

## HERBARIEN: ZEITREISE DURCH DIE PFLANZENEVOLUTION

Das Tübinger Herbarium ist biologisch wie auch geschichtlich eine wahre Fundgrube für die Wissenschaft: Vergleichsanalysen von historischen und heutigen Pflanzen liefern Erkenntnisse zur Evolution der Pflanzen und ihrer Anpassung an Klimawandel und veränderte Landnutzung.

## HERBARIA: A JOURNEY THROUGH PLANT EVOLUTION

The Herbarium Tubingense is a treasure trove for science – including biological and historical research. Comparing historical and present-day plants can give insights into how plants have adapted and evolved in response to climate and land use changes. > *continued on page 21*



// \_\_\_\_\_ Seit drei Jahren erforscht Professor Oliver Bossdorf in Tübingen die evolutionäre Ökologie der Pflanzen und leitet das Tübinger Herbarium, in dem seit rund 200 Jahren getrocknete und gepresste Pflanzenbelege, Früchte, Samen und andere botanische Objekte gesammelt werden. Auf den Regalen stapeln sich hier Pflanzen aus Expeditionen auf alle Kontinente neben zahlreichen Exemplaren aus der näheren Region. Mit rund 400.000 Objekten sei die Tübinger Sammlung von mittlerer Größe, sagt Bossdorf. „Aber mit mehr als 60 Spezialsammlungen und mehreren zehntausend Typusbelegen hat sie herausragende Bedeutung.“ Typusbelege – Pflanzen-Exemplare, die der Erstbeschreibung von Arten dienen und als Referenz verwendet werden – sind die „Urmeter“ der Pflanzensystematik. Je mehr davon ein Herbarium aufweist, umso bedeutender die Sammlung.

Gerade für die moderne Wissenschaft sind Herbarien wie das in Tübingen eine Fundgrube. Denn sie dokumentieren nicht nur Vorkommen und Verbreitung von Pflanzenarten, sie können auch von der Geschichte des Klimawandels und anderer Umweltveränderungen erzählen. Welche Pflanzen haben wie und über welchen Zeitraum auf Klimawandel reagiert und wie werden sie von Landnutzungsänderungen beeinflusst? Und wie hat sich die Biodiversität der Pflanzen in bestimmten Gebieten verändert? Um solche Fragen zu beantworten, wollen Bossdorf und sein Team die Tübinger Sammlung nutzen. Die Ergebnisse ihrer Arbeit könnten dazu beitragen, grundlegende Prozesse der Pflanzenevolution und -ökologie besser zu verstehen. Das gilt nicht nur für die Tübinger Sammlung, erklärt Bossdorf: „Weltweit ruhen zahllose ungehobene Schätze in Herbarien, die uns Antworten auf aktuelle Fragen geben können.“

**HERBARBELEGE DOKUMENTIEREN**  
ZEITGESCHICHTE DER FLORA

„Gerade im 19. Jahrhundert war es populär, zu botanisieren. Pfarrer, Apotheker, Ärzte und Lehrer zogen durch die Lande und sammelten immer wieder die gleichen Arten.“ Weil für jede Pflanze Fundort und -zeitpunkt notiert wurden, könnten diese Belege jetzt Indizien für den globalen Umweltwandel werden. So wird eine Pflanze vor allem in der Hauptblütezeit gesammelt. Blühen Pflanzen in der gleichen Gegend über Jahrzehnte hinweg immer früher, lassen sich daraus Rückschlüsse auf

- 01 PROFESSOR OLIVER BOSSDORF UND DR. HERNÁN BURBANO HEBEN DIE SCHÄTZE DES HERBARIUMS.
- 02 JEDER PFLANZENBELEG IST MIT FUNDORT UND -ZEITPUNKT DOKUMENTIERT.
- 03 ZUR SAMMLUNG GEHÖREN AUCH DETAILGETREUE PFLANZENMODELLE.
- 04 FRÜCHTE- UND SAMENSAMMLUNG
- 01 PROFESSOR OLIVER BOSSDORF AND DR. HERNÁN BURBANO UNEARTH THE TREASURES OF THE HERBARIUM.
- 02 EVERY PLANT SPECIMEN IS DOCUMENTED WITH THE LOCATION AND DATE IT WAS FOUND.
- 03 THE COLLECTION ALSO INCLUDES DETAILED PLANT MODELS.
- 04 FRUIT AND SEED COLLECTION



den Klimawandel ziehen. Auch die Zusammensetzung der Pflanzengesellschaft an einem Ort oder die genetische Vielfalt bestimmter Arten kann sich ändern. So vermuten die Forscher, dass die „grüne Revolution“, also die intensive Landnutzung seit Beginn des 20. Jahrhunderts, Pflanzen hart zugesetzt hat. „Die Abnahme der Biodiversität können wir nun anhand von Herbarbelegen untersuchen“, sagt Bossdorf.

Bei starken Umweltveränderungen passen sich Pflanzen manchmal erstaunlich schnell an ihre neue Umgebung an. Herbarien können helfen, dies besser zu verstehen. Die Tübinger Wissenschaftler vergleichen zum Beispiel Pflanzen einer Art, die auf unterschiedlich genutzten Wiesen und Weiden wachsen. Je nach Landnutzung können diese stark in Blütezeitpunkt und Morphologie voneinander abweichen. Werden die Herbarbelege in diese Untersuchungen einbezogen, lässt sich die Anpassung auch historisch nachvollziehen und die Forscher erhalten ein schärferes Bild von den Auswirkungen unterschiedlicher Landnutzung. „Wir können Echtzeitbeobachtungen

in der Natur mit Herbarbelegen der gleichen Art und Region kombinieren und so Veränderungen in Biodiversität, Phänologie oder beispielsweise Blattform und Aussehen der Pflanze analysieren“, erklärt Bossdorf.

In einem neuen Tübinger Forschungsvorhaben soll es speziell um den Vergleich von Pflanzen aus Herbarbelegen und heute lebenden Exemplaren gehen. Erforscht werden sollen sowohl Phänologie als auch genetische Diversität von Frühblüher in deutschen Laubwäldern. Hier kommt Dr. Hernán Burbano vom Tübinger Max-Planck-Institut (MPI) für Entwicklungsbiologie ins Spiel. Er ist Bossdorfs Projektpartner und Experte für Herbariumsgenomik. Mit seinem Team entwickelt er Methoden zur Extraktion und Analyse von DNA aus getrockneten und gepressten Pflanzen. Für seine Forschungsprojekte hat er bereits mit historischem Material aus Herbarien weltweit gearbeitet. Die etwa 3.000 Sammlungen in vielen Ländern seien eine „globale Datenbank“, die einen neuen Zugang zur Pflanzenevolution ermöglicht, sagt Burbano.

Für das gemeinsame Tübinger Projekt sollen „Allerweltpflanzen“ wie Buschwindröschen (*Anemone nemorosa*), Scharbockskraut (*Ficaria verna*) und Waldmeister (*Galium odoratum*) im Fokus stehen. Die Wissenschaftler planen, Proben aus verschiedenen Regionen Deutschlands unter die Lupe zu nehmen und wollen mit großen Herbarien in Berlin, Halle, Jena und München kooperieren. →

**EIN PUZZLE AUS  
MILLIONEN VON DATEN**

Acht bis zehn Milligramm Blattmaterial benötigen die Forscher jeweils, um aus den Herbarbelegen – höchst vorsichtig – Pflanzen-DNA zu isolieren. „Im Rahmen dieses Projekts sequenzieren wir nur kleine Teile des Genoms, die jedoch ausreichen, um die über die Jahre entstandenen Veränderungen von historischen zu gegenwärtigen Pflanzen zu untersuchen“, sagt Burbano. Für ihn ist das Projekt schon allein deshalb etwas Besonderes, weil bisher niemand in der Herbariumsgenomik mit genau diesen Pflanzenarten gearbeitet hat und weil ihr Genom noch nicht vollständig sequenziert wurde. Entsprechend aufwendig ist die Methodenentwicklung.

Hinzu kommt, dass die isolierte DNA nicht nur aus der Pflanze stammt. „Bei guten Proben haben wir etwa 50 bis 60 Prozent rein pflanzliche DNA. Rund 40 Prozent der DNA stammen aus Mikroorganismen, die mit den Pflanzen vergesellschaftet sind. Dazu kommt menschliche DNA durch das Hantieren mit den Pflanzen.“ Aus dieser Mischung die aussagekräftigen Abschnitte der Pflanzen-DNA herauszufischen, ist ein Fall für Speziallabore. Zumal die entscheidenden Segmente in alten Proben kaum vollständig erhalten sind. „Je nach Alter und Erhaltungszustand ist die DNA mehr oder weniger stark degradiert“, beschreibt Burbano die Herausforderungen. „Unsere Arbeit gleicht einem Puzzle mit Millionen von Sequenzdaten, erst mithilfe der Bioinformatik können wir daraus die richtigen Erkenntnisse gewinnen.“ \_\_\_\_//



01



03

→ AUS DER SAMMLUNG DES HERBARIUMS: VERSCHIEDENE PFEFFERSORTEN  
→ DIFFERENT TYPES OF PEPPERS FROM THE HERBARIUM



02



04

- 01 KUBEENPFEFFER (PIPER CUBEBA)
- 02 WEISSER PFEFFER (PIPER NIGRUM – FRUCTUS ALBI)
- 03 SCHWARZER PFEFFER (PIPER NIGRUM – FRUCTUS NIGRI)
- 04 LANGER PFEFFER (PIPER LONGUM)

**HERBARIUM TUBINGENSE**

> Die Geschichte des Tübinger Herbariums beginnt mit dem Naturalienkabinett, das um 1800 auf Schloss Hohentübingen eingerichtet wurde. Der Botanik-Professor Hugo von Mohl machte 1837 aus dessen botanischem Teil eine eigenständige Sammlung und gründete das „Herbarium Tubingense“. 1846 zog das Herbarium in das Botanische Institut neben dem Alten Botanischen Garten, 1968 dann in die neu erbauten naturwissenschaftlichen Institute auf der Morgenstelle, wo es bis heute untergebracht ist. (Aus dem Sammelband zum 10-jährigen Bestehen des MUT, Museum der Uni Tübingen, Autor: Oliver Bossdorf)

Zu den historischen Highlights gehören unter anderem Belege von J. G. Gmelin berühmter Kamtschatka-Expedition (1733-1743), die „Sammlung Gärtner“, eine bedeutsame Sammlung von Frucht- und Samenproben aus dem 18. Jahrhundert, die Sammlungen des Esslinger Botanischen Reisevereins (1825-1845), das ehemalige Klosterherbar Beuron und 23 erhaltene einzigartige Pflanzenzeichnungen, die sog. „Tübinger Kräuterbuch-Tafeln“ von Leonhart Fuchs (1501-1566).



**HERBARIUMSGENOMIK AM TÜBINGER MPI FÜR ENTWICKLUNGSBIOLOGIE**

> Dr. Hernán A. Burbano erforscht seit 2012 am Tübinger Max-Planck-Institut für Entwicklungsbiologie die Evolution von Pflanzen und der Erreger von Pflanzenkrankheiten.

Moderne Evolutionsforschung heißt für ihn, innerhalb einer möglichst großen Zeitskala die Beziehungen und die Dynamik von Populationen innerhalb und zwischen verschiedenen Arten zu untersuchen. Dafür nutzt er die als „ancient DNA“ bezeichnete Erbinformation getrockneter Pflanzen aus Herbarien weltweit und unterzieht sie genomischen Vergleichsanalysen.

So konnte er zum Beispiel den Verlauf der Kraut- und Knollenfäulen-Epidemie bei der Kartoffel rekonstruieren, die im 19. Jahrhundert die große irische Hungersnot auslöste. Auch die Invasion neuer Pflanzenarten in bestehende Ökosysteme oder die Anpassung von Pflanzen an neue Lebensräume (wie z.B. bei der Kultivierung von Nutzpflanzen außerhalb ihrer natürlichen Umgebung) lässt sich mithilfe der Herbariumsgenomik nachvollziehen.



Photo: cameleonpictures / Fotolia

→ KLATSCHMOHN (PAPAVER RHOEAS)  
→ COMMON POPPY (PAPAVER RHOEAS)



→ ERBSENHÜLSE (PISUM SATIVUM)  
→ PEA POD (PISUM SATIVUM)



→ DER ZYLINDERPUTZER ODER FLASCHENPUTZER (CALLISTEMON SPECIOSUS)  
KOMMT AUS AUSTRALIEN.  
→ CALLISTEMON IS ENDEMIC TO AUSTRALIA.



> english

//\_\_ Professor Oliver Bossdorf is an expert on the evolutionary ecology of plants and the director of the Herbarium Tubingense. For approximately two centuries, dried and pressed plant specimens, fruits, seeds and other botanical objects have been collected in Tübingen. On the many shelves at the Herbarium, plant specimens which have been collected from worldwide expeditions are stored together with many historical specimens from the surrounding region. With around 400,000 items, Bossdorf estimates that the Tübingen collection is of medium size. But with more than 60 special collections and tens of thousands of type specimens, it is of exceptional scientific importance. Type specimens are dried plants that document the first description of a species and continue to serve as a reference in plant taxonomy and systematics. The significance of an herbarium can be measured by the number of its type specimens.

Herbaria such as the Herbarium Tubingense are a treasure trove for modern science, as they not only document the occurrence and distribution of plant species, but they can also tell us much about the history of climate change and other environmental changes. Which plants have responded to climate change over time? How have these plants been affected by changes in land use? And how has the plant biodiversity of specific regions changed? These are some of the questions that Bossdorf and his team are seeking to answer with the collection in Tübingen. The results of their work could help us to better understand the fundamental processes of plant evolution and ecology. And Bossdorf says: "It's not just the Tübingen collection, there are countless unearthed treasures in herbaria around the world which can give us answers to these pressing questions."

**HERBARIUM SPECIMENS**  
DOCUMENT PLANT HISTORY

Botanising was especially popular in the 19<sup>th</sup> century. Pastors, pharmacists, doctors and teachers wandered through the countryside and collected many specimens of the same common species. As the location and date of each specimen were recorded, these collections now document global environmental change. Specimens are usually collected during the flowering season. So if over decades and centuries the plants of one area keep flowering earlier and earlier, this is very likely a consequence of climate change. Another possibility is that the composition of plant communities in a specific area or the genetic diversity of certain species may change over time. Researchers suspect that the green revolution of intensive land use since the beginning of the 20<sup>th</sup> century has contributed significantly to such diversity declines in plants.

Plants can sometimes adapt surprisingly quickly to a changing environment, and herbaria can help to better understand this. Researchers in Tübingen are comparing plant species that grow on meadows and pastures with different land use. Depending on the type of land use and its intensity, there are often differences in flowering time and morphology. Including herbarium specimens in these studies provides a historical perspective on these changes and helps the researchers to get a better picture of the impacts of different land uses.

A new research project in Tübingen is set to specifically compare herbarium specimens and modern plants. The researchers will study the phenology and genetic diversity of early-flowering plants in the understories of German forests. This is where Dr. Hernán Burbano from the Max Planck Institute for Developmental Biology in Tübingen comes into play. He is Professor Bossdorf's project partner

- 01 DIE SEYCHELLENUSS WÄCHST NUR AUF DEN SEYCHELLEN.
- 02 DIESE SAMMLUNG GEPRESSTER PFLANZEN IN BUCHFORM LEGTE EIN ARZT AUS DAVOS AN.
- 01 LODOICEA IS ONLY FOUND IN THE SEYCHELLES.
- 02 THIS COLLECTION OF PRESSED PLANTS IN BOOK FORM WAS COMPILED BY A DOCTOR FROM DAVOS.

and an expert for herbarium genomics. His team is developing methods for extracting and analyzing DNA from dried plant specimens. Dr. Burbano has already analyzed historical material from herbaria around the world in other research projects. "The approximately 3000 herbaria worldwide are a global database which enable a novel approach to studying plant evolution", says Burbano. The upcoming research collaboration will focus on common forest plants such as Wood Anemone (*Anemone nemorosa*), Lesser Celandine (*Ficaria verna*) and Woodruff (*Galium odoratum*). The researchers will examine plants from different regions of Germany and cooperate with large herbaria in Berlin, Halle, Jena and Munich.

**A PUZZLE WITH MILLIONS OF PIECES**

Researchers need around eight to ten milligrams of leaf material from the herbaria to isolate plant DNA in a process where great care must be taken. A further difficulty of isolating plant DNA is that the DNA extracted from specimens is contaminated by other sources. „In good samples, we have about 50 to 60 percent of pure plant DNA. Around 40 percent of the DNA originates from microorganisms that are associated with the plants. This also includes human DNA caused by handling”, says Burbano. Fishing out the relevant segments of plant DNA is a task for specialist laboratories, especially as DNA segments are barely intact in old samples. Burbano compares this to “a puzzle with millions of pieces of data which can only be solved with bioinformatics”. \_\_\_\_//



**HERBARIUM TUBINGENSE**

> The history of Herbarium Tubingense begins around 1800 with a natural history collection at Schloss Hohentübingen. Using the plant specimens from this collection, the botany professor Hugo von Mohl founded the Herbarium Tubingense as an independent collection in 1837. In 1846, the Herbarium moved into the Botanical Institute adjacent to the Old Botanical Garden, and in 1968 it was relocated to its current home on the Morgenstelle campus. (From the anthology celebrating the 10<sup>th</sup> anniversary of the Museum of the University of Tübingen, Author: Oliver Bossdorf)

The Herbarium Tubingense harbors many important historical objects including specimens from J. G. Gmelin's famous Kamchatka Expedition (1733–1743), the "Gärtner Collection", an important collection of fruit and seed samples from the 18<sup>th</sup> century, the complete collections of Unio Itineraria, the "Society for Botanical Travels" of Esslingen (1825–1845), the former herbarium of the Beuron monastery and 23 original plant drawings from the Herbal Book of Leonhart Fuchs (1501–1566).



**HERBARIUM GENOMICS AT THE TÜBINGEN MAX PLANCK INSTITUTE FOR DEVELOPMENTAL BIOLOGY**

> Dr. Hernán A. Burbano has been investigating the evolution of plants and plant pathogens at the Tübingen Max Planck Institute for Developmental Biology since 2002. For him, modern evolutionary research involves examining the relationships and the dynamics of plant populations within and across different species for the largest possible timescale. His research involves comparative genomic analysis of ancient DNA extracted from dried plants, which have been provided by herbaria around the world.

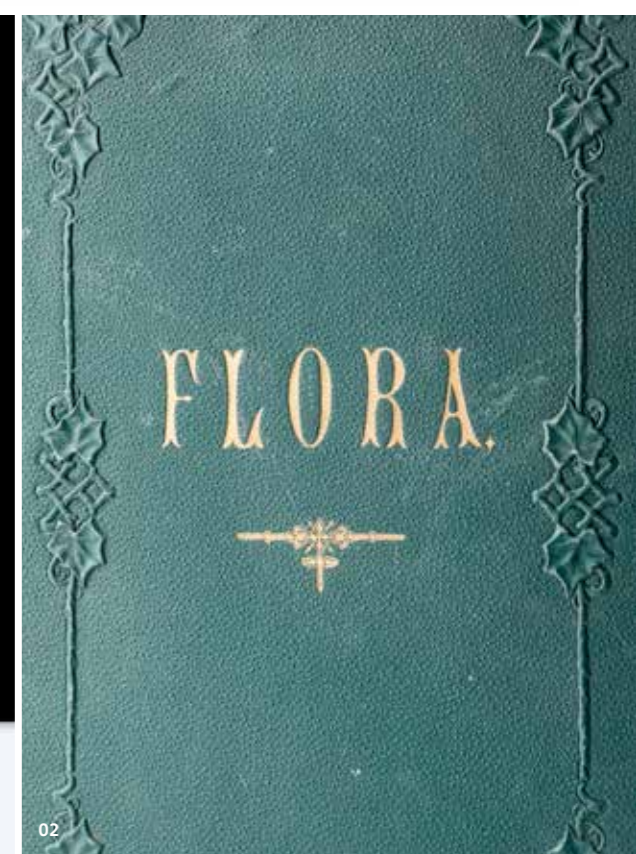
Using this approach, he was able to reconstruct the progression of the potato blight that sparked the great Irish famine in the 19<sup>th</sup> century. Herbarium genomics can also be used to track the invasion of new species into existing ecosystems, or the adaptation of plants to new habitats such as when crops are cultivated outside their natural environment.



Photo: iStockphoto



01



02