


Verborgene Vielfalt

Die unsichtbare Welt der Pilze



© J. Häusler & T. Nummer

Dieses Projekt wird durch den Biodiversitätsfonds des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Klima- und Umweltschutz, Regionen und Wasserwirtschaft gefördert.

 Bundesministerium
Land- und Forstwirtschaft,
Klima- und Umweltschutz,
Regionen und Wasserwirtschaft



Finanziert von der
Europäischen Union
NextGenerationEU

bio
diversitäts
fonds


Nationalpark
Thayatal 

Eine verborgene Welt unter unseren Füßen

Wer durch einen Wald geht, nimmt vor allem wahr, was sichtbar ist: mächtige Bäume, Moose, Farne oder vielleicht einen Pilz am Wegesrand. Doch unter jedem Schritt verbirgt sich eine zweite Welt – verborgen, hochkomplex und für das Leben an der Oberfläche unverzichtbar.

Im Boden leben Milliarden Organismen in einem eng verflochtenen Netzwerk. Besonders Pilze spielen dabei eine zentrale Rolle. Sie zersetzen Holz und Laub, bilden Humus, versorgen Pflanzen mit Nährstoffen und beeinflussen die Speicherung von Kohlenstoff im Boden.

Viele Pilze leben in enger Symbiose mit Pflanzenwurzeln und bilden riesige unterirdische Netzwerke. Andere spezialisieren sich auf abgestorbenes Holz, extreme Trockenstandorte oder alpine Böden. Manche Arten erscheinen nur wenige Tage pro Jahr an der Oberfläche, viele bleiben ihr gesamtes Leben unsichtbar im Boden verborgen. Trotz ihrer enormen Bedeutung zählen Bodenpilze bis heute zu den am wenigsten erforschten Organismengruppen Europas.

Die Studie „MetaFung“ widmete sich deshalb einer Welt, die lange Zeit kaum sichtbar war. Mithilfe moderner DNA-Methoden untersuchte ein Forschungsteam die Pilzvielfalt in Österreichs Großschutzgebieten. Ziel war es, die verborgene Biodiversität der Böden sichtbar zu machen und besser zu verstehen, welche Rolle sie für funktionierende Ökosysteme spielt.

Die Ergebnisse eröffnen faszinierende Einblicke in eine Welt, die lange Zeit weitgehend im Verborgenen lag.





Inhalt

Unter der Oberfläche	Seite 6
Die Schutzgebiete	Seite 10
Die Methodik	Seite 28
Die Ergebnisse	Seite 34
Ausblick	Seite 40
Die wichtigsten Erkenntnisse im Überblick	Seite 42



Unter der Oberfläche

Ohne Pilze kein Leben

Im Boden befindet sich eine verborgene Welt. Bodenpilze gehören darin zu den zentralen Akteuren, besonders in naturnahen Lebensräumen. Sie prägen den Abbau organischer Substanz, die Bildung von Humus und den Kreislauf der Nährstoffe. Ohne Pilze gäbe es keinen gesunden Boden – und kein Leben, wie wir es kennen. Manche Arten gehen Symbiosen mit Pflanzen oder Tieren ein, andere jagen sogar kleine Bodentiere wie Fadenwürmer und Springschwänze. Viele dieser Vorgänge spielen sich unter der Erde ab und bleiben für das menschliche Auge unsichtbar.

Um mehr Licht ins Dunkel zu bringen, entwarf der Nationalpark Thayatal gemeinsam mit dem Mykologen Alexander Urban das Konzept für eine österreichweite

Pilotstudie. Umgesetzt wurde sie mit allen sechs österreichischen Nationalparks – vom Neusiedler See bis zu den Hohen Tauern – sowie dem Wildnisgebiet Dürrenstein-Lassingtal und dem Biosphärenpark Wienerwald.

Ziel der Untersuchung war es, mithilfe innovativer DNA-Analysen erstmals einen umfassenden Überblick über die Pilzgemeinschaften in den Böden der Schutzgebiete zu liefern und gleichzeitig die Grundlage für ein langfristiges Biodiversitätsmonitoring zu schaffen. Denn obwohl Pilze für funktionierende Ökosysteme unverzichtbar sind, ist über viele Bodenpilze bis heute erstaunlich wenig bekannt. Welche Pilzarten kommen in den Schutzgebieten vor? Wie groß ist ihre Vielfalt? Welche Lebensräume beherbergen besonders viele oder seltene Arten? Und wie wirken sich

Umweltveränderungen auf die Lebensgemeinschaften im Boden aus? Um Antworten auf diese Fragen zu finden, wurden Bodenproben aus den verschiedenen Schutzgebieten vom Austrian Institute of Technology (AIT) untersucht und die genetischen Spuren der darin vorkommenden Pilze analysiert. Insgesamt wurden 320 Bodenproben ausgewertet und dabei 15.695 genetisch unterscheidbare Einheiten (OTUs) nachgewiesen. 5.101 davon konnten vorläufig einer bekannten Pilzart zugeordnet werden. Ergänzend wurden vom Bundesforschungszentrum für Wald (BFW) Bodenanalysen durchgeführt.

Die Vielfalt der Pilze beruht auf ihrer außergewöhnlichen Spezialisierung. Kaum eine ökologische Nische ist zu klein, kaum ein Lebensraum zu ungewöhnlich, als dass er nicht

von Pilzen besiedelt würde. Viele Arten stellen jedoch ganz besondere Ansprüche an ihren Lebensraum und reagieren empfindlich auf Veränderungen. Wenn Lebensräume unter Druck geraten oder verschwinden, gehen mit ihnen auch unzählige Tier-, Pflanzen- und Pilzarten verloren.

Schutzgebiete sind deshalb wichtige Rückzugsräume für bedrohte Arten. Doch auch sie bleiben von den Folgen des Klimawandels nicht verschont. Gletscherschmelze, Trockenheit, der Rückgang des Permafrosts oder großflächige Waldschäden verändern Lebensräume zunehmend. Die Studie MetaFung liefert eine wichtige Grundlage, um künftig besser zu verstehen, wie sich solche Veränderungen auf die Biodiversität der Pilze und Bodentiere auswirken.

Was sind Pilze überhaupt?

Der sichtbare Pilz ist nur die Spitze des Eisbergs. Der eigentliche Organismus lebt meist verborgen als feines Fadengeflecht – das sogenannte Myzel – im Boden oder im Holz.



Pilze bilden ein eigenes Reich des Lebens.
Sie sind weder Pflanzen noch Tiere, sondern bilden neben ihnen eine eigenständige große Organismengruppe.

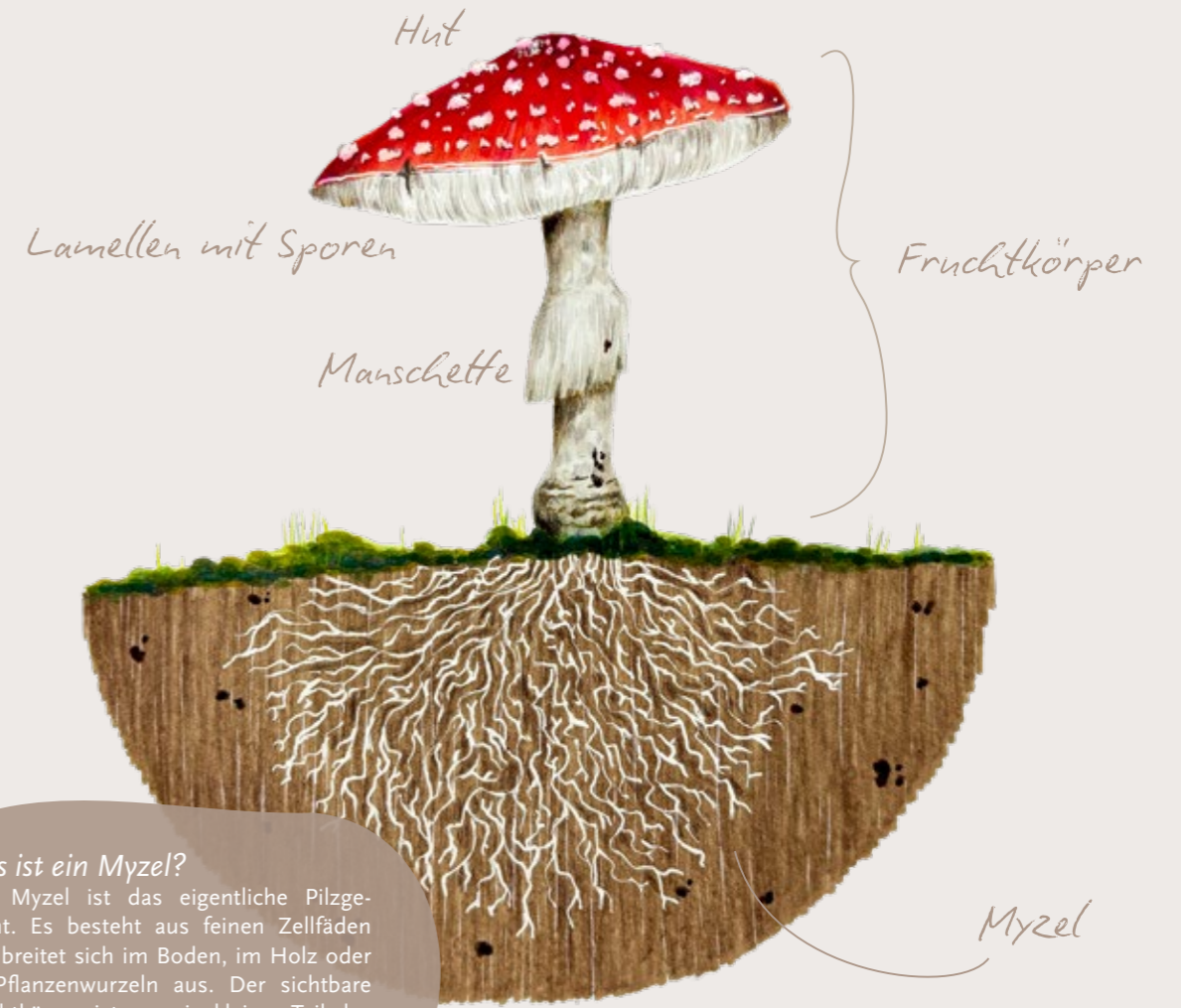
Pilze und Käfer haben etwas gemeinsam.
Die Zellwände von Pilzen enthalten Chitin – einen Strukturstoff, der auch den Hauptbestandteil der Außenskelette von Insekten, Spinnen und Krebsen bildet.



Pilze gehören zu den ältesten Bewohnern des Festlandes.
Gemeinsam mit anderen Organismen trugen sie dazu bei, Gesteine zu verwittern und die ersten Böden auf der Erde entstehen zu lassen.



Der größte bekannte Organismus der Erde ist ein Pilz.
Ein Hallimasch (*Armillaria ostoyae*) in den USA erstreckt sich über mehrere Quadratkilometer Waldfläche und ist vermutlich mehrere tausend Jahre alt.



Viele Pflanzen könnten ohne Pilze nicht überleben.
Über sogenannte Mykorrhiza-Symbiosen versorgen Pilze weltweit den Großteil aller Pflanzenarten mit Wasser und Nährstoffen.



CO₂



Was ist ein Myzel?

Das Myzel ist das eigentliche Pilzgeflecht. Es besteht aus feinen Zellfäden und breitet sich im Boden, im Holz oder an Pflanzenwurzeln aus. Der sichtbare Fruchtkörper ist nur ein kleiner Teil des gesamten Pilzes.

Pilze sind fast überall zu finden.
Ihre Sporen schweben in der Luft, befinden sich im Boden, auf Pflanzen, Tieren und sogar auf unserer Haut.



Pilzsporen können erstaunlich widerstandsfähig sein.
Viele Arten überdauern Trockenheit, Frost oder andere extreme Bedingungen über lange Zeiträume und können bei günstigen Bedingungen wieder aktiv werden.



Die Vielfalt der Pilze ist noch weitgehend unerforscht.
Weltweit sind bislang rund 155.000 Pilzarten wissenschaftlich beschrieben. Die tatsächliche Zahl wird auf mehrere Millionen Arten geschätzt.



Pilze zählen zu den wichtigsten Recycling-Spezialisten der Natur.
Sie bauen abgestorbenes Holz, Laub und andere organische Stoffe ab und machen die enthaltenen Nährstoffe wieder verfügbar.



Pilze besiedeln selbst extreme Lebensräume.
Man findet sie in Wüsten, Hochgebirgen, antarktischen Böden und sogar in stark radioaktiv belasteten Gebieten rund um Tschernobyl.



Die Schutzgebiete

Landschaften voller verborgener Vielfalt

Von den Trockenlandschaften des Ostens bis in die alpinen Hochgebirge des Westens reichen die Lebensräume der österreichischen Schutzgebiete. **Jede dieser Landschaften besitzt ihre eigene ökologische Dynamik – und ihre eigenen Pilzgemeinschaften.**

Sechs Nationalparks wirkten an der MetaFung-Studie mit, außerdem das Wildnisgebiet Dürrenstein-Lassingtal und der Biosphärenpark Wienerwald. In diesen geschützten Landschaften können natürliche Abläufe weitgehend ungestört stattfinden. Dieses Naturschutzkonzept wird als Prozessschutz bezeichnet und setzt ausreichend große, zusammenhängende Schutzräume voraus. Es bewahrt auch Arten, die in stark vom Menschen geprägten Landschaften ihren Lebensraum verloren haben oder auf Ersatzlebensräume ausweichen mussten.

Klima, Geologie, Vegetation und natürliche Prozesse formen Lebensräume, die sich oft grundlegend voneinander unterscheiden.

Die Untersuchung umfasste ein breites Spektrum österreichischer Landschaften: von gletschergeprägten Hochgebirgs- und Hügellandschaften bis zu den Auen in der Tiefebene der Donau, zur Steppenlandschaft und zu den Salzlacken des Neusiedler Sees. Diese landschaftliche Vielfalt ermöglicht auf vergleichsweise kleinem Raum eine hohe Artenvielfalt und macht Österreichs Schutzgebiete zu wichtigen Rückzugsräumen verborgener Biodiversität. Die Ergebnisse der MetaFung-Studie zeigen: Naturnahe Schutzgebiete bewahren nicht nur eindrucksvolle Landschaften, sondern auch ihre hoch spezialisierten Lebensgemeinschaften im Boden.



© BPWW - N. Novak

Biosphärenpark Wienerwald



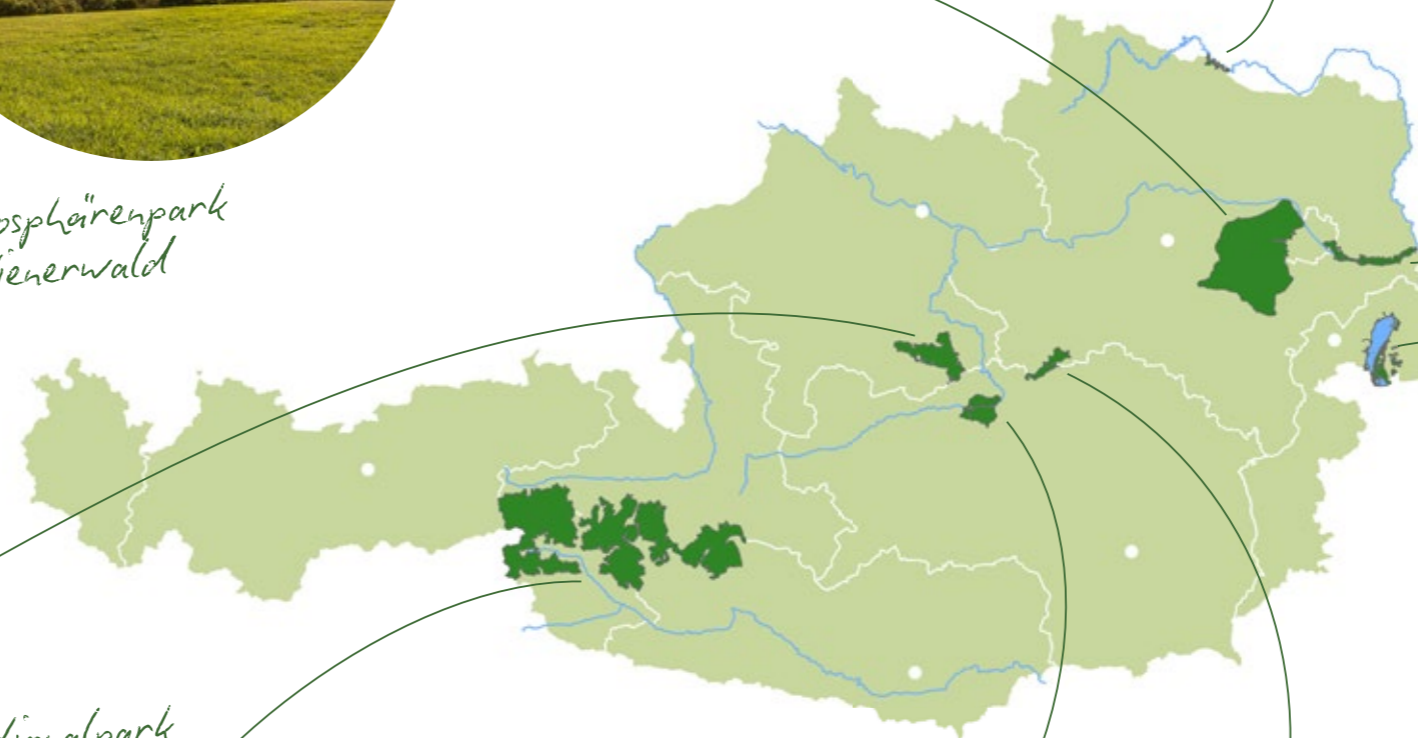
© T. Nunner

Nationalpark Thayatal



© Hill & Klepsch

Nationalpark Donau-Auen



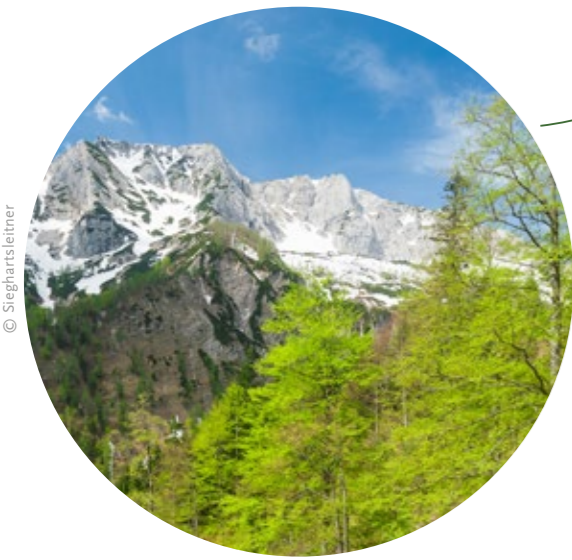
Nationalpark Hohe Tauern

Nationalpark Gesäuse



© S. Perlinger

Nationalpark Neusiedler See - Seewinkel



© Sieghartsleitner

Nationalpark Kalkalpen



© H. Marek



© S. Leitner



© D. Zupanc

Wildnisgebiet Dürrenstein-Lassingtal

Nationalpark Neusiedler See - Seewinkel

So gut. So weit.



Das Schutzgebiet am tiefsten Punkt Österreichs besteht zu fast einem Drittel aus Wasser – gleichzeitig ist es aber auch der einzige Steppennationalpark des Landes.

Der Nationalpark Neusiedler See - Seewinkel umfasst auf österreichischer Seite rund 10.000 Hektar und bildet gemeinsam mit angrenzenden Schutzgebieten Ungarns eine einzigartige Steppenlandschaft von internationaler Bedeutung. Die Landschaft ist geprägt von Schilfgürteln, Sodalacken, Trockenrasen, Feuchtwiesen und offenen Weideflächen. Extreme Trockenheit, hohe Wasser- und Temperaturschwankungen sowie salzhaltige Böden schaffen außergewöhnliche ökologische Bedingungen. Diese Besonderheiten spiegeln sich auch in den Pilzge-

meinschaften wider. Im MetaFung-Datensatz wurden im Nationalpark Neusiedler See–Seewinkel 4.139 genetisch unterscheidbare Einheiten nachgewiesen; 1.536 davon konnten vorläufig einer bekannten Art zugeordnet werden. Besonders bemerkenswert war die hohe Diversität arbuskulärer Mykorrhizapilze. Das Diversitäts- und Häufigkeitsmaximum dieser Pilzgruppe wurde innerhalb der Studie im Seewinkel festgestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass auch trockene, baumarme Landschaften eigenständige und vielfältige Pilzgemeinschaften beherbergen.



Gründungsjahr: 1993
Größe: 9.673 Hektar
Besonderer Lebensraum:
langgezogene Schilfgürtel &
Sodalacken

Nationalpark Donau-Auen

Freier Fluss – Wilder Wald.

Gründungsjahr: 1996

Größe: 9.615 Hektar

Besonderer Lebensraum: dynamische Aulandschaften

Der Nationalpark Donau-Auen bewahrt auf rund 9.600 Hektar die letzte große Flussauenlandschaft Mitteleuropas. Seiner Gründung im Jahr 1996 ging die Besetzung der Stopfenreuther Au gegen den geplanten Kraftwerksbau bei Hainburg im Winter 1984 voraus. Rund zwei Drittel der Nationalparkfläche bestehen aus Auwald; Wiesen und Gewässer prägen die übrigen Bereiche. Durch Revitalisierungsprojekte wurden Seitengewässer wieder an den Fluss angebunden und Uferabschnitte von Blockwurf befreit.

Die sehr seltenen gewordenen Auwälder mit Schwarzpappeln und Silberweiden können hier überleben, weil die ursprüngliche Flussdynamik mit Schotterflächen und Uferabbrüchen sowie der damit einhergehenden Möglichkeit für Hochwasser wiederhergestellt wird. Der feuchte Auwald ist auch ein bedeutender Lebensraum für eine vielfältige Pilzflora; ein reichliches Angebot an stehendem und liegendem Totholz ist die

Lebensgrundlage einer charakteristischen Artengemeinschaft holzersetzender Pilze. Auwälder sind besondere Wälder, die sich von anderen Waldtypen in vieler Hinsicht unterscheiden, durch ihre Verbindung zum Fluss und dessen Dynamik, und durch die besonderen, sehr charakteristischen Baumarten.

Im Nationalpark Donau-Auen ist der Anteil der Ektomykorrhiza-Pilze im Mittel geringer als in anderen walddominierten Schutzgebieten. Dieses Ergebnis lässt sich durch die relativ hohe Nährstoffverfügbarkeit im Auwald erklären, die das Gleichgewicht zwischen den unterschiedlichen Pilzartengruppen verändert. Auch für die Donau - Auen konnte nachgewiesen werden, wie wichtig Schutzgebiete für bedrohte Arten sind: Im MetaFung-Datensatz wurden 5.815 genetisch unterscheidbare Einheiten nachgewiesen; 2.072 davon konnten vorläufig einer bekannten Art zugeordnet werden.

Warum Totholz so wichtig ist
Abgestorbene Bäume zählen zu den artenreichsten Lebensräumen im Wald. Zahlreiche Pilzarten sind auf unterschiedliche Zerfallsstadien von Holz spezialisiert.

Die hier frei fließende Donau ist die Lebensader des Nationalparks – ihr dynamisches Wechselspiel der Pegelschwankungen gestaltet die Au immer wieder neu.

Biosphärenpark Wienerwald

Ein Biosphärenpark am Rande
einer Millionenstadt.

Gründungsjahr: 2005
Größe: 105.645 Hektar
Besonderer Lebensraum:
Buchen- und Eichen-Hainbuchenwälder

Der von der UNESCO ausgezeichnete Biosphärenpark Wienerwald umfasst 51 niederösterreichische Gemeinden und sieben Wiener Gemeindebezirke.

Der Wienerwald erstreckt sich über rund 105.000 Hektar, mehr als 5.000 Hektar davon entfallen auf streng geschützte Kernzonen. Seit 2005 ist er als UNESCO-Biosphärenpark anerkannt und zählt zu den größten zusammenhängenden Laubwaldgebieten Mitteleuropas. Biosphärenparks sind großräumige Modellregionen mit einer ausgeprägten Zonierung: In den Kernzonen kann sich der Wald weitgehend ohne Nutzung entwickeln, während in den Pflege- und Entwicklungszonen nachhaltige Nutzung und die Erhaltung der Kulturlandschaft im

Mittelpunkt stehen. Am Rande der Millionenstadt Wien erstreckt sich eines der größten und vielfältigsten Laubwaldgebiete Mitteleuropas. Die Erhaltung der ausgedehnten Wälder und Wiesen trotz vielfältiger Nutzungen und Begehrlichkeiten ist einer wechselvollen Geschichte zu verdanken: Die jagdliche Nutzung als herrschaftlicher Bannwald begünstigte die Bewahrung von Altbaumbeständen, wenn auch zu Lasten der Verjüngung, während der Holzkohlebedarf der wachsenden Städte, vor allem Wiens, zur Ausbreitung der Niederwaldwirtschaft führte,

ein Trend, der erst in Folge der zunehmenden Nutzung fossiler Kohle wieder umgekehrt wurde. Die Verhinderung der Privatisierung und Schlägerung großer Flächen des Wienerwalds im 19. Jahrhundert durch den Einsatz Josef Schöffels gilt als Geburtsstunde des modernen Naturschutzes in Österreich.

Der Biosphärenpark Wienerwald liegt in zwei sehr unterschiedlichen geologischen Zonen: der Flyschzone und den Nördlichen Kalkalpen. Auf den verschiedenen Ausgangsgesteinen entwickelte sich eine große Vielfalt an Böden – die Grundlage für 23 Wiesentypen, 33 Waldtypen und eine besonders vielfältige Funga. Röhrlinge (Boletaceae) und Täublinge (Russula) wachsen im Wienerwald

besonders artenreich. Im MetaFung-Datensatz wurden im Biosphärenpark 9.547 genetisch unterscheidbare Einheiten nachgewiesen; 3.173 davon konnten einer bekannten Art zugeordnet werden.


Lebensregion
Biosphärenpark
Wienerwald

Nationalpark Thayatal

Tal der Vielfalt.

Gründungsjahr: 2000

Größe: 1.360 Hektar

Besonderer Lebensraum: naturnahe Tallandschaften

Der Green Canyon Österreichs bewahrt auf nur 0,016% der Fläche Österreichs 40% der heimischen Pflanzenarten.

Der Nationalpark Thayatal bildet gemeinsam mit dem tschechischen Národní park Podyjí ein grenzüberschreitendes Schutzgebiet von außergewöhnlicher Vielfalt. Das Herzstück ist die Thaya, die sich in verschlungenem, mäandermäßigem Verlauf tief in den nordöstlichsten Teil des Granit- und Gneishochlandes eingeschnitten hat. Der Waldanteil ist im Nationalpark Thayatal mit 92 Prozent besonders hoch. Naturbelassene Wälder haben sich hier in der einstigen „Todeszone“ des Eisernen Vorhangs erhalten – das Gebiet ist ein besonders wertvoller Abschnitt des Grünen Bandes Europa. Der niederösterreichische Teil des Nationalparks umfasst 1.360 Hektar; gemeinsam mit dem tschechischen Anteil werden rund 7.700 Hektar geschützt.

Das tief eingeschnittene Tal der Thaya schafft auf engem Raum unterschiedlichste Mikroklimata

und Lebensräume. Hier treffen trocken-warme pannonische Einflüsse auf das kühl-feuchte Klima des Waldviertels. Steile Felshänge, Trockenrasen, naturnahe Waldgesellschaften und feuchte Schluchtwälder liegen dabei oft nur wenige hundert Meter voneinander entfernt.

Im MetaFung-Datensatz wurden im Nationalpark Thayatal 7.418 genetisch unterscheidbare Einheiten nachgewiesen; 2.461 davon konnten vorläufig einer bekannten Art zugeordnet werden. Zu den bemerkenswerten Funden zählen der knallrote Jura-Kelchbecherling und viele seltene Arten wie der Zierliche Klumpfuß, Täublinge und Röhrlinge gehörten im Thayatal zu den artenreichsten Gruppen der gesamten Studie. Die Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung von Übergangsräumen und kleinräumigen Mikroklimaten für spezialisierte Pilzgemeinschaften.

Nationalpark Gesäuse

Wildes Wasser. Steiler Fels.

Gründungsjahr: 2002
Größe: 12.118 Hektar
Besonderer Lebensraum:
wildes Wasser

Das Gesäuse beeindruckt nicht nur mit wildem Wasser & steilem Fels – hier befindet sich außerdem der dunkelste Ort Österreichs! In klaren Nächten kann man mit freiem Auge bis zu 6.000 Sterne sehen.

Der Nationalpark Gesäuse schützt in der Steiermark rund 12.000 Hektar. Die eindrucksvolle Berglandschaft wird hier tief von der Enns eingeschnitten. Seit der letzten Eiszeit konnten hier zahlreiche Endemiten überleben – Arten, die nur in einem kleinen Gebiet vorkommen. Mit 195 endemischen Tier- und 30 endemischen Pflanzenarten gilt das Gesäuse als Endemiten-Hotspot Österreichs. Steile Felswände, Lawinenhänge, Berg-

wälder und hochalpine Standorte schaffen auf engem Raum sehr unterschiedliche ökologische Bedingungen. Kurze Vegetationszeiten, niedrige Temperaturen und nährstoffarme Böden prägen die Lebensgemeinschaften. Einige Arten im Gesäuse wurden sogar neu für die Wissenschaft beschrieben, darunter Astrids Steinfliege. Weil die Wälder im Nationalpark außer Nutzung gestellt sind, entsteht viel stehendes und liegendes Totholz.

Mehr als 1.500 Pilzarten wurden bereits im Zuge klassischer Feldforschung nachgewiesen, mit einem Schwerpunkt auf holzbesiedelnden Pilzen. Typische Vertreter sind Porlinge oder Schleimpilze wie die Weiße Lohblüte (*Fuligo candida*) und der Blutmilchpilz (*Lycogala epidendrum*).

Der Kleine Grünspanbecherling (*Chlorociboria aeruginella*) und der Lamellige Violettporling (*Trichaptum laricinum*) sind in Österreich bislang nur aus dem Gebiet des Nationalparks Gesäuse bekannt. Der Nachweis der wärmeliebenden Becherkoralle in mehr als 1.000 Metern Seehöhe ist auch vor dem Hintergrund des Klimawan-

dels bemerkenswert. Im MetaFung-Datensatz wurden im Nationalpark Gesäuse 4.403 genetisch unterscheidbare Einheiten nachgewiesen; 1.426 davon konnten vorläufig einer bekannten Art zugeordnet werden.

Die Ergebnisse geben Einblick in die eigenständigen Pilzgemeinschaften der Bergwälder und hochalpinen Lebensräume.



Wildnisgebiet Dürrenstein-Lassingtal

Ursprünglich und unbändig.

Gründungsjahr: 2001
Größe: 2.400 Hektar
Besonderer Lebensraum:
größter zusammenhängender
Fichten-Tannen-Buchen-Urwald
Mitteleuropas

Das Wildnisgebiet Dürrenstein-Lassingtal bewahrt auf über 400 Hektar mit dem Urwald Rothwald den größten Urwaldrest des Alpenbogens.

Das Wildnisgebiet Dürrenstein-Lassingtal zählt zu den ursprünglichsten Waldlandschaften Mitteleuropas. Besonders der Rothwald bewahrt einen der letzten großflächigen Urwaldreste des Alpenraums: einen zusammenhängenden Wald aus Buchen, Tannen und Fichten, der niemals forstwirtschaftlich genutzt wurde. Alte Bäume, abgestorbene Stämme, mächtige Wurzeln, Moose und Flechten prägen hier ein Waldbild, das in bewirtschafteten Forsten nur noch selten zu finden ist. Diese Vielfalt an Strukturen schafft Lebensraum für zahl-

reiche spezialisierte Arten – von Spechten und Eulen über Käfer bis hin zu Pilzen. Gerade für Pilze sind solche Wälder von besonderer Bedeutung. Viele Arten sind auf alte Bäume, ungestörte Böden oder bestimmte Stadien des Holzabbaus angewiesen. Da abgestorbene Bäume im Wald verbleiben, steht Totholz in unterschiedlichen Größen und Zerfallsphasen zur Verfügung. Zugleich können sich die Böden über lange Zeiträume ohne forstwirtschaftliche Eingriffe entwickeln. Dadurch bleiben ökologische Bedingungen erhalten, die andernorts durch

Holznutzung, Bodenverdichtung oder das Entfernen alter und abgestorbener Bäume verloren gegangen sind.

Jeglicher Eingriff des Menschen ist im Wildnisgebiet auf ein absolutes Minimum reduziert. Nur die Randzonen können im Rahmen geführter Exkursionen besucht werden, der überwiegende Teil des Gebietes ist hauptsächlich der natürlichen Entwicklung vorbehalten - aber auch Forschung findet hier statt. Im MetaFung-Datensatz wurden in diesem Gebiet 5.248 genetisch unter-

scheidbare Einheiten nachgewiesen; 1.831 davon konnten vorläufig einer bekannten Art zugeordnet werden. Die Ergebnisse unterstreichen, welchen Wert großflächige, über lange Zeit ungestörte Wälder für die Pilzvielfalt besitzen.



**Wildnis
Dürrenstein-Lassingtal**
URSPRÜNGLICH UND UNBÄNDIG

Nationalpark Kalkalpen

Wildnis spüren. Vielfalt erleben.

Gründungsjahr: 1997

Größe: 20.850 Hektar

Besonderer Lebensraum: alte Buchenwälder mit großer Höhenamplitude (UNESCO Welterbe)

Der Nationalpark Kalkalpen schützt auf rund 20.000 Hektar Österreichs größte zusammenhängende Waldwildnis. 81 Prozent des Gebiets sind mit Wald bedeckt. Die Buchenwälder sind seit 2017 als UNESCO-Weltnaturerbe anerkannt. Die älteste Buche wird auf 550 Jahre geschätzt. Das Schutzgebiet umfasst das Reichraminger Hintergebirge und das Sengsengebirge im Südosten von Oberösterreich. Sein abwechslungsreiches Habitatmosaik besteht aus rund 30 Waldtypen, die eine hohe Biodiversität beheimaten. Seit der Gründung 1997 wurde die menschliche Nutzung aufgegeben, Infrastruktur rückgebaut und schließlich wie in allen Nationalparks die Naturschutzstrategie „Prozessschutz“, also der Natur ihren freien Lauf zu lassen, in den Vordergrund gerückt. Große Artenvielfalt ist auch hier das Resultat: 41 bestätigte Urwald-Reliktarten wie Alpenbock und Großer Flachkäfer, seltene Vogelarten wie Weißrückenspecht, Rau-

fußkauz und Zwergschnäpper, Steinadler, Fischotter, Luchs, Wanderfalke, Schwarzstorch. Auch die Pilzbiodiversität ist hoch: Die mykologische Forschung der vergangenen Jahre hat zahlreiche neue Daten erbracht, besonders zu totholzbesiedelnden Pilzen und zu den CHEGD-Arten, einer Gruppe spezialisierter Pilze nährstoffarmer, naturnaher Offenlandlebensräume. So kommt der Goldnabeling (*Chrysomphalina chrysophylla*) vor, der mit gelben Lamellen seines Fruchtkörpers leuchtet und der Blassgelbe Pflanzenreste-Borstenbecherling (*Cheilymenia theleboloides*).

Im MetaFung-Datensatz wurden im Nationalpark Kalkalpen 3.135 genetisch unterscheidbare Einheiten nachgewiesen; 1.092 davon konnten vorläufig einer bekannten Art zugeordnet werden.

Der Nationalpark Kalkalpen gilt mit seinen wertvollen, alten Wäldern und Buchenurwäldern als bedeutendster Wald-Nationalpark im Alpenraum.

Nationalpark Hohe Tauern

Vom Tal bis zum Gipfel.

Gründungsjahr: 1981
Größe: 185.600 Hektar
Besonderer Lebensraum: alpines Hochgebirge

Der Nationalpark Hohe Tauern erstreckt sich über die Bundesländer Kärnten, Salzburg und Tirol und umfasst rund 1.856 Quadratkilometer. Damit ist er nicht nur Österreichs größter Nationalpark, sondern auch eines der bedeutendsten Schutzgebiete im Alpenraum. Vom Talboden bis zu den Gipfelregionen der mächtigen Dreitausender – darunter Großglockner und Großvenediger – reicht eine außergewöhnliche Vielfalt an Lebensräumen.

In den Hohen Tauern kommen rund ein Viertel aller in Österreich bekannten Arten vor – das entspricht etwa 20.000 Tier-, Pflanzen- und Pilzarten. Besonders bemerkenswert ist der Artenreichtum einzelner Gruppen: Drei Viertel aller österreichischen Moose, zwei Drittel der Brutvögel und Säugetiere sowie knapp die Hälfte aller Flechten und Blütenpflanzen sind hier vertreten. Im Nationalpark Hohe Tauern wurden bislang 2.236 Pilzarten nachgewiesen – das entspricht rund 15 Prozent aller in Österreich bekannten Pilzarten und unterstreicht die außergewöhnliche biologische Vielfalt dieses Schutzgebiets. Der Nationalpark bietet zahlreichen seltenen und gefährdeten Arten einen sicheren Rückzugsraum. Neben

Steinadlern und Schneehühnern leben hier auch wieder Bartgeier und Steinböcke sowie viele weitere alpine Tierarten.

Charakteristisch für die Landschaft sind ihre beeindruckenden Naturräume: 266 Gipfel über 3.000 Meter, 551 Bergseen, unzählige Bäche sowie Wasserfälle prägen das Gebiet. Noch immer sind Teile des Nationalparks vergletschert und zeigen eindrucksvoll die Dynamik alpiner Hochgebirgslandschaften. Seit 2019 zählt auch das Wildnisgebiet Sulzbachtäler mit einer Fläche von 6.728 Hektar zum Nationalpark. Es steht unter besonders strengem Schutz und gilt als wertvoller Rückzugsraum für natürliche Prozesse und seltene Arten. Der Nationalpark Hohe Tauern ist damit nicht nur ein einzigartiger Naturraum, sondern auch ein unverzichtbares Refugium für die biologische Vielfalt Österreichs.

Im zusammengefassten MetaFung-Datensatz für die drei Bundesländer wurden 4.500 genetisch unterscheidbare Einheiten nachgewiesen; 1.482 davon konnten vorläufig einer bekannten Art zugeordnet werden

Auf engem Raum beherbergt das Schutzgebiet Lebensräume vom Tal bis in die Gipfelregionen des höchsten Berges Österreichs – eine Vielfalt, die einer Reise von Mitteleuropa bis in die Arktis gleicht!



Die Methodik

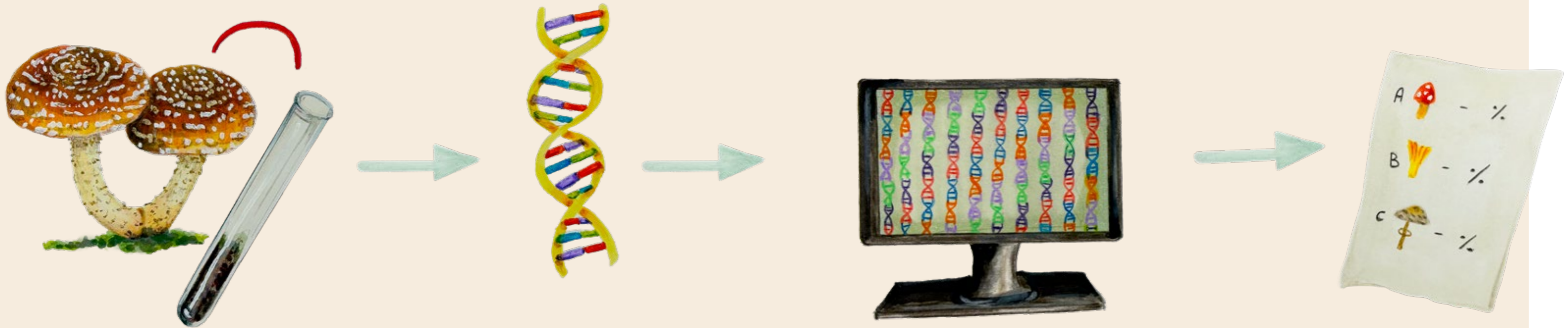
Von der Bodenprobe zur DNA-Sequenz

Pilze lassen sich nicht so einfach erfassen wie viele Pflanzen oder Tiere. Was wir im Wald als „Pilz“ wahrnehmen, ist meist nur der kurzlebige Fruchtkörper. Der eigentliche Organismus lebt verborgen im Boden, im Holz oder an Pflanzenwurzeln. Viele Arten bilden nur selten Fruchtkörper, manche nur für wenige Tage, andere bleiben mit freiem Auge überhaupt unsichtbar. Klassische pilzkundliche Kartierungen bleiben trotz neuer Methoden unverzichtbar, erfassen aber immer nur einen Ausschnitt der tatsächlichen Pilzvielfalt. Sie hängen stark

von Jahreszeit, Witterung, der Erfahrung der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowie vom Auftreten sichtbarer Fruchtkörper ab.

Für MetaFung war daher ein methodischer Ansatz notwendig, mit dem auch jene Pilze erfasst werden können, die zum Zeitpunkt der Untersuchung nicht sichtbar sind. So sollte die Lücke zwischen der beobachteten und der tatsächlichen Pilzvielfalt zumindest teilweise geschlossen werden.





Umwelt-DNA

Als Umwelt-DNA bezeichnet man genetische Spuren von Organismen, die in Boden, Wasser oder Luft nachweisbar sind.

Die verborgene Welt sichtbar machen

Um die Pilzvielfalt der österreichischen Schutzgebiete zu erfassen, nutzte die MetaFung-Studie schließlich eine Methode, die in den letzten Jahren die Biodiversitätsforschung grundlegend verändert hat: das eDNA-Metabarcoding. Dabei werden nicht die Organismen selbst untersucht, sondern ihre genetischen Spuren in der Umwelt. Solche DNA-Spuren stammen beispielsweise von Pilzfäden, Sporen oder abgestorbenen Zellen und bleiben im Boden nachweisbar. Die Untersuchung begann im Gelände. An insgesamt 190 Probeflächen wurden Bodenproben entnommen. Im Mittelpunkt standen charakteristische, großflächige Lebensräume der jeweiligen Schutzgebiete. Mit einem Bohrstock wurden an mehreren Stellen einer Probefläche kleine Bodenmengen entnommen und

zu flächenbezogenen Mischproben zusammengeführt. An ausgewählten Standorten wurden zusätzlich unterschiedliche Bodentiefen getrennt beprobt. Insgesamt wurden 320 Proben analysiert. Im Labor wurden zunächst Steine, Wurzeln und größere Bodentiere entfernt. Anschließend wurde das Bodenmaterial getrocknet, homogenisiert und fein vermahlen. Aus diesem Material wurde die sogenannte Umwelt-DNA (environmental DNA, kurz eDNA) isoliert – also die Gesamtheit aller genetischen Spuren, die sich in der Probe befinden. Für die Analyse wurde ein bestimmter Abschnitt der Pilz-DNA vervielfältigt und sequenziert. Dieser DNA-Abschnitt dient als genetischer Barcode, ähnlich einem Fingerabdruck. Millionen von DNA-Fragmenten wurden dabei parallel entschlüsselt.

Die Sequenziertiefe lag typischerweise zwischen 30.000 und 50.000 Einzelsequenzen pro Probe. Nach der bioinformatischen Auswertung ließen sich in einer Probe meist mehrere hundert bis über 1.500 genetisch unterscheidbare Einheiten erkennen. Die anschließende Auswertung erfolgte mit spezialisierten Computerprogrammen. Zunächst wurden Sequenzen herausgefiltert, die auf technische Fehler oder Artefakte zurückzuführen waren. Danach wurden sehr ähnliche Sequenzen zu sogenannten Operational Taxonomic Units (OTUs) zusammengefasst. Diese OTUs bilden die Grundlage der weiteren Analysen und werden in dieser Broschüre als genetisch unterscheidbare Einheiten bezeichnet. Für die Zusammenfassung der Sequenzen wurde ein Ähnlichkeitsschwellenwert von drei

Prozent gewählt. Das bedeutet: Sequenzen, die sich um weniger als drei Prozent unterscheiden, wurden derselben OTU zugeordnet. Dieser Wert wurde bewusst gewählt, um das Risiko zu minimieren, die tatsächliche Artenzahl zu überschätzen. Gleichzeitig kann dadurch nicht ausgeschlossen werden, dass einzelne sehr nahe verwandte Arten gemeinsam erfasst werden. Anschließend wurden die OTUs mit internationalen Referenzdatenbanken verglichen. Bei ausreichend ähnlichen Referenzsequenzen war eine vorläufige Zuordnung zu einer bekannten Art möglich. In anderen Fällen konnten die Einheiten nur einer höheren systematischen Gruppe wie einer Gattung oder Familie zugeordnet werden; für einen großen Teil war keine Zuordnung auf Artniveau möglich.



Durch diese Studie konnte eine große Wissenslücke der Pilzforschung verringert werden: nämlich jene zwischen den bisher beobachteten Pilzarten und jenen Arten, die tatsächlich in einem Lebensraum vorkommen - oft im Verborgenen.

Über DNA-Daten zur ökologischen Aussage

Um die gewonnenen DNA-Daten in einen ökologischen Kontext zu setzen, wurden für die Probestellen zusätzlich zahlreiche Standortdaten erhoben. Dazu gehörten Informationen zur Vegetation und Höhenlage, zu den Bodeneigenschaften sowie zu den Lebensraum- und Waldtypen. Auf ausgewählten Flächen wurden außerdem Bodenprofile aufgenommen und bodenkundliche Analysen durchgeführt, etwa zum pH-Wert und zum Gehalt an organischem Kohlenstoff.

Erst die Kombination dieser Informationen ermöglichte es, aus den nachgewiesenen genetischen Einheiten ökologische Muster abzuleiten. Wie andere Organismen kommen auch Pilze nicht zufällig an einem Standort vor. Viele Arten sind an bestimmte Umweltbedingungen gebunden – etwa an saure oder kalkreiche Böden, an bestimmte Baumarten oder an besondere klimatische Verhältnisse. Einige sind typisch für alte Buchenwälder, andere für Trockenrasen, Auwälder oder alpine Lebensräume.

Durch die Verknüpfung von DNA-Daten und Standortdaten konnten die Forschenden untersuchen, welche Umweltfaktoren die Zusammensetzung der Pilzgemeinschaften beeinflussen und welche Einheiten beziehungsweise Arten für bestimmte Lebensräume charakteristisch sind. So wurde sichtbar, wie sich die Pilzgemeinschaften der Schutzgebiete unterscheiden und welche ökologischen Gruppen in den jeweiligen Ökosystemen dominieren. Die Standortdaten ermöglichten außerdem bioindikatorische Aus-

wertungen. Dabei wird untersucht, welche Rückschlüsse sich von den vorkommenden Pilzen auf die Eigenschaften eines Standortes ziehen lassen. Ähnlich wie bestimmte Pflanzenarten Hinweise auf Bodenfeuchte oder Nährstoffgehalt geben, können auch Pilze Informationen über die ökologischen Bedingungen eines Lebensraums liefern.



Zahlen, die überraschen:

13.099
in Österreich bereits
bekannte Pilzarten

ca. 4.500
bis jetzt genetisch
analysierte Arten

15.695
genetisch unterscheidbare
Einheiten (OTUs) der Studie MetaFung

5.101
OTUs vorläufig einer
bekannten Art zugeordnet

205
Arten der österreichischen
Roten Liste nachgewiesen

25
vom Aussterben bedrohte
Pilzarten nachgewiesen

< 0,0001 %
der Fläche Österreichs
untersucht

8
beteiligte Großschutzgebiete

190
untersuchte Probeflächen

320
analysierte Bodenproben



Ergebnisse

Die überraschende Vielfalt der Pilze

Wie viele Pilzarten leben in Österreich? Diese Frage lässt sich bis heute nicht eindeutig beantworten. In Österreich sind derzeit 13.099 beschriebene Pilzarten registriert, die tatsächliche Artenzahl dürfte jedoch deutlich höher liegen. Die Ergebnisse von MetaFung zeigen, dass die Vielfalt der Pilze in unseren Böden vermutlich noch wesentlich größer ist, als bisher angenommen.

Im Rahmen der Studie wurden 190 Untersuchungsflächen in den österreichischen Großschutzgebieten beprobt und 320 Bodenproben analysiert. Insgesamt konnten dabei 15.695 genetisch unterscheidbare Pilzeinheiten, sogenannte OTUs, nachgewiesen werden. 5.101 davon ließen sich vorläufig bekannten Pilzarten zuordnen. Viele weitere Sequenzen konnten keiner beschriebenen Art eindeutig zugewiesen werden. Besonders bemerkenswert ist die Dichte dieser Vielfalt: Die untersuchten Probeflächen machen zusammen weniger als 0,0001 Prozent der Fläche Österreichs aus. Dennoch fanden sich dort DNA-Spuren von mehr als 15.000 Pilzeinheiten. Der MetaFung-Datensatz zeigt damit, wie viel biologische Vielfalt in naturnahen Böden verborgen sein kann.

Die Studie liefert außerdem einen Einblick in die unterschiedlichen ökologischen Rollen der Pilze. Die größte Gruppe bilden die Saprobionten. Das sind Pilze, die abgestorbenes organisches Material abbauen und dadurch wesentlich

am Nährstoffkreislauf beteiligt sind. Insgesamt wurden 7.490 saprobiontische OTUs nachgewiesen. Eine weitere große Gruppe bilden Pilze, die in enger Gemeinschaft mit Pflanzen leben. Insgesamt wurden 2.658 solcher symbiotischen Pilze nachgewiesen. Besonders häufig waren Ektomykorrhiza-Pilze, die mit den Wurzeln vieler Baumarten verbunden sind und eine wichtige Rolle für die Nährstoff- und Wasserversorgung der Wälder spielen. Allein diese Gruppe umfasste 1.610 OTUs und stellte damit rund 40 Prozent der ökologisch klassifizierbaren Pilze.

Daneben wurden 1.134 potenziell parasitische oder krankheitserregende Pilze nachgewiesen. Weitere 353 OTUs gehörten zur sogenannten CHEGD-Gruppe – einer ökologisch anspruchsvollen Gemeinschaft von Pilzen nährstoffarmer Wiesen und anderer naturnaher Offenlandlebensräume.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Pilzvielfalt Österreichs weit über das hinausgeht, was bisher durch klassische Kartierungen bekannt war. Gleichzeitig verdeutlichen sie, welche zentrale Rolle Pilze für die Funktionsfähigkeit von Ökosystemen spielen – als Zersetzer, Symbiosepartner und spezialisierte Bewohner unterschiedlichster Lebensräume.

Was bedeutet OTU?

OTU steht für „Operational Taxonomic Unit“. Gemeint sind genetisch unterscheidbare Einheiten, die anhand ähnlicher DNA-Sequenzen zusammengefasst werden. Nicht jede OTU entspricht automatisch einer bereits wissenschaftlich beschriebenen Art.



Jede Landschaft besitzt ihre eigene Pilzwelt

Eine der wichtigsten Erkenntnisse der MetaFung-Studie ist, dass es nicht die eine Pilzgemeinschaft Österreichs gibt. Jedes Schutzgebiet besitzt vielmehr einen eigenen „Pilz-Fingerabdruck“ – eine charakteristische Zusammensetzung genetisch unterscheidbarer Einheiten und ökologischer Gruppen. Besonders deutlich wirkten sich dabei das Schutzgebiet, die Bodentiefe und der Lebensraumtyp aus. Über den gesamten Höhengradienten hinweg verändern sich zudem Klima, Vegetation und Bodeneigenschaften – und mit ihnen auch die Pilzgemeinschaften. Für die Auswertung wurden die Pilze sogenannten trophischen Gilden zugeordnet. Darunter versteht man Gruppen mit ähnlicher Ernährungsweise oder ökologischer Funktion. Da viele Pilze mehrere Strategien verbinden, ist diese Einteilung eine wissenschaftlich begründete Vereinfachung. Eine besonders wichtige Gruppe sind die Ektomykorrhizapilze, kurz ECM-Pilze. Sie leben in enger Symbiose mit den Wurzeln vieler Laub- und Nadelbäume. Zu ihnen zählen etwa Steinpilze, Eier-

schwammerl, Täublinge und zahlreiche Schleierlinge. Ihr Anteil war vor allem in den Wäldern des Hügel- und Berglandes hoch. In offenen Landschaften und oberhalb der Waldgrenze traten sie dagegen deutlich zurück, weil dort nur wenige geeignete Baumpartner vorkommen. Auch zwischen den Waldschutzgebieten bestanden klare Unterschiede. In den nährstoffreichen Donau-Auen war der Anteil der Ektomykorrhizapilze geringer als in anderen walddominierten Gebieten. Unter ihnen waren dort die Becherlingsartigen, die Pezizales, besonders vielfältig. Die Täublinge der Gattung *Russula* erreichten ihre größte Vielfalt hingegen im Wienerwald und im Thayatal. Im Hochgebirge waren die Tylosporaceae besonders häufig, eine Familie meist unscheinbarer Wurzelsymbionten. Eine zweite wichtige Gruppe sind die arbuskulären Mykorrhizapilze, kurz AM-Pilze oder Glomeromycota. Sie leben ebenfalls mit Pflanzenwurzeln in Symbiose, bilden jedoch keine auffälligen Fruchtkörper. Ihr Diversitäts- und Häufigkeitsmaximum lag in

Schutzgebiet	Probenanzahl	genetische Pilzeinheiten	davon Arten zugeordnet
Biosphärenpark Wienerwald	73	9.547	3.173
Nationalpark Thayatal	61	7.418	2.461
Nationalpark Hohe Tauern	60	4.500	1.482
Nationalpark Donau-Auen	38	5.815	2.072
Nationalpark Neusiedler See - Seewinkel	36	4.139	1.536
Nationalpark Gesäuse	23	4.403	1.426
Wildnisgebiet Dürrenstein-Lassingtal	23	5.248	1.831
Nationalpark Kalkalpen	6	3.135	1.092
Schutzgebiete Gesamt	320	15.695	5.101



den Offenlandlebensräumen des Nationalparks Neusiedler See - Seewinkel. Dort spielen krautige Pflanzen und Gräser eine größere Rolle als Bäume. Im Hochgebirge war die Artenzahl geringer, gleichzeitig wurden dort Gebirgsspezialisten wie *Acaulospora alpina* in den Hohen Tauern und *Ambispora fennica* in den Kalkalpen nachgewiesen. In Zwergstrauchheiden und anderen nährstoffarmen Lebensräumen traten außerdem ericoide Mykorrhizapilze auf. Sie leben vor allem mit Heidekrautgewächsen zusammen und können Nährstoffe aus schwer abbaubaren organischen Verbindungen erschließen. Dadurch sind sie besonders gut an saure und nährstoffarme Böden angepasst. Eine weitere große Gruppe bilden die Saprobionten. Diese Pilze zersetzen abgestorbenes organisches Material und führen die darin enthaltenen Nährstoffe wieder dem Stoffkreislauf zu. Ihre Zusammensetzung unterschied sich deutlich zwischen Tiefebene und Hochgebirge. In den Donau-Auen wird Laub vergleichsweise rasch abgebaut. In den Hochlagen bremsen Kälte, kurze Vegetationszeiten und Nährstoffmangel die Zersetzung, wodurch mächtige Streu- und Humusaufgaben entstehen können.

Unter den Saprobionten finden sich unterschiedliche Lebensweisen. Weißfäulepilze bauen auch das widerstandsfähige Lignin des Holzes ab, während Braunfäulepilze vor allem Zellulose verwerten. Endophyten leben zunächst unauffällig in Pflanzengewebe und können nach dessen Absterben rasch mit der Zersetzung beginnen. Auch diese Gruppen zeigten regionale Schwerpunkte: Einige mikroskopische Zersetzer kamen gehäuft in den Hohen Tauern vor, andere waren charakteristisch für die Donau-Auen oder den Seewinkel. Zu den wichtigsten Offenlandgruppen zählen die CHEGD-Pilze. Die Abkürzung steht für Keulen- und Korallenpilze, Saftlinge, Rötlinge, Erdzungen und Samtritterlinge. Sie besiedeln vor allem nährstoffarme Wiesen, Weiden, Heiden, Moore und Trockenrasen. Im MetaFung-Datensatz erreichten sie höhere Anteile in alpinen Zwergstrauchheiden, Rasengesellschaften, Waldsteppen und jungen Wiederbewaldungsflächen. Viele Arten dieser Gruppe gelten als empfindlich gegenüber Düngung und anderen Bodenveränderungen und sind daher wichtige Indikatoren naturnaher Offenlandlebensräume. Daneben wurden mehrere stärker spezialisierte Gilden unterschieden. Aero-aquatische Pilze zersetzen organisches Material in zeitweise oder

dauerhaft nassen Lebensräumen und waren sowohl in einem Moor-Heide-Komplex der Hohen Tauern als auch in den Donau-Auen häufig. Keratinophile Pilze bauen Haare, Federn, Horn und Krallenreste ab. Koprofile Pilze sind auf Dung spezialisiert, während nematodenfangende Pilze Fadenwürmer erbeuten und dadurch in nährstoffarmen Böden zusätzliche Nährstoffe gewinnen. Besonders eigenständig waren die Pilzgemeinschaften an den beiden Enden des untersuchten Höhengradienten. Die Tieflagen des Seewinkels und der Donau-Auen unterschieden sich deutlich von den Gebirgs- und Hochgebirgslagen der Kalkalpen und Hohen Tauern. Im Gebirge traten unter anderem bestimmte arbuskuläre Mykorrhizapilze, Tylosporaceae und Vertreter der Chaetothiales häufiger auf. Umgekehrt besaßen Auwälder und pannonische Offenlandschaften eigene Gemeinschaften, die sich klar von jenen der Hochlagen unterschieden.

Der Pilz-Fingerabdruck eines Gebietes besteht daher nicht nur aus einzelnen Nachweisen. Entscheidend ist das Verhältnis der verschiedenen Lebensweisen zueinander: Welche Symbiosepilze finden geeignete Wirtspflanzen? Welche Zersetzer können die vorhandene Streu verwerten? Welche Spezialisten kommen mit Kälte, Nässe, Trockenheit oder Nährstoffarmut zurecht? Aus diesem Zusammenspiel entsteht die charakteristische Pilzwelt einer Landschaft.



Fingerabdruck der Pilze



Seltene Arten und Rote Listen

Die MetaFung-Studie brachte auch neue Erkenntnisse über seltene und gefährdete Pilzarten. Viele dieser Arten sind nur von wenigen Fundorten bekannt oder an ganz bestimmte Lebensräume gebunden. Gerade deshalb sind sie für den Naturschutz von besonderem Interesse.

Im MetaFung-Datensatz wurden **126 gefährdete, 53 stark gefährdete, 25 vom Aussterben bedrohte und 1 verschollene Pilzart** nachgewiesen. Damit erfasste die Untersuchung knapp ein Viertel der in diesen Kategorien geprüften Arten der österreichischen Roten Liste – ein bemerkenswertes Ergebnis für eine Untersuchung, die ausschließlich auf Bodenproben beruhte.

Besonders spannend war der Nachweis des Finnischen Braunsporstachelings (*Hydnellum fennicum*). Diese Art galt in Österreich lange Zeit als ausgestorben beziehungsweise verschollen und wurde erst vor wenigen Jahren wiederentdeckt. Solche Nachweise zeigen, welches Potenzial moderne DNA-Methoden für die Dokumentation seltener Arten besitzen.

Die meisten gefährdeten Arten wurden im Wienerwald gefunden, gefolgt vom Thayatal und den Donau-Auen. Diese Gebiete zählen zu den artenreichsten Waldlandschaften der Studie und bieten einer Vielzahl spezialisierter Pilze geeignete Lebensräume. Gleichzeitig lagen allerdings aus diesen Schutzgebieten auch besonders viele Bodenproben vor, weshalb die absoluten Zahlen nur eingeschränkt miteinander vergleichbar sind.

Trotzdem verdeutlichen die Ergebnisse, wie groß der Anteil seltener und lokal verbreiteter Arten innerhalb der österreichischen Pilzflora ist. Der überwiegende Teil der gefährdeten Arten wurde nur in wenigen Proben nachgewiesen. Viele von ihnen kommen offenbar nur an einzelnen Standorten vor oder treten in sehr geringer Häufigkeit auf.

Die Ergebnisse zeigen damit nicht nur, welche seltene Arten in den Schutzgebieten vorkommen, sondern auch, wie lückenhaft unser Wissen über ihre Verbreitung noch ist. Selbst bei einer Untersuchung dieser Größenordnung blieb ein Großteil der gefährdeten Pilzarten Österreichs ohne Nachweis. Viele seltene Arten sind offenbar so lokal verbreitet oder an so spezielle Bedingungen gebunden, dass sie nur durch gezielte, langfristige Forschung zuverlässig erfasst werden können.

Außerdem ist die offizielle Ausweisung der gefährdeten Arten aufgrund der schwierigen Erhebung immer langsamer, als es der Realität in der Natur entspricht.



Stark gefährdet:
Veilchen-Buntnabeling

Ausblick

Warum Schutzgebiete Zukunft sichern

Raum für natürliche Prozesse

Die Ergebnisse von MetaFung zeigen, wie eng Pilzgemeinschaften mit der natürlichen Entwicklung eines Lebensraums verbunden sind. Viele der nachgewiesenen Arten reagieren empfindlich auf Veränderungen von Boden, Vegetation oder Mikroklima. Andere sind auf Strukturen angewiesen, die erst über lange Zeiträume entstehen.

Gerade in Schutzgebieten können solche natürlichen Prozesse weitgehend ungestört ablaufen. Bäume altern und sterben ab, Totholz bleibt im Wald, Flüsse verändern ihren Lauf und Böden entwickeln sich weiter. Diese Dynamik schafft ständig neue Lebensräume – nicht nur für Pflanzen und Tiere, sondern auch für die enorme Vielfalt der Pilze.

MetaFung macht deutlich, dass viele

Pilzarten an ganz bestimmte Bedingungen gebunden sind. Manche besiedeln alte Wälder mit einem hohen Anteil an Totholz. Andere kommen vor allem in Trockenrasen, Auwäldern oder alpinen Lebensräumen vor. Die Vielfalt der Pilze spiegelt damit auch die Vielfalt der natürlichen Prozesse wider, die in diesen Lebensräumen stattfinden.

Der Schutz einzelner Arten ist deshalb nur ein Teil der Aufgabe. Langfristig entscheidend ist der Erhalt jener ökologischen Prozesse, die Artenvielfalt überhaupt ermöglichen. Nationalparks und Wildnisgebiete verfolgen genau diesen Ansatz: Nicht jeder Entwicklungsschritt wird gesteuert, sondern der Natur wird Raum gegeben, sich nach ihren eigenen Gesetzmäßigkeiten zu entfalten.

Der Wald im Wandel

Wie sich ein Wald entwickelt, hängt nicht allein von den Bäumen ab. Auch die Pilzgemeinschaften im Boden verändern sich mit der Vegetation, dem Totholzanteil, der Streu und den Bodeneigenschaften. Verschiebt sich die Zusammensetzung des Waldes, hat das daher auch Folgen für das Leben unter der Erde.

Durch den Klimawandel geraten diese Beziehungen zunehmend unter Druck. Längere Trockenperioden, steigende Temperaturen und häufigere Extremereignisse schwächen Bäume und verändern ihre Lebensbedingungen. Manche Baumarten gehen zurück, andere breiten sich aus oder wandern in höhere Lagen. Für Pilze, die eng an



bestimmte Wirtsbäume oder Waldtypen gebunden sind, kann damit der geeignete Lebensraum verloren gehen. Andere Arten finden unter den neuen Bedingungen bessere Voraussetzungen.

Diese Verschiebungen betreffen auch wichtige Vorgänge im Boden. Pilze sind am Abbau von Streu, Holz und abgestorbenen Wurzeln beteiligt, setzen dabei Nährstoffe frei und wirken an der Humusbildung mit. Verändert sich die Zusammensetzung der Pilzgemeinschaft, kann sich daher auch ändern, wie rasch organisches Material abgebaut wird, welche Nährstoffe verfügbar werden und wie lange Kohlenstoff im Boden verbleibt. Auch für die Verjüngung der Wälder sind die Bedingungen im Boden von Bedeutung. Junge Bäume müssen nicht nur mit Hitze und Trockenheit zurechtkommen, sondern an ihrem Standort auch geeignete Bodenverhältnisse und passende Pilzgemeinschaften vorfinden. Welche Baumarten sich künftig behaupten können, entscheidet sich daher nicht nur in der Baumkrone, sondern auch im Wurzelraum.

Naturnahe Wälder bieten eine große Bandbreite unterschiedlicher Bedingungen: alte und junge Bestände, verschiedene Baumarten, Totholz und wenig gestörte Böden. Diese Vielfalt kann dazu beitragen, dass ökologische Prozesse auch dann

weiterlaufen, wenn einzelne Arten zurückgehen oder sich die Umweltbedingungen verändern.

Wissen für kommende Generationen

Schutzgebiete dienen als Referenzräume, in denen natürliche Prozesse weitgehend ungestört ablaufen. MetaFung zeigt, welche Pilzgemeinschaften unter solchen Bedingungen vorkommen. Ihre Zusammensetzung kann als Maßstab für andere, stärker veränderte Landschaften dienen. Vergleichsstudien helfen dabei, Unterschiede in der Artenzusammensetzung zu erkennen und die Folgen menschlicher Eingriffe besser einzuschätzen. Die Vernetzung der Schutzgebiete ist dabei entscheidend. Viele Pflanzen, Tiere und auch Pilze sind darauf angewiesen, neue geeignete Lebensräume erreichen zu können. Wanderkorridore, Verbundflächen und naturnahe Bereiche zwischen den Schutzgebieten erleichtern Ausbreitung und Wiederbesiedlung. Für Pilze ist dabei zusätzlich wichtig, dass geeignete Wirtsarten, Böden und Substrate vorhanden sind. Das wird besonders bedeutsam, wenn sich Lebensräume durch den Klimawandel verschieben. Darüber hinaus liefern Schutzgebiete wertvolle Forschungsdaten für die Zukunft. Die

im Rahmen von MetaFung erhobenen Daten bilden eine Grundlage für ein langfristiges Monitoring. Werden dieselben Flächen zu einem späteren Zeitpunkt erneut untersucht, lässt sich feststellen, welche Arten neu auftreten, welche verschwinden und wie sich ganze Pilzgemeinschaften verändern.

Damit können künftig Fragen beantwortet werden, die über eine einmalige Bestandsaufnahme hinausgehen: Verschieben sich Verbreitungsschwerpunkte? Reagieren bestimmte Pilzgruppen besonders empfindlich auf Trockenheit oder steigende Temperaturen? Und wie verändern sich die Beziehungen zwischen Pilzen, Vegetation und Boden? Ohne die heute erhobenen Ausgangsdaten wären solche Entwicklungen nur schwer messbar. MetaFung ist daher nicht der Abschluss der Forschung, sondern ein erster gemeinsamer Bezugspunkt für spätere Untersuchungen.

Schutzgebiete sind damit weit mehr als Rückzugsräume für Arten. Sie sind Orte der Forschung und Bildung, an denen natürliche Entwicklungen über lange Zeiträume beobachtet werden können. Ihre Daten bewahren Wissen über den heutigen Zustand der Ökosysteme – und ermöglichen es kommenden Generationen, Veränderungen zu erkennen und einzuordnen.



Die wichtigsten Erkenntnisse im Überblick

Was man kennt, schützt man.

MetaFung schafft erstmals eine gemeinsame Grundlage, um die verborgene Pilzvielfalt österreichischer Schutzgebiete sichtbar zu machen.

5.101 Einheiten konnten vorläufig einer bekannten Art zugeordnet werden.

MetaFung schafft erstmals eine gemeinsame Grundlage, um die verborgene Pilzvielfalt österreichischer Schutzgebiete sichtbar zu machen.

Die tatsächliche Artenvielfalt ist größer als bisher angenommen.

An 190 Probeflächen wurden aus 320 Bodenproben 15.695 genetisch unterscheidbare Einheiten nachgewiesen.

Auch umfangreiche Datensätze erfassen nur einen Teil der Vielfalt.

Selbst im intensiv beprobten Wienerwald zeigte die Akkumulationskurve keine Sättigung: Weitere Proben hätten mit hoher Wahrscheinlichkeit zusätzliche Einheiten erbracht.

Viele Pilzarten sind selten und lokal verbreitet.

Eine annähernd vollständige Erfassung würde deutlich mehr Proben und langfristige Forschung erfordern.

Die meisten gefährdeten Arten wurden im Wienerwald gefunden.

Es folgen das Thayatal und die Donau-Auen – zugleich jene Gebiete, aus denen besonders viele Bodenproben vorlagen.

Jedes Schutzgebiet besitzt seinen eigenen Pilz-Fingerabdruck.

Jede Landschaft beherbergt charakteristische Pilzgemeinschaften mit eigenen ökologischen Besonderheiten.

Schutzgebiete bewahren auch Arten, die wir noch gar nicht kennen.

Genau deshalb ist Prozessschutz so wichtig.

Wiederentdeckung statt Aussterben.

Mit dem Finnischen Braunsporstacheling (*Hydnellum fennicum*) wurde eine Art nachgewiesen, die in Österreich lange Zeit als ausgestorben galt.

MetaFung dokumentierte 205 Arten aus der Rote-Liste-Referenzdatenbank.

Darunter waren 126 gefährdete, 53 stark gefährdete, 25 vom Aussterben bedrohte Arten und eine verschollene Art.

Schutzgebiete sind Hotspots der Biodiversität.

Der hohe Anteil an genetisch unterscheidbaren Einheiten, die nur in einem Gebiet nachgewiesen wurden, unterstreicht den Wert jedes einzelnen Schutzgebietes.

Die Ergebnisse für die Forschung von morgen.

MetaFung schafft wichtige Referenzdaten für Monitoring, Naturschutz und Klimaforschung.



Projektpartner



Impressum:

Herausgeber und Medieninhaber: Nationalpark Thayatal GmbH, A-2082 Hardegg

Projektkoordination: Julian Haider

Text & Redaktion: Eva Maria Bachinger, Alexander Urban, Teresa Nunner, Julian Haider, Christian Übl

Wissenschaftliche Begleitung: Alexander Urban

Illustrationen: Franziska Timmerer-Maier

Gestaltung & Layout: Hofer Media GmbH & Co KG

Auflage: 2000 Stück

Druck: Hofer Media GmbH & Co KG

©2026

Trotz gebotener Sorgfalt können Druck- und Satzfehler nicht ausgeschlossen werden.



Produziert nach den Richtlinien des Österreichischen Umweltzeichens, Hofer Media GmbH & Co KG, UW-Nr. 1531



Unter unseren Füßen existiert eine Welt, die lange verborgen bleibt – und dennoch die Grundlage funktionierender Ökosysteme bildet.

Die Studie MetaFung macht sichtbar, wie eng Biodiversität, Böden, Wälder und Klima miteinander verbunden sind. Schutzgebiete bewahren diese Zusammenhänge – und schaffen Räume, in denen natürliche Prozesse weiterhin stattfinden können.

Denn wer den Boden schützt, schützt weit mehr als nur Erde unter unseren Füßen.