

Link

[www.oekoklimatologie.wzw.tum.de](http://www.oekoklimatologie.wzw.tum.de)

# Alpenwälder in Gefahr

Wissenschaftler im Brandlabor des Fachgebiets für Ökoklimatologie in Freising experimentieren mit Streuproben verschiedener Feuchtigkeitsstufen. Die Daten helfen Forstbehörden, die Waldbrandgefahr in Beständen besser abzuschätzen



Extreme Wetterereignisse wie Dürren oder Waldbrände bedrohen auch unsere Regionen. Im Herbst 2011 brannte es am Nordufer des Sylvensteinspeichers tagelang. Ein ungewöhnliches Ereignis für diese Jahreszeit

Seit Wochen hatte es nicht geregnet, es war so trocken, dass der Boden staubte. Und dann standen 14 Hektar in Flammen. Rauchschwaden deuteten auf das Drama hin, das sich am Bergrücken abspielte. Obwohl vier Hubschrauber Löschwasser aus einem Stausee herant transportierten, gelang es der Feuerwehr erst nach Tagen, die Brände zu löschen.

Das bekannte allsommerliche Waldbrandszenario aus dem Mittelmeerraum? „Im Gegenteil, das alles hat sich vor rund einem Jahr am Nordufer des Sylvensteinspeichers abgepielt. Und es wäre falsch, das Ereignis als einmaligen Vorgang abzutun“, warnt Prof. Annette Menzel. Die Leiterin des TUM Fachgebiets für Ökoklimatologie ist Koautorin des letzten Sachstandberichts des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), jenes Berichts aus dem Jahr 2007, der dokumentiert, dass die vom Menschen verursachte Erwärmung bereits nachweisbare Folgen in der Natur hatte. ▶

Klimastationen, wie hier am Schachen, gibt es in den Bayerischen Alpen nicht viele. Sie liefern wichtige Daten, anhand derer die Forstbehörden und Feuerwehren die Waldbrandgefahr besser abschätzen können



Foto: Schuster

Folgenreicher aber werden Extremereignisse wie Hitzewellen oder Dürren sein, deren Häufigkeit und Intensität sich ändern, sodass nie da gewesene Situationen auftreten könnten.

Annette Menzel, die auch eine Forschungsgruppe am Institute for Advanced Study (TUM-IAS) betreut, und ihre Mitarbeiter haben sich intensiv mit den Auswirkungen des Klimawandels auf die Umwelt befasst. Und sie wissen: Die globale Erwärmung hat auch Folgen für das Ökosystem Alpen. „Diese sensible Region muss sich künftig auf extreme Wetterphänomene einstellen.“ Menzels Analyse der Daten von 25 Klimastationen ergab, dass im gesamten Alpenraum die Temperatur von 1951 bis 2010 zwischen 1,1 und 1,7 °C angestiegen ist. Der Jahresniederschlag hat lediglich in den Südalpen um acht Prozent abgenommen. Gleichzeitig haben die Waldbrandgefahr und die Anzahl der Tage mit hohem Gefahrenpotenzial überall – vor allem in den südlichen Alpen – signifikant zugenommen. Das heißt aber nicht, dass

es für die nördlichen Alpen Entwarnung gibt: „Der Trend ist eindeutig: In den Bayerischen Alpen hat zwar die Zahl der Feuer abgenommen, dafür besteht aufgrund veränderter klimatischer Verhältnisse eine erhöhte Waldbrandgefahr“, berichtet Annette Menzel. Wer bislang glaubte, Waldbrände entstünden nur im Frühjahr oder Sommer, muss angesichts der neuen Extreme umdenken. Künftig kann die Landschaft ebenso im November oder schon im Februar Feuer fangen, wenn noch kein Schnee liegt oder frisches Grün noch nicht nachgewachsen ist.

#### **Die meisten Feuer entstehen am Boden**

Nur während der Waldbrandsaison von März bis Oktober stellt der Deutsche Wetterdienst täglich aktualisierte Waldbrandgefahrenindizes für Deutschland bereit. Wie groß ist aber die Gefahr in untypischen Jahreszeiten oder im Alpenraum, der durch Klimastationen schlecht abgedeckt ist? Gibt es baumartenspezifische Unterschiede? Für Forstbe-

**Umweltforschungsstation Schneefernerhaus (UFS)**

Deutschlands höchstgelegene Forschungsstation unterhalb des Zugspitzgipfels bietet Wissenschaftlern eine einzigartige Infrastruktur im hochalpinen Raum. Sie erlaubt beispielsweise eine kontinuierliche Klima- und Atmosphärenbeobachtung, die Früherkennung von Naturgefahren oder Arbeiten im Bereich Umwelt- und Höhenmedizin. Ebenso stehen die Folgen des Klimawandels im alpinen Raum mit drastischen Veränderungen der Biodiversität oder der Gletscher und Permafrostgebiete im Fokus der UFS.

Die Station wird unter Federführung des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit von einem Konsortium aus renommierten Forschungseinrichtungen (Umweltbundesamt, Deutscher Wetterdienst, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Technische Universität München, Karlsruher Institut für Technologie, Ludwig-Maximilians-Universität München, Helmholtz Zentrum München, Max-Planck-Gesellschaft, Universität Augsburg) als „Virtuelles Institut“ betrieben.

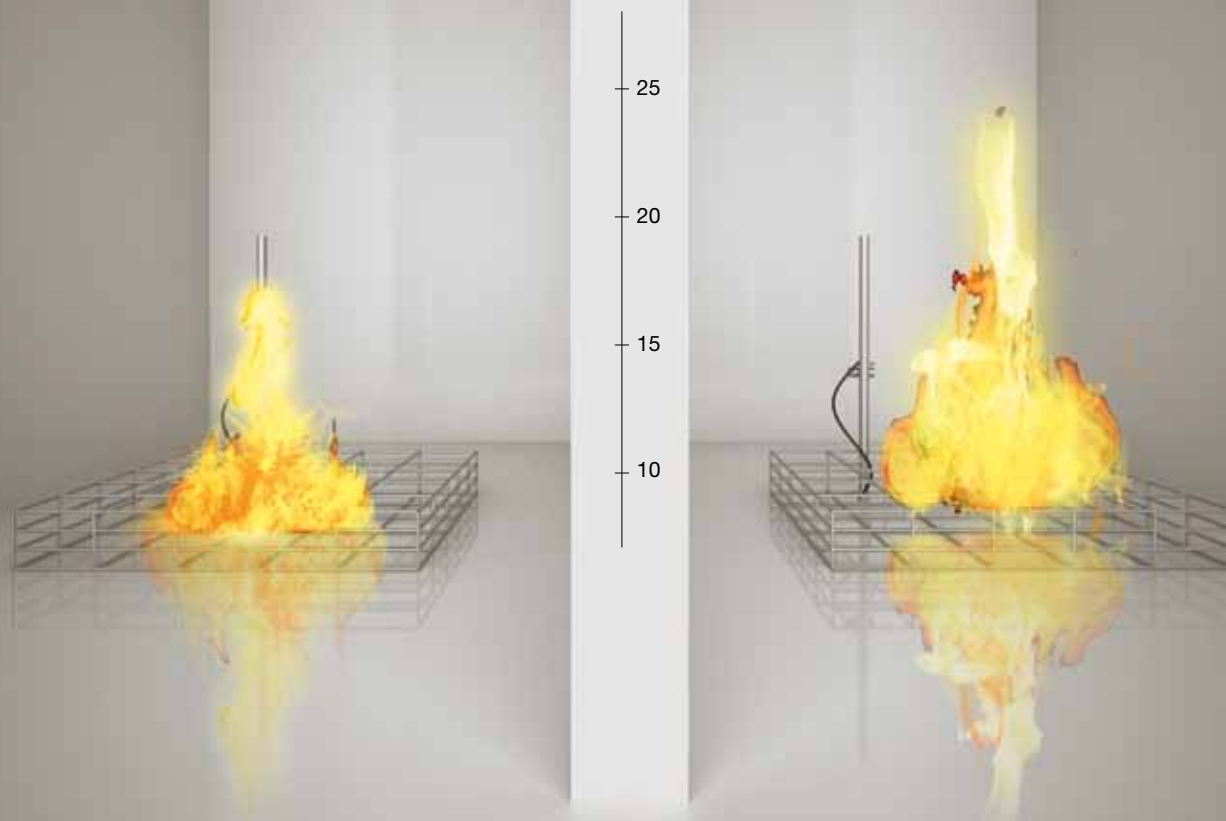
hörden sind solche ergänzenden Informationen wichtig, um die aktuelle Waldbrandgefahr operationell abzuschätzen und entsprechende Vorbereitungen zu treffen.

Deshalb stehen in einem Forschungsprojekt die Trockenheit des Waldbodens, in der Fachsprache Streufeuchte genannt, und ihre Entzündbarkeit im Mittelpunkt. Dafür wird Material an ausgesuchten bayerischen Standorten vom Boden gesammelt. „Die meisten Feuer entstehen am Untergrund – etwa durch Autos über die Wärmestrahlung von Katalysatoren oder heiße Bremscheiben-Partikel. Als Entzündungsquellen kommen auch offene Feuer, weggeworfene Streichhölzer oder Zigarettenkippen infrage“, erklärt Versuchsleiter Christian Schunk.

**Brandversuche mit Streuproben**

In der Klimakammer am Campus Weihenstephan stehen in den Regalen Schälchen mit Laub von Buche und Eiche sowie Nadeln von Fichte und Kiefer bereit. Sie sind für die gut

isolierte Brandkammer im Nachbarlabor bestimmt. Diesmal liegen Buchenblätter auf der Glasoberfläche einer Heizplatte, deren elektrische Wendel Wärmestrahlung produzieren. Über eine verglaste Wandöffnung lässt sich beobachten, wie sich brennbare Gase bilden und an einer externen Quelle entzünden. Wie stark sich Baumart und Trockenheitsgrad der Streu auf das Brennverhalten auswirken, machen die Videoaufzeichnungen der Entzündungsversuche deutlich, anhand derer die Zeit bis zur Entzündung bzw. zum vollständigen Abbrand gemessen wird. Die Ergebnisse aus den Brandexperimenten sowie Vergleiche historischer Daten sollen helfen, die bisherige und künftige Brandgefahr in Bayerns Wäldern besser abzuschätzen. Derzeit testen die Experten verschiedene Brennstoffeuchte- und -temperatursensoren an den Waldklimastationen der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. Die Messfühler erlauben künftig ein dauerhaftes automatisiertes Monitoring der Streufeuchte im Alpenraum. ▷



Im Brandlabor werden unterschiedliche Streuproben – Blätter, kleine Zweige oder Nadeln der Waldbäume – abgebrannt. Die Grafik veranschaulicht unterschiedliche Flammenhöhe und -ausbreitung

Die Auswirkungen des extrem trockenen Herbstes 2011 sind in einem weiteren Projekt des Fachgebiets Ökoklimatologie dokumentiert. An vier Höhengradienten im Werdenfelser Land unterhalb der Zugspitze untersucht Doktorandin Christina Schuster die Phänologie und das Zuwachsverhalten von Baumarten im Bergmischwald. Bei ihrem wöchentlichen Monitoring hat sie den Austrieb der Bäume und das Ende der Vegetationsperiode sprichwörtlich erlaufen: Rechnet man die Höhenmeter ihrer Touren zusammen, dann wäre sie achtmal auf dem Mount Everest gewesen. Um bis zu sechs Tage pro 100 Höhenmeter bewegt sich die „grüne Welle“ im Frühjahr nach oben, hat die Geoökologin festgestellt. Im Herbst startet die Gelbfärbung in den Hochlagen und pflanzt sich mit rund zwei Tagen pro 100 Höhenmeter nach unten fort.

Die häufigen Inversionslagen mit hohen Temperaturen und fehlendem Niederschlag oberhalb des kalten, nebelreichen Talbodens drehten im vergangenen Herbst die Verhältnis-



Foto links: Seidel; Fotos rechts: Schuster; 3-D-Grafik oben: edlundsepp

**Unten linke Seite: 5000 Kiefern Sämlinge** werden im Gewächshaus Trockenstress ausgesetzt. Die Untersuchung verschiedener Provenienzen der Kiefern, auch aus dem trocken-warmen Mittelmeerraum, soll zeigen, welche Herkünfte unter zukünftigen Extremereignissen potenziell geeignet bzw. ungeeignet sein könnten

**Unten: Dünnschnitte** von horizontal entnommenen Holzproben zweier Fichten auf 800 Metern über Normalnull vom Mai 2011 in 6,3-facher Vergrößerung. Sichtbar sind (von links): Rinde, Phloem, Kambium, Xylem des Jahrrings 2011, Xylem des Jahrrings 2010 und Spätholz 2009 bzw. nur das Spätholz 2010 (rechtes Bild)

se komplett um: kahle Bäume in Garmisch-Partenkirchen und noch verfärbtes Laub in 1400 Meter Höhe. Auch das wöchentlich neu gebildete Holz zeigt an, dass Beginn und Dauer der Wachstumsperiode sowie die Breite des Gesamtjahrrings deutlich von der Temperatur beeinflusst werden. Die saisonale Aktivität der Vegetation lässt sich auch an den verschiedenen Messungen ablesen, die Wissenschaftler auf der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus UFS (siehe Kasten Seite 33) in 2650 Meter Höhe am steilen Südhang des Zugspitzgipfels durchführen. Die atmosphärische Kohlendioxidkonzentration ( $\text{CO}_2$ ) nimmt im Laufe des Sommers durch die Fotosynthese der Biosphäre ab; ebenso ändern sich die Verhältnisse von stabilen Kohlenstoffisotopen ( $\Delta^{13}\text{C}$ ).

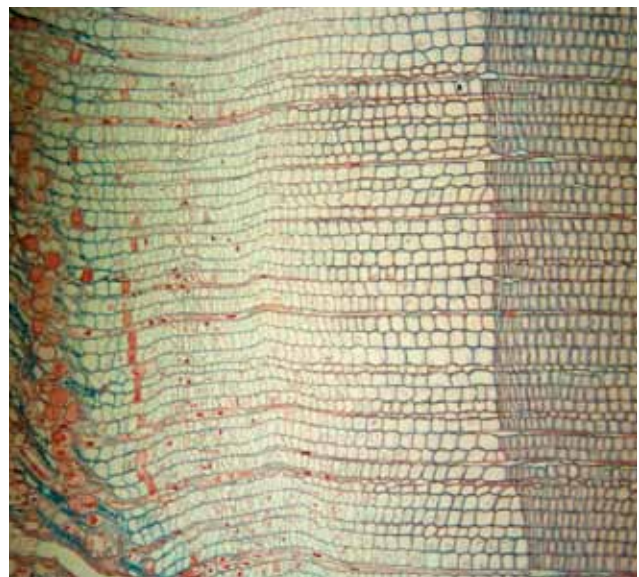
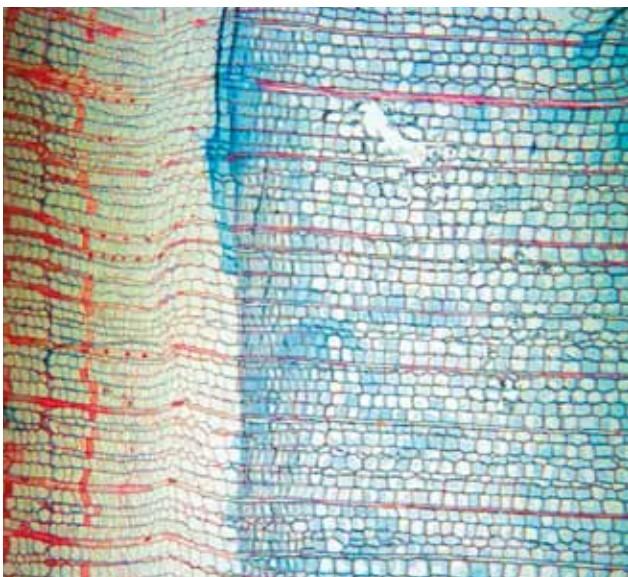
#### **Trocken- und Hitzestress im Gewächshaus**

Wie können Auswirkungen von zukünftigen neuen Extremereignissen systematisch untersucht werden? Hier helfen nur Experimente: Im TUM Gewächshauslaborzentrum Dürnast stehen 5000 getopfte Kiefern Sämlinge aus zwölf verschiedenen europäischen Herkunftsgebieten im arrangierten Trocken- und Hitzestress. Die Kiefern aus dem Wallis, die

in der trockenen Südschweiz vielfach absterben, sind auch hier nur schlecht aufgelaufen. Und draußen im Freilandexperiment weist eine mobile Schwimmbadüberdachung, der Rain-out-Shelter, auf die Behandlungsvariante Trockenstress hin. Kein Regen mehr seit Ende Mai und zwei Grad Erwärmung durch eine ausgetüftelte Warmwasserheizung genau über der Bodenoberfläche haben im September nur wenig sichtbaren Schaden bei den Kiefern hinterlassen. Anfang November wird die ober- und unterirdische Biomasse geerntet, wobei die genaue Erfassung von Nährstoffgehalten und stabilen Isotopen mehr Aufschluss gibt.

#### **Die Pollenmenge steigt**

Extreme Wetterphänomene mit Trockenheit oder Starkregen sind nicht die einzigen Auswirkungen der globalen Erwärmung. Für Allergiker sind die Nachrichten ebenfalls nicht gut: Die Pollenmenge in Europa steigt. „Das liegt daran, dass die höhere Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre wie ein Dünger auf die Pflanzen wirkt: Sie begünstigt Blütenbildung und die Pollenproduktion“, erläutert Annette Menzel. Ihr Team hat die Pollentrends aus 13 ▷





**Annette Menzel hat den Wald im Blick.** Die Ökoklimatologin interessiert sich insbesondere für die Auswirkungen des Klimawandels auf das Ökosystem Wald. Extreme Klimaereignisse wie Dürren, Spätfröste oder Waldbrände werden infolge der Klimaerwärmung häufiger auftreten

europäischen Staaten ausgewertet. Für knapp 1200 Pollenzeitreihen über einen Zeitraum von zehn Jahren haben die Wissenschaftler jährliche Pollenindizes berechnet. Die Ergebnisse: In Metropol-Regionen nahm die Pollenmenge um drei Prozent, in ländlichen Gebieten um ein Prozent zu. Dass der Zuwachs der Pollenmenge in Städten größer ist, mutmaßen die Klimaforscher, könnte ebenfalls an den höheren Kohlendioxidkonzentrationen dort liegen. Luftschadstoffe, Mikropartikel und andere allergene Substanzen fahren auf den Pollen „huckepack“, und deshalb ist die Allergiebelastung der Stadtbewohner höher.

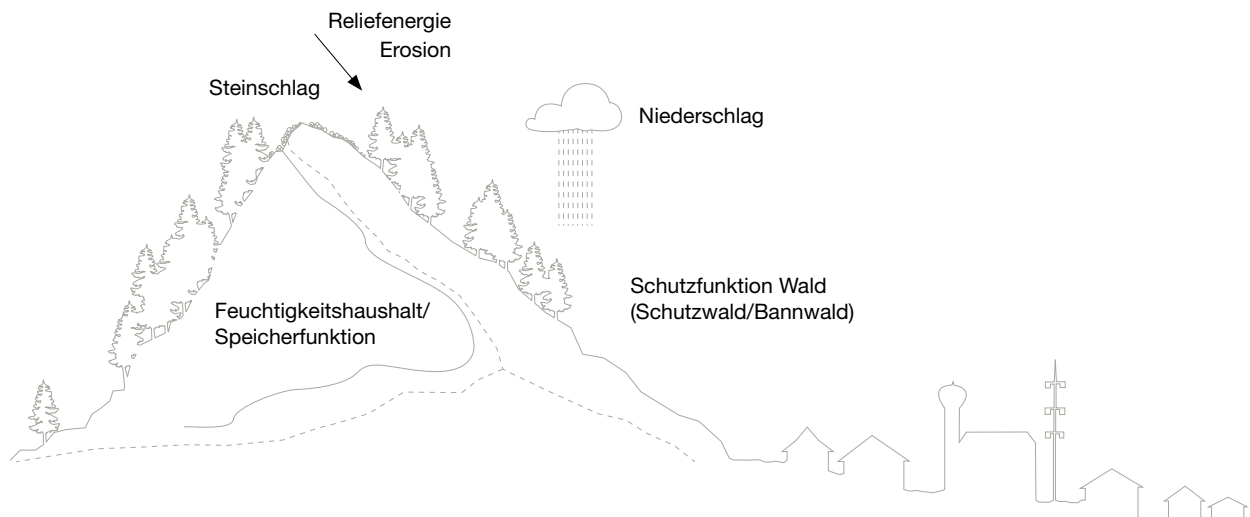
„Über die absoluten Pollenmengen können wir nichts sagen. Aber die Daten zeigen, wohin der Trend bei der Entwicklung der Pollenmenge geht: Allergiker müssen mit einer höheren Belastung rechnen“, stellt Annette Menzel fest. Sind die Menschen auf dem Land besser dran? „Städte bilden das Szenario ab, das sich künftig in ländlichen Gegenden abzeichnen wird“, bedauert die Wissenschaftlerin.

Demnächst müssen die Menschen verstärkt mit Spätfrostergebnissen, Dürren, Stürmen oder Waldbränden rechnen, prognostizieren die Klimaforscher. In ihrem von der EU mit 1,5 Millionen Euro geförderten European Research Council Starting Grant „E3 – Extreme Event Ecology“ wird Annette Menzel die Auswirkungen solcher Extremereignisse auf die Vegetation interdisziplinär untersuchen. Mit optimierten mathematischen Beschreibungen von Extremen möchten die Forscher vergangene und zukünftige Risiken besser abschätzen. Experimente sollen helfen, die kritischen Schwellenwerte zu ermitteln und geeignete Baumartenherkünfte für den Wald der Zukunft auszuwählen. Vielleicht gelingt es sogar, anhand von Emissionsmustern biogener flüchtiger Substanzen den individuellen Stress zu charakterisieren. Im Hinterkopf hat Annette Menzel immer die Frage, „welche neuen Konzepte nötig sind, um die Vegetation – sei es in der Stadt oder den Alpen – an die sich zu schnell ändernden Klimabedingungen richtig anzupassen“. *Evdoxia Tsakiridou*

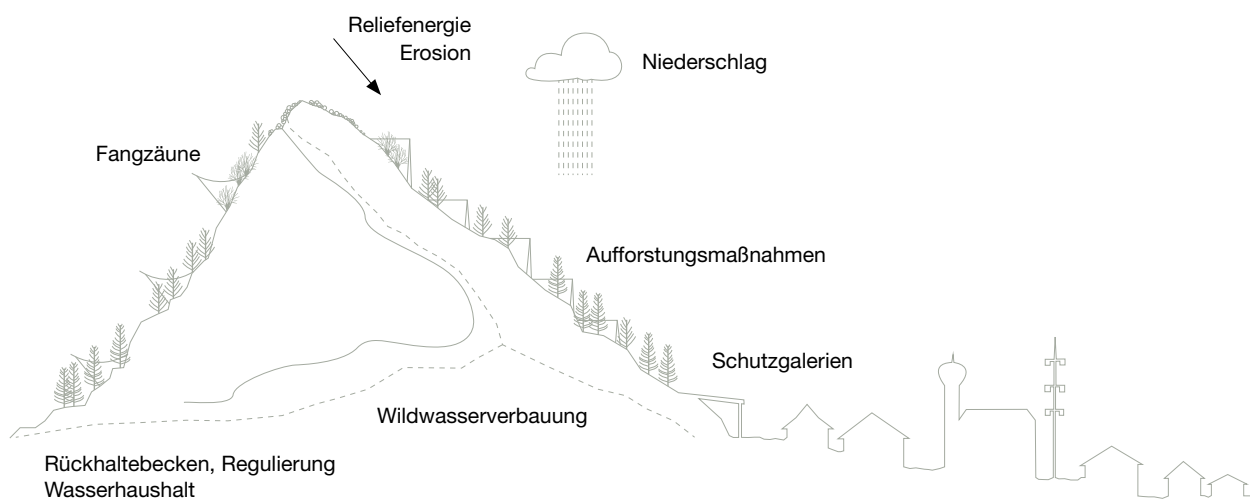


## Schutzwaldmanagement in den Alpen

### Schutzfunktion Wald



### Aufforstung und technische Schutzmaßnahmen



Bergwälder bieten Erholung und Naturgenuss, sind Lebensraum für viele gefährdete Arten und ermöglichen die Nutzung des nachwachsenden Rohstoffes Holz. Gleichzeitig erfüllen die bewaldeten Bergrücken eine äußerst wichtige ökologische Funktion: Neben dem Schutz vor Erosion reguliert der Bergwald den natürlichen Wasserhaushalt im Gebirge und speichert zugleich klimaschädliches Kohlendioxid.

Von den rund 250.000 Hektar Bergwald in den Bayerischen Alpen sind knapp zwei Drittel Schutzwald. Dieser Wald oberhalb von Dörfern, Straßen und Schienen schützt die Talbewohner vor Felsstürzen, Murenabgängen, Lawinen und Hochwasser. Über 1,3 Millionen Menschen leben und arbeiten im bayerischen Al-

penraum, rund 4,5 Millionen Urlaubsgäste sowie unzählige Tagesausflügler besuchen die Bergwelt. Sie alle sind mehr denn je auf intakte und leistungsfähige Bergwälder angewiesen.

Wird Schutzwald großflächig zerstört – beispielsweise durch Waldbrand oder Windwurf –, sind teure Maßnahmen nötig, um die Schutzwirkung wieder herzustellen. Langfristig kann der Wald aufgeforstet werden, doch bis die Bäume nachgewachsen sind, müssen technische Maßnahmen wie Fangzäune, Lawinerverbauungen, Schutzgalerien oder Wasserrückhaltebecken die Schutzfunktion des Waldes übernehmen. Waldpflege ist zwar recht teuer, aber immer noch 10 bis 30 Mal kostengünstiger als der Bau und Unterhalt von technischen Schutzmaßnahmen.