

Berichte	Bd. 91, H. 4, 2017, S. 329–347	Leipzig
----------	--------------------------------	---------

Okke GERHARD, Heidelberg  
 Alexander SIEGMUND, Heidelberg  
 Nils WOLF, Heidelberg

## **Apfelblüte in Deutschland. Citizen Science und *crowd-sourced data* als Beitrag zur phänologischen Datenerhebung in Deutschland<sup>1</sup>**

### **Apple Blossom Season in Germany. Citizen Science and Crowd-sourced Data as a Contribution to Phenological Data Acquisition**

**Summary:** Phenology as a doctrine of annually recurring events in the life cycle of organisms (RABITSCH & HERREN 2013, 52) is becoming increasingly important in the monitoring of climate and environmental changes. Due to a declining official phenological observation network in Germany (cf. DWD 2017c), new and innovative approaches are needed to close the detected gaps in observation. The aim of this work is to show that the use of Citizen Science and crowd-sourced data can close this gap and complement traditional measurement networks. For this purpose, phenological observations, especially the beginning of flowering, but also the peak and end of the flowering of apple trees, from the Apple Blossom Project (*Apfelblütenprojekt*) of the radio station Südwestrundfunk (SWR) are compared with corresponding observations by the German Weather Service (DWD). On average, the start of flowering takes place on day 109.4 after the beginning of the year (based on the SWR crowd-sourced data). The results of the viewer/listener observations show, among other things, that the apple blossom usually spreads from the Cologne Basin and areas of the Upper Rhine Valley (*Ober Rheingraben*) further to the northeast in the direction of the German Baltic Sea coast. In order to achieve coverage of 95% of the total area in Germany, the apple blossom needs an average of 34.2 days. This corresponds to a spread of about 25 km per day. In addition, a mean vertical propagation velocity of about 20–30 meters per day on average is observed.

Comparisons of these results with data from the official phenological observatory network of the German Weather Service (*Deutscher Wetterdienst, DWD*) show that approximately 40% of the apple blossom area has a  $\pm 1$  day deviation to the SWR crowd-sourced data. Overall, 97.9% of the analyzed area have a maximum

---

<sup>1</sup> Die Autoren bedanken sich beim Südwestrundfunk – Redaktion Wissen Aktuell – und insbesondere bei Herrn Gradwohl für die gute Zusammenarbeit und Unterstützung sowie die Bereitstellung der Daten des Projekts „Apfelblüte“.

deviation of  $\pm 7$  days between the two datasets. In areas with a high reporting number (Southwest Germany), the calculations based on the SWR dataset usually lead to an earlier onset of apple blossom; in areas with fewer SWR messages (e. g. Mecklenburg-Vorpommern), the calculations based on the DWD dataset show an earlier start of flowering.

The results of our analysis show that crowd-sourced phenological data can be a viable addition to traditional monitoring networks and will gain more importance in future research.

**Keywords:** phenology, apple blossom, citizen science, crowd-sourced data, German Weather Service, Southwestern German Broadcasting Corporation – Phänologie, Apfelblüte, Citizen Science, Deutscher Wetterdienst (DWD), Südwestrundfunk (SWR)

## 1 Offizielle Meldenetze und Citizen Science-Ansätze zur Untersuchung der Phänologie in Deutschland

Mit dem globalen Klimawandel gehen vielfältige, bereits heute sichtbare regionale Folgen für Pflanzenwachstum und Ökosysteme einher. Aufgrund zunehmender Temperaturen kommt es vermehrt zu einem früheren Eintritt von charakteristischen phänologischen Phasen, was insbesondere an einem früheren Frühlungseintritt zu beobachten ist. Das Monitoring dieser Klima- und Umweltveränderungen ist besonders durch pflanzenphänologische Beobachtungen möglich. Die Phänologie beschreibt die jährlich wiederkehrenden Ereignisse im Lebenszyklus von Organismen. Diese können z. B. die Knospung, Blüten- oder Fruchtbildung wie auch die Wanderung von Tieren oder die Zahl von Populationszyklen pro Jahr sein (RABITSCH & HERREN 2013, 52). Im Wesentlichen sind die Temperatur- und Photoperioden für die Ausprägung dieser Effekte verantwortlich, weshalb kleinste Änderungen der äußeren Rahmenbedingungen (z. B. Temperaturveränderungen) zeitliche und/oder räumliche Verschiebungen des Auftretens dieser Phänomene nach sich ziehen können (RABITSCH & HERREN 2013).

Folgen des Klimawandels auf die Phänologie sind bereits in zahlreichen Analysen nachgewiesen worden (vgl. WALTHER et al. 2002; ROOT et al. 2003; PARMESAN & YOHE 2003; MENZEL et al. 2006b; AMANO et al. 2010; FITCHETT et al. 2015). Insbesondere im Frühling ist in Europa eine phänologische Veränderung der Pflanzenwachstumsphasen zu erkennen (CHMIELEWSKI et al. 2004; ESTRELLA et al. 2007). Laut MENZEL et al. (2006a) ist dabei eine Verschiebung der phänologischen Phasen von durchschnittlich 2,5 Tagen pro Dekade zu beobachten. Diese Verschiebung ist besonders im Frühjahr, wie z. B. bei der Blüte verschiedener Pflanzen, zu beobachten. Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) zeigen, dass beispielsweise die Apfelblüte – ein Indikator für den Beginn des Vollfrühlings – heute im Schnitt etwa zehn Tage früher einsetzt als noch für 50 Jahren. Im Sommer und v. a. im Herbst sind derartige Phänomene weniger markant (MENZEL et al. 2006a).

Für das Monitoring der Folgen des Klimawandels mit phänologischen Daten bedarf es entsprechender Datenreihen mit hoher räumlicher Auflösung. In Deutschland werden seit 1951 derartige Daten vom DWD erhoben. 1996 betrug die Zahl

der durch geschulte Laien<sup>2</sup> betriebenen Beobachtungsstationen noch 2.270. Allerdings ist die Zahl der Beobachter stark rückläufig und betrug im Jahr 2016 nur noch 1.158 – zum großen Teil eine Folge der Altersstruktur der freiwilligen Helfer (HUPFER et al. 2005, 482; DWD 2017a und DWD 2017b). *Crowd-sourced data*, also von einer großen Zahl von Freiwilligen generierte Daten, können diese Lücke ggf. schließen (GERHARD et al. 2017).

Seit dem Jahr 2006 führt der Südwestrundfunk (SWR) jährlich eine sogenannte Apfelblütenaktion durch (SWR 2017a). Dabei werden bundesweit Zuhörer und Zuschauer über Radio, Fernsehen und Internet aufgerufen, die Entwicklung der Apfelblüte zu beobachten und zu melden. Der Fokus liegt hierbei auf den drei Entwicklungsstadien der Apfelblüte: „Beginn der Blüte“, „Vollblüte“, „Ende der Blüte“. Zusätzlich können weiterführende Informationen wie z. B. die Apfelsorte oder die genauen Standortbedingungen des Baumes über ein Online-Eingabeformular gemeldet werden (SWR 2017b). Seit Beginn der Apfelblütenaktion im Jahr 2006 konnten deutschlandweit ca. 32.200 verortete Meldungen gesammelt werden (Abb. 1).

Ziel dieses Beitrags ist die Analyse der im Rahmen des SWR-Projekts zur Apfelblüte gemeldeten phänologischen Beobachtungen und der daraus abzuleitenden raum-zeitlichen Gradienten. Diese sollen mit Daten des phänologischen Beobachtungsnetzes des Deutschen Wetterdienstes verglichen werden, um Aussagen über

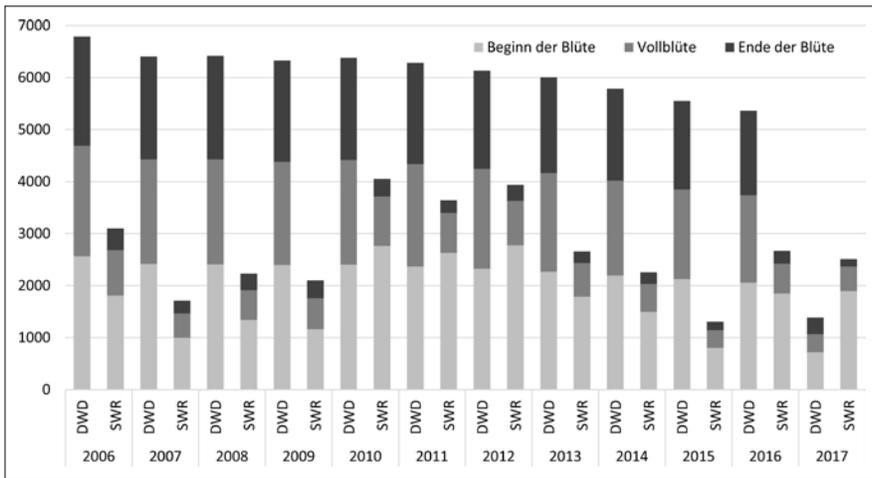


Abb. 1: Zahl der phänologischen Beobachtungen der Apfelblüte (2006–2017) des DWD-Meldenetzes im Vergleich zu *crowd-sourced data* des SWR-Projekts „Apfelblüte“. Daten: DWD und SWR

Fig. 1: Number of phenological observations of the apple blossom (2006–2017) of the DWD reporting network in comparison to crowd-sourced data of the SWR project “Apfelblüte” (Apple Blossom). Data: DWD and SWR

<sup>2</sup> Aus Gründen der besseren Lesbarkeit ist der Text in der grammatikalisch männlichen Form geschrieben. Die gewählten Formulierungen umfassen alle Geschlechter gleichermaßen und sollen in diesem Sinne verstanden werden.

die Qualität von phänologischen *crowd-sourced data* machen zu können. Zudem soll auf der Grundlage von *crowd-sourced data* des SWR-Projekts die Ausbreitung der Apfelblüte in Deutschland näher untersucht werden. Von Interesse sind hierbei insbesondere der durchschnittliche Beginn der Apfelblüte und die Geschwindigkeit, mit der sie sich in Deutschland horizontal und vertikal ausbreitet.

## 2 Vergleich der Datenqualität von DWD-Daten und *crowd-sourced data* des SWR

Um die Qualität der durch das Apfelblütenprojekt des SWR übermittelten phänologischen Meldungen zu überprüfen, bedarf es Vergleichsdaten mit wissenschaftlich exakten und transparenten Erhebungsmethoden. Hierzu eignen sich in Deutschland Beobachtungsdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD), welche durch gleichbleibende Standards langfristige und flächendeckende Datensätze bereitstellen.

Für die folgenden Analysen wurden die phänologischen Daten des DWD zur Apfelblüte in den Jahren 2006 bis 2017 in einem Datensatz aggregiert. Hierfür wurden die Daten der Jahres- und der sogenannten Sofortmelder verwendet. Jahresmelder beobachten über den gesamten Jahresverlauf die unterschiedlichen phänologischen Phasen und melden zum Ende des Jahres ihre gesammelten Beobachtungen, die dann jeweils etwa im März des Folgejahres zur Verfügung stehen (DWD 2017d). Sofortmelder hingegen melden phänologische Beobachtungen tagesaktuell, die bereits am Folgetag abrufbar sind. So lassen sich auch rasche Veränderungen des Entwicklungsstands der Pflanzen kurzfristig ableiten (DWD 2017e).

Die Beobachtungen der früh- und spätreifenden Apfelsorten wurden zusammengefasst, d. h. für die Analysen wurden unterschiedliche Apfelsorten, unabhängig von ihren individuellen Reifezeitpunkten, verwendet (DWD 2017c). Dies ist sinnvoll, da auch im Rahmen des SWR-Projekts keine Unterscheidung der einzelnen Apfelsorten stattfindet.

Insgesamt ergibt sich im DWD-Netz für den Zeitraum von 2006 bis 2017 eine Gesamtzahl von 68.846 phänologischen Meldungen zur Apfelblüte, im SWR-Projekt sind es 32.185 Meldungen.<sup>3</sup> Die durchschnittliche Zahl an phänologischen Meldungen zur Apfelblüte pro Jahr beläuft sich auf 5.737 (DWD) im Vergleich zu 2.682 (SWR) (Tab. 1).

Bei den Datensätzen gibt es große Unterschiede hinsichtlich der Verteilung der Meldungen zu den unterschiedlichen Blütenstadien. Der DWD-Datensatz weist ein Verhältnis von „Beginn der Blüte“ zur „Vollblüte“ von 1 zu 0,82 und von „Beginn der Blüte“ zu „Ende der Blüte“ von 1 zu 0,80 auf. Diese Relationen sind im SWR-Datensatz mit 1 zu 0,36 bzw. 1 zu 0,15 deutlich kleiner (Tab. 1). Die starke Fokussierung auf den „Beginn der Blüte“ im SWR-Datensatz ist v. a. darauf zurückzuführen, dass der medial unterstützte Start des Projekts und der mit dem Frühlingseinzug einhergehende Beginn der Apfelblüte viele Melder motiviert, mit fortschreitender Zeit die Veränderung der Blüte jedoch nicht weiter beobachtet bzw. gemeldet wird.

---

<sup>3</sup> Für das Jahr 2017 wurden vom DWD lediglich die Sofortmeldungen berücksichtigt.

Tab. 1: Vergleich der Zahl an phänologischen Meldungen zur Apfelblüte zwischen DWD und SWR (2006–2017) (oben) und Vergleich des Melde-Verhältnis zwischen einzelnen phänologischen Phasen (unten). Daten: DWD und SWR

Tab. 1: Comparison of the number of phenological reports on apple blossom between DWD and SWR (2006–2017) (top) and comparison of the reporting ratio between individual phenological phases (bottom). Data: DWD and SWR

	DWD	SWR
<b>Gesamtzahl der Meldungen</b>	68.846	32.185
davon „Beginn der Blüte“	26.268	21.335
davon „Vollblüte“	21.508	7.642
davon „Ende der Blüte“	21.070	3.208
Durchschnittliche Zahl der Meldungen/Jahr	5.737	2.682
<b>Melde-Verhältnis</b>	DWD	SWR
„Beginn der Blüte“ zu „Vollblüte“	1 zu 0,82	1 zu 0,36
„Beginn der Blüte“ zu „Ende der Blüte“	1 zu 0,80	1 zu 0,15

Die Kontinuität, mit der jedes Jahr phänologische Beobachtungen gemeldet werden, ist ein großer Vorteil der Beobachtungen des DWD. Es wurde jedoch schon herausgestellt, dass das Beobachternetz v. a. aufgrund der Altersstruktur der Beobachter kontinuierlich abnimmt. So wurde das Beobachternetz der Jahresmelder im Untersuchungszeitraum von 2006 bis 2017 von insgesamt 1.744 Meldern um 618 auf 1.126 Melder verringert (Abb. 2, linke Karte).

Der Rückgang der Meldeorte um ca. 35,4% führt ebenfalls zu einer geringer werdenden Zahl von Meldungen. So wurden dem DWD im Jahr 2006 insgesamt noch 6.790 phänologische Beobachtungen gemeldet, im Jahr 2016 waren es hingegen nur noch 5.363 Meldungen (Abb. 1).

Im Vergleich zu den Daten des DWD weist das SWR-Projekt ein sehr heterogenes Meldeverhalten auf. Im Jahr 2010 wurde mit 4.050 Meldungen die Höchstzahl, im Jahr 2015 mit 1.305 Meldungen die niedrigste Zahl an Beobachtungen zur Apfelblüte verzeichnet (Abb. 1). Die Zahl der Meldungen hängt hier maßgeblich von der Beteiligung der Melder (*crowd*) ab, die von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst wird. So ist insbesondere eine Werbung für das Projekt in TV- und Rundfunkbeiträgen und zunehmend auch auf Social Media-Plattformen wichtig – 2015 z. B. wurde das Projekt in den Medien weniger stark beworben als in den Jahren zuvor. Doch auch schlechte Witterungsbedingungen können die Partizipation maßgeblich negativ beeinflussen.

Generell erlauben kontinuierliche Datensätze wie die des DWD ein im Zeitverlauf besseres Monitoring der einzelnen Blühphasen. Zudem ist ein ganzjähriges

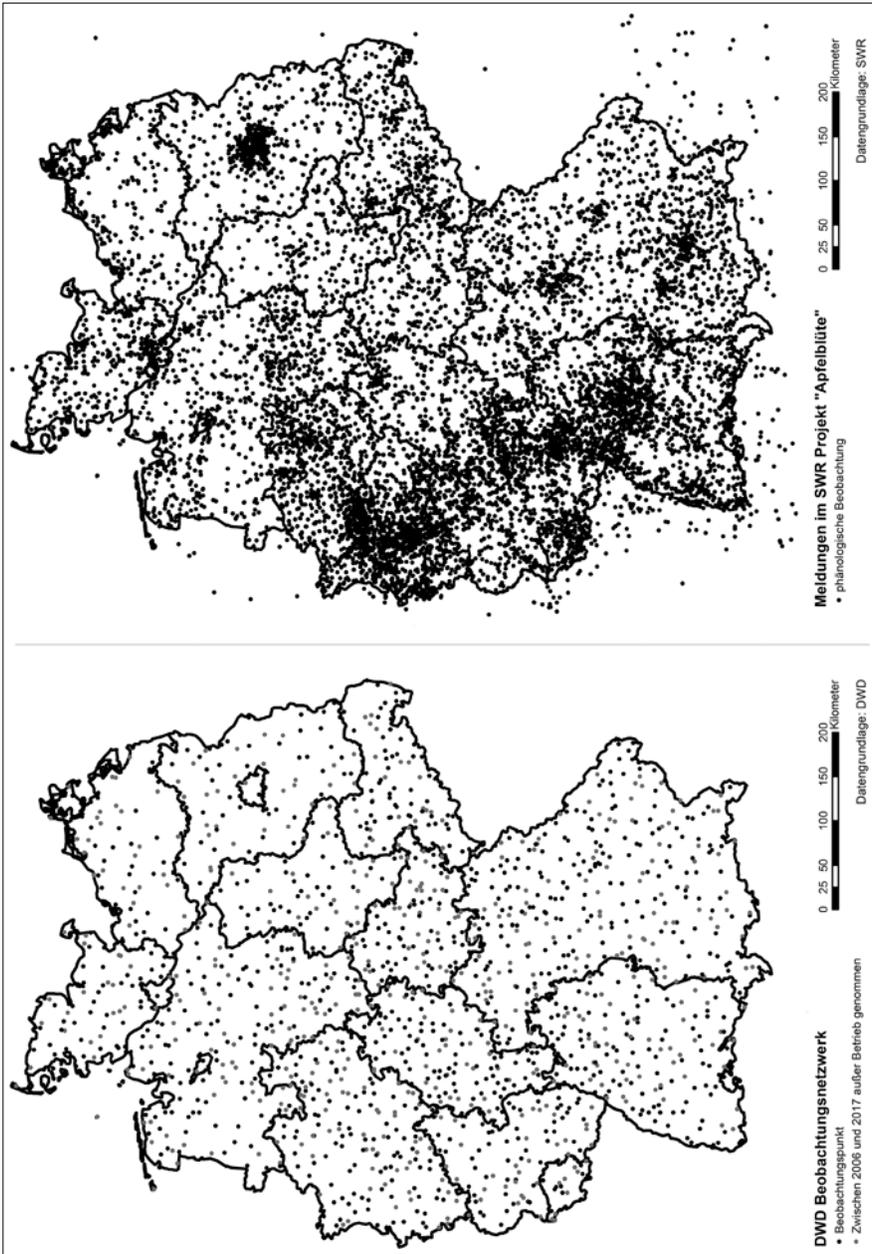


Abb. 2: Vergleich des DWD-Beobachtungsnetzes für phänologische Beobachtungen (mehrfache Meldungen pro Punkt) (links) mit Meldungen im Rahmen des SWR-Projekts "Apfelblüte" zwischen 2006 und 2017 (rechts). Daten: DWD und SWR

Fig. 2: Comparison of the DWD observation network for phenological observations (multiple reports per point) (left) with reports in the context of the SWR project "Apfelblüte" (Apple Blossom) between 2006 and 2017 (right). Data: DWD and SWR

Monitoring möglich. Auf der anderen Seite bieten *crowd-sourced data* den Vorteil einer größeren Zahl von Meldungen zu einzelnen Phasen der Blüte.

Vergleicht man das Messnetz des DWD mit der Zahl und der räumlichen Verteilung der phänologischen Beobachtungen im Rahmen der „Apfelblütenaktion“ des SWR, fällt das wesentlich homogenere Beobachtungsnetz auf (Abb. 2, linke Karte). Im DWD-Netzwerk sind allerdings lediglich die Beobachtungspunkte dargestellt, an denen die phänologischen Beobachtungen durchgeführt werden, während für die Meldungen des SWR-Projekts die Gesamtzahl der Meldungen abgebildet ist, die nicht an jährlich wiederkehrende feste Aufnahmepunkte geknüpft ist. Dadurch erscheint das SWR-Meldenetz größer und umfangreicher als das DWD-Meldenetz. Die Meldungen des SWR-Projekts stammen schwerpunktmäßig aus Südwestdeutschland und aus Ballungsräumen wie z. B. dem Ruhrgebiet und Berlin. Außerhalb des Hauptsendegebiets des SWR und in ländlicheren Gebieten gibt wesentlich weniger Meldungen (z. B. in Teilen Nord- und Ostdeutschlands). In fast allen Bundesländern umfasst der DWD-Datensatz bislang aber noch immer mehr Meldungen als der Vergleichsdatensatz des SWR. Lediglich die Stadtstaaten und Nordrhein-Westfalen zeigen im SWR-Datensatz eine höhere Zahl an Meldungen. Abbildung 3 zeigt, dass die südwestlichen Bundesländer Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und das Saarland als Kernsendegebiet des SWR einen großen Teil der Meldungen im SWR-Datensatz liefern.

Vergleicht man die durchschnittlichen Zeitpunkte des Blühbeginns in den Datensätzen von DWD und SWR, so fällt auf, dass für große Teile Deutschlands eine hohe Übereinstimmung der Beobachtungen (Abweichungen maximal  $\pm 1$  Tag)

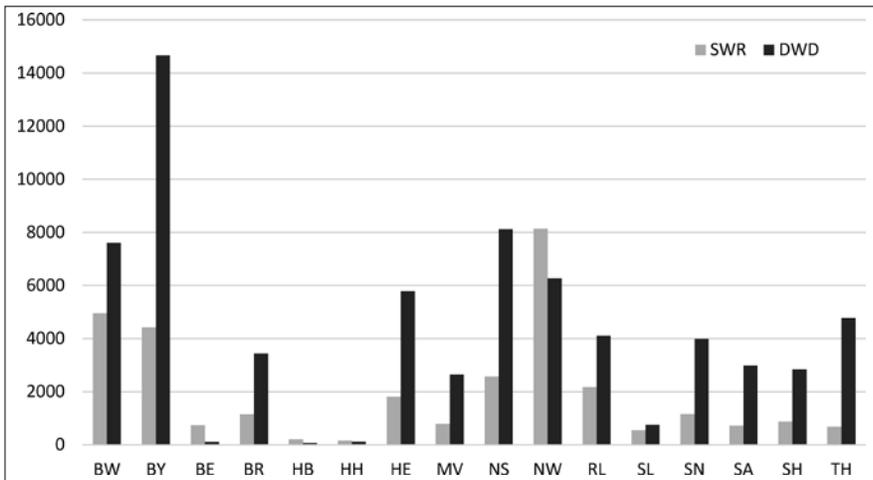


Abb. 3: Zahl der phänologischen Beobachtungen im DWD-Beobachtungsnetz und bei den *crowd-sourced data* des SWR-Projekts „Apfelblüte“ nach Bundesländern. Daten: DWD und SWR

Fig. 3: Number of phenological observations in the DWD observation network and in the *crowd-sourced data* of the SWR project “Apfelblüte” (Apple Blossom) by federal states. Data: DWD and SWR

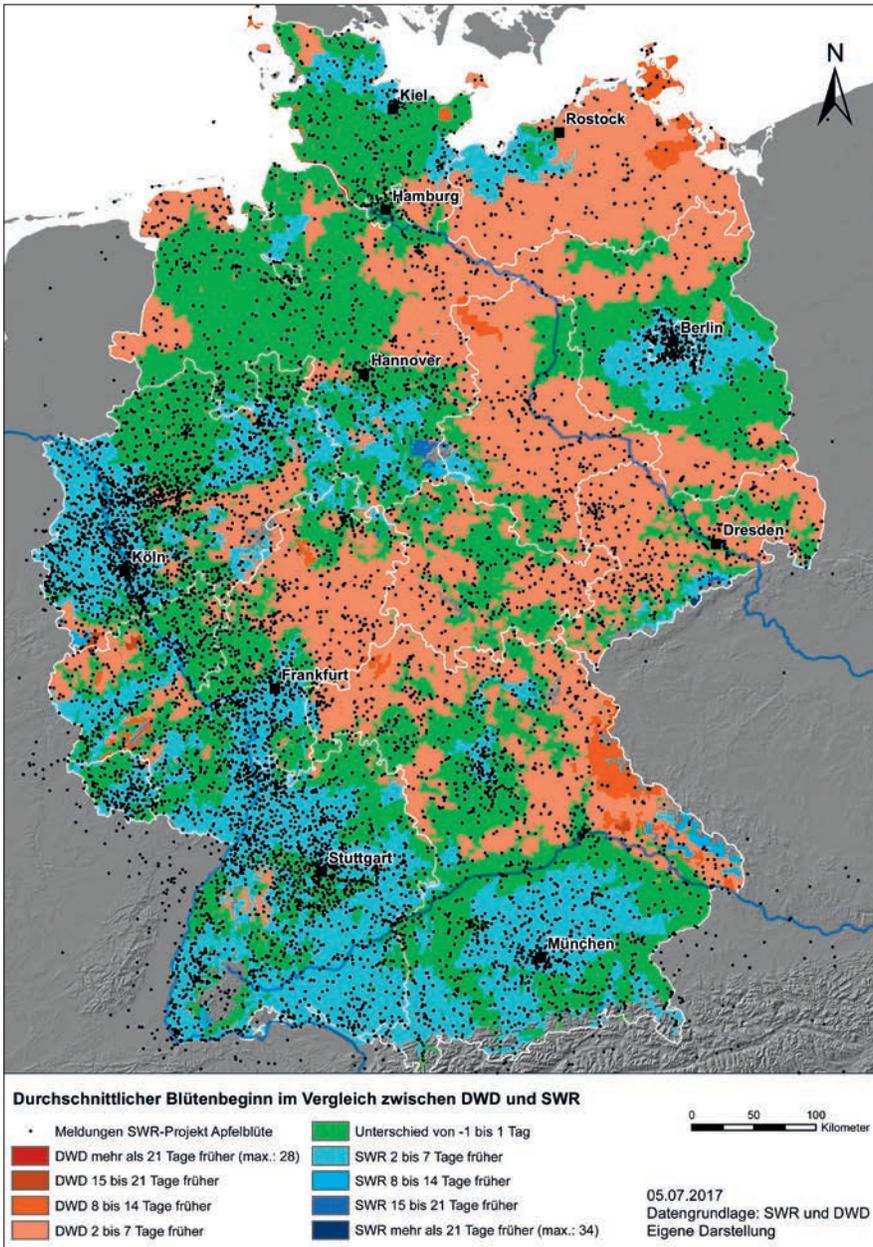


Abb. 4: Vergleich des durchschnittlichen Beginns der Apfelblüte in Deutschland zwischen DWD- und SWR-Datensatz. Daten: DWD und SWR

Fig. 4: Comparison of the average beginning of the apple blossom in Germany between the DWD and SWR dataset. Data: DWD and SWR

vorliegt: Bei 39,7% der Fläche besteht ein Unterschied von bis zu  $\pm 1$  Tag, d. h. die Berechnungen auf Basis des DWD- bzw. SWR-Datensatzes unterscheiden sich jeweils um einen Tag voneinander (Abb. 4, grün eingefärbte Flächen). Bei 13,3% der Beobachtungsfläche lassen sich keine Unterschiede ermitteln, für 97,9% der Gesamtfläche ergeben sich Unterschiede von maximal  $\pm 7$  Tagen im Vergleich zum jeweils anderen Datensatz.

Die Gebiete, in denen die Interpolation auf Basis des SWR-Datensatzes einen früheren durchschnittlichen Blühbeginn projiziert, weisen i. d. R. eine hohe Zahl an Meldungen auf (Abb. 4). Andererseits ist ersichtlich, dass in Gebieten mit vergleichsweise wenigen Meldungen im SWR-Datensatz der durchschnittliche Beginn der Apfelblüte im Vergleich zum DWD-Datensatz scheinbar zu einem späteren Zeitpunkt einsetzt. Dies ist zum einen auf die geringere Zahl der Meldungen zurückzuführen, zum anderen der Art der Datenerfassung geschuldet. Da es sich um ein *Crowd-sourcing*-Projekt handelt, das nicht an feste Aufnahmepunkte und -zeiten gebunden ist, kann es passieren, dass z. B. ein blühender Apfelbaum erst einige Tage nach dem phänologisch korrekten Beginn der Blüte gemeldet wird. Bei geringer räumlicher Meldedichte kann eine solche Verzögerung durch benachbarte Meldungen nicht statistisch kompensiert werden. Eine geringe Meldedichte bei der Generierung räumlicher Datensätze birgt somit die Gefahr von Ungenauigkeiten.

### **3 Ausbreitungscharakteristika der Apfelblüte in Deutschland auf Basis von *crowd-sourced data* des SWR**

Auf Basis der phänologischen Beobachtungen des SWR lässt sich der durchschnittliche Beginn der Apfelblüte in Deutschland bestimmen. Dazu werden in einem ersten Schritt die eingehenden Apfelblütenmeldungen seitens des SWR gewichtet. Meldungen von jahrelang partizipierenden Meldern erhalten eine höhere Gewichtung als z. B. unvollständige oder Erstmeldungen. In einem weiteren Arbeitsschritt werden die Meldungen mittels des Nominatim Geocoders (OpenStreetMap 2017) geocodiert, also räumlich verortet, und für die weitere Analyse in einem GIS aufbereitet. Aufgrund der Inkonsistenz der übermittelten Koordinaten der Beobachtungen werden die von den Meldern übermittelten Adressdaten (Stadt, Straße, Hausnummer) verwendet, die zu großen Teilen vollständig vorhanden sind. Die geocodierten Meldungen zum Blühbeginn werden mit einem deutschlandweiten Höhenmodell sowie Temperaturdaten verschnitten und räumlich interpoliert. Hieraus resultieren flächendeckende räumliche Verteilungsmuster des Beginns der Apfelblüte in Deutschland für einzelne Beobachtungsjahre.

Die in Abbildung 5 dargestellten Werte stellen den Mittelwert des Beginns der Apfelblüte für den gesamten Projektzeitraum (2006–2017) dar, wobei jeder Jahresmittelwert mit der gleichen Gewichtung in die Berechnung eingegangen ist, unabhängig von der Zahl der Meldungen oder weiteren Qualitätskriterien. Auf Basis dieser Berechnung ergibt sich für Deutschland ein gewichteter mittlerer Beginn der Apfelblüte für den Tag 109,4 nach Jahresbeginn (DOY = Day of Year). Im Jahr 2017 entspricht dieser Wert dem 19./20. April.

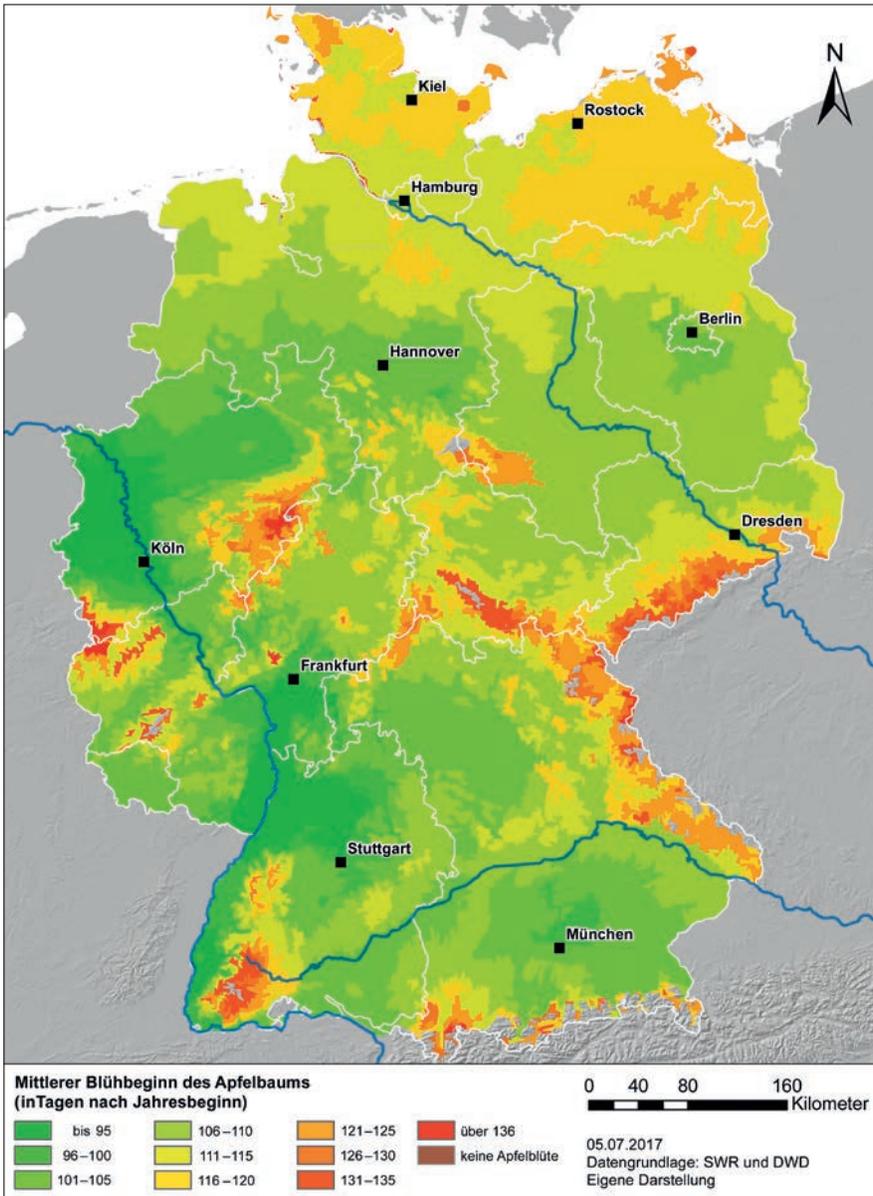


Abb. 5: Durchschnittlicher Beginn der Apfelblüte in Deutschland (in Tagen nach Jahresbeginn) von 2006–2017 auf Basis von Meldungen im Rahmen der SWR „Apfelblütenaktion“: Daten: SWR

Fig. 5: Average start of apple blossom in Germany (in days after the beginning of the year, DOY) from 2006–2017 on basis of notifications under the SWR “Apfelblütenaktion” (Apple Blossom Project). Data: DWD and SWR

### 3.1 Interannuale Variabilität der Apfelblüte in Deutschland

Wird der Beginn der Apfelblüte in einzelnen Jahren gesondert betrachtet, so zeigt sich naturgemäß eine z. T. deutliche Abweichung von diesem langjährigen Durchschnittswert (Abb. 6). Der früheste durchschnittliche Blühbeginn war im Projektjahr 2014 zu beobachten (DOY 96,8), der späteste im Jahr 2006 (DOY 119,7).

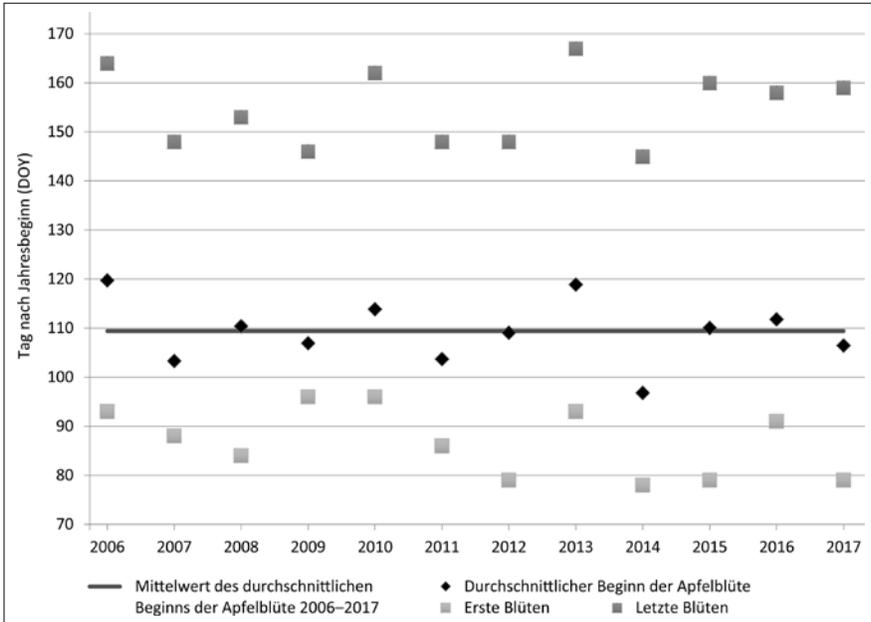


Abb. 6: Durchschnittlicher Beginn der Apfelblüte in Deutschland im Zeitraum von 2006 bis 2017 in Tagen nach Jahresbeginn (DOY). Daten: SWR

Fig. 6: Average start of apple blossom in Germany in the period from 2006 to 2017, in days after the beginning of the year (DOY). Data: SWR

Im Datumsformat für das Jahr 2017 dargestellt entspricht der früheste Blühbeginn dem 6./7. April, der späteste Blühbeginn dem 29./30. April – eine Differenz von fast einem Monat. Insgesamt ergibt sich über den betrachteten Projektzeitraum von 2006 bis 2017 eine Differenz von 22,9 Tagen zwischen dem frühesten und spätesten beobachteten Eintritt der Apfelblüte in Deutschland. Dabei wird der Mittelwert von DOY 109,4 um maximal 10,3 Tage (2006) über- und um 12,6 Tage (2014) unterschritten (Tab. 2). Insgesamt ist eine durchschnittliche Abweichung von 4,9 Tagen vom langjährigen Mittelwert zu beobachten.

Neben dem durchschnittlichen Beginn der Apfelblüte sind phänologisch auch die ersten und letzten Blüten von Interesse. Hierdurch lassen sich Aussagen über die Geschwindigkeit der Ausbreitung der Apfelblüte in Deutschland ableiten. Dabei zeigt sich ein heterogenes Bild: Während z. B. im Jahr 2009 der Zeitraum zwischen dem Auftreten der ersten und letzten Blüte 50 Tage betrug, waren es 81 Tage im Jahr 2015 (Tab. 2). In dieser Berechnung werden allerdings die Minimal- und

Maximalwerte der ersten blühenden Regionen in ganz Deutschland verglichen, so dass einzelne sehr früh- bzw. sehr spätblühende Regionen, z. B. in Gebirgslagen, das Gesamtbild verzerren können. Eine flächenhafte Gewichtung der Ergebnisse wurde nicht durchgeführt.

Tab. 2: Durchschnittlicher Beginn der Apfelblüte in Deutschland sowie erste und letzte Blüten (2006–2017) in Tagen nach Jahresbeginn (DOY). Daten: SWR

Tab. 2: Propagation rates of apple blossom in Germany (2006–2017), in days after the beginning of the year (DOY). Data: SWR

Jahr	Ø Beginn der Apfelblüte (DOY) (Ø DOY 109,4)	Abweichung in Tagen von Ø 2006–2017 (Ø 4,9 Tage)	DOY erste Blüten	DOY letzte Blüten	Tage zwischen erster/letzter Blüte
2006	119,7	10,3	93	164	71
2007	103,3	-6,1	88	148	60
2008	110,4	1,0	84	153	69
2009	106,9	-2,5	96	146	50
2010	113,8	4,5	96	162	66
2011	103,7	-5,7	86	148	62
2012	109,0	-0,3	79	148	69
2013	118,8	9,5	93	167	74
2014	96,8	-12,6	78	145	67
2015	110,0	0,6	79	160	81
2016	111,8	2,4	91	158	67
2017	106,5	-2,9	79	159	80

Um einzelne Extremwerte aus der Beobachtung auszuschließen und somit eine verlässlichere Aussage über die Geschwindigkeit der Apfelblütenausbreitung in Deutschland treffen zu können, wurden für die Daten der Tabelle 2 Grenzwerte für die ersten 5% und die letzten 5% der Blüte für die Beobachtungsfläche (Deutschland mit Ausnahme von Regionen ohne Apfelblüte) festgelegt (BF5 = erste 5% der Blütenfläche, BF95 = letzte 5% der Blütenfläche). Der DOY in Tabelle 3 zeigt somit den ersten Tag, an dem mehr als 5% (bzw. weniger als 95%) der Beobachtungsfläche den Beginn der Blüte aufweisen. Hierdurch werden einzelne früh- bzw. spätblühende Gebiete aus der Berechnung ausgeschlossen. Zu erkennen sind auf dieser Grundlage Blühperioden zwischen 16 (2009) und 35 (2017) Tagen, in denen eine Abdeckung von mindestens 90% der Beobachtungsfläche in Deutschland gegeben ist. Im Durchschnitt beträgt dieser Zeitraum 23,1 Tage (Tab. 3).

Eine große Differenz zwischen erster und letzter Blüte (z. B. 2015) muss nicht zwangsläufig mit einer langen Blühperiode einhergehen, da hierfür phänologisch relevant ist, in welcher Geschwindigkeit sich die Apfelblüte nach dem Auftreten

Tab. 3: Ausbreitungsgeschwindigkeiten der Apfelblüte in Deutschland (2006–2017) in Tagen nach Jahresbeginn (DOY). Daten: SWR

Tab. 3: Spatial spread velocity of apple blossom in Germany (2006–2017) in days after the beginning of the year (DOY). Data: SWR

Jahr	DOY mit „Beginn der Blüte“ auf mind. 5% der Fläche [BF5]	DOY mit „Beginn der Blüte“ auf mind. 95% der Fläche [BF95]	Zeitraum in Tagen zwischen BF5 und BF95 (Ø 23,1 Tage)	DOY mit „Beginn der Blüte“ auf mind. 50% der Fläche [BF50]	Tage nach erster Apfelblüte bis mind. 50% Abdeckung [BA50] (Ø 22,1 Tage)	Tage nach erster Apfelblüte bis mind. 95% Abdeckung [BA95] (Ø 34,2 Tage)
2006	109	128	19	120	27	35
2007	95	112	17	103	15	24
2008	98	123	25	110	26	39
2009	100	116	16	106	10	20
2010	102	127	25	114	18	31
2011	93	114	21	104	18	28
2012	95	120	25	110	31	41
2013	108	128	20	119	26	35
2014	85	110	25	95	17	32
2015	101	122	21	110	31	43
2016	98	126	28	112	21	35
2017	91	126	35	104	25	47

erster Blüten ausbreitet. In Tabelle 3 ist der DOY dargestellt, an dem auf mindestens 50% der Beobachtungsfläche die Apfelblüte eingetreten ist (BF50). Ergänzend ist dargestellt, wie viele Tage vom ersten Auftreten der Apfelblüte bis zum Grenzwert von mindestens 50% Blütenabdeckung vergehen. So wird z. B. in den Jahren 2006 und 2007 deutlich, dass der Zeitraum zwischen BF5 und BF95 zwar 19 bzw. 17 Tage umfasst, also eine ähnlich lange Blühperiode besteht, obwohl der Zeitraum zwischen ersten Blüten und der Blütenabdeckung von mindestens 50% (Blütenabdeckung 50% = BA50) 27 (2006) bzw. 15 (2007) Tage umfasst. Trotz ähnlich langer Blühperioden kann sich die Initialgeschwindigkeit, mit der die Apfelblüte vorstättengeht, erheblich unterscheiden.

Des Weiteren ist von Interesse, nach wie vielen Tagen auf 95% der Beobachtungsfläche (BA95) der „Beginn der Blüte“ festzustellen ist. Es kann also nicht nur die Initialgeschwindigkeit dargestellt werden, sondern es lässt sich auch beobachten, ob es im Laufe der Apfelblüte z. B. witterungsbedingt zu Verzögerungen oder Beschleunigungen in der Ausbreitung der Blüte kommt. So ist es im Jahr 2017 nach einem frühen Beginn der Apfelblüte witterungsbedingt zu einer langsameren Ausbreitung der Apfelblüte gekommen. Dies spiegelt sich in den Werten für BA50 sowie BA95: Der Wert für BA50 im Jahr 2017 (25) ist z. B. vergleichbar mit den Werten für die Jahre 2006 (27), 2008 (26) und 2013 (26). Im BA95 ergibt sich für das Jahr 2017 mit dem Wert 47 im Vergleich zu den zuvor genannten

Jahren jedoch eine Differenz von 8–12 Tagen (Tab. 3). Andererseits gibt es auch einen langsamen, sich jedoch später beschleunigender Blühbeginn, z. B. in den Jahren 2012 und 2015. Hier stellen die BA50-Werte mit 31 Tagen jeweils den Höchstwert der Beobachtungsreihe dar, der BA95-Wert konnte jedoch in einer mit den anderen Jahren vergleichbaren Zeitspanne erreicht werden. Aufgrund witterungsbedingter Faktoren innerhalb der Blühperioden kann sich die interannuelle Ausbreitungsgeschwindigkeit der Apfelblüte in einzelnen Jahren erheblich unterscheiden.

### *3.2 Regionale und topographische Differenzierung der Apfelblüte*

Temperatur und Sonneneinstrahlung stellen die wichtigsten Faktoren für die Blütenbildung dar. Eine zunehmende Höhenlage zieht im Mittel ein geringeres Temperaturniveau nach sich und besonders Nachtfrost beeinflussen die Ausbildung von Apfelblüten erheblich; die Blüten können sich nur sehr langsam oder gar nicht entwickeln. Ab Höhen von ca. 800 m treten i. d. R. keine flächendeckend blühenden Apfelbäume mehr auf. Aufgrund geographisch-topographischer Unterschiede und daraus resultierenden klimatischen Gradienten ergibt sich ein zeitlicher Unterschied in der Ausbildung der Apfelblüte von bis zu 40 Tagen.

Die Region des Oberrheingrabens ist aufgrund ihrer geographischen Lage eine der Regionen mit der frühesten Apfelblüte in Deutschland. Die geschützte Beckenlage zwischen Schwarzwald/Vogesen und Pfälzer Wald/Odenwald bildet eine klimatische Gunstsituation. Zudem werden durch die Verbindung über die Burgundische Pforte in das Rhonetal mediterrane Luftmassen nach Südwestdeutschland transportiert, wodurch ein vergleichsweise günstiges Klima entsteht. Besonders der Frühlingsbeginn und somit auch die Apfelblüte treten hier i. d. R. daher früher ein als in den meisten anderen Regionen Deutschlands. Zu den Regionen mit frühem Blühbeginn zählt neben dem Oberrheingraben zwischen Freiburg und Frankfurt auch die Kölner Bucht. Über die Täler großer Flüsse wie z. B. Rhein, Main oder Mosel, die aufgrund ihres günstigen Klimas auch als gute Weinbauregionen gelten, breitet sich die Apfelblüte von Südwesten kommend im Jahresverlauf nach Nordost über Deutschland aus (Abb. 5).

Gleichzeitig ist eine „Höhenwanderung“ zu beobachten, die in Höhenprofilen vom Pfälzer Wald über die Rheinebene zum Odenwald (Abb. 7) und vom Kaiserstuhl über Freiburg in den Schwarzwald (Abb. 8) zu erkennen ist (vgl. auch Abb. 9).

Während im Oberrheingraben ein weitgehend homogener Beginn der Apfelblüte zu beobachten ist, ergibt sich für die höher gelegenen Gebiete, d. h. im Pfälzer Wald, Odenwald und Schwarzwald, ein differenziertes Bild: Im Durchschnitt der Jahre 2006–2017 verzögert sich der Blühbeginn im Pfälzer Wald und im Odenwald im Vergleich zur Rheinebene (entlang der Profillinien in Abb. 9) um 10 bis 20 Tage. Dies entspricht bezogen auf den Höhenunterschied von 200–400 m einer „Höhenwanderung“ von 20–30 m pro Tag. Entsprechend weisen die Höhenlagen einen verzögerten Blühbeginn von bis zu drei Wochen auf. Ab ca. 1.000 m sind nur noch in Ausnahmefällen (z. B. günstige Südexposition, geschützter Standort) einzelne Apfelbäume zu finden.

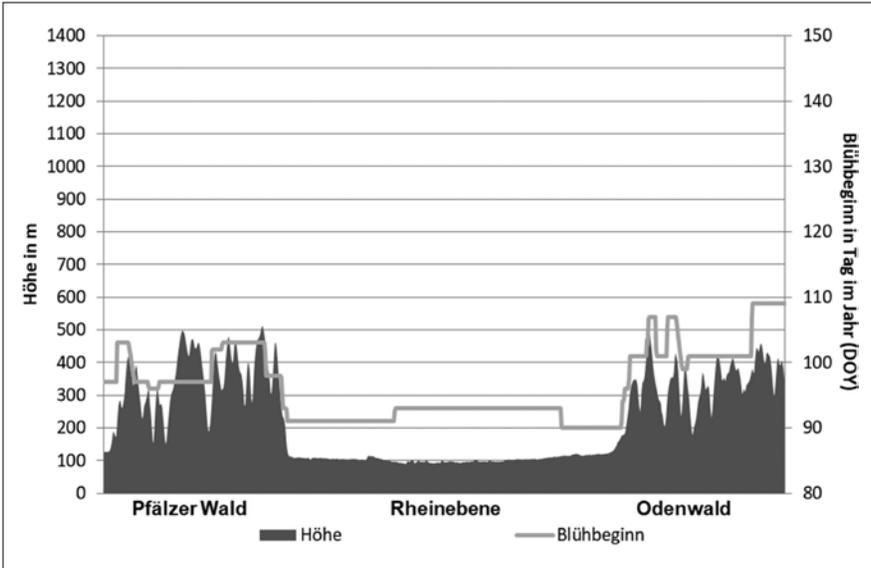


Abb. 7: Höhenprofil und durchschnittlicher Beginn der Apfelblüte (2006–2017) vom Pfälzer Wald zum Odenwald. Daten: SWR

Fig. 7: Height profile and average start of the apple blossom (2006–2017) from the Palatinate Forest to the Odenwald. Data: SWR

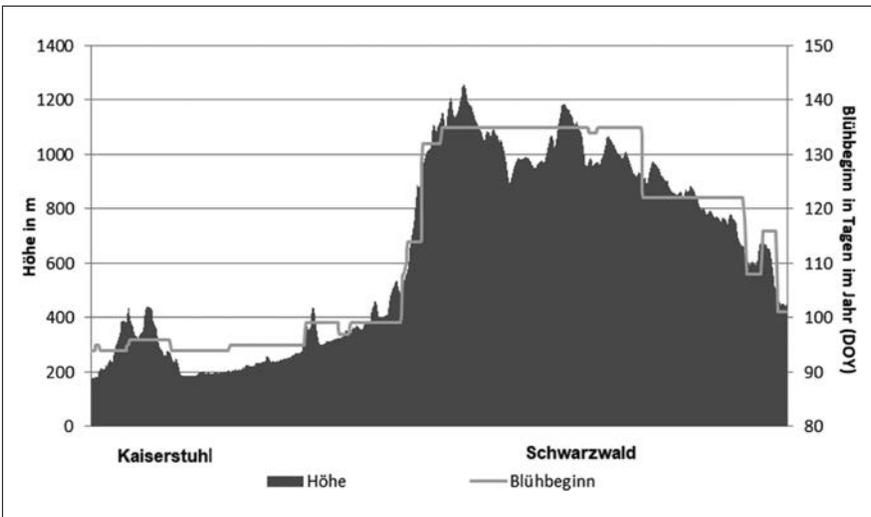


Abb. 8: Höhenprofil und durchschnittlicher Beginn der Apfelblüte 2006 bis 2017 vom Kaiserstuhl bis zum Schwarzwald. Daten: SWR

Fig. 8: Height profile and average start of apple blossom 2006 to 2017 from the Kaiserstuhl to the Black Forest. Data: SWR

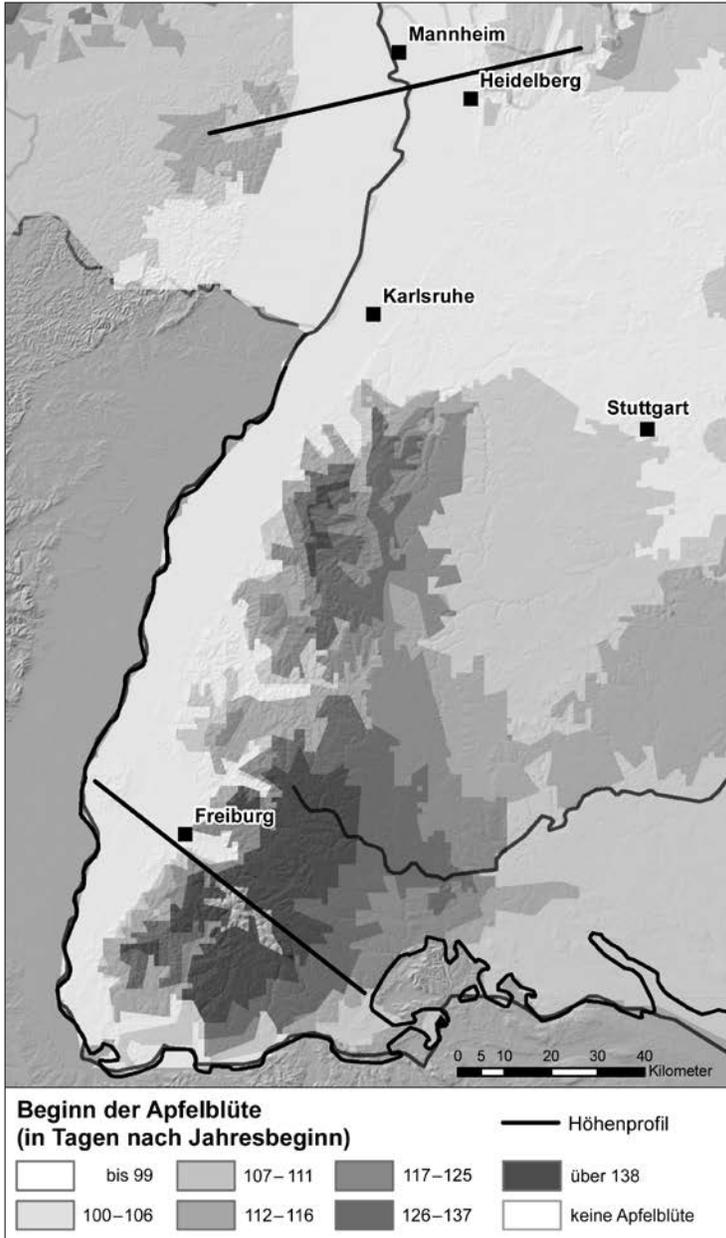


Abb. 9: Mittlerer Beginn der Apfelblüte (2006–2017) zwischen Pfälzer Wald und Odenwald (mit Profillinie für Abb. 7) und vom Kaiserstuhl bis zum Schwarzwald (mit Profillinie für Abb. 8). Daten: SWR

Fig. 9: Average beginning of apple blossom (2006–2017) between the Palatinate Forest and the Odenwald (with a profile line for fig. 7) and from the Kaiserstuhl to the Black Forest (with a profile line for fig. 8). Data: SWR

Aufgrund der größeren Höhen des Schwarzwaldes ist hier – im Vergleich zum benachbarten Pfälzer Wald/Odenwald – zum einen insgesamt ein späterer Beginn der Apfelblüte zu verzeichnen. Zum anderen sind aufgrund der größeren Höhenunterschiede im Schwarzwald auf geringerer Entfernung größere räumliche Gradienten beim Beginn der Apfelblüte zu beobachten. Die durchschnittliche „Höhenwanderung“ der Apfelblüte im Schwarzwald entspricht aber weitgehend der des Pfälzer Waldes/Odenwaldes.

#### 4 Fazit und Ausblick

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass *crowd-sourced data* die „klassischen“ Beobachtungsnetze zur Erfassung phänologischer Blühphasen des Apfelbaums in Deutschland verlässlich ergänzen und u. a. die Ausdünnung des DWD-Beobachternetzes kompensieren können. 97,9% der beobachteten Fläche weisen eine Abweichung des durchschnittlichen Blühbeginns von maximal  $\pm 7$  Tagen zwischen den räumlichen Interpolationen auf Basis der DWD- und SWR-Datensätze auf. Der durchschnittliche Beginn der Apfelblüte in Deutschland ist nach Berechnungen auf Basis der SWR-Meldungen am Tag 109,4 nach Beginn des Jahres (19./20. April), mit einer durchschnittlichen Abweichung von  $\pm 4,9$  Tagen. Es zeigt sich, dass im Durchschnitt 22,1 Tage nach den ersten Blüten bereits in mindestens 50% der Beobachtungsfläche in Deutschland die Apfelblüte ebenfalls begonnen hat. Nach durchschnittlich 33,2 Tagen ist auf 95% der Fläche der Beginn der Blüte festzustellen.

In Bereichen mit hoher SWR-Melddichte decken sich die Beobachtungen mit denen des DWD besonders gut oder zeigen einen etwas früheren Blühbeginn. In Gebieten mit wenigen SWR-Meldungen zeigen die Berechnungen auf Basis des DWD-Meldenetzes hingegen eine früher einsetzende Apfelblüte. Dieses Ergebnis ist wahrscheinlich v. a. auf die unterschiedlichen Beobachtungsmethoden und -standards zurückzuführen – systematische, durch geschulte Laien vorgenommene Beobachtungen beim DWD auf der einen, zufällige, durch Freiwillige gemeldete Beobachtungen bei SWR-Projekt auf der anderen Seite. Ungenaue, i. d. R. verspätete, Meldungen zum exakten Beginn der Blüte sind bei SWR-Meldern nicht auszuschließen. Bei einer geringeren Zahl von SWR-Meldungen lässt sich dieses Manko statistisch nicht ausgleichen.

Für ein differenzierteres Qualitätsmanagement von *crowd-sourced data* bedarf es einer näheren Analyse des Meldeverhaltens der SWR-Melder. In Abhängigkeit von deren Expertenwissen (z. B. beruflicher Hintergrund) und mehr oder weniger langjährigen Erfahrungen in den SWR-Apfelblütenaktionen ist mit einer unterschiedlichen Qualität der gemeldeten Daten zu rechnen. Mit der Abfrage zusätzlicher Informationen zu den Meldern ließe sich die Qualität der Meldungen genauer analysieren und in der statistischen Analyse besser gewichten.

In Hinblick auf die phänologischen Daten selbst ist die Ausweitung der statistischen Analyse auf weitere phänologische Phasen (z. B. „Vollblüte“ oder „Ende der Blüte“) ein weiterer Schritt, um das Potenzial der SWR-Daten noch besser zu nutzen. Im Hinblick auf unterschiedliche Apfelsorten (Früh-/Spätblüher), die

durch die SWR-Melder z.T. durch Fotos der gemeldeten Bäume dokumentiert sind, könnten differenziertere phänologische Aussagen erfolgen. Zur Erklärung raum-zeitlich differenzierter Verteilungs- und Ausbreitungsmuster lassen sich die Daten mit unterschiedlichen Wetterlagen und Witterungsverläufen korrelieren, um so in Zukunft die Qualität probabilistischer Vorhersagemodelle für die Ausbreitung verschiedener phänologischer Phasen verbessern zu können. Auf regionaler Ebene bieten die *crowd-sourced data* des SWR-Apfelblütenprojekts, gerade aufgrund der besonders hohen Datendichte in Ballungsräumen, zudem das Potenzial zur Untersuchung räumlicher Verbreitungsmuster von städtischen Wärmeinselleffekten sowie möglicher Einflüsse der Luftqualität auf die Entwicklungsphasen der Apfelblüte. Bei einer Weiterführung des SWR-Apfelblütenprojekts lassen sich mit zunehmender Länge der Zeitreihe zudem auch langfristige Veränderungen der phänologischen Phasen des Apfelbaums im Kontext des Klimawandels erkennen.

Um dem Trend des abnehmenden DWD-Meldenetzes für phänologische Beobachtungen entgegenzuwirken, empfiehlt sich der Einsatz von Citizen Science und *crowd-sourced data*. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Meldedaten des SWR-Apfelblütenprojekts hierbei eine valide Datenquelle für das Monitoring phänologischer Phänomene darstellen, die die klassischen Beobachtungen des DWD sinnvoll ergänzen und zunehmend auch ersetzen können. Citizen Science-Ansätzen kommt daher in Zukunft ein zunehmendes Potenzial nicht nur in der Phänologie, sondern auch in anderen Wissenschaftsbereichen, die auf Felddaten angewiesen sind, zu.

## Literatur

- AMANO, T., R. SMITHERS, T. SPARKS & W. SUTHERLAND 2010: A 250-year index of first flowering dates and its response to temperature changes. In: *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 277 (1693), S. 2451–2457.
- CHMIELEWSKI, F., A. MÜLLER & E. BRUNS 2004: Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961–2000. In: *Agricultural Forest Meteorology* 121, 1–2, S. 69–78.
- DWD 2017a: Phänologie. URL: [http://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaueberwachung/phaenologie/phaenologie\\_node.html;jsessionid=64341CB773C921807161A19C6F2D163B.live21064](http://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaueberwachung/phaenologie/phaenologie_node.html;jsessionid=64341CB773C921807161A19C6F2D163B.live21064) (letzter Zugriff 04.07.2017).
- DWD 2017b: Daten Deutschland. URL: [http://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaueberwachung/phaenologie/daten\\_deutschland/daten\\_deutschland\\_node.html;jsessionid=C6A6ECED9741A156070183FD8A989FAB.live11041](http://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaueberwachung/phaenologie/daten_deutschland/daten_deutschland_node.html;jsessionid=C6A6ECED9741A156070183FD8A989FAB.live11041) (letzter Zugriff 04.07.2017).
- DWD 2017c: Observations Germany – Phenology. URL: [ftp://ftp-cdc.dwd.de/pub/CDC/observations\\_germany/phenology/](ftp://ftp-cdc.dwd.de/pub/CDC/observations_germany/phenology/) (letzter Zugriff 04.07.2017).
- DWD 2017d: Jahresmelder. URL: [http://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaueberwachung/phaenologie/daten\\_deutschland/jahresmelder/jahresmelder\\_node.html;jsessionid=9310D553EC51FE7D4F4ACDFA6D97A059.live11043](http://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaueberwachung/phaenologie/daten_deutschland/jahresmelder/jahresmelder_node.html;jsessionid=9310D553EC51FE7D4F4ACDFA6D97A059.live11043). (letzter Zugriff 05.09.2017).
- DWD 2017e: Sofortmelder. URL: [http://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaueberwachung/phaenologie/daten\\_deutschland/sofortmelder/sofortmelder\\_node.html;jsessionid=9310D553EC51FE7D4F4ACDFA6D97A059.live11043](http://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaueberwachung/phaenologie/daten_deutschland/sofortmelder/sofortmelder_node.html;jsessionid=9310D553EC51FE7D4F4ACDFA6D97A059.live11043) (letzter Zugriff 05.09.2017).

- ESTRELLA, N., T. H. SPARKS & A. MENZEL 2007: Trends and temperature response in the phenology of crops in Germany. In: *Global Change Biology* 13, 8, S. 1737–1747.
- FITCHETT, J. M., S. W. GRABS & D. I. THOMPSON 2015: Plant phenology and climate change: Progress in methodological approaches an application. In: *Progress in Physical Geography* 39, 4, S. 460–482.
- GERHARD, O., N. WOLF & A. SIEGMUND 2017: Einsatz von Citizen Science im phänologischen Monitoring der Apfelblüte in Deutschland. Heidelberg, S. 123–147 (= Heidelberger Jahrbücher Online, 2). URL: <https://heiup.uni-heidelberg.de/journals/index.php/hdjbo/article/view/23696/17422> (letzter Zugriff (10.08.2018)).
- HUPFER, P., W. KUTTLER, F. CHMIELEWSKI & H. PETHE <sup>11</sup>2005: Biometeorologie. In: HUPFER, P. & W. KUTTLER (Hrsg.): *Witterung und Klima. Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie*. Stuttgart [u. a.], S. 459–513.
- MENZEL, A., T. SPARKS, N. ESTRELLA & D. ROY 2006a: Altered geographic and temporal variability in phenology in response to climate change. *Global Ecology and Biogeography* 15, 5, S. 498–504.
- MENZEL, A., T. SPARKS, N. ESTRELLA, E. KOCH, A. AASA, R. AHAS, K. ALMKÜBLER, P. BISSOLLI, O. BRASLAVSKA, A. BRIEDE, F. CHMIELEWSKI, Z. CREPINSEK, Y. CURNEL, A. DAHL, C. DEFILA, A. DONNELLY, Y. FILELLA, K. JATCZAK, F. MÄGE, A. MESTRE, Ø. NORDLI, J. PENUELAS, P. PIRINEN, V. REMISOVA, H. SCHEIFINGER, M. STRIZ, A. SUSNIK, A. VAN VLIET, F. WIEGOLASKI, S. ZACH & A. ZUST 2006b: European phenological response to climate change matches the warming pattern. In: *Global Change Biology* 12, 10, S. 1969–1976.
- OpenStreetMap 2017: Nominatim. URL: [http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Nominatim#Reverse\\_Geocoding](http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Nominatim#Reverse_Geocoding) (letzter Zugriff 11.09.2017).
- PARMESAN, C. & G. YOHE 2003: A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. In: *Nature* 421 (6918), S. 37–42.
- RABITSCH, W. & T. HERREN 2013: Klimawandeleffekte heute: Welche Änderungen finden bereits statt? In: Essl, F. & W. Rabitsch (Hrsg.): *Biodiversität und Klimawandel – Auswirkungen und Handlungsoptionen für den Naturschutz in Mitteleuropa*. Heidelberg, S. 52–58.
- ROOT, T. J., J. T. PRICE, K. R. HALL, S. H. SCHNEIDER, C. ROSENZWEIG & A. POUNDS 2003: Fingerprints of global warming on wild animals and plants. In: *Nature* 421 (6918), S. 57–60.
- SWR 2017a: SWR Apfelblütenaktion. URL: <https://www.swr.de/apfelbluete/-/id=14985916/1kn3ll/index.html> (letzter Zugriff 14.06.2017).
- SWR 2017b: Formular zur Apfelblütenaktion 2017. URL: <https://www.swr.de/apfelbluete/formular-zur-apfelbluetenaktion-2017-apfelbluete-entdeckt/-/id=14984782/did=15249320/nid=14984782/1qck7tv/index.html> (letzter Zugriff 14.06.2017).
- WALTER, G., E. POST, P. COVEY, A. MENZEL, C. PARMESAN, T. BEEBEE, J. FROMENTIN, O. HOEGH-GULDBERG & F. BAIRLEIN 2002: Ecological responses to recent climate change. In: *Nature* 416 (6879), S. 389–395.