



Das Zelt ist zwanzig Meter lang und zwölf Meter breit, sodass es 240 Quadratmeter Wald abdecken und vom Niederschlag abschirmen kann. Foto: cefe CNRS

## Europas ältestes Wald-Langzeitexperiment

**Trockenheit und Hitze setzten den Wäldern zu. Kaum irgendwo in Europa sind die Bedingungen härter als in den Steineichenwäldern Südfrankreichs. Eine Forschergruppe nutzt sie seit 1984 als riesiges Freiluftlabor, um herauszufinden, welche Folgen der Klimawandel für sie haben wird. Kein anderes Projekt in Europa existiert ununterbrochen seit so langer Zeit. Text und Fotos: Alexandra von Ascheraden**

In den Wäldern von Puéchabon, etwa 40 Kilometer südöstlich von Montpellier, wachsen fast nur die extrem robusten Steineichen. Sie dienen jahrhundertlang als Brennholzlieferanten, da ihr Holz auch gut und langsam abbrennt, wenn es noch nicht völlig durchgetrocknet ist. Zudem wurde das Steineichenholz gern zu Holzkohle verarbeitet. Die Bewirtschaftung war einfach: Alle 15 bis 20 Jahre gab es einen Kahlschlag. Nach dem Ersten Weltkrieg war damit Schluss. Die Steinkohle wurde so billig, dass man die Holzkohle aufgab. «Der letzte Baum wurde hier 1942 gefällt. Seitdem wird der Wald nicht mehr bewirtschaftet», erklärt Jean-Marc Ourcival, wissenschaftlicher Leiter des Forschungsprojekts in Puéchabon. Holzöfen kamen aus der Mode. Für andere Verwendungsarten war das Holz kaum geeignet. Das liegt unter anderem auch am extremen Standort. «Die Stammumfänge bleiben dürrftig. Wir haben hier Karstgebiet und zudem 65 bis 80 Prozent Steine im Boden», so Ourcival weiter. Die Bäume müssen mit der wenigen Erde zurechtkommen, die sie dazwischen finden.

### Boden ohne Wasserspeicherkapazität

In einem solchen Boden hält sich kein Wasser. An Stellen, an denen der Boden etwas mehr Wasser speichern kann, gibt es auch Flaum-Eichen (*Quercus pubescens*), die unseren Traubeneichen ähneln. Aber dort, wo Ourcival soeben steht, sind fast keine zu sehen. «Hier herrschen extreme Bedingungen. Die Steineichen müssen ein extrem grosses Wurzelwerk entwickeln, um überhaupt überleben zu können. Alle Ritzen zwischen den Steinen sind durchwurzelt, da kommt nichts anderes auf», erklärt er.

Bereits seit 1984 forscht man im Wald von Puéchabon daran, wie die Bäume mit diesen extremen Umständen zurechtkommen. Ourcival: «Wir haben Messtürme, die aufzeichnen, wie viel Kohlenstoff die Bäume pro halbe Stunde umsetzen. Aufgrund der Langzeitdaten wissen wir, dass unsere Wälder 2,5 Tonnen Kohlenstoff pro Hektar und Jahr speichern.» Produktivere Wälder unter besseren Bedingungen schaffen mehr als das Doppelte. Dafür hat die Steineiche eine Besonderheit, die es ihr erlaubt, überhaupt hier zurechtkommen. Sie behält

ihre Blätter auch im Winter und betreibt, anders als unsere Schweizer Laubbäume, somit weiter Photosynthese. Im Frühling kommt jeweils eine zweite Blattgeneration am Neuaustrieb dazu. Es befinden sich also stets zwei Blattgenerationen am Ast. So kann die Eiche auch Extremjahre überstehen, in denen Neuaustrieb kaum möglich wäre. Allerdings sind die alten Blätter weniger produktiv als die neuen.

«In schlechten Jahren, als es in den für das Wachstum ausschlaggebenden Monaten Mai und Juni extrem trocken war, wurden nur 1,5 Tonnen Kohlenstoff gespeichert. Das waren hier bei uns die Jahre 2005, 2006 und 2017. Die Bäume schliessen ihre Spaltöffnungen, wenn sie unter Stress geraten, und betreiben kaum noch Photosynthese», erläutert Ourcival.

### Drei Dutzend Jahre Messungen

Auf diese Bedingungen haben die Forscher sogar noch eins draufgesetzt. 2003 wurde auf dem Gelände ein weiteres Langzeitexperiment gestartet. Es untersucht, wie die Bäume reagieren, wenn es weniger Niederschlag



1. Die Gänge auf Wipfelhöhe schaffen Zutritt zu den Baumspitzen. Gewisse Bäume sind markiert und werden so unter Langzeitbedingungen untersucht.

2. Netze fangen Blätter und Eicheln auf und erlauben so zu bemessen, wie sich die Trockenheit auf Blattfall und Fruchtentwicklung auswirkt.

3. Jean-Marc Ourcival, wissenschaftlicher Leiter des Forschungsprojekts in Puéchabon, kontrolliert die Sensoren der Mess- und Wetterstation.

4. Ein ausgeklügeltes Netz aus Regenrinnen leitet ein Drittel des Niederschlages ab. So lässt sich untersuchen, wie die Bäume auf verstärkten Wassermangel reagieren. Bekannt ist schon, dass sie weniger Blätter austreiben.

5. Die Mess- und Wetterstation auf dem Versuchsgelände.



gibt. Auf ausgewählten Untersuchungsflächen nehmen die Wissenschaftler zusätzlich ein Drittel des Niederschlages weg. Damit läuft in Puéchabon das älteste Experiment in ganz Europa zu diesem Thema. Damit werden Langzeitaussagen möglich, die sonst nirgends ausgeführt werden können.

«Im Jahr 2000 war der wissenschaftliche Konsens noch, dass in hundert Jahren etwa ein Drittel weniger Niederschläge fallen würden. Wir wollten das simulieren, um Voraussagen über die Auswirkungen treffen zu können. Neue Studien sagen, dass dieses Drittel weniger Regen bereits 2035 eintreten wird. Damit sind wir unserer Zeit leider deutlich weniger voraus als erhofft», erläutert Ourcival. Hinzu kommt, dass die in den Klimamodellen vorhergesagten zunehmenden Starkregenereignisse den Bäumen in Puéchabon nicht zugutekommen. Der spezielle Boden kann, wie erwähnt, kein Wasser speichern.

Den Steineichen setzen steigende Temperaturen sogar mehr zu als weniger Niederschlag. Ourcival erklärt das einleuchtend: «Je wärmer es ist, desto schneller verdunstet

das Wasser. Es steht den Bäumen für eine noch kürzere Zeit zur Verfügung.» Unter den künftigen Klimabedingungen werden die Eichen früher im Jahr wachsen müssen und kürzere Zeiträume dafür zur Verfügung haben. Im Winter ist es zu kalt für Wachstum, im Sommer extrem heiss.

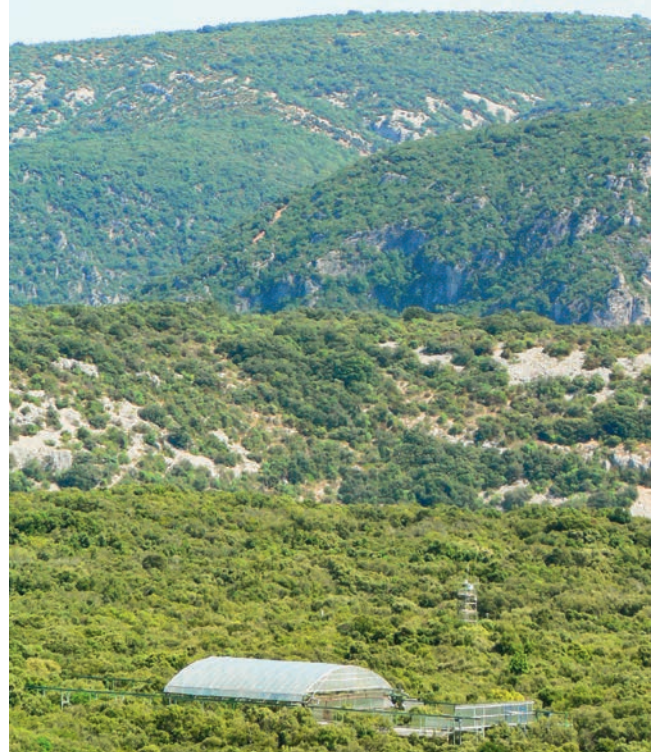
Was also passiert, wenn man solchen Bäumen noch ein Drittel Wasser wegnimmt? Um fundierte Aussagen machen zu können, haben die Forschenden im Jahr 2003 sechs Untersuchungsflächen von jeweils 100 Quadratmetern Fläche ausgewählt. Je drei werden seitdem unter trockeneren, drei unter normalen Bedingungen beobachtet. Und wie macht man das in Frankreich? Mit sehr einfachen Mitteln: Die Fläche wird einfach mit Regenrinnen überzogen – so viele, dass auf exakt einem Drittel der Fläche der Niederschlag nicht auf den Boden fällt, sondern über die Rinnen abläuft. Das Wasser wird weit von den Versuchsflächen weggeleitet. Nur so verfälscht es die Untersuchungsergebnisse nicht.

Nach zwanzig Jahren ist mehr als belegt, dass der Niederschlagsmangel den Bäumen

nicht gut bekommt. Je kürzer die Wachstumsperiode, desto geringer ist auch die neue Blattmasse. Für diese Untersuchungen haben sie einen Steg installiert, der den Zugang zu den Baumwipfeln in vier Metern Höhe gewährt. Dort sammeln die Wissenschaftler die Eicheln und abgeworfenen Blätter in Netzen und zählen die Blätter an den Neuaustrieben speziell markierter Bäume.

### Überraschend deutliches Ergebnis

«Die Bäume in den Gebieten mit Regenrinnen produzieren zwischen einem Fünftel und einem Viertel weniger Blätter», sagt Jean-Marc Limousin, der ebenfalls am Projekt arbeitet. «Das ist nicht die Reaktion, die wir erwartet hatten. Wir gingen davon aus, dass sie kleinere Blätter ausbilden würden. Sie blieben gleich gross, es sind einfach weniger geworden», setzt Ourcival nach. Für ihn ein Beweis, wie wichtig es ist, Theorien mit Experimenten zu überprüfen. «Weniger Blätter bedeutet weniger Wasserverlust, aber auch weniger Photosynthese und somit weniger Kohlenstoffbindung.»



Jean-Marc Limousin (links) beim Anbringen eines Safflussesensors. Seit 1942 wird der Wald von Puéchabon nicht mehr bewirtschaftet. Das Gelände eignet sich deshalb ideal für Langzeitforschungen. Seit 1984 untersucht man die Vegetationsbedingungen und ihre Folgen für die Steineichen. Fotos: zVg

Wie lange die Bäume das durchhalten, ist eine der grossen Fragen, die man sich auf dem Versuchsgelände nun stellt. Die Bäume sind gezwungen zu wachsen. Wachsen sie nicht, so bilden sie keine neuen Blätter und sterben ab. Ausserdem produzieren die Bäume unter Trockenstress weniger Blütenstände und tragen später vierzig Prozent weniger Eicheln als diejenigen auf den Vergleichsflächen. Es stellt sich auch die Frage nach der Regenerationsfähigkeit des Waldes bei anhaltender Trockenheit.

### Gewächshaus über dem Wald

Auch eine Art Walddach hat man in Puéchabon bereits ausprobiert. Da die Bäume wegen der schwierigen Wachstumsbedingungen nicht besonders hoch werden, hat man sich für eine Art überhohes Gewächshausdach auf Stelzen und Rollen entschieden, das an den Seiten offen blieb. Damit wurde jeweils ein halbes Jahr lang der Niederschlag komplett abgeschottet.

Das Ergebnis fasst Limousin so zusammen: «Dort, wo im Frühling kein Regen fiel, kamen keine neuen Blätter und im Herbst dann auch keine Eicheln. Dazu kam ein Verzögerungseffekt der Entwicklung im nächsten Jahr. Dort, wo wir das Zelt im Herbst und Winter aufgestellt hatten, war das Wachstum bereits abgeschlossen. Es gab auch keinen Memory-Effekt im Folgejahr.»

Kurz: Die Eichen sind unglaublich gut an die schwierigen Bedingungen angepasst. Sie überstehen sehr viel – aber ohne Frühlingregen haben sie es schwer, sich langfristig zu

behaupten. Im Moment versuchen Limousin und Ourcival, die Finanzierung ihres nächsten Projekts abzusichern. Dafür wollen sie das Zelt nochmals aufstellen, diesmal mit rundum geschlossenen Seitenflächen. So könnten sie auch Einfluss auf die Temperatur nehmen und in ihren Studien zu den Folgen des Klimawandels noch einen Schritt weitergehen.

Die Recherche in Puéchabon wurde ermöglicht durch eine Pressereise, die durch die französische «Association des journalistes scientifiques de la presse d'information» AJSPI organisiert wurde.



### Die Steineiche

Die Steineiche (*Quercus ilex L.*) ist ein Charakterbaum der mediterranen Klimazone und bildet eine breit gewölbte Krone aus. Steineichen gehören zur Familie der Buchengewächse (*Fagaceae*) und werden zwischen fünf und maximal 20 Meter hoch.

Die Bäume sind immergrün und das Laub wechselständig und ledrig. Der Austrieb der neuen Blätter erfolgt zwischen April und Juni. Dabei verbleiben die Blätter des Vorjahres am Baum und werden erst im Folgejahr abgeworfen. Die Blätter sind sehr variabel in Form und Zähnung. Sie können ganzrandig bis stachelig-gezähnt ausgebildet sein. Die Eicheln der einhäusigen Bäume entstehen im Juni und sind im September oder Oktober dann voll ausgebildet. Die Steineiche kann ein Alter von 200 bis 500 Jahren erreichen. (ava)