

WISSENSCHAFTLICHER GARTENFÜHRER

Experimenteller Botanischer Garten – ein einzigartiges Freilandlabor
für die pflanzenökologische Forschung



GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT
GÖTTINGEN





Der Experimentelle Botanische Garten (EBG) beheimatet wertvolle Sammlungen von Pflanzen und Pflanzengemeinschaften der Gemäßigten Zone. Diese stehen nicht nur für Lehre und Anschauung, sondern vor allem für die Forschung zur Verfügung. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Albrecht-von-Haller-Instituts für Pflanzenwissenschaften und anderer Institutionen der Universität Göttingen nutzen unsere herausragenden und bundesweit einmaligen experimentellen Einrichtungen.

Die wichtigsten davon stellen wir Ihnen anhand der Forschungsprojekte vor. In unserem Gartenplan finden Sie die Anlagen verzeichnet.

Viel Freude mit unserem wissenschaftlichen Gartenführer!

- 04 **Forschungsthemen**
- 06 **Forschungseinrichtungen**
- 16 **Pflanzen auf dem Prüfstand – Beispiele aus der pflanzenökologischen Forschung**
- 22 **Lageplan**
- 38 **Wissenschaftliche Veröffentlichungen**
- 42 **Besuchereinformationen**

DIE FORSCHUNGSTHEMEN

Im Experimentellen Botanischen Garten bearbeiten wir vorrangig folgende Fragestellungen:

- Biologische Klimafolgenforschung: Wie wirkt sich der Klimawandel auf die mitteleuropäische Pflanzenwelt und deren Lebensgemeinschaften aus?
- Ökologische Sensitivitätsprüfung: Welche Arten und Sorten (Genotypen) sind gegenüber dem Klimawandel weniger empfindlich?
- Pflanzliche Stressforschung: Wie reagieren Pflanzen auf die gleichzeitige Wirkung von mehreren Stressfaktoren wie zum Beispiel Bodenaustrocknung, ein Zuviel an Stickstoff (Eutrophierung) und trockene Luft?
- Baumkronenforschung: Wie funktioniert der Kronenraum der heimischen Baumarten?
- Rhizosphärenforschung: Wie funktioniert der Wurzelraum der heimischen Baumarten?
- Experimentelle Sukzessionsforschung: Wie entwickeln sich Pflanzenbestände über Jahre und Jahrzehnte, wenn der Mensch nicht eingreift?
- Botanische Naturschutzforschung: Wie kann das Überleben bedrohter Pflanzenarten und Lebensgemeinschaften gesichert werden?





Der Göttinger Baumkronenpfad ermöglicht Zugang zum Kronenraum von neun verschiedenen Baumarten.



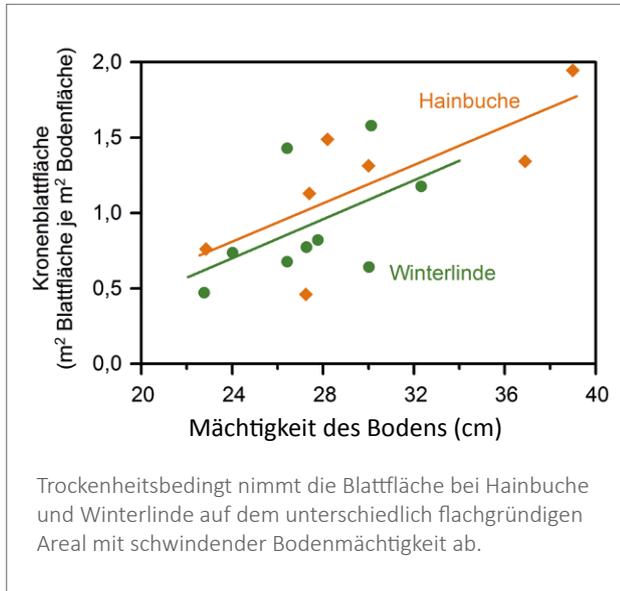
oben: Studierendenpraktikum zur Baumökologie
unten: Göttinger Baumkronenpfad

DIE FORSCHUNGSEINRICHTUNGEN

Der **Göttinger Baumkronenpfad** ist eine Einrichtung für Forschung und Lehre. Er wurde 2009 in einem vor etwa 50 Jahren natürlich entstandenen Laubmischwald auf dem Südgelände des Experimentellen Botanischen Gartens errichtet. Der Pfad ist 72 Meter lang und führt in etwa 15 Metern Höhe über neun Gerüsttürme. Er erlaubt den Zugang zum mittleren und oberen Kronenraum von rund 40 Bäumen, die neun verschiedenen Baumarten angehören. Äste und Blätter können sowohl in der oberen Sonnenkrone wie auch der tieferen Schattenkrone mit den Messgeräten erreicht werden. Baumökologen haben nur in wenigen Wäldern Deutschlands direkten Zugang zur Krone ausgewachsener Bäume.

Der Göttinger Kronenpfad ist insofern einzigartig, als die Zahl der erreichbaren Baumarten sehr groß ist. Am Kronenpfad kommen Feld-, Spitz- und Bergahorn (*Acer campestre*, *Acer platanoides*, *Acer pseudoplatanus*), Hainbuche (*Carpinus betulus*), Esche (*Fraxinus excelsior*), Winterlinde (*Tilia cordata*), Traubeneiche (*Quercus petraea*), Vogelkirsche (*Prunus avium*) und die aus Nordamerika eingeführte und bei uns verwilderte Robinie (*Robinia pseudoacacia*) vor. Mit mobilen Messgeräten lassen sich physiologische Kenngrößen wie die Photosyntheseleistung und der Was-

serverlust der Blätter dort untersuchen, wo die Bäume den aktivsten Stoffwechsel aufweisen, in der obersten Sonnenkrone. Der Baumartenreichtum erlaubt es, Unterschiede in der Empfindlichkeit gegenüber Trockenperioden, hohen Temperaturen und anderen Umweltfaktoren sowie Schadorganismen zu analysieren. Der Kronenpfad wird zudem in mehreren Praktika der Biologischen Fakultät als Ort des Lernens genutzt, der Begeisterung für den Lebensraum Baumkrone weckt.



Aus versicherungstechnischen Gründen ist der Göttinger Kronenpfad nicht für die Öffentlichkeit zugänglich. Zur Unterstützung der Baumkronenforschung in anderen Wäldern verfügt die Abteilung Pflanzenökologie zudem



Photosynthesemessungen am Baumkronenpfad



über einen mobilen Hubwagen (Kronenlift), mit dem im Wald Arbeitshöhen von 30 Metern erreicht werden können.

Das **Göttinger Wurzellabor** (Göttingen Rhizolab) ist eine Freiland-Forschungseinrichtung. Sie wurde 2005 im Experimentellen Botanischen Garten errichtet, um das Wurzelsystem von Gehölzen beobachten und experimentell manipulieren zu können. Das Wurzellabor besteht aus acht drainierten Pflanzencontainern (180 cm Länge × 180 cm Breite × 220 cm Tiefe) angeordnet in zwei Reihen, deren unterirdischer Teil von zwei Seiten aus zugänglich ist. Die Container werden mit Erdreich befüllt und anschließend mit Jungbäumen bepflanzt. Über dem Wurzellabor befindet sich ein großes Rolldach, das bei Regen automatisch über die Container fährt, um so das Einstellen kontrollierter Bodenfeuchten im laufenden Experiment zu ermöglichen.



Im Wurzellabor untersuchen wir auf experimentellem Wege die Reaktion des Wurzelsystems junger Bäume auf Veränderungen in der Bodenfeuchte und Nährstoffversorgung. Darüber hinaus fragen wir danach, wie Wurzeln den Boden beeinflussen. Während die meisten ökologischen Studien nur die oberirdischen Organe betrachten, wird hier der Schwerpunkt auf die weniger gut erforschte unterirdische Hälfte der Pflanze gelegt. Mit digitalen Kamerasystemen, die in Plexiglasröhren durch den Boden bewegt werden können (sog. Mini-Rhizoskope), lässt sich das Wachstum auch sehr feiner Wurzeln über längere Zeiträume verfolgen.

oben: Blick ins Innere des Göttinger Wurzellabors

unten: Göttinger Wurzellabor



Wurzelbeobachtung im Göttinger Wurzellabor mittels Mini-Rhizoskopen



Trockenstressexperiment mit Jungbäumen unter der Rolldachanlage
rechts: Experiment mit Baumartenmischungen unter der Rolldachanlage



In einem Trakt des großen Gewächshauses im Experimentellen Botanischen Garten stehen mehrere **Phytokammern** (Pflanzenwuchskammern) für Experimente zur Verfügung. Temperatur, Luftfeuchte und Lichtintensität lassen sich in weiten Spannen verändern. So können wir die Reaktion von Pflanzen auf simulierte Umweltbedingungen wie wärmeres und trockeneres Klima studieren. Die Pflanzen werden in Erd- oder Hydrokultur kultiviert. Vier der Kammern besitzen ein besonders leistungsstarkes Klimatisierungssystem, das sogar die Simulation der extremen Wachstumsbedingungen alpiner Habitats (niedrige Temperaturen, hohe Strahlungsintensität) ermöglicht. Die Phytokammern werden sowohl für Forschungszwecke als auch in der Ausbildung Studierender eingesetzt.

Ein wichtiger Umweltfaktor, der sich in einem zukünftig wärmeren Klima verändern wird, ist die Höhe des Sommerniederschlages. Im Garten steht eine große **Rolldachanlage** bereit, um Experimente zur Reaktion von getopferten





Pflanzen wie Jungbäumen und krautigen Pflanzen auf sommerliche Trockenperioden durchführen zu können. Derartige Versuche können auch im Gewächshaus oder in den Pflanzenwuchskammern stattfinden, wir wollen aber die realistischen Witterungsbedingungen im Freiland abbilden. Zudem ist die verfügbare Fläche und damit die Anzahl der Versuchspflanzen in den Häusern sehr begrenzt. Die eingestellten Klimabedingungen weisen eine Konstanz auf, die es in der Natur nicht gibt, da die Witterung fortlaufend variiert.



Das Rolldach aus lichtdurchlässigem Plexiglas steht auf Schienen und ist mit einem Regenfühler verbunden, so dass es bei beginnendem Regen automatisch über die Kulturen gefahren wird. Die Regenmengen und damit die Bodenfeuchte lassen sich auf diese Weise gut kontrollieren, während die Pflanzen unter naturnahen Licht- und Temperaturbedingungen angezogen werden. Gleichzeitig unterbleiben die üblichen Überhitzungseffekte in Gewächshäusern.

Auf der Westseite des Gartens befindet sich desweiteren eine **Schattenhalle**. Unterschiedlich lichtdurchlässige grüne Netze erlauben, die Strahlungsintensität von Freilandhelligkeit bis auf den Halb- oder Vollschatten des Waldbodens zu reduzieren. Diese Anlage verwenden wir für Experimente insbesondere mit schattenangepassten Waldbodenpflanzen, die nicht unter voller Sonnenstrahlung angezogen werden können.

oben: Phytokammerexperiment zur Wirkung der Wurzelraumtemperatur

unten: Experiment zur Wirkung von Nährstoffen und Bodenfeuchte auf das Wachstum von Einjährigem Beifuß (*Artemisia annua*) und seine Malaria-wirksamen Inhaltsstoffe

In 35 **Grundwasserbecken** können wir unterschiedliche Grundwasserstände und damit Bodenfeuchtezustände in Sand- und Lehm Böden simulieren, um Pflanzen bei vari-



Schattenhalle: Durch das Schattiernetz können im Topfexperiment Lichtintensitäten für das Pflanzenwachstum erzielt werden, wie sie am Waldboden vorherrschen.



Experimentieranlage zur Manipulation der Luftfeuchte mit 16 »Open-Top-Kammern«

abler Wasserversorgung anzuziehen. Die Becken haben eine Länge von fünf, eine Breite von anderthalb und eine Tiefe von zwei Metern.

Höhere Sommertemperaturen im Zuge des Klimawandels verändern gleichzeitig die Luftfeuchte der Atmosphäre. Dieser bestimmt den pflanzlichen Wasserverbrauch und beeinflusst darüber hinaus das Wachstum vieler Pflanzen, unabhängig vom Zustand der Bodenfeuchte. Mit einer **Anlage zur Manipulation der Luftfeuchte** untersuchen wir, wie künstliche Verringerung oder Erhöhung der Luftfeuchte das Wachstum von Pflanzenbeständen im Freiland beeinflusst. Unser Mitarbeiter Heinz Coners hat diese Anlage, die erste ihrer Art weltweit, entwickelt. Sie wurde bereits für Experimente im Grünland, in Heidebeständen und in der Krautschichtvegetation am Waldboden eingesetzt.

Die Sukzessionsforschung untersucht den natürlichen Wandel in der Vegetation über lange Zeiträume und analysiert deren treibende Kräfte mit dem Ziel, zukünftige Vegetationsveränderungen vorhersagen zu können. Ein bereits sehr lange laufendes **Sukzessionsexperiment** ist

im Experimentellen Botanischen Garten zu besichtigen. Es wurde 1968 angelegt und seitdem kontinuierlich wissenschaftlich begleitet. Der damalige Direktor des Gartens Prof. Dr. Heinz Ellenberg richtete östlich des Teiches 25 Parzellen ein und ließ den Boden sterilisieren, um alle vorhandenen Samen und Keimpflanzen zu entfernen. Einige Parzellen wurden vollständig der natürlichen Sukzession überlassen; hier fand in den folgenden Jahren ein eindrucksvoller Wandel in der Artenzusammensetzung der Vegetation statt.

Nach 50 Jahren hat sich auf diesen Parzellen wieder ein naturnaher Wald mit einer Kronenhöhe von etwa 25 Metern eingestellt. Andere Parzellen wurden dagegen kontinuierlich in landwirtschaftliche Kultur genommen und jährlich gemäht, gemulcht oder gefräst und zum Teil auch gedüngt. Auf diese Weise können wir die Einflussnahme (Biomassenentnahme und Nährstoffzufuhr) auf die langfristige Vegetationsentwicklung im Vergleich zur natürlichen Entwicklung beobachten. Die Neubesiedlung des nackten Bodens stellt eine sogenannte »sekundäre Sukzession« dar. Die damit verbundenen Veränderungen der Vegetation konnten in zahlreichen Veröffentlichungen dokumentiert und analysiert werden.

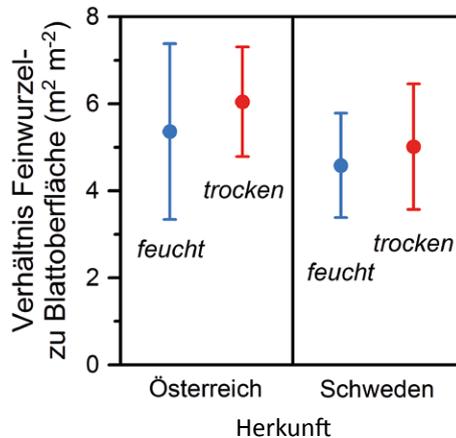
PFLANZEN AUF DEM PRÜFSTAND

Beispiele aus der pflanzenökologischen Forschung im Experimentellen Botanischen Garten

Anpassung an den Klimawandel durch innerartliche genetische Vielfalt

Ob sich Pflanzen in einem künftig sommertrockeneren und wärmeren Klima erfolgreich behaupten können, hängt nicht nur von der Anpassungsfähigkeit ihrer Individuen ab,

sondern wird auch dadurch bestimmt, wie variabel das Erbgut der Art auf lokaler und überregionaler Ebene ist. Wenn in einer Region Pflanzen mit deutlich unterschiedlichen Eigenschaften und Stresstoleranzen anwesend sind, dann ist die Wahrscheinlichkeit größer, dass gut angepasst



Unabhängig von der Herkunft reagieren Birken auf Trockenstress mit der Erhöhung ihres Wurzel- zu Blattflächenverhältnisses. Allerdings ist diese Reaktion bei Herkünften, die an trockenere Verhältnisse gewöhnt sind (Österreich), ausgeprägter als bei skandinavischen Herkünften, die normalerweise keinen Trockenstress erfahren.

te Individuen unter einem veränderten Klima erfolgreich sind. Innerartliche Vielfalt können wir deshalb als eine Versicherung der Natur gegenüber einer unsicheren Zukunft verstehen.

Die Forstwirtschaft in Zeiten des Klimawandels versucht, diese Vielfalt zu nutzen, indem sie nach möglichst gut angepassten Sorten oder Baumherkünften fragt. Dies geschieht am besten mit Klonen, also Baumindividuen mit demselben Erbgut. Klone lassen sich zum Beispiel bei der Birke durch das Schneiden von Stecklingen am selben Baum erzeugen. Alle Individuen eines Klons sollten dann eine ähnliche Antwort auf die Umwelt zeigen und Unterschiede zwischen geografisch und genetisch verschiedenen Baumherkünften müssten deutlich werden. Auf der Suche nach Birken-Herkünften mit besonders vorteilhaftem Verhalten unter einem trockeneren Klima wurde unter der Rolldachanlage des Experimentellen Botanischen Gartens ein Trockenstressexperiment mit vier genetisch deutlich verschiedenen Klonen aus Nord- und Mitteleuropa durchgeführt. Unter Trockenheit verringerten die Jungbirken ihre Blattfläche, aber vergrößerten ihre Wurzelmasse. Das ist sinnvoll, wenn Wasser knapp ist, weil dann eine kleinere Blattfläche von mehr Wurzeln mit Wasser versorgt wird. Interessant ist nun, dass die Birken aus relativ trockenen Herkunftsregionen ihre Blattfläche weniger reduzierten als Pflanzen feuchterer Herkunft. Das deutet darauf hin, dass die trockenen Herkünfte über vererbte Anpassungen verfügen, die das Überleben bei Trockenheit erleichtern; diese fehlen den feuchteren Herkünften. Solche Informationen sind eine wichtige Grundlage für die Sortenwahl in der Forst- wie auch der Landwirtschaft.



oben: Trockenstressexperiment mit Birken

unten: Feinwurzeln der Buche erschließen sich den Boden. Es sind die Hyphen (Pilzgewebe) der Bodenpilze sichtbar, die mit den Baumwurzeln eine Verbindung (Symbiose) eingehen.

Wie reagieren Bäume auf Trockenheit?

Ein Blick unter die Erde

Nicht nur in den Trockenregionen der Erde, auch im feuchten Klima Mitteleuropas sind unsere Baumarten sommerlichen Trockenperioden ausgesetzt, die im Zuge des Klimawandels sehr wahrscheinlich in ihrer Intensität zunehmen werden. Aufgrund der großen Bedeutung unserer Wälder für die Volkswirtschaft und den Naturhaushalt untersuchen Waldökologen auf der ganzen Welt intensiv die Trockenheitsempfindlichkeit der Bäume und Wälder. Die meisten Studien befassen sich jedoch mit den Blättern, Ästen und Stämmen und deren Funktionen und vernachlässigen das Wurzelsystem. Eine wichtige Ursache für dieses Defizit ist die schlechte Zugänglichkeit der Wurzeln für direkte Beobachtungen der Forschung.

Das Göttinger Wurzellabor (Göttingen Rhizolab) bietet die Möglichkeit, die Neubildung und das Wachstum der Wurzeln sowie deren Absterben mit digitalen Kamerasystemen fortlaufend zu beobachten und Proben aus dem Wurzelsystem zu entnehmen. Jungbuchen, die aus trockenen und feuchten Regionen Mitteldeutschlands in die Becken des Wurzellabors verpflanzt und hier Trockenheit ausgesetzt wurden, reagierten vor allem mit einer stark verringerten Neubildungsrate der kurzlebigen feinen Wurzeln; die Lebensdauer der gebildeten Wurzeln nahm zudem stark ab. Trockenheit führte bei der Rotbuche nicht zu einer Zunahme der Wurzelmasse relativ zur Blattmasse, wie wir das etwa bei der Birke beobachteten. Wir konnten zudem kein tiefer reichendes Wurzelsystem bei Austrocknung des Bodens beobachten. Buchen aus trockenen Regionen waren jedoch hinsichtlich der Wurzelndynamik weniger empfind-

lich als Buchen aus feuchten Regionen. Die Anpassungsfähigkeit des Wurzelsystems an Trockenheit ist wahrscheinlich mindestens ebenso bedeutsam wie die der Baumkrone, sie hat aber bisher viel weniger Aufmerksamkeit gefunden.

Die Linde als Wasserverschwender:

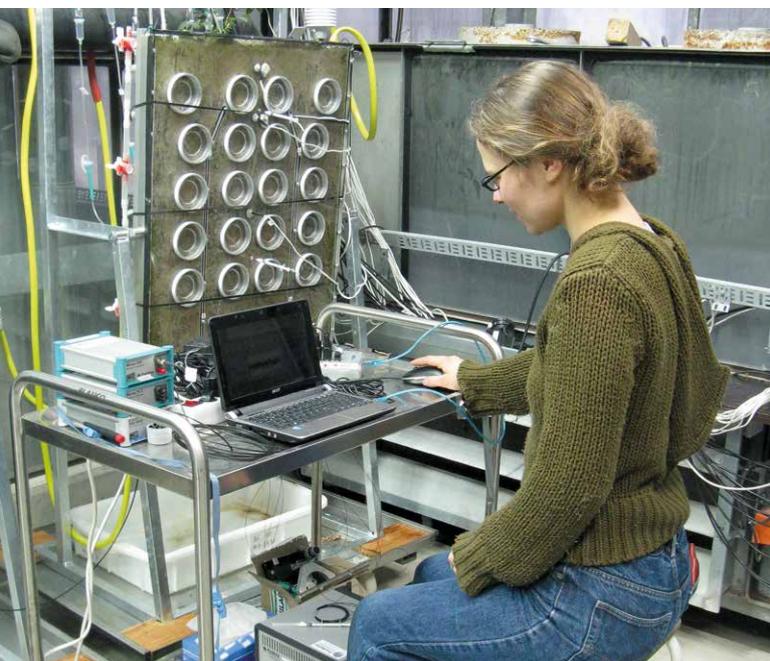
Kann sie Mischwälder im Klimawandel gefährden?

Mischwälder aus mehreren Laubbaumarten oder Laub- und Nadelbaummischungen könnten unsere Wälder in einem wärmeren und trockeneren Klima stabilisieren. Voraussetzung dafür ist, dass Mischungen knappe Ressourcen wie Wasser oder Nährstoffe sparsamer nutzen als Reinstände. Mischwälder könnten weiterhin stressbedingte Ausfälle einzelner Baumarten abfedern, wenn andere, weniger empfindliche Baumarten deren Rolle im Wald ausfüllen. In der Forstwirtschaft wie in der Waldökologie liegen bislang jedoch nur verhältnismäßig geringe Kenntnisse über das Verhalten von Mischwäldern gegenüber Trockenheit und anderen Störungen vor.

Ein Topfexperiment mit Jungbäumen von fünf heimischen Laubbaumarten unter der Rolldachanlage des Gartens zeigt, wie Mischkulturen mit dem Bodenwasservorrat umgehen, entweder sparsamer oder verschwenderischer als die Reinkulturen der fünf Arten. Unter den fünf Arten erwies sich die Linde vor der Esche als der größte Wasserverbraucher. Folglich hatten auch Mischungen mit Linde und Esche den höchsten Verbrauch. Wichtig für den gesamten Wasserverbrauch war nicht die Baumartenzahl, sondern die Anwesenheit dieser »Verschwender«.



Messung der Transpiration und Photosynthese von Jungbäumen in einem Experiment unter der Rolldachanlage



oben: Junge Buchen und Eschen wachsen in Mesokosmen

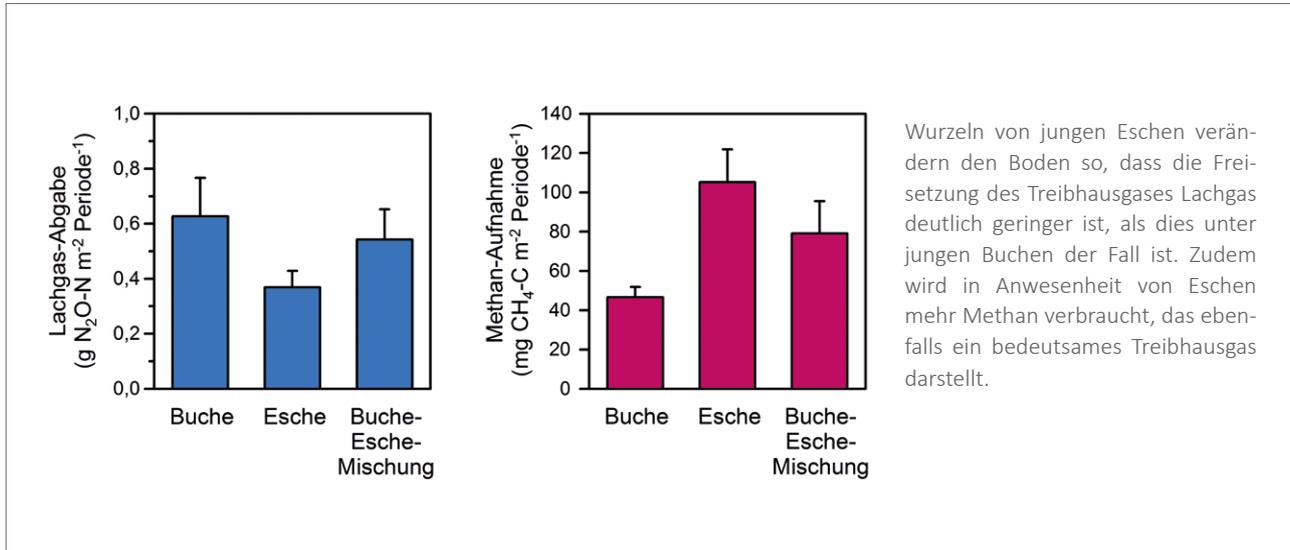
unten: Messung der Treibhausgas-Freisetzung aus dem Boden (Mesokosmen-Experiment)

Tatsächlich konnten wir durch Messungen in alten Mischwäldern nachweisen, dass Linden dem Boden überproportional viel Wasser entziehen. Dieses fehlt dann ihren Nachbarn.

Eine wichtige Erkenntnis dieses Experimentes ist daher, dass höhere Artenzahlen nicht in jedem Fall ein besseres Funktionieren von Ökosystemen bedingen, wenn einzelne Arten Ressourcen auf Kosten anderer Arten ausschöpfen und deren Vitalität schwächen. Die Forstwirtschaft ist gut beraten, nicht unkritisch auf höhere Baumartenzahlen zu setzen, sondern Baumartenmischungen mit günstigen und einander ergänzenden Eigenschaften zu wählen. Das ist in der Regel nur nach gründlichen Forschungsarbeiten möglich.

Die Baumartenwahl im Forst beeinflusst die Freisetzung von Treibhausgasen

Die farblosen Gase Kohlendioxid (CO_2), Lachgas (N_2O) und Methan (CH_4) sind wichtige Treiber der vom Menschen verursachten Erwärmung der Erdatmosphäre; sie wirken als sogenannte Treibhausgase. Die Bäume des Waldes spielen eine bedeutende Rolle im Gashaushalt der Erde. Kohlendioxid wird von den Blättern im Zuge der Photosynthese gebunden und über die Atmung der Pflanzenorgane wieder in die Atmosphäre freigesetzt. Lachgas entsteht im Waldboden, wenn dieser feucht und reich an Nitrat ist. Methan kann aus sehr feuchten Wald- und Moorböden in größeren Mengen freigesetzt werden. Sind die Waldböden eher trocken, wird Methan von den Bakterien des Bodens aufgenommen und zu Kohlendioxid verarbeitet, also aus der Atmosphäre entfernt. Die Freisetzung oder



Wurzeln von jungen Eschen verändern den Boden so, dass die Freisetzung des Treibhausgases Lachgas deutlich geringer ist, als dies unter jungen Buchen der Fall ist. Zudem wird in Anwesenheit von Eschen mehr Methan verbraucht, das ebenfalls ein bedeutsames Treibhausgas darstellt.

Aufnahme dieser Treibhausgase können wir mit empfindlichen gasanalytischen Messsystemen an der Oberfläche des Bodens fortlaufend bestimmen. Bisher war nur wenig darüber bekannt, ob verschiedene Baumarten diese Gasumsätze im Waldboden in unterschiedlicher Weise beeinflussen, die Arten sich also in ihrer Klimawirksamkeit deutlich unterscheiden.

Ein Experiment in den Gewächshauskammern unseres Gartens hat gezeigt, dass junge Eschen den Boden mit ihren Wurzeln so verändern, dass die Freisetzung des Treibhausgases Lachgas deutlich geringer ist, als dies unter jungen Buchen der Fall ist. Zudem wird mehr Methan verbraucht. Die jungen Eschen beeinflussen also die Treibhausgasbilanz des Waldbodens positiv im Vergleich zu den jungen

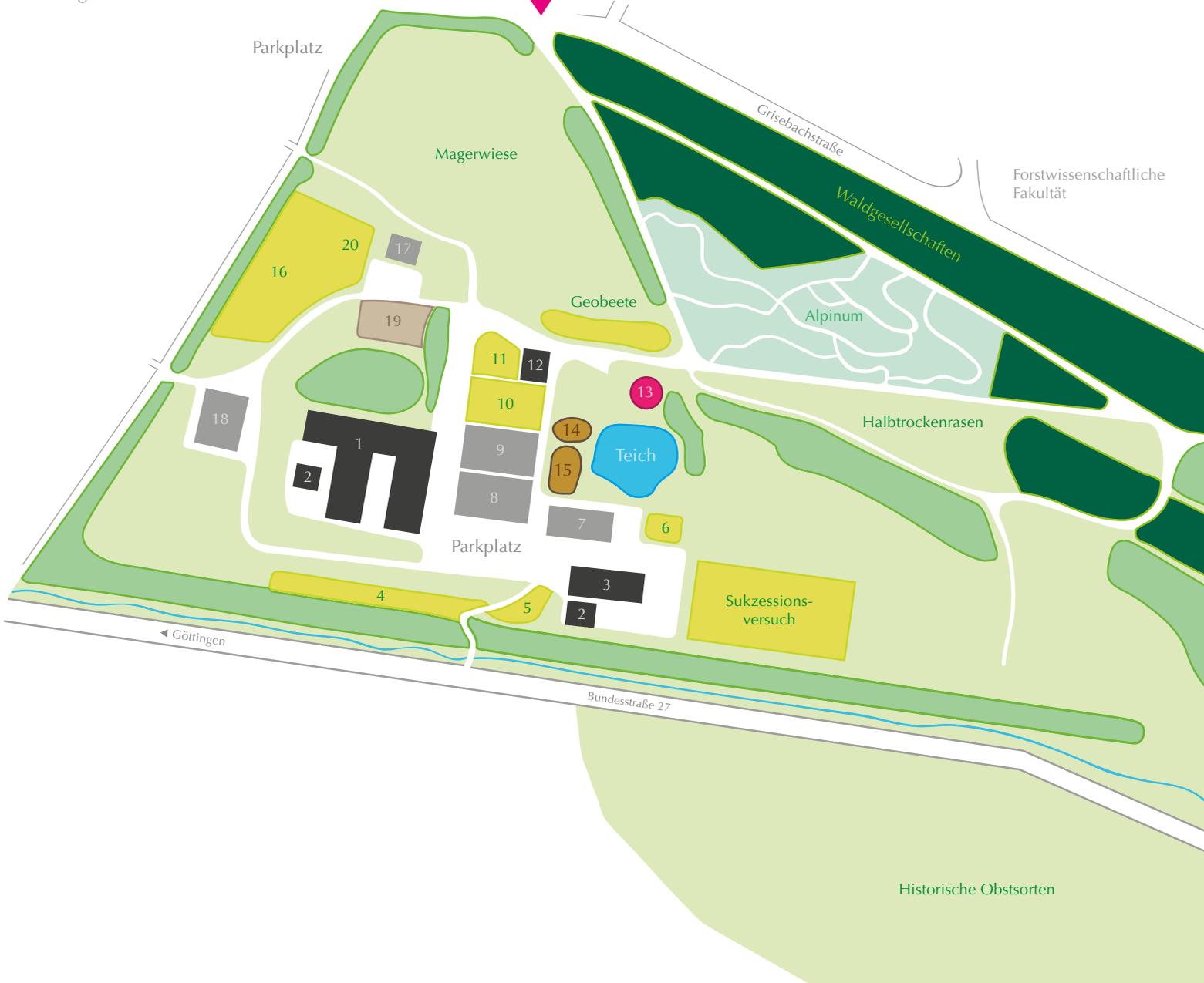
Buchen. Die Forstwirtschaft hat also durch die Wahl der Baumarten im Wald die Möglichkeit, zur Verringerung der Erderwärmung beizutragen. Weitere Experimente müssen zeigen, welche Baumarten unter welchen Bodenbedingungen besonders geringe Treibhausgasmengen erzeugen, und ob dies unter Freilandbedingungen im Wald ebenfalls der Fall ist.

Die Farne des Waldes benötigen nicht nur feuchten Boden, sondern auch hohe Luftfeuchte

Vielen Hobbygärtnern ist bekannt, dass die Blätter bestimmter Pflanzenarten regelmäßig mit Wasser zu besprühen sind, damit sie gut gedeihen. Zu diesen Pflanzen gehö-

Haupteingang

Göttingen-Weende



Legende

1. Pflanzenökologische Forschungs-
labore und Phytokammern
2. Anzuchtgewächshäuser
3. Gartenverwaltung
4. Schattenpflanzen
5. Schneeheide-Kiefernwald
6. Ruderalpflanzen
7. Grundwasserbecken
8. Rolldachanlage
9. Wurzellabor
10. Ackerwildkräuter
11. Rosarium
12. Alpinenhaus
13. Infopavillon
14. Moor-Quartier
15. Sumpfpflanzen-Quartier
16. Staudensammlung
17. Wetterstation
18. Schattenhalle
19. Kompostanlage
20. Kalkscherbenacker

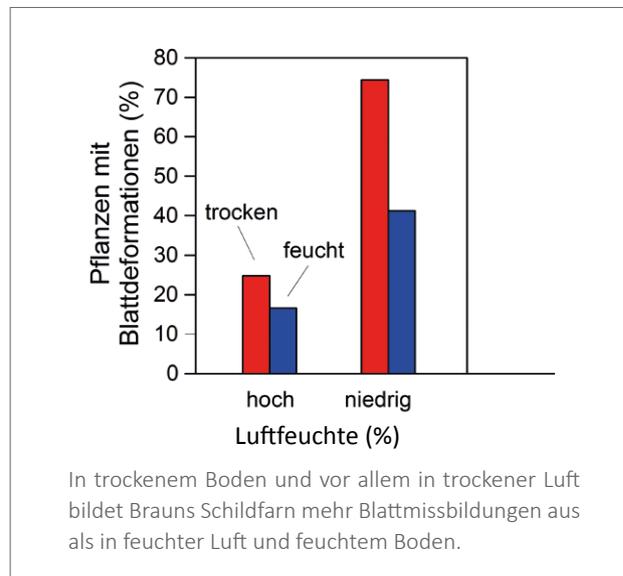




oben: Brauns Schildfarn (*Polystichum braunii*)

unten: Die dichte Behaarung schützt Brauns Schildfarn vor zu starken Wasserverlusten gegenüber der trockenen Umgebungsluft.

ren nicht nur Epiphyten (Aufsitzerpflanzen), denen häufig richtige Wurzeln fehlen, sondern auch manche im feuchten Boden wurzelnde Arten. Dasselbe gilt offenbar auch für viele Wildpflanzen Mitteleuropas. Erstaunlicherweise weiß die Wissenschaft bisher wenig über die Bedeutung von feuchter Luft und Blattbenetzung für die pflanzliche Vitalität und Produktivität. Das gilt auch für unsere heimischen Waldfarne, die bevorzugt an schattigen und luftfeuchten Orten unter dem Kronendach wachsen und vermutlich nicht nur auf einen ausreichend feuchten Boden angewiesen sind; sie profitieren auch von hoher Luftfeuchtigkeit.



In einem Experiment konnten wir in den Pflanzenwuchskammern des Gartens die überragende Bedeutung der Luftfeuchte für das Gedeihen heimischer Farne eindrucksvoll

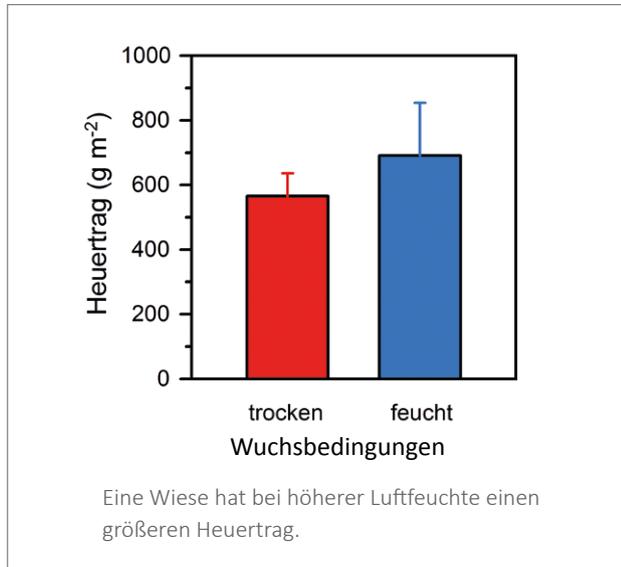
zeigen. Zahlreiche Pflanzen von Brauns Schildfarn (*Polystichum braunii*), einem seltenen Farn in den Wäldern der Mittelgebirge, wurden in Töpfen mit nasser, mittelfeuchter und trockener Erde kultiviert und entweder in hoher oder niedriger Luftfeuchte angezogen. Erstaunlicherweise war es relativ unbedeutend für das Gedeihen der Pflanzen, wie feucht der Boden war; entscheidend war vielmehr die hohe Luftfeuchtigkeit. In relativ trockener Luft angezogene Pflanzen wuchsen nicht nur schlechter, sondern entwickelten auch zahlreiche Missbildungen in ihren Farnwedeln und erzeugten weniger Sporen; sie waren also weniger fruchtbar. Hohe Luftfeuchte war weit einflussreicher als Bodenfeuchte und Temperatur. Das lässt erwarten, dass dieser Farn von der Klimaerwärmung nicht profitieren wird. Im Gegenteil, in wärmeren Sommern wird in der Regel auch die Luftfeuchte niedriger sein, so dass der Klimawandel für das Überleben von Brauns Schildfarn in Deutschland keine guten Aussichten bietet.

Hohe Luftfeuchte steigert den Heuertrag im Grünland

Die Aufwuchshöhe im Grünland und damit die Erträge an Heu oder Silage hängen in erster Linie von der Düngermenge ab, insbesondere den Stickstoffmengen, die der Landwirt ausbringt. Aber auch die Bodenfeuchte ist ein produktionsbegrenzender Faktor im Grünland. Bis in das vergangene Jahrhundert hat man viele Wiesen in Mitteleuropa bewässert, um die Wasser- und Nährstoffversorgung zu verbessern (Wässerwiesen). In künftigen Zeiten mit trockeneren Sommern müssen wir damit rechnen, dass die Austrocknung des Oberbodens in vielen Grünlandregionen Mitteleuropas zunehmen wird und dies möglicherweise die Erträge



Blick von oben in eine Open-Top-Kammer der Luftfeuchte-Experimentanlage im Grasland



schmälert. Keine Beachtung gefunden hat bisher der Umweltfaktor Luftfeuchte. Um ein zukünftiges Klima mit trockeneren Sommern zu simulieren, hat unser Mitarbeiter Heinz Coners eine Versuchsanlage zur Manipulation der Luftfeuchte entwickelt, die es erlaubt, ausgewählte Grünlandbestände für einen ganzen Sommer lang unter künstlich reduzierter oder auch erhöhter Luftfeuchte wachsen zu lassen.

Mittels leistungsfähiger Dampfabscheider bzw. Luftbefeuchter ist es möglich, die Luftfeuchte über der Grasnarbe um rund 10 bis 15 Prozent zu verringern bzw. zu erhöhen. Dafür verwenden wir Plexiglasringe, die oben geöffnet sind (Open-Top-Kammern). Der Versuch wurde in einem frischen Grünland im Experimentellen Botanischer Garten durchgeführt und umfasste drei Varianten in jeweils sechs-

facher Wiederholung: eine mit trockenerer Luft, eine mit feuchterer Luft und eine Kontrollvariante ohne Manipulation. Hierbei handelte es sich um den ersten Versuch dieser Art weltweit. Mit Temperatur- und Bodenfeuchtemessungen konnten wir sicherstellen, dass sich die übrigen Umweltbedingungen zwischen den Kammern nicht nennenswert unterschieden. Die Ernte des Aufwuchses zeigte deutlich, dass die Pflanzenproduktion in den Kammern mit erhöhter Luftfeuchte um rund 25 Prozent größer war als in den Kammern der Kontrolle und der lufttrockenen Variante. Offenbar hat erhöhte Luftfeuchte das Pflanzenwachstum insbesondere in der Hauptwachstumsperiode zu Beginn des Sommers (Mai bis Anfang Juli) stimuliert.

Diese Ergebnisse sind bedeutsam, weil sie zum ersten Mal belegen, dass das Wachstum von Graslandpflanzen nicht nur vom Nährstoffangebot und der Bodenfeuchte bestimmt wird, sondern auch von der Luftfeuchte abhängt. In Zeiten des Klimawandels werden die Landwirte sicherlich keine Möglichkeit haben, die Luftfeuchte zu erhöhen. Unsere Ergebnisse ermöglichen aber eine bessere Eingrenzung jener Standorte, die von der Wasserversorgung her auch in Zukunft für Grünlandwirtschaft geeignet sein werden.

Das Wachstum der Bäume hängt von vielen Faktoren gleichzeitig ab: Die Auswirkungen des Klimawandels lassen sich deshalb schwer vorhersagen

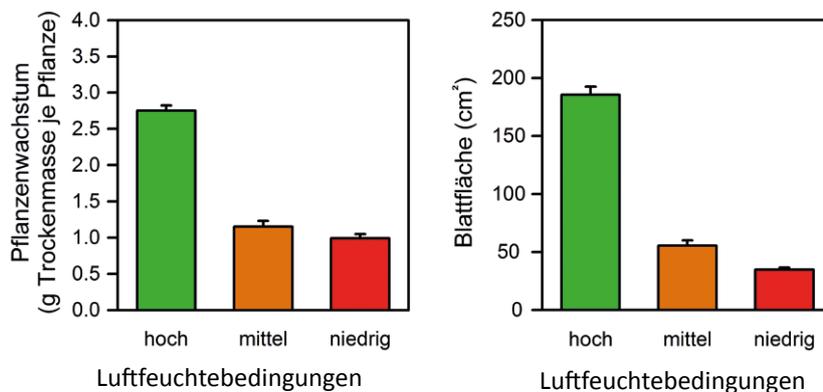
Ökologische wie auch agrar- und forstwissenschaftliche Forschung untersucht bevorzugt die Reaktion von Pflanzen und Pflanzenbeständen auf einzelne ausgewählte Faktoren wie zum Beispiel Licht, Temperatur und Nährstoffe. Dieser

Ansatz erlaubt wertvolle Einblicke in die Biologie dieser Arten, wird aber der Realität häufig nicht gerecht, da wichtige Lebensäußerungen der Pflanzen meist von mehreren Faktoren gleichzeitig gesteuert werden. Wenn wir die Auswirkungen des Klimawandels auf die Pflanzenwelt vorher-sagen wollen, wird diese Problematik offensichtlich.

In den kommenden Jahrzehnten werden wahrscheinlich nicht nur die Temperatur und der atmosphärische Kohlen-dioxidgehalt ansteigen, sondern gleichzeitig der Sommer-niederschlag und auch die sommerliche Luftfeuchte ab-nehmen. Darüber hinaus müssen wir mit hohen Einträgen von Stickstoff über die Atmosphäre rechnen. Wie reagieren Pflanzen auf diese parallel verlaufenden Änderungen in ihrer Umwelt? Unabhängige Experimente zu diesen Fakto-ren lassen sich nur schwerlich zusammenführen, weil die Faktoren miteinander wechselwirken können. Von vielen

Faktoren verursachte Antworten der Pflanzen lassen sich am besten in sorgfältig geplanten, aufwändigen Experimen-ten in Klimakammern und Gewächshäusern untersuchen.

In den Pflanzenanzuchtkammern des Gartens haben wir das gleichzeitige Wirken der Faktoren Temperatur, Bo-denfeuchte, Luftfeuchte und Stickstoffangebot auf das Wachstum von jungen Buchen untersucht. Für jeden der vier Faktoren wurden zwei Zustände simuliert, die heu-tige Situation und ein Zustand unter einem wärmeren und trockeneren Klima. Das Wachstum der Jungbuchen wur-de tatsächlich von allen vier Faktoren (einschließlich der Luftfeuchte) gleichzeitig beeinflusst und mehrere Faktoren wirkten in direkter Abhängigkeit von den anderen Größen. Das Stickstoffangebot bestimmte zwar die Photosynthe-seleistung und die Gesamtblattfläche der Pflanze wesent-lich, hatte aber einen vergleichsweise geringen Einfluss auf



Wachstum und Blattflächenentwicklung von Jungbuchen sind bei gleicher Bodenfeuchte am höchsten bei Anzucht unter hoher Luftfeuchte.



Jungpflanzen der Gattung *Polylepis* aus den Hochanden (Südamerika) im Klimakammer-Experiment: Sie sind die Bäume, die weltweit die höchsten Meereshöhen erreichen (bis zu 5.000 Meter über dem Meeresspiegel).

das Wachstum. Das war stärker von Temperatur, Bodenfeuchte und Luftfeuchte abhängig.

Diese detaillierten Wachstumsanalysen zeigen, wie komplex die Wirkungszusammenhänge zwischen Klimawandel und Vegetation sind und wie schwierig es ist, genaue Vorhersagen über die biologischen Folgen zu machen. Nur sorgfältig geplante Experimente in gut ausgestatteten Forschungseinrichtungen erlauben uns begründete Vorhersagen darüber, wie die Zukunft die Ökosysteme verändern wird.

Die Anwesenheit von artfremden Konkurrenten lässt Wurzeln früher sterben

Pflanzen nehmen Wasser und Nährstoffe über ihre Wurzeln auf; besonders aktiv sind dabei die feinsten Endungen des Wurzelsystems. Je dichter der Boden von Wurzeln durchdrungen ist, umso härter ist der Kampf um das Wasser und die Nährstoffe. Konkurrenz zwischen den Wurzeln verschiedener Baumarten kann zu Stressbelastung führen und die Lebensdauer der feinen Wurzeln verkürzen. Das zeigt ein Experiment mit Jungpflanzen der Buche und Esche, die wir in sogenannte Wurzelboxen pflanzten. In dem begrenzten Wurzelraum konkurrierten entweder zwei Buchen, zwei Eschen oder eine Buche und eine Esche um Wasser und Nährstoffe. Die Boxen besaßen an der Vorderseite eine durchsichtige Plexiglasscheibe, so dass das Wachstum und Absterben der feinen Wurzeln mit einer Kamera über viele Monate verfolgt werden konnte. Je nach Dicke der Baumwurzeln leben diese einige Monate, manchmal auch drei Jahre. Kälte, Trockenheit oder Wurzelparasiten können das Leben verkürzen.



oben: Junge Buchen und Eschen wachsen in Wurzelboxen in einem Konkurrenzexperiment.

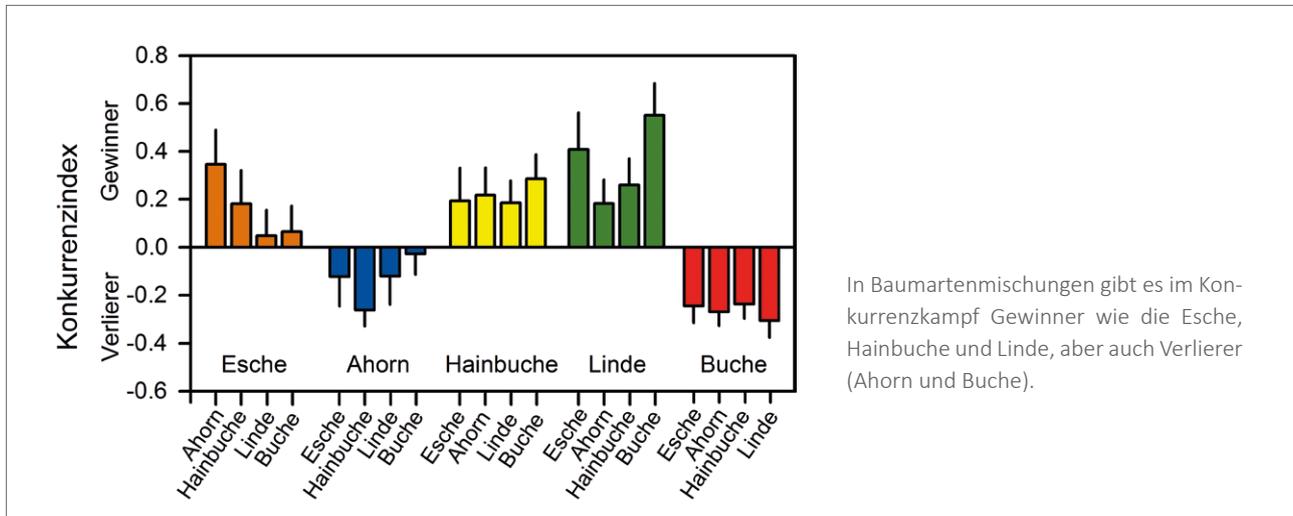
unten: Durch eine transparente Plexiglasscheibe lässt sich das Wurzelwachstum der Jungbäume beobachten.

Wie in menschlichen Gemeinschaften lässt sich die Dynamik der Einzelwurzeln durch sogenannte Überlebenskurven mit prozentualer Wahrscheinlichkeit darstellen; danach kann eine Wurzel älter als sechs Monate, zwölf Monate usw. werden. Wenn je zwei Buchen oder Eschen den Wurzelraum teilen, sich also artgleiche Wurzeln treffen, sind die Überlebenskurven der beiden Arten ähnlich. Werden dagegen Eschen- und Buchenwurzeln gemischt, leben die Eschenwurzeln länger als in der reinen Eschenbox, die Buchenwurzeln dagegen kürzer als in der reinen Buchenbox. Die Anwesenheit der artfremden Wurzeln erhöht also bei der Esche die Überlebenswahrscheinlichkeit, bei der Buche senkt sie diese. Eine mögliche Erklärung ist, dass Eschenwurzeln mehr Wasser und/oder Nährstoffe als Buchenwurzeln aufnehmen und die Buchenwurzeln im Zuge von verstärkter Ressourcenverknappung unter Stress

setzen, der die Lebensdauer verkürzt. Die Eschenwurzeln profitieren dagegen von einem vergleichsweise schwachen Konkurrenten. Untersuchungen zur Konkurrenz von Wurzelsystemen stehen noch ziemlich am Anfang, versprechen aber interessante Einblicke in einen Lebensraum, der offenbar ebenso hart umkämpft ist wie das Licht in der Baumkrone.

Gewinner und Verlierer im Konkurrenzkampf der Bäume

Die Forstwirtschaft bevorzugt heute vielerorts Mischwälder gegenüber Reinbeständen. Diese sind vermutlich unempfindlicher gegenüber klimatischem Stress und Schädlingen und beherbergen eine artenreichere Flora und Fauna. Wel-



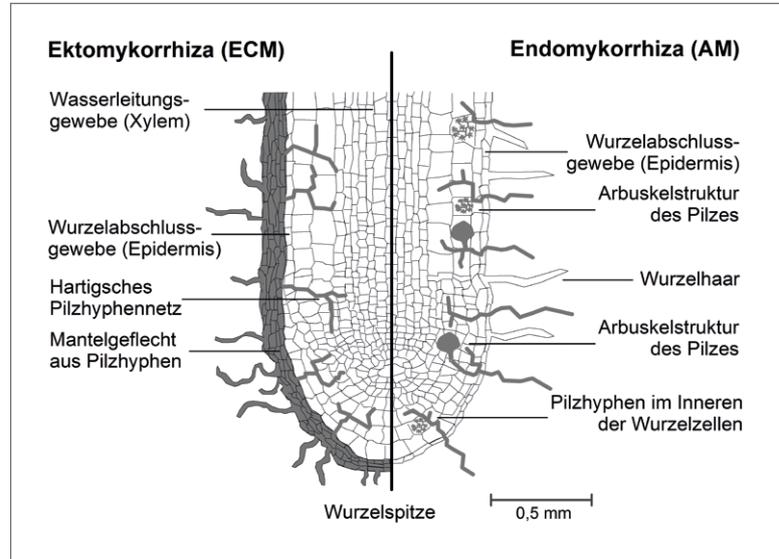
In Baumartenmischungen gibt es im Konkurrenzkampf Gewinner wie die Esche, Hainbuche und Linde, aber auch Verlierer (Ahorn und Buche).

che Baumart in Mischwäldern langfristig die Oberhand gewinnt, hängt von der Konkurrenzstärke der Partner ab. Bei der Pflanzung von Mischbeständen spielen Artunterschiede in der Konkurrenzstärke der Jungbäume für die spätere Zusammensetzung des Bestandes eine große Rolle; konkurrenzschwächere Arten können rasch von stärkeren Wettbewerbern überwachsen werden und neigen zu Totalausfall, wenn die Forstwirtschaft nicht eingreift.

Konkurrenzstärke ist aber keine unveränderliche Arteeigenschaft, sie variiert mit der Art des Nachbarn im Mischbestand. Das zeigt ein aufwendiges Konkurrenzexperiment mit fünf häufigen Laubbaumarten, die wir in großen Töpfen in Reinkultur (nur eine Art) und in allen möglichen Mischungen pflanzten. Als Jungbaum erwies sich die Winterlinde aufgrund ihres schnellen Jugendwachstums gegenüber allen vier Konkurrenten als überlegen, gefolgt von der Hainbuche. Die Esche konnte sich nur gegen den Bergahorn und die Hainbuche durchsetzen, während Rotbuche und Bergahorn gegenüber allen anderen Arten unterlegen waren. Zwischen den Arten besteht also ein kompliziertes Wechselspiel an Konkurrenzbeziehungen, die wesentlich von der Zusammensetzung des Mischbestandes bestimmt werden.

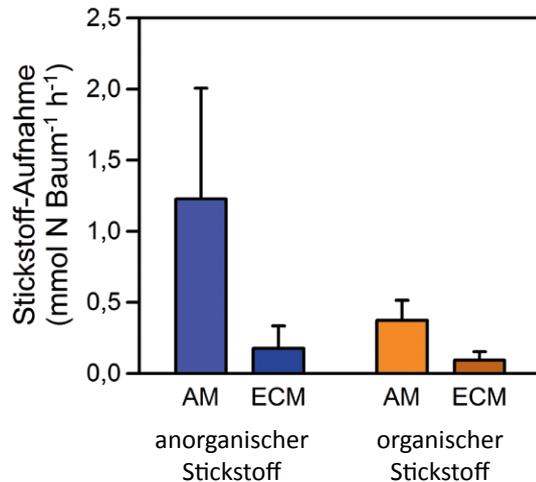
Pilze beeinflussen die Nährstoffaufnahme unserer Bäume

Die meisten Pflanzen leben in Gemeinschaft (Symbiose) mit Pilzen, die ihre Wurzeln besiedeln und die Pflanze bei der Aufnahme von Nährstoffen, insbesondere Stickstoff und Phosphor, unterstützen. Wissenschaftlerinnen



oben: Feinwurzel der Buche mit verschiedenen Mykorrhizapilz-Symbiosen (ersichtlich an den verschiedenen Farben der Wurzelspitzen)

unten: Schema eines Querschnitts durch die Spitze einer Feinwurzel eines Baumes mit der entsprechenden Besiedlung durch symbiontische Pilze, die entweder Ektomykorrhizen (ECM, links) oder arbuskuläre Mykorrhizen (AM, rechts) bilden

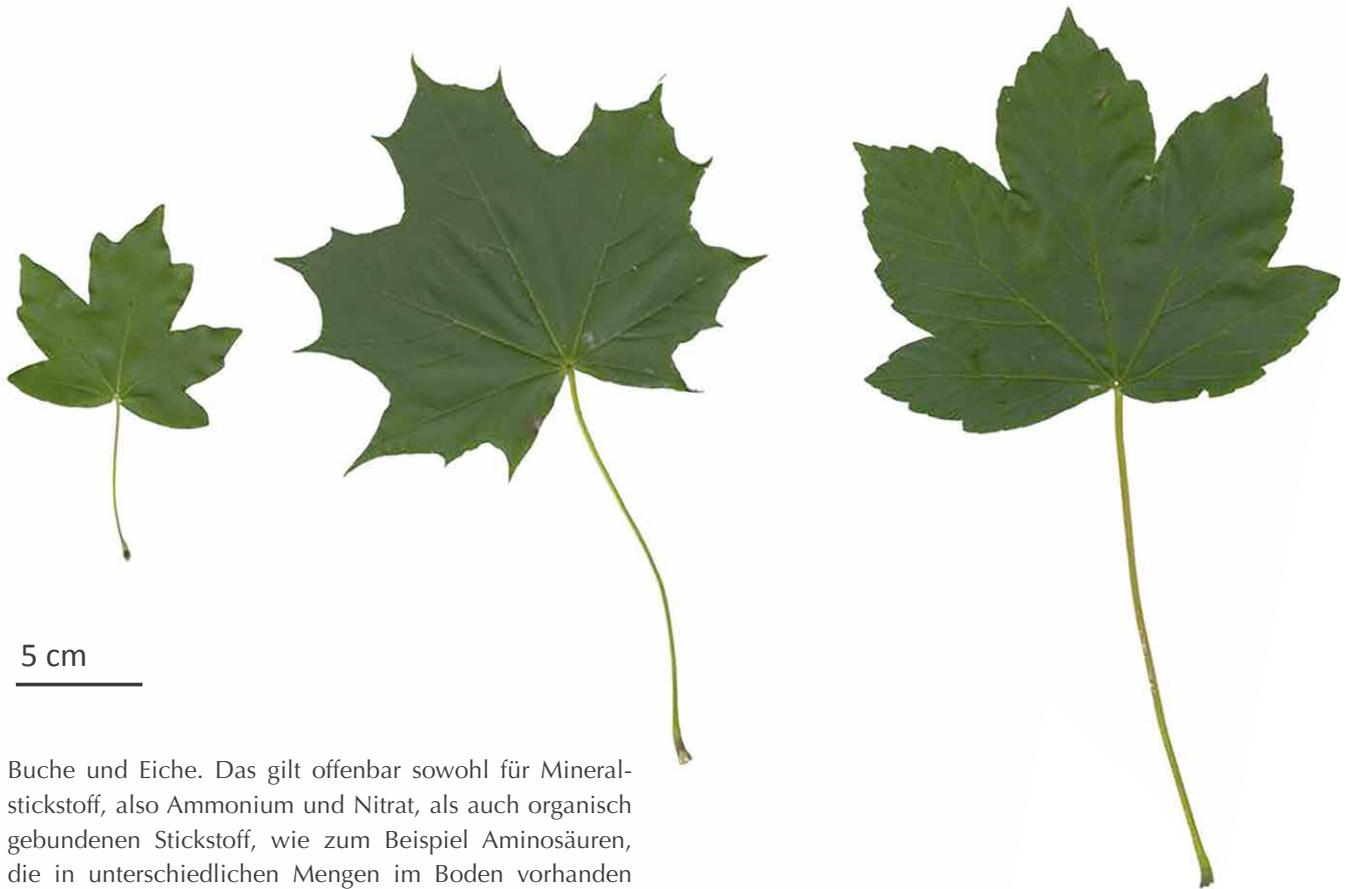


Jungbäume mit arbuskuläre Mykorrhiza-Symbiose (AM) nehmen pro Pflanze mehr Mineralstickstoff (Nitrat und Ammonium) und organische Stickstoffverbindungen über die Wurzeln auf als Baumarten mit Ektomykorrhiza-Symbiose (ECM).

und Wissenschaftler unterscheiden zwei Haupttypen von Wurzel-Pilz-Gemeinschaften: die sogenannte arbuskuläre Mykorrhiza (AM) und die Ektomykorrhiza (ECM). In der AM stellen die Pilze einen besonders engen Kontakt zu den Wurzeln her und dringen in die Wurzelrindenzellen der Pflanze ein. Zu einem eher oberflächlichen Kontakt zwischen Pilzen und Wurzeln, aber dichten Pilzgeflechten um die feinen Wurzelendungen kommt es in der ECM. Während die allermeisten krautigen Pflanzen AM-Symbiosen eingehen, gibt es unter unseren heimischen Baumarten sowohl AM- wie auch ECM-Bäume. Zu den ersten gehören die Ahornarten und die Esche, zu letzteren

Buche, Eiche und die meisten anderen Baumarten. Beide Typen kommen in unseren Mischwäldern gemeinsam vor. Es ist nicht bekannt, ob die beiden Formen der Pilz-Wurzel-Symbiose die Produktivität oder die Nährstoffaufnahme der Baumarten unterschiedlich beeinflussen.

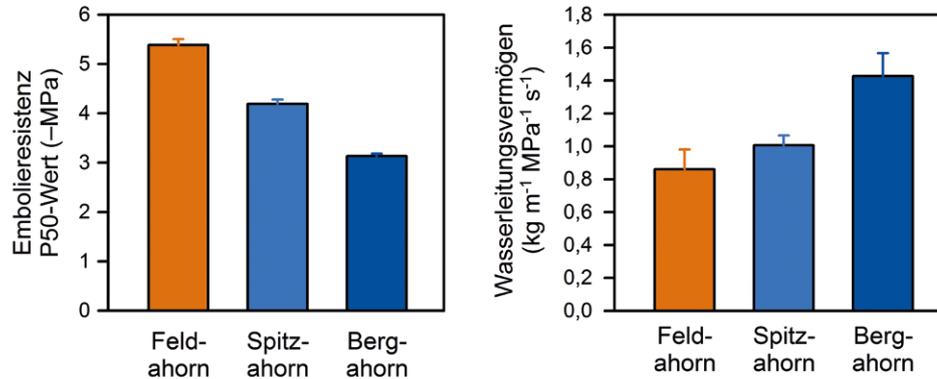
Ein Experiment im Wurzellabor des Experimentellen Botanischen Gartens mit Jungbäumen von jeweils vier heimischen AM- und ECM-Baumarten brachte das interessante Ergebnis, dass Bäume mit Arbuskulärer Mykorrhiza (AM) wie Ahorn und Esche deutlich effizienter in der Aufnahme von Stickstoff sind als ECM-Bäume wie



5 cm

Buche und Eiche. Das gilt offenbar sowohl für Mineralstickstoff, also Ammonium und Nitrat, als auch organisch gebundenen Stickstoff, wie zum Beispiel Aminosäuren, die in unterschiedlichen Mengen im Boden vorhanden sind. Das könnte mit dem engeren Kontakt zwischen Pilz und Wurzel bei der AM-Symbiose zusammenhängen oder auf Unterschieden in der Leistungsfähigkeit der Pilzarten beruhen. Diese sind zwischen den AM- und ECM-Gemeinschaften grundlegend unterschiedlich. Weitere Experimente wie diese sind notwendig, um die Bedeutung der unterschiedlichen Pilzpartner für die Vitalität und Produktivität der Bäume besser zu verstehen.

Blätter von Feldahorn, Spitzahorn und Bergahorn



Die drei heimischen Ahornarten unterscheiden sich in ihrer Empfindlichkeit gegenüber Embolien (Luftblasenbildung) im Wasserleitsystem und im Wassernachleitvermögen in der Baumkrone.

Fit für den Klimawandel?

In den deutschen Wäldern kommen einige Baumarten vor, die für die heutige Forstwirtschaft von nur geringer oder keiner Bedeutung sind, aber über Eigenschaften verfügen, die in einem wärmeren und trockeneren Klima von Vorteil sein können. Zu diesen Baumarten gehören unsere Ahornarten. Am häufigsten ist der Bergahorn, der vor allem im feuchteren Klima von Bergwäldern und an der Küste verbreitet ist. Hinzu kommen der recht ähnliche Spitzahorn mit weiterer Verbreitung im kontinentalen Binnenland, und der kleinblättrige Feldahorn, der häufig in Hecken und an Waldrändern vorkommt, aber in lichten Wäldern auch zu großer Höhe aufwachsen kann. Von ihrer natürlichen Verbreitung

her sollten Spitz- und Feldahorn eine größere Trockenstresstoleranz aufweisen als der Bergahorn. Beide gehören damit zu jenen Baumarten, auf die zu achten ist, wenn nach einheimischen Arten mit möglicher Anbaueignung in einem wärmeren und trockeneren Sommer gesucht wird. Die Waldökologie weiß bis heute jedoch erst sehr wenig über die Ökologie der Ahornarten.

Am Kronenpfad im Südteil des Gartens wachsen alle drei Ahornarten in mehreren Exemplaren nebeneinander und stellen hervorragende Objekte für vergleichende Studien zur Trockenstresstoleranz heimischer Nebenbaumarten dar, also forstwirtschaftlich weniger wichtiger Arten. Das

Wassertransportsystem im Holz eines Baumes ist von dem Dilemma geprägt, dass es möglichst viel Wasser durch den Stamm in die Blätter der Krone transportieren muss, dies jedoch große leitende Zellen erfordert, in denen sich wie in unserem Blutgefäßsystem Luftblasen bilden können, die den Wasserfluss blockieren. Diese Embolien entstehen leichter in großen, schnell leitenden Zellen. Messungen zur hydraulischen Leitfähigkeit (also zur Leistungsfähigkeit des Wassertransportsystems) von Stämmen und Ästen und deren Gefährdung durch Emboliebildung erlauben uns Aussagen über die Empfindlichkeit der Baumarten gegenüber sommerlichem Trockenstress.

Messungen an Zweigen in der oberen Sonnenkrone am Kronenpfad haben für die drei Ahornarten gezeigt, dass der Bergahorn – wie nach seinem Verbreitungsschwerpunkt in feuchteren Regionen zu erwarten war – tatsächlich ein leistungsfähigeres Wasserleitsystem in die Krone besitzt, aber gleichzeitig besonders empfindlich gegenüber Embolien ist. Spitz- und insbesondere Feldahorn zeigen zwar eine weniger effiziente Wasserleitung zu den Blättern, sind aber weniger anfällig gegenüber Luftblasenbildung bei Trockenheit und damit Trockenschäden. Diese Befunde lassen annehmen, dass der Bergahorn bei ausreichender Wasserversorgung mit seinem leistungsfähigen Wasserleitsystem hohe Wachstumsraten erreicht, in Trockenperioden jedoch früher durch Embolien geschädigt wird. Spitz- und besonders Feldahorn mögen an feuchten Standorten weniger produktiv als der Bergahorn sein, empfehlen sich der Forstwirtschaft jedoch infolge ihrer geringeren Trockenstress-Empfindlichkeit. Eine wichtige Aufgabe der forstwissenschaftlichen Forschung besteht nun darin, für bisher wenig beachtete, jedoch an den Klimawandel besser angepasste heimische Baumarten

Anbau- und Verwertungssysteme zu entwickeln, die als Alternative für gefährdete Baumarten dienen können.

Sukzessionsexperiment: Vom Acker zum Wald – langfristiger Wandel in der Vegetation und dessen treibende Kräfte

Vegetation ist einem stetigen Wandel unterworfen. Vegetationsökologen untersuchen diese häufig über Jahrzehnte oder Jahrhunderte ablaufenden Veränderungsprozesse, um Vorhersagen über die Zukunft der Pflanzenbestände machen zu können und Empfehlungen für den Naturschutz geben zu können. Bei der Gründung des Gartens vor 50 Jahren bot sich die einzigartige Möglichkeit, auf ehemaligen Ackerflächen das natürliche Einwandern von Pflanzen und den langfristigen Vegetationswandel hin zu Wald fortlaufend wissenschaftlich zu begleiten mit dem Ziel, die treibenden Kräfte des Wandels zu verstehen. Der Versuch wurde 1968/69 auf Anregung des damaligen Leiters des Systematisch-Geobotanischen Instituts, Prof. Dr. Heinz Ellenberg, angelegt und hat nach fast 50 Jahren zu einem in Europa einzigartigen Datensatz geführt.

Die Sukzession von Acker zu Wald wird seit 1969 auf vier Parzellen untersucht: Zwei Parzellen (ID, IE) wurden zuvor hitzesterilisiert und enthielten keine Samen oder keimfähigen Pflanzenteile mehr im Oberboden, eine Parzelle wurde mit einem Herbizid behandelt, eine vierte enthielt noch alle lebenden Pflanzenteile und Samen des alten Ackerbodens. Der Vergleich der Parzellen zeigt deutlich, wie groß der Einfluss der unterschiedlichen Vorbehandlung auf den Ablauf des Vegetationswandels ist: Gehölze entwickelten sich dort besonders rasch und zahlreich, wo der Boden sterilisiert



Blick auf den Sukzessionsversuch

oben: 1969: Der Versuch ist angelegt.

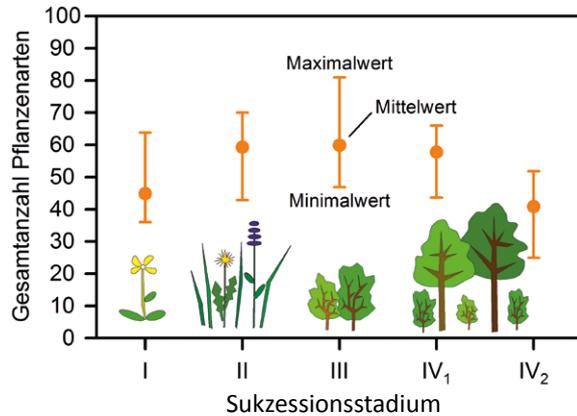
unten: 2009: 40 Jahre danach hat sich auf der ungestörten Ackerbrache ein artenreicher Pionierwald entwickelt.

worden war. Birken prägen auch heute noch diese Parzellen, während dort, wo aus dem Samenvorrat des Ackerbodens sich rasch eine dichte Unkrautvegetation entwickelte, bis heute Eschen vorherrschen, aber Birken völlig fehlen.

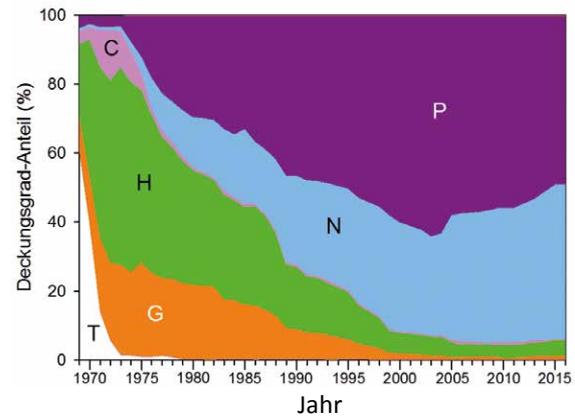
Gemeinsam ist allen vier Parzellen jedoch die Aufeinanderfolge von vier deutlich abgegrenzten Sukzessionsstadien, die durch bestimmte dominante pflanzliche Lebensformen geprägt werden (Abb. rechts):

1. Stadium einjähriger Pflanzen, die in den ersten 1 bis 2 Jahren vorherrschen (Foto oben).
2. Stauden-Gras-Stadium, geprägt von ausdauernden Kräutern und Gräsern (Dauer: 3 bis 8 Jahre).
3. Gebüsch-Stadium mit einer zunehmenden Dominanz von Gehölzen bis zu einer Strauchschichthöhe von 5 Metern (Dauer: 10 bis 14 Jahre).
4. Pionierwald-Stadium, beherrscht von Bäumen mit 5 bis heute über 25 Metern Höhe (ab etwa dem 20. Jahr der Sukzession, Foto unten).

Bis heute hat sich eine bemerkenswerte Vielfalt von Pflanzenarten auf den ehemaligen Ackerflächen eingefunden (239 höhere Pflanzen). Die meisten Arten wanderten in den frühen Stadien (1 und 2) ein, so dass der Artenreichtum nach wenigen Jahren seinen Höchststand erreichte, um zum Wald hin wieder abzunehmen. Offenlandarten wurden durch Waldarten ersetzt. Zehn Baumarten herrschen heute in den Parzellen vor, wobei die Hängebirke, die Salweide und die Esche am bedeutendsten sind. Auch die Rotbuche, die die Wälder der Göttinger Umgebung von Natur aus dominieren würde, hat die Versuchsflächen



Im Verlauf von fast 50 Jahren natürlicher Vegetationsentwicklung im Sukzessionsexperiment dominierten zunächst einjährige Pflanzen (T), später mehrjährige Zwiebel-, Rosetten- und Horstpflanzen (G, H) und zuletzt Sträucher (N) und Bäume (P).



nach 20 Jahren erreicht, obwohl ihre schweren Eckern nur langsam durch Vögel oder Mäuse aus den umgebenden Wäldern eingetragen werden. Sie ist in Form einzelner Sämlinge vertreten und bleibt bisher selten. Sie wird ihre Herrschaft zweifellos erst nach weiteren 50 bis 100 Jahren antreten. Der eindrucksvolle Vegetationswandel in den vergangenen fast 50 Jahren (1968–2016) lässt sich gut in den Fotos nachvollziehen.

Fortlaufend durchgeführte ökologische Messungen demonstrieren die stark angestiegene Nutzung des Lichtes durch die dichter und höher werdende Vegetationsdecke: Waren die Pflanzen 1969 noch Volllicht ausgesetzt, dringen heute nur zwei Prozent der Einstrahlung zum Boden durch. Es setzen sich also Pflanzen mit höherer Ressourcen-

nutzung durch. Der Vegetationswandel hat weiterhin zu einer markanten Umverteilung des Nährelementes Stickstoff im Ökosystem geführt: Waren zu Beginn der Sukzession die Nährstoffvorräte vor allem im Ober- und Unterboden gespeichert, gewannen im Laufe der Jahrzehnte die Vorräte in der Biomasse und in der Streuauflage an der Bodenoberfläche an Bedeutung, während die tieferen Bodenschichten eher verarmten. Der aufwachsende Wald reichert also Nährstoffe in seiner Biomasse an und die jährlichen Kreisläufe von Kohlenstoff und Nährstoffen im Ökosystem entwickeln sich zu einem weitgehend geschlossenen System. Das langfristige Sukzessionsexperiment im Experimentellen Botanischen Garten erlaubt uns damit Einblicke in die natürliche Selbstorganisation von biologischen Systemen bei langfristiger natürlicher Entwicklung.

WISSENSCHAFTLICHE VERÖFFENTLICHUNGEN zu Forschungsprojekten im EBG (1999–2017)

- Lübbe T, Schuldt B, Leuschner C (2017): Acclimation of leaf water status and stem hydraulics to drought and tree neighborhood: alternative strategies among the saplings of five temperate deciduous tree species. *Tree Physiology* 37: 456-468.
- Schwerbrock R, Leuschner C (2016): Air humidity as key determinant of morphogenesis and productivity of the rare temperate woodland fern *Polystichum braunii*. *Plant Biology* 18: 649-657.
- Lübbe T, Schuldt B, Coners H, Leuschner C (2016): Species diversity and identity effects on the water consumption of tree sapling assemblages under ample and limited water supply. *Oikos* 125: 86-97.
- Meier IC, Leuschner C, Marini E, Fender AC (2016): Species-specific effects of temperate trees on greenhouse gas exchange of forest soil are diminished by drought. *Soil Biology and Biochemistry*: 122-134.
- Knutzen F, Meier IC, Leuschner C (2015): Does reduced precipitation trigger physiological and morphological drought adaptations in European beech (*Fagus sylvatica* L.)? Comparing provenances across a precipitation gradient. *Tree Physiology* 35: 949-963.
- Lübbe T, Schuldt B, Leuschner C (2015): Species identity and neighbor size surpass the impact of tree species diversity on productivity in experimental broad-leaved tree sapling assemblages under dry and moist conditions. *Frontiers in Plant Science* 6: 857.
- Carsjens C, Ngoc QN, Guzy J, Knutzen F, Meier IC, Müller M, Finkeldey R, Leuschner C, Polle A (2014): Intra-specific variations in expression of stress-related genes in beech progenies are stronger than drought-induced responses. *Tree Physiology* 34: 1348-1361.
- Hajek P, Hertel D, Leuschner C (2014): Root order- and root age-dependent response of two poplar species to belowground competition. *Plant and Soil* 377: 337-355.
- Toivonen JM, Horna V, Kessler M, Ruokolainen K, Hertel D (2014): Interspecific variation in functional traits in relation to species climatic niche optima in Andean *Polylepis* (Rosaceae) tree species: evidence for climatic adaptations. *Functional Plant Biology* 41: 301-312.
- Valtanen K, Eissfeller V, Beyer F, Hertel D, Scheu S, Polle A (2014): Carbon and nitrogen fluxes between beech and their ectomycorrhizal assemblage. *Mycorrhiza* 24: 645-650.
- Cesarz S, Fender AC, Beyer F, Valtanen K, Pfeiffer B, Gansert D, Hertel D, Polle A, Daniel R, Leuschner C, Scheu S (2013): Roots from beech (*Fagus sylvatica* L.) and ash (*Fraxinus excelsior* L.) differentially affect soil microorganisms and carbon dynamics. *Soil Biology and Biochemistry* 61: 23-32.
- Beyer F, Hertel D, Leuschner C (2013): Fine root morphological and functional traits in *Fagus sylvatica* and *Fraxinus excelsior* saplings as dependent on species, root order and competition. *Plant and Soil* 373: 143-156.

- Eissfeller V, Beyer F, Valtanen K, Hertel D, Maraun M, Polle P, Scheu S (2013): Incorporation of plant carbon and microbial nitrogen into the rhizosphere food web of beech and ash. *Soil Biology and Biochemistry* 62: 76-81.
- Beyer F, Hertel D, Jung K, Fender AC, Leuschner C (2013): Competition effects on fine root survival of *Fagus sylvatica* and *Fraxinus excelsior*. *Forest Ecology and Management* 302: 14-22.
- Fender AC, Leuschner C, Schützenmeister K, Gansert D, Jungkunst H (2013): Rhizosphere effects of tree species - Large reduction of N₂O emission by saplings of ash, but not of beech, in temperate forest soil. *European Journal of Soil Biology* 54: 7-15.
- Fender AC, Gansert D, Jungkunst H, Fiedler S, Beyer F, Schützenmeister K, Thiele B, Valtanen K, Polle A, Leuschner C (2013): Root-induced tree species effects on the source/sink strength for greenhouse gases (CH₄, N₂O and CO₂) of a temperate deciduous forest soil. *Soil Biology and Biochemistry* 57: 587-597.
- Pfeiffer B, Fender AC, Lasota S, Hertel D, Jungkunst H, Daniel R (2013): Leaf litter is the main driver for changes in bacterial community structures in the rhizosphere of ash and beech. *Applied Soil Ecology* 72: 150-60.
- Fender AC, Pfeiffer B, Gansert D, Leuschner C, Daniel R, Jungkunst HF (2012): The inhibiting effect of nitrate fertilisation on methane uptake of a temperate forest soil is influenced by labile carbon. *Biology and Fertility of Soils* 48: 621-631.
- Seidel D, Beyer F, Hertel D, Fleck S, Leuschner C (2011): 3D-laser scanning: A non-destructive method for studying above-ground biomass and growth of juvenile trees. *Agricultural and Forest Meteorology* 151: 1305-1311.
- Fender A-C, Mantilla-Contreras J, Leuschner C (2011): Multiple environmental control of leaf area and its significance for productivity in beech saplings. *Trees* 25: 847-857.
- Erfmeier A, Tsaliki M, Roß CA, Bruehlheide H (2011): Genetic and phenotypic differentiation between invasive and native *Rhododendron* (Ericaceae) taxa and the role of hybridization. *Ecology and Evolution* 1: 392-407.
- Schmidt-Lebuhn AN, Fuchs J, Hertel D, Hirsch H, Toivonen J, Kessler M (2010): An Andean radiation: polyploidy in the tree genus *Polylepis* (Rosaceae, Sanguisorbeae). *Plant Biology* 12: 917-926.
- Rose L, Leuschner C, Köckemann B, Buschmann H (2009): Are marginal beech (*Fagus sylvatica* L.) provenances a source for drought tolerant ecotypes? *European Journal of Forest Research* 128: 335-343.
- Paul A, Hauck M, Leuschner C (2009): Iron and phosphate uptake in epiphytic and saxicolous lichens differing in their pH requirements. *Environmental and Experimental Botany* 67: 133-138.
- Paul A, Hauck M, Leuschner C (2009): Iron and phosphate uptake explains the calcifuge- calcicole behavior of the terricolous lichens *Cladonia furcata* subsp. *furcata* and *C. rangiformis*. *Plant and Soil* 319: 49-56.
- Lendzion J, Leuschner C. (2009): Temperate forest herbs are adapted to high air humidity - evidence from climate chamber and humidity manipulation experiments in the field. *Canadian Journal of Forest Research* 39: 2332-2342.
- Hauck M, Willenbruch K, Leuschner C (2009): Lichen substances prevent lichens from nutrient deficiency. *Journal of Chemical Ecology* 35: 71-73.
- Hauck M, Paul A, Leuschner C (2009): Element uptake in thalli of the lichen *Physcia caesia* from sandstone and calcareous substratum. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 172: 839-842.

- Dölle M, Schmidt W (2009): Impact of tree species on nutrient and light availability: evidence from a permanent plot study of old-field succession. *Plant Ecology* 203: 273-287.
- Schmidt W, Dölle M, Bernhardt-Römermann M, Parth A (2009): Neophytes in old-field succession-results of a permanent plot study. *Tuexenia* 29: 236-260.
- Thomas FM, Sprenger S (2008): Responses of two closely related oak species, *Quercus robur* and *Q. petraea*, to excess manganese concentrations in the rooting medium. *Tree Physiology* 28, 343-353.
- Meier IC, Leuschner C (2008): Genotypic variation and phenotypic plasticity in the drought response of fine roots of European beech. *Tree Physiology* 28: 297-309.
- Lendzion J, Leuschner C (2008): Growth of European beech (*Fagus sylvatica* L.) saplings is limited by elevated atmospheric vapour pressure deficits. *Forest Ecology and Management* 256: 648-655.
- Hauck M, Jürgens S-R (2008): Usnic acid controls the acidity tolerance of lichens. *Environmental Pollution* 156: 115-122.
- Hauck M (2008): Susceptibility to acidic precipitation contributes to the decline of the terricolous lichens *Cetraria aculeata* and *Cetraria islandica* in central Europe. *Environmental Pollution* 152: 731-735.
- Hauck M (2008): Metal homeostasis in *Hypogymnia physodes* is controlled by lichen substances. *Environmental Pollution* 153: 304-308.
- Dölle M, Bernhardt-Römermann M, Parth A, Schmidt W (2008): Changes in life history trait composition during undisturbed old-field succession. *Flora* 203: 508-522.
- Thomas FM, Bartels C, Gieger T (2006): Alterations in vessel size in twigs of *Quercus robur* and *Q. petraea* upon defoliation and consequences for water transport under drought. *IAWA Journal* 27: 395-407.
- Aspelmeier S, Leuschner C (2006): Genotypic variation in drought response of silver birch (*Betula pendula* Roth): leaf and root morphology and carbon partitioning. *Trees* 20: 42- 52.
- Kluth C, Bruelheide H (2005): Effects of range position, inter-annual variation and density on demographic transition rates of *Hornungia petraea* populations. *Oecologia* 145: 382- 393.
- Kluth C, Bruelheide H (2005): Central and peripheral *Hornungia petraea* populations: patterns and dynamics. *Journal of Ecology* 93: 584-595.
- Gieger T, Thomas FM (2005): Differential response of two Central-European oak species to single and combined stress factors. *Trees* 19: 607-618.
- Erfmeier A, Bruelheide H (2005): Invasive and native *Rhododendron ponticum* populations: is there evidence for genotypic differences in germination and growth? *Ecography* 28: 417-428.
- Scheidel U, Bruelheide H (2004): The impact of altitude and simulated herbivory on the growth and carbohydrate storage of *Petasites albus*. *Plant Biology* 6: 740-745.
- Scheidel U, Bruelheide H (2004): Age-specific and season-specific mollusk damage to seedlings of grassland Asteraceae. *Journal of the Torrey Botanical Society* 131: 140-149.
- Paul A, Hauck M, Langenfeld-Heyser R (2004): Ultrastructural changes in soredia of the epiphytic lichen *Hypogymnia physodes* cultivated with manganese. *Environmental and Experimental Botany* 52: 139-147.
- Aspelmeier S, Leuschner C (2004): Genotypic variation in drought response of silver birch (*Betula pendula*): leaf water status and carbon gain. *Tree Physiology* 24: 517-528.

- Paul A, Hauck M, Fritz E (2003): Effects of manganese on element distribution and structure in thalli of the epiphytic lichens *Hypogymnia physodes* and *Lecanora conizaeoides*. *Environmental and Experimental Botany* 50: 113-124.
- Hauck M, Zöller, T (2003): Copper sensitivity of soredia of the epiphytic lichen *Hypogymnia physodes*. *Lichenologist* 35: 271-274.
- Bruelheide H (2003): Translocation of a montane meadow to simulate the potential impact of climate change. *Applied Vegetation Science* 6: 23-34.
- Leuschner C (2002): Air humidity as an ecological factor for woodland herbs: leaf water status, nutrient uptake, leaf anatomy, and productivity of eight species grown at low or high vpd levels. *Flora* 197: 262–274.
- Hauck M, Paul A, Mulack M, Fritz E, Runge M (2002): Effects of manganese on the viability of vegetative diaspores of the epiphytic lichen *Hypogymnia physodes*. *Environmental and Experimental Botany* 47: 127-142.
- Hauck M, Mulack M, Paul A (2002): Manganese uptake in the epiphytic lichens *Hypogymnia physodes* and *Lecanora conizaeoides*. *Environmental and Experimental Botany* 48: 107-116.
- Gieger T, Thomas FM (2002): Effects of defoliation and drought stress on biomass partitioning and water relations of *Quercus robur* and *Quercus petraea*. *Basic and Applied Ecology* 3: 171-181.
- Bruelheide H, Lieberum K (2001): Experimental tests for determining the causes of the altitudinal distribution of *Meum athamanticum* Jacq. in the Harz Mountains. *Flora* 196: 227-241.
- Thomas FM, Hilker C (2000): Nitrate reduction in leaves and roots of young pedunculate oaks (*Quercus robur*) growing on different nitrate concentrations. *Environmental and Experimental Botany* 43: 19-32.
- Thomas FM, Gausling T (2000): Morphological and physiological responses of oak seedlings (*Quercus petraea* and *Q. robur*) to moderate drought. *Annals of Forest Sciences* 57: 325-333.
- Thomas FM (2000): Growth and water relations of four deciduous tree species (*Fagus sylvatica* L., *Quercus petraea* [Matt.] Liebl., *Q. pubescens* Willd., *Sorbus aria* [L.] Cr.) occurring at Central-European tree-line sites on shallow calcareous soils: physiological reactions of seedlings to severe drought. *Flora* 195: 104-115.
- Schmull M, Thomas FM (2000): Morphological and physiological reactions of young deciduous trees (*Quercus robur* L., *Q. petraea* [Matt.] Liebl., *Fagus sylvatica* L.) to waterlogging. *Plant and Soil* 225: 227-242.
- Bruelheide H, Flintrop T (2000): Evaluating the transplantation of a meadow in the Harz Mountains, Germany. *Biological Conservation* 92: 109-120.
- Bruelheide H (2000): Population dynamics of endangered species in a transplanted montane meadow. *Folia Geobotanica* 35: 179-189.
- Thomas FM, Schafellner C (1999): Effects of excess nitrogen and drought on the foliar concentrations of allelochemicals in young oaks (*Quercus robur* L. and *Q. petraea* [Matt.] Liebl.). *Journal of Applied Botany* 73: 222-227.
- Thomas FM, Ahlers U (1999): Effects of excess nitrogen on frost hardiness and freezing injury of above-ground tissue in young oaks (*Quercus petraea* and *Q. robur*). *New Phytologist* 144: 73-83.
- Scheidel U, Bruelheide H (1999): Selective slug grazing on montane meadow plants. *Journal of Ecology* 87: 828-838.
- Bruelheide H, Scheidel U (1999): Slug herbivory as a limiting factor for the geographical range of *Arnica montana*. *Journal of Ecology* 87: 839-848.

Wir freuen uns, wenn Ihnen unser Forschungsüberblick gefallen hat. Weitere Informationen zu unserer Forschung und der Abteilung finden Sie unter www.uni-goettingen.de/pflanzenoekologie. Sollten Sie Interesse haben, eine unserer Einrichtungen zu besuchen, wenden Sie sich bitte an die Gartenverwaltung.

ÖFFNUNGSZEITEN

Freiland immer geöffnet, Alpinenhaus tagsüber geöffnet, Versuchsgewächshäuser auf Anfrage. Eintritt frei

ANFAHRT

Anreise mit Bus

Haltestellen: Tammannstraße, Kellnerweg, Burckhardtweg
Linie 23, 21, 22

Anreise mit PKW

Parkplätze im Experimentellen Botanischen Garten



KONTAKT

Experimenteller Botanischer Garten
Grisebachstr. 1a, 37077 Göttingen
Telefon: 0551 39-5713
Fax: 0551 39-33556
www.ebg.uni-goettingen.de

Direktor

Prof. Dr. Christoph Leuschner

Kustos

Dr. Lars Köhler

Telefon: 0551 39-5725

E-mail: lkoehle@uni-goettingen.de



IMPRESSUM

Herausgeberin

Präsidentin der Universität Göttingen

Text

Prof. Dr. Christoph Leuschner
Sukzessionsexperiment: Prof. Dr. Wolfgang Schmidt,
Dr. Michaela Dölle

Redaktion

Dr. Katrin Pietzner
Öffentlichkeitsarbeit
Georg-August-Universität Göttingen
37073 Göttingen
Wilhelmsplatz 1

Gestaltung und Layout

mediendesign | aronjungermann

Abbildungsnachweis

Aspelmeier, Stella: 17 oben
Coners, Heinz: 14, 25 rechts
Dölle, Michaela: 37 rechts
Göbel, Leonie: 12 oben
Hertel, Dietrich: alle übrigen Abbildungen
Köhler, Lars: 11 rechts; 19; 20 oben, unten;
24 unten; 43
Lübbe, Torben: 10
Schwerbrock, Robin: 24 oben, unten
Schmidt, Wolfgang: 36 oben, unten
Schürer, Anke: 6 oben

1. Auflage, Juni 2017

Mit freundlicher Unterstützung von:

ZENTRALE KUSTODIE

SAMMLUNGEN | MUSEEN | GÄRTEN

