Frühsommer	Holunder (B)	152	156	144	-0,39***
Hochsommer	Sommer-Linde (B)	170	172	165	-0,26**
Spätsommer	Heidekraut (B)	219	222	214	-0,24***
Frühherbst	Holunder (F)	241	241	234	-0,24**
Vollherbst	Rosskastanie (F)	261	261	259	-0,10(*)
Spätherbst	Stiel-Eiche (BV)	288	283	292	0,28***

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 ( $p \leq 0,001$ )

### 3.3.2.5. Nördliches Harzvorland (*Harzrandmulde, Großes Bruch, Ostbraunschweigisches Hügelland*)

Auch im Nördlichen Harzvorland liegen die mittleren Eintrittstermine der phänologischen Phasen im Allgemeinen etwas vor den Terminen ganz Sachsen-Anhalts.

Die ersten sieben Phasen haben über die letzten Jahrzehnte ihren Eintrittstermin erheblich verfrüht (Tab. 14). Am deutlichsten war dies für den Blühbeginn des Schwarzen Holunders registriert wurden, dieser verfrühte sich um 0,55 Tage pro Jahr beziehungsweise um rund 24 Tage über den gesamten Zeitraum.

Auffällig sind auch hier enorme Verfrühungen um etwas mehr als zwei Wochen in der Heidekrautblüte sowie im Termin für das Auftreten der ersten reifen Früchte des Schwarzen Holunders um fast 17 Tage im Vergleich zu den mittleren Trends in Sachsen-Anhalt. Die Sommer-Linde verfrühte ihren Blühbeginn dagegen nur mäßig um 0,11 Tage pro Jahr. Im Eintrittstermin der ersten reifen Früchte der Rosskastanie war über die letzten Jahre kein Veränderungstrend festzustellen. Die Verzögerung im Eintrittstermin der Blattverfärbung der Stiel-Eiche um 0,18 Tage pro Jahr oder knapp 8 Tage zwischen 1962 und 2005 entspricht dem allgemeinen Trend.

Generell sind die spätesten Termine für die Pflanzenentwicklung der ersten acht Phasen in der ersten Hälfte des Referenzzeitraums vorgekommen. Die frühesten lagen dem Landesmittel entsprechend in den letzten Jahren. (Vgl. Anhang, Abb. 41, S.80)

**Tab. 14: Mittlere Eintrittstermine und Trends 1962-2005 der phänologischen Phasen im Nördlichen Harzvorland.**

Phänologische Jahreszeit	Phänologische Phase	Mittlerer Eintrittstermin In Tagen nach Jahresbeginn			Trend <sup>Sign.</sup> Tage/Jahr
		1962-2005	1962-1972	1995-2005	
Vorfrühling	Sal-Weide (B)	85	93	78	-0,41**
Erstfrühling	Löwenzahn (B)	109	117	101	-0,46***
Vollfrühling	Stiel-Eiche (BE)	126	129	120	-0,32***
Frühsommer	Holunder (B)	152	159	143	-0,55***
Hochsommer	Sommer-Linde (B)	174	174	173	-0,11 <sup>n.s.</sup>
Spätsommer	Heidekraut (B)	220	225	212	-0,37***
Frühherbst	Holunder (F)	245	248	237	-0,38***
Vollherbst	Roskastanie (F)	265	264	264	-0,00 <sup>n.s.</sup>
Spätherbst	Stiel-Eiche (BV)	288	285	291	0,18**

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 ( $p \leq 0,001$ )

### 3.3.2.6. Weser-Aller-Flachland (*Flechtlinger Waldhügelland, Drömling*)

Die Pflanzenentwicklung im Weser-Aller-Flachland beginnt in der Regel ein bis fünf Tage später als vergleichsweise im Landesmittel. Nur die Blühtentfaltung der Stiel-Eiche und der Blühbeginn der Sommer-Linde setzen einen Tag und die Blattverfärbung im Spätherbst sogar vier Tage früher ein.

Für die ersten acht Phasen konnten über die letzten Jahrzehnte signifikante Verfrühungen im Eintrittstermin festgestellt werden. Die Trends fielen dabei in ihrer Intensität etwas stärker aus als im Mittel für Sachsen-Anhalt. Insgesamt waren im Frühling und im Frühsommer die deutlichsten Veränderungen festzustellen, wobei sich der Beginn der Blühtentfaltung bei der Stiel-Eiche am intensivsten, um fast 22 Tage näher zum Jahresbeginn, verschoben hat (Tab. 15). Der Verzögerungstrend im Beginn der Blattverfärbung der Stiel-Eiche konnte nicht statistisch gesichert werden. Dieser fiel, mit einer Verspätung im Termin von nur knapp vier Tagen über den gesamten Zeitraum, verhältnismäßig gering aus.

Wie auch in den meisten anderen Regionen, zeigte sich, dass die Pflanzenentwicklung bis zum Vollherbst die frühesten Eintrittstermine in der letzten Periode vorzuweisen hatte. (Vgl. Anhang, Abb. 42, S.80)

**Tab. 15: Mittlere Eintrittstermine und Trends 1962-2005 der phänologischen Phasen im Weser-Aller-Flachland.**

Phänologische Jahreszeit	Phänologische Phase	Mittlerer Eintrittstermin In Tagen nach Jahresbeginn			Trend <sup>Sign.</sup> Tage/Jahr
		1962-2005	1962-1972	1995-2005	
Vorfrühling	Sal-Weide (B)	88	96	82	-0,42**
Erstfrühling	Löwenzahn (B)	113	118	105	-0,36***
Vollfrühling	Stiel-Eiche (BE)	126	132	116	-0,49***
Frühsommer	Holunder (B)	156	160	147	-0,44***
Hochsommer	Sommer-Linde (B)	172	175	167	-0,33**
Spätsommer	Heidekraut (B)	224	226	222	-0,13*
Frühherbst	Holunder (F)	250	251	243	-0,31***
Vollherbst	Roskastanie (F)	266	267	262	-0,23***
Spätherbst	Stiel-Eiche (BV)	286	283	287	0,08 <sup>n.s.</sup>

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 ( $p \leq 0,001$ )

### 3.3.2.7. Fläming (Burg-Ziesarer Vorfläming, Westliche Fläminghochfläche, Zerbster Land, Rosslau-Wittenberger Vorfläming)

Im Fläming entsprechen die mittleren Eintrittstermine der phänologischen Phasen zumeist dem Mittel Sachsen-Anhalts.

Die Trends der Veränderungen in der Pflanzenentwicklung des Flämings sind ebenso mit den allgemeinen Entwicklungen vergleichbar. Es stellten sich Verfrühungen im Eintrittstermin der ersten acht Phasen und eine zunehmende Verzögerung der Blattverfärbung der Stiel-Eiche ein (Tab. 16). Dieser Verspätungstrend weicht jedoch erheblich vom allgemeinen Mittel ab. Während sich der Beginn der Blattverfärbung in ganz Sachsen-Anhalt um etwa eine Woche (0,16 Tage pro Jahr) verzögerte, waren es in dieser Region fast zwei Wochen (0,31 Tage pro Jahr) über den gesamten Betrachtungszeitraum.

Bis auf den Trend für die Entwicklung des Auftretens der ersten reifen Früchte der Rosskastanie, sind alle Trends zu mehr als 95% statistisch sicher. Für diese phänologische Phase war auch optisch keine Veränderung im Eintrittstermin zu erkennen.

Wiederum liegt im Blühbeginn der Sal-Weide der stärkste Verfrühungstrend vor. Die Blüte setzt inzwischen 19 Tage früher ein als noch zum Beginn der Beobachtungsreihe. Des Weiteren lagen im Mittel des letzten Zeitabschnitts die Termine für die Pflanzenentwicklung am frühesten im Jahr. Die spätesten sind dagegen in erster Linie zwischen 1973 und 1983 aufgetreten. (Vgl. Anhang, Abb. 43, S.81)

**Tab. 16: Mittlere Eintrittstermine und Trends 1962-2005 der phänologischen Phasen im Fläming.**

Phänologische Jahreszeit	Phänologische Phase	Mittlerer Eintrittstermin In Tagen nach Jahresbeginn			Trend <sup>Sign.</sup> Tage/Jahr
		1962-2005	1962-1972	1995-2005	
Vorfrühling	Sal-Weide (B)	85	92	76	-0,44**
Erstfrühling	Löwenzahn (B)	111	116	105	-0,32***
Vollfrühling	Stiel-Eiche (BE)	127	129	121	-0,26***
Frühsummer	Holunder (B)	155	158	148	-0,34***
Hochsummer	Sommer-Linde (B)	170	171	165	-0,21**
Spätsommer	Heidekraut (B)	223	224	220	-0,09*
Frühherbst	Holunder (F)	245	247	240	-0,24***
Vollherbst	Rosskastanie (F)	263	262	262	-0,05 <sup>n.s.</sup>
Spätherbst	Stiel-Eiche (BV)	290	282	294	0,31***

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 ( $p \leq 0,001$ )

### 3.3.2.8. Altmark (Jeetze-Dümme-Niederung, Stendaler Land, Letzlinger Heide, Klötzer Heide, Westaltmark)

Die mittleren Eintrittstermine für die Pflanzenentwicklung der Altmark sind mit denen des Landesmittels vergleichbar. Auffallend ist jedoch der späte mittlere Beginn der Blattverfärbung der Stiel-Eiche um den 22. Oktober, was eine Abweichung von fünf Tagen ist. Diese Phase setzt in dieser Region am spätesten ein.

Bei Betrachtung der Entwicklungstrends in der Tabelle 17 zeigen sich im Wesentlichen Verschiebungen der Eintrittstermine näher zum Beginn des Jahres. Im Spätherbst verzögerte sich die Blattverfärbung der Stiel-Eiche um fünf Tage. Unter anderem liegt in der Altmark ein äußerst geringer Trend zu verspäteten Eintrittsterminen im Blühbeginn des Heidekrauts vor. Diese Entwicklung ist jedoch als einzige nicht statistisch sicher, alle übrigen Trends sind signifikant auf dem Niveau  $p \leq 0,05$  bis  $p \leq 0,001$ . Bei diesen beiden Phasen waren die Eintrittstermine im ersten Zeitabschnitt im Mittel sehr früh im Jahr und in den letzten Jahren dagegen am spätesten über den gesamten Referenzzeitraum. (Vgl. Anhang, Abb. 44, S.81)

Im Frühling und im Frühsommer kam es zu den auffälligsten Verfrühungen, die sich zwischen 16 Tagen zum Beispiel für die Blattentfaltung der Stiel-Eiche sowie zwischen 22 und 23 Tagen beim Blühbeginn der Sal-Weide bewegen.

Tab. 17: Mittler Eintrittstermine und Trends 1962-2005 der phänologischen Phasen in der Altmark.

Phänologische Jahreszeit	Phänologische Phase	Mittlerer Eintrittstermin In Tagen nach Jahresbeginn			Trend <sup>Sign.</sup> Tage/Jahr
		1962-2005	1962-1972	1995-2005	
Vorfrühling	Sal-Weide (B)	86	96	79	-0,51**
Erstfrühling	Löwenzahn (B)	113	120	107	-0,39***
Vollfrühling	Stiel-Eiche (BE)	126	130	119	-0,36***
Frühsommer	Holunder (B)	154	160	147	-0,44***
Hochsommer	Sommer-Linde (B)	173	176	168	-0,27**
Spätsommer	Heidekraut (B)	224	223	225	0,02 <sup>n.s.</sup>
Frühherbst	Holunder (F)	246	246	242	-0,18*
Vollherbst	Roskastanie (F)	264	266	261	-0,18**
Spätherbst	Stiel-Eiche (BV)	295	292	297	0,11*

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 ( $p \leq 0,001$ )

### 3.3.2.9. Elbtalniederung (Tangerhütter Niederung, Bittkauer Platte, Genthiner Land, Land Schollene, Märkische Elbtalniederung)

In der Elbtalniederung liegen die Eintrittstermine der ersten phänologischen Phasen ein bis drei Tage früher und in den letzten Phasen etwas später im Jahr als im Mittel des Landes. Am stärksten weicht der Termin für den Beginn der Heidekrautblüte ab, welche in dieser Region am spätesten einsetzt (~16. August, 228 TnJb).

Wie auch in den anderen Regionen konnten im Allgemeinen Verfrühungen in den Eintrittsterminen der Phasen über den Beobachtungszeitraum festgestellt werden als auch eine Verzögerung im Beginn der Blattverfärbung der Stiel-Eiche, um jedoch nur etwa drei Tage. Des Weiteren stellte sich eine Verzögerung in der Heidekrautblüte um einen Tag ein, wobei jedoch die mittleren Eintrittstermine der einzelnen Perioden keine Veränderung zeigten. (Vgl. Tab. 18)

Die Verfrühungstrends der Elbtalniederung sind generell mit denen der Altmark zu vergleichen, was auch aus den Phasendiagrammen hervorgeht. (Vgl. Anhang, Abb. 45, S.82)

Entwicklungstrends bis zum Hochsommer fielen dabei stärker aus als im Landesmittel und sind zudem alle höchst signifikant ( $p \leq 0,001$ ). Es traten Verfrühungen zwischen 13 Tage für den Blühbeginn der Sommer-Linde und etwas über 22 Tage bei der Blüte der Sal-Weide auf. Ab dem Spätsommer waren eher moderate Veränderungen zu beobachten, die nicht statistisch sicher sind beziehungsweise nur eine signifikante Tendenz von  $0,1 > p > 0,05$  aufweisen, wie für die Entwicklung der Eintrittstermine der ersten reifen Früchte beim Schwarzen Holunder.

Tab. 18: Mittlere Eintrittstermine und Trends 1962-2005 der phänologischen Phasen der Elbtalniederung.

Phänologische Jahreszeit	Phänologische Phase	Mittlerer Eintrittstermin In Tagen nach Jahresbeginn			Trend <sup>Sign.</sup> Tage/Jahr
		1962-2005	1962-1972	1995-2005	
Vorfrühling	Sal-Weide (B)	85	95	78	-0,51***
Erstfrühling	Löwenzahn (B)	109	115	102	-0,43***
Vollfrühling	Stiel-Eiche (BE)	124	129	117	-0,39***
Frühsummer	Holunder (B)	155	160	147	-0,46***
Hochsommer	Sommer-Linde (B)	172	174	166	-0,30***
Spätsommer	Heidekraut (B)	228	228	228	0,03 <sup>n.s.</sup>
Frühherbst	Holunder (F)	248	249	244	-0,15(*)
Vollherbst	Roskastanie (F)	265	265	264	-0,09 <sup>n.s.</sup>
Spätherbst	Stiel-Eiche (BV)	293	291	294	0,06 <sup>n.s.</sup>

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 ( $p \leq 0,001$ )

### 3.3.2.10. Elbe-Mulde-Tiefland (*Dahlen-Dübener Heide, Elbe-Elster-Tiefland*)

Im Elbe-Mulde-Tiefland zeigen sich in der Regel frühere Termine für die Pflanzenentwicklung von zumeist ein bis zwei Tagen im Vergleich zum Landesmittel. Die ersten reifen Früchte des Schwarzen Holunders weichen im Eintrittstermin sogar fünf Tage ab und haben in dieser Region den frühesten Eintrittstermin um den 28. August (240 TnJb).

Den allgemeinen Entwicklungstrends entsprechend ist es auch im Elbe-Mulde-Tiefland in den letzten Jahrzehnten vor allem zu Verfrühungen in der Pflanzentwicklung gekommen sowie zu einer verzögerten Blattverfärbung der Stiel-Eiche im Spätherbst (Tab. 19). Diese Entwicklungen sind signifikant auf dem Niveau  $p \leq 0,05$  bis  $p \leq 0,001$ . Nicht statistisch sicher ist dagegen die Entwicklung des Termins für den Beginn der Heidekrautblüte, wo auch optisch kaum Änderungen zu sehen sind. (Vgl. Anhang, Abb. 46, S.82)

Vergleichsweise markante Trends liegen bei den Entwicklungen der Termine für das Auftreten der ersten reifen Früchte des Schwarzen Holunders, mit einer Verfrühung um 19 Tage (0,43 Tage pro Jahr), vor als auch für die Verzögerung der Blattverfärbung der Stiel-Eiche um 11 Tage (0,25 Tage pro Jahr).

Wie auch im Fläming fielen die spätesten mittleren Eintrittstermine der phänologischen Phasen vor allem in den Zeitabschnitt 1973 bis 1983 des Referenzzeitraums und die frühesten wurden auch in dieser Region im Mittel in den letzten Jahren erreicht.

**Tab. 19: Mittlere Eintrittstermine und Trends 1962-2005 der phänologischen Phasen im Elbe-Mulde-Tiefland.**

Phänologische Jahreszeit	Phänologische Phase	Mittlerer Eintrittstermin In Tagen nach Jahresbeginn			Trend <sup>Sign.</sup> Tage/Jahr
		1962-2005	1962-1972	1995-2005	
Vorfrühling	Sal-Weide (B)	84	93	75	-0,52***
Erstfrühling	Löwenzahn (B)	109	114	103	-0,33***
Vollfrühling	Stiel-Eiche (BE)	125	127	120	-0,24***
Frühsummer	Holunder (B)	153	157	147	-0,34***
Hochsummer	Sommer-Linde (B)	171	172	168	-0,15*
Spätsommer	Heidekraut (B)	223	222	223	0,01 <sup>n.s.</sup>
Frühherbst	Holunder (F)	240	245	232	-0,43***
Vollherbst	Roskastanie (F)	262	263	259	-0,11*
Spätherbst	Stiel-Eiche (BV)	290	284	294	0,25***

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 ( $p \leq 0,001$ )

### 3.4. Zur Abhängigkeit der phänologischen Phasen von den klimatischen Parametern

Im Folgenden werden die linearen Regressionen für die Eintrittstermine der einzelnen phänologischen Phasen (TnJb) in Abhängigkeit von den klimatischen Parametern dargestellt und beschrieben. Die Korrelationskoeffizienten zwischen den Eintrittsterminen der phänologischen Phasen und der Lufttemperatur der einzelnen Monate, die der zusammengefassten Monate als auch jene für die Zusammenhänge mit der Spätfrosttagen und den Niederschlagssummen sind im Anhang (Tab. 22-24, S.92f.) nachzulesen.

#### 3.4.1. Abhängigkeit vom Lufttemperaturmittel

##### 3.4.1.1. Frühling

##### *Sal-Weide, Blühbeginn*

Die Eintrittstermine des Blühbeginns der Sal-Weide sind vorrangig von den Lufttemperaturen der Monate Februar ( $r = -0,76$ ) und März ( $r = -0,76$ ) abhängig. Etwa 81,6% aller Termine für den Blühbeginn in den letzten Jahrzehnten werden durch die mittleren Temperaturvarianzen von Februar bis März erklärt (Abb. 25). Der Zusammenhang ist mit  $r = -0,90$  sehr hoch.

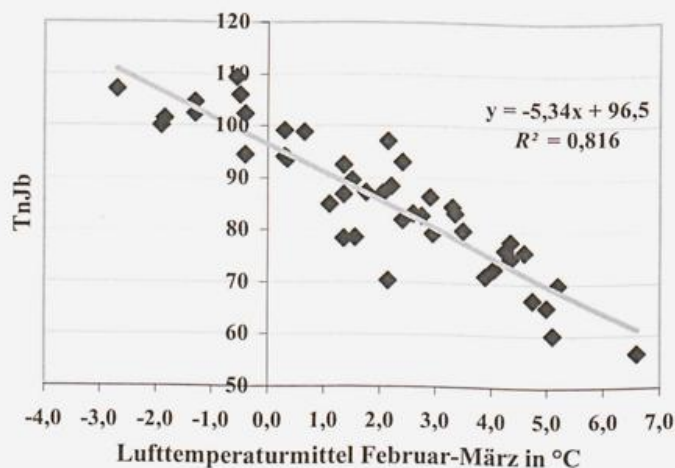


Abb. 25: Zusammenhang Lufttemperaturmittel (Februar-März) in °C  $x$  ( $N = 13$  Stationen) und dem Blühbeginn der Sal-Weide (TnJb) mit  $r = -0,90$ ;  $p \leq 0,001$ .

##### *Löwenzahn, Blühbeginn*

Wie auch bei der Sal-Weide, wurden die höchsten Korrelationskoeffizienten im Zusammenhang der Lufttemperaturen im Februar ( $r = -0,67$ ) und März ( $r = -0,75$ ) erreicht.

Die lineare Regression war am stärksten für den Zusammenhang der mittleren Temperaturen von Februar bis April ( $r = -0,89$ ). Bei der Blüte des Löwenzahns werden 78,6% der Eintrittstermine durch die Varianzen der Lufttemperaturmittel aus diesen Monaten beschrieben (Abb. 26).

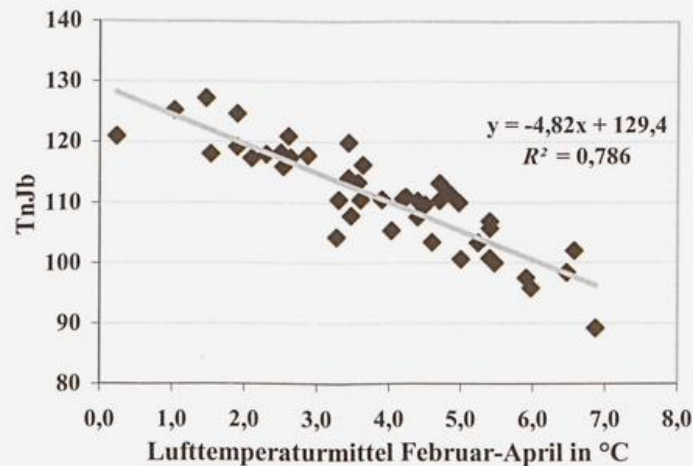


Abb. 26: Zusammenhang Lufttemperaturmittel (Februar-April) in °C  $x$  ( $N = 13$  Stationen) und dem Blühbeginn des Löwenzahns (TnJb) mit  $r = -0,89$ ;  $p \leq 0,001$ .

#### *Stiel-Eiche, Beginn Blattentfaltung*

Korrelationen lieferten für die Temperaturen im April ( $r = -0,74$ ) den deutlichsten Einfluss auf die Blattentfaltung der Stiel-Eiche, auch wurden geringere Korrelationskoeffizienten im März und Mai ( $r < 0,50$ ) erreicht. Dargestellt ist die lineare Regression für den Beginn der Blattentfaltung der Stiel-Eiche und dem Lufttemperaturmittel der Monate März bis Mai. Der Zusammenhang lässt sich mit  $r = -0,78$  als hoch einstufen. Zu 60,1% werden die Eintrittstermine über die Variabilitäten in der Lufttemperatur dieser drei Monate erklärt (Abb. 27).

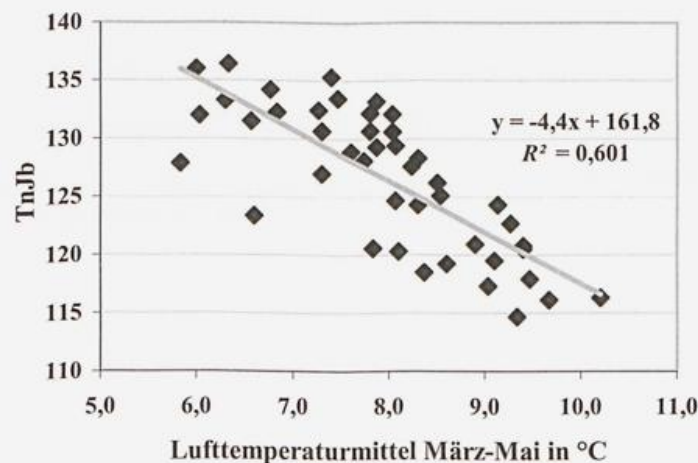


Abb. 27: Zusammenhang Lufttemperaturmittel (März-Mai) in °C  $x$  ( $N = 13$  Stationen) und dem Beginn der Blattentfaltung der Stiel-Eiche (TnJb) mit  $r = -0,78$ ;  $p \leq 0,001$ .

### 3.4.1.2. Sommer

#### *Schwarzer Holunder, Blühbeginn*

Vor allem beeinflussen die Maitemperaturen ( $r = -0,72$ ) den Blühbeginn des Schwarzen Holunders. Auch zeigten sich etwas moderatere Abhängigkeiten von den Temperaturen im März ( $r = -0,55$ ) und April ( $r = -0,58$ ). Aus der Abbildung 28 ist abzulesen, dass mehr als 80% der Eintrittstermine dieser phänologischen Phase mit den Lufttemperaturenvarianzen der Monate März bis Mai einhergehen. Der Zusammenhang ist mit  $r = -0,91$  sehr hoch.

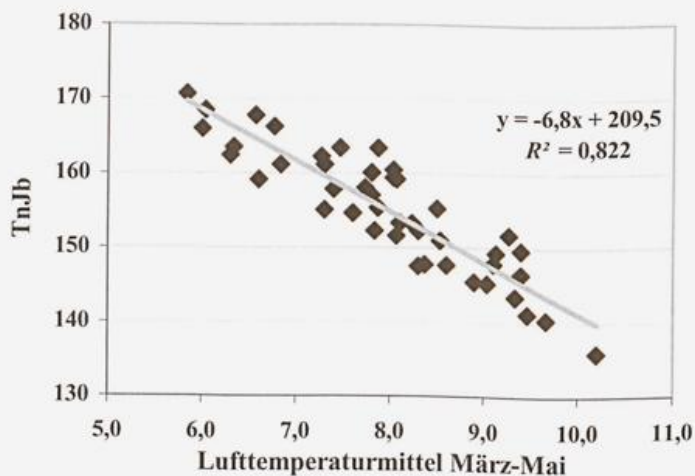


Abb. 28: Zusammenhang Lufttemperaturmittel (März-Mai) in °C  $x$  ( $N = 13$  Stationen) und dem Blühbeginn des Schwarzen Holunders (TnJb) mit  $r = -0,91$ ;  $p \leq 0,001$ .

#### *Sommer-Linde, Blühbeginn*

Am deutlichsten wird der Blühbeginn der Sommer-Linde im Hochsommer von den Maitemperaturen beeinflusst ( $r = -0,83$ ), sowie mit mittleren Korrelationen durch die Temperaturen im April ( $r = -0,54$ ) und Juni ( $r = -0,57$ ).

Fast 85% der Termine für die Blüte der Sommer-Linde können auf die Temperaturvariabilitäten von April bis Juni zurückgeführt werden (Abb. 29, S.53). Die Korrelation zwischen der phänologischen Phase und den mittleren Lufttemperaturen dieser Monate ist auch hier sehr hoch mit  $r = -0,92$ .

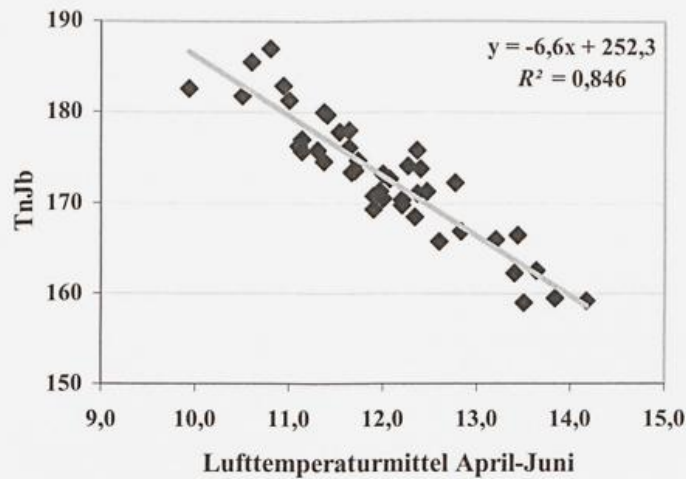


Abb. 29: Zusammenhang Lufttemperaturmittel (April-Juni) in °C  $x$  ( $N = 13$  Stationen) und dem Blühbeginn der Sommer-Linde (TnJb) mit  $r = -0,92$ ;  $p \leq 0,001$ .

### Heidekraut, Blühbeginn

Mittlere Korrelationen liegen bei den Temperaturen der Monate März ( $r = -0,62$ ) und Mai ( $r = -0,67$ ) hinsichtlich deren Einfluss auf die Blüte beim Heidekraut vor. Die lineare Regression gibt an, dass 71,2% aller Eintrittstermine mit den Varianzen der Lufttemperatur von März bis Mai einhergehen (Abb. 30). Mit  $r = -0,84$  ist diese Korrelation als hoch zu bewerten.

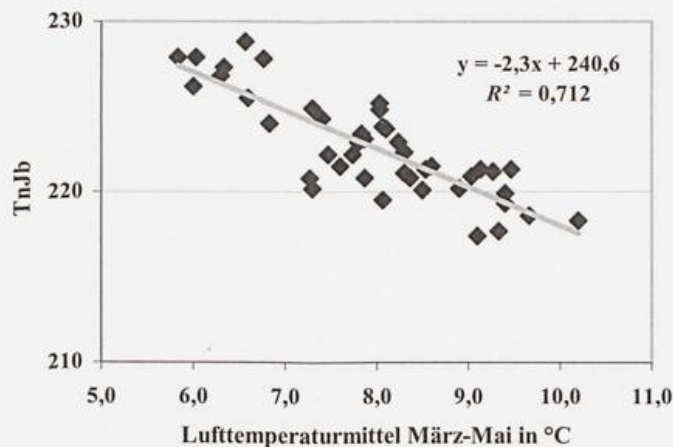


Abb. 30: Zusammenhang Lufttemperaturmittel (März-Mai) in °C  $x$  ( $N = 13$  Stationen) und dem Blühbeginn des Heidekrauts (TnJb) mit  $r = -0,84$ ;  $p \leq 0,001$ .

### 3.4.1.3. Herbst

#### *Schwarzer Holunder und Rosskastanie, erste reife Früchte*

Beide Fruchtreifephasen zeigten starke Abhängigkeiten von den Maitemperaturen mit  $r = -0,70$  beim Schwarzen Holunder und  $r = -0,83$  bei der Rosskastanie. Zudem konnten markante Zusammenhänge zu den Temperaturen im April und Juni festgestellt werden. Über die linearen Regressionen wird deutlich, dass die Varianzen in der Lufttemperatur von April bis Juni die Eintrittstermine für das Auftreten der ersten reifen Früchte im Herbst beschreiben. Beim Schwarzen Holunder sind es 72,3% der Eintrittstermine und 85,1% bei der Rosskastanie, die sich somit erklärt werden (Abb. 31). Für die Zusammenhänge zu den mittleren Lufttemperaturen dieser drei Monate wurden hohe (Schwarzer Holunder:  $r = -0,85$ ) bis sehr hohe (Rosskastanie:  $r = -0,92$ ) Koeffizienten erreicht.

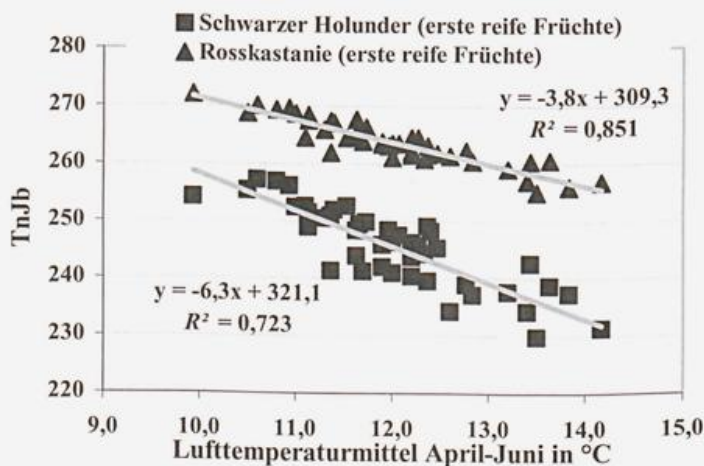


Abb. 31: Zusammenhänge Lufttemperaturmittel (April-Juni) in °C  $x$  ( $N = 13$  Stationen) und dem Auftreten der ersten reifen Früchte des Schwarzen Holunders ( $r = -0,85$ ) und der Rosskastanie ( $r = -0,92$ ) ( $TnJb$ ),  $p \leq 0,001$ .

#### *Stiel-Eiche, Beginn Blattverfärbung*

Für die Zusammenhänge der Eintrittstermine der Blattverfärbung der Stiel-Eiche und den Temperaturen im August ( $r = 0,44$ ) und September ( $r = 0,48$ ) sind nur geringe Korrelationskoeffizienten ermittelt worden. Auffällig ist, dass die Koeffizienten positiv sind, was auch aus der steigenden Regressionsgeraden der Abbildung 32 (S.55) hervorgeht. Jedoch werden lediglich 33,2% der Eintrittstermine über die Temperaturvariationen von August bis September beschrieben, wodurch sich im Zusammenhang zum Temperaturmittel der beiden Monate nur ein mittlerer Koeffizient ergab ( $r = 0,58$ ).

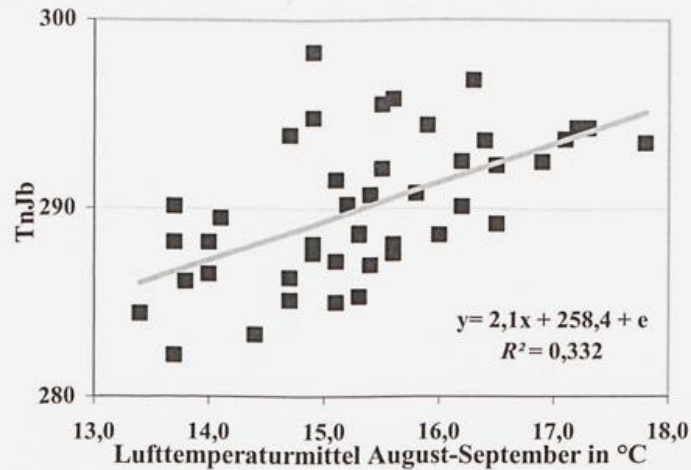


Abb. 32: Zusammenhang Lufttemperaturmittel (August-September) in °C  $x$  ( $N = 13$  Stationen) und dem Beginn der Blattverfärbung der Stiel-Eiche (TnJb) mit  $r = 0,58$ ;  $p \leq 0,001$ .

Des Weiteren wurden geringe signifikante Zusammenhänge im Beginn der Blattverfärbung der Stiel-Eiche und den Temperaturen im Mai ( $r = -0,21$ ) und Juni ( $r = -0,36$ ) festgestellt. Abbildung 33 zeigt, dass bei höheren Temperaturen in den Monaten Mai und Juni die Blattverfärbung der Stiel-Eiche zu einem früheren Termin im Jahr einsetzt. Allerdings lassen sich mitunter nur 11,1% der Eintrittstermine durch die Temperaturvarianzen dieser Monaten erklären. Die Korrelation ist mit  $r = -0,33$  gering.

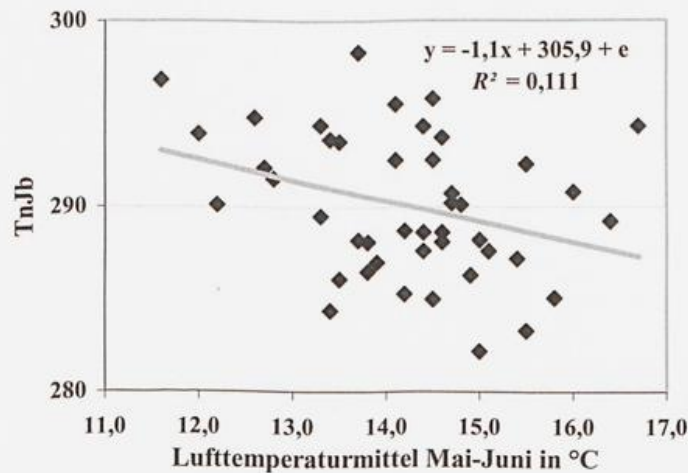


Abb. 33: Zusammenhang Lufttemperaturmittel (Mai-Juni) in °C  $x$  ( $N = 13$  Stationen) und dem Beginn der Blattverfärbung der Stiel-Eiche (TnJb) mit  $r = -0,33$ ;  $p \leq 0,05$ .

### 3.4.2. Pflanzenentwicklung und die Häufigkeit von Spätfrösten (Beispiel Östliches Harzvorland-Halle/Kröllwitz)

Zwischen der Anzahl der Spätfrosttage und dem Eintreten phänologischer Phasen im Frühling wurden signifikante positive Zusammenhänge festgestellt. In der Abbildung 34 sind die linearen Regressionen für die Abhängigkeit der Phänologie im Östlichen Harzvorland (Naturraum 500 im Mitteldeutschen Schwarzerdegebiet) und der Anzahl der Spätfrosttage von Januar bis Mai in Halle/Kröllwitz als Bezugsstation wiedergegeben. Es zeigte sich, dass 47,3% der Eintrittstermine der Blüte der Sal-Weide, 35,7% beim Löwenzahn und 11,7% der Termine für die Blattentfaltung der Stiel-Eiche durch die Varianzen in der Anzahl der Spätfrosttage zwischen Januar und Mai signifikant erklärt werden. Je mehr Frosttage in den Monaten Januar bis Mai auftraten, desto später im Jahr lagen die Eintrittstermine der verschiedenen Entwicklungsstadien im Frühjahr.

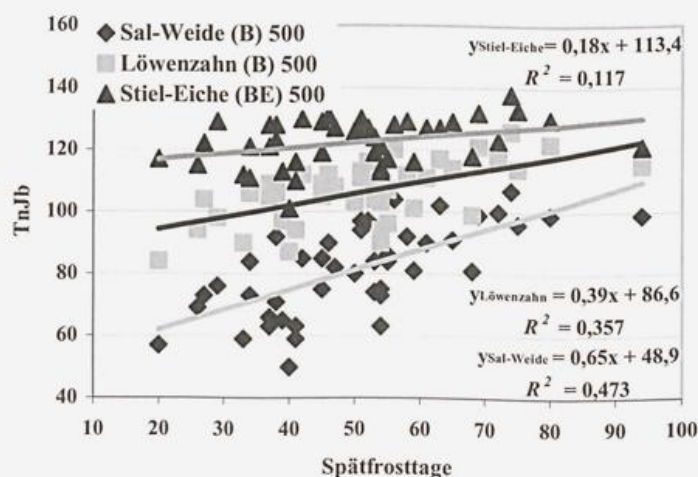


Abb. 34: Zusammenhang Anzahl der Spätfrosttage (Januar-Mai) in Halle/Kröllwitz und der Blühbeginn der Sal-Weide ( $r = 0,70$ ), des Löwenzahns ( $r = 0,61$ ) mit je  $p \leq 0,001$  und der Blattentfaltung der Stiel-Eiche ( $r = 0,37$ ) mit  $p \leq 0,05$  im Östlichen Harzvorland.

### 3.4.3. Einfluss des Niederschlags auf die Herbstphänologie

Das vorliegende Datenmaterial lieferte keine signifikanten Trends für die Entwicklung der Jahresniederschlagssumme in Sachsen-Anhalt (Vgl. Kapitel 3.1.3.). Allerdings ließen sich Veränderungen in ihrer Verteilung im Jahresverlauf feststellen, wobei die Zunahme der vorsommerlichen Trockenheit auffiel. Somit wurde der Einfluss der veränderten Niederschlagssummen von April bis Juni auf die phänologischen Phasen im Herbst untersucht sowie Einflüsse der Niederschlagssummen der Sommermonate Juni bis August und die der spätsommerlichen Niederschlagssummen (August und September).

Der Trend zur Abnahme der Niederschlagssummen im Vorsommer, mit einen geringen negativen Korrelationskoeffizienten ( $r = -0,19$ ), lieferte keinen statistisch gesicherten Einfluss auf die Phänologie, wonach spätere Termine im Beginn der Blattverfärbung der Stiel-Eiche gelegentlich mit den niedrigeren Niederschlagssummen dieser Monate einhergehen. Signifikante Abhängigkeiten lieferten dagegen die linearen Regressionen der Sommerniederschläge und der Spätsommerniederschläge (August und September) im Einfluss auf die Blattverfärbung der Stiel-Eiche mit geringen Korrelationskoeffizienten von je  $r = -0,26$ . Varianzen in den Niederschlagssummen dieser Monate erklärten allerdings zu je nur 7,0% die Eintrittstermine der Spätherbstphase (Abb. 35). Auch ergaben die Regressionen nicht das erwartete Ergebnis, dass es zu verzögerten Eintrittsterminen bei hohen Niederschlagssummen im Sommer oder Spätsommer kommt. Die Analyse ergab einen entgegengesetzten Zusammenhang: bei hohen Niederschlagssummen tritt die Blattverfärbung ab und an früher ein.

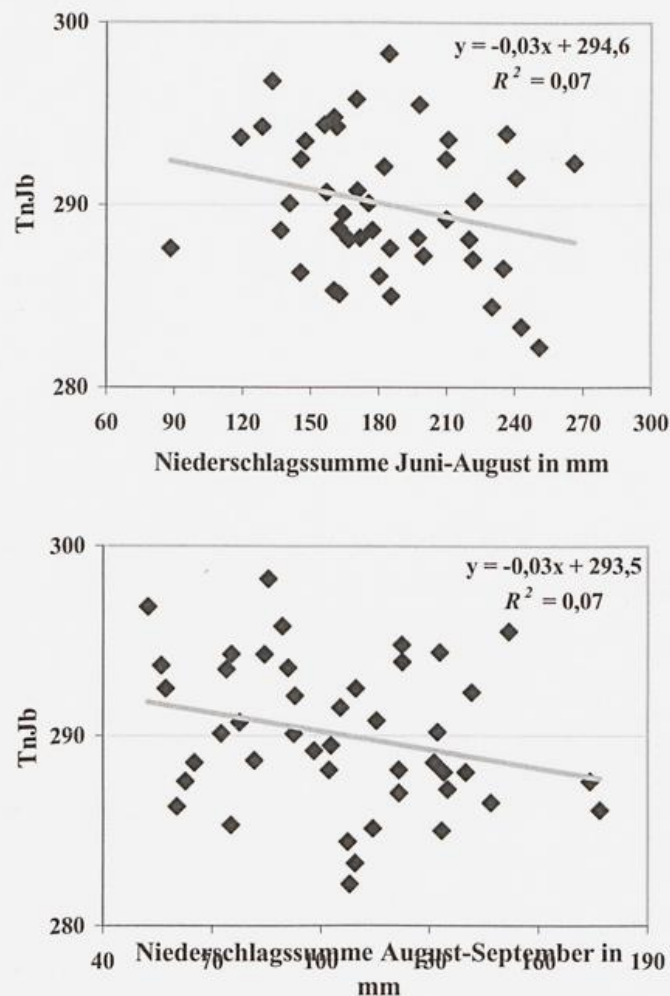


Abb. 35: Zusammenhänge Niederschlagssummen Juni-August (oben) und August-September (unten) und dem Beginn der Blattverfärbung der Stiel-Eiche in Sachsen-Anhalt mit je  $r = -0,26$  bei  $p \leq 0,05$ .

## **4. Diskussion der Ergebnisse**

Ziel dieser Arbeit war es, einen möglichen Klimawandel in Sachsen-Anhalt, insbesondere dessen Auswirkungen auf die phänologischen Phasen von wildwachsenden Pflanzen, über den Zeitraum 1962 bis 2005 zu nachzuweisen und zu beschreiben. Dazu wurde zunächst untersucht, welche Veränderungen im Klima und in der Phänologie aufgetreten sind. Anschließend wurden die Zusammenhänge zwischen klimatischen Parametern und der Phänologie in Sachsen-Anhalt analysiert. Dabei wurde bestätigt, dass vor allem die Lufttemperatur einen sehr ausgeprägten Einfluss auf die Pflanzenentwicklung hat.

### **4.1. Klimaänderungen in Sachsen-Anhalt**

Über die letzten Jahrzehnte hat sich in Sachsen-Anhalt das Jahresmittel der Lufttemperatur um etwa 1,5 °C signifikant erhöht. Diese Entwicklung stimmt mit dem Trend für Deutschland über den gleichen Zeitraum überein. In Sachsen wurde beispielsweise eine Zunahme von 1,2 °C zwischen 1961 und 2000 ermittelt (CHMIELEWSKI et al., 2004).

Im Besonderen war seit den späten 80er Jahren eine auffällige Häufung hoher Jahresmitteltemperaturen aufgetreten, wo auch erstmals Jahresmitteltemperaturen von über 9,5 °C in Sachsen-Anhalt erreicht wurden. In den letzten Jahren, vor allem zwischen 1995 und 2005, lag die Jahreslufttemperatur durchschnittlich 0,5 °C über dem langjährigen Mittel des gesamten Referenzzeitraums.

Generell stellte sich in den letzten 20 Jahren eine deutlich stärkere Erwärmung im Winter als im Sommer ein (Vgl. CHMIELEWSKI, 2001; IPCC, 2001), bedingt durch eine erhöhte Häufigkeit von winterlichen zonalen Wetterlagen, die milde ozeanische Luft nach Deutschland bringen (UBA, 2005a; CHMIELEWSKI & RÖTZER, 2000). Auch erwärmte sich in Sachsen-Anhalt der Frühling maßgeblich um 2,0 °C im Mittel und der Winter sogar um durchschnittlich 2,4 °C.

In Halle/Kröllwitz und auf dem Brocken konnte eine erhebliche Abnahme der Eistage festgestellt werden sowie ein Trend zu weniger Frosttagen (Vgl. Kapitel 3.2.). Dazu hat sich die Zahl Spätfröste von Januar bis Mai zwischen 1962 und 2005 in Halle/Kröllwitz mäßig und auf dem Brocken etwas drastischer verringert. Ebenso lässt sich auch in anderen Arbeiten eine Abnahme in der Anzahl der Frost- und Eistage im letzten Jahrhundert erkennen (Vgl. UBA, 2005a; STREITFERT et al., 2005a; CHMIELEWSKI et al., 2004).

Auch taten sich vermehrt Tage auf, an denen das Lufttemperaturmaximum von 25 °C erreicht beziehungsweise überschritten wurde. Somit ergaben sich eindeutig eine Abnahme

minimaler Lufttemperaturen sowie eine Zunahme der Lufttemperaturmaxima. Diese Ergebnisse stimmen unter anderem mit denen des Forschungsberichtes von JONAS et al. (2005)<sup>2</sup> überein. In dieser Studie wurde für Deutschland flächendeckend ein selteneres Auftreten von Kälteereignissen ermittelt sowie eine Zunahme von Hitzeereignissen. Ähnliche globale Entwicklungen prognostizierte auch der IPCC (2001) für das weitere 21. Jahrhundert.

Für die Entwicklung der Jahresniederschlagssummen lieferte das Datenmaterial in Sachsen-Anhalt keine signifikanten Trends (Vgl. MAIER et al., 2003; CHMIELEWSKI, 2001). Jedoch zeichnete sich eine moderate Zunahme von 0,95 mm pro Jahr ab, was rund 41,7 mm über die letzten Jahrzehnte sind. Die Jahressummen der Niederschläge sind dabei im Allgemeinen stärkeren Schwankungen unterworfen (CHMIELEWSKI, 2001; Vgl. Abb. 9, S.23) als die Jahresmittel der Lufttemperatur, wodurch sich auch langfristig keine signifikanten Trends ermitteln lassen (UBA, 2005a).

Regional waren über den Zeitraum 1962 bis 2005 unterschiedliche Entwicklungen festzustellen. Südlich der Linie Harz-Fläming erfolgten zumeist eine geringe Zunahme in der Niederschlagssumme sowie mäßige Abnahmen vor allem nördlich dieser Linie. Nach FLOHN (1954; zitiert nach OELKE, 1997, S.45f.) lässt sich Sachsen-Anhalt in diese zwei witterungsklimatischen Zonen unterteilen, deren „Trennlinie“ etwa vom Harz bis zum Fläming verläuft. Die Region nördlich der Linie wird stärker maritim beeinflusst (z.B. Nord-, Nordwest-, West- und Südwestwetterlagen), der Süden dagegen eher kontinental (z.B. winterliche Hochdruckwetterlagen). (OELKE, 1997) Mögliche Veränderungen im Vorkommen der jeweiligen Hauptwetterlagen könnten somit die unterschiedlichen Entwicklungen in den Regionen erklären.

Insgesamt waren zudem Veränderungen in der Verteilung der Niederschläge über das Jahr aufgetreten. Die vorsommerliche Trockenheit hat zugenommen. Sie ergab sich durch eine Abnahme der Niederschläge in den Monaten April bis Juni um insgesamt etwa 10 mm über den Referenzzeitraum. Diese Entwicklung ist östlich des Harzes etwas zurückhaltender ausgefallen als in den übrigen Regionen Sachsen-Anhalts. Außerdem haben die Niederschläge im August deutlich abgenommen. Ähnliches zeigte sich zum Beispiel auch in den Arbeiten zum Beispiel von SCHÖNWIESE et al. (1993), CHMIELEWSKI et al. (2004) und LÜERS (2003). Das Niederschlagsdefizit dieser Monate wurde im Wesentlichen durch positive Trends in der Niederschlagssummenentwicklung der übrigen Monate des Jahres kompensiert (Vgl. CHMIELEWSKI et al., 2004).

---

<sup>2</sup> Jonas, M.; T. Staeger u. C.-D. Schönwiese (2005): Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen. Schwerpunkt Deutschland. Dessau.

Innerhalb der letzten Jahre hat sich weiterhin das Jahresniederschlagsmaximum ausschließlich auf den Monat Juli verlagert. Die drastische Zunahme der Juliniederschläge in Sachsen-Anhalt kann vermutlich auf die Zunahme von Starkregenereignissen zurückgeführt werden. Dass sich allgemein keine statistisch gesicherten Trends der Niederschlagsentwicklungen ergaben kann durchaus auf die Wahl Länge des betrachteten Zeitraums, hier die 44 Jahre zwischen 1962 und 2005, zurückgeführt werden (Vgl. LÜERS, 2003).

In Sachsen-Anhalt sind vor allem die Winter feuchter geworden. Auch für Deutschland war in den letzten 100 Jahren ein leichter, ebenso nicht signifikanter Trend zu mehr Niederschlägen im Winter zu beobachten, vor allem jedoch mit einer deutlichen Zunahme in den letzten 30 Jahren (JONAS et al., 2005; MAIER et al., 2003; SCHÖNWIESE et al., 1993). Als Erklärung wird in der Literatur davon ausgegangen, dass die Zunahme zonaler Zirkulationsmuster im Winter dafür verantwortlich sind (z.B. UBA, 2005a).

Die thermische Vegetationsperiode hat sich in Sachsen-Anhalt um etwa 0,6 Tage pro Jahr beziehungsweise um 26 Tage zwischen 1962 und 2005 signifikant verlängert und damit auch der Zeitraum für die Entwicklung und das Wachstums der Pflanzen (Vgl. LINDERHOLM et al., 2005; CHMIELEWSKI et al., 2004; DEFILA & FERCH, 2003; LÄSSIG & MOTSCHALOW, 1997; CHEN, 1994). Die zunehmende Länge wird maßgeblich durch einen übermäßig früheren Beginn um 0,5 Tage pro Jahr bestimmt. Im Vergleich zu Sachsen (1961-2000:  $t_V = +0,22$  Tage pro Jahr,  $V_B = -0,26$  Tage pro Jahr; CHMIELEWSKI et al., 2004, S.23ff.) sind diese Trends sehr stark ausgeprägt. Auch in Europa hat sich der Beginn<sup>3</sup> zwischen 1969 und 1998 um acht Tage signifikant verfrüht (CHMIELEWSKI & RÖTZER, 2000). Das Ende der thermischen Vegetationsperiode zeigte dagegen kaum Veränderungen.

In den niedrigeren Regionen Sachsen-Anhalts waren die Trends der Verlängerung markanter als die der höheren Regionen. Im Harz ist die Länge der Vegetationsperiode fast unverändert geblieben (Vgl. STREITFERT et al., 2005a; CHMIELEWSKI et al., 2004). Eine mögliche Ursache steht vermutlich im Zusammenhang mit einem sehr späten Beginn der thermischen Vegetationsperiode zwischen Ende April und Anfang Mai, wo erst das nötige Temperaturoptimum ( $5^\circ \text{C}$ ) erreicht wird. In diesen Monaten sind die Temperaturvariabilitäten weniger intensiv, wodurch sich geringere Schwankungen im Beginn der thermischen Vegetationsperiode ergaben.

---

<sup>3</sup> Die Vegetationsperiode ist hier der Zeitraum zwischen dem mittleren Beginn der Blattformungsphasen verschiedener Baumarten und dem Ende im mittleren Beginn des Blattfalls der gleichen Arten. (Vgl. z.B. CHMIELEWSKI & RÖTZER, 2000) Die Länge dieser Vegetationsperiode ist entsprechend länger als die thermische Vegetationsperiode.

Das manifeste Überschreiten einer Tagesmitteltemperatur von 5 °C beschreibt den Beginn der thermischen Vegetationsperiode (CHMIELEWSKI, 2001). Somit erklärt sich, dass in den übrigen Regionen die zunehmende Erwärmung, vor allem die der ersten Monate des Jahres, auch für die Verlängerung der thermischen Vegetationsperiode verantwortlich ist. Im Harz wurden demnach zu Beginn des Jahres Temperaturen von 5 °C noch nicht so oft erreicht.

In der Studie von CHMIELEWSKI und RÖTZER (2000)<sup>4</sup> wurde dargelegt, dass die Trends in den Verfrühungen der Vegetationsperiode Europas gut mit den Änderungen der Lufttemperatur und den Zirkulationen (NAO-Index) über Europa korrespondieren. Es traten zunehmend und vorrangig ab den späten 80er Jahren positive Phasen der Nordatlantischen Oszillation (NAO) auf, wobei Westwinde warme und feuchte Luft im späten Winter und zeitigem Frühjahr mitbringen (ebd.). Ebenso war die thermische Vegetationsperiode in Sachsen-Anhalt nach 1980 oftmals länger als 250 Tage, was eine außer-ordentliche Abweichungen von etwas mehr als zwei Wochen vom langjährigen Mittel (234 Tage) sind. Dieser Zusammenhang erscheint daher übertragbar.

#### **4.2. Veränderungen in der Pflanzenentwicklung und Abhängigkeiten von klimatischen Parametern**

In den letzten Jahrzehnten ist es zu drastischen signifikanten Veränderungen in Sachsen-Anhalts Pflanzenentwicklung gekommen: die Sal-Weide (*Salix caprea*) verfrühte ihren Blühbeginn am deutlichsten um etwa 20 Tage, der Löwenzahn (*Taraxacum officinale*) dagegen um etwas mehr als zwei Wochen. Knapp 15 Tage verfrühte die Stiel-Eiche (*Quercus robur*) den Termin ihrer Blattentfaltung.

Im Sommer beginnt die Blüte des Schwarzen Holunders (*Sambucus nigra*) inzwischen fast 18 Tage früher, die der Sommer-Linde (*Tilia platyphyllos*) 10 Tage und die des Heidekrauts (*Calluna vulgaris*) fünf Tage eher als noch vor vierzig Jahren. Beim Auftreten der ersten reifen Früchte bei *Sambucus nigra* kam es zu einer Vorverlegung der Termine um 12 und bei der Rosskastanie (*Aesculus hippocastanum*) um vier Tage. Eine Verzögerung im Eintrittstermin, um etwa eine Woche, ist nur bei der Blattverfärbung von *Quercus robur* aufgetreten.

<sup>4</sup> Chmielewski, F.-M. u. T. Rötzer (2000): Phenological trends in Europe in relation to climate changes. Agrarmeteorologische Schriften, 7/2000, Berlin.

Im Vergleich zu Sachsen<sup>5</sup> sind die Verfrühungen der ersten Phasen auffallend stärker ausgeprägt, über den Sommer bis zum Herbst sind die Trends weitestgehend vergleichbar. Der Beginn der Blattverfärbung von *Quercus robur* hat sich wiederum in Sachsen-Anhalt mehr zum Jahresende verschoben. Diese Variationen in den Veränderungen der Eintrittstermine lassen sich zum Beispiel nach MENZEL et al. (2005) wie folgt erklären:

Zum einen sind es die verschiedenen Jahreszeiten der mittleren und höheren Breiten in denen Pflanzen unterschiedlich auf Temperaturänderungen reagieren. Die Frühjahrsphasen reagierten in Sachsen-Anhalt am sensibelsten auf die außerordentliche Temperaturzunahme und den -variabilitäten der Wintermonate sowie der ersten Frühlingsmonate.

Auch liegen hier die Temperaturen im Mittel noch unter dem pflanzenspezifischen Optimum, wodurch die Pflanzen im stärkeren Maße auf Schwankungen reagieren (CHMIELEWSKI et al., 2004). Die Herbstphasen zeigten dagegen allgemein moderate Veränderungen im Eintrittstermin. Im Spätherbst tritt die Abhängigkeit von der Temperatur etwas zurück (geringe bis mittlere Korrelationen), die Temperatur hat hier somit einen geringeren Einfluss auf die Phänologie (Vgl. SPARKS et al., 2000).

Die herbstliche Laubverfärbung kann im Allgemeinen durch warme Spätsommer verzögert werden (Vgl. MENZEL et al., 2005; CHMIELEWSKI et al., 2004), was mittels linearer Regression der Eintrittstermine der Blattverfärbung (*Quercus robur*) in Abhängigkeit von den Mitteltemperaturen der Monate August bis September bestätigt werden konnte (Kapitel 3.4., Vgl. auch DEFILA & MÜLLER-FERCH, 2003). Eintrittstermine im Spätherbst haben sich in Sachsen-Anhalt auch gelegentlich durch höhere Temperaturen im Mai und Juni verfrüht, allerdings werden diese nur mäßig durch die Temperaturvariabilitäten beschrieben. An dieser Stelle spielen auch andere Faktoren wie die Bodenfeuchte, Trockenheit oder Luftschadstoffe eine weitere Rolle. Demnach wird die Laubverfärbung schlechter durch die Witterung der aktuellen Vegetationsperiode beschrieben als früher auftretende phänologische Phasen im Jahr. (MENZEL et al., 2005).

Die Veränderungen im Herbst variierten allgemein in den Naturräumen Sachsen-Anhalts und waren auch weniger einheitlich stark ausgeprägt wie jene im Frühjahr (Vgl. MENZEL, 2005, 2003b; SPARKS et al., 2000; CHMIELEWSKI & RÖTZER, 2000). In einigen Regionen stellten sich sehr deutliche Veränderungen ein (z.B. Sächsisches Hügelland, tw. Fläming, tw. Elbe-Mulde-Tiefland), in anderen waren dagegen kaum Veränderungen in der Herbstphänologie festzustellen (z.B. Elbtalniederung, Altmark, Harz). Verfrühungen im Beginn

---

<sup>5</sup> Chmielewski, F.-M., Müller, A. u. W. Küchler (2004): Mögliche Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf die Vegetationsentwicklung in Sachsen. Berlin. (Zeitraum 1961 bis 2000).

der Blattverfärbung sind nur im Harz aufgetreten, was sich unter anderem mit den Entwicklungen im Taunus deckt (Vgl. STREITFERT, 2005b). Zudem kehrt sich im Spätherbst der Einfluss der Temperatur auf die pflanzliche Entwicklung um. Hohe Temperaturen im Spätsommer halten physiologische Prozesse noch aufrecht (HUPFER & CHMIELEWSKI, 1990), niedrige Temperaturen leiten allmählich die Ruhephase ein.

Reaktionen der Pflanzen auf klimatische Änderungen sind auch artenabhängig. Vermutlich besteht hier ein Zusammenhang mit den pflanzenspezifischen ökologischen Ansprüchen an den Wuchsort und deren Toleranzbereiche.

Weiterhin sind geographische Unterschiede zu nennen. Die Auswertung des Datenmaterials ergab einen Einfluss der Meereshöhe auf die Phänologie (s.o.) und deren Veränderungen. Für das Mitteldeutsche Schwarzerdegebiet, das Sächsische Hügelland, das Nördliche Harzvorland und das Weser-Aller-Flachland sind im Wesentlichen die massivsten Veränderungen, im Mittel etwa zwei Wochen, ermittelt wurden.

Im Harz stellten sich insgesamt die geringsten Veränderungen in den Eintrittsterminen der betrachteten phänologischen Phasen ein, um durchschnittlich sieben bis acht Tage. Auch hier werden, ähnlich wie beim Beginn der thermischen Vegetationsperiode, entwicklungs-fördernde Temperaturen für das Einsetzen der Pflanzenentwicklung trotz des Temperaturanstiegs der Wintermonate noch nicht so oft erreicht wie in anderen Regionen beziehungsweise werden erst später im Jahr erreicht, wo die Temperaturen in den Monaten kaum noch schwanken.

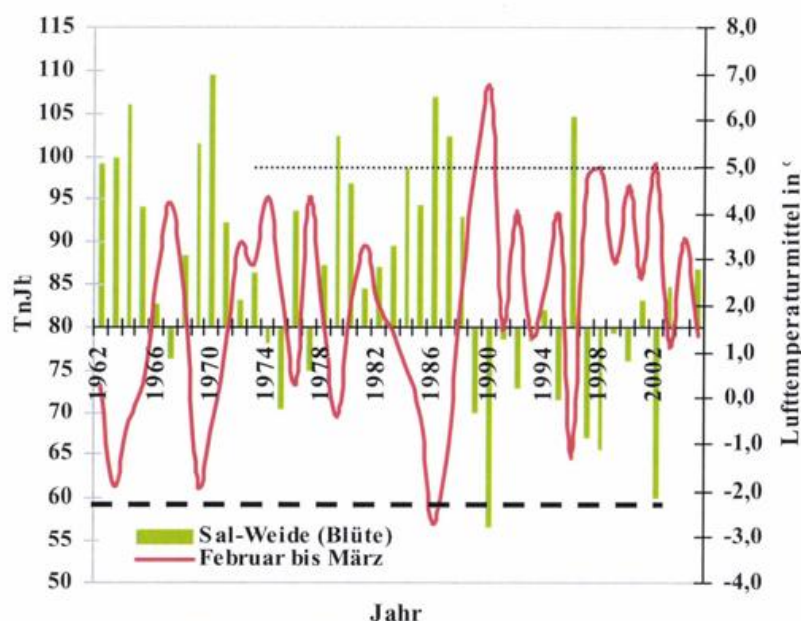
Als letzten Aspekt nennt MENZEL noch kleinräumige Variabilitäten, wie Stadt-Land-Effekte. Durch den städtischen Wärmeinseleffekt sind verfrühte Eintrittstermine möglich, wie am Beispiel von Berlin (HUPFER & CHMIELEWSKI, 1990) gezeigt wurde.

Es liegen signifikante Zusammenhänge zwischen den Eintrittsterminen der phänologischen Phasen und der Lufttemperatur vor. Für die ersten acht Phasen ergaben sich negative Regressionen, wobei sich bei höheren Temperaturen die Eintrittstermine verfrühen. Im Spätherbst lag eine positive Abhängigkeit vom Temperaturmittel der Monate August und September vor. Die Eintrittstermine verzögerten sich dabei, je wärmer der Spätsommer beziehungsweise Frühherbst ausfiel. Im Allgemeinen ist die Lufttemperatur bis zu drei Monate vor Eintritt der Frühlings- und Sommerphasen ausschlaggebend für die Pflanzenentwicklung und erklärt außerordentlich gut die Varianzen in den Eintrittsterminen. Bei den Frühlings- und Sommerphasen werden die Eintrittstermine in Sachsen-Anhalt bis 85% durch die vorangegangenen Monatstemperaturen bestimmt (in Deutschland bis zu 90% in MENZEL, 2003a).

Die ersten beiden Herbstphasen sind ebenso von den späten Frühlings- beziehungsweise Vorsommertemperaturen der Monate April bis Juni abhängig (hohe bis sehr hohe Korrelationen). Mit den steigenden Temperaturen im Jahresverlauf bis Mai oder Juni nähert sich die mittlere Lufttemperatur dem Optimum für die Pflanzenentwicklung an, wodurch es in den folgenden Monaten, etwa ab Juni, zu weniger merklichen Reaktionen der Pflanzen auf Temperaturänderungen kommt (CHMIELEWSKI et al., 2004; Vgl. Anhang, Tab. 22, S.92). Dieser Zusammenhang bekräftigt sich auch durch die Betrachtung der Schwankungen der Eintrittstermine beziehungsweise den Standardabweichungen vom langjährigen Mittel. Je größer die jährlichen Abweichungen sind, desto stärker waren auch die Trends für die phänologischen Phasen. Damit liegt auch eine erhöhte Sensibilität hinsichtlich der Reaktionen auf Temperaturschwankungen vor.

Auch in Sachsen-Anhalt reagierten nicht alle Phasen gleich auf Veränderungen der Temperatur (Vgl. DEFILA & MÜLLER-FERCH, 2003; MENZEL et al., 2005). Im Spätherbst kam es zur Verzögerung der Blattverfärbung der Stiel-Eiche (*Quercus robur*), was auch MENZEL et al. (2005) für die herbstliche Laubfärbung Deutschlands beschrieben hat. Sehr warme Spätsommer können den Beginn der Blattverfärbung von *Quercus robur* hinauszögern und sehr warme Vorsommer den Termin gelegentlich verfrühen.

Die Temperaturabhängigkeit der Pflanzenentwicklung soll an dieser Stelle am Blühbeginn der Sal-Weide (*Salix caprea*) als Beispiel verdeutlicht werden. Sie wies in Sachsen-Anhalt zweifelsohne die stärksten Veränderungen über den Referenzzeitraum 1962 bis 2005 (Vgl. Kapitel 3.3.1.) auf, wobei sich mit dem Anstieg des Lufttemperaturmittels der Monate Februar und März der Blühbeginn bei *Salix caprea* gravierend verfrühte. Bei höheren Temperaturen lagen sehr frühe Eintrittstermine vor und bei niedrigen verspäteten sie sich entsprechend, was auch deutlich am Wechselspiel der Temperaturkurve und der Balken für die Eintrittstermine in Abbildung 36 (S.65) erkennbar ist. Extrem frühe Termine traten vor allem ab den späten 80er Jahren auf.



**Abb. 36: Entwicklung der mittleren Lufttemperatur Februar-März  $x$  ( $N = 13$  Stationen) und der mittlere Blühbeginn der Sal-Weide (*Salix caprea*) in Sachsen-Anhalt 1962-2005**

Zudem begann die Blüte der Sal-Weide in der Regel auch etwa eine Woche nach dem ermittelten Termin für den Beginn der thermischen Vegetationsperiode in Sachsen-Anhalt (Vgl. Tab. 20), womit sich auch eine Abhängigkeit vom Überschreiten der 5 °C im Lufttemperaturmittel vorliegt. Beispielsweise geht aus der Abbildung 36 hervor, dass Eintrittstermine vor dem 1. März (60 TnJb) nur dann auftraten, wenn in diesem Zeitraum bereits 5 °C längerfristig überschritten wurden. Die untere Linie markiert in der Abbildung den 60. Tag im Jahr und die obere Linie das Lufttemperaturmittel von 5 °C.

**Tab. 20: Blühbeginn (B) der Sal-Weide und Beginn der thermischen Vegetationsperiode ( $V_B$ ) in Sachsen-Anhalt  $x$  ( $N = 13$  Stationen).**

	1962-1972	1973-1983	1974-1984	1995-2005	$x$ 1962-2005
Sal-Weide (B)	94 (4. April)	87 (28. März)	85 (26. März)	78 (19. März)	86 (27. März)
$V_B$	88 (29. März)	83 (24. März)	79 (20. März)	72 (13. März)	80 (21. März)

Jahre mit besonders früher Pflanzenentwicklung standen oft im Zusammenhang mit einem sehr warmen Spätwinter beziehungsweise Frühjahr, dabei auffallend oft ab Ende der 80er Jahre (Abb. 36).

Seitdem sind fast alle Jahre im Vergleich zum langjährigen Mittel der Lufttemperatur zu warm gewesen, mit Ausnahme des Jahres 1996, wo der strenge Winter 1995/96 die Eintrittstermine in Deutschland und auch in Sachsen-Anhalt im Frühjahr verzögerte (Vgl. CHMIELEWSKI et al., 2003). Der Trend der Zunahme der Lufttemperaturen (Vgl. Kapitel 3.1.) erklärt somit den Trend zu Verfrühungen in der Pflanzenentwicklung.

Der Einfluss der Niederschläge auf die Phänologie fiel im Vergleich zur Lufttemperatur weniger zufriedenstellend aus. Die Zunahme geringerer Niederschläge in den Monaten April bis Juni lieferte nur geringe nicht signifikante Auswirkungen auf Sachsen-Anhalts Pflanzenentwicklung im Herbst, die sich mitunter verzögert. Entgegen der Erwartung, dass es zu verzögerten Eintrittsterminen bei einem feuchten Sommer oder Spätsommer kommt, ergaben sich umgekehrte Zusammenhänge. In den letzten Jahren sind zunehmend extreme Witterungsereignisse aufgetreten wie zum Beispiel die Dürreperiode 2003 oder die Jahrhundertflut an der Elbe 2002 (Vgl. UBA, 2005a; RAHMSTORF & SCHELLNHUBER, 2006). Hier lässt sich vermutlich eine Erklärung dieser Ergebnisse finden, denn extremer Wassermangel oder -überfluss (z.B. Zunahme von Starkregenereignissen) kann die Blattverfärbung und auch den Laubfall früher auslösen. Allgemein sind Verzögerungen im Beginn phänologischer Phasen im Herbst nur geringfügig durch die Niederschläge erklärbar. (SCHNELLE, 1955)

Weiterhin besitzen wildwachsende Pflanzen im Gegenzug zu Kulturpflanzen ein ausgebildetes Wurzelwerk, da es sich zumeist um mehrjährige Pflanzen (z.T. Bäume) handelt. Kulturpflanzen sind dagegen stärker vom Niederschlag der aktuellen Vegetationsperiode abhängig. (DWD)

Auch Spätfröste haben einen Einfluss auf die Phänologie im Frühling. Je höher die Anzahl der Spätfrosttage zwischen Januar und Mai im Referenzzeitraum war, desto später im Jahr lagen die Eintrittstermine bei den Frühlingsphasen. Da sich Frosttage über Tagesminimumtemperaturen von unter 0 °C definieren, bestärkt sich hier nochmals die Temperaturabhängigkeit pflanzlicher Entwicklungsprozesse.

### **4.3. Vegetationsökologie**

Lebensvorgänge von Pflanzen wie die Keimung, Stoffwechselprozesse, die Fortpflanzung, Mobilität und das Verhalten werden also vorrangig von der Temperatur bestimmt, da wesentliche Prozesse im Inneren der Pflanze von dieser abhängig sind (SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT, 2005; UBA, 2005a).

Die Veränderungen in den phänologischen Phasen stellen somit eine Anpassung der Pflanzen und ihrer Stoffwechselprozesse an das veränderte Klima in Sachsen-Anhalt dar, da die Pflanzenentwicklung immer die Summe aller am Standort wirkenden Umweltfaktoren widerspiegelt (HUPFER & CHMIELEWSKI, 1990).

Pflanzen können innerhalb einer ökologischen Amplitude der Standortfaktoren<sup>6</sup> existieren, wodurch sie mit ihren Eigenschaften einen Standort charakterisieren. Eine veränderte Standortsökologie durch Zunahme der Temperaturen in Sachsen-Anhalt sowie durch Zu- oder Abnahme des Wasserangebots, können die Lebensbedingungen verschiedener Pflanzen einschränken bis sie an ihrem Wuchsort nicht mehr existieren können. Freiwerdende ökologische Nischen können mit geeigneteren Pflanzen besiedelt werden und schließlich die Zusammensetzung der Pflanzengesellschaften einer Region verändern. Verschiebungen der Pflanzengesellschaften in den Regionen Sachsen-Anhalt sind somit zu erwarten, wobei vor allem auch azonale Biotope auf Sonderstandorten betroffen sein werden, wie zum Beispiel Fels- und Steinfluren der höheren Lagen (UBA, 2005a). Durch die unterschiedliche Reaktion der Individuen auf den Klimawandel können die interspezifischen Beziehungen (Konkurrenzverhalten) der Ökosysteme gestört werden und sich negativ auf die dortige Biodiversität auswirken (ELLIS, 2003; LÄSSIG & MOTSCHALOW, 1997).

Das Voranschreiten südlicher Vegetation in nördlichere Zonen, als auch die Verschiebung von Artenarealen in höhere Lagen, wurden bereits häufig beschrieben (UBA, 2005a; MENZEL, 2003b; ELLIS, 2003; LÄSSIG & MOTSCHALOW, 1997) und wird sich in Zukunft noch sehr deutlich in Sachsen-Anhalt zeigen. Die deutschen Mittelgebirge, darunter der Harz, sind derzeit in Bezug auf klimatische Änderungen insgesamt noch als mäßig vulnerabel einzustufen, da das Klima hier noch kühl und feucht ist (UBA, 2005a). Jedoch muss in der Pflanzenentwicklung dieser Regionen bei einer weiteren Erwärmung in den nächsten Jahren mit sehr starken Veränderungen gerechnet werden. Dadurch erhöht sich künftig der Druck auf die Mittelgebirge, vor allem auch hinsichtlich der Auswirkungen auf die Biodiversität. Entsprechend weitere drastische Veränderungen in der Pflanzenentwicklung der übrigen Regionen stehen dabei außer Frage. Dahingehend ergibt sich vor allem für die Landwirtschaft in Sachsen-Anhalt die Problematik, sich an die veränderten Bedingungen anzupassen und sich auch künftig darauf einzustellen.

---

<sup>6</sup> Vgl. dazu Ellenberg, H., H. E. Weber; R. Düll, V. Wirth u. W. Werner (2001): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. In: *SCRIPTA GEOBOTANICA*, Nr. 18, 3. Aufl., Göttingen.

## **5. Zusammenfassung und Ausblick**

Das Klima in Sachsen-Anhalt hat sich in den letzten Jahrzehnten nachweislich verändert. Über den Referenzzeitraum 1962 bis 2005 hat sich das Jahresmittel der Lufttemperatur um 1,5 °C erhöht. Auch zeigten alle Monate, bis auf den Juni, positive Veränderungen der Lufttemperatur. Die Winter- und Frühlingsmonate sowie der August weisen die massivsten Temperaturzunahmen auf. Zudem führten die positiven Temperaturentwicklungen zu Veränderungen im Auftreten von extremen Temperaturereignissen mit einer Abnahme von Kälteereignissen wie Frost- und Eistagen sowie einer Zunahme der Lufttemperaturmaxima. In der Jahressumme der Niederschläge war für die gesamten Regionen Sachsen-Anhalts kaum eine Veränderung festzustellen. Jedoch erfolgten geringe Zunahmen vor allem südlich der Linie Harz-Fläming, als auch geringe Abnahmen in der Niederschlagssumme nördlich dieser Linie. Darüber hinaus ist es zu einer Umverteilung der Niederschläge über das Jahr gekommen. Zwischen 1962 und 2005 haben die Winter- und zum Teil auch die Herbstniederschläge erheblich zugenommen. Der Vorsommer ist dagegen auffallend trockener geworden und das sommerliche Niederschlagsmaximum hat sich ausschließlich auf den Juli verlagert.

Es ist zu massiven Veränderungen in der Pflanzenentwicklung in Sachsen-Anhalt gekommen. Allgemein sind bei den Frühjahrsphasen die stärksten Änderungen in den Eintrittsterminen aufgetreten. Mit dem Anstieg der Temperatur im Jahresverlauf und der Abnahme der monatlichen Schwankungen der Temperaturen hat auch die Intensität der Veränderungen in der Pflanzenentwicklung über das Jahr abgenommen.

Die Frühlings- und Sommerphasen sind im Wesentlichen sehr stark von den mittleren Lufttemperaturen der vorangegangenen ein bis drei Monate abhängig. Sie werden durch die Temperaturen im Spätwinter bis zum zeitigen Frühjahr beeinflusst. Zum Beispiel reagierte *Salix caprea* mit einem früheren Blühtermin von durchschnittlich 20 Tagen auf das zunehmend mildere Klima der ersten Monate des Jahres. Milde Temperaturen im Herbst haben die Blattverfärbung von *Quercus robur*, um durchschnittlich sieben Tage, verzögert.

Die Zunahme der vorsommerlichen Trockenheit wirkte sich eher latent auf die Herbstphänologie in Sachsen-Anhalt aus, gelegentlich kommt es dadurch zu einer verzögerten Blattverfärbung. Hohe Niederschlagssummen von Juni bis August sowie von August bis September führten mitunter zu verfrühten Blattverfärbungsterminen von *Quercus robur*.

In Sachsen-Anhalt haben die Pflanzen somit bereits auf den Klimawandel reagiert. Anstiege der Temperaturen im späten Winter und im Frühling sowie sehr warme Spätsommer korrespondieren gut mit den Veränderungen der Eintrittstermine. Es wurde deutlich, dass Wärme die Pflanzenentwicklung beschleunigt und die Temperaturzunahme zu Verfrühungen in den Eintrittsterminen phänologischer Phasen und zu einer außerordentlichen Verlängerung der thermischen Vegetationsperiode in Sachsen-Anhalt führte. Die beobachteten Veränderungen in der Phänologie und deren Abhängigkeiten von der Temperatur machen Pflanzen eindeutig zu sensitiven Bioindikatoren für den Klimawandel und für Umweltveränderungen (CHMIELEWSKI et al., 2004; DONNELLY et al., 2005, DEFILA & MÜLLER-FERCH, 2003).

Ein weiterer Anstieg der Temperaturen um mehrere Grad, wie sie bereits durch den IPCC (2001) prognostiziert wurde (Vgl. Kapitel 1), könnte die stärkste Klimaerwärmung seit Jahrmillionen sein und erhöhte Gefahren für Ökosysteme, Wälder, landwirtschaftliche Nutzpflanzen und der menschlichen Zivilisation darstellen (UBA, 2005b; CHMIELEWSKI et al. 2004). Da die Phänologie wildwachsender Pflanzen vor allem durch die Temperatur beeinflusst wird, lassen sich klimatische Veränderungen auch anhand phänologischer Daten modellieren. Die Ergebnisse dieser Arbeit geben somit Anlass, sich auch mit den künftigen Entwicklungen in der Pflanzenphänologie zu beschäftigen. Ansätze für die Vorhersage phänologischer Phasen bieten beispielsweise Temperatursummen- und Regressionsmodelle (Vgl. CHMIELEWSKI et al., 2004). Sinnvoll wäre eine Nutzung der Phänologie im Zusammenhang mit den Modellergebnissen für regionale Klimaprojektionen bis 2100 (z.B. REMO). Zum einen ist abzuschätzen, wie stark Sachsen-Anhalt künftig vom Klimawandel betroffen sein wird und zum anderen, welche Veränderungen dadurch in der Pflanzenentwicklung, im Besonderen in der Harzregion, zu erwarten sind.

Über die Betrachtung wildwachsender Pflanzen hinaus sollten auch die Auswirkungen des Klimawandels auf die Entwicklungsprozesse bei landwirtschaftlichen Kulturen, Obstgehölzen oder im Weinbau in Sachsen-Anhalt untersucht werden. Hier wäre die Analyse von Auswirkungen auf die Qualität und Quantität der Ernte, im Hinblick auf eine sich daraus ergebende veränderte Sortenwahl landwirtschaftlicher Nutzpflanzen in Anpassung an die klimatischen Veränderungen, anzustreben.

Aufschlussreiche Ergebnisse würden zudem Untersuchungen weitere Faktoren und deren Einfluss auf die Pflanzenentwicklung liefern. Zu nennen sind zum Beispiel die Verdunstung, Globalstrahlung, Sonnenscheindauer, CO<sub>2</sub>-Konzentration der Atmosphäre, edaphische und zoobiotische Faktoren, Bodentemperaturen oder der Einfluss extremer Niederschlagsereignisse.

Diese Arbeit konzentrierte sich auf die Zusammenhänge klimatischer Entwicklungen und Auswirkungen auf die Phänologie in Sachsen-Anhalt. Um Veränderungen zu beschreiben, wurden phänologische Daten zu Mittelwerten für die Naturraumgruppen verdichtet beziehungsweise für ganz Sachsen-Anhalt gemittelt. Eine kleinräumigere Betrachtung war daher nicht möglich, da das Netz der verwendeten Klimastation zu dünn war, um direkte Zusammenhänge zwischen klimatischen Verhältnissen und der Phänologie darstellen zu können. Dazu sollte je nach Größe mindestens eine Klimastation pro Naturraum herangezogen werden. Weiterhin könnten für Sachsen-Anhalt phänologische Mittelwertskarten erstellt werden, die einen besseren Überblick über regionale Unterschiede in der Pflanzenentwicklung liefern würden.

Aufgrund des Datenmangels im Hinblick auf die Verfügbarkeit von Blattfalldaten verschiedener Baumarten, war es nicht möglich phänologische Uhren zu erstellen. Sie enthalten in der Regel die Zeiträume zwischen den phänologischen Jahreszeiten und deren Veränderungen. Für Regionen in Sachsen-Anhalt, in denen entsprechendes Datenmaterial vorliegt, könnten diese angefertigt werden.

Es ist auch möglich, Schlüsse auf die Wachstums- beziehungsweise Vegetationsperiode einzelner Pflanzen zu ziehen. Dazu sind zwei oder mehr Phasen einer Art zu betrachten. Veränderungen des Zeitraums zwischen der Blattentfaltung und der Blattverfärbung der Stiel-Eiche wurden bereits angesprochen. Im Besonderen würde sich dabei jedoch der Zeitraum von der Blattentfaltung bis zum Blattfall eignen, um auch auf diese Weise die Vegetationsperiode zu bestimmen und die Daten und die Veränderungen somit vergleichbarer zu machen (z.B. DONNELLY et al., 2006; CHMIELEWSKI & RÖTZER, 2000).

An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, dass das Netz phänologischer Beobachtungen in Sachsen-Anhalt noch ausgeweitet werden sollte, da zur phänologischen Definition und Beschreibung von größeren oder kleineren Räumen ausreichend Datenmaterial vorliegen sollte, um bei der Aufarbeitung des Datenmaterials potenzielle Beobachtungsfehler bestmöglich ausgleichen zu können. Darüber hinaus ist es erstrebenswert, auch in Zukunft über repräsentative und homogene phänologische Datensätze in Sachsen-Anhalt zu verfügen und für jedermann zugänglich zu gestalten.

## **6. Quellenverzeichnis**

**Bahrenberg, G., E. Giese & J. Nipper (1999):** Statistische Methoden in der Geographie. Band 1. Univariate und bivariate Statistik. 4.Aufl., Stuttgart, Leipzig.

**Bissolli, P. & K. Schnadt (2002):** Analyse 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)

**4. Bundesnaturschutzgesetz vom 25.3.2002.** Umweltrecht. Wichtige Gesetze und Verordnungen zum Schutz der Umwelt, Stand Sept. 2004, 16.Aufl., München.

**Bühl, A. & P. Zöfel (2005):** SPSS 12. Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows. 9.Aufl., München.

**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. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes, Nr.189, Offenbach am Main.*

**Chmielewski, F.-M., Müller, A. & W. Küchler (2004):** Mögliche Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf die Vegetationsentwicklung in Sachsen. Berlin.

**Chmielewski, F.-M., Müller, A. & E. Bruns (2003):** Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961-2000. *Beiträge zur Klima- und Meeresforschung, Berlin, Bayreuth, S. 125-134.*

><http://www.geo.uni-bayreuth.de/mikrometeorologie/HU70/Chmielewski-2.pdf>< (15.09.2006)

**Chmielewski, F.-M. (2001):** Rezente Veränderungen der Lufttemperatur und Niederschlagshöhe in Berlin-Dahlem (Albrecht-Thaer-Weg). *Agrarmeteorologische Schriften, 9/2001, Berlin.*

><http://www.agrar.hu-berlin.de/pflanzenbau/agrarmet/schrift09.pdf>> (26.07.2006)

**Chmielewski, F.-M. & T. Rötzer (2000a):** Phenological trends in Europe in relation to climate changes. *Agrarmeteorologische Schriften*, 7/2000, Berlin.

><http://www.agrar.hu-berlin.de/pflanzenbau/agrarmet/schrift07.pdf>> (15.09.2006)

**Chmielewski, F.-M. & T. Rötzer (2000b):** Klimavariabilität und Phänologie in Mitteleuropa. *BMBF-Forschungsprojekt*.

><http://www.agrar.hu-berlin.de/pflanzenbau/agrarmet/bmbf98.html>> (31.07.2006)

**Defila, C. & G. Müller-Ferch (2003):** Erste Spuren der Klimaänderung in der Pflanzen- und Tierwelt. *Climate-Press*, 16/2003.

<<http://www.proclim.ch/Press/PDF/ClimatePress16D.pdf>> (31.07.2006)

**Deutscher Wetterdienst [Hrsg.] (1991):** Anleitung für die phänologischen Beobachter des Deutschen Wetterdienstes. 3.Aufl., Offenbach am Main.

**Deutscher Wetterdienst [Hrsg.] (1999):** Klimaatlas Bundesrepublik Deutschland. Offenbach am Main.

**Donnelly, A., N. Salamin & M.B. Jones (2006):** Changes in tree phenology: An Indicator of spring warming in Ireland? *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy*. Dublin. ><http://www.ria.ie/cgi-bin/ria/papers/100562.pdf>< (25.7.2006)

**Ehlers, W. (1996):** Wasser in Boden und Pflanze. Dynamik des Wasserhaushalts als Grundlage von Pflanzenwachstum und Ertrag. Stuttgart.

**Ellis, N. E. (2003):** Natural Heritage Trends. Climate change impacts on habitats and species: Summary. Scottish Natural Heritage.

>[http://www.snh.org.uk/trends/trends\\_notes/pdf](http://www.snh.org.uk/trends/trends_notes/pdf)< (15.09.2006)

**EPA – U.S. Environmental Protection Agency:** Recent climate change.

>[http://www.epa.gov/climatechange/science/recenttc\\_triad.html](http://www.epa.gov/climatechange/science/recenttc_triad.html)< (01.11.2006)

**Hupfer, P. & W. Kuttler [Hrsg.] (2005):** Witterung und Klima. Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie, 11.Aufl., Wiesbaden.

**Hupfer, P. & F.-M. Chmielewski [Hrsg.] (1990):** Das Klima von Berlin. Berlin.

**IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change [Hrsg.] (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. Cambridge University Press. <<http://www.ipcc.ch>> (25.7.2006)

**Jonas, M., T. Staeger & C.-D. Schönwiese (2005):** Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen. Schwerpunkt Deutschland. Dessau.

**Lässig, R. & S. Motschalow (1997):** Auswirkungen der Klimaerwärmung in Sibirien. Wald- und Steppengebiete verschieben sich nach Norden. *Neue Züricher Zeitung*, 287:65.

**Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt:** Künftige Klimaänderungen in Sachsen-Anhalt. Sachstand und Handlungsfelder. Workshop am 16. Juni 2006 im Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt in Halle/Saale.

><http://www.mu.sachsen-anhalt.de/start/fachbereich03/klima/main.htm>< (18.09.2006)

**Linderholm, H.W., A. Walther & D. Chen (2005):** Growing season trends in the Greater Baltic Area. Göteborg.

>[http://www.cru.uea.ac.uk/cru/projects/emulate/D14/WP4\\_Goteborg\\_D14\\_GLS.pdf](http://www.cru.uea.ac.uk/cru/projects/emulate/D14/WP4_Goteborg_D14_GLS.pdf)< (18.09.2006)

**Lüers, J. (2003):** Agrarklimatische und phänologische Auswertungen für das Mittlere Moseltal - Auswirkungen auf den Weinbau. *Terra Nostra* 6/2003, 6. *Deutsche Klimatagung*.

<[http://www.bitoeck.uni-bayreuth.de/mm/de/pub/html/26423DKT6\\_Agrarmeteorologie-Paenologie-Mittl-Moseltal-Lueers.pdf](http://www.bitoeck.uni-bayreuth.de/mm/de/pub/html/26423DKT6_Agrarmeteorologie-Paenologie-Mittl-Moseltal-Lueers.pdf)> (31.07.2006)

**Maier, U., J. Kudlinski & G. Müller-Westermeier (2003):** Klimatologische Auswertung von Zeitreihen des Monatsmittels der Lufttemperatur und der monatlichen Niederschlagshöhe im 20. Jahrhundert. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes*, Nr.223, Offenbach am Main.

**Menzel, A., N. Estrella & P. Fabian (2005):** Phänologie-Pflanzen in einer wärmeren Welt. *Münchener Rück: Wetterkatastrophen und Klimawandel. Auswirkungen auf Natur, Mensch und Ökonomie. München, S. 144-155.*

**Menzel, A. (2003a):** Gibt die Phänologie Hinweise für den Klimawandel? *AFZ - Der Wald. 17/2003, S. 867-869.*

**Menzel, A. (2003b):** Anzeichen des Klimawandels in der Pflanzen- und Tierwelt. *LWF aktuell 37/2003, S.14-18.*

**Meynen, E. & J. Schmithüsen et al. (1962):** Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. Bad Godesberg.

**Oelke, E. [Hrsg.] (1997):** Perthes Länderprofile. Sachsen-Anhalt. Gotha.

**Rahmstorf, S. & H.J. Schellnhuber (2006):** Der Klimawandel. Diagnose, Prognose, Therapie. München.

**Rötzer, T. & F.-M. Chmielewski (2000):** Phenological maps of Europe. *Agrarmeteorologische Schriften, 6/2000, Berlin.*

<http://www.agrar.hu-berlin.de/pflanzenbau/agrarmet/schrift06.pdf>> (15.09.2006)

**Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft [Hrsg.] (2005):** Klimawandel in Sachsen. Sachstand und Ausblick. Dresden.

**Schmidt, U. (1996):** Phänologische Daten der Bundesrepublik Deutschland. Phasen von Zeiger- und Kulturpflanzen. Zeitraum 1951-1990. Offenbach am Main.

**Schnelle, F. (1955):** Pflanzen-Phänologie. Leipzig.

**Schönwiese, C.-D. (2000):** Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler. 3.Aufl., Berlin, Stuttgart.

**Schönwiese, C.-D., J. Rapp, T. Fuchs & M. Denhard (1993):** Klimatrend-Atlas Europa 1891-1990. Berichte des Zentrums für Umweltforschung, Nr.20, Frankfurt am Main.

**Sparks, T.H., Jeffree, E.P. & C.E. Jeffree (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*, Nr.44, S. 82-87.

<<http://www.biology.ed.ac.uk/research/institutes/plant/PDF/2000/sparks-2000-82.pdf>>

(18.09.2006)

**Streitfert, A., L. Grünhage & H.-J. Jäger (2005a):** Klimawandel und Pflanzenphänologie in Hessen. Inst. f. Pflanzenökologie d. Univ. Gießen.

<[http://www.uni-giessen.de/~gf1034/Pflanzenphänologie/Berichtsstand\\_2005.pdf](http://www.uni-giessen.de/~gf1034/Pflanzenphänologie/Berichtsstand_2005.pdf)> (31.7.2006)

**Streitfert, A. (2005b):** Einfluss steigender Temperaturen und CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf Pflanzenphänologie und -anatomie. Dipl.-Arb., Inst. f. Pflanzenökologie d. Univ. Gießen.

<<http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2006/2828/pdf/streifertAnita-2005.pdf>> (25.07.2006)

**Umweltallianz Sachsen-Anhalt (2002):** Grundlegende Belange des Landes Sachsen-Anhalt bei der europaweiten und nationalen Gestaltung eines Handelssystems für Berechtigungen zur Emission von Treibhausgasen.

<[http://www.sachsen-anhalt.de/LPSA/fileadmin/Files/leitfaden\\_15.pdf](http://www.sachsen-anhalt.de/LPSA/fileadmin/Files/leitfaden_15.pdf)> (29.5.2006)

**Umweltbundesamt [Hrsg.] (2005a):** Klimawandel in Deutschland. Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Dessau.

**Umweltbundesamt [Hrsg.] (2005b):** Naturwissenschaftliche Grundlagen der Klima(schutz)politik. Dessau.

<<http://www.umweltbundesamt.de/klimaschutz/klimaaenderungen/grundlagen-klimaschutzpolitik.htm>> (20.03.2006)

**Umweltbundesamt und Max-Planck-Institut für Meteorologie [Hrsg.] (2006):** Künftige Klimaänderungen in Deutschland – Regionale Projektionen für das 21. Jahrhundert. *Hintergrundpapier*.

<<http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/hintergrund/Klimaaenderungesworkshop.pdf>>

(27.09.2006)

**Internet:**

- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit ([www.bmu.de](http://www.bmu.de))
- Deutscher Wetterdienst ([www.dwd.de](http://www.dwd.de))
- Environmental Protection Agency ([www.epa.gov](http://www.epa.gov))
- Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Pflanzenbauwissenschaften  
([www.agrar.hu-betlin.de](http://www.agrar.hu-betlin.de))
- Intergovernmental Panel on Climate Change ([www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch))
- Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt ([www.mu.sachsen-anhalt.de](http://www.mu.sachsen-anhalt.de))
- Land Sachsen-Anhalt ([www.sachsen-anhalt.de](http://www.sachsen-anhalt.de))
- Umweltbundesamt ([www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de))

**7. Anhang****Tab. 21: Umrechnungsschlüssel der phänologischen Eintrittstermine (Tage nach Jahresbeginn) (Quelle: DWD).**

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	
<b>Jan</b>	<b>Feb</b>	<b>Mrz</b>	<b>Apr</b>	<b>Mai</b>	<b>Juni</b>	<b>Juli</b>	<b>Aug</b>	<b>Sep</b>	<b>Okt</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>	<b>Tage</b>
1	32	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335	<b>1</b>
2	33	61	92	122	153	183	214	245	275	306	336	<b>2</b>
3	34	62	93	123	154	184	215	246	276	307	337	<b>3</b>
4	35	63	94	124	155	185	216	247	277	308	338	<b>4</b>
5	36	64	95	125	156	186	217	248	278	309	339	<b>5</b>
6	37	65	96	126	157	187	218	249	279	310	340	<b>6</b>
7	38	66	97	127	158	188	219	250	280	311	341	<b>7</b>
8	39	67	98	128	159	189	220	251	281	312	342	<b>8</b>
9	40	68	99	129	160	190	221	252	282	313	343	<b>9</b>
10	41	69	100	130	161	191	222	253	283	314	344	<b>10</b>
11	42	70	101	131	162	192	223	254	284	315	345	<b>11</b>
12	43	71	102	132	163	193	224	255	285	316	346	<b>12</b>
13	44	72	103	133	164	194	225	256	286	317	347	<b>13</b>
14	45	73	104	134	165	195	226	257	287	318	348	<b>14</b>
15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349	<b>15</b>
16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350	<b>16</b>
17	48	76	107	137	168	198	229	260	290	321	351	<b>17</b>
18	49	77	108	138	169	199	230	261	291	322	352	<b>18</b>
19	50	78	109	139	170	200	231	262	292	323	353	<b>19</b>
20	51	79	110	140	171	201	232	263	293	324	354	<b>20</b>
21	52	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355	<b>21</b>
22	53	81	112	142	173	203	234	265	295	326	356	<b>22</b>
23	54	82	113	143	174	204	235	266	296	327	357	<b>23</b>
24	55	83	114	144	175	205	236	267	297	328	358	<b>24</b>
25	56	84	115	145	176	206	237	268	298	329	359	<b>25</b>
26	57	85	116	146	177	207	238	269	299	330	360	<b>26</b>
27	58	86	117	147	178	208	239	270	300	331	361	<b>27</b>
28	59	87	118	148	179	209	240	271	301	332	362	<b>28</b>
29	59	88	119	149	180	210	241	272	302	333	363	<b>29</b>
30	-	89	120	150	181	211	242	273	303	334	364	<b>30</b>
31	-	90	-	151	-	212	243	-	304	-	365	<b>31</b>

### Phänologische Phasendiagramme der Naturraumgruppen Sachsen-Anhalts

(B) Blüte; (BO) Blättentfaltung; (F) erste reife Früchte; (BV) Blattverfärbung

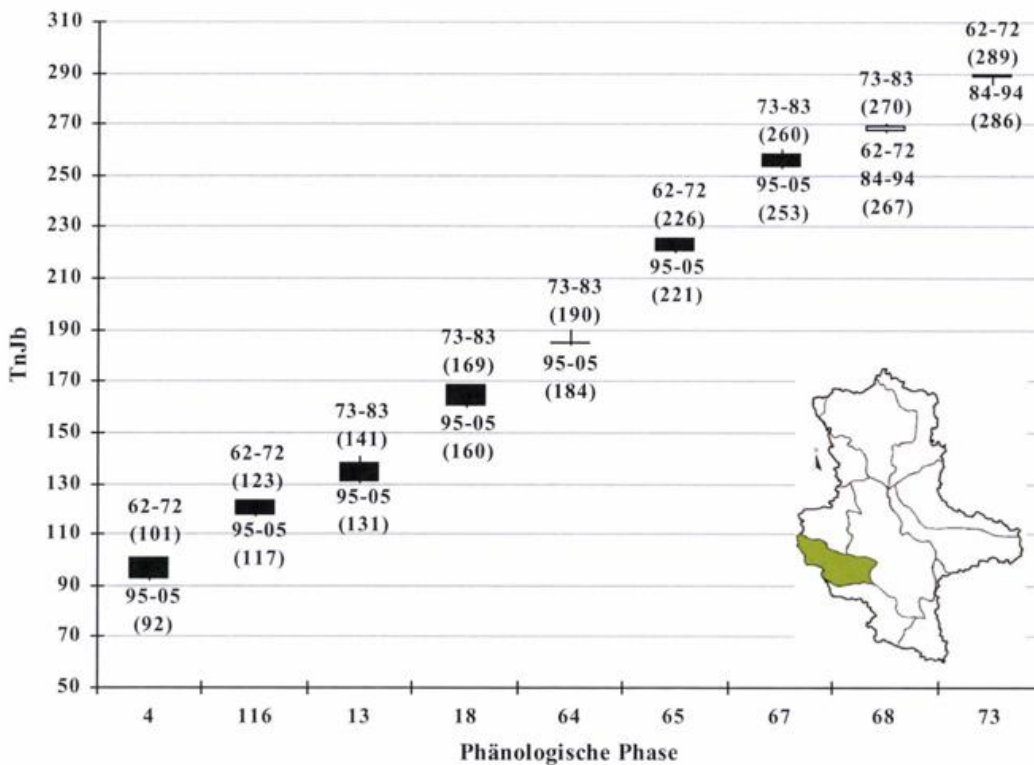


Abb. 37: Phasendiagramm Harz.

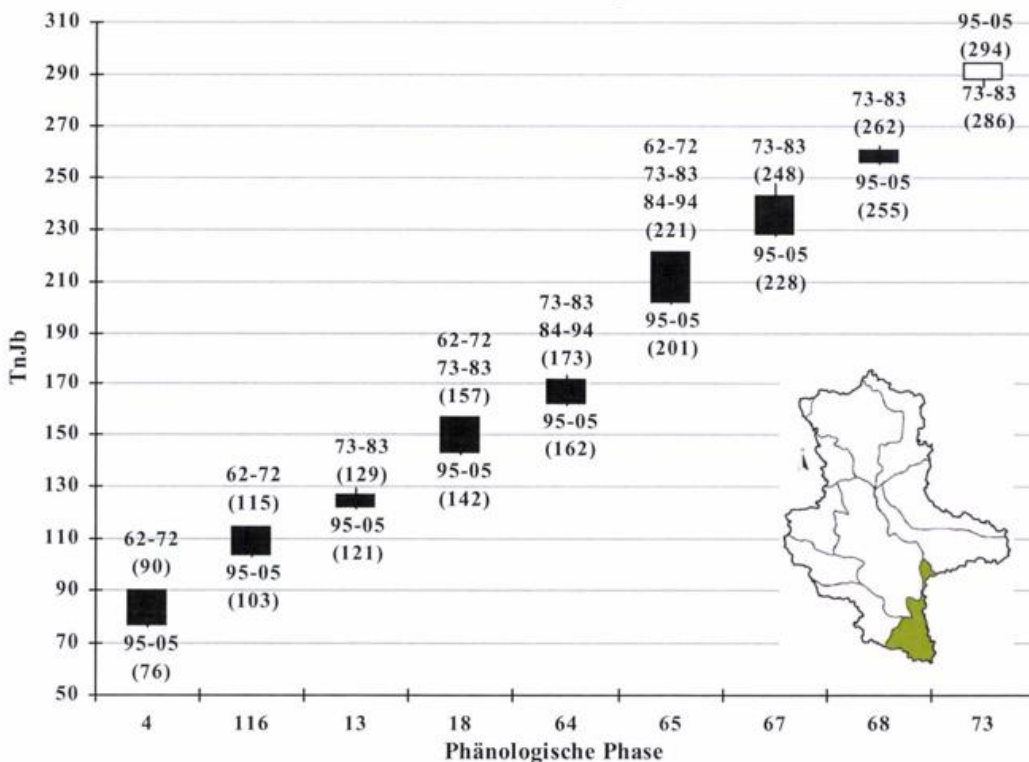


Abb. 38: Phasendiagramm Sächsisches Hügelland.

Vorfrühling: 4 Sal-Weide (B); Erstfrühling: 116 Löwenzahn (B); Vollfrühling: 13 Stiel-Eiche (BO); Fröhsommer: 18 Schwarzer Holunder (B); Hochsommer: 64 Sommer-Linde (B); Spätsommer: 65 Heidekraut (B); Frühherbst: 67 Schwarzer Holunder (F); Vollherbst: 68 Rosskastanie (F); Spätherbst: 73 Stiel-Eiche (BV)

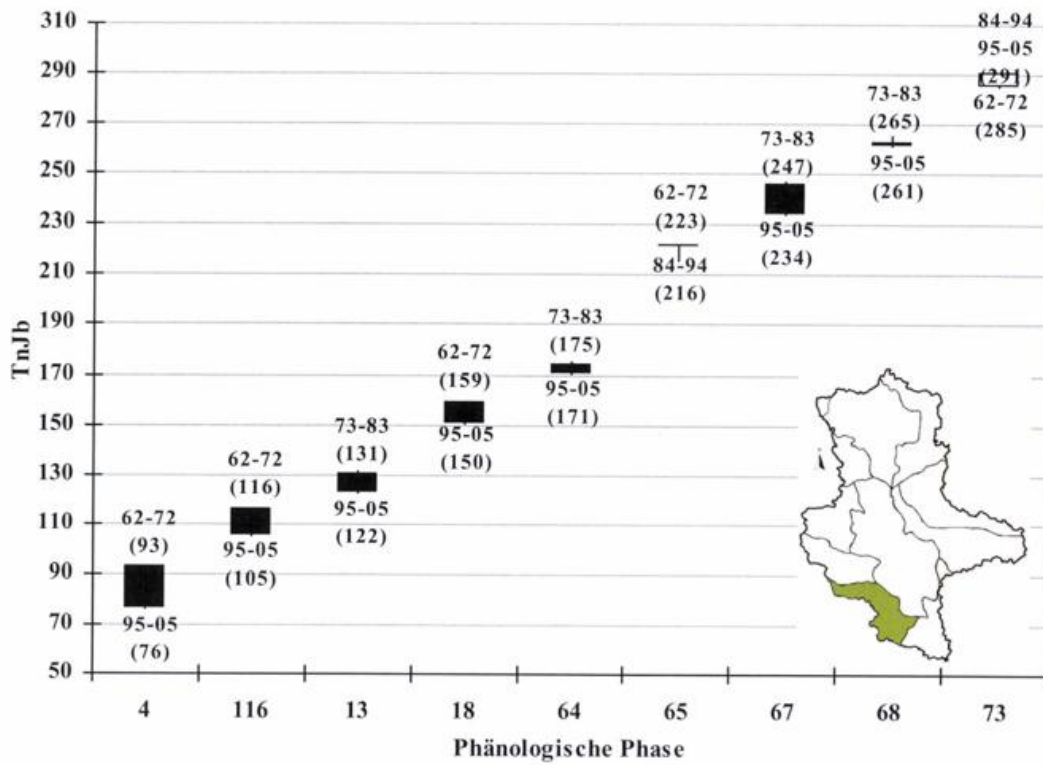


Abb. 39: Phasendiagramm Thüringer Becken und Randplatten.

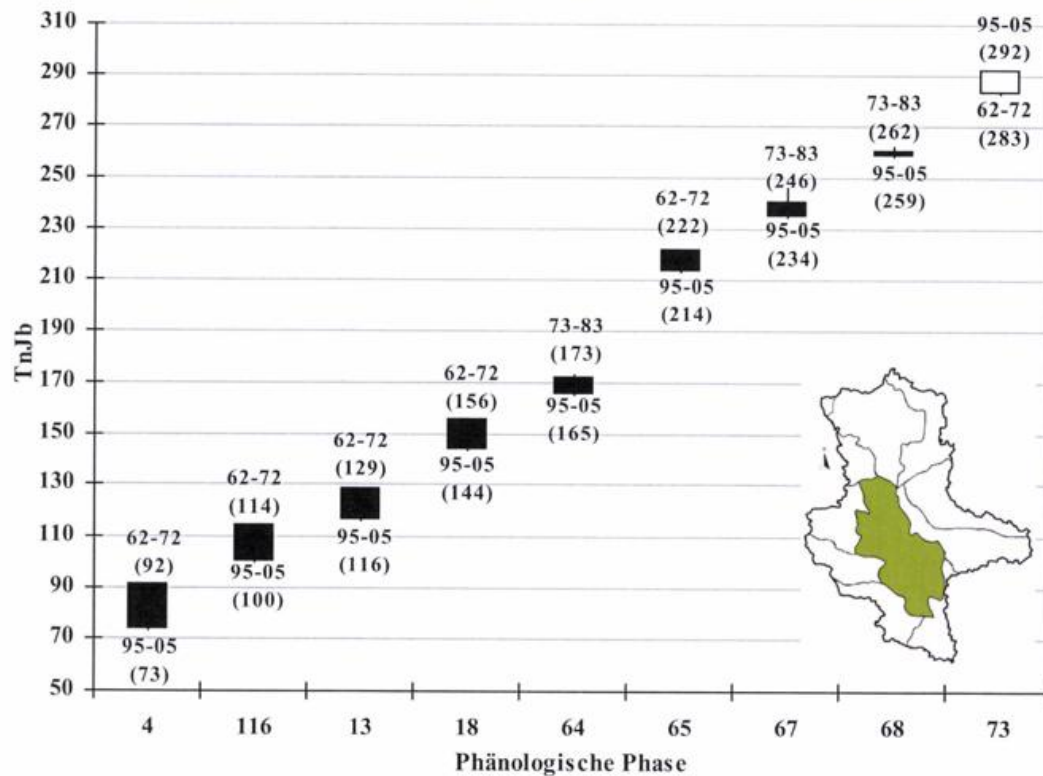


Abb. 40: Phasendiagramm Mitteldeutsches Schwarzerdegebiet.

Vorfrühling: 4 Sal-Weide (B); Erstfrühling: 116 Löwenzahn (B); Vollfrühling: 13 Stiel-Eiche (BO);  
Frühsummer: 18 Schwarzer Holunder (B); Hochsummer: 64 Sommer-Linde (B); Spätsommer: 65 Heidekraut  
(B); Frühherbst: 67 Schwarzer Holunder (F); Vollherbst: 68 Rosskastanie (F); Spätherbst: 73 Stiel-Eiche  
(BV)

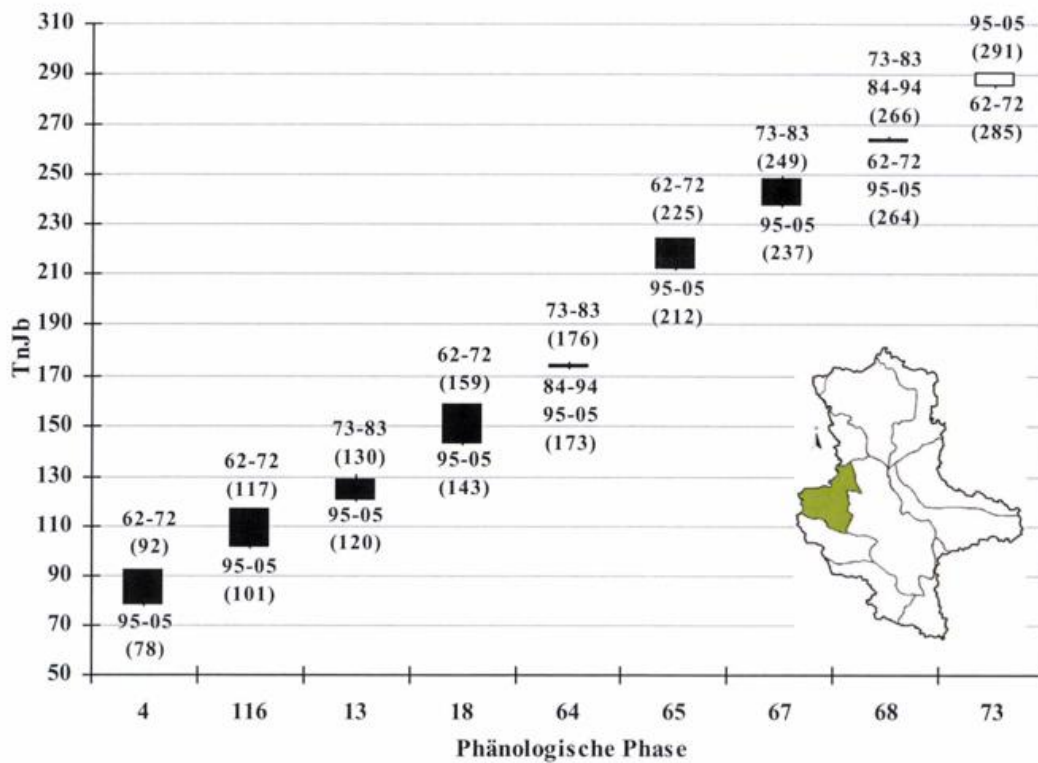


Abb. 41: Phasendiagramm Nördliches Harzvorland.

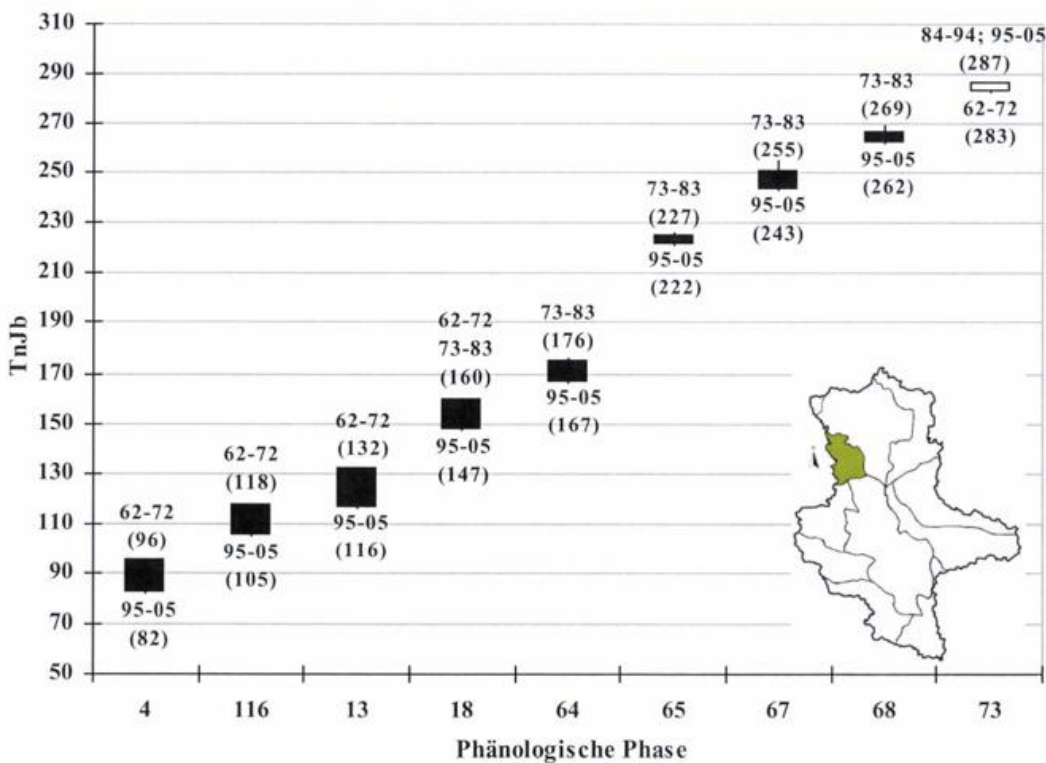


Abb. 42: Phasendiagramm Weser-Aller-Flachland.

Vorfrühling: 4 Sal-Weide (B); Erstfrühling: 116 Löwenzahn (B); Vollfrühling: 13 Stiel-Eiche (BO);  
Frühsommer: 18 Schwarzer Holunder (B); Hochsommer: 64 Sommer-Linde (B); Spätsommer: 65 Heidekraut  
(B); Frühherbst: 67 Schwarzer Holunder (F); Vollherbst: 68 Rosskastanie (F); Spätherbst: 73 Stiel-Eiche  
(BV)

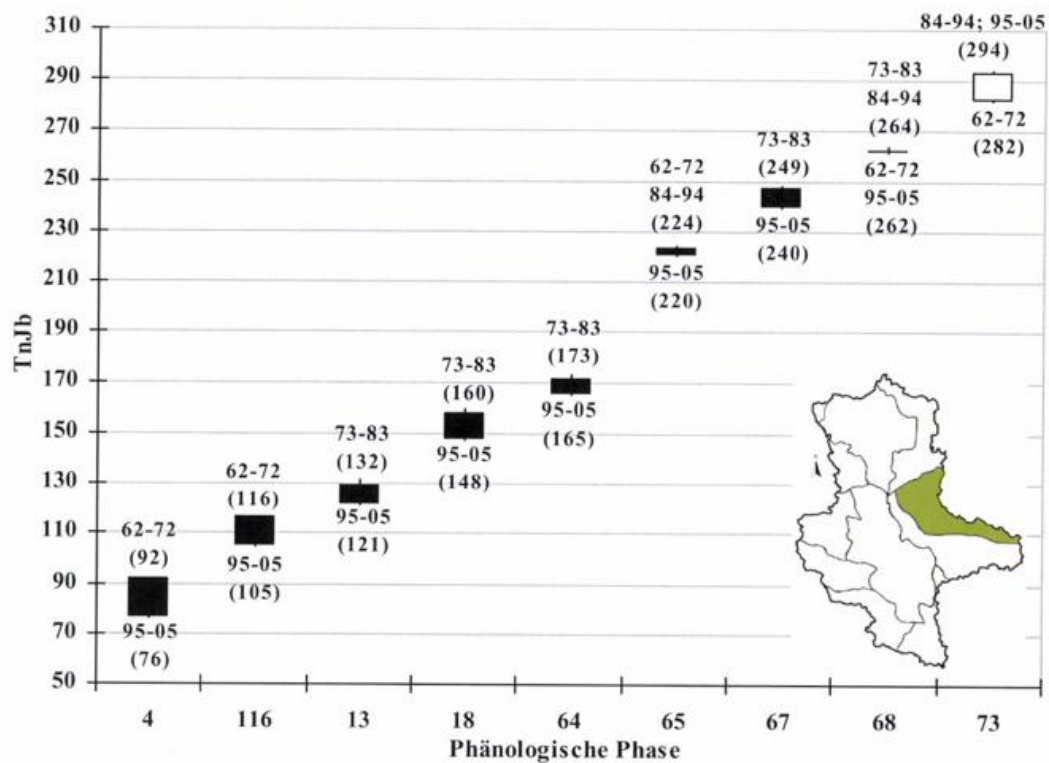


Abb. 43: Phasendiagramm Fläming.

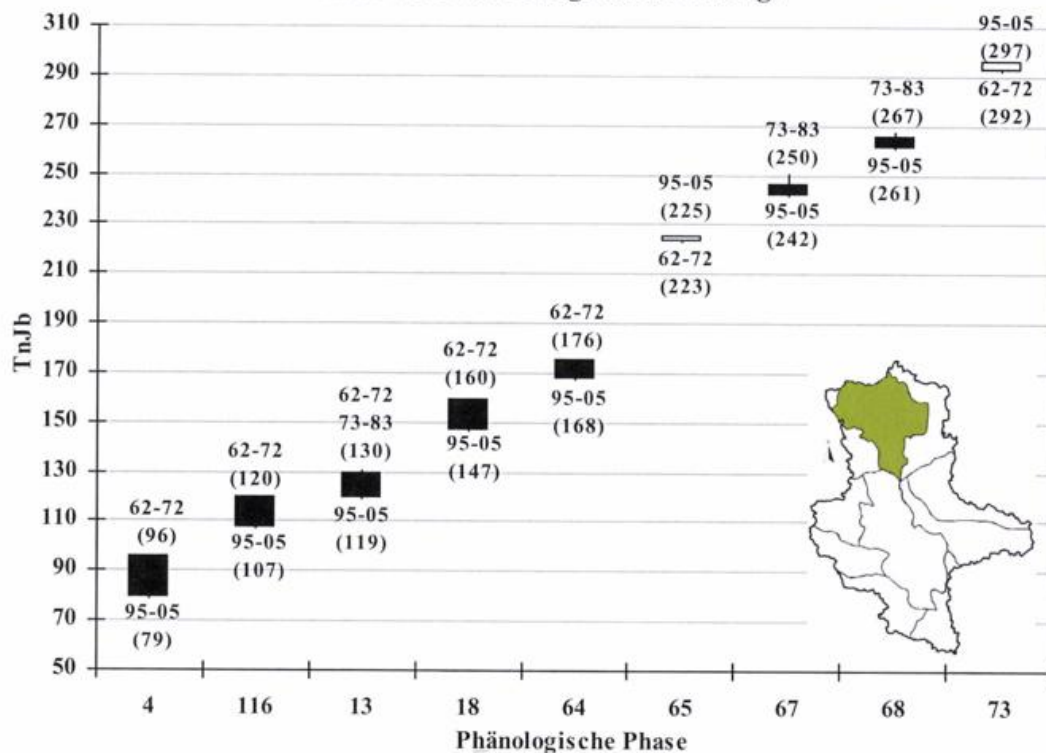


Abb. 44: Phasendiagramm Altmark.

Vorfrühling: 4 Sal-Weide (B); Erstfrühling: 116 Löwenzahn (B); Vollfrühling: 13 Stiel-Eiche (BO); Frühlommer: 18 Schwarzer Holunder (B); Hochsommer: 64 Sommer-Linde (B); Spätsommer: 65 Heidekraut (B); Frühherbst: 67 Schwarzer Holunder (F); Vollherbst: 68 Rosskastanie (F); Spätherbst: 73 Stiel-Eiche (BV)

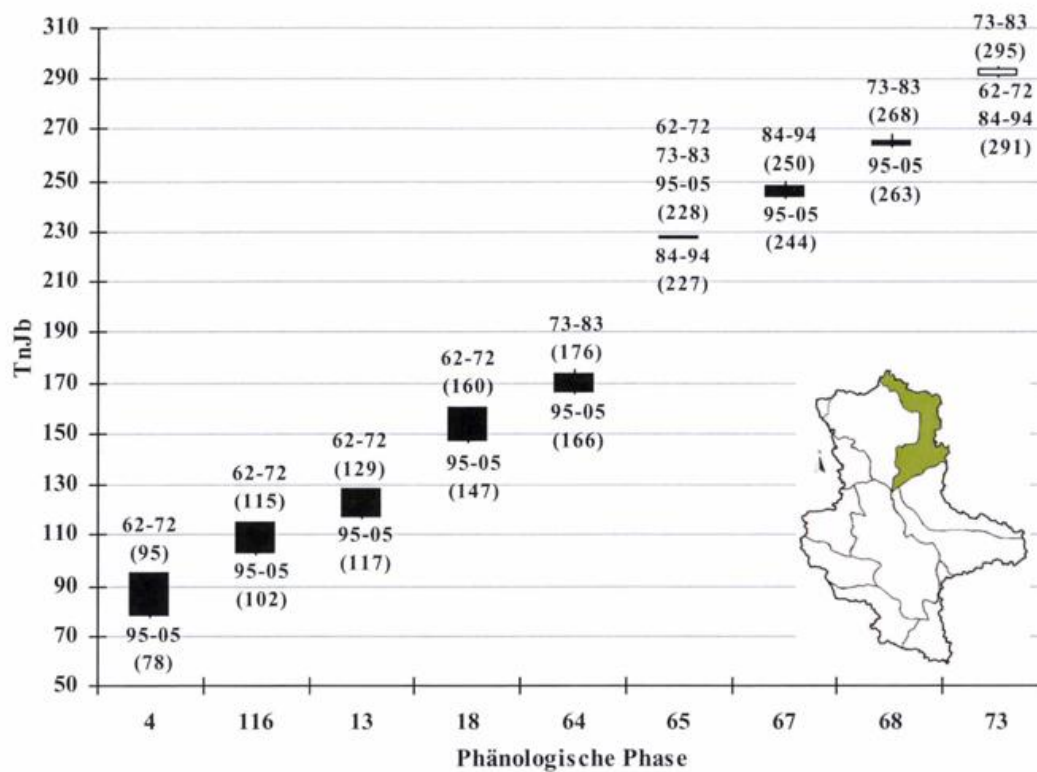


Abb. 45: Phasendiagramm Elbtalniederung.

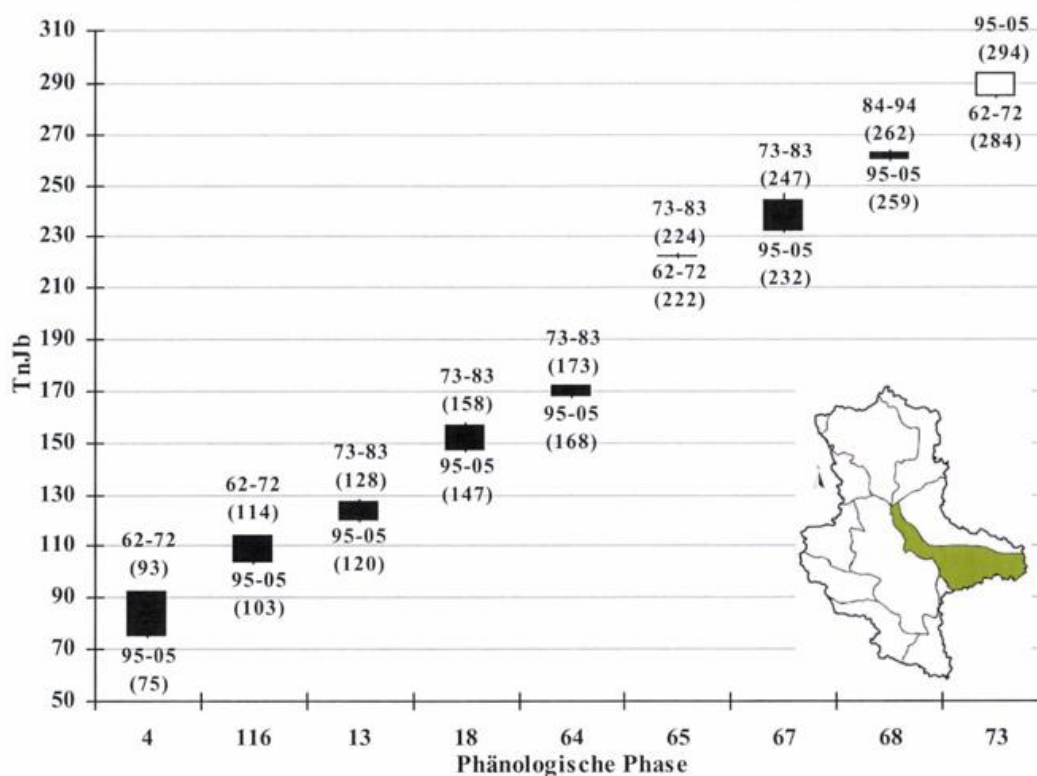


Abb. 46: Phasendiagramm Elbe-Mulde-Tiefland.

Vorfrühling: 4 Sal-Weide (B); Erstfrühling: 116 Löwenzahn (B); Vollfrühling: 13 Stiel-Eiche (BO); Frühsummer: 18 Schwarzer Holunder (B); Hochsummer: 64 Sommer-Linde (B); Spätsommer: 65 Heidekraut (B); Frühherbst: 67 Schwarzer Holunder (F); Vollherbst: 68 Rosskastanie (F); Spätherbst: 73 Stiel-Eiche (BV)

Trendkarten zur Entwicklung der Eintrittstermine (1962-2005) der phänologischen Phasen in den Naturräumen Sachsen-Anhalts

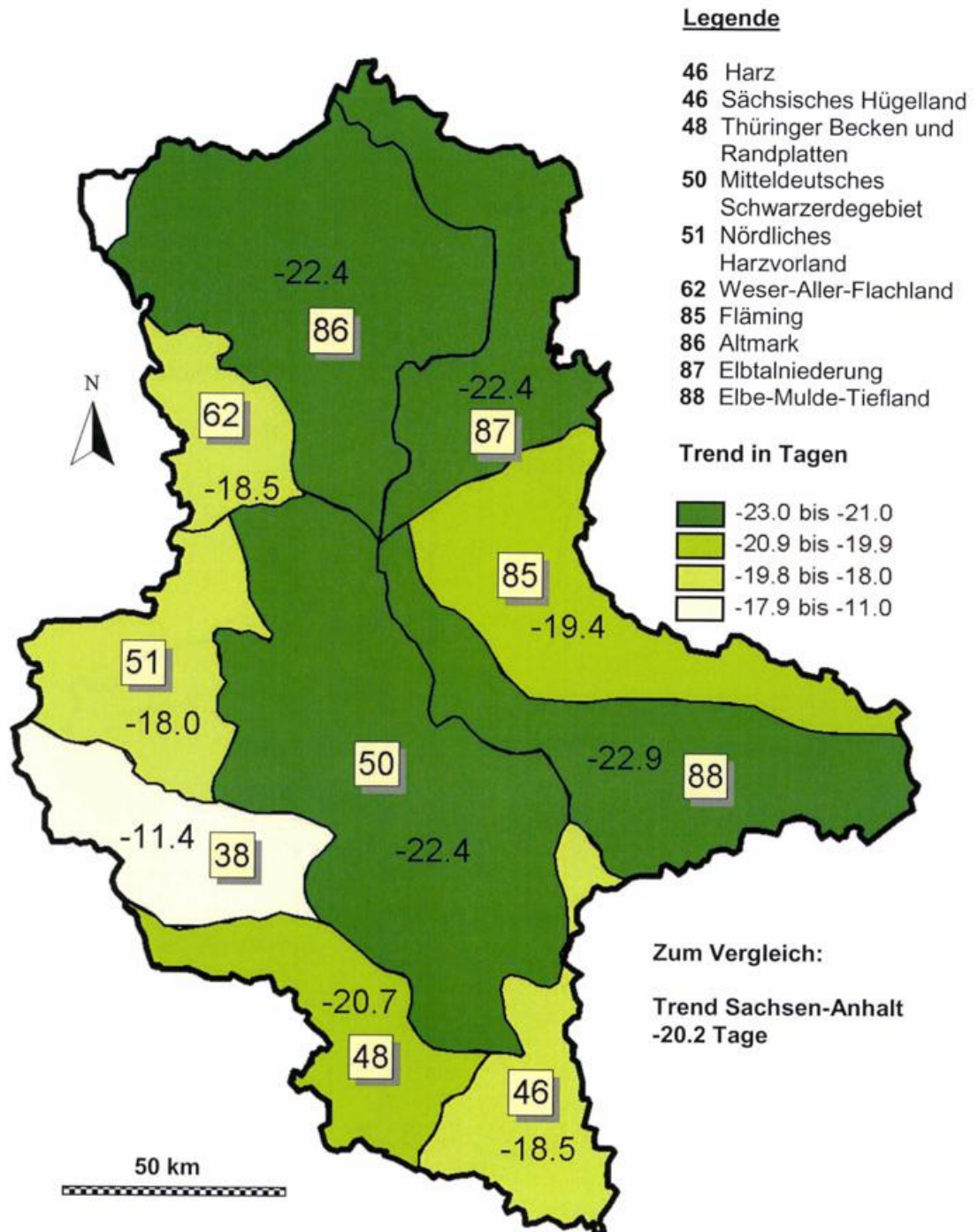


Abb. 47: Veränderungen im Blühbeginn der Sal-Weide in Sachsen-Anhalt 1962-2005, Trend in Tagen.

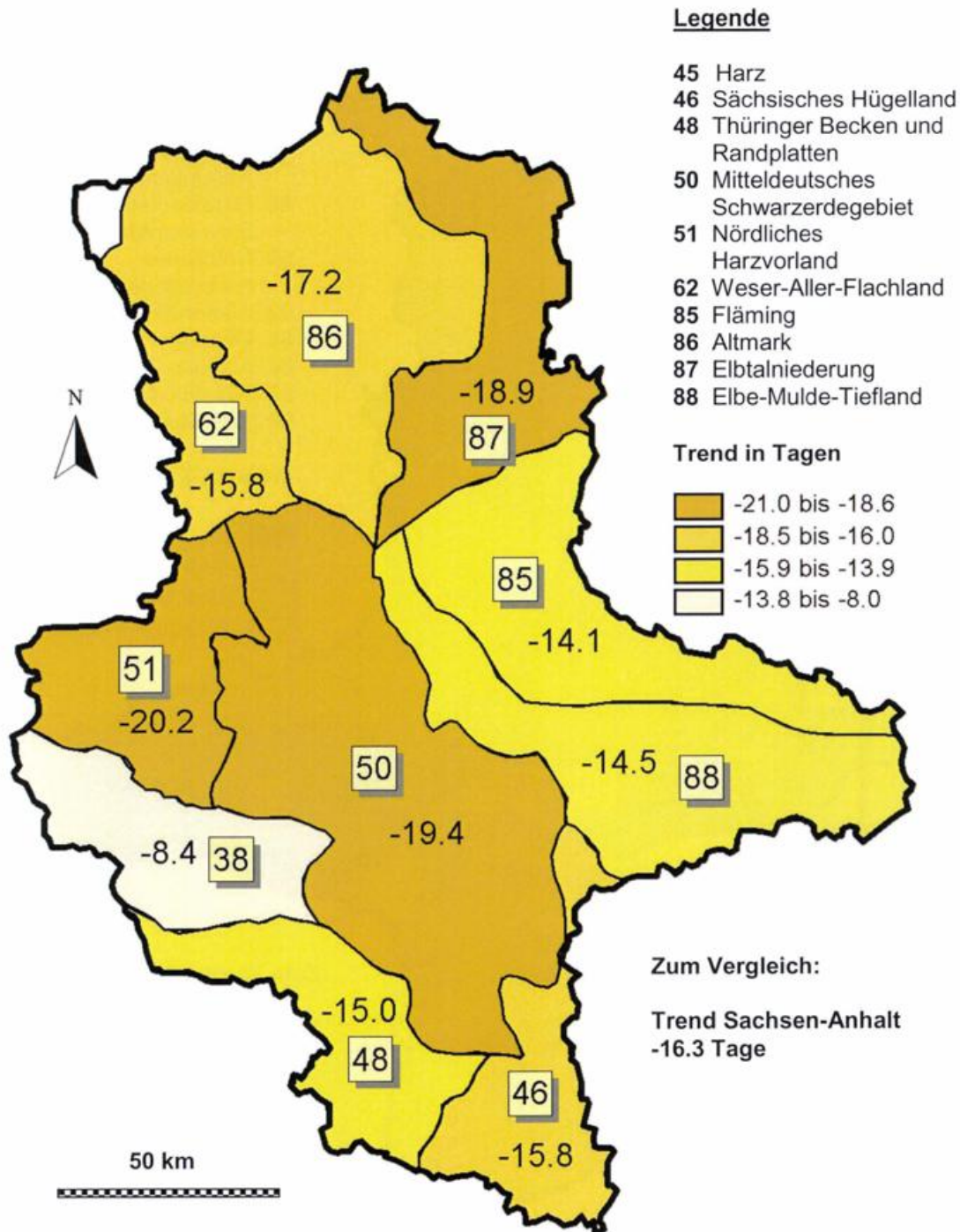


Abb. 48: Veränderungen im Blühbeginn des Löwenzahns in Sachsen-Anhalt 1962-2005, Trend in Tagen.

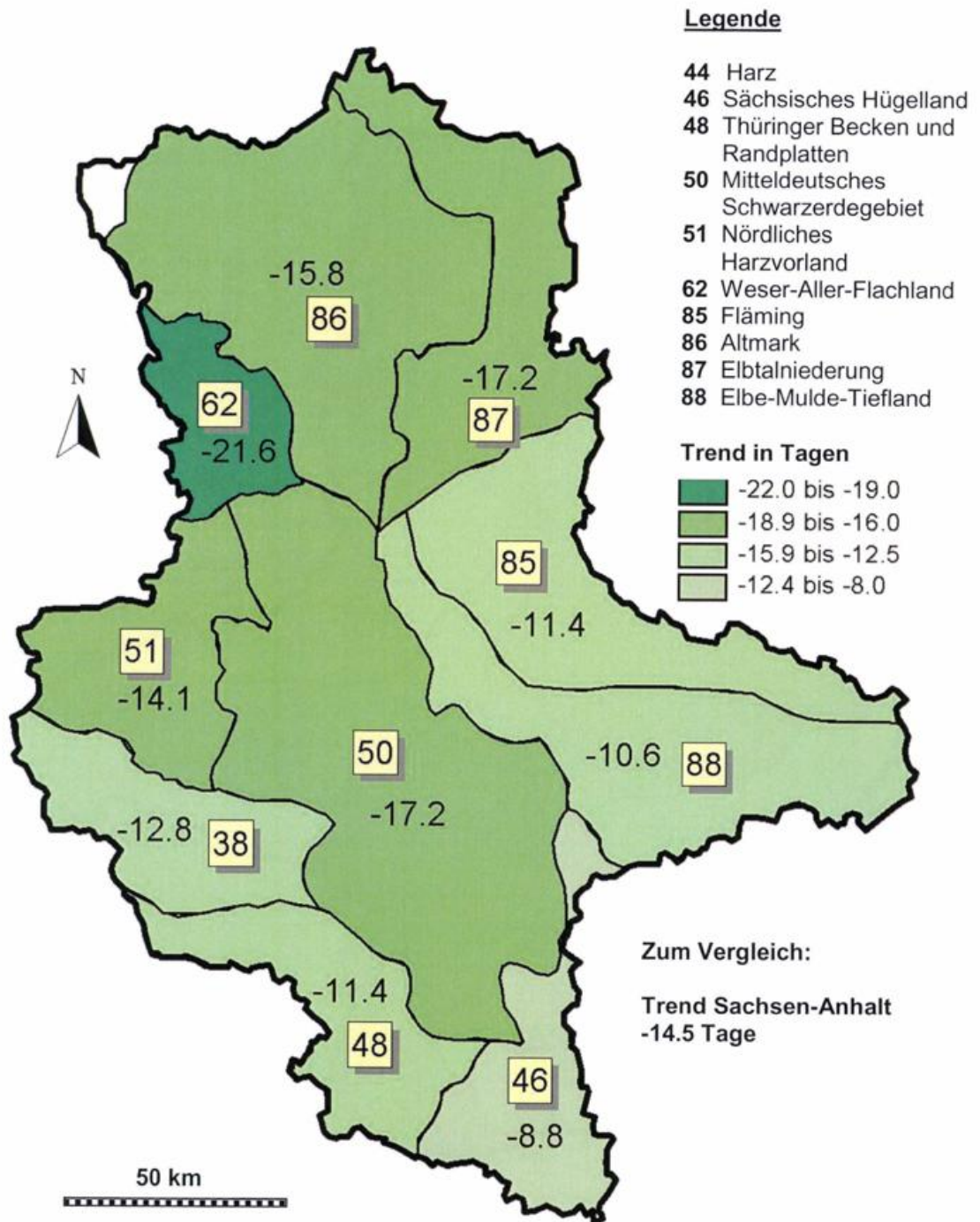


Abb. 49: Veränderungen der Blattentfaltung der Stiel-Eiche in Sachsen-Anhalt 1962-2005, Trend in Tagen.

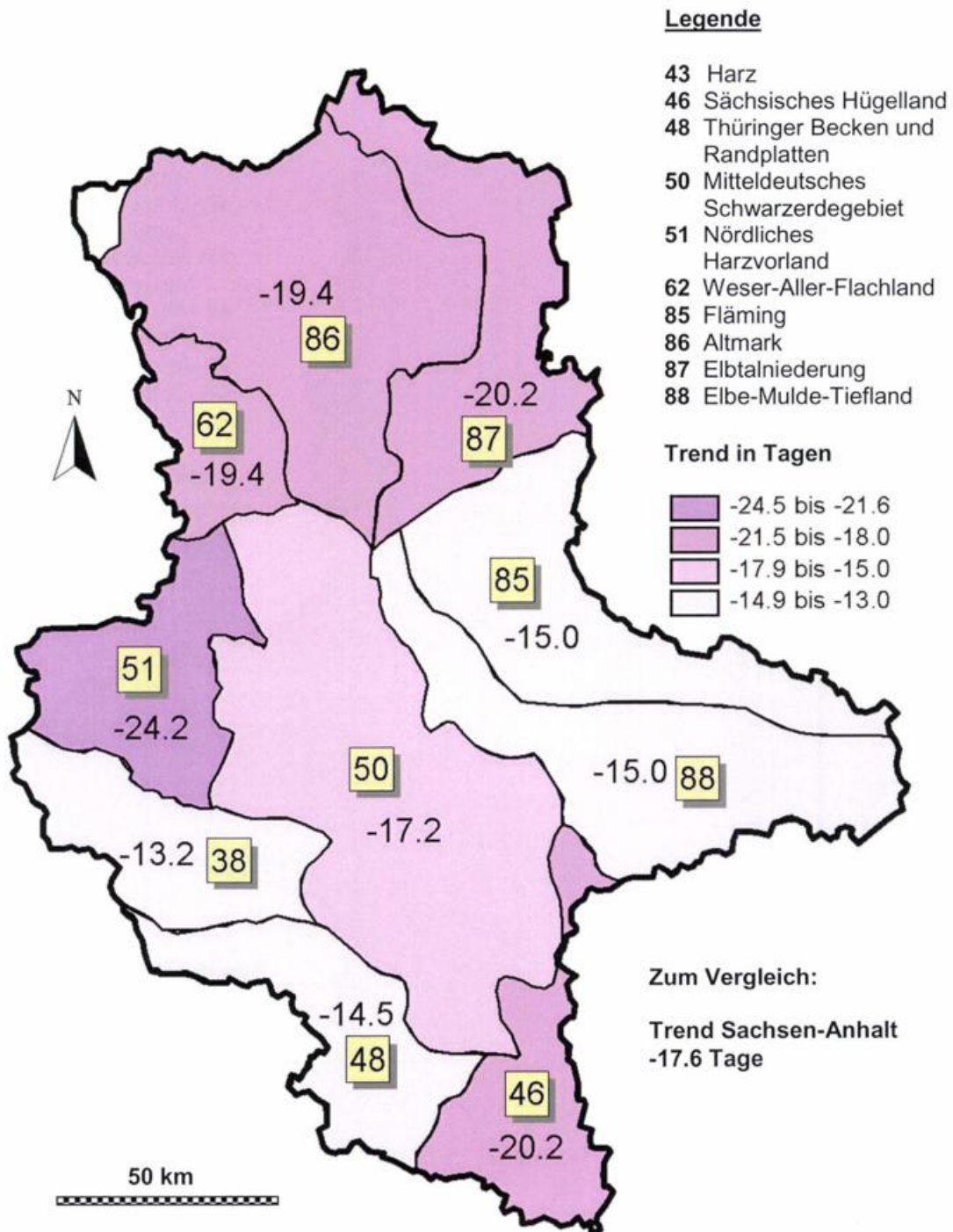


Abb. 50: Veränderungen im Blühbeginn des Schwarzen Holunders in Sachsen-Anhalt 1962-2005, Trend in Tagen.

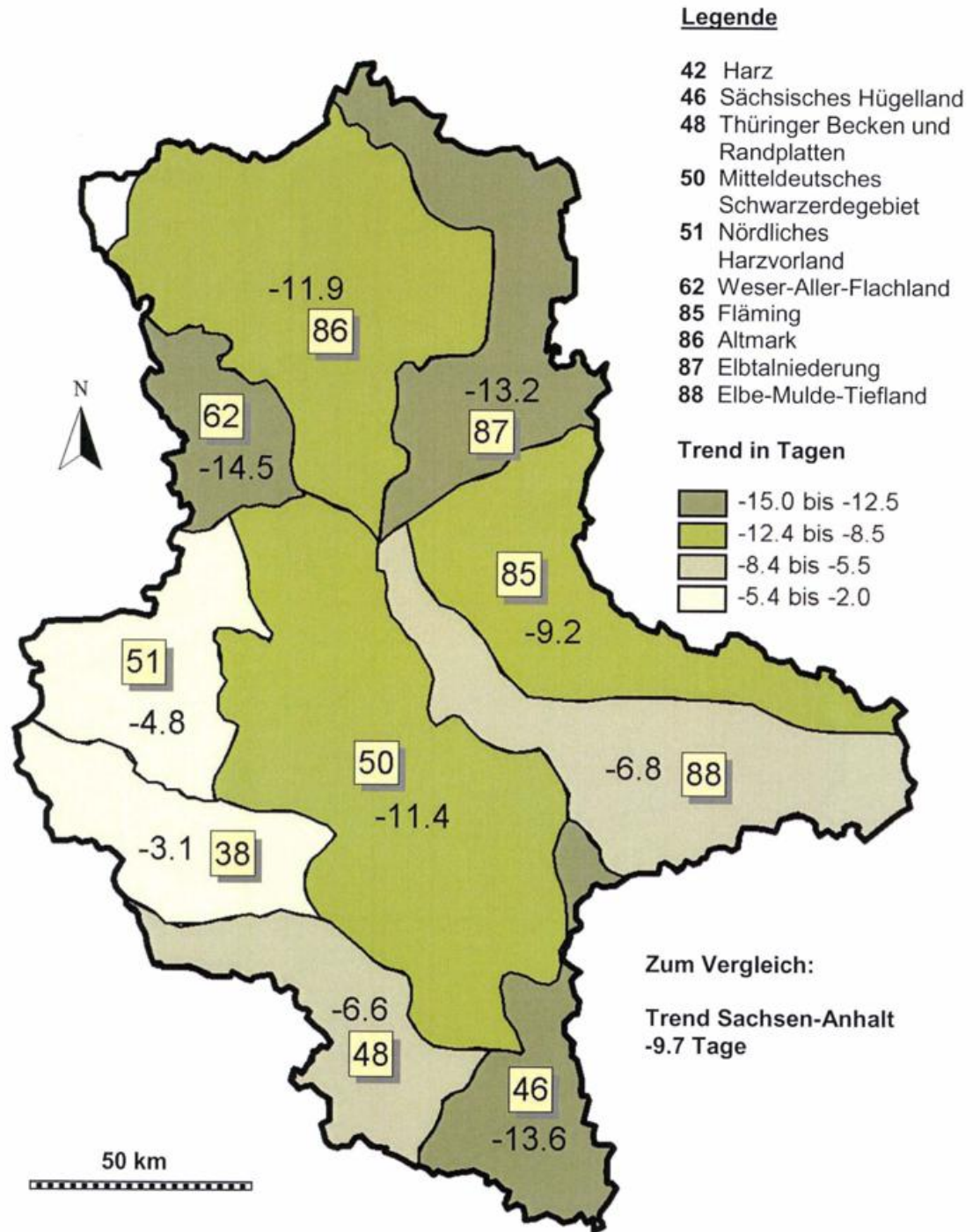


Abb. 51: Veränderungen im Blühbeginn der Sommer-Linde in Sachsen-Anhalt 1962-2005, Trend in Tagen.

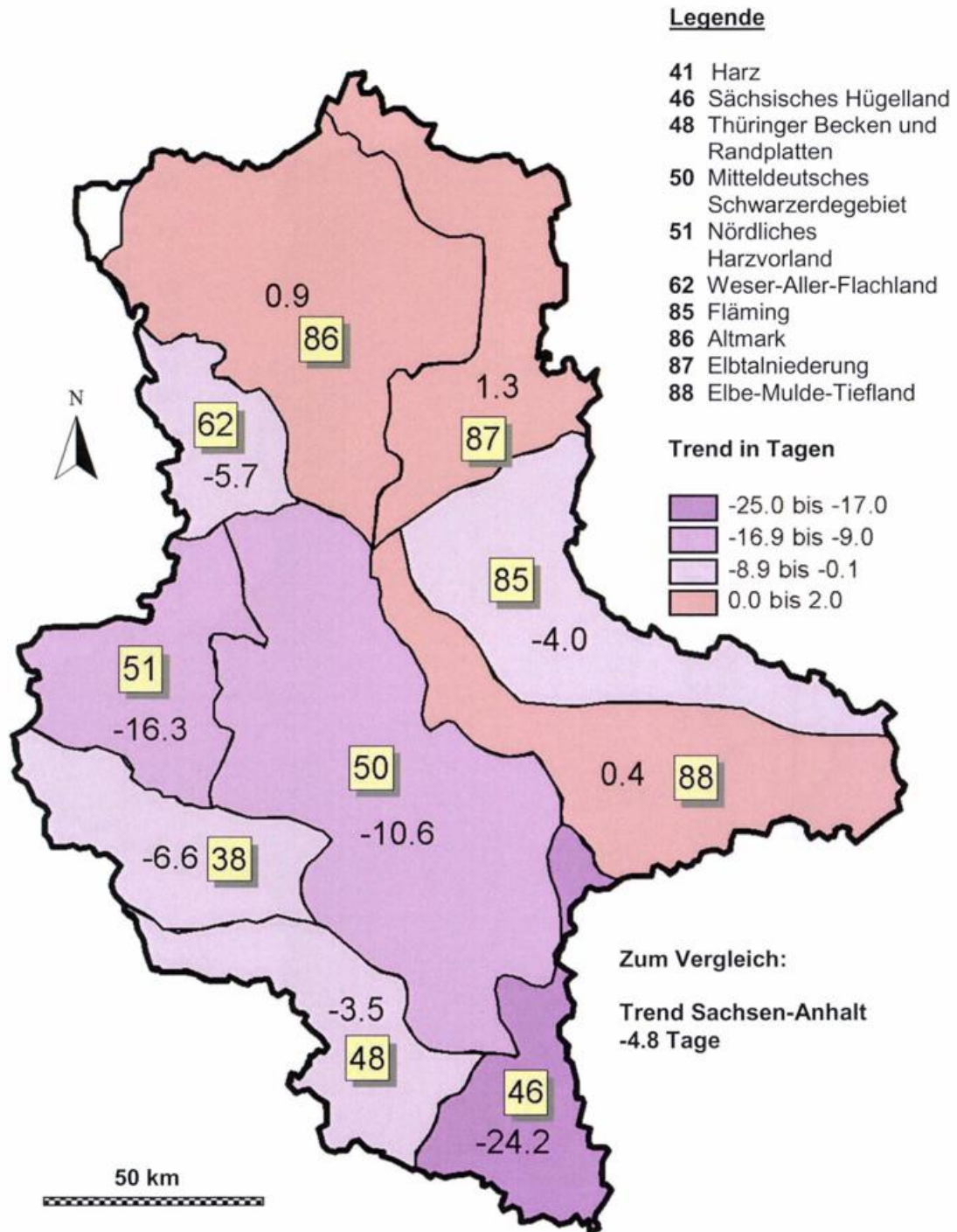


Abb. 52: Veränderungen im Blühbeginn des Heidekrauts in Sachsen-Anhalt 1962-2005, Trend in Tagen.

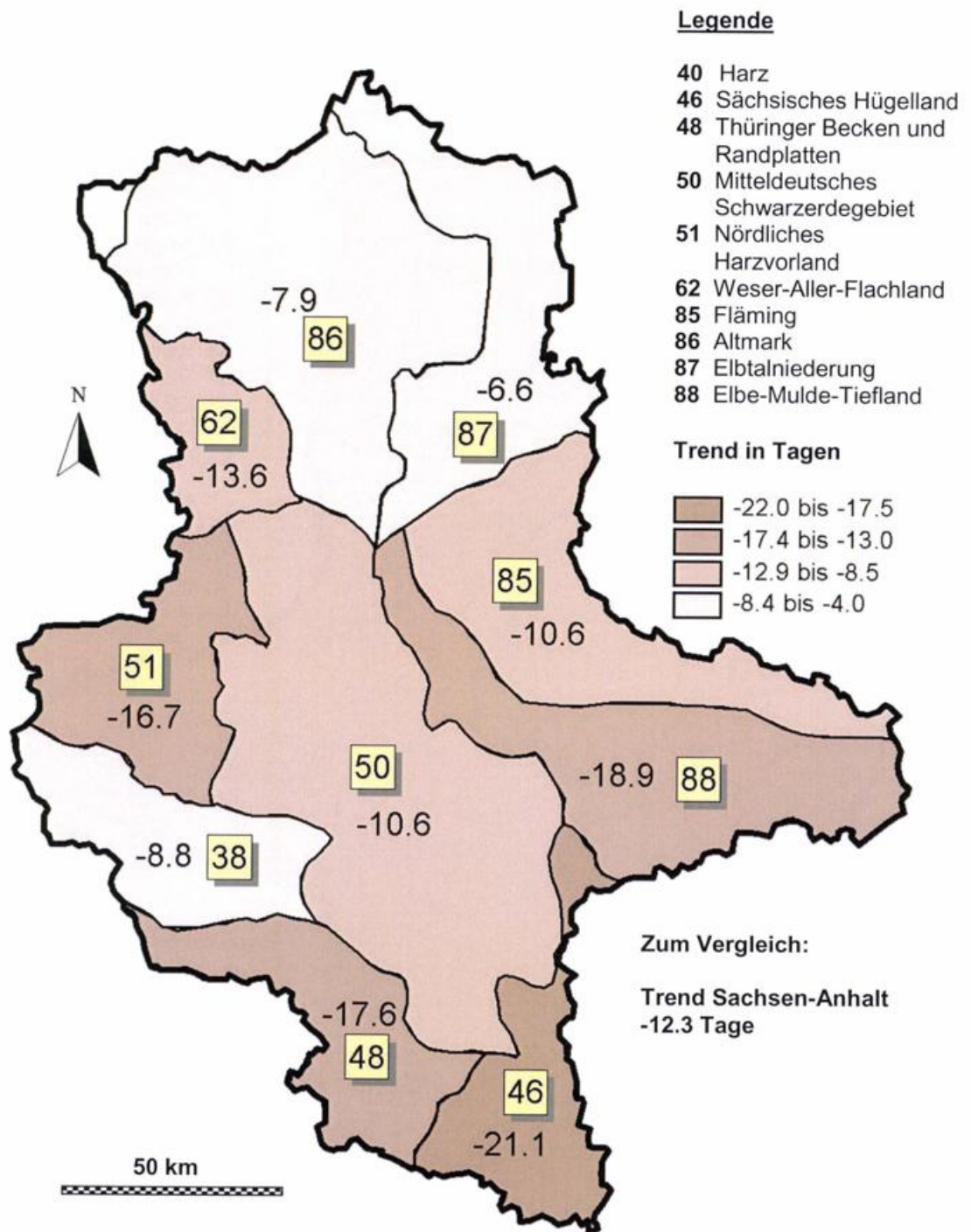


Abb. 53: Veränderungen Auftreten der ersten reifen Früchte beim Schwarzen Holunder in Sachsen-Anhalt 1962-2005, Trend in Tagen.

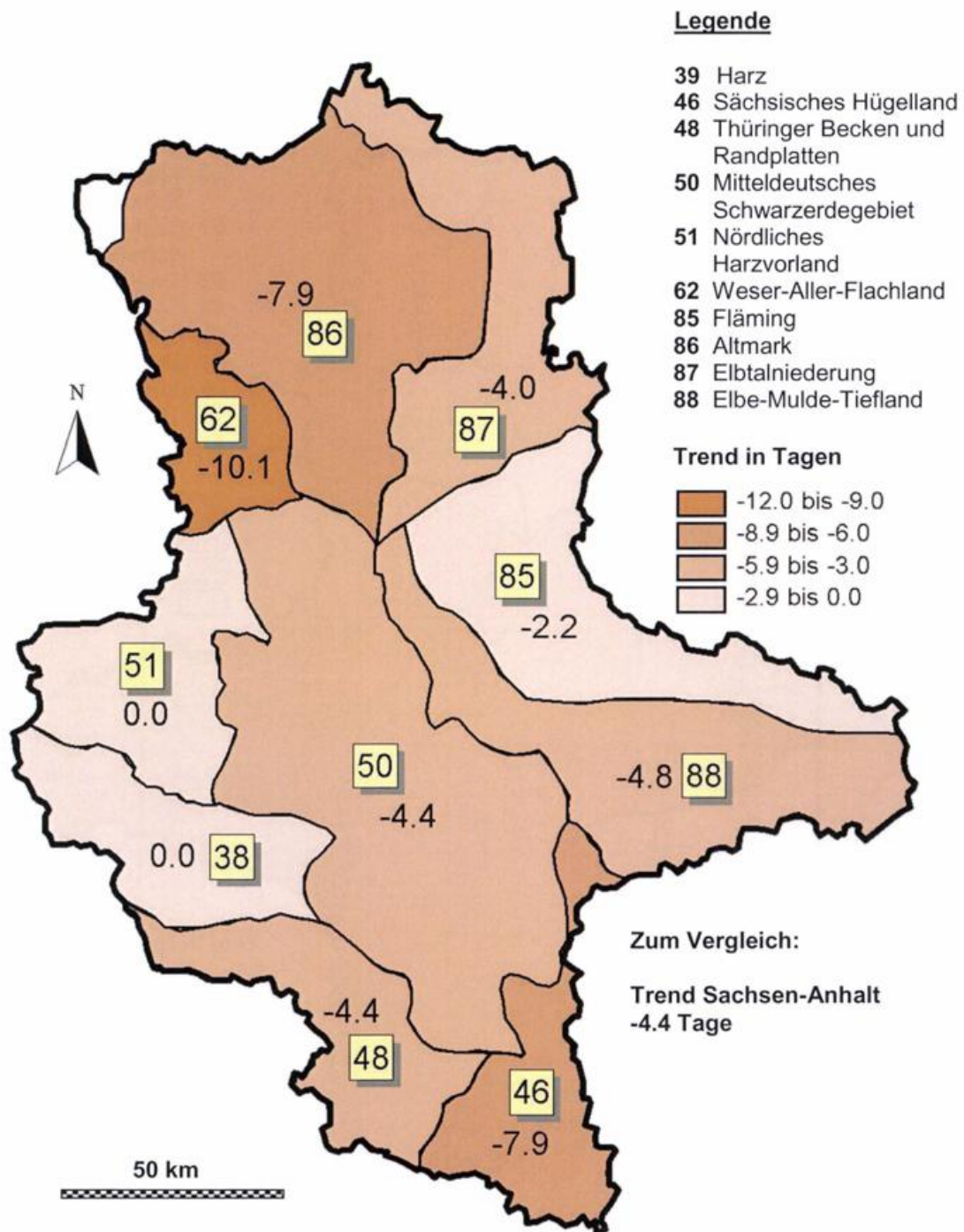


Abb. 54: Veränderungen im Auftreten der ersten reifen Früchte bei der Rosskastanie in Sachsen-Anhalt 1962-2005, Trend in Tagen.

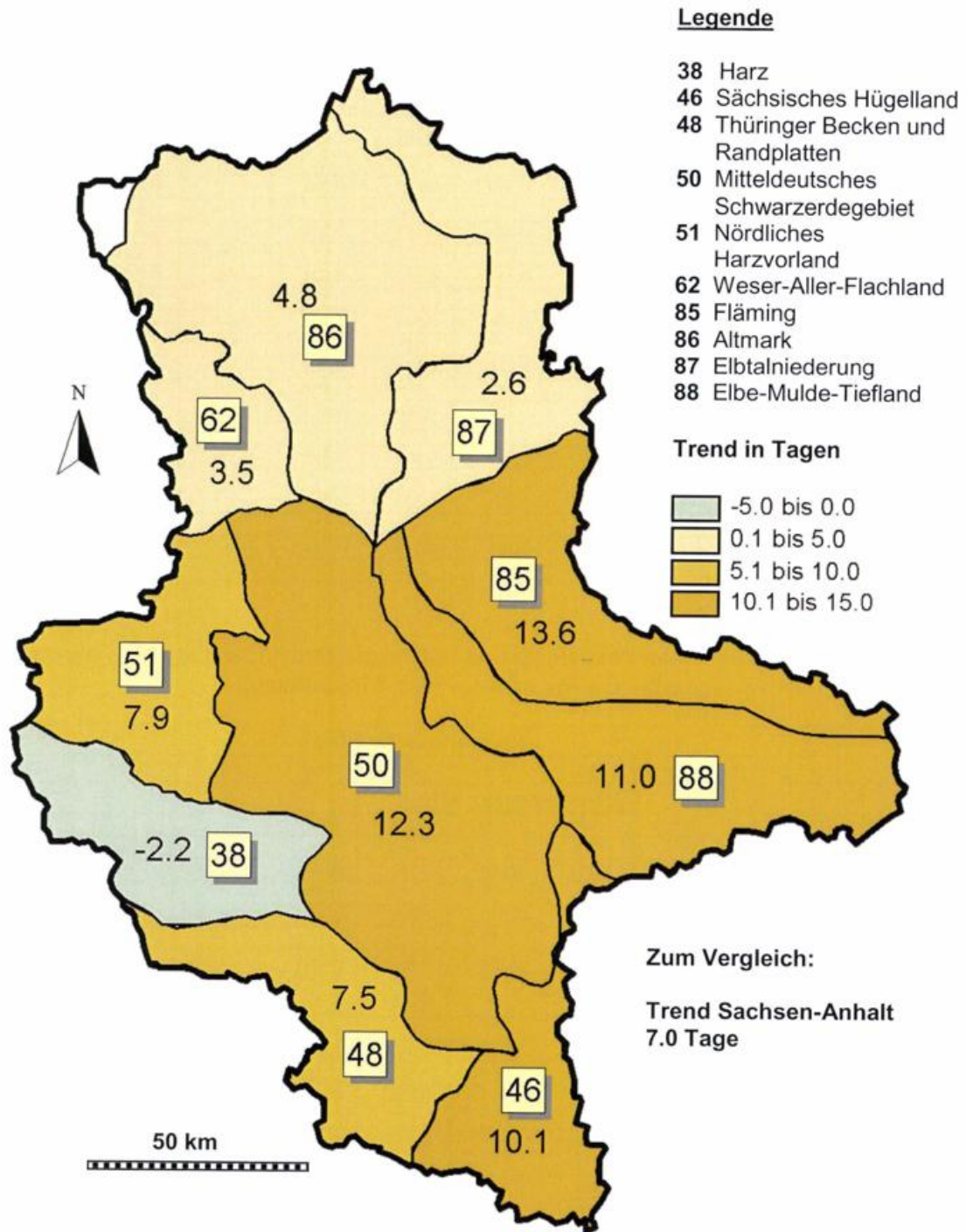


Abb. 55: Veränderungen im Beginn der Blattverfärbung der Stiel-Eiche in Sachsen-Anhalt 1962-2005, Trend in Tagen.

### Korrelationskoeffizienten: Zusammenhänge Pflanzenentwicklung–Lufttemperatur, Niederschläge, Spätfröste

Tab. 22: Korrelationskoeffizienten Phänologie und Lufttemperatur (Monatsmittel)  $x$  ( $N = 13$  Stationen).

		Phänologische Phase								
		4	116	13	18	64	65	67	68	73
		<u>Lufttemperatur Mittel</u>								
Januar	$r$	-0,517	-0,517	-0,354	-0,393	-0,123	-0,290	-0,225	-0,113	0,167
	Sign.	***	***	**	**	n.s.	*	(*)	n.s.	n.s.
Februar	$r$	-0,760	-0,668	-0,376	-0,441	-0,191	-0,276	-0,284	-0,108	0,044
	Sign.	***	***	**	***	n.s.	*	*	n.s.	n.s.
März	$r$	-0,757	-0,752	-0,405	-0,553	-0,343	-0,623	-0,389	-0,212	0,070
	Sign.	***	***	**	***	*	***	**	(*)	n.s.
April	$r$	-0,152	-0,368	-0,743	-0,584	-0,544	-0,352	-0,644	-0,520	-0,021
	Sign.	n.s.	**	***	***	***	**	***	***	n.s.
Mai	$r$	-0,288	-0,290	-0,499	-0,717	-0,834	-0,669	-0,704	-0,829	-0,206
	Sign.	*	*	***	***	***	***	***	***	(*)
Juni	$r$	-0,015	0,025	-0,183	-0,309	-0,566	-0,417	-0,453	-0,595	-0,361
	Sign.	n.s.	n.s.	n.s.	*	***	**	***	***	**
Juli	$r$	-0,215	-0,134	-0,220	-0,229	-0,203	-0,385	-0,251	-0,111	0,235
	Sign.	(*)	n.s.	(*)	(*)	(*)	**	*	n.s.	(*)
August	$r$	-0,509	-0,427	-0,327	-0,374	-0,302	-0,451	-0,316	-0,155	0,441
	Sign.	***	**	*	**	*	***	*	n.s.	***
September	$r$	-0,225	-0,275	-0,162	-0,154	-0,144	-0,286	-0,205	-0,005	0,482
	Sign.	(*)	*	n.s.	n.s.	n.s.	*	(*)	n.s.	***

Tab. 23: Korrelationskoeffizienten Phänologie und Lufttemperatur (Mittel aus zwei bis drei zusammengefassten Monaten),  $x$  ( $N = 13$  Stationen).

		Phänologische Phase								
		4	116	13	18	64	65	67	68	73
		<u>Lufttemperatur Mittel</u>								
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.	***

$r$  = Korrelationskoeffizient nach PEARSON

**Signifikanzen (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 Blüthenfaltung (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)

**Tab. 24: Korrelationskoeffizienten Phänologie und Niederschlag (Mittel aus zwei bis drei zusammengefassten Monaten,  $x$  ( $N = 13$  Stationen)), sowie Spätfröste.**

		Phänologische Phase								
		4	116	13	18	64	65	67	68	73
<b><u>Niederschlagssummen</u></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><u>Spätfrosttage (Halle/Kröllwitz) und Phänologie vom Naturraum 500 (Östliches Harzvorland)</u></b>										
Januar bis Mai	$r$	0,697	0,610	0,370						
	Sign.	***	***	**						

$r$  = Korrelationskoeffizient nach PEARSON

**Signifikanzen (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)