



Deutschland sucht den Superbaum

Buchen galten als Hoffnungsträger für den Waldumbau. Doch Hitze und Trockenheit der letzten Jahre haben gezeigt: Auch der Baum des Jahres 2022 steckt in Schwierigkeiten.

Kann die Genetik ihm helfen?

TEXT: KLAUS SIEG / FOTOS: MARTIN EGBERT

Die letzten Meter zu Bhaga führen über einen schmalen Grat. Eine halbe Stunde sind Marco Thines und sein Kollege Stefan Wötzel durch den nordhessischen Nationalpark Kellerwald-Edersee hier heraufgestiegen. Dann endlich stehen sie vor einer der ältesten Buchen Deutschlands. Bhaga hat ihre weit verzweigten Wurzeln um und in die schroffen Felsen gekrallt. Der Baum ist eher ein Busch. Anstelle eines massiven Hauptstammes hat er – wie bei Bäumen dieses hohen Alters üblich – viele Stämme und Äste ausgebildet, die meisten aufgeplatzt und geschuppt, mit Pilzen und Moosen bewachsen. Fast könnte man die Rotbuche für eine Korkeiche halten.

Der Ausblick durch das bunte Herbstlaub hinunter auf den Edersee ist großartig. Der Blick auf den Boden dagegen offenbart die extreme Kargheit des Standortes. Nährstoffe dürften in dem steilen und felsigen Grund schwer zu finden sein. Regenwasser kann sich auf ihm kaum halten, es fließt sofort ab ins Tal. „In diesem Boden ist wirklich nicht viel zu holen“, sagt Marco Thines und blickt vor seine Füße, die in einem Paar schwarzer Outdoorschuhe stecken.

„If I can make it there I'm gonna make it anywhere“, sang Frank Sinatra einst und meinte New York. Er kannte diese Felsnadel im Kellerwald nicht, an die sich die uralte Buche bereits seit mindestens 350 Jahren



Bhaga, Deutschlands wohl älteste Buche – und deshalb begehrtes Forschungsobjekt

Foto:



Marco Thines (l.) und Stefan Wötzel vom Biodiversität-und-Klima-Forschungszentrum der Senckenberg-Gesellschaft für Naturforschung

festklammert. Aber für sie gilt, im Sinatra'schen Sinne: Wer es als Baum dort schaffen kann, schafft es überall – und seien die Bedingungen noch so widrig.

Genau deswegen sind die beiden Wissenschaftler nun schon zum sechsten Mal hier hoch gekommen. Die Forscher am Biodiversität-und-Klima-Forschungszentrum der Senckenberg-Gesellschaft für Naturforschung in Frankfurt wollen herausfinden, warum Bhaga so lange an diesem Standort überlebt hat. Sie wollen die Informationen aus der DNA dieser uralten Buche nutzen, um die Zukunft der Wälder in Deutschland und Europa zu sichern, die zum Teil dramatisch unter Hitze und Trockenheit leiden.

Der Verlust der Fichten durch die heißen und trockenen Sommer der vergangenen Jahre war vorhersehbar, wurden die meisten Fichtenbestände doch in Monokulturen an eigentlich ungeeigneten Standorten gepflanzt. Rotbuchen unterdessen galten lange Zeit als Hoffnungsträger für den Waldumbau. Mit ihnen sollten Monokulturen aus Fichten und Kiefern durchmischt und damit stabilisiert werden. Rotbuchen spenden viel Schatten, passen sich an unterschiedliche Standorte an und wachsen auf verschiedenen Böden. Ihre Anfälligkeit gegen Schädlinge ist gering, und sie können gut Stürmen standhalten.

Regionales Buchensterben

Doch die Hitze und Trockenheit der letzten Jahre hat auch den Buchen zugesetzt. In einigen Regionen begannen sie zu sterben, etwa in Südbaden oder im Nationalpark Hainich, größter zusammenhängender Laubwald Deutschlands und, ebenso wie der Nationalpark Kellerwald-Edersee, Unesco-Weltnaturerbe. ➤



Buchenwald im nordhessischen Nationalpark Kellerwald-Edersee (l.).
Forscher Stefan Wötzel beim Sammeln von Buchenknospen (r.)

Auch Bhaga, der von den Wissenschaftlern nach dem indogermanischen Wort für Buche getaufte Baum, hat immer mal wieder gelitten in den Jahrhunderten. Aber nicht so sehr wie andere Rotbuchen an diesem Standort, von denen viele aufgrund der trockenen und heißen letzten Jahre am Ende ihrer Energieressourcen sind. Marco Thines zeigt Exemplare mit sehr kleinen Blättern und welche ohne ausgebildete Bucheckern. Auch nach bereits abgestorbenen, kahlen Bäumen braucht er nicht lange zu suchen. Warum sind einige Bäume noch verhältnismäßig fit, während es anderen so miserabel geht? Wo doch alle mit dem gleichen Standort und Klima kämpfen müssen?

Aufschluss darüber soll das Genom Bhagas geben. „Dieser unzugängliche Teil des Waldes wurde wahrscheinlich noch nie bewirtschaftet“, erklärt Marco Thines. Also bietet Bhagas Erbgut einen von Menschen unverfälschten Blick auf die Anpassung des Baumes an einen extrem unwirtlichen Standort.

Bhagas Genom dient aber auch bei einer Reihe unterschiedlicher Untersuchungen an europäischen Rot-

buchen als Bezugspunkt. Die Wissenschaftler vergleichen es mit den genetischen Eigenschaften von Exemplaren, die an sehr warmen Orten im Südwesten Deutschlands, in gemäßigten Zonen und in sehr trockenen und kalten Regionen in Polen wachsen. Erforschen wollen sie auch die jüngeren Rotbuchen hier im Kellerwald. Sie wollen herausfinden, ob einige schon mit ihrem Erbgut auf die Klimakrise reagiert und sich an Hitze und Trockenheit angepasst haben. Das wäre ein Zeichen dafür, dass sie über die notwendige genetische Vielfalt verfügen – zumindest für den jetzigen Stand der Klimaerwärmung. Wie aber würden sie dann mit der zukünftigen zurechtkommen?

Erst der Anfang des Klimawandels

Zwar gelten Rotbuchen (*Fagus sylvatica*) als anpassungsfähig, aber nicht unbegrenzt. „Was gerade mit ihnen passiert, ist erst der Anfang“, sagt Marco Thines. Er ist sich sicher, dass das, was die Bäume in den letzten Jahren durchgemacht haben, nichts ist im Vergleich dazu, was sie erwartet. Aber er hat auch eine

Eingeschränkte Anwendung?

Die Klimakrise setzt auch dem Wald in der Schweiz zu. Schweizer Fachleute halten Gentests für Trockenheitsresistenz deshalb für sinnvoll. „Sie könnten in der Zukunft verwendet werden, um Wälder so zu managen, dass sie fitter für die trockenere und wärmere Zukunft sind“, sagt Christian Rellstab von der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL, der selbst an der Anpassung und Genetik von Waldbäumen wie Eichen und Weißtannen forscht. Allerdings sieht er für die in dem Fachmagazin „eLife“ publizierte Studie von Marco Thines und anderen Forschenden auch Einschränkungen, unter anderem weil diese auf sehr engem Raum durchgeführt

worden sei: „Untersuchungen von uns mit anderen Pflanzenarten zeigen, dass genetische Anpassungen an das Klima sehr lokal sein können. Das heißt, es ist unsicher, ob genau dieser Gentest auch bei Rotbuchen in der Schweiz oder zum Beispiel südlich der Alpen funktionieren würde.“ Zudem ignoriere die Studie assoziierte und symbiotische Organismen wie etwa Mykorrhiza-Pilze, die mit den Wurzeln von Pflanzen verbunden sind. Diese aber könnten eine sehr wichtige Rolle spielen bei der Trockenheitsresistenz. „Vielleicht sind es ja auch die genetischen Merkmale des Symbiosepartners und nicht nur des Baumes, die die Resistenz bestimmen.“

gute Nachricht: Im Prinzip verfügt die Rotbuche über einen vielfältigen Genpool. Dieser könnte ihr helfen, sich an die Folgen der Klimakrise anzupassen.

Genetische Vielfalt ist die Voraussetzung für Anpassungsfähigkeit. Dass die Buche diese Voraussetzung prinzipiell mitbringt, heißt allerdings nicht, dass die Anpassung an veränderte Bedingungen auch glücken muss. Denn die genetische Vielfalt der Buche steht längst nicht allen Individuen und Populationen zur Verfügung; auch kommt sie je nach Verbreitungsgebiet unterschiedlich häufig vor. Und selbst in den mit Vielfalt gesegneten Regionen ist nicht sicher, ob die Buchen bei ihrer evolutionären Anpassung den Wettlauf mit den beispiellos schnellen Veränderungen durch die Klimakrise gewinnen können. Schließlich finden die Anpassungen über die Weitergabe des Erbgutes an die nächsten Generationen statt. Das braucht Zeit. Vielleicht muss der Mensch deshalb der Rotbuche, ebenso wie auch anderen Baumarten, bei diesem Wettlauf unter die Arme greifen.

Die in Deutschland zum Baum des Jahres 2022 gekürte Rotbuche wächst in weiten Teilen Europas, von Italien und Griechenland bis hinauf nach Schweden, vom Nordwesten Spaniens bis ans Schwarze Meer. In Deutschland, Österreich und der Schweiz zählt die Rotbuche zu den wichtigsten Laubbäumen. Gerade in diesen Verbreitungsgebieten ist es aber nicht so weit her mit der Vielfalt ihres Erbgutes, zumindest im Vergleich zu Rotbuchen zum Beispiel im Süden Italiens und Griechenlands. Die Wissenschaft spricht von einem „genetischen Flaschenhals“.

Erklären lässt sich diese genetische Verengung – oder Verarmung – aus der Rückwanderung der Rotbuche nach der letzten Eiszeit. Auf der Flucht vor den Gletschern hatte sie sich in die südlichen Refugien am Mittelmeer zurückgezogen. Nach dem Abschmelzen der Gletscher vor etwa 11.000 Jahren wanderte sie jedoch nicht von allen diesen Rückzugsgebieten aus gleichermaßen nordwärts. Überwiegend breitete sie sich von Slowenien aus, von den Hängen der Südalpen, wieder in Richtung Norden aus. Die daraus folgende genetische Monotonie könnte ihr jetzt zum Verhängnis werden.

Auch die über Jahrhunderte währenden Eingriffe des Menschen in das Ökosystem Wald haben nicht gerade zur Vielfalt beigetragen. Zersiedelung und Landwirtschaft haben Waldflächen zerstört, zerstückt oder zumindest stark verändert. Das be- oder verhindert den Genfluss zwischen einzelnen Popula-

tionen. Auch die Forstwirtschaft spielte oft keine hilfreiche Rolle. Bei der wirtschaftlichen Nutzung von Wald wurden und werden meist große Bäume mit geradem Wuchs bevorzugt. Krumme, kleine Bäume lassen sich schlecht vermarkten.

Mehr krumme Dinger wagen

Müsste die Forstwirtschaft also mehr krumme Dinger wagen? Studien an Kiefern etwa haben gezeigt, dass kleinere Pflanzen besser mit Trockenheit klarkommen. „Daher sollten wir, abhängig vom Ziel der Forstwirtschaft, eine möglichst breite Palette von Variation erhalten“, sagt Barbara Fussi vom Bayerischen Amt für Waldgenetik. Beides sei miteinander vereinbar: die Stabilisierung der Wälder angesichts des Klimawandels und ihre ökonomische Nutzung. Der Schutz forstgenetischer Ressourcen müsse nicht unbedingt nur auf den

Wirtschaftsflächen stattfinden. Denkbar wäre auch eine Stabilisierung und Erweiterung des Genpools auf Schutzflächen, wie zum Beispiel Naturwäldern. Das wiederum würde positive Folgen auch für die Wirtschaftsflächen mit

sich bringen. Die Buche vermehrt sich über Pollenflug. Rund die Hälfte der Pollen kommt dabei meist aus kürzerer Entfernung: einem Umkreis von 30 bis 200 Metern. Die andere Hälfte aber kann durchaus mehrere Kilometer zurückgelegt haben. Diese weitgereisten Pollen stammen unter Umständen aus Populationen mit einem anderen Erbgut – und sorgen so für eine Erweiterung des genetischen Materials.

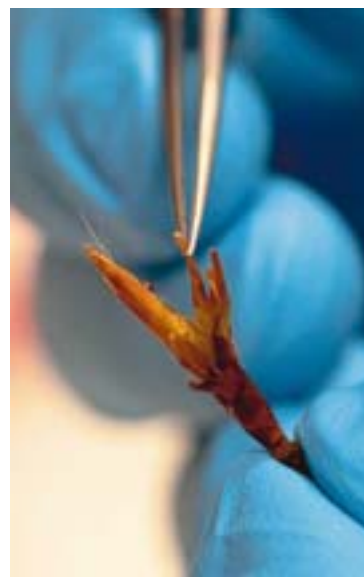
Bis vor kurzem koordinierte Barbara Fussi das Verbund-Forschungsprojekt „Genmon“, das als Langzeitmonitoring in allen >



»Auf den Wald kommen sehr große Herausforderungen zu«

Barbara Fussi, Bayerisches Amt für Waldgenetik

Stefan Wötzel im Labor in Frankfurt bei der Vorbereitung für die Genanalyse (r.). Probennahme an einem Buchentrieb (l.)





DNA-Sequenziergerät (l.), mit dessen Hilfe der genetische Code von Buchen lesbar gemacht werden kann (r.)

Bundesländern fortgeführt wird. Bundesweit werden 14 Buchen- und zehn Fichtenbestände auf ihre genetische Vielfalt hin beobachtet und untersucht. Gibt es Verluste im Erbgut oder Störungen? Kann

es der Evolution ausreichend Varianten anbieten, damit die Bäume sich den verändernden Bedingungen anpassen können? Muss die genetische Varianz geschützt, muss sie ausgebaut werden?

Diese ganz neue Ebene der Waldbeobachtung findet mittlerweile europaweit statt. „Der Mensch muss sich um den Genpool des Waldes kümmern, weil sehr große Herausforderungen auf diesen zukommen“, sagt Barbara Fussi.



»Wir wollen der Rotbuche helfen, sich selbst zu helfen«

Marco Thines, Senckenberg-Ges. für Naturforschung

Ob die Anzahl und Struktur der Spaltöffnungen, mit denen der Wasserhaushalt gesteuert wird, oder das numerische Verhältnis zwischen Früh- und Spätaustreibern in der Population – und somit ihre Anfälligkeit für Froste oder die Veränderung in den Blühzyklen: All diese Eigenschaften und Prozesse haben eine genetische Basis. Ein vielfältiger Genpool ermöglicht es dem Baumbestand, diese an die geänderten Umweltbedingungen anzupassen.

Daraus lassen sich Handlungsanweisungen für die Saatguternte und den Umgang mit der natürlichen Verjüngung ableiten. Für letztere schafft die Forstwirtschaft Platz und vor allem Licht, indem sie größere Bäume

fällt. Geschieht das regelmäßiger und kleinflächiger, wachsen in einer Population häufiger Nachkommen aus unterschiedlichen Jahren und von verschiedenen Elternbäumen nach. Dadurch erweitert sich der Genpool der Population. Saatgut wiederum sollte aus wissenschaftlicher Sicht von einer größeren Anzahl an Bäumen und in möglichst vielen Beständen geerntet werden. „Da ist noch viel Überzeugungsarbeit bei Politik und Forstpraxis notwendig, dass der größere Aufwand bei der Ernte für die zukünftige Stabilität der Bestände durchaus gerechtfertigt ist und auch entsprechend entlohnt werden sollte“, erläutert Barbara Fussi.

Im Kellerwald, hoch über dem Edersee, stellen Marco Thines und Stefan Wötzel ihre Rucksäcke auf dem felsigen Boden ab. Dann packen sie aus. Ein Schneider mit Teleskopstange. Eine Kamera. Jede Menge Röhren für die Proben. Vorsichtig tasten die beiden Biologen sich an dem steilen Hang entlang, fotografieren Blätter und Baumstämme, prüfen die Bodenbeschaffenheit, knipsen hier und da eine Knospe ab, die in einer der mitgebrachten Röhren

Traubeneichen entschlüsseln

Einen ähnlichen Ansatz wie das Forschungsprojekt der Senckenberg-Gesellschaft verfolgt das Projekt „Aquarel“. Hierfür untersucht ein Team, zusammengestellt aus Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg und des Bayerischen Amtes für Waldgenetik, die genetischen Eigenschaften urzeitlicher Traubeneichen.

Diese überdauern, ähnlich wie die uralte Buche Bhaga und ihre Nachbarn, an schwer zugänglichen, unbewirtschafteten Felshängen. Sie kommen mit extrem trockenen Standorten zurecht. Deshalb gelten sie als vielversprechender Genpool für einen klimastabilen Wald. Künstliche Saaten und Pflanzungen könnten den natürlichen Ausbreitungsprozess geeigneter Genotypen beschleunigen – und so helfen, in der Klimakrise Waldökosysteme zu sichern.

verschwindet. Knospen enthalten bereits die voll ausgebildeten Blätter und die Gesamtzahl aller Gene.

Thines und Wötzel legen die Röhren in eine Kühlbox. Dann steigen sie wieder hinab, um mit dem Auto zurück nach Frankfurt zu fahren. Das Forschungszentrum der Senckenberg-Gesellschaft liegt am Rande des Bankenviertels, wo ein Wald aus Hochhäusern emporgewachsen ist. Im Labor pult Stefan Wötzel mit einer Pinzette die Schuppen von den Knospen, die diese vor Pilzen und anderen Gefahren schützen. Die einzelnen Blattzellen werden mithilfe extremer Kälte, mechanischer Zerkleinerung, Chemikalien und einer Zentrifuge möglichst kleinteilig zerlegt und ihre DNA isoliert. Anschließend setzt ein Computerprogramm das Genom so wieder zusammen, dass unser Auge es erkennen kann. „Das Programm rekonstruiert aus dem Hackfleisch die Kuh“, erklärt Wötzel schmunzelnd. Ein zweites Programm arbeitet die Unterschiede der Proben heraus. „Die Unterschiede sind es, die uns interessieren.“ Über Wötzels Bildschirm flimmern verschiedene Abfolgen aus den Buchstaben A, C, G und T. Sie werden auch das Alphabet des Lebens genannt, weil sie für die vier Basen der DNA stehen, die durch ihre Abfolge die Erbinformationen kodieren.

Was schnell erzählt ist, braucht Zeit. Im Moment analysieren die Wissenschaftler noch die Daten von den Proben aus dem Vorjahr. Riesige Datenmengen müssen dafür prozessiert werden. Die bislang gesammelten 400 Proben, die die Informationen über die Bausteine der DNA und ihre Abfolge enthalten, kommen auf 15 Terabyte, also 15.000 Gigabyte.

Kleine Gen-Unterschiede, große Wirkung

Eine wichtige Erkenntnis konnte Marco Thines bereits im Rahmen eines Forschungsprojektes mit anderen Wissenschaftlern im Fachmagazin „eLife“ publizieren: Ob eine Rotbuche Trockenstress und Hitze überlebt, darüber entscheiden lediglich 90 Positionen von insgesamt 500 Millionen innerhalb des gesamten Genoms. Ist ein Baum an diesen wenigen Stellen gut in Form, ist er für die Klimakrise weit besser gerüstet als andere. Diese erste Einsicht könnte die Forstwirtschaft nutzen, indem sie die evolutionäre Selektion entsprechend anschubst – falls denn die ermittelten genetischen Merkmale sich auch auf Rotbuchen in anderen Verbreitungsgebieten übertragen lassen (siehe S. 42, „Eingeschränkte Anwendung?“).

Zurzeit arbeitet das Team am Forschungszentrum der Senckenberg-Gesellschaft an der Entwicklung eines Schnelltests, mit dem ein Förster herausfinden kann, ob ein Baum über die erforderlichen 90 genetischen Merkmale verfügt. Mit einem handlichen Testgerät, das in zwei bis drei Jahren einsatzbereit sein soll, könnte er dann vor Ort Baumproben untersuchen und mit einer Datenbank abgleichen. In

nur wenigen Minuten soll er so in Erfahrung bringen können, welche Buchen in seinem Wald gegen Trockenheit und Hitze gewappnet sind. Sind sie es nicht, kann er die Exemplare bei der nächsten Ernte fällen. Haben sie die gewünschten genetischen Merkmale, lässt er die Bäume stehen. Diese pflanzen sich dann fort und setzen ihre Erbanlagen in der Population durch.

Auch bei der Ernte von Saatgut kann das Wissen über den Gen-Schlüssel für Trockenresilienz genutzt werden. Das ist besser, als gebietsfremde aber trockenresistente Rotbuchen aus Südeuropa einzuführen oder sogar ganz andere Arten. So mag ein Baum aus Südeuropa zwar besser mit Trockenheit klarkommen. Aber wie wird er zum Beispiel auf Frost reagie-



ren? „Wir wollen der Rotbuche helfen, sich selbst zu helfen“, sagt Marco Thines. Die Wissenschaftler gehen zudem davon aus, dass sich ihre Entdeckung auch auf andere Baumarten übertragen lässt (siehe S. 44, „Traubeneichen entschlüsseln“). Die Kosten für solch einen Schnelltest sollen nur wenige Euro betragen. Eine kleine Investition also, mit vielleicht großen Folgen für die Zukunft des Waldes. ■

Buchen in den Bayerischen Alpen, die für das Forschungsprojekt „Genmon“ nummeriert und einer Genanalyse unterzogen wurden



Klaus Sieg

mochte Waldwanderungen schon immer. Die Wanderung mit den Biologen hat ihm vor Augen geführt, wie extrem die Klimaveränderungen die Natur herausfordern.