

Historical Phenology – Plant Phenological Reconstructions and Climate Sensitivity in Northern Switzerland

Inauguraldissertation
der Philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Bern

vorgelegt von

This Rutishauser

von Langrickenbach TG

Leiter der Arbeit:
Prof. Dr. H. Wanner
Geographisches Institut, Universität Bern

Von der Philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät angenommen.

Bern, den 6. Dezember 2007

Der Dekan:

Prof. Dr. P. Messerli

Zusammenfassung

Der Schwerpunkt der Dissertation *Historische Phänologie – Pflanzenphänologische Rekonstruktionen und ihre Klimasensitivität in der Schweiz* liegt einerseits auf der Analyse historischer pflanzenphänologischer Beobachtungen. Andererseits soll der Einfluss des Klimas auf die phänologische Variabilität in der Schweiz während der vergangenen Jahrhunderte untersucht werden. Erwärmungstrends der Winter- und Frühlingstemperaturen in den vergangenen fünf Jahrzehnten haben zu einer signifikanten Verfrühung der Frühlingsphänologie vieler Arten und Phasen geführt. Vor allem die aussergewöhnlich hohen Temperaturen in Herbst 2006 und Winter 2007 hinterliessen deutliche Spuren in der Pflanzenwelt: Gegen Ende des Jahres 2006 zeigten einzelne Pflanzenarten ein zweites Blühen oder verlängerten die Blühphase bis in den Winter. Viele Arten, die normalerweise im Frühjahr blühen, blühten signifikant früher und bereits Ende Winter. Weiter steigende Temperaturen drängen dazu, Klimaeinflüsse auf die Pflanzenphänologie besser zu verstehen und zu quantifizieren.

In der Vergangenheit nimmt die Zahl der phänologischen Beobachtungen allerdings stark ab. Trotzdem wurden in der Schweiz viele historische phänologische Beobachtungen aus den Archiven geborgen und publiziert. Deshalb beschäftigt sich diese Dissertation mit der Frage der Häufigkeit von frühlings- und sommerphänologischen Beobachtungen der vergangenen drei- bis fünfhundert Jahre und Methoden für deren Analyse. Historische phänologische Beobachtungen sind schon lange bekannt, wie etwa die Sammlung von mehr als 4000 pflanzen- und tierphänologischen Beobachtungen von Pfarrer Johann Jakob Sprüngli (1717–1803). Das Kapitel *Johann Jakob Sprüngli – europäischer Pionier der systematischen Pflanzenbeobachtung und Wegbereiter der historischen Klimaforschung* zeigt exemplarisch den wissenschaftlichen Wert der historischen Phänologie auf. Seine Beobachtungen tragen zu einer ersten Definition für historische Phänologie bei. Historische Phänologie ist in dieser Arbeit erstmals definiert als das Handwerk, phänologische Beobachtungen zu interpretieren, die ausserhalb oder vor phänologischen Netzwerken entstanden sind und individuelle, charakteristische Metainformationen enthalten.

Methodische Ansätze dieser Arbeit umfassen die Definition und Herleitung von statistischen Pflanzen abgeleitet von aktuellen Beobachtungen, womit der kleiner werdenden Anzahl von Beobachtungen in der Vergangenheit Rechnung getragen werden kann. Anschliessend wird eine Methode zur Rekonstruktion einer 'statistischen Frühlingspflanze' der vergangenen Jahrhunderte vorgestellt. Schliesslich wird der Einfluss des Klimas auf die Pflanzenphänologie oder die Sensitivität pflanzenphänologischer Phasen mit der Methode 'gleitender Fenster' für linearen Trend, Korrelation und Regression angewendet. Der Zusammenhang zwischen Temperatur und Phänologie wird in einem letzten Schritt mit Hilfe Bayes'scher Statistik beschrieben. Mittels statistischer Analyse von Umweltfaktoren und

phänologischen Beobachtungen streben wir bessere Grundlagen für die phänologische Modellierung der Gegenwart und der Zukunft an.

Die wichtigsten Resultate der einzelnen Kapitel sind hier kurz zusammengefasst. Das Kapitel *Klimawandel und der Einfluss auf die Frühlingsphänologie* zeigt, dass die Frühlingstemperaturtrends (März bis Mai) zwischen 1951 und 2006 in den meisten Regionen der Erde positiv waren. Die Jahre von 1997 bis 2006 waren gar das wärmste Jahrzehnt der vergangenen 500 Jahre. Die Erwärmung hatte einen grossen Einfluss auf die Frühlingsphänologie der Schweiz und führte zu einem allgemeinen Verfrühungstrend von 1.5 Tagen/Dekade in den Jahren 1965 bis 2002. Dieser Trend basiert auf einem Mehrphasen-Frühlingsindex von 15 phänologischen Phasen, die die jährliche Variabilität mit Hilfe von empirischen Orthogonal funktionsanalysen beschreiben (Kapitel 2). Ähnliche Einflüsse wurden für eine 'statistische Frühlingspflanze' basierend auf drei ausgewählten Arten (Kapitel 4) und für die Vollblüte der Kirsche im Schweizer Mittelland gefunden (Kapitel 2). Daraus folgern wir, dass einzelne phänologische Phasen den Trend einer Region repräsentieren können.

In der Folge werden drei lange phänologische Reihen vorgestellt, die aus historischen phänologischen Beobachtungen rekonstruiert worden sind. Die 280-jährige Beobachtungsreihe der Vollblüte der Kirsche für das Schweizer Mittelland von 1721 bis 2000 enthält 14 unabhängige Beobachtungsreihen verschiedener Standorte, die auf ein gemeinsames Referenzniveau korrigiert worden sind (Kapitel 2). Das Kapitel *Eine phänologie-basierte Rekonstruktion der jährlichen Frühlingsvariabilität* zeigt die 305-jährige Reihe der 'statistischen Pflanze' im Schweizer Mittelland von 1702 bis 2006, die aus Kirschen-, Apfel- und Rebenblüte und aus dem Blattaustrieb der Buche rekonstruiert worden ist (Kapitel 4). Die 527-jährige Reihe der Rebenerntedaten im Schweizer Mittelland von 1480 bis 2006 wurde aus 1435 einzelnen Beobachtungen zusammengefasst und wird im Kapitel 4 *Rebenerntedaten als Proxy für die Rekonstruktion der April- und Augusttemperaturen zurück bis 1480* beschrieben. Zusätzlich wurden Beobachtungen des 'Sofortmeldenetzes' des Schweizerischen Phänologischen Netzes verwendet, um die Ereignisse des aktuellen Frühlings 2007 zu beschreiben und die 'statistische Frühlingspflanze' provisorisch aufzudatieren (Kapitel 7).

Weitere Resultate zeigen, dass eine Erhöhung der Temperaturen um 1°C zu einer Verfrühung der frühlingsphänologischen Phasen von 2 bis 10 Tagen je nach Pflanzenart, Phase und Region führt. Das Kapitel *Aussergewöhnlich warmer Herbst 2006 und Winter 2007 in Europa: Historischer Kontext, die dynamischen Ursachen und der Einfluss auf die Phänologie* zeigt eine Verfrühung von Hasel und Schneeglöckchen um 11.3 beziehungsweise 8.3 Tagen bei ein Temperaturerhöhung von 1°C für 1951 bis 2007 in Deutschland (Kapitel 6). Für das Datum der Rebenernte in der Schweiz bedeutet ein Grad Temperaturerhöhung eine Verfrühung der Ernte um 12 Tage (Kapitel 5). Das Kapitel *Schweizer Frühlingsphänologie 2007: Extreme, Jahrhundertperspektive und Veränderungen der Temperatursensitivität* zeigt anhand von gleitenden Regressionsberechnungen eine signifikante Veränderung der Temperatursensitivität der 'statistischen Frühlingspflanze' auf Frühlingstemperaturen zwischen 1950–1980 und 1975–2005. In der früheren Periode verfrühte sich der Frühling um 6 Tage bei 1°C Temperaturerhöhung, in der späteren Periode nur um vier Tage/°C. In der Folge zeigt das Kapitel *Zeitreihenmodellierung und Temperatureinflussanalyse von phänologischen Zeitreihen der vergangenen 250 Jahre* den langfristigen Zusammenhang zwischen Phänologie und Temperaturforcing anhand eines Bayes'schen Korrelationsansatzes. Daraus folgt, dass die Frühlingsphänologie nicht nur von der aktuellen, sondern auch von der Vorjahressommertemperatur beeinflusst wird (Kapitel 8).

Schliesslich sei darauf verwiesen, dass die aussergewöhnlich hohen Frühlingstemperaturen 2007 zu 94 neuen Rekorden für eine ausgewählte Anzahl Stationen und Phasen der Schweiz geführt haben (Kapitel 8).

Zusammenfassend gilt, dass drei lange phänologische Reihen für das Schweizer Mittelland in den vergangenen Jahrhunderten, sowie die angewendeten Rekonstruktionsmethoden, Rekonstruktionsunsicherheiten, Extreme, Trends und Klimasensitivitäten gezeigt worden sind. Modellierungsansätze werden in den Kapiteln 1 und 10 vorgestellt. Die vorliegende Dissertation unterstreicht den Wert historischer phänologischer Beobachtungen als Zeuge vergangener Veränderungen und zum angemessenen Verständnis gegenwärtiger Klimaeinflussprozesse, sowie zur Abschätzung zukünftiger Klimaeinflüsse auf die Pflanzenphänologie.