

Phänologie – ein Biomonitoring und seine Anwendungen

Claudio Defila

Bio- und Umweltmeteorologie, Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz*

François Jeanneret

Geographisches Institut der Universität Bern

Phenology – a bio-monitoring and its applications

Phenology studies the seasonally recurring growth and development of living creatures and abiotic phenomenon. It deals with observing the dates of plant developmental phases (from leafing to leaf fall), of bird migrations (arrival and takeoff of migratory birds), or frost occurrence and freezing of water courses and other phenomenon. Plant phenology is well suited as an indicator for bio-monitoring of environmental changes, such as actual climate warming, as organisms reflect the integrated reaction to the environment. In Switzerland MeteoSwiss has run a national phenological observation network since 1951 that includes all regions and altitudinal belts, while a whole range of special networks operate for specific objectives: for example work in schools. The international and global cooperation in phenology starts gradually. In Europe, actively working groups prepare a standardization of observations and a central pool base for the observation data. At the moment, phenology serves above all as an indicator for the influence of climate warming on vegetation, but is also applied to frost warnings, pollen forecasts or for the optimization of plant protection in agriculture.

Keywords: phenology, bio-monitoring, seasonal growth, climate change

doi: 10.3188/szf.2007.0098

* Krähbühlstrasse 58, Postfach 514, CH-8044 Zürich, E-Mail claudio.defila@meteoswiss.ch

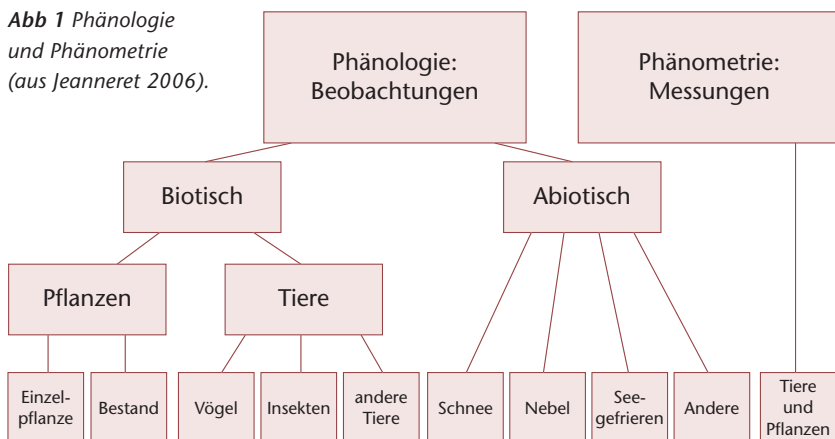
Bei der Phänologie geht es um Beobachtungen der Natur und ihrer jahreszeitlichen Rhythmen – doch gibt es verschiedene Definitionen, die um einige Schlüsselbegriffe kreisen. Klassische Erhebungen betreffen Pflanzen und Tiere, aber manchmal auch Eis, Schnee und Frost. Herkömmliche Resultate sind Datumsangaben des Eintritts charakteristischer Erscheinungen. Heute werden auch Fotos oder Herbarbelege herangezogen, um eine feinere zeitliche Auflösung zu erreichen oder Beobachtungen aus der Vergangenheit zu rekonstru-

ieren. Oft wird der Bezug zum Wetter und Klima in den Vordergrund gestellt, aber auch andere Umweltfaktoren wie beispielsweise Schadstoffe, Schädlinge, Konkurrenz, Düngung oder Bodenbeschaffenheit beeinflussen das phänologische Verhalten von Organismen und der unbelebten Natur – Phänologie ist somit ein Bio- und Umweltmonitoring (Jeanneret 1997).

Die Phänologie beruht auf Beobachtungen – in der Regel auf Erhebungen von Eintrittsdaten – also nicht auf Messungen. Der Übergang zur Phänometrie ist aber durchaus fließend, sobald auch physikalische Messgrößen erfasst werden (Abbildung 1). Bei den Pflanzenbeobachtungen wird zwischen Einzel- und Bestandesbeobachtungen (z. B. an Einzelbäumen bzw. an Baumbeständen im Wald oder auf einer Wiese) unterschieden, während phänometrische Messungen eher im Bereich von Pflanzenorganen vorgenommen werden, also in den kleinen Messeinheiten.

Somit lässt sich die Phänologie in die klimatologischen Skalenbereiche einordnen, und dort findet sie ihren Platz im Bereich des Mikro- bis Makroklimas, mit Schwerpunkt auf Topoklima und jahreszeitlichen Schwankungen. Wenn die Phänologie im Skalenbereich von Naturbeobachtungen einge-

Abb 1 Phänologie und Phänometrie (aus Jeanneret 2006).



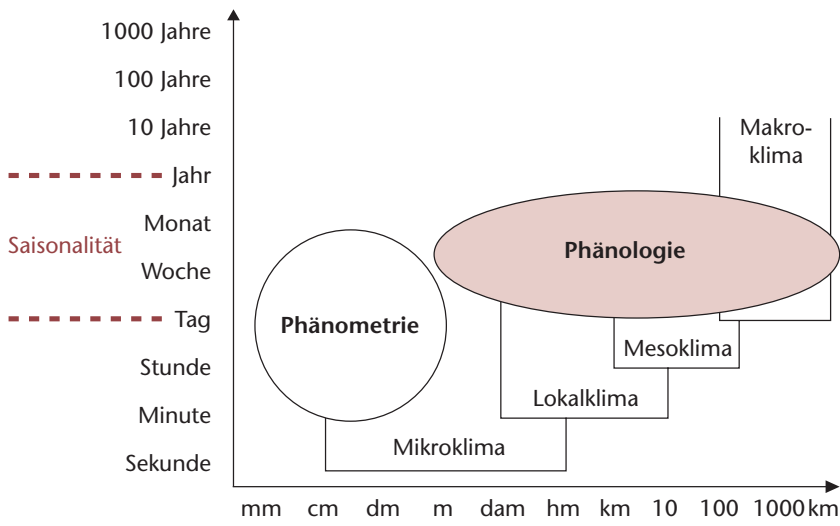


Abb 2 Räumlicher und zeitlicher Skalenbereich von Klima und Phänologie (nach Oke 1987, verändert, aus Jeanneret 2005).

ordnet werden soll, so nimmt sie eine recht zentrale Stellung im Schema ein (Abbildung 2). In räumlicher Hinsicht wird der grösste Detaillierungsgrad durch ein pflanzliches Individuum, der kleinste durch kontinentale und globale Übersichten erreicht. Der Schwerpunkt auf der Zeitachse stellt die jahreszeitliche Schwankung oder Saisonalität dar. Phänologie beinhaltet oftmals eine ganzheitliche Ansprache der jahreszeitlichen Rhythmen, denn Organismen sind keine Instrumente, sondern widerspiegeln kumulierend und integrierend die komplexen Veränderungen der Umwelt. Im Verbund mit anderen Disziplinen beteiligt sie sich an der Erforschung der Ursachen der Umweltveränderungen.

Die Phänologie hat mit Einzelbeobachtern angefangen – mit Menschen, denen der jahreszeitliche Rhythmus in der Natur aufgefallen ist und den sie festgehalten haben. Wie in der Klimatologie und der Meteorologie stellt die Vernetzung von Beobachtungsstationen einen erheblichen Mehrwert dar. Im Verlauf der vergangenen Jahrhunderte haben unterschiedlichste Institutionen mit verschiedensten Interessen und Motivationen phänologische Beobachtungen angeregt, organisiert und gesammelt. Nicht alle Netze haben Bestand, und das Überleben von Strukturen ist von politischen, wissenschaftlichen und soziokulturellen Bedingungen abhängig. Immer sind persönliche Initiativen die Voraussetzung zur Schaffung einer Struktur. Die Tabellen 1 und 2 enthalten die zu Beginn des 21. Jahrhunderts in Betrieb stehenden Beobachtungsnetze in der Schweiz.

Aufgrund der Initiativen von Naturwissenschaftlern und Mäzenen wurden in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts phänologische Beobachtungen in die Aufgaben der Wetterbeobachter mit einbezogen. Forstdienste und Landwirtschaftskreise gründeten weitere Beobachtungsnetze. So entstanden verschiedene Netzkategorien, und neben den offiziellen Netzen der Wetterdienste entstanden verschiedene Sondernetze. Die pädagogischen Werte von phänologischen Beobachtungen brachten auch Schulen zur Phänologie. In verschiedenen Ländern Europas entstanden mit Hilfe des Internets Publi-

Tab 1 Phänologische Netze in der Schweiz (aus Jeanneret 2006, modifiziert).

Netz	Anzahl Stationen	Institution, Koordination	Zentrale
Allgemeines Netz	160	MeteoSchweiz	Zürich
Waldnetz	10	MeteoSchweiz	Zürich
Schweizerischer Nationalpark	3	MeteoSchweiz	Zürich
BERNCLIM	15	Geographisches Institut der Universität	Bern
Zentralschweiz		Gymnasium Cham	Cham
Vogelschutz Schweiz		Schweizerische Vogelwarte	Sempach Stadt
Phäno-Spezial	39	MeteoSchweiz/Agroscope	Zürich
Pollenmessnetz	14	MeteoSchweiz	Zürich
Groupe Ambrosia		Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève	Chambésy
Closet phenologists	11	MétéoSuisse, station aérologique	Payerne
GLOBE Schweiz	2	Pädagogische Fachhochschule	Solothurn

Tab 2 Internationale Netze mit Stationen in der Schweiz (aus Jeanneret 2006, modifiziert).

Netz	Anzahl Stationen	Institution, Koordination	Zentrale
Internationale Phänologische Gärten IPG	1	Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Pflanzenbauwissenschaften	Berlin WSL/ Birmensdorf
GLOBE International GLOBE Switzerland	2	Colorado State University Pädagogische Hochschule PH	Fort Collins, CO Solothurn
Phénoclim	2	Centre de Recherches sur les Écosystèmes d'Altitude (CREA)	Chamonix

kumsumetze, die eine automatische Integration der Beobachtungen in eine Datenbank und oftmals eine kartographische Darstellung in Echtzeit erlauben.

Daneben gibt es nach wie vor zahlreiche Einzelpersonen, die Beobachtungen in der Natur vornehmen, ohne sich immer bewusst zu sein, Phänologie zu betreiben, und deren Beobachtungen bisher nie zentral erfasst und ausgewertet wurden.

Phänologische Beobachtungen in der Schweiz

Wie in vielen anderen europäischen Ländern wurden auch in der Schweiz immer wieder auf privater Basis oder von Gesellschaften phänologische Beobachtungen durchgeführt. Auf diese historischen Beobachtungen wird in den Beiträgen von Rutishauser & Studer (2007) und von Brügger & Studer (2007) eingegangen.

1951 gründete der damalige Leiter der Agrarmeteorologie der Meteorologischen Zentralanstalt (MZA), Bernard Primault, das erste offizielle phänologische Beobachtungsnetz in der Schweiz, das nach einigen Anpassungen noch heute in Betrieb ist. In diese Zeit fällt auch die Gründung der Agrarmeteorologie bei der MZA (Primault 1964). Mit den phänologischen Daten wollte man der Landwirtschaft möglichst viele Informationen über die Vegetationsentwicklung zur Verfügung stellen. Als Forstingenieur suchte Primault die Beobachter vor allem bei den Forstdiensten. Von anfänglich etwa 70 phänologischen Beobachtungsstationen ist das Netz auf heute rund 160 Stationen angewachsen, die alle Regionen der Schweiz abdecken und von 200 bis 1800 m/M reichen. Von den 1951 gegründeten Beobachtungsstationen sind heute noch 17 in Betrieb, die lückenlos Daten liefern. Das Beobachtungsprogramm von 1951 umfasste 9 Kräuter, 15 Bäume und Sträucher, 12 Kulturpflanzen und drei Zugvögel sowie den ersten Reif im Herbst – eine abiotische phänologische Phase. Insgesamt wurden (ohne den ersten Reif) 45 phänologische Phasen beobachtet. 1996 wurde das phänologische Beobachtungsprogramm überarbeitet. Aufgrund von ausführlichen Auswertungen (Defila 1991) wurden einige Pflanzen und Phänophasen aufgegeben, deren Beobachtung Qualitätsprobleme verursachten. Da die Landwirtschaft an den Daten der Kulturpflanzen nicht mehr interessiert ist und die Vogelwarte Sempach genügend Daten über Vogelzüge erhebt, wurde die Anzahl der Kulturpflanzen stark reduziert und die Vogelphänologie ganz weggelassen. Seit Mitte der Neunzigerjahre erlebt die Phänologie weltweit wegen der Klimaerwärmung einen starken Aufschwung. Verschiedene wissenschaftliche Arbeiten konnten nachweisen, dass durch die allgemeine Erwärmung die phänologischen Termine (vor allem im Frühling) tendenziell

früher eintreten (Defila & Clot 2001). Somit lag der Fokus des neuen Beobachtungsprogrammes in der Beibehaltung von möglichst vielen gut beobachtbaren Phänophasen. Einige Phänophasen wurden zugefügt, die möglicherweise für die Zukunft von Bedeutung sein könnten. Für die Auswertung von langen Beobachtungsreihen eignen sich die Kulturpflanzen schlecht, da in Bezug auf Pflanzenzüchtung, Anbaumethode, Düngung oder Schädlingsbekämpfung sich in den letzten Jahrzehnten sehr viel verändert hat. Als Information für die Bevölkerung wurden einzelne Phänophasen ausgewählter Kulturpflanzen wie die Blüte von Obstbäumen, der Weinrebe und die Weinlese beibehalten. So enthält das aktualisierte Programm 26 Pflanzenarten und 69 Phänophasen. Es handelt sich dabei um 14 wildwachsende Bäume und Sträucher, 8 Kräuter und 4 Kulturpflanzen. Die ausgefüllten Beobachtungsblätter treffen beim Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz einmal pro Jahr nach Ende der Vegetationsperiode ein. Die Daten werden elektronisch erfasst und auf der Datenbank von MeteoSchweiz gespeichert. Von Interesse für die Bevölkerung sind aktuelle Informationen über besonders frühe oder späte Entwicklungen der Vegetation. Deshalb wurde 1986 ein Sofortmeldenetzen und -programm eingeführt. Aus den 160 Beobachtungsstationen wurden 40 ausgewählt, die über möglichst lange Beobachtungsreihen verfügen und die verschiedenen Regionen und Höhenlagen abdecken. Bei diesen 40 Stationen werden 17 Phänophasen, die sich über die ganze Vegetationsperiode erstrecken (von der Blüte der Hasel bis zur Blattverfärbung der Buche), sofort nach ihrem Eintreten von MeteoSchweiz gemeldet. Mit einer speziellen Statistik werden die Daten in fünf Klassen von sehr früh, früh, normal, spät bis sehr spät eingeteilt. Aufgrund dieser Auswertungen werden während der Vegetationszeit wöchentlich phänologische Bulletins erstellt und via Internet verbreitet.

Wie der Name bereits sagt, sind phänologische Beobachtungen keine Messungen sondern Beobachtungen und somit in einem gewissen Grad subjektiv. Damit die phänologischen Daten der verschiedenen Stationen vergleichbar sind, müssen sie aufgrund derselben Kriterien erhoben werden. Dies bedeutet, dass die Beobachterinnen und Beobachter eine Anleitung benötigen. 1957 hat Bernard Primault die erste Anleitung («Phänologischer Atlas», Primault et al 1957) verfasst, die mit prägnanten Zeichnungen von S. Schwirzer illustriert war. Nach einer kurzen Einführung wurde jede Pflanze und die zu beobachtende Phänophase in drei Landessprachen beschrieben und mit detaillierten Zeichnungen dargestellt. Nach der Änderung des Beobachtungsprogramms 1996 wurde eine neue, zweisprachige Anleitung erarbeitet. Die Zeichnungen wurden als aussagekräftiger erachtet als Fotografien, die nur für die Blatt-

verfärbung und die Fruchtreife aufgenommen wurden. Es entstand nicht nur eine Anleitung für Beobachterinnen und Beobachter, sondern auch ein Werk, das einem breiteren Leserkreis die Phänologie bekannt und näher bringen soll: «Pflanzen im Wandel der Jahreszeiten – Anleitung für phänologische Beobachtungen» (Brügger & Vasella 2003).

Seit 1994 werden im Schweizerischen Nationalpark im Engadin einige phänologische Beobachtungen durchgeführt. Das Beobachtungsprogramm konzentriert sich vor allem auf alpine Pflanzen. Teilweise werden auch Pflanzen beobachtet, die im nationalen Beobachtungsprogramm enthalten sind, um so Vergleiche anstellen zu können. Die Idee dieser Beobachtungen besteht darin, dass in einer alpinen Gegend, die vom Menschen kaum beeinflusst wird, auch eine phänologische Datensammlung entsteht. Nach etwa 20 Beobachtungsjahren kann dieser Datensatz wissenschaftlich ausgewertet werden.

Es ist zu hoffen, dass das phänologische Beobachtungsnetz von MeteoSchweiz noch viele Jahrzehnte überlebt und zu einem Archiv von wertvollen Langzeitumweltdaten wird.

Phänologie kontinental und global – die späte Vernetzung

Mit dem Aufkommen der synoptischen Meteorologie im 19. Jahrhundert entstand für meteorologische Messungen und Beobachtungen sehr bald ein Bedürfnis zur Standardisierung. Kommissionen, Wetterkonferenzen und schliesslich die Weltorganisationen für Meteorologie (WMO-OMM) mit Sitz in Genf sorgten dafür, dass vergleichbare Wetterdaten erhoben werden. Die Synopsis, eine räumliche Zusammenschau, ist Voraussetzung für Wetterprognosen. Somit sind seit dem 19. Jahrhundert die Wetterdienste vernetzt, ihre Stationen sowie Mess- und Beobachtungsmethoden sind standardisiert und die Daten werden weltweit ausgetauscht.

So wie Einzelbeobachtungen im Gefüge eines Netzes einen erhöhten Wert erhalten, stellt auch für die Phänologie eine Vernetzung der Institutionen und Verfahren insgesamt einen Mehrwert dar. Die Phänologie hinkt in dieser Hinsicht der Meteorologie und Klimatologie um etwa 150 Jahre hinten nach.

Gesamteuropäische Arbeiten mit landwirtschaftlichen Phasen wurden allerdings von einzelnen Phänologen bereits im späten 19. und im 20. Jahrhundert (z. B. Hoffmann 1881, Ihne 1905, Schnelle 1965) vorgelegt, die als Beginn einer kontinentweiten Gesamtsicht gelten können. Aber erst am Ende des 20. Jahrhunderts sind Schritte zu einer weltumfassenden Zusammenarbeit unternommen worden, in Europa dank des europäischen phänologischen Netzwerkes EPN (van Vliet et al 2003, Bruns & van Vliet 2003).

Es gibt allerdings gute Gründe für diese Verspätung. Als marginale Disziplin hat die Phänologie keine vergleichbare Bedeutung und mediale Aufmerksamkeit erhalten wie die Meteorologie, deren Daten messbar und somit scheinbar exakter erscheinen, was auch beinahe zur Verdrängung der Phänologie geführt hätte. Vor allem fehlen in der natürlichen Pflanzenwelt kontinentweit oder gar global verbreitete Arten, was einerseits die Erhebung vergleichbarer Arten verunmöglicht, andererseits die Vereinheitlichung der Beobachtungsanleitungen nicht eben fördert. Erst die Verbreitung von Kulturpflanzen und international verbreiteten Unkrautarten ermöglichte international und interkontinental vergleichbare Beobachtungen. Schliesslich wird Phänologie in unterschiedlichsten Fachbereichen betrieben, was eine Vernetzung der aus den verschiedensten Berufen und Disziplinen stammenden Fachleute auch zusätzlich erschwert. In der Schweiz nimmt der 2004 gegründete Phänologie-Kreis diese Aufgabe wahr.

Noch heute sind phänologische Karten typischerweise Inselkarten, obwohl die beobachteten Arten nicht an Landesgrenzen Halt machen. Die Beobachtungsprogramme der nationalen Wetterdienste sind noch nicht standardisiert. Die Bestrebungen des europäischen phänologischen Netzwerkes EPN und der COST-Aktion 725 («Establishing a European Phenological Data Platform for Climatological Applications») – an welchen auch die Schweiz teilnimmt – zielen innerhalb Europas in diese Richtung, während weitere Institutionen diese Bestrebungen auch weltweit aufnehmen.

Nutzen und Anwendungen der Phänologie

Phänologische Beobachtungen fanden bereits sehr früh in der Menschheitsgeschichte Anwendungen. Schon die Jäger und Sammler mussten für ihr Überleben wissen, wann und wo die essbaren Früchte reiften. Wichtig war für sie auch der Einstand oder die Wanderung des Wildes zu den verschiedenen Jahreszeiten. Später betrieben die Menschen Ackerbau und Viehzucht. Sie waren nun auf die Phänologie der Kulturpflanzen angewiesen. Es stellte sich die Frage nach den idealen Saat- oder Ernteterminen, und für die Viehzucht war es wichtig zu wissen, wann und wo saftige Weiden zu finden sind. All diese Erfahrungen wurden über Generationen hinweg weitergegeben, verfeinert und ergänzt. Die urbane Lebensweise lässt uns dieses Wissen langsam vergessen. Für landwirtschaftliche und naturwissenschaftliche Fragestellungen bietet die Phänologie nach wie vor wertvolle Datengrundlagen an.

Als Anwendungsbeispiel liegt die Prognose von Phänophasen auf der Hand. So können auf-

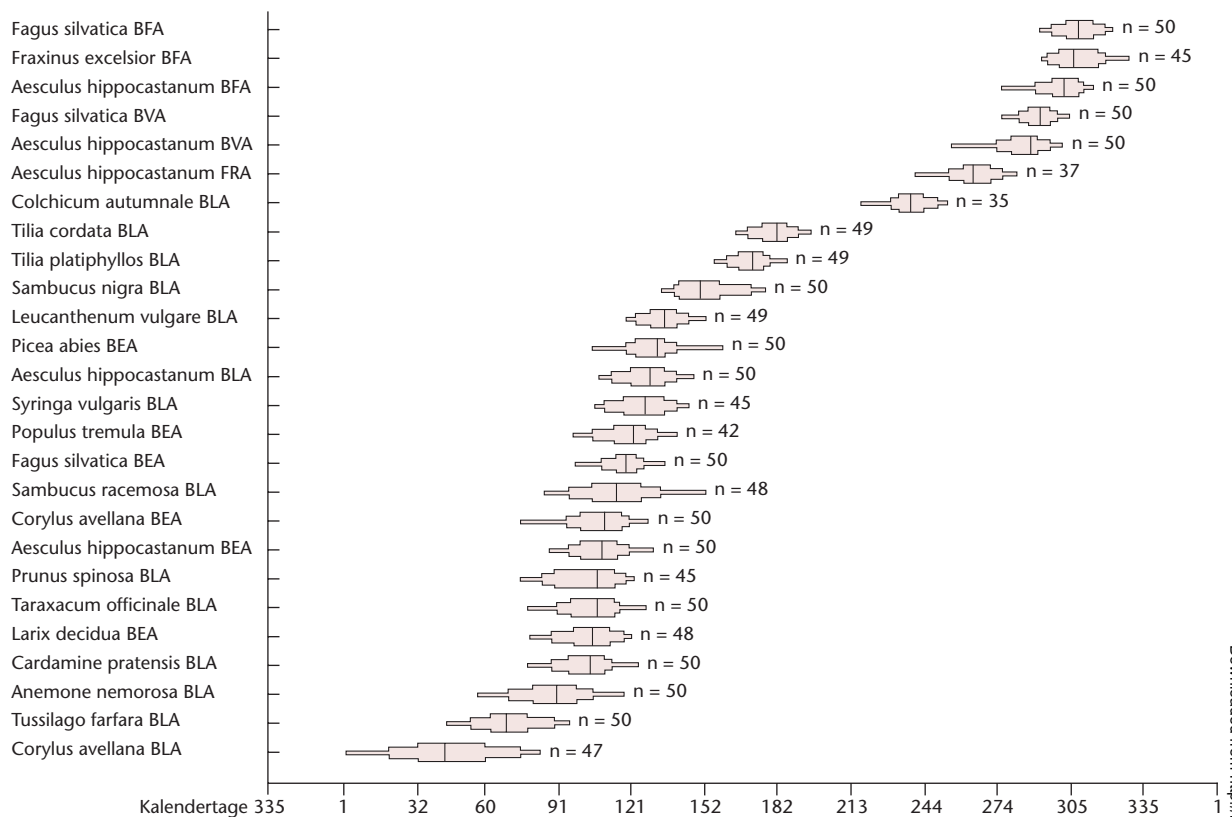


Abb 3 Phänologischer Kalender der Station Liestal. 350 m/M. Beobachtungsreihe 1951–2000. BEA Allgemeine Blattenfaltung/Nadelaustrieb, BLA Allgemeine Blüte, FRA Allgemeine Fruchtreife, BVA Allgemeine Blattverfärbung, BFA Allgemeiner Blattfall/Nadelfall (aus Defila 1992, modifiziert).

grund von Blühterminen von Obstbäumen und mittels Temperatursummen die Erntetermine vorausgesagt werden.

Da immer mehr Menschen unter Pollenallergien (Heuschnupfen) leiden, wird der Wunsch nach einer guten Pollenprognose immer stärker. Leider ist eine solche Prognose nicht einfach zu erstellen. Neben dem Stand der Entwicklung der entsprechenden Pflanze spielt vor allem das Wetter eine entscheidende Rolle, um den Zeitpunkt der Pollenfreisetzung zu bestimmen. Nützlich ist eine phänologische Vorphase irgendeiner Pflanze aufgrund welcher man den Pollenflug einer allergenen Pflanze unter Berücksichtigung der Witterung zwischen der Vorphase und der Pollenfreisetzung berechnen kann.

Für die Landwirtschaft ist die Phänologie für die Frostwarnungen und den integrierten Pflanzenschutz von Bedeutung. Eine gezielte Frostwarnung für die Obst- und Rebkulturen im Frühling (Spätfroste) erfordert die Kenntnis der Vegetationsentwicklung der Kulturen, die so genannten Phänostadien. Je nach Vegetationsstand sind die Knospen unterschiedlich frostempfindlich. Nur mit diesem Wissen kann eine effiziente und kostensparende Frostabwehr durchgeführt werden. Aber auch im integrierten Pflanzenschutz ist die Phänologie wichtig. Um überflüssige Spritzungen zu vermeiden, muss

der Stand der Entwicklung der Wirtspflanze und des Schädling bekannt sein. So können Umwelt und Geldbeutel geschont werden.

Häufig werden auch phänologische Karten gezeichnet. So gibt es für die Schweiz eine Wärme-gliederungskarte im Massstab 1:200 000 (Schreiber 1977) sowie vier phänologische Karten von Primault (1984) im Klimaatlas der Schweiz. Diese zwei Kartenarten entstanden mit recht unterschiedlicher Methodik. Während Schreiber mit seinen Mitarbeitenden phänologische Fahrten und Feldbegehungen durchführte, bei denen von ausgewählten Pflanzenarten an unterschiedlichen Standorten phänologische Stadien kartiert wurden (relative Phänologie), stützte sich Primault auf die Daten des Beobachtungsnetzes von MeteoSchweiz und zeichnete Karten von vier phänologischen Phänophasen (absolute Phänologie). Das Zeichnen von solchen Karten ist nicht einfach, da bei den Beobachtungsstandorten oft das Mikroklima eine wesentliche Rolle spielt und somit diese Daten nicht uneingeschränkt für eine grössere Region repräsentativ sind. Insbesondere sind die phänologischen Herbstphasen, wie zum Beispiel die Blattverfärbung der Buche, die von vielen Faktoren bestimmt wird, ein grösseres Problem. Die meteorologischen Einflussgrössen für die Laubverfärbung sind noch kaum bekannt. Die aktualisierten Karten von Primault (1984) wurden auch im di-

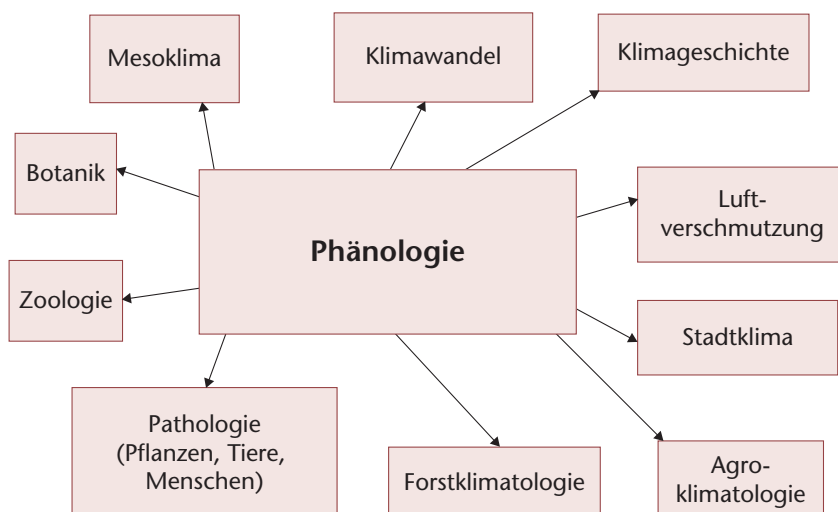
gitalen Atlas der Schweiz 2.0 (Hurni et al 2004) aufgenommen und sind dort interaktiv abrufbar.

Neben klimatologischen Modellen mittels Temperaturlimiten oder -summen gibt es auch phänologische Ansätze zur Definition der Vegetationsperiode. Hier stellt sich die Frage der Pflanzenauswahl. Soll der Beginn der Vegetationsperiode mit dem Ergrünen oder Blühen der ersten Pflanze festgelegt werden und das Ende mit der Verfärbung der Blätter des letzten Baumes oder Strauches? Oder soll für jede Pflanzenart eine eigene Vegetationsperiode definiert werden, wie zum Beispiel von der Blattentfaltung bis zur Blattverfärbung der Buche (photosynthetische aktive Zeit)?

Seit es phänologische Beobachtungsnetze gibt, werden immer wieder phänologische Kalender erstellt. Meist geschieht dies in Form einer Uhr, wo ersichtlich wird, zu welchem Zeitpunkt im Mittel welche Phänophase auftritt. Von MeteoSchweiz wird eine spezifische Darstellungsart angewendet. Die langen phänologischen Zeitreihen werden pro Phänophase und Station aufsteigend geordnet (vom frühesten bis zum spätesten Termin) und in fünf Klassen eingeteilt – von sehr früh (die ersten 10% der Daten), früh (die zweiten 15% der Daten), normal (die mittleren 50% der Daten), spät (die nächsten 15% der Daten) bis zu sehr spät (die letzten 10% der Daten). So entsteht pro Station mit mindestens 20 Beobachtungsjahren ein phänologischer Kalender, wo auch der Median pro Phänophase eingezeichnet ist. Mit diesen phänologischen Kalendern wird der mittlere Ablauf der phänologischen Phasen an einem bestimmten Standort dargestellt. Es werden die statistische Verteilung und die Extremwerte pro Phänophase ersichtlich. Diese Kalender werden jährlich nachgeführt und somit mit jedem dazukommenden Jahr immer aussagekräftiger.

Phänologische Jahresberichte, wie sie beispielsweise auch in der Schweizerischen Zeitschrift für Forstwesen publiziert werden, stossen auf ein breites

Abb 4 Anwendungsbereiche der Phänologie (aus Jeanneret 1997, modifiziert).



Interesse. Insbesondere möchte die Bevölkerung wissen, ob die Vegetationsentwicklung im entsprechenden Jahr normal oder extrem ist und wie gross die Abweichung vom Mittelwert ist. Auch aktuelle Aufsätze in Fachzeitschriften sind immer wieder gefragt und natürlich auch wissenschaftliche Publikationen. In Japan werden sogar Prognosen über den Blühzeitpunkt der Kirschen in Form von Karten und Texten in Tageszeitungen veröffentlicht.

Das Interesse an der Phänologie hat sich weltweit auf die Auswirkungen der Klimaerwärmung auf die phänologischen Eintrittstermine fokussiert. In vielen wissenschaftlichen Publikationen konnte nachgewiesen werden, dass vor allem im Frühling die Temperatur die Vegetationsentwicklung stark beeinflusst. Somit konnten Trends zu immer früheren Eintrittsterminen der Phänophasen für die letzten Jahrzehnte beobachtet werden. In Europa möchten die Phänologinnen und Phänologen enger zusammenarbeiten, und in Wien ist eine phänologische Datenbank für klimatologische Anwendungen im Aufbau (COST-Aktion 725). Auch für die Förster sind Änderungen bei den phänologischen Eintrittsterminen von Interesse. Ein entsprechender Aufsatz über die Phänologie von Waldbäumen ist in dieser Zeitschrift erschienen (Defila 2005).

Die Phänologie ist eine wenig aufwändige, aber aussagekräftige Methode, die klein- wie grossräumiges Biomonitoring ermöglicht. Die Anwendungsmöglichkeiten der phänologischen Daten sind vielfältig (Abbildung 4) und eröffnen auch in Zukunft ein grosses Potenzial.

Literatur

- BRÜGGER R, VASELLA A (2003) Pflanzen im Wandel der Jahreszeiten – Anleitung für phänologische Beobachtungen. Bern: Geogr Inst Univ Bern, Geogr Bern. 287 p.
- BRÜGGER R, STUDER S (2007) Die Vegetationsentwicklung – erfasst am Individuum und über den Raum. Schweiz Z Forstwes, accepted.
- BRUNS E, VAN VLIET AJH (2003) Standardisation of phenological monitoring. Wageningen: Wageningen Univ; Offenbach: Deutscher Wetterdienst. 79 p.
- DEFILA C (1991) Pflanzenphänologie der Schweiz. Zürich: Schweiz Meteorol Anst, Veröff 50. 235 p.
- DEFILA C (1992) Pflanzenphänologische Kalender ausgewählter Stationen in der Schweiz. Calendriers phytophénologiques d'un choix de stations en Suisse. Zürich: Schweiz Meteorol Anst, Klimatologie der Schweiz 30/L. 233 p.
- DEFILA C (2005) Phänologische Trends bei den Waldbäumen in der Schweiz. Schweiz Z Forstwes 156: 207–210. doi:10.3188/szf.2005.0207
- DEFILA C, CLOT B (2001) Phytophenological trends in Switzerland. Int J Biometeorol 45: 203–207.
- HOFFMANN H (1881) Vergleichende phänologische Karten von Mitteleuropa. Petermanns geogr Mitt: 19–26.

- HURNI L et al (2004)** Atlas der Schweiz = Atlas de la Suisse = Atlante della Svizzera = Atlas of Switzerland. Zürich: Inst Kartographie ETH Zürich; Wabern: Bundesamt Landestopographie. 64 p.
- IHNE E (1905)** Phänologische Karte des Frühlingseinzuges in Mitteleuropa. Petermanns Mitt 5: 97–108.
- JEANNERET F (1997)** From spatial sensing to environmental monitoring: a topoclimatic and phenological survey through Switzerland. *Biometeorology* 14(2) Proc Ljubljana: 201–207.
- JEANNERET F (2005)** Plant phenology, fog and snow cover duration – a topoclimatic survey of seasonality. Offenbach: Deutscher Wetterdienst, *Ann Meteorol* 41. pp. 528–531.
- JEANNERET F (2006)** Phänologie. Theorie und Praxis eines Biomonitorings. Bern: Geogr Inst Univ Bern, Vorlesungsbeilagen. 97 p.
- PRIMAULT B, SCHWIRZER S, KUHN W, AMBROSETTI F (1957)** Atlas phénologique = Phänologischer Atlas = Atlante fenomenologico. Zürich: Institut suisse de météorologie. 65 p.
- PRIMAULT B (1984)** Phänologie – Frühling, Frühsommer, Sommer, Herbst. = Printemps, début de l'été. Été, automne. In: Kirchhofer W et al, editors. *Klimaatlas der Schweiz = Atlas climatologique de la Suisse*. Wabern: Bundesamt Landestopographie. Tab 13.1, 13.2.
- PRIMAULT B (1964)** *Météorologie agricole et phénologie. 100 Jahre Meteorologie in der Schweiz*. Zürich: Meteorol Zentralanst. pp. 70–72.
- RUTISHAUSER B, STUDER S (2007)** Klimawandel und der Einfluss auf die Frühlingsphänologie. *Schweiz Z Forstwes* 158: 105–111. doi:10.3188/szf.2007.0105
- SCHNELLE F (1965)** Beiträge zur Phänologie Eupopas I. 5 Mittelwertskarten, Erstfrühling bis Herbst. Offenbach: Deutschen Wetterdienst, *Ber* 14 (101). 6 p.
- SCHREIBER KF (1977)** Wärmegliederung der Schweiz aufgrund von phänologischen Geländeaufnahmen in den Jahren 1969 bis 1973. Bern: Eidg. Justiz- und Polizeidepartement, Der Delegierte für Raumplanung, Grundlagen für die Raumplanung. 69 p.
- VAN VLIET AJH ET AL (2003)** The European Phenology Network; Nature's calendar on the move. Wageningen: Wageningen Univ. 64 p.

Phänologie – ein Biomonitoring und seine Anwendungen

Die Phänologie befasst sich mit dem jahreszeitlich wiederkehrenden Wachstums- und Entwicklungsgang von Lebewesen und abiotischen Erscheinungen. Dabei handelt es sich um Beobachtungen von Eintrittsterminen der Pflanzenentwicklung (von der Blattentfaltung bis zum Blattfall), von Vogelzügen (Ankunft und Abflug der Zugvögel) oder Reif, des Gefrierens von Gewässern und weiterer Naturerscheinungen. In der Schweiz betreibt die MeteoSchweiz seit 1951 ein nationales phänologisches Beobachtungsnetz, das alle Regionen und Höhenstufen umfasst, während eine ganze Reihe weiterer Netze für spezifische Zielsetzungen gegründet wurden, beispielsweise für die Arbeit in Schulen. Die internationale und globale Vernetzung der Phänologie läuft allmählich an. In Europa gibt es zurzeit Bestrebungen, die Beobachtungen zu vereinheitlichen und die Daten in einer zentralen Datenbank verfügbar zu machen. Die Pflanzenphänologie eignet sich vortrefflich als Indikator für ein Biomonitoring der Umweltveränderungen wie die heute aktuelle Klimaerwärmung, da die Pflanze integrierend die Umwelteinflüsse widerspiegelt. Daneben dient die Phänologie auch für gezielte Frostwarnungen, Pollenprognosen oder für die Optimierung des Pflanzenschutzes in der Landwirtschaft.

Phénologie – une surveillance biologique et ses applications

La phénologie se consacre à la croissance et au développement saisonnier d'êtres vivants et de phénomènes abiotiques. Il s'agit d'observations de la date d'apparition du développement des plantes (du déploiement des feuilles jusqu'à leur chute), des migrations des oiseaux (arrivée et départ des oiseaux migrateurs), ou de l'apparition du givre, du gel de plans d'eau et d'autres phénomènes naturels. La phénologie végétale convient parfaitement comme indicateur pour une surveillance des changements de l'environnement comme le réchauffement de climat actuel, puisque la plante reflète de manière intégrative de nombreux facteurs. En Suisse, depuis 1951, Météo Suisse entretient un réseau d'observation phénologique national dans toutes les régions et étages altitudinaux tandis que d'autres réseaux poursuivent des buts spécifiques, par exemple pour le travail dans des écoles. La mise en réseau internationale et globale de la phénologie démarre progressivement. En Europe, des tentatives sont en cours pour standardiser les observations et les stocker dans une banque de données centrale. La phénologie sert à présent en particulier d'indicateur de l'influence du réchauffement climatique sur la végétation, mais sert aussi pour des avertissements de gel ciblés, des prévisions de pollen ou pour l'optimisation de la protection des plantes en agriculture.