

Indikator-Factsheet: Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten

Verfasser*innen:	Universität Stuttgart, Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung (Dr. Livia Schäffler) i. A. des Bundesamtes für Naturschutz, FKZ 3511 82 0400	
Mitwirkung:	Deutscher Wetterdienst, Referat Nationale Klimaüberwachung Universität Stuttgart, Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung (Prof. Dr. Stefan Siedentop) TU Berlin, FG Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung (Prof. Dr. Stefan Heiland, Rainer Schliep) Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Terrestrisches Monitoring (Dr. Ulrich Sukopp, Dr. Elisa Braeckevelt, ab 2022 Dr. Melanie Mewes)	
Letzte Aktualisierung:	30.09.2013	Universität Stuttgart, Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung (Dr. Livia Schäffler)
	06.05.2014	TU Berlin, FG Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung (Rainer Schliep)
	27.02.2019	PAN GmbH München (Werner Ackermann)
	22.09.2022	PAN GmbH München (Werner Ackermann)
	11.05.2023 06.11.2023	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler): Änderung der grafischen Darstellung des Indikators (vorher phänologische Uhr in Form konzentrischer Kreise), redaktionelle Anpassungen, Aktualisierung der Links
Nächste Fortschreibung:		

I Beschreibung

Interne Nr. BD-I-1	Titel: Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten
Einheit: Anzahl Kalendertage	Kurzbeschreibung des Indikators: Beginn (Eintrittsdatum) und Dauer zehn phänologischer Jahreszeiten für einen 30-jährigen Referenzzeitraum (1951-1980), einen 30-jährigen Vergleichszeitraum (1981-2010) und einen fortlaufenden Zeitraum der jeweils letzten verfügbaren 30 Jahre (Phänologische Uhr für Wildpflanzen in Deutschland)
Zusatz: Anzahl Kalendertage	Zusatz: Dauer der Vegetationsperiode als Summe der Tage des phänologischen Frühlings, Sommers und Herbstes
	Berechnungsvorschrift: Phänologische Uhr für Wildpflanzen in Deutschland: Der Beginn der phänologischen Jahreszeiten wird durch den Eintritt folgender phänologischer Leitphasen bestimmt (Angaben in der Liste: Nummer, Bezeichnung der phänologischen Jahreszeit, Name der Wildpflanzenart, Ereignis in der Entwicklung der Pflanze im Jahresgang): (1) Vorfrühling: Huflattich (<i>Tussilago farfara</i>) – Beginn der Blüte (2) Erstfrühling: Buschwindröschen (<i>Anemone nemorosa</i>) – Beginn der Blüte (3) Vollfrühling: Stieleiche (<i>Quercus robur</i>) – Beginn der Blattentfaltung (4) Frühsommer: Schwarzer Holunder (<i>Sambucus nigra</i>) – Beginn der Blüte (5) Hochsommer: Sommerlinde (<i>Tilia platyphyllos</i>) – Beginn der Blüte

	(6) Spätsommer: Eberesche (<i>Sorbus aucuparia</i>) – Entwicklung erster reifer Früchte (7) Frühherbst: Schwarzer Holunder (<i>Sambucus nigra</i>) – Entwicklung erster reifer Früchte (8) Vollherbst: Hängebirke (<i>Betula pendula</i>) – Beginn der Blattverfärbung (9) Spätherbst: Rotbuche (<i>Fagus sylvatica</i>) – Beginn des Blattfalls (extrapoliert) (10) Winter: Stieleiche (<i>Quercus robur</i>) – Beginn des Blattfalls (extrapoliert) Über den Zeitraum der letzten 30 Jahre (gleitendes Zeitfenster bis zum jeweils letzten verfügbaren Jahr) werden die bundesweiten Mittelwerte der Eintrittsdaten der zehn aufeinanderfolgenden phänologischen Jahreszeiten berechnet und den entsprechenden Mittelwerten aus dem 30-jährigen Referenzzeitraum 1951 bis 1980 und dem 30-jährigen Vergleichszeitraum 1981 bis 2010 gegenübergestellt. $\text{Mittelwert } ED_x = \frac{\sum_{i=1}^n \emptyset ED_x}{n}$ ED Eintrittsdatum einer phänologischen Jahreszeit $\emptyset$ bundesweites Jahresmittel x Nummer der phänologischen Jahreszeit (1-10) n = 30 Anzahl der Jahre für den aktuellen Zeitraum (veränderlich über die jeweils letzten 30 verfügbaren Jahre), den Referenzzeitraum (unveränderlich über die Jahre 1951 bis 1980) und den Vergleichszeitraum (unveränderlich über die Jahre 1981 bis 2010) <u>Zusatz:</u> Dauer der Vegetationsperiode Die Berechnung der Dauer der Vegetationsperiode erfolgt tagesgenau entsprechend dem täglichen Meldungsrhythmus der Beobachter nach den Richtlinien des Deutschen Wetterdienstes (DWD) für die Jahresmelder. Die Dauer der Vegetationsperiode entspricht der Summe der Tage des phänologischen Frühlings, Sommers und Herbstes und ergibt sich aus der Differenz zwischen den Eintrittsdaten des phänologischen Winters und des phänologischen Vorfrühlings. Sie wird fortlaufend gegen die Beobachtungsjahre aufgetragen und im Zusammenhang mit den jeweiligen mittleren Temperaturen aus den drei Monaten dargestellt, die diesen beiden phänologischen Jahreszeiten vorhergehen. $d_{VP} = \emptyset ED_{Winter} - \emptyset ED_{Vorfrühling}$ d_{VP} Dauer der Vegetationsperiode ED Eintrittsdatum einer phänologischen Jahreszeit $\emptyset$ bundesweites Jahresmittel Die Datenbasis für den Indikator wurde 2018 in Absprache mit dem DWD rückwirkend ausschließlich auf Jahresmelderdaten umgestellt. Jahresmelder erfassen im Unterschied zu Sofortmeldern, die vor allem Daten zu Kulturpflanzen erheben, Daten zu allen für den Indikator verwendeten phänologischen Phasen von Wildpflanzenarten. Diese phänologischen Beobachtungsdaten werden an ca. 1.125 aktiven Stationen erhoben (DWD 2018). Sie liegen für ganz Deutschland vor und sind seit 1951 archiviert. Als Ausreißer werden bei der Mittelwertbildung Daten mit einer Abweichung von mehr als 60 Tagen gegenüber dem langjährigen Mittel ausgeschlossen. Gegenüber den bisherigen Indikatorwerten ergeben sich dadurch in wenigen Fällen geringfügige Abweichungen, die aber keinen Einfluss auf die Indikatorausage haben.
Interpretation des Indikatorwerts:	Phänologische Uhr: Die Phänologische Uhr trifft Aussagen zu drei verschiedenen Aspekten: (1) Je größer die in der Uhr gezeigten Indikatorwerte sind, desto länger dauern

	die betreffenden phänologischen Jahreszeiten. (2) Je weiter sich die Grenze zwischen zwei aufeinanderfolgenden phänologischen Jahreszeiten im Uhrzeigersinn verschiebt, desto später endet die erste und desto später beginnt die zweite dieser beiden phänologischen Jahreszeiten im Verlauf des Jahres. (3) Je stärker die Abweichung der Lage der Grenzen zwischen zwei aufeinanderfolgenden phänologischen Jahreszeiten im Vergleich des aktuellen Zeitraums mit dem Referenzzeitraum und dem Vergleichszeitraum ist, desto ausgeprägter ist die phänologische Veränderung zwischen den miteinander verglichenen Zeiträumen. <u>Zusatz:</u> Je höher der Indikatorwert, desto länger dauert die Vegetationsperiode.
--	--

II Einordnung

Handlungsfeld:	Biologische Vielfalt
Themenfeld:	Phänologische Veränderungen bei Arten und Lebensgemeinschaften
Thematischer Teilaspekt:	Phänologische Veränderungen bei Pflanzenarten
DPSIR:	Impact

III Herleitung und Begründung

Referenzen auf andere Indikatorenssysteme:	EEA-Indikator „Plant phenology“ (CLIM 023) NBS-Indikator „Klimawandel und Frühlingsbeginn“ (bis 2014) NBS-Indikator „Dauer der Vegetationsperiode“ (ab 2014)
Begründung:	Der Klimawandel verändert die biologische Vielfalt in Deutschland in vielfältiger Weise, u. a. die Verbreitung und Häufigkeit von Pflanzen und Tieren, die Zusammensetzung von Lebensgemeinschaften sowie Strukturen und Funktionen von Lebensräumen (Essl & Rabitsch 2013, Mosbrugger et al. 2014, Klotz & Settele 2017). Statistische Auswertungen belegen Zusammenhänge zwischen dem Klimawandel und bspw. den Veränderungen der Verteilung von Arten in Raum und Zeit (u. a. Parmesan & Yohe 2003, Menzel et al. 2006). Der wohl einfachste und am besten untersuchte Weg, um weitergehende Auswirkungen der Klimaänderungen auf Ökosysteme aufzuspüren und einem breiten Publikum anschaulich und allgemein verständlich zu vermitteln, ist die Phänologie (Menzel 2007). Die Anpassung des morphologischen und physiologischen Zustands von Pflanzen an den Wechsel der Jahreszeiten wird durch eine Vielzahl von Faktoren gesteuert, in den gemäßigten Breiten sind die pflanzlichen Entwicklungsvorgänge insbesondere vom Temperaturverlauf über lange Zeitspannen abhängig (z. B. Parmesan & Yohe 2003, Menzel et al. 2005, 2006). Dabei konnte gezeigt werden, dass Pflanzen nicht ausschließlich auf die Temperatur unmittelbar bei Eintritt der phänologischen Phase reagieren, sondern proportional zur Summe der Temperaturen im Zeitraum vor dem Eintritt (Menzel 2007) und auf die Erwärmung im vorangegangenen Winter und Frühling (Cook et al. 2012). Deshalb sind phänologische Beobachtungen dazu geeignet, langfristige Auswirkungen veränderter klimatischer Ausgangsbedingungen auf die biologische Vielfalt aufzuzeigen und haben einen großen Vorteil gegenüber direkten physikalischen Messungen kurzfristiger Temperaturveränderungen (Ackermann et al. 2013). Insbesondere Frühjahrs- und Sommerphasen eignen sich als Anzeiger für klimatische Veränderungen, da deren Eintritt stark von der Temperatur in den

	vorhergehenden Monaten abhängt (Sparks & Menzel 2002, Menzel 2007). Steigende Temperaturen führen in diesen Phasen zu einer beschleunigten Pflanzenentwicklung. Die in Deutschland beobachtete Verlängerung der Vegetationsperiode ist in erster Linie auf den früheren Beginn des Frühlings zurückzuführen (Ackermann et al. 2013). Eine unabdingbare Voraussetzung für die Verwendung phänologischer Verschiebungen bei Pflanzen als Indikator für den Klimawandel ist, dass die festgestellten Veränderungen eindeutig und ursächlich regionalen Änderungen von Klimaparametern im Zuge des Klimawandels zugeschrieben werden können (Menzel 2007). Auch methodisch eignet sich der Indikator „Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten“ sehr gut für die Erfassung direkter Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität: phänologische Veränderungen sind leicht zu beobachten und das phänologische Beobachtungsprogramm des Deutschen Wetterdienstes (DWD) umfasst zahlreiche Zeigerpflanzen, für die bundesweite Zeitreihen seit 1951 vorliegen. Wegen der Länge der Zeitreihen und der jährlichen und tagesgenauen Erfassung der Daten sind sie für die Berechnung des Indikators hervorragend geeignet. Für die biologische Vielfalt sind phänologische Veränderungen von großer Bedeutung, da sie das zeitliche Zusammenspiel zwischen Organismen entkoppeln und etablierte Interaktionsgefüge verändern können. Dies wirkt sich auf die Struktur und Funktion von Ökosystemen aus und kann zur Gefährdung zahlreicher Tier- und Pflanzenarten führen (Root & Hughes 2005). <u>Phänologische Uhr:</u> Die phänologische Uhr stellt anschaulich dar, bei welchen phänologischen Jahreszeiten es zu einer Verfrühung bzw. Verspätung kommt und wie viele Kalendertage diese Verschiebungen umfassen. Für die Bestimmung des Beginns der zehn phänologischen Jahreszeiten wird der mittlere Eintrittstermin von zehn repräsentativen phänologischen Leitphasen (bestimmte Ereignisse in der Entwicklung ausgewählter Wildpflanzenarten) herangezogen, die anhand ihrer Sensitivität auf Temperaturveränderungen und anhand der Verlässlichkeit eingehender phänologischer Meldungen ausgewählt wurden. Der aktuelle Zeitraum (gleitendes Zeitfenster bis zum jeweils letzten verfügbaren Jahr), der Referenzzeitraum und der Vergleichszeitraum entsprechen jeweils dem klimatologischen Standardzeitraum von 30 Jahren, wobei sich Vergleichszeitraum und aktueller Zeitraum derzeit 23 Jahre überlappen. Die Überlappung zwischen Vergleichszeitraum und aktuellem Zeitraum wird in Zukunft kleiner werden. <u>Zusatz:</u> Als Zusatz werden die klimawandelbedingten Veränderungen der Dauer der Vegetationsperiode im Zusammenhang mit den Veränderungen der mittleren Temperatur der drei Monate dargestellt, die jeweils dem Eintritt des Winters und des Vorfrühlings vorausgehen. Eine verlängerte Vegetationsperiode kann z. B. zu einer höheren Produktivität von Ökosystemen führen.
Einschränkungen:	Der Indikator beschreibt eine Entwicklung, die sich (kurz- und mittelfristigen sowie nationalen) Steuerungs- und Anpassungsmaßnahmen entzieht, d. h. bestenfalls langfristig und global steuerbar ist.
Rechtsgrundlagen, Strategien:	Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt 2007 (NBS)
Ziele:	NBS: Kap. B 3.2: „Unsere Vision für die Zukunft ist: Der Anstieg der mittleren globalen Erwärmung ist auf maximal 2 Grad Celsius gegenüber vorindustriellen Werten begrenzt. Die Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt in Deutschland (z. B. Verschiebung der Vegetationszonen, Veränderung des Vogelzugverhaltens, Gefährdung kälteliebender Arten) sind abgepuffert bzw. minimiert.“

In der DAS beschriebene mögliche Klimawandelfolgen	DAS, Kap. 3.2.5: „Hinweise auf Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt [...] in Deutschland wurden bereits in großer Zahl dokumentiert. Sie zeigen sich unter anderem beim Jahresrhythmus, bei Verbreitung und Vermehrungserfolg von Arten, in der Zusammensetzung und Struktur von Lebensgemeinschaften sowie durch Veränderungen der innerartlichen Vielfalt. Da Arten unterschiedlich auf Klimaänderungen reagieren, werden sich neuartige Artenkombinationen bilden, d. h. zwischen Arten, die einen gemeinsamen Lebensraum bewohnen oder voneinander abhängig sind, kommt es zu Verschiebungen. Auch die zeitliche Synchronisation bestimmter Entwicklungsphasen kann sich auflösen [...]. Zudem wandeln sich Nahrungsnetze und Konkurrenzsituationen.“
Berichtspflichten:	Berichterstattung zur Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt (Indikatoren-berichte, Rechenschaftsberichte) bis 2014 (u. a. BMU 2010, 2013)

IV Technische Informationen

Datenquelle:	Indikator, <u>Zusatz</u> : Phänologische Daten und Klimadaten aus dem Beobachtungsnetz des Deutschen Wetterdienstes (DWD), Referat Nationale Klimaüberwachung	
Räumliche Auflösung:	flächenhaft	NUTS 0
Geographische Abdeckung:	ganz Deutschland	
Zeitliche Auflösung:	30-Jahreszeiträume, im Vergleich zum Referenzzeitraum 1951-1980 <u>Zusatz</u> : jährlich, seit 1951	
Beschränkungen:	Der Blattfall der Rotbuche und der Stieleiche wurde erst 1991 in das phänologische Beobachtungsprogramm des DWD aufgenommen; Eintrittsdaten zwischen 1951 und 1990 werden daher über die mittlere Differenz zwischen Blattfall und Blattverfärbung der betreffenden Pflanzenart aus dem Zeitraum 1991-2017 extrapoliert.	
Verweis auf Daten-Factsheet:	BD-I-1_Daten_Wildpflanzenphaenologie.xlsx	

V Zusatz-Informationen

Glossar:	Phänologie: Das Wort Phänologie ist dem Griechischen entlehnt und bedeutet Lehre von den Erscheinungen. In der modernen Biologie und Ökologie erfasst die Phänologie den jahreszeitlichen Entwicklungsgang von Pflanzen und Tieren, der neben endogenen Faktoren durch exogene Faktoren – insbesondere durch den Witterungsverlauf während des Jahres – gesteuert wird (DWD 2013). Phänologische Phase: In der Phänologie unterscheidet man verschiedene phänologische Phasen, deren Beginn durch das Eintreten bestimmter Ereignisse in der Entwicklung ausgewählter Arten angezeigt wird. Eine solche phänologische Phase ist z. B. der Beginn der Blüte einer bestimmten Pflanzenart. Zur Bestimmung der phänologischen Phasen werden weitverbreitete Wild- und Nutzpflanzen in ihrem Entwicklungsgang im Verlauf des Jahres beobachtet. Der Beginn einer phänologischen Phase wird in einem größeren Gebiet an möglichst vielen Orten und Individuen beobachtet. Im Ergebnis kann der über das Gebiet gemittelte Eintrittstag im jeweiligen Kalenderjahr berechnet werden (DWD 2013).
-----------------	---

	Phänologische Leitphase: Der Beginn der phänologischen Jahreszeiten wird durch den Eintritt phänologischer Leitphasen bestimmt (DWD 2013). Grundsätzlich stehen für die Festlegung einer phänologischen Leitphase verschiedene phänologische Phasen zur Auswahl. So kann bspw. der Beginn des Erstfrühlings durch den Beginn der Blüte der Forsythie (<i>Forsythia suspensa</i>), den Beginn der Blüte des Buschwindröschens (<i>Anemone nemorosa</i>) oder den Beginn der Blattentfaltung der Stachelbeere (<i>Ribes uva-crispa</i>) angezeigt werden. Phänologische Jahreszeiten: Das phänologische Jahr wird in 10 physiologisch-biologisch begründete phänologische Jahreszeiten eingeteilt, deren Beginn durch den Eintritt ausgewählter phänologischer Phasen (Leitphasen) bestimmt wird (DWD 2013). In den gemäßigten Breiten wiederholen sich die phänologischen Jahreszeiten in einem über die Jahre hinweg regelmäßig wiederkehrenden Ablauf, wobei sich der Beginn in den einzelnen Jahren zum Teil erheblich verfrühen oder verspäten kann. Außerdem können systematische Verschiebungen der Eintrittstermine über längere Zeiträume auftreten, die bspw. durch den Klimawandel verursacht werden. Phänologische Uhr: Die Phänologische Uhr ist eine Darstellung des DWD, die die phänologischen Jahreszeiten – und somit den zeitlichen Vegetationsablauf, wie er im Mittel für ein bestimmtes Gebiet erwartet werden kann – beschreibt. Dabei wird jede phänologische Jahreszeit durch eine Leitphase eröffnet und endet mit dem Beginn der darauffolgenden phänologischen Jahreszeit. Für die jeweilige phänologische Jahreszeit werden das mittlere Eintrittsdatum, das mittlere Enddatum (Beginn der folgenden phänologischen Jahreszeit minus einen Tag) sowie die mittlere Dauer der Phase in Tagen angegeben (DWD 2013).
Weiterführende Informationen:	Ackermann W., Schweiger M., Sukopp U., Fuchs D., Sachteleben J. 2013: Indikatoren zur biologischen Vielfalt. Entwicklung und Bilanzierung. Naturschutz und Biologische Vielfalt, Bd. 132, Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg, 229 S. BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hg.) 2007: Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. BMU, Berlin, 178 S. BMU (Hg.) 2010: Indikatorenbericht 2010 zur Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt. BMU, Berlin, 87 S. BMU (Hg.) 2013: Gemeinsam für die biologische Vielfalt. Rechenschaftsbericht 2013 zur Umsetzung der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt. BMU, Berlin, 151 S. BMUB – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hg.) 2015: Indikatorenbericht 2014 zur Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt. BMUB, Berlin, 111 S. BMUB (Hg.) 2017: Biologische Vielfalt in Deutschland. Fortschritte sichern – Herausforderungen annehmen! Rechenschaftsbericht 2017 der Bundesregierung zur Umsetzung der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt. BMU, Berlin, 111 S. www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/nationale_strategie_rechenschaftsbericht_2017_bf.pdf BMU (Hg.) – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2019: Indikatorenbericht 2019 der Bundesregierung zur Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt. BMU, Berlin, 103 S. www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/indikatorenbericht_2019_bf.pdf BMU (Hg.) 2021: Aktiv für die biologische Vielfalt. Rechenschaftsbericht 2021 der Bundesregierung zur Umsetzung der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt. BMU, Berlin, 142 S. www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/rechenschaftsbericht_2021_bf.pdf

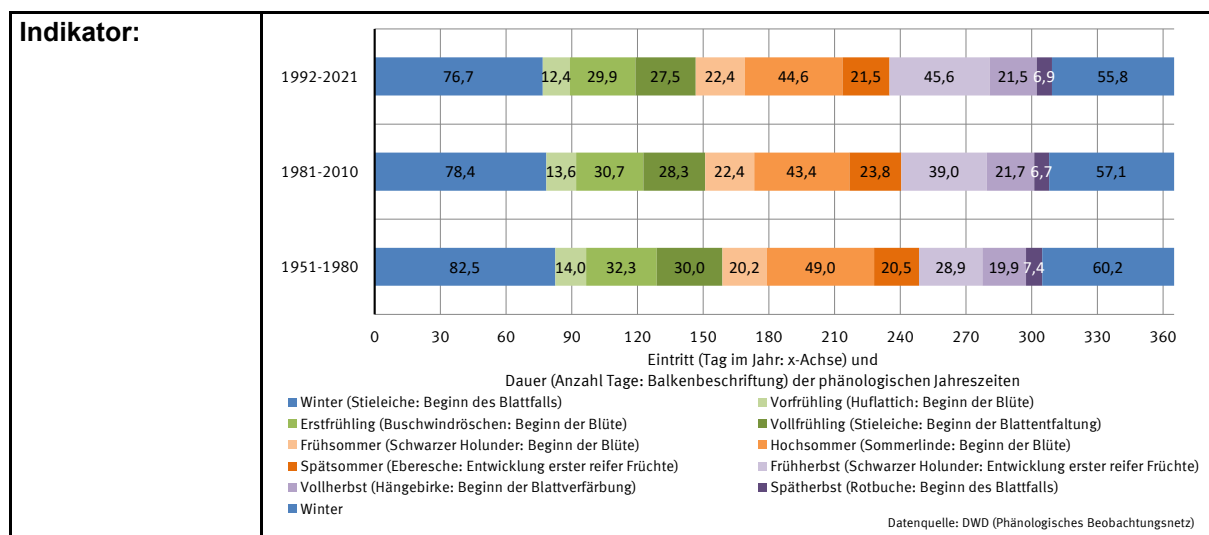
	Cook B.I., Wolkovich E.M., Parmesan C. (2012): Warming and divergent flowering trends. <i>Proceedings of the National Academy of Sciences</i> 109(23): 9000-9005. DWD – Deutscher Wetterdienst (Hg.) 2013: Phänologie. Online Wetterlexikon des Deutschen Wetterdienstes. www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=101996&lv3=102052 DWD 2018: Aktuelles Netz aus Stationen mit phänologischen Beobachtungen des Nationalen Klimadatenzentrums. Stand: 19.07.2017; 1128 Stationen. www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mnetzkarten/mess-netz_pe.pdf?__blob=publicationFile&v=11 Essl F. & Rabitsch W. (Hg.) 2013: Biodiversität und Klimawandel. Auswirkungen und Handlungsoptionen für den Naturschutz in Mitteleuropa. Springer Spektrum, Berlin, 458 S. Estrella N. & Menzel A. 2006: Responses of leaf colouring in four deciduous tree species to climate and weather in Germany. <i>Climate Research</i> 32: 253-267. Estrella N., Sparks T., Menzel A. 2007: Trends and temperature response in the phenology of crops in Germany. <i>Global Change Biology</i> 13: 1737-1747. Estrella N., Sparks T., Menzel A. 2009: Effects of temperature, phase type and timing, location, and human density on plant phenological responses in Europe. <i>Climate Research</i> 39: 235-248. Klotz S. & Settele J. 2017: Biodiversität. In: Brasseur G., Jacob D., Schuck-Zölner S. (Hg.): Klimawandel in Deutschland. Springer Spektrum, Berlin: 151-160. LUBW – Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2010: Eintrittsdaten phänologischer Phasen und ihre Beziehung zu Wetter und Klima. ID Umweltbeobachtung U96-U51-N10. https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/66747-Eintrittsdaten_ph%C3%A4nologischer_Phasen_und_ihre_Beziehung_zu_Witterung_und_Klima.pdf Menzel A. 2007: Phänologische Modelle. <i>promet / Meteorologische Fortbildung</i> 33(1/2): 20-27. Menzel A., Estrella N., Fabian P. 2001: Spatial and temporal variability of the phenological seasons in Germany from 1951 to 1996. <i>Global Change Biology</i> 7: 657-666. Menzel A., Estrella N., Testka A. 2005: Temperature response rates from long-term phenological records. <i>Climate Research</i> 30: 21-28. Menzel A., Sparks T.H., Estrella N., Koch E., Aasa A., Ahas R., Alm-Kübler K., Bissolli P., Braslavská O., Briede A., Chmielewski F.M., Crepinsek Z., Curnel Y., Dahl Å., Defila C., Donnelly A., Filella I., Jatzczak K., Måge F., Mestre A., Nordli Ø., Peñuela J., Pirinen P., Remišová V., Scheinfinger H., Striž M., Susnik A., Van Vliet A.J.H., Wiegolaski F.-E., Zach S., Zust A. 2006: European phenological response to climate change matches the warming pattern. <i>Global Change Biology</i> 12: 1969-1976. Mosbrugger V., Brasseur G., Schaller M., Stribny B. (Hg.) 2014: Klimawandel und Biodiversität – Folgen für Deutschland. 2. Aufl. Wiss. Buchges., Darmstadt, 432 S. Parmesan C. & Yohe G. 2003: A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. <i>Nature</i> 421: 37-42. Randalls S. 2010: History of the 2°C Climate Target. <i>WIREs Climate Change</i> 1(4): 598-605.
--	---

	Root T.L., Hughes L. 2005: Present and Future Phenological Changes in Wild Plants and Animals. In: Lovejoy T.E., Hannah L. (Hg.): Climate Change and Biodiversity. Yale University Press, New Haven, Conn., 418 S. Sparks T.H., Menzel A. 2002: Observed changes in seasons: an overview. International Journal of Climatology 22: 1715-1725.
--	---

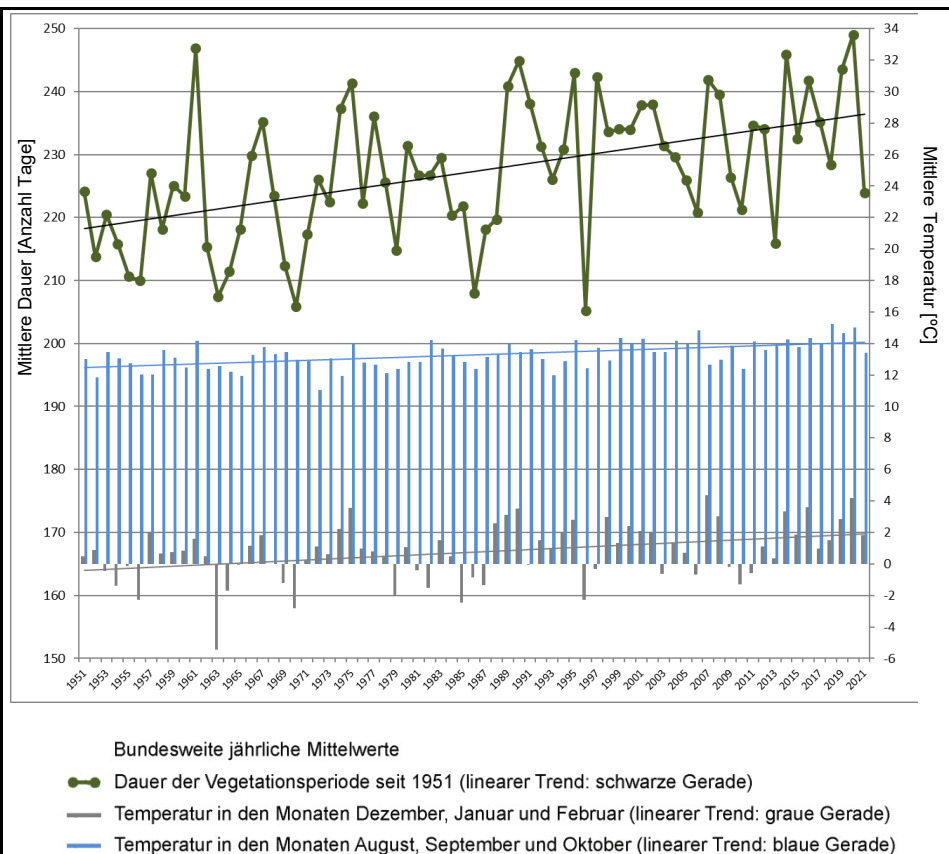
VI Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeiten

Aufwands-schätzung:	Daten-beschaffung:	1	nur eine datenhaltende Institution
	Daten-verarbeitung:	2	Vor der Zusammenführung der Daten zur Darstellung des Indikators ist eine einfache Datenaufbereitung in mehreren Schritten notwendig.
	<u>Erläuterung:</u> Die erforderlichen phänologischen Daten werden vom DWD bereitgestellt. Die Qualitätskontrolle der ehrenamtlich erhobenen phänologischen Daten wird durch das Referat Nationale Klimaüberwachung des DWD übernommen. Der Aufwand für die Fortführung des Indikators wird als niedrig eingeschätzt. Die jeweils fortgeschriebenen Daten der Jahresmelder müssen von der Website des DWD abgerufen und kontrolliert werden. Mittelwerte müssen gebildet und in das Datenblatt eingesetzt werden. Abschließend sind die Darstellungen anzupassen. Geschätzter Arbeitsaufwand: 1 Arbeitstag.		
Datenkosten:	keine		
Zuständigkeit:	Bundesamt für Naturschutz (BfN)		

VII Darstellungsvorschlag



Zusatz:



VIII Anhang

Statistische Tests

Zur quantitativen Erfassung der Temperaturabhängigkeit phänologischer Veränderungen und zeitlicher Trends werden folgende statistische Tests durchgeführt:

1. Die Eintrittsdaten der phänologischen Jahreszeiten werden auf Unterschiede zwischen den Zeiträumen 1951-1980 und 1992-2021 untersucht (Mann-Whitney U-Test).

Tab. 1: Unterschiede zwischen den jährlichen Eintrittsdaten phänologischer Jahreszeiten zwischen den Zeiträumen 1951-1980 und 1992-2021 (s. Abb. 1).

	Vorfrühling	Erstfrühling	Vollfrühling
	Huflattich - Beginn der Blüte	Buschwindröschen - Beginn der Blüte	Stieleiche - Beginn der Blattentfaltung
mittleres ED 1951-1980	82,5	96,5	128,8
mittleres ED 1992-2021	76,7	89,1	119,0
p	0,022 ^(*)	<0,001**	<0,001**
	Frühsommer	Hochsommer	Spätsommer
	Schwarzer Holunder - Beginn der Blüte	Sommerlinde - Beginn der Blüte	Eberesche - erste reife Früchte
mittleres ED 1951-1980	158,8	179,0	228,0
mittleres ED 1992-2021	146,5	169,0	213,6
p	<0,001**	<0,001**	<0,001**
	Frühherbst	Vollherbst	Spätherbst
	Schwarzer Holunder - erste reife Früchte	Hängebirke - Beginn Blattverfärbung	Rotbuche - Beginn Blattfall [#]
mittleres ED 1951-1980	248,6	277,5	297,4
mittleres ED 1992-2021	235,1	280,7	302,3
p	<0,001**	<0,001**	<0,001**
	Winter	Legende	
	Stieleiche - Beginn Blattfall [#]		
mittleres ED 1951-1980	304,8	ED	mittleres Eintrittsdatum aller phänologischer Stationen
mittleres ED 1992-2021	309,2	p	Signifikanzwert
p	<0,001**	**	hochsignifikantes Ergebnis
	Vegetationsdauer	*	signifikantes Ergebnis
	ED Blattfall Stieleiche - ED Blüte Huflattich	(*)	n.s. trend
mittlere Dauer 1951-1980	222,3	#	1951-1990 extrapoliert
mittlere Dauer 1992-2021	232,6		
p	<0,001**		

2. Die Dauer der Vegetationsperiode wird mittels linearer Regression mit zwei Einflussvariablen auf Zusammenhänge mit der Temperatur im jeweiligen Bezugsjahr untersucht. Herangezogen werden die Temperaturmittelwerte der drei Vormonate der beiden phänologischen Jahreszeiten, die den Beginn und das Ende der Vegetationsperiode bestimmen: der Beginn des Vorfrühlings (Blüte des Huflattichs) und der Beginn des Winters (Blattfall der Stieleiche).

Tab. 2: Zusammenhang der Dauer der Vegetationsperiode und der beiden Einflussvariablen (s. Abb. 2): (1) mittlere Temperatur der Monate Dezember, Januar und Februar für den Beginn des Vorfrühlings, (2) mittlere Temperatur der Monate August, September und Oktober für den Beginn des Winters.

Dauer der Vegetationsperiode		
Differenz: mittlere ED Beginn Blattfall Stieleiche [#] - mittlere ED Beginn Blüte Huflattich		
N	71	71
R ²	0,591	0,264
Einflussfaktoren	(1) mittlere Temperatur Dez, Jan, Feb	(2) mittlere Temperatur Aug, Sep, Okt
B	4,612	6,690
SD	0,461	1,346
p	<0,001**	<0,001**
Legende		
N	Stichprobengröße	
R ²	Bestimmtheitsmaß	
B	Steigung der Regressionsgeraden	
SD	Standardabweichung	
p	Signifikanzwert	
**	hochsignifikantes Ergebnis	
#	Blattfall 1951-1990 extrapoliert	