

3 **Auswertung phänologischer Zeitreihen der Metropolregion Hamburg mit Fokus auf die Niedersächsische Elbtalaue**

*Diana Rechid, Manuel Dröse,
Juliane Petersen, Nils Hempelmann*

3.1 **Einleitung**

Die Phänologie beschreibt die im Jahresverlauf periodisch wiederkehrenden Wachstums- und Entwicklungserscheinungen von Pflanzen und Tieren (Lieth 1974) in Beziehung zum Klima (Schnelle 1955). In dieser Studie wird nur die Phänologie von Pflanzen betrachtet. Der jährliche Vegetationszyklus wird durch den Jahresgang des Klimas bestimmt. Die Eigenschaften der Vegetationsdecke beeinflussen wiederum den vertikalen Austausch von Energie, Masse und Impuls zwischen Boden und Atmosphäre und damit das Klima. Die engen Wechselbeziehungen machen die Pflanzenphänologie zu einem Indikator für Klimaänderungen. Damit besitzen langzeitliche Beobachtungen phänologischer Phasen große Bedeutung für die Forschungen zum Klimawandel (Menzel 2002). Es wurden Beobachtungsnetze etabliert und erweitert und in umfangreichen Datenarchiven gesammelt, so zum Beispiel beim Deutschen Wetterdienst (Bruns 2007) und den Internationalen Phänologischen Gärten in Europa (Chmielewski 1996). Zahlreiche Studien untersuchen räumliche und zeitliche Schwankungen und Trends der Pflanzenphänologie in Beziehung zu Klimadaten und zeigen eine Verlagerung der Pflanzenentwicklung zu einem früheren Beginn und einer Verlängerung der Wachstumsperiode im Jahr in Europa (z. B. Menzel 2000, Defila & Clot 2001, Menzel et al. 2001, Ahas et al. 2002, Menzel et al. 2003, Menzel et al. 2006).

In den Studien werden zumeist Pflanzen betrachtet, die allgemein verbreitet sind und auffällige Phaseneintritte besitzen, wie zum Beispiel Beginn der Blattentfaltung, Beginn und Ende der Blüte, erste reife Früchte, Beginn der Blattverfärbung oder Beginn des Blattfalls. Zudem sind langjährige, konsistente, valide Messreihen für mehrere Stationen erforderlich, um zeitliche Entwicklungen an verschiedenen Orten vergleichen zu können. Besonders häufig werden hier die Apfelblüte, die Johannisbeer- oder Süßkirschenreife, der Laubabfall der Rosskastanie und der Stiel-Eiche sowie die Winterroggenblüte/-schnittreife herangezogen.

Die Pflanzenphänologie liefert somit räumliche Informationen über jährlich wiederkehrende Entwicklungsstadien bei Pflanzen (z. B. Öffnung der Knospen, Blühbeginn, Fruchtreife).

Es kann sich in den Eintrittsdaten der verschiedenen Phasen auch eine biologische Reaktion auf den Klimawandel widerspiegeln, denn insbesondere die Temperatur korreliert mit den phänologischen Phasen in den mittleren und hohen Breiten (z. B. Rötzer & Chmielewski 2001).

So wurden in dem norddeutschen Obstbaugebiet im Alten Land an der Forschungsstation Jork seit 1976 ein deutlicher Anstieg der bodennahen Lufttemperatur und eine signifikante Verfrühung der Apfelblüte dokumentiert (Henniges et al. 2007).

Das Ziel der vorliegenden Studie ist die Analyse phänologischer Zeitreihen für die Metropolregion Hamburg, die der Deutsche Wetterdienst (DWD) für phänologische Stationen in der Region für den Zeitraum seit 1951 archiviert und bereitstellt. Es soll untersucht werden, ob und in welcher Größenordnung eine Verschiebung der phänologischen Jahreszeiten als Indikator für die Erwärmung in den letzten Jahrzehnten stattfindet. Die Ergebnisse basieren im Wesentlichen auf der Praktikumsarbeit von M. Dröse, die im Sommer 2013 am Climate Service Center in Hamburg und im Rahmen des KLIMZUG-NORD Projekts durchgeführt wurde (<http://klimzug-nord.de/file.php/2014-01-10-Droese-M.-2013-Praktikumsbericht-Auswertung-phaenolog>). In dieser Zusammenfassung sollen schwerpunktmäßig die Ergebnisse der Stationen Boizenburg im Osten sowie Büchen und Uelzen im Südosten der Metropolregion Hamburg vorgestellt werden.

3.2 Daten und Methoden

Diese Arbeit basiert auf Daten aus dem Beobachtungsprogramm der phänologischen Jahresmelder, dem phänologischen Grundnetz des DWD, für das etwa 1.220 ehrenamtliche Pflanzenbeobachter in Deutschland tätig sind. Sie sind archiviert für den Zeitraum seit 1951 und gehören zur Grundversorgung des DWD. Das Programm der phänologischen Beobachtungen des Deutschen Wetterdienstes enthält 167 Phasen (Entwicklungsstadien).

Diese Phasen sind gut sichtbare Veränderungen der Pflanze als Ausdruck eines Wechsels in ihrem physiologischen Zustand. An ausgewählten Bäumen, Sträuchern und Stauden werden z. B. Blattentfaltung, Blüte, Fruchtreife und Laubverfärbung beobachtet; bei landwirtschaftlichen Kulturpflanzen werden neben ausgesuchten Entwicklungsstadien auch Daten zu Bestellung und Ernte erhoben. Das Jahr kann in sogenannte phänologische Jahreszeiten

Tab. 3.1: Leit- und Ersatzphasen der phänologischen Jahreszeiten (Quelle: www.dwd.de)

Phänologische Jahreszeit	Leitphase	Ersatzphase
Vorfrühling	Haselnuss (Blüte)	Schneeglöckchen (Blüte)
Erstfrühling	Forsythie (Blüte)	Stachelbeere (Blattentfaltung)
Vollfrühling	Apfel (Blüte)	Stiel-Eiche (Blattentfaltung)
Frühsommer	Schwarzer Holunder (Blüte)	Robinie (Blüte)
Hochsommer	Sommer-Linde (Blüte)	Rote Johannisbeere (Fruchtreife)
Spätsommer	Frühapfel (Fruchtreife)	Eberesche (Fruchtreife)
Frühherbst	Schwarzer Holunder (Fruchtreife)	Kornelkirsche (Fruchtreife)
Vollherbst	Roskastanie (Fruchtreife)	Stiel-Eiche (Fruchtreife)
Spätherbst	Stiel-Eiche (Blattverfärbung)	Eberesche (Blattfall)
Winter	Stiel-Eiche (Blattfall)	1. Apfel, spätreifend (Blattfall) 2. Europäische Lärche (Nadelfall)

eingeteilt werden, die jeweils durch phänologische Leitphasen bestimmter Pflanzenarten gekennzeichnet sind (vgl. Tab. 3.1, Quelle: Deutscher Wetterdienst, www.dwd.de).

Die Beobachtungsdaten des phänologischen Grundnetzes werden seit 1951 jeweils am Ende der Vegetationsperiode vom Deutschen Wetterdienst erfasst und archiviert. Die Jahresmittelwerte der wichtigsten Phasen für die 85 deutschen Naturraumgruppen werden im Deutschen Meteorologischen Jahrbuch veröffentlicht. Das Deutsche Meteorologische Jahrbuch ist seit 1953 beim Deutschen Wetterdienst erhältlich.

Die phänologischen Daten für die Metropolregion Hamburg wurden im Rahmen von KLIMZUG-NORD vom DWD bereitgestellt. Im ersten Schritt wurden die Stationsdaten in eine MySQL-Datenbank eingepflegt. Um die Entwicklung der Eintrittsdaten zu untersuchen, wurden zunächst geeignete Standorte identifiziert, für die langjährige Messreihen geprüfter Daten vorliegen. Zusätzlich wurde darauf geachtet, dass die Standorte homogen in der Metropolregion verteilt sind, sodass eventuell auch regionale Unterschiede erkennbar werden.

Mithilfe des Datenbankverwaltungssystems wurden Standorte ausgewählt, die insgesamt besonders viele phänologische Daten enthalten (meist über 7.000). Im nächsten Schritt wurde überprüft, ob für die einzelnen Phasen ausreichend Datenmaterial vorhanden ist, wobei besonders darauf geachtet wurde, dass die Messreihen spätestens Anfang der 1970er-Jahre, bestenfalls in den 1960er- oder 1950er-Jahren beginnen und optimalerweise lückenlos bis in das neue Jahrtausend reichen. Abbildung 3.1 zeigt alle Standorte, für die in der Datenbank phänologische Daten vorliegen. Die Größe der Punkte ist dabei

direkt proportional zur Menge der Daten an einem Ort. Auffällig ist die relativ schlechte Datenlage in der Stadt Hamburg. Einzig die Station Hamburg-Lombardsbrücke hat eine gute Zeitreihe der Forsythienblüte.

Zum einen wurden Zeitreihen für räumliche Mittel ausgewertet, in denen Daten aller Stationen für die Metropolregion Hamburg eingehen. Für jedes Jahr wurden der Median des Eintrittsdatums der jeweiligen Phase und zusätzlich die Perzentile, innerhalb derer 90 % bzw. 30 % der Daten liegen, errechnet und für die Jahre 1951 - 2011 aufgetragen. Dabei sind für die meisten Phasen für jedes Jahr Daten von etwa 200 - 300 Stationen vorhanden. Des Weiteren wurde ein linearer Fit zur Trendanalyse eingezeichnet, um festzustellen ob, und wenn ja, um wie viele Tage pro Jahr bzw. Jahrzehnt sich die phänologische Phase in dem entsprechenden Zeitraum verschoben hat.

Für die rot markierten Stationen wurden ausgewählte Zeitreihen im Einzelnen untersucht, davon werden hier Ergebnisse für die Stationen Boizenburg (53° 24' N, 10° 41' O), Büchen (53° 29' N, 10° 38' O) und Röhrsen (52° 48' N, 10° 38' O) sowie zudem für die Station Uelzen (52° 58' N, 10° 34' O) ausgewertet. Für diese Untersuchung wurde das Eintrittsdatum einer bestimmten Phase für die letzten Jahrzehnte aufgetragen und der Trend zwischen 1960 und 2011 und zwischen 1991 und 2011 ermittelt. Dort, wo die Daten nicht bis ins Jahr 1960 zurückreichen, wurde stattdessen der Trend zwischen dem ersten zur Verfügung stehenden Jahr und 2011 verwendet. In der Datenquelle waren weder über die Winter-Leitphase (Blattfall der Stiel-Eiche) noch über die Winter-Ersatzphasen genügend Daten vorhanden, sodass über das Eintrittsdatum des phänologischen Winters keine Informationen gewonnen werden konnten.

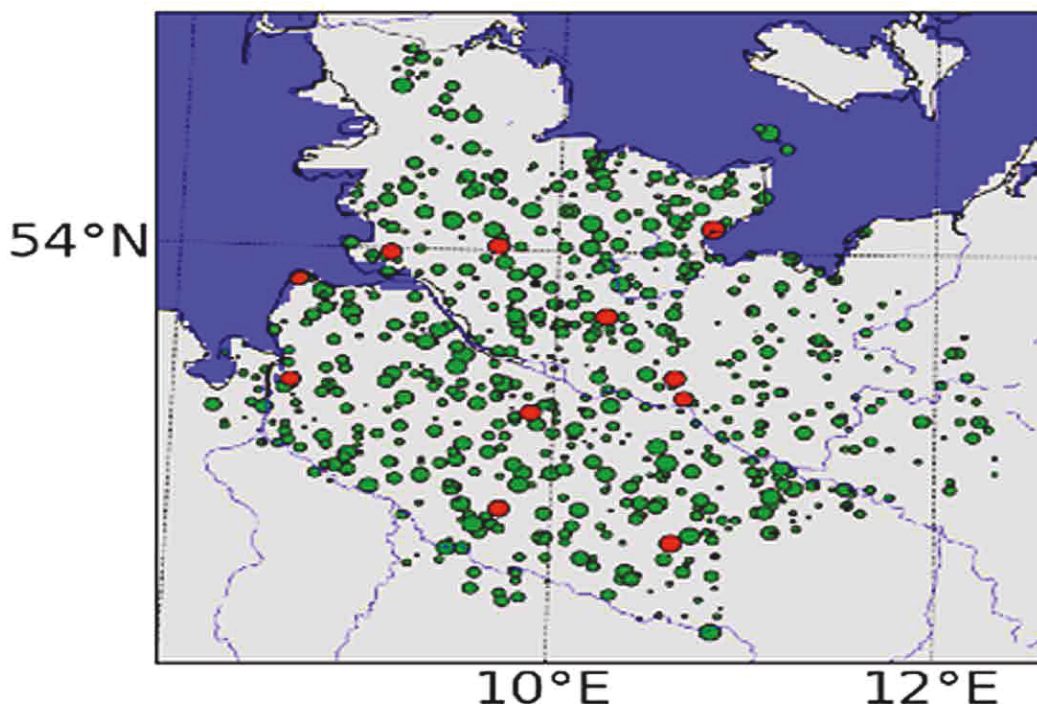


Abb. 3.1: Karte mit der Verteilung der phänologischen Stationen in der Metropolregion Hamburg

3.3 Phänologische Zeitreihen für das Gebietmittel der Metropolregion Hamburg

In den folgenden Abbildungen wird jeweils der Tag im Jahr, an dem eine phänologische Entwicklungsphase eintrat, für die letzten Jahrzehnte aufgetragen. Dabei entspricht Tag 1 dem 1. Januar. Die rote Linie stellt den Median dar, im dunkelgrauen Bereich befinden sich 30 %, im hellgrauen Bereich 90 % der Daten. Mit dieser Darstellungsform wird neben dem zeitlichen Verlauf des örtlichen Mittelwerts die räumliche Variabilität in der Untersuchungsregion sichtbar. Die blaue gestrichelte Gerade gibt den linearen Trend an. M ist die Steigung der Trendgeraden. $M = -0,5$ z. B. würde bedeuten, dass die Phase von 1951 bis 2011 im Mittel pro Jahr etwa 0,5 Tage, somit pro Jahrzehnt etwa 5 Tage, früher eintritt.

Für den Frühling wurden folgende phänologische Entwicklungsphasen untersucht: Blüte des Schneeglöckchens für den Vorfrühling (vgl. Abb. 3.2), Blühtentfaltung der Stachelbeere für den Erstfrühling (ohne Abbildung)

und Apfelblüte für den Vollfrühling (vgl. Abb. 3.3). Es fällt auf, dass alle Phasen früher im Jahr eintreten. Die Phase des Vorfrühlings tritt etwa 10,3 Tage, die Phase des Erstfrühlings rund 13,7 Tage und die des Vollfrühlings etwa 14,3 Tage früher ein als vor 60 Jahren. Der Beginn der Schneeglöckchenblüte zeigt im Vergleich zur Apfelblüte eine hohe räumliche Variabilität, was auf einen größeren Einfluss der lokalen standortspezifischen Klimabedingungen hinweist.

Für die verschiedenen Phasen des Sommers wurden folgende phänologische Indikatoren untersucht: Holunderblüte für den Frühsommer (vgl. Abb. 3.4), Johannisbeerreife für den Hochsommer (ohne Abbildung) und Apfelreife für den Spätsommer (vgl. Abb. 3.5). Auch im Sommer setzen alle betrachteten Entwicklungsphasen früher ein. Die Phase des Frühsommers tritt etwa 16,7 Tage, die Phase des Hochsommers rund 14,2 Tage und

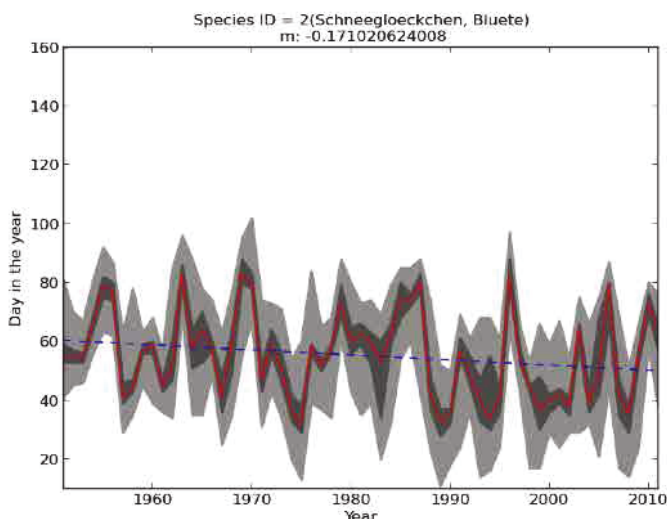


Abb. 3.2: Beginn der Schneeglöckchenblüte in der Metropolregion Hamburg 1951 - 2011: Median (rot), 30 % (dunkelgrau), 90 % (hellgrau) aller Stationen und linearer Trend (blau gestrichelt)

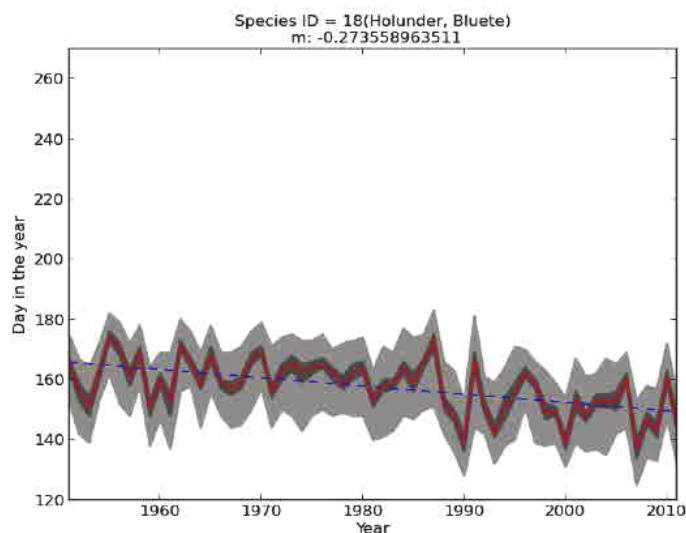


Abb. 3.4: Beginn der Holunderblüte in der Metropolregion Hamburg 1951 - 2011: Median (rot), 30 % (dunkelgrau), 90 % (hellgrau) aller Stationen und linearer Trend (blau gestrichelt)

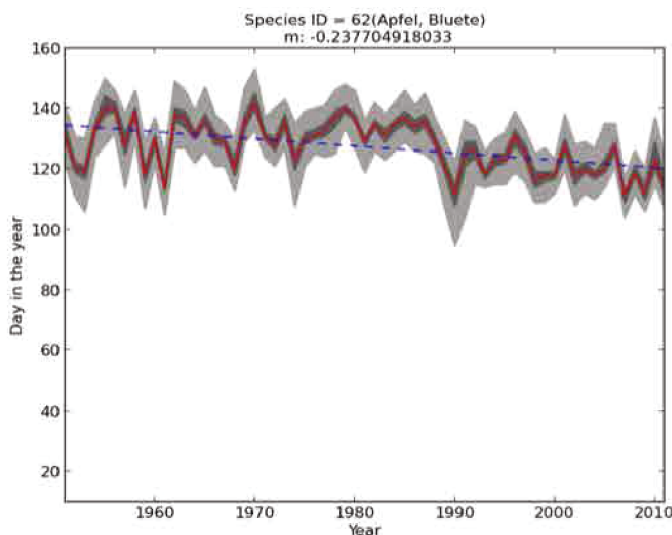


Abb. 3.3: Beginn der Apfelblüte in der Metropolregion Hamburg 1951 - 2011: Median (rot), 30 % (dunkelgrau), 90 % (hellgrau) aller Stationen und linearer Trend (blau gestrichelt)

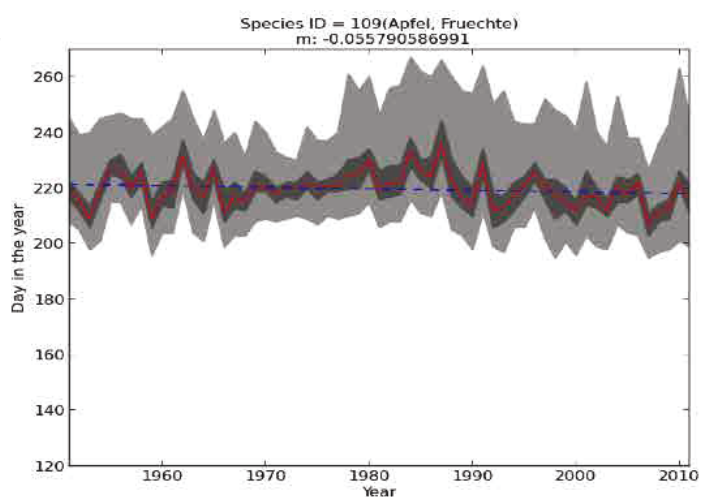


Abb. 3.5: Beginn der Apfelreife (frühreifend) in der Metropolregion Hamburg 1951 - 2011: Median (rot), 30 % (dunkelgrau), 90 % (hellgrau) aller Stationen und linearer Trend (blau gestrichelt)

die des Spätsommers etwa 3,3 Tage früher ein als vor 60 Jahren. Im Vergleich ist der Trend der Apfelreife relativ gering, hierbei zeigen sich zudem die größten räumlichen Unterschiede in der Untersuchungsregion.

Für die verschiedenen Phasen des Herbstes wurden folgende phänologische Indikatoren untersucht: Holunderfruchtreife für den Frühherbst (vgl. Abb. 3.6), Rosskastanienreife für den Vollherbst (ohne Abbildung) und die Blattverfärbung der Stiel-Eiche für den Spätherbst (vgl. Abb. 3.7). Es zeigt sich, dass die Phase des Frühherbstes etwa 15,3 Tage früher, die Phase des Spätherbstes dagegen rund 6,2 Tage später eintritt als vor 60 Jahren. Die Phase des Vollherbstes tritt etwa 5,8 Tage eher ein als vor 60 Jahren.

Die phänologischen Leitphasen, die mit diesen Indikatoren analysiert wurden, haben sich in den letzten 60 Jahren verändert. Während sich die Zeit von der Schneeglöckchenblüte bis zur Holunderblüte (der phänologische

Frühling) insgesamt um etwa 6,4 Tage, also eine knappe Woche, verkürzt hat, hat sich die Zeit von der Holunderblüte bis zur Fruchtreife des Holunders (phänologischer Sommer) kaum verändert (+1,4 Tage). Für den phänologischen Herbst kann keine Angabe in Tagen gemacht werden, da keine Daten für den Winterbeginn vorlagen. Da der Frühherbst um 15,3 Tage verfrüht eintritt und der Spätherbst um 6,2 Tage verspätet beginnt, ist die Phase des phänologischen Herbstes verlängert. Somit hat sich die Phase des phänologischen Winters (Blattfall der Stiel-Eiche bis zur Schneeglöckchenblüte), genauso wie der Frühling, verkürzt.

Für alle phänologischen Entwicklungsphasen gut zu sehen ist die große Variabilität des Eintrittsdatums in den einzelnen Jahren. Das spiegelt die Variabilität des Klimas von Jahr zu Jahr wider. Zugleich ist der langfristige Trend über die letzten Jahrzehnte betrachtet ein sichtbarer Indikator für Änderungen des mittleren Klimas in der Region.

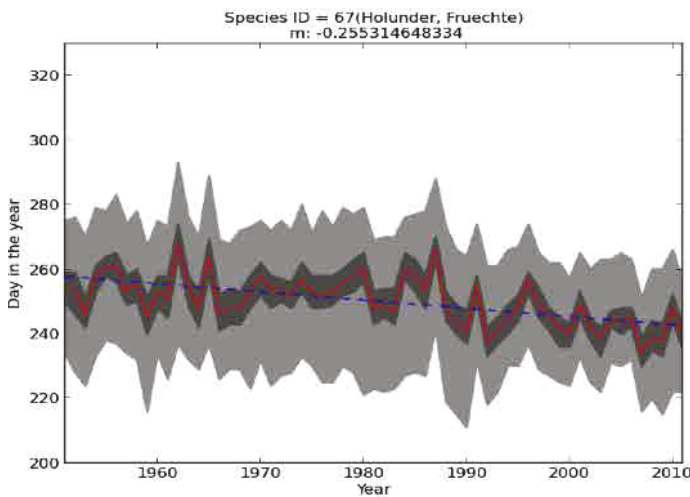


Abb. 3.6: Beginn der Fruchtreife des Holunders in der Metropolregion Hamburg 1951 - 2011: Median (rot), 30 % (dunkelgrau), 90 % (hellgrau) aller Stationen und linearer Trend (blau gestrichelt)

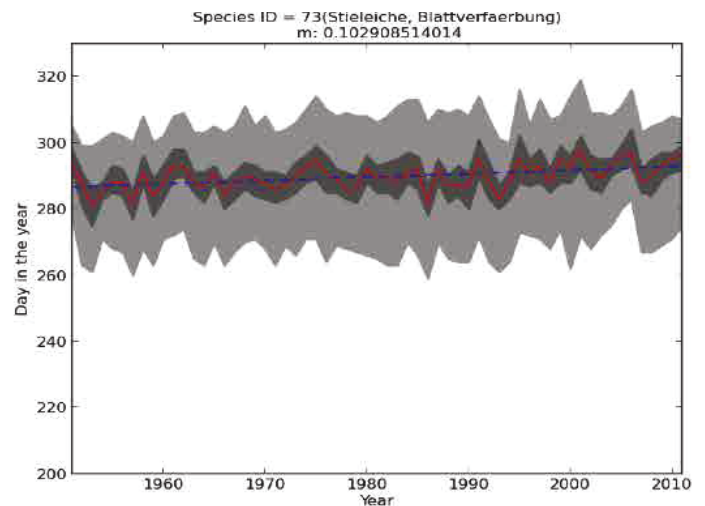


Abb. 3.7: Beginn der Blattverfärbung der Stiel-Eiche in der Metropolregion Hamburg 1951 - 2011: Median (rot), 30 % (dunkelgrau), 90 % (hellgrau) aller Stationen und linearer Trend (blau gestrichelt)

3.4 Zeitreihen ausgewählter phänologischer Phasen für einzelne Stationen im Südosten der Metropolregion Hamburg

Es wurden Zeitreihen einiger phänologischer Phasen für einzelne Stationen in der Metropolregion Hamburg untersucht, von denen hier exemplarisch Eintrittsdaten für die Stationen Boizenburg, Büchen und Uelzen vorgestellt werden. Zudem wurde der lineare Trend zwischen 1960 und 2011 (m60) und zwischen 1991 und 2011 (m90) ermittelt.

Der Beginn der Schneeglöckchenblüte als Indikator für den Vorfrühling zeigt an den Stationen Boizenburg (vgl. Abb. 3.8) und Uelzen (vgl. Abb. 3.9) langfristig (1960 - 2011) einen negativen Trend. Der kurzfristige Trend für 1991 - 2011 hingegen ist an der Station Boizenburg positiv, an der Station Uelzen negativ. Die Schwankungen des Eintrittsdatums von Jahr zu Jahr sind teilweise groß und betragen an der Station Boizenburg in dem betrachteten Zeitraum bis zu etwa 40 Tage, an der Station Uelzen bis zu etwa ca. 60 Tage.

Es wurde für insgesamt zehn Stationen die phänologische Phase Vorfrühling mit der Schneeglöckchenblüte betrachtet: Büchen, Lockstedt, Uelzen, Stotel, Bargtheide, Boizenburg, Bad Fallingbostal, St. Michaelisdonn, Röhrsen und Cuxhaven-Sahlenburg. An allen zehn Standorten ist der langfristige Trend negativ, also hin zu einer Verfrühung des Blütebeginns des Schneeglöckchens. Der kurzfristige Trend 1990 - 2011 ist an den Stationen Büchen und Lockstedt neutral (weniger als 1 Tag Änderung pro Jahrzehnt), in Uelzen und Stotel negativ und an den restlichen Standorten positiv, also gegen den langfristigen Trend gerichtet. Dabei ist keine regionale Struktur erkennbar.

Die Blattverfärbung der Stiel-Eiche als Indikator für den Spätherbst an der Station Boizenburg (vgl. Abb. 3.10) und an der Station Röhrsen (vgl. Abb. 3.11) beginnt langfristig betrachtet (1960 bis 2011) immer später im

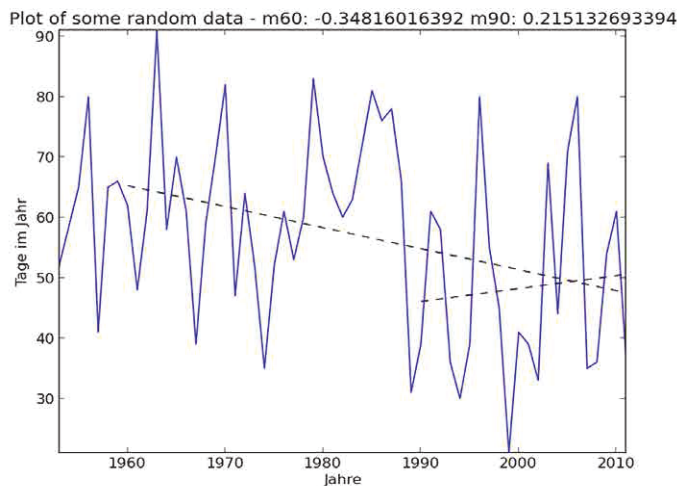


Abb. 3.8: Station Boizenburg: Beginn der Schneeglöckchenblüte 1951 - 2011 und lineare Trends 1960 - 2011 und 1991 - 2011

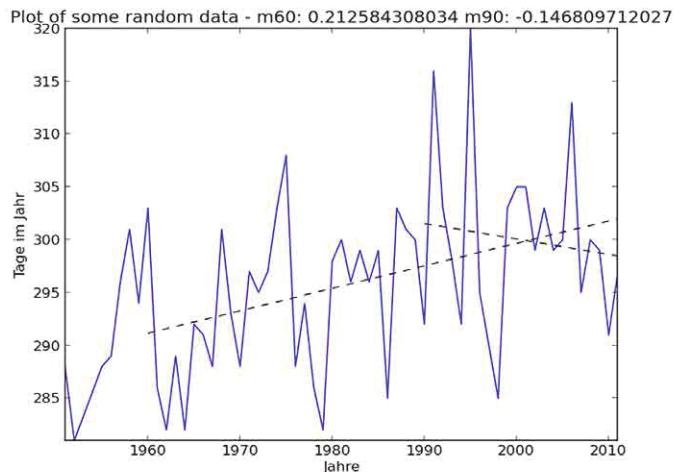


Abb. 3.10: Station Boizenburg: Beginn der Blattverfärbung der Stiel-Eiche 1951 - 2011 und lineare Trends 1960 - 2011 und 1991 - 2011

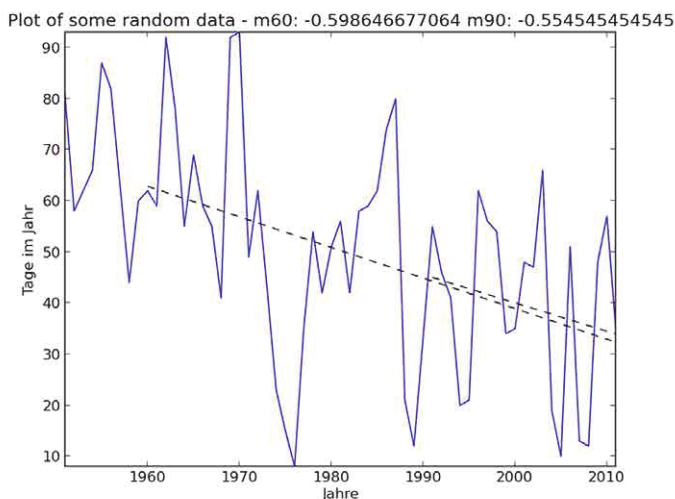


Abb. 3.9: Station Uelzen: Beginn der Schneeglöckchenblüte 1951 - 2011 und lineare Trends 1960 - 2011 und 1991 - 2011

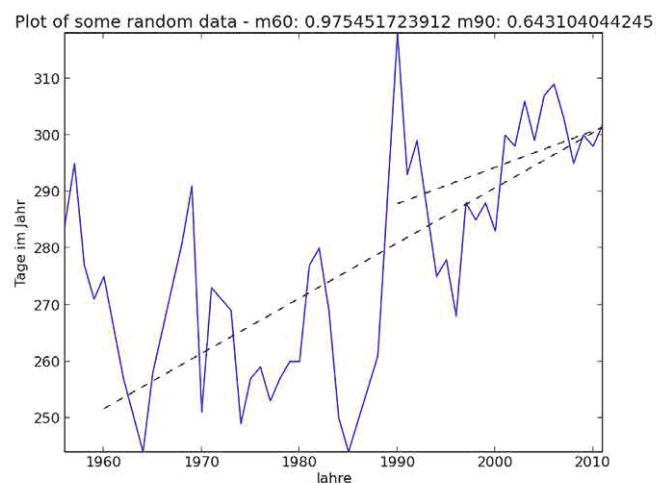


Abb. 3.11: Station Röhrsen: Beginn der Blattverfärbung der Stiel-Eiche 1951 - 2011 und lineare Trends 1960 - 2011 und 1991 - 2011

Jahr. Der kurzfristige Trend von 1991 bis 2011 ist an der Station Boizenburg negativ, an der Station Röhrsen positiv. Auch hier sind Schwankungen von Jahr zu Jahr groß und betragen an der Station Boizenburg im betrachteten Zeitraum bis zu maximal etwa 30 Tage, an der Station Röhrsen bis zu ca. 60 Tage.

Es wurde für insgesamt sieben Stationen die phänologische Phase Spätherbst mit dem Indikator der Blattverfärbung der Stiel-Eiche betrachtet: neben Boizenburg und Röhrsen auch für Buchholz, Cuxhaven-Sahlenburg, Fallingbostal, Lockstedt und Neustadt. Der langfristige Trend ist für die Stationen Fallingbostal und Neustadt negativ, für alle anderen Stationen positiv. Der kurzfristige Trend ist für die einzelnen Stationen sehr unterschiedlich. Für Boizenburg und Fallingbostal ist er negativ, für Neustadt neutral und für die anderen vier Standorte positiv.

3.5 Fazit und Ausblick

Die Auswertung der Zeitreihen phänologischer Beobachtungsdaten der Metropolregion Hamburg zeigen zum einen die große Variabilität des Eintrittsdatums der phänologischen Entwicklungsphasen in den einzelnen Jahren. Das spiegelt die jährlichen Schwankungen des Klimas wider. Die Jahreswerte der bodennahen Lufttemperatur können in der Region von Jahr zu Jahr sehr unterschiedlich ausfallen (Schlünzen et al. 2010). In den mittleren und hohen Breiten korrelieren die phänologischen Phasen insbesondere mit der Temperatur (z. B. Rötzer & Chmielewski 2001).

Zugleich ist der langfristige Trend über die letzten Jahrzehnte betrachtet ein sichtbarer Indikator für Änderungen des mittleren Klimas in der Region. An den meteorologischen Messstationen der Metropolregion Hamburg wird für das vergangene Jahrhundert im Jahresmittel eine Erwärmung der bodennahen Atmosphäre um etwa 0,07 K pro Jahrzehnt beobachtet, mit einer Verstärkung des Trends in den letzten Jahrzehnten auf bis 0,6 K pro Jahrzehnt für den Zeitraum 1978 - 2007 (Schlünzen et al. 2010) (Anmerkung: Temperaturänderungen werden nach Konvention stets in Kelvin (K) angegeben, eine Änderung um 1 K entspricht einer Änderung um 1 °C; siehe weiterführende Erläuterung im Glossar). Die Beobachtungen der phänologischen Phasen in der Metropolregion Hamburg für den Zeitraum 1960 bis 2011 sind sichtbare Indikatoren für die Temperaturzunahme. So treten Phasen von Frühjahr und Sommer in der gesamten Region verfrüht auf. Einige Herbstphasen setzen verspätet ein, hierbei treten allerdings regionale Unterschiede auf.

Der kurzfristige Trend für 1991 - 2001 hingegen kann keine Auskunft über die langfristige Entwicklung des Klimas geben, sondern ist ein Ergebnis der Schwankungen des

Auch hier zeigt sich insgesamt die große Variabilität des Eintrittsdatums in den einzelnen Jahren, was auf jährlich schwankende Klimabedingungen zurückzuführen ist. Der langfristige Trend des Beginns der Schneeglöckchenblüte ist an allen Stationen negativ und zeigt damit einen immer früheren Beginn des Vorfrühlings in der gesamten Region an. Die Blattverfärbung der Stiel-Eiche beginnt langfristig betrachtet an den meisten Stationen später und zeigt damit einen späteren Beginn des Spätherbstes an, allerdings wurde an zwei Stationen ein negativer Trend festgestellt. Der kurzfristige Trend für 1991 - 2001 hingegen fällt für alle Indikatoren sehr unterschiedlich aus. Aufgrund der großen jährlichen Variabilität ist der kurzfristige Trend sehr stark abhängig von den Werten einzelner Jahre. Er kann keine Auskunft über die langfristige Entwicklung des Klimas geben, sondern ist ein Ergebnis der Schwankungen des Klimas von Jahr zu Jahr und von Jahrzehnt zu Jahrzehnt.

Klimas von Jahr zu Jahr und von Jahrzehnt zu Jahrzehnt. So wird das Klima der Metropolregion Hamburg maßgeblich durch die Stärke der Westwinddrift auf dem Nordatlantik beeinflusst. Sie kann mit dem Index der Nordatlantischen Oszillation (NAO) beschrieben werden, welcher die Variation des Luftdruckgefälles zwischen dem sogenannten Azorenhoch im Süden des Nordatlantiks und dem Islandtief im Norden des Nordatlantiks angibt (Hurrell 1995, Wanner et al. 2001). Die Beziehung der Pflanzenphänologie in Deutschland zur NAO wurde z. B. in Menzel (2003) gezeigt.

Betrachtet man die Andauer der phänologischen Phasen, verlängert sich insbesondere der phänologische Herbst (Fruchtreife des Holunders bis zum Blattfall der Stiel-Eiche), während sich der Frühling (Schneeglöckchenblüte bis Holunderblüte) um etwa eine Woche verkürzt. Der phänologische Sommer (von Holunderblüte bis zur Fruchtreife des Holunders) verlängert sich mit 1,4 Tagen nur gering, er beginnt allerdings 11,4 Tage früher im Jahr. Insgesamt verlängert sich damit die durchschnittliche Länge der Vegetationsperiode, also der Zeitraum, in dem Pflanzen photosynthetisch aktiv sind.

Die im Rahmen von KLIMZUG-NORD verwendeten Klimaprojektionen bilden für die Metropolregion Hamburg einen weiteren Anstieg der bodennahen Lufttemperatur im 21. Jahrhundert ab, der sich je nach zugrunde liegendem Emissionsszenario mehr oder weniger stark beschleunigt (Rechid et al. 2014). Für die durchschnittliche Jahresmitteltemperatur der bodennahen Luftschicht wird bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts eine Zunahme von 0,9 K bis 2 K projiziert, zum Ende des 21. Jahrhunderts um 1,9 K bis 3,3 K. Unter diesen Annahmen ist mit einer weiteren

deutlichen Veränderung der phänologischen Phasen und der phänologischen Jahreszeiten zu rechnen, da die Temperaturänderung noch stärker als bisher ausfallen wird. Für die Modellregion Biosphärenreservat Niedersächsische Elbtalaue sehen die projizierten Temperaturänderungen ähnlich aus (vgl. Kap. 2 in diesem Bericht). Im Winter steigen die Temperaturen am stärksten, im Projektionszeitraum 2036 - 2065 um 1,2 K bis 3,1 K und 2071 - 2100 um 2,5 K bis 4,6 K (jeweils Bandbreite über alle betrachteten Szenarien). Damit nimmt die Anzahl der Tage pro Jahr, an denen die Temperatur über 5 °C liegt, deutlich zu (vgl. Kap. 2 in diesem Bericht). Eine anhaltende Tagestemperatur von mehr als 5 °C wird oft zur Definition der thermischen Vegetationsperiode verwendet,

die ein wichtiger Indikator für die Landwirtschaft ist (z. B. Chmielewski 2001). Die Ergebnisse geben einen Hinweis auf eine markante Verlängerung der thermischen Vegetationsperiode. Wie stark die Entwicklungsphasen der Pflanzen darauf reagieren, hängt allerdings von weiteren Umweltbedingungen wie z. B. Tageslänge, pflanzenverfügbarem Wasser und Nährstoffen ab.

Eine kontinuierliche Fortsetzung phänologischer Beobachtungen wird Folgen der weiteren Klimaänderungen sichtbar machen. Sie sind eine wichtige Grundlage zur Erforschung der Wechselwirkungen zwischen Vegetation und Klima unter sich fortlaufend ändernden Klimabedingungen.

Danksagung

Diese Arbeit ist auf Anregung der Biosphärenreservatsverwaltung Niedersächsische Elbtalaue und im Rahmen des BMBF geförderten Verbundprojekts KLIMZUG-NORD entstanden. Sie basiert auf den Ergebnissen der studentischen Praktikumsarbeit von Manuel Dröse am Climate Service Center in Hamburg. Die verwendeten phänolo-

gischen Daten für die Metropolregion Hamburg wurden vom Deutschen Wetterdienst bereitgestellt. Wir bedanken uns bei Christiane Schreck für die Beschaffung und Vermittlung der Daten. Für die technische Realisierung der Phänologiedatenbank danken wir Walter Sauf und Nils Hempelmann.