

Pflanzen als Indikator für Klimaveränderungen auf der Baar

Eine phänologische Regionalanalyse

Von Michelle Haspel und Alexander Siegmund

Heiße, mitunter trockene Sommer, kalte Winter und eine große Frosthäufigkeit – die Vegetation auf der Baar ist vielen klimatischen Extremen ausgesetzt und dokumentiert in der Funktion als Bio-Indikator gleichzeitig Klimaveränderungen auf regionaler Ebene. In ihrer Phänologie werden die wiederkehrenden Wachstumsphasen der Pflanzen im jahreszeitlichen Verlauf beschrieben und Trends prognostiziert. Ändern sich die klimatischen Rahmenbedingungen, passt sich die Vegetation in ihrer jahreszeitlichen Entwicklung an. Inwieweit zeigen sich diese Veränderungen in den phänologischen Jahreszeiten der letzten Jahrzehnte auf der Baar vor dem Hintergrund der globalen Klimaänderungen, die auch in der Region zu beobachten sind.

Grundlagen der Phänologie

Phänologische Beobachtungen hatten ihren Nutzen in der Landwirtschaft, um Aussaat und Erntetermine zu bestimmen. Im wissenschaftlichen Sinne ist der schwedische Botaniker KARL VON LINNÉ im Jahre 1751 der Begründer der Phänologie in Europa. Die Phänologie kann daher auf eine lange Tradition in der Wissenschaft zurückblicken. Ihre Funktion hat sich jedoch von der einfachen Naturbeobachtung über ihre Bedeutung zur räumlichen Gliederung bis hin zur Nutzung als Bio-Monitoring von Umweltveränderungen entwickelt. Ihre grundlegende Aufgabe ist die Beobachtung der Natur in ihrem jahreszeitlichen Rhythmus. Mit stärker werdenden Umweltdebatten hat auch die Phänologie in der letzten Dekade des 20. Jahrhunderts einen enormen Aufschwung erfahren und ermöglicht als Bio-Indikator weitere Zugangsmöglichkeiten in der Global Change-Forschung.

Die Phänologie erweist ihren Nutzen darin, dass sich die Gesamtheit der Klimaelemente wie Temperatur, Niederschlag und Solarstrahlung im Wachstumsrhythmus der Pflanzen widerspiegeln. Daher ist sie ein wichtiger Indikator zur Analyse von globalen Umweltveränderungen und für Klima- und Vegetationsmodelle ein wichtiger Parameter (MENZEL 2002 a, S. 6).

Anhand der immer wiederkehrenden jahreszeitlichen Ereignisse lässt sich das „Phänologische Jahr“ in Leitphasen einteilen. Mit Entfaltung der Apfelblüte beginnt z. B. die Leitphase des Vollfrühlings und wenn die Sommerlinde in voller Blüte steht, zeigt die „Phänologische Uhr“ den Hochsommer an. Jede Jahreszeit wird durch eine phänologische (Leit-)Phase eröffnet und endet mit dem Beginn der nächsten phänologischen Jahreszeit. In der so genannten „Phänologischen Uhr“, der typischen Darstellung von phänologischen Phasen, ist jeweils deren mittleres Eintrittsdatum angegeben (vgl. Abb. 1).

Pflanzen als Indikator

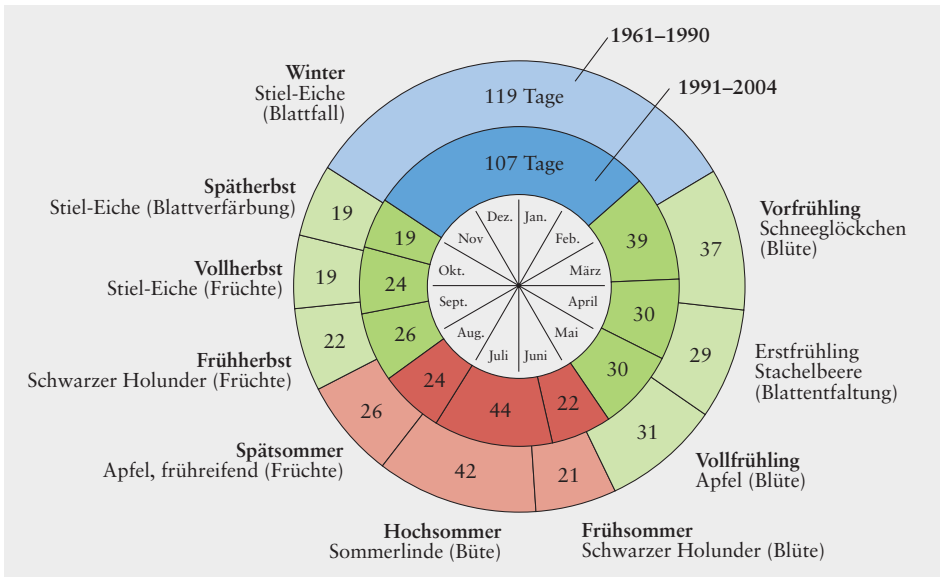


Abb. 1: Die „Phänologische Uhr“ für Deutschland für die Zeiträume 1961–1990 und 1991–2004 (Quelle: www.dwd.de).

Klimaänderungen und deren Einfluss auf die Frühlings-Phänologie

Für die Entwicklungsvorgänge der Vegetation in den Mittleren Breiten sind vor allem die Temperatur und die Tageslänge entscheidend. Die durchschnittliche globale Mitteltemperatur ist im letzten Jahrhundert um etwa $0,6^{\circ}\text{C}$ (IPCC 2007, S. 2) angestiegen. Entscheidend sind jedoch die räumlich differenzierten Klimaänderungen auf regionaler Ebene. Besonders sensibel reagieren die Pflanzen in den Mittleren Breiten auf die Temperaturverläufe in den vorhergehenden Monaten vor dem phänologischen Frühjahrsbeginn. Die Pflanzen steuern ihre Entwicklung in einem Jahreszeitklima derart, dass sie sich unter optimalen Bedingungen fortpflanzen und die Art erhalten können. Daher regen zunehmend mildere Winter durch die globale Erwärmung in den Phytochromsystemen eine frühere Ausbildung der Fortpflanzungsorgane (Blütenstände) an.

Zusätzlich hat sich die frostfreie Periode verlängert und die Schneebedeckung seit den 1960ern abgenommen (WALTER 2002, S. 389). Mit der europaweiten Analyse in Internationalen Phänologischen Gärten (IPG), deren Pflanzen eine gleiche genetische Herkunft aufweisen, zeigt Menzel eine statistische Verlängerung der Vegetationsphase um durchschnittlich 10,8 Tagen seit den 1960ern (MENZEL 1999, S. 659). Die Zeitspanne ergibt sich aus einem verfrühten Frühlingsbeginn um 6 Tage und einem verspäteten Herbstanfang von 4,8 Tagen. Ökologische Folge mit einhergehender längerer Vegetationsperiode könnte eine Veränderung von Pflanzengemeinschaften sein, indem Pflanzengruppen andere verdrängen. Ebenso können durch späte Frosteinwirkungen erhebliche Frostschäden entstehen, denen die Pflanzen in fortgeschrittenem Entwicklungsstadium erliegen.

Naturräumliche Charakteristika der Baar als bestimmende Größen der Pflanzenphänologie

Die Phänologie auf der Baar wird maßgeblich durch die topographischen und klimatischen Gegebenheiten des Naturraumes beeinflusst. Sie führen zu erheblichen regional klimatischen Unterschieden innerhalb der Hochmulde, die mit einer typischen phänologischen Erscheinung an unterschiedlichen Standorten einhergeht. Als Untersuchungsgebiet dient eine 33 x 33 km große Region, die anteilig die Naturräume Hegaualb, Alb-Wutach Gebiet, Südlicher Schwarzwald, Obere Gäue und die Baaralb mit dem Oberen Gäuetal einbezieht (vgl. Abb. 2).

Klimarelevante topographische und hydrologische Gegebenheiten der Baar

Der landschaftliche Charakter der Hochmulde ist durch die morphologisch-geologischen Gegebenheiten bestimmt, die sich stark auf die klimatologischen, pedographischen und hydrologischen Verhältnisse auswirken. Eine wichtige Voraussetzung für die Entstehung der für die Baar typischen Kaltluftseen ist ihre Muldenform.

Im Westen beginnt die Hochmulde mit dem zum flachen Saum auslaufenden Buntsandstein in Höhen von 700–800 m der beginnenden Hochmulde (vgl. Abb. 2). Die tieferen Lagen der Hochmulde ist die sogenannte Riedbaar bei Donaueschingen mit 600–700 m. Diesem Gebiet kommt eine hohe Klimarelevanz zu, da sich hier Kaltluftmassen ansammeln können.

Von der Riedbaar aus steigt das Gelände nach Osten hin wieder an. Beim Übergang vom Keuper zum Lias zeigt sich ein markanter Trauf, der nur im Bereich des Donautals zwischen Pföhren und Neudingen unterbrochen wird. Nach Norden steigt das Gelände nur allmählich an und erreicht gerade einmal eine Höhendifferenz von 130 m zur Senke. Dennoch reicht auch dieser Höhenunterschied aus, dass die Kaltluftmassen gestaut werden. Daraus ergibt sich für diese nur ein einziger

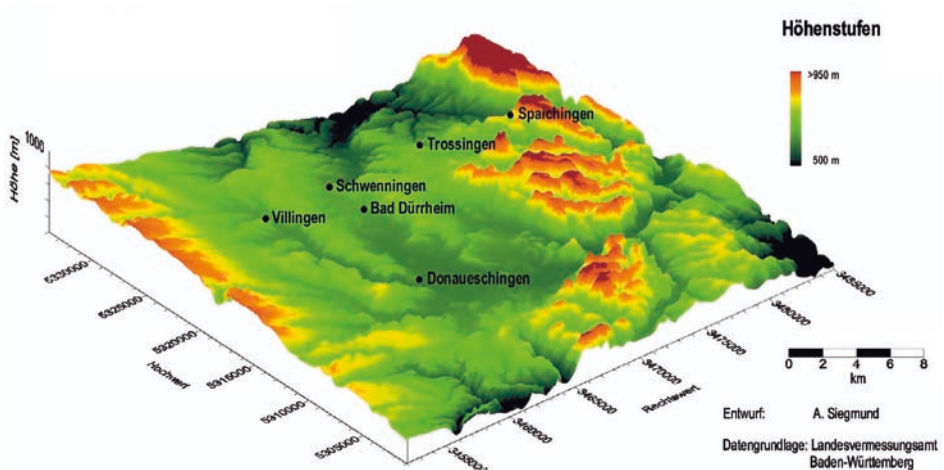


Abb. 2: Digitales Geländemodell der Baar (Quelle: Siegmund 1999).

natürlicher Abfluss im Bereich des Donautals bei Geisingen. Dort wird jedoch ein reibungsloser Ablauf der Kaltluftmassen durch den Wartenberg im Donautal behindert (SIEGMUND 1999, S.11).

Das Gewässernetz auf der Baar weist eine große Anzahl von Flüssen und Bächen auf. Zum einen entwässern diese in das danubische Flusssystem, zum anderen in das Rheinische. Zu Ersteren zählen aus Nordwesten kommend Brigach und Breg. Der dem rheinischen Flusssystem zugehörige Neckar hat sein Quellgebiet im Norden der Baar. Daneben weist dieses Gebiet einige Seen auf, die ihre Existenz dem Kiesabbau zu verdanken haben und demzufolge künstlich entstanden sind. Dazu zählen unter anderem der Pfohrener und der Hüfinger Riedsee.

Die über zehn Moore stellen eine besondere Eigenheit der Baar dar, da sie in sehr hoher Dichte auftreten. Ihr schmales Band erstreckt sich entlang der Keuperschicht zwischen Schwenningen und Donaueschingen. Aus regionalklimatologischer Sicht kommt den Mooren eine große Bedeutung bei der Entstehung von Bodenfrost zu, der vor allem in wolkenarmen Nächten dadurch eine starke Auskühlung der bodennahen Luftschichten und Kaltluftzufluss aus der Umgebung verursacht wird. Zusätzlich hat die Luft über den Moorböden einen wesentlich höheren Feuchtigkeitsgehalt und durch die Verdunstungskälte wird zusätzlich Energie in Form von latenter Wärme gespeichert, sodass die bodennahe Temperatur niedrig bleibt (SIEGMUND 1999, S. 22).

Regionalklimatische Besonderheiten der Baar

Kein anderer Faktor ist für die Baar so bestimmend, wie die regionalklimatischen Besonderheiten. Charakteristisch für die Baar sind große jahreszeitliche Temperaturschwankungen, die in der aktuellen klimatischen Standardperiode 1961–1990 im Mittel von 18,6 °C betragen. Sie weisen auf eine ausgeprägte thermische Kontinentalität hin, wobei die großen Schwankungen durch die außergewöhnlich tiefen Temperaturminima in den Tieflagen der Mulde resultieren.

Für diese Orte besteht durch die Bildung von Kaltluftseen eine erhöhte Frostgefahr. Aus diesem Grund erreichten die Stationen in den Niederungen von September bis Mai im Vergleich zu höher gelegenen Stationen der Baar auch eine höhere Zahl an Frosttagen. Das Maximum der mittleren jährlichen Zahl der Frosttage im Zeitraum 1994 bis 1996 weist mit 28,5 Tagen die Station Bad Dürkheim auf (SIEGMUND 2006, S. 61). Die frostfreie Periode ist sehr kurz, denn bis in den Juni hinein können Fröste auftreten und bereits wieder im September. Zwischen Donaueschingen, Bad Dürkheim und Pfohren wird ein Maximum an gemessenen Frosttagen verzeichnet und belegt die Bedeutung der Kaltluftseebildung für die Vegetation der Riedbaar.

Die naturräumlichen Gegebenheiten haben nicht nur eine ausgeprägte Frosthäufigkeit zur Folge, sondern im Vergleich zu ihrer Höhenlage auch ausgesprochen warme Sommer. Eine hohe Zahl an Sommertagen, die durch tägliche Temperaturmaxima von mindestens 25°C definiert sind, sprechen dafür. An der Station Donaueschingen wurden im Zeitraum von Juli 1994 bis Juni 1996 im Mittel 41 Sommertage pro Jahr verzeichnet. Grund dafür sind die Leelage zum Schwarzwald und die weitgehend offenen, waldarmen Flächen der Hochmulde.

Für die Phänologie ist zwar das Regionalklima entscheidend, aber klimatische Veränderungen treten großräumig ein. Zu Beginn des 19. Jahrhunderts treten vermehrt noch sehr kalte Perioden auf, die sich auch in der Temperaturzeitreihe von Donaueschingen widerspiegeln. Als Beispiel lässt sich, der in Erzählungen oft erwähnte kalte Winter während des Zweiten Weltkrieges im Jahr 1940 mit einem Jahresmittel von 5,5 °C als Vergleichspunkt heranziehen.

Nach diesem Zeitraum stellte sich, abgesehen von einzelnen „Ausreißerjahren“, eine allmähliche Erwärmung ein. So war das Jahr 1994 mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 8,9 °C das wärmste der 120-jährigen Reihe an der Station Donaueschingen (vgl. auch SIEGMUND 1999, S.201).

Die Mittelwerte der Jahrestemperatur betragen für die Standardperiode 1931–1960 6,7 °C, für die Periode 1961–1990 6,8 °C und den Beobachtungsjahren 1991–2004 schließlich 8,0 °C. Obwohl der letzte Zeitraum sehr kurz ist, zeichnen sich die ansteigenden Jahresmittelwerte an der Station Donaueschingen ab.

Grundlagen phänologischer Untersuchungen auf der Baar

Dem ehrenamtlichen Beobachternetz des Deutschen Wetterdienstes gehören etwa 1.300 Beobachter an (DWD 2010), die mithilfe einer Anleitung die Bestimmung der phänologischen Phasen weitgehend selbstständig vornehmen. Für die phänologischen Analysen der Baar kamen 15 Stationen in Betracht, die innerhalb des definierten Untersuchungsgebietes von 33 x 33 km liegen (vgl. Abb.4). Die Höhenverteilung der phänologischen Stationen schwankt zwischen 680 m und 860 m und spiegelt die typischen proportionalen Verhältnisse der Region wieder.

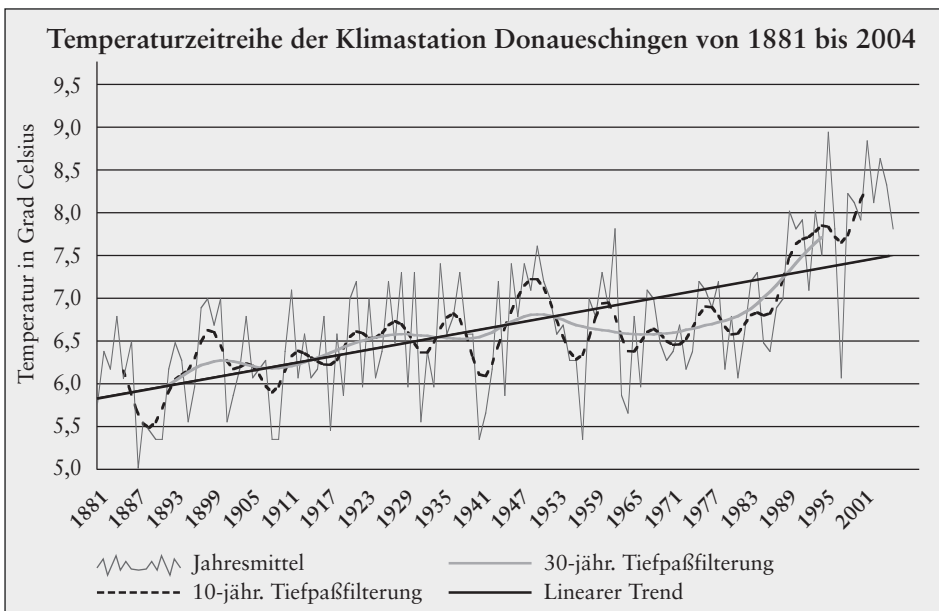


Abb. 3: Temperaturverlauf von 1881 bis 2004 an der Station Donaueschingen (Datengrundlage: Deutscher Wetterdienst).

Pflanzen als Indikator

Die statistische Auswertung der Veränderungen des Eintrittsdatums phänologischer Phasen beruht im Wesentlichen auf linearen Regressionsanalysen, die Aussagen über die Richtung und Stärke des Trends ermöglichen. Es stehen insgesamt 6.739 Einzeldaten zur Verfügung, die sich gleichmäßig über den Untersuchungszeitraum und die 15 Stationen verteilen. In Tab. 2 sind die zur Auswertung herangezogenen Pflanzen und die dadurch indizierten phänologischen Phasen aufgeführt, die auf der Baar von phänologischen Beobachtern erfasst werden.

Station	Höhe (m)	Gauß-Krüger Koordinate	
		RW	HW
Blumberg	710	3465	5300
Döggingen	760	3458	5306
Donaueschingen	690	3462	5313
Hüfingen	690	3462	5310
Immendingen	680	3480	5312
Dittishausen	800	3453	5307
Löffingen	800	3451	5305
Rötenbach	820	3447	5306
St. Georgen	860	3451	5332
Villingen	710	3460	5325
Trossingen	700	3473	5327
Tuttlingen	650	3486	5316
Schwenningen	860	3500	5330
Wurmlingen	670	3484	5319

Tab.1: Auswahl der phänologischen Beobachterstationen im Bereich der Baar (Datengrundlage: Deutscher Wetterdienst).

Die Stationen bilden die topographischen Besonderheiten der Baar repräsentativ ab. So sind die Stationen der Riedbaarsenke, Donaueschingen und Hüfingen vom Effekt der Kaltluftseen besonders betroffen und fast über das ganze Jahr hinweg frostgefährdet. Dagegen repräsentieren Rötenbach und St. Georgen die Orte in größeren Höhenlagen im Westen der Baar am ausgehenden Schwarzwald. Im Südwesten der Baar auf mittlerem Höhenniveau (760–800 m) wird die Vegetation von den Stationen in Dittishausen, Löffingen und Döggingen widergespiegelt. Weitere Beobachter befinden sich in Trossingen und Tuttlingen auf der Ostseite der Baar.

Neben der regionalen Verbreitung fungierte die Anzahl der Beobachtungsjahre innerhalb der Standardperiode von 1961–1990 und zur Gegenüberstellung von 1991 bis 2006 als weiteres Auswahlkriterium für die verwendeten Stationen.

Phänologische Jahreszeit	Pflanze	Ereignis
Vorfrühling	Hasel	Blüte
Erstfrühling	Stachelbeere	Blattentfaltung
Vollfrühling	Stiel-Eiche	Blattentfaltung
Frühsommer	Schwarzer Holunder	Blüte
Hochsommer	Sommer-Linde	Blütenbeginn
Spätsommer	Eberesche	Früchte
Frühherbst	Schwarzer Holunder	Früchte
Vollherbst	Rosskastanie	Früchte
Spätherbst	Rosskastanie	Blattverfärbung
Winter	Stiel-Eiche	Blattfall

Tab. 2: Die zur Analyse herangezogenen phänologischen Zeigerpflanzen und deren Zuordnung zu den phänologischen Jahreszeiten.

Ergebnisse der phänologischen Untersuchung auf der Baar

Der Vergleich der Phaseneintritte für die Standardperiode von 1961 bis 1990 im bundesweiten Mittel und der Baar spiegelt die klimatischen Besonderheiten der Region wieder, die vor allem durch die häufige Bildung von Kaltluftseen und damit einhergehende Spät- und Frühfrostgefahr gekennzeichnet ist. Aufgrund der niedrigeren Temperaturen vor allem am Jahresanfang und -ende treten die phänologischen Phasen auf der Baar im Mittel 7,5 Tage später als im Vergleich zum übrigen Deutschland ein. Dass die mittlere Monatstemperatur einen großen Einfluss auf den Eintritt der Leitphase hat, bestätigten Chmielewski & Rötzer (2001, S. 107) durch ihre phänologischen Untersuchungen anhand des Einflusses der mittleren Monatstemperatur von Februar bis April auf die Frühlingsphänologie.

Zeitliches Muster der phänologischen Phasen auf der Baar

Um den möglichen Einfluss der Klimaänderungen auf die Vegetation zu beobachten, wurden auf der Baar die Eintrittszeitpunkte der phänologischen Phasen der Standardperiode 1961 bis 1990 mit dem Mittel zwischen 1991 und 2006 verglichen. Die Ergebnisse zeigen einen Trend zum früheren Phaseneintritt, im Mittel um 10,9 Tage, für die Baar. Die Verfrühung geht mit dem Temperaturanstieg, der

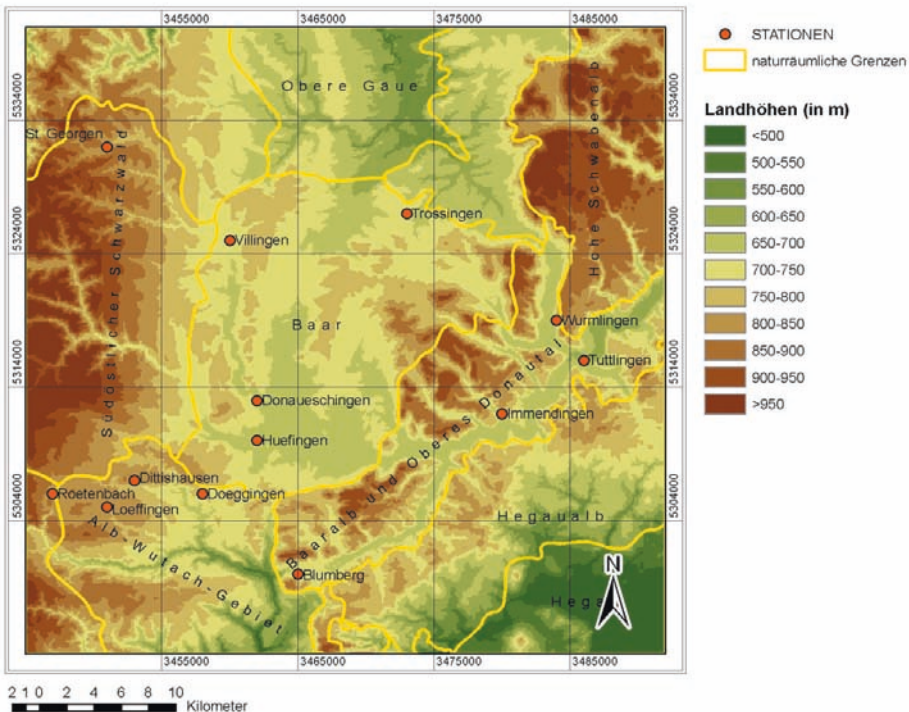


Abb. 4: Übersicht der räumlichen Verteilung der phänologischen Stationen im Bereich der Baar (Datengrundlage: Landesvermessungsamt Baden Württemberg, Deutscher Wetterdienst).

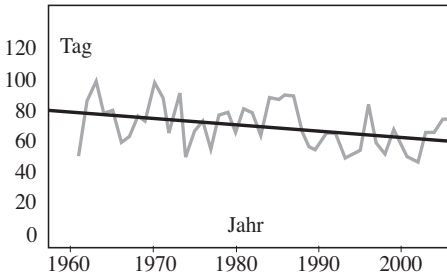


Abb. 5: Beginn der Haselblüte von 1961 bis 2005 im Untersuchungsgebiet der Baar (Datengrundlage: Deutscher Wetterdienst).

beispielsweise an der Station Donaueschingen beim Jahresmittel in der Zeit von 1991 bis 2005 0,81 °C betrug, einher. Im deutschlandweiten Vergleich ist diese Verfrühung ebenfalls zu erkennen und lässt sich im Mittel mit 6,8 Tagen quantifizieren.

Der Einordnung der phänologischen Phaseintritte in das deutschlandweite Gesamtbild hat zu erkennen gegeben, dass die Phasen durchgängig früher eintreten und damit Klimaveränderungen widerspiegeln.

Das Datum des Vorfrühlings auf der Baar verfrüht sich zwischen den verglichenen Perioden 1961–1990 und 1991–2006 um 13 Tage (vgl. Tab. 3). Betrachtet man den jährlich gemittelten Eintrittstermin der Haselblüte über den gesamten Zeitraum von 1961–2006, wird die zeitliche Vorverlagerung um so deutlicher und die Streuung der Messwerte durch jährliche Witterungen um so weniger bedeutend (vgl. Abb. 5). Die Bedingungen für die Blühinduktion der Hasel sind auf der Baar im Mittel erst ab 1. März vollständig gegeben, während der Eintrittstermin für Deutschland (1991–2004) schon in die 2. Februarhälfte fällt (www.dwd.de).

Der Vollfrühling verschiebt sich mit 8 Tagen ebenfalls in Richtung Jahresbeginn vom 18. Mai auf den 10. Mai. Besonders starke Terminverschiebungen sind mit 19 Tagen im Spätsommer zu beobachten, wenn die Eberesche Früchte trägt, aber

	1991–2006 (b)	Periodendauer	Beginn Datum	1961–1990 (a)	Periodendauer	Beginn Datum	Differenz des Phasenbeginns (a) zu (b)
Vorfrühling	73	35	14.03.	60	36	01.03.	13
Erstfrühling	108	30	18.04.	96	34	06.04.	12
Vollfrühling	138	31	18.05.	130	29	10.05.	8
Frühsommer	169	22	18.06.	159	18	08.06.	10
Hochsommer	191	52	10.07.	177	46	26.06.	13
Spätsommer	243	12	31.08.	223	15	11.08.	19
Frühherbst	255	15	12.09.	239	27	27.08.	16
Vollherbst	270	9	27.09.	265	6	22.09.	5
Spätherbst	279	21	06.10.	271	23	28.09.	8
Winter	300	138	27.10.	295	130	22.10.	5
	365				365		

Tab. 3: Vergleich der phänologischen Jahreszeiten im Hinblick auf Periodendauer und Eintrittsdatums der Zeiträume 1961–1990 und 1991–2006 auf der Baar.

auch im Frühherbst, signalisiert durch den ertterreifen Schwarzen Holunder. Im weiteren Jahresverlauf scheinen die Phasen weniger von den sich ändernden Außenbedingungen beeinflusst zu werden. Ende September verfrüht sich der Vollherbst um 5 Tage, der Spätherbst um 8 Tage und schließlich setzt die Winterruhe wiederum mit einer Verfrüfung von 5 Tagen ein.

Wesentlich inhomogener ist die Periodendauer. Zwar beginnen die Phasen im ersten Jahresdrittel des Untersuchungszeitraums 1991–2006 im Mittel um 11 Tage früher, die Perioden von Vorfrühling und Erstfrühling verlängern sich aber auch um 1 bzw. 4 Tage (vgl. Abb. 6, nächste Seite).

Besonders auffällig sind die zeitlichen Verlagerungen des Eintritts von Spätsommer und Frühherbst mit bis zu 19 Tagen nach vorne und die zeitliche Verlängerung der Frühherbstphase um 12 Tage. Das heißt, die Früchte des Holunders, als Anzeiger des Frühherbstes, werden früher reif und die Phase bis das nächste phänologische Ereignis eintritt verlängert sich. Die sich anschließende vegetative Ruhephase verkürzt sich dagegen um 8 Tage.

Anhand der phänologischen Daten der Baar kann man sehr gut die Reaktion der Pflanzen auf Klimaveränderungen aufzeigen. Aus den phänologischen Messdaten der Baar geht deutlich hervor, dass sich bereits in allen phänologischen Phasen eine Verschiebung der Eintrittstermine eingestellt hat. Diese Tendenz gilt nicht nur für den Naturraum Baar, sondern ebenfalls für ganz Deutschland. Beispielsweise beobachtet das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie in den letzten 30 Jahren, dass die Weinreben an der Hessischen Bergstraße 7 Tage früher austreiben und der Reifebeginn bereits 12 Tage früher stattfindet. Daher ergibt sich für den Weinbau in der letzten Standartperiode ein früherer Lesebeginn um 17 Tage.

Grund für die zeitliche Verschiebung der Phasen auf der Baar ist der Anstieg der Temperaturen seit Beginn dieses Jahrhunderts. Die enge Verzahnung zwischen Temperatur und der Phänologie ist aus Trendanalysen der letzten 50 Jahre bekannt, die die Übereinstimmung mit der gegenwärtigen Temperaturerhöhung und dem damit verbundenen verfrühten Blühbeginn in den hiesigen Breitengraden aufzeigen. Menzel bestätigt die starke Korrelation zwischen dem Eintritt der Phasen und der mittleren Temperatur und erweitert diese Beziehung durch die Erkenntnis, dass die Temperatur der zwei vorangegangenen Monate den größten Einfluss auf die jeweilige phänologische Phase ausüben (MENZEL 2006, S. 243).

Ein weiteres Ergebnis dieser Untersuchung ist die annähernd gleich bleibende Dauer der Frühlingsphasen (1 Tag Unterschied Vorfrühling – Erstfrühling). Diese Tatsache unterstützt die Annahme, dass die Temperatur zum einen ein begrenzender Faktor für den Eintritt der Haselblüte im Vorfrühling ist, doch der nächstfolgende Entwicklungsreiz noch durch einen anderen Parameter gesteuert wird – die Tageslänge. Dadurch schütten die Pflanzen mit Hilfe des Phytochromsystems die Wachstums- und Blüh hormone aus und steuern den Übergang der vegetativen Phase zum Lebensabschnitt der Vermehrung. Bleibt der Reiz aufgrund einer nicht ausreichenden Tageslänge aus, verharrt die Pflanze länger im bestehenden Stadium, bis die Umweltbedingungen passend sind. Das würde die Verschiebung des Phaseneintritts und der stagnierenden Phasendauer bzw. -verlängerung erklären. Im

Pflanzen als Indikator

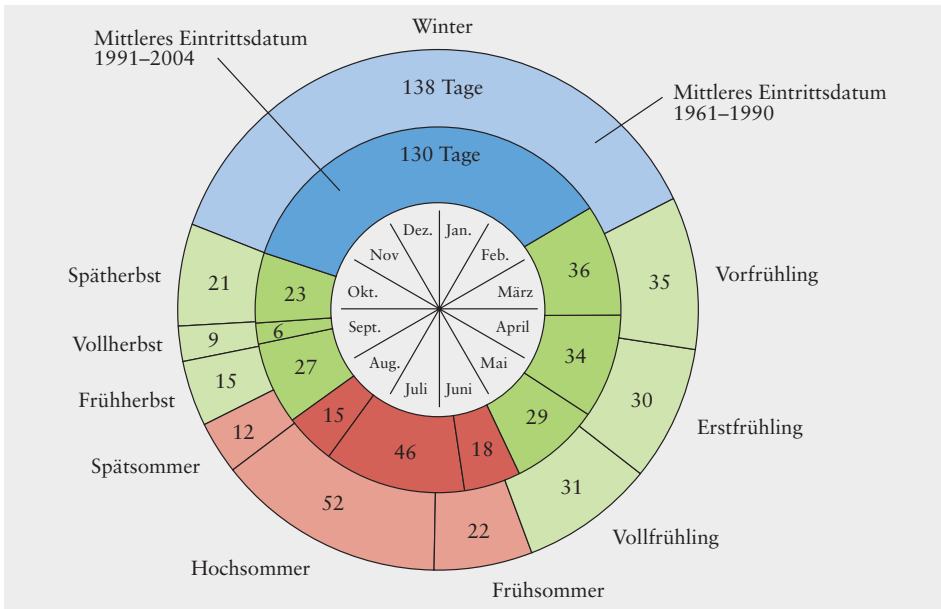


Abb. 6: „Phänologische Uhr“ für die Baar für die Zeiträume 1961–1990 und 1991–2006 (Datengrundlage: Deutscher Wetterdienst).

Fall der Phasenverkürzung kann der autonome Faktor der Pflanze oder die untergeordnete Rolle anderer Parameter, außer der Temperatur, den Ablauf steuern. Verfolgt man dem Trend des Zeitraums 1960–2005, ergibt sich ein früherer Eintritt von 0,49 Tagen pro Jahr bei der Stachelbeere und 0,41 Tage pro Jahr bei der Hasel.

Abhängigkeit der phänologischen Phasen zu der Höhe

Mit den beiden phänologischen Ereignissen, nämlich dem Blühbeginn der Hasel und dem Beginn des Blühens der Forsythie soll die Abhängigkeit der Eintrittstermine mit der Höhe verdeutlicht werden. Es gilt zu klären, inwieweit die regionalklimatischen Charakteristika mit häufigeren Temperaturinversionen durch die Kaltluftseebildung

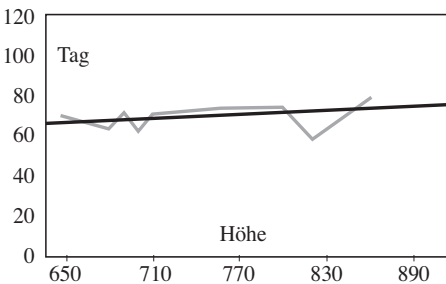


Abb. 7 Mittelwerte und Trendlinie des Blühbeginns der Hasel je Höhenstufe (Datengrundlage: Deutscher Wetterdienst).

den Vegetationszyklus verzögern bzw. verfrühen? Auf der Grundlage von zwei Höhenklassen (≤ 700 m; > 700 m) verspätet sich der Abschnitt einer neuen Phase mit zunehmender Höhe von 68 Tagen auf 72 Tage der Hasel, als auch der Blühbeginn der Forsythie von gemittelten 104 auf 105 Tagen seit Jahresbeginn.

Die Mittelwerte zeigen somit, dass mit zunehmender Höhe das Pflanzenwachstum durch im Jahresmittel dennoch geringere Temperaturen langsamer

verläuft. Es fällt jedoch auf, dass bei beiden beobachteten Pflanzen kein strikt linearer Verlauf zu sehen ist und bei dem Höhengniveau um 690 m ein Wechsel zwischen Verfrühen und Verspäten besteht. Die Verspätung des Blühbeginns der Hasel ist durch die Kaltluftseenbildung begründet, deren Obergrenze etwa bei 690 m verläuft (vgl. Abb. 7).

Anschließend fällt er zunächst auf einen Wert von 80 Tagen ab, bis ein fast linearer Anstieg folgt. Ausnahme ist die im Schwarzwald liegende Station Triberg/Hofeck bei 820 m, die sehr weit ausreißt. Höchstwahrscheinlich handelt es sich hierbei um einen subjektiven Ablesefehler oder einem Ableseort unter verfälschten Bedingungen.

Fazit

Die Vegetation reagiert deutlich auf die Klimaänderungen. Alle phänologischen Phasen treten verfrüht ein, mit einem Unterschied des Ausmaßes. Dass die früher eintretenden Erscheinungen allein auf die globale Temperaturerhöhung zurückzuführen sind, kann durch diese Untersuchung nicht bestätigt werden. Zu vielschichtig und zahlreich sind die Querverbindungen des Klimasystems.

Um die Verschiebung der Eintrittszeitpunkte weiter zu validieren, wäre anzustreben, die phänologischen Ergebnisse mit weiteren Wetterdaten wie den Niederschlagsmengen und der Sonnenscheindauer auf der Baar zu vergleichen. Daraus könnten unter Umständen phänologische Szenarien für die kommenden Jahrzehnte abgeleitet werden und wertvolle Erkenntnisse für die Entwicklung von Ökosystemen und landwirtschaftlichem Anbau gewonnen werden. Außerdem sollten weitere Forschungen den Blick auf die Zusammenhänge zwischen phänologischen Verschiebungen und Auswirkungen auf das Funktionsgefüge von Ökosystemen legen.

Allen Erwartungen entsprechend verspätet sich der phänologische Eintrittstermin mit zunehmender Höhe, da aufgrund des adiabatischen Temperaturgradienten die Temperatur mit der Höhe abnimmt. Der Effekt ist auf der Baar sehr gut zu erkennen, aber aufgrund von geringen Messdaten auf einigen Höhenstufen statistisch nicht gänzlich nachweisbar. Diese Ergebnisse müssten durch weitere Messdaten ergänzt werden, um eine valide Aussage treffen zu können. Für die nahe Zukunft wäre daher ein Ausbau des Messnetzes wünschenswert, um auch Aussagen zur Veränderung der Wachstumsbedingungen für unterschiedliche Höhenstufen unter dem Einfluss der Klimaveränderung treffen zu können.

Anschriften der Verfasser:

Michelle Haspel
Pädagogische Hochschule Heidelberg
Abteilung Geographie – Research Group for
Earth Observation (rgeo)
Czernyring 22/11–12
69115 Heidelberg
E-Mail: haspel@ph-heidelberg.de

Prof. Dr. Alexander Siegmund
Pädagogische Hochschule Heidelberg
Abteilung Geographie – Research Group for
Earth Observation (rgeo)
Czernyring 22/11–12
69115 Heidelberg
E-Mail: siegmund@ph-heidelberg.de

Literatur

- CHMIELEWSKI, F. & T. RÖTZER (2001): Response of tree phenology to climate change across Europe. In: *Agricultural Meteorology*, Nr. 108, S. 101–112.
- Deutscher Wetterdienst: Beobachtungsnetz.
http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=_dwdwww_klima_umwelt_phaenologie&activePage=&_nfls=false (letzter Zugriff 10.11.2010).
- IPCC (2007): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, University Press.
- MENZEL, A. & P. FABIAN (1999): Growing season extended in Europe.
In: *Nature* Nr. 397, S. 659.
- MENZEL, A. (2002a): Phenology, its importance to the Global Change Community. In: *Climatic Change*, Vol. 54, S. 379–385.
- MENZEL, A. (2002): Phenological anomalies in Germany and their relation to air temperature and NAO. In: *Climatic Change*, Vol. 57, S. 243–263.
- SIEGMUND, A. (1999): Das Klima der Baar – regional-klimatische Studien einer Hochmulde zwischen Schwarzwald und Schwäbischer Alb. *Mannheimer Geographische Arbeiten*, H. 51.
- SIEGMUND, A. (Hrsg.) (2004): *Faszination Baar – Porträts aus Natur und Landschaft*, Verlag der Mory's Hofbuchhandlung, Donaueschingen.
- WALTHER, G. et al. (2002): Ecological response to recent climate change. In: *Nature*, Vol. 416, S. 389–395.