

PHÄNOLOGIE IM GEBIRGE

This Rutishauser und François Jeanneret

1 Über den Rhythmus der Jahreszeiten im Schweizer Alpenraum

Pflanzenphänologische Beobachtungen¹ sind wichtige Quellen in der Umweltgeschichte und dokumentieren den Einfluss des Klimawandels auf den Rhythmus der Jahreszeiten zu Beginn des 21. Jahrhunderts.² Die Landwirtschaft und vor allem das Datum der Ausführung spezifischer Arbeiten auf den Feldern wurden akribisch genau fest gehalten. Weltweit wurden Beobachtungen der Pflanzenentwicklung durchgeführt und aufgezeichnet. Diese Aufzeichnungen erfuhren im

- 1 Phänologie ist die Kunst der Beobachtung von Entwicklungsphasen und Aktivitäten von Pflanzen und Tieren im Jahresverlauf («Phenology is the art of observing life cycle phases or activities of plants and animals in their temporal occurrence throughout the year»), s. *Helmuth Lieth*, *Seasonality Modelling*, Berlin/Heidelberg/New York 1974.
- 2 Überliefert sind Beobachtungen bereits aus den Zeiten des antiken China, Griechenland und Rom. Masatoshi Yoshino berichtet von Dokumenten in chinesischen Archiven, die die regelmäßige Beobachtung der Pflanzenentwicklung aus dem 21. Jahrhundert vor Christus festhalten. Im Jahreszeitenkalender der australischen Ureinwohner sind fünf bis zehn Jahreszeiten zu finden, je nach wahrnehmbaren Ereignissen in der Natur; *Christian Pfister*, *Klimageschichte der Schweiz 1525–1860. Das Klima der Schweiz von 1525–1860 und seine Bedeutung in der Geschichte von Bevölkerung und Landwirtschaft*, Bern 1984; *ders.*, *Wetternachhersage. 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen*, Bern 1999; *Friedrich Schnelle*, *Pflanzen-Phänologie*, Leipzig 1955; *Yiaoqui Chen*, East Asia, in: *Mark D. Schwartz*, *Phenology. An integrative environmental science*, (=Tasks for Vegetation Science, Bd. 39) Dordrecht/Boston/London 2003, S. 11–25; *Masatoshi Yoshino*, Development of phenological recognition and phenology in ancient China, in: *Japanese Journal of Biometeorology* 41/4 (2004), S. 141–154; *Marie R. Keatley*, *Tim D. Fletcher*, Australia, in: *Mark D. Schwartz*, *Phenology. An integrative environmental science*, (=Tasks for Vegetation Science, Bd. 39) Dordrecht/Boston/London 2003, S. 27–44.

Lauf der Geschichte Veränderungen, die dem zeitgenössischen Naturwahrnehmungsverständnis entsprachen. Die Motivation zur Erhebung und Auswertung phänologischer Beobachtungen hat sich im Lauf der Zeit entsprechend dem Naturverständnis und den technischen Hilfsmitteln immer wieder verändert. Der Wandel der Jahreszeiten, der lange als Ausdruck des göttlichen Willens betrachtet worden ist, wurde aus der Sphäre des Religiösen befreit. Die Suche nach Ursachen bedeutete eine grundlegende Wende im Zugang zur Natur und ihren Phänomenen.³

Zu Beginn des 21. Jahrhunderts hat sich der Naturkalender, der das Landwirtschaftsjahr in seiner zeitlichen Abfolge festhält, auch zum Pulsmesser einer immer wärmer werdenden Welt entwickelt. Im Zeitalter des akzentuierten anthropogenen Klimawandels in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts, das von einer zunehmenden Entfernung eines Grossteils der Menschheit von der Natur geprägt ist, gewinnt die Phänologie erneut an Gewicht.

Dieser Beitrag beschreibt beispielhaft phänologische Arbeiten, die Aufzeichnungen aus der Schweiz der vergangenen Jahrhunderte oder spezifisch aus dem Schweizer Alpenraum ausgewertet haben. Seit dem späten Mittelalter ist das den Alpen vorliegende Mittelland Ort phänologischer Beobachtungen, die zu langen Reihen zusammengefasst werden können. Trotz der dünnen Besiedlung der Alpentäler wurde es im Lauf des 20. Jahrhunderts möglich, die phänologischen Charakteristika eines Gebirgsraumes zu beschreiben. Einer Auswahl von Arbeiten der modernen phänologischen Forschung der Schweiz stellen wir einen Abschnitt über das Werden der modernen Phänologie voraus. Mit der Diskussion über die Auswirkungen des aktuellen Klimawandels auf den Alpenraum ist eine Forschungswelle gestartet, die auch einem Laienpublikum anschaulich vor Augen führt, wie sich der Rhythmus der Jahreszeiten global und vor der eigenen Haustür verändert. Es sollen also einige Arbeiten präsentiert werden, die zum Verständnis der Auswirkungen des Klimawandels auf die Saisonalität in Gebirgsräumen beitragen.

3 *Milène Wegmann*, *Naturwahrnehmung im Mittelalter im Spiegel der lateinischen Historiographie des 12. und 13. Jahrhunderts*, Bern 2005, S. 36. Im 12. und 13. Jahrhundert beginnt eine Hinwendung zur Natur, ein neu erwachtes Interesse an der Natur (ebd., S. 38). Damit wird die Grundlage für eine objektive Beobachtung geschaffen, wie sie das Wissenschaftsverständnis der aufgeklärten Neuzeit voraussetzt.

2 Das Werden der modernen Phänologie

Die Voraussetzung zum Erfassen phänologischer Beobachtungen wurde dank erwachter Neugier für die Natur im Mittelalter möglich.⁴ Die Phänologie ist seit ihrer begrifflichen Begründung als Wissenschaft im 18. Jahrhundert dem Erkennen und Beschreiben der Pflanzenentwicklung im Jahresverlauf, der Jahreszeiten allgemein, ihrer relativen zeitlichen Abfolge und langfristigen Veränderung verpflichtet. Dem belgischen Biologen Charles Morren wird die erstmalige Verwendung des Begriffs zugeschrieben.⁵ Die beobachtbaren Phasen werden vorgegeben durch Umwelt- und Klimabedingungen und durch die vorhandene Vegetation. In Regionen mit ausgeprägtem Jahresgang verändert sich auch die Ausprägung der biotischen und abiotischen Umwelt stark. In Klimazonen mittlerer und höherer geographischer Breite geben die Jahreszeiten mit der Veränderung der Temperatur den Rahmen vor. In den Tropen und Subtropen ist der Rhythmus der Saison vielmehr vom jahreszeitlich spezifischen Niederschlagsregime geprägt.

Der Begriff selbst zeigt die Möglichkeiten und Grenzen der Phänologie auf: das griechische Wort «erscheinen» ist der Ursprung des modernen wissenschaftlichen Terminus. Demnach beschäftigt sich die Phänologie mit Erscheinungsformen der belebten und unbelebten Natur im Jahresgang. Die Blüte der Blumen und Bäume, das Austreiben der Blätter, die Reife der Früchte, Blattverfärbung und Blattfall. Weiter gefasst, werden auch saisonal beeinflusste Zustände der unbelebten Natur der Phänologie zugeschrieben, wie etwa das Datum des ersten Schnees, der Schneeschmelze, des Zufrierens sowie Aufbrechens und Schmelzens von

4 *Milène Wegmann* (Anm. 3); s. auch Anm. 1, Anm. 5 und Einleitung in: *This Rutishauser*, Historical Phenology. Plant Phenological Reconstructions and Climate Sensitivity in Northern Switzerland, Dissertation, Universität Bern 2007.

5 Charles-François-Antoine Morren (1807–1858) war Botaniker an der Universität Liège. An einem öffentlichen Vortrag 1849 und in einem Brief an Adolphe Quételet verwendete Morren «phénologique» für seine Beobachtungen 1852–53. Quételet selber hielt an seinem Term «phénomènes périodiques naturels» fest. Erst in den 1880er-Jahren wurde der Begriff «Phänologie» parallel zu «periodischen Erscheinungen in der Natur» in der Zeitschrift des königlichen belgischen Observatoriums, «Ciel et Terre», verwendet.

Charles Morren, Le Globe, le Temps et la Vie, in: *Bulletins de l'Académie royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique XVII/II* (1851), S. 660–684; *ders.*, Souvenirs phénologiques de l'hiver 1852–1853, in: *Bulletins de l'Académie royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique XX/1* (1853), S. 160–186; *Gaston R. Demarée, Isabelle Chuine*, A concise History of the Phenological Observations at the Royal Meteorological Institute of Belgium, in: *Nicolas R. Dalezios, Stergios Tzortzios* (Hrsg.) Proceedings of the HAICTA 2006 Conference, Vol. III, Phenology – Agrometeorology, 20–23 September 2006, Volos, Greece 2007, S. 815–824; *Gaston R. Demarée, This Rutishauser*, The origins of «phenology», in: EDS, Transactions of the American Geophysical Union, im Druck.

See-Eis. Die Hauptaufgabe der Phänologie als wissenschaftliche Disziplin umfasst das Beobachten sowie die Auswertung dieser Beobachtungen.

Dank ihrem unmittelbaren Bezug zu Organismen der Tier- und Pflanzenwelt sind phänologische Daten für die Biologie, die Klimatologie und die Geographie von besonderer Relevanz und für Anwendungen in Land- und Forstwirtschaft, Raumplanung und Medizin von grossem Nutzen. Phänologische Ereignisse werden von der aktuellen und vergangenen Witterung beeinflusst. Damit werden abstrakt gemessene Klimaparameter und ihre Wirkung in der Landschaft für das menschliche Auge sichtbar und erfahrbar. Wegen ihrem deskriptiven Charakter ist die Phänologie als Methode in der Klimatologie, Geographie, Biologie und Land- und Forstwirtschaft angesiedelt. Erst im Vergleich mit den beeinflussenden Umweltfaktoren und statistischem oder prozessorientiertem Modellieren gewinnt die Phänologie den Rang einer erklärenden Wissenschaft.

3 Viele Dokumente und lange Reihen

Mit Blick auf vergangene Jahrhunderte und aus vergangenen Jahrhunderten können die Beobachtungen der Gegenwart in eine Langzeitperspektive gesetzt werden. Die dünne Besiedlung der Bergregionen und die daraus entstandene Lückenhaftigkeit der Beobachtungen im Alpenraum erschwert bis jetzt die Kombination einer Alpen- oder gar Hochalpenreihe für mehrere Jahrhunderte.

In der Schweiz liegt ein grosser Schatz von phänologischen Beobachtungen vergangener Jahrhunderte vor. In akribischer Arbeit hat Christian Pfister begonnen, diesen Schatz flächendeckend zu erschliessen.⁶ Aus klimahistorischer Sicht hat die Interpretation aller phänologischen Beobachtungen als Indikator für Temperatur- und Niederschlagsanomalien Eingang in die Forschung gefunden. Umwelt- und klimarelevante Informationen konnten so zu einer quantitativen Beschreibung von Temperatur- und Niederschlag im Schweizer Alpenraum zusammengefasst werden und lieferten einen wichtigen Beitrag zur Rekonstruktion des regionalen Klimas von Europa.⁷

6 *Christian Pfister*, Agrarkonjunktur und Witterungsverlauf im westlichen Schweizer Mittelland zur Zeit der Ökonomischen Patrioten 1755–1797, Dissertation, Universität Bern 1975; *ders.*, 1984 (Anm. 2); *ders.* 1999 (Anm. 2); *Christian Pfister*, *Urs Dietrich-Felber* (Hrsg.), Euro-Climhist. A Data-Base on past Weather and Climate in Europe and its Human Dimension, Bern 2006. Version: 2006-02-01.

7 Vgl. auch *Jürg Luterbacher* et al., Reconstruction of Sea Level Pressure fields over the Eastern North Atlantic and Europe back to 1500, in: *Climate Dynamics* 18 (2002), S. 545–561; *Jürg Luterbacher*, *Daniel Dietrich*, *Elena Xoplaki*, *Martin Grosjean*, *Heinz Wanner*, European seasonal and annual temperature variability, trends and extremes since 1500, in: *Science* 303 (2004), S. 1499–1503; *Jürg Luterbacher*, *Mark Liniger*, *Annette Menzel*, *Nicole Estrella*, *Paul M. Della-*

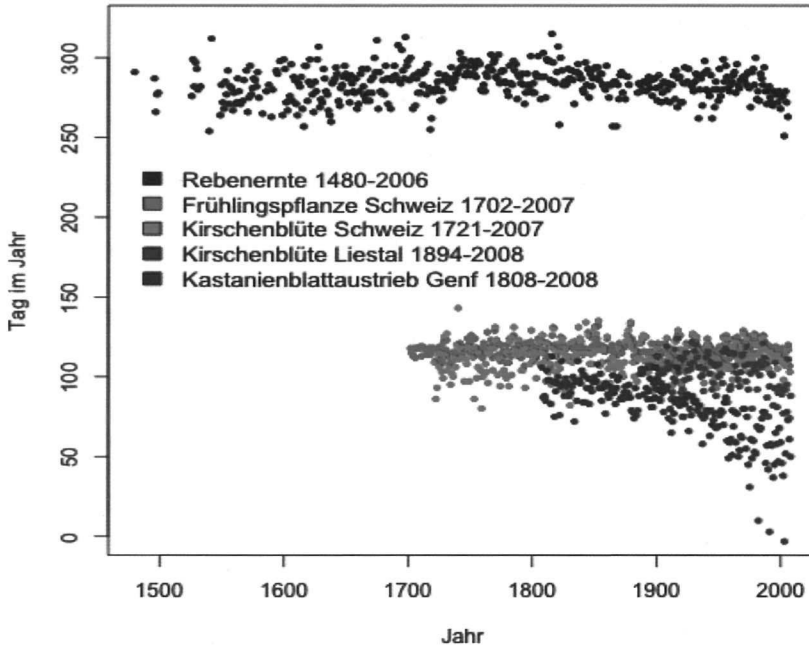


Abb. 1: Zusammenstellung langer phänologischer Reihen der Schweiz. Beobachtungen an einem Standort: Blüten des Kirschaums Liestal 1894–2008 und Blattaustrieb der Kastanie Genf 1808–2008. Rekonstruierte Reihen für das Schweizer Mittelland: Datum der Rebenernte 1480–2006, Blüte der Kirsche 1721–2007 und «Frühlingspflanze» 1702–2007. (Aus Claudio Defila, Bernard Clot 2001; Nicole Meier et al. 2007; *This Rutishauser*, Sybille Studer 2007; *This Rutishauser et al.* 2007; Christian Pfister, Urs Felber-Dietrich 2006)

Die phänologischen Beobachtungen in historischen Dokumenten wurden neuerdings unabhängig von Temperaturmessungen zu langen Reihen kombiniert.⁸ Die längste, ausschliesslich auf phänologischen Beobachtungen basierte Reihe des Jahreszeitenwandels in der Schweiz ist das Datum der Rebenernte im Schwei-

Marta, Christian Pfister, *This Rutishauser*, Elena Xoplaki, Exceptional European warmth of autumn 2006 and winter 2007: Historical context, the underlying dynamics, and its phenological impacts, in: *Geophysical Research Letters* 34 (2007), S. L12704.

8 Eine komplette Zusammenstellung aller Arbeiten findet sich in: *This Rutishauser*, *Historical Phenology in Central Europe. Seasonality and Climate During the Past 500 Years*, (=Geographica Bernensia, G 82) Bern 2009.

zer Mittelland seit 1480 (Abb. 1, schwarz).⁹ 1435 Beobachtungen von 15 Standorten wurden zu einer gemittelten Reihe kombiniert. Normalerweise findet die Traubenernte im Oktober statt. In sehr frühen Jahren wie 1540 oder 2003 auch Anfang September. Der grösste umwelt- und klimarelevante Einfluss, der sich auf den Erntetermin auswirkt, ist allerdings der Spätfrühling zwischen Blüte und Véraison.¹⁰ Dank diesem Zusammenhang konnte diese Reihe als Proxy zur Temperaturrekonstruktion verwendet werden. Allerdings haben andere natürliche und historische Faktoren, wie Nässeperioden im September, Fäulnis, institutionelle Bedingungen wie die des Rebbanns, wirtschaftliche Faktoren sowie kriegerische Ereignisse einen wichtigen Einfluss, die den statistischen Einfluss der Temperatur allein vermindern.

Als Annäherung an das Datum des Frühlingsbeginns zeigt Abb. 1 auch das Blühdatum der Kirsche im Schweizer Mittelland seit 1723 (Abb. 1, rot).¹¹ In historischen Quellen taucht die Kirschenblüte oft auf. Die weisse, landschaftsprägende Blüte auf wieder ergrüneten Wiesen hat Naturbeobachter seit dem Mittelalter motiviert, dieses Datum festzuhalten. Die weite Verbreitung, aber auch die symbolische Bedeutung für Unheimliches, als Wohnstätte für Wald-, Baumgeister, verstorbene Seelen und Weihung der griechischen Göttin des Todes, Artemis, hat den Stellenwert sicher nicht geschmälert. Von 23 Standorten mit teilweiser Überlappung liegen Beobachtungen vor. Die Rekonstruktion einer «statistischen Frühlingspflanze» von 1702 bis in die Gegenwart ist der methodisch weiter entwickelte Ansatz zur phänologischen Beschreibung des Frühlingsbeginns.¹² Die Verwendung mehrerer Pflanzenarten und Phasen stellt die Rekonstruktion auf eine stabilere Datenbasis. Ausserdem konnte mit einer konservativen Schätzung erstmals ein Unsicherheitsmass berechnet werden.

- 9 *Nicole Meier*, Grape Harvest Records as a Proxy for Swiss April to August Temperature Reconstruction, Diplomarbeit, Geographisches Institut, Universität Bern 2007; *Nicole Meier*, *This Rutishauser*, *Christian Pfister*, *Heinz Wanner*, *Jürg Luterbacher*, Grape Harvest Dates as a Proxy for Swiss April to August Temperature Reconstructions back to 1480, in: *Geophysical Research Letters* 34 (2007), S. L20705.
- 10 Véraison ist der Zeitpunkt in der Reifephase der Traubenbeere, wenn diese weich werden. *Uwe Meier* (Bearb.), BBCH Monographie. Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen, Biologische Bundesanstalt für Land und Forstwirtschaft, Berlin 2001.
- 11 *This Rutishauser*, Cherry Tree Phenology. Interdisciplinary Analyses of Phenological Observations of the Cherry Tree in the Extended Swiss Plateau Region and Their Relation to Climate Change, Diplomarbeit, Geographisches Institut, Universität Bern 2003; *This Rutishauser*, *Sibylle Studer*, Klimawandel und der Einfluss auf die Frühlingsphänologie, in: *Schweizerische Zeitschrift für das Forstwesen* 158 (2007), S. 105–111.
- 12 *This Rutishauser*, *Jürg Luterbacher*, *François Jeanneret*, *Christian Pfister*, *Heinz Wanner*, A phenology-based reconstruction of inter-annual changes in past spring seasons, in: *Journal of Geophysical Research* 112 (2007), S. G04016.

Zwei einzigartige Reihen vom Blühdatum des Kirschaums in Liestal (Abb. 1, dunkelrot) und dem Blattaustrieb der Kastanie in Genf (Abb. 1, grün) liegen seit dem 19. Jahrhundert vor.¹³ Beide Reihen dokumentieren die Variabilität des 20. Jahrhunderts an ein und demselben Standort. Die Liestal-Reihe repräsentiert einen Waldrandstandort, der wenig von menschlichen Aktivitäten beeinflusst worden ist. Das Ausbleiben von sehr späten Beobachtungsdaten der Kirschenblüte der letzten Jahre deutet darauf hin, dass wärmere Spätwintertemperaturen dies verunmöglicht haben. Die Genfer-Reihe dokumentiert dagegen nicht nur den Wandel des Klimas, sondern auch das Wachstum der Bevölkerung von Genf, der Stadt und damit den Einfluss wachsender Urbanität auf den Blattaustrieb der Kastanie. Der markante Verfrühungstrend seit 1900 wird unter anderem auch auf die Einführung der elektrischen Strassenbeleuchtung Ende des 19. Jahrhunderts zurückgeführt.¹⁴

4 Phänologie in Gebirgsräumen

Gebirge sind komplexe Räume, kleingekammert und variantenreich, und insbesondere als Lebensräume für Pflanzen, Tiere und Menschen kontrastreich und durch Extreme geprägt. Sie akzentuieren den Lebensraum im Gegensatz zum Flachland. 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 Langzeitbeobachtungen (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

13 *Claudio Defila, Bernard Clot*, Phytophenological trends in Switzerland, in: *International Journal of Biometeorology* 45 (2001), S. 203–207; in Liestal werden seit 1894, in Genf seit 1808 lückenlos die Beobachtungen notiert; *dies.*, Phytophenological trends in the Swiss Alps, 1951–2002, in: *Meteorologische Zeitschrift* 14 (2005), S. 191–196.

14 *Martin Illi*, Art. «Beleuchtung», in: *Historisches Lexikon der Schweiz*, Bd. 2, Basel 2003, S. 167–169 [www.hls-dhs-dss.ch].

Schnee und Eis bedeckt, was zu einer generell kurzen Wachstumsperiode führt.¹⁵ Die Phänologie ist 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, des Schnees 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 in 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 viele für die Pflanzenentwicklung günstige und ungünstige Nischen auf kleinem Raum.

Lückenhafte Daten von kurzer Dauer verwendete Gian Gensler in seiner Dissertation, um pflanzenphänologische Höhengradienten unabhängig von Klima und Schneebedeckung zu erstellen.¹⁶ Damit illustrierte er vor über 60 Jahren die eben erwähnten Grundlagen am Beispiel der Schweizer Alpen. Abb. 2 (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 die 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 10°-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 10 Tage. Gensler bemerkt in der

15 David Inouye, Frans-Emil Wielgolaski, High altitude climates, in: Mark D. Schwartz (Anm. 2), S. 195–214; Jean-Paul Theurillat, Antoine Guisan, Potential impact of climate change on vegetation in the European Alps. A review, in: Climatic Change 50 (2001), S. 77–109.

16 Gian Alfred Gensler, Der Begriff der Vegetationszeit: kritische Beiträge zum Begriff der Vegetationszeit in der geographischen, klimatologischen und phänologischen Literatur, Diss. Univ. Zürich, Samedan 1946.

Die Daten stammen von Max Bider, Phänologische Beobachtungen in den Kantonen Baselland, Basel-Stadt, Uri und Graubünden (mit Untersuchungen über den Einfluss der Temperatur auf den Zeitpunkt der Obstbaumblüte), (=11. Tätigkeitsbericht der Naturforschenden Gesellschaft Baselland 1936/38) Basel 1939, S. 57–90; Wilhelm Pfaff, Über den Einfluss der Höhenlage auf den Eintritt der Vegetationsphasen, in: Phänologische Mitteilungen 37 (1919), S. 31–38, in: Arbeiten der Landwirtschaftskammer Hessen 26 (1920); Kabos Hegyföky, Ein Beitrag zu den Wärmesummen in der Phänologie, in: Meteorologische Zeitschrift 29 (1912), S. 210–217 und 272–281

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 (Abb. 2, rechte Seite) jedoch ist stärker an die Dauer der Schneedecke gekoppelt. Im Mittelland ergrünen die Wiesen durchschnittlich 15 Tage nach der Ausaperung, 10 Tage danach auf 900 m ü. M. und 1 Tag auf 1500 m ü. M. Mit zunehmender Höhe verringern sich die zeitlichen Differenzen zwischen Pflanzenphänologie und Schnee. Im Herbst ist Laubverfärbung und -fall durchwegs an niedere Temperaturen gekoppelt. Gensler hat auch den Einfluss auf die Phänologie geschätzt. Er berechnete eine Phasenverfrüherung von 5 Tagen, wenn sich die Temperatur an einem Ort um 1 Grad erhöhte. Im Gegensatz dazu bewirkt die Temperaturdifferenz von 1 Grad auf Grund der Höhendifferenz einen Phasenunterschied von 8–9 Tagen.

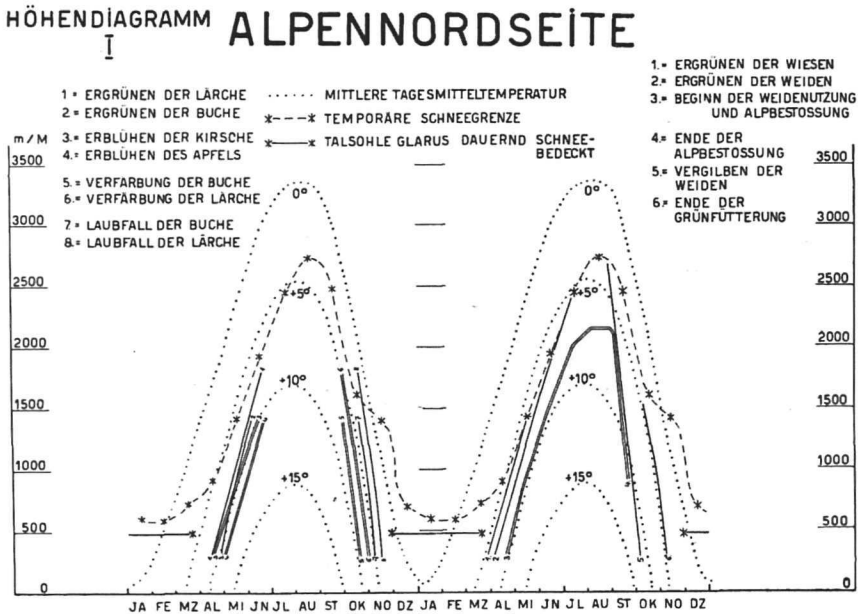


Abb. 2: Vergleich der mittleren Tagestemperatur, der Schneegrenze und verschiedener pflanzen- und landwirtschaftsphänologischer Phasen. Höhendiagramm aus Gian Alfred Gensler (Anm. 16), S. 122

5 Alpenbeobachtungen im phänologischen Netz der Schweiz

Auf der Datenbasis des nationalen phänologischen Beobachtungsnetzes der Schweiz seit 1951 konnten die Resultate Genslers mit einer grösseren Zahl von Pflanzenarten verglichen werden.¹⁷ Claudio Defila und Bernard Clot konnten 651 phänologische Zeitreihen von 19 Phasen und 67 Stationen auswerten und den linearen Trend¹⁸ berechnen. Sie richteten ihr Augenmerk bei der Beschreibung auf die Unterschiede zwischen Stationen, die tiefer als 600 m ü. M. (Tiefeland; 52 Stationen) und höher als 1000 m ü. M. (Hochland; 15 Stationen) gelegen sind. Für 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 3 Wochen (20 Tage) früher, im Hochland gut 2 Wochen (15 Tage).

Sibylle Studer hat die Schweizer Alpenphänologie systematischer und mit einer komplexeren statistischen Methode untersucht.¹⁹ Abb. 3 (oben) zeigt die Höhenabhängigkeit von 15 ausgewählten Pflanzenarten und Phasen an 69 Stationen in der Schweiz für die Periode 1965–2002. Die Phasen sind gruppiert in Vorfrühling, Frühling und Spätfrühling und dargestellt mit dem mittleren Eintrittsdatum der Phase (*Julian day*) gegenüber der Höhe der Beobachtungsstation über Meer (*Altitude*). Je später das Eintrittsdatum, desto höher liegt die Station. Abb. 3 (unten) zeigt dank der grösseren Datenlage die regionalen Unterschiede der mittleren phänologischen Entwicklung einer Station. 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.

17 Claudio Defila, Pflanzenphänologie der Schweiz, (=Veröffentlichungen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt, Bd. 50) Zürich 1991, S. 235; Claudio Defila, Bernard Clot 2001 (Anm. 13); dies. 2005 (Anm. 13).

18 Der Trend wurde mittels eines linearen Regressionsmodells berechnet und mit F-Test auf Signifikanz mit einer Fehlerwahrscheinlich von 5% getestet. Claudio Defila, Bernard Clot 2005 (Anm. 13), S. 192. Die Intensität bezieht sich auf eine 50-Jahrperiode.

19 Sibylle Studer, Christof Appenzeller, Claudio Defila, Interannual variability and decadal trends in Alpine spring phenology. A multivariate analysis approach, in: Climatic Change 73 (2005), S. 395–414. Eine deutsche Zusammenfassung ist in *This Rutishauser, Sibylle Studer* 2007 (Anm. 11), zu finden. Die multivariate Hauptkomponentenanalyse wurde eingesetzt, um die wichtigsten Muster der jährlichen phänologischen Variabilität zu extrahieren.

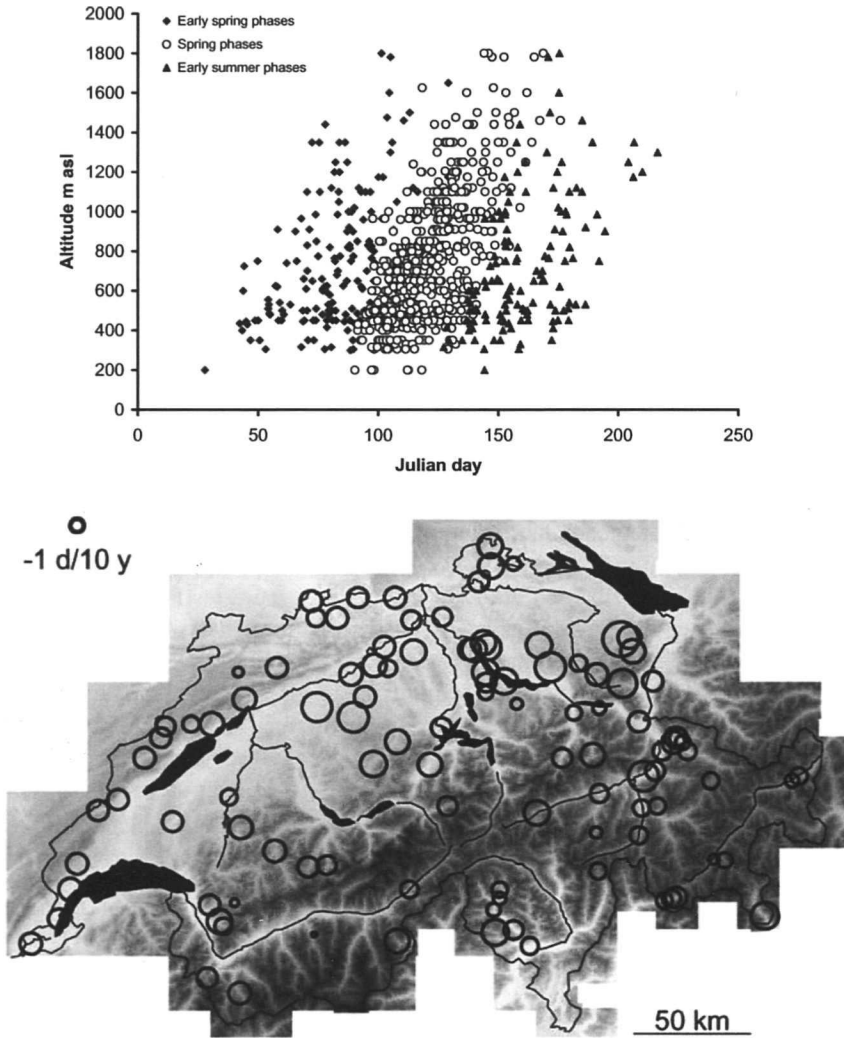


Abb. 3, oben: Höhenabhängigkeit des mittleren Eintretens 15 ausgewählter phänologischer Phasen für die Periode 1965–2002, gruppiert in früher Frühling (Rhombus), Frühling (Kreise) und Spätfrühling (Dreiecke). Unten: Mittlerer Trend phänologischer Frühlingsphasen an 69 Stationen in der Schweiz. Je grösser der Ring, umso stärker ist der Trend in der Periode 1965–2002. Abb. aus: Sibylle Studer et al. 2005 (Anm. 20)

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.²⁰

6 Phänologie an montanen und alpinen Standorten

Wo niemand wohnt, werden keine phänologischen Beobachtungen gemacht – die Netze widerspiegeln die Bevölkerungsdichte. Das phänologische Beobachtungsnetz der Schweiz zählt wegen der geringeren Besiedlung der Alpen und der erschwerten Zugänglichkeit eine geringere Zahl an Gebirgsstandorten (Abb. 3, unten). 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 auch 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.²¹ Eine Auswertung ist für das Jubiläum des Parks im Jahr 2014 geplant.

Eine umfangreiche Sammlung von Beobachtungen wurde im heutigen Alpengarten «Schynige Platte» angelegt und ausgewertet.²² Der Alpengarten ob

20 Das Hauptmuster (erste Hauptkomponente) wird von der Temperatur dominiert, hingegen nicht deutlich durch den Niederschlag beeinflusst ($r = 0.28$; $p = 0.09$). Die Auswertung der zweiten Hauptkomponente zeigt, dass der Trend hin zu früherem Frühlingsbeginn räumliche Variabilität aufweist. In tieferen Lagen ist die Verfrühung demnach eher stärker als in höher gelegenen Gebieten. Zudem ist auch ein Nord-Süd Unterschied feststellbar. Auf der Alpennordseite sind die Trends eher stärker als auf der Alpensüdseite. Regressionsanalysen haben gezeigt, dass dieses Muster ebenfalls stark durch die Temperatur beeinflusst wird, aber auch der Niederschlag trägt signifikant zur Erklärung der räumlichen Variabilität bei, s. *This Rutishauser, Sibylle Studer* 2007 (Anm. 11), S. 107f.

21 *Claudio Defila*, Plant phenological observations in Switzerland, in: *Jiri Nekovář, Nicolas Dalezios, Elisabeth Koch, Eero Kubin, Pavol Nejedlik, Tadeusz Niedzwiedz, Tim Sparks, Frans-Emil Wielgolaski*, The history and current status of plant phenology in Europe, in: COST Action 725 (2008), S. 166–169.

22 www.alpengarten.ch; *Gabriel Gschwend*, Blühen im Alpengarten Schynige Platte. Phänologie an der oberen Waldgrenze, Diplomarbeit, Geographisches Institut, Universität Bern 2007; *Pascal Vittoz, Christophe Randin, Annelise Dutoit, François Bonnet, Otto Hegg*, Low impact of climate change on subalpine grasslands in the Swiss Northern Alps, in: *Global Change Biology* 15 (2009), S. 209–220.

Wilderswil im Lütchinental (Berner Oberland) liegt auf einer Höhe von 1950–2000 m ü. M. auf 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. Sie 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 wieder die Phänologie der Pflanzen 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. Gabriel Gschwend hat im Rahmen seiner Diplomarbeit Blühkalender erstellt. Sie visualisieren die Notizen in den Datenblättern und geben somit Blühbeginn und -ende, sowie die Blühdauer der einzelnen Individuen wider.

Abb. 4 illustriert die Phänologie im Alpengarten «Schynige Platte» für die Jahre mit vorhandenen Aufzeichnungen. Er zeigt für jedes Jahr die mittlere Erscheinungswoche und die Variabilität der einzelnen Arten. Die Farben weisen auf die vier Gruppen von Frühblüher bis Spätblüher hin.²³

In Ergänzung zum nationalen Schweizer phänologischen Netz wird eine Vielzahl von Beobachtungen in regionalen Netzwerken, bei Institutionen und von einer unbekanntem Zahl von Menschen im stillen Kämmerchen erhoben. Die Beobachtungen sind denn auch weit verstreut. In den ersten Jahren des Schweizer Wetterbeobachtungsnetzes wurden in den Jahrbüchern ebenfalls pflanzenphänologische Beobachtungen publiziert.²⁴ In der Periode 1864–1873 wurden in der ganzen Schweiz nebst weiteren Obstbaumarten und Wildblumen 191 Beobachtungen der Kirschenblüte erfasst, gemeldet und veröffentlicht.²⁵ 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.

Zur gleichen Zeit wie die SMB wurde das historische Waldnetz des Kantons Bern (1869) vom Bernischen Forstdienst initiiert; er erhob phänologische Beob-

23 Gschwend hat die Gruppen Frühblüher, späte Frühblüher, frühe Spätblüher und Spätblüher gebildet.

24 *Rudolf Wolf*, Schweizerische Meteorologische Beobachtungen, Zürich 1864–1873.

25 *This Rutishauser* 2003 (Anm. 11).

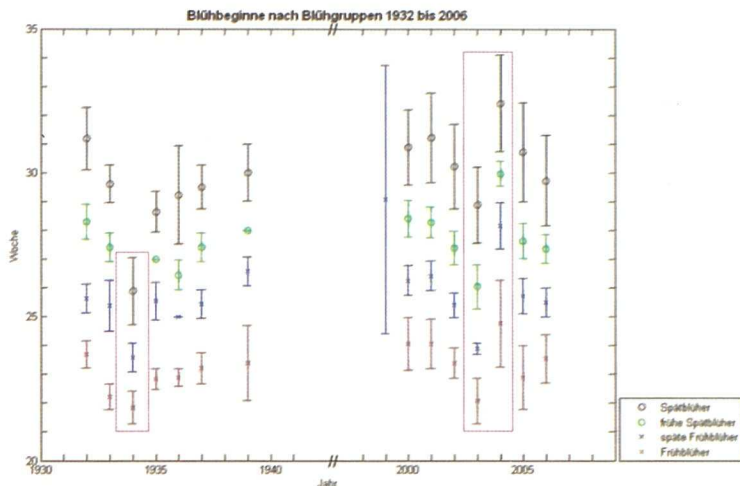


Abb. 4: Phänologische Beobachtungen der Schynigen Platte. Zusammenfassung aller Blühgruppen in den Beobachtungsjahren 1934–1939 und 1999–2006. 1934, 2003 (früh) und 2004 (spät) sind hervorgehoben. Aus Gabriel Gschwend 2008 (Anm. 23), Abb. 16

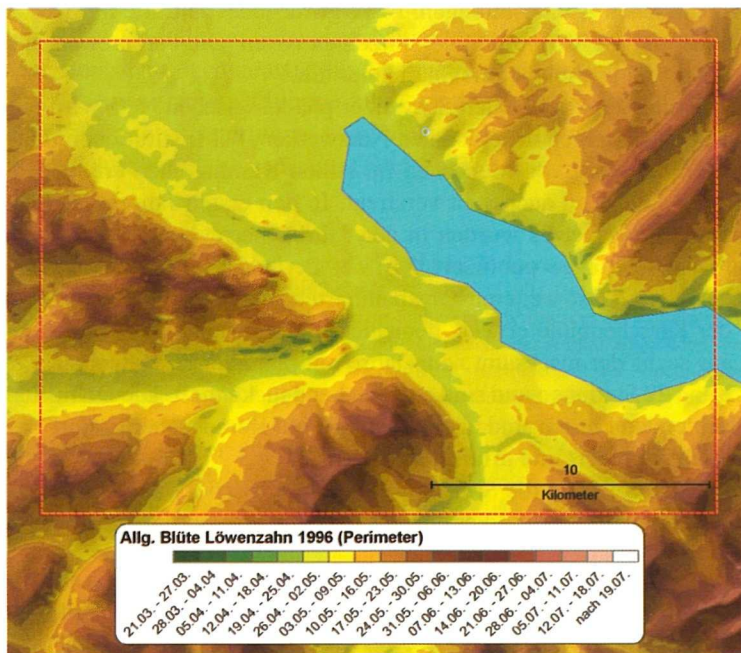


Abb. 5: Allgemeine Blüte des Löwenzahns in der Region Thunersee. Räumliche Modellierung aus Silvan Kottmann 2008 (Anm. 28), S. 132

achtungen, aber auch meteorologische Messungen im ganzen Kantonsgebiet.²⁶ 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 Kantonsgebiet bis zur Alpensüdseite.²⁷ Vor 40 Jahren 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.²⁸ 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/Schattenwurf kann die Blüte flächendeckend modelliert werden. Die Parameter des multivariaten Regressionsmodells konnten auch mit unabhängigen Beobachtungen verifiziert werden (Kreuzvalidierung).

Seit 2004 erfasst und untersucht «Phénoclim» phänologische Beobachtungen in Hochsavoyen und dem Unterwallis.²⁹ Phénoclim ist Forschungs- und Ausbildungsprojekt zugleich. Zum einen werden phänologische Beobachtungen in Gebirgslandschaften erhoben, andererseits sollen Mittelschüler mit wissenschaftlichem Arbeiten vertraut gemacht und für die Auswirkungen des Klimawandels in ihrem Lebensraum sensibilisiert werden.

- 26 *Astrid Vassella*, Phänologische Beobachtungen des Bernischen Forstdienstes von 1869 bis 1882. Witterungseinflüsse und Vergleich mit heutigen Beobachtungen, (=Buwal Umweltmaterialien, Bd. 73) Bern 1997, S. 9–75.
- 27 *Bruno Messerli*, Klima und Planung. Ziele, Probleme und Ergebnisse eines klimatologischen Forschungsprogrammes im Kanton Bern, in: Jahrbuch der geographischen Gesellschaft von Bern 52 (1978), S. 11–22; *François Jeanneret*, *This Rutishauser*, Phenology for topo-climatological surveys and large-scale mapping, in: *Irene Hudson, Marie Keatley* (Hrsg.), Phenological Research: Methods for environmental and climate change analysis, im Druck; *François Jeanneret* (Hrsg.), 40 Jahre BernClim, in: Schweizer phänologischer Rundbrief 10 (2009), S. 1–6.
- 28 *Silvan Kottmann*, Topoklimatische Modellierung phänologischer Frühlingsphasen mit einem Geographischen Informationssystem GIS. Allgemeine Blüte von Hasel, Löwenzahn und Apfelbaum im Querschnitt durch Jura, Mittelland und Alpen, Diplomarbeit, Geographisches Institut, Universität Bern 2008.
- 29 Phénoclim wird betrieben vom Centre de Recherches sur les Ecosystèmes d'Altitude (CREA) mit Sitz in Chamonix (F) [www.crea.hautesavoie.net].

7 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 Beobachtungen mit Menschaugen und aus der Geschichte wird die Interpretation und Bewertung neuester 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, Österreich [A], Schweiz [CH] und Slowenien [S]) führt Nicole Meier an der *MeteoSchweiz*³⁰ eine erste Untersuchung durch. In länderübergreifender Alpenperspektive gewinnt die Interpretation phänologischer Beobachtungen an neuem Wert. Phänologie könnte so vermehrt Eingang finden in Kartenwerken wie Landesatlanten – etwa dem Atlas der Schweiz und dem Klimaatlas der Schweiz,³¹ und künftig auch in alpenweiten Atlanten.³² Diese überwinden die inneralpinen Landesgrenzen, sollten aber nicht mit der Alpengrenze den interessanten Blick auf das alpine Um- und Vorland verwehren.

Der methodische Beitrag der historischen Klimaforschung und der historischen Phänologie im Speziellen unterstützt die Erschliessung und Interpretation

30 Nicole Meier, *Christof Appenzeller, Claudio Defila, Mark A. Liniger, Mathias W. Rotach*, Spring Phenology Patterns of the Alpine Region and their Relation to Climate Change, in Vorbereitung.

31 *Edouard Imhof* (Hrsg.), Atlas der Schweiz = Atlas de la Suisse = Atlante della Svizzera. Office fédéral de topographie, Wabern/Bern 1965/1978, 86 Tafeln + Ergänzungen; *Walter Kirchhofer* (Hrsg.), Klimaatlas der Schweiz = Atlas climatologique de la Suisse. Bundesamt für Landestopographie Wabern 1982, Kartenmappen Atlas der Schweiz [Elektronische Daten] = Atlas de la Suisse = Atlante della Svizzera/[Gemeinschaftswerk von] Bundesamt für Landestopographie (swisstopo), Institut für Kartographie der ETH-Zürich, ETH-Rat, hrsg. im Auftrag des Schweizerischen Bundesrates Ausgabe Version 2.0 Impressum Bern, Bundesamt für Landestopographie, 2004, Umfang 2 CD-ROM + Begleitheft.

32 *Ulrike Tappeiner* (Hrsg.), The EU agricultural policy and the environment: evaluation of the alpine region, Europäische Akademie Bozen, Fachbereich Alpine Umwelt, Blackwell Berlin 2003, 275 S., Ill. + 1 CD-ROM; *Ulrike Tappeiner, Erich Tasser, Georg Leitinger, Gottfried Tappeiner*, Landnutzung in den Alpen: historische Entwicklung und zukünftige Szenarien, in: *Alpine Space – Man & environment*, vol. 1, Die Alpen im Jahr 2020, Innsbruck 2006.

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. Gebirgsphänologie bleibt eine grosse Herausforderung: In einem aussergewöhnlich komplexen Raum ist die Erfassung besonders extensiv ausgestattet.