

# Wie sich der Rhythmus der Natur verändert

## How Natural Rhythms Are Changing

**TEXT**

Gunther Willinger

**PHOTOS**

Jörg Jäger

**Die Klimaerwärmung beeinflusst auch die Blütezeiten der Pflanzen. Oliver Bossdorf und Franziska Willems erfassen solche Änderungen, indem sie Daten aus Herbarien mit Freilandexperimenten und DNA-Analytik kombinieren.**

// Global warming also affects when plants flower. Oliver Bossdorf and Franziska Willems are tracking these changes by combining data from herbaria with field experiments and DNA analysis.

> *deutsch*

// \_\_\_\_\_ Wenn Franziska Willems sich auf Spurensuche begibt, arbeitet sie sich durch hohe Stapel vergilbter Papierbögen.

Aus goldgerahmten Ölbildern schauen ihr dabei berühmte Tübinger Botaniker wie Leonhart Fuchs oder Hugo von Mohl über die Schulter. Zwischen den Papierbögen befinden sich kunstvoll gepresste Kostbarkeiten. Buschwindröschen, 1892 gepflückt auf der Schwäbischen Alb, oder Enziane, deren Blau sich nach 150 Jahren noch nicht verflüchtigt hat.

Die Biologin forscht mit Professor Oliver Bossdorf am Institut für Evolution und Ökologie der Pflanzen der Universität Tübingen. In ihrer Doktorarbeit beschäftigt sie sich mit den Auswirkungen von Klimawandel und Forstwirtschaft auf die Blütenpflanzen der Laubwälder. Waldkräuter wie Buschwindröschen, Bärlauch, Waldveilchen oder das Scharbockskraut stehen zum Winterende in den Startlöchern, wenn die Bäume noch kahl sind und erste Sonnenstrahlen den Boden erwärmen. Dann überziehen die sogenannten Frühblüher den Wald mit einem farbigen Blütenteppich. Die Energie für ihren Frühstart haben sie im Vorjahr in Wurzelknollen und Zwiebeln unterirdisch gespeichert.

→

**01** In Herbarien finden sich getrocknete Pflanzen aus den letzten Jahrhunderten. // Herbaria contain dried plant specimens from the past centuries.



”  
**Pro Grad Temperatur-  
 erwärmung  
 begann die Blüte fünf  
 Tage früher.**  
 “



02

**Auf das Timing**  
 kommt es an

Für Blütenpflanzen gibt es kaum ein bedeutenderes Ereignis als die Blüte – entsprechend wichtig ist das Timing. Frühblüher laufen Gefahr, in Frost und Schnee Schaden zu nehmen oder nicht bestäubt zu werden, wenn sie sich zu früh aus dem Boden wagen; andererseits dürfen sie nicht zu spät blühen, da ihnen sonst das Laub der Bäume Licht nimmt.

Bei jahreszeitlich getakteten, periodisch wiederkehrenden Naturerscheinungen wie der Blüte oder dem Laubfall spricht man von phänologischen Ereignissen oder Phänologie, abgeleitet vom griechischen Wort „phaino“ für „ich erscheine“. Verschiebt sich die Phänologie einzelner Arten durch Umweltveränderungen, kann das ganze Ökosystem durcheinander geraten. Viele Arten sind aufeinander angewiesen: So brauchen Frühblüher wie Buschwindröschen oder Leberblümchen etwa Hummeln zur Bestäubung und Ameisen zur Verbreitung der Samen.

- 02 Franziska Willems durchforstet Sammlungen bundesweit nach bestimmten Frühblüher.  
 // Franziska Willems forages collections throughout Germany for early flowering plants.
- 03 Aus Tausenden von Herbarbelegen stellte sie die Blütezeiten der letzten 200 Jahre zusammen.  
 // Willems recorded the flowering periods of the last 200 years from thousands of specimens.

Aber was beeinflusst die Phänologie von Wildpflanzen? Sind es nur Temperatur und Tageslänge oder spielen auch Böden, Landnutzung oder andere Faktoren eine Rolle? Für Antworten kombinieren Bossdorf und Willems im Forschungsprojekt „PhänoDiv“ mehrere Datenquellen. Neben historischen Daten aus Herbarien fließen Freilandbeobachtungen und die genetische Analyse von Herbariumsexemplaren in das Projekt ein.

**Ein großes**  
 Detektivspiel

Für ihre Doktorarbeit durchsuchte Willems Herbarien von Tübingen, Stuttgart und Jena nach Belegen von 20 häufigen Frühblüher aus ganz Europa. „Ich habe mich durch Tausende Herbarbelege gewühlt“, erzählt sie von der mühsamen Detektivarbeit. „Die meisten stammen aus den letzten hundert bis zweihundert Jahren, aber ich hatte auch welche von 1749 in der Hand.“ Von über 20.000 gesichteten Pflanzen gingen 6.250 Belege in die Forschungsarbeit ein. Der Rest war entweder zu schlecht beschriftet oder es gelang nicht, die Fundstelle zu identifizieren.

„Die Rekonstruktion der Koordinaten war aufwendig, aber auch spannend“, erzählt Willems. „Früher wurden die Pflanzen oft in Zeitungspapier eingeschlagen. Da bin ich manchmal hängen geblieben und habe über alte Werbeanzeigen für die ersten Fotoapparate oder über hundert Jahre alte Beiträge in der ‚Zeitschrift für katholische Mütter und Hausfrauen‘ gestaunt.“ Im Jenaer Herbarium stieß sie auf Herbarbelege des berühmten

Zoologen Ernst Haeckel. „Die waren total hingeschludert, da würde jede Biologiestudentin Ärger bekommen“, erzählt Willems amüsiert.

Für die Freilandarbeit wählte die Wissenschaftlerin 20 mal 20 Meter große Waldflächen auf der Schwäbischen Alb und im thüringischen Hainich aus. Auf allen hundert Flächen wurde ein Frühjahr lang wöchentlich der Entwicklungsstand der Blüten bestimmt. „Wir haben aufgezeichnet, wann welche Arten begannen zu blühen, in voller Blüte standen oder verblüht waren“, erläutert Willems. Die Waldflächen sind gleichzeitig Teil der sogenannten Biodiversitäts-Exploratorien, einem interdisziplinären Projekt der Deutschen →



03

Forschungsgemeinschaft zur Langzeitbeobachtung von Biodiversität in Deutschland.

Auf jeder Exploratoriumsfläche erfasst seit 2006 eine Station Parameter wie Temperatur, Wind, Luftfeuchte oder Sonneneinstrahlung. Die Flächen unterscheiden sich hinsichtlich des Waldmanagements, von Naturschutzgebieten bis hin zu intensiver Forstwirtschaft.

**Klimawandel und Landnutzung**  
verändern die Phänologie

Die Datenströme aus Freiland und Herbarien gleich Willems mit Belegen bereits digitalisierter Herbarbestände und globalen Klimadaten ab. Die Ergebnisse zeigen eine erstaunlich schnelle Veränderung der Phänologie: In den letzten zweihundert Jahren verschob sich die Blütezeit der untersuchten Waldkräuter durchschnittlich um 15 Tage nach vorne. Bei Arten wie Bärlauch und Waldbingelkraut waren es sogar rund 30 Tage. Pro Grad Temperaturerwärmung begann die Blüte etwa fünf Tage früher.

Zudem zeigte sich der Einfluss der Landnutzung, schließlich verändert die Struktur eines Waldes die mikroklimatischen Bedingungen vor Ort: Auf intensiv forstlich bewirtschafteten Flächen blühten Pflanzen durchschnittlich zwei Wochen später als in naturnahen Gebieten. Dies erkläre sich zum einen durch Temperaturunterschiede, sagt Willems, Nadelbäume beispielsweise machten einen Wald kühler, Pflanzen blühten später. „Aber meine Analysen zeigen, dass nicht alleine die Temperatur der Grund ist. Es wäre zu untersuchen, wie sich durch das Anpflanzen von nicht heimischen Baumarten wie Fichten sowie strukturelle Veränderungen in bewirtschafteten Wäldern beispielsweise auch Lichtverfügbarkeit und Bodeneigenschaften – Dichte oder Nährstoffverfügbarkeit – ändern. Auch diese beeinflussen vermutlich die Blüte.“

**Herbarien als Zeitzeugen**  
des globalen Wandels

Eine weitere heiße Spur für die Pflanzendecktive ergab sich aus der Zusammenarbeit mit dem Tübinger Max-Planck-Institut für Entwicklungsbiologie. Gemeinsam mit Hernan Burbano und Patricia Lang konnte die DNA historischer Herbarbelege mit dem genetischen Code frisch gesammelter Exemplare des gleichen Standorts verglichen werden. Bei dem Verfahren zur Analyse sogenannter „ancient DNA“ (aDNA, ancient = altertümlich) werden ausgewählte DNA-Stücke mithilfe von Biotin markiert, vervielfältigt und schließlich für die Analyse aus der DNA-Suppe gefischt.



04

Für die aDNA-Analyse reicht ein Blattstückchen von der Größe einer Centmünze. Anhand der genetischen Daten ließen sich Herbarpflanzen der gleichen Art nach ihrer geografischen Herkunft unterscheiden, beispielsweise ob eine Knoblauchsrauke von der Schwäbischen Alb aus dem Hainich in Thüringen stammt. Die Methode soll in Zukunft auch verwendet werden, um Herbarbelege unterschiedlicher Jahrhunderte hinsichtlich ihrer genetischen Vielfalt zu vergleichen. So ließe sich prüfen, ob die Pflanzen mit zunehmender Erwärmung nicht nur früher blühen, sondern sich auch genetisch verändert haben, etwa weil wärmeliebende Varianten zugenommen haben.

- 04 Dieses Buschwindröschen wurde vor vielen Jahren „archiviert“, unter anderem sind die Blütezeiten verzeichnet. // This wood anemone was archived many years ago and its flowering times were recorded.
- 05 Franziska Willems und Professor Oliver Bossdorf vermuten noch viele Schätze in Universitätsherbarien. // Franziska Willems and Professor Oliver Bossdorf still suspect many more treasures in university herbaria.



**Renaissance der Herbarien**  
Renaissance of Herbaria

Als Oliver Bossdorf 2013 als Professor für Evolutionäre Ökologie der Pflanzen nach Tübingen kam, übernahm er das Herbar von seinem Vorgänger Franz Oberwinkler. Das „Herbarium Tübingerse“ war bei seiner Gründung 1837 durch Professor Hugo von Mohl eines der ersten in Deutschland und enthält besonders viele alte Belege. Es umfasst heute rund eine halbe Million Pflanzen- und Pilzbelege aus aller Welt. Weltweit sind in über 3.000 Herbarien über 390 Millionen Belege gespeichert.

// When Oliver Bossdorf came to Tübingen in 2013 as Professor of Plant Evolutionary Ecology, he took over the herbarium from his predecessor Franz Oberwinkler. The “Herbarium Tübingerse” was one of the first in Germany when it was founded in 1837 by Professor Hugo von Mohl, and it contains many historical specimens. Today, the herbarium harbors around half a million plant and fungus specimens from all over the world. More than 390 million documents are stored in over 3,000 herbaria worldwide.

> english

// \_\_\_\_\_ When Franziska Willems goes looking for clues, she works through high stacks of yellowed paper. Between the sheets there are many artfully pressed treasures. Wood anemone, picked in 1892 on the Swabian Alb, or gentians whose brilliant blue is still preserved even after 150 years.

Together with Professor Oliver Bossdorf at the Institute of Evolution and Ecology, Willems is investigating the effects of climate change and forest management on forest plants: Wood anemone, wild garlic or fig buttercup are already preparing to flower at the end of winter when the trees are still bare and the first rays of sunshine warm the ground. These early-flowering plants carpet the forest with color. In the previous year, they stored the energy for their early start in root tubers and bulbs underground.

**Timing matters**

Timing is important: If early-flowering plants venture out of the ground too early, they run the risk of being damaged in frost or snow or not being pollinated. However, they must also not flower too late, otherwise the leaves of the trees will block the sunlight. →

Herbarien galten lange Zeit als verstaubte Archive altmodischer Forschung. Aber dieses Bild ändert sich rasant, seit sie von der Umweltforschung entdeckt wurden, wie Bossdorf berichtet. Die getrockneten Pflanzen erzählten Geschichten über den Klimawandel, die Ausbreitung von Schadstoffen und Pflanzenkrankheiten, den Rückgang seltener Arten und die Invasion exotischer Pflanzen. Online-Datenbanken, Digitalisierungsmethoden und DNA-Sequenzierung hätten die Herbar-Arbeit revolutioniert.

„Der Boom hat gerade erst angefangen, es gibt so viele Fragen und Forschungsmöglichkeiten, dass man gar nicht weiß, wo anfangen“, so der Biologe begeistert. „Alte Universitätsherbarien wie unseres hier in Tübingen sind besonders wertvoll und müssen unbedingt erhalten und digitalisiert werden, damit ihre Geheimnisse von Forschern auf der ganzen Welt entschlüsselt werden können.“ \_\_\_\_\_ //

05

”  
**For each degree rise  
of temperature,  
plants flowered five  
days earlier.**  
“

Periodically recurring natural phenomena such as flowering or leaf fall are also known as phenological events, or phenology, derived from the Greek word “phaino” for “I appear”. If the phenology of individual species shifts due to environmental changes, an entire ecosystem can be disturbed. Many species depend on each other: For example, early flowering plants such as wood anemone or liverwort need bees to pollinate them and ants to spread the seeds.

But what influences the phenology of wild plants? Is it only affected by temperature and day length or do soil, land use and other factors matter too? Bossdorf and Willems are combining several data sources to find answers in the “PhenoDiv” project. In addition to historical data from herbaria, the project also includes field observations and genetic analysis of specimens.

Willems searched the herbaria in Tübingen, Stuttgart and Jena for dried specimens of 20 frequent early-flowering plants from across Europe. “I combed through thousands of specimens”, says Willems. “Most of the specimens were from the last hundred to two hundred years, but I also found some dating as far back as 1749.” Of more than 20,000 specimens, 6,250 were included in her research project. For her field work, she selected 20 by 20 meter forest areas on the Swabian Alb and in Hainich (Thuringia) in Germany. The flowering progress was recorded every week in one hundred areas during the spring. “We recorded when which species began to flower, when they were fully flowering and when they withered.”

#### Climate change and land use affect phenology

The researchers also combined data from the field and herbaria with already digitized specimens and global climate data. The results show an astonishingly rapid change in phenology: Over the last two hundred years, the flowering period of the forest herbs studied has accelerated by an average of 15 days. For species such as wild garlic and dog’s mercury, the shift was even greater, at approximately 30 days earlier. For each degree rise of temperature, the plants flowered about five days earlier.



Willems also found that besides climate change, land use also has an influence, as forest structure affects local microclimatic conditions. On intensively forested land, plants flowered on average two weeks later than in natural conditions. “This can be explained partly by temperature differences”, says Willems. Conifers, for example, make a forest cooler, plants then flower later. “But my research shows that this cannot be explained by the temperature increase alone. We need to investigate how the planting of non-native tree species such as spruce and structural changes in intensively cultivated forests, for example, also change light availability and soil properties such as density or nutrient availability – these probably also influence the flowering time.”

#### Herbaria as witnesses of global change

Another promising trail for the plant detectives resulted from a collaboration with the Max Planck Institute for Developmental Biology in Tübingen. With the help of Hernan Burbano and Patricia Lang, the DNA of historical herbal specimens could be compared with the genetic code of freshly collected specimens from the same sites. To analyze ancient DNA (aDNA), samples are labeled using biotin, replicated and finally fished out of the DNA “soup” for analysis.



- 06 Blütezeitpunkt und Einfluss der Waldstruktur werden statistisch erfasst und in einem europaweiten Modell abgebildet. // Flowering time and influence of forest structure are statistically recorded and mapped in a Europe-wide model.
- 07 Ein Frühjahr lang dokumentierte das Team auf ausgesuchten Flächen die Entwicklung der Blüten. // For one spring, the team recorded the flowering progress on selected areas.

A piece of leaf of the size of a 1 cent Euro coin is sufficient for aDNA analysis. Based on the genetic data, plants of the same species could be distinguished according to their geographical origin, for example whether a garlic mustard from the Swabian Alb originated from Thuringia. The method will be used in the future to also compare plant specimens from different centuries in terms of their genetic diversity. This allows to check whether plants not only flower earlier due to increasing global warming, but have also changed genetically, for example since warm-loving variants have become more frequent.

Herbaria have long been considered dusty archives of old-fashioned research. But this perception is changing rapidly since they were discovered by environmental research, as Oliver Bossdorf reports. The dried plant specimens tell stories about climate change, the spread of pollutants and plant diseases, the

decline of rare species and the invasion of exotic plants. Online databases and new methods of digitization and DNA sequencing have revolutionized the work of herbarium researchers in recent years.

“The boom has just begun, and there are so many interesting questions and research opportunities that sometimes you don’t even know where to start”, he says enthusiastically. “Historical university herbaria like ours here in Tübingen are particularly valuable, and have to be preserved and digitized so that their secrets can be decoded by researchers all over the world.” \_\_\_\_\_//