

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 154 (2003)

Heft: 8

Artikel: Pflanzenphänologische Beobachtungen in Graubünden : Trends bei pflanzenphänologischen Zeitreihen

Autor: Defila, Claudio

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1098193>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 01.05.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Pflanzenphänologische Beobachtungen in Graubünden: Trends bei pflanzenphänologischen Zeitreihen

CLAUDIO DEFILA

Keywords: Climate change; phytophenology; time series; trends; Canton Grisons, Switzerland. FDK 111.83 : 181.8 : UDK 551.583 : (494.26)

1. Einleitung

Die Phänologie befasst sich mit den jahreszeitlich periodisch wiederkehrenden Wachstums- und Entwicklungserscheinungen der Lebewesen. In der Pflanzenphänologie handelt es sich bei den periodisch wiederkehrenden Wachstums- und Entwicklungserscheinungen um die sogenannten phänologischen Phasen (Phänophasen) wie Blattentfaltung, Beginn der Blüte, Vollblüte, Fruchtreife, Blattverfärbung und -fall. Bei den Kulturpflanzen kommen noch Saat- und Erntetermine dazu. In der Tierphänologie werden zum Beispiel Ankunft und Abflug der Zugvögel beobachtet und notiert.

Die älteste phänologische Zeitreihe geht bis aufs Jahr 812 zurück. Seit diesem Jahr wird in Japan jährlich der Zeitpunkt der Kirschenblüte erfasst. In Europa wurden im 18. und 19. Jahrhundert bereits erste phänologische Beobachtungsnetze gegründet, deren Lebensdauer leider nur kurz war. Doch existieren in der Schweiz zwei sehr alte phänologische Zeitreihen, die bis heute weitergeführt werden. Seit 1808 wird in Genf der Blattaussbruch der Rosskastanien und in Liestal seit 1894 die Vollblüte der Kirschen beobachtet und registriert (DEFILA & CLOT 2001). Nationale phänologische Beobachtungsnetze wurden in Europa erst im 20. Jahrhundert gegründet. In der Schweiz besteht ein entsprechendes Netz, das die verschiedenen Regionen und Höhenlagen der Schweiz umfasst, seit 1951. 1996 wurde das Beobachtungsprogramm leicht modifiziert. Heute werden an rund 160 Beobachtungsstationen 26 verschiedene Pflanzenarten und 69 Phänophasen beobachtet und notiert. Es handelt sich dabei vor allem um wild wachsende Pflanzen, die in der Nähe der Beobachtungsstationen vorkommen. Ein Sofortmeldeprogramm, das aus 19 ausgewählten Phänophasen besteht und von 40 Stationen durchgeführt wird, ermöglicht während der Saison aktuelle phänologische Bulletins zu erstellen. Diese werden über Internet (www.meteoschweiz.ch) verbreitet. Daneben gibt es noch internationale phänologische Gärten bei denen erbgleiche Pflanzen beobachtet werden. In der Schweiz existiert ein solcher Garten in Birmensdorf.

Tabelle 1: Ausgewählte Beobachtungsstationen für phänologische Zeitreihen.

Station	m ü.M.	ab Jahr
Andeer	985	1953
Brusio	790	1956
Davos-Dorf	1600	1952
Disentis	1200	1956
San Bernardino	1625	1956
St. Moritz	1800	1969
Schiers	700	1951
Seewis	960	1951
Thusis	700	1956
Vals	1250	1956

Der Nutzen und die Anwendungen der Phänologie sind sehr vielfältig. Neben phänologischen Karten und Kalendern (DEFILA 1992) wird die Phänologie auch im Pflanzenschutz angewendet. Für eine effiziente und umweltschonende Schädlingsbekämpfung muss der Stand der Entwicklung der Wirtspflanzen und der Schadenerreger bekannt sein. Auch für Frostwarnungen bei Kulturpflanzen kann die Erfassung der phänologischen Stadien nützlich sein. Je nach Stand der Vegetationsentwicklung sind die Pflanzen unterschiedlich frostresistent. Trendanalysen von phänologischen Zeitreihen sind im Zusammenhang mit einer globalen Klimaänderung besonders aktuell (AHAS 2000, MENZEL 2000, CHMIELEWSKI & RÖTZER 2001, DEFILA & CLOT 2001). Da die Eintrittstermine der Phänophasen vor allem im Frühling sehr stark von den Temperaturen beeinflusst werden (DEFILA 1991), müssen die Auswirkungen einer Klimaerwärmung bei den phänologischen Daten ersichtlich werden.

2. Material und Methoden

Von den rund 160 phänologischen Beobachtungsstationen in der Schweiz liegen 32 im Kanton Graubünden. Für die Trendanalysen der phänologischen Zeitreihen wurden zehn Stationen verwendet (Tabelle 1) und für detailliertere Untersuchungen wurden nochmals 15 Stationen mit einbezogen (Tabelle 2).

Tabelle 2: Weitere Beobachtungsstationen für phänologische Zeitreihen.

Station	m ü.M.	ab Jahr
Casaccia	1460	1970
Chur	600	1962
Domat/Ems	580	1970
Fanas	910	1970
Grüsch	650	1970
Illanz	700	1961
Jenaz	800	1970
Lenzerheide	1500	1970
Martina	1050	1976
Pontresina	1805	1970
Scuol	1240	1971
Sent	1440	1970
Stampa	1000	1970
Zizers	600	1971
Zuoz	1700	1970

Bei den meisten Zeitreihen gab es kürzere oder längere Unterbrüche. Teilweise fehlen ganze Jahre oder einzelne Phänophasen wurden nicht erfasst. Es können auch nicht alle Pflanzen bei allen Stationen beobachtet werden, da verschiedene Pflanzen ab einer bestimmten Höhe nicht mehr vorkommen. Die Beobachtungen decken Höhenlagen von 580 m

ü.M. (Domat/Ems) bis 1805 m ü.M. (Pontresina) ab und sind auch auf die verschiedenen klimatischen Regionen von Graubünden (Rheinbünden, Engadin und Südbünden) verteilt. Fast die Hälfte der Stationen liegt in der alpinen Höhenstufe (über 1000 m ü.M.). Diese höhenmässigen und regionalen Unterschiede machen die phänologischen Studien in Graubünden besonders interessant. Die Pflanzenphänologie des Engadins wurde bereits detailliert ausgewertet und die entsprechenden Resultate wurden publiziert (DEFILA 2002). Nicht mit einbezogen in die Auswertungen sind die phänologischen Beobachtungen im Schweizerischen Nationalpark, die erst seit 1994 existieren und ein spezielles Beobachtungsprogramm haben. Aus den 69 Phänophasen wurden für die Trendanalysen die 17 folgenden Phänophasen ausgewählt:

- Vollblüte Hasel (*Corylus avellana*)
- Vollblüte Buschwindröschen (*Anemone nemorosa*)
- Vollblüte Löwenzahn (*Taraxacum officinale*)
- Vollblüte Margerite (*Leucanthemum vulgare*)
- Vollblüte Schwarzer Holunder (*Sambucus nigra*)
- Vollblüte Sommerlinde (*Tilia platyphyllos*)
- Vollblüte Winterlinde (*Tilia cordata*)
- Vollblüte Herbstzeitlose (*Colchicum autumnale*)
- Blattentfaltung Hasel (*Corylus avellana*)
- Blattentfaltung Rosskastanien (*Aesculus hippocastanum*)
- Blattentfaltung Rotbuche (*Fagus sylvatica*)
- Nadelaustrieb Lärche (*Larix decidua*)
- Nadelaustrieb Fichte (*Picea abies*)
- Blattverfärbung Rosskastanien (*Aesculus hippocastanum*)
- Blattverfärbung Rotbuche (*Fagus sylvatica*)
- Blattfall Rosskastanien (*Aesculus hippocastanum*)
- Blattfall Rotbuche (*Fagus sylvatica*)

Für ausgewählte Spezialauswertungen wurden noch zusätzliche Phänophasen (z.B. bei phänologischen Kalendern) berücksichtigt. Die Trendanalysen der phänologischen Zeitreihen beruhen auf linearen Modellen, die mit dem F-Test ($P < 0,05$) geprüft wurden. Dazu wurde die Periode 1951 bis 1998 verwendet. Es wurden nur phänologische Zeitreihen ausgewertet, bei denen nicht mehr als ein Beobachtungsjahr fehlt und mindestens zwanzig Beobachtungsjahre zur Verfügung stehen. So flossen hundert Zeitreihen von zehn Stationen in die Berechnung ein. Für die Darstellung der phänologischen Kalender der einzelnen Stationen wurde eine einfache aber aussagekräftige Statistik verwendet. Pro Station und Phänophase wurden die jährlichen Eintrittstermine aufsteigend geordnet (vom frühesten bis zum spätesten Termin) und in die fünf folgenden Klassen eingeteilt:

- sehr früh 10% aller Werte
- früh 15% aller Werte
- normal 50% aller Werte
- spät 15% aller Werte
- sehr spät 10% aller Werte

Somit kann der mittlere Verlauf der phänologischen Phasen sowie die statistische Verteilung mit den Extremwerten sehr schön dargestellt werden.

3. Resultate

Aufgrund der grossen Höhenunterschiede bei den phänologischen Stationen (580 bis 1805 m ü.M.) und den unterschiedlichen Klimaregionen im Kanton Graubünden (Rheinbünden, Engadin und Südbünden) können aus den phänologischen Daten von Graubünden sehr viele interessante Informationen gewonnen werden.

3.1 Mittelwerte und Streuungen

Exemplarisch wurden für die Auswertungen eine phänologische Frühlingsphase (Nadelaustrieb der Lärche) und eine Herbstphase (Blattverfärbung der Rotbuche) ausgewählt. Die Phänophase Nadelaustrieb der Lärche hat den Vorteil, dass sie in allen Höhenstufen beobachtet werden kann. Lediglich die Daten von Casaccia konnten nicht berücksichtigt werden, da die Zeitreihe Inhomogenitäten aufweist, die wahrscheinlich durch den Wechsel des Beobachtungsstandortes hervorgerufen wurden. Im Herbst gibt es leider keine Phänophase, die in allen Höhenlagen beobachtet werden kann. Da die Vollblüte der Herbstzeitlose keine typische und markante Herbstphase ist, mussten wir uns mit der Blattverfärbung der Rotbuche begnügen. Es konnten aufgrund der Verbreitung der Rotbuche nur zwölf Stationen berücksichtigt werden. Die höchst geeigneten Standorte, wo die Buchen noch beobachtet werden, befinden sich in Disentis und Scuol auf etwa 1200 m ü.M.

Beim Nadelaustrieb der Lärchen streuen die mittleren Eintrittstermine je nach Höhenlage recht stark. In Zizers (600 m ü.M.) und Chur (600 m ü.M.) treiben die Lärchen im Mittel am frühesten (am 8. April) aus. 50 Tage später (am 28. Mai) findet diese Phänophase in Pontresina (1805 m ü.M.) statt. Die Streuungen bei den einzelnen Stationen betragen zwischen 7 und 18 Tage. Der absolut früheste Termin in Graubünden wurde am 5. März 1990 in Brusio (790 m ü.M.) beobachtet, der späteste am 29. Juni 1965 in San Bernardino (1525 m ü.M.). Das Jahr 1990 ist allgemein bekannt als frühes phänologisches Jahr. Die Differenzen zwischen dem frühesten und spätesten Datum an einer Station können bis zu 70 Tage betragen. Diese grosse Variationsbreite macht die Kontrolle der phänologischen Daten extrem schwierig.

Bei der Blattverfärbung der Rotbuche wurde der früheste mittlere Eintrittstermin am 6. Oktober in Schiers (700 m ü.M.) gefunden, der späteste am 21. Oktober in Zizers (600 m ü.M.). Bei dieser Phänophase beträgt die Differenz vom frühesten bis zum spätesten Standort lediglich 15 Tage. Bereits aus diesen Daten wird ersichtlich, dass bei den phänologischen Herbstphasen keine echte Höhenabhängigkeit besteht. Im Gegensatz zu den Frühlingsphasen sollten die phänologischen Herbstphasen in den höheren Lagen zuerst eintreten und sich dann langsam in die tieferen Lagen ausbreiten (DEFILA 1991). Die absolut früheste Blattverfärbung der Buche in Graubünden fand am 1. September 2001 in Disentis (1200 m ü.M.) statt, die späteste am 10. November 1979 in Scuol (1240 m ü.M.) und am 10. November 1987 in Zizers (600 m ü.M.). Die Streuungen bei den einzelnen Stationen betragen zwischen 7 und 16 Tage. Die maximale Variationsbreite bei einer Beobachtungsstation beträgt etwa 60 Tage.

Diese Auswertungen anhand von zwei beispielhaften Phänophasen zeigen, dass die Vegetationsentwicklung im Kanton Graubünden recht grosse Unterschiede je nach Höhenlagen und Klimaregion (Rheinbünden, Engadin, Südbünden) aufweist. Bei den weiteren Phänophasen dürften die Ergebnisse in etwa gleich sein.

3.2 Pflanzenphänologische Kalender

Unter einem pflanzenphänologischen Kalender wird die grafische Darstellung des zeitlichen Ablaufs verschiedener Phänophasen an einem bestimmten Ort oder in einer Region verstanden. Eine einfache Art eines derartigen Kalenders ist die zeitliche Anordnung der Phänophasen aufgrund ihrer Mittelwerte. Oft werden auch noch zusätzlich die Streuungen angegeben. Die Darstellung der pflanzenphänologischen Kalender in der Schweiz ist etwas detaillierter (DEFILA 1992). Diese Grafiken zeigen die statistischen Verteilungen der phänologi-

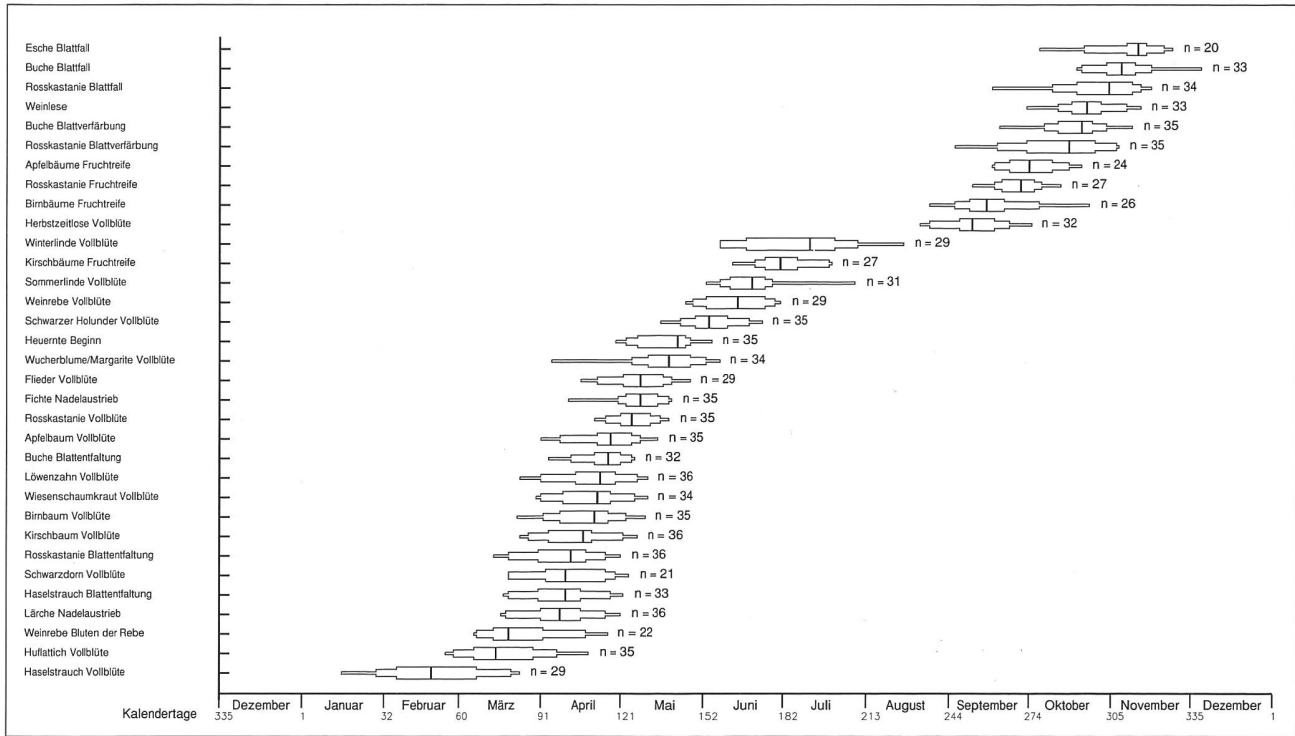


Abbildung 1: Pflanzenphänologischer Kalender der Station Chur (600 m ü.M.) der Periode 1962 bis 2002.

schen Eintrittstermine, den Verlauf der Vegetationsentwicklung sowie die Extremwerte (früheste und späteste Termine). Neben den bereits erwähnten Phänophasen, die für die Trendanalysen verwendet wurden, konnten für diese Darstellung noch zusätzliche Phasen mit einbezogen werden. Die Grafiken der einzelnen Phänophasen stellen die fünf Klassen (von sehr früh bis sehr spät) dar, wie sie in Kapitel 2 beschrieben wurden. Mit «n» werden die Anzahl der vorhandenen Beobachtungsjahre bezeichnet. Als Beispiele werden in *Abbildung 1* und *2* die phänologischen Kalender einer Tieflandstation (Chur, 600 m ü.M.) und einer alpinen Station (Disentis, 1200 m ü.M.) vorgestellt. Naturgemäss werden bei der alpinen Station weniger Phänophasen als bei der Tieflandstation beobachtet. Augenfällig sind die grossen Streuungen bei den sehr frühen Phänophasen (Vollblüte des Huftlächli und der Hasel).

3.3 Meteorologische Einflüsse

Aus früheren Untersuchungen ist bekannt, dass die phänologischen Frühlingsphasen sehr stark von der Lufttemperatur beeinflusst werden (DEFILA 1991). Um diese Beziehung zwischen der Temperatur und der Phänologie visuell darzustellen, wurde folgendes Verfahren gewählt. Für die Station Disentis (Phäno- und Klimastation) wurde aufgrund der phänologischen Frühlingsphase Nadelaustrieb der Lärche die Jahre der Periode 1960 bis 2000 in frühe, normale und späte Jahre eingeteilt. Diese Klassierung der einzelnen Jahre beruht auf der Einteilung in die fünf Klassen. Für alle frühen Jahre (sehr früh und früh) und späten Jahre (sehr spät und spät) wurde mittels der Lufttemperaturmessungen der Klimastation Disentis je der mittlere Temperaturverlauf vom 1. März bis zum 28. April (mittlere Eintrittstermin des Nadelaustriebes der Lärche in Disentis) berechnet (*Abbildung 3*). Diese Grafik zeigt deutlich, dass der mittlere Temperaturverlauf aller phänologisch frühen Jahre fast durchwegs höher liegt als derjenige der phänologisch späten Jahre. Die Temperaturunterschiede können bis zu sechs Grad betragen. Für den phänologischen Herbst gibt es leider keine so schönen Modelle. Die Blattverfärbung wird teilweise durch die sinkenden Temperaturen im Herbst sowie durch Trockenperioden während der Vegetationszeit

beeinflusst. Doch sind die Beziehungen zwischen der Temperatur und der Blattverfärbung nicht so deutlich wie der Temperatureinfluss auf die phänologischen Frühlingsphasen. Diese Tatsache wird von Phänologinnen und Phänologen der ganzen Welt bestätigt. Beim Blattfall spielen die aktuellen Wetterbedingungen eine grosse Rolle wie zum Beispiel Frost, Schneefall oder Sturmwinde. Möglicherweise erschwert die Unschärfe der Beobachtungen im Herbst die Modellierung der Herbstphasen. Es ist wesentlich einfacher die Termine der Blüte oder der Blattentfaltung zu bestimmen als die der Blattverfärbung oder des Blattfalls.

3.4 Trendanalysen von phänologischen Zeitreihen

Für die Analysen der phänologischen Trends wurde maximal die Periode 1951 bis 1998 verwendet. Bei den meisten Stationen reichen jedoch die Zeitreihen nicht so weit zurück. Es wurden aber nur Zeitreihen berücksichtigt, die über mindestens zwanzig Beobachtungsjahre verfügen. Insgesamt wurden hundert phänologische Zeitreihen untersucht, die sich auf zehn Beobachtungsstationen verteilen. Es wurden die Trends von zwölf verschiedenen Pflanzenarten und 17 Phänophasen berechnet. Werden die Phänophasen den drei phänologischen Jahreszeiten zugeordnet, dann ergeben sich neun Frühlings-, drei Sommer- und fünf Herbstphasen. Von den hundert phänologischen Zeitreihen weisen 27% einen signifikanten Trend auf (F-Test, $P < 0,05$). Bei der analogen Auswertung für die gesamte Schweiz wurden 30% signifikante Trends gefunden (DEFILA & CLOT 2001). Von den 27% signifikanten Trends in Graubünden zeigen 25% (19% für die ganze Schweiz) einen Trend zur Verfrühung und lediglich 2% (11% für die ganze Schweiz) einen Trend zur Verspätung auf. Die zwei Trends zur Verspätung traten im phänologischen Herbst bei der Blattverfärbung der Roskastanien und bei der Vollblüte der Herbstzeitlosen auf. Die meisten signifikanten Trends wurden beim Nadelaustrieb der Lärche mit fünf signifikanten Trends gefunden. Bei den 63 phänologischen Zeitreihen im Frühling weisen 25,4% einen signifikanten Trend zur Verfrühung, bei den elf Sommerphasen 36,4% zur Verfrühung und bei den 26 Herbstphasen 26,9% einen signifikanten Trend

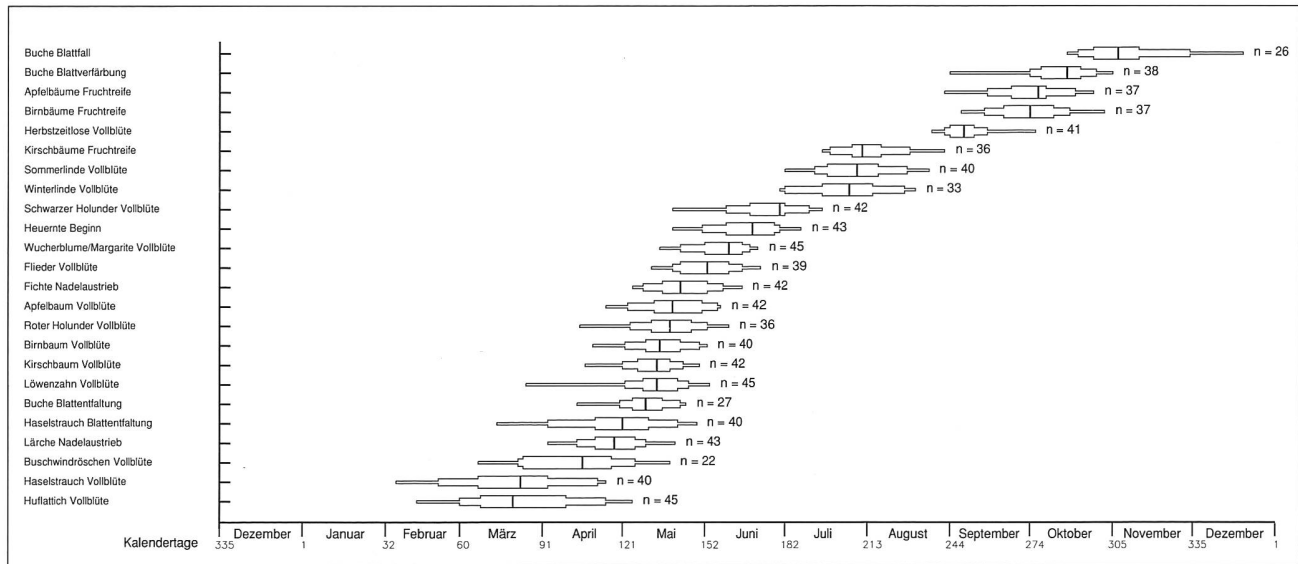


Abbildung 2: Pflanzenphänologischer Kalender der Station Disentis (1200 m ü.M.) der Periode 1956 bis 2002.

(19,2% zur Verfrühung und 7,7% zur Verspätung) auf. In der Region Graubünden überwiegen weit stärker als in der gesamten Schweiz die Trends zur Verfrühung. Der Grund dürfte darin liegen, dass der Anteil der signifikanten Trends zur Verfrühung mit der Höhenlage der Station zunimmt (DEFILA & CLOT 2001). Viele der Beobachtungsstationen in Graubünden liegen in der alpinen Höhenstufe. In *Abbildung 4* ist ein Trend zur Verfrühung bei der Phänophase Nadelaustrieb der Fichte der Beobachtungsstation Lenzerheide dargestellt. Gemittelt über alle Stationen weisen, mit Ausnahme der Herbstzeitlose, alle Phasen einen Trend zur Verfrühung auf (*Abbildung 5*). Die Verfrühung in Tagen schwankt zwischen 6,5 Tagen (Blattverfärbung der Rosskastanien) und 37,3 Tagen (Vollblüte der Hasel). Als Folge der milden Winter in den letzten Jahrzehnten haben sich vor allem die sehr frühen Phänophasen, wie die Vollblüte der Hasel, besonders stark verfrüht. Werden die Phänophasenarten zusammengefasst und mit den Werten der ganzen Schweiz verglichen, dann werden folgende Verfrühungen bzw. Verspätungen ermittelt:

	Graubünden	ganze Schweiz
Vollblüte	-22,1 Tage	-10,7 Tage
Blattentfaltung	-18,8 Tage	- 3,3 Tage
Blattverfärbung	-19,5 Tage	- 5,3 Tage
Blattfall	-15,8 Tage	+ 9,2 Tage

Bei der Vollblüte wurde die Herbstzeitlose nicht berücksichtigt, da es sich um die einzige Blühphase handelt, die im Herbst auftritt und der phänologische Herbst allgemein durch Blattverfärbung und -fall charakterisiert wird. Auffallend ist die Tatsache, dass im Kanton Graubünden im Mittel in diesen fast 50 Jahren alle Phasenarten einen Trend zur Verfrühung aufweisen. Da die Frühlings- und Sommerphasen sehr stark von der Temperatur beeinflusst werden (DEFILA 1991) und sich die Lufttemperaturen in der Schweiz in den letzten Jahrzehnten erhöht haben, entsprechen diese Ergebnisse den Erwartungen. Weniger plausibel ist die Verfrühung der Herbstpha-

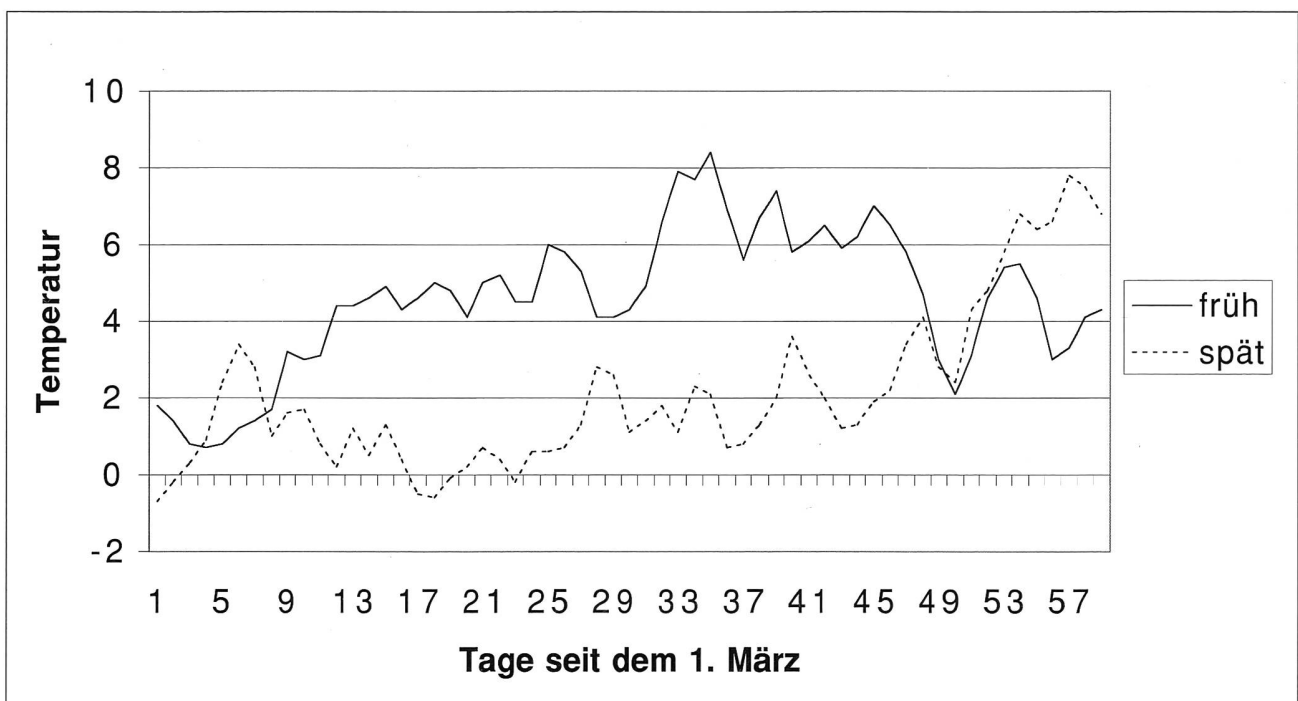


Abbildung 3: Mittlerer Temperaturverlauf der phänologisch frühen und späten Jahre ab 1. März der Klimastation Disentis (1200 m ü.M.).

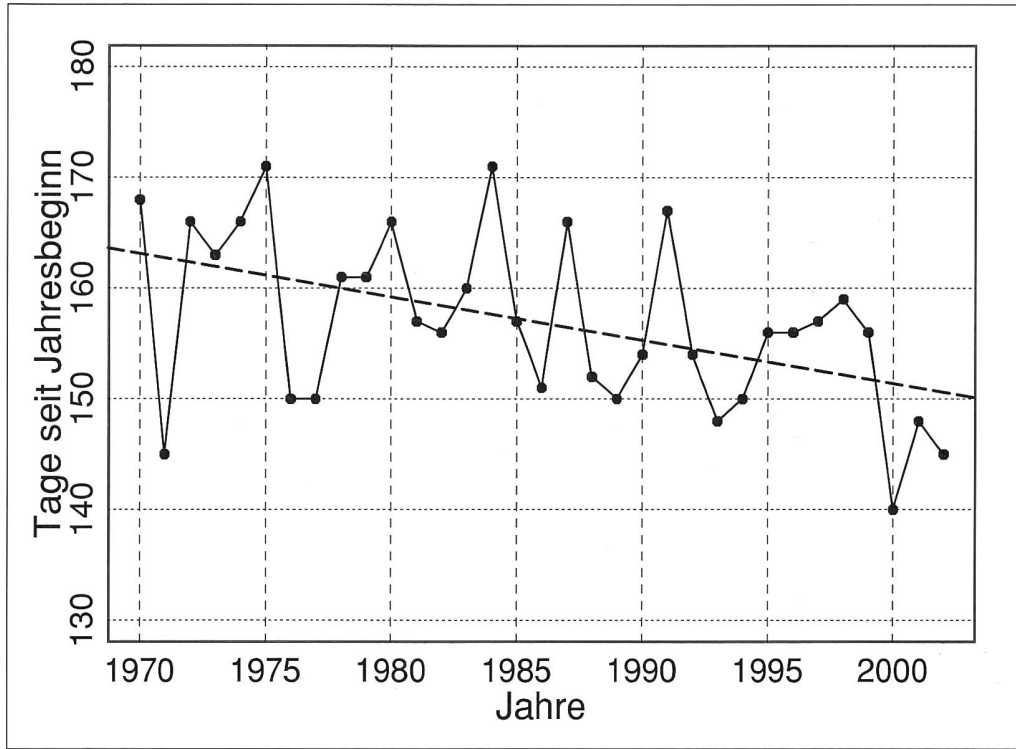


Abbildung 4: Linearer Trend beim Nadelaustrieb der Fichte der Beobachtungsstation Lenzerheide (1500 m ü.M.) der Periode 1970 bis 2002 (F-Test, P = 0,005).

sen (Blattverfärbung und -fall). Bei einer Erwärmung sollten sich diese Herbstphasen eher verspäten. Der Einfluss von Trockenperioden während der Vegetationszeit ist noch genauer zu untersuchen. Leider ist es bis heute noch niemandem gelungen die Herbstphasen gut zu modellieren. Bei der entsprechenden Auswertung für die gesamte Schweiz ist ersichtlich, dass die Verfrühung weniger markant ist, und beim Blattfall konnte sogar eine Verspätung festgestellt werden. Die markantere Verfrühung bei den phänologischen Frühlingsphasen in Graubünden ist darauf zurückzuführen, dass in alpinen Regionen die Vegetation stärker auf eine Klimaerwärmung reagiert als in Tieflagen. Die phänologischen Stationen in Graubünden liegen mehrheitlich in höheren Lagen. Es konnte auch festgestellt werden, dass in milderen Regionen

der Schweiz wie auf der Alpensüdseite oder im Wallis die Vegetation ebenfalls weniger stark auf die Erwärmung reagiert (DEFILA & CLOT 2001). Es kann angenommen werden, dass in Regionen, wo die Wärme weniger stark der limitierende Faktor für Wachstum und Entwicklung der Pflanzen ist (Alpensüdseite, Wallis und Tieflagen), die Pflanzen weniger stark auf eine Erwärmung reagieren. Wird die Vegetationsperiode als fotosynthetisch aktive Zeit definiert (Blattentfaltung bis Blattverfärbung), dann verkürzt sich die Vegetationsperiode in Graubünden ganz leicht um 0,7 Tage und in der ganzen Schweiz um zwei Tage als Folge der früheren Blattverfärbung. Werden die Phänophasen den phänologischen Jahreszeiten zugeordnet, dann ergeben sich folgende Werte der Verfrühung bzw. Verspätung:

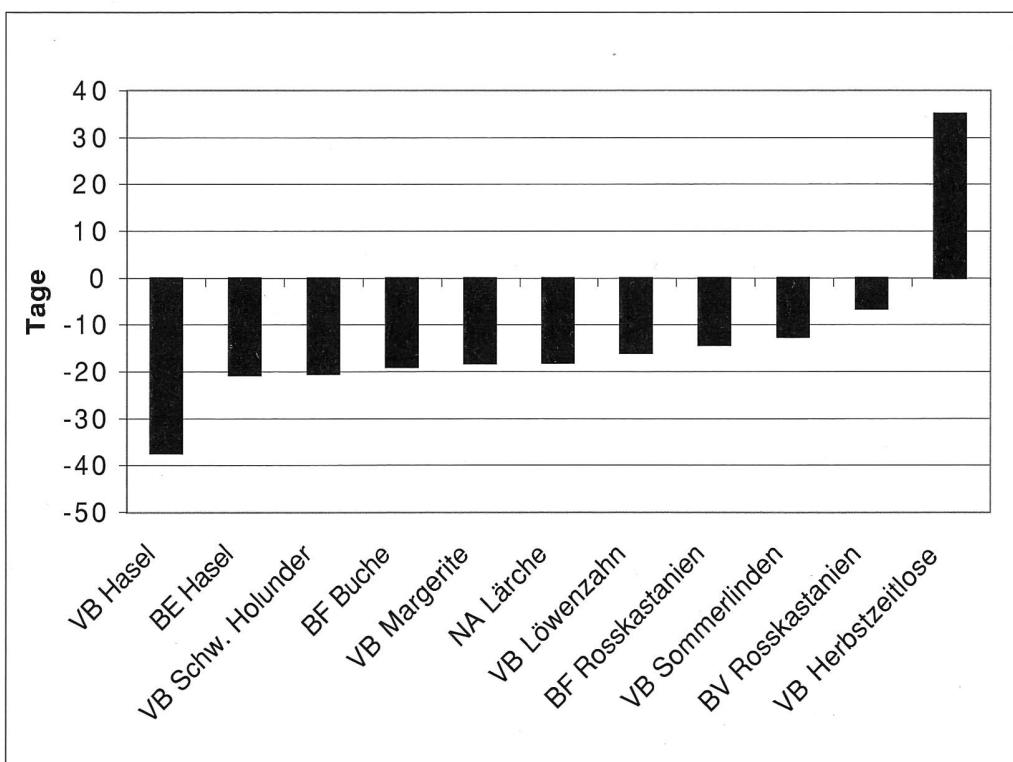


Abbildung 5: Mittlere Verfrühung bzw. Verspätung pro Phänophase in Tagen für die Stationen in Graubünden. VB = Vollblüte, BE = Blattentfaltung, NA = Nadelaustrieb, BV = Blattverfärbung, BF = Blattfall.

	Graubünden	ganze Schweiz
Frühling	-21,6 Tage	-11,6 Tage
Sommer	-18,4 Tage	-14,7 Tage
Herbst (ohne Herbstzeitlose)	-11,2 Tage	+ 1,7 Tage

Auch bei dieser Auswertung wird deutlich, dass die Verfrühung im Frühling und Sommer in Graubünden stärker ausgeprägt ist als in der gesamten Schweiz. Im Herbst wird im Gegensatz zu den Daten von Graubünden sogar in der ganzen Schweiz eine Verspätung registriert, die auf den verspäteten Blattfall zurückzuführen ist. Wird die Vegetationsperiode als Differenz zwischen allen Frühlings- und Herbstphasen berechnet, so wird Dank dem früheren Vegetationsbeginn in Graubünden eine Verlängerung der Vegetationszeit von 10,4 Tagen und in der ganzen Schweiz von 13,3 Tagen ermittelt. Die starke Verfrühung im Frühling ist eindeutig auf die Klimaerwärmung der letzten Jahrzehnte zurückzuführen. Ähnliche Werte konnten auch aufgrund der Beobachtungen in den internationalen phänologischen Gärten für ganz Europa gefunden werden (MENZEL & FABIAN 1999). Ein verfrühter Vegetationsbeginn hat auch direkte Folgen für die Agrar- und Forstwirtschaft. So besteht eine grössere Spätfrostgefahr (SCHEIFINGER *et al.* 2003). Es können sich nicht nur die Pflanzen besser entwickeln sondern auch die Schädlinge und Pflanzenkrankheiten sowie die Unkräuter. Es ist mit einer Veränderung der Vegetationszusammensetzung zu rechnen indem sich wärmeliebende Pflanzen stärker ausbreiten, und es kann auch zu einer Verschiebung der Vegetationszonen (vertikal und horizontal) kommen. Zudem ist mit einer grösseren Biomassenproduktion zu rechnen.

4. Schlussfolgerungen

Der Kanton Graubünden mit den vielfältigen Klimaregionen (Rheinbünden, Engadin und Südbünden) und den unterschiedlichen Höhenlagen eignet sich vortrefflich für phänologische Untersuchungen. Die mittleren Eintrittstermine, Streuungen und Variationsbreiten der einzelnen Phänophasen zeigen grosse Unterschiede zwischen den verschiedenen Beobachtungsstationen. Die Streuungen der einzelnen Eintrittstermine von Jahr zu Jahr sind beachtlich. Anhand von phänologischen Kalendern werden der Verlauf der Vegetationsentwicklung an einer Beobachtungsstation sowie die statistische Verteilung und die Extremwerte der phänologischen Daten sehr schön dargestellt. Der starke Temperatureinfluss auf die phänologischen Frühlingsphasen wird anhand der Station Disentis bestätigt. Von grossem Interesse sind die Trends bei pflanzenphänologischen Zeitreihen. Im Gegensatz zu den analogen Auswertungen für die gesamte Schweiz weisen im Kanton Graubünden alle Phänophasenarten eine markante Verfrühung auf. Der kleinste Trend ist beim Blattfall zu verzeichnen mit 16 Tagen und der grösste bei der Vollblüte mit 22 Tagen. Entsprechend zeigen auch alle phänologischen Jahreszeiten (Frühling, Sommer und Herbst) Trends zur Verfrühung auf. Sie betragen im Frühling 22, im Sommer 18 und im Herbst 11 Tage. Die Trends für die gesamte Schweiz sind wesentlich geringer und im Herbst wurde sogar eine Verspätung von zwei Tagen gefunden. Diese Unterschiede dürften auf die Höhenlage der Stationen in Graubünden zurückzuführen sein. Die meisten Stationen liegen in höheren Lagen wo der Einfluss einer Klimaerwärmung auf die Vegetationsentwicklung stärker ist. Wird die Vegetationsperiode als Differenz aller Frühlings- und Herbstphasen betrachtet, dann verlängert sich die Vegetationszeit in Graubünden um 10,4 Tage. Wird jedoch die fotosynthetisch aktive Zeit berechnet (von der Blattentfaltung bis zur Blattverfärbung), dann verkürzt sich die Ve-

getationszeit in Graubünden in diesen knapp 50 Jahren um 0,7 Tage. Diese Verkürzung ist auf die starke Verfrühung der Laubverfärbung zurückzuführen. Ein früherer Start der Vegetationsentwicklung hat direkte Auswirkungen auf die Frostgefahr, Biomassenproduktion, Krankheits- und Schädlingsentwicklung der Pflanzen sowie auf die Zusammensetzung der Flora.

Untersuchungen von weiteren Regionen der Schweiz sind notwendig, um die Ergebnisse aus der Phänologie von Graubünden zu bestätigen und zu ergänzen.

Zusammenfassung

Von 25 phänologischen Beobachtungsstationen in Graubünden und 17 ausgewählten Phänophasen der Periode 1951 bis 1998 wurden verschiedene statistische Auswertungen vorgenommen. Es zeigt sich, dass die phänologischen Daten von Ort zu Ort und von Jahr zu Jahr sehr stark streuen. Dies ist auf die verschiedenen Klimaregionen (Rheinbünden, Südbünden und Engadin) sowie auf die grossen Höhenunterschiede (580 bis 1805 m ü.M.) innerhalb von Graubünden zurückzuführen. Trendanalysen von 100 phänologischen Zeitreihen der Periode 1951 bis 1998 zeigen, dass in Graubünden vor allem Trends zur Verfrühung vorliegen. Im Gegensatz zu den Auswertungen der gesamten Schweiz weisen alle Phänophasenarten (inklusive der Herbstphasen) einen Trend zur Verfrühung auf, die bei der Vollblüte mit 22 Tagen am grössten ist. Dieser frühere Beginn der Vegetationsperiode ist eindeutig auf die Klimaerwärmung zurückzuführen, da die Eintrittstermine der phänologischen Frühlingsphasen sehr stark von der Temperatur beeinflusst werden. Generell ist die Verfrühung in Graubünden ausgeprägter als in der gesamten Schweiz. Da die Pflanzen bei höher gelegenen Stationen stärker auf die Klimaerwärmung reagieren als im Tiefland oder in milderen Regionen und sehr viele Beobachtungsstationen in Graubünden in der alpinen Höhenstufe (über 1000 m ü.M.) liegen, ist dieses Resultat plausibel.

Summary

Phytophenological observations in the Grisons: Trends of phytophenological time series

Statistical analyses were carried out using data from 25 phenological observation stations in the Grisons and 17 chosen phenological phases between 1951 and 1998. Results show a wide scattering of phenological data depending on both time and location. The variation is attributable to climate differences in the different regions (Rheinbünden, Südbünden and Engadin), as well as differences of altitude (between 580 and 1805 m.a.s.l.) in the Canton. Trend analyses of 100 phenological time series during the period in question show, above all, a precocious tendency in the Grisons. In contrast to the evaluation for the whole of Switzerland all phenophase species (including autumnal phases) show a precocious trend which reaches a peak at 22 days in full blossom. This early start of the vegetation period is clearly linked to climate change, as the start of phenological phases in spring are strongly influenced by temperature. Generally speaking, precocity in the Grisons is more accentuated than in the rest of Switzerland. This is a persuasive result in view of the fact that plants at the higher stations react more strongly to climate warming than those in the lowlands or in milder regions and many of the observation stations in the Grisons are situated at alpine altitudes, i.e., over 1000 m.a.s.l.

Translation: ANGELA RAST-MARGERISON

Résumé

Observations phénologiques dans les Grisons: tendances qui se dégagent des séries phénologiques

Diverses statistiques ont été effectuées sur les 17 phénophases retenues, portant sur la période 1951 à 1998, provenant de 25 stations d'observation situées dans les Grisons. Il apparaît que les dates phénologiques sont très variables d'un lieu à l'autre et d'une année à l'autre. Il faut attribuer ce fait aux différentes régions climatiques des Grisons (vallée du Rhin, Sud, Engadine) ainsi qu'aux grandes différences d'altitude (de 580 à 1805 m). Des calendriers phénologiques sont présentés sur la base de deux exemples qui montrent le cours des stades de développement de la végétation dans une station d'observation et la distribution statistique des dates relevées. Le déploiement des aiguilles du mélèze à Disentis a été choisi comme exemple de l'influence de la température sur les phases phénologiques printanières. Aucun modèle analogue n'a pu être trouvé pour les phases automnales. Des analyses de tendance effectuées sur 100 séries phénologiques de la période 1951 à 1998 montrent que dans les Grisons, ce sont les tendances à une plus grande précocité qui prédominent. Contrairement aux dépouillements effectués dans l'ensemble de la Suisse, tous les types de phénophases (y compris les phases automnales) présentent une tendance à la précocité. Celle-ci est la plus forte en ce qui concerne la pleine floraison, avec une avance de 22 jours. Le début plus précoce de la période de végétation est à attribuer clairement au réchauffement du climat, puisque les dates d'apparition des phases phénologiques printanières sont très fortement influencées par la température. Si la période de végétation est définie comme étant la durée d'activité de la photosynthèse de la plante (du déploiement des feuilles jusqu'à leur coloration), il en découle que dans les Grisons la durée de la période de végétation diminue très légèrement, d'un jour environ. Cela est dû à l'avance en automne de la coloration des feuilles. Si la période de végétation est considérée comme étant la différence entre toutes les phases printanières et automnales, la période de végétation s'allonge alors d'environ 10 jours. En général, la précocité est plus prononcée aux Grisons que dans le reste de la Suisse. Comme les plantes des stations plus élevées réagissent davantage au réchauffement du climat qu'en plaine ou que dans les régions d'altitude moyenne et que, dans les Grisons, beaucoup de stations d'observation se trouvent en région alpine (au-dessus de 1000 m d'altitude), ce résultat est plausible.

Riassunto

Osservazioni fenologiche nei Grigioni: tendenze osservate nelle serie fenologiche

In base a 25 stazioni di osservazioni fenologiche dei Grigioni e a 17 fasi fenologiche scelte, per il periodo 1951 - 1998 sono state eseguite diverse elaborazioni statistiche. Queste analisi mostrano che i valori fenologici hanno una grande variazione da regione a regione e da anno in anno. La variazione regionale è dovuta sia alle diverse regioni climatiche (nord e sud dei Grigioni, Engadina), sia alle forti differenze di quota (le stazioni fenologiche vanno da 580 a 1850 m slm) all'interno dei Grigioni. Con l'aiuto di due esempi vengono presentati i calendari fenologici che indicano l'andamento dello sviluppo vegetativo presso una stazione di osservazione e la distribuzione statistica dei dati. Come esempio per l'influsso della temperatura sulle fasi fenologiche primaverili, è stata scelta l'apparizione degli aghi del larice a Disentis. Per le fasi fenologiche autunnali non è invece stato possibile trovare un modello analogo. L'analisi del trend di 100 serie fenologiche del periodo 1951-1998 mostra che nei Grigioni si fa sentire soprattutto la

tendenza all'anticipo. Contrariamente all'elaborazione per il resto della Svizzera, nei Grigioni tutte le fasi fenologiche mostrano una tendenza all'anticipo, che per la piena fioritura è la più importante e comporta 22 giorni. L'inizio precoce del periodo vegetativo è chiaramente riconducibile al riscaldamento del clima, in quanto l'apparizione delle fasi fenologiche primaverili è molto dipendente dalla temperatura. In base alla definizione di periodo vegetativo come il periodo di attività di fotosintesi delle piante (dallo spiegamento delle foglie fino alla loro colorazione), nei Grigioni esso risulta leggermente riaccuriato, di circa un giorno. Questo fatto è dato dall'anticipo della colorazione delle foglie in autunno. Se invece il periodo di vegetazione viene definito come la differenza tra la media di tutte le fasi fenologiche primaverili e di quelle autunnali, dal 1951 il periodo vegetativo risulta allungato di una decina di giorni. In generale l'anticipo primaverile è più marcato nei Grigioni che nel resto della Svizzera. Dal momento che le piante reagiscono maggiormente al riscaldamento climatico nelle stazioni poste a quote elevate che in quelle di pianura o delle zone più miti e molte osservazioni fenologiche nei Grigioni vengono effettuate nella fascia alpina (sopra 1000 m slm), questo risultato sembra plausibile.

Literatur

- AHAS, R.; JAAGUS, J.; AASA, A. 2000: The phenological calendar of Estonia and its correlation with mean temperature. *Int. J. Biometeorol.* 44: 159-166.
- CHMIELEWSKI, F.M.; RÖTZER, T. 2001: Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agricultural and Forest Meteorology* 108: 101-112.
- DEFILA, C. 1991: Pflanzenphänologie der Schweiz. Diss. Universität Zürich, in: Veröffentlichungen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt, Nr. 50, 235 S.
- DEFILA, C. 1992: Pflanzenphänologische Kalender ausgewählter Stationen in der Schweiz, 1951-1990. *Klimatologie der Schweiz*, Heft 30/L, 233 S.
- DEFILA, C.; CLOT, B. 2001: Phytophenological trends in Switzerland. *Int. J. Biometeorol.* 45: 203-207.
- DEFILA, C. 2002: Pflanzenphänologie des Engadins: Trends bei pflanzenphänologischen Zeitreihen. *Jahresber. Nat.forsch. Ges. Graubünden* 111: 39-47.
- MENZEL, A. 2000: Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996. *Int. J. Biometeorol.* 44: 76-81.
- MENZEL, A.; FABIAN, P. 1999: Growing season extended in Europe. *Nature* 397: 659.
- SCHEIFINGER, H.; MENZEL, A.; KOCH, E.; PETER, C. 2003: Trends of spring time frost events and phenological dates in Central Europe. *Theor. Appl. Climatol.* 74: 41-51.

Autor

DR. CLAUDIO DEFILA, Bio- und Umweltmeteorologie, MeteoSchweiz, CH-8044 Zürich. E-Mail: claudio.defila@meteoschweiz.ch.