



From the soil to the treetops

Climate change is affecting not only the atmosphere, but the earth. From the treetops down to the soil level, plants and microorganisms have to adapt to these changes. Down to the nanometer level, researchers at the TUM School of Life Sciences are tracking these alterations. VOM BODEN BIS ZU DEN BAUMWIPFELN · Der Klimawandel verändert den Planeten – und das nicht nur in der Atmosphäre. Von den Baumkronen bis in den Boden passen sich Pflanzen und Mikroorganismen den Veränderungen an. Forscher der TUM School of Life Sciences spüren diesem Wandel bis in den Nanometer-Bereich nach.

A climate mirror: The growth of trees reveals much about environmental conditions. For this reason, forest researchers are investigating how different tree species grow over longer periods of time and how they react to stress and human intervention. Spiegel des Klimas: Das Wachstum der Bäume verrät viel über die Umweltbedingungen. Deshalb untersuchen Forscher im Wald, wie unterschiedliche Baumarten über längere Zeiträume wachsen und wie sie auf Stress und menschliches Eingreifen reagieren.

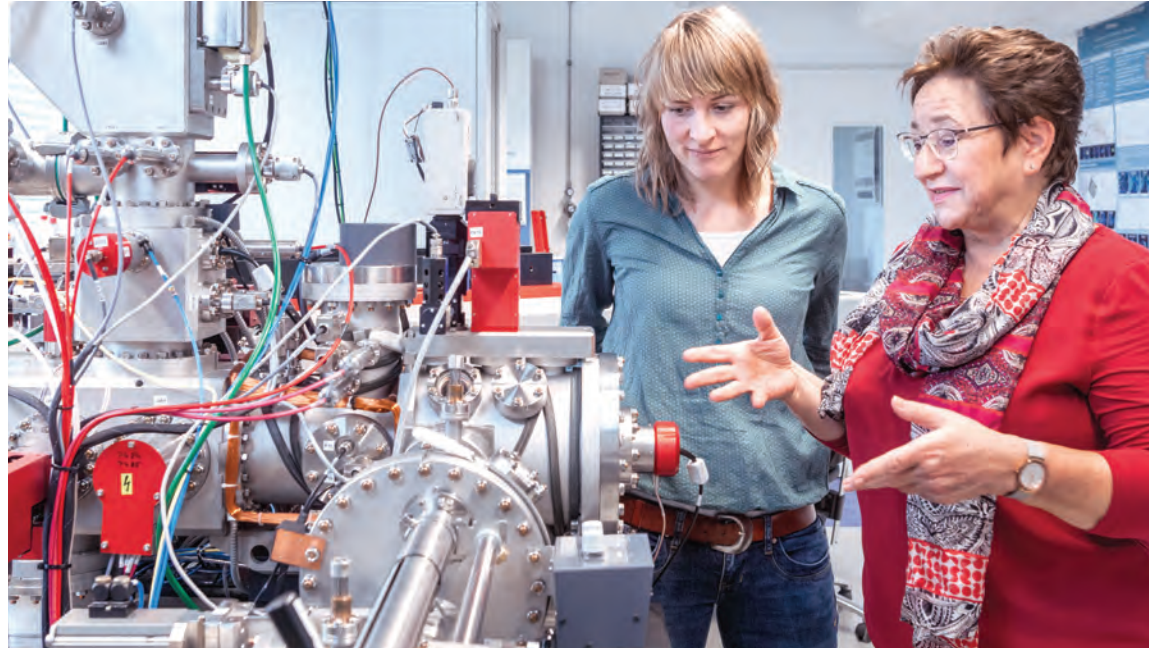


Mankind does not just live on the ground – it lives because of it. The uppermost layer of the earth is an essential resource that offers diverse habitats. However, climate change poses new challenges for both people and the environment. This is why scientists working with Professor Ingrid Kögel-Knabner – who holds the Chair of Soil Science – want their research to create the basis for the ecologically and economically sustainable use of soil. This usage is all the more important since it could also secure the world's future food supply.

The researchers are investigating soil from different ecosystems and comparing them to each other, such as soil used for agriculture and for forestry, and soil from rural environments compared with urban settings. "We are mainly looking for organic substances in the soil and want to find out more about their functions," says Kögel-Knabner. Soils are characterized by two main elements: their mineral and their organic components. "While the minerals are usually given by a parent rock, organic components can be very easily modified and thus adapted to different needs," she continues. "We want to find out how this works best for the respective soil."

The plants that are involved play an important role in this process since they change the soil conditions – depending on whether they are annual or perennial plants, for example, or whether the plants have deep or shallow roots. A big difference also becomes obvious again and again depending on whether or not plant residues are plowed into the soil. "The soil microorganisms degrade such organic plant residues, but also harvest residues or organic additives, such as liquid manure or compost, differently –

Knowledge in nanometers helps entire climate regions



High-tech provides insights to the nanometer range: The so-called NanoSIMS – an improved variant of secondary ion mass spectrometry (SIMS) – achieves resolutions of 50 nanometers and thus sets the highest international standards. Researchers from all over the world come to Ingrid Kögel-Knabner (right) and her colleagues to have soil samples analyzed. Hightech liefert Einblicke im Nanometer-Bereich: Die sogenannte NanoSIMS – eine verbesserte Variante der Sekundärionen-Massenspektrometrie (kurz SIMS) – erreicht Auflösungen von 50 Nanometern und setzt damit international höchste Standards. Forscher aus aller Welt kommen zu Ingrid Kögel-Knabner (rechts) und ihren Mitarbeitern, um Bodenproben analysieren zu lassen.

which in turn, influences the interaction with the mineral components," explains Kögel-Knabner. This means that no two soils are the same, even if they sometimes seem so at first glance. The difference lies in the small details, often only nanometers in size.

The secrets of soil thus lie in its structural composition. This determines how substances are transported, converted, and released within the soil. Modern technology is required to see the soil structure at all. In addition to hyperspectral cameras, the researchers at TUM's School of Life Sciences mainly use so-called NanoSIMS. This is an improved version of secondary ion mass spectrometry (SIMS). With this method, resolutions of 50 nanometers can be achieved. This is the size of a small virus. Thanks to this technology, the spatial arrangement of soil's organic substances can be detected and investigated. Overall, this device sets the highest research standards.

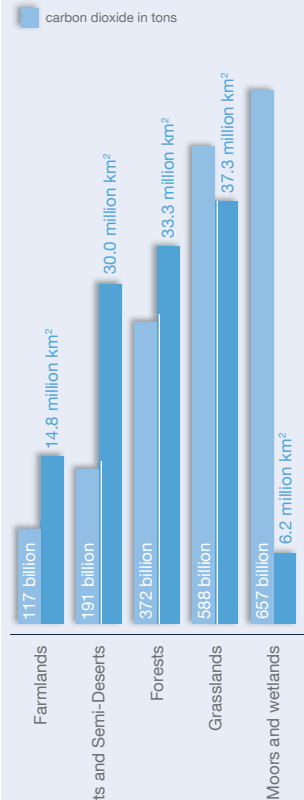
Die Menschheit lebt nicht nur auf dem Boden, sie lebt vor allem von ihm. Die oberste Schicht der Erde ist eine unverzichtbare Ressource, die zudem vielfältige Lebensräume bietet. Doch der Klimawandel stellt Mensch und Umwelt vor neue Herausforderungen. Die Wissenschaftler um Professorin Ingrid Kögel-Knabner vom Lehrstuhl für Bodenkunde wollen mit ihrer Forschung Grundlagen dafür schaffen, Böden ökologisch und ökonomisch nachhaltig nutzen zu können. Das kann auch die Ernährung der Weltbevölkerung in Zukunft sichern.

Dafür untersuchen die Forscher Böden aus verschiedenen Ökosystemen und vergleichen diese miteinander, zum Beispiel agrarisch und forstlich genutzte Böden oder Böden aus einer ländlichen Umgebung mit solchen aus der Stadt. „Wir suchen vor allem nach den organischen Substanzen im Boden und wollen mehr über deren Funktionen erfahren“, sagt Kögel-Knabner. Böden seien im Wesent-

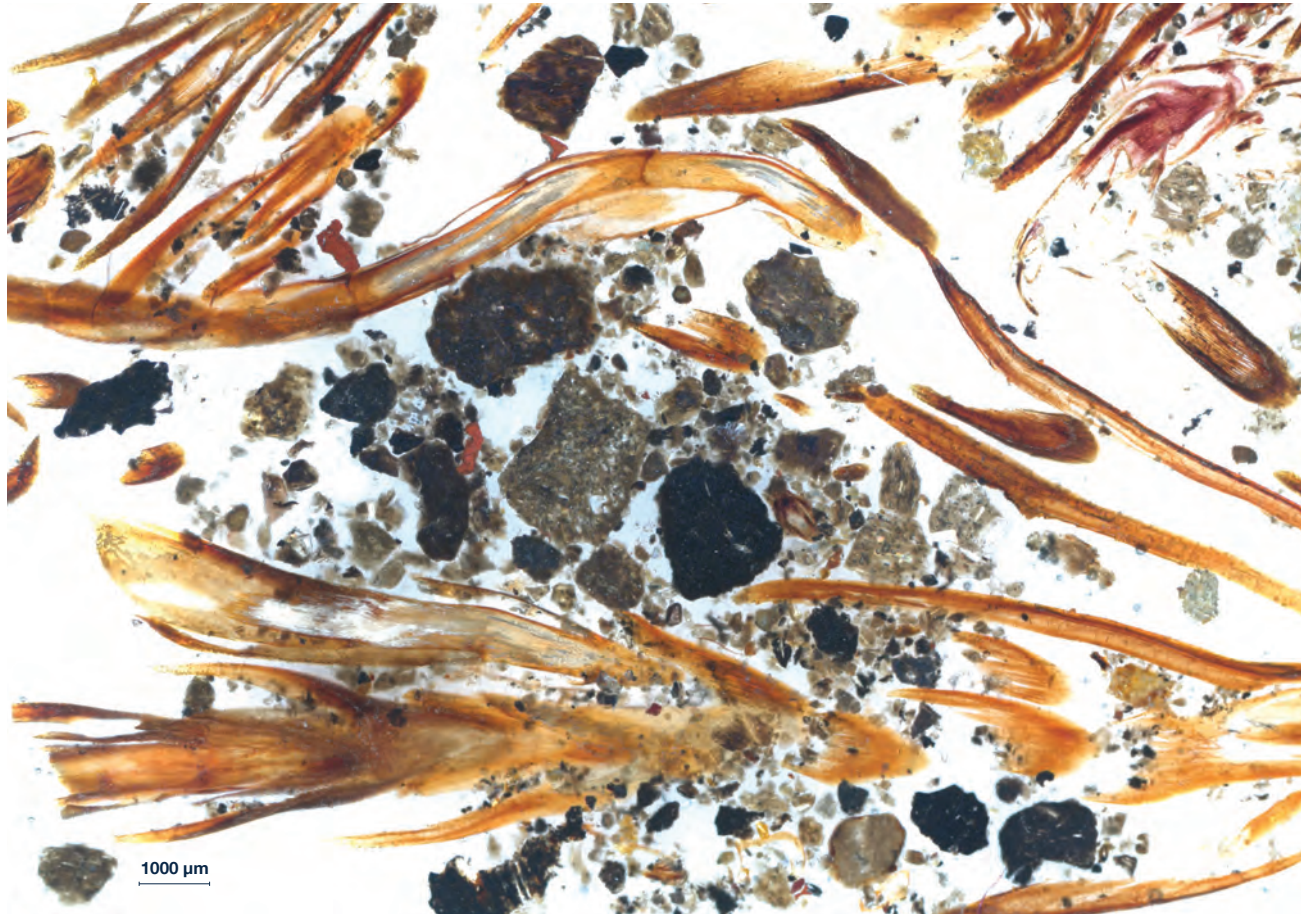
lichen durch zwei Hauptelemente gekennzeichnet: ihre mineralischen und ihre organischen Bestandteile. „Während die Mineralien durch das Ausgangsgestein meist gegeben sind, lassen sich organische Komponenten sehr gut verändern und so an unterschiedliche Bedürfnisse anpassen“, sagt die Boden-Expertin. „Wir wollen herausfinden, wie das für den jeweiligen Boden am besten funktioniert.“

Dabei spielen die beteiligten Pflanzen eine wichtige Rolle. Denn sie verändern die Voraussetzungen im Boden – je nachdem, ob es zum Beispiel ein- oder mehrjährige Pflanzen sind oder ob die Pflanzen tief oder flach wurzeln. Ein großer Unterschied werde auch immer wieder deutlich, wenn Pflanzenreste als Rückstände in den Boden eingepflügt wurden – oder nicht. „Die Bodenmikroorganismen bauen solche organischen Pflanzenreste, aber auch Ernterückstände oder organische Zugaben wie Gülle oder Kompost unterschiedlich ab – und das wiederum be-

Soil carbon storage



Source: Bodenatlas 2015



Aesthetic Antarctica: This cross section of a soil sample (left) shows the interaction of moss and soil in Antarctica. Numerous soil samples (below) from very different regions of the earth are stored at the TUM School of Life Sciences. Ästhetische Antarktis: Dieser Querschnitt einer Bodenprobe (links) zeigt die Interaktion von Moos und Boden in der Antarktis. Zahlreiche Bodenproben (unten) aus ganz unterschiedlichen Regionen der Erde lagern an der TUM School of Life Sciences.



"Researchers from all over the world come to us with their soil samples for analysis," says Kögel-Knabner. "This is because we not only have the technology

Soil projects all around the globe

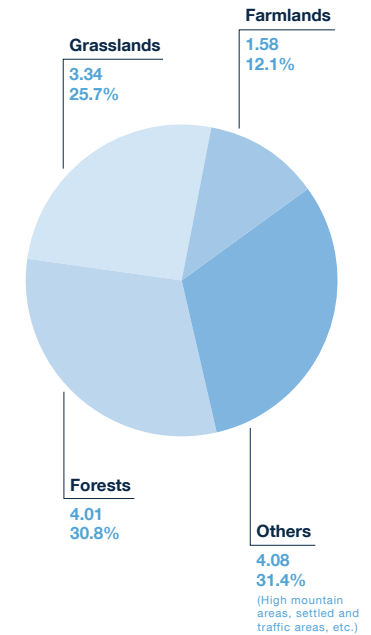
but also the competence and years of experience."

These analyses are not only helpful for basic soil research, but can often be used in practice as well. "We advise those responsible locally on what they can optimize in their soils – and how this actually works," explains Kögel-Knabner. One example is the steppe soils

in Mongolia and northern China. There, scientists are investigating increasing soil erosion due to overgrazing. They also want to understand how this erosion affects the air and dust storms in and around the region's metropolitan areas. The scientists are also concerned about another point: Besides the oceans, soils are the largest stores of the harmful greenhouse gas carbon dioxide, and soils also react to its increasing atmospheric levels. Thus, the researchers are studying why and how they exactly react; this is currently occurring in projects around the globe, from Australia to China and Brazil.

The challenges for the Chair for Forest Growth and Yield Science are – literally – rooted in the soil. The focus lies on trees: how they grow over long periods of time

Global land use in billion ha (2013)



A third of the Earth's used surfaces are covered by forests. They form one of the most important types of land use for people and nature. Ein Drittel aller genutzten Flächen sind bewaldet. Wälder sind eine der wichtigsten Nutzungsflächen für Mensch und Natur.

Source: FAOSTAT 2013

einflusst das Zusammenspiel mit den mineralischen Komponenten", erklärt Kögel-Knabner. Somit sei kein Boden wie der andere, auch wenn es auf den ersten Blick manchmal so scheine. Der Unterschied liege in den kleinen Dingen, oft Nanometer klein.

Die Geheimnisse des Bodens liegen also in ihrer strukturellen Zusammensetzung. Sie bestimmt darüber, wie Stoffe im Boden transportiert, umgesetzt und abgegeben werden. Um die Bodenstruktur

aber überhaupt sehen zu können, bedarf es modernster Technik. Neben Hyperpektralkameras verwenden die Forscher der TUM School of Life Sciences vor allem die sogenannte NanoSIMS. Das ist eine verbesserte Variante der Sekundärionen-Massenspektrometrie (kurz SIMS). Mit dem Verfahren lassen sich Auflösungen von 50 Nanometern erreichen – das entspricht der Größe eines kleinen Virus. Dank dieser Technologie lässt sich die räumliche Anordnung der organischen Substanzen im Boden



25 %

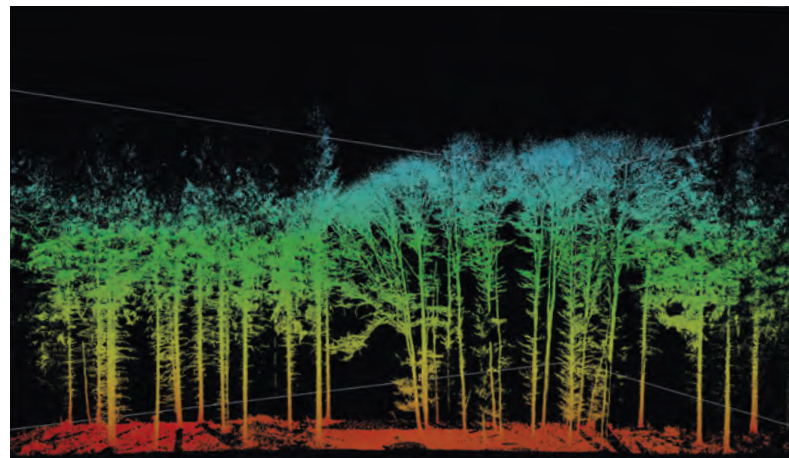
Urban trees grow 25% faster than trees in rural settings. The reason for this is the heat island effect: the temperature in cities can be between three and ten degrees Celsius higher than in rural areas. This stimulates the photosynthetic activity of the trees and extends the vegetation period. Stadtbäume wachsen um 25 Prozent schneller als Landbäume. Ursache ist der Wärmeinseleffekt: Die Temperatur in Städten kann – verglichen mit der ländlichen Umgebung – zwischen drei und zehn Grad Celsius höher sein. Das regt die photosynthetische Aktivität der Bäume an und verlängert die Vegetationsperiode.

* Source: Pretzsch, H., Biber, P., Schütze, G., Uhl, E. & Rötzer, T. Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870. Nat. Commun. 5 (2014).

and how they react to human intervention or stress. Professor Hans Pretzsch and his team create computer models that simulate tree growth in the climate of the future. "For some years now, we have also been increasingly scrutinizing trees in cities.

These trees play an important role in urban habitats by providing shade, providing humidity and filtering out particulate matter in the air." Therefore, Pretzsch is working with researchers from Brisbane, Cape Town, Hanoi, Houston and Santiago de Chile, among others. The scientists compare the growth of trees in the cities and in adjacent natural areas. "In large cities, temperatures are often higher than in the surrounding areas," says Pretzsch. Urban trees thus already show today how the trees in the surrounding forest areas will react to climate change over the next 20 years.

The researcher's calculations are based on the unique long-term experimental areas which are supervised by the Chair for Forest Growth and Yield Science. These areas have been in use since 1870, making them the world's oldest experimental tree plantations. The data from the past offers a great advantage. "We can always compare current observations with the growth behavior under past



The measurement of the forest: Wood samples under the high frequency probe head of a LIGNO-STATION™ (above). This technique gives insights into tree growth behavior in 1/100 mm resolution. Using laser scans (left), experts from the TUM School of Life Sciences are investigating, for example, how the spatial structures in the tree crowns change. Die Vermessung des Waldes: Holzproben unter der Hochfrequenzsonde einer LIGNO-STATION™ (oben). Diese Technologie erlaubt Einblicke in das Wachstumsverhalten von Bäumen in einer Auflösung von 1/100 mm. Mithilfe von Laser-Scans (links) untersuchen Experten der TUM School of Life Sciences zum Beispiel, wie sich die räumlichen Strukturen in den Baumkronen verändern.

erkennen und untersuchen. Das Gerät setzt höchste Standards: „Forscher aus aller Welt kommen mit ihren Bodenproben zu uns, um sie analysieren zu lassen“, sagt Kögel-Knabner. „Denn wir haben nicht nur die Technik, sondern auch die Kompetenz und jahrelange Erfahrung.“

Die Analysen helfen nicht nur für die Grundlagenforschung, sondern lassen sich oft gleich für die Praxis nutzen.

„Wir beraten die Verantwortlichen vor Ort, was sie an ihren Böden optimieren können – und wie das praktisch funktioniert“, erklärt Kögel-Knabner. Ein Beispiel sind die Steppen in der Mongolei und in Nordchina. Dort untersuchen die Wissenschaftler die zunehmende Erosion des Bodens durch Überweidung. Zudem wollen sie verstehen, welchen Einfluss diese Erosion auf die Luft und Staubstürme in und um die Metropolen der Region hat.

Und noch ein Punkt beschäftigt die Wissenschaftler: Böden sind neben den Ozeanen die größten Speicher des schädlichen Klimagases Kohlendioxid und reagieren ebenso auf dessen steigende Menge in der Atmosphäre. Warum und wie genau, das untersuchen die Forscher in Projekten rund um den Globus, von Australien über China bis Brasilien.

Im Boden wurzeln – buchstäblich – die Herausforderungen des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde. Hier stehen die Bäume im Mittelpunkt: wie sie über lange Zeiträume wachsen und wie sie auf menschliches Eingreifen oder Stress reagieren. Professor Hans Pretzsch und sein Team erstellen Computermodelle, die das Baumwachstum im Klima der Zukunft simulieren. „Seit einigen Jahren nehmen wir auch verstärkt Bäume in Städten unter die Lupe. Diese spielen eine wichtige Rolle für urbane Lebensräume, indem sie Schatten spenden, für Luftfeuchtigkeit sorgen und den Feinstaub aus der Luft herausfiltern.“ Dafür arbeitet Pretzsch mit Forschern unter anderem aus Brisbane, Kapstadt, Hanoi, Houston und Santiago de Chile zusammen. Die Wissenschaftler vergleichen das Baumwachstum in Städten mit dem Baumwachstum in angrenzenden Naturgebieten. „In Großstädten sind die Temperaturen oft höher als in der Umgebung“, sagt Pretzsch. Die Stadtbäume zeigten somit bereits heute, wie die Bäume der umliegenden Waldgebiete auf die Klimaentwicklung in den kommenden 20 Jahren reagieren werden. Grundlage für die Berechnungen sind die einzigartigen Dauerversuchsflächen, die vom Lehrstuhl für Waldwachstumskunde betreut werden. Die Versuchsflächen bestehen bereits seit 1870 und sind damit



”

**My favorite challenge:
To interest young
scientists and make them
burn for research.
Meine liebste Herausfor-
derung: Junge Wissen-
schaftler für meine
Themen zu interessieren
und dafür ‚zum Brennen
zu bringen‘.**

Professor Hans Pretzsch,
Forest Growth and Yield Science



Trees in cities and forests: Both are part of the research at the TUM School of Life Sciences. The urban trees show how the trees of the surrounding forest areas will react to climate change in the coming years. Bäume in Stadt und Wald: Beide sind Teil der Untersuchungen an der TUM School of Life Sciences. Die Stadtbäume zeigen, wie die Bäume der umliegenden Waldgebiete auf die Klimaentwicklung in den kommenden Jahren reagieren werden.

climate constellations and thus detect changes,” explains Pretzsch. Equipped with this expertise, he and his colleagues advise scientists and practitioners worldwide. Another project focuses on a comparison between tree growth of monocultures and mixed forests in different climate regions. Depending on the location, these investigations showed that mixed forests grow on average 20 to 30 percent more, bind more carbon dioxide and are more stable to withstand external influences. Tree species choice is crucial because complementary species interact better than similar ones. “For example, we have found that larch and beech harmonize well with each other because they occupy different ecological niches,” says Pretzsch. Spruce and Douglas fir, on the other hand, are very similar and can therefore hardly increase their growth when placed together. Forest owners are par-

ticularly interested in these findings, as they can often only be convinced of the benefits of growing mixed forests if they are shown so explicitly. But they are not the only ones to profit from the research results: Mixed forests are a natural protection against climate change and can adapt much better to the changing environmental conditions – and if the forest is doing well, then humans benefit also. ■

die ältesten Untersuchungsflächen für Bäume weltweit. Die Daten aus der Vergangenheit bieten einen großen Vorteil: „Wir können aktuelle Beobachtungen stets mit dem Wachstumsverhalten unter vergangenen Klimakonstellationen vergleichen und so Veränderungen feststellen“, erklärt Pretzsch. Ausgestattet mit dieser Expertise beraten er und seine Kollegen andere Wissenschaftler und Praktiker weltweit. Ein weiteres Projekt befasst sich mit dem Vergleich des Baumwachstums von Monokulturen und Mischwäldern in unterschiedlichen Klimaregionen. Je nach Standort ergaben die Untersuchungen dabei, dass Mischwälder durchschnittlich 20 bis 30 Prozent mehr wachsen, mehr Kohlenstoffdioxid binden und stabiler gegenüber äußeren Einflüssen sind. Entscheidend sind auch die Baumarten, denn komplementäre Arten ergänzen sich besser als ähnliche.

„Wir haben zum Beispiel festgestellt, dass Lärche und Buche gut miteinander harmonieren, da sie verschiedene ökologische Nischen besetzen“, sagt Pretzsch. Fichte und Douglasie hingegen seien sich sehr ähnlich und könnten ihr Wachstum in Mischung deshalb kaum steigern. An diesen Erkenntnissen sind vor allem Waldbesitzer interessiert, die sich oft nur vom Anbau von Mischwäldern überzeugen lassen, wenn der Nutzen aufgezeigt wird. Doch nicht nur sie profitieren von den Forschungsergebnissen: Mischwälder sind ein natürlicher Schutz gegen den Klimawandel und können sich wesentlich besser an die veränderten Umweltbedingungen anpassen – und wenn es dem Wald gut geht, dann gewinnt auch der Mensch dabei. ■