GEOGRAPHICA
BERNENSIA

U 26

Phänologie und Saisonalität

Geschichte, Monitoring, Raumansprache

François Jeanneret, This Rutishauser, Robert Brügger

Geographisches Institut der Universität Bern

GEOGRAPHICA BERNENSIA

Herausgeber:

Dozentinnen und Dozenten des Geographischen Instituts der Universität Bern

Reihen:

Reihe A	African Studies
Reihe B	Berichte über Exkursionen, Studienlager und Seminarveranstaltungen
Reihe E	Berichte zu Entwicklung und Umwelt
Reihe G	Grundlagenforschung
Reihe P	Geographie für die Praxis
Reihe S	Geographie für die Schule
Reihe U	**Skripten für den Unterricht**

U 26

GEOGRAPHICA BERNENSIA
Verlag des Geographischen Instituts der Universität Bern
Hallerstrasse 12, CH-3012 Bern

GEOGRAPHICA
BERNENSIA

U 26

Phänologie und Saisonalität

Geschichte, Monitoring, Raumansprache

François Jeanneret, This Rutishauser, Robert Brügger

Geographisches Institut der Universität Bern

Umschlagseite:
Reigen der Jahreszeiten im Wald (Eymatt, Bremgartenwald Bern 1999-2011)
Photos: Robert BRÜGGER

JEANNERET, François; RUTISHAUSER, This; BRÜGGER, Robert
Phänologie und Saisonalität. Geschichte, Monitoring, Raumansprache
Geographica Bernensia 2011
Print Version: ISBN 978-3-9905835-28-1 (vergriffen)

Redaktion und Lektorat: Miriam ANDONIE

Druck: Publikation Digital AG, Gerlafingen, Schweiz

JEANNERET, François; RUTISHAUSER, This; BRÜGGER, Robert
Phänologie und Saisonalität. Geschichte, Monitoring, Raumansprache
Geographica Bernensia 2018
Online Version: doi: 10.4480/GB2018.U26

© 2018 GEOGRAPHICA BERNENSIA
www.geography.unibe.ch

"Phenology is pastime with a considerable history. Once considered the harmless activity of a select few country gentlemen and clerics it has now taken on a new importance since its value as (probably) the oldest written biological records has been recognized."

Tim SPARKS, zitiert in MENZEL, 2002

Vorwort

Es gibt viele gute Gründe dem Rhythmus der Natur zu lauschen und Phänologie zu betreiben. Wenn Geographinnen und Geographen sich dieser Disziplin zuwenden und sich mit dem Jahresrhythmus der Natur beschäftigen, so stehen räumliche und umweltrelevante Fragestellungen im Vordergrund. Dies gilt auch für das Geographische Institut der Universität Bern GIUB, das sich – durch die Initiative von Prof. Dr. Bruno MESSERLI und mit Unterstützung von Dr. Bernard PRIMAULT (Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt, heute MeteoSchweiz) – seit 1969 mit Phänologie befasst: zunächst mit topoklimatischen und raumplanerischen Zielsetzungen, später aus einer historischen Perspektive heraus. Seit den 1990er-Jahren wird die Phänologie als eine Methode im Bio- und Umweltmonitoring für die Beurteilung des Waldzustandes und in europäischen Protokollen erwähnt. Aus diesen Erfahrungen entstanden Bibliographien und Beobachtungsanleitungen. Der Kontakt mit Schulen und Lehrpersonen war seit Beginn ein wichtiges Anliegen. Seit etlichen Jahren stellt der Einsatz von Satellitendaten, Kameras und Bildauswertungsverfahren eine neue, technisch ausgerichtete Möglichkeit der Datenerfassung dar, welche der Phänologie neue Perspektiven eröffnet. Schliesslich setzt sich die Forschungsgruppe „PHENOTOP – Phänologie – Topoklimatologie – Landschaftskunde“ für die nationale, europäische und globale Vernetzung ein.

Im Jahr 2005 fand die erste Lehrveranstaltung statt, 35 Jahre nach dem Einzug der Phänologie am GIUB als wissenschaftliche Methode und eigener Spezialität. Die Vorlesung mit Praktikum und Übungen gab den Studierenden nebst der Vermittlung von theoretischen Grundlagen und Beispielen aus der Praxis die Gelegenheit, sich mit Daten und Erhebungsgrundlagen auseinanderzusetzen. Das Gesamtpaket aus Vorlesung, Praktikum, Kolloquium und Seminar ermöglichte den Teilnehmenden wichtige Kontakte mit der Welt der Forschung.

Das als Begleitdokumentation zur Lehrveranstaltung entstandene Vorlesungsskript soll nun in die Reihe der deutschsprachigen Grundlagewerke treten, welche Mitte des 20. Jahrhunderts erschienen sind. Das vorliegende Buch ist stark regional verankert und präsentiert dadurch exemplarisch verschiedenste Aspekt der Phäno-

logie. Es war ursprünglich für Studierende an der Universität Bern gedacht, soll aber auch zum Selbststudium und als einführende Lektüre dienen. Bewusst haben wir diese Zusammenstellung in deutscher Sprache verfasst, weil ein zeitgenössisches Handbuch fehlt und diese Ausgabe zudem für den Markt des „mitteleuropäischen Phänologiegürtels" gedacht ist. Als englischsprachige Standardwerke empfehlen sich die Handbücher, die SCHWARTZ 2003 und HUDSON und KEATLY 2010 herausgegeben haben.

In diesem Sinn mag die vorliegende Publikation die Phänologie als eigenständige Disziplin einer künftigen Generation von interessierten Naturwissenschaftlerinnen und Anwendern näher bringen. Diskutiert und dargestellt werden Möglichkeiten und Grenzen zur Erfassung des Rhythmus' der Jahreszeiten mit einer aufschlussreichen *Low Cost*-Methode. Sie wird den (Wieder-)Einstieg in diese faszinierende Welt erleichtern. Wir danken den aktiven und ehemaligen Kolleginnen, Kollegen und Studierenden, die am Geographischen Institut Bern im Rahmen von Projekten oder Seminar-, Diplom-, Bachelor- und Masterarbeiten phänologische Themen bearbeiteten.

Aber vor allem sei allen Beobachtenden besonders gedankt, ohne deren stilles, jahre- und jahrzehntelanges Engagement keine Phänologie betrieben werden könnte. Auch den Teilnehmerinnen und Teilnehmer an früheren Veranstaltungen danken wir für das Mitmachen, für die Praktikums- oder Abschlussarbeiten, die nicht nur die Phänologie fördern, sondern auch für eine weitere Verbreitung unser Disziplin sorgen. Dabei ist zu hoffen, dass künftig weitere spezifische Lehrveranstaltungen auf Hochschulebene angeboten werden können.

Folgenden Institutionen und Gruppen danken wir für die gute Zusammenarbeit: Gruppen für Klimatologie und Meteorologie KLIMET und Fernerkundung FERKL am Geographischen Institut der Universität Bern, Institut für Pflanzenwissenschaften und Historisches Institut der Universität Bern, Botanisches Institut der Universität Basel, Institut für Agrarwissenschaften an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, Bundesamt für Klimatologie und Meteorologie MeteoSchweiz, Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Institut für angewandte Pflanzenbiologie IAP Schönenbuch, Bildungszentren Wald Lyss und Maienfeld, GLOBE-Schweiz und den Partnern an den europäischen Forschungsprogrammen *European Phenology Network* EPN und der COST-Aktion 725.

Seit 2004 besteht in der Schweiz eine Vernetzung von Beobachtenden, Auswertenden und Interessierten, zuerst als Phänologiekreis Schweiz (*Cercle phénologique suisse, Circolo fenologica svizzero, Swiss Phenological Circle*), und seit 2011 als Kommission für Phänologie und Saisonalität der Schweizerischen Akademie für Naturwissenschaften SCNAT (*Platform Geosciences*). Den Phänologietagen und Rundbriefen sind Einblicke in die verschiedensten Bereiche, Spezialitäten und Randgebiete der Disziplin zu verdanken. Verschiedene Beiträge aus den Rundbriefen waren Inspiration für Abschnitte im vorliegenden Buch, den Autorinnen und Autoren sei herzlich gedankt, ebenso den Kolleginnen und Kollegen, die Doku-

mente, Photos, Daten und Graphiken zum Abdruck überlassen oder Projekte bearbeitet und begleitet haben: Hella AHRENDS, David BASLER, Marco CONEDERA, Claudio DEFILA, Markus EUGSTER, Werner EUGSTER, Markus FISCHER, Fabio FONTANA, Patrick FONTI, Otto HEGG, Thomas HERREN, Birgit KALLENBERG, Elisabeth KOCH, Patrick KUSS, Jürg LUTERBACHER, Gwladys MATHIEU, Annette MENZEL, Beat NAEF-DAENZER, Maria NUBER, Josep PEÑUELAS, Christian PFISTER, Christian RÖTHLISBERGER, Jürg RÖTHLISBERGER, Héla SAADI, Helfried SCHEIFINGER, Christoph SCHLEIP, Mark D. SCHWARTZ, Tim SPARKS, Reto STÖCKLI, Astrid VASSELLA, Juliette VOGEL, Arnold VAN VLIET, Richard VOLZ, Heinz WANNER, Hans WINKLER, Stefan WUNDERLE, Niklaus ZBINDEN. Einen besonderen Dank für die Schlussredaktion schulden wir Miriam ANDONIE.

Tim SPARKS beschreibt phänologisches Beobachten in früheren Zeiten als "die harmlose Tätigkeit erlesener Landbewohner und Kirchenleute". Nun liegt es an den heutigen und künftigen Phänologinnen und Phänologen, das Wissen aus langer Tradition mit einer "neuen Wichtigkeit" sowie zeitgenössischen Inhalten und Methoden zu bereichern.

Im Frühling 2011 François JEANNERET, This RUTISHAUSER, Robert BRÜGGER

Inhaltsverzeichnis

1 Von der Naturbeobachtung zum phänologischen Produkt 10

1.1 Struktur und Prozesse – Versuch einer Systematik 10
1.2 Die Natur der Phänologie – Beobachtung statt Messung 10
1.3 Die Faktoren und Dimensionen der Pflanzenphänologie 17
1.4 Standortsfaktor Klima 19
1.5 Mensch und Natur – Methoden und Ergebnisse 31

2 Jäger und Sammler – die Vielfalt der Erhebungen 33

2.1 Die Beobachtung – Rohstoff für Monitorings 33
2.2 Die phänologische Entwicklung 39
2.3 Phänologische Beobachtungsnetze – die Infrasstruktur 42
2.4 Bilder ergänzen die Beobachtungen 46
2.5 Phänologie findet auch im Winter statt 47

3 Geschichte und Vernetzung – von der Antike zur Moderne 49

3.1 Klimatologie und Phänologie – eine asynchrone Geschichte 49
3.2 Die Renaissance der Phänologie 53
3.3 Phänologie kontinental und global – die späte Vernetzung 54
3.4 Nationale Netze 57
3.5 Sondernetze 58
3.6 Das Berner Waldnetz des 19. Jahrhunderts 67
3.7 Das Waldphänologienetz in der Schweiz 68
3.8 Internationale Phänologische Gärten Europas (IPG) 70
3.9 Raumbezogene Auswertungen – Karten und GIS 72
3.10 Phänologische Karten in Atlanten 80

4 Daten und Modelle – Schlüssel zum Verständnis 82

4.1 Phänologie und Saisonalität im Klimawandel 82
4.2 Der phänologische Blick zurück – Kirschblüte im Alpenland 86

4.3 Rekonstruktion einer "statistischen Frühlingspflanze" 92
4.4 Satellitenphänologie 93
4.5 Photophänologie 96
4.6 Familien phänologischer Modelle 102

5 Die Saisonalität – Kerngeschäft der Phänologie 107

5.1 Tages- und Jahreszeiten – phänologische Periodizität 107
5.2 Klimatische Jahreszeiten – Statistiken und Mittelwerte 109
5.3 Phänologische Jahreszeiten – Rhythmus der Saisonalität 111
5.4 Relative Phänologie – Wuchsgliederungskarten 127
5.5 Herbstphänologie – ungelöste Rätsel 132
5.6 Findet der Winter überhaupt noch statt? 135

6 Produkte und Anwendungen – Beiträge und Ansätze 137

6.1 Anwendungen der Phänologie 137
6.2 Phänologie und Pollen – Beitrag zur Allergologie 138
6.3 Gebirgsphänologie 140
6.4 Phänologie und Landwirtschaft 147
6.5 Kastanienphänologie 149
6.6 Vogelphänologie 150
6.7 Jahrringe und Phänologie 154
6.8 Phänologie in der Schule – Beobachtungen im Unterricht 156

7 Phänologie und Saisonalität – ein Ausblick 161

8 Bibliographie 163

8.1 Handbücher und Monographien zur Phänologie 163
8.2 Bibliographie 163
8.3 Unveröffentlichte Manuskriptarbeiten 175

9 Internet-Adressen 177

1 Von der Naturbeobachtung zum phänologischen Produkt

1.1 Struktur und Prozesse – Versuch einer Systematik

Die Phänologie lauscht die Rhythmen der Natur ab – und durchläuft dabei eine ganze Kette von Prozessen, die hier exemplarisch dargestellt und illustriert werden sollen (Tabelle 1). Auf dem Weg von der Beobachtung natürlicher Phänomene zu auswertbaren Daten und anwendbaren Produkten sind naturwissenschaftliche Grundsätze zu befolgen, geeignete Erfassungs- und Auswertungsmethoden auszuwählen und anwendbare Produkte zu erzeugen. Dies in einer konsistenten Art systematisch darzustellen ist nicht einfach, denn Überschneidungen und Wiederholungen sind kaum zu vermeiden. Etliche Infrastruktur und viele Projekte könnten somit in die unterschiedlichsten Kapitel eingereiht werden.

1.2 Die Natur der Phänologie – Beobachtung statt Messung

Bei der Phänologie geht es um Beobachtungen der Natur und ihrer jahreszeitlichen Rhythmen – doch gibt es verschiedene Definitionen (Tabelle 2), die vorwiegend um einige Schlüsselbegriffe kreisen (Tabelle 3). Klassische Erhebungen betreffen Pflanzen und Tiere, aber manchmal auch Eis, Schnee und Frost (Abbildung 1). Herkömmliche Resultate sind Datumsangaben des Eintrittes charakteristischer Erscheinungen. Heute werden auch Fotos oder Herbarbelege herangezogen, um eine feinere zeitliche Auflösung zu erreichen oder Beobachtungen aus der Vergangenheit zu rekonstruieren. Dabei geht es um den jahreszeitlichen Rhythmus in der Natur.

Oft wird der Bezug zu Wetter und Klima in den Vordergrund gestellt, aber auch andere Umweltfaktoren beeinflussen das phänologische Verhalten von Organismen und der unbelebten Natur – Phänologie ist somit eine Methode des Bio- und Umweltmonitorings (JEANNERET 1997), aber durch die ganzheitliche Ansprache ein eigenständiger, interdisziplinärer Bereich mit Wurzeln in den unterschiedlichsten Fächern. Akteure, Interessenten und Anwender rekrutieren sich deshalb aus ganz verschiedenen Berufen und Interessen (Tabelle 4). Als Biomonitoring bedient sich die Phänologie vornehmlich der belebten Natur, als Umweltmonitoring wi-

derspiegelt sie die unterschiedlichsten Charakteristiken der Umwelt, insbesondere die klimatischen Bedingungen.

Die Phänologie beruht vornehmlich auf Beobachtungen – in der Regel auf Erhebungen von Eintrittsdaten – und nicht auf Messungen. Der Übergang zur Phänometrie ist aber durchaus fliessend, nämlich sobald auch physikalische Messgrössen erfasst werden (Abbildung 1).

1.	**Natur und Dimensionen**	Pflanzen, Tiere, Schnee, Eis, Nebel, Herbarbelege, Holzanatomie, histor. Archive…
		Freiland, Wald, Phänologische Gärten
2.	**Erhebungen und Infrastruktur**	Augenbeobachtungen, Terrestrische Photos, Fernerkundung Historische Quellen, Baumringe, …
		Einzelbeobachter, Netze, Feldkampagnen Archive, …
3.	**Geschichte und Vernetzung**	Geschichte und Entwicklung der Phänologie
		Internationale Vernetzung und Zusammenarbeit
4.	**Methoden und Datenverarbeitung**	Datum, Prozentwert, Zustand
		Datenerfassung Datenkontrolle, Archivierung
5.	**Modelle und Rekonstruktionen**	Kartierung, Assessment, Langzeit-Monitoring, Sofortmeldung, Quasi-Echtzeit, …
		Historische Rekonstruktion, …
6.	**Produkte und Anwendungen**	Kartierung, GIS, Zeitreihen, Prognosen, Artenbezogene Modellierung, Saisonalität
		Raumplanung, Klimatologie und Umweltforschung, Landwirtschaft, Medizin, Klima- und Umweltgeschichte, Unterricht, …

Tabelle 1: Der weite Weg von der Naturbeobachtung zum Produkt: Struktur und Prozesse der Phänologie.

gr.: phainestai= *erscheinen***, gr.: logos**
= *Lehre, Wissenschaft*

Die Phänologie *hat die Aufgabe, die verschiedenen im Jahresablauf periodisch wiederkehrenden Wachstumserscheinungen der Pflanzen zu beobachten und die Zeit Ihres Eintretens festzuhalten***.** SCHNELLE 1955

Phytophänologie: *Periodisch wiederkehrende Reaktionserscheinungen der Pflanzenwelt auf die vorangehenden Umweltverhältnisse.* MAHRER 1985

Phänologie, *Lehre von den Wachstumserscheinungen der Pflanzen, die im Jahresverlauf eine typische Abfolge zeigen.*
LEXIKON DER GEOWISSENSCHAFTEN IN 6 BÄNDEN, 2001

Phénologie. Biogéographie. *– Etude du rythme saisonnier dans l'aspect physiognomique et dans l'activité des organes et des organismes végétaux (floraison, fructification, etc.).* GEORGE und VERGER, 1996[6]: DICTIONNAIRE DE LA GEOGRAPHIE.

Phenology: *The science which deals with the effects of seasonal changes upon animal and vegetable life. It thus includes such phenomena as the flowering or bursting into leaf of plants, seedtime and harvest, etc. though observations far often limited to the dates at which these phenomena, and, for instance, the first and last appearance of birds and insects, occur…* MOORE 1970: A DICTIONARY OF GEOGRAPHY

Phänologie *[von griech. Phainestai = erscheinen und logos = Lehre]; allgemein die Lehre von den Erscheinungsformen; Mitte des 19. Jh. für die Wissenschaft von den Wachstumserscheinungen und Entwicklungsvorgängen der Pflanzen vorgeschlagen und in dieser einengenden Form seither gebräuchlich. Eine entsprechende Tierphänologie hat sich bisher kaum entwickelt. Die Phänologie hat die Aufgabe, alle Wachstumserscheinungen, vor allem die verschiedenen, im Jahresablauf periodisch wiederkehrenden Entwicklungen des Pflanzenwachstums zu beobachten oder zu messen, den jeweiligen Zeitpunkt ihres Eintritts sowie deren Abhängigkeit von klimatischen Gegebenheiten… festzustellen und zu untersuchen.* LEXIKON DER GEOGRAPHIE 2002

Modern phenology *is the study of the timing of recurring biological events in the animal and plant world, the causes of their timing with regard to biotic and abiotic forces, and the interrelation among phases of the same or different species.* LIETH 1974 in WMO 2008

Phenology *is the art of observing life cycle phases or activities of plants and animals in their temporal occurrence throughout the year»).* LIETH 1974, SEASONALITY MODELLING

Plant phenology *is typically observed for selected individuals at discrete in-situ locations, lacking representation of complex local ecological relationships.* LIANG + SCHWARTZ 2007

Land Surface Phenology *recorded by satellite sensors integrates ecosystem information over large areas, but with less detail and accuracy.* LIANG + SCHWARTZ 2007

Landscape Phenology (LSP) *is proposed to study plant phenology in the context of landscape ecology, by intensive sampling of an entire vegetation patch along with the relevant biological and microenvironmental factors.* LIANG + SCHWARTZ 2007

Phänometrie: *Teilgebiet der Phänologie, welches das Wachstum der Pflanzen bzw. ihrer Einzelteile messend verfolgt.*
LESER 1997[2], WÖRTERBUCH DER ALLGEMEINEN GEOGRAPHIE

Phenology: *the study of the timing of recurring biological phases, the causes of their timing with regard to biotic and abiotic forces, and the interrelation among phases of the same or different species.* EUROPEAN PHENOLOGY NETWORK 2003

Phenology *is the study of the times of recurring natural phenomena especially in relation to climate and weather*
VAN VLIET + DE GROOT 2003, CHALLENGING TIMES

Phenology models *predict time of events in an organism's development*.
UNIVERSITY OF CALIFORNIA, AGRICULTURAL AND NATURAL RESOURCES

Phenology *is about observing temporal changes in nature and registering what happens at different seasons.*
PHENOLOGY OF THE NORTH CALOTTE, SVANHOFD ENVIRONMENTAL CENTRE

Lake and River Ice Phenology …*the seasonal phenomenon of the freezing and thawing of lake and river ice.*
GLOBAL LAKE AND RIVER ICE PHENOLOGY. NSIDC

Die Phänologie *erfasst mit Beobachtungen im Feld, auf Bildern, Photographien, historischen Dokumenten und Belegen Ablauf und Entwicklung der Jahreszeiten in der biotischen und abiotischen Umwelt.* JEANNERET 2005 (übersetzt)

Tabelle 2 : Etymologie, klassische und neuere Definitionen der Phänologie als Disziplin.

	Zeit	Erscheinungen	Gegenstand	Ursache
Jahres-verlauf	*Zeit*	*Wachstums-erscheinungen*	*Pflanzen, Tiere*	*Klima, Wetter*
Jahreszeiten	*Zeitliche Veränderung*	*Entwicklungs-erscheinungen*	*Organismen, Organe*	*Umwelt*
saisonal	*Zeitpunkt (timing)*	*Reaktions-erscheinungen*	*Seen und Flüsse*	*Natur*

Tabelle 3 : Schlüsselbegriffe und Bezüge der Definitionen der Phänologie (Tabelle 2).

Bei den Pflanzenbeobachtungen wird zwischen Einzel- und Bestandesbeobachtungen (z. B. an Einzelbäumen bzw. an Baumbeständen im Wald oder einer Wiese) unterschieden. Beobachtungen werden nach steigender Objektivität eingeordnet in historische Beobachtungen (Abschnitt 4.2), Netzwerkbeobachtungen (Abschnitt 2.3) und phänologischen Entwicklungsstadien des BBCH-Code (Abschnitt 5.1). Die Photophänologie ist sowohl Teil der traditionellen, beobachtenden Phänologie als auch der messenden Phänometrie (Abschnitt 4.5).

Berufsfach	Interessen
Botanik	*Pflanzen (Kräuter, Sträucher, Bäume) und Umwelt*
Zoologie	*Tiere (insb. Insekten und Vögel) und Umwelt*
Klimatologie	*Zeitreihen, Modelle und Rekonstruktionen, Saisonalität, Klimawandel*
Geographie	*Kartierungen (insb. topoklimatische), Downscaling des globalen Wandels*
Ökologie	*Veränderungen der Umwelt*
Geschichte	*Umweltdaten (Proxies) der Vergangenheit*
Raumplanung	*Objektive Kriterien für Zonenplanung*
Medizin	*Menschliche Gesundheit (insb. Allergiologie)*
Landwirtschaft	*Planung der Feldarbeit*
Forstwirtschaft	*Veränderungen der Waldbäume und der Vegetation*
Unterrichtende	*Natur- und Umweltkunde*

Tabelle 4: Interessen an der Phänologie von Disziplinen, Berufs-, Ausbildungs- und Anwendungsfächer.

Mit Photographien können Entwicklungsstadien von Pflanzenindividuen bildlich festgehalten und später in phänologische Phasen transformiert werden. Digitale Aufnahmen halten das physikalische Reflektanzspektrum einer Pflanze oder eines Pflanzenbestandes fest, die mit Bildverarbeitungsverfahren zur Gewinnung phänologischer Daten verwendet werden können (Abschnitt 4.5) Phänometrische Messungen werden eher im Bereich von Pflanzenorganen vorgenommen, also in den kleinen Messeinheiten (Abbildung 1). Die Chronobiologie befasst sich mit allen zeitlichen Veränderungen in der Lebewelt, aber auch mit Phänomenen der unbelebten Natur.

Somit lässt sich die Phänologie in die klimatologischen Skalenbereiche einordnen, hier findet sie ihren Platz im Bereich des Mikro- bis Makroklimas, mit Schwerpunkt auf Topo- und Geländeklima (BENDIX 2004) und jahreszeitlichen Schwankungen. Wenn die Phänologie im Skalenbereich von Naturbeobachtungen eingeordnet werden soll, so nimmt sie eine recht zentrale Stellung im Schema ein (Abbildung 2). In räumlicher Hinsicht wird der grösste Detailierungsgrad durch ein pflanzliches Individuum, der kleinste durch kontinentale und globale Übersichten erreicht (Abschnitt 3.3). Der Schwerpunkt auf der Zeitachse stellt die jahreszeitliche Schwankung oder Saisonalität dar (Kapitel 5).

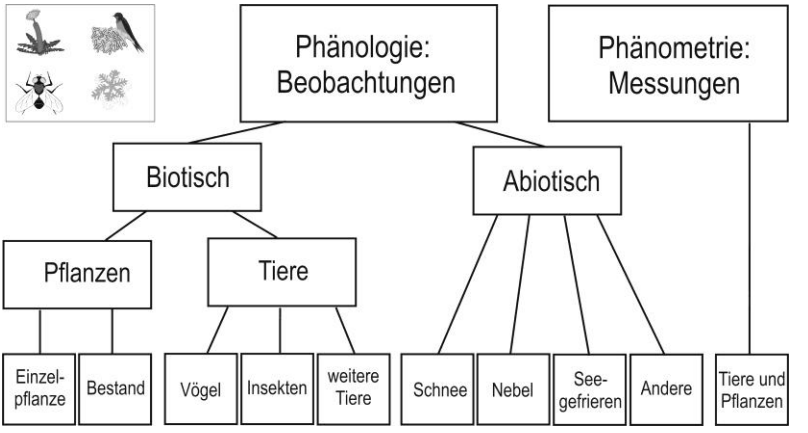


Abbildung 1: Beobachtungen und Messungen – Phänologie und Phänometrie
(aus JEANNERET 2005, übersetzt).

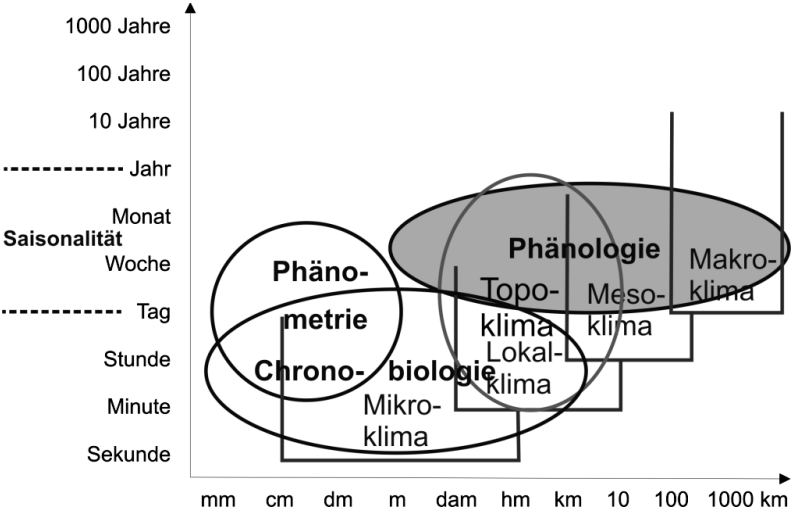


Abbildung 2 : Räumlicher und zeitlicher Skalenbereich von Klima und Phänologie sowie verwandter Disziplinen
(nach OKE 1987, verändert, aus JEANNERET 2005, übersetzt).

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 andern Disziplinen beteiligt sie sich an der zeitlichen und räumlichen Verbreitung der Umweltveränderungen und der Erforschung deren Ursachen (Tabelle 5). Wetter, Klima und weitere Umweltfaktoren bestimmen den Lebensrhythmus der Pflanzen, und damit das phänologische Verhalten (Abschnitt 1.4).

	Raum	**Entwicklung**	**Phänologie**
Moment	*Licht, Temperatur, Nährstoffangebot*	*physiologischer Zustand, Stoffwechselprozesse, Q10,*	
Tag **Tageszeit**	*Hellphase, Dunkelphase, Niederschlag*	*zirkadianer Rhythmus, öffnen und schliessen von Blüten, Lichtbewegungen der Blätter*	*Phänophase*
Saison **Jahreszeit**	*Sonneneinstrahlung, Horizonteinengung, Wind, Schneedauer, Schneehöhe, Nebel, Populationsdynamik*	*Wachstumserscheinungen, Entwicklungserscheinungen, leaf flushing (Knospenaufbruch), Fruchtbildung. Chilling requirement, Rest, Rest depletion, Quiescence, Senescence, Abscission*	*Phänostadium* *Entwicklungstadien BBCH* *Phänologischer Entwicklungsindex PEI*
Jahr **Jahresverlauf**	*Konkurrenz, Samenverbreitung* *Vegetationsindices NDVI (allgemeine VI)*	*Knospenbildung, Ausbreitung, Etablierung, Wurzelraum, Kronenraum, Populationsentwicklung* *Blattflächenindex LAI*	*Phänologische Kalender, Blühuhr* *PGI (Pseudo NDVI)*
Dekaden **Jahresabfolge**	*Biogeographie, Verbreitungsbiologie, Adaption*	*Population, Alterung, Onthogenese, (Phylogenese)*	*Zeitreihen von Phänophasen od. Entwicklungserscheinungen, Frühlingsindex*

Tabelle 5: Vergleich biologischer und phänologischer Begriffe auf verschiedenen Skalen.

1.3 Die Faktoren und Dimensionen der Pflanzenphänologie

Die Eintrittstermine der phänologischen Phasen variieren von Jahr zu Jahr und von Ort zu Ort sehr stark. Die erblichen Voraussetzungen, aber auch Standort und Umwelt bestimmen und beeinflussen die pflanzliche Entwicklung und mit ihr die phänologischen Ereignisse (siehe Abb. 1). Pflanzen können sich bis zu einem gewissen Grad an ihre Umwelt und deren Veränderungen anpassen. Diese Anpassung ist in der Regel ein Kompromiss zwischen verschiedenen Bedürfnissen der Pflanze. So haben sich zum Beispiel die Bäume unserer Breitengrade über Generationen hinweg so an die lokalen klimatischen Gegebenheiten angepasst, dass beispielsweise bei der Blattentfaltung das Risiko von Frostschäden an den frisch ausgetriebenen Blättern möglichst gering ist, gleichzeitig aber die Vegetationsperiode maximal ausgenutzt werden kann. Die Anpassungsfähigkeit der verschiedenen Arten ist dabei unterschiedlich (BRÜGGER 1998, DEFILA 1991, KRAMER 1996).

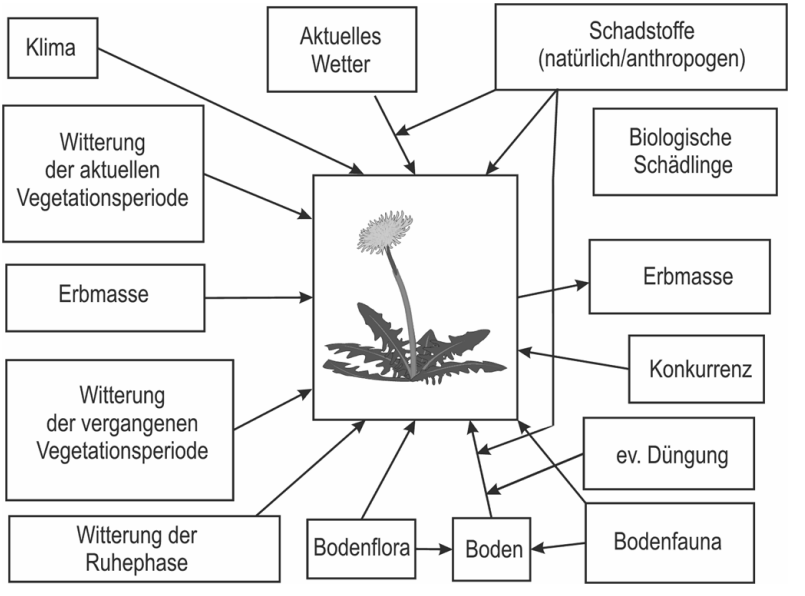


Abbildung 3: Einflussfaktoren auf das phänologische Verhalten der Pflanze – für Tiere gelten sinngemässe Beziehungen von höherer Komplexität durch die Abhängigkeit vom Nahrungsangebot und der Mobilität (nach DEFILA 1988, verändert).

Die Phänologie der Pflanzen befasst sich thematisch mit den Dimensionen Zeit und Raum sowie der ontogenetischen Entwicklung (Abbildung 4). Entsprechend dem Ziel der Untersuchungen steht eine der drei Dimensionen im Mittelpunkt. Mindestens eine der beiden andern Dimensionen ist relevant, sobald die phänologischen Daten ausgewertet werden.

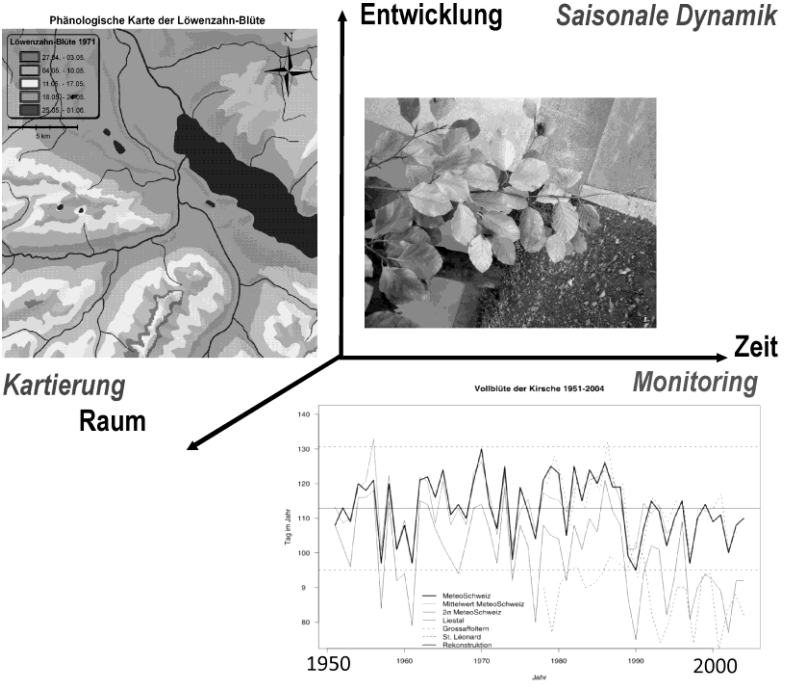


Abbildung 4 : Drei Dimensionen der phänologischen Annäherung an die Wirklichkeit. Historische Phänologie befasst sich primär mit der Zeitachse: Rekonstruktion des Klimas mit Hilfe phänologischer Daten. Raumanalysen (Nutzungskarten, Klimaeignungskarten usw.) werden mit den Daten der Beobachtungsnetze erstellt. Die phänologische Entwicklung einzelner Individuen wird mit genauen Beobachtungen von Phänostadien erhoben und ist mit physiologischen und ökologischen Messungen verknüpfbar
(Graphik Robert BRÜGGER, François JEANNERET).

1.4 Standortsfaktor Klima

Jahreszeitenklima – Vegetationsperiode

Der Einbezug der Standortsfaktoren Klima, Relief und Hydrologie sind für das Grundverständnis ökosystemarer Prozesse unabdingbar. Ihre Wirkung als Einflussgrössen (Reizgrössen) oder auf Rückkoppelungseffekte wird zunehmend in Modellvorstellungen integriert, ist aber längst nicht vollständig erkannt, da es sich um dynamische Prozesse in fortwährendem Wandel handelt. Für Pflanzen und Tiere ist der Faktor Klima einer unter vielen, aber zweifellos für die Phänologie zentral.

In der Biogeographie wird der Einfluss des Klimas auf die Pflanzen insbesondere unter dem Aspekt der zonalen Differenzierung gesehen. Die Temperaturverhältnisse, die Wasserversorgung und das Nährstoffangebot sind die bedeutendsten Differenzierungsparameter. Der hygrothermische Jahresgang unterliegt strahlungsklimatischen Unterschieden. So zeichnen sich die Tropen dadurch aus, dass nahezu isotherme Verhältnisse herrschen und somit die Niederschlagsverteilung entscheidend für den Pflanzenwuchs ist, während in hohen Breiten der Temperaturgang eine vorrangige Rolle spielt. In den Mittleren Breiten sorgen beide Faktoren in verschiedenen Kombinationen für entscheidenden Einfluss. Das Jahreszeitenklima ist das Klima der Ektropen (allen Klimazonen ausser den Tropen), in dem sich warme und kalte Jahreszeiten deutlich voneinander unterscheiden, sowie die Tageslänge über die Dauer eines Jahres variiert. Das Gegenteil herrscht in den Tropen vor und wird Tageszeitenklima genannt.

Drei Ansätze für die Klimaklassifikationen allgemein

1. **Genetische Klassifikation**: Genetische Klimaklassifikationen stellen die Entstehung des Klimas, also deren Genese, in den Mittelpunkt. Räume gleicher Klimate werden also zum Beispiel nach der Kontinentalität bzw. Maritimität eines Teilraumes bestimmt. Zentrale Grundlagen der genetischen Klimaklassifikationen ist die Energiebilanz der Erde, basierend auf der Bilanz aus ein- und ausgestrahlter Energie, und die darauf beruhende allgemeine Zirkulation der Atmosphäre. Eine frühe genetische Klimaklassifikation legte Hermann FLOHN vor, auf die auch die heute gebräuchlichste Variante von Ernst NEEF aufbaut.
2. **Effektive Klassifikation**: Die effektiven gehen im Gegensatz zu den genetischen Klassifikationen weniger auf die Entstehung der Klimate ein, als auf deren Erscheinung. Ein wichtiger Ausgangspunkt sind die verschiedenen Vegetationsformen, da gleiche Pflanzen nur unter gleichen klimatischen Bedingungen wachsen. Um die Zonen genau-

er abgrenzen zu können und das Klima möglichst detailliert darzustellen, werden oftmals noch weitere Kriterien, wie Temperatur und Niederschlag, in die Betrachtung mit einbezogen. Die Bekanntesten von ihnen sind die Gliederungen von Wladimir Peter KÖPPEN (weitergeführt von Rudolf Oskar GEIGER) und die Gemeinschaftsarbeit von Carl TROLL und Karlheinz PAFFEN.

3. **Integrative Klimaklassifikation:** Die Autoren der Klassifikation aufgrund der ökophyiologischen Merkmale der Vegetation von LAUER und RAFIQPOOR (2003) bezeichnen ihr System als erste integrative Klimaklassifikation. Dieses vereint sowohl genetische Elemente als auch effektive Elemente wie z. B. die aktuelle Bodenbedeckung.

Klimaklassifikation nach TROLL/PAFFEN

Die Einteilung basiert auf der Beobachtung der jahreszeitlichen Wechsel der Klimaelemente (Strahlung, Temperatur, Niederschlag), zudem findet die Vegetationsausprägung in den einzelnen Klimazonen starke Berücksichtigung. Höhenklimate werden als Varianten der lagebedingten Zonenklimate dargestellt (z. B. Zone I in Hochgebirgen mittlerer Breiten, Tabelle 1, Tabelle 6).

TROLLS Klassifikation ist sehr detailliert und verwendet Schwellenwerte und festgesetzte Wertebereiche für bestimmte Parameter, um eine weitere Unterteilung der fünf grossen Klimazonen zu ermöglichen. Diese Parameter sind die Mitteltemperatur des wärmsten Monats, die Mitteltemperatur des kältesten Monats, die Jahresamplitude der Temperatur, die Vegetationsdauer in Tagen sowie die Anzahl der humiden Monate.

Ein nach TROLLS Klassifikation ozeanisches Borealklima muss beispielsweise eine Vegetationsdauer von 120 bis 180 Tagen bieten, die Mitteltemperatur des wärmsten Monats muss zwischen +10 und +15 Grad Celsius und die Mitteltemperatur des kältesten Monats zwischen +2 und -3 Grad Celsius liegen. Verschiedene Autoren entwickelten im Verlauf des 20. Jahrhunderts den Begriff des Bioms, der nicht nur die Lebensbedingungen sondern auch alle Lebewesen des räumlichen Ausschnittes einbeziehen, er kann dem Begriff der Landschaftsgürtel gleichgesetzt werden. Heinrich WALTER hat seit 1976 Zonobiome systematisiert und insbesondere bioklimatisch begründet (BRECKLE 2002, Tabelle 7). Für den Übergang von einem Zonobiom zum andern hat er den Begriff des Zono-Ökotons verwendet. Zusammen mit Helmuth LIETH hat Heinrich WALTER einen spezifischen Typ von Klimadiagrammen entwickelt, der auch im Rahmen eines Weltaltas für Stationen auf allen Kontinenten angewendet wurde (WALTER und LIETH 1960-1967, LIETH et al. 1999, Abschnitt 5.3, Abbildung 58).

In Osteuropa sind die Zonobiome West-Ost gerichtet, in Westeuropa dagegen infolge der Auswirkungen des Golfstromes eher Norden-Süden, in Mitteleuropa wird eine Zonierung durch die Alpen und die andern Gebirge stark beeinflusst.

Zonenklima	**Jahreszeitenklima**	
Polar-Subpolares Zonenklima	1	Polare Klimate
	2	Subpolare Tundren- und Graslandklimate
	3	Gebirgsklimate (je nach Klimazone und Höhe über NN gestuft)
Kaltgemässigt-Boreales Zonenklima	4	Borealklimate mit schneereichen Wintern und jährlicher Schwankung bis 40°C
	5	Extrem kontinentale Borealklimate mit trockenen Wintern und jährlicher Schwankung über 40°C
Kühlgemässigtes Zonenklima	6	Ozeanische und Übergangs-Waldklimate mit kühlen Wintern und jährlicher Schwankung bis max. 25 °C
	7	Kontinentale und hochkontinentale Waldklimate mit kalten Wintern und jährlicher Schwankung über 20°C
	8	Sommerwarme Waldklimate
	9	Feuchtsteppenklimate (über 5 Monate feucht)
	10	Trockensteppenklimate (weniger als 6 Monate feucht)
	11	Halbwüsten- und Wüstenklimate
Warmgemässigt-Subtropisches Zonenklima	12	Subtropische und tropische Halbwüsten- und Wüstenklimate
	13	Mediterrane Winterregenklimate und winterfeuchte Steppenklimate
	14	Sommerfeuchte Steppenklimate
	15	Ständig feuchte Grasland- und Waldklimate
Tropisches Zonenklima	16	Immerfeuchte Regenwaldklimate ohne ausgeprägte Trockenheit
	17	Feuchtsavannenklimate mit vorwiegend winterlicher Trockenzeit von 2 bis 5 Monaten
	18	Wechselfeuchte Trocken- und Dornsavannenklimate mit vorwiegend winterlicher Trockenzeit von 5 bis 10 Monaten

Tabelle 6 : Die Jahreszeitenklimas nach TROLL + PAFFEN 1964(in MÜLLER-HOHENSTEIN 1981).

Zonobiome und Zono-Ökotone		*In Europa nicht vertreten*	
IX	*Tundrazone*	*I*	*Tropischer Regenwald*
VIII / IX	*Waldtundra*	*II*	*Savannen und subtropischer Regenwald*
VIII	*boreale Nadelwaldzone*		
VI / VIII	*mit*		
VI	*Mischwald- und Laubwaldzone*	*III*	*subtropische Wüste*
		X	*Kältewüste*
VII	*Steppenzone*		
IV	*mediterranes Hartlaubgebiet*		

Tabelle 7 : Zonobiome Europas und angrenzender Gebiete (aus WALTER 1999 in BRECKLE 2002[4] , übersetzt).

Eine weitere Klassifikationsmöglichkeit ist die als USDA-Klimazonen oder Winterhärte-Zonen (*USDA Plant Hardiness Zones)* bezeichnete Einteilung. Die Klassifikation erfolgt anhand der durchschnittlichen kältesten Jahrestemperatur, die das amerikanische Landwirtschaftsministerium *(US Department of Agriculture, USDA*) herausgegeben hat. Die Zonen reichen jeweils in Schritten von 5 °F (15°C) von 1 (−50 °F/-45°C und darunter) bis 11 (40 °F/4,4°C und darüber). Sie sind ein internationaler Standard für die Beurteilung der Winterhärte von Pflanzen. Des Weiteren existiert eine Liste so genannter Indikator-Pflanzen, die nach Zonen, in welchen diese Pflanzen gerade noch überleben können, eingeteilt sind. Das Flachland von Deutschland, Österreich und der Schweiz liegt in den Zonen 7 a + b, der Alpenraum in der Zone 6, wobei die Hochalpen der Zone 5 zuzuordnen sind. Vereinzelte Gebiete mit mildem Klima wie das Rheinland, das Südtessin, oder Gegenden um den Genfer- und den Bodensee können der Zone 8a zugeordnet werden.

Zone	von	bis	Zone	von	bis	Zone	von	bis
1		*-45.6*	5a	*-28.8*	*-26.1*	9a	*-6.6*	*-3.9*
2a	*-45.5*	*-42.8*	5b	*-26*	*-23.4*	9b	*-3.8*	*-1.2*
2b	*-42.7*	*-40.1*	6a	*-23.3*	*-20.5*	10a	*-1.1*	*1.8*
3a	*-40*	*-37.2*	6b	*-20.4*	*-17.8*	10b	*1.7*	*4.4*
3b	*-37.1*	*-34.5*	7a	*-17.7*	*-15*	11a	*4.3*	*7.2*
4a	*-34.4*	*-31.6*	7b	*-14.9*	*-12.3*	11b	*7.1*	*10*
4b	*-31.5*	*-28.9*	8a	*-12.2*	*-9.4*	12	*10.1*	*15.6*
			8b	*-9.3*	*-6.7*			

Tabelle 8 : USDA-Klimazonen des amerikanischne Landwirtschaftsministeriums (US Department of Agriculture, USDA). Für jede Zone ist die durchschnittliche kälteste Jahrestemperatur (in°C) festgelegt.

Klassifikation auf der Grundlage der ökophysiologischen Merkmale der realen Vegetation

Die Klassifikation von LAUER und RAFIQUPOOR (2003) ist für vegetations- und ökophysiologische Ansprachen der Klimas sehr geeignet. Die Kombination von thermischen und hygrischen Komponenten ermöglicht eine differentierte räumliche Ansprache (Tabelle 9).

Als Ergebnis einer Zuordnung entsteht ein Schlüssel in der Art: B m sj β 2 (subtropisches, mesothermes, subhumides, subkontinentle Klima mit zwei Monaten Schneebedeckung (Beispiel, Tabelle 9).

Gelände- und Topoklima

Eine spezifische Stärke der Pflanzenphänologie liegt auch in tieferen Skalenbereichen (Abbildung 2) der Meso- und Topoklimas. Die Pflanzen widerspiegeln unter anderem die klimatischen Bedingungen der unteren und bodennahen Luftschichten. Der auf KNOCH (1949) zurückgehende Begriff der Geländeklimatologie bezieht sich insbesondere auf die Anwendungen in Land- und Forstwirtschaft, Stadt- und Raumplanung. In diesem Skalenbereich sind Geländeformen (Orographie) und die Beschaffenheit der Erdoberfläche (Bodenbedeckung) dominante Faktoren (BENDIX 2004). Im Englischen wird oftmals Topoklima (*topoclimate*) für Geländeklima verwendet, das aber zuweilen auch mit Klein-, Lokal-, Topo- und Mesoklima gleichgesetzt wird.

Phänologische Daten sind dann für klimatische Auswertungen besonders wertvoll, wenn topoklimatische Differenzierungen ermöglicht werden sollen. Dies erfordert räumlich detaillierte Beobachtungen, ersetzen aber zuweilen eine Verdichtung von Klimastationen (Abschnitt 3.5). KNOCH (1949) schlug lange als geländeklimatische Produkte Klimabonitäskarten im Massstab von 1:25'000 vor, seit längerer Zeit können verschiedenste ausgeklügelte Kartenprodukte mittels Geographischen Informationssystemen GIS erarbeitet und dargestellt werden.

Pflanzen im Gelände und im Bestandesklima

Die Massstabsebene der Geländeklimatologie wird von expositions- und neigungsbedingten Strahlungsunterschieden im Relief bestimmt. Letztere steuern die lokale Thermik sowie kleinräumige Strömungsfelder und damit regionale Luftmassentransporte. Als Phänomene sind z. B. lokale Hangwindzirkulationen, Berg-Talwind-Systeme, Kaltluftflüsse und Staus wichtig. Konsequenterweise fehlen diese im Flachland und verringern sich mit zunehmender Bewölkung bzw. heben sich ganz auf.

Klima-zonen	Klimatypen											
	Dauer der thermischen Vegetationszeit (Monate)			Dauer der hygischen Vegetationszeit (Monate)						Dauer der Schnee-bedeckung (Monate, Iso-chiomen)		
				Perarid p. a, 0	Arid a, 1-2	Semiarid sa, 3-	Subhumid sh,	Humid h, 7-9	Perhumid ph,			
A Tropen	Kalt-tropen	l	≤ 12							0	hekisto-nival	
	Warm-tropen	sl	12							Schnee -frei		
B Subtropen	Oligotherm (sehr kurz)	sk	1-2							8-11	nival	
	Mikrotherm (kurz)	k	3-4							3-7	subival	
	Mesotherm (mittel)	m	5-6							1-3	semi-nival	
	Makro-therm (Lang)	l	7-9							<1	oligo-nival	
	Megatherm (sehr lang)	sl	10-12									
C Mittel-breiten kühl	Megatherm (sehr lang)	sl	10-12									
	Makro-therm (lang)	l	7-9									
	Mesotherm (mittel)	m	5-6							1-5	semi-nival	
kalt	Mikrotherm (kurz)	K	3-4							3-7	sub-nival	
	Oligotherm (sehr kurz)	sk	1-2							8-11	nival	
D Polar-regionen Verglet. Gebiete in A, B, C, D	Mikrotherm (kurz)	k	3-4							8-11	nival	
	Oligotherm (sehr kurz)	sk	1-2									
	Bekisto-therm (keine)	e	0							12	pernival	

Tabelle 9 : Konzept der Klimaklassen von LAUER und RAFIQPOOR 2003 aufgrund der thermischen und hygrischen Vegetationszeit sowie der Dauer der Schneebedeckung (nach LAUER und RAFIQUPOOR 2003).

Sechs Faktoren steuern den Strahlungshaushalt: als übergeordnete Grössen das Wettergeschehen und die geographische Breite, als lokale Reliefmerkmale Exposition, Neigung, Höhenlage und Horizontüberschirmung. Die Auswirkung unterschiedlicher Bestrahlung lässt sich beispielsweise an der Schneedeckendauer ablesen. Die reliefbedingten Strahlungsunterschiede verstärken sich an der Oberfläche der Pflanzendecke oder des Bodens. Für Pflanzen, welche sich an sonnseitigen Hanglagen befinden, verbindet sich der Strahlungsvorteil mit erhöhtem Temperaturstress (grössere Schwankungen im CO_2-Gaswechsel, höherer Wasserbedarf). Die Vegetation reagiert mit einer Verschiebung ihrer Höhenverbreitung darauf.

Die Energiebilanz ergibt sich aus dem Strahlungsumsatz des Ortes und der Ab- bzw. Zufuhr advektiver Wärme. Zonen mit Strahlungsüberschuss geben über die atmosphärische (und ozeanische) Zirkulation Energie an solche mit Strahlungsdefiziten ab. Durch die Absorption der kurzwelligen solaren Strahlung von Partikeln und Wasserdampf in der Atmosphäre sowie an der Erdoberfläche wandelt sich die Strahlung in eine langwellige terrestrische Strahlung um. Die Umwandlung von einer kurzwelligen solaren in eine langwellige terrestrische Strahlung (Wärmeemission) erfolgt über eine Absorption von Partikeln und Wasserdampf in der Atmosphäre sowie an der Erdoberfläche.

Vegetationszeit oder Vegetationsperiode

Die Vegetationszeit oder Vegetationsperiode ist der sich rhythmisch wiederholende Jahresabschnitt, in dem eine Pflanze aktiv wächst und sich entfaltet.

Die Vegetationsperiode unterscheidet sich je nach Wuchsform der Pflanze und reicht:

- bei ein- und zweijährigen Pflanzen von der Keimung bis zum Absterben,
- bei mehrjährigen, krautigen Pflanzen vom Austreiben bis zum Einziehen in die Überdauerungsorgane,
- bei mehrjährigen, holzigen Pflanzen vom Austreiben bis zum Blattfall,
- bei immergrünen Pflanzen vom Beginn bis zum Stillstand des aktiven Wuchses.

Der restliche Teil des Jahres, in der eine mehrjährige Pflanze nicht wächst, wird als Ruhezeit oder Ruheperiode bezeichnet. Der Wechsel

zwischen Vegetations- und Ruheperioden ist massgeblich durch die jahreszeitlich schwankenden Niederschlagsmengen sowie die jahreszeitlich schwankenden, für den Stoffwechsel mehr oder weniger geeigneten Temperaturen bedingt. Insbesondere führen hohe Temperaturen zu vermehrter Verdunstung und tiefe Temperaturen zum Gefrieren des Wassers; beides vermindert die Menge des für den Stoffwechsel der Pflanzen zur Verfügung stehenden Wassers.

In polaren Gebieten ist das Wasser auf dem Land dauerhaft gefroren und deshalb für Pflanzen nicht verfügbar. Dort können deshalb keine höheren Pflanzen leben. So ergibt sich nur für einige Meeresalgen eine Vegetationsperiode während dem polaren Sommer. In den vom Tageszeitenklima geprägten immerfeuchten Tropen herrscht das ganze Jahr ununterbrochen Vegetationszeit, so dass der Begriff "Vegetationsperiode" entfällt. Eine Vegetationsperiode im eigentlichen Sinne fehlt auch in Wüstengebieten, wo höchstens in sehr unregelmässigen Abständen ausreichend Regen für eine Entfaltung der Pflanzendecke fällt. In allen übrigen Gebieten der Erde ist, abhängig vom Breitengrad, ein mehr oder weniger starker und regelmässiger Wechsel zwischen Vegetations- und Ruhezeit gegeben. Die unterschiedliche Sonneneinstrahlung und die den Jahreszeiten folgenden Winde, insbesondere die Passat- und Monsunwinde, sorgen für sehr unterschiedliche Temperaturen und Niederschlagsmengen, an die sich die Pflanzen anpassen müssen. In den gemässigten und subpolaren Klimazonen wird die Vegetationszeit vor allem durch die Temperatur bestimmt, wohingegen in den Tropen überwiegend der Regen ausschlaggebend für die Vegetationszeit ist. In den Subtropen können beide Faktoren eine Rolle spielen.

Innerhalb einer Region können auch Klimafaktoren wie Meeresströmungen und unterschiedliche Höhenstufen entscheidend auf den Verlauf von Vegetations- und Ruheperioden einwirken. Ein Beispiel bietet Südafrika, wo durch den Einfluss des Benguelastroms ein Winterregengebiet fast unmittelbar an ein Sommerregengebiet grenzt. In den Trockenwäldern Afrikas ist durch die zwei jährlichen Niederschlagsmaxima eine Zweiteilung der Vegetationsperiode zu beobachten. Durch die jährlichen zwei Niederschlagsmaxima wird in den Trockenwäldern Afrikas eine Zeiteilung der Vegetationsperiode bewirkt.

Üblicherweise folgen die meisten Pflanzen dem lokal vorgegebenen Rhythmus, doch gibt es auch Opportunisten, die durch besondere Anpassungen zu einem gegensätzlichen Rhythmus befähigt sind. So können Pflanzen mit sehr langen Pfahlwurzeln auch in der heissen und trockenen Jahreszeit noch an Grundwasser kommen und wachsen über die Nachbarpflanzen hinaus.

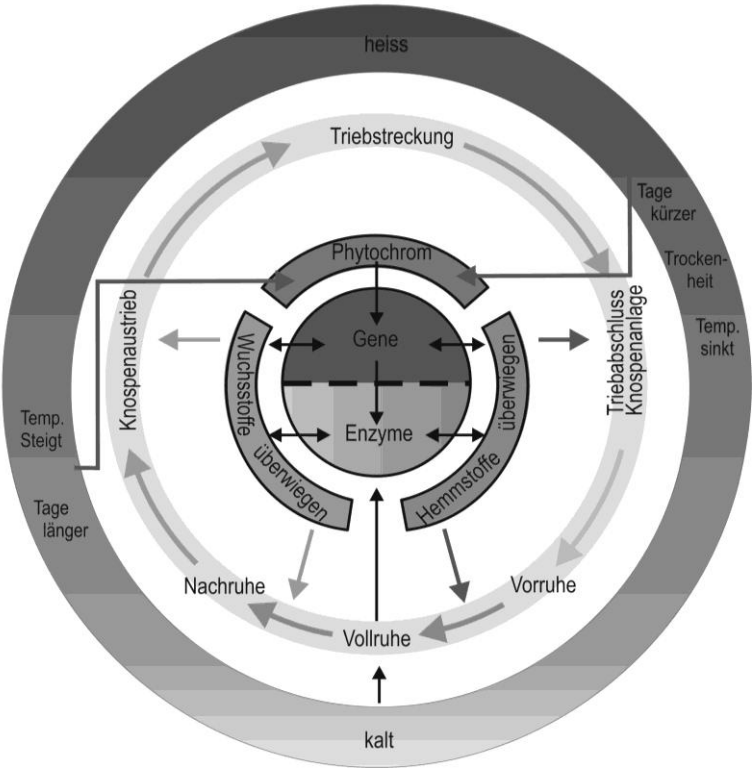


Abbildung 5 : Der jährliche Entwicklungskreislauf von Holzpflanzen winterkalter Gebiete. Die Ringe stellen von aussen nach innen die athmosphärischen Bedingungen, die biologische Aktivität und die hormonale Steuerung dar, der innere Kreis die genetische und endogene Vorgaben. Den Phytohormonen fällt die Aufgabe zu, zwischen erblich fixierten Funktionsweisen und Umwelteinflüssen zu vermitteln. Mit den phänologischen Beobachtungen wird schliesslich die daraus resultierende äusserlich sichtbare Reaktion des Baumes erfasst (nach LARCHER 2001, verändert, Graphik Robert BRÜGGER und François JEANNERET).

Andererseits sind einige Pflanzen mit einem sehr flachen Wurzelsystem oder speziellen Saughaaren in der Lage, kondensierten Nebel aufzunehmen und so ihre Vegetationsperiode zu erweitern oder zu verlagern. Die Kopplung zwischen Vegetations- und Ruhezeit und der Tageslänge kann je nach Art unterschiedlich stark genetisch festgelegt sein

Phänologie und Umweltmonitoring

Pflanzen als Organismen reagieren in ihrer jahreszeitlichen Entwicklung auf zahlreiche Steuerungsfaktoren. Einige grundsätzliche Tatsachen lassen sich hinsichtlich der Anwendung der Phänologie für ein Umweltmonitoing wie folgt vereinfacht zusammenfassen:

- Die Ursachen und Auslöser phänologischer Entwicklungen sind in der gesamten Umwelt zu suchen.
- Die Mechanismen sind komplex und werden durch Rückkoppelungen gekennzeichnet.
- Gute Korrelationen bedeuten nicht immer eine ursächliche Erklärung.
- Die Rolle von vererbten Eigenschaften und der Adaptation ist nicht zu unterschätzen.
- Jede Art und jede Phase reagiert auf einen typischen Mix von Umwelteinflüssen.
- Eine Pflanze ist sicher kein Thermometer!

Vielen Pflanzen ist neben den Tagesrhythmen ein Wechsel zwischen Aktivitäts- und Ruheperiode eigen (endonome Rhythmik). Dieser äussert sich im schubweisen Längen- und Dickenwachstum des Sprosses, im schubweisen Laubwechsel und im rhythmischen Auffüllen und Entleeren von Reserveorganen. Idealerweise ist die Aktivitätsperiode an die örtliche Dauer der klimatisch günstigen Jahreszeit angepasst, d. h. akklimatisiert. Eine Pflanzenart, eine Sorte oder auch ein Ökotyp ist dann gut akklimatisiert, wenn die Vegetationsperiode in ihrer vollen Länge ausgenützt wird, ohne dass die Pflanze Schäden durch hereinbrechende ungünstige Jahreszeiten riskiert. Das wird im Allgemeinen dadurch sichergestellt, dass das Resistenzniveau mit den Entwicklungsvorgängen gekoppelt ist. Wichtige exogene Faktoren sind Licht, Temperatur und Nährstoff- bzw. Wasserverfügbarkeit (Abbildung 5, äusserster Ring), die die Pflanze mittels spezifischer Rezeptoren wahrnimmt. Phytohormone ermöglichen den Austausch der Informationen zwischen den pflanzlichen Geweben und bewirken eine spezifische Reaktion auf die äusseren ökologischen Einflüsse. Sie regulieren im engen wechselseitigen Zusammenspiel die pflanzlichen Wachstums- und Entwicklungsprozesse und können diese auslösen, hemmen oder fördern (Abbildung 5).

Sie steuern und koordinieren auf diese Weise das Wachstum von Wurzel, Spross und Blatt, die Entwicklung von Samen und Frucht, die Seneszenz und Abszission, die Apikaldominanz, Ruhepausen von Pflanzen, den Geotropismus und Phototropismus und viele andere Prozesse.

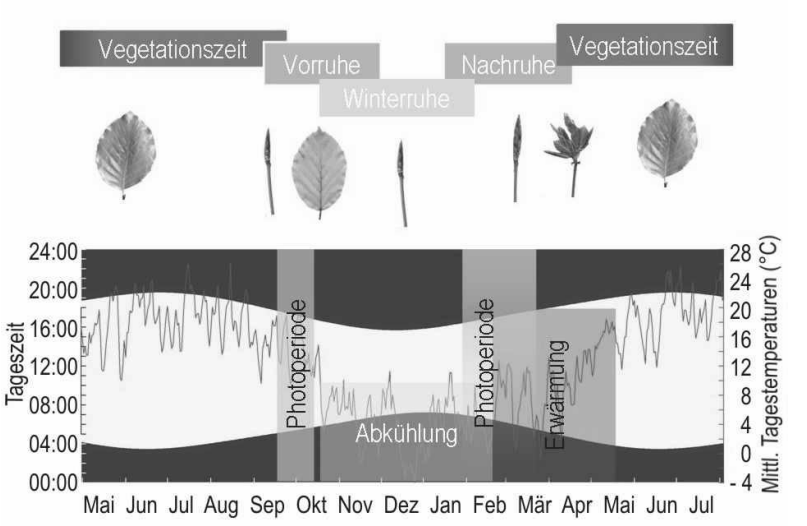


Abbildung 6 : Die verschiedensten Witterungsbedingungen bestimmen den Ablauf der Aktivität einer Pflanze im Jahreszyklus. Als Steuerungsfaktoren für phänologische Entwicklungen von Baumarten der gemässigten Breiten sind die Winterkälte, Photoperiodizität und Temperatur dominant (das Beispiel der Buchen, Temperaturen in Chur, Graphik David BASLER).

Die Temperaturen sind sicherlich für einige phänologische Phasen ein dominanter Steuerungsfaktor, der aber innerhalb der Umweltbedingung zu gewichten ist (MENZEL und SPARKS 2006). Allerdings stellen KÖRNER und BASLER (2010) fest, dass die meisten Baumarten der gemässigten Breiten in Bezug auf Blüte und herbstlichem Ende des Wachstums nicht in erster Linie von der Temperatur abhängig sind. Lichtempfindlichkeit schützt die Pflanzen davor, zu falscher Jahreszeit auf Temperaturschwankungen zu reagieren (Abbildung 6). Die photoperiodische Steuerung bleibt auch wirksam, wenn Bäume der gemässigten Breiten in subtropische Gebiete gepflanzt werden. Arten reagieren im Frühjahr erst nach einer genügenden Abkühlung.

An unsere winterkalten, wintertrockenen Verhältnisse akklimatisierte Pflanzen haben eine endogen festgelegte Winterruhe, was insbesondere bei den Holzpflanzen mit oberirdisch überwinternden Pflanzenteilen sehr auffällig ist. Gegen Ende des Sommers legen diese in den Achseln der Blätter Seitenknospen an, während der Sprossscheitel sich zur Winter-

knospe umbildet oder verkümmert. Bevor das Laub zu vergilben beginnt, werden alle Knospen hormonell stillgelegt (korrelative Knospenruhe), so dass sie nicht vor dem Winter austreiben. Auch andere Pflanzenteile gehen in Winterruhe über und erwerben dabei die Fähigkeit zur Abhärtung gegen Frost und Dehydratation. Die Umstellung zum Winterzustand erfolgt nicht abrupt und nicht überall gleichzeitig. Die Vegetationsruhe (Dormanz) ist eine vorübergehende Unterbrechung des Wachstums unter endogener Kontrolle. Es gibt viele Formen und Stadien der Dormanz. Im typischen Verlauf beginnt die Ruhigstellung mit der Vorruhe, die durch kürzer werdende Tage und absinkende Nachttemperaturen eingeleitet wird. Beide Faktoren verändern in den Zellen das Verhältnis zwischen den wachstumsfördernden und den hemmenden Hormonen. Die Vollruhe wird in mittleren und nördlichen Breiten im November und Dezember erreicht. Zu dieser Zeit können die Pflanzen durch vorübergehende Erwärmung nicht aktiviert werden. Entwicklungsgeschichtlich jüngere Arten führen eine riskantere Lebensstrategie (KÖRNER 2007). Pionierarten wie Hasel, Pappeln oder Birken sind opportunistisch und nicht photoperiodisch sensitiv (Tabelle 10). Aber auch eingeführte oder eingewanderte Nutzpflanzen aus andern Lebenswelten – wie der aus Asien stammende Kirschbaum – werden die Prägungen ihrer kontinentalen Herkunft nicht ablegen und wahrscheinlich den Klimawandel getreu widerspiegeln (KÖRNER und BASLER 2010).

Die Vorteile der Phänologie für ein Umweltmonitoring sind offensichtlich, aber allgemein wohl wenig bekannt (MESSERLI 1978, JEANNERET 1971, BUCHER und JEANNERET 1994, DEFILA 1991, BRÜGGER und VASSELLA 2003, SCHWARTZ 2003):

- die pflanzenphänologischen Beobachtungen vermitteln eine Information über den Ablauf der Vegetationsdauer,
- die phänologischen Daten enthalten gesamtklimatische, summierende Aussagen,
- die räumliche Dichte lässt sich mit geeigneten Methoden und dichten Netzen fast beliebig erhöhen,
- die Methode ist wenig aufwendig und verursacht für die Erhebung wenig Unkosten,
- die Interpretation ist für forstliche, landwirtschaftliche und raumplanerische Anwendungen relativ einfach und aussagekräftig.

Für die Gebirgsklimatologie ist die Phänologie eine interessante Methode, weil die Pflanzen auf die Summe oder Kombination der Klima- und Standortfaktoren reagieren – der "Witterungsakkord" (DEFILA 1991). Dabei sind die Geländefaktoren (Meereshöhe, Hangneigung, Exposition), aber auch Beschattung, relative Topographie und Wasserfaktoren von grosser Bedeutung (Abschnitt 6.3).

Herkunft	*Zierpflanzen aus warmen Gebieten*	*Früh entwickelte Arten der mittleren Breiten*	*Spät entwickelte Pflanzen der gemässigten Breiten*
Beispiel	*Flieder (Syringia)*	*Hagebuche (Carpinus)*	*Buche (Fagus)*
Steuerungsfaktor	*Temperatur*	*Abkühlung Temperatur*	*Abkühlung Photoperiode Temperatur*

Tabelle 10: Beispiele von Pflanzenarten unterschiedlicher Herkunft und ihrer Steuerungsfaktoren (nach KÖRNER und BASLER 2010, verändert).

Als Schwierigkeit erweist sich allenfalls die Verbreitung der Vegetation, also die Biotopabhängigkeit der Artenzusammensetzung, die das Vorhandensein einer zu beobachtenden Art bestimmt. Weltweit gibt es bereits eine grosse Zahl von methodischen Ansätzen für die Phänologie (BRÜGGER und VASSELLA 2003, SCHWARTZ 2003, HUDSON und KEATLY 2010).

1.5 Mensch und Natur – Methoden und Ergebnisse

In der klimatologisch orientierten biotischen und abiotischen Phänologie liefern verschiedene Datenquellen das Rohmaterial für die Auswertungen und Anwendungen (Abbildung 7):

- Stations- und Netzbeobachtungen,
- phänologische Zustandskartierungen,
- phänologische Gärten,
- Fernerkundung und Bildinterpretationen,
- historische Quellen.

Biologisch orientierte Arbeiten mit artspezifischem, physiologischem oder tierphänologischem Schwerpunkt wenden phänologische Erhebungen für die Erforschung einzelner Arten an. Abiotische Daten wie beispielsweise Schneefall oder -Decke werden zuweilen von Wetterdiensten erhoben, erfordern aber oftmals auch spezifische Beobachtungen wie beispielsweise die Vereisung von Gewässern.

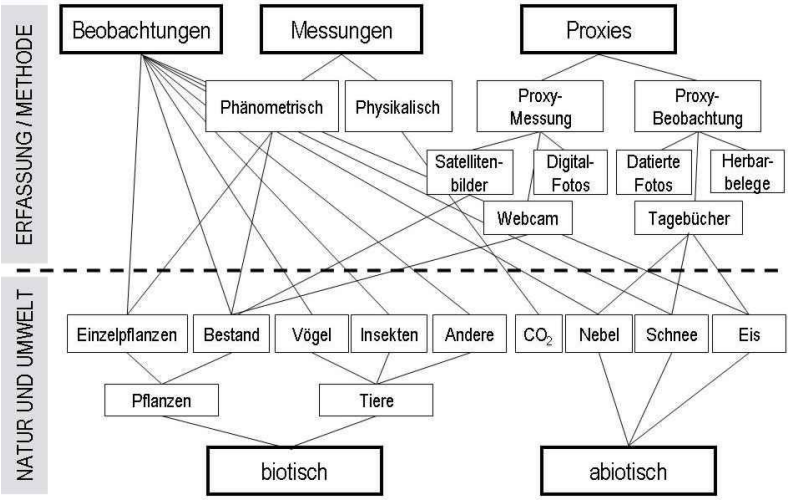


Abbildung 7: Von der menschlichen Wahrnehmung zu Dokumenten und Methoden. Verschiedenste Quellen und Auswertungen liefern eine Vielfalt von Daten und Produkten (Graphik This RUTISHAUSER und François JEANNERET).

2 Jäger und Sammler – die Vielfalt der Erhebungen

2.1 Die Beobachtung – Rohstoff für Monitorings

Motivation zur Beobachtung

- Beobachtungen sind Wahrnehmungen:
  Wer mit offenen Augen durch die Welt geht, versteht diese besser.
- Beobachtungen sind Ausdruck des Bewusstseins:
  Wer beobachtet, nimmt auch sich selber besser wahr.
- Beobachtungen sind Geduldsübungen:
  Wer beobachtet, schaut genau hin.
- Und schliesslich: Beobachtungen sind Regungen:
  Wer beobachtet, ist der Um- und Mitwelt gegenüber nicht gleichgültig, daraus erwächst Engagement.

Abbildung 8 : Phänologische Beobachtungen erfordern nicht nur eine gute Motivation, sondern auch ein geschultes Auge und Erfahrung (Photo François JEANNERET).

Fachliche und personelle Voraussetzungen

Für die Durchführung biotischer und abiotischer phänologischer Beobachtungen im Rahmen eines Monitorings sind einige Voraussetzungen zu erfüllen, denen durchaus auch Laien und Kinder gewachsen sein können:

- für pflanzen- und tierphänologische Beobachtungen minimale Artenkenntnisse, die sich auch im Verlauf der Tätigkeit aneignen lassen,
- Zeit, insbesondere in sensiblen Perioden des Ablaufes der Jahreszeiten,
- Gelegenheit zu relativ häufigen Besuchen der gleichen Standorte,
- für abiotische Beobachtungen den allmorgendlichen Blick auf die Umwelt,
- Beachten der minimalen Standards der Beobachtungsanleitungen,
- Verlässlichkeit in Bezug auf die Meldungen an die Zentrale,
- Duchhaltewillen und Ausdauer, um während einer möglichst langen Periode Beobachtungen zu sammeln.

Phänologie kann auch als Dauerbeobachtung bezeichnet werden: sie lebt von der Sammlung möglichst langer Zeitreihen. Erst längere Reihen werden für wissenschaftliche Auswertungen wertvoll. Besonders geeignet sind Personen, deren Beruf sie immer wieder in die Natur führt oder die auch in der Freizeit regelmässig einen bestimmten Perimeter begehen.

Beurteilen des phänologischen Zustandes der Pflanzen

Die „Anleitung für phänologische Beobachtungen“ (BRÜGGER und VASSELLA 2003) beschreibt das Vorgehen für pflanzenphänologische Beobachtungen der MeteoSchweiz, gelten aber sinngemäss auch für andere Programme oder individuelle Tätigkeiten. Das Beobachtungsgebiet wird nach den Möglichkeiten der Beobachterin oder des Beobachters ausgewählt, das mit möglichst geringem Zeitaufwand langfristig betreut werden kann. Es soll typische Standorte umfassen und möglichst viele der Pflanzen beinhalten, die im betreffenden Beobachtungsprogramm vorgeschlagen werden. Bei Kräutern wird ein Bestand angesprochen, Obstbäume sollen freistehend sein (möglichst mit Hochstamm) und Waldbeobachtungen an Einzelbäumen und Beständen werden im Waldinnern vorgenommen. Für die Schneeandauer sind Probeflächen und für Nebelhäufigkeit Sichtdistanzen festzulegen.

Abbildung 9 : Mit der Blüte der Hasel fängt das phänologische Jahr meist an. Dabei scheinen die Frühlingsphasen sehr viel populärer zu sein als die Herbstphasen (Photo François JEANNERET).

Abbildung 10 : Mit dem Laubfall ist das phänologische Jahr zu Ende – im Winter könne Schnee, Eis und Nebel dazu beitragen, die Jahreszeit ausserhalb der Vegetationsperiode zu strukturieren (Photo François JEANNERET).

Die eigentlichen Beobachtungen erfordern wenig Material. Beim Einrichten der Stationen ist eine Karte zur genauen Ortsbestimmung unerlässlich, die Beobachtungen sollen genau lokalisierbar sein und möglichst immer wieder an denselben Pflanzen oder Standorten vorgenommen werden. Am Anfang der Tätigkeit mögen ein Bestimmungsbuch hilfreich und die Beobachtungsanleitung (BRÜGGER und VASSELLA 2003) unerlässlich sein. Notizmaterial oder Beobachtungsformulare sowie für Bäume ein Feldstecher sind die einzigen materiellen Voraussetzungen für die eigentlichen Beobachtungen.

In der Zeit der Blattentfaltung und der Blüte sind zwei bis drei Besuche pro Woche nötig, für die Fruchtreife und die Blattverfärbung ein bis zwei Besuche. Schnee und Nebel sind morgens zu beobachten, Pflanzen mit Vorteil stets etwa zur selben Tageszeit, da die Beleuchtungsverhältnisse insbesondere für Beobachtungen an Bäumen entscheidend sein können. Weitere Angaben finden sich in der erwähnten Anleitung.

Grundsätzlich stehen zwei Methoden für pflanzenphänologische Beobachtungen zur Wahl, die sich in der zeitlichen Auflösung unterscheiden (BRÜGGER und VASSELLA 2003). Klassisch ist die Datumsmethode, die in den meisten Netzen der Vergangenheit und Gegenwart angewandt wird. Die Prozent-Schätzmethode bietet den Vorteil, dass mit wenig Zusatzaufwand der Verlauf der Entwicklung erfasst wird.

Datumsmethode

Mit dieser Methode werden die Eintrittstage bestimmter phänologischer Phasen erfasst. Auf dem Beobachtungsformular wird das genaue Datum des jeweiligen Eintrittstages festgehalten. Angaben von Zeitspannen, wie z. B. ‘Anfang März’ sind später nicht auswertbar und müssen vermieden werden. Fällt der Phaseneintritt zwischen zwei Beobachtungsgänge, wird anhand der vorhandenen Schätznotizen das am ehesten mögliche Datum interpoliert. Bei der Blattentfaltung, Blüte, Fruchtreife und Blattverfärbung sind in der Regel zwei Phänophasen zu erfassen: der Beginn der Entwicklung und der Zeitpunkt des allgemeinen Eintritts. Der Beginn der Entwicklung wird festgehalten, weil für die Pflanze eine Zeit erhöhter Empfindlichkeit beginnt (z. B. gegenüber Spätfrösten). Die allgemeinen Phasen hingegen markieren die Zeitpunkte von mittleren phänologischen Ereignissen.

Bei der Blattentfaltung, der Blüte und der Fruchtreife – dem Beginn der Entwicklung – ist das Datum zu notieren, an dem die ersten paar Blätter bzw. Blüten oder Früchte so weit entwickelt sind, die den Definitionen in Kapitel 3 und 4 in BRÜGGER und VASSELLA 2003 entsprechen. Bei der Blattverfärbung ist das Datum zu notieren, an dem 10% der Blätter entsprechend den Definitionen verfärbt sind. Allgemeiner Eintritt: Bei allen

Phänophasen, die den allgemeinen Eintritt bestimmter Entwicklungserscheinungen festhalten, müssen zu diesem Zeitpunkt jeweils 50% der Organe definitionsgemäss entwickelt sein.

Prozent-Schätzmethode

Im Programm «Waldphänologie» von MeteoSchweiz können die Daten ergänzend zur Datumsmethode oder als Ersatz dafür mit der Prozent-Schätzmethode erhoben werden. Während jeder Begehung wird hier der jeweilige Anteil der Blätter, Blüten oder Früchte im gesuchten Entwicklungsstadium geschätzt und festgehalten. Die Schätzung soll wöchentlich (immer am gleichen Wochentag) durchgeführt werden und erfolgt durch die Einteilung in 5 Klassen (Tabelle 11).

Klasse	Anteil [%]
1	*0*
2	*1-33*
3	*34-66*
4	*67-99*
5	*100*

Tabelle 11 : Einteilung der Klassen für die Schätzmethode des Programmes Waldphänologie der MeteoSchweiz.

BBCH-Code – Saisonalität und Phänologie der Agronomen

Mit dem BBCH-Code (Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Bundessortenamt und chemische Industrie) lässt sich der Entwicklungszyklus der Pflanzen von der Keimung bis zum Absterben in phänologische Entwicklungsstadien einteilen. Das gleiche Stadium erhält bei verschiedenen Pflanzenarten denselben Code. Die länger andauernden, deutlich voneinander abgrenzbaren phänologischen Prozesse werden Makrostadien (z. B. Blattentwicklung, Blütenentwicklung, Fruchtreife), die kurzen, für die jeweilige Pflanzenart charakteristischen Entwicklungsschritte Mikrostadien genannt. Die Einteilung ist hierarchisch.

Der gesamte Entwicklungszyklus der Pflanzen ist in zehn überschaubare und deutlich voneinander abgrenzbare längere Entwicklungsphasen, die Makrostadien (0-9) unterteilt (Tabelle 12). Die Makrostadien sind in beschrieben. Bei der Vielzahl der sehr unterschiedlichen Pflanzenarten können Verschiebungen im Entwicklungsablauf auftreten oder bestimm-

te Stadien entfallen. Auch müssen die Makrostadien nicht, wie es die aufsteigende Ziffernfolge implizieren könnte, hierarchisch streng nacheinander, sondern können auch teilweise oder völlig parallel ablaufen Aus (HACK et al., 1992 in MEIER 2000).

Stadium	Beschreibung
0	*Keimung / Austrieb*
1	*Blattentwicklung (Hauptspross)*
2	*Bildung von Seitensprossen / Bestockung*
3	*Längen- bzw. Rosettenwachstum des Hauptsprosses / Triebentwicklung / Schossen (Haupttrieb)*
4	*Entwicklung vegetativer Pflanzenteile (Erntegut) bzw. vegetativer Vermehrungsorgane / Ähren- bzw. Rispenschwellen*
5	*Erscheinen der Blütenanlage (Haupt-spross) / Ähren- bzw. Rispenschieben*
6	*Blüte (Hauptspross)*
7	*Fruchtentwicklung*
8	*Frucht- und Samenreife*
9	*Absterben bzw. Eintreten der Vegetationsruhe*

Tabelle 12 : Makrostadien des BBCH-Codes zur Beschreibung der phänologischen Entwicklung mono- und dikotyler Pflanzen (nach MEIER 2000).

Für die Mehrzahl der Pflanzenarten wird mit dem zweistelligen Code eine Skala angeboten, die eine präzise Erfassung aller phänologischen Entwicklungsstadien ermöglicht. Lediglich bei einigen Pflanzenarten (z. B. Kartoffeln, Soya, Tomaten, Gurken und Zwiebeln) kann es notwendig sein, neben der zweistelligen (Makro-und Mikrostadien) auch eine dreistellige Skala zu verwenden (Abbildung 11). Dabei erfolgt mit dem Mesostadium, das zwischen Makro- und Mikrostadium eingeführt wird, eine weitere Unterteilung in der Weise, dass mit den Ziffern 0 und 1 das Entwicklungsgeschehen am Hauptspross und weiter mit den Ziffern 2 bis 9 das der Seitensprosse beschrieben wird.

Was für Kulturpflanzen in der Landwirtschaft entwickelt wurde, kann auch in der Pflanzenphänologie zu einer dringend notwendigen Standardisierung dienen. In verschiedenen Ländern Europas werden die phänologischen Beobachtungsnetze dem mehrsprachigen BBCH-Code angeglichen (MEIER 2000).

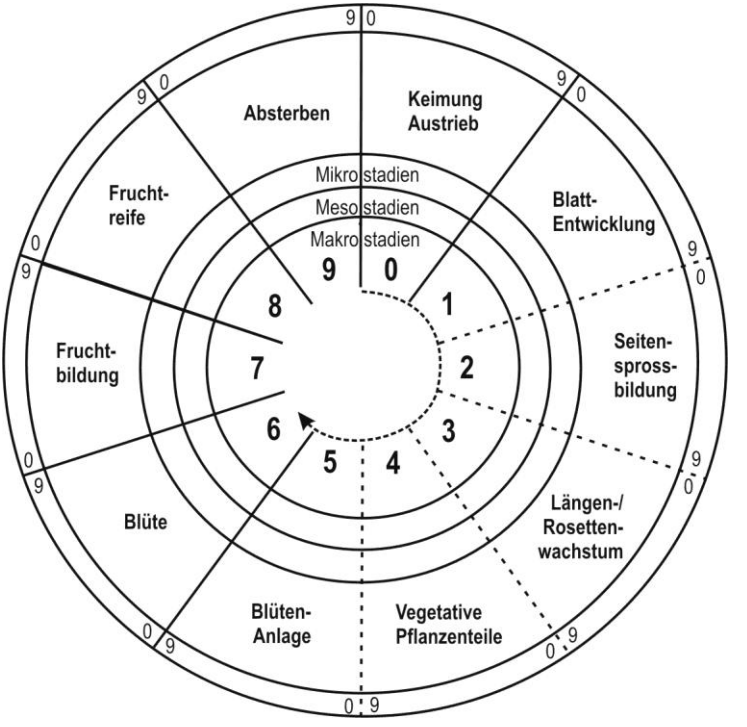


Abbildung 11: Unterteilung des pflanzlichen Entwicklungszyklus in Makro-, Meso- und Mikrostadien, des BBCH-Codes die je in 10 Stufen (0 bis 9) eingeteilt werden (nach MEIER 2000, verändert).

2.2 Die phänologische Entwicklung

Absolute und relative Phänologie

Die klassischen pflanzenphänologischen Beobachtungsnetze erfassen die Eintrittsdaten von Phänophasen. Es werden bestimmte Entwicklungserscheinungen und eine Angabe zur Quantität dieser Entwicklungserscheinung für die entsprechende Pflanze bzw. Pflanzenpopulation vorgegeben. Die Phänophase „Allgemeine Blüte“ wird z. B. meist definiert mit dem Entwicklungsstadium „Blütenblätter offen“ und dass 50% der Blüten geöffnet sind. Ergänzt werden die Angaben mit Zeichnungen oder wörtlichen Präzisierungen zum Entwicklungsstadium.

Ausgewertet werden diese absoluten Daten mit:

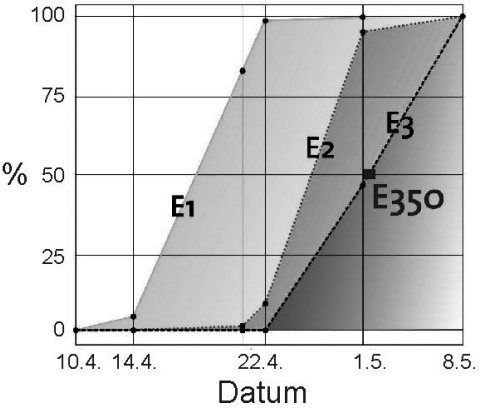


Abbildung 12 : Der kontinuierliche Verlauf dreier Entwicklungsstadien E1-E3 während des Frühjahres und die Phänophase E350 (50% des Stadiums 3 ist erreicht) als Zeitpunkt (nach BRÜGGER 1998).

- Zeitreihen gleicher Phänophasen (Historische Phänologie)
- Phänologische Kalender für bestimmte Standorte
- Berechnung von Indices (Frühlingsindex, STUDER et al. 2005)

Sind nicht fixe Entwicklungsmomente interessant, sondern der jeweilige Stand der Entwicklung, wird die momentane Menge einer bestimmten Entwicklungserscheinung am Tag der Beobachtung festgehalten. In diesem Falle sprechen wir von einer relativen Phänologie. Wie bei der absoluten Phänologie müssen die Entwicklungsstadien genau beschrieben sein, die Menge jedoch verändert sich über die Zeit Während die Entwicklung über eine bestimmte Zeitperiode verfolgt werden kann (relative Phänologie), liefert die Phänophase den exakten Zeitpunkt eines bestimmten Ereignisses (absolute Phänologie).

Anwendungen der relativen Phänologie sind:

- Wuchsklimakarten (Methode ELLENBERG/SCHREIBER, Abschnitt 5.4),
- Phänologische Entwicklungsindices (Abschnitt 5.4),
- Modellierungen (Abschnitt 4.6).

In der Phänologie werden die Begriffe für verschiedene Betrachtungsebenen der pflanzlichen Entwicklung noch nicht einheitlich gehandhabt. So wird der Begriff der „Phänophase“ oft auch noch allgemein für ganze Entwicklungsprozesse wie z. B. die Blüte verwendet. Das bestimmte Datum wird dann als „Eintritt der Phänophase“ bezeichnet. Im Jahre 2003 haben sich die Phänologen Europas geeinigt, den BBCH-Code (als Richtcode für alle beobachteten „Phänophasen“ in Europa einzuführen (VAN VLIET et al. 2003). Damit können die Beobachtungsreihen der allgemeinen Phänologieprogramme mit derjenigen der Agronomie ver-

einheitlicht werden. Agronomische Reihen repräsentieren einen bestimmten Entwicklungsverlauf (die Blüte, der Blattaustrieb usw.). Die eigentlichen Phänophasen (bzw. die „Eintritte der Phänophasen“) wiederum entsprechen den Mikrostadien, d.h. es werden zusätzlich zum Entwicklungsstadium auch bestimmte quantitative Vorgaben gemacht (z .B. 50% der Knospen sind im entsprechenden Entwicklungsstadium). Jeder Phänophase konnte so ein BBCH-Code zugeordnet werden.

Mit den Phänostadien für die Berechnung des PEI (Abschnitt 5.4) wurde versucht, noch einen Schritt weiter zu gehen indem die Angaben zur pflanzlichen Entwicklung und Mengenangaben konsequent getrennt werden. Ein Phänostadium ist immer ein bestimmtes, beobachtbares Entwicklungsstadium mit Angaben zum beobachteten Pflanzenteil und dessen Merkmal (z. B. die ersten grünen Blattspitzen sind zwischen den aufbrechenden Knospenschuppen sichtbar). Zu jedem Zeitpunkt ist es dann möglich anzugeben, wie oft das Merkmal am Individuum oder in einer Population auftritt.

Mit diesen Lösungen ist allerdings ein begrifflicher Widerspruch noch nicht ausgemerzt: ein Stadium ist eigentlich ein Zustand, eine Phase eine Zeitdauer. Die Verwendung dieser Begriffe ist aber gebräuchlich, und deshalb soll hier ein griffiger Vorschlag für die Begriffsdifferenzierung vorgestellt werden (Tabelle 13).

Begriff	Definition	Beispiel
Entwicklungsstadium, pflanzliches Entwicklungsstadium	*Allgemeiner Begriff, der biologische Prozesse oder auch spezielle Momente der pflanzlichen Entwicklung beschreibt.*	
Phänologisches Entwicklungsstadium	*Allgemeiner Begriff, der länger dauernde Prozesse der pflanzlichen Entwicklung beschreibt.*	*Blattaustrieb, Blüte, usw.*
Phänostadium	*Ein morphologisch möglichst exakt beschriebener Moment der pflanzlichen Entwicklung.*	*Grüne Spitzen der Blätter in den sich öffnenden Knospen sind sichtbar.*
Phänophase	*Die bestimmte Reife eines bestimmten Phänostadiums ist erreicht.*	*10% der sommerlichen Blattfläche eines Baumes sind gelb (möglichst mit einer verbindlichen Farbangabe).*

Tabelle 13 : Vorschlag für die Bezeichnung von Phasen und Stadien in der Phänologie.

2.3 Phänologische Beobachtungsnetze – die Infrasstruktur

Die Netzkategorien

Die Phänologie hat mit Einzelbeobachtern angefangen – mit Menschen, denen der jahreszeitliche Rhythmus in der Natur aufgefallen ist und welche diesen 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. Im Wesentlichen lassen sich sieben Kategorien von Netzen unterscheiden (Tabelle 14).

Kategorie	Struktur	Institutionelle Träger
1	*Offizielle Netze*	*staatliche Wetterdienste*
2	*Regionale Sondernetze*	*Wetterdienste, Forschungsanstalten, Universitäten, Vereinigungen*
3	*Thematische Sondernetze*	*Wetterdienste, Forschungsanstalten, Universitäten, Vereinigungen*
4	*Publikumsnetze (Internet-basiert)*	*Forschungsanstalten, Universitäten, Vereinigungen, Stiftungen*
5	*Schulnetze*	*Vereinigungen, gemischte Trägerschaften*
6	*Internationale Netze*	*gemischte Trägerschaften*
7	*Einzelbeobachter, „closet phenologists“*	*individuelle, meist unvernetzte Initiativen*

Tabelle 14 : Kategorien phänologischer Beobachtungsnetze.

Aufgrund der Initiativen von Naturwissenschaftern und Mäzenen, wurden in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts phänologische Beobachtungen in die Aufgaben der Wetterbeobachter miteinbezogen. Forstdienste und Landwirtschaftskreise gründeten weitere Beobachtungsnetze. So ergaben sich verschiedene Netzkategorien, und neben den offiziellen Netzen der Wetterdienste erschienen verschiedene Sondernetze. Die pädagogischen Werte von phänologischen Beobachtungen brachten auch Schulen dazu Phänologie zu betreiben (Abschnitt 6.8).

Netz	Anzahl Stationen	Institution, Koordination	Zentrale	Netz-Kategorie
Allgemeines Netz	*160*	*MeteoSchweiz*	*Zürich*	*1*
Waldnetz	*10*	*MeteoSchweiz*	*Zürich*	*3*
Schweizerischer Nationalpark	*3*	*MeteoSchweiz*	*Zürich*	*2*
BernClim	*15*	*Geographisches Institut der Universität*	*Bern*	*2*
Zentralschweiz		*Gymnasium Cham*	*Cham*	*2*
Vogelschutz Schweiz		*Schweizerische Vogelwarte*	*Sempach Stadt*	*3*
Phäno-Spezial	*39*	*MeteoSchweiz/Agroscope*	*Zürich*	*3*
Pollenmessnetz	*14*	*MeteoSchweiz*	*Zürich*	*3*
Groupe Ambrosia		*Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève*	*Chambésy*	*3*
Closet phenologists	*11*	*MétéoSuisse, station aérologique*	*Payerne*	*7*
GLOBE Schweiz	*2*	*c/o Bundesamt für Umwelt (BAFU)*	*Bern*	*5*
PhaenoNet		*Gemeinsame schweizerische Datenbank an der ETH*	*Zürich*	*1-7*

Tabelle 15: Phänologische Netze in der Schweiz. Netzkategorien gemäss Tabelle 14.

Netz	Anzahl Stationen	Institution, Koordination	Zentrale	Netz-Kategorie
Internationale Phänologische Gärten IPG	*1*	*Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Pflanzenbauwissenschaften*	*Berlin WSL/Birmensdorf*	*6*
GLOBE International GLOBE Switzerland	*2*	*Colorado State University (USA) Pädagogische Hochschule PH*	*Fort Collins, CO. Ittigen BE*	*5, 6*
Phénoclim	*2*	*Centre de Recherches sur les Écosystèmes d'Altitude (CREA)*	*Chamonix (F)*	*5, 6*

Tabelle 16: Internationale Netze mit Stationen in der Schweiz. Netzkategorien gemäss der Tabelle 14.

In verschiedenen Ländern Europas entstanden mit Hilfe des Internets Publikumsnetze, die eine automatische Integration der Beobachtungen in eine Datenbank und oftmals eine kartographische Darstellung und Verlaufkurven in Echtzeit erlauben. Dabei kann in vielen Fällen jedermann Beobachtungen melden, Stationen gibt es nicht mehr. Die grosse Zahl an Daten soll eine hohe Qualität der Mittelwerte gewährleisten.

Daneben gibt es nach wie vor zahlreiche Einzelpersonen, die Beobachtungen in der Natur vornehmen, ohne sich immer bewusst zu sein Phänologie zu betreiben. Diese Beobachtungen von Einzelpersonen wurden oftmals weder zentral erfasst noch ausgewertet.

Phänologie ist in erster Linie eine Methode des Biomonitorings, wobei die Pflanzen- und Tierphänologie den Schwerpunkt auf die Reaktionen der Lebewesen auf die Summe der Umwelteinflüsse legen. So gesehen kann die Phänologie auch als Umweltmonitoring bezeichnet werden, da auch abiotische Beobachtungen mit einbezogen werden

Die Netze in der Schweiz

Netze sind zu verschiedenen Zeitpunkten mit unterschiedlichen Zielsetzungen entstanden. Nicht alle Netze haben Bestand, und das Überleben von Beobachtungsnetzen ist von politischen, wissenschaftlichen und soziokulturellen Bedingungen abhängig. Immer sind persönliche Initiativen die Voraussetzung zur Schaffung einer Struktur. Die Tabellen 8 und 9 enthalten die zu Beginn des 21. Jahrhunderts in Betrieb stehende Beobachtungsnetze in der Schweiz. Bestrebungen zur Schaffung einer gemeinsamen Datenbank für alle Netze der Schweiz sind im Gang (Tabelle 15). Damit können die Daten aller Netze zusammengeführt werden, womit auch ein Publikumsnetz (Kategorie 4) entsteht mit dem zusätzlichen Vorteil, dass auch alle Beobachtungen sofort und nicht erst am Jahresende verfügbar sind (VOGEL et a.l 2011).

Die Beobachtungsnetze in Europa

Nach der Blüte der Phänologie des 19. Jahrhunderts haben viele Länder phänologische Beobachtungsnetze gegründet, die lange nicht alle im 20. Jahrhundert überlebt haben (Abschnitte 3.1, 3.2). Anstelle der ehemaligen Netze der Wetterdienste haben in einigen Ländern punktuell Forschungsanstalten die Stationen übernommen, anderswo sind später privat finanzierte Infrastrukturen entstanden. Europäische Vernetzungen haben eine Zusammenarbeit und ein Zusammenführen der Daten ausgelöst. Im Rahmen der COST-Aktion 725 (Kapitel 2.5) ist ein Rückblick auf die Geschichte der 27 beteiligten Länder zusammengetragen worden (NEKOVAR et al. 2008).

Abbildung 13: Übersichtskarte der phänologischen Stationen und internationalen Gärten (IPG) in Europa. Die freiwilligen Beobachter des Vereinigten Königreiches, der Niederlande und Frankreichs sind nicht eingetragen, da sie keine Stationen betreiben (aus NEKOVAR et al. 2008).

Diesem Inventar ist zu entnehmen, dass 2006 über 10'000 phänologische Stationen tätig waren. Und dass Deutschland mit 1400 Stationen das dichteste Netz aufweist, was auch in der Karte (Abbildung 13) deutlich ersichtlich ist. Überhaupt ist Mitteleuropa gut abgedeckt mit Stationen. Die zahlreichen Beobachtungen aber in den Niederlanden und im Vereinigten Königreich können nicht dargestellt werden, da sie nicht von standorttreuen Stationen stammen. Die Beobachtungsprogramme der nationalen Netze umfassen eine breite Auswahl von 300 verschiedenen Pflanzenarten – darunter 30 Kulturpflanzen und 250 Wildpflanzen – und total 2500 Pflanzenphasen (NEKOVAR et al. 2008).

Seit dem 18. Jahrhundert existieren grenzübergreifende Netze, weiter wurden auch im 19. Jahrhundert Initiativen ergriffen. Die Phänologie blieb aber vor allem ein Anliegen auf nationaler Ebene, mit Ausnahme der Internationalen Phänologischen Gärten, die seit 1957 ein kontinentweites Rückgrat darstellen (Abbildung 26). Durch die internationale Vernetzung im ausgehenden 20. Jahrhunderts (Abschnitt 3.3) wurde eine intensive Zusammenarbeit in Europa eingeleitet (KOCH et al. in NEKOVAR et al. 2008).

2.4 Bilder ergänzen die Beobachtungen

Regelmässige Beobachter warnen seit langem davor, dass sich draussen in der Natur einiges verändert. Die genauen Pflanzenbeobachtungen sprechen für sich. Auch Umweltsatelliten – also Beobachtungen von weit weg, aber mit riesigem Blickfeld – halten fest, dass die Uhren der Natur zunehmend anders ticken (Abschnitt 4.4). Von Nah und Fern wird fleissig beobachtet. Die Satelliten liefern – mit grober Auflösung – täglich Daten von der ganzen Welt, Beobachter dagegen halten lokal viele Einzelereignisse fest, dies aber oft nicht jeden Tag. Die Lücke zwischen Weltall und Einzelereignis soll mit Hilfe von täglich aufgenommenen digitalen Bildern geschlossen werden. Eines der Ziele ist es, aus diesen Dokumenten den phänologischen Zustand von Bäumen zu berechnen (AHRENDS et al. 2008, Abschnitt 4.5). Bilder können im Unterschied zu Augenbeobachtungen für eine spätere Nachbestimmung archiviert werden, zudem können datierte historische Aufnahmen herangezogen werden (SPARKS et al. 2006). Damit könnte eine neuerliche Bestimmung von phänologischen Abläufen und Anpassungen an verändere Kriterien möglich werden, beispielsweise der Herbstverfärbung. Es ist sehr aufschlussreich, Satellitendaten, Feldbeobachtungen und Fotoserie parallel auszuwerten zu können.

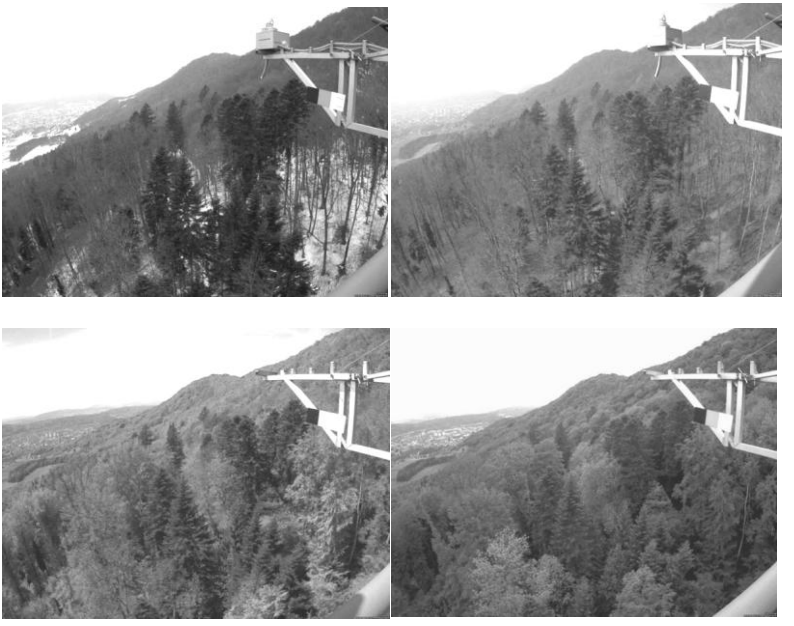


Abbildung 14 : Bilder der automatischen Kameras auf dem Turm auf der Lägern (Aargauer Jura) vom Winter in den Frühling 2010: 10. 3., 28. 4., 11. 5., 19. 5., mit Kalibrierungstafel im Bild (siehe auch Abschnitt 4.5).

2.5 Phänologie findet auch im Winter statt

Während der Vegetationsruhe der mehrjährigen Pflanzen gibt es wenig zu beobachten. Immerhin können schon in schneebedeckten Landschaften erste Anzeichen den Beginn des frühen Erwachens der Pflanzenwelt ankündigen. Bekannt ist etwa die Blüte der Hasel, die in milden Wintern schon mal vor dem Jahreswechsel beobachtet werden kann. Eigentliche Winterblütler sind in der Wildflora der Schweiz sehr selten, Spät- und Frühblütler kommen aber immer wieder und sogar vermehrt vor (RÖTHLISBERGER 2008, Abschnitt 5.6).

In der kalten Jahreszeit gibt es vor allem abiotische Beobachtungen, die über den Verlauf des Winters Auskunft geben können: Nebelhäufigkeit, Schneeandauer und Vereisungen von Gewässern sind einfach zu beobachtende Erscheinungen. Die Aufzeichnungen über das Zugefrieren von Seen widerspiegeln weit in die historische Vergangenheit zurück,

den Verlauf der winterlichen Bedingungen. So wurde etwa das Zugefrieren der Schweizer Seen historisch verfolgt (Abbildung 15).

Die Bezeichnung der Eisphänologie ist zwar international umstritten, in Nordamerika aber geläufig, da mancherorts das Zugefrieren und Auftauen von Seen und Flüssen seit vielen Jahren registriert wird – und auch diese Daten widerspiegeln den Klimawandel sehr deutlich (LIVINGSTONE 2000, SAGARIN und MICHELI 2001).

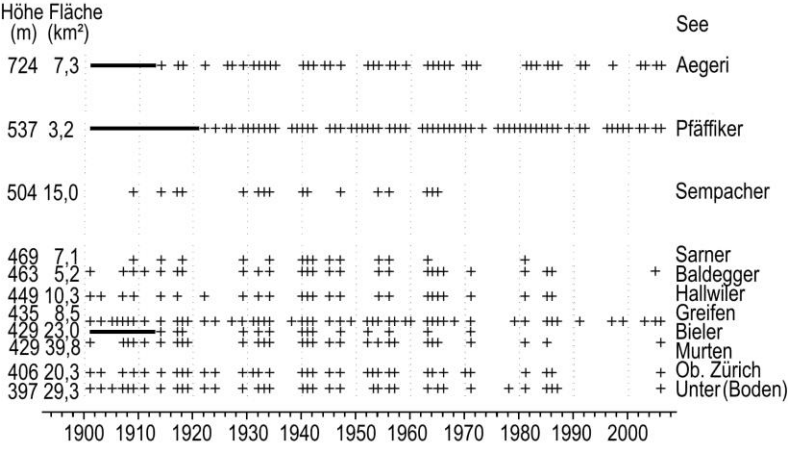


Abbildung 15: Vollständiges Zufrieren von elf Seen des Schweizer Mittellandes zwischen 1901 und 2006 nach Meereshöhe (nach HENDRIKS FRANSSEN und SCHERRER 2008, verändert).

3 Geschichte und Vernetzung – von der Antike zur Moderne

3.1 Klimatologie und Phänologie – eine asynchrone Geschichte

Historische Dimensionen: Subjektivität und *'closet phenologists'*

Mit der Beobachtung der phänologischen Ereignissen von Jahr zu Jahr wird aus der saisonalen Phänologie der Phänophasen oder Entwicklungserscheinungen eine Phänologie mit einer langfristigen, historischen Dimension. Seit Jahrtausenden halten Menschen auf der ganzen Welt phänologische Ereignisse fest. Historische phänologische Beobachtungen entstanden ausserhalb von Beobachtungsprogrammen, in welchen phänologische Phasen in Form von Anleitungen definiert und an die Beobachtende abgegeben werden, sondern schliessen unabhängige Beobachterinnen und Beobachter (*'closet phenologists'*) und historische Quellen ein. PFISTER (in STUBER et al. 2009) definiert die historische Phänologie als "beobachtete, saisonal wiederkehrende Ereignisse in der natürlichen Umwelt, die im Zusammenhang mit Beschreibungen und instrumentellen Messungen aufgezeichnet worden sind". Diese Beschreibung umfasst sowohl klassisch pflanzenphänologische Phasenbeobachtungen wie sie heute gemacht werden als auch "para-phänologische" Phasen aus der Landwirtschaft wie Aussaat- und Erntedaten. Zudem werden eine Vielzahl anderer Beobachtungen der physischen Umwelt wie Schneefall, Schnee- und Eisbedeckung oder Nebel dokumentiert.

Die historische Phänologie kann auch umschrieben werden als "das Handwerk der Interpretation von historisch phänologischen Beobachtungen, die während oder vor Netzwerkbeobachtungen entstanden sind und spezifische, individuelle Charaktereigenschaften und Meta-Informationen beinhalten" (RUTISHAUSER 2007).

Der Unterschied zwischen historischer und moderner Phänologie liegt im Kontext, in dem solche Beobachtungen angestellt worden sind. Historischen Beobachtungen wird ein noch grösserer Teil an Subjektivität zugesprochen, als den Netzwerkbeobachtungen basierend auf Anleitungen und Phasendefinitionen.

Die Definitionen der beobachteten phänologischen Phasen entstehen oft während dem Beobachten und können sich mit der Zeit verändern. In vielen Fällen liegt keine Beschreibung der Definition der phänologischen Phase vor.

Trotzdem können nach gründlicher, kritischer Analyse der Dokumente in vielen Fällen qualitativ hoch stehende Daten gewonnen werden, die bei allen systematischen Unterschieden die Variabilität der phänologischen Veränderungen wiederzugeben vermögen. Eine Systematik historisch phänologischer Beobachtungen (RUTISHAUSER 2007, Abbildung 16) könnte folgende Kategorien umfassen:

- Lange Reihen gehören zur beliebtesten Kategorie von historischen phänologischen Beobachtungen, weil sie für Veränderungen der Phänologie und Trendberechungen über lange Zeiträume analysiert werden können. Die Reihe der Kirschenblüte aus Japan ist ein wichtiges Beispiel. Seit 705 n. Chr. liegen die Blühdaten des Kirschbaums vor. In Europa sind lange Reihen des Rebenerntedatums für das Burgund und für das Schweizer Mittelland seit 1370, bzw. 1480 zusammengestellt worden. Für das Schweizer Mittelland liegt auch eine Reihe der Kirschenblüte seit 1723 vor, die aus mehreren Quellen zusammengestellt worden ist. Mit einer neuen Methode ist es gelungen, den Frühlingsanfang für das Schweizer Mittelland basierend auf drei phänologischen Phasen bis ins Jahr 1702 zu rekonstruieren.
- Die beiden letzten Reihen basieren auch auf Beobachtungen aus Viel-Phasen-Sammlungen. Diese Kategorie umfasst oft voluminöse Aufzeichnungen von mehreren hundert phänologischen Phasen, die immer der gleiche Beobachter an einem einzigen Standort gemacht hat. Wichtige Sammlungen sind bekannt von Pfarrer Johann Jakob SPRÜNGLI, der westlich von Thun in Gurzelen BE und am Bielersee in Sutz BE von 1765 bis 1802 über 4'000 phänologische Beobachtungen aufgezeichnet hat. Bäckermeister Hans Rudolf RIETER hat ebenfalls eine grosse Sammlung hinterlassen.
- Fragmetarische Beobachtungen sind am zahlreichsten, aber am schwierigsten für eine phänologische Interpretation zu gebrauchen. Oft handelt es sich um singuläre Aufzeichnungen eines einzelnen Jahres, von der weder Beobachter noch Definitionen überliefert worden sind. Wenige Analysen liegen vor, einzig die Interpretation extremer phänologischer Beobachtungen wird für die Klimarekonstruktion des Mittelalters verwendet.
- Zeitgenössische Beobachtungen von "*closet phenologists*", von so genannten "Kleiderschrankbeobachtern", sind bisher nicht systematisch erfasst worden. Eine Zahl von Analysen hat allerdings den Wert dieser Beobachtungskategorie betont, die höhere Subjektivität und die schwierige Vergleichbarkeit der Phasendefinitionen konnten nicht überwunden werden. In Ländern, die keine zeitgenössischen phänologischen Netzwerke betreiben, sind diese Beobachtungen die einzige Quelle vergangener phänologischer Variabilität.

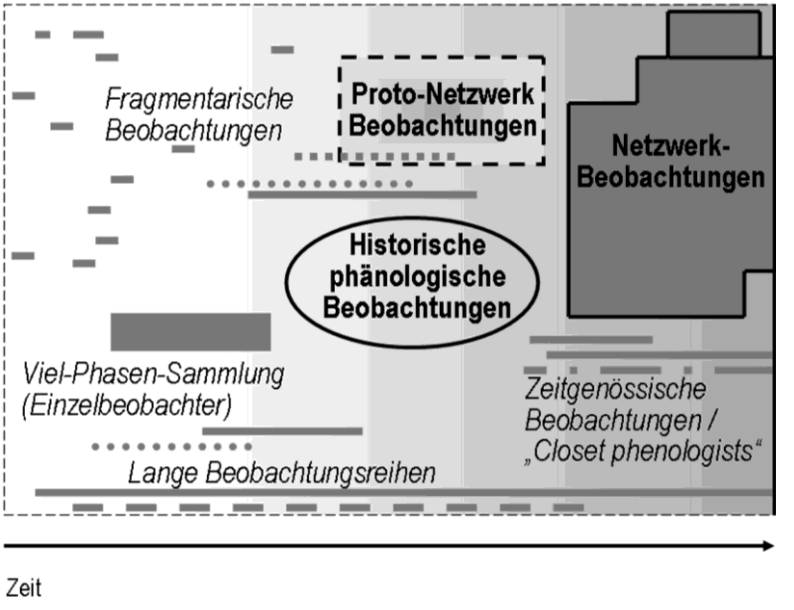


Abbildung 16: Schema zur Kategorisierung historisch phänologischer Beobachtungen (aus RUTISHAUSER 2007).

Von den spontanen Beobachtungen zu den Netzen

Aus der Römerzeit und dem Antiken China sind zufällige Beschreibungen überliefert. Die erwähnten Serien des Datums des Kirschblüten-Festivals in Japan beginnt 705 n. Ch.. Seit dem Mittelalter liegen bruchstückhafte phänologische Aufzeichnungen vor. Sie fügen sich in die Wandlung und Entsakralisierung des Naturbegriffes sowie der Erfassung der Regelmässigkeit des Werden und Wachsens des Lebens im 12. und 13. Jahrhundert ein, insbesondere im Bereich der Klosterkultur (WEGMANN 2005, Tabelle 16).

Zur Zeit der Aufklärung entstanden in Europa dann die ersten Beobachtungsnetzwerke. In Schweden ergriff der Vater der Pflanzensystematik, Karl von Linné, die Initiative. In der Schweiz initiierte 1759 die Ökonomische Gesellschaft von Bern ein erstes Netzwerk (PFISTER 1975, 1984).

Die graue Vorzeit – die spontane Phänologie	
Ab 11. Jh. vor Chr.?	Xia Ciao Zheng, erste phänologische Kalender Huia-Fluss und unteres Einzugsgebiet des Yangtze Rekonstruktionen der letzten 5000 Jahre (ZHU 1973 zit. In: CHEN in SCHWARTZ 2003) Jahreszeiten-Kalender der Aborigines in Australien mit 5 bis 10 Jahreszeiten KEATLY + FLETCHER in SCHWARTZ 2003
1. Jh. n. Chr.	Markus-Evangelium: „Der Feigenbaum kann euch ein Beispiel sein: wenn sein Zweig jetzt anfängt, saftig zu werden und Blätter zu treiben, merkt ihr, dass es Sommer wird“ MARKUS 13: 24
Seit 705	Datum des Kirschblütenfestivals in Kyoto, Japan
Mittelalter	Weinlesedaten in Frankreich *Annus fructificat, non terra.* PARACELSUS (1493-1531) Beziehungen zwischen Witterung und Vegetation in Naturbeobachtungen des 12. und 13. Jahrhunderts und Entsakralisierung der Auffassung von der Natur Abt Isingrim VON OTTOBEUREN (WEGMANN 2005)
Moderne Meteorologie und Klimatologie	
1644	Barometer von Evangelista Torricelli
1657	Thermometer von Ferdinand II von Toscana
1787	Horace Bénédict de Saussure am Mont-Blanc
1844	Telegraph von Samuel Morse
1853	Internationale meteorologische Konferenz Brüssel
1879	Internationaler meteorologischer Kongress Leipzig
1951	World Meteorological Organisation WMO/OMM
Die moderne phänologische Wissenschaft	
1736-1947	Aufzeichnungen der Marsham-Familie in Norfolk
1750-1752	Carl von Linné in Schweden (18 Stationen), Pflanzenkalender Philosophia Botanica (1751)
1781-1792	*Societas Meteorologica Palatina* (Kurpfalz) Mannheim, internationales meteorologisches und phänologisches Netz in Europa
1853	Phänologie als Begriff von Charles Morren, Botaniker, Lüttich
1881-1941	Hoffmann + Ihne (in Menzel in Schwartz 2003)
19./20. Jh.	Nationale Netze (z. B. 1851 USA, 1867 Kanada, 1873 Schweden, 1879 Niederlande, 1880 Frankreich, 1896 Finnland, 1922 Phänologischer Reichsdienst D, 1951 Schweiz)
Echtzeit- und mediale Phänologie	
Im späten 20. Jh. z. B.	Sofortmeldenetze D, CH (seit 1986), Wetterfrosch Radio DRS1 Naturkalender UK, NL, USA, F Fernerkundung Photophänologie

Tabelle 17 : Die Entwicklung der Phänologie im Verbund und Schatten der Welt- und Klimakunde.

Es wurden Daten gesammelt, um die landwirtschaftliche Produktion zu steigern und in den natürlich gegebenen Grenzen zu optimieren. Während den ersten Jahren des 1864 gegründeten meteorologischen Netzwerkes wurden auch regelmässig phänologische Beobachtungen gemacht und publiziert (1864 bis 1873, WOLF 1864-1880). 1869 bis 1882 erhob der Bernische Forstdienst phänologische Waldbeobachtungen (ZSCHOKKE 1891, VASSELLA 1997).

Die langen Reihen des Kastanienblattausbruchs in Genf seit 1808 und der Vollblüte des Kirschbaums in Liestal seit 1894 sind zwei phänologische Reihen, die bis heute fortgesetzt werden und mit den heutigen Netzwerkbeobachtungen verglichen werden können (DEFILA und CLOT 2001).

3.2 Die Renaissance der Phänologie

Die Phänologie in Europa hat als staatliche Infrastruktur in der zweiten Hälfte des 19. und der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts eine Hochblüte erlebt (
Tabelle 17). Im Zuge systematischer Erhebungen durch die Wetterdienste zahlreicher europäischer Länder entstand ein dichtes Netzwerk, das allerdings nach dem 2. Weltkrieg stark dezimiert wurde. Die Meteorologie wurde zur exakten Wissenschaft und einer technischen Errungenschaft und verdrängte so die Phänologie. Letztere war zwar als *low-cost*-Monitoring anerkannt, aber konnte sich mancherorts gegen den Abbau des *Service public* nicht durchsetzen. Die traditionellen Auswertungen in der Landwirtschaft verblassten vor den technischen Errungenschaften.

Die neuen Waldschäden der 1980er Jahre und vor allem die Erfassung des Klimawandels vermittelte der Phänologie neuen Schub. Der Bedarf an langen Datenreihen und das Umweltbewusstsein führt zu neuen Entwicklungen. Internationalen Vernetzungen (Abschnitt 3.3) ermöglichen einen internationale Datentausch und -Vergleich. Publikumsnetze mit einer öffentlichen Dateneingabe im Internet und einer direkten Darstellung in Graphiken und Karten (Tabelle 14) ermöglichen eine Echtzeit-Phänologie. Die zunehmende Bedeutung der Medien vermitteln den Veränderungen in der Umwelt Bekanntheit und Breitenwirkung – auffallende phänologische Entwicklungen beispielsweise werden schon mal prominent aufgegriffen.

Die Analyse von Satellitenbildaufnahmen (Abschnitt 4.4), die Entwicklung und Anwendung von neuartigen Sensortechniken, Bildaufnahme- und –auswertungsverfahren (Abschnitt 4.5) sowie experimentelle Studien im Gebirge (Abschnitt 6.3) tragen zur facettenreichen Forschungslandschaft bei. Die herausragende Qualität der Forschung findet auch interna-

tional grosse Beachtung, zum Beispiel mit umfangreichen Beiträgen aus der phänologischen Forschung im Bericht der Arbeitsgruppe II «Verwundbarkeit von sozioökonomischen und ökologischen Systemen durch Klimaänderungen» des Weltklimarates (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC 2007, Abschnitt 4.1).

3.3 Phänologie kontinental und global – die späte Vernetzung

Koordination der Beobachtungen

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 Weltorganisation 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 wurden standardisiert und die Daten 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 europa- und weltweiten Vernetzung und Organisation der Meteorologie und Klimatologie um etwa 150 Jahre hinten her.

Gesamteuropäische Arbeiten, in welchen die landwirtschaftlichen Phasen enthalten sind, wurden allerdings von einzelnen Phänologen bereits im späten 19. und im 20. Jahrhundert (z. B. HOFMANN 1881, IHNE 1905, SCHNELLE 1965) vorgelegt, die als Beginn einer kontinentweiten Zusammenschau gelten können. Aber erst am Ende des 20. Jahrhunderts sind Schritte zu einer weltumfassenden Zusammenarbeit unternommen worden, in Europa geschah dies dank des Europäischen phänologischen Netzwerkes EPN (VAN VLIET et al. 2003, BRUNS und 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 einen scheinbar exakteren Eindruck hinterlassen. Dies hätte was auch beinahe zur Verdrängung der Phänologie geführt.

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 fördert. Erst die Verbreitung von Kulturpflanzen und international gängigen Unkrautarten ermöglichte internationale und interkontinentale vergleichbare Beobachtungen.

Schliesslich wird Phänologie in unterschiedlichsten Fachbereichen betrieben, was eine Vernetzung der aus den verschiedensten Berufen und Disziplinen stammenden Fachleute zusätzlich erschwert. In der Schweiz nimmt der 2004 gegründete Phänologie-Kreis diese Aufgabe wahr (Tabelle 19).

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 (BRUNS und VAN VLIET 2003) und der COST-Aktion 725 *(„Establishing a European Phenological Data Platform for Climatological Applications")* – in welcher auch die Schweiz teilnimmt – zielen innerhalb Europas in diese Richtung der Standardisierung der Beobachtungsprogramme, während weitere Institutionen diese Bemühungen auch weltweit aufnehmen (Tabelle 18).

Europäische Datenbanken

Mit den europäischen Vereinheitlichungsinitiativen EPN und COST-Aktion 725 sind bisher zwei länderübergreifende phänologische Datenbanken entstanden bzw. am entstehen. Eine Metadatenbank des Europäischen Phänologischen Netzwerkes (*European Phenology Network EPN*) mit Informationen über phänologische Netze weltweit (58 phänologische Netze, davon 39 in Europa) befindet sich am Potsdam Institute for Climate Impact Research.

Im Rahmen der COST-Aktion 725 entstand in Wien eine europäische phänologische Datenbank mit ausgewählten Phänophasen und Stationen, für klimatologische Anwendungen (*Pan European Phenology DB PEP 725*, KOCH et al. 2010).

Nationale Vernetzung – eine Frage der Interdisziplinarität

So schwierig wie die internationale phänologische Vernetzung ist auch die Zusammenführung der Akteure innerhalb eines Landes. In der Schweiz beispielsweise betreiben über ein Dutzend Institutionen Phänologie im weiteren Sinn, aber pflegen nur punktuell und projektbezogen Kontakte und Zusammenarbeit. Die Gründe dazu liegen wohl in erster Linie in der Zugehörigkeit zu verschiedensten Fachbereichen und institutionellen Rahmen.

	Weltorganisation für Meteorologie WMO OMM (Seit 1932, seit 1950 mit Sitz in Genf) Unterkommission für Phänologie der Kommission für Landwirtschaftliche Meteorologie, „Guidelines for plant phenological observations“ 2006
	Internationale Phänologische Gärten IPG (Gründung 1957, Leitung an der Humboldt-Universität in Berlin) Die Internationalen Phänologischen Gärten (IPG) sind eine eigenständige Struktur innerhalb der Arbeitsgruppe Phänologie der Internationalen Gesellschaft für Biometeorologie (ISB) mit 68 Gärten in Europa.
ISB International Society of Biometeorology	**Globales Phänologisches Monitoring GPM** (seit 1993) (Internationale Gesellschaft für Bioklimatologie ISB, Arbeitsgruppe Phänologie)
International Association for Aerobiology I A A	**Internationale Vereinigung für Aerobiologie IAA** (gegründet 1973) Die Aerobiologie beschäftigt sich mit der Freisetzung von Pollen, mit Hilfe pflanzenphänologischen Beobachtungen und Daten.
EPN	**Europäisches Phänologisches Netzwerk EPN** (5. EU-Rahmenprogramm, 2000-2003) Das europäische Phänologie-Netzwerk hat zum Ziel, das Monitoring, die Erhebung und die Vorhersage, der vom Klima ausgelösten phänologischen Veränderungen und deren Auswirkungen in Europa, zu verbessern.
cost	**COST Aktion 725** (2004-2009) Erarbeitung einer Plattform für phänologische Daten in Europa im Hinblick auf klimatologische Anwendungen
Pan European PEP725 Phenology DB	**Europäische Datenbank** (seit 2010)

Tabelle 18: Verschiedene Institutionen vernetzen seit der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts die Phänologie in Europa und weltweit.

	Phänologie-Kreis Schweiz (2004-2010) Anlässe (Phänologie-Tage) und Rundbriefe sorgen für eine interdisziplinäre Vernetzung aller an Phänologie Interessierten: Beobachtende, Auswertende, Anwendende
sc | nat Swiss Academy of Sciences Akademie der Naturwissenschaften Accademia di scienze naturali Académie des sciences naturelles	**Kommission Phänologie und Saisonalität der SCNAT** **Platform Geosciences** (ab 2011)

Tabelle 19: In der Schweiz wurde eine lockere Vernetzung aller Akteure der Phänologie im Rahmen des Phänologie-Kreises angestrebt, mit der Anbindung an die Akademie der Naturwissenschaften ist der Bereich in die nationale Dachorganisation eingebunden.

2004 wurde der Phänologiekreis Schweiz als eine lockere Vernetzung von Beobachtenden, Auswertenden und Anwendenden begründet, wobei kein Verein entstanden ist, sondern lediglich ein Forum für die Phänologie. Immerhin ist es gelungen Interessenten aus verschiedensten Bereichen zusammen zu bringen und über fachübergreifende Fragen zu informieren. Dies geschieht mit zwei Tätigkeiten, der Veranstaltung der Phänologie-Tagen und den Publikationen, den Rundbriefen (Tabelle 19).

Der Phänologie-Kreis Schweiz wurde 2011 in die „Kommission für Phänologie und Saisonalität“ der Akademie der Naturwissenschaften SCNAT überführt. Damit wird eine bessere Vernetzung der Phänologen in der Schweiz im Rahmen einer Dachorganisation erreicht.

3.4 Nationale Netze

Im Zuge der Einführung der Agrarmeteorologie an der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt entstand das erste nationale phänologische Beobachtungsnetz der Schweiz (PRIMAULT 1964, DEFILA 1991). Mit phänologischen Daten sollten vor allem der Landwirtschaft Erkenntnisse über die Vegetationsentwicklung vermittelt werden. Die Zahl von anfänglich 70 Stationen hat sich mehr als verdoppelt, durchschnittlich repräsentiert somit eine Station ein Gebiet von etwa 250 km². Die phänolo-

gischen Stationen verteilen sich auf eine Meereshöhe von 200 bis 1800 m und decken alle Regionen des Landes ab.

Während das Beobachtungsprogramm der Gründerzeit 45 phänologische Phasen umfasste, wurde dieses 1996 auf 69 Phasen erweitert. Die Anzahl der Kulturpflanzen wurde reduziert und die Vogelphänologie weggelassen, welche von der Vogelwarte Sempach sehr ausführlich abgedeckt wird. Von landwirtschaftlichen Anwendungen vorschob sich das Interesse an der Phänologie zu Fragen der Umweltveränderungen und des Klimawandels.

Das Beobachtungsprogramm ist in einer ausführlichen Beobachtungsanleitung festgehalten (BRÜGGER und VASSELLA 2003), die den Phänologischen Atlas (PRIMAULT et al. 1957, 1971) abgelöst hat. Seit 1986 liefern 40 längjährige Stationen die Beobachtungen eines Sofortmeldeprogrammes mit 17 ausgewählten Phasen unmittelbar nach dem Auftreten jeder Phase ab, diese Daten werden für die Erarbeitung eines Vegetationsbulletins verwendet.

Die meisten europäischen Länder gündeten ein nationales Netz, viele davon wurden aber in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wieder eingestellt (NEKOVAR et al. 2008, Abschnitt 2.3, Tabelle 17). Im Gegensatz dazu entstanden seit dem Ende des 20. Jahrhunderts in einigen Ländern neue oft privat finanzierte Publikumsnetze. In den Vereinigten Staaten von Amerika wurde 2008 eine nationale Infrastrukur begründet (*USA National Phenology Network*, *USA-NPN*), die auf dem Hintergrund der Umweltveränderungen und des Klimawandes eine landesweite Mobilisierung und eine umfassende Vernetzung bezweckt.

3.5 Sondernetze

Nationale Netze haben zur Aufgabe, möglichst flächendeckend repräsentative Daten zu erheben. Zur Beantwortung weiterer Fragen drängen sich Sondernetze auf, die thematisch ausgerichtet sind, z. B. bezogen auf landwirtschaftliche oder aerologische Fragen, für eine räumlichen Verdichtung oder zur Erfassung besonderer Gebiete wie Gebirge.

Schweizerische Nationalpark

In höheren Gebieten sind phänologische Stationen selten, und das nationale Beobachtungsprogramm umfasst keine alpinen Pflanzen. Diese Lücke schliesst regional das Sondernetz im Schweizerischen Nationalpark im Unterengadin GR, das 1994 eingerichtet wurde. Parkwächter, die fast täglich in der Natur unterwegs sind, nehmen die Beobachtungen vor (Abschnitt 6.3).

BernClim – Sondernetz mit langem Atem

Drei Ansätze mit phänolgischer Methodik wurden im Verlauf der letzten Jahrzehnte und Jahre am Geographischen Institut der Universität Bern gepflegt: mesoklimatische Beobachtungen in einem dichten Netz (BernClim), waldphänologische Detailerhebungen (Abschnitt 6.3) und die Bearbeitung historischer Daten (Kapitel 5).

Das Berner Klima-Beobachtungsnetz – topoklimatologische Grundlagenforschung

Jede raumbezogene Klimatologie ordnet sich in einen Massstabsbereich ein (Abbildung 2, Abschnitt 1.1). Während die Mikroklimatologie mit einer extrem feinen Auflösung beispielsweise die Lebensbedingungen von einzelnen Pflanzen zu charakterisieren vermag, kann sie kaum über grössere Räume flächendeckend betrieben werden. Untersuchungen im mesoklimatischen Massstabsbereich wie sie mit Daten von nationalen Meteostations-Netzen im Abstand von einigen Dutzenden Kilometern angegangen werden können, sind für viele Anwendungen zu wenig detailliert. Bei der Gründung des BernClim-Netzes suchte man eine mittlere Auflösung, da die Raumplanung nach flächenhaften Klimaunterlagen verlangte. Bruno MESSERLI erkannte Ende der sechziger Jahre, dass die Geographie in diesem Bereich eine wichtige Lücke schliessen könnte, und zwar für Planungsfragen (MESSERLI 1970: 11).

Bald zeigte sich, dass die von der Raumplanung geforderte Dichte mit einer instrumentellen Erfassung kaum in Frage kommen konnte. Stattdessen sollten Beobachtungen räumliche Aussagen erlauben. In diesem Sinne wurde 1970 ein mesoklimatisches Netz im Kanton Bern gegründet, das phänologische Beobachtungen im Sommer mit Erhebungen von Schnee und Nebel im Winter verbindet.

Von grosser Originalität war dabei neben der Wahl der Beobachtungen auch die Gestaltung der Anleitung, mit welcher versucht wird, nicht nur punktuelle Werte in grosser räumlicher Dichte zu erhalten, sondern auch gerade noch eine raumbezogene Variabilität zu erfassen und erkennen (JEANNERET 1970). Die Beobachter werden angehalten, möglichst mehrere Standorte oder Flächen in charakteristischer Lage (Talboden und verschiedene Hänge, Expositionen und Höhenstufen) zu erfassen, womit eine aussagekräftige Auswahl der beobachteten Punkte angestrebt wird (JEANNERET 1971). Dabei entspricht die Anleitung derjenigen des phänologischen Netzes der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (PRIMAULT 1971), um eine Vergleichbarkeit (beispielsweise mit Karten von PRIMAULT 1984 und dem phänologischen Kalender von DEFILA 1992) zu gewährleisten.

Sommerhalbjahr – pflanzenphänologische Beobachtungen	Winterhalbjahr – abiotische Winterbeobachtungen
Hasel Allgemeine Blüte *Löwenzahn Allgemeine Blüte* *Apfelbaum Allgemeine Blüte* *Weizenernte* *Buche Blattverfärbung / Lärche Nadelabfall*	*täglich um 7:30 h* • *Nebel (Sicht < 1000 m), Zeit der Nebelauflösung* • *Schneebedeckung*

Tabelle 20: Das Beobachtungsprogramm BernClim seit 1972 – an jeder Station nach Möglichkeit an mehreren charakteristischen Beobachtungsorten auszuführen (nach MESSERLI 1970, 1978).

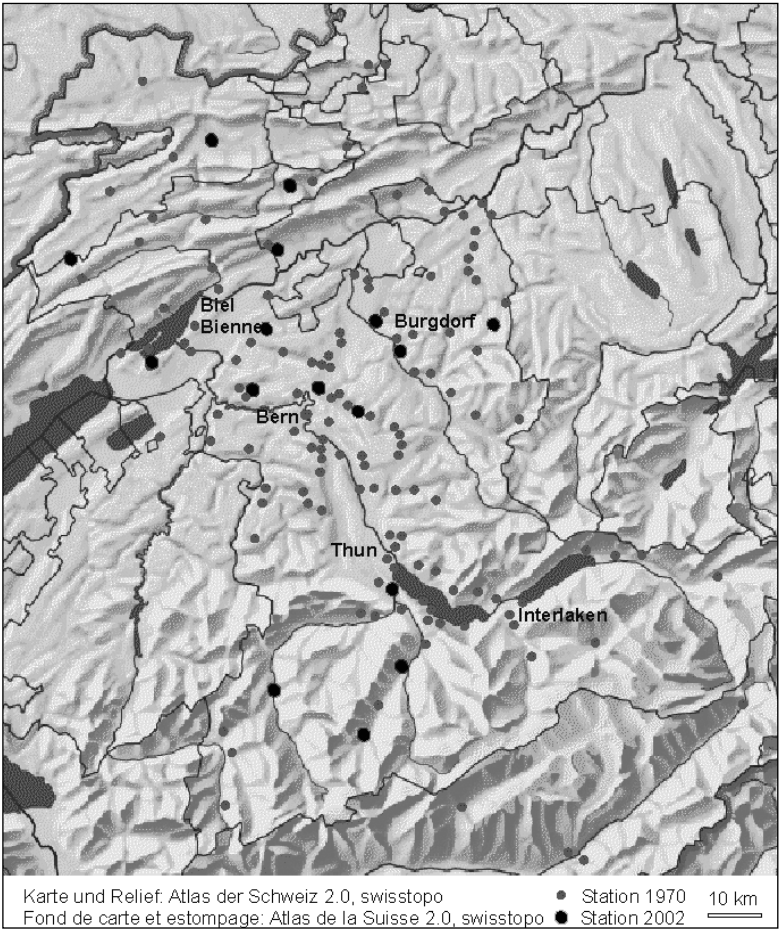


Abbildung 17: Stationskarte des Netzes BernClim 1972 (nach WANNER 1973).

Das Netz – zuerst dicht, dann langlebig

1970 wurde das Beobachtungsprogramm (MESSERLI 1978) im damaligen Kanton Bern (alter Kantonsteil mit heutigem Kanton Jura), dem Oberwallis und dem nördlichen Tessin (Sottoceneri) gestartet, was einem vollständigem Querschnitt durch die drei Grossräume der Schweiz entspricht: Jura, Mittelland, Nord-, Zentral- und Südalpen. Von den über 200 Beobachtern der 1970er-Jahre (Abbildung 17) verbleiben nach 2000 noch etwa ein Dutzend.

Klassische Auswertungen und Kartierungen

Die Daten wurden in verschiedenen Phasen ausgewertet, meist in einer Auflösung von einzelnen Jahren und vorwiegend mit methodischen Zielen. Fragen der Datenprüfung und der kartographischen Darstellung standen im Vordergrund (JEANNERET 1972, VOLZ 1979, BUCHER 1993). Ferner wurde ein Versuch gestartet, die Dauer der Vegetationsperiode Mithilfe von phänologischen Phasen zu definieren (WANNER 1973).

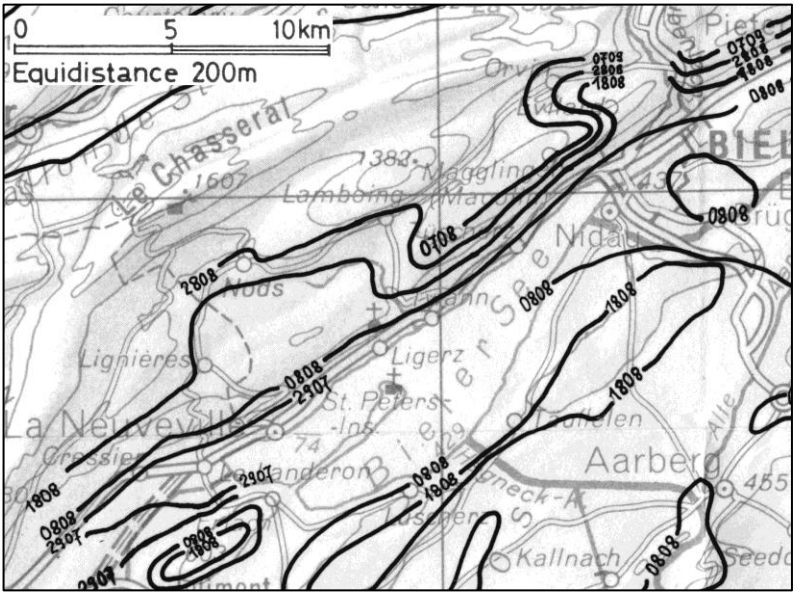


Abbildung 18: Kartierung der Weizenernte im Sommer 1970 im Seeland im Massstab 1 : 300'000 (leicht reduziert). Die Kurven sind mit dem Datum (TTMM) des Jahres 1970 angeschrieben (aus JEANNERET 1971, Ausschnitt)

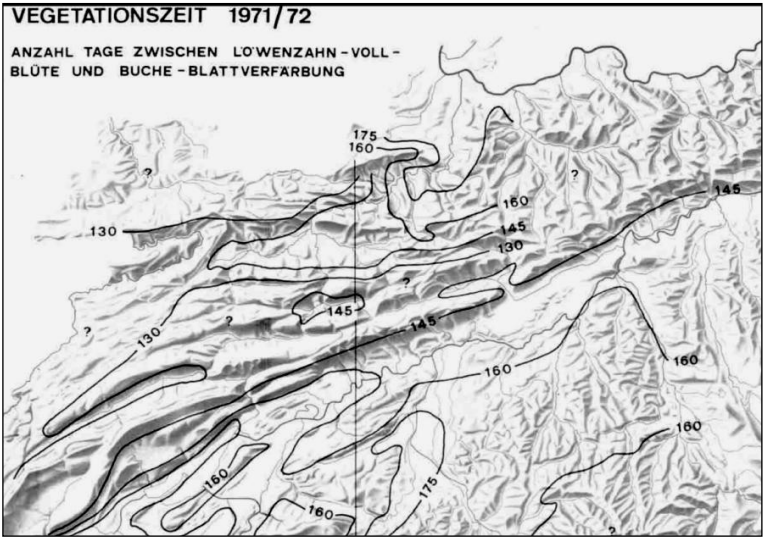


Abbildung 19: Karte der phänologischen Vegetationszeit 1971/72 (aus WANNER 1973, Ausschnitt)

Vor allem wurden die Ergebnisse der ersten Jahre für den damaligen Auftraggeber aufgearbeitet: das kantonale Amt für Raumplanung (VOLZ 1978). Dabei wurden die Daten von fünf Jahren (1970 bis 1975) systematisch erfasst und kartographisch dargestellt. Diese – zwar noch kurze – Reihe gestattete die Erarbeitung interessanter Ergebnisse. Insbesondere waren die gewonnenen Erkenntnisse für planerische Anwendungen geeignet, die zusammen mit den Auswertungen von Schnee- und Nebelbeobachtungen (WITMER 1978 und WANNER 1978), (VOLZ, WITMER, WANNER in MESSERLI et al. 1978) zudem auch für eine klimatische Regionalisierung des Kanton Bern herangezogen wurden (VOLZ, WITMER und WANNER 1978, z. B. Abbildung 20).

Spätere Auswertungen wurden insbesondere in Form von phänologischen Profilen präsentiert. Auch wenn sie nun einen längeren Zeitraum umfassten (1970 - 1990), so handelte es sich immer noch um exemplarische Bearbeitungen. Immerhin waren nun detailliertere Auswertungen exemplarisch für den Jura verfügbar, die mit einer Serie von Querschnitten (wie beispielsweise Abbildung 21) illustriert wurden (JEANNERET 1991a und 1991b, BUCHER und JEANNERET 1993, Abbildung 21), die die jahreszeitlichen Abläufe in den verschiedenen Landschaftstypen dieses Mittelgebirgsraum darstellen. Ab 1991 kamen vereinzelte, regionale Auswertungen dazu (siehe Bibliographie).

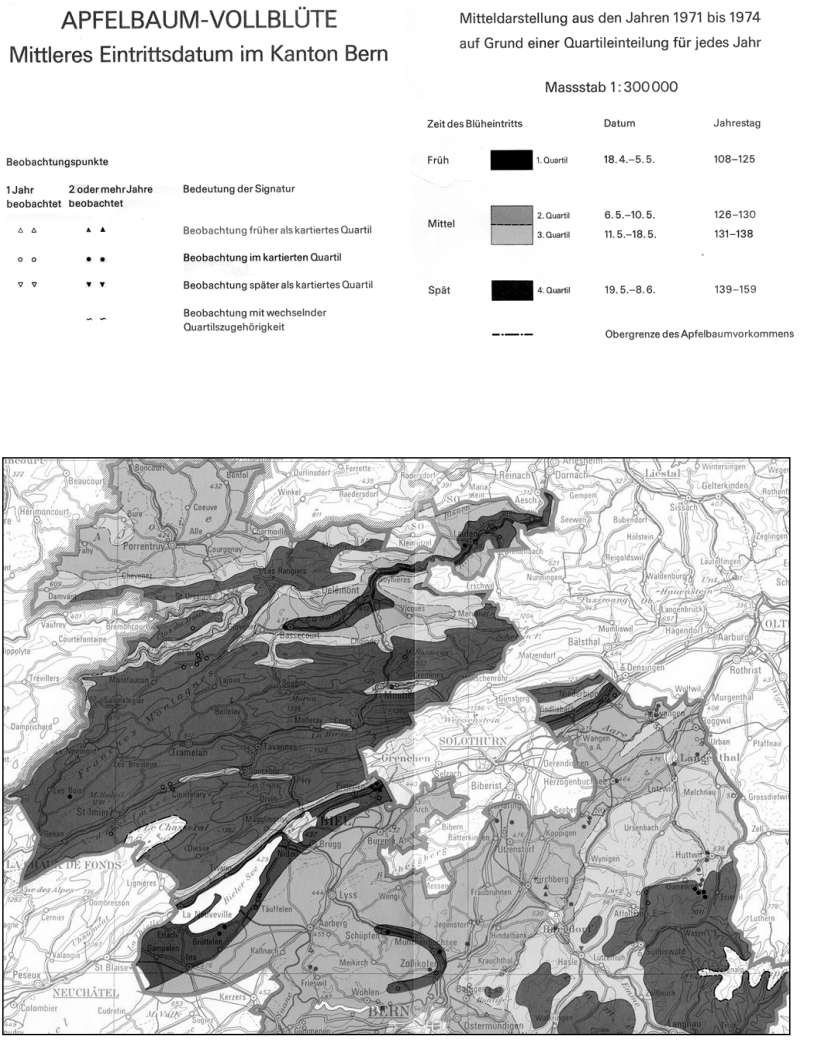


Abbildung 20: Karte der Apfelblüte (allgemeine Blüte) 1971 - 1974 im nördlichen Kanton Bern, Massstab 1 : 300'000 (reduziert), mit Darstellung der Quartile (aus VOLZ 1978, Ausschnitt).

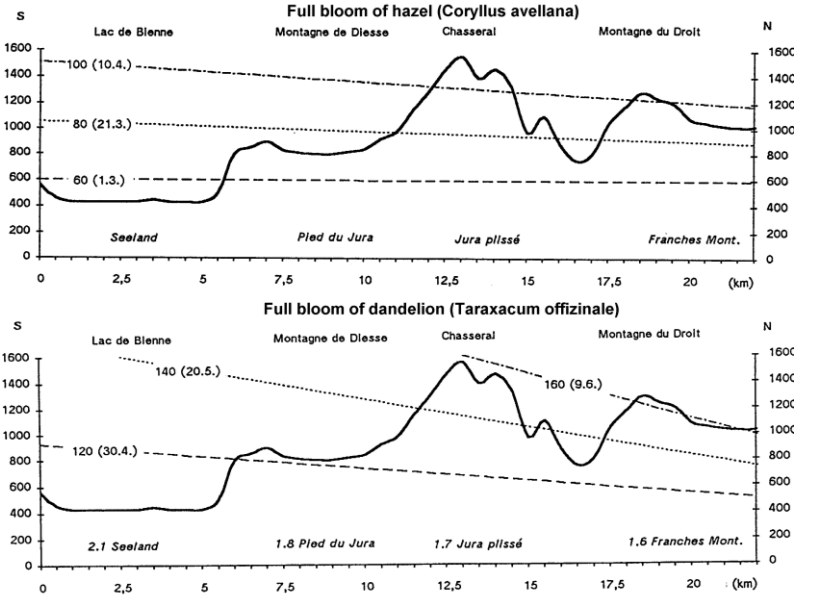


Abbildung 21: Profil der allgemeinen Blüte der Hasel(Corylum avellana) und der Löwenzahn-Vollblüte (Taraxacum offizinale). Die Höhengradienten der Haselblüte sind wenig differenziert und betragen 5 bis 7 Tage Verspätung pro 100 m Höhenzunahme. Die Blüte des Löwenzahns beginnt im Verlaufe des Aprils in tieferen Lagen am Jurasüdfuss, Ende April im Delsberger Becken (Verspätung von 10 Tagen auf 400 m Meereshöhe). In dieser Jahreszeit ist der nördliche Jura benachteiligt, in der Höhe ist die Verspätung noch grösser (fast einen Monat auf 1000 m Höhe (aus JEANNERET 1991, BUCHER und JEANNERET 1994)

Vom Geländeklima zum Treibhauseffekt

Dieses geländeklimatische Beobachtungsnetz erfüllt heute eine zur Gründerzeit nicht voraussehbare Funktion, indem es auf detaillierte Art die klimatischen Veränderungen im Kanton Bern – also einem Querschnitt durch die Grossräume der Schweiz – widerspiegelt. Die grosse Dichte an Stationen und Beobachtungsstandorten ist für geländeklimatologische Kartierungen sehr geeignet.

Wenn sich die globale Erwärmung fortsetzt, so werden gravierende Veränderungen auch für das Gebiet des Kantons Bern zu erwarten sein: so würden am Bielerseeufer bis 2050 klimatische Verhältnisse herrschen, wie wir sie heute an der italienischen Riviera kennen. Mit der Zeit verschieben sich alle Höhenstufen im Oberland um etwa 300 m in die Höhe.

So würden die heutigen Nadelwälder (1200 bis 1800 m auf der Alpennordseite) durch einen Mischwald ersetzt werden, die Waldgrenze wäre von 1800 auf vielleicht 2100 m angestiegen. Diese Veränderungen werden sich allerdings räumlich sehr unterschiedlich auswirken: es ist durchaus möglich, dass gewisse Gebiete wärmer, andere gleichzeitig kühler werden. Eine Differenzierung erfordert auch vertiefte Kenntnisse des Geländeklimas.

Es ist eine einmalige Datenbasis verfügbar, welche die Auswirkungen globaler Veränderungen auf regionaler Ebene im Jura, im Mittelland und in den Alpen aufzeigt und die Konsequenzen der klimatischen Veränderungen besser voraussehen lässt. Der Politik, Raumplanung und Wirtschaft stehen mit BernClim Entscheidungsgrundlagen zur Verfügung, da doch viele Bereiche von den Klimaänderungen betroffen sein werden: Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Verkehr, Tourismus und andere. Ganz am Anfang einer langen Reihe von Forschungsprogrammen im Bereich Klimatologie-Meteorologie und Phänologie am Geographischen Institut der Universität Bern setzte das Projekt BernClim ein.

Die exemplarischen Beispiele lokal aussagekräftiger Auswertungen langer Reihen umfassen einen Vertreter des tiefen Mittellandes mit einer deutlichen Verfrühung der allgemeinen Blüte der Hasel (Abbildung 22), des Alpenrandes mit einer mittleren Verfrühung der allgemeinen Blüte des Apfelbaumes (Abbildung 23) und schliesslich des Oberaargaus mit einer leichten Verspätung der Laubverfärbung der Buche (Abbildung 24).

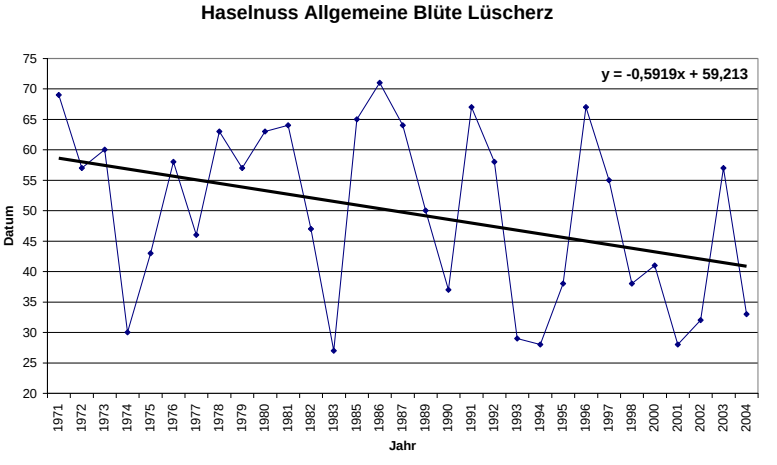


Abbildung 22: Zeitreihe der Allgemeinen Blüte der Hasel in Lüscherz am Bielersee (Praktikumsarbeit Lea MOSER 2006).

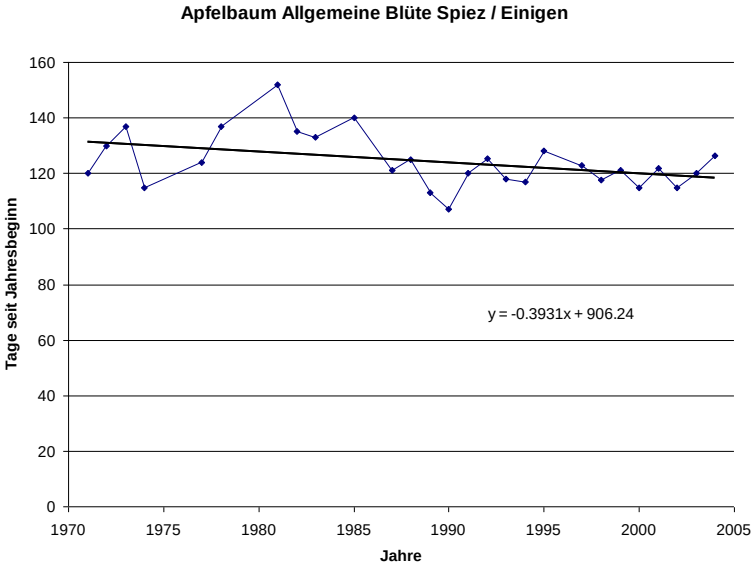


Abbildung 23: Zeitreihe der allgemeinen Blüte des Apfelbaumes in Einigen am Thunersee (Praktikumsarbeit Ivo STRAHM 2008).

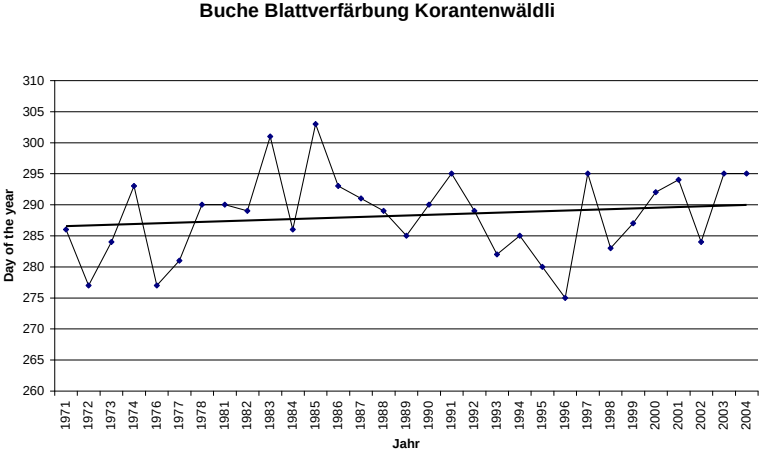


Abbildung 24: Zeitreihe der Laubverfärbung der Buche im Oberaargau (Wyssachen, Praktikumsarbeit Pascale AFFOLTER 2005).

3.6 Das Berner Waldnetz des 19. Jahrhunderts

Im Zuge der systematischen wissenschaftlichen Erfassung des wirtschaftlichen Umfeldes haben Schweizer Kantone Forschungsinfrastrukturen aufgebaut, die Ende des 19. Jahrhunderts von der Eidgenossenschaft übernommen und zentralisiert weitergeführt wurden. Im Kanton Bern wurden 1869 bis 1882 erste systematische Erhebungen zum Waldklima und der Phänologie von Waldarten erhoben (ZSCHOKKE 1891, VASSELLA 1997). Der bernische Forstdienst begründete ein kantonsweites Netz von Stationen in Staatswaldungen. Das erste Blatt, die allgemeine Belaubung, die erst Blüte, die allgemeine Blüte, die Fruchtreife und der Blattfall von 48 Arten wurden an etwa 70 Stationen beobachtet.

Im Vergleich dieser Daten mit solchen aus der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts ergab als deutliche Ergebnisse, dass die allgemeine Blüte und Belaubung des Hasel sich verfrüht hat, und dass die allgemeine Belaubung der Buche seit dem späten 19. Jahrhundert drei Wochen früher stattfanden (VASSELLA 1997).

Um die Aussagen des Vergleiches der historischen Daten mit Stationen von MeteoSchweiz zu untermauern, wurden ausgewählte historische Beobachtungsorte rekonstruiert und für zwei Jahre die aktuelle phänologische Entwicklung festgehalten.

Der Vergleich des phänologischen Verhaltens während den beiden Jahren 1998/1999 mit dem der historischen Zeitepoche von 1869-1882 zeigt ein heterogenes Bild. Differenziert man nicht nach Arten, so kann festgestellt werden, dass die 50%-Blattentfaltung in sechs Fällen eine Tendenz zu einer heutigen Verfrühung aufweist, in fünf Fällen ist keine solche Tendenz erkennbar und in einem Fall erkennt man eine Tendenz zu einer heutigen Verspätung des Phaseneintritts.

Für die Rotbuche liegen die meisten Daten vor: hier zeigen die neueren Daten gegenüber den Daten der historischen Zeitepoche auf, dass die 50%-Blattentfaltung in vier Fällen eine Verfrühung und in zwei Fällen keine gerichtete Tendenz. Von MeteoSchweiz (DEFILA 1999 und 2000) wird der Blattaustrieb der Buche für das Jahr 1998 als normal zeitlich und für das Jahr 1999 als normal bis früh eingeschätzt (Vergleichsbeobachtungen liegen, je nach Station, für die letzten 20 bis 50 Jahre vor).

Historische Station	PMW-Station	*Baumart*	50%-Blattentfaltung: Stations-vergleich
Bern: Lörwald	*Lörwald*	*Esche*	→
Lauterbrunnen: Schwandwald	*Spriessen*	*Fichte*	→
Bern: Lörwald	*Lörwald*	*Lärche*	(↓)
Nidauberg: Nidaubergwald	*Nidauberg*	*Lärche*	→
Lauterbrunnen: Schwandwald	*Spriessen*	*Lärche*	(↑)
Affoltern: Schweikwald	*Schweikwald*	*Rotbuche*	(↑)
Rüeggisberg: Thanwald	*Thanwald Posthubel*	*Rotbuche*	(↑)
Rüeggisberg: Thanwald	*Thanwald Ost*	*Rotbuche*	(↑)
Bern: Lörwald	*Lörwald*	*Rotbuche*	→
Nidauberg: Nidaubergwald	*Nidauberg*	*Rotbuche*	→
Herzogenbuchsee: Pfrundwald	*Inkwil Oenzberg*	*Rotbuche*	↑
Herzogenbuchsee: Pfrundwald	*Inkwil Grund Eiche*	*Stieleiche*	↑

Tabelle 21 : Vergleich der 50%-Blattentfaltung in historischer und heutiger Zeit. ↑ = Phaseneintritt 1998/1999 immer früher als Phaseneintritt während historischem Zeitraum; (↑) = Phaseneintritt 1998 und 1999 früher als durchschnittlicher Phaseneintritt während historischem Zeitraum; → = Phaseneintritt 1998 oder 1999 entsprechend dem historischen Zeitraum); (↓) = Phaseneintritt 1998 und 1999 später als durchschnittlicher Phaseneintritt während historischem Zeitraum (aus VASSELLA und BRÜGGER 2001).

3.7 Das Waldphänologienetz in der Schweiz

Mit einem Impulsprogrammes für waldphänologische Beobachtungen wurden Ende des 20. Jahrhunderts die Methode des Monitorings optimiert und die Basis für ein schweizerisches Beobachtungsnetz gelegt (Abbildung 34). Mit dem Schlussbericht dieses Impulsprogramme der Eidgenössischen Forstdirektion (VASSELLA und BRÜGGER 2001) konnte eine Beobachtungsanleitung und ein Netz mit 33 Stationen an die Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL (Datensicherung) und MeteoSchweiz (Betreuung der Beobachter) übergeben werden. Das Waldphänologienetz wird heute zusammen mit dem Allgemeinen Netz von MeteoSchweiz betreut.

Abbildung 25: Das Waldphänologienetz im Jahre 2005: An über 20 Standorten sind ca. 40 Stationen eingerichtet. Am häufigsten wird die Rotbuche (Fagus silvatica) beobachtet, gefolgt von Fichte (Picea excelsa), Esche (Fraxinus excelsior) und Lärche (Larix decidua). An vielen Stationen werden Einzelbaum-Beobachtungen durchgeführt (aus BRÜGGER et al. 2007).

Die phänologischen Daten werden an der WSL in Birmensdorf, zusammen mit denjenigen weiterer Walderhebungsprogramme verwaltet und ausgewertet.

Die wichtigste Besonderheit des Waldphänologieprogramms ist die Möglichkeit, sowohl Einzelbäume wie auch Bestände beobachten zu können. Die Erhebung von Einzelbaumdaten wird, trotz Mehraufwand, empfohlen, weil damit wichtige Informationen zur Variabilität innerhalb des genetischen Pools einer Art dokumentiert werden kann. Ebenso kann die phänologische Entwicklung einzelner Wachstums- und Entwicklungsprozesse mit Datumsmethode fortlaufend erfasst werden, was die Vergleichbarkeit mit kontinuierlichen Messungen klimatischer, standortskundlicher oder umweltrelevanter Daten erleichtert (Kapitel 4).

3.8 Internationale Phänologische Gärten Europas (IPG)

Die Internationalen Phänologischen Gärten (IPG) sind eine europäische und innerhalb der Phänologischen Arbeitsgruppe der Internationalen Gesellschaft für Biometeorologie (ISB) eigenständige Einrichtung. Das Beobachtungsnetz der IPG wurde 1957 durch Friedrich SCHNELLE und Erik VOLKERT gegründet und wird auf ehrenamtlicher Basis betrieben.

Die IPG wurden eingerichtet, um vergleichbare phänologische Daten für ganz Europa erheben zu können (Abbildung 25). Aus diesem Grund wurden vegetativ vermehrte Bäume und Sträucher an allen Standorten angepflanzt. Es war daher notwendig einen Muttergarten einzurichten, in dem die Vermehrung, Anzucht und der Versand der Pflanzen erfolgte. Die IPG wurden auf den Flächen verschiedener Institute und Einrichtungen etabliert (in der Schweiz beispielsweise an der WSL, Birmensdorf). In der Nähe eines jeden IPG existiert ebenfalls eine offizielle Wetterstation.

Das internationale phänologische Beobachtungsprogramm ist auf die Untersuchung möglicher Folgen klimatischer Veränderungen auf Waldökosysteme ausgerichtet.

Wissenschaftliche Ziele sind:

- Beobachtung von Umweltveränderungen
- Klima-Impakt-Studien
- Entwicklung phänologischer Modelle
- Eichung von Fernerkundungsdaten
- Darstellung phänologischer Karten

Beobachtete Phänophasen von 14 Arten (ursprünglich 23 Arten):

BO: Beginn der Blattentfaltung
M: Maitrieb
J: Johannistrieb
B: Beginn Vollblüte
F: Erste reife Früchte
BF: Blattfall

Abbildung 26: Das aktuelle Beobachtungsnetz der IPG erstreckt sich über 28 Längengrade von Skandinavien bis Makedonien und 37 Breitengrade von Irland und Finnland im Norden bis Portugal und Makedonien im Süden. Das Netz zählt zurzeit 89 Gärten und deckt die verschiedensten klimatischen Regionen ab.

3.9 Raumbezogene Auswertungen – Karten und GIS

Seit dem späten 19. Jahrhundert werden phänologische Karten gezeichnet und publiziert (z. B. HOFFMANN 1881, IHNE 1895 in SCHNELLE 1949, SCHNELLE 1965, 1979, MÄDE 1952). Die Klassische manuelle Kartographie produzierte Karten mittels einer intuitiven Interpolation der Beobachtungsdaten unter Anwendung persönlicher Erfahrung und Kenntnisse der Geländebedingungen des oder der Kartierenden. Erste Computergestützte Karten erschienen in den 1960er Jahren (LIETH und RADFORD 1968, CAPRIO et al. 1974, JEANNERET 1974, PUPPI-BRANZI et al. 1985, Abbildung 27).

Phänologische Daten sind dazu geeignet, räumliche Differenzierungen zu formulieren und darzustellen (Tabelle 22, JEANNERET und RUTISHAUSER 2010). Die chronologischen Karten zeigen mit Isophanen (Kurven gleicher Daten) das Auftreten einer Phase. Die synoptischen Karten stellen die Daten der Phänophasen dar, und zwar für eine oder mehrere Arten. Verschiedene Methoden der Datengewinnung für phänologische Karten werden für Kartierungen verwendet wie Stationsdaten von Netzwerken, Zustandskartierungen, Satellitendaten, Photophänologie.

	meteorologische Messstation	phänologischen Beobachtung
Zeitliche Sequenz	*Durchführung auf automatischen Stationen beliebig oft (bis zu fast kontinuierlich, z. B. alle 10 Minuten)*	*so oft, als Beobachter oder Kamera phänologischen Phasen oder Entwicklung erfasst*
Massstab	*Meso bis topo*	*topo*
Datenerfassung	*Instrumentelle Messungen*	*Subjektive Beobachtungen oder Bildinterpretation*
Standardisierung	*Hoch standardisierte Normen*	*Normen (Beobachtungsanleitung) innerhalb der Netzwerke*

Tabelle 8.3. Gegenüberstellung von Klima- und Meteostationen zu phänologischen topoklimatische Erfassungen

Datenquelle	Typische Datendichte [Stationen/km²]	Typische räumliche Auflösung [km²]	Zeitliche Auflösung	Beobachtungsdauer [Jahre]	Ziel und Motivation
Netzwerk-Beobachtungen	*100-500*	*1-10*	*wöchentlich*	*Jahrzehnte*	*repräsentative Überwachung*
Standortbewertung	*lineare Transekte (z. B. 0,3 km / km²)*	*0,1-1*	*kurze Missionen*	*eine bis zu mehreren Jahreszeiten*	*detaillierter Überblick*
Fernerkundung	*beliebig*	*1*	*wöchentlich*	*Frühling*	*Echtzeit-Überwachung*
Spezielle Netze	*ca. 100*	*0,1-1*	*unterschiedlich*	*eine bis zu mehreren Jahreszeiten*	*spezifische Forschung*
Photophänologie	*einzelne Standorte*	*beliebig*	*beliebig (Echtzeit)*	*Jahre bis Jahrzehnte*	*methodische Forschung*
Öffentliche Netze	*abhängig von der Beteiligung*	*abhängig von der Beteiligung*	*Echtzeit*	*abhängig von der Förderpolitik*	*Einzelne, öffentlichen oder kommerziellen Interesse*
Unabhängige Beobachtende (*closet observer*)	*individuell*	*individuell*	*Täglich bis jährlich*	*Jahre bis Jahrzehnte*	*Individuelle Interessen*

Tabelle 22. Phänologische Erhebungsmethoden und ihre Eigenschaften (nach JEANNERET und RUTISHAUSER 2010).

Es wurden verschiedene Methoden der Datenerhebung für phänologische Kartierungen angewendet: phänologische Netze, die mobile Kartierungen und Fernerkundung-Methoden. Die erste basiert auf Beobachtungen im Rahmen eines Netzes von Stationen an welchen Beobachtende das Eintreffen von phänologischen Phasen bestimmter Arten registrieren. Als Folge stellen die Karten artspezifisches Auftreten wie die Blüte des Apfelbaums oder die Getreideernte in Europa dar (SCHNELLE 1955, RÖTZER und CHMIELEWSKI 2001).

SCHNELLE (1955) stellte fest, dass bei einer Stationsdichte von 1 bis 2 pro 100 km², eine Kartierung bis zum Massstab 1:500‘000 möglich ist. Kartierungen in grösseren Massstäben erfordern wesentlich dichtere Stationsnetze. SPARKS und COLLINSON (2008) melden 40‘000 registrierte Beobachtende im phänologischen Publikums-Netzwerk des Vereinigten Königreiches (*Nature’s Calendar Survey*). In jedem Fall kann festgestellt werden, dass phänologische Beobachtungen für topoklimatische Kartierungen eher geeignet sind als Daten aus weitmaschigen meteorologischen Messnetzen (Tabelle 21).

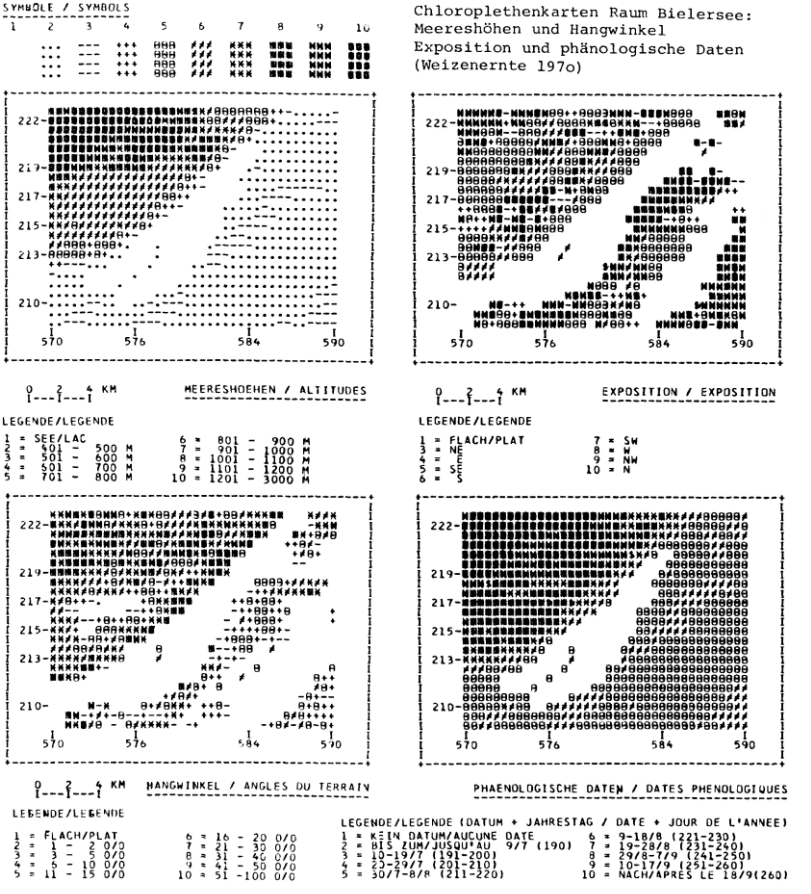


Abbildung 27: Computergestützte Chloroplethen-Karte – ein erster GIS-Versuch mit BernClim-Daten. Kartiert wurde die Daten der Weizenernte 1970 im Seeland, bearbeitet mit dem Programm MAPREG (aus JEANNERET 1973).

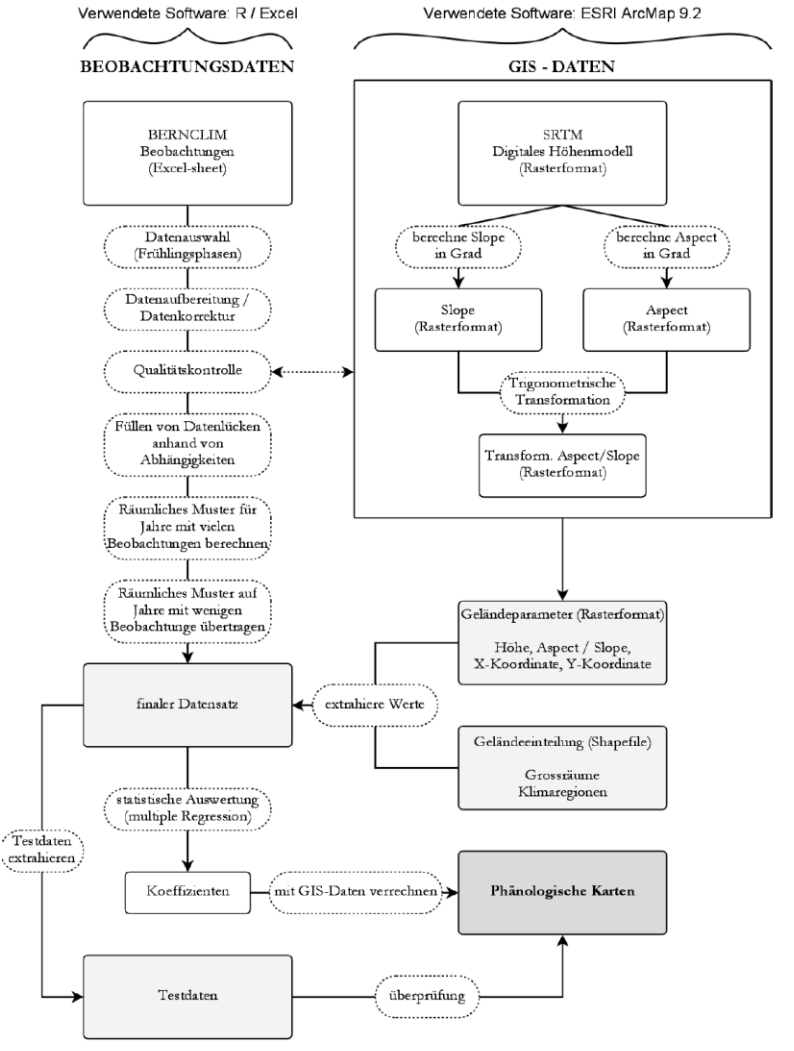


Abbildung 28: Schematische Darstellung der Modellierungsschritte (aus KOTTMANN 2008).

Die Karten enthalten Unsicherheiten, die durch verschiedene Interpolationsverfahren verursacht werden aufgrund unterschiedlicher Grundlagen wie Interpolationen von Steigungen oder subjektive Wertschätzung und dämpfender Faktoren.

Für sehr detaillierte räumliche Analysen der Veränderungen der Umwelt kann Phänologie als ein „Monitoring-Zoom“ verwendet werden, sie ist für ein Downscaling klimatischer Karten geeignet. Phänologie ist für

Kartierungen von Räumen geeignet, da Pflanzen auf den meisten Flächen wachsen. Der Altmeister der Schweizer Kartographie, Eduard IMHOF, setzte sich auch mit phänologischen Karten auseinander, insbesondere mit der Extrapolation punktueller Beobachtungen in die Fläche. In seinem Lehrbuch über thematische Kartographie schreibt er: „Isolinien finden sich auch in den phänologischen Karten, d.h. in Karten des Frühlingseinzuges oder anderer jahreszeitlich-klimatologisch-biologischer Daten. Hierbei dient ein biologisches Ereignis, z. B. der Zeitpunkt des Beginnes der Apfelblüte, als das zu messende Faktum. Nun sind Apfelbäume oder Apfelblüten nirgends raumfüllende Erscheinungen, es sind keine Kontinuums-Träger. Doch hängt ein biologisches Ereignis wie der Zeitpunkt der Apfelblüte von klimatischen Zuständen ab; der thematische Sinn der phänologischen Karten ist durchaus klimatologischer Natur, und die Beobachtungpunkte drängen sich in solchen Fällen viel dichter als bei den meisten Erforschungen wirklicher Kontinua. So ist es gerechtfertigt, diesen Kartentyp ebenfalls den echten Isolinien- oder Kontinuumskarten zuzuzählen“ (IMHOF 1972).

Das Verfahren für eine Kartierung von BernClim-Daten im Rahmen eines Geographischen Informationssystemes GIS umfasst verschiedene Modellierungsschritte (

Abbildung 28). Das Modell der multiplen Regression basiert auf einem digitalen Höhenmodell, wobei Hangneigung und Exposition zu einem einheitlichen Ausdruck transformiert werden:

$$DoY_{x,y,z,TASL} = \beta_0 + \beta_{X+} * x + \beta_Y * y + \beta_Z * z + \beta_{TASL} * TSL + \varepsilon$$

Formel 1

wobei: β = Regressionskoeffizient
x = geographische Länge
y = geographische Breite
z = Höhe
TASL = transformierte Hangneigung/ Exposition
ε = Residuen

Die so erzeugten Karten wurden für die Frühlingsphasen für zwei Testgebiete und den gesamten Beobachtungsperimeter erzeugt (Beispiele siehe Abbildung 29, Abbildung 30)

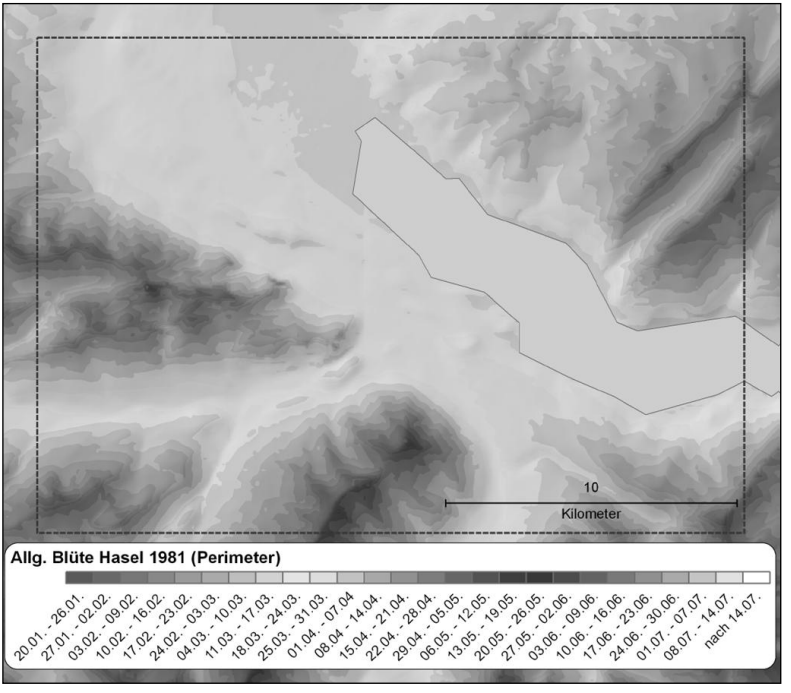


Abbildung 29: Allgemeine Blüte der Hasel 1981, berechnet aus den Beobachtungen des gesamten Perimeters: Region Thunersee (aus KOTTMANN 2008).

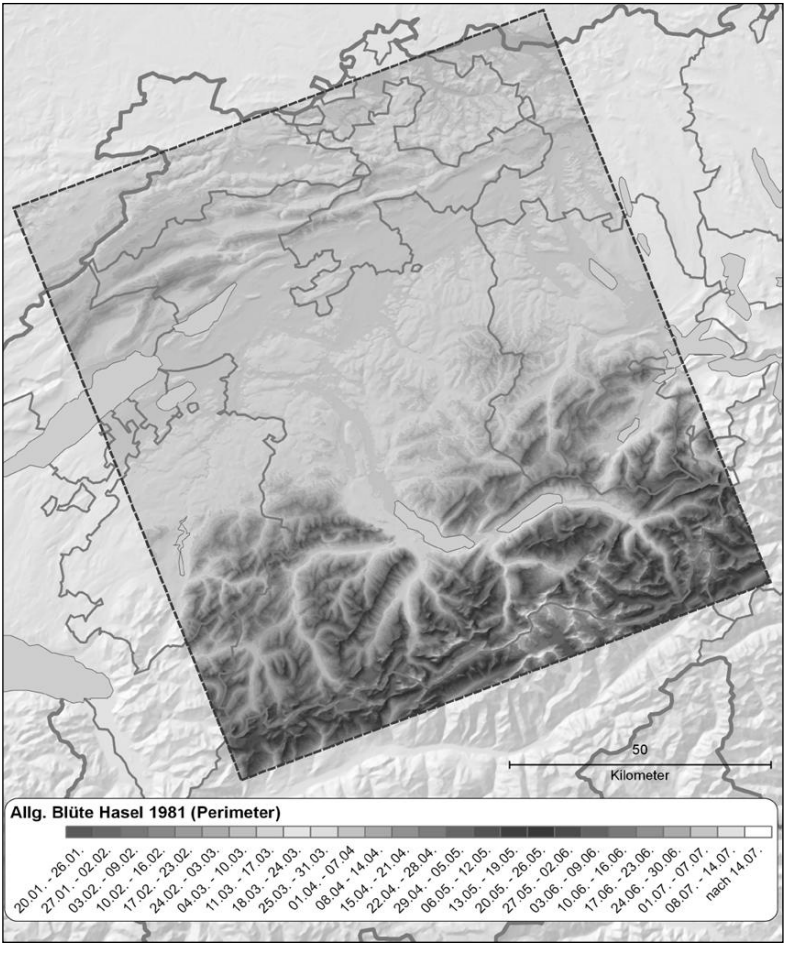


Abbildung 30: Allgemeine Blüte der Hasel 1986, berechnet aus den Beobachtungen des gesamten Perimeters (aus KOTTMANN 2008).

Stadtphänologie

Phänolgische Daten lassen sich auch in der weitgehend künstlichen Vegetation von Stadtgebieten erheben (RÖTZER et al. 2000, HENNIGES und CHMIELEWSKI 2006). Allerdings herrschen auf dicht überbauten Flächen spezielle Bedingungen, wildwachsende Pflanzen sind relativ selten, aber die Vegetation umfasst einen hohen Anteil an kosmopolitischen Arten, die somit Vergleichsmöglichkeiten zwischen verschiedenen Städten erlauben.

Stadtphänologie stellt somit einen Spezialfall grossmassstäblicher Erhebungen dar. Wichtigste Frage ist die räumliche Differenzierung innerhalb der Siedlungsgebiets und insbesondere des Ausdehnung und Intensität der urbanen Wärmeinsel, aber auch allgemein über das spezifische Stadtklima und seiner bio-meteorologischen Einwirkungen. Phänologische Erhebungen liegen für verschiedene Städte vor, z. B. ROLLER 1966 in Linz, KARSTEN 1986 in Mannheim, KUTTLER 2000 in Wien, HENNIGES und CHMIELEWSKI 2006 in Berlin.

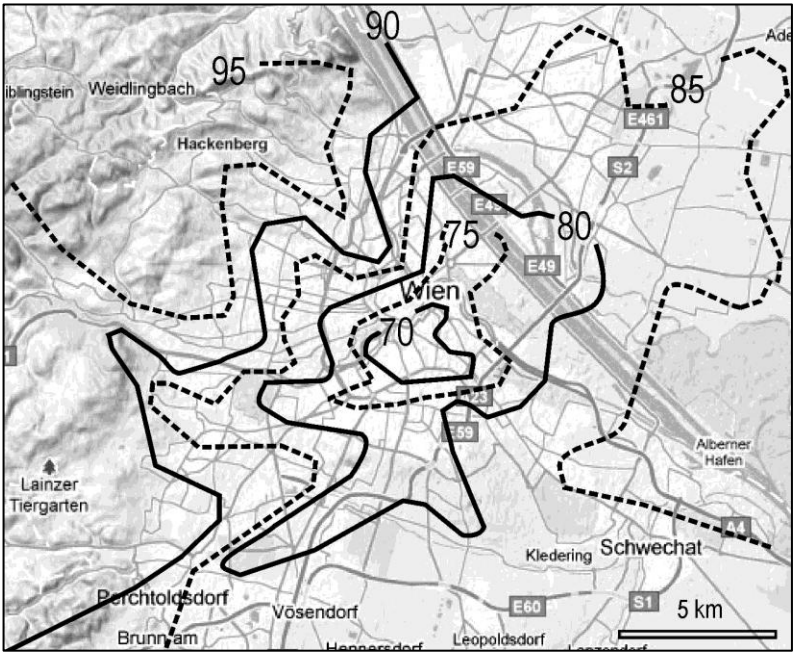


Abbildung 31: Stadtphänologie einer Grossstadt (Wien): Isophanen des Blühbeginns von Forsythia suspenesa als temperaturabhängigem Standortklimazeiger. Die Datumslinie 70 entspricht dem Kalenderdatum 11. März 1988, die Datumslinie 95 dem 5. April 1988. Nach BERNHOFER (1991, zit. in LARCHER 2001). Wegen der urbanen Überwärmung und der Strassenbeleuchtung öffnen sie sich früher als im Umland. Der Vegetationszeitraum mit Tagesmitteltemperaturen über 5 °C dauert in der Innenstadt durchschnittlich 265 Tage, an der Stadtgrenze (gestrichelte Linie) hingegen im Mittel nicht mehr als 245 Tage(nach LARCHER 2001 in KUTTLER 2004, verändert).

Die längste phänologische Zeitreihe der Schweiz stammt aus Genf, wo seit 1808 das Erscheinen des ersten Blattes der Rosskastanie amtlich festgehalten wird. Im langjährigen Durchschnitt hat sich dieses Datum in der Zeit von 1808 bis 2002 um 47 Tage verfrüht, was eine extreme Entwicklung darstellt, die sowohl auf die Verstädterung und die Industrialisierung des 20. Jahrhunderts wie auch auf den Klimawandel zurückzuführen ist (DEFILA und CLOT 2003).

3.10 Phänologische Karten in Atlanten

Wie viele nationale Atlanten beinhaltet auch der Atlas der Schweiz phänologische Karten, die die wichtigsten Jahreszeiten vertreten (Primault 1984).In der digitalen Version dieses Werken lassen sich diese zoomfähigen Karten auch mit andern Themen überlagern, was für Vergleiche und Interpretationen nützlich ist. Webbasierte geographische Informationssysteme GIS versprechen nicht nur weitere Funktionalitäten wie die Darstellung einzelner Jahre und verschiedener Phasen, sondern vor allem die sofortige Erfassung von Beobachtungen und somit eine eigentliche Echtzeit-Phänologie. Son kann das WebGIS des Schulsysstems GLOBE auch international oder interkontinentale Karten erzeugen, sobald die Beobachtungsdichte durch eine gössere Anzahl an Phänologieprogramm beteiligten Schule höher sein wird (Abschnitt 6.8). Phänologische Karten werden vermehrt in Schulatlanten aufgenommen um die räumliche Abfolge von Jahreszeiten zu demonstrieren. Ein schönes Beispiel liefert der Schweizer Weltatlas (SWA), der auf nationaler Ebene für die Sekundarschulen I und II in drei Sprachen herausgegeben wird (SPIESS 2010). Er beinhaltet im Klimateil eine Karte des Frühlingbeginns (Blüte des Löwenzahns). Im Kommentarband (MARR 2004) werden an die Unterrichtenden einige Kommentare zur Karte und zur Phänologie vermittelt.

Häufig offenbaren Karten aber auch eine wesentliche Schwäche der Phänologie: die Inselkarten sind auf nationale Territorien beschränkt, da die Beobachtungen in anderen Ländern nicht in derselben Art durchgeführt werden. Dabei wären grenzüberschreitende Normen und Anleitungen für phänologische Beobachtungen höchst wertvoll. Doch sind die Beschränkungen der Kartierungen und Auswertungen eine unaufhaltbare Beeinträchtigung der Anwendung phänologischer Daten. Verschiedene internationale Programme – insbesondere das Europäische phänologische Netzwerk (2000-2003) und die COST-Aktion 725 (2004-2009) – haben eine kontinentweite Vereinheitlichung der Beobachtungsanleitungen, der Datenaufbereitung und der Qualitätsstandards zum Ziel. Auch die Beobachtungsprogramme müssten abgeglichen werden, allerdings sind hier

durch die Verbreitung der Arten natürliche Grenzen gesetzt. Die Datenbankstruktur PEP725 (Abschnitt 3.3) enthält Beobachtungsdaten aus ganz Europa.

Kommentar zur Karte 13.4 im Schweizer Weltatlas: Frühlingsbeginn

Stichworte: Pflanzenphänologie - Geländeklima - Mikroklima - Vegetation - orografische Effekte - edaphische Faktoren

In der Pflanzenphänologie werden die Daten bestimmter Wachstumsphasen (wie Blüte oder Ernte) einer Pflanze beobachtet. Es sind nicht allein die Klimaelemente (allen voran die Temperatur), die zu Unterschieden in phänologischen Karten führen. Massgebend sind auch orografische und edaphische Faktoren. Oft führt eine günstige gelände- oder mikroklimatische Lage zu einem früheren Eintritt einer bestimmten Wachstumsphase. Zudem muss man annehmen, dass die beobachtete Pflanzenart selbst in einem relativ kleinen Gebiet wie dem der Schweiz, Varietäten gebildet hat, die phänologisch ungleich reagieren. Phänologische Karten sollten nur für kleinere Räume erstellt werden. Die hier vorgelegte SWA-Karte soll daher primär als Anregung dienen, auf pflanzenphänologische Unterschiede zu achten und entsprechende Beobachtungen in der weiteren Umgebung selbst durchzuführen. Damit können Ansätze für eine geländeklimatologische Bewertung gewonnen werden. Besonders dankbar ist auch der Vergleich des Eintritts bestimmter Wachstumsphasen von Jahr zu Jahr.

Aus MARR 2004

4 Daten und Modelle – Schlüssel zum Verständnis

4.1 Phänologie und Saisonalität im Klimawandel

Im vierten Bericht des IPCC (2007) sind erstmals phänologische Tatsachen im Rahmen der Klimaerwärmung erwähnt worden. Es wurde festgestellt, dass insbesondere eine zunehmende Zahl von Arten und Gesellschaften in natürlichen biologischen Systemen betroffen sind. Auf der nördlichen Hemisphäre ist das phänologische Verhalten gutdokumentiert, die Folgen der Klimaveränderungen und insbesondere die Verfrühung des Frühlings, Migrationen und die Verlängerung der Vegetationszeit. Süsswasserarten und marine Arten widerspiegeln weiter die steigenden Wassertemperaturen.

Ort	Periode	Art/Indikator	Verlängerung (Tage/ Dekade)	Referenzen
Deutschland	*1951-2000*	*4 laubabwerfende Bäume (BE/LV)*	*1.1 - 2.3*	*MENZEL et al. 2001; MENZEL 2003*
Schweiz	*1951-1998*	*9 Frühling, 6 Herbstphasen*	*2.7**	*DEFILA und CLOT, 2001*
Europa (Int. Phänologische Gärten)	*1959-1996* *1969-1998*	*Diverse Frühling/Herbstphasen (BE bis LV, LF)*	*3.5*	*MENZEL und FABIAN, 1999; MENZEL, 2000; CHMIELEWSKI und RÖTZER 2001*
Japan	*1953-2000*	*Gingko biloba (BE/LF)*	*2.6*	*MATSUMOTO et al. 2003*
Nord-Hemisphäre	*1981-1999*	*Wachstumsperiode mit normalisierten Vegetation sindex (NDVI)*	*0.7 - 1*	*ZHOU et al. 2001*

BE = Blattenfaltung *(leaf unfolding)* ; LV = Blattverfärbung *(leaf colouring)*;
LF = Blattfall (*leaf fall*)

* Mittel nur von signifikanten Trends

Tabelle 23: Veränderungen der Länge der durch Beobachtungsnetze erhobenen Vegetationszeit (IPCC 2007).

Ort	Perio-de	Art/Indikator	Verlänge-rung (Tage/ Dekade)	Referenzen
Westl. USA	*1957-1994*	*Flieder, Geissblatt (BL)*	*−1.5 (Flieder), 3.5 (Geiss-blatt)*	*CAYAN et al. 2001*
Nord-östliche USA	*1965-2001* *1959-1993*	*Flieder (BL, BE)* *Flieder (BL)*	*−3.4 (BL)* *−2.6 (U)* *−1.7*	*WOLFE et al., 2005* *SCHWARTZ und REITER 2000*
Washington, DC	*1970-1999*	*100 Pflanzenarten (BL)*	*−0.8*	*ABU-ASAB et al. 2001*
Deutschland	*1951-2000*	*10 Frühlingsphasen (BL, BE)*	*−1.6*	*MENZEL et al. 2003*
Schweiz	*1951-1998*	*9 Frühlingsphasen (BL, BE)*	*−2.3 (*)*	*DEFILA und CLOT 2001*
Süd-zentral England	*1954-2000*	*385 Arten (BL)*	*−4.5 Tage in 1990s*	*FITTER und FITTER 2002*
Europa (Int. Phänolo-gische Gärten)	*1959-1996* *1969-1998*	*Verschiedene Frühlingsphasen (BL, BE)*	*−2.1 −2.7*	*MENZEL und FABIAN 1999; MENZEL 2000; CHMIELEWSKI und RÖTZER 2001*
21 Europ. Länder	*1971-2000*	*BL, BE ver-schiedener Pflanzen*	*−2.5*	*MENZEL et al 2006b*
Japan	*1953-2000*	*Gingko biloba (BE)*	*−0.9*	*MATSUMOTO et al. 2003*
Nördl. Eura-sien	*1982-2004*	*NDVI*	*−1.5*	*DELBART et al. 2006*
UK	*1976-1998*	*Schmetterling Erscheinen*	*−2.8 to −3.2*	*ROY und SPARKS 2000*
Europa, N. Amerika	*Letzte 30-60 Jahre*	*Frühlingsmigra-tionen von Voge-larten*	*−1.3 to −4.4*	*CRICK et al., 1997 CRICK und SPARKS, 1999; DUNN und WINKLER 1999; INOUYE et al., 2000; BAIRLEIN und WINKEL 2001; LEHIKOINEN et al. 2004*
N. Amerika (US-MA)	*1932-1993*	*Frühlingsankunfl, 52 Vpgelarten*	*+0.8 - −9.6 (*)*	*BUTLER 2003*
N. Amerika (US-IL)	*1976-2002*	*Ankunft 8 Arten Singvögel*	*+2.4 - −8.6*	*STRODE 2003*
England (Oxfordshire)	*1971-2000*	*Langstrecken-Migrationen, 20 Arten*	*+0.4 to −6.7*	*COTTON 2003*

Ort	Peri-ode	Art/Indikator	Verlänge-rung (Tage/ Dekade)	Referenzen
N. Amerika (US-MA)	*1970-2002*	*Frühlingsankunft 16 Vogelarten*	*−2.6 to −10.0*	*LEDNEVA et al. 2004*
Sweden (Ottenby)	*1971-2002*	*Frühlingsankunf, 36 Vogelarten*	*+2.1 to −3.0*	*STERVANDER et al. 2005*
Europa	*1980-2002*	*Eierlegende Arten*	*−1.7 to −4.6*	*BOTH et al. 2004*
Australia	*1970-1999*	*11 Zugvögel*	*9 Arten frühere Ankunft*	*GREEN und PICKERING 2002*
Australia	*1984-2003*	*2 Frühlings-Zugvögel*	*1 Art frühere Ankunft*	*CHAMBERS et al, 2005*

BL = Blühen (flowering); BE = Blattausbruch (leaf-unfolding); − Verfühung; + Verspätung.

* Mittel nur von signifikanten Trends.

Tabelle 24: Veränderungen der Zeit der durch Beobachtunsnetze erhobenen Frühjahrsphasen (aus IPCC 2007).

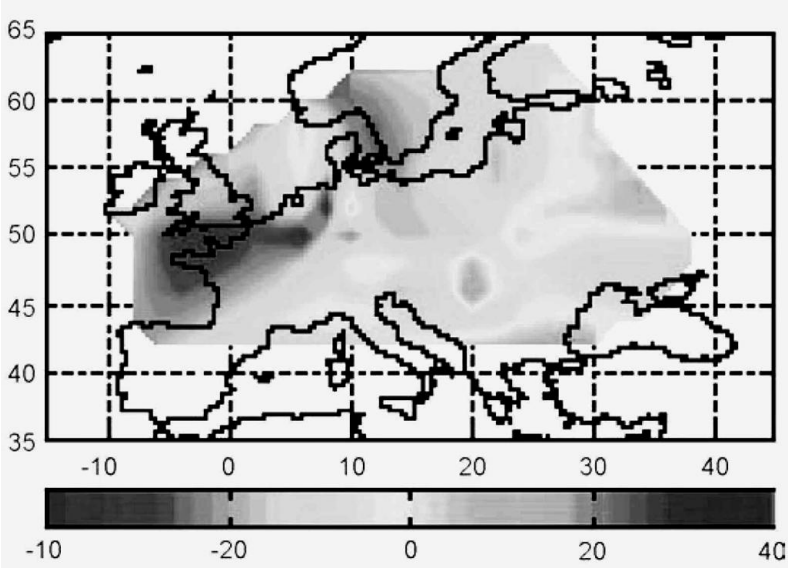


Abbildung 32: Unterschiede zwischen dem mittleren Frühlingsbeginn in Europa für 10 Jahre im höchsten (1990, 1882, 1928, 1903, 1993, 1910, 1880, 1997, 1989, 1992) und niedrigsten (1969, 1936, 1900, 1996, 1960, 1932, 1886, 1924, 1941, 1895) Winter- und Frühlings NAO-Index (nach MENZEL et al. 2005, aus IPCC 2007).

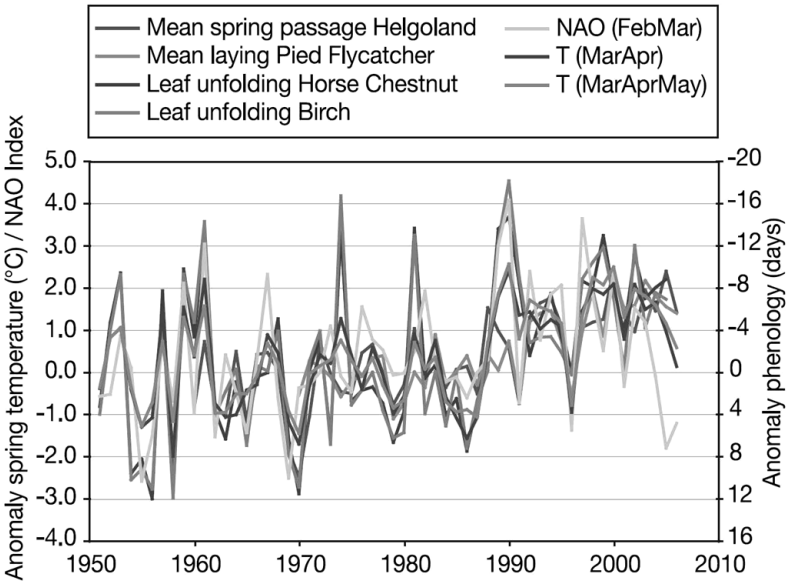


Abbildung 33 : Anomalien von verschiedenen phänologischen Phasen in Deutschland (mittlerer Durchflug von Vögeln in Helgoland und Anomalien der mittleren Frühlingstemperaturen (nach WALTHER et al. 2002, aus IPCC 2007).

Satellitenbilder dokumentieren die Verfrühung der „Grünen Welle“ und die Internationalen phänologischen Gärten in Europa einen früheren Übergang von der Winterruhe zum aktiven Frühlingswachstum (*Spring green-up*). In Seen sind das frühere Auftauen und höhere Wassertemperaturen Grund für eine Verfrühung der Algenentwicklung (bis 4 Wochen) und der Vegetationsperiode.

Auch in den Konsequenzen für die Landwirtschaft erwähnt der IPCC-Bericht phänologische Beweise, die sich insbesondere für Obst- und Weinbau erbringen lassen. Auch im forstlichen Bereich sind Veränderungen zweifelsfrei festzustellen.

Explizit sind die Ergebnisse der COST-Aktion 725 aufgeführt, deren zusammengeführtes Datenmaterial über 125'000 Beobachtungsserien über 542 Pflanzen und 19 Tierarten aus 21 Ländern für die Jahre 1971-2000 eine einmalige Datenbasis darstellt. 78 % der Blattenfaltungs-Phasen sind verfrüht und 22 % verspätet. Für Europa widerspiegelt somit das kontinentweite phänologische Verhalten eine signifikante Erwärmung (IPCC 2007, Abschnitt 3.2).

4.2 Der phänologische Blick zurück – Kirschblüte im Alpenland

Blühen – Aufzeichnen – Auswerten

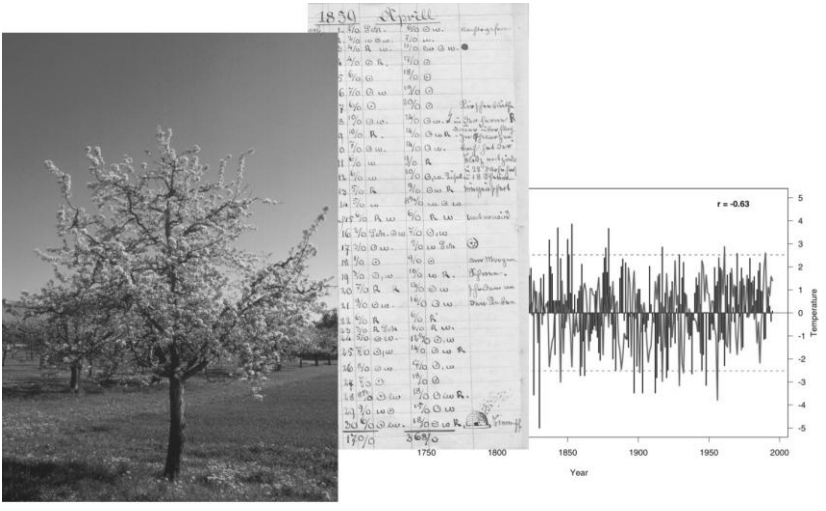


Abbildung 34: Die Vollblüte des Kirschbaums (links) wird im Schweizer Mittelland seit Jahrhunderten aufgezeichnet (Tagebuch aus Oberneunforn TG, April 1859, Mitte). Die statistische Auswertung zeigt einen Zusammenhang mit den vorangehenden drei Monatsmitteltemperaturen auf (rechts, aus RUTISHAUSER 2003).

Ein Beispiel für die längerfristige Analyse des Klimaeinflusses auf die Pflanzenphänologie wurde anhand der Kirschenblüte für das erweiterte Schweizer Mittelland gemacht (RUTISHAUSER 2003). Die Auswertungsschritte vom Blühdatum des Kirschbaums bis zur klimatologisch-statistischen Analyse durchlaufen mehrere Stufen und Fachrichtungen (Abbildung 34). Die Biologie befasst sich mit den Prozessen, welche ein Baum während eines Jahres durchlebt sowie mit den verschiedenen Einflüsse, welche auf die Pflanze wirken. Sie sucht nach den wichtigsten Antriebsfaktoren für die Entwicklung der Pflanzen im Jahresverlauf. Das Datum der Beobachtungen wird in Tagebüchern und Beobachtungsprotokollen festgehalten.

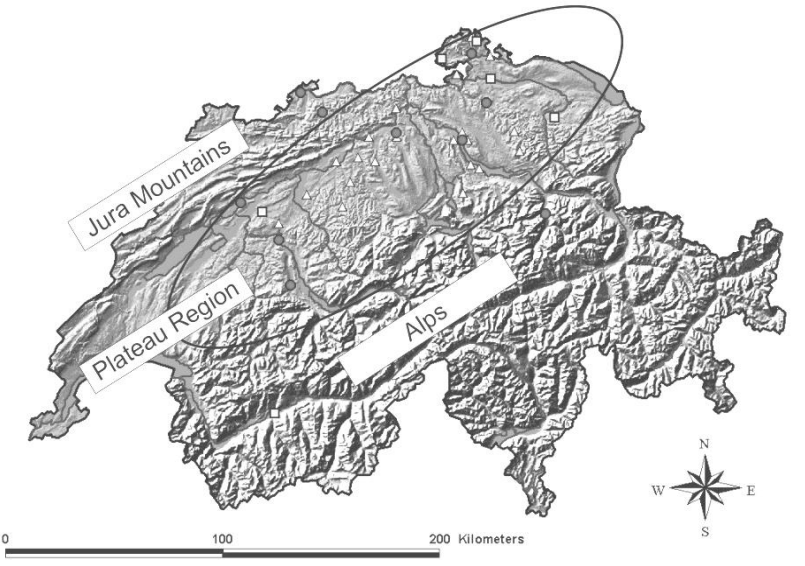


Abbildung 35: Standorte der einzelnen Aufzeichnungen. Die Punkte zeigen die historischen Beobachtungen, die Dreiecke Beobachtungen von MeteoSchweiz 1951 bis heute (aus RUTISHAUSER 2003).

Die Aufzeichnungen in historischen Tagebüchern müssen mit quellenkritischen Methoden aus der Geschichtsforschung nach Authentizität, Wahrheit des Aufzeichnungsdatums und -ortes analysiert werden. Beobachtungsprotokolle aus phänologischen Netzwerken werden mit statistischen Verfahren nach Fehlern untersucht. Für die Klimaimpaktanalyse werden die Daten graphisch dargestellt, mit statistischen Methoden beschrieben, auf Einflussfaktoren untersucht und in den Zusammenhang lokaler bis kontinentaler Klimawandelszenarien gestellt.

Bäcker, Pfarrherren und Lehrer zeichneten mit unermüdlicher Gründlichkeit die Eintrittsdaten der Kirschenblüte auf (Abbildung 36). Für das erweiterte Schweizer Mittelland liegen seit 1721 Beobachtungen von 14 Standorten vor (Abbildung 35, Tabelle 25).

Kirschenblüte im Schweizer Mittelland seit 1721: vom Bruchstück zur langen Reihe

Die Integration und Homogenisierung von Beobachtungen der Kirschenblüte für das Schweizer Mittelland stellt einen ersten Versuch dar, historische Beobachtungen mit rezenten zu vergleichen (siehe RUTISHAUSER 2003 für Details):

- Die lange Beobachtungsreihe der Kirschenblüte besteht aus 14 unabhängigen Teilperioden (Tabelle 25)
- Für zwei Teilperioden stehen Netzwerkbeobachtungen zur Verfügung, die zu einem jährlichen Mittelwert zusammengefasst werden. Damit gelingt die Verminderung mikroklimatischer und sortenspezifischer Unterschiede.
- In der Periode 1951–2000 können die jährlichen Mittelwerte mit einer unabhängigen Einzelreihe (Liestal) verglichen werden.
- Es werden systematische Unterschiede in den Mittelwerten der Subperioden ersichtlich. Diese können regionalklimatisch und auf Grund der jeweiligen phänologischen Phasendefinition erklärt werden.

Infolge der Höhenabhängigkeit der Kirschenblüte werden die Einzelbeobachtungen auf das Referenzniveau der mittleren Beobachtungsstation des Schweizerischen Phänologischen Netzwerkes (550 m ü. M.; 21 Stationen) und mit einem Höhengradienten von 2.5 Tagen pro 100 Höhenmeter korrigiert.

Periode	Ort	Meereshöhe m	Beobachtende	Quellen
1721-1738	*Winterthur*	*442*	*Rieter*	*PFISTER 1984*
1739-1764	*rekonstruiert*	*480*		*PFISTER 1984*
1765-1783	*Gurzelen*	*591*	*Sprüngli*	*PFISTER 1984*
1784-1785	*Glarus*	*472*	*diverse*	*PFISTER 1984*
1786-1802	*Sutz*	*463*	*Sprüngli*	*PFISTER 1984*
1803-1818	*Glarus*	*472*	*diverse*	*PFISTER 1984*
1819-1827	*Bern*	*540*	*Studer*	*PFISTER 1984*
1828-1838	*Lenzburg*	*405*	*Hofmeister*	*PFISTER 1984*
1839-1853	*rekonstruiert*	*480*	*diverse*	*PFISTER 1984*
1854-1874	*Basel*	*259*	*diverse*	*PFISTER 1984*
1875-1880	*Kanton Bern*	*275-812*	*diverse*	*VASSELLA 1997*
1881-1893	*Schaffhausen*	*400*	*E.+ F.Heinis*	*PFISTER 1984*
1894-1950	*Liestal*	*320*		*DEFILA und CLOT 2001*
1951-2000	*Schweizer Mitteland*	*370-860*	*diverse*	*DEFILA und CLOT 2001*

Tabelle 25: Die Zeitreihe der Kirschenblüte wurde aus vielen historischen Einzelquellen zusammengestellt. Angegeben sind die Zeitperiode, Ort, Beobachter und Originalquelle der Daten. Ohne Daten: 1842, 1844 (aus RUTISHAUSER 2009).

Im Durchschnitt beginnen die Kirschbäume am 21. April zu blühen. Allerdings variieren die Daten vom frühesten zum spätesten Datum zwischen dem 21. März (1759) und dem 23. Mai (1740). Im 20. Jahrhundert pendelt das Datum zwischen dem 8. April und dem 18. Mai (1918). Nach 1989 treten verfrühte Eintrittstermine gehäuft auf.

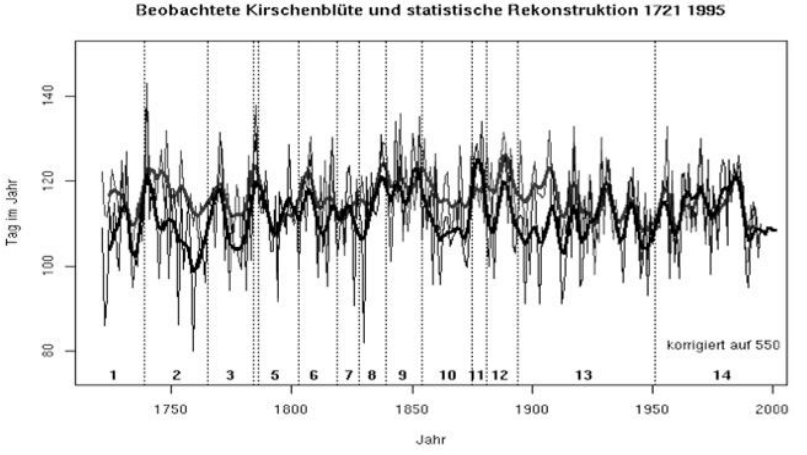


Abbildung 36: 280-jährige Reihe der Kirschenblüte im Schweizer Mittelland (schwarz) mit 9-jährigem gleitenden Mittel, langjährigem Mittelwert am 21. April und 2 Standardabweichungen von +/-10 Tagen. Die Reihe ist zusammengestellt aus 14 Teilreihen, die sich ursprünglich teilweise überlagerten. Für jeden Zeitabschnitt wurden die jeweils besten Quellendaten verwendet. Die Nummern 1-14 folgen den Einträgen in Tabelle 25 (aus RUTISHAUSER 2003).

Beobachtete Zeitreihe und Rekonstruktion aus Temperaturen

Aus pflanzenphysiologischer Sicht ist für die Kirschblüte die vorausgehende Temperatur der wichtigste Umweltfaktor. Für die Periode 1951–2000 wird die entscheidende Zeitperiode durch den Vergleich der Kirschenblüte mit unterschiedlichen Monats- und kombinierten Monatsmitteltemperaturen bestimmt. Ergebnis: Die durchschnittlichen Februar-April-Temperaturen sind mit der mittleren Kirschenblüte des Mittellandes ($r = 0.82$) am stärksten korreliert. Das negative Vorzeichen des Korrelationskoeffizienten zwischen Blühdatum und Temperaturmittel weist auf die Tatsache hin, dass wärmere Temperaturen zu früheren Blühdaten führen. Die statistische Analyse zeigt also, dass das Datum der Blüte stark von der Temperatur der vorangehenden drei Monate abhängt. Aufgrund dieser Zusammenhänge kann ein lineares Regressionsmodell erstellt werden, das die Kirschenblüte (Prädiktand) aus europäischen Mo-

natsmitteltemperaturen (Prädiktoren) zurück ins Jahre 1721 schätzt (Abbildung 37).

Für das statistisch rekonstruierte Datum der Kirschblüte von 1721 bis 1995 liegt der Mittelwert am 26. April mit einer Standardabweichung von 5 Tagen. Viele Unterschiede zwischen der beobachteten und der aus Temperaturmessungen rekonstruierten Kirschenblütenreihe können mit Hilfe der historischen Originaldokumente und den aus der Quellenanalyse stammenden Informationen erklärt werden. Systematische Unterschiede zwischen den beiden Reihen vor 1900 liegen in den Differenzen der Definitionen der phänologischen Phase, aber auch in den Unsicherheiten der Rekonstruktionsmethode sowie in einer systematischen Abnahme der Temperaturprädiktoren. Die Variabilität der beobachteten und rekonstruierten Zeitreihe sind ähnlich (r = 0.61). Allein die Frühlingstemperaturen erklären damit über einen Drittel der jährlichen Variabilität.

Die Qualität der langen Beobachtungsreihe wird für alle Subperioden im Vergleich mit der statistischen Rekonstruktion beschrieben. Die Korrelationsanalyse dient dabei zur Erfassung von Variabilitätsunterschieden. Die Koeffizienten reichen von r = 0.38 bis r = 0.91 (n von 6 bis 57 Jahren), wobei zehn von 13 Koeffizienten ein Signifikanzniveau von 95 % und neun von 99 % erreichen.

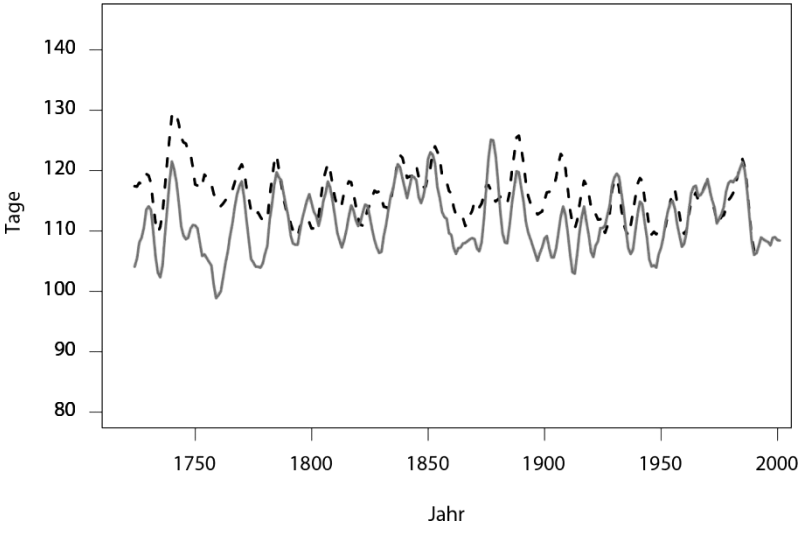


Abbildung 37: Die Kirschenblüte für das Schweizer Mittelland (ausgezogene Linie, 1721-2003), sowie die aus mittleren Februar-April-Monatsmitteltemperaturen statistisch rekonstruierten Blühdaten (gestrichelte Linie; 1721-1995). Gefilterte 9-jährige Mittel (aus RUTISHAUSER 2003).

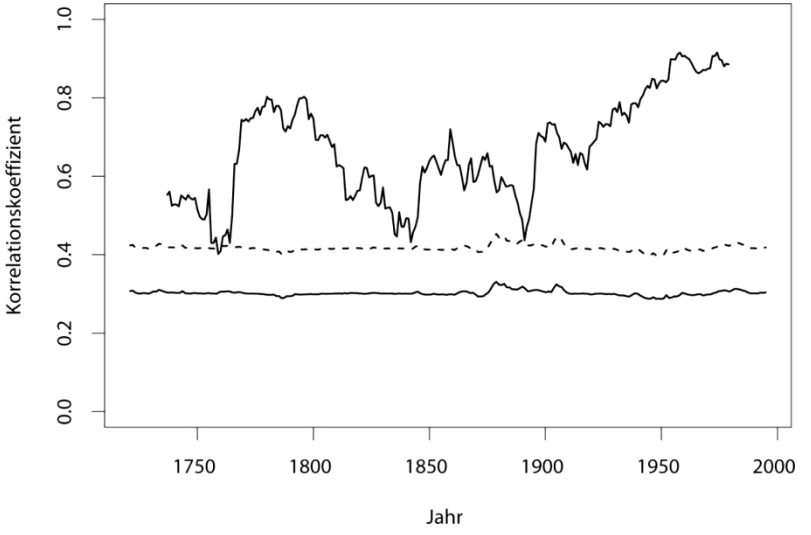


Abbildung 38: Gleitende Korrelationskoeffiziente über 31 Jahre zwischen der beobachteten und rekonstruierten Blüte des Kirschbaums 1721-1995. Gestrichelte (ausgezogene) Linie zeigen das 99%- (95%-) Signifikanzniveau nach 1000 Monte-Carlo Simulationen (RUTISHAUSER 2003).

Der Zusammenhang ist also über die Zeit nicht stabil. Für 1951-1995 zeigt die Korrelation 0.84, wo hingegen einzelne Perioden im 19. Jahrhundert nicht signifikant korrelieren. Gleitende 31-jährige Korrelationskoeffizienten dienen zur Beschreibung des Zusammenhangs zwischen dem Blühbeginn der Kirsche und den Klimaparametern (Abbildung 38):

- Die langjährige Reihe zeigt, dass alle Werte innerhalb des 99%-Signifikanzbereichs liegen, der mit Hilfe von Monte Carlo Simulationen bestimmt worden ist.
- In drei Zeitfenstern liegt der gleitende Korrelationskoeffizient aber nur knapp über der Signifikanzschwelle: Während das Zeitfenster 1827–1845 auf weniger zuverlässige Beobachtungsqualität zurückzuführen ist, scheint es möglich, dass die beiden anderen Teilperioden (1755–1765, 1885–1895) möglicherweise auf einen geringeren Einfluss der Temperatur auf die Kirschenblüte zurückzuführen sind (RUTISHAUSER 2003).

4.3 Rekonstruktion einer "statistischen Frühlingspflanze"

Das Bedürfnis der Klimaimpaktforschung nach langen, phänologischen Reihen motivierte zur Entwicklung einer Methode für die Rekonstruktion phänologischer Reihen aus einzelnen Beobachtungen. Die Kirschenblüten-Reihe für das Schweizer Mittelland basiert auf einer einzelnen Beobachtung pro Jahr, die vor 1951 mit zusätzlichen Unsicherheiten und grösserer Subjektivität behaftet sind. Deshalb ist es wichtig, alle verfügbaren historischen Beobachtungen zu verwenden und die Unsicherheit zu quantifizieren. RUTISHAUSER et al. (2007) haben in der Folge eine statistische Frühlingspflanze für das Schweizer Mittelland für die Periode 1702–2005 rekonstruiert.

Abbildung 39 illustriert das methodische Vorgehen. In einem ersten Schritt werden die Rohdaten in einem Vorprozessierungsverfahren bearbeitet (*preprocessing*). Dieser Schritt umfasst vor allem die Höhenkorrektur der Beobachtungen auf ein gemeinsames Referenzniveau. Im zweiten Schritt wird basierend auf den vorhandenen Phasen eine statistische Pflanze definiert (*definition*). Dieser Schritt ersetzt die Analyse einer phasenspezifischen Beobachtung durch eine Beschreibung mittels einer synthetischen oder statistischen Pflanze. Im dritten Schritt können zwischen den Einzelphasen und der statistischen Pflanze Transferfunktionen kalibriert und verifiziert werden (*calibration/verification*). Dabei können Unsicherheiten mittels Konfidenzintervallen quantifiziert werden. Im letzten Schritt werden die Transferfunktionen auf alle vorhandenen Beobachtungen angewendet (*application*).

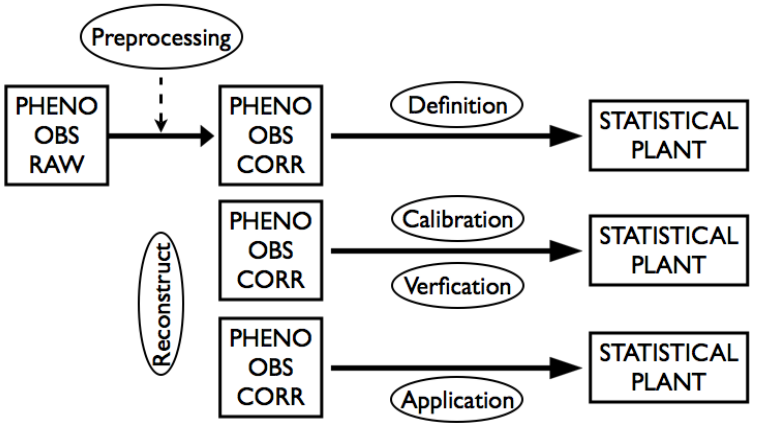


Abbildung 39: Methodenschema zur Rekonstruktion von statistischen Pflanzen (aus RUTISHAUSER et al. 2007).

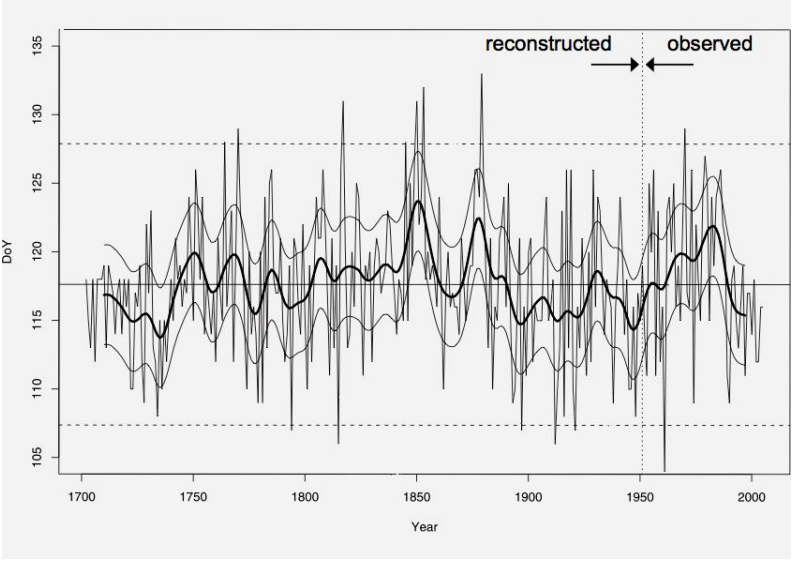


Abbildung 40: Statistische Frühlingspflanze für das Schweizer Mittelland 1702–2005. Die dicke Linie und die dazugehörigen Linien zeigen ein dekadisches Mittel und Unsicherheiten (aus RUTISHAUSER et al. 2007).

Die "statistische Frühlingspflanze" für das Schweizer Mittelland wurde nach diesem Schema rekonstruiert (Abbildung 40). Sie basiert auf dem Blattaustrieb der Buche und der Apfel- und Kirschenblüte. Das frühste Datum wurde für den 14. April 1961, das späteste für den 13. Mai 1879 rekonstruiert. Die Unsicherheit auf der dekadischen Skala beträgt 3.6 Tage. Am Ende des 20. Jahrhunderts ist ein deutlicher Trend zu einem verfrühten Eintreten des Frühlings sichtbar. Allerdings ist dies einmalig, da sich im 19. Jahrhundert Perioden mit spätem und frühem Frühlingsbegin auftraten.

4.4 Satellitenphänologie

Sensoren von Satelliten widerspiegeln die von der Erdoberfläche reflektierte Strahlung in bestimmten Wellenlängen. Diese Daten erlauben quantitative und qualitative Aussagen über die Beschaffenheit und Zustand der Erdoberfläche. Auch die Vegetation reflektiert eine charakteristische Strahlung. Die Vorteile der Satellitenphänologie liegen erstens in der sofortigen Verfügbarkeit der Daten, was eine Echtzeiterfassung ermöglicht, sowie die räumliche Übersicht womit eine Kartierung kann direkt abgeleitet werden kann.

Die durch Satellitensensoren wiedergegebene zeitlich-räumliche Entwicklung von vegetationsbedeckten Flächen kann im Sinne einer Landschaftsphänologie *(Land surface phenology LSP)* angewendet werden (DIERSCHKE 1984, 1995, DE BAUR und HENERBY 2004, 2010). Die beschränkte Auflösung bedeutet, dass die Satellitensoren den phänologischen Zustand von pixelgrossen Ausschnitten der Landfläche erfassen und sich somit von der klassischen artenbezogenen Phänologie unterscheidet. Als Messgrösse dienen vor allem Zeitreihen von Vegetationsindices (VI). Diese widerspiegeln insbesondere:

1. den Beginn des Ergrünens (*start of season SOS*),
2. den Beginn der Blattalterung (*end of season EOS*),
3. den Höhepunkt der Vegetationszeit,
4. die Dauer der Vegetationszeit.

Verschiedene Methoden bieten sich an, um die Schwellenwerte zu ermitteln. Als wichtigste Grössen ist der normalisierter differenzierter Vegetationsindex (*Normalized Difference Vegetation Index NDVI*) etabliert. Er kann theoretisch Werte von -1 bis 1 einnehmen (STÖCKLI 2003).

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{VIS}}{\rho_{NIR} + \rho_{VIS}} \qquad \textit{Formel 2}$$

VIS = sichtbares Licht

NIR = nahes Infrarotlicht

I = Menge der Strahlung

ρ_{VIS} = Reflektiertes VIS-Licht

ρ_{NIR} = Reflektiertes NIR-Licht

Aus Satellitendaten lassen sich Rückschlüsse auf die Farbe der Erdoberfläche ziehen, und für die phänologische Entwicklung ist selbstverständlich der Grünanteil von grösster Bedeutung. Die Grüne Welle ist die wichtigste phänologische Entwicklung, die so offenbart werden kann (REED et al. in SCHWARTZ 2003).

Mit der Satellitentechnologie ist es heute möglich, bestimmte Phasen der Vegetationsentwicklung vom saisonalen Rhythmus der höheren Breiten, bis zu den niederschlagsbedingten Grünwellen arider Gebiete weltweit auf verschiedenen Auflösungsebenen festzuhalten. Die Bildsensoren erfassen die von der Erdoberfläche reflektierte Strahlung in bestimmten Wellenlängen, woraus qualitative und quantitative Aussagen über die Beschaffenheit der Erdoberfläche gemacht werden können. Hierbei

macht man sich zunutze, dass die aktive Vegetation (wie alle anderen Oberflächen) eine charakteristische Reflexionskurve zeigt.

Digitale Bilddaten von der Erde werden täglich von verschiedenen Satelliten geliefert. Zeitreihen bis zurück in die 80er-Jahre des letzten Jahrhunderts sind von den AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*)-Sensoren mit einer Pixelauflösung von etwa 1 km^2 erhältlich. AVHRR ist ein multispektraler, satellitenbasierter Fernerkundungssensor der NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*). Seit Beginn des neuen Jahrtausends stehen mit dem MODIS-NDVI (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) sowohl zeitlich, wie auch flächenmässig besser aufgelöste Produkte zur Verfügung

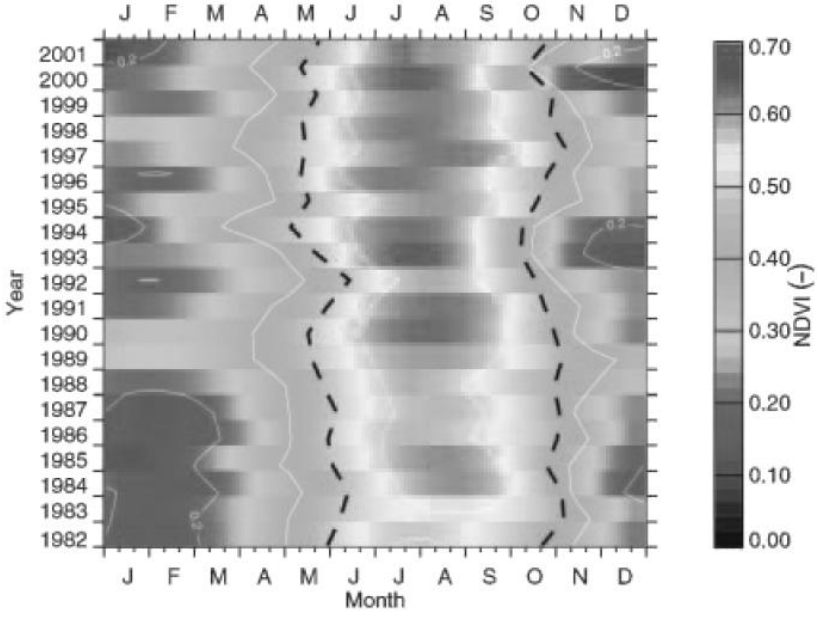


Abbildung 41: Pathfinder NDVI, Interannuelle und saisonale Variabilität: Alpen Sub-Domäne. Gestrichelte Linie: Mittlerer Beginn und Ende der Vegetationsperiode. Trends in den phänologischen Phasen verdeutlichen die generelle Verfrühung (-0.54 Tage/Jahr) und Verlängerung (0.96 Tage/Jahr) der Vegetationsperiode, die insbesondere für Zentraleuropa auch statistisch signifikant sind. Deutlich sind die Folgen des Vulkanausbruchs Pinatubo 1991 im Jahr 1992 zu erkennen (aus STÖCKLI und VIDALE 2004).

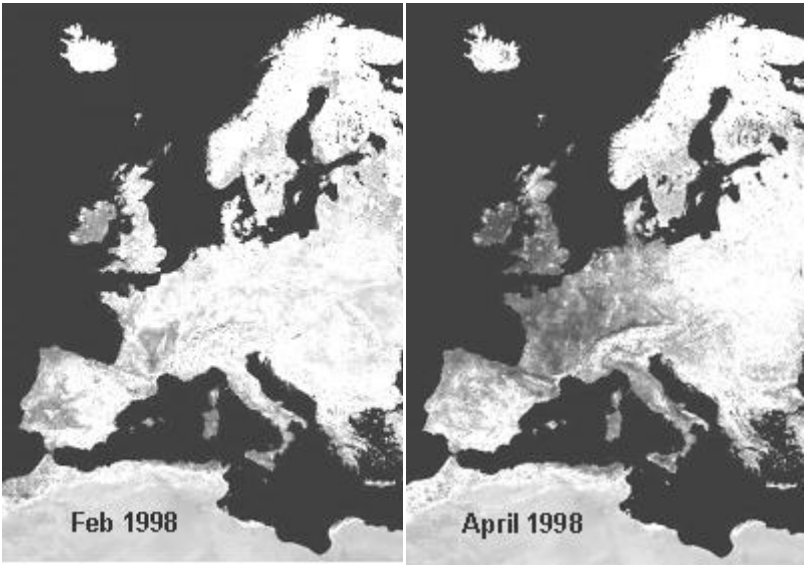


Abbildung 42: NDVI von AVHRR: Dieser Index hat kleine Werte im Bereich von -0.2 bis +0.1 für Schnee, offener Boden, Gletscher, Fels und steigt auf ungefähr 0.2–0.8 für grüne Vegetation. NDVI ist ein Schätzwert für die, vom Photosyntheseapparat verwendete Strahlung (FPAR). Quelle: http://www.satgeo.de/

Der NDVI wird oft als Grösse zur Bestimmung des Beginnes und des Endes der Vegetationszeit verwendet. Deshalb ist er für phänologische Fragen von grosser Bedeutung. Im Vergleich mit den punktförmigen Daten der phänologischen Messnetze ermöglicht er flächenhafte Aussagen (Abbildung 42). In den letzten Jahren hat sich daraus ein mächtiges Werkzeug für das Klima- und Umweltmonitoring entwickelt, welches für phänologische Fragen insbesondere auf kontinentaler oder gar globaler Skala stark an Bedeutung gewinnt (z. B. MYNENI et al. 1997, SCHWARTZ et al. 2006, ZHANG et al. 2006).

4.5 Photophänologie

Pflanzenphotographien sind eine wertvolle Information über den Entwicklungsstand von Individuen und ganzen Gesellschaften. Tim SPARKS untersuchte sein Hochzeitsfoto vom 25. Mai 1983 in einem wissenschaftlichen Artikel auf phänologische Informationen. Die Blütenblätter des Kirschbaums im Hintergrund liegen bereits am Boden. Das Ende der Blüte fand in diesem Jahr also Ende Mai statt (SPARKS et al. 2006). His-

torische Aufnahmen wurden auch zur Verifikation von phänologischen Ereignissen aus Herbarien verwendet (MILLER-RUSHING et al. 2006).

Digitalkameras oder Webcams bieten eine Möglichkeit zur bodengestützten fernerkundlichen Erfassung phänologischer Stadien. Im Rahmen des Projektes PHENOPHOT (Geographisches Institut Universität Bern und Institut für Pflanzenwissenschaften der ETH Zürich) werden seit Herbst 2004 phänologische Beobachtungen eines Mischwaldes mit digitalen Bildern einer Standard-Digitalkamera durchgeführt. Ziel des Projektes ist es, geeignete Methoden und Algorithmen für eine automatisierte phänologische Auswertung von den digitalen Bilddaten zu entwickeln. Auf der Lägeren, einem Jura-Höhenrücken nordwestlich von Zürich, wurde eine herkömmliche digitale Kamera (NIKON Coolpix 5400) installiert. Die Kamera befindet sich auf der obersten Plattform eines 45m-hohen Messturmes (Abbildung 43), der als Teil des NABEL-Messnetzes (Nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe) im Auftrag des BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft; heute BAFU, Bundesamt für Umwelt) und der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA), errichtet wurde. Weiterhin ist er unter der Aufsicht der ETH Zürich (Institut für Pflanzenwissenschaften) Teil des internationalen Kohlendioxid-Beobachtungsprogrammes FLUXNET/CARBO-EUROPE IP. Neben meteorologischen Standard-Messgrössen (Wind, Temperatur, rel. Feuchtigkeit, Luftdruck, Globalstrahlung, Niederschlag und verschiedene Gase) werden anhand der Eddy-Kovarianz-Methodik der Austausch von Kohlendioxid und Wasserdampf mit der Atmosphäre gemessen (AHRENDS et al. 2008).

Die digitalen Sensoren der Fotokameras funktionieren im Wesentlichen ebenso, wie die Sensoren der Satelliten. Der CCD-Bildsensor speichert die einfallenden Lichtquanten in den drei Farbbereichen Blau, Grün und Rot und berechnet daraus ein für unser menschliches Auge lesbares Bild. Wie bei den Satellitendaten besteht dabei die technische Herausforderung darin, aus den Rohdaten des CCD-Chips die relevanten Informationen herauszufiltern. Die Fotobilder bieten daneben grundsätzlich die Möglichkeit, Bildinformationen zu speichern und visuell auszuwerten. Die Rekonstruktion des Klimas mit Hilfe des Vergleichs alter Fotographien von Gletschern mit deren heutigen Zustand oder die Bonitierung des Entwicklungsstandes von Pflanzen anhand von Fotographien (SPARKS 2006) sind aktuelle Beispiele solcher Anwendungen. Nicht zuletzt entsteht mit der phänologischen Fotodatenbank ein Archiv von Bildern, die jederzeit unabhängig und objektiv neu ausgewertet werden können – ein wesentlicher Fortschritt zu den bisher auf Papier archivierten Beobachterdokumente, die rückwirkend nicht verifiziert werden können. Durch die Möglichkeit regelmässig Bilder aufnehmen zu können, fallen die bisher häufig durch Interpolation ermittelten Eintrittstage

bestimmter Phänophasen weg. Damit verbessert sich auch die Genauigkeit der phänologischen Daten (Methodenvergleich Tabelle 20).

Die hohe Aufnahmenfrequenz automatischer Kameras ermöglicht es im Weiteren, die phänologische Entwicklung der Pflanzen viel exakter zu verfolgen als bisher und diese mit biologisch relevanten Grössen, wie beispielsweise dem Blattflächenindex, zu vergleichen. Die daraus abgeleiteten Beziehungen können schliesslich in skalenmässig entsprechende Modelle impliziert werden. Zusätzlich zu den allgemeinen Aussagen über die Bestände ist auf den Bildern die Variabilität phänologischer Merkmale innerhalb von Populationen festgehalten.

Die Bildinformationen werden unter Verwendung eines Vegetationsindexes ausgewertet. Im Gegensatz zum NDVI der Satelliten (Abschnitt 4.4) und nahinfrarot-empfindlichen Luftbildkameras können nur die Kanäle des VIS einbezogen werden. Folgender Index wird verwendet:

$$GreenFraction = G/(G+R+B) \qquad \textit{Formel 3}$$

	menschlicher Beobachter	Kamera
zeitliche Auflösung	*1-3 mal wöchentlich*	*stündlich bzw. programmierbar*
räumliche Auflösung	*abhängig von Beobachterzahl*	*abhängig von Kamerahöhe- und Anzahl*
Automatisierbarkeit	*nicht möglich*	*möglich*
Lernfähigkeit	*vorhanden*	*nicht vorhanden, bzw. muss über Auswertungsalgorhythmus erfolgen*
Kosten	*ehrenamtliche Tätigkeit*	*Anschaffung und Unterhalt*
Erweiterbarkeit des Beobachtungsnetzes	*bedingt*	*beliebig*

Tabelle 26: Gegenüberstellung der Beobachtungsmöglichkeiten zwischen freiwilligen Beobachtern und der automatischen Kamera (nach BRÜGGER und VASSELLA 2003).

Abbildung 43: Messturm Lägern: 47°28'49"/8°21'54" – 690 ü NN, Turmhöhe: 45 m; oberste Plattform. Photo Hella AHRENDS.

Die Green Fraction (GF) beschreibt demnach den Anteil des grünen Signals (G) am Gesamtsignal (Summe aus Grün, Rot und Blau) (AHRENDS et al. 2007). Die Farbwerte werden anhand von Softwareskripten automatisiert für bestimmte Bildregionen extrahiert und anschliessend die GF berechnet. Abbildung 44 zeigt ein Bild der Kamera und die Regionen für welche der Index berechnet wird. In Abbildung 45 ist eine Zeitreihe der Indices für zwei verschiedene Regionen für das Jahr 2006 dargestellt. Anhand des Kurvenverlaufes können Beginn und Ende der Vegetationsperiode für verschiedene Baumarten ermittelt werden.

Satellitengestützte Aussagen zur Vegetationsentwicklung (z. B. STÖCKLI und VIDALE 2004, STUDER et al. 2007) sind derzeit noch sehr stark auf Beobachtungen am Boden für die Interpretation der gemessenen Reflexionen angewiesen. Satellitendaten können mit den digitalen Bilddaten verknüpft und durch diese validiert werden. Neben der Verbesserung der Interpretation von Satellitendaten bieten die digitalen Bilder die Möglichkeit zur Auswertung gemessener Wasser- und Gasaustauschprozesse beizutragen. Im Norden der USA wird derzeit im Rahmen des Nationalen Phänologie-Netzwerkes ein Kameranetzwerk zur Durchführung phänologischer Beobachtungen eingerichtet.

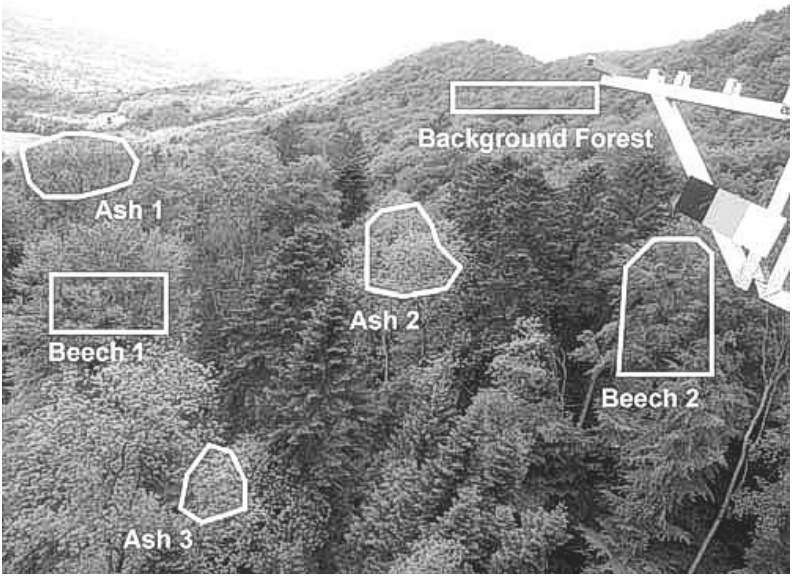


Abbildung 44 : Bild der automatischen Kamera auf der Lägern (Aargauer Jura, 24. Mai 2005) und der untersuchten Bildausschnitte mit Eschen, Buchen und Hintergrund mit Buchen, Eschen und Ahorn (Projekt PHENOPHOT, AHRENDS et al. 2008 und 2009).

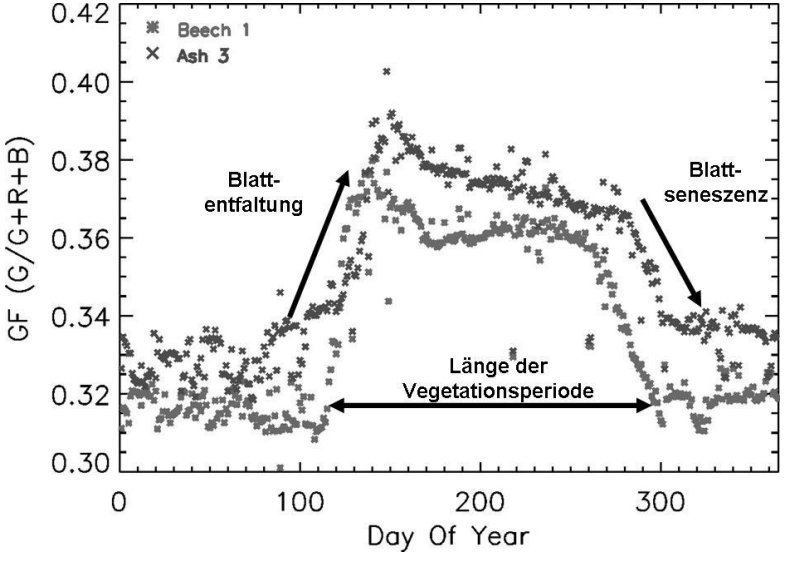


Abbildung 45: Darstellung der Grünanteils für eine Buche und eine Esche auf der Lägeren im Jahr 2006 (aus AHRENDS et al. 2008).

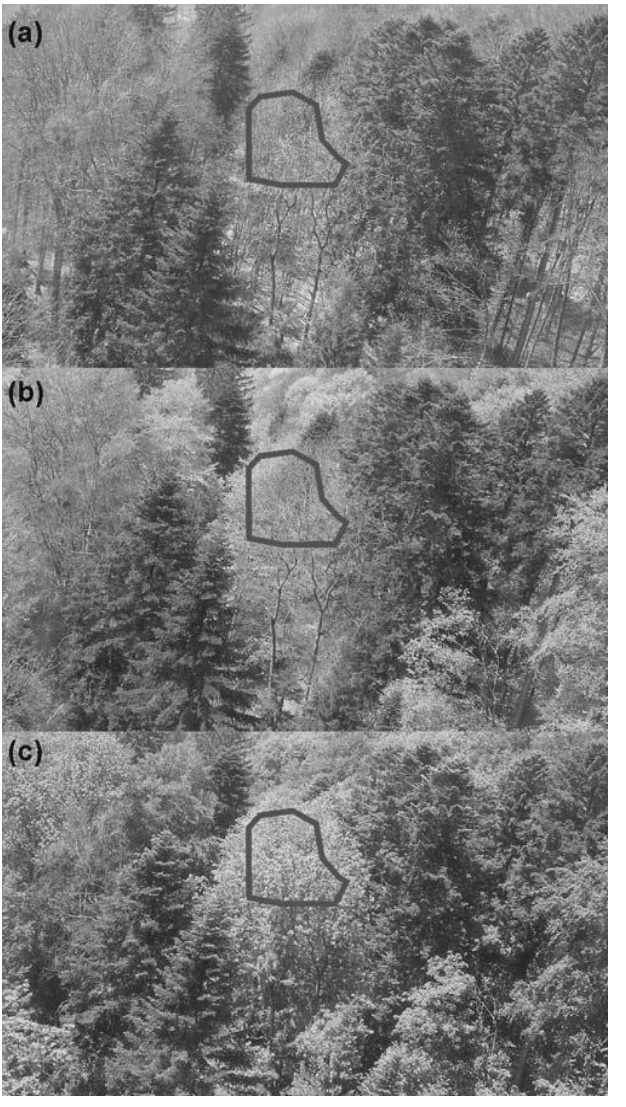


Abbildung 46: Vergrösserte Aussschnitte aus dem Bildbereich Ash 2. Die Esche verdeckt allmählich die dahinter wachsende Buche (in a, 14. 4. 2006) keine Blätter, (in b, 4. 5. 2006) Buchenblättter aufgefaltet), und (in c, 8. 6. 2006) Esche verdeckt Buche (nach AHRENDS et al. 2008).

Die Photophänologie kommt prominent im Wald zum Einsatz, aber auch Freilandflächen können auf diese Weise erfasst werden. Das Projekt PHENOGRASS an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich umfasst einen Kamerastandort auf einer Versuchsfläche am Früebüel,

Walchwilerberg ZG. Mit stündlicher Auflösung produziert die Webcam Schrägbilder von einer Grasfläche, die mit Messungen ergänzt werden.

4.6 Familien phänologischer Modelle

Zahlreiche Parameter können herangezogen werden, um die biotischen und abiotischen phänologischen Beobachtungen zu erklären: neben Umwelt-, und Raumparameter stehen auch Proxydaten zur Verfügung. Von der Zielsetzung her sind verschiedene Familien auszumachen, denen unterschiedlichste Modelle zugeordnet werden können (Abbildung 47).

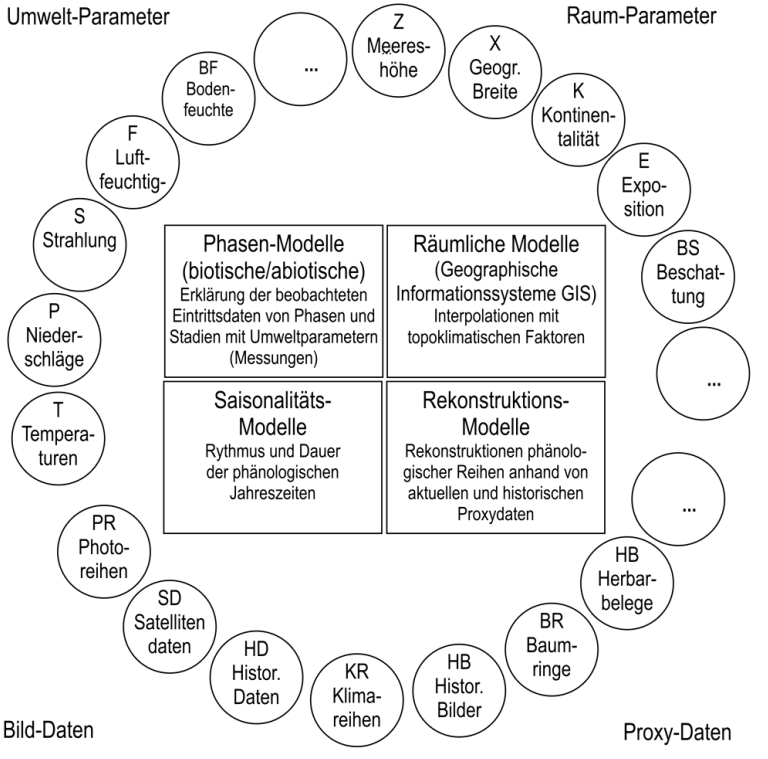


Abbildung 47: Faktoren der phänologischen Entwicklung und Familien von Modellen. Die vielfachen Beziehungen zwischen den Modellen werden nicht dargestellt.

Vorgehen bei der Modellbildung

Eine wissenschaftliche Untersuchung, die zum Ziel hat ein System mit Hilfe eines Modells zu beschreiben, besteht aus den drei Arbeitsschritten

Formulierung, Untersuchung und Validierung des Modells. Von einer Simulation spricht man tendenziell dann, wenn das Interesse nicht der Modellbildung gilt, sondern ein als valide angenommenes Modell als Hilfsmittel eingesetzt wird, um das modellierte System näher zu untersuchen.

Kann das Modell quantitativ formuliert und durch einen geschlossenen Satz von Gleichungen beschrieben werden, spricht man von einem mathematischen Modell. Ist dieses Modell so komplex, dass es nur mit numerischen Methoden ausgewertet werden kann, spricht man von einem Computermodell. Hierbei kann ein weiterer Modellierungsschritt entstehen, der darin besteht, dass Modell so anzupassen, dass es mit den vorhandenen Computern und Algorhythmen schnell und stabil ausgewertet werden kann. Eine Störgrösse (auch Störvariable oder latente Variable) aus der Grundgesamtheit entspricht dem Residuum (auch Residualvariable) aus der Stichprobe. Eine Störgrösse ist der nichtbeobachtbare Teil einer Varianz.

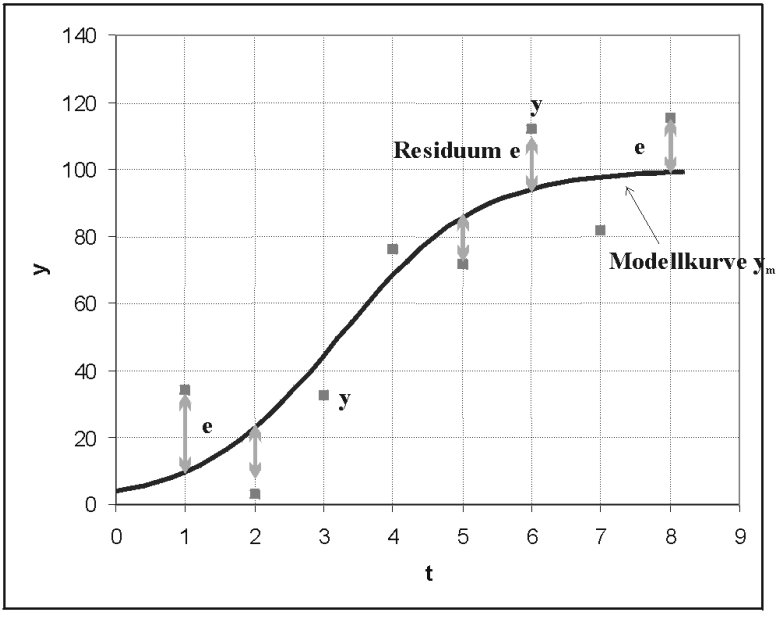


Abbildung 48: Zusammenhang zwischen Modell und Messung hier an einem Beispiel eines logistischen Modells: Anhand theoretischer oder anderer empirischer Ansätze konnte ein logistisches Model ym(t) formuliert werden. Die danach gemachten Messungen (Validierung) streuen um die Modellkurve mit bestimmten Abweichungen, den Residuen (Doppelpfeile).

Da die Störgrösse nicht beobachtbar ist, wird sie mit dem Residuum geschätzt. Residuen sind die "Restwerte". Unter Residuum versteht man die Differenz zwischen geschätztem Wert (Wert, den das Modell liefert) und empirischem Wert. Das Residuum ist der Anteil der Variabilität (Varianz), der durch ein gegebenes Modell nicht erklärt werden kann. Residuen sind bei der Erstellung von Modellen sorgfältig zu prüfen. Sie geben Hinweise auf die Erfüllung der Voraussetzungen von Modellen. Residuen werden durch Subtrahieren der Modellschätzungen von den eigentlichen Daten berechnet. Ein Residuum ist im Gegensatz zum erklärbaren Teil der Streuung der nichterklärbare Teil.

Mit Hilfe der Residuen können Aussagen über die Korrektheit des Modells gemacht werden (Abbildung 48). Ist das Modell korrekt, müssen sich die Werte von e_i im gesamten Bereich ohne erkennbare Struktur (Homoskedastizität) um 0 sammeln. Das Residuum ist die Abweichung des beobachteten y-Wertes vom geschätzten Wert. Residuen sind für jeden Punkt von y die Fehler, die als Differenz zur Ausgleichsgeraden entstehen.

Phänologische Modelle

Die Phänologie ist heute im Umbruch von einer rein deskriptiven zu einer explorativen und experimentellen Wissenschaft. Lange beschäftigte sich die Phänologen ausschliesslich mit dem Beobachten und Aufzeichnen. Heute ist der Austausch von Methoden zwischen Wissenschaftlern umso notwendiger, da die Phänologie ein neues Gesicht bekommen hat. Sicher, die Bodenbeobachtung ist und bleibt ein Muss (als Referenz, „*ground truth*“, Fortsetzung der Reihen), aber heute kommen noch andere Arten von Daten hinzu, wie etwa solche, die im Treibhaus aus unter verschiedenen "klimatischen" Bedingungen kultivierten Pflanzen oder durch Satellitenbeobachtung gesammelt werden. Damit hat sich vor allem ihre anschliessende Auswertung von Grund auf geändert. Es gibt inzwischen komplexe statistische Analysen, Arbeiten beispielsweise an Wachstums- oder Verbreitungsmodellen in der Biologie oder Klimamodelle, die phänologische Daten mit einbeziehen.

Die ältesten phänologischen Modelle sind die Temperatursummenmodelle. René-Antoine Ferchault DE RÉAUMUR (1683 - 1757) entdeckte 1735, dass zwischen dem Datum der Weizen- und Traubenernte und dem Temperaturverlauf der vorangehenden Monaten ein Zusammenhang besteht und leitete davon das Modell der Temperatursumme ab. Bis heute sind die Temperatursummenmodelle die am häufigsten verwendeten Modelle in der Phänologie, wobei es eine Vielzahl von empirischen Weiterentwicklungen gab und gibt (für den Blattausbruch der Buche siehe HARTMANN 1991). Einfache Weiterentwicklungen sind z .B. das exponentielle

Temperatur-Koeffizientensummenmodell, oder auch das RI-Modell (siehe Formel 4 und 5) und schliesslich die multiplen Regressionsmodelle (HARTMANN 1991). Nach der Theorie von ARRHENIUS steigt die Geschwindigkeit einer chemischen Reaktion bei steigender Temperatur um einen konstanten Faktor Q. Bei jeder Zunahme der Temperatur um 10°C steigt die Entwicklungsgeschwindigkeit somit um den Faktor Q_{10} (COMPS et al. 1987, DURAND 1967).

$$T_{gk} = Q_{10}^{T/10} \qquad \textit{Formel 4}$$

T_{gk} = Taggradkoeffizient
Q_{10} = Temperaturkoeffizient
T = Tagesmitteltemperatur [°C]

Lineares Remainder index (RI) Modell:

$$T_{tz} = \begin{cases} T - S : T > S \\ 0 : T \leq S \end{cases} \qquad \textit{Formel 5}$$

T_{tz} = Taggradzahl
T = Tagesmitteltemperatur
S = Temperaturschwellenwert

Berechnet wird bei der RI-Methode wie auch bei der Q_{10}-Methode die Summe der Tageswerte vom Starttermin bis zum Eintritt der Phänophase. Für Frühlingsphasen liefern bereits die einfachen Modelle recht gute Ergebnisse. Im Hinblick auf Einfachheit sind auch für die Blattverfärbung verschiedene Modelle alleine mit Temperaturwerten aufgestellt worden. Oft wurde versucht, den Phaseneintritt der Herbstverfärbung mit dem Auftreten bestimmter Temperaturereignisse (wie dem Unterschreiten von Schwellentemperaturen, mittlere Temperaturwerte der Tage vor der Laubverfärbung, mittlere Temperatur einer fixen Kalenderperiode) in Verbindung zu bringen (HARTMANN 1991, MAHRER 1985).

Es existieren drei Haupttypen phänologischer Modelle: theoretische, statistische und mechanistische Modelle. Die theoretischen Modelle basieren auf Kosten/Nutzen-Beziehungen und untersuchen beispielsweise die Zusammenhänge zwischen der Induktion von Blattanlagen und deren Weiterentwicklung unter dem Aspekt einer optimalen Nutzung der pflanzlichen Ressourcen (KIKUZAWA 1991 u.a. in SCHWARTZ S. 219). Die statistischen Modelle korrelieren die phänologischen Zeitreihen in

der Regel mit meteorologischen bzw. klimatologischen Parametern. Dazu werden verschiedene statistische Anpassungsmethoden (*fitting*) verwendet.

Die mechanistischen Modelle schliesslich beschreiben bekannte oder angenommene Wirkungseffekte zwischen den biologischen Prozessen und deren antreibenden Faktoren (*driving factors*) und werden insbesondere eingesetzt, um die Entwicklung während der Saison (Start, Verlauf, Ende) darzustellen. „Die ersten Erläuterungsmodelle, die möglichst auch zu Vorhersagezwecken insbesondere in der Agronomie dienen sollten, stammen aus den Jahren 1960-70. Versuche unter kontrollierten Bedingungen haben gezeigt, dass die Temperatur den stärksten Einfluss auf den Zeitpunkt der Blüte hat; für verschiedene Arten wurden mechanische Modelle gebaut", erklärt Isabelle CHUINE. Für den Frühlingsaustrieb der Bäume werden die Zusammenhänge zwischen der Winterruhe (*rest, dormancy*), den Verlauf der Wintertemperatur (*chilling units*), dem Erreichen des Kältebedürfnisses mit entsprechendem Übergang zur Nachruhephase (*quiescence*) und den danach nötigen Wärmebedürfnissen (*heat units, rates of onthogenetic development*) berücksichtigt. Eine kurze Zusammenfassung solcher Modelle ist zu finden in BRÜGGER 1998 und SCHWARTZ et al. 2003.

Der Schritt zwischen dem Bau phänologischer Modelle und ihrer Nutzung auf verschiedenen Ebenen in der Landwirtschaft, Ökologie oder menschlichen Gesundheit ist in Arbeit. Ein Schritt in diese Richtung verkörperte das europäische Programm "Positive", das im Jahr 2000 für zwei Jahre gestartet wurde. Die phänologischen Modelle sollen in umfassendere Modelle einbezogen werden, die beispielsweise das Funktionieren der Pflanzen, den Verbreitungsbereich einer Art, ein Agrarsystem, den CO_2-Zyklus, das ökologische Funktionieren eines Biotops usw. darstellen.

5 Die Saisonalität – Kerngeschäft der Phänologie

5.1 Tages- und Jahreszeiten – phänologische Periodizität

Phänologie im Tagesgang – die Blumenuhr nach Carl v. Linné

Der schwedische Naturwissenschaftler Carl VON LINNÉ (1707-1778), der die Grundlage der modernen Taxonomie entwickelte, war insbesondere ein exzellenter Beobachter und legte 1745 erstmals die von ihm entwickelte Blumenuhr im Botanischen Garten von Uppsala an. Dabei handelte es sich um ein Blumenbeet in Form eines Zifferblatts mit 12 Unterteilungen, die mit den zur jeweiligen Stunde blühenden krautigen Pflanzen bepflanzt waren.

Bei der Beobachtung der Natur in seiner nächsten Umgebung hatte er die für seine Zeit überraschende Feststellung gemacht, dass bestimmte Pflanzenarten nur zu bestimmten Tageszeiten blühten. Darauf aufbauend intensivierte LINNÉ seine Forschung und stellte fest, dass diese pflanzlichen Aktivitäten während der gesamten (schwedischen) Wachstumsperiode immer zur gleichen Tages- oder Nachtzeit stattfanden. Es soll ihm bei der Frage nach der Uhrzeit ein Blick aus dem Fenster seines Arbeitszimmers auf seine "Blumenuhr" genügt haben, um die Uhr bis auf 5 Minuten genau.

Diese hübsche Anwendung von Pflanzenbeobachtungen zur Bestimmung des Tagesganges ist jedoch nur eine Nische; die Phänologie ist vor allem geeignet, den Jahresgang zu charakterisieren. Deshalb ist die Saisonalität wohl als deren wichtigste Aussage zu bezeichnen.

Phänologische Definition der Vegetationszeit

Die Vegetationszeit einer Pflanze ist bedingt durch periodische Vorgänge innerer und äusserer Ursachen und ein Ergebnis der Akklimatisation an die charakteristischen tages- und jahresperiodischen Wechsel der Witterung bzw. des Wetters. Die arttypischen Verbreitungsareale sowie das Vorkommen der Art in bestimmten Pflanzengesellschaften widerspiegelt die Anpassungsgrenze jeder Art. Ausserdem sagen auch die Wuchsform oder die Art der Vergesellschaftung viel über den Zustand der Pflanze aus.

Einfach ausgedrückt: es ist nur dort Vegetationszeit zu beobachten, wo pflanzenspezifische Wuchsbedingungen erfüllt sind. Wenn also immer wieder – und dies durchaus mit Erfolg – physikalisch gemessene Schwel-

lenwerte (v.a. Temperatur und Wasserhaushalt) als Grenzwerte für den Beginn oder das Ende der Vegetationszeit zu Hilfe genommen werden, bedeutet dies immer den aktuellen Gleichgewichtszustand zwischen Vorbestimmtheit und Anpassung des Lebenssystem an die gegeben lokalen Lebensumstände und sagt nichts aus über die Stationarität derartiger Zusammenhänge bei sich ändernden Bedingungen.

Die Phänologie nimmt auch hier eine Brückenstellung ein zwischen der technischen Messung und biologischen Betrachtungen (wie Arealkunde, physiologische Keimtemperaturmessungen oder Versuchsanordnungen, die untersuchen, wann im Herbst das Apikalmeristem mit der Zellteilung aufhört). Es stehen Lebensäusserungen im Zentrum, die mit makroskopischer Deutlichkeit den Beginn, den Verlauf und das Ende der Wachstumsperiode darstellen. Die Anforderungen an die festgehaltenen Erscheinungen sind die klassischen Forderungen der Phänologie:

- Darstellung der zeitlichen Entwicklung,
- Sichtbarkeit und Beobachtbarkeit,
- charakteristisch und relevant für die jeweilige Pflanze,
- charakteristisch und relevant für die Region (oder Fragestellung).

Gian GENSLER hat 1946 ein umfassendes Werk zur Vegetationszeit (GENSLER 1946) verfasst, das als Lektüre auch heute noch von grossem Wert ist (Abschnitt 6.3). Er diskutiert die Unterschiede zwischen den meteorologischen Messungen der Temperatur (auf 2 m Höhe) und der für die Pflanzen relevanten Temperaturen z. B. an der Bodenoberfläche, unter einer Schneeschicht, im Wurzel- oder Kronenraum, sowie deren Differenzen bei unterschiedlichen Wasserverhältnissen im Boden.

Als Fazit einer Sammlung von bis dato erschienenen Definitionen schreibt er: „Die Unmöglichkeit Naturerscheinungen in der besprochenen Art in ein strenges Schema einzuordnen, zeigen die eben zitierten Anschauungen. In der folgenden Generalabfassung einer auf phänologischer Betrachtung basierender Vegetationszeit-Definition muss deshalb der nötige Spielraum gelassen werden, um in jedem Falle die aspektmässige Haupterscheinung berücksichtigen und ein wirklich naturgetreues Abbild der vegetationsperiodischen Vorgänge gewinnen zu können:

Die Vegetationszeit wird als die Zeitspanne definiert, die mit dem Beginn der Wachstumserscheinungen (Treiben der Blatt- oder Blütenknospen) einsetzt und bis zum Ende der Assimilation (Laubverfärbung) oder, sofern diese nicht deutlich erfolgt, bis zum Laubfalle (Verdorren) dauert.“

5.2 Klimatische Jahreszeiten – Statistiken und Mittelwerte

Jahreszeiten können sowohl biologisch als auch klimatologisch definiert werden. Die Definition der klimatischen Jahreszeiten ist nur in Bezug auf Statistik – meist auf Monate beschränkt – und astronomische Gegebenheiten präzise (Abbildung 49). Es gibt Ansätze zu differenzierteren Charakterisierungen der Jahreszeiten.

Als Jahreszeiten werden immer wiederkehrende Zeitabschnitte eines Jahres bezeichnet. Sie unterteilen das Jahr in verschiedene Perioden, welche sich durch charakteristische astronomische oder klimatische Eigenschaften auszeichnen.

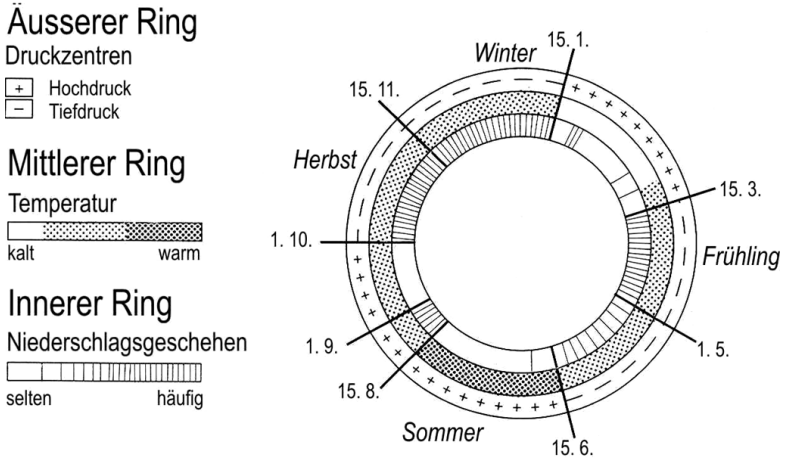


Abbildung 49: Typische Abfolge von Wettertypen – dargestellt mit Druckfeldern, Temperaturen und Niederschlagshäufigkeit – im Jahresverlauf im Pariser Becken (nach GODARD und TABEAU 1993, übersetzt und verändert).

Im alltäglichen Sprachgebrauch sind hauptsächlich meteorologisch deutlich voneinander unterscheidbare Jahresabschnitte gemeint; in gemässigten Breiten sind dies Frühling, Sommer, Herbst und Winter, in den Tropen sind es Trockenzeit und Regenzeit. Das Beispiel aus Frankreich von GODAD und TABEAU (1993) basiert auf Druckzentren, Temperaturen und Niederschlägen (Abbildung 49). Klassisch sind die Jahreszeitenklimate, wie sie von TROLL und PAFFEN 1964 vorgelegt wurden, und die vor allem für globale Klimakarten Verwendung finden (Abschnitt 1.4).

Regelfall (mit Abkürzung) zyklonal (nach links versetzt) antizyklonal	Zeitraum	Grosswetterlage	rel. Häufigkeit 1881 - 1947
Tauwetter 2 (T^2)	*01. - 10.12.*	*Westwetter*	*81%*
Frühwinter (Wf)	*14. - 25.12.*	*Winterhoch Osteuropa*	*67%*
Weihnachstauwetter (T^3)	*23.12. - 01.01.*	*Westwetter*	*72%*
Hochwinter (Wh)	*15. - 26.01.*	*Kontinentalhoch*	*78%*
Spätwinter (Ws)	*03. - 12.02.*	*Winterhoch Nordost-europa*	*67%*
Vorfrühling (Fv)	*14. - 25.03.*	*Kontinentale Hochs*	*69%*
Spätfrühling (Fs)	*22.05. - 02.06.*	*Nord- u. Mitteleuropa- hochs*	*80%*
Sommermonsun 2 (M^2) = Schafkälte	*09. - 18.06.*	*Nordwestwetter*	*89%*
Sommermonsun 5 (M^5)	*02. - 30.07.*	*Westwetter*	*89%*
Sommermonsun 6 (M^6)	*01. - 10.08.*	*Westwetter*	*84%*
Spätsommer (Ss)	*03. - 12.09.*	*Mitteleuropahochs*	*79%*
Frühherbst (Hf) = Altweibersommer	*21.09. - 02.10.*	*Mittel- u. Südosteuropa hochs*	*76%*
Mittherbst (Hm) = Martinssommer	*28.10. - 10.11.*	*Mitteleuropahochs*	*69%*
Spätherbst (Hs)	*11. - 22.11.*	*Mitteleuropahochs*	*72%*

Tabelle 27: Witterungsregelfälle in Mitteleuropa (nach BLÜTHGEN und WEISCHET 1980, FLOHN und HESS 1949, FLOHN 1954).

Als Witterung bezeichnet man in der Klimatologie einen länger dauernden Wettertyp (HUPFER und KUTTLER 2006) – dieser Begriff ist in andern Sprachen allerdings weniger geläufig als in Deutsch oder existiert nicht. Die Witterung widerspiegelt eine Grosswetterlage, ihre Häufung kann in einem gegebenen Raum für bestimmte Jahreszeiten typisch sein (Abbildung 49).

Die Häufung von Witterungsregelfällen (Tabelle 27) können ebenfalls herangezogen werden um die Saisonalität zu charakterisieren. Allerdings lässt die Trennschärfe dieser Methoden zu wünschen übrig, es ist kaum möglich, die Jahreszeiten auf diese Weise voneinander abzugrenzen.

5.3 Phänologische Jahreszeiten – Rhythmus der Saisonalität

Phänologische Jahreszeiten inner- und ausserhalb der Vegetationszeit

Wenn die Phänologie tatsächlich mit Beobachtungen im Feld, auf Bildern, Photographien, historischen Dokumenten und Belegen Ablauf und Entwicklung der Jahreszeiten in der biotischen Umwelt erfasst und mit abiotischen Daten ergänzt, so steht die Saisonalität im Zentrum. Phänologische Jahreszeiten können somit innerhalb der Vegetationsperiode mit phänologischen Phasen und ausserhalb dieser mit klimatischen Elementen wie Schnee und Eis definiert und strukturiert werden.

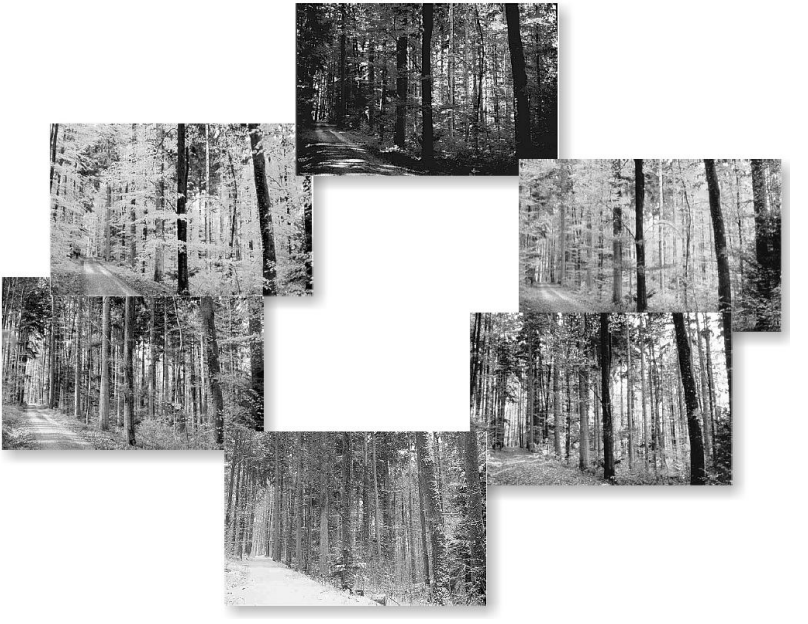


Abbildung 50 : Der Ablauf der Jahreszeiten ist auf einen Blick an der Vegetation abzulesen, insbesondere an der Entwicklung der Bäume, Sträucher und Kräuter.Aaber auch Licht, Farben, Stimmungen, Gerüche und Geräusche sind für jede Jahreszeit charakteristisch. Die Unterschiede sind im Wald besonders auffällig, für eine genauere Erfassung bedarf es intensiver Beobachtungen (Eywald bei Bern, Photos Robert BRÜGGER).

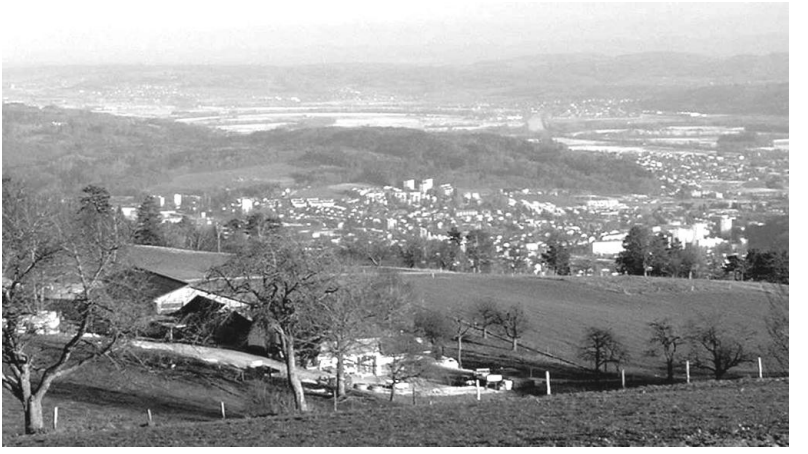


Abbildung 51 : Oben grün, unten weiss – Schnee in der thermischen Inversion des östlichen Seelandes, Kanton Bern (rechts oben Büren an der Aare mit Schneeflächen, 435 m), grüne Weiden und Wiesen auf dem Jura (im Vordergrund Magglingen 800 m, Photo François JEANNERET).

Phänologische Darstellungen der Jahrezeiten

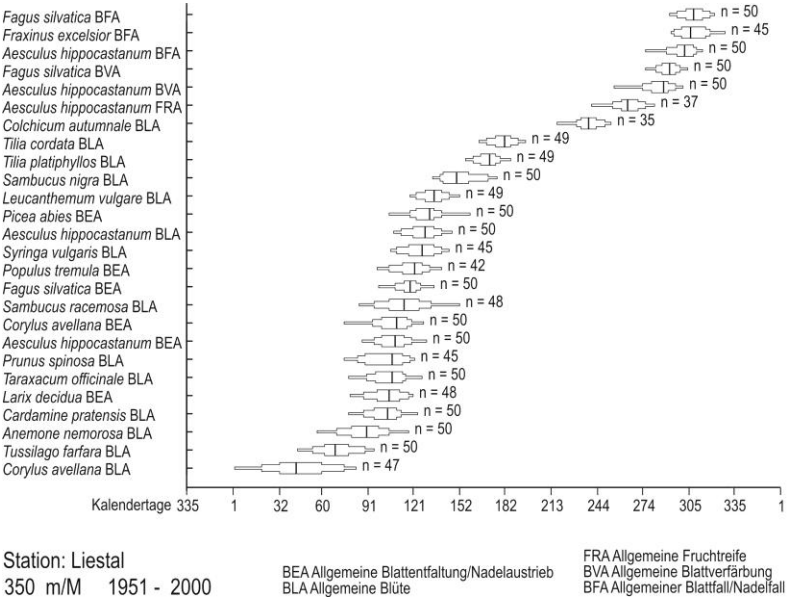


Abbildung 52: Phänologischer Kalender für die Station Liestal 350 m, 1951-2000 (aus BRÜGGER und VASSELLA 2003, nach DEFILA 1992).

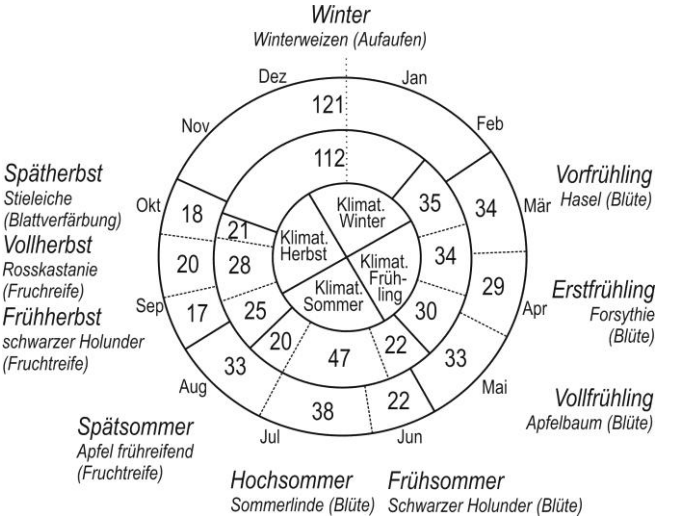


Abbildung 53: Doppelte phänologische Uhr für Rheinland-Pfalz mit der mittleren Andauer in Tagen, für 1951-1960 (innerer Ring) und 1991-2000 (äusserer Ring) mit den klimatischen Jahreszeiten im Zentrum (nach HENNIGES 2004).

Es ist keine einfache Aufgabe, den Ablauf der Jahreszeiten mit einer einschlägigen Graphik zu veranschaulichen, obwohl verschiedene Typen von Darstellungen in Gebrauch sind, insbesondere phänologische Kalender (Abbildung 56) und Uhren (Abbildung 53 und Abbildung 58). Während erstere nicht die Form einer zyklisch zu verstehenden Abfolge vermitteln, sind letztere nicht ganz einfach zu erfassen und zu vergleichen.

Der Matrixplot ist eine integrale Darstellung von phänologischen Beobachtungen an einem bestimmten Standort. Er vereinigt in der vertikalen Achse von unten nach oben die saisonale Entwicklung im Verlauf eines Jahres mit auf der horizontalen die Veränderung über die ganze Beobachtungsperiode. Die jeweiligen Graustufen entsprechen dem Tag im Jahr (*DoY, day of year*), wann die jeweilige Phase beobachtet worden ist, von hellem Grau Ende Winter (Januar) bis dunkelgrau Ende Herbst. Schwarze Punkte markieren fehlende Beobachtungen.

Das Beispiel Grossaffoltern (511 m) im Hügelgebiet des tieferen Berner Mittellandes zeigt eine Auswahl von phänologischen Beobachtungen. Die beiden untersten Zeilen sind die Blüte des Schneeglöckleins (*Galanthus nivalis*, GaNi) und Hasel (*Corylus avellana*, CoAv), wobei im ersten Jahr bei beiden Beobachtungen fehlen. Beim Schneeglöcklein

fehlen die Jahre 1978 und 1983, bei der Hasel 2003. Sonst sind die Beobachtungen lückenlos. Die beobachteten Pflanzen und Phasen erstrecken sich über den Vollfrühling (Apfelblüte, *Malus domesticus*, MaDo) bis zur Weizenernte im August (*Triticum*).

Diese Darstellung ermöglicht auch Aussagen über generelle Veränderungen am Standort Grossaffoltern. Die In der Mitte der Graphik sind in der ersten Hälfte der Beobachtungsperiode öfters dunkelgraue Farben zu erkennen, die nach 1990 nicht mehr so oft auftreten. Das deutet auf eine Verschiebung zu früheren Eintrittsterminen hin. Schliesslich lassen sich Einzeljahre im Vergleich zum gesamten Datensatz machen. Die Säule des Jahres 1990 beispielsweise wird dominiert von hellen Grautönen, was auf durchschnittlich sehr frühe Eintrittstermine hindeutet.

Das Jahr 2006 zeigt in seiner graphischen Darstellung ein ähnliches Bild wie einige Jahre in den 1980er-Jahren. Was die Beobachter im Jahr 2006 als ein sehr spätes Jahr eingeschätzt haben, ist im langjährigen Vergleich also vergleichbar mit den Durchschnittswerten vor 20 Jahren.

Beobachtete Arten:

AcPs	*Acer pseudoplatanus*	Weissahorn	NaPs	*Narcissus pseudonarcissus*	Osterglocke
AeHi	*Aesculus hippocastanum*	Rosskastanie	PrAv	*Prunus avium*	Vogelkirsche
BrNa	*Brassica napus*	Raps	PrCe	*Prunus cerasus*	Sauerkirsche
CoAv	*Corylus avellana*	Haselstrauch	PrDo	*Prunus domestica*	Zwetschgenbaum
Cro	*Crocus*	Krokus	PyCo	*Pyrus communis*	Birnbaum
FaSy	*Fagus sylvatica*	Rotbuche	RaFi	*Ranunculus ficaria*	Scharbockskraut
For	*Forsythia*	Forsythie	Sor	*Sorbus*	Vogelbeere
GaNi	*Galanthus nivalis*	Schneeglöckchen	TaOf	*Taraxacum officinale*	Löwenzahn
MaDo	*Malus domesticus*	Apfelbaum	TrSpp	*Triticum spp.*	Weizen

Beobachtete Phasen:

lb	*beginning of leaf-out*	Beginn Blattentfaltung	BBCH 11
lf	*leaves unfolded*	Blatt entfaltet	BBCH 19
fb	*begin of flowering*	Beginn Blüte	BBCH 60
ff	*full flowering*	Allgemeine Blüte	BBCH 65
fe	*end of flowering*	Ende Blüte	BBCH 69

Tabelle 28 : Beobachtungen in Grossaffoltern BE (Abbildung 54).

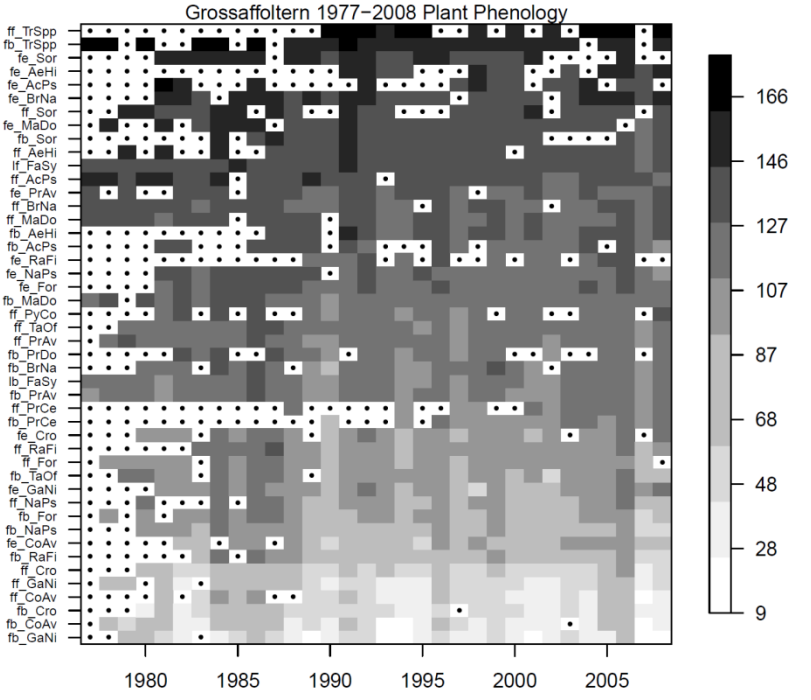
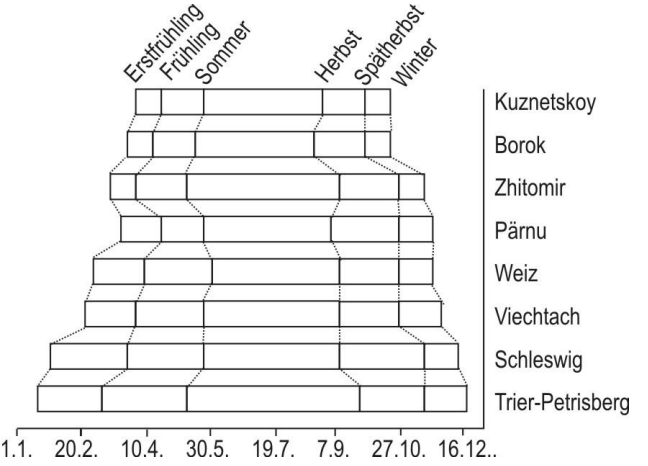


Abbildung 54 : Jahreszeitliche Rhythmen einer Station im Verlaufe der Jahre (Grossaffoltern BE, Daten: Christian RÖTHLISBERGER). Die Graustufen stellen das Datum des Eintrittes (Tag des Jahres) dar und erlauben, somit die Schwankungen zu erfassen (Tabelle 28). Punkte stellen Jahre ohne Datum dar (Graphik This RUTISHAUSER).

Analog lassen sich auch tägliche Grünwerte, Blattflächenindices (*Leaf area index, LAI*) darstellen (STÖCKLI et al 2008). Hier zeigen die Graustufen die jeweiligen Grünwerte, berechnet mit einem phänologischen Prognosemodell, das auf meteorologischen Parametern und Informationen aus Satellitenbildern beruht. Die schwarze Linie zeigt der 50%-Schwellenwert im Jahresverlauf. Dunkle Schattierungen in den Sommermonaten zeigen ein Rückgang des LAI, der oft im Zusammenhang mit Hitzestress und fehlender Feuchte gesehen wird. Gut sichtbar sind etwa die Folgen des Hitzesommers 2003.

Ein Nachteil beider Darstellungen ist das Fehlen von Winterphasen, der dargestellte Jahreszyklus ist eigentlich eher ein Halbjahreszyklus. Eine Weiterentwicklung versucht der Ansatz von JEANNERET (2006). Als Vorbild für eine Darstellung dienen die bekannten Klimadiagramme insbesondere von WALTER und LIETH (1960, Beispiel Abbildung 58), die anhand von Temperatur- und Niederschlagskurven ein anschauliches

Bild vermitteln. Dabei ist der Rhythmus der thermischen und hygrischen Jahreszeiten graphisch ablesbar. Dies ist auch für phänologische Jahreszeiten denkbar, wie die Beispiele aus dem tieferen und höheren Schweizer Mittelland zeigen



Diese

Abbildung 55: Anfangsspektra klimatischer Jahreszeiten, (nach KALAMEES 2001 in AHAS und AASA in SCHWARTZ et al. 2003, verändert).

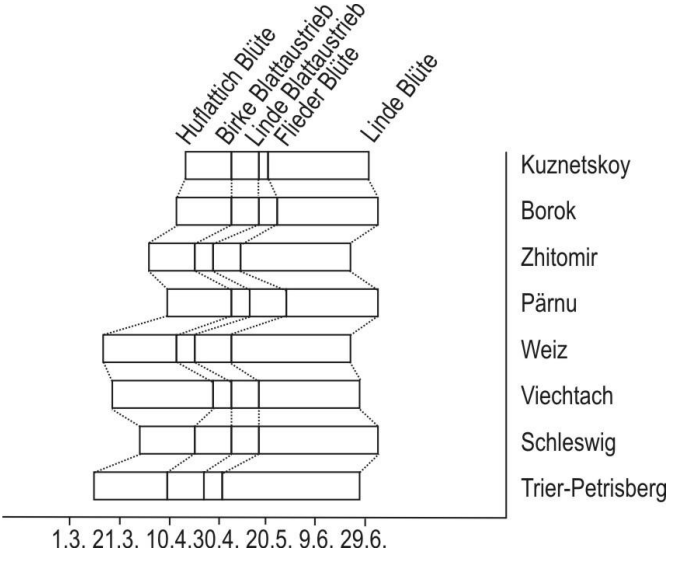


Abbildung 56: Anfangsspektra von Frühlingsphasen aller Stationen in Estland 1951-1995 (nach KALAMEES 2001 in AHAS und AASA in SCHWARTZ et al. 2003: 313).

Jahreszeiten als echte phänologische Einheiten

Mit Phänologie ist es möglich, nicht nur die Jahreszeiten zu erfassen, sondern auch deren Abfolge und Muster. Dies betrifft besonders die mittleren Breiten, aber auch unter sub-tropischen (SANCHEZ-AZOFEIFA et al. 2003) und sub-arktischen Bedingungen (z. B. WIELGOLASKI und INOUYE 2003) ist die Phänologie anwendbar.

Dies sind nicht nur originelle Beiträge zur Erforschung der Saisonalität, sondern eigentlich sogar eine Kernkompetenz der Phänologie, die die Jahreszeiten mit Naturerscheinungen definiert, während die Klimatologie dazu bekanntlich auf Mittel, Schwellen oder berechnete Werte wie Temperatursummen zurückgreifen muss.

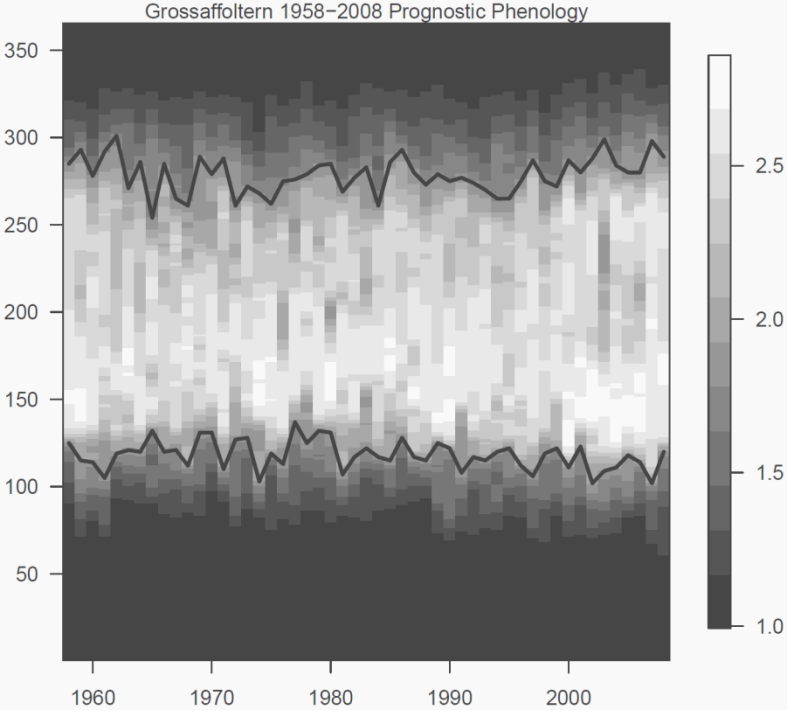


Abbildung 57 : Jahreszeitliche Rhythmen einer Station im Verlaufe der Jahre (Grossaffoltern BE). Die Graustufen stellen den Blattflächenindex dar und widerspiegeln die Entwicklung der Blätter (nach STÖCKLI et al. 2008).

Phänologische Daten vermitteln den Zugriff zum saisonbedingten Rhythmus der Phasen im Leben von Pflanze und Tieren. Auch abiotische

Beobachtungen wie das Auftreten und die Dauer von Frost, Schnee und Eis beschreiben saisonbedingte Änderungen und Variabilität ausserhalb der Vegetationszeit. Phänologie ist eine sehr ökonomische Methode für Bio- und Geomonitorings, die im Rahmen nationaler oder besonderer phänologischer Netzwerke in vielen Ländern angewandt wird (KOCH et al., 2009, NEKOVÁR 2008). Ferner zeichnen viele überall über der Erde verstreute unabhängige Beobachtende (*closet phenologists*) phänologische Daten auf. Historische Aufzeichnungen wie auch Herbarexemplare (PRIMACK et al., 2004, LAVOIE und LACHANCE 2006, MILLER-RUSHING et al. 2006) können für Rekonstruktionen der phänologischen Variabilität über Jahrhunderte herangezogen werden (SPARKS und CAREY 1995, RUTISHAUSER 2007, AONO und KAZUI 2008).

Saisonbedingte Muster beschreiben den jährlichen Rhythmus

Für Mitteleuropa definierte IHNE 1895 eine klassische Abfolge von phänologischen Jahreszeiten: für je den frühen, den vollen und den späten Frühling, Sommer und Herbst wählte er phänologische Phasen aus, die den Anfang anzeigen und definieren (SCHNELLE 1955). Um aber phänologische Beobachtungen darzustellen, werden Darstellungen benötigt, welche die Saisonalität und den Rhythmus der Jahreszeiten grafisch wiedergeben und abbilden. Für die Klimate der mittleren Breiten wiedergeben phänologische Kalender (z. B. DEFILA 1992, Abbildung 52) die Abfolge der Phasen zwischen Frühling und Herbst. AHAS und AASA (2003) präsentieren und besprechen eine Auswahl von phänologischen Kalendern als eine charakteristische Möglichkeit zur Darstellung des phänologischen Jahresablaufes.

Die Definition der phänologischen Jahreszeiten ist nicht vereinheitlicht, von Land zu Land und von Netz zu Netz sind unterschiedliche Pflanzen und Phasen gültig (einige Beispiele sind in der Tabelle 29 enthalten) – eine Vereinheitlichung wäre dem internationalen Vergleich und einer Anerkennung der Rolle der Phänologie für die Saisonaltität sehr dienlich.

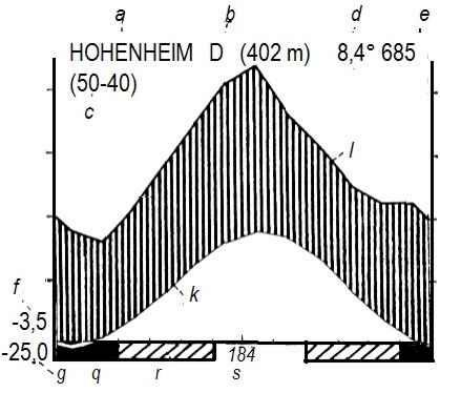
Die phänologischen Kalender ordnen die phänologischen Phasen aufgrund des mittleren Datums über die Beobachtungszeit ein. Boxen der Quartile und Kurven stellen den Ablauf und die Extreme von Phasen dar (Abbildung 52). Allerdings symbolisieren die aufwärts gerichteten Kurven weder die Abfolge der jährlichen saisonbedingten Zyklen noch die zum Trendumkehr im Herbst. Mit einem anderen Ansatz wird mit der phänologischen Uhr eine ununterbrochene Darstellung von Phasen und Jahreszeiten angeboten, die auch das Kombinieren von zwei Perioden erlaubt (HENNIGES et al. 2005, Abbildung 53).

Phänologische Jahreszeit	Leitphasen
Vorfrühling	*Hasel BLB, Schneeglöckchen BLB*
Erstfühling	*Forsythia BLB, Salweide BBL, Hafer ASA, Stachelbeere BEA*
Vollfühling	*Apfel BLB, roter Flieder BLB Stieleiche BEA*
Frühsommer	*Schwarzer Holunder BLB, Winterroggen BLB*
Hochsommer	*Sommerlinde BLB, Winterlinde BLB, Johannisbeere FRB*
Spätsommer	*Apfel FRB, Heidekraut BLB, Hafer FRA, Eberesche FRB*
Frühherbst	*Schwarzer Holunder FRB, Herbszeitlose BLB*
Vollherbst	*Rosskastanie FRB, Buche BVA, Winterroggen ASA, Stieleiche FRB*
Spätherbst	*Stieleiche BVA, Rosskastanie BFA, Buche BVA*
Winterbeginn	*Winterweizen ASA*

BEB Beginn Blattentfaltung/Nadelaustrieb
BLB Beginn der Blüte
FRB Beginn der Fruchtreife
BVB Beginn der Blattverfärbung
BFA Allgemeiner Blattfall/Nadelfall
BEA Allgemeine Blattentfaltung/Nadelaustrieb
BLA Allgemeine Blüte
FRA Allgemeine Fruchtreife
BVA Allgemeine Blattverfärbung
ASA Allgemeines Ähreschieben

Tabelle 29 : Phänologische Jahreszeiten und begrenzende Phasen (nach HENNIGES 2006, AICHELE 1964 (Abbildung 64), MeteoSchweiz, Deutscher Wetterdienst DWD.

Der Vergleich und die visuelle Interpretation von mehr als einer Uhr ist allerdings nicht ganz einfach. Phänologische Kalender und Uhren bieten keine Differenzierung des Winters an, da in mittleren Breiten meist keine pflanzlichen Phänophasen aufgezeichnet werdenIn der Klimatologie widerspiegeln die wohlbekannten Klimadiagramme nach WALTER und LIETH (1960-1967, Abbildung 58, LIETH et al. 1999) eine Kombination von Temperatur und Niederschlag für die Veränderungen im Jahresgang. Sie stellen die klimatischen Parameter einer Station in einer einfach lesbaren graphischen Darstellung dar. Flache Temperaturkurven offenbaren relativ ozeanische und gemässigte Klimas, wohingegen steile Kurven ganz kontinentale Klimas mit einem unterschiedlichen jährlichen Zyklus beschreiben. Die Position der Kurven in der Graphik gibt Informationen über thermale Bedingungen, Niederschlagskurven über Quantität und monatliche Verteilung des Niederschlages.



a Meteorologische Station

b Meereshöhe in Meter

c Anzahl Beobachtungsjahre; bei zwei Angaben betrifft die erste die Temperaturmessungen, die zweite die Niederschlagsmessungen

d Mittlere Jahrestemperatur

e Mittlere Jahresniederschläge

f Mittleres Tagesminimum im kältesten Monat

g Absolutes Minimum (tiefste gemessene Temperatur)

k Kurve der Monatsmittel der Temperaturen (1 Einheit = 10°C)

l Kurve der Monatsmittel des Niederschlages (1 Einheit = 20 mm)

q Monate mit Tagesminimas unter 0°C; schwarz unter der Nulllinie

r Monate mit absoluten Minimum unter 0°C; diagonal gestreift unter der Nulllinie

s Durchschnittliche Dauer der Periode mit mittleren Tagestemperaturen über 0°C; Anzahl Tage in normaler Schrift oder mittlere Dauer frostfreier Zeit, Anzahl Tage in Schrägschrift.

Abbildung 58: Beispiel eines Klimadiagrammes nach WALTER und LIETH (1960) mit Legende (Temperaturen in °C; Niederschläge in mm, nach LIETH et al. 1999).

Die von LAUER und RAFIQPOOR (2003, Tabelle 9) vorgeschlagene ökophysiologische Klimatypologie und -zonierung basiert auf thermischer und hygrischer Vegetationszeit sowie die Dauer der Schneebedeckung (Abschnitt 5.6).

Von der Pflanzephänologie in Mitteleuropa sind kaum Signale ausserhalb der Vegetationsperiode zu erwarten – im Gegensatz zur winterlichen Blüte des Eukalyptus in Australien. Somit muss in der Regel auf abiotische Elemente für die Saisonalität des Winters zurück gegriffen werden, insbesondere dort, wo die Winterruhe mit Höhe zunimmt (GAMS 1961, Abbildung 59).

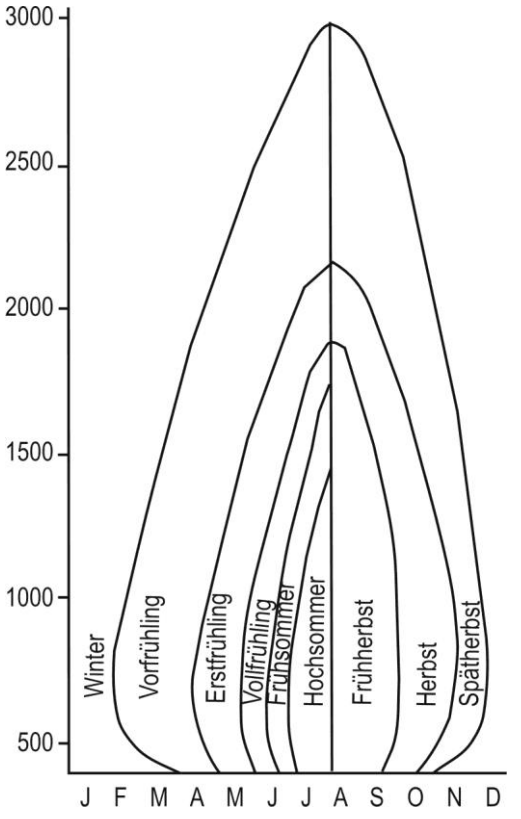


Abbildung 59: Variationen der mittleren phänologischen Jahreszeiten in Gebirgen (am Beispiel der österreichischen Alpen) in Abhängigkeit der Meereshöhe. Nur in tieferen Lagen findet sich die ganze Breite der Jahreszeiten, während in höheren Lagen der Winter dominiert. Thermische Inversionen in tiefen Tälern reduzieren die Länge der Vegetationsperiode (nach GAMS 1961).

Ein phänologisches Jahreszeitdiagramm sollte Daten für alle Jahreszeiten umfassen. Deshalb sollte es den folgenden grundlegenden Anforderungen (JEANNERET 2008) entsprechen:

- Sie stellen den Rhythmus aller Jahreszeiten dar, einschliesslich eines gleichwertigen graphischen Elementes für Winter (wo es Schlafzustand gibt),
- Sie zeigen andere phänologische Phasen während der ganzen wachsenden Jahreszeit,
- Sie kombinieren die anderen Darstellungen zu einem jährlichen Bild,
- Sie passen sich an andere Beobachtungsmethoden und Programme (anderen Phänophasen) an,
- Sie sind einfach zu lesen und zu erklären.

Das phänologische Jahreszeitdiagramm

Ein erster Entwurf eines phänologischen Jahreszeitdiagrammes wird anhand von Daten des Sondernetzes BernClim demonstriert (siehe Abschnitt 3.5 sowie JEANNERET 1972, 1997, MESSERLI et al. 1978, BUCHER und JEANNERET 1994, JEANNERET und RUTISHAUSER 2010). Es stehen Beobachtungen von fünf pflanzenphänologischen Phasen und für den Winter zwei Tagesbeobachtungen von Nebel und Schnee im Winter zur Verfügung. Mit Daten von den zwei ausgewählten Stationen Lüscherz und Schwarzenburg Moos wird das Konzept des phänologischen Jahreszeitdiagramms illustriert (Abbildungen 67 und 68).

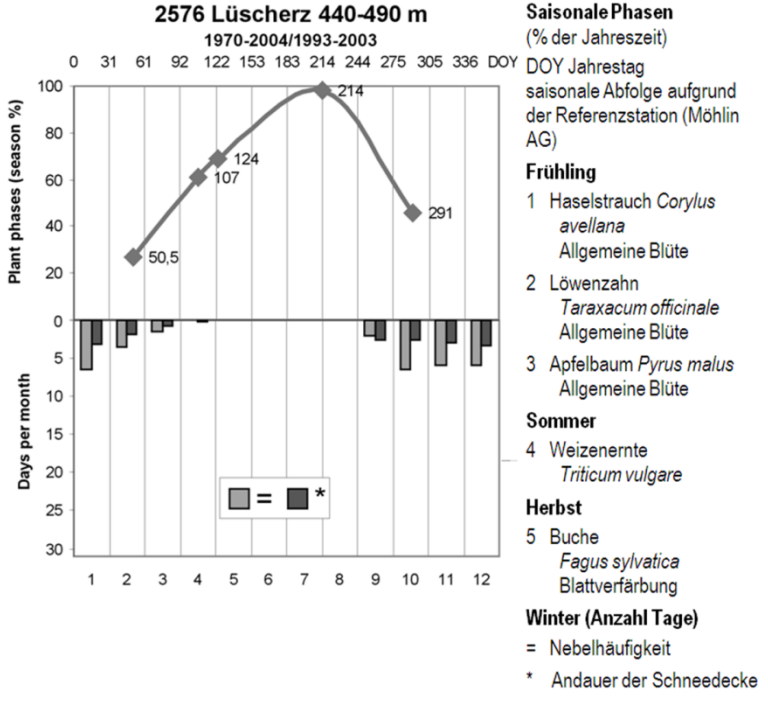


Abbildung 60: Kombiniertes phänologisches Jahreszeitendiagramm für langjährige Mittel der BernClim-Station Lüscherz am südlichen Bielerseeufer im tieferen Mittelland. Oben die pflanzenphänologische Entwicklung im Sommer, unten Nebelhäufigkeit und Schneeandauer der Wintermonate. Die Vegetationsperiode ist relativ früh und lang, im Winter die Nebelhäufigkeit hoch und die Andauer der Schneedecke kurz (aus JEANNERET 1997).

Dieses Diagramm kombiniert eine Kurve für die Wuchsperiode, die von den Daten einer Anzahl von Phänophasen hergeleitet wird, mit monatlichen Säulen der Dauer von Schneeandauer und der Häufigkeit des Nebels in Tagen.Die Pflanzenphänologie-Kurve markiert das Eintrittsdatum einer Phänophase in Bezug zum prozentualen Rang einer bestimmten Phänophase der Referenzstation. Als Referenz dient hier eine tief liegende Station am Rhein mit normalerweise sehr frühen Daten (Möhlin AG, 305 m, 1956-1990, Beobachtungsnetzwerk von MeteoSwiss, DEFILA 1992). Der Rang wird in Prozent der Daten der ersten sechs Monate des Jahres (181 Tage) berechnet und invertiert für die folgenden Monate (184 Tage) aufgetragen. Die Säulen der Winterdaten sind nach unten gezeichnet, um die biotische Kurve nicht zu stören und eine kontinuierliche Entwicklung der Jahreszeiten zur Darstellung zu bringen.

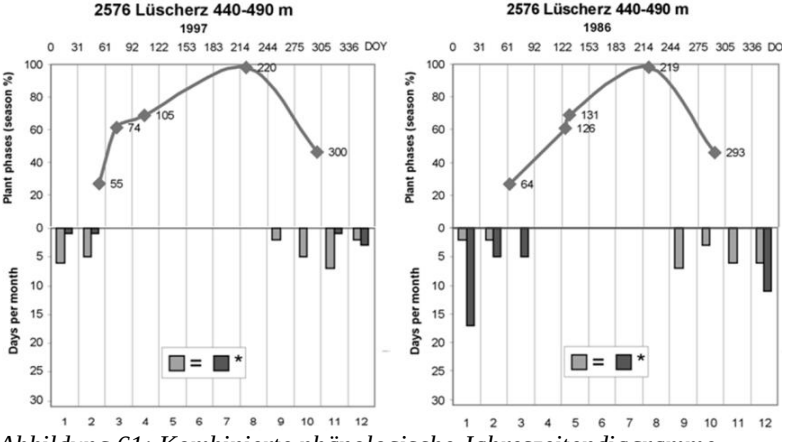


Abbildung 61: Kombinierte phänologische Jahreszeitendiagramme einzelner Jahre der BernClim-Station Lüscherz am südlichen Bielerseeufer (Legende siehe Abbildung 60). 1997 folgte auf einen kurzen schneearmen und nebelreichen Winter ein früher und rasch einsetzender Frühling. Der Herbst setzte früh ein mit häufigerem Nebel (aus JEANNERET 1997).

Auf lange Beobachtungsperioden basierende Diagramme zeigen die mittleren Werte und reflektieren so die allgemeinen Muster (Abbildungen 65 und 66). Diagramme von einzelnen Jahren illustrieren insbesondere früh, z. B. 1997. Das Klima im tiefliegenden Dorf Lüscherz am Ufer des Bieler Sees wird durch einen relativ frühen Frühlingsanfang und einer lange Vegetationsperiode charakterisiert. Der Winter ist mit wenig Schnee mild. Zahlreiche Nebeltage reflektieren im Winter die lang dauernden thermischen Inversionen bei Hochdruckperioden. Das Schwarzenburgerland kulminiert auf Hügeln mit über 1000 m und liegt somit oft

über den typischen thermischen Inversionen und den Winternebel. Die Vegetationsperiode beginnt später, Schnee liegt während einer längeren Periode. Mit diesen zwei Stationen lassen sich die Bedingungen zweier unterschiedlicher Saisonalität-Typen gegenüberzustellen.

Die phänologischen Jahreszeitdiagramme zeigen mittlere Muster über eine längere Zeitperiode auf und vermitteln ebenfalls eine vergleichende Analyse von einzelnen Jahren. Die Form und die Position der Kurven enthüllen saisonbedingte Anomalien. Steile Neigungen demonstrieren schnell voranschreitende Jahreszeiten und eine Verfrühung im Vergleich zu den anderen Jahreszeiten.

Mehr Beispiele, die Pflanzen mit abiotischer Phänologie verbinden, vermitteln eine über das ganze Jahr kombinierte topoklimatische Typologie. Gut entworfene und normalisierte Diagramme wären für viele Veröffentlichungen geeignet und dürften zur Popularität von Phänologie und Saisonalität beitragen. Eine verbesserte Graphik könnte verschiedene pflanzenphänologische Daten in eine einzige Kurve vereinigen und sowohl Rhythmus als auch Amplitude saisonbedingter Muster aufzeigen.

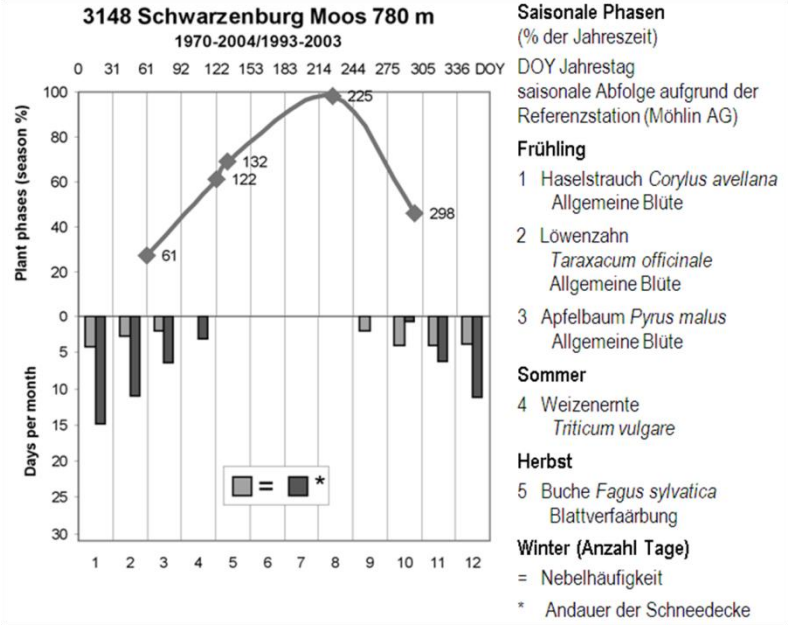


Abbildung 62: Kombiniertes phänologisches Jahreszeitendiagramm für das langjährige Mittel der BernClim-Station Schwarzenburg im höheren Mittelland. Die Vegetationsperiode ist relativ spät und kurz, der Nebel selten und die Schneedecke lang andauernd (aus JEANNERET 1997).

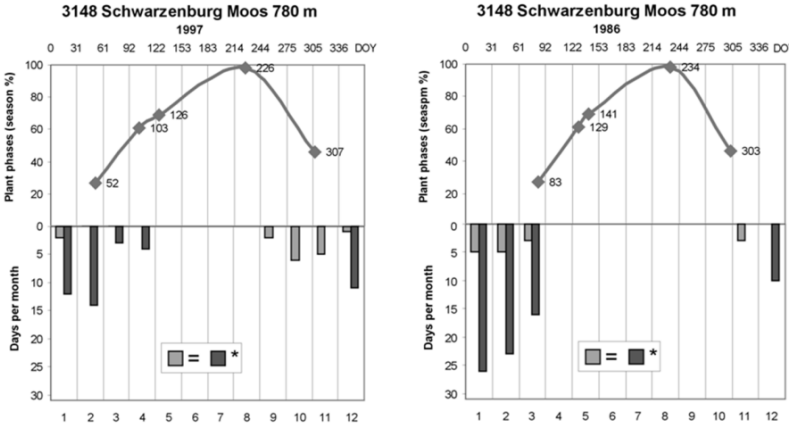
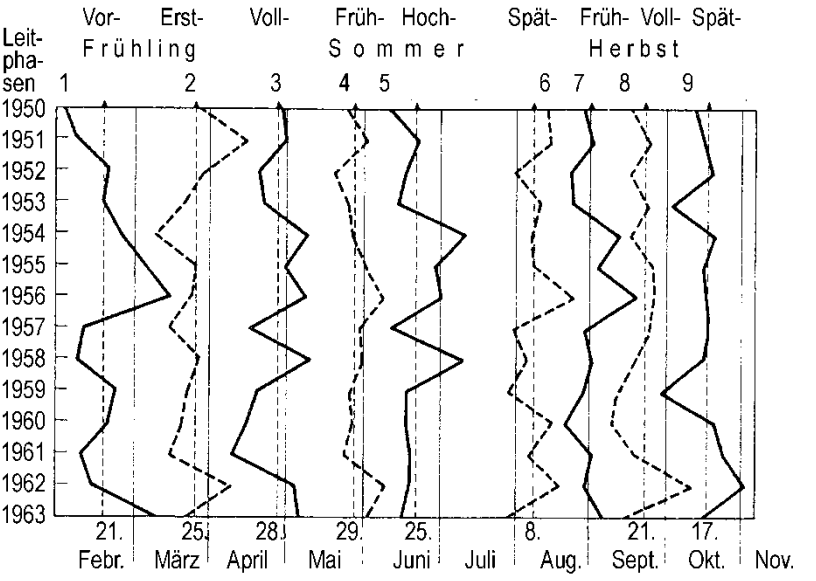


Abbildung 63: Kombinierte phänologische Jahreszeitendiagramme einzelner Jahre der BernClim-Station Schwarzenburg (Legende siehe Abbildung 61). 1997 wurde ein langer Winter durch eine frühe Vegetationsperiode abgelöst, auf welche ein normaler Herbst sowie ein nebelreicher Frühwinter mit spätem Schneefall folgten (aus JEANNERET 1997).

Weitere Verbesserungen liessen sich mit einer einschlägigen Graphik für verschiedenste Anwendungen erreichen. Die weitreichende Anwendung von Jahreszeiten-Diagrammen mit ganz andern Phasen, Arten und abiotischen Erscheinungen könnten schliesslich auf unterschiedlichste Beobachtungsprogramme angepasst werden.

Jahreszeiten auf einen Blick

Es ist nicht ganz einfach, pflanzenphänologische Datenetwa mit der Häufigkeit der Nebeltage zu kombinieren. Jedes Element reagiert auf eine komplexe Weise auf Klimaveränderung. Die zunehmende Länge der Vegetationsperiode ist eine Chance für Landwirtschaft und Sommertourismus. Zunehmende Höhe und Dauer der Winternebel führen jedoch nicht nur zu mehr Verkehrsproblemen, sondern auch zu Gesundheitsrisikos wegen der Smogsituationen in dicht bevölkerten Gebieten, die oft in Becken mit häufigen thermalen Inversionen festgestellt werden. Die reduzierte Dauer der Schneedecke wegen der Erwärmung der Wintertemperaturen hat wohlbekannte wirtschaftliche Folgen für den Wintertourismus. All diese Variationen sind typisch für den topoklimatischen Massstab, sie hängen vom Relief ab und werden durch biotische und abiotische phänologische Daten widergegeben.



Leitphasen:

1. Blühbeginn des Schneeglöckchens (*Galanthus nivalis*)
2. Blühbeginn des einfachen roten Flieders (*Syringa vulgaris*)
3. Blühbeginn der Sommer linde (*Tilia grandifolia*)
4. Aufblühen der Herbstzeitlose (*Colchicum autumnale*)
5. Beginn des Blattfalls der Rosskastanie (*Aesculus hipposcastanum*)
6. Aussaatbeginn des Havers (*Avena sativa*)
7. Blüte des Winterroggens (*Secale cereale hibernum*)
8. Blühbeginn des Heidekrauts (*Calluna vulgaris*)
9. Fruchtreife der rotblühenden Kastanie (*Aesculus hippocastanum)*

Abbildung 64: Eintrittsdaten der neun phänologischen Jahreszeiten in Trier-Petrisberg für die Jahre 1950-1963 (nach AICHELE 1964 aus BLÜTHGEN und WEISCHET 1980, verändert).

Phänologische Jahreszeitdiagramme sind ein mächtiges und wenig aufwändiges Werkzeug um Typologien von saisonbedingten Mustern aufgrund von Analyse einzelner Jahre oder im Vergleich mehrerer Stationen zu veranschaulichen. Der grosse Vorteil der phänologischen Jahreszeitendiagramme sind ihre vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten. Phänologie hat noch keine internationale oder globale Standardisierung (BRUNS und VAN VLIET 2003) erreicht. Aber Ideen wie das Globale Phänologische Monitoring (GPM initiiert von der Internationalen Gesellschaft für Biometeorologie ISB) und Initiativen wie das europäische Phänologie-Netzwerk EPN, (im 5. europäisches Rahmenprogramm, VAN VLIET et al. 2003), die COST-Aktion 725 („Erarbeitung einer Plattform für phänolo-

gische Daten in Europa im Hinblick auf klimatologische Anwendungen") sind wichtige und wertvolle Schritte hin zu einer standardisierten Methode mit einer einschlägigen Darstellung wie etwa phänologische Jahreszeitendiagramme.

Im Vergleich mit Klimadiagrammen (Abbildung 58) widerspiegelt das phänologische Jahreszeitendiagramm verschiedene klimasensitive Wirkungsfaktoren. Pflanzen, Tiere, Schnee, Eis oder Nebel reflektieren die globalen Umweltbedingungen und sind deshalb wertvolle Signale für Klimamuster und -änderungen. Es kann ausserhalb meteorologischer Netze überwacht werden, und phänologische Beobachtungen erfordern keine schwere und teure Infrastruktur.

5.4 Relative Phänologie – Wuchsgliederungskarten

Während Beobachtungsfahrten oder -gängen entlang ausgewählter Routen (Abbildung 65 oben) werden phänologische Entwicklungsstadien bestimmten Pflanzen (40 bis 60 Arten) notiert. Durch periodisches Wiederholen der Fahrten kann die Entwicklung der Vegetation kartiert werden. Da die Bestimmungen immer wieder anhand einer Eichstrecke verifiziert werden, können die Beobachtungen anhand unterschiedlich verbreiteter Pflanzen erfolgen. Bei dieser Methode werden die Verhältnisse der Vegetationsentwicklung festgehalten. Lokalklima und Standortsunterschiede können gut erfasst werden. Die entlang der Routen erhaltenen Ergebnisse werden für die Extrapolation in der Fläche verwendet. Die Methode kam in Deutschland und der Schweiz zum Einsatz.

Ein Beispiel dazu sind die Wärmegliederungskarten von SCHREIBER et al. 1977 (Tabelle 30, Abbildung 65 unten). Der Vorteil dieser von ELLENBERG 1961 entwickelten und als Wuchsklimagliederung bezeichneten Methode besteht im Verzicht auf ein Beobachtungsnetz und die Erarbeitung allgemein gültiger topoklimatischer Aussagen und Kartierungen innerhalb weniger Jahre.

Eine neuere Anwendung dieser Methode wurde im Podyjí/Thayatal National Parks (an der Grenze der Tschechei und Österreich) vorgelgt. Mit Hilfe eines Strahlungsmodells konnte eine detaillierte phänologische Frühlingskarte des topographisch komplexen Gebietes erzeugt werden (CHYTRÝ und TICHÝ 1998).

Nr	relative Bezeichnung		Wärmestufen	Vegetationszeit Tage	Jahresmitteltemperatur ° C
0			*ungegliederte Gebirgsstufe*		
1	*sehr kalt*	*obere*		*55-80*	*0 -1,0*
2	*kalt*	*mittlere*	*Alpgrünlandstufe*	*80-100*	*1,0-2,0*
3	*ziemlich kalt*	*untere*		*100-120*	*2,0-3,0*
4	*sehr rau*	*obere*		*120-135*	*3,0-4,0*
5	*rau*	*mittlere*	*Berggrünlandstufe*	*135-150*	*4,0-5,0*
6	*ziemlich rau*	*untere*		*150-165*	*5,0-6,0*
7	*sehr kühl*	*obere*		*165-180*	*6,0-7,0*
8	*kühl*	*mittlere*	*Ackerbaustufe*	*180-190*	*7,0-7,5*
9	*ziemlich kühl*	*untere*		*190-200*	*7,5-8,0*
10	*ziemlich mild*	*obere*		*200-205*	*8,0-8,5*
11	*mild*	*mittlere*	*Obst-Ackerbaustufe*	*205-210*	*8,5-9,0*
12	*sehr mild*	*untere*		*210-215*	*9,0-9,5*
13	*ziemlich warm*	*obere*		*215-225*	*9,5-10,0*
14	*warm*	*mittlere*	*Weinbaustufe*	*225-235*	*10,0-10,5*
15	*sehr warm*	*untere*		*235-245*	*10,5-11,0*
16	*ziemlich heiss*	*obere*		*245-255*	*11,0-11,5*
17	*heiss*	*mittlere*	*Feigen-Weinbaustufe*	*255-265*	*11,5-12'0*
18	*sehr heiss*	*untere*		*>265*	*> 12,0*

Tabelle 30: Die phänologisch abgegrenzten Wärmestufen der Schweiz (aus SCHREIBER et al. 1977).

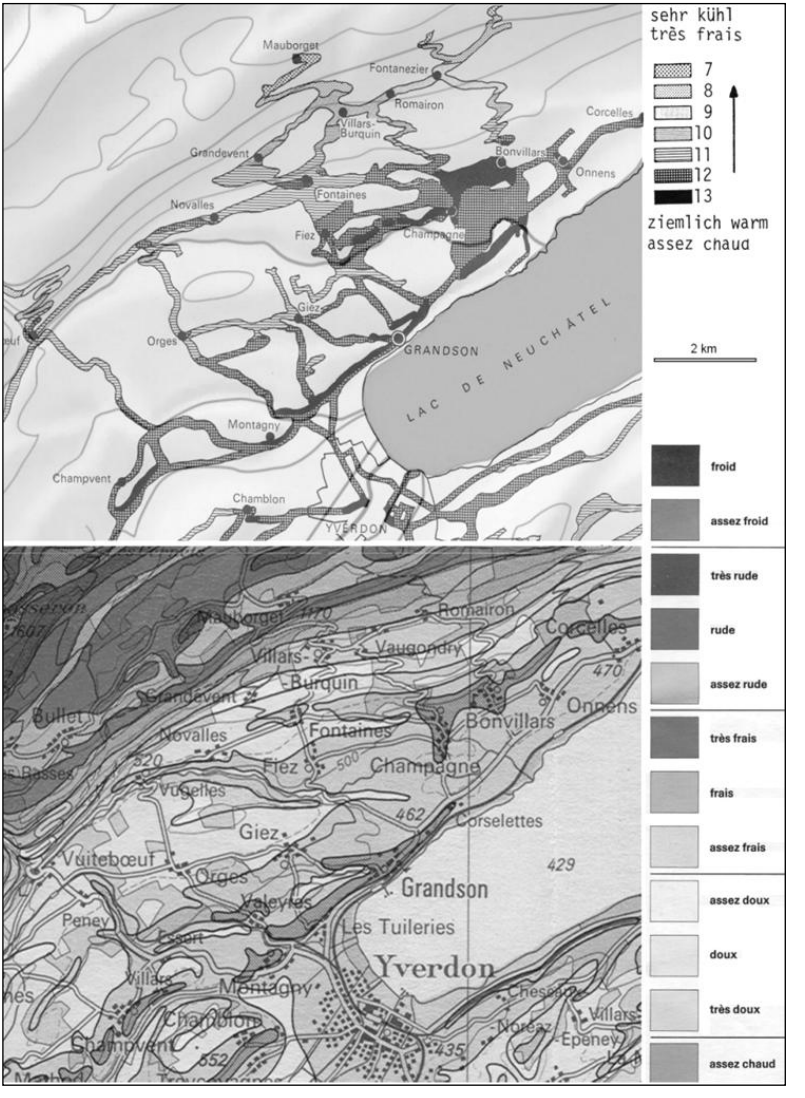


Abbildung 65: Oben Ausschnitt aus einer Kartierung phänologischer Stufen auf einem Fahrtroutennetz in der Umgebung von Yverdon vom 28. bis 30. April 1962. Unten Ausschnitt aus der Wärmestufenkarte im Massstab 1 : 200'000 von SCHREIBER et al. (1977), Blatt 1, Umgebung von Yverdon. Zwischen Neuenburgersee (422 m) und Chasseron (1607 m) sind die Stufen 13 (ziemlich warm) bis 2 (kalt) vertreten (siehe Tabelle 30, nach SCHREIBER et al. 1977, verändert).

Der Entwicklungsindex PEI – Phänostadien statt Phänophasen

Der phänologische Entwicklungsindex (PEI) ist eine Summengrösse. Für jeden Zeitpunkt *t* werden die Werte der *k* beobachteten phänologischen Entwicklungsstadien (E1-E*k*) summiert. Der Index steigt im Frühjahr von 0 auf 100 (bzw. von 0-1) und sinkt im Herbst wieder von 100 auf 0. Es ist wichtig, die miteinbezogenen Phänostadien zu deklarieren und genau zu beschreiben. In einer Formel ausgedrückt bedeutet dies (aus BRÜGGER 1997):

$$PEI_t(J_n) = \sum_{i=1}^{k} Ei_t(J_n) \qquad \textit{Formel 6}$$

J_n = *n*-ter Baum

E_i = Entwicklungsstadium *i*
k = Anzahl verwendeter Phänostadien Der PEI kann direkt aus den beobachteten Anteilen der Phänostadien abgeleitet werden:

$$PEI_t(J_n) = \sum_{i=1}^{k} i * P(i)_t(J_n) / k \qquad \textit{Formel 7}$$

P(i)t(Jn) = %-Anteil des Phänostadiums P(i) zum Zeitpunkt *t* des Baumes J_n, Wertebereich: 0-1

0 = keine phänologische Entwicklung
1 = phänologische Entwicklung vollendet

Das Ziel des PEI ist es, den Verlauf der phänologischen Entwicklung darzustellen. Dies lässt sich im einfachsten Fall verwirklichen indem die Stationsbeobachter nicht nur den festen Zeitpunkt der Phänophasen, sondern bei jedem Kontrollbesuch den momentanen phänologischen Zustand der Pflanzen festhalten. Wie dieser Zustand definiert wird ist vorläufig nicht international festgelegt. Sinnvollerweise sind Phänostadien miteinzubeziehen, die auch beobachtbar sind. Je mehr Stadien unterscheiden werden, desto länger wird die jährlich beobachtbare Zeit.

Für die Berechnungen in Abbildung 64 wurden bei jedem Besuch vier Phänostadien der Blattverfärbung der Buche festgehalten. Es entstand eine Beobachtungsreihe, die mit dem ersten Vergilben der Blätter im August beginnt und bis Ende November reicht. Typisch für die Buche ist, dass im Herbst zwar alle Blätter verdorrt, aber noch nicht alle abgefallen

sind. Die Einzelbaumbeobachtung erlaubte es, die Bäume gemäss ihrer relativen Entwicklungsgewohnheiten in drei Klassen einzuteilen: Früh oder spät sich verfärbende Bäume, und indifferente mit nicht eindeutigem Muster.

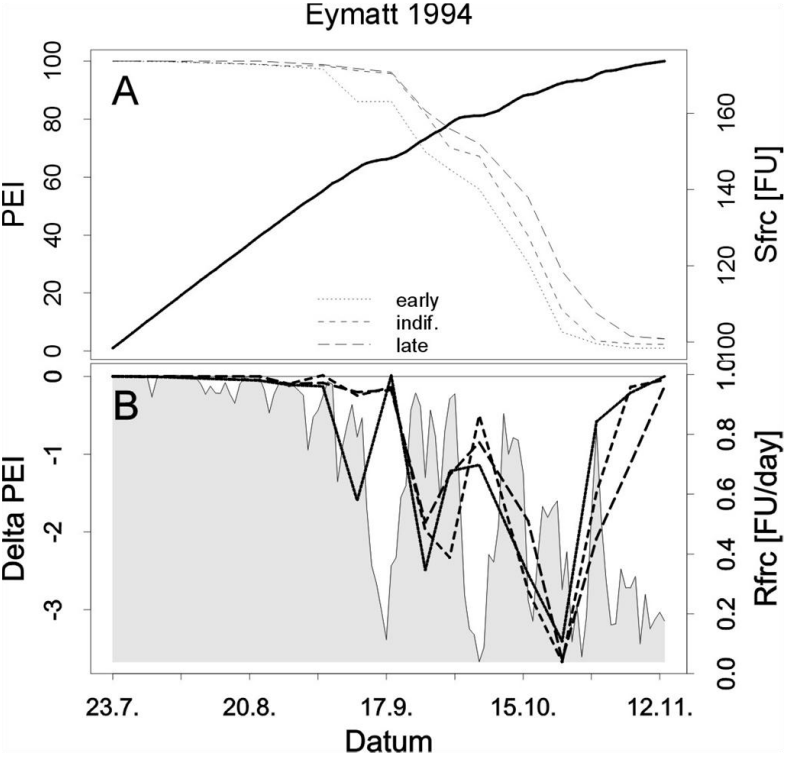


Abbildung 66: Vergleich phänologische Entwicklung-Temperaturverlauf, Standort Eymatt, Bremgartenwald Bern, 1994. Für den PEI-Blattverfärbung (PEIBV) werden hier vier Phänostadien berücksichtigt: Blatt hellgrün, gelb, braun und Blatt abgefallen. Es wurden 11 Buchen (Fagus silvatica) beobachtet und entsprechend ihres Verhaltens klassiert in früh (early), indifferent (indif.) und spät (late) reagierende Bäume.

A) Der PEIBV sinkt während des Herbstes von der vollen Sommerbelaubung (PEIBV =100) bis auf 0: alle Blätter abgefallen. Sfrc = State of forcing, FU= forcing units, die forcing units werden von der Tagestemperatur abgeleitet.

B) Die Raten der Kurven aus A). Dicke Linien: ΔPEI, Grau Schattiert: Rfrc, Rfrc= rate of forcing, Kälteeinbrüche bei Rfrc ~ 0

(aus BRÜGGER 1998).

Der Vergleich des Verlaufes der phänologischen Entwicklungsrate (Abbildung 66 B, Delta PEI) mit einer (hier allein von der Tagestemperatur abgeleiteten) *Forcing-Rate* (Rfrc) zeigt die erweiterten Möglichkeiten der detaillierten Beobachtung: Es sind einerseits klare Unterschiede in der Reaktion der Bäume innerhalb der Population, andererseits allgemeine Zusammenhänge zwischen Kälteeinbrüchen und phänologisch sichtbaren Entwicklungsschüben erkennbar.

5.5 Herbstphänologie – ungelöste Rätsel

Im Zuge der Klimaveränderungen des ausgehenden 20. und des beginnenden 21. Jahrhunderts ist die beobachtete Verfrühung des Frühlings unbestritten. Falls sich der Herbst verspäten würde, wäre eine doppelt bedingte Verlängerung der Vegetationsperiode die Folge (DEFILA 2008). Allerdings ist die phänologische Erfassung des Herbstes schwieriger als diejenige des Frühlings, denn Frühlingsphasen wie Blattentfaltung oder Blühen sind eindeutiger festzulegen als Herbstphasen wie Blattverfärbung oder Blattfall, und die physiologischen Auswirkungen der Sommer- und Herbstwitterung auf Pflanzen ist im Herbst komplexer als im Frühling (DEFILA 2008). Somit ist ein Trend des verspäteten Eintrittes der Herbstphasen nicht gesichert.

RÖTHLISBERGER (2008) stellt deshalb drei Hypothesen zur Diskussion:

- Die Klimaerwärmung führt zu einer Verlängerung der Vegetationszeit (Temperaturdominanz). Bio-ökonomisch erscheinen nicht nur frühere Phänophasen im ersten Halbjahr sondern auch eine Verlängerung der biologischen Aktivität weiter in den Herbst hinein zweckmässig.
- Die biologischen Vorgänge im Herbst – insbesondere der Laubfall – sind primär endogen bedingt (Biologische Uhr). Wenn die Bäume früher austreiben können, werden auch die Prozesse zur Vergilbung der Blätter früher einsetzen, was die Phänophasen im Herbst verfrüht. Die ganze Vegetationszeit verlängert sich also nicht; sie verschiebt sich bloss innerhalb des Jahres. Man könnte sogar postulieren, auch die Alterungsprozesse seien bei höheren Temperaturen nach der Reaktions-Geschwindigkeits-Temperatur-Regel beschleunigt; dann würde sich die Vegetationszeit durch die allgemeine Klimaerwärmung sogar verkürzen.
- Herbst- und Frühjahrs-Phänophasen entwickeln sich mehr oder weniger unabhängig voneinander (Unabhängigkeit). Dies ist eine auf den ersten Blick plausible, aber im Grunde genommen absurde Vermutung, da ja bei den meisten Pflanzen und wechselwarmen

Tieren der Hauptteil der biologischen Aktivität zwischen den Frühjahrs- und den Herbst-Phänophasen stattfindet.

80‘000 Einzelbeobachtungen aus der Zeit von 1997 bis 2008 aus dem Raum Cham ZG reichen für statistisch signifikante Aussagen nicht aus (RÖTHLISBERGER 2008). Immerhin scheint sich die Prozentwertmethode (nach BRÜGGER und VASSELLA 2003, Zeitreihenmethode nach RÖTHLISBERGER 2008, Beispielsdaten (Abbildung 28) besonders für die Laubverfärbung zu bewähren, wobei der 50%-Wert geschätzt wird (Abbildung 67). Der Vergleich des Ablaufs in verschiedenen Höhenstufen zeigt zuweilen Unstimmigkeiten im Ablauf auf der unteren und der mittleren Höhe.

Datum	%-Werte			
	grün	ver-färbt	braun/ abgef.	Index
07.08.07	*95*	*5*	*0*	*97,5*
20.08.07	*95*	*5*	*0*	*97,5*
28.08.07	*90*	*10*	*0*	*95*
09.09.07	*80*	*20*	*0*	*90*
19.09.07	*70*	*27*	*3*	*83,5*
29.09.07	*60*	*37*	*3*	*78,5*
02.10.07	*50*	*45*	*5*	*72,5*
07.10.07	*40*	*50*	*10*	*65*
15.10.07	*20*	*60*	*20*	*50*
23.10.07	*10*	*60*	*30*	*40*
30.10.07	*0*	*50*	*50*	*25*
03.11.07	*0*	*40*	*60*	*20*
08.11.07	*0*	*25*	*75*	*12,5*
09.11.07	*0*	*10*	*90*	*5*
15.11.07	*0*	*1*	*99*	*0,5*
22.11.07	*0*	*1*	*99*	*0,5*
28.11.07	*0*	*0*	*100*	*0*

Tabelle 31 : Beispieldaten für die Prozent-Methode der Schätzung der Blattverfärbung der Buche (Fagus sylvatica, Zug, Luegeten, Landeskoordinaten 682'080/225'240, 430 m ü. M. (aus RÖTHLISBERGER 2008)

Der Herbst mit seinen pflanzenphänologischen Erscheinungen ist eine äusserst farbenprächtige Jahreszeit. Gegen das Ende der Vegetationsperiode verfärbt sich das Laub, bevor es von Windböen oder Frösten zu Fall gebracht wird. Im Gegensatz zum Frühling sind die phänologischen Herbstphasen schwieriger zu beobachten und festzuhalten. Zwischen einzelnen Pflanzenindividuen treten grössere Unterschiede in der Blattverfärbung auf als beim Blattaustrieb im Frühling. Zusätzlich dominiert eine vielfältigere Kombination von Umweltfaktoren die Pflanzenentwicklung im Herbst, während die Frühlingsphasen von der Temperatur bestimmt werden.

Gerade die grössere Vielfalt von Umwelteinflüssen generiert viele Rätsel über die Prozesse, die den Herbstbeobachtungen vorausgehen. Erste Versuche mittels Korrelationsanalyse und Beobachtungen aus dem allgemeinen Netz von Meteo-Schweiz können keine der Thesen von RÖTHLISBERGER (2008) klar stützen.

Herbstphänologische Beobachtungen sind die Grundlage, um die genannten Hypothesen mit phänologischen Beobachtungen aus Netzwerken zu unterlegen. Es ist aber offensichtlich, dass im Kontext zum Klimawandel dem verfrühten Frühjahr ein komplexer Herbst gegenübersteht.

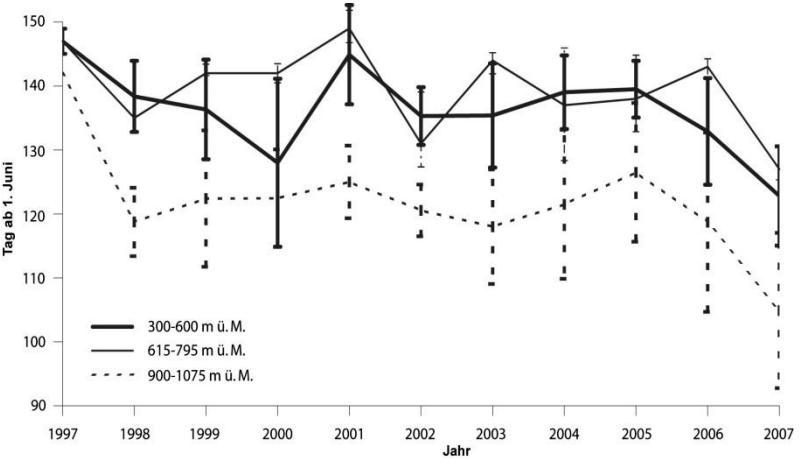


Abbildung 67: Zeitpunkt des Erreichens des geschätzten 50%-Wertes (Entwicklungsindex) der Laubverfärbung der Buche in Zug 1997–2007. Die Höhenstufe 300-600 m (fett) basiert auf den meisten Beobachtungen, in der 900-1075 m Höhenstufe (gestrichelt) am wenigsten. Die horizontalen Linien zeigen den Mittelwert +/- 0.5 Standardabweichung (aus RÖTHLISBERGER 2008).

5.6 Findet der Winter überhaupt noch statt?

Abbildung 68: Herbst und Frühling an der gleichen Pflanze: Bei diesem Zweig des Eingriffligen Weissdorns (Crataegus monogyna) ist der herbstliche Laubfall noch nicht abgeschlossen und schon schwellen wieder die Knospen (Zug, 10. März 2002). Photo Jürg Röthlisberger

Im späten Herbst und sogar im Winter ist die Pflanzenwelt nicht völlig inaktiv. Nach RÖTHLISBERGER (2008) gibt es allerdings in der Wildflora der Schweiz nur sehr wenige Winterblüher. Wenn jedoch statt der allgemeinen Blüte jedes beobachtete Blühen erfasst wird, können doch viele Winterblüher aufgezählt werden. Im Kanton Zug beispielsweise konnten von 1993 bis 1998 289 Arten erfasst werden (RÖTHLISBERGER 2001). Neben vielen andern lohnt es sich insbesondere, auf einige Arten zu achten, welche in den einschlägigen Floren allerdings nicht als Winterblüher gelten (Tabelle 32).Keine Frage: die Winter in Mitteleuropa werden milder, aber es bleibt für viele Pflanzen eine Vegetationsruhe erhalten. Phasen von Früh- und Spätblühern sind allerdings wenig geeignet, den Winter als Jahrszeit zu unterteilen, etwa in Früh-, Hoch- und Spätwinter. Dazu müssten wohl datierbare abiotische Elemente wie Schnee, gefrierende Gewässer und Nebel herangezogen werden (Abschnitt 5.3).

Blaugras	*Sesleria caerulea*
Grauerle	*Alnus incana*
Rasiges Hornkraut	*Cerastium caespitosum*
Hirtentäschel	*Capsella bursapastoris*
Erdbeer-Fingerkraut	*Potentilla sterilis*
Buchs-Kreuzblume	*Polygala chamaebuxus*
Wiesen-Kerbel	*Anthriscus sylvestris*)
Mohr-Rübe	*Daucus carota*
Purpur-Taubnessel	*Lamium purpureum*
Mauer-Leinkraut	*Cymbalaria muralis*
Persischer Ehrenpreis	*Veronica persica*
Grosse Margerite	*Chrysanthemum ircutianum*
Huflattich	*Tussilago farfara*
Löwenzahn	*Taraxacum officinale*
Dünnästiger Pippau	*Crepis capillaris*

Tabelle 32 : Mögliche Spät- und Frühblüher im Schweizer Mittelland (nach RÖTHLISBERGER 2008).

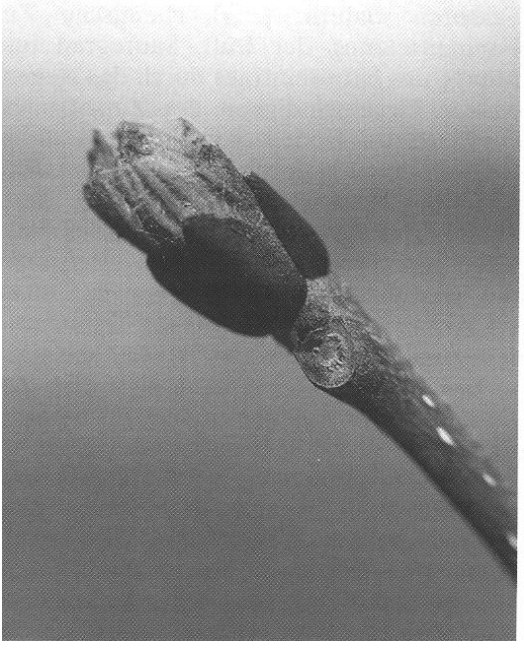


Abbildung 69: Blattknospe der Esche (Fraxinus excelsior) am Beginn des Austreibens: Jede Baumart besitzt Steuerungsmechanismen, damit sie einen Föhneinbruch im Januar nicht mit dem Frühlingseinbruch verwechselt, Aber wenn die Jahreszeiten immer wieder anders daher kommen, geraten auch solche Mechanismen ins Wanken (Photo Jürg RÖTHLISBERGER).

6 Produkte und Anwendungen – Beiträge und Ansätze

6.1 Anwendungen der Phänologie

Das Interesse an der Phänologie ist weltweit wieder deutlich gestiegen. In vielen wissenschaftlichen Publikationen konnte nachgewiesen werden, dass die globale Klimaänderung, insbesondere die Erwärmung weiter Erdteile der Nordhemisphäre im Frühling, die Vegetationsentwicklung stark beeinflusst. Es werden Trends zu immer früheren Eintrittsterminen der Phänophasen für die letzten Jahrzehnte beobachtet.

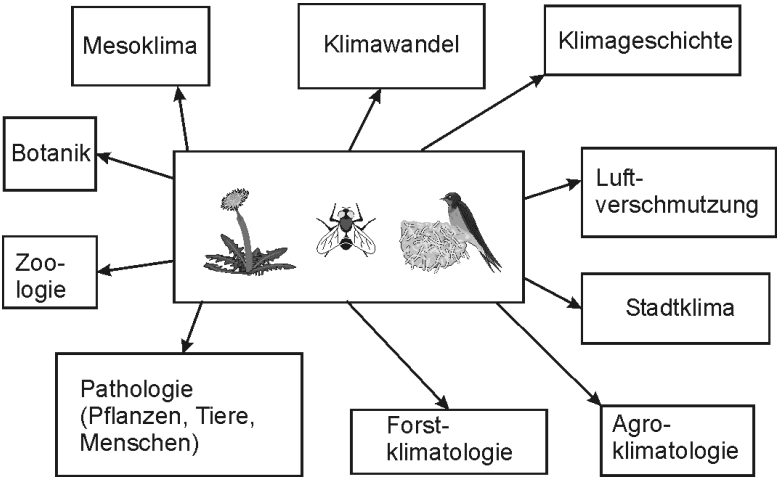


Abbildung 70: Anwendungsbereiche der Phänologie (aus JEANNERET 1997).

Die Phänologie ist eine nicht aufwändige aber aussagekräftige Methode, die klein- wie grossräumiges Biomonitoring ermöglicht. Anwendungsmöglichkeiten phänologischer Daten, Darstellungen und Ergebnisse drängen sich in folgenden Bereichen auf (Abbildung 70):

Anwendungen:

- klimatische Auswertungen,
- räumliche Charakterisierungen, insbesondere klimatische Kartierungen,

- raumplanerische Unterlagen,
- Umweltbeobachtung und -Überwachung (Monitoring),
- prognostische Arbeiten und Modellierungen insbesondere im Bereich Landwirtschaft und Gartenbau,
- landwirtschaftliche und forstkundliche Untersuchungen, insbesondere im phytosanitarischen Bereich,
- Untersuchungen von Zeitreihen, klimahistorische Untersuchungen, beispielsweise als Beitrag zur Diskussion des "Global Change",
- in der Medizin insbesondere pathologische, allergiologische und epidemiologische Anwendungen,
- spezifische Attraktionen im Bereich Freizeit und Tourismus.

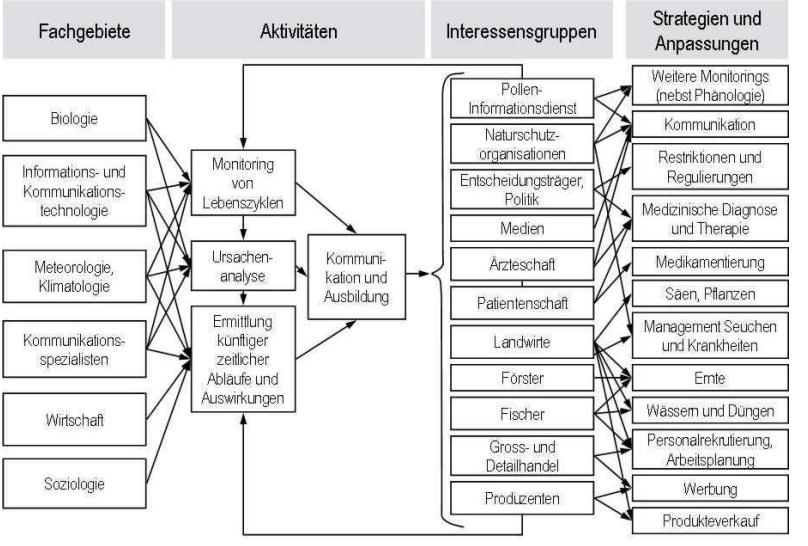


Abbildung 71 : Adaptationsprozesse der Phänologie im Kanon der Wissenschaften und Disziplinen, der Interessensgruppen und der erzielbaren Produkte (nach VAN VLIET in HUDSON und KEATLY 2010).

6.2 Phänologie und Pollen – Beitrag zur Allergologie

Ohne Phänologische Beobachtungen keine Pollenprognose

Windbestäubte Pflanzen entlassen ihren Pollen in die Atmosphäre. Voraussetzung dazu ist das Erreichen der phänologischen Phase der Blüte, wobei der leichte Pollen mit dem Wind über beträchtliche Distanzen

transportiert werden kann – bis hunderte oder tauende Kilometer (CLOT 2007). Die Pollenbelastung kann somit auch den phänologischen Stand ferner Gebiete widerspiegeln.

Um Pollen-Allergiker und Mediziner zu warnen werden aerologische Stationen mit Pollenfallen betrieben. In der Schweiz betreibt die MeteoSchweiz ein Netz von 14 Stationen, deren Daten für die Pollenprognose verwendet und als Pollenkalender dargestellt werden (Abbildung 72). Auch dort wird eine Verfrühung und Verlängerung der Pollensaison diskutiert (CLOT 2005).

Vorhersagen der Pollenkonzentration bedingen eine Vorhersage des Blühbeginns, der Pollenemission. Diese hängt von der Vegetationsverteilung, der Stand der Vegetation und dem Wetter ab. Der Blühbeginn der Birke (Abbildung 73) beispielsweise ist für Allergiker von grosser Bedeutung (PAULING 2007).

.

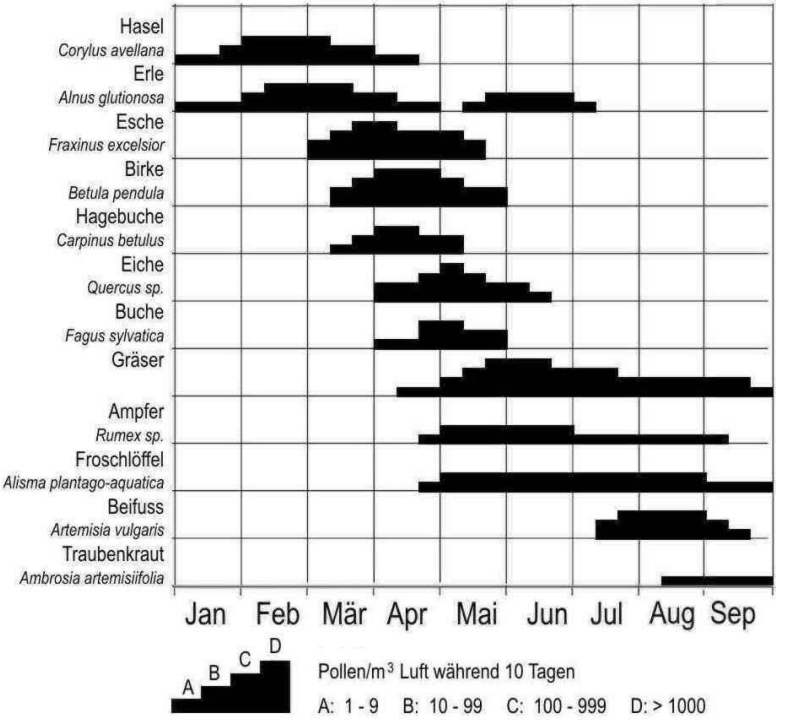


Abbildung 72 : Der mittlere Pollenkalender zeigt das Auftreten des Pollens in der Luft in verschiedenen Intensitäten. Die von August bis Oktober blühende Ambrosia (Traubenkraut) ist in der Schweiz zum Glück noch nicht weit verbreitet (nach CLOT 2007).

Abbildung 73: Der Blühbeginn der Birke als Herausforderung für die Pollenprognostiker.

6.3 Gebirgsphänologie

Phänologie in Gebirgsräumen

Gebirge sind komplexe Räume, kleingekammert und variantenreich, und insbesondere als Lebensräume für Pflanzen, Tiere und Menschen kontrastreich und durch Extreme geprägt. Die Vielfalt der Gebirgslandschaft macht die Erfassung der dominierenden Umweltfaktoren schwierig. In Bezug auf die atmosphärischen Bedingungen etwa sind Klimastationen im Gebirge meist nur für eine kleine Region repräsentativ, während meteorologische Messungen im Flachland durchaus für einen grösseren Perimeter Gültigkeit haben. Dies gilt auch für phänologische Beobachtungen, die im Gebirge vor allem die topo- oder geländeklimatischen Bedingungen widerspiegeln. Aber auch in Berggebieten können sie zwei Zielen zugeordnet werden: der Langzeitbeobachtung (*Monitoring*) und der räumlich intensiven Erfassung und Kartierung (*Assessment*).

Die Phänologie, generell in Gebirgen und insbesondere im Alpenraum, wird stark geprägt durch den Einfluss des Reliefs und somit von allen davon abhängigen Parametern. Alpine Lebensräume sind für eine sehr lange Zeit des Jahres mit Schnee und Eis bedeckt, was zu einer generell kurzen Wachstumsperiode führt (INOUYE und WIELGOLASKI 2003). Die

Phänologie wird somit dominiert vom Datum der Schneeschmelze. Höhenstufen limitieren nicht nur das Vorkommen, sondern führen infolge grosser Kontraste der Temperaturen und der Sonneneinstrahlung, der Bewölkung und der Niederschläge, der Böden und der Feuchtigkeit, der Schneebedeckung und der Länge der Vegetationsdauer im Jahresgang auch zu markanten Unterschieden in der Ausprägung der Jahreszeiten, die insbesondere durch die Pflanzenentwicklung im Frühling und im Herbst sichtbar wird.

Unterschiedliche Expositionen führen zu grossen Differenzen im Strahlungshaushalt und der Temperatur; lokale Kaltluftseen und frostexponierte Lagen, Lokalwinde und Starkniederschläge, die Verteilung der Schneedecke und die rauen Bedingungen auf Kreten und Gipfeln kennzeichnen eine grosse Variabilität von Umweltbedingungen. Das ausgeprägte Relief bietet neben lebensfeindlichen Bedingungen auch für die Pflanzenentwicklung einzelner Arten günstige Nischen auf kleinem Raum an.

Lückenhafte Daten von kurzer Dauer verwendete Gian GENSLER in seiner Dissertation, um pflanzenphänologische Höhengradienten unabhängig von Klima und Schneebedeckung zu erstellen (GENSLER 1946). Damit illustrierte er vor über 60 Jahren die eben erwähnten Grundlagen am Beispiel der Schweizer Alpen. Ein Höhendiagramm (Abbildung 74, linke Hälfte) zeigt das Eintreffen des Ergrünens, Erblühens, der Verfärbung und des Laub- und Nadelfalls von Lärche, Buche, Apfel und Kirsche auf der Alpennordseite im Vergleich zur Temperatur und der saisonalen („temporären“) Schneedecke für alle Monate von Januar bis Dezember. Die Lärchen und Buchen treiben ihre Blätter zwischen Mitte April (500 m ü. M.) und Ende Mai (1500-2000 m ü. M.) aus. Der Blattaustrieb beginnt immer nach Ende der kompletten Schneebedeckung der Talsohle (hier exemplarisch für Glarus) und folgt mit zunehmender Höhe in etwa der l0°-Isotherme. Mit zunehmender Höhe nähert sich der Blattaustrieb der temporären Schneegrenze oder Ausaperungsgrenze an. Auf 600 m ü. M. beträgt die Differenz 40 Tage, an der Waldgrenze noch zehn Tage. GENSLER bemerkt in der Beschreibung auch, dass Sonnenhänge die Differenz um knapp drei Wochen erhöhen, wogegen Schattenhänge die Differenz in gleichem Mass verringern. Die Temperatur ist nach GENSLER der entscheidende Faktor zum Blattaustrieb der Bäume. Die Begrünung der Wiesen jedoch ist stärker an die Dauer der Schneedecke gekoppelt. Im Mittelland ergrünen die Wiesen durchschnittlich 15 Tage nach der Ausaperung, zehn Tage danach auf 900 m ü. M. und einen Tag auf 1500 m ü. M. Mit zunehmender Höhe also verringern sich die zeitlichen Differenzen zwischen Pflanzenphänologie und Schnee. Im Herbst ist Laubverfärbung und -fall durchwegs an niedrigere Temperaturen gekoppelt.

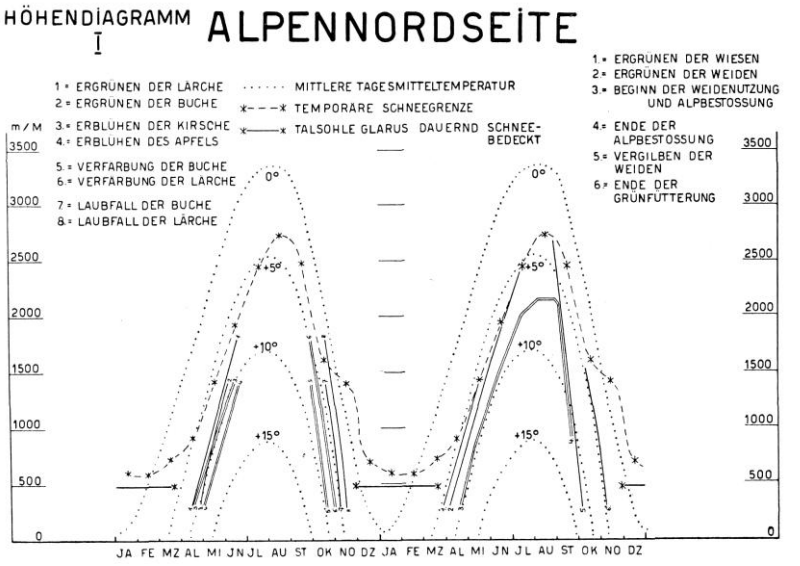


Abbildung 74 : Vergleich der mittleren Tagestemperatur, der Schneegrenze und verschiedener pflanzen- und landwirtschaftsphänologischer Phasen in einem Höhendiagramm (aus GENSLER 1946).

Phänologische Beobachtungen in den Schweizer Alpen

Auf der Datenbasis des nationalen phänologischen Beobachtungsnetzes der Schweiz seit 1951 konnten die Resultate GENSLERS mit einer grösseren Zahl von Pflanzenarten verglichen werden (DEFILA 1991). DEFILA und CLOT (2005) konnten 651 phänologische Zeitreihen von 19 Phasen und 67 Stationen auswerten und den linearen Trend berechnen. Sie richteten ihr Augenmerk bei der Beschreibung auf die Unterschiede zwischen Stationen, die tiefer als 600 m ü. M. (Tiefland; 52 Stationen) und höher als 1000 m ü. M. (Hochland; 15 Stationen) gelegen sind. Für den Frühling und Sommer stellten sie eine generelle Verfrühung der Phänologie fest, während sich die Blattverfärbung in diesem Zeitraum eher verspätete. Sie stellten mehr signifikante Trends bei Hochlandstationen (42%) als bei Tieflandstationen (33%) fest. Im Gegensatz dazu waren die Trends im Tiefland aber ausgeprägter als in den Bergen: Frühlingsphasen sind im Tiefland knapp drei Wochen (20 Tage) früher, im Hochland gut zwei Wochen (15 Tage).

STUDER hat die Schweizer Alpenphänologie systematischer und mit einer komplexeren statistischen Methode untersucht (STUDER et al. 2005). Sie beschreibt die Höhenabhängigkeit von 15 ausgewählten Pflanzenarten

und Phasen an 69 Stationen in der Schweiz für die Periode 1965-2002. Dank der grösseren Datenlage konnten die regionalen Unterschiede der mittleren phänologischen Entwicklung einer Station besser beschrieben werden. Grössere Kreise stellen einen stärkeren Trend der Verfrühung des Frühlings und somit der Klimaerwärmung über die Periode 1965-2002 dar und sind mehrheitlich entlang des Alpennordhangs und im Mittelland zu finden. Höher gelegene Stationen zeigen ein unklareres Bild, was sich in den Alpentälern in unterschiedlich grossen Kreisen äussert. Im Tessin sind die Trends auch eher schwach.

In dieser Arbeit wurde auch der Einfluss von Temperatur und Niederschlag berechnet. Der dominierende Faktor zur Entwicklung im Frühling ist die Temperatur. Statistische Analysen zeigten, dass sowohl der Trend der Phänologie als auch der Temperatureinfluss mit zunehmender Höhe über Meer überschätzt wird und in tieferen Lagen noch dominanter ist (RUTISHAUSER und STUDER 2007).

Phänologie an montanen und alpinen Standorten

Wo niemand wohnt, werden keine phänologischen Beobachtungen gemacht – die Netze widerspiegeln die Bevölkerungsdichte. Das phänologische Beobachtungsnetz der Schweiz enthält wegen der spärlichen Besiedlung der Alpen und der erschwerten Zugänglichkeit eine geringere Zahl an Gebirgsstandorten. Phänologische Karten von Gebirgsgebieten weisen aber auch viele weisse Flecken auf, weil in grösserer Höhe viele Pflanzenarten der gängigen Beobachtungsprogramme gar nicht mehr vorkommen. Trotzdem können wir in den Alpen die Saisonalität anhand von pflanzenphänologischen Daten analysieren. Die Beobachtungen in den Alpen sind rar, aber dadurch besonders wertvoll. Eine besondere Chance ergibt sich dort, wo beruflich engagiertes Personal die Natur ohnehin im Auge behält. Im Schweizer Nationalpark etwa werden seit 1994 phänologische Beobachtungen gemacht und von Parkwächtern in ihren Feldbüchern notiert. Eine Auswertung ist für das Jubiläum des Parks im Jahr 2014 geplant (DEFILA 2008, Abschnitt 3.5).

Eine umfangreiche Sammlung von Beobachtungen wurde im heutigen AIpengarten «Schynige Platte» angelegt und ausgewertet (GSCHWEND 2008, VITTOZ et al 2009). Der Alpengarten ob Wilderswil im Lütschinental (Berner Oberland) liegt auf einer Höhe von 1950-2000 m ü. M. mit einer Fläche von über 8000 Quadratmetern. Der Charakter der Beobachtungen an 15 alpinen Pflanzengesellschaften ist von der Umgebung und der Anwendung für biologisch-ökologische Fragestellungen geprägt. Die Beobachtungen sind mit den erhobenen Daten der nationalen phänologischen Netzwerke nicht direkt vergleichbar.

Einmalig sind die Beobachtungen aus den 1930er-Jahren, als von 1932 bis zum Ausbruch des Krieges die Blühphänologie von 179 Arten an 299 Standorten im Garten erfasst wurde. Alle Beobachtungen des Blühbeginns und der Vollblüte sind auf den Tag genau erfasst. Seit 1997 zeichnen die Gärtnerinnen und Gärtner die Phänologie der Pflanzen erneut auf. Am Sonntag werden erste Blüte, Vollblüte, letzte Blüte und Nachblüte von über 600 alpinen Pflanzenarten notiert. Die Nachblüte beschreibt dabei das nochmalige Blühen einer Art, nachdem die letzte Blüte schon lange registriert wurde. Blühkalender (GSCHWEND 2008) visualisieren Blühbeginn und -ende, sowie die Blühdauer der einzelnen Individuen.

Die Beobachtungsdauer ist noch zu kurz, um die zeitliche Entwicklung an der Waldgrenze zu überblicken. Für die Jahre mit vorhandenen Aufzeichnungen lässt sich für jedes Jahr die mittlere Erscheinungswoche und die Variabilität der einzelnen Arten aufzeigen (Abbildung 75).

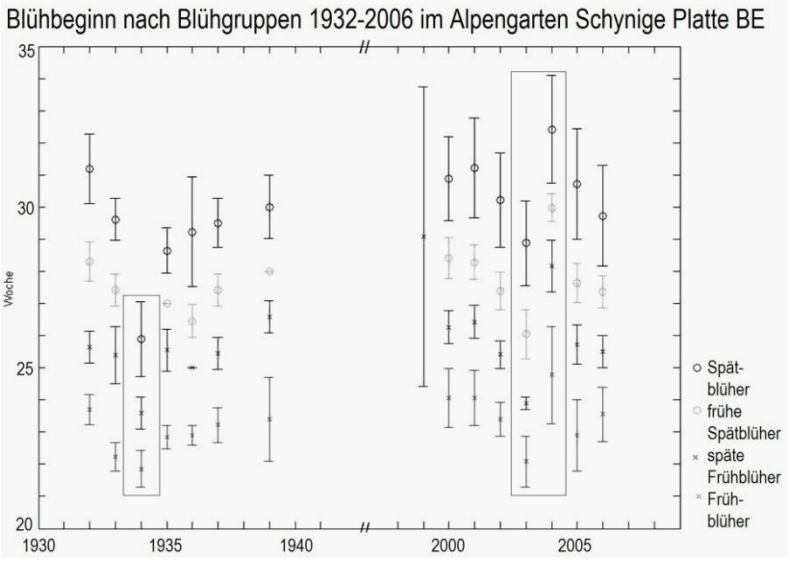


Abbildung 75 : Phänologische Beobachtungen an alpinen Pflanzenarten im Alpengarten Schynigen Platte, gruppiert nach Frühblüher, späte Frühblüher, frühe Spätblüher und Spätblüher. Zusammenfassung aller Blühgruppen der Beobachtungsjahre 1934-1939 und 1999-2006. Die Jahre 1934, 2003 (früh) und 2004 (spät) sind eingerahmt hervorgehoben (nach GSCHWEND 2008).

Ergänzend zum nationalen Schweizer phänologischen Netz wird eine Vielzahl von Beobachtungen in regionalen Netzwerken, bei Institutionen und von einer unbekannten Zahl von Menschen im stillen Kämmerchen (*closet observers*) erhoben. Die Beobachtungen sind denn auch weit verstreut. In den ersten Jahren des Schweizer Wetterbeobachtungsnetzes wurden in den Jahrbüchern ebenfalls pflanzenphänologische Beobachtungen publiziert (WOLF 1864-1873).

In der Periode 1864 bis 1873 wurden in der ganzen Schweiz nebst weiteren Obstbaumarten und Wildblumen 191 Beobachtungen der Kirschenblüte erfasst, gemeldet und veröffentlicht (RUTISHAUSER 2003). Diese Beobachtungen aus sechs der insgesamt neun Jahre mit publizierten Daten variieren zwischen 12 und 29 Stationen und sind entsprechend lückenhaft. Die Definitionen der zu beobachtenden Phasen sind unbekannt, obwohl Herausgeber Rudolf WOLF sehr umfangreich publiziert und informiert hat. Etwa gleichzeitig wie die Schweizerischen meteorologischen Beobachtungen SMB wurde das historische Waldnetz des Kantons Bern (1869) vom Bernischen Forstdienst initiiert; er erhob phänologische Beobachtungen, aber auch meteorologische Messungen im ganzen Kantonsgebiet (VASSELLA 1997). In 40 staatlichen Wäldern und an über 70 Standorten wurde die Phänologie von 48 Pflanzenarten festgehalten. Leider sind die Daten lückenhaft und schwierig zu interpretieren.

Das regionale phänologische Beobachtungsnetz BernClim seinerseits erhebt Daten seit 1970 in einem Querschnitt vom Jura durch das bernische Kantonsgebiets bis zur Alpensüdseite (MESSERLI et al. 1978, JEANNERET und RUTISHAUSER 2010). 1970 gegründet, sollte es ursprünglich Grundlagen für die Raumplanung liefern. Leider sind in diesen Daten Stationen über 1000 m sehr selten, womit Aussagen über das Berner Oberland schwierig werden. Immerhin liegt eine räumliche Modellierung mit einem Geographischen Informationssystem (GIS) vor (KOTTMANN 2008). Anhand der Karte der Löwenzahnblüte *(Taraxacum officinale)* können Möglichkeiten und Grenzen dieser räumlichen Extrapolationen veranschaulicht werden: die Modellierung ergibt für jeden Standort im räumlichen Raster einen Wert, der aber im Wald, auf Felsgebieten oder oberhalb der Wachstumsgrenze des Löwenzahns hypothetisch wird. Mit den vorhandenen Punktbeobachtungen zwischen Löwenzahnblüte und Länge, Breite, Höhe über Meer sowie der theoretischen Sonnenscheindauer und Schattenwurf kann die Blüte flächendeckend modelliert werden. Die Parameter des multivariaten Regressionsmodells konnten auch mit unabhängigen Beobachtungen verifiziert werden (Kreuzvalidierung).

Seit 2004 werden im Rahmen des Projektes «*Phénoclim*» (*Centre de Recherches sur les Ecosystèmes d'Altitude CREA, Observatoire du Mont-*

Blanc in Chamonix) phänologische Beobachtungen in Hochsavoyen und im Unterwallis erfasst und untersucht. *Phénoclim* ist Forschungs- und Ausbildungsprojekt zugleich (Abschnitt 6.8). Zum einen werden phänologische Beobachtungen in Gebirgslandschaften angestellt, anderseits sollen Mittelschüler mit wissenschaftlichem Arbeiten vertraut gemacht und für die Auswirkungen des Klimawandels in ihrem Lebensraum sensibilisiert werden.

Politische Grenzen als Hindernis für eine alpenweite Phänologie

In Zukunft ergeben sich in Gebirgen für räumliche Kartierungen (Assessments) und Langzeiterfassungen (Monitorings) gesonderte Erfordernisse und Anwendungsperspektiven. Dabei werden die mit Sensoren erfassten phänologischen Daten von digitalen Kameras und Satelliten eine wichtige Rolle für die räumlichen Aussagen spielen, insbesondere in höheren und unbesiedelten Gebieten. Für die Langzeitbeobachtungen werden historische Quellen vermehrt an Wert gewinnen. Es wird darum gehen, in Archiven und Institutionen nach Beobachtungen zu suchen, die seit alter Zeit von Landwirten, Mönchen, Naturforschern und Berggängern gesammelt und hinterlassen wurden. Ohne Vergleich der geschichtlichen Daten mit Augenbeobachtungen wird die Interpretation und Bewertung neuster Erhebungen in einer historischen Perspektive unmöglich sein.

Die Überwindung von Landes- und Sprachgrenzen bleibt für die Zukunft eine grosse Herausforderung. Der starke Einfluss des kulturellen Kontexts auf die Entstehung von Beobachtungsnetzen, die Auswahl der Arten und die Definition von phänologischen Phasen macht eine grenzüberschreitende Auswertung schwierig. Für die DACHS-Staaten (Deutschland [D], Österreich [A], Schweiz [CH] und Slowenien [S]) führte Nicole MEIER an der MeteoSchweiz (MEIER et al. 2000) eine erste Untersuchung durch. In länderübergreifender Alpenperspektive gewinnt die Interpretation phänologischer Beobachtungen an neuem Wert. Die Phänologie könnte so vermehrt den Eingang in Kartenwerken wie Landesatlanten finden – etwa dem Atlas der Schweiz und dem Klimaatlas der Schweiz, und künftig auch in alpenweiten Atlanten. Letztere überwinden die inneralpinen Landesgrenzen, sollten aber nicht mit der Alpengrenze den interessanten Blick auf das Um- und Vorland verwehren.

Der methodische Beitrag der historischen Klimaforschung und der historischen Phänologie im Speziellen unterstützt die Erschliessung und Interpretation wertvoller ökologischer Dokumente, die das Verständnis über den Einfluss der Umweltveränderungen auf die Saisonalität der Pflanzen nicht nur im Alpenraum fördert, vorausgesetzt, phänologische

Beobachtungen werden zukünftig auch in Gebirgsregionen erhoben. Neben der spezifischen Weiterentwicklung von Fernerkundungsmethoden und -produkten für die phänologische Interpretation bleibt die Voraussetzung, dass phänologische Beobachtungen weiterhin und vermehrt in Gebirgsregionen erhoben werden. Allerdings sind international standardisierte Beobachtungsanleitungen erforderlich, und zwar für alle Netze und Infrastrukturen, insbesondere auch für die Publikumsnetze (Abschnitt 2.3). Gebirgsphänologie bleibt eine grosse Herausforderung. Das heisst, in einem aussergewöhnlich komplexen Raum ist die Erfassung besonders extensiv ausgestattet.

6.4 Phänologie und Landwirtschaft

Die Landwirtschaft und Phänologie sind miteinander verbunden. Die Pflanzen stellen auch in der modernen Landswirtschaft ein Stück Natur dar, und insbesondere der Ackerbau lässt sich niemals ganz in Treibhäuser verlegen.

Landwirtschaft und Gartenbau – eine alte Geschichte modernisiert

Schon als Jäger und Sammler und erst recht als Ackerbauer beschäftigte sich der Mensch mit Phänologie: der Jahreszeitenrhythmus in der Natur gab ihm Anhaltspunkte über das Verhalten der Beutetiere, später in einer sesshaften Lebensweise über Nutzpflanzen und Haustiere. Phänologische Beobachtungen sind somit wohl die ältesten systematischen Umweltwahrnehmungen überhaupt, und spielten lange vor den meteorologischen und klimatologischen Messungen eine Rolle (Abschnitt 3.1, Tabelle 14). Letztere erlebten allerdings mit der Erfindung der Messinstrumente einen Boom, und dazu kamen später die Übermittlungsmöglichkeiten und die Modellierungstechniken, welche die anscheinend ungenaueren phänologischen Beobachtungen in den Schatten stellten. Landbau ist von Umwelt- und insbesondere von Wetter- und Klimabedingungen abhängig wie kaum ein anderer Wirtschaftszweig. Die traditionelle Landwirtschaft und in erster Linie der Ackerbau stützen sich auf phänologische Erfahrungen, denn diese vermitteln Erkenntnisse über Möglichkeiten, die Arbeiten auf dem Feld und im Garten zu optimieren.

In der Landwirtschaft existieren durch phänologische Beobachtungen seit Jahrtausenden Indikatoren, anhand derer der Stand der Vegetationsentwicklung festgehalten werden kann. Chronisten notieren seit dem 12. Jahrhundert phänologische Ereignisse in ihren Beobachtungsnotizen, um so extreme Temperaturanomalien zeitübergreifend vergleichen zu können. Basierend auf diesen Informationen planten die Bauern früher ihre

Feldarbeiten und sagten Erntetermine voraus. Sie konnten damit insbesondere Naturphänomene und spezifische Ereignisse, die jedes Jahr mehr oder weniger in der gleichen Reihenfolge auftraten, gezielt nutzen. So gibt beispielsweise eine Wiese seit jeher dann genügend Nährstoffe für den Weidegang der Rinder und Kühe her, wenn die ersten Fruchtbäume vollständig blühen.

In der Landwirtschaft finden sich historisch gesehen die ersten Anwendungen der Phänologie. Mit eigentlichen Beobachtungen konnten Voraussagen gewagt werden in Bezug auf die landwirtschaftlichen Arbeiten wie insbesondere Aussaat, Schädlingsbekämpfung und Ernte. So widerspiegeln viele Bauernregeln phänologische Erfahrungen. Gut bekannt ist die 100-Tageregel, mit aufgrund der Blüte der Weinrebe der Zeitpunkt der Reife vorausgesagt werden kann (in der Schweiz 105 Tage nach BLOESCH et al. 2009).

Seit dem Industriezeitalter versucht sich die Landwirtschaft von der Umwelt zu emanzipieren. Mit Sortenauswahl, Einsatz von Maschinen und chemischen Einwirkungen wurde ein möglichst wetterunabhängiger Anbau angestrebt, mit der Produktion im Treibhaus gipfelt. Dort können alle Umweltbedingungen künstlich erzeugt werden, Wärme, Feuchtigkeit und Licht werden nach Belieben eingestellt, und sogar der Boden kann künstlich hergestellt oder durch Nährlösungen ersetzt werden. Es werden immer mehr Treibhäuser gebaut, aber für den grossflächigen Acker- und Futterbau bleibt die Freilandproduktion unersetzlich.

In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts waren die phänologischen Beobachtungsnetze vor allem auf die landwirtschaftlichen Anwendungen ausgerichtet, so umfassten sie auch viele Phasen von Kulturpflanzen. Die Mechanisierung der Landwirtschaft und die vielfältige chemischen Hilfsmittel haben die Bedeutung der phänologischen Informationen für die Landwirtschaft reduziert. Zudem wurden durch den Einsatz von Maschinen die Erhebung von Erntedaten und die Vergleichbarkeit mit früheren Daten beeinträchtigt.

In Europa und Amerika war die phänologische Forschung auch noch in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts stark auf die landwirtschaftliche Anwendung ausgerichtet (LIETH et al. 1971). Die aufkommende Raumplanung nutzte für die Kartierung der Klimaeignung für die Landwirtschaft phänologische Unterlagen (SCHREIBER 1976, JEANNERET und VAUTIER 1977, PRIMAULT 1984, Abschnitt 3.5).

So ist es nicht erstaunlich, dass sich in Zeiten des globalen Klimawandels die historische Phänologie mit landwirtschaftlich relevanten Daten der Vergangenheit anschickt, Rekonstruktionen über die letzten Jahrhunderte zu machen, etwa der Daten der Kirschblüte (RUTISHAUSER 2009) oder der Weinernte (MARIANI et al 2009, CHUINE et al. 2004, LE ROY

LADURIE und BAULANT 1980, PFISTER 1985, CHMIELEWSKY 2003, SPRING et al. 2009). In Nordamerika und den Mittelmeerländern spielte die Baumwoll-Phänologie eine wichtige Rolle (TSIROS et al 2009, EL-ZIK und SAVACHERIAN 1979, MYGDAKOS + GEMTOS 1998, REDDY 1994). Damit erlangten landwirtschaftliche Phasen eine neue Bedeutung, obschon moderne Daten rekonstruiert werden müssen um Vergleiche mit früheren Jahrhunderten zu ermöglichen.

Die Konsequenzen des Klimawandels auf die Biosphäre und insbesondere Landwirtschaft und Gartenbau lassen sich mit phänologischen Reihen mit grosser Relevanz nachvollziehen, insbesondere die Verfrühung des Frühlings und die Verlängerung der Vegetationsperiode (DEFILA 2009).

6.5 Kastanienphänologie

Die Edelkastanie (*Castanea sativa* Mill, Abbildung 76.) ist dank der weiten Verbreitung für die Phänologie der Alpensüdseite sehr wichtig. Vor etwa 2000 Jahren durch die Römer am Alpensüdfuss eingeführt, wurden Kastanien bis in Höhen von 1200 m als Brotbaum kultiviert. Trotz dem Rückzug der Kastaniekultur im 20. Jahrhundert dominiert der Kastanienwald auf der Alpensüdseite bis auf 1000 m Höhe. Diese Baumart ist deshalb aus phänologischer Sicht besonders interessant und wurde 2006 ins phänologische Beobachtungsprogramm der MeteoSchweiz aufgenommen (CONEDERA 2007).

Der Höhengradient der Kastanienblüte beträgt im Tessin 40 m pro Tag (STANGA 1997). Allerdings ist ein grosser Unterschied zwischen den verschiedenen Kultursorten festzustellen, der bei der weiblichen Blüte bis 9 und bei der männlichen Blüte bis 19 Tage ausmachen kann (RUDOW und CONDEDERA 2000).

Die Edelkastanie ist auch auf der Alpennordseite bekannt, wo sie zwischen dem 12. und dem 17. Jahrhundert örtlich sogar häufig war. Im Zuge der Klimaverschlechterung des 17. Jahrhunderts verschwand ein Grossteil der nordalpinen Vorkommen. Im Chablais, in der Zentralschweiz und am Walensee wird sie aber erneut gefördert, und ehemalige Kastanienhaine werden restauriert als Belebung dieser in Vergessenheit geratenen Kultursysteme und markanter Landschaftselemente, sowie zur Sicherung der angepassten Sorten (RUDOW und BORTER 2007).

Abbildung 76: Restaurierter Kastanienhain (Selva) beim Sasso Corbaro oberhalb Bellinzona TI (Photo François JEANNERET).

6.6 Vogelphänologie

Phänologische Beobachtungen in der Vogelwelt

Die Vogelwelt erweist sich als sensibler Bio-Indikator für Klimaveränderungen, verschiedene Populationen senden allerdings unterschiedliche Signale aus. Verschiedenen Anpassungen und Flexibilität von Vogelarten führen zu unterschiedlichen Reaktionen auf sich wandelnde Klimabedingungen (NUBER und NAEF-DAENZER 2008).Verschiebungen von Klimazonen oder das Austrocknen von Gewässern können das Verbreitungsareal oder das Nahrungsangebot beeinflussen (SPARKS et al 2003).

Verschiebungen im Zugverhalten und im Brutbeginn verschiedener Vogelarten konnten dokumentiert werden. Dabei wirken Klimafaktoren auf ganze Ökosysteme, sie beeinflussen das Zusammenspiel der einzelnen Glieder von Nahrungsketten und bestimmen die Verbreitung und Zusammensetzung von Artengesellschaften.

Veränderungen in der Vogelphänolgie

Für den Beginn und den Verlauf von Bruten der Kohlmeise(*Parus major*) ist seit Anfang des 20. Jahrhunderts von Freiwilligen der Schweizerischen Vogelwarte Sempach ein einmaliger Datensatz von knapp 7300

Brutdaten gesammelt worden (Abbildung 77). Es hat sich dabei herausgestellt, dass die Gelegegrösse seit 1920 stetig abgenommen hat, und zwar um etwa 1,5 Eier (Abbildung 78). Klimafaktoren, Wetterbedingungen und die Phänologie der Waldvegetation beeinflussen die Produktivität der Kohlmeisen-Population stark (Abbildung 79).

Da die Wetterbedingungen besonders im Frühling sehr stark von den Druckverhältnissen über dem Nordatlantik (NAO) und Europa (NCP) beeinflusst werden, ergibt sich daraus auch, dass die globalen klimatischen Bedingungen über eine ganze Kette von Wirkungen die Nachwuchsrate der Schweizer Kohlmeisen beeinflussen (NUBER und NAEF-DAENZER 2007). Insbesondere bei gebirgigen Bedingungen geraten Vegetation und damit auch die Vogelwelt infolge der Klimaerwärmung in Bedrängnis, was zum Aussterben gewisser Arten führen kann. Zudem gerät der Fahrplan von Zugvögeln durcheinander. Langstreckenzieher, welche südlich der Sahara überwintern, zogen zu Beginn des 21. Jahrhunderts fast eine Woche früher weg als noch in den 1960er-Jahren, etwa der Trauerschnäpper, der Fitis, die Schafstelze und die Gartengrasmücke.

Abbildung 77 : Die Kohlmeise im Visier der Phänologen (Photo Vogelwarte Sempach).

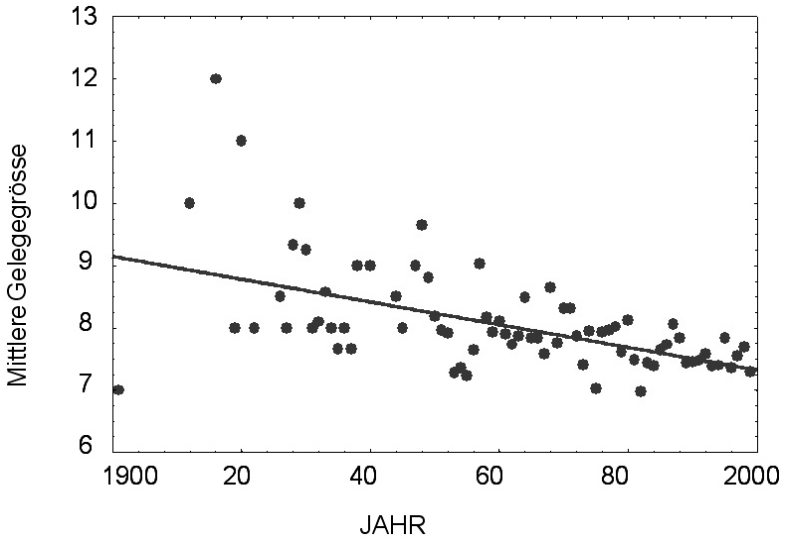


Abbildung 78: Die Gelegegrösse der Kohlmeisen (Anzahl Eier pro Nest und Saison) nahm im 20. Jahrhundert kontinuierlich ab.

Kurzstreckenzieher, die den Winter im Mittelmeergebiet verbringen, ziehen jedoch später als in früheren Jahren weg. So haben die Feldlerche, der Star und der Hausrotschwanz eine Verspätung von 7–10 Tagen. Dies ermöglicht den Vögeln eine zusätzliche Brut im Jahr aufzuziehen und somit mehr Junge zu produzieren. Die Klimaerwärmung könnte sich für Kurzstreckenzieher positiv auswirken, für Langstreckenzieher könnte es hingegen längerfristig zu Problemen führen, weil sie früher wegziehen und die Trockenzeit in der Sahelzone ebenfalls früher einsetzt und somit Nahrungsengpässe in den wichtigen Rastgebieten entstehen (NUBER und NAEF-DAENZER 2007).

Vogelphänologische Beobachtungen in Österreich

In Österreich werden an der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) in Wien die Eintrittszeitpunkte einiger tierphänologischer Phasen gesammelt, darunter die Phasen „Erste Rauchschwalbe“, „Erster Kuckucksruf“ und „Alle Schwalben fort“ (SCHEIFINGER, KOCH und WINKLER 2007).

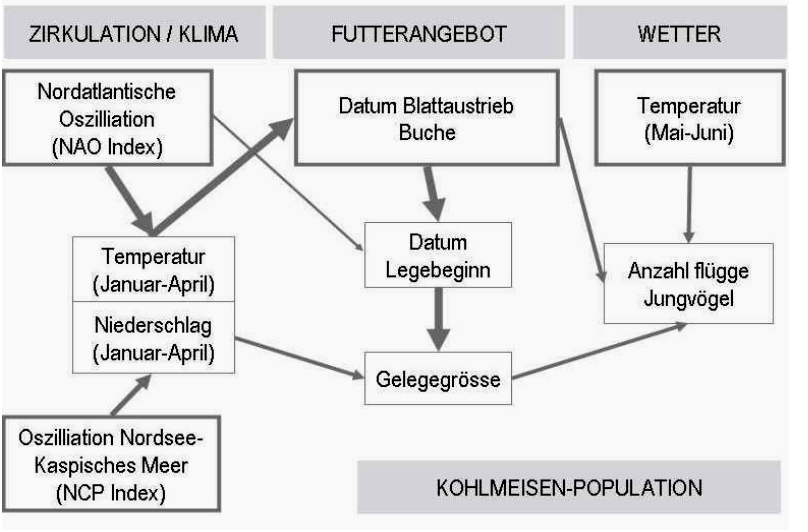


Abbildung 79: Einflüsse auf den Brutzeitpunkt und die Produktivität von Kohlmeisen. Nordatlantische Oszillation (NAO) und Oszillation zwischen Nordsee und dem Kaspischem Meer (NCP) beeinflussen die Temperatur und Niederschläge zwischen Januar-April. Das Datum des Blattaustriebs der Buchen ist wiederum von den Temperaturen abhängig. Die Buchenphänologie bestimmt in der Folge Legedatum und Gelegegrösse und beeinflusst so auch die Anzahl ausfliegender Jungvögel. Das Modell basiert auf Daten von 1948-99. Die Pfeildicke symbolisiert die Bedeutung der Einflüsse an.

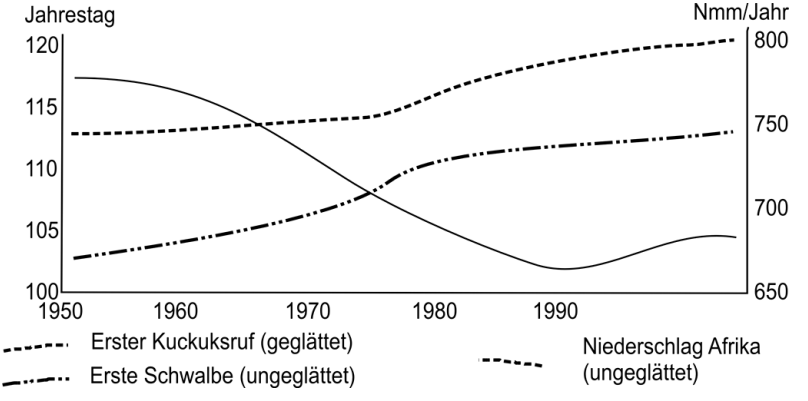


Abbildung 80: Geglättete Zeitreihen des ersten Kuckucksrufes, der ersten Rauchschwalbe und der jährlichen Niederschlagssumme (April des Vorjahres bis März des Beobachtungsjahres) über dem afrikanischen Gebiet 5°-30°Nord und 0°-20°Ost.

Die ersten Schwalben erreichten Österreich jeweils in der Zeit von 1951 bis 1999 Mitte April (Abbildung 80). Ihre Ankunftszeiten staffeln sich von Süden nach Norden um etwa 40 bis 200 km pro Tag. Die Kuckucke erreichen das Land zuerst im Südosten und treffen später im Nordosten ein. Alle Vogelphasen sind in tieferen Lagen früher als in höheren, und zwar die Schwalben mit 110 bis 230 Höhenmeter pro Tag und die Kuckucke mit 100 bis 120 m pro Tag. Der Schwalbenabflug ist unabhängig der Höhe, setzt im Norden an und verschiebt sich mit etwa 70 km pro Tag Richtung Süden.

Die langfristigen Trends (Abbildung 80) sind aus methodischen Gründen – Unsicherheiten und Lücken der Daten – mit Vorsicht zu interpretieren. Die gemittelten österreichischen Kurven lassen sich am ehesten mit den Temperaturen und der Luftdruckverteilung als Mass für die Windgeschwindigkeiten erklären (SCHEIFINGER, KOCH und WINKLER 2005). Dabei erweist sich, dass der Niederschlag im Überwinterungsgebiet die Ankunftszeit in Europa bestimmt.

6.7 Jahrringe und Phänologie

„Steckt in Jahrringen ein phänologischer Kalender vergangener Zeiten?“ fragt Patrick FONTI von der WSL Birmensdorf. Die Frage ist deshalb besonders wichtig, weil phänologische Beobachtungen im Nachhinein nicht rekonstruierbar sind, während Jahrringe als Archive erhalten bleiben und jederzeit analysiert werden können (FONTI 2007).

Jahrringe enthalten auch Information über die Wetterbedingungen der verschiedenen Jahre im Leben von Bäumen. Anatomische Merkmale von Holzzellen – Zellgrösse, -Form und -Anzahl – widerspiegeln die Witterung. Die Grösse der Frühholzgefässe, der Wasser leitenden Zellen, werden im Frühling gebildet und widerspiegeln der Temperaturbedingungen dieser Jahreszeit (FONTI und GARCIA-GONZALES 2008).

Im schweizerischen Mittelland – in Grossaffoltern BE - wurde ein Versuch einer gemeinsamen Auswertung phänologischer, meteorologischer und anatomischer Daten für drei Baumarten unternommen. Datenreihen von 1977 bis 2006 waren verfügbar, die dendrochronologischen Untersuchungen an Eichen (*Quercus robur*), Buchen (*Fagus silvatica*) und Kirschbäumen (*Prunus avium*) gegenüber gestellt wurden (OBRECHT 2008). Analoge Signale von Temperaturen und Niederschlägen finden sich in holzanatomischen Parametern, was die Hypothese unterstützt, dass beide Faktoren auf dieselben Umweltfaktoren ansprechen. Allerdings sind Korrelationen mit holzanatomischen Parametern und phänologischen Daten lediglich artenabhängig für einige Parameter signifikant. Die Anzahl von Frühholzgefässen und der totalen wasserführende Gefäs-

se beim Kirschbaum stellen die besten Beziehungen mit entsprechenden phänologischen Beobachtungen dar. Eine weitere signifikante Korrelation ergab sich für die mittlere Gefässfläche von Eichen mit dem allgemeinen Blattaustrieb.

In einem Querschnitt durch das Lötschental (Walliser Alpen) zeigen Lärchen (*Larix decidua*) anhand von Baumringanalysen und phänologischen Beobachtungen zwischen 1350 und 2000 m eine mit der Höhe abnehmende Dauer der Vegetationszeit von 137 bis 101 Tagen pro Jahr (MOSER et al. 2010). Der Beginn der Vegetationszeit verspätet sich um 3 bis 4 Tage pro 100 m Höhendifferenz, das Ende dagegen ist kaum Höhenabhängig.

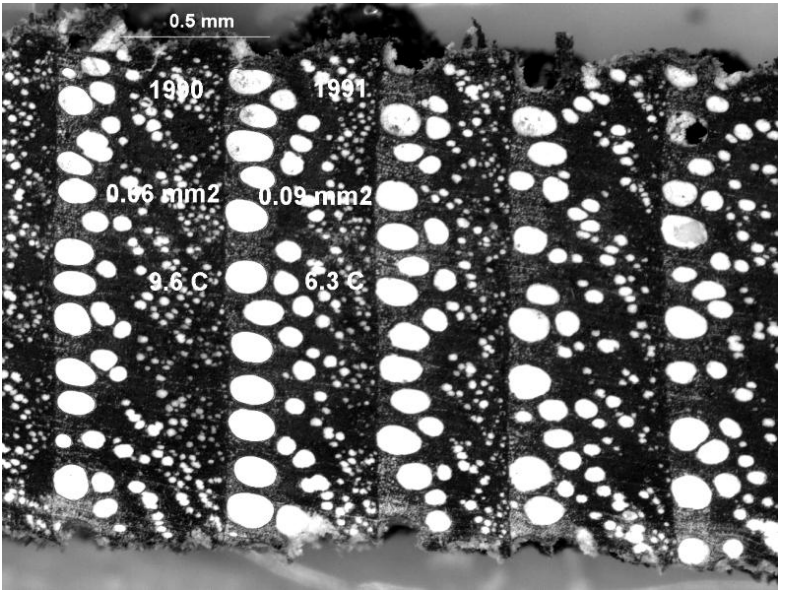


Abbildung 81: Querschnitt eines Kastanienbohrkerns. Die Wasserleitungen erscheinen weiss. Gefässe die im warmen Frühling 1990 (Mitteltemperaturen Februar und März = 9.6 C) gebildet wurden, weisen eine kleinere mittlere Querschnittsfläche von 0.06 mm² auf als diejenigen des kalten Frühlings 1991 bei 6.3 C und 0.09 mm² (aus FONTI 2007).

6.8 Phänologie in der Schule – Beobachtungen im Unterricht

Klimawandel anschaulich und engagiert

Phänologische Beobachtungen sind relativ einfach, naturnah und verursachen kaum Kosten – es ist naheliegend, dass sie auch in der Schule Anwendung finden kann. Phänologie ist interdisziplinär, womit sie in verschiedene Fächer integriert oder auch fächerübergreifend praktiziert wird. So gibt es sicher viele, meist unbekannte und unvernetzte Lehrpersonen, die Daten mit ihren Klassen erhoben haben. Es ist wichtig, dass im Hinblick auf die Datenqualität die Beobachtungen der Schülerinnen und Schüler beaufsichtigt und begleitet werden.

Schülerinnen und Schuler können mit Beobachtungsaufgaben in der Natur an einen ganzheitlichen Ansatz zu Umweltproblemen herangeführt werden. Es geht um die Schulung der Wahrnehmung, Erkennen von Veränderungen und um Auseinandersetzung mit dem Wandel. Die Bewusstseinsbildung in Bezug auf die Jahreszeiten und den Klimawandel wird mit phänonologischen Beobachtungen und deren Auswertungen intensiv gefördert.

Es gibt auch organisierte und institutionell verankerte Ansätze, wie etwa das regionale topoklimatische Projekt BernClim, das 1971 startete und an welchem sich viele Lehrkräfte beteiligten (MESSERLI 1978, siehe auch Abschnitt 3.5). Keine Initiative ist aber so umfassend wie das weltweite GLOBE-Programm.

Zur Förderung des Verständnisses über die Zusammenhänge in unserem System Erde und der Sensibilisierung einer nächsten Generation für die Nachhaltigkeit wurde 1994 GLOBE in den USA unter dem Patronat des damaligen Vizepräsidenten Al GORE lanciert. Getragen wird das amerikanische und internationale Programm GLOBE (*Global Learning and Observations to Benefit the Environment*) durch das Aussenministerium der Vereinigten Staaten (*U.S. Department of State*), die Raumfahrtbehörde NASA sowie Forschungsanstalten und Hochschulen. In zahlreichen Ländern der Welt sind nationale Ableger entstanden, die durch Regierungsstellen und Firmen ihres Landes unterstützt werden, und auch die Weltorganisation für Meteorologie (*World Meteorological Organization WMO*) unterstützt seit 2007 GLOBE in seiner Umsetzung des Programms in den einzelnen Ländern.

GLOBE ist ein weltweites Programm, das Forschung und Bildung im Bereich Umwelt miteinander verknüpft. Schüler, Lehrer und Wissenschaftler arbeiten gemeinsam daran, durch langfristige Beobachtung umweltrelevanter Parameter ein tieferes Verständnis über das Zusam-

menwirken der einzelnen Umweltkompartimente Klima, Wasser, Boden und Pflanze zu erreichen. Schulen in der ganzen Welt bilden ein dichtes Messnetz zur regelmässigen Erhebung umweltbezogener Daten (VOGEL 2005). 2010 beteiligen sich weltweit 23‘000 Schulen mit 1,5 Mio. Schülerinnen und Schülern in 111 Ländern an GLOBE-Aktivitäten.

Phänologische Beobachtungen in der Schule

An der Sekundarschule Uzwil (SG) werden seit 2003 phänologische Beobachtungen angestellt (EUGSTER 2006), zunächst am Wohnort der Schülerinnen und Schüler, ab 2006 auf dem Schulgelände. Die mit Kabelbindern markierten Äste werden im Rahmen der GLOBE-Anleitung erfasst (Abbildung 82). Ferner wurde 2005 ein kleiner phänologischer Garten mit von GLOBE-Deutschland gezogenen Pflanzen angelegt Die Beobachtungsergebnisse werden von den Schülerinnen und Schülern direkt in die GLOBE-Homepage eingegeben. Danach wird eine Karte (Web-GIS) erzeugt.

Abbildung 82: "Green-up" in Uzwil. Japanischer Blumenhartriegel (Cornus kousa) am 11. April (links) und am 6. Juli 2005. Die gelben Markierungen helfen den Schülern, die beobachteten Äste wieder zu finden. Photos Markus EUGSTER

Die Integration phänologischer Beobachtungen in den Schulalltag ist allerdings nicht ganz einfach. Das Thema ist im Lehrplan nicht vorgesehen, es muss in allfällige Freiräume platziert werden und es steht nur wenig Unterrichtszeit zur Verfügung. Etliche phänologische Phasen fallen oft in die Frühlings- oder Herbstferien. Markierungen und meteorologische Instrumente sind im Schulareal Vandalismus ausgesetzt. Schliesslich beteiligen sich nur relativ wenige Schulen an den phänologischen Beobachtungen von GLOBE, so dass Vergleichswerte selten sind – und damit fällt ein wichtiger Ansporn weg. Die Einführungskurse für Lehrkräfte sind dagegen eine wertvolle Motivation.

Mit der Kampagne um die Haselphänologie wird ab 2011 ein neuer Impuls ausgelöst. An diesen Kampagnen werden auch nicht eingeschriebene Schulen zugelassen. Dem Hasel folgen weitere Strauch- und Baumarten, Kräuter und Zugvögel. Die Beobachtungen können in eine gemeinsame Datenbasis (PhaenoNet, Kapitel 9) eingegeben werden, die auch Daten anderer Netze aufnehmen kann.

Abbildung 83 : Der phänologische Garten im Areal der Sekundarschule Uzwil SG (Photo François JEANNERET).

Abbildung 84 : In der Sekundarschule Uzwil entsteht ein phänologischer Garten mit Pflanzenklonen. Virginische Zaubernuss (Hamamelis virginiana, Photo Markus EUGSTER).

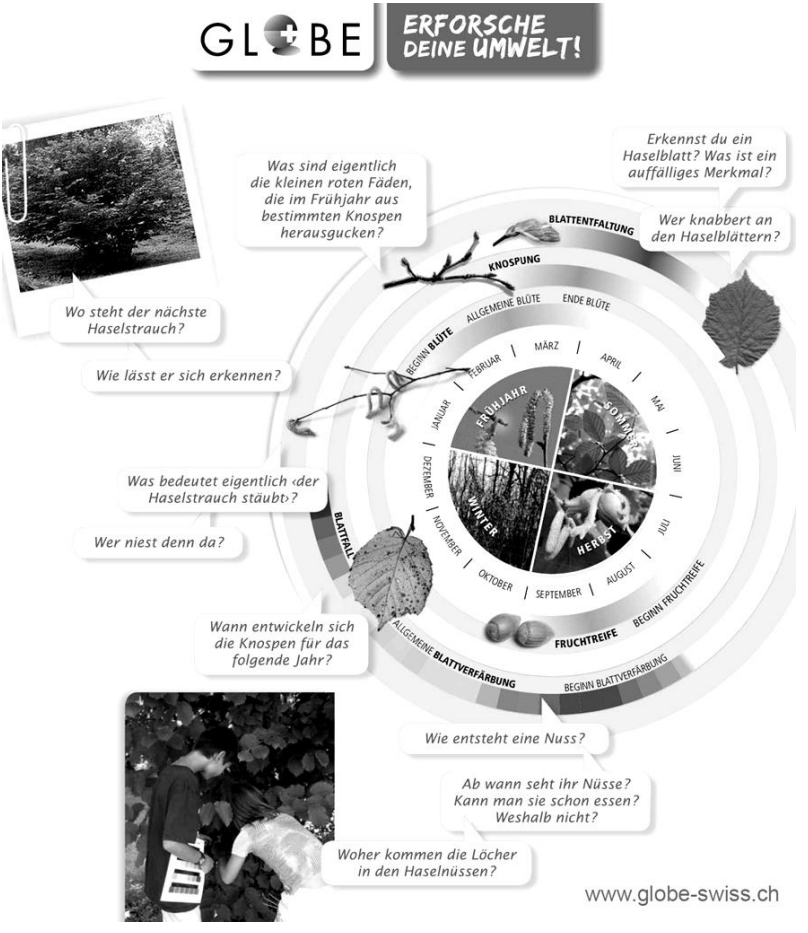


Abbildung 85 : Mit der Haselkampagne will GLOBE Schweiz eine breit gestreute Phänologie-Aktion in- und ausserhalb der Schulen begründen, die die Ziele von GLOBE unterstützt (Graphik GLOBE Schweiz).

Wissenschaft, Schulen, Publikum – das Programm Phénoclim

Das Forschungszentrum für Hochland-Ökosysteme in Savoyen (*Centre de Recherches sur les Ecosystèmes d'Altitude CREA* in Chamonix) startete im Herbst 2004 das Wissenschafts- und Schulprojekt «Phénoclim», das die Bevölkerung in den Französischen und Walliser Alpen für die Beobachtung des Einflusses des Klimawandels motivieren soll (MA-

THIEU 2006, Abschnitt 6.3). Schülerinnen und Schüler, Freiwillige und Vereinsmitglieder erheben meteorologische Parameter und beobachten typische und verbreitete Gebirgspflanzen: Fichte, Lärche, Birke, Esche, Vogelbeere, Haselstrauch, Flieder, Schlüsselblume und Huflattich.

Das Projekt «*Phénoclim*» will mit Hilfe von phänologischen Beobachtungen die Teilnehmenden für die Naturbeobachtung sensibilisieren. Dabei können die Einflüsse des Klimawandels auf lokaler Ebene untersucht werden. Gleichzeitig bietet das Projekt eine Möglichkeit, die Welt der Forscher und ihre Arbeit kennenzulernen und die Lust auf eigene Forschung anzustacheln. Ausserdem soll das Verständnis für ein aktuelles Thema geweckt und der Stand der Forschung in Bezug auf den Klimawandel vermittelt werden.

Das Programm «*Phénoclim*» konzentriert sich auf die drei Jahreszeiten Herbst, Winter und Frühling. Für jede Jahreszeit werden, nach den Vorgaben des Beobachtungsbogens des Zentrums CREA, Beobachtungen von verschiedenen Pflanzenarten angestellt. Zudem stehen weitere Lehrmittel zur Verfügung, und auf einer Internetseite können die Beobachtenden ihre Resultate miteinander vergleichen (Erfassung der Daten, Herunterladen von Dokumenten und der Vorstellung der Ergebnisse, siehe Kapitel 9). Viermal jährlich erscheint ausserdem ein Rundbrief.

Ein wichtiger Teil des Projekts ist die Zusammenarbeit mit Schulen. Jede Klasse, die bei «*Phénoclim*» mitmacht, wählt aus zehn vorgeschlagenen Pflanzenarten drei aus, an denen sie die phänologischen Phasen Blattverfärbung, Blattfall, Knospung, Blattaustrieb und Blüte beobachtet. Die Beobachtungen werden anschliessend am CREA wissenschaftlich ausgewertet. Ferner ist das CREA auf Verlangen den Schulen bei der Einrichtungen der Beobachtungsflächen und der Auswertung der Ergebnisse behilflich. Seit Herbst 2004 nehmen auch Klassen aus dem Unterwallis am Projekt teil.

7 Phänologie und Saisonalität – ein Ausblick

Moderne Menschen leben vermehrt in Städten und mit viel Komfort, sie verbringen immer mehr Zeit mit Arbeiten, Wohnen und Freizeitbeschäftigungen in geheizten oder gekühlten Räumen, also in einer künstlichen Umgebung. Die Landwirtschaft versucht ebenfalls, sich von den Launen der Natur zu befreien, beispielsweise mit einer Verlagerung in Treibhäuser, wo die Lebensbedingungen nach Belieben gesteuert werden können. Auch Sport und Tourismus versuchen seit Längerem, die Beschränkungen durch Klima und Wetter zu umgehen, etwa mit Hallenbädern, Kunsteisbahnen und technischer Beschneiung.

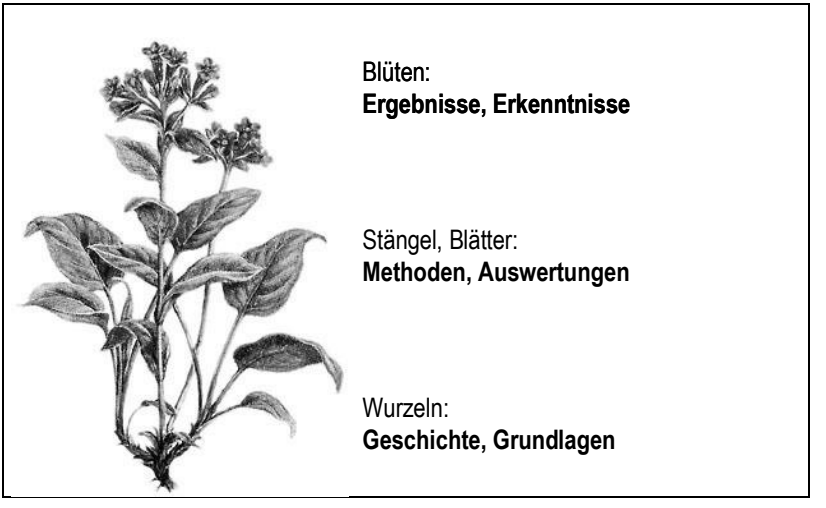


Abbildung 86: Originalität, Relevanz, und Mehrwert der Phänologie, symbolisiert mit den Organen einer Pflanze.

Und doch kann sich die Menschheit der Natur nicht ganz entziehen, insbesondere dem Wechselspiel der warmen, kalten, feuchten und trockenen Jahreszeiten vermag sie sich nicht zu entziehen. Umso mehr ist sie auf die Erfassung und Charakterisierung der sich jährlich ähnlich wiederholenden Abläufe angewiesen. Phänologie und Saisonalität haben viel zu bieten – aber ihre Akteure sind nicht immer erfolgreich in der Kommunikation und Darlegung von Ergebnissen und Leistungen ihrer Disziplin und unterliegen oft im unerbittlichen Kampf um Forschungsmittel. Es mangelt an Profilierung, Präsenz in Lehre und Forschung, im Alltag und in den Medien, in den erfolgreichen und anerkannten Anwen-

dungen. Aber die Phänologie als Disziplin hat ihre augenscheinlichen Wurzeln, Stängel, Blätter und Blüten (Abbildung 86). Die Phänologie hat ein grosses Potential, aber kennt auch ihre Grenzen – und daraus leiten sich ihre Kernkompetenzen ab (Tabelle 33).

Operative Vorteile: • Low Tech, wenig Infrastruktur, schnell implementiert • Omnipräsenz von Beobachtungsobjekten • Lange Beobachtungstradition • low Cost (für die Beobachtungen) • …	**Inhaltliche Kernkompetenzen:** • Interdisziplinarität in Methodik, Interpretation und Auswertung • Lange Beobachtungstradition (Monitoring) • Ganzheitlichkeit der Ansprache (insb. Organismen) • Indikatoren für die Komplexität der Umweltfaktoren • Saisonalität als integrativen Ausdruck • Raumkompetenz (Kartierungen) • Archive (Herbarien, Photos, Baumringe…) • Unmittelbare Anwendbarkeit (z. B. Biologie, Landwirtschaft, Medizin, Raumplanung, Tourismus…) • …
Operative Nachteile: • Subjektivität der Beobachtungen • Rekrutierung der Beobachtenden • Verbreitung der Arten • Schwierigkeit der internationalen und globalen Vergleiche • Wenig Bekanntheit und Prestige • Kaum spezifische Ausbildungsangebote • …	

Tabelle 33: Möglichkeiten, Grenzen und Kernkompetenzen der Phänologie

Eigentlich wären die Phänologinnen und Phänologen gut beraten, nicht nur ihr Fach neu zu definieren, sondern auch griffigere, aussagekräftige und vor allem standardisierte Bezeichnung zu schaffen, die die Betonung auf die Jahrezeitlichkeit setzt. Aber eben: eingebürgerte Namen und Begriffe lassen sich nicht so leicht austauschen. Es kann nicht sein, dass diese mit vielen Vorteilen gesegnete Disziplin im Schatten exakterer Methoden ihren Beitrag nicht leisten darf, den sie für die Lösung von Problemen unserer Zeit leisten könnte. Die Menschheit kann versuchen sich der Natur weitgehend zu entziehen, es wird ihr aber nie gelingen die Jahreszeiten völlig auszuschalten. Um weiterhin damit zu leben, ist sie gut beraten, die unausweichlichen aber sich verschiebenden Jahreszyklen möglichst gut zu kennen – also Phänologie und Saisonalität im weiteren Sinn im globalen Wandel zu betreiben.

8 Bibliographie

Zitierte Literatur und Zusatzangaben. Siehe auch PHEbib, die Online-Bibliographie unter http://www.phenology.unibe.ch/

8.1 Handbücher und Monographien zur Phänologie

HUDSON Irene, L.; KEATLEY, Marie R. (Eds.), 2010: *Phenological Research: Methods for environmental and climate change analysis*. Springer.Dordrecht, Heidelberg, New York: 520 S.

LIETH, Helmut, 1974: *Phenology and Seasonality Modeling.* Springer New York: 444 S.

ROSENKRANZ, Friedrich, 1951: *Grundzüge der Phänologie. Mit bes. Berücks. v. Österreich. Die period. Erscheinungen in d. belebten Natur, ihre Darstellung, Erklärung u. Bedeutung f. Wissenschaft u. Praxis*. Fromme Wien: VII, 68 p.

SCHNELLE, Fritz, 1955: *Pflanzen-Phänologie*. Akademische Verlagsgesellschaft Leipzig: 299 S.

SCHWARTZ, Mark D. (ed.), 2003: *Phenology: An Integrative Environmental* Science. Kluwer Dordrecht: 563 S.

SEYFERT, Franz, 1960: *Phänologie*. Die neue Brehm-Bücherei 255. Ziemsen Wittenberg Lutherstadt: 103 p. Nachdruck 2007: Westarp-Wiss.-Verl.-Ges Hohenwarsleben

8.2 Bibliographie

AHRENDS, Hella Ellen; BRÜGGER, Robert; STÖCKLI, Reto; SCHENK, Jürg; MICHNA, Pavel; JEANNERET, François; WANNER, Heinz; EUGSTER, Werner, 2008: *Quantitative phenological observations of a mixed beech forest in northern Switzerland with digital photography*. Journal of Geophysical Research, Biogeosciences: 113

AHRENDS, Hella Ellen; ETZOLD, Sophie; KUTSCH, Werner L.; STÖCKLI, Reto; BRÜGGER, Robert; JEANNERET, François, WANNER, Heinz, BUCHMANN, Nina; EUGSTER, Werner, 2009: *Tree phenology and carbon dioxide fluxes: use of digital photography for process-based interpretation at the ecosystem scale.* Climate Research 39: 261-274

ANDERSON, P.W., 2000: *The Greatest Inventions of the past 2000 years*, Editor: John Brockman:166 p. ff.

ARORA, V. K. and BOERS, G.J., 2005: *A parameterization of leaf phenology for the terrestrial eco-system component of climate models.* Global Change Biology 11(1): 39-59.

Atlas der Schweiz = Atlas de la Suisse = Atlante della Svizzera 2004 Bundesamt für Landestopographie (swisstopo), Institut für Kartographie der ETH-Zürich, ETH-Rat; hrsg. im Auftrag des Schweizerischen Bundesrates Aus-

gabe Version 2.0 Bern: Bundesamt für Landestopographie, 2 CD-ROM + Begleitheft: 64 S.

BENDIX, Jörg, 2004: *Geländeklimatologie*. Studienbücher Geographie. Bornträger Berlin-Stuttgart: 282 S.

BERGHAUS, Margot, 2004: *Luhmann leicht gemacht. Eine Einführung in die Systemtheorie,* UTB-M: 302 S.

BLÜTHGEN, Joachim; WEISCHET, Wolfgang, 1988: *Allgemeine Klimageographie*: de Gruyter, Berlin: 887 S.

BRECKLE, Walter S., 2002[4]: *Walter's Vegetation of the Earth. The Ecology Systems of Geo-Biospere.* Springer Berlin: 527 S.

BREVIGLIERI, N., 1951: *Ricerche sulla biologia fiorale e di fruttificazione della Castanea sativa e Castanea crenata nel territorio Vallombroso*. Centro Studi sul Castagno 1: 15-50.

BRÜGGER, Robert, 1997: *Phänologie von Buche und Fichte: Beobachtungsmethode und Vergleich mit dem Temperaturverlauf und der Kronenverlichtung*. Umwelt-Materialien BUWAL Bern, 73: 77-149

BRÜGGER, Robert, 1998: *Phänologie von Buche und Fichte: Beobachtung, Variabilität, Darstellung und deren Nachvollzug in einem Modell.* Geographica Bernensia, G49: 186 S.

BRÜGGER, Robert,; DOBBERTIN, Mathias; KRÄUCHI, Norbert, 2003: *Phenological variation of forest trees*. In: M.D. Schwartz (Ed.), *Phenology: An Integrative Environmental Science*. Tasks for Vegetation Science, 39; Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 255-267

BRÜGGER, Robert; JEANNERET, François, 2003: *The phenological bibliography; a contribution to the European Phenology Network EPN*. University of Berne, Institute of Geography: 22 p.

BRÜGGER, Robert; STUDER, Sibylle; STÖCKLI, Reto, 2007: *Die Vegetationssentwicklung erfasst am Individuum und über den Raum.* Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen. 158 (7): 221–228

BRÜGGER, Robert; VASSELLA, Astrid, 2003: *Pflanzen im Wandel der Jahreszeiten. Anleitung für phänologische Beobachtungen; Les plantes au cours des saisons. Guide pour observations phénologiques.* Geographica Bernensia, Bern: 287 S.

BRÜGGER, Robert; VASSELLA, Astrid, 2003: *Pflanzen im Wandel der Jahreszeiten. Anleitung für phänologische Beobachtungen; Les plantes au cours des saisons. Guide pour observations phénologiques.* Geographica Bernensia, Bern: 287 S.

BRUNS, Ekko; VAN VLIET, A. J.H. 2003: *Standardisation of phenological monitoring in Europe.* European Phenology Network Wageningen University and Deutscher Wetterdienst: 79 S.

BRUNS, Ekko; VAN VLIET, Arnold .J. H. 2003*: Standardisation and observation methodologies of phenological networks in Europe*. Wageningen University, German Weather Service, Wageningen, Offenbach: 79 S.

BUCHER, F., 1993: *Dokumentation über die Aufbereitung der Phänologiedaten des GIUB-Beobachtungsnetzes.* Geographisches Institut der Universität Zürich (Manuskript): 11 S.

BUCHER, F.; JEANNERET, François, 1994: *Phenology as a tool in Topclimatology. A Cross-section through the Swiss Jura Mountains. Mountain environments in Changing Climates*. Routledge London + New York: 270-280

BURRI, M.; RUTISHAUSER, This, 2009: *Johann Jakob Sprünglis Beobachtungen als Quelle der Historischen Klimaforschung*. STUBER, Martin; MOSER, Peter; GERBER-VISSER, Gerrendina; PFISTER, Christian (Hrsg.*). Kartoffeln, Klee und kluge Köpfe. Die Oekonomische und Gemeinnützige Gesellschaft des Kantons Bern OGG (1759-2009).* Haupt Bern: 107-110

CHMIELEWSKI, Frank-Michael, 2003: *GPG GLOBE phänologischer Garten - Hinweise zur Einrichtung Phänologischer Gärten an Schulen.* Humboldt-Universität zu Berlin Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät Institut für Pflanzenbauwissenschaften: 18 S.

CHMIELEWSKI, Frank-Michael, 2003: *Phenology and Agricultureeygrape.* In: SCHWARTZ, M. D. (Hrsg.); SCHWARTZ, Mark D. (ed.), 2003: *Phenology: An Integrative Environmental Science*. Kluwer Dordrecht: 502-522

CHYTRÝ, Milan; TICHÝ, Lubomír, 1998: *Phenological mapping in a topographically complex landscape by combining field survey with an irradiation model Department.* Applied Vegetation Science 1: 225-232

CLOT, Bernard, 2007 : *Pollen dans l'air du Plateau suisse : paramètres climatiques et nouveaux risques pour les allergies.* Thèse de doctorat : Université de Neuchâtel; Faculté des sciences. Institut de biologie : 131 S.

CLOT, Bernard, 2007*: Du pollen dans l'air.* Schweizer phänologischer Rundbrief 6 Winter 2006/2007 Bern

COMPS, B. ; LETOUZEY, J. ; SAVOIE, J.-M., 1987: *Phénologie du couvert arborescent dans une chênaie-hêtraie d'Aquitaine,* Annales des sciences forestières, volume 44 (2), Institut national de la recherche agronomique, Paris : 153-170

CONEDERA, Marco, 2007*: Blütenphänologie und Biologie der Edelkastanie.* Schweizer phänologischer Rundbrief 7 Sommer 2007 Bern

DEFILA, Caudio; JEANNERET, François, 2007: *Phänologie – ein Biomonitoring und seine Anwendungen.* Schweiz. Zeitschrift fur Forstwesen 158 (5): 98-104

DEFILA, Claudio, 1991: *Pflanzenphänologie der Schweiz*. Inaugural-Dissertation, Universität Zürich. In: Veröff. der Schweiz. Meteorologischen Anstalt, Nr. 50: 235 S.

DEFILA, Claudio, 1992: *Pflanzenphänologische Kalender ausgewählter Stationen in der Schweiz. Calendriers phytophénologiques d'un choix de stations en Suisse.* Beiheft zu den Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt Zürich, Jahrgang 1989: 231 S.

DEFILA, Claudio, 2008: *Beeinflusst der Herbst die Dauer der Vegetationsperiode?* Schweizer phänologischer Rundbrief 9 Sommer 2008 Bern

DEFILA, Claudio; CLOT, Bernard, 2001*: Phytophenological trends in Switzerland*. International Journal of Biometeorology, 45(4): 203-207

DEMARÉE, Gaston; RUTISHAUSER, This, 2009: *Origins of the word "phenology".* EOS Transaction of the American Geophysical Union 90: 291

DIERSCHKE, Hartmut, 1982: *Pflanzensoziologische und ökologische Untersuchungen in Wäldern Süd-Niedersachsens. I. Phänologischer Jahresrythmus sommergrüner Laubwälder.* Tuexenia 2: 173-194

DIERSCHKE, Hartmut, 1995: *Symphänologische Artengruppen und Gruppenspektren nodwestdeutscher Waldgesellschaften.* Forstarchiv 66(4) Alfeld: 145-150

ELLENBERG, Hein, 1996: *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht.* Ulmer, Stuttgart.

EUGSTER, Markus, 2004: *Phänologie in der Schule.* Schweizer phänologischer Rundbrief 4 Winter 2005/2006 Bern

FLOHN, H., 1954: *Witterung und Klima in Mitteleuropa.* Forschungen zur deutschen Landeskunde 78. Hirzel Stuttgart: 214 S.

FONTI, P., GARCÍA-GONZÁLEZ, I., 2008: *Earlywood vessel size of oak as a potential proxy for spring precipitation in mesic sites.* Journal of Biogeography 35: 2249-2257

FONTI, Patrick, 2007: *Steckt in Jahrringen ein phänologischer Kalender vergangener Zeiten?* Schweizer phänologischer Rundbrief 7 Sommer 2007 Bern

GENSLER, G. A., 1946: *Der Begriff der Vegetationszeit*. Philosophische Fakultät II. Zürich, Universität Zürich: 142 S.

GODARD, A. ; TABEAUD, M., 1993: *Les climats: mécanismes et répartition*: Collection Cursus Géographie, Colin, Paris : 191 S.

HARTMANN, P., 1991: *Untersuchungen der Beziehungen zwischen Witterung und der Pflanzenphänologie. Ein Beitrag zur Klärung der Bedeutung des Witterungseinflusses beim Auftreten der neuartigen Waldschäden*. Montricher, Birmensdorf, Zürich, Sanasilva, MeteoSchweiz: 98 S.

HENDRICKS FRANSSEN, Harie .Jan; SCHERRER, Simon C., 2008: *Freezing of lakes on the Swiss plateau in the period 1901–2006*. Int. J. Climatol. 28: 421–433

HENNIGES, Yvonne; DANZEISEN, H.; ZIMMERMANN, R.-D., 2005: *Regionale Klimatrends mit Hilfe der phänologischen Uhr, dargestellt am Beispiel Rheinland-Pfalz.* Zeitschrift für Umweltchemie Ökotox 17 (1) Ecomed Landsberg: 28-34

HOFFMANN, G., 1974 (Hrsg.): *Zweites Internationales Symposium Ökologie u. Physiologie des Wurzelwachstum.* Potsdam 1971. Berlin, Akad.-Vlg., 438 S.

HOFFMANN, H., 1881: *Vergleichende phänologische Karten von Mitteleuropa.* Petermanns geographische Mitteilungen, Klett Stuttgart: 19-26

HÖRMANN, Georg.; CHMIELEWSKI, Frank-Michael, 1998: *Auswirkungen auf Landwirtschaft und Forstwirtschaft*, in: LOZÀN José L.; GRASSL, Helmut; HUPFER, Peter (Hrsg.), *Warnsignal Klima.* Wissenschaftliche Auswertungen Hamburg: 325-357

HUDSON, Irene L; KEATLEY, Marie R. (Hrsg.), 2010: *Phenological Research: Methods for environmental and climate change analysis.* Springer. Berlin, Heidelberg, New York: 521 S.

HUPFER, Peter; HEYER, Ernst, 2006: *Witterung und Klima:eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie*: Teubner, Stuttgart: 554 S.

IHNE, E., 1905: *Phänologische Karte des Frühlingseinzuges in Mitteleuropa*. Petermanns Mitteilungen I, Heft 5: 97-108

IMHOF, Eduard, 1972: *Thematische Kartographie*. De Gruyter Berlin-New York: 388 S.

JEANNERET, François (Hrsg.), 1971: *Anleitung für phänologische Beobachtungen.* Geographisches Institut der Universität Bern, 2. Aufl. Bern: 28 S.

JEANNERET, François 1970*: Klimatologische Grundlagenforschung Jura, Mittelland, Alpen. Konzeption eines Forschungsprogrammes.* Beiträge zur klimatologischen Grundlagenforschung 2, Geographisches Institut der Universität Bern: 47 S.

JEANNERET, François, 1971*: Die Weizenernte 1970. Eine methodische Auswertung phänologischer Beobachtungen im Querschnitt durch die Schweiz.* Beiträge zur klimatologischen Grundlagenforschung 4, Geographisches Institut der Universität Bern: 32 p. + Beilagen

JEANNERET, François, 1972: *Methods and problems of mesoclimatic surveys in a mountainous country. A research programme in the Canton of Berne, Switzerland* Proceedings 7th Geography Conference, New Zealand Geographical Society, Hamilton NZ: 187-191

JEANNERET, François, 1974*: Statistische und kartographische Bearbeitung phänologischer Beobachtungen - am Beispiel der Daten der Weizenernte 1970.* Informationen und Beiträge zur Klimaforschung, 11. Geographisches Institut der Universität Bern: 31 S.

JEANNERET, François, 1975*: Geländeklimatologie in aller Welt (Erfahrungen – Ideen – Projekte).* Informationen und Beiträge zur Klimaforschung 14, Geographisches Institut der Universität Bern: 5-14

JEANNERET, François, 1991a: *Les mésoclimats du Jura central: une coupe phénologique = Die Mesoklimate des zentralen Juras: Ein phänologischer Querschnitt.* Bulletin de la Société neuchâteloise de géographie 35 = Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft Bern 57, Bienne: 57-70

JEANNERET, François, 1991b*: Une coupe phénologique à travers le Jura suisse.* Publ. de l'Ass. int. de Climatologie 4, Fribourg: 307-314

JEANNERET, François, 1997*: From spatial sensing to environmental monitoring: a topoclimatic and phenological survey through Switzerland.* Biometeorology 14(2), Ljulbjana: 201-207

JEANNERET, François, 1997: *Internationale Phänologie-Bibliographie – Bibliographie internationale de phénlogie – International bibliography of phenology*. Geographica Bernensia P 32 Bern: 68 S.

JEANNERET, François, 1997: *Phänologie in einem Querschnitt durch Jura, Mittelland und Alpen - ein Beitrag zu Umweltmonitoring und Gebirgsklimatologie*. Jahrbuch der geographischen Gesellschaft von Bern, Bd. 59/1994-96: 195-204

JEANNERET, François, 2005: *The rhythm of seasonality – A phenological season diagram.* Analeles Geografia Timisoara, Vol XV: 5-16

JEANNERET, François; BRÜGGER, Robert, 2005: *Plant phenology, fog and snow cover duration – A topoclimatic survey of seasonality.* Deutscher Wetterdienst, Annalen der Meteorologie 41 Vol 2 Offenbach am Main: 528-531

JEANNERET, François; RUTISHAUSER, This, 2009: *Phenology for topoclimatological surveys and large-scale mapping* in Hudson IL and Keatley MR (Eds) Phenological Research: Methods for environmental and climate change analysis. Springer. Berlin, Heidelberg, New York: 159-175

JEANNERET, François; RUTISHAUSER, This, 2009: *Seasonality as a core business of phenolog* in HUDSON IL und KEATLEY MR (Eds) Phenological Research: Methods for environmental and climate change analysis. Springer. Berlin, Heidelberg, New York: 63-74

JONES, Gregory V., 2003: *Vineygrape Phenology.* In: SCHWARTZ, Mark D. (ed.), 2003: *Phenology: An Integrative Environmental Science.* Kluwer Dordrecht: 523-539

KIRCHGÄSSNER, A., 2001: *Phänoklimatologie von Buchenwäldern im Südwesten der Schwäbischen Alb*. Freiburg : Eigenverlag des Meteorologischen Instituts der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg: 295 p.

KLINK, H. J., 1998[3]: *Vegetationsgeographie.* Das Geographische Seminar, Westermann Braunschweig: 240 S.

KNOCH, K., 1949: *Die Geländeklimatoloige, ein wichtiger Zweig der angewandten Klimatologie*. Ber. Dtsch. Landesk. 7: 115-123

KOCH, Elisabeth; BRUNS, Ekko; CHMIELEWSKI, Frank-Michael; DEFILA, Claudio; LIPA Wolfgang.; MENZEL, Annette, 2006: *Plant phenological Guidelines.* WCDMP (World Climate Data and Monitoring Programme) Series of guideline publications WMO: 40 S.

KOCH, Elisabeth; BRUNS, Ekko; DEFILA, Claudio; LIPA, Wolfgang; MENZEL, Annette, 2006: *Plant phenological Guidelines.* Guide to Climatologial Practices, WMO, CCl (Commission for Climatology): 10 S.

KÖRNER, Christian, 2006: *The significance of temperature in plant life.* In MORISON, J. I. L.; MORECROFT, M. D. (ed.): *Plant Growth and Climate Change*. Oxford: 48-69

KÖRNER, Christian; BASLER, David, 2010: *Phenology under Global Warming.* Science 327: 1461-1462

LARCHER Walter, 2001[6]: *Ökophysiologie der Pflanzen*, UTB 8074, Ulmer Stuttgart: 408 S-

LAUER, W.; RAFIQPOOR, M. D., 2003*: Die Klimate der Erde. Eine Klassifikation auf der Grundlage der ökophysiologischen Merkmale der realen Vegetation. The Climates of the Earth. A Classification on an Ecophysiological Basis of the Real Vegetation.* Erdwissenschaftliche Forschung Bd. XL. Steiner Stuttgart: 271 S. + 4 Anhänge

LESER, Helmut, 1997: *Landschaftsökologie.* UTB-Taschenbuch, Ulmer-Verlag, Stuttgart

LIANG, Liang.; SCHWARTZ, M. D., 2007: *Intensive Landscape Phenology*. American Geophysical Union, Fall Meeting, abstract

LIETH, Helmut; BERLEKAMP, J.; FUEST, S.; RIEDIGER, S., 1999: *Climate Diagram World Atlas*. CD-Series: Climate and Biosphere. Backhuys Leiden: 1 CD

LIVINGSTONE, David M., 2000: *Large-scale climatic forcing detected in historical observations of lake ice break-u*p Verh. Internat. Verein. Limnol. 27: 2775-2783

LUTERBACHER J, LINIGER MA, MENZEL A, ESTRELLA N, DELLA-MARTA, PM, PFISTER C, RUTISHAUSER T, XOPLAKI E, 2007: *The exceptional European warmth of Autumn 2006 and Winter 2007: Historical context, the underlying dynamics and its phenological impacts*. GEOPHYS RES LETT, 34.

MÄDE, A., 1952: *Zur Methodik phänologischer Karenentwürfe. Angewandte Meteorologie* Z f Meteorologie 1: 139-142

MAHRER, T., 1985: *Untersuchungen über die herbstliche Laubverfärbung der Buche in der Region Liestal – Möhlin – Basel auf Grund von langjährigen phänoloigsichen Beobachtungsreihen und ihre Zusammenhänge mit klimatologischen Paramertern.* Dipomarbiet ETH Zürich: 117 S.

MARR, Rudolf L. (Hrsg.), 2004: *Schweizer Weltatlas. Kommentar zur Ausgabe 2002/2004*. Konferenz der kantonalen Erziehungsdirektoren (EDK). Lehrmittelverlag d. Kt. Zürich: 343 S.

MATHIEU, Gwladys, 2006: *Le programme Phénoclim.* Schweizer phänologischer Rundbrief 4 Winter 2005/2006 Bern

MATHIEU, Gwladys, DELESTRADE Anne, 2006: *Phénoclim, a research project on phenology in the Alps*. Proceeding of the International Congress of Alpine and Arctic Botanical Gardens pp 57-62.

MATILE, Philippe, 1992: *Vom Ergrünen und Vergilben der Blätter*. Neujahrsblatt Naturforschende Gesellschaft in Zürich; Stück 194, Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich; Jg. 136, Nr. 5, Orell Füssli, Zürich: 46 S.

MEIER, Nicole; RUTISHAUSER, This; PFISTER, Christian,; WANNER, Heinz; LUTERBACHER, Jürg, 2007: *Grape harvest dates as a proxy for Swiss April to August temperature reconstructions back to AD 1480.* GEOPHYS RES LETT, 34.

MEIER, U. (ed.), 1997: *Growth stages of mono- and dicotyledonous plants: BBCH-Monograph*. BBCH - Monograph. Berlin, Wien, Blackwell, 622 S.

MENZEL, Annette, 1997: *Phänologie von Waldbäumen unter sich ändernden Klimabedingungen – Auswertung der Beobachtungen in den Internationalen Phänologischen Gärten und Möglichkeiten der Modellierung von Phänodaten*. Forstliche Forschungsberichte München, volume 164, Forstwissenschaftliche Fakultät der Universität München, München: 147 p. + 13 p.

MENZEL, Annette; SPARKS, Tim, 2006: *Temperature and plant development: phenology and seasonality.* In MORISON, J. I. L.; MORECROFT, M. D. (ed.): *Plant Growth and Climate Change*. Oxford: 70-95

MESSERLI, Bruno et al., 1978: *Beiträge zum Klima des Kantons Bern.* Jahrbuch der geographischen Gesellschaft von Bern, Bd. 52/1975-76: 151 p. + Beil.

MESSERLI, Bruno, 1978: *Klima und Planung - Ziele, Probleme und Ergebnisse eines klimatologischen Forschungsprogrammes im Kanton Bern.* Jahrbuch der geographischen Gesellschaft von Bern, Bd. 52/1975-76: 11-22

MESSERLI, Bruno, 1978: *Klima und Planung - Ziele, Probleme und Ergebnisse eines klimatologischen Forschungsprogrammes im Kanton Bern.* Jahrbuch der geographischen Gesellschaft von Bern, Bd. 52/1975-76: 11-22

MESSERLI, Bruno, et al., 1978: *Beiträge zum Klima des Kantons Bern.* Jahrbuch der geographischen Gesellschaft von Bern, Bd. 52/1975-76: 151 p. + Beil.

MILLER-RUSHING, A.; PRIMACK, R.B.; PRIMACK, D.; MUKUNDA, S., 2006: *Photographs and herbarium specimens as tools to document phenological changes in response to global warming*. American Journal of Botany, 93, 1667-1674

MORISON, J. I. L.; MORECROFT, M. D., 2006 Plant growth and climate change. Oxford: 213 S.

MOSER, Lea; FONTI, Patrick; BÜNTGEN, Ulf; FRANZEN, Julia;, ESPER, Jan; LUTERBACHER, Jürg; FRANK, David, 2010: *Timing and duration of European larch growing season along altitudinal gradients in the Swiss Alps.* Tree Physiology 30: 225-233

MYNENI, R .B.; KEELING, C. D. et al., 1997: *Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991*. Nature 386: 698 - 702

NEKOVAR, Jiri et al. (ed.), 2008: *The history and current status of plant phenology in Europe.* COST Action 725. COST Office Vammalan Kirjapaino Oy: 182 S.

NUBER, Maria; NEAF-DAENZER, Beat, 2006: *Veränderungen in der Vogelphänologie*. Schweizer phänologischer Rundbrief 5 Sommer 2006 Bern

OKE, Timothy R., 2000 [2]: *Boundary Layer Climates.* Routledge London: 435 S.

PAULING, Andreas, 2007*: Modellierung der Phänophase Blühbeginn für die Pollenprognose.* Schweizer phänologischer Rundbrief 6 Winter 2006/2007 Bern

PEÑUELAS, Josep; RUTISHAUSER, This; FILELLA, Iollanda, 2009*: Phenology Feedbacks on Climate Change*. Science, 324: 887-888

PFISTER, CHRISTIAN, 1972: *Phänologische Beobachtungen in der Schweiz der Aufklärung.* Informationen und Beiträge zur Klimaforschung – Contributions à la recherche climatologique Bern 8: 15-30

PFISTER, CHRISTIAN, 1975: *Agrarkonjunktur und Witterungsverlauf im westlichen Schweizer Mittelland zur Zeit der Ökonomischen Patrioten 1755-1797.* Geographica Bernensia G2: 229 p. + Anhang

PFISTER, CHRISTIAN, 1984: *Klimageschichte der Schweiz 1525-1860. Das Klima der Schweiz von 1525-1860 und seine Bedeutung in der Geschichte von Bevölkerung und Landwirtschaft. Band I.* Academica Helvetica Haupt Bern:184 p. + Anhang

PORSCH, O., 1950: *Geschichtliche Lebenswertung der Kastanienblüte*. Österr. Bot. Z. 97: 269-321

PRIMAULT, Bernard, 1964: *Météorologie agricole et phénologie*. 100 Jahre Meteorologie in der Schweiz, Meteorologische Zentralanstalt Zürich: 70-72

PRIMAULT, Bernard, 1984: *Phänologie – Frühling, Frühsommer. Sommer, Herbst. = Printemps, début de l'été. Eté, automne*. In: KIRCHHOFER, Walter et al. Klimaatlas der Schweiz = Atlas climatologique de la Suisse. Bundesamt für Landestopographie Wabern: Tafel 13.1 +13.2

PRIMAULT, Bernard; SCHWIRZER, S.; KUHN, W.; AMBROSETTI, F., 1957: *Atlas phénologique = Phänologischer Atlas = Atlante fenologico.* Institut suisse de météorologie, Zurich: 65 S.

RICHTER, Michael, 1997: *Allgemeine Pflanzengeographie*. Teubner Stuttgart: 256 S.

ROOT, T .L. et al., 2003: *Frequency distribution of species and groups of species with a temperature-related trait changing by number of days in 10 years*. Nature, Vol. 421: 2

ROOT, T. L.; PRICE, J. T. et al., 2003: *Fingerprints of global warming on wild animals and plants.* Nature 421(6918): 57-60

ROSENZWEIG, C., G.; CASASSA, D.J.; KAROLY, A.; IMESON, C.; LIU, A.: MENZEL, S.; RAWLINS, T.L.; ROOT, B.; SEGUIN, P.; TRYJANOWSKI, 2007: *Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability.* In PARRY M. L; CANZIANI, O. F.; PALUTIKOF, J. P.; VAN DER LINDEN, P. J.; HANSon, C. E.: *Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge: 79-131

RÖTHLISBERGER, Jürg, 1997: *Blümlein im lauwarmen Winter*. Veröffentlichungen der Kantonsschule Zug, Heft 11

RÖTHLISBERGER, Jürg, 2001: *Little flowers in a mild Winter.* In: Burga & Kratochwil (eds*), Biomonitoring*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London. Tasks for vegetation science 35: 125 – 142

RÖTHLISBERGER, Jürg, 2002: *Ist der Januar ein Frühlingsmonat? Phänologischer Frühlingseinzug in der Zentralschweiz*. Mitt. d. Naturf. Ges. Luzern 37: 243-266

RÖTHLISBERGER, Jürg, 2005: *Findet der Winter überhaupt noch statt?* Schweizer phänologischer Rundbrief 2 Sommer 2005 Bern

RÖTHLISBERGER, Jürg, 2008*: Ansätze zur Herbstphänologie – und etwas mehr*. Schweizer phänologischer Rundbrief 9 Sommer 2008 Bern

ROUSE, J. W.; HAAS R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W., 1973: *Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS,* Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I: 309-317

RUDOW, Andreas; BORTER, Patricio, 2007: *Die Edelkastanie auf der Alpennordseite.* Schweizer phänologischer Rundbrief 7 Sommer 2007 Bern

RUDOW, Andreas; CONEDERA, Marco, 2001: *Blüte und Sortenerkennung bei der Edelkastanie (Castanea sativa Mill.) auf der Alpensüdseite der Schweiz.* Bot. Helv. 111: 1-23

RUTISHAUSER, This, 2003: *Cherry Tree Phenology. Interdisciplinary Analyses of Phenological Observations of the Cherry Tree in the Extended Swiss Plateau Region and Their Relation to Climate Change*. Geographisches Institut, Universität Bern, 123 S.

RUTISHAUSER, This, 2007: *Historical Phenology – Plant Phenological Reconstructions and Climate Sensitivity in Northern Switzerland.* Dissertation, Geographisches Institut der Universität Bern, 167 S.

RUTISHAUSER, This, 2009: *Historical Phenology in Central Europe. Seasonality and Climate During the Past 500 Years*. Geographica Bernensia, G82: 152 S.

RUTISHAUSER, This; LUTERBACHER, Jürg; DEFILA, Claudio; FRANK, D.; WANNER, Heinz, 2008*: Swiss Spring Plant Phenology 2007: Extremes, a multi-century perspective and changes in temperature sensitivity,* Geophysical Research Letters, 35, L05703

RUTISHAUSER, This; LUTERBACHER, Jürg; JEANNERET, François: PFISTER, Christian; WANNER, Heinz, 2007: *A phenology-based reconstruction of interannual changes in past spring seasons*. Journal of Geophysical Research (Biogeosciences), 112, G04016

RUTISHAUSER, This; SCHLEIP, Christoph; SPARKS, Tim; NORDLI, Øyvind; MENZEL, Annette; WANNER, Heinz; JEANNERET, François; LUTERBACHER, Jürg, 2009: *The Temperature Sensitivity of Swiss and British Plant Phenology* 1753–1958, Special Issue European Plant Phenology. CLIM RES, 39. 179-190.

RUTISHAUSER, This; STUDER, Sibylle, 2007: *Klimawandel und der Einfluss auf die Frühlingsphänologie*. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 158, 105-111

SAGARIN, Raphael; MICHELI, Fiorenza, 2001: *Climate Change in Nontraditional Data Sets* Science 294: 811

SCHABER , Jörg; BADECK, Franz-W., 2002: *Evaluation of methods for the combination of phenological time series and outlier detection* Tree Physiology 22: 973–982

SCHEIFINGER, Helfried; KOCH, Elisabeth; WINKLER, Hans, 2005: *Erste Ergebnisse einer Analyse vogelphänologischer Beobachtungen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik 1951 – 1999 in Österreich.* promet, Jg 33, Heft 1/2, Deutscher Wetterdiens.

SCHEIFINGER, Helfried; KOCH, Elisabeth; WINKLER, Hans, 2005*: Results of a first look into the Austrian animal phonological records*. Meteorologische Zeitschrift, 14(2) 1-7

SCHEIFINGER, Helfried; KOCH, Elisabeth; WINKLER, Hans, 2007: *Volgelphänoloigsche Beobachtungen in Österreich.* Schweizer phänologischer Rundbrief 8 Winter 2007/2008 Bern

SCHLEIP C, RUTISHAUSER T, LUTERBACHER J, MENZEL A, 2008: *Time series modeling and central European temperature impact assessment of phenological records over the last 250 years*, J GEOPHYS RES, 113, G04026,

SCHNELLE, Fritz, 1949: *Phänologische Weltkarte Beginn der Weizenernte , Verteilung der Weizenanbaufläche und der Weizenausfuhr.* Meteeorol Rundschau 2 (3/4) Heidelberg

SCHNELLE, Fritz, 1955: *Pflanzenphänologie.* Probleme der Bioklimatologie Leipzig: 289 S.

SCHNELLE, Fritz, 1965: *Beiträge zur Phänologie Eupopas I. 5 Mittelwertskarten, Erstfrühling bis Herbst.* Bericht des Deutschen Wetterdienstes, 14 (101): 6 S., 5 Karten

SCHREIBER, K. F., 1977: *Wärmegliederung der Schweiz aufgrund von phänologischen Geländeaufnahmen in den Jahren 1969 bis 1973.* Grundlagen für die Raumplanung, Eidg. Justiz- und Polizeidepartement, Der Delegierte für Raumplanung Bern: 69 p. + 5 Karten

SCHWARTZ, Mark D. (ed.), 2003: *Phenology: An Integrative Environmental Science*. Kluwer Dordrecht: 563 S.

SCHWARTZ, Mark D., AHAS, R.; et al., 2006: *Onset of spring starting earlier across the Northern Hemisphere*. Global Change Biology 12(2): 343-351

SPARKS, Tim H., 2007: *Lateral thinking on data to identify climate impacts.* Trends in Ecology and Evolution, 22, 169-171

SPARKS, Tim H.; CRICK, Humphrey Q. P.; DUNN, Peter; SOKOLOV, Leonid V., 2003: *Birds.* In: SCHWARTZ, Mark D. (ed.), 2003: *Phenology: An Integrative Environmental Science*. Kluwer Dordrecht: 523-539

SPARKS, Tim H.; HUBER, K.; CROXTON, P.J., 2006: *Plant development scores from fixed-date photographs: the influence of weather variables and recorder experience*. International Journal of Biometeorology, 50, 275–279

SPARKS, Tim H.; LINES, John, 2008: *Chapters in the Life of Robert Marsham*. Stratton Strawless; 66 S.

SPIESS, Ernst (Hrsg.), 2004: *Schweizer Weltatlas* [Kartenmaterial]. Konferenz der kantonalen Erziehungsdirektoren (EDK). Lehrmittelverlag d. Kt. Zürich. 240 S.

STANGA, P., 1997: *Analisi delle dinamiche evolutive nell'areale castanile del Sud delle Alpi svizzere con l'ausilio della teledetezione.* Diss. ETHZ Nr. 12280, Zürich, 167 S.

STEINHARDT, Uta; BLUMENSTEIN, Oswald; BARSCH,Heiner, 2005: *Lehrbuch der Landschaftsökologie*. Elsevier GmbH, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg: 294 S.

STÖCKLI, Reto; RUTISHAUSER, This et al., 2008: *Remote Sensing Data Assimilation for a Progenetic Phenology Model*. J GEOPHYS RES (BIOSCIENDCES) 113

STÖCKLI, Reto; VIDALE, P.L., 2004: *European plant phenology and climate as seen in a 20-year AVHRR land-surface parameter dataset.* International Journal of Remote Sensing 25(17): 3303-3330

STUBER, Martin et al. (Hrsg.), 2009: *Kartoffeln, Klee und kluge Köpfe : die Oekonomische und Gemeinnützige Gesellschaft des Kantons Bern OGG (1759-2009.* Haupt Bern: 309 S.

TINNER, W.; LOTTER, A. F., 2006: *Holocene expansions of Fagus silvatica and Abies alba in Cen-tral Europe: where are we after eight decades of debate?* Quaternary Science Reviews 25(5-6): 526-549

TJOELKER, M. G.; OLEKSYN, J. et al. 2001: *Modelling respiration of vegetation: evidence for a general temperature-dependent Q10*. Global Change Biology 7(2): 223-230

TROLL, C., 1970: *Landschaftsökologie (Geoecology) und Biogeocoenologie. Eine Terminolo-gische Studie*, 9-17 S.

TROLL, C.; PAFFEN, K. H., 1964*: Karte der Jahreszeiten-Klimate der Erde*. Erdkunde 18: 5-28

VAN VLIET, A.J.H.; BRAUN, P.; BRUEGGER, R.; BRUNS, E.; CLEVERS,J.; ESTREGUIL,C.; FLECHSIG, M.; DE GROOT, R.S.; GRUTTERS, M.; HARREWIJN, J.; JEANNERET, FRANÇOIS; MARTENS, P.; MENNE, B.; MENZEL, A.; SPARKS,T., 2003. *The European Phenology Network;Nature's Calendar on the move*. Wageningen University, Wageningen: 64 p.

VAN VLIET, A.J.H.; DE GROOT, R.S., 2003. *Towards a multifunctional European Phenology Network.* In: SCHWARTS, M.D. (ED.), Phenology: An integrative environmental science. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 105-118

VASSELLA, Astrid, 1997): *Phänologische Beobachtungen des bernischen Forstdienstes von 1869 bis 1882: Witterungseinflüsse und Vergleich mit heutigen Beobachtungen.* In: Phänologie von Waldbäumen. Historische und aktuelle Beobachtungen. Umwelt-Materialien Wald, 73: 9-72

VASSELLA, Astrid, 1997: *Phänologie von Waldbäumen. Historische und aktuelle Betrachtungen*, Umwelt-Materialien, BUWAL Bern 73: 5-75

VASSELLA, Astrid; BRÜGGER, ROBERT, 2001: *Impulsprojekt für das phänologische Monitoring im Wald und für den Einbezug in die Langfristige Waldökosystemforschung (LWF).* Forschungsprojekt Ökol07/97, Eidgen. Forstdir. BUWAL, (heute BAFU) Schlussbericht Okt. 1997. Geographisches Institut, Universität Bern. unpubl.

VOGEL, Juliette, 2005: *Phänologie – Ein Schulprojekt zur Untersuchung der Wirkung der Jahreszeiten auf biologische Zyklen.* Erde als System GLOBE Schweiz, PH Solothurn: 52 S.

VOGEL, Juliette, 2006*:Phänologie an der Schule*. Schweizer phänologischer Rundbrief 4 Winter 2005/06 Bern: 1

VOGEL, Juliette; GYGLI, Ruedi; HERREN, Thomas; RUTISHAUSER, This, 2011: *„Hazel campaign 2011" – Developing a web-based plant phenologiccal database, data collection and visualization tool in Switzerland.* Geophysical Research Abstracs 13, EGU2011-5051

VOLZ, Richard, 1978: *Vergleich zwischen Berner Jura und Berner Oberland. Vorgenommen auf Grund zweier phänologischer Ereignisse aus Frühling und Herbst.*Verhandlungen der fünfzehnten Internationalen Tagung für Alpine Meteorologie: Grindelwald, Sept. 1978, volume 1. Teil. Tagungsbericht Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt, Zürich: 117-120

VOLZ, Richard, 1979: *Phänologischer Vergleich zwischen Berner Jura und Berner Oberland auf Grund von zwei Ereignissen im Frühling und Herbst* Inform. u. Beitr. zur Klimaforsch. Geogr. Inst. Univ. Bern, Nr. 17: 13-29

VOLZ, Richard, 1979: *Phänologischer Vergleich zwischen Berner Jura und Berner Oberland auf Grund von zwei Ereignissen im Frühling und Herbst*. Inform. u. Beitr. zur Klimaforsch. Geogr. Inst. Univ. Bern, Nr. 17: 13-29

VOLZ, Richard; WANNER, Heinz; WITMER, Urs, 1978*: Zusammenfassung im Sinne einer regionalen Klimacharakterisierung.* Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft von Bern, Band 52: 149-150

Waldzustandsbericht Baden-Württemberg, Veröffentlichung, 08.11.2005 Ergebnisse der 23. Terrestrischen Waldschadensinventur (TWI)

WALTER, Heinrich K.; BRECKLE, S. W., 1999: *Vegetation und Klimazonen*. *Grundriss der globalen Ökologie*. UTB Ulmer, Stuttgart: 544 S.

WALTER, Heinrich; LIETH, Helmut, 1960-1967: *Klimadiagramm-Weltatlas*. Fischer Jena: 501 S.

WANNER, Heinz, 1973*: Eine Karte der Vegetationszeit im Kanton Bern*. Geographica Helvetica, 28 (3): 152-158

WANNER, Heinz,, 1978: *Die Nebelverhältnisse der Kantone Bern und Solothurn.* Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft von Bern, Band 52: 113-148

WEGMANN, Milène, 2005: *Naturwahrnehmung im Mittelalter im Spiegel der lateinischen Historiographie des 12. und 13. Jahrhunderts.* Lateinische Sprache und Literatur des Mittelalters; Bd. 40 Peter Lang, Bern: 240 p.

WITMER, Urs, 1978: *Die mittleren Schneehöhen und die Schneesicherheit im Kanton Bern.* Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft von Bern, Band 52: 59-112

WOLF, Rudolf, (Hrsg.) 1864–1880: *Schweizerische Meteorologische Beobachtungen*, Meteorologische Centralanstalt der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, ab 1879 Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt Zürich: jährlich

ZBINDEN, Niklaus, 2007: *Zeichen des Klimawandel in unserer Vogelwelt.* Schweizer phänologischer Rundbrief 8 Winter 2007/2008 Bern

ZHANG, Q.; XIAO, X.; et al., 2006: *Characterization of seasonal variation of forest canopy in a temperate deciduous broadleaf forest, using daily MODIS data.* Remote Sensing of Environment 105(3): 189-203

ZSCHOKKE, A., 1891: *Ergebnisse der Beobachtungen an den im Kanton Bern zu forstlichen Zwecken errichteten meteorologischen Stationen.* Mittelungen der Schweizerischen Zentralanstalt für das forstliche Versuchswesen, 1: 157-190

8.3 Unveröffentlichte Manuskriptarbeiten

BÄCHTIGER, Christoph, 2006: *Biomonitoring am Beispiel zweier BERNCLIM-Beobachtungsriehn aus dem Faltenjura/Haute-Chaîne* (Seminararbeit)

BIERI, Mirjam, 2005*: Die phänologische Vegetationsdauer in einem Querschnitt durch Jura, Mittelland, Alpen* (Seminararbeit)

DIEZIG, Robert, 2005: *Klimawandel und die Verschiebung des phänologischen Frühlingsbeginns in Grossaffoltern ab 1977* (Seminararbeit)

GRAF, Susanna, 2006: *Der Einfluss des Klimas auf das Eintrittsdatum ausgewählter phänologischer Phasen von 1766 bis 1802 (Fallbeispiel Johann Jakob Srpüngli*) (Seminararbeit)

GRAF, Susanna, 2006: *The Influence of Climate Factors on Selected Phenological Phases, 1766-1801 and 1951-2005* (Diplomarbeit)

GSCHWEND, Gabriel, 2008: *Blühen im Alpengarten Schynige Platte - Phänologie an der obern Waldgrenze* (Diplomarbeit)

HUG, Tanja, 2005: *Phänologie im Kanton Bern (BERNCLIM-Netz): Die Eintritte der Phänophasen in einem räumliche Modell für die Region Grund - Gstaad - Saanen* (Seminararbeit)

JUD, Sabrina, 2005: *Feldexperiment zum Pollentransport im Val de Nendaz - Frühling 2005* (Diplomarbeit)

KOTTMANN, Dominic, 2011: *Vergleich von phänologischen Beobachtungen mit NOAA AVHRR NDVI Daten*. (Masterarbeit)

KOTTMANN, Silvan, 2008: *Topoklimatische Modellierung phänologischer Frühlingsphasen in einem Geographischen Informationssystem (GIS). Für die allgemeine Blüte der Hasel, des Löwenzahns und des Apfelbaums im Querschnitt durch Jura, Mittelland und Alpen* (Diplomarbeit)

KOTTMANN, Silvan: 2006: *Räumliche Interpolation pflanzenphänologischer Beobachtungen in einem geographischen Informationssystem (GIS)* (Seminararbeit)

MATTI, Christoph, 2004: *Zusammenhang zwischen Schneebedeckung und phänologischem Frühlingsbeginn und Veränderung der Scheebedeckung in Grossaffoltern seit 1977* (Seminararbeit)

MEIER, Daniel, 2007: *Nebelhäufigkeit am Berner und Solothurner Jurasüdfuss* (Bachelorarbeit)

MEIER, Nicole, 2005: *Höhengradienten in ausgewählten Stationsreihen des schweizerischen phänologischen Beobachtungsnetzes von MeteoSchweiz* (Seminararbeit)

MEIER, Nicole, 2006: *Grapevine Phenology - Reconstruction summer temperatures from combined times series of grape harvest dates for the Swiss Plateau Region for the last 500 years* (Diplomarbeit)

NEUENSCHWANDER, Thomas, 2007: *Können Herbarbelege als Archive für phänologische Daten genutzt werden?* (Seminararbeit)

OBRECHT, Andreas, 2007: *Modellierung phänologischer Ereignisse aus gemessenen Temperaturwerten, Vergleich von zwei Modellen* (Seminararbeit)

OBRECHT, Andreas, 2008: *Wood Anatomy and Phenology: Vessel formation of beech, oak and cherry trees in relation to phenological observations* (Diplomarbeit)

REIST, Michael, 2007: *Auswirkungen von Frühling und Sommer 2003 auf die Phänologie der Buche und Esche* (Seminararbeit)

RUTISHAUSER, This, 2005: *Cherry Tree Phenology, Interdisciplinary Analyses of Phenological Observations of the Cherry Tree in the Extended Swiss Plateau Region an Their Relation to Climate Change* (Diplomarbeit)

STADELMANN, Fabian, 2008: *Entwicklung der Nebelhäufigkeit seit 1974. Entwicklng und Trends am Beispiel von topographisch unterschiedlichen Standorten des zentralen Schweizer Mittlandes* (Seminararbeit)

STEINLIN, Maria, 2006*: Phänologische Rekonstruktionen für Buche, Bergahorn und Esche im Gebiet der Lägern (AG)* (Diplomarbeit)

STEINLIN, Maria, 2007: *Welche Pflanzen reagieren sensitiv auf Termperauränderung?* (Bachelorarbeit*)*

VON DACH, Lukas, 2007: *Auswirkungen des Winters 2005/06 auf die Vegetationsentwicklung im darauffolgenden Frühjahr* (Seminararbeit)

ZUMBÜHL, Angela, 2007: *Einfluss des warmen Winters 2006/2007 und Frühlings 2007 auf die Phänologie Kroatiens* (Bachelorarbeit)

9 Internet-Adressen

Institution	Internet-Adresse: www.
BirdLife Schweiz CH	*birdlife.ch*
Centre de Recherches sur les Ecosystèmes d'Altitude CREA, Chamonix F	*crea.hautesavoie.net*
COST 725 Establishing a European Phenological Data Platform	*topshare.wur.nl/cost725*
Deutscher Wetterdienst DWD, Offenbach am Main (Klima und Umwelt, Phänologie), D	*dwd.de*
European Geoscience Union	
European Phenology Network EPN	*Dow.wau.nl/msa/epn*
European Phenology Network EPN Database, Potsdam Institute for Climate Impact Research	*Pikpostdam.de/~rachimow /epn/html/frameok.html*
Geographisches Instiut der Universität Bern CH (Forschungsgruppe PHENOTOP)	*geography.unibe.ch*
Global Phenology Monitoring GPM	*Dow.wau.nl/msa/gpm*
GLOBE Program	*globe.gov*
GLOBE Schweiz	*globe-swiss.ch*
Institut für Agrarwissenschaften ETH Zürich, Gruppe Graslandwissenschaften	*ias.ethz.ch* *gl.ethz.ch/*
Institut für Pflanzenwissenschaften, Universität Bern CH	*botany.unibe.ch*
Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)	*ipcc.ch*
International Co-operative Programme on the Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests (ICP Forests)	*icp-forests.org*
Internationale phänologische Gärten Europas (IPG)	*agrar.hu-berlin.de/ pflanzenbau/agrarmet/ phaenologie_de.html*
Kommission Phänologie und Saisonalität, KPS, Plattform Geosciences, SCNAT, CH	*www.scnat.ch/d/netzwerk*
MeteoSchweiz, Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, CH (Vegetationsentwicklung/Phänologie)	*meteoschweiz.ch*
National Phenology Network, USA	*usanpn.org*
Nature's Calendar Survey, UK	*Naturescalendar.org.uk*

Natuurkalender, het fenologisch waarnemesnetwerk van Nederland, NL	*natuurkalender.nl*
Observatoire Des Saisons, F	*obs-saisons.fr*
Pan European Phenological Database PEP725	*zamg.ac.at/cost725*
PhaenoNet (netzübergreifende Datenplattform Phänologie Schweiz) CH	*phaeno.ethz.ch*
Phänologie-Portal an der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, A	*zacost.zamg.ac.at/phaeno_portal*
SANASILVA-Programm Schweiz CH	*waldwissen.net/themen/inventur_monitoring/oekosystemmonitor-ing/wsl_sanasilva_inventur_DE*
Schweizerische Vogelwarte Sempach CH	*vogelwarte.ch*
Schweizerisches Landesforstinventar CH	*lfi.ch/*
Seasons in My Biome	*Seasonsandbiome.net*
World Meteorological Organisation	*wmo.int*
WSL Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft	*wsl.ch*
Sottostazione Sud delle Alpi Bellinzona	*wsl.ch/sottostazione*
Antenne romande, Lausanne	*ecos.epfl.ch*

© 2018 GEOGRAPHICA BERNENSIA
DOI: 10.4480/GB2018.U26