



Dokumentation der Berechnung von Jahresmittelwerten und Normwerten in der Phänologie

Dieser Kurzbericht dokumentiert die Methode zur Berechnung der Jahresmittelwerte und der Normwerte der Phänologie, stellt die Eigenschaften der phänologischen Daten der Schweiz vor und zeigt Resultate der Vegetationsveränderungen zwischen den beiden Normperioden 1961-1990 und 1991-2020.

Inhalt

1	Das phänologische Beobachtungsnetz und Eigenschaften von phänologischen Daten	2
2	Berechnung von Jahresmittelwerten und Normwerten	4
2.1	Methode der Berechnung	5
2.2	Auswahl der Höhenstufen	5
2.3	Auswahl der Datenreihen	6
2.4	Auswahl der Phänoparameter	6
3	Resultate	7
3.1	Diskussion des Standardfehlers	7
3.2	Der Frühling beginnt 4 – 10 Tage früher	11
3.3	Starke Verfrühung um 10 – 12 Tage im Frühsommer und Sommer	12
3.4	Der Herbst verändert sich kaum	15
3.5	Auswirkungen einer veränderten Phänologie	15
	Literatur	16

1 Das phänologische Beobachtungsnetz und Eigenschaften von phänologischen Daten

Das phänologische Beobachtungsnetz von MeteoSchweiz umfasst heute rund 160 Stationen, an denen Beobachterinnen und Beobachter die Entwicklung von 26 verschiedenen Pflanzenarten erfassen. Sie notieren an diesen Stationen den Zeitpunkt der Blüte, Blattentfaltung, Fruchtreife, Blattverfärbung und des Blattfalls der jeweiligen Pflanzenarten, die sogenannten Phänophasen. Die Kombination von Pflanzenart und Phänophase bezeichnen wir bei MeteoSchweiz als Phänoparameter, z.B. die Blüte des Löwenzahns. Eine ausführliche Beobachtungsanleitung trägt dazu bei, dass die verschiedenen Phänophasen und Phänoparameter exakt erkannt werden und die Beobachtungen an allen Stationen möglichst einheitlich durchgeführt werden (Brügger und Vasella 2003).

Das phänologische Beobachtungsnetz der Schweiz wurde 1951 gegründet und umfasste damals rund 70 Stationen (Jeanneret et al. 2011). Über die Jahre sind laufend weitere Stationen dazu gekommen. Immer wieder wurden jedoch auch Stationen aufgegeben. Von den 1951 vorhandenen Stationen sind heute immer noch 21 aktiv und verfügen damit über sehr lange Datenreihen (Abb. 2). Die phänologischen Stationen verteilen sich auf eine Meereshöhe von 200 bis 1933 m und decken alle Regionen und Höhenstufen des Landes ab (Güsewell et al. 2018, Abb. 1, 3). Der Median der Höhe hat sich über die Zeit leicht verändert und ist nach dem Maximum am Ende der 1950er Jahre von 788 m auf heute 640 m zurückgegangen. Der Höhengradient der Phänologie beträgt im Frühling und Sommer um 2.5 - 3 Tage /100 m und liegt im Herbst bei - 0.5 Tagen (Güsewell et al. 2018). Bei der Berechnung von einfachen Mittelwerten über die Stationen pro Jahr würde die Differenz aus diesem maximalen Höhenunterschied der Stationen von 150 m einen Unterschied von 3.75 – 4.5 Tage ausmachen. Seit 1975 liegt der Median der Höhe im Bereich von 635 – 675 m und die Schwankungen sind deshalb für eine mittlere Entwicklung der Phänologie kaum von Bedeutung.

Die Qualität der Datenreihen der heute aktiven Stationen wurden überprüft und Ausreisser markiert und/oder entfernt. Als Grundlage dazu diente die Arbeit von Auchmann et al. 2018. Die Resultate wurden durch MeteoSchweiz weiter überprüft, bearbeitet und implementiert. Zudem werden laufend Qualitätskontrollen der gemeldeten Daten gemacht. Die Daten der aktiven Stationen bilden deshalb die Grundlage für die klimatologischen Auswertungen der Phänologie. Stationen, die schon in früheren Jahren aufgegeben wurden, sind noch nicht qualitätsgeprüft. Sie können in Zukunft die Berechnung von Jahresmittelwerten vor allem in den früheren Jahren ergänzen.

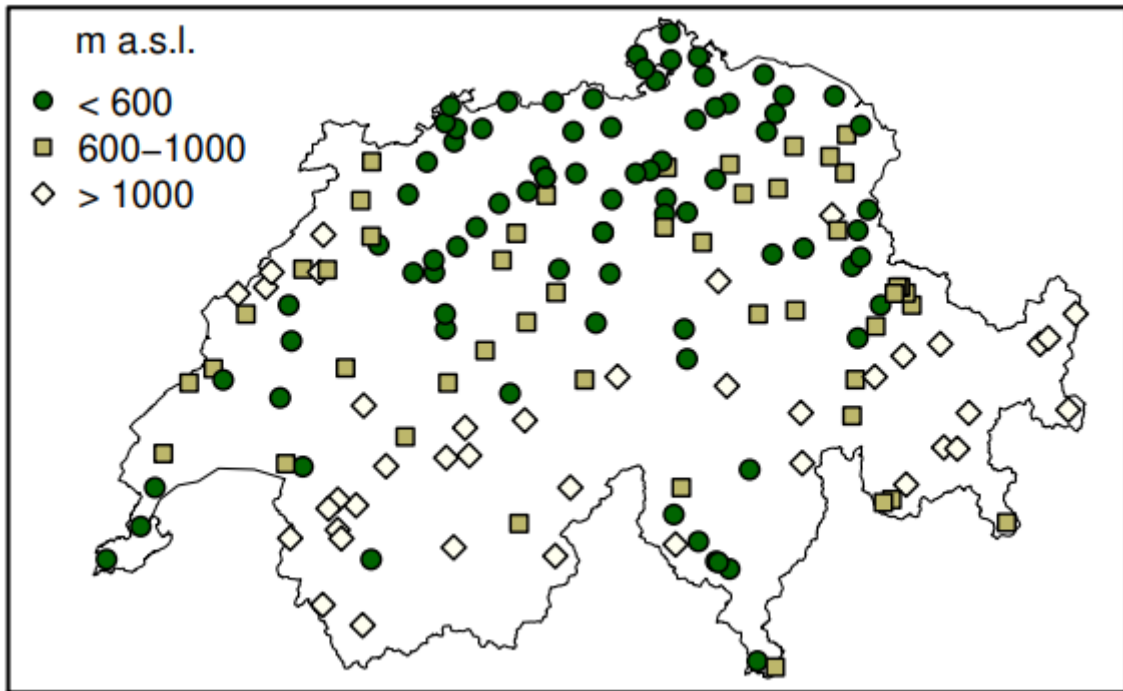


Abbildung 1: Lage der aktiven Phänologiestationen und Zuordnung zu Höhenschichten (aus Güsewell et al. 2018)

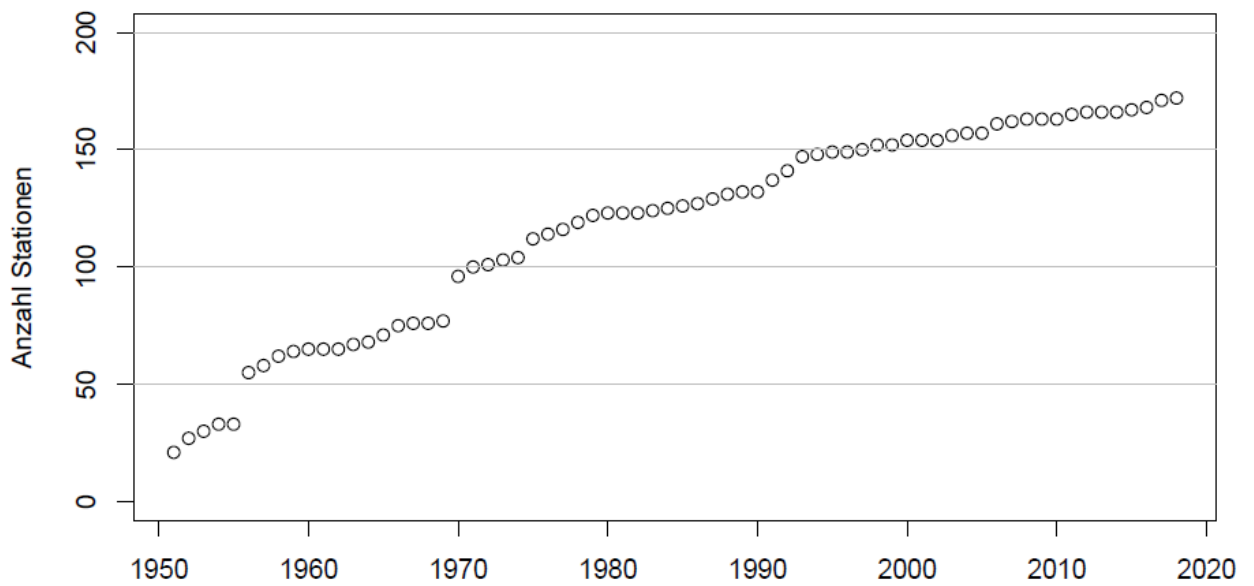


Abbildung 2. Entwicklung der Anzahl der aktiven Phänologiestationen, die für die Mittelwertberechnung verwendet wurden.

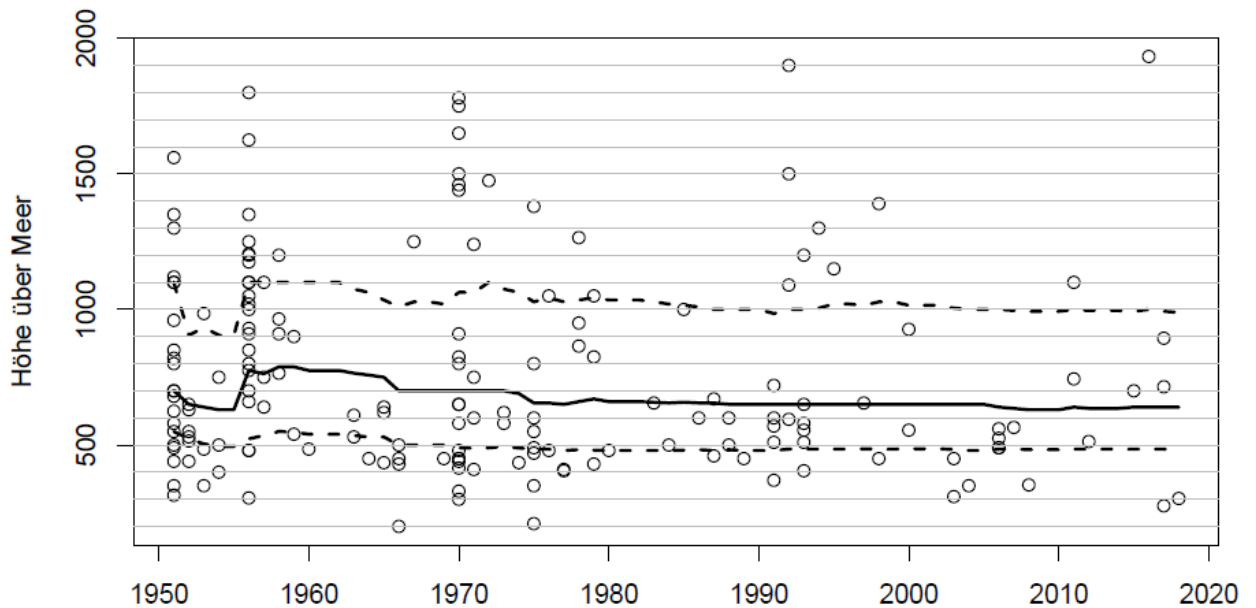


Abbildung 3: Höhenverteilung der aktiven Phänologiestationen (Median und Perzentile 0.25, 0.75). Die Kreise zeigen die in den jeweiligen Jahren dazu gekommenen Stationen.

Phänologische Daten sind Beobachtungsdaten und keine exakten Messungen. Sie haben verschiedene Unsicherheiten, die kaum quantifiziert werden können. Die Einschätzung des Vegetationszustands durch die Beobachter bleibt trotz genauer Anleitung bis zu einem gewissen Grad subjektiv. Eine einzelne phänologische Phase kann auf kleinem Raum eine grosse Variabilität aufweisen, denn die genetische Variabilität der Pflanzenart, das Mikroklima und der Standort beeinflussen ihre Entwicklung. Deshalb wird immer dieselbe Pflanze beobachtet, die eine mittlere Entwicklung am Standort repräsentieren soll. Einzelne Zeitreihen sind oft unvollständig und weisen Datenlücken auf, was ihre Analyse weiter erschwert. Ein Wechsel des Beobachters und der beobachteten Pflanze kann eine Inhomogenität der Datenreihe verursachen. Inhomogenitäten der Datenreihen wurden untersucht (Auchmann et al. 2018), eine Korrektur der Inhomogenitäten ist jedoch kaum möglich.

Mit der Berechnung von Mittelwerten mehrerer phänologischer Zeitreihen über ein geographisches Gebiet, wird in der Phänologie das Problem der Unsicherheit, der Lücken und der wechselnden Anzahl Stationen reduziert (Schaber et al. 2010). Die neue kombinierte Zeitreihe hat ein geringeres Rauschen und liefert deshalb eine robustere und zuverlässigere Information über die Vegetationsentwicklung, dies jedoch auf Kosten der lokalen Auflösung.

Für weitere, detaillierte Beschreibungen der phänologischen Daten wird auf die Publikationen von Güsewell et al. (2018) und Auchmann et al. (2018) verwiesen.

2 Berechnung von Jahresmittelwerten und Normwerten

Für die klimatologische Beschreibung der Vegetationsentwicklung werden jährliche Mittelwerte der einzelnen phänologischen Phasen berechnet. Da sich die phänologische Entwicklung in der Schweiz hauptsächlich für verschiedene Höhenstufen unterscheiden lässt und weniger für geographische Regionen (Güsewell et al. 2018), werden die Mittelwerte für

die ganze Schweiz und zusätzlich für verschiedene Höhenstufen berechnet. Um die Entwicklung eines Jahres mit dem langjährigen Durchschnitt, d.h. der Klimatologie zu vergleichen, werden Normperioden definiert. In der Phänologie werden dieselben 30-jährigen Normperioden wie in der Klimatologie verwendet: 1961-1990 und 1991-2020. Ein Vergleich der jährlichen phänologischen Daten mit dem Normwert zeigt, ob ein Jahr eine frühe oder späte Vegetationsentwicklung aufweist. Dabei wird die Normperiode 1961-1990 für die Einordnung in die langjährige Klimaentwicklung verwendet und jene von 1991-2020 für den Vergleich mit dem heutigen Klima.

2.1 Methode der Berechnung

Für die Mittelwertberechnung von phänologischen Daten wird die Verwendung von gemischten linearen Modellen vorgeschlagen, bei denen die Jahre als feste und die Stationen als zufällige Effekte einbezogen werden (Schaber et al. 2010). Ein gemischtes lineares Modell wurde auch von Güsewell et al. (2018) für die Analyse der interanuellen Variation und für Trendberechnung von jährlichen Mittelwerten der Phänologie verwendet.

Um den Einfluss der seit 1956 nicht konstanten, mittleren Höhenlage der Stationen im phänologischen Beobachtungsnetz zu berücksichtigen, wurde ein gemischtes linearer Modell verwendet, bei dem die Jahre und ein stationsspezifisches Höheninkrement als feste Effekte und die Stationen als zufällige Effekte modelliert wurden.¹

$$Y_{is} = J_i + q(h_s - h_{ref}) + \alpha_s + \varepsilon_{is}$$

Y_{is} : Beobachtung im Jahr i und der Station s

J_i : Jahr i (fester Effekt, als kategorielle Variable)

$q(h_s - h_{ref})$: vom Modell berechneter Höhengradient q , und Differenz der Stationshöhe h_s von einer Referenzhöhe h_{ref} für die gewählte Höhengschicht (fester Effekt)

α_s : Station (zufälliger Effekt)

ε_{is} : Residuum

Die Analysen wurden mit R mit der Funktion `lme` aus dem Paket `nlme` erstellt (R Core Team 2021). Damit wurden für jede Phänologische Phase und pro Höhenstufe Jahresmittelwerte und Mittel über die Normperioden 1961-1990 und 1991-2020 berechnet. Standardfehler der jährlichen Mittelwerte wurden berechnet, und werden im Kapitel Resultate diskutiert.

2.2 Auswahl der Höhenstufen

Wie in der Analyse von Güsewell et al. (2018) wurden die folgenden Höhenstufen definiert: unter 600 m, 600 – 999 m, über 1000 m, und zusätzlich unter 799 m und über 800 m. Zudem wurde ein Mittelwert über die ganze Schweiz berechnet. Die Höhenstufen erlauben die Untersuchung, ob sich die interanuellen Muster auf verschiedenen Höhenstufen unterscheiden. Die Höhenstufen wurden aufgrund der Stationsverteilung und der ähnlichen Grösse der Höhenintervalle gewählt. Bei der Blüte des Löwenzahns sind beispielsweise in der Stufe < 600 m im Mittel von 1961-2020 48 meldende Stationen enthalten, in der Stufe

¹ Die Höhe der Stationen wurde ab September 2024 in die Berechnung der phänologischen Normwerte integriert. Die davor publizierten Normwerte basierten auf dem von Schaber et al. (2010) vorgeschlagenen Modell mit dem Jahr als festem und den Stationen als zufälligem Effekt.

600 – 1000 m 38 Stationen und > 1000 m 31 Stationen. Angelehnt wurden die Höhenstufen auch an die Vegetationsstufen der Schweiz, die durch das Vorkommen bestimmter Bäume/Pflanzen und Waldgemeinschaften definiert sind. Die Wahl der Grenze von 800 m entspricht ungefähr der Grenze der kollinen Stufe (Hügelstufe), die durch das obere Vorkommen der Eichen abgegrenzt wird.

Als Referenzhöhen in der Mittelwertberechnung wurde eine gerundete Zahl basierend auf der mittleren Höhe und der Medianhöhe der Stationen der betreffenden Höhengschichten gewählt (Tabelle 1).

Höhenschicht	Mittlere Höhe der Stationen	Medianhöhe der Stationen	Referenzhöhe
Swissmean	759 m	627 m	700 m
< 600 m	462 m	450 m	450 m
600 – 999 m	755 m	750 m	750 m
> 1000 m	1316 m	1250 m	1250 m
< 799 m	526 m	500 m	500 m
> 800 m	1174 m	1100 m	1100 m

Tabelle 1: Festlegen der Referenzhöhe pro Höhengschicht.

2.3 Auswahl der Datenreihen

Es wurden nur Datenreihen der qualitätskontrollierten, aktiven Phänologiestationen verwendet, die mindestens 20 Jahre Daten in der Zeit der beiden Normperioden 1961 – 2020 aufweisen. Jede Höhengschicht wurde dafür separat beurteilt. Eine Berechnung von jährlichen Mittelwerten ist aufgrund der vorhandenen Anzahl Phänologiestationen ab 1956 sinnvoll.

2.4 Auswahl der Phänoparameter

Normwerte wurden nur für die Phänoparameter berechnet, die in der ganzen Zeit von 1961 – 2020 Daten von mindestens 10 Stationen pro Jahr aufweisen. Da die Anzahl beobachteter Phänoparameter mit der Höhe abnimmt, und nur 24% der Stationen oberhalb von 1000 m liegen, wurden in der Höhengschicht über 1000 m nur noch von 7 Phänoparametern Normwerte über die beiden Normperioden berechnet. Unterhalb von 600 m konnten für 26 Phänoparameter Normwerte berechnet werden (von total 28 Phänoparametern seit 1951 bis heute) (Tabelle 1). Zu wenig Daten für die Berechnung beider Normperioden haben die Parameter Blüte der Weinreben und die Weinlese, die erst ab 1968/69 mehr als 10 meldende Phänostationen und ab 1976 mehr als 20 Stationen aufweisen.

Phäno Parameter	ganze Schweiz	< 600 m	600-1000 m	≥ 1000 m	< 800 m	≥ 800 m
Apfelbaum - Blüte (50%)	x	x	x		x	x
Birnbaum - Blüte (50%)	x	x	x		x	
Buche - Blattentfaltung (50%)	x	x	x		x	x
Buche - Blattverfärbung (50%)	x	x	x		x	x
Buche - Blattfall (50%)	x	x	x		x	
Buschwindröschen - Blüte (50%)	x	x	x		x	x
Fichte - Nadelaustrieb (50%)	x	x	x	x	x	x
Gewöhnlicher Löwenzahn - Blüte (50%)	x	x	x	x	x	x
Haselstrauch - Blattentfaltung (50%)	x	x	x	x	x	x
Haselstrauch - Blüte (50%)	x	x	x		x	x
Herbstzeitlose - Blüte (50%)	x					x
Heuernte - Beginn	x	x	x	x	x	x
Huflattich - Blüte (50%)	x	x	x	x	x	x
Kirschbaum - Blüte (50%)	x	x	x		x	x
Lärche - Nadelaustrieb (50%)	x	x	x	x	x	x
Rosskastanie - Blattentfaltung (50%)	x	x	x		x	
Rosskastanie - Blattverfärbung (50%)	x	x	x		x	x
Rosskastanie - Blattfall (50%)	x	x	x		x	
Rosskastanie - Blüte (50%)	x	x	x		x	
Roter Holunder - Blüte (50%)	x					x
Schwarzer Holunder - Blüte (50%)	x	x	x		x	x
Sommerlinde - Blüte (50%)	x	x			x	
Vogelbeere - Fruchtreife (50%)	x					x
Wiesen-Margerite - Blüte (50%)	x	x	x	x	x	x
Wiesenschaumkraut - Blüte (50%)	x	x	x		x	x
Winterlinde - Blüte (50%)	x					

Tabelle 2: Phänoparameter, für die beide Normperioden 1961-1990 und 1991-1920 berechnet werden können.

3 Resultate

Für die gewählten Phänoparameter werden jährliche Mittelwerte des Eintrittsdatums ab 1956 und die daraus berechneten Normwerte 1961-1990 und 1991-2020 (als «day of year», doy) berechnet. Sie stehen in Tabellenform zum Download zur Verfügung:

<https://www.meteoschweiz.admin.ch/klima/klimawandel/vegetationsentwicklung.html>

Im Folgenden wird der Standardfehler der jährlichen Mittelwerte diskutiert und es wird eine Zusammenfassung der Veränderung der Vegetationsentwicklung zwischen den beiden Normperioden gegeben. Diese Zusammenfassung wurde im Blogbeitrag «[Den Änderungen der Vegetationsentwicklung auf der Spur](#)» vom 24. März 2023 veröffentlicht.

3.1 Diskussion des Standardfehlers

Die Standardfehler der Mittelwerte sind nicht Bestandteil des Ausgabefiles. Sie werden hier am Beispiel der Blüte des Löwenzahns besprochen (Abbildung 4, 5). Da die Anzahl der Phänologiestationen über die Zeit zugenommen hat, ist die Unsicherheit der berechneten Jahresmittel in früheren Jahren grösser als ab 1970, als die Anzahl der Stationen deutlich anstieg. Für die Höhenschicht über 1000 m ist der Standardfehler grösser als für die anderen Höhenschichten, da sie die geringste Anzahl Stationen und eine grössere Variabilität der Beobachtungen aufweist, weil sich die Stationen über eine Höhenlage von rund 800 m erstrecken. Beim Löwenzahn beträgt der Standardfehler über alle Stationen zwischen 0.87 und 1.36 Tage und oberhalb von 1000 m zwischen 2.07 und 2.92 Tage (Tabelle 2). Dieselbe Grössenordnung des Standardfehlers gilt auch für alle anderen Phänoparameter.

Bei der Blüte des Löwenzahns über alle Stationen der Schweiz haben demzufolge die sehr frühen Jahre 1961, 2007, 2011, 2014, 2017, 2020 alle ein vergleichbares, mittleres Datum (doy 102-104).

Gewöhnlicher Löwenzahn – Blüte (50%) alle Stationen, 1956–2023

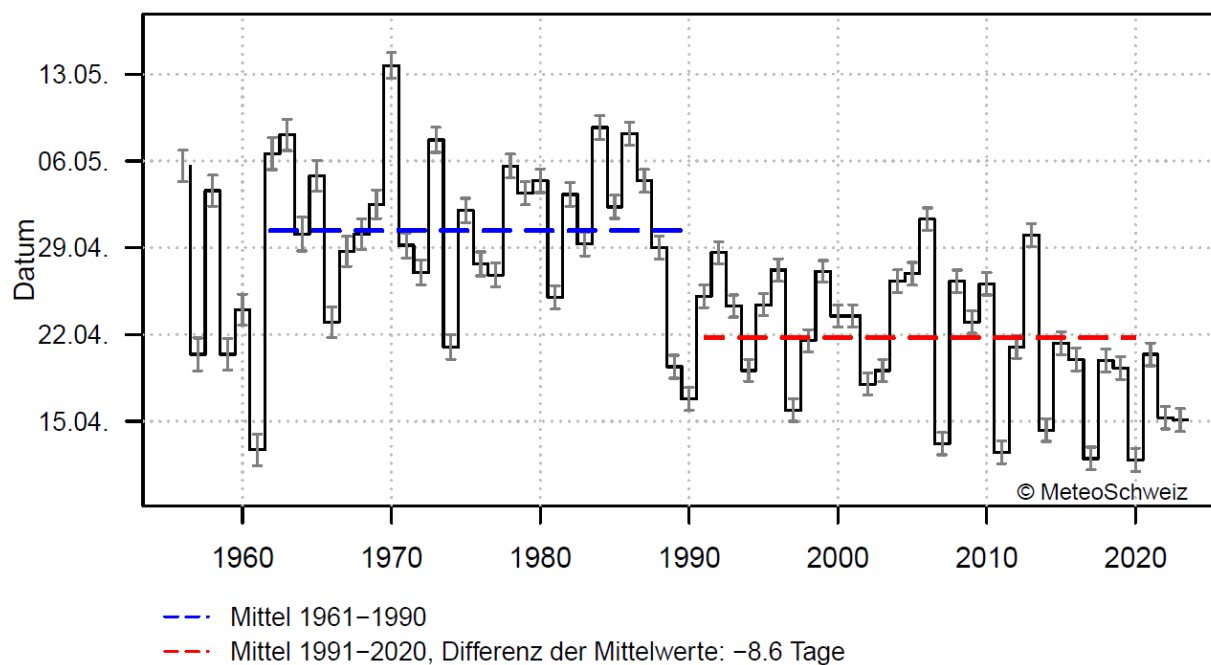


Abbildung 4: Jahresmittelwerte der Blüte des Löwenzahns für die ganze Schweiz mit eingezeichnetem Standardfehler.

Gewöhnlicher Löwenzahn – Blüte (50%) oberhalb von 1000 m, 1956–2023

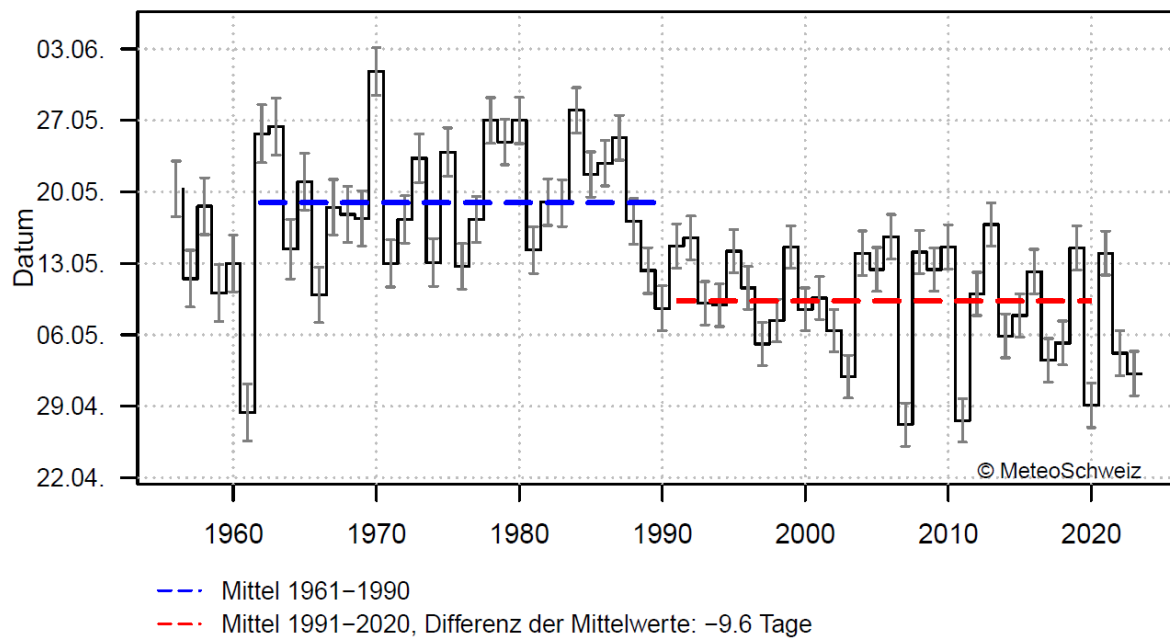


Abbildung 5: Jahresmittelwerte der Blüte des Löwenzahns für Höhenlagen oberhalb von 1000 m mit eingezeichnetem Standardfehler.

Tabelle 3 (nächste Seite): Löwenzahn allgemeine Blüte: Vergleich der jährlichen Mittelwerte, des Standardfehlers und der Anzahl Stationen für die ganze Schweiz mit allen Stationen (links) und nur den Stationen oberhalb von 1000 m (rechts).

Löwenzahn allgemeine Blüte, Mittel über alle Stationen			
Jahr	day of year	Standardfehler	Anzahl Stationen
1956	126	1.27	51
1957	110	1.33	46
1958	124	1.25	53
1959	110	1.27	51
1960	114	1.24	54
1961	103	1.28	50
1962	127	1.30	48
1963	128	1.26	52
1964	120	1.36	43
1965	125	1.25	53
1966	113	1.23	55
1967	119	1.21	57
1968	120	1.22	56
1969	123	1.16	64
1970	134	1.03	88
1971	119	1.02	91
1972	117	1.01	93
1973	128	1.01	93
1974	111	1.00	95
1975	122	0.98	100
1976	118	0.97	104
1977	117	0.96	107
1978	126	0.95	112
1979	123	0.94	115
1980	124	0.94	113
1981	115	0.95	110
1982	123	0.95	110
1983	119	0.95	110
1984	129	0.96	109
1985	122	0.94	115
1986	128	0.94	116
1987	124	0.93	120
1988	119	0.94	116
1989	109	0.93	119
1990	107	0.92	121
1991	115	0.92	121
1992	119	0.89	137
1993	114	0.89	137
1994	109	0.88	140
1995	114	0.89	138
1996	117	0.90	129
1997	106	0.90	131
1998	112	0.90	131
1999	117	0.87	144
2000	114	0.89	134
2001	113	0.89	136
2002	108	0.89	135
2003	109	0.89	137
2004	116	0.91	127
2005	117	0.92	124
2006	121	0.92	124
2007	103	0.90	132
2008	116	0.90	131
2009	113	0.90	131
2010	116	0.90	129
2011	103	0.91	128
2012	111	0.91	126
2013	120	0.92	124
2014	104	0.92	121
2015	111	0.92	124
2016	110	0.93	120
2017	102	0.92	123
2018	110	0.93	117
2019	109	0.92	121
2020	102	0.93	119
2021	110	0.92	123
2022	105	0.92	123
2023	105	0.93	118

Löwenzahn allgemeine Blüte, Mittel der Stationen ≥ 1000 m			
Jahr	day of year	Standardfehler	Anzahl Stationen
1956	140	2.71	17
1957	132	2.77	16
1958	139	2.77	16
1959	130	2.77	16
1960	133	2.77	16
1961	118	2.77	16
1962	146	2.84	15
1963	146	2.78	16
1964	134	2.92	14
1965	141	2.77	16
1966	130	2.71	17
1967	139	2.71	17
1968	138	2.71	17
1969	137	2.71	17
1970	152	2.31	27
1971	133	2.31	27
1972	137	2.31	27
1973	143	2.37	25
1974	133	2.34	26
1975	144	2.37	25
1976	133	2.24	30
1977	137	2.24	30
1978	147	2.24	30
1979	145	2.24	30
1980	147	2.26	29
1981	134	2.29	28
1982	139	2.29	28
1983	139	2.29	28
1984	148	2.21	31
1985	142	2.21	31
1986	143	2.21	31
1987	145	2.19	32
1988	137	2.24	30
1989	132	2.24	30
1990	129	2.19	32
1991	135	2.17	33
1992	136	2.13	35
1993	129	2.12	36
1994	129	2.08	38
1995	134	2.12	36
1996	131	2.10	37
1997	125	2.12	36
1998	127	2.10	37
1999	135	2.07	39
2000	129	2.08	38
2001	130	2.10	37
2002	126	2.07	39
2003	122	2.10	37
2004	134	2.17	33
2005	132	2.15	34
2006	136	2.19	32
2007	117	2.12	36
2008	134	2.12	36
2009	132	2.12	36
2010	135	2.17	33
2011	118	2.12	36
2012	130	2.12	36
2013	137	2.13	35
2014	126	2.15	34
2015	128	2.12	36
2016	132	2.17	33
2017	124	2.13	35
2018	125	2.15	34
2019	135	2.17	33
2020	119	2.19	32
2021	134	2.15	34
2022	124	2.19	32
2023	122	2.17	33

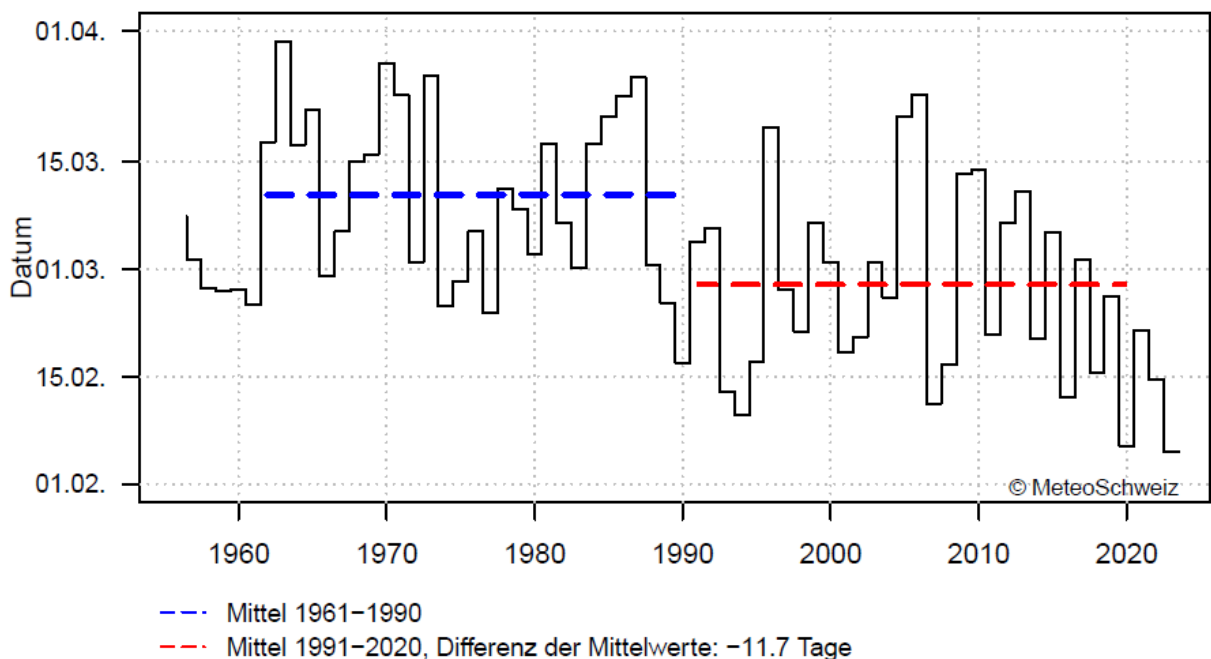
3.2 Der Frühling beginnt 4 – 10 Tage früher

Die Blüte der Haselsträucher weist eine starke Verfrühung um 12 Tage zwischen den beiden Normperioden 1961-1990 und 1991-2020 auf. In den letzten Jahren kam eine frühe Blüte besonders häufig vor.

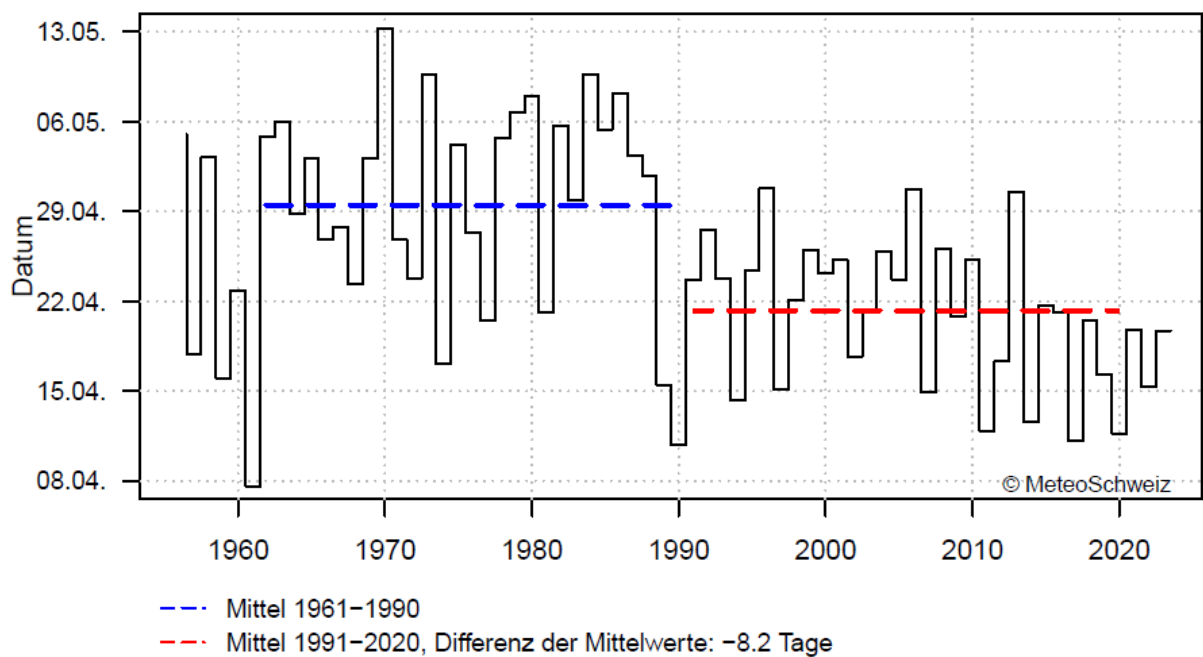
Die Blüte der Obstbäume und von den Kräutern Löwenzahn, Buschwindröschen und Wiesenschaumkraut verfrühte sich zwischen den beiden Normperioden um 5 – 10 Tage. Die Temperatur von Februar bis April hat den grössten Einfluss auf den Zeitpunkt der Entwicklung im Frühling. Sie stieg zwischen den Normperioden um 1.4 °C an. Bei allen Datenreihen ist eine starke Verfrühung der jeweiligen phänologischen Phase ab 1989 auffällig, die mit einer Erhöhung der Februar-bis-April-Temperatur einhergeht.

Die Blättentfaltung und der Nadelaustrieb verfrühten sich etwas weniger stark, um 4 – 6 Tage. Bei der Buche weiss man, dass sie erst ab einer bestimmten Tageslänge stärker auf wärmere Temperaturen reagiert. Damit ist sie besser vor Spätfrösten geschützt und treibt nicht schon während einer warmen Phase im frühen Frühling.

Haselstrauch – Blüte (50%) alle Stationen, 1956–2023



Kirschbaum – Blüte (50%) alle Stationen, 1956–2023



Buche – Blättentfaltung (50%) alle Stationen, 1956–2023

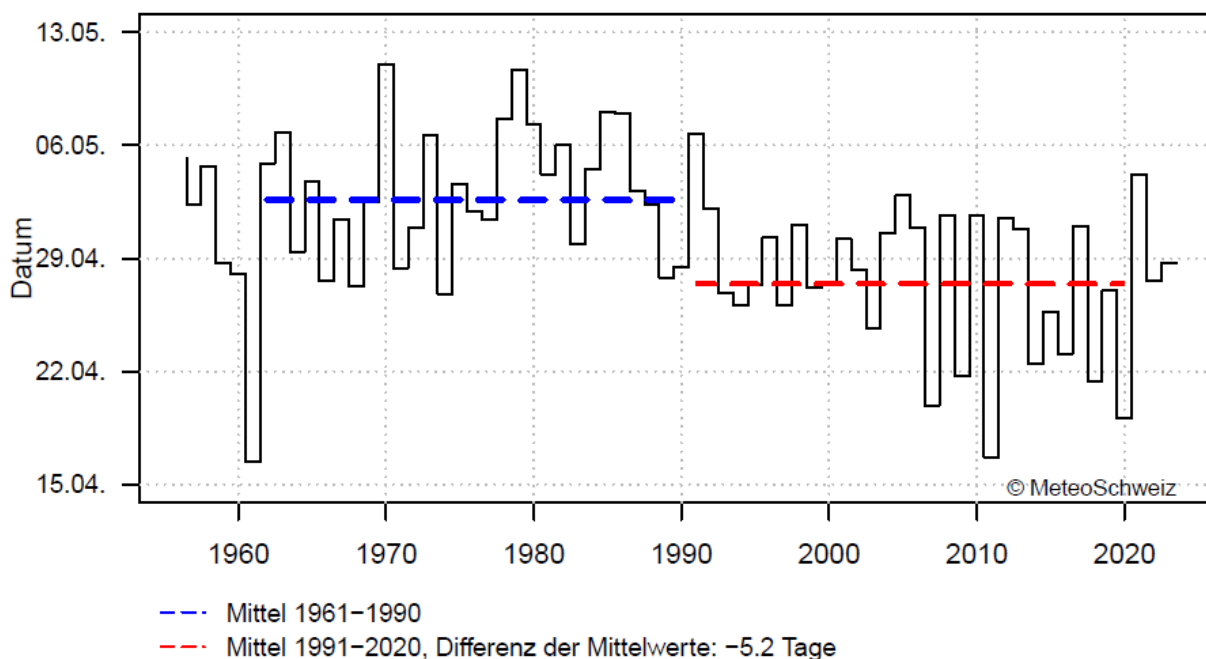


Abbildung 6: Mittelwerte für die ganze Schweiz der Blüte von Hasel und Kirschbaum und der Blättentfaltung der Buche.

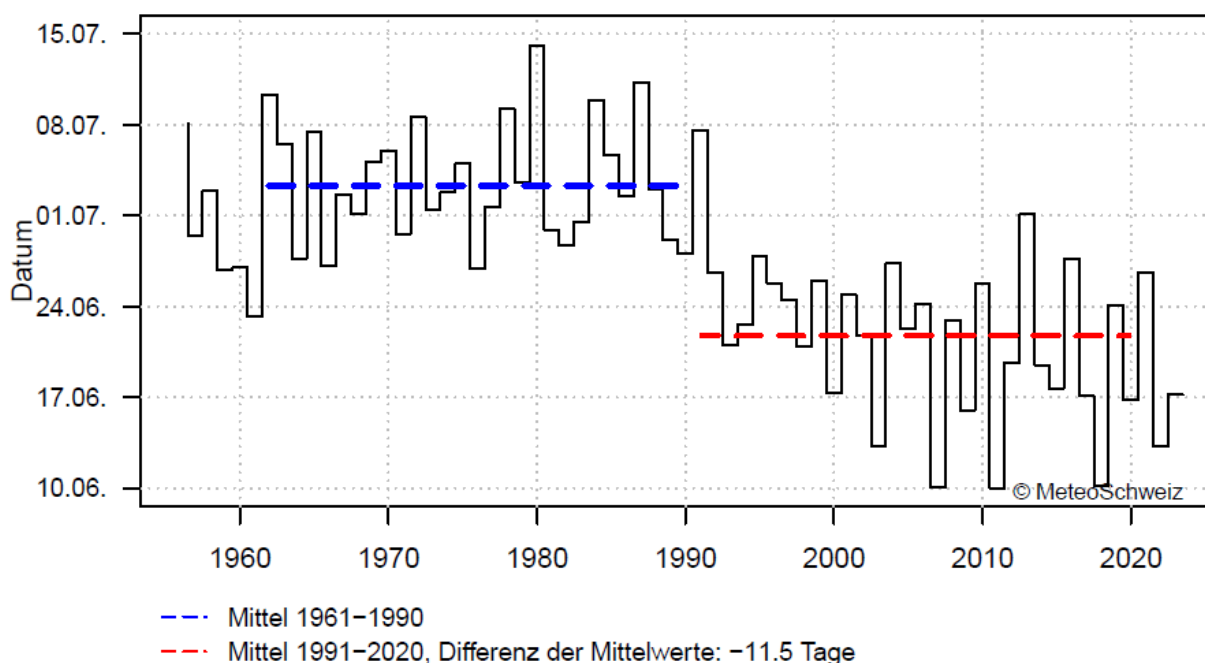
3.3 Starke Verfrühung um 10 – 12 Tage im Frühsommer und Sommer

Zu den Frühsommer- und Sommerphasen gehören die Blüte der Margerite, des Schwarzen Holunders und der Sommerlinde. Die mittleren Daten der Blüte der aktuellen Normperiode 1991-2020 sind um 10 – 12 Tage früher als in der Periode 1961-1990. Die Temperatur der einflussreichsten Monate März bis Mai und April bis Juni hat sich zwischen den

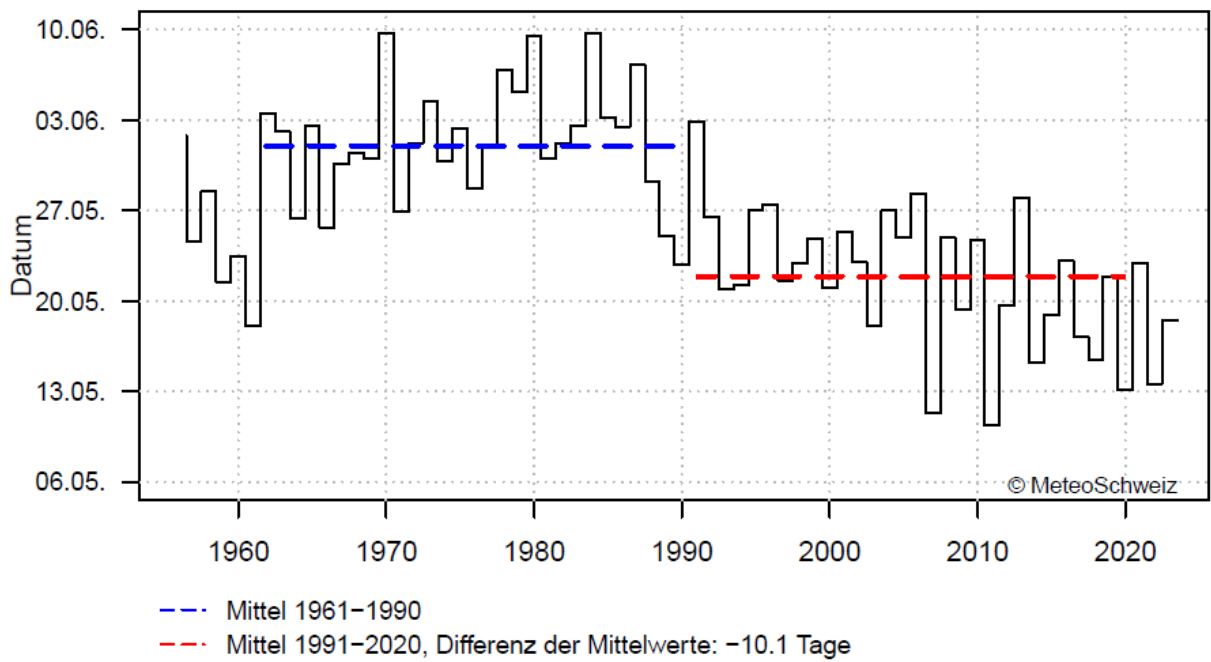
Normperioden im Schweizer Mittel um 1.6 °C beziehungsweise um 1.8 °C erhöht. Die starke Verfrühung ab Ende der 1980er Jahre läuft parallel mit einer markanten Erhöhung der Temperatur dieser Monate.

Der späteste Termin der Blüte der Sommerlinde in der ganzen Datenreihe ist der 14. Juli 1980. Im Jahr 1980 war der Frühling kühl und sonnenarm und selbst Ende Mai schneite es noch bis gegen 1000 m. Sommerliche Phasen waren auch im Juni nur von kurzer Dauer. In den Annalen von MeteoSchweiz werden der Juni und Juli folgendermassen beschrieben: «Das nasskalte Wetter bereitete der Landwirtschaft, besonders in den Berggebieten, grosse Schwierigkeiten. Die höheren Lagen verzeichneten einen Vegetationsrückstand bis zu drei Wochen». Das Schweizer Mittel der Temperatur von April bis Juni 1980 betrug 5.2 °C. Die Jahre 2007, 2011 und 2018 unterscheiden sich deutlich davon mit einer mittleren Temperatur von April bis Juni von 10.4 bis 10.7 °C und mit der frühesten Blüte der Sommerlinde im Schweizer Mittel am 9. und 10. Juni.

Sommerlinde – Blüte (50%) alle Stationen, 1956–2023



Wiesen-Margerite – Blüte (50%) alle Stationen, 1956–2023



Schwarzer Holunder – Blüte (50%) alle Stationen, 1956–2023

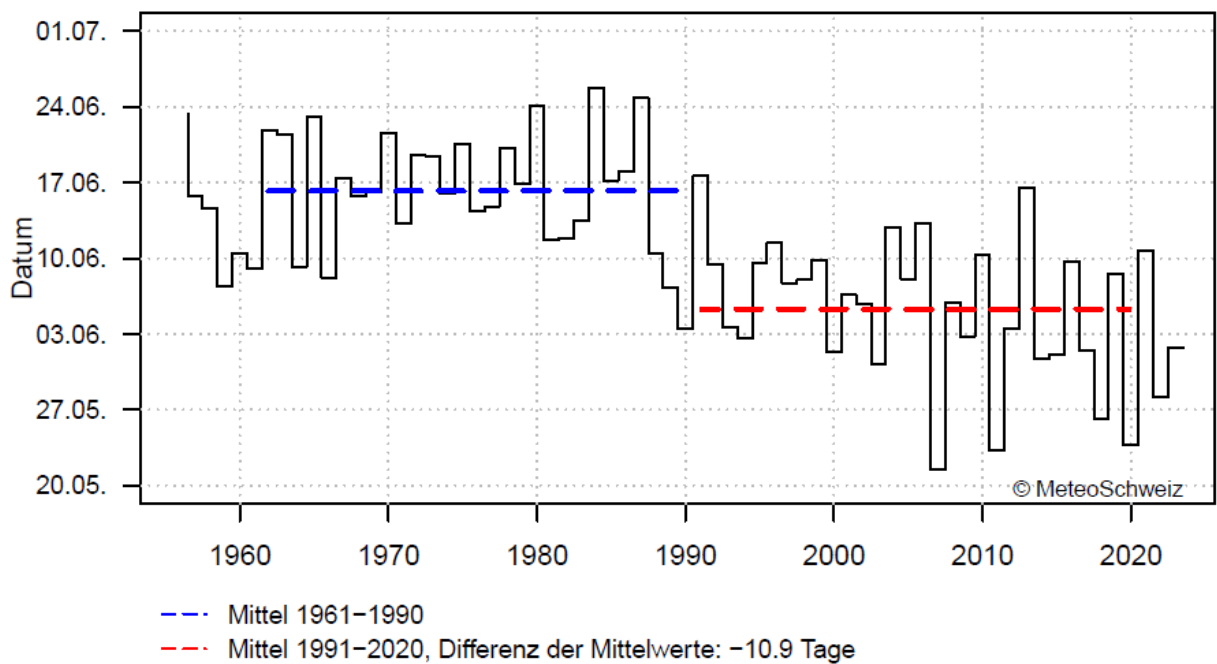


Abbildung 7: Mittelwerte für die ganze Schweiz der Blüte von Sommerlinde, Wiesenmargerite und Schwarzem Holunder.

3.4 Der Herbst verändert sich kaum

Die Blattverfärbung der Buche veränderte sich nicht signifikant. Der Auslöser der herbstlichen Blattverfärbung ist die abnehmende Tageslänge, die den Abbau des Chlorophylls und damit das Hervortreten der gelben und roten Farbstoffe einleitet. Zusätzlich spielen die Temperatur und die Trockenheit eine Rolle. Zu einer späteren Blattverfärbung kommt es, wenn die Monate August und September sehr warm sind. Ein kühler September führt meist zu einer frühen Blattverfärbung. Auch ein sehr warmer, trockener Spätfrühling und Frühsommer kann die Blattverfärbung verfrühen.

Die früheste Blattverfärbung fand 1996 statt, einem Jahr mit einem besonders kühlen September mit frühem Schneefall bis gegen 1100 m und mit einer Temperatur in allen Monaten von Juli bis Oktober unter der Norm. Weil die Blattverfärbung von verschiedenen Einflussgrössen abhängt, ist es schwierig vorherzusagen, ob die Tendenz zu einer späten Blattverfärbung der letzten Jahre mit steigenden Temperaturen weitergeht, oder ob die zunehmende Trockenheit im Frühsommer und Sommer zu einer früheren Blattverfärbung führen wird.

Buche – Blattverfärbung (50%) alle Stationen, 1956–2023

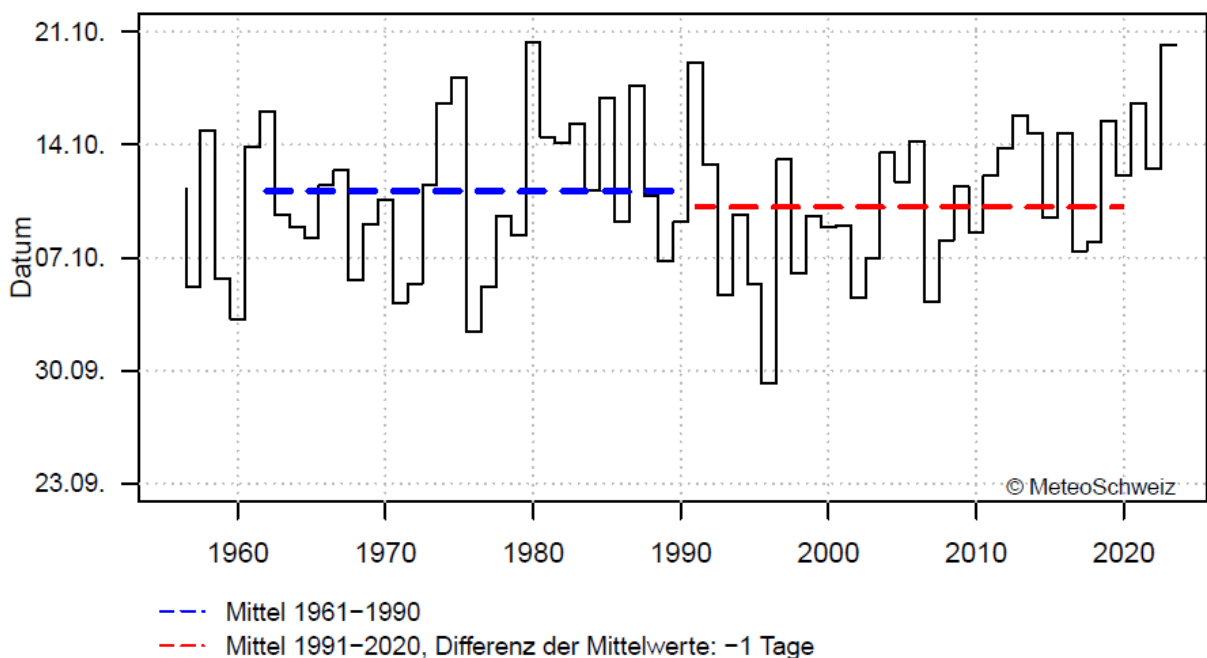


Abbildung 8: Mittelwerte für die ganze Schweiz der Blattverfärbung der Buche.

3.5 Auswirkungen einer veränderten Phänologie

Das immer frühere Auftreten von Blüte und Blattentfaltung kann zu einer stärkeren Gefährdung durch Spätfröste führen. Studien aus der Schweiz haben gezeigt, dass bei unseren einheimischen Pflanzen die Sicherheitsmarge zwischen dem letzten Frost und der Blüte und Blattentfaltung weiterhin genügend gross ist und sie meist erst nach dem letzten Frost austreiben. In höher gelegenen Gebieten hat diese Sicherheitsmarge jedoch abgenommen. Starke Spätfröste gab es in den Jahren 2017 an Obst- und Waldbäumen und an Reben, 2019 an Buchen in Höhenlagen um 1000 m, 2021 an Obstbäumen und 2022 an Obstbäume vor allem in Frankreich.

Jede Pflanzenart reagiert unterschiedlich auf den Klimawandel. Auch Tiere haben eigene Rhythmen, wie z.B. die Brut oder das Schlüpfen von Insekten, die häufig ebenfalls von der Temperatur beeinflusst sind. Bestehende Nahrungsketten können mit ändernden Temperaturen aus dem Gleichgewicht geraten, so dass z.B. während der Aufzucht von Jungvögeln nicht genügend grosse Mengen an Raupen für die Nahrung vorhanden sind. Beobachtet wurde auch ein verändertes Nahrungsangebot für Rehkitzen, weil sich die Vegetation stärker verfrühte als die Setzzeit der Rehe.

Diese Beispiele machen deutlich, wie sich Klimaveränderungen direkt auf die Pflanzen- und Tierwelt in der Schweiz auswirken können.

Literatur

Auchmann R, Brugnara Y, Rutishauser T, Brönnimann S, Gehrig R, Pietragalla B, Begert M, Sigg C, Knecht V, Calpini B and Konzelmann T: 2018, Quality Analysis and Classification of Data Series from the Swiss Phenology Network, Technical Report MeteoSwiss, 271, 77 pp

Brügger R, Vasella A: 2003, Pflanzen im Wandel der Jahreszeiten. Anleitung für phänologische Beobachtungen - Les plantes au cours des saisons. Guide pour observations phénologiques, Geographica Bernensia, Bern.
<https://boris.unibe.ch/114775/1/Phaenologieanleitung.pdf>

Güsewell S, Pietragalla B, Gehrig R and Furrer R: 2018, Representativeness of stations and reliability of data in the Swiss Phenology Network, Technical Report MeteoSwiss, 267, 100 pp.

Jeanneret F., Ruthishauer T., Brügger R. Phänologie und Saisonalität. Geschichte, Monitoring. Raumansprache. Geographica Bernensia 2011.
https://boris.unibe.ch/9221/1/U_26_Skript_Phaenologie.pdf

R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Schaber J, Badeck F, Doktor D, and von Bloh W., 2010: Combining messy phenological time series. In: I.L. Hudson, and M.R. Keatley, eds. Phenological Research: methods for environmental and climate change analysis, pp. 147–158. Springer, Dordrecht, the Netherlands

September 2024