

CHRISTIAN KÖLLING

# WÄLDER IN BEWEGUNG

Eine Reise  
durch 100 Jahre  
Wald- und  
Klimazukunft

 oekom

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	7
1 Wir reisen in die Zukunft von Wald und Klima .....	13
2 Umsonst und draußen: Wälder sind dem Klima ausgeliefert .....	21
3 Zwillingregions: Wir reisen mit System umher in Zeit und Raum ...	27
4 Bilder aus der Klimazukunft: Wir erfahren den Klimawandel in Zwillingregions .....	35
5 Zukunftswald zum Anfassen: Wir zählen Baumarten in den Zwillingregions .....	41
6 Unterstützte Wanderung: Der Zukunftswald kommt zu uns .....	51
7 Absteiger, Tabellenmitte und Aufsteiger: Wir gestalten den Zukunftswald .....	59
8 Bedachte Anreicherung: Wir bauen den Zukunftswald auf .....	65
9 Weitere Ansprüche: Ist ein passendes Klima genug? .....	71
10 Natürliche Anpassung: Warum passt sich der Wald nicht von selbst an? .....	75
11 Waldkultur: Kunst trifft Natur .....	83
12 Anreicherungskultur: Sparsamkeit trifft Vielfalt .....	91
13 Der gemischte Zukunftswald: Auf die richtige Raumnutzung kommt es an .....	97
14 Aus Kindern werden Leute: Wachstum und Pflege im Pflanzrad .....	105
15 Süßes Nichtstun: Die Natur macht von selbst nicht alles besser .....	109
16 Normalbetrieb oder Geschäft wie üblich: Neue Probleme erfordern neue Lösungen .....	115

17	Einsicht in die Notwendigkeit: Wie Evidenz das Handeln möglich macht .....	121
18	Gegenwartswald wird Zukunftswald: Es steht viel auf dem Spiel ....	125
19	Schöne neue Welt: Der Wald wird sich verändert haben .....	131
20	Wiedersehen macht Freude: Wohin verschwindet unser Klima? .....	137
21	Die Essenz: Wälder in Bewegung .....	143
	Häufig gestellte Fragen .....	146
	Tipps zum Weiterlesen .....	158
	Bildnachweis .....	161

# Vorwort

Wald wird oft mit Wildnis gleichgesetzt und Wildnis mit reiner, guter Natur. Menschliche Eingriffe in diese gefühlte »Waldwildnis« werden deshalb von manchen kritisch gesehen. Dabei ist der Wald, den wir heute haben, weit überwiegend ein Produkt menschlicher Gestaltung der vergangenen Jahrhunderte. Dieses langfristige waldkulturelle Management ist der Kern forstlicher Nachhaltigkeit.

## Wilde Wildnis

Moderne Menschen, die heute an Wildnis denken, meinen meist Nationalparks, Naturschutzgebiete oder auch die weitgehend kontrollierte Wiederansiedlung von Luchs, Bär und Wolf. Diese Wildnis wird positiv gesehen. Der ursprüngliche Begriff von Wildnis meinte aber etwas anderes, etwas, das mächtiger ist als der Mensch, etwas, das er nicht beherrscht, etwas, das er nicht steuern kann, dem er auf Gedeih und Verderb ausgeliefert ist. Jahrtausendlang war das die wilde, natürliche Natur, die die Menschheit, die ums Überleben rang, mit undurchdringlichen Dschungeln, mit Raubtieren, mit Viren und Bakterien oder mit Unwettern bedrohte. Diese ursprüngliche Wildnis machte Angst, Wildnis war ganz und gar negativ, wurde bekämpft und »kultiviert«. Heute hat der Mensch diese ursprünglichen, wilden Naturgefahren durch Technik, Medizin und Wettervorhersage weitgehend im Griff. Er gestaltet selbst seine Umwelt und ist ihr nicht mehr schutzlos ausgeliefert. Ja, wir Menschen schützen mittlerweile sogar die wenigen Reste natürlicher Wildnis, indem wir ihnen in Nationalparks und anderen Schutzgebieten Raum geben und sie zur Erholung nutzen. Damit haben wir die natürliche Wildnis paradoxerweise in ein beherrschbares Kulturgut verwandelt.

## Menschengemachte Wildnis

Aber die Menschheit hat auch, und das ist der wesentliche Punkt, eine neue Art von Wildnis geschaffen, eine menschengemachte Wildnis, die uns



wirklich bedroht, die wir nicht beherrschen, die wir (noch) nicht stoppen und auch nicht steuern können. Dazu gehört an erster Stelle die menschengemachte Erderwärmung, die Klimazonen verschiebt, Meeresströmungen beeinflusst, ganze Ökosysteme verändert und so auch Migrationsströme in Gang setzt. Auch die Verdreckung des Planeten durch unseren Zivilisationsmüll ist ein Beispiel für diese anthropogen erzeugte Wildnis, die in Form von unbeherrschbarem Mikroplastik bis in unsere Körper zurückschlägt. Inzwischen sind zahlreiche ökologische Kippelemente bekannt, die, wenn sie erreicht werden, das Artensterben verstärken, die Gletscherschmelze beschleunigen, den für Europa so wichtigen Golfstrom verlangsamen und, und, und. Das ist die Lage, in der wir uns heute als Menschheit befinden: Wir sind dem ausgeliefert, was wir durch die Summe unserer invasiven Lebensstile an Chaos dem Kosmos der Natur aufgezwängt haben.

Der weltweit bekannte und in Oxford lehrende Umweltphilosoph William MacAskill schreibt, bezogen auf diese dramatische Situation: »Auf unseren Schultern lastet eine enorme Verantwortung, weil das, was wir als Gesellschaft heute tun, Auswirkungen auf unzählige zukünftige Generationen haben wird.« Er schlussfolgert daraus, dass die heutige Generation eine besondere Verantwortung zum Handeln hat. Handeln müssen wir als Menschheit schnell, und zwar auf allen Ebenen und in allen Feldern: global, regional, lokal und auch als Einzelne.

### **Walderhaltung braucht Waldveränderung**

Ein besonders wichtiger Bereich, in dem Handeln gefordert und auch möglich ist, ist der Wald. Er leidet zum einen besonders stark unter der Klimaerwärmung, weil die künstlich angebauten Baumarten, meist sind es Fichte und Kiefer, sich mit dem kommenden Klima schwertun. Aber auch die natürlichen Waldgesellschaften mit der Hauptbaumart Rotbuche kommen mit der sich rasant verändernden Umwelt immer schlechter zurecht. Warum? Weil das Ökosystem Wald träge ist und sich natürlicherweise nur in Zeiträumen von Jahrhunderten bis Jahrtausenden anpasst. Der Klimawandel überfordert also unsere Bäume, weil sich Temperatur und Wasserverfügbarkeit, erdgeschichtlich gesehen, so rasant verändern, dass diese langlebigen Großlebewesen, die im wahrsten Sinne des Wortes auf jahrhundertelange

gleiche Standortbedingungen »geeicht« sind, sich nicht dem vom Menschen gemachten Tempo anpassen können. Bei der nacheiszeitlichen Wiederbewaldung Mitteleuropas, die vom Mittelmeerraum ausging, brauchte die Buche beispielsweise 1000 Jahre, um eine Strecke von 300 km zurückzulegen. München – Würzburg: 1000 Jahre, München – Berlin: 2000 Jahre!

Der Mittelmeerraum war das eiszeitliche Rückzugsgebiet unserer Bäume. Es ist voll mit Arten, die an trockenes und heißes Klima angepasst sind. Es gibt dort elf Tannenarten und 13 Arten von Eichen. Zum Vergleich: In Deutschland gibt es nur eine Tannenart, die Weißtanne, und drei Eichenarten. Aber nicht nur die Artenzahl ist dort hoch, auch die lokalen Herkünfte dieser Arten sind vielfältig, und vor allem, sie alle sind genetisch angepasst an die jeweilige Höhenlage, den Boden und das lokale Klima. Deshalb herrscht in der Region am Mittelmeer aus klimageschichtlichen Gründen ein Reichtum an genetischer Biodiversität unter den Baumarten, die noch dazu direkt mit unseren verwandt sind.

Christian Kölling stellt in diesem Buch mit klarer und bildreicher Sprache entfernte Analogregionen vor, also Gegenden in Südeuropa, in denen heute schon Klimabedingungen herrschen, die bei uns noch kommen werden. Dort hat sich die Natur im Laufe der Evolution mit dem Ökosystem Wald an die lokalen Standortbedingungen bestens angepasst. Die Baumarten und ihre unterschiedlichen Herkünfte, die in Analogregionen vital sind, sind pflanzliche Fingerzeige und Weiser für unser kommendes Klima. Wir können also der dortigen Natur ablauschen, welche Arten und Herkünfte am besten an das angepasst sind, was bei uns noch kommen wird. Wenn wir diese Bäume, Champions des Südens, Champions der warm-trockenen Anpassung, bei uns einbringen, überspringen wir damit viele Jahrhunderte der Anpassung in kleinen Schritten, die die Natur allein dafür bräuchte. Dieses Unterstützen einer grundsätzlich natürlichen Entwicklung hilft, die Geschwindigkeit auszugleichen, mit der der Mensch den Klimawandel befeuert hat.

### **Was ist der Nutzen? Warum nicht die Natur allein machen lassen?**

Weil die Existenz des Waldes bei uns massiv bedroht ist und damit auch seine positiven Leistungen: die kühlende Schattenwirkung, die Wasser-

haltefähigkeit, die Vielfalt von Flora und Fauna. Nichts tun bedeutet in den meisten Fällen zuerst einmal Kahlflächen mit steppenartigem Klima und viel Gras. Aber die Samen des Vorgängerbestandes im Boden werden keimen und dann nochmals ein bis zwei Generationen mehr oder weniger reine Fichte bzw. Kiefer hervorbringen. Also vielleicht nochmals 100, 200 Jahre Folgemonokultur und Folgekalamitäten? Denn wo sollen die Mischbaumarten herkommen? Je naturferner der Ausgangsbestand ist, desto wichtiger ist die gelenkte Anpassung durch den Voranbau klimaanangepasster Bäume, denn eine Monokultur verzüchtet sich nicht von selbst zu einem Mischwald. Walderhaltung braucht Waldgestaltung.

Es liegt also nahe, heute schon zu schauen, was in Analogregionen gedeiht, damit wir mit Unterbau und Voranbau den Wald an das kommende Klima schnell anpassen können, um ihn bei uns durchgehend zu erhalten, mit all seinen positiven Wirkungen.

### Paradigmenwechsel

Vor 200 Jahren waren unsere Wälder völlig übernutzt und ausgeplündert, sie wurden beweidet, und noch das kleinste Blatt wurde ausgeharkt, um es als Streu in den Stall und als Dünger auf die Felder zu bringen. Die Waldbilder damals glichen eher gerupften Parklandschaften als dunklen Wäldern, die Böden waren ausgelaugt. In den letzten beiden Jahrhunderten haben Waldbesitzende und Forstleute die Wälder zunächst aufgebaut und später mit Durchforstungen gepflegt. So konnten sich stabile, holzreiche Bestände entwickeln. Als Folge stellte sich das ökologisch so besondere Schattenklima der Wälder mit seiner eigenen Flora und Fauna ein. Freilich war die Orientierung am Nadelholz stark, der Hang zu einförmigen Wäldern ausgeprägt, weil sie damals wirtschaftlicher schienen und leichter planbar.

Aber auch mehrere innovative Ideenwellen haben andere Sichtweisen und wichtige Veränderungen gebracht: Schon in den 1880er Jahren forderte der Münchener Forstprofessor Karl Gayer den gemischten Wald. In den 1920ern war es Alfred Möller aus Eberswalde, der die Idee des Dauerwaldes entwickelte. In den 1950ern taten sich forstliche Vordenker in der Arbeitsgemeinschaft Naturgemäße Waldwirtschaft zusammen. Sie wollten acht-

sam und an der Natur orientiert arbeiten. Lange wurden sie kritisch beäugt, aber ihre Idee des reich strukturierten, ungleichaltrigen und gemischten Waldes setzte sich besonders in der Waldkrise der 1980er-Jahre durch. Damals bedrohte der schwefelsaure Regen die Wälder Mitteleuropas. Das Problem wurde innerhalb eines Jahrzehnts vor allem durch Gesetzgebung behoben: Die Industrie musste Entschwefelungsanlagen einbauen, die Emissionen gingen um über 90 Prozent zurück. Der Wald war gerettet.

Es blieb aber auch das neue Denken: eine naturnähere Bewirtschaftung, in der nun Naturverjüngung, Totholz, langfristige und achtsame Verjüngungsverfahren eine wichtige Rolle spielten. Impulsgeber waren hier die Landesforstverwaltungen, die sich die Ideen der Naturgemäßen jetzt aneigneten.

Heute stehen wir mit dem globalen Klimawandel vor noch größeren Herausforderungen, die sich nicht mehr national und auch nicht so schnell lösen lassen. Deshalb ist die Anpassung der Wälder heute unerlässlich und wegen der Geschwindigkeit der Veränderungen auch hochdringlich.

## Neues Denken, Waldkultur 2.0

Es ist das Klima, das für unsere heimischen Baumarten fremd geworden ist. Deshalb sind Bäume des Südens nicht fremd, sondern klimaheimisch bei uns. Denn fremd, so der Humorist Karl Valentin, ist das Fremde nur in der Fremde. Wenn das Klima für hiesige Wälder aus Fichte, Kiefer, Buche und Co. nicht mehr heimisch ist, brauchen sie Starthilfe, um im neuen Klima der Zukunft stabile Ökosysteme ausbilden zu können. Das ist im Interesse von uns heute und erst recht von den Menschen, die diese intakten Ökosysteme in der Zukunft brauchen werden. Aber nur wir heute können wegen der Langfristigkeit der Wirkungen jetzt und hier handeln. Wenn wir die Existenz unserer Wälder nicht gefährden wollen, müssen wir Zukunft unternehmen und nicht unterlassen: mit Mut und Bedacht, aus Erfahrung und mit Fantasie, entschlossen und zugleich achtsam. Es geht um ein enkeltaugliches Morgen.

Bei den Menschen vor Ort liegt eine ganzheitliche Gestaltungsmöglichkeit und auch eine Gestaltungsverantwortung. Der Philosoph Andreas



Weber spricht von »indigenialen« Lösungen. Er meint damit »geniale« Lösungen von Menschen in ihrem Umfeld, die ihre Heimat für morgen und übermorgen gestalten und bewahren wollen, indem sie an traditionelle Nutzungskonzepte anknüpfen, aber auch moderne Forschung integrieren. Mensch und Natur sind eins, interagierend und sich gegenseitig in der Lebendigkeit fördernd.

Christian Kölling zeigt in diesem Buch, wie dringlich es ist, vor Ort im Wald zu handeln. Seine aus der Wissenschaft abgeleiteten Vorschläge, welche Baumarten bei uns klimaangepasst sind und wie sie praktisch und auch mit kleinem Geldbeutel in unsere Waldumwelt eingebracht werden können, sind zeitgemäße und indigeniale Lösungen. Das ist Nachhaltigkeit, das ist Waldkultur 2.0.

Möge dieses Buch großen Erfolg haben, und mögen sich viele für den Wald Verantwortliche davon inspirieren lassen!

Dr. Joachim Hamberger  
Leiter des Bayerischen Amtes für Waldgenetik  
und Vorsitzender des Vereins für Nachhaltigkeit e. V.

Teisendorf, 17.3.2024

# 1 Wir reisen in die Zukunft von Wald und Klima

Wie wird es wohl den Wäldern im Klimawandel ergehen? Diese Frage beschäftigt seit einigen Jahren nicht nur die Fachleute, die Wissenschaftler und Forstleute, sondern zunehmend auch eine breite Öffentlichkeit. Wenn ich im Alltagsgespräch zu erkennen gebe, dass ich Förster bin, ist das Gespräch ganz schnell beim Klimawandel und bei den Schäden, die er im Wald verursacht. Eine Reihe von sehr warmen Jahren und ausgedehnten Dürrezeiten im Sommer hat die Aufmerksamkeit vermehrt auf den Wald gelenkt. Werden die Wälder dem Klimawandel im weiteren Verlauf standhalten, zumal doch schon jetzt die Schäden kaum noch zu übersehen sind? Wer in einem der letzte Hitze- und Dürresommer im Wald unterwegs war, der konnte miterleben, welche Belastung hohe Temperaturen und fehlende Niederschläge nicht nur für Menschen und Tiere, sondern auch für Pflanzen und besonders für Waldbäume darstellen. In einer neu heraufgekommenen Hitzezeit ändert auch der Wald nach und nach und für viele wahrnehmbar seine Gestalt. Wenn wir in einer Hitzeperiode den Wald betreten, bieten sich unseren Sinnen ganz neue Eindrücke. Auf dem knochentrockenen Waldhumus knirscht das Moos, statt wie gewohnt unter den Füßen zu federn. Die Luft ist warm und stickig und hat nur wenig Ähnlichkeit mit der frischen und gesunden Waldluft, die wir gewohnt sind. Die Sonne scheint brutal durch die Lücken, der viel beschworene Waldschatten ist löchrig geworden. Das hat so gar nichts mehr mit dem romantischen frischen Wald aus unserer Erinnerung und Vorstellung zu tun. Die grünen Kräuter sind vertrocknet, und das Gras erinnert an Stroh. An einem solchen Hitzetag spürt man die Belastung, der der Wald neuerdings vermehrt ausgesetzt ist. Bisher seltene und nun immer häufigere Wetterlagen beeinflussen nicht nur unsere Wahrnehmung, sondern strapazieren die gesamten Waldökosysteme. Ab einem gewissen Punkt halten Wälder den Anforderungen nicht mehr stand und zeigen Schäden, die häufig bis zum Absterben gehen. Wo einst rauschende Wälder standen, geht jetzt der Blick über steppenartige Kahlflächen, wie sie in Abbildung 1 zu sehen sind. Zu diesem Zeitpunkt erwacht regelmäßig das

mediale Interesse, und der Wald steht zeitweilig im Mittelpunkt der Berichterstattung. Nur schwer kann man sich vorstellen, wie aus den riesigen Kahlfächen jemals wieder Wald werden soll. Es ist gar nicht so einfach, bei Bildern wie dem dargestellten den Mut zu behalten, die abgestorbenen Bäume zu ernten und die Flächen wieder aufzuforsten. Manche Waldbesitzenden kapitulieren vor der riesengroßen Aufgabe, auf einer leeren Schadfläche wieder einen vorzeigbaren Wald heranzuziehen. Hinzu kommen die wirtschaftlichen Schäden am alten Holz und die gewaltigen Kosten der Wiederaufforstung mit jungen Bäumen. Unter diesen Bedingungen wird Waldbesitz zur Belastung, und die Motivation zur Arbeit im und am Wald schwindet dahin.

Die größte Belastung unter allen ist aber die Erwartung noch schlimmerer Ereignisse in der Zukunft. Wenn wir die Entwicklungen aus der jüngsten Vergangenheit über die Gegenwart in die Zukunft fortschreiben, dann befürchten wir zu Recht, dass wir erst am Anfang der Entwicklung stehen und uns das Schlimmste noch bevorsteht.



Abbildung 1: Riesige Kahlfächen nach Waldschäden im Frankenwald im Jahr 2023

Wie es in Krisen so üblich ist, wachsen auch in der Waldkrise mit dem Bewusstsein für das Problem die Diskussionen darüber an, wie es zu lösen sei. Mittlerweile hat ein vielstimmiges Konzert der Meinungen eingesetzt, doch ist noch längst nicht ausgemacht, welche Wege aus der Krise den meisten Erfolg versprechen. Nach einer anfänglichen eher chaotischen Phase der Diskussion lassen sich nun nach mehreren Jahren Waldkrise zwei Strömungen ausmachen, die sich diametral gegenüberstehen und mit zwei unterschiedlichen Lösungsmodellen für das Problem der Anpassung der Wälder an den Klimawandel aufwarten. Die vorgeschlagenen Wege aus der Krise könnten gegensätzlicher nicht sein.

Die eine Fraktion in der Diskussion besteht aus den Traditionalisten, die die vielfach erprobten Methoden einer Forstwirtschaft empfehlen, die sich in der Vergangenheit bewährt hat. Bei den Befürwortern der Tradition macht man auch in der Krise das, was man immer schon gemacht hat und bestens kennt. Man ändert unter dem wachsenden Problemdruck nicht die Methoden selbst, sondern verfeinert und perfektioniert sie weiter. Dann wendet man sie noch sorgfältiger und vielleicht auch mit mehr Mitteleinsatz an, als man das bisher getan hat. Die Hoffnung lautet: »Was früher funktioniert hat, wird auch in der Zukunft funktionieren, wenn man nur genügend Geld, Personal und Mühe investiert.« Diese bewahrende Haltung ist nicht auf die Forstwirtschaft beschränkt, es gibt sie in allen Lebensbereichen. Wenn ein neues Problem auftritt, versucht man es zunächst dadurch zu lösen, dass man die bekannten Verfahren vervollkommnet und zusätzlich die Intensität der Anwendung erhöht. In der Ökonomie nennt man diese Haltung »business as usual«, Geschäft wie üblich, abgekürzt BAU. Man macht in der Krise das Gleiche wie vorher, nur besser und mit mehr Einsatz.

Die andere Fraktion wird von Verfechtern einer sanften und naturschonenden Reaktion auf die Krise gebildet. Man meint, dass die Natur selbst die besten Anpassungswege kennt, und sieht die Ursache der Krise in einer naturfernen, rein ökonomisch orientierten und insgesamt verfehlten Behandlung der Wälder. Nur weil in der Vergangenheit eine im industriellen Maßstab forcierte Forstwirtschaft Baumplantagen, Holzäcker und Monokulturen hinterlassen hat, gibt es jetzt im Klimawandel das Problem der Waldschäden. Die Vertreter dieser Strömung hoffen auf die dynamische Selbstheilung der Schä-



den durch die Kräfte der Natur. Von selbst, ohne Eingriffe, würde stets, also auch in der durch den Klimawandel verursachten Waldkrise, ein besserer Wald entstehen, als es durch die naturwidrigen Eingriffe der Forstleute möglich ist. Die Haltung in dieser Strömung gipfelt in dem Appell: »Nehmt den Förstern den Wald weg.« Die Eingriffe der Forstwirtschaft hätten dem Wald die Krise beschert, demnach finde er am besten ohne Bewirtschaftung aus der Krise heraus. Es wäre ja töricht, denjenigen die Lösung anzuvertrauen, die das Problem verursacht hätten.

Nun ist guter Rat teuer, denn man fragt sich, außerhalb stehend, zu Recht, welcher der beiden Fraktionen man sich anschließen soll. Beide Lösungsansätze sind so verschieden, dass sie sich kaum vereinbaren oder kombinieren lassen. Es können nicht beide Wege gleichzeitig oder nebeneinander beschritten werden. »Viel tun«, sagen die einen, und »Nichts tun«, die anderen. Es ist jedem klar, dass das nicht zusammengeht. Ich möchte Sie daher einladen, jenseits der beiden dogmatischen und unvereinbar wirkenden Vorfestlegungen eigene Überlegungen anzustellen und einen neuen dritten Weg einzuschlagen, der sich flexibel zwischen den beiden Lagern hindurchschlängelt und sich weder auf die eine noch auf die andere Seite schlägt. Der richtige Weg für unsere Wälder wird wohl kaum durch eines der beiden gegensätzlichen und oft die Dinge grob vereinfachenden Dogmen zutreffend vorgegeben. Kommt man mit Meinungen allein aus der Krise, oder braucht man nicht noch Tatsachen? Im schlimmsten Fall erweisen sich beide Ansichten als falsch, und man geht in jedem Fall in die Irre, welcher Fraktion man sich auch anschließt. Dieses Buch dient dem Zweck, einen eigenen Blick für die Fakten zu gewinnen. Wenn die Meinungen ins Kraut schießen und immer abenteuerlicher werden, dann ist es an der Zeit, die Dinge neu zu betrachten und nach den Belegen aus der Wissenschaft zu fragen, die das Handeln in der Krise sicherer und erfolgreicher machen können. Haben Sie den Mut, sich Ihr eigenes Bild von der Krise zu machen, gehen Sie den Ursachen auf den Grund, und bewerten Sie selbst die möglichen Lösungswege. Auf keinen Fall soll in diesem Buch den vorhandenen beiden eine dritte Meinung hinzugefügt werden. Im Gegenteil wollen wir großen Wert darauf legen, von der wissenschaftlichen Erkenntnis zu einer soliden Handlungsbasis zu kommen.

Mancher Leser mag bereits beim Untertitel dieses Buchs die Stirn in Falten legen. Kann man sich überhaupt erfolgreich Gedanken über eine ferne Zukunft machen? Ist es nicht ein Zeichen von Übermut und Überheblichkeit, hundert Jahre voraus in die Zukunft zu blicken? Sollte man sich nicht eher dem Geschäft des Tages, der nächsten Wochen und Monate widmen und die weitere Zukunft den Fantasten und Romanautoren überlassen? Wissen wir nicht viel zu wenig, um uns um das Übermorgen zu sorgen? Wer so denkt, verkennt die besonderen Zeitdimensionen im Umgang mit Wäldern. Ein Baumleben ist mindestens so lang wie ein Menschenleben, kann aber auch ein Vielfaches davon betragen. Der Baum, der sich heute aus dem Samen herauszwängt und irgendwo in den Wäldern seine Karriere beginnt, hat nicht selten hundert und mehr Jahre vor sich. Wer sich, aus welchen Motiven auch immer, mit Bäumen und Wäldern befasst, muss zwangsläufig sehr weit in die Zukunft blicken. Kaum ein anderer Bestandteil der belebten Welt ragt so weit in die Zeit voraus wie ein Wald. Handlungen oder Unterlassungen in der Gegenwart können im Wald noch in der fernsten Zukunft Folgen haben. Die Forstleute machen es sich leicht und zerteilen für ihre Pläne den langen Zeitraum in handliche Abschnitte, die höchstens die jeweils folgenden zehn oder zwanzig Jahre umfassen. Sie sind sich aber stets bewusst, dass vieles, was im Wald geschieht, sich in einem Zeithorizont von wenigstens hundert Jahren auswirken kann. Der lange Zeitraum ist also durchaus nicht zu groß gewählt, wenn es um den besonderen Fall der Waldzukunft geht.

Wie kein anderes Lebewesen auf der Erde ist der Mensch dazu befähigt, Überlegungen über die Zukunft anzustellen. Hinzu kommen bei uns Menschen der besondere Gestaltungswille und die ausgeprägte Gestaltungskompetenz, die sich naturgemäß nicht nur auf die Gegenwart, sondern auch auf die nähere, mittlere und auch ferne Zukunft erstreckt. Wir wollen die Zukunft nicht nur beobachten und kennen, sondern vielmehr aktiv in unserem Sinne beeinflussen. Der Mensch steht der Zukunft nicht nur passiv gegenüber, sondern er formt und gestaltet diese auch. Es ist auch aus diesem Grund keine Überheblichkeit, sondern viel mehr Notwendigkeit, sich mit der Waldzukunft in dem groß erscheinenden Zeitmaßstab von hundert Jahren zu beschäftigen. Der Begriff der Nachhaltigkeit beinhaltet

diesen weiten Zukunftshorizont. Wenn wir so handeln, dass das Ergebnis unseres Handelns einschließlich aller unbeabsichtigten Nebenwirkungen auch in der fernen Zukunft Bestand hat, dann handeln wir nachhaltig. Den Zukunftsaspekt zu berücksichtigen ist vielleicht das wichtigste Kriterium nachhaltigen Handelns: keine Nachhaltigkeit ohne Zukunftsbezug. Dem Handeln im Wald liegt ein Generationenvertrag zugrunde. Die späteren Generationen werden von der Arbeit der gegenwärtigen Akteure profitieren oder darunter leiden.

Betrachten wir neben der Waldzukunft die vom Klimawandel geprägte Klimazukunft, so begegnen uns sehr ähnliche Zeitdimensionen. Die meisten Szenarien zur Entwicklung der Konzentrationen klimaschädlicher Spurengase in der Atmosphäre und fast alle Modelle zur daraus resultierenden Klimaentwicklung erstrecken sich über die gesamte Zeit des 21. Jahrhunderts bis mindestens zum Jahr 2100. Es ist alltägliche Praxis geworden, sich über diese hundert Jahre Gedanken zu machen. Wir wissen mittlerweile, dass diese Zukunft stark davon abhängt, wie sehr wir unsere Atmosphäre in der Vergangenheit verschmutzt haben und wie wir damit fortfahren. In unserer Gegenwart erleben wir schon den ersten Teil einer zuvor gestalteten und festgelegten Zukunft. Im letzten und vorletzten Jahrhundert angestoßene Prozesse sind verantwortlich für unsere gegenwärtige Situation. Auch die ferne Klimazukunft der kommenden hundert Jahre wird in der Gegenwart laufend mitgestaltet, allerdings nicht wie die Waldzukunft auf einer lokalen Skala, sondern in einem globalen Maßstab. So sind wir alle zusammen, jeder in unterschiedlichem Maße, durch lokal falsches Handeln zu mehr oder weniger unfreiwilligen Bildnern der globalen Klimazukunft geworden. Sehr spannend ist die Frage, ob es uns gelingt, in der restlichen uns verbleibenden hundertjährigen Klimazukunft den Klimawandel abzumildern. Dann erst würden wir die Klimazukunft bewusst und erfolgreich gestalten und die Forderung nach Nachhaltigkeit unseres globalen Handelns erfüllen.

Dieses Buch soll dazu anregen, sich mit den großen Zeiträumen auseinanderzusetzen, in denen sich junge Wälder zu älteren entwickeln. In dieser Zeit werden sie ein Baumleben lang einem Klimawandel ausgesetzt sein, der genau im gleichen Zeitraum abläuft und vorerst, so sieht es aus,

nicht zum Stillstand kommen wird. Das Buch soll Sie als Leser begleiten auf einer nicht nur interessanten, sondern auch für das Verständnis des Problems und zur Darstellung von Lösungsmöglichkeiten notwendigen Zeitreise, die zunächst bis zum Ende des Jahrhunderts führt. Wir werden die Reise besonders anschaulich gestalten und uns immer wieder bewusst machen, welche unnötigen Irrtümer und Fehlschläge möglich sind, wenn man sich nicht sorgfältig genug mit Klima- und Waldzukunft befasst. Auch bei höchster Sorgfalt bleibt dennoch immer ein unvermeidlicher Rest von Unsicherheit, wenn wir Zukunftsfragen behandeln. Alle Schwierigkeiten sollten uns aber nicht davon abhalten, die Waldzukunft zu verstehen. Im Rahmen unserer jeweiligen Verantwortlichkeiten sind wir danach mehr befähigt, sie so zu gestalten, dass wir von den tatsächlichen Geschehnissen nicht allzu sehr überrascht sind. Wie treffend die Zukunft vorhergesagt wird, hängt zu wesentlichen Teilen auch davon ab, ob und wie wir sie gestalten.

Ich lade Sie ein, mit mir diese hundertjährige Zeitreise in Gedanken zu unternehmen. Von den hundert betrachteten Jahren liegen beim Verfassen dieses Buchs bereits über zwanzig Jahre hinter uns. Diese jüngst vergangenen Jahre zeigen, dass viele zu Beginn der Entwicklung von hellsichtigen Mahnern erwarteten Entwicklungen zunehmend Realität werden. Die Waldzukunft hat also bereits begonnen. Sie werden auf dieser Zeitreise einiges über den Wald in einer ungewohnten und sehr schwierigen Bewährungsphase erfahren, von den Möglichkeiten der Einflussnahme lesen und über die überraschenden Handlungspfade nachdenken, die eine Kenntnis der Zukunft für die Lösung der Probleme bietet. So unvollkommen und nebelhaft der Zukunftsblick auch sein mag, es gibt dazu keine Alternative. Schwierigkeiten und Unzulänglichkeiten der Zukunftsbetrachtung sollten uns nicht davon abhalten, auf die Zeitreise zu gehen. Dieses Buch macht keine Wissenschaft, es setzt aber Wissenschaft voraus. Jeder soll es, ausgestattet mit einer guten Portion von gesundem Menschenverstand, lesen und verstehen können. Die Aussagen der folgenden Kapitel basieren auf wissenschaftlichen Arbeiten. Sie gehorchen damit dem unbestechlichen Kriterium der Evidenz, das ist die Begründung durch Studien und datengestützte Beobachtungen. Sie sind,



anders als bloße Meinungsäußerungen oder Expertenurteile, immer wieder an der Realität und an den Daten zu überprüfen. Der Zweifel ist die Mutter der Erkenntnis. Deshalb sind am Schluss des Buchs einige skeptische Fragen zusammengestellt, die dem Zweifel Ausdruck verleihen und in denen Sie sich vielleicht wiederfinden können. Sie finden dort auch Antwortversuche, die Ihnen vielleicht weiterhelfen. Am Ende des Buchs sind auch einige Hinweise für eine vertiefende Lektüre aufgeführt. Diese Artikel können Sie tiefer hineinführen in die weite Welt der zugrunde liegenden Studien und Zitate. In den zitierten Arbeiten finden Sie wieder Zitate, die ihrerseits auf Zitate verweisen und so weiter. In der Welt der Wissenschaft geht es transparent und nachvollziehbar zu, wenn man sich die Mühe macht, den Dingen auf den Grund zu gehen.

### **Das Wichtigste in Kürze**

Wir beschäftigen uns in diesem Buch mit der Zukunft des Waldes und des Klimas über einen langen Zeitraum bis in das Jahr 2100. Wir tun das, weil sich in diesem langen Zeitraum die bestehenden Wälder mit einem fortschreitenden Klimawandel auseinandersetzen müssen.

## 2 Umsonst und draußen: Wälder sind dem Klima ausgeliefert

Intuitiv empfinden wir bereits die Verletzlichkeit von Wäldern, wenn wir uns an einem heißen Sommertag nach einer vorangegangenen Hitze- und Dürreperiode in den Wald aufmachen. Ein rauschender Fichtenwald passt dann so gar nicht zu einer Witterung, wie wir sie sonst aus dem Mittelmeerraum kennen. Der kühle Waldschatten eines hohen Buchenwalds verliert an Kraft, wenn sich draußen die Temperaturen der 40-Grad-Marke nähern. Dort, wo wir und die Bäume früher einen mitteleuropäischen Sommer gewohnt waren, herrscht jetzt eine Hitze wie viele hundert Kilometer weiter südlich. Anders als wir Menschen kann ein Wald nicht unter einem Sonnenschirm Erleichterung suchen und sich dazu ein Kaltgetränk kommen lassen. Was wir im Wald als Schatten erleben, wird hoch oben in den Baumkronen mit einem unglaublichen Hitzestress erkaufte. An einem heißen Tag profitieren wir vom Schatten des Waldes, der Wald selbst steht aber oben unter voller Besonnung. Die Intuition entspricht der Wirklichkeit: Wälder leiden unter Hitze und Wassermangel, umso mehr, wenn sie unangepasst und unvorbereitet in diese schwierige Situation geraten sind.

Man muss sich bewusst machen, dass Wälder äußerst sparsam leben und mit Licht, Luft, Wasser und ein paar mineralischen Nährstoffen zufrieden sind. Anders als auf landwirtschaftlich genutzten Flächen muss man selbst in bewirtschafteten Wäldern fast nichts an Stoffen oder Energie zugeben, um ungestörtes Wachstum zu ermöglichen. So weit, so gut. Allerdings zeigt sich bei näherem Hinsehen, dass gerade die Versorgung mit Wasser eine entscheidende Rolle spielt. Bäume sind im Kern sehr große und wirksame Verdunstungsmaschinen. Mit den Wurzeln nehmen die Bäume Wasser aus dem Boden auf, es wird in durchgehenden Fäden durch Stamm und Äste bis zu den Blättern oder Nadeln transportiert und an deren Oberfläche zu Dampf verdunstet. Solange der Baum lebt, ist das Wasser in seinen Leitungsbahnen ein wichtiges Lebenselixier. Nicht nur die mineralischen

Nährstoffe werden mit dem Wasser transportiert, auch das Pflanzengewebe selbst besteht zu einem großen Teil aus Wasser. Das in den Blättern verdunstende Wasser ist darüber hinaus auch ein wichtiges Kühlmittel, das die Überhitzung der Gewebeoberflächen wirksam verhindert. Indem er Wasser verdunstet, führt der Baum überschüssige Wärme ab und regelt so die Oberflächentemperatur seiner Blätter, die ja häufig ganz oben in der Baumkrone direkt den Sonnenstrahlen ausgesetzt sind.

Wasser wird von den Bäumen aus dem Boden entnommen. Im Laufe der Zeit würde der Boden unwillkürlich austrocknen, denn die Baumwurzeln saugen fortwährend Wasser aus dem Boden. Zum Glück werden die Entnahmen immer wieder über Niederschläge, meistens Regen oder Schnee, die den Boden erreichen, ausgeglichen. Der Füllstand im Bodenspeicher schwankt daher. Mal überwiegt das Entleeren, und mal steht das Auffüllen im Vordergrund. Die Niederschlagssumme, die Menge an Regen oder Schnee, ist deshalb eine sehr wichtige, das Baumleben stark beeinflussende klimatische Größe. Eine zweite bestimmende Größe für die Wasserversorgung ist die Temperatur, die wesentlich mitbestimmt, welche Menge an Wasser der Baum durch Verdunstung verbraucht. So entscheidet das Klima in Gestalt von Niederschlagssumme und Temperatur wesentlich darüber, wie viel Wasser den Bäumen zur Verfügung steht. Reduziert man die Niederschlagssumme und dreht den Bäumen den Wasserhahn zu, wird das ebenso gravierende Folgen haben, wie wenn man den Bäumen einheizt und damit Temperatur und Wasserverbrauch erhöht. Die gleichen Effekte können wir im Hausgarten oder Balkonkasten beobachten. An heißen Tagen muss der Gärtner mehr Wasser zugießen, wenn nicht wiederkehrende Gewittergüsse den Mangel kompensieren. Besonders prekär wird die Situation im Balkonkasten, wo der Bodenspeicher durch das Fassungsvermögen an Erde stark begrenzt ist. In diesem Fall fallen die Größe und die Wirksamkeit des Zwischenspeichers Boden bei dem geringen Bodenvolumen sehr gering aus. Man muss den geringen Speicher eines Balkonkastens sehr häufig nachfüllen und durch regelmäßiges Gießen den Mangel ausgleichen. Gering dimensionierte Bodenspeicher finden wir auch draußen in den Wäldern, wenn ein z. B. durch Felsen und Steine eingeschränktes Bodenvolumen den Was-

speicher verkleinert und die Bäume von der Hand in den Mund leben müssen. Ein tiefgründiger und steinarter Boden kann dagegen viel Wasser speichern. Mit dem Wasser aus einem ausreichend großen und gut befüllten Speicher kann der Baum regenarme und heiße Perioden mit hohem Wasserverbrauch gut überbrücken. Wehe, man vergisst als Gärtner einmal das Gießen. Dann kann die Situation schnell unbeherrschbar werden. Das gilt umso mehr, je weniger Bodenreserven den Pflanzen zur Verfügung stehen. Genauso ergeht es einem Wald, der nicht die erwartete Menge Wasser bekommt oder dessen Wasserverbrauch durch hohe Temperaturen in unerwartete Höhen schnellt und bei dem nicht ein ausreichender Wasservorrat im Boden die Notzeit überbrückt.

Schon das Beispiel der Wasserversorgung zeigt, wie stark bereits die einfachen und leicht zu messenden klimatischen Größen Niederschlagssumme und Temperatur das Wachstum der Bäume beeinflussen. Wenn es jeden zweiten Tag regnet wie in manchen Gebirgsgegenden oder wenn es bei wenig Niederschlag kalt genug ist, dann ist die Versorgung bedarfsgerecht und das Wasser reicht. Ist es aber heiß, der Regen bleibt längere Zeit aus, und es gibt keine Wasservorräte mehr im Boden, dann wird es knapp. Es ist sehr erstaunlich, wie stark die Zusammensetzung, die Struktur und die Wuchskraft von Wäldern vom Klima abhängen. Aus diesem Grund ändert sich in allen Weltgegenden der Wald, wenn sich das Klima auch nur ein wenig verändert.

Neben den Niederschlägen und der Temperatur vor allem in den Sommermonaten gibt es noch einen weiteren wichtigen klimatischen Faktor. Das sind die Temperaturen im Winter. Der Gärtner kann seine Pflanzen vor kalten Temperaturen schützen, im Wald wird das schwierig. Nicht alle Pflanzen sind von ihrer Bauart her den Umgang mit tiefen Temperaturen gewohnt und auf Frost eingerichtet. Ab einer gewissen, von Art zu Art verschiedenen Temperaturschwelle droht ihnen daher der Tod durch Erfrieren. Neben der Gefahr, im Sommer zu verdursten, gibt es im Winter ein Risiko zu erfrieren. Zwischen diesen zwei Polen spielt sich auch ein Baumleben ab, und man muss sich manchmal wundern, dass draußen so wenig passiert und die meisten Bäume den Zeitraum ihres langen Lebens trotz aller Gefahren so gut herumbringen. In jahrhundertelanger Koexis-

tenz mit dem herrschenden Klima haben sich die Bäume an das Klima an ihrem Wuchsort angepasst und sich darauf eingestellt. Dieser Prozess der evolutiven Anpassung an die klimatische Umgebung ist eines der großen Erfolgsrezepte der Natur. Im Wald sichert diese Ausrichtung auf konstante Normalbedingungen das Überleben.

Am deutlichsten wird der straffe Zusammenhang von Wald und Klima in Gebirgsgegenden, wo sehr unterschiedliche Klimazonen räumlich dicht aneinanderstoßen. Auf einer einfachen Bergtour gelangen wir auf kurzer Strecke und in rascher Zeit aus der Laubbaumzone in die Nadelbaumzone und über baumfreie Rasen bis in die Zone ewigen Eises mit kaum vorhandenem Pflanzenwuchs. Besonders deutlich werden diese naturgesetzlichen Zusammenhänge in vom Menschen unberührten Landschaften, zum Beispiel in Naturreservaten. Anderes Klima ergibt eine andere Vegetation und einen anderen Wald, so lautet das Naturgesetz. Auch im Maßstab der Kontinente sehen wir den Klimawechsel in der Abfolge von Nord nach Süd, und es begegnen uns die aus den Gebirgen bekannten dazu passenden Vegetationsgürtel. In Nordeuropa wachsen andere Wälder als in Mitteleuropa, und diese unterscheiden sich wieder von den Wäldern Südeuropas. Der Grund dafür ist weder in der unterschiedlichen menschlichen Einflussnahme noch in verschiedenen Böden zu suchen, sondern allein im Klima mit seinem charakteristischen Zusammenspiel von Niederschlag und Temperatur im Wechsel von Sommer und Winter.

Anders als das menschliche Leben spielt sich das Leben der Bäume immer draußen ab und ist der herrschenden Witterung unmittelbar ausgesetzt. Darüber hinaus leben Bäume lange und reagieren während ihres Lebens auf die Gesamtheit der über den langen Zeitraum herrschenden Witterungsbedingungen, die wir unter dem Begriff Klima zusammenfassen. Weil Bäume zudem unbeweglich sind, können sie anders als Tiere niemals selbst einem ungünstigen Klima ausweichen und sich etwas Besseres suchen. Die Beziehung von Bäumen und daraus aufgebauten Wäldern zu den sie umgebenden Klimabedingungen ist daher ganz besonders eng. Zwischen den Wäldern und dem herrschenden Klima besteht ein ausgeprägtes Gleichgewicht, eine Wohlfühlbalance. Wird diese gestört, so kommt es vorhersagbar zu Reaktionen der Bäume bis hin zu empfindli-

chen und umfassenden Störungen, die sich auf die Waldökosysteme als Ganzes auswirken und so lange andauern, bis ein neues Gleichgewicht erreicht ist.

Nur wer einmal begriffen hat, wie groß die Abhängigkeit der Wälder von ihrer klimatischen Umgebung ist, kann sich vorstellen, wie brutal der Klimawandel auf Wälder einwirkt, wenn er nur schnell genug kommt und stark genug ist. Obwohl Wälder genügsam sind und fast ohne Unterstützung gewissermaßen gratis wachsen, sind sie doch darauf angewiesen, dass die klimatischen Bedingungen so sind, wie es den Bedürfnissen der Art entspricht. In den Jahrhunderten zuvor herrschte ein erstaunlich konstantes Klima und erlaubte es den Wäldern, sich in einem austarierten Gleichgewicht daran anzupassen. Die Unveränderlichkeit der klimatischen Umgebung ist nun mit dem Klimawandel einer gerichteten Dynamik gewichen. Man braucht nicht viel Fantasie, um sich die damit für wenig mobile Wälder verbundenen Gefahren vorzustellen.

Jetzt käme eine Zeitmaschine gerade recht, die uns die Reise in die Zukunft ermöglicht. Dann könnten wir sowohl die Klimazukunft als auch die daraus resultierende Waldzukunft mit eigenen Augen betrachten und unsere Schlüsse daraus ziehen. Fürs Erste müssen wir uns jedoch damit zufriedengeben, dass wir uns einen groben Begriff von der Verwundbarkeit der Wälder angesichts von Manipulationen an Temperatur und Niederschlag machen. Wenn man am Klima herumschraubt, berührt man den Lebensnerv der Wälder und braucht sich über gereizte Reaktionen und bisweilen dramatische Folgeentwicklungen nicht zu wundern.

### **Das Wichtigste in Kürze**

Der Klimawandel verändert vor allem den Wasserhaushalt als Lebensnerv unserer Wälder, weil dieser in besonderem Maße von den herrschenden Temperaturen abhängt. Unsere Wälder geraten zunehmend in ein Ungleichgewicht zwischen ihrem gegenwärtigen Aufbau und dem zukünftig herrschenden Klima.





### 3 Zwillingsregionen: Wir reisen mit System umher in Zeit und Raum

In den Hitzeperioden der gerade vergangenen Folge von Jahrhunderts Sommern haben wir hier bei uns eine Anschauung und Erfahrung davon bekommen, wie sich Klimawandel anfühlt und was er bewirkt. Um die Jahrtausendwende, vor zwanzig Jahren hatten wir diese Beispiele des Wandels noch nicht, jetzt wissen wir mehr, und wir sind um viele Erfahrungen reicher geworden. Wir wissen nun, dass man Wäldern nicht alles zumuten kann. Wenn wir klug sind, dann ersparen wir uns weitere schlimme Erfahrungen dieser Art und versuchen, vor die Erfahrung zu kommen, um uns und die Wälder besser auf die kommenden Schwierigkeiten vorzubereiten. Wie können wir erreichen, dass wir von den Ereignissen nicht überrollt werden, fassungslos die Schäden registrieren und uns zum Schluss nichts anderes übrig bleibt, als die Scherben zusammenzukehren? Die schon erwähnte Zeitmaschine würde uns sehr helfen. Wir überlegen uns daher, wie wir auch ohne Zeitmaschine in der Welt der Zukunft vorankommen. Zum Glück hat die Klimawandelforschung große Fortschritte gemacht, um bei gegebener Verschmutzung der Atmosphäre die daraus resultierende Erwärmung und Veränderung des Klimas über die Gegenwart hinaus in die Zukunft zu projizieren. Diese neuen Kenntnisse können wir nutzen und mit einem simplen Trick in einen sehr nützlichen Erfahrungersatz verwandeln.

Die Art des Zukunftsklimas hängt ganz entscheidend davon ab, wie sich die Spurengaskonzentrationen in der Atmosphäre entwickeln. Unter Spurengasen versteht man alle gasförmigen Bestandteile der Atmosphäre mit der Ausnahme von Sauerstoff und Stickstoff. Nachdem es verschiedene Spurengase, allen voran Kohlendioxid, gibt, die den Klimawandel unterschiedlich stark antreiben, verwendet man als einheitliche Größe für die Stärke der Klimawandelursache den durch die Entwicklung aller Spurengaskonzentrationen zusammen verursachten zusätzlichen Strahlungsantrieb der Atmosphäre. Nicht die aufsummierten Spurengaskonzentrationen selbst, sondern ihre aufaddierte Wirkung auf den

Energiehaushalt der Erde wird als Maß für die Stärke des Klimawandels verwendet. Dieser sogenannte Strahlungsantrieb wird in Watt pro Quadratmeter ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) ausgedrückt und gibt den Zugewinn an Energie an, der durch die Wirkung der Spurengase in der Atmosphäre erzeugt wird. Diese zusätzliche Energie in der Atmosphäre ist dafür verantwortlich, dass sich die Erde erwärmt.

In der Klimawandelforschung werden unterschiedliche, als typisch erachtete Emissionsszenarien für Spurengase als Pfade beschrieben, die über mehr als hundert Jahre reichen. Diese Pfade ergeben sich aus den sozioökonomischen Aktivitäten der gesamten Menschheit. Die verschiedenen Konzentrationsverläufe ergeben jeweils unterschiedliche Wirkungen auf den Energiehaushalt der Atmosphäre. Sie werden daher nach der unterschiedlichen Stärke des Strahlungsantriebs benannt. Ein typisches und daher repräsentatives Szenario der Spurengaskonzentration wird als repräsentativer Konzentrationspfad RCP (= Representative Concentration Pathway) bezeichnet. Gebräuchliche Pfade sind RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 und RCP 8.5. Die Ziffernfolgen nach den Buchstaben RCP stehen für die Differenz des Strahlungsantriebs zwischen den Jahren 1850 und 2100. Die Bandbreite des zusätzlichen Strahlungsantriebs reicht in den RCP-Szenarien von zusätzlichen 2,6 bis zu 8,5  $\text{W}/\text{m}^2$ .

Es leuchtet ein, dass man mit den Grundgrößen der Spurengaskonzentration und des Strahlungsantriebs keine direkte und anschauliche Vorstellung des Klimawandels verbinden kann. Hierzu muss der Strahlungsantrieb zunächst in klimatische Größen wie Temperatur und Niederschlag übersetzt werden. Diese Arbeit leisten globale Zirkulationsmodelle, die, basierend auf dem zusätzlichen Strahlungsantrieb, in vielen Modellläufen ein Abbild möglicher Witterungsverläufe über einen Zeitraum von etwa hundert Jahren erzeugen. In Abbildung 2 sind ein paar Beispiele für die Modellierung der globalen Mitteltemperatur auf der Basis von drei RCP-Szenarien und jeweils vier globalen Zirkulationsmodellen zu sehen. Verwendet man die Ergebnisse derartiger Modelle in Form von sogenannten Ensembles und mittelt die Ergebnisse, so bekommt man auf der globalen Skala für alle Weltgegenden eine ziemlich verlässliche durchschnittliche Kurve der Entwicklung verschiedenster klimatischer Größen,

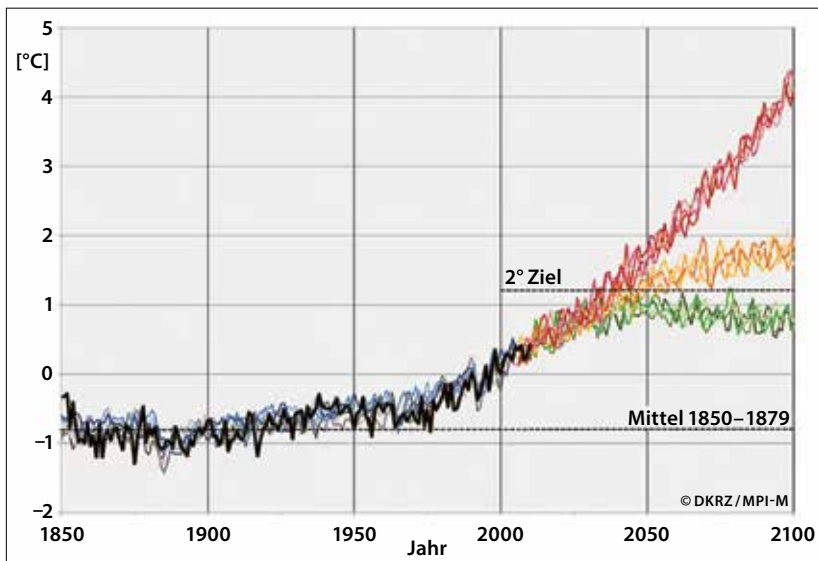


Abbildung 2: Änderung der globalen Mitteltemperatur bis 2100 nach RCP-Szenarien im Vergleich zum Mittel 1986–2005: RCP 8.5 (rot), RCP 4.5 (orange), RCP 2.6 (grün)

eine Klimaprojektion. Solche globalen Klimaprojektionen müssen dann noch in einem zweiten Schritt auf die Regionen heruntergebrochen werden. Klimamodelle auf globaler Ebene liefern Ergebnisse nur in einer sehr groben Auflösung, z. B.  $100 \times 100$  Kilometer, sind also räumlich ungenau. Damit die Klimaprojektionen für Deutschland und seine Regionen besser nutzbar sind, werden die Modelle mithilfe von regionalen Klimamodellen zu einer feineren Auflösung mit einer Rastergröße von bis zu 12,5 Kilometer Kantenlänge heruntergerechnet. Mithilfe von Ensembles, das sind Vereinigungen von mehreren Modellen, aus regionalen Klimamodellen und den daraus abgeleiteten durchschnittlichen Klimagrößen lassen sich für viele kleine Ausschnitte der Erdoberfläche die Klimaentwicklungen in die Zukunft projizieren. Dabei ist streng darauf zu achten, dass alle Projektionen immer nur unter der Bedingung des in dem jeweiligen Konzentrationspfad (RCP) vorausgesetzten Strahlungsantriebs gelten.

Mithilfe von Konzentrationspfaden, globalen und regionalen Klimamodellen sind wir in der Lage, den Klimawandel unter gegebenen Annah-

men ziemlich genau in die Zukunft zu projizieren. Die größte Unbekannte in diesem Verfahren ist die Frage, wie sich die Spurengaskonzentrationen in der Atmosphäre entwickeln. Schließlich hängt diese nahezu ausschließlich vom zukünftigen sozioökonomischen Verhalten der Menschheit ab. Menschliches Verhalten gehört naturgemäß zu den am schwierigsten vorhersehbaren Größen. Solange das Verhalten der Menschheit in Bezug auf die weitere Erhöhung der Spurengaskonzentrationen nicht vorherzusagen ist, bleiben alle anderen daraus abgeleiteten Größen unsicher. Der aus der Emissionsentwicklung abgeleitete Strahlungsantrieb erbt diese Unsicherheit. Zusätzliche Sicherheit kann man gewinnen, indem man mehrere Pfade der Spurengasentwicklung und des Strahlungsantriebs zugrunde legt und berechnet, was dann passiert. Auf diese Weise erhält man einen Korridor der zukünftigen Klimaentwicklung und eine Vorstellung davon, welche Bereiche in diesem Korridor welche Wahrscheinlichkeit aufweisen. Man sollte aber parallel zu solchen Annahmen nicht aufhören, das künftige Emissionsverhalten der Menschheit durch politische Maßnahmen zu beeinflussen und damit den Korridor der möglichen Entwicklung selbst einzuengen. Es liegt letztendlich in unserer Hand, welches Emissionsszenario verwirklicht werden wird.

Am Ende aller Modellierungsbemühungen stehen Klimawerte der Zukunft in der Form von Zeitreihen für die ganzen von uns betrachteten hundert Jahre. Diese Klimawerte kann man sich als Tabellen für jeden Ort des Interesses ausgeben lassen. Die Klimagrößen können z. B. in Temperaturdurchschnittswerten oder Niederschlagssummen für verschiedene Jahreszeiten bestehen. Ein Beispiel für eine Zeitreihe von drei Klimagrößen ist in Tabelle 1 enthalten. Diese Zusammenstellung enthält die auf RCP 8.5 basierende mittlere Entwicklung von modellierten klimatischen Größen am Standort Nürnberg. Für die Frage der Wirkung des Klimawandels auf die Wälder sind natürlich diejenigen Klimagrößen von besonderem Interesse, die die sommerliche Dürre und den winterlichen Frost als die beiden Haupthindernisse für ein ungestörtes Baumwachstum besonders gut abbilden. In vielen Untersuchungen zu den Beziehungen zwischen Klima und Bäumen haben sich drei Klimagrößen als besonders aussagekräftig herausgestellt: die Sommertemperatur und die Sommerniederschläge als

Maß für die Dürrebelastung und die Wintertemperatur als Maß für die Kältebelastung. Diese drei Größen sind deshalb auch in Tabelle 1 verwendet. Als Sommer wird dabei auf der Nordhalbkugel die Periode der drei Monate Juni, Juli und August (JJA) verstanden, während der Winter aus den Monaten Dezember, Januar und Februar (DJF) besteht. Indem wir die drei Klimagrößen Sommertemperatur und -niederschlagssumme sowie Wintertemperatur in die Zukunft projizieren, haben wir aus der Vielfalt der Klimagrößen die für die Baumexistenz besonders wichtigen herausgefiltert und ihre Entwicklung in der Zukunft beschrieben. Die Einheiten dieser Projektionen, Grad Celsius und mm, sind aber nach wie vor wenig anschaulich, und sie sagen, isoliert betrachtet, nichts unmittelbar Greifbares über die dadurch ausgelösten Wirkungen auf Bäume aus. Ist eine Veränderung in der Sommertemperatur um 4,1 Grad viel oder wenig? Was bedeutet sie für eine Baumart wie die Kiefer? Muss man sich deshalb Sorgen machen oder nicht?

Tabelle 1: Aus dem Szenario RCP 8.5 modellierte Zeitreihe der drei Klimagrößen Sommertemperatur, Wintertemperatur und Sommerniederschlag am Standort Nürnberg

Zeitraum	Temperatur [°C]		Niederschlag [mm]
	Sommer (JJA)	Winter (DJF)	
Jahr			Sommer (JJA)
1991–2010	18,4 °C	1,0 °C	179 mm
2031–2050	19,6 °C	2,5 °C	184 mm
2051–2070	20,6 °C	3,4 °C	178 mm
2071–2090	21,9 °C	4,6 °C	173 mm
2091–2110	22,5 °C	6,0 °C	169 mm

An dieser Stelle greift man zu dem einfachen Trick und überträgt die eher abstrakten und wenig anschaulichen Zeitreihen des Klimas, wie sie beispielhaft für Nürnberg in Tabelle 1 zusammengefasst sind, in den geografischen Raum. Aus einem zeitlichen Nacheinander wird so ein räumliches Nebeneinander. Man wählt diesen Umweg, um mit Verstand und System den Klimawandel anschaulicher zu machen. Wir verwandeln so die unmögliche Zeitreise in die Zukunft in eine mögliche Raumreise in den

Süden, hin zu Regionen, die unser Zukunftsklima heute schon haben oder bis vor Kurzem hatten, weil der Klimawandel natürlich auch im Süden wirksam ist.

Das geht so: Wir zerschneiden die klimatische Entwicklung über 120 Jahre, von 1990 bis 2110, in sechs Zeitscheiben von jeweils 20 Jahren Länge. Die erste dieser Perioden beginnt 1990 und endet 2010, die letzte geht von 2090 bis 2110. In jedem dieser sechs Zeiträume suchen wir weltweit diejenigen Regionen, die zum Klima der Periode hier bei uns die größte Ähnlichkeit aufweisen. Wenn wir das sechsmal gemacht haben, bilden wir mit den Ergebnissen die zeitliche Klimaentwicklung durch eine entsprechende Klimafolge im geografischen Raum ab. Nach dieser Logik müssten die sechs zeitlich aufeinanderfolgenden Perioden als sechs Räume abgebildet werden, die, vom Ausgangsort aus betrachtet, tendenziell immer weiter südlich liegen. In den hohen Gebirgen werden bei diesem Verfahren die Perioden als dicht nebeneinandergepackte Räume abgebildet, die Reise ins Warme führt dann talwärts. Mit dem Trick der Umwandlung von Zeit- in Raumreihen können wir den zeitlichen Klimawandel als räumliches Nebeneinander darstellen und bekommen dadurch eine neue Anschaulichkeit. Das Ergebnis dieser Übersetzung der Zeit in den Raum ist auf Abbildung 3 und Abbildung 4 für die beiden beispielhaft ausgewählten Szenarien RCP 4.5 und RCP 8.5 am Ausgangsort Nürnberg dargestellt. Die sechs ausgewiesenen und entsprechend eingefärbten Regionen entsprechen den sechs zwanzigjährigen zwischen den Jahren 1990 und 2110 liegenden Zeiträumen, die auch Tabelle 1 zugrunde liegen. In der Legende ist immer der Zeitraum durch das in der Mitte liegende Jahr abgekürzt, 2050–2070 ergibt die Bezeichnung 2060. Wie Zwillinge sind dabei die Klimate der sechs Perioden am Ausgangsort Nürnberg und die in der ersten Periode 1990–2010 herrschenden Klimate in den sechs verschiedenen Regionen gepaart. Wie es bei Zwillingen üblich ist, herrscht zwischen den zugeordneten Klimaten zwar große Ähnlichkeit, aber durchaus keine Gleichheit. Ein unbestreitbarer Vorteil dieser Methode ist die Anschaulichkeit. Es sind nun nicht mehr abstrakte Klimagrößen, die sich in der Zeit verändern, sondern aneinandergereihte reale und der Erfahrung zugängliche geografische Klimaräume. Man kann sie aufsu-

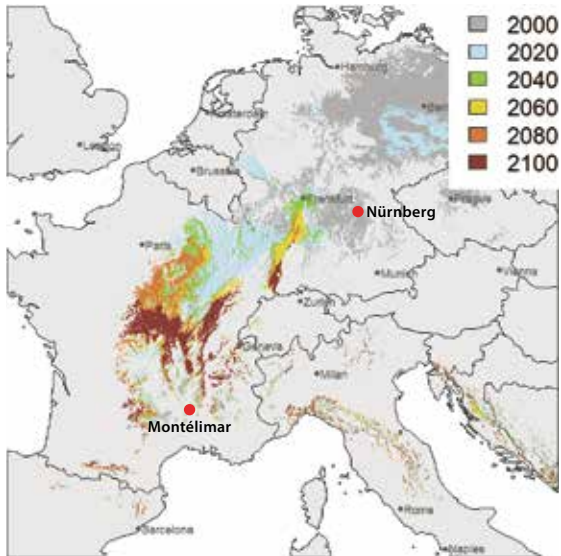


Abbildung 3: Zwillingregionen im Szenario RCP 4.5 für den Ausgangsort Nürnberg. Die Zwillingregionen sind nach der Zeitscheibe benannt, für deren Klima sie stehen.

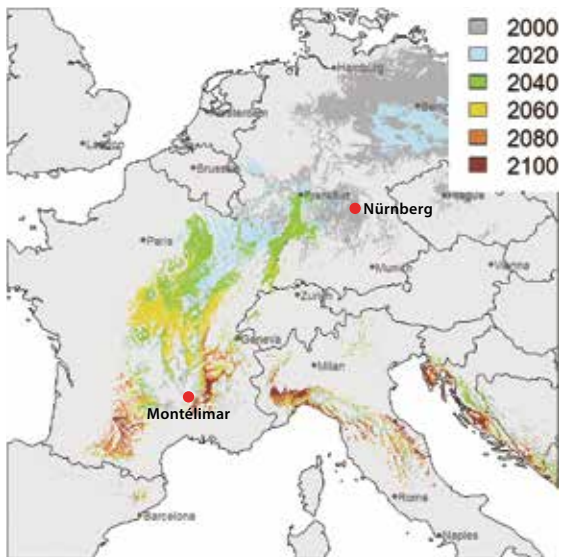


Abbildung 4: Zwillingregionen im Szenario RCP 8.5 für den Ausgangsort Nürnberg. Die Zwillingregionen sind nach der Zeitscheibe benannt, für deren Klima sie stehen.



chen und beschreiben. In ihnen nehmen die von der Wirklichkeit abgezogenen Klimagrößen wieder realistische Formen an.

Aus der Übersetzung der Zeitreihe in eine Raumreihe ergeben sich ungeahnte neue Reisemöglichkeiten. Muss eine Zeitreise aus Prinzip als unmöglich verworfen werden, so wird nun mithilfe des Tricks der Zuordnung der Zwillingregionsen zu Zeitscheiben ersatzweise die Option einer Raumreise eröffnet. Um den kommenden Klimawandel vorab zu erfahren, muss man nichts weiter tun, als in die Regionen zu fahren, deren Klima dem am Ausgangsort zu einem bestimmten Zeitpunkt erwarteten am ähnlichsten ist. Dort angekommen, kann man dann die hundert oder weniger Jahre Zukunft vorwegnehmen und schauen, wie sich der Wandel im Waldbild auswirkt und was er alles auch mit den Wäldern bei uns anstellen könnte. Wir nehmen in diesem trickreichen Ansatz den Raum für die Zeit (Space-for-Time) und gewinnen so neue Erkenntnismöglichkeiten über die uns bevorstehende Waldzukunft.

Jeder Ausgangsort hat seine eigenen Zwillingregionsen. Hat der Ausgangsort gegenwärtig bereits ein wärmeres Klima als Nürnberg, dann liegen die Zwillingregionsen dieses Ausgangsorts allesamt noch weiter im Süden als in unserem Beispiel. Ausgangsorte mit kühlerem Ausgangsklima als Nürnberg haben dementsprechend weiter nördlich gelegene Zwillingregionsen. Weil es ein ziemlicher Rechenaufwand ist, für viele Ausgangsorte Zwillingregionsen zu berechnen, hat man sich erst in unseren Tagen damit beschäftigt, das Prinzip anzuwenden. Mit guten Daten, leistungsstarken Rechnern und klugen Programmen ist es jedoch mittlerweile ziemlich einfach, die Abbildung 3 und Abbildung 4 entsprechenden Karten für jeden beliebigen Punkt der Erdoberfläche zu zeichnen.

### Das Wichtigste in Kürze

Zwillingregionsen zeigen uns, in welche geografische Richtung sich das Klima von einem Ausgangspunkt her entwickelt. Die Veränderungen in der Zeit werden so im Raum abgebildet. Unser zukünftiges Klima gibt es schon heute im Süden Europas. Fahren wir hin, um es zu erleben!

Der Klimawandel ist längst im Wald angekommen, und die Schäden sind nicht zu übersehen. Unsere heutigen Wälder werden in den meisten Fällen dem neuen Klima kaum standhalten. Was können wir also tun? Die Vorschläge zur Anpassung reichen vom Grundsatz, die traditionellen Praktiken der Forstwirtschaft fortzuführen, bis hin zur Forderung, der Natur ganz das Feld zu überlassen. Welcher Weg aber ist der richtige?

Christian Kölling bündelt die Ergebnisse aus zwanzig Jahren Forschung und Praxis in diesem Buch und empfiehlt einen Mittelweg: Wenn das neue Klima sich aus dem Süden heranbewegt – dann sollten auch die Wälder sich von Süden nach Norden in Bewegung setzen. Je größer die Anpassungsprobleme werden, desto rascher müssen wir die Wälder behutsam mit den Baumarten anreichern, die zum neuen Klima passen. Damit eröffnet sich auch für unsere Wald- und Klimazukunft eine hoffnungsvolle Perspektive. Christian Kölling lädt uns ein auf eine Zeitreise zum Wald der Zukunft – um den Wald der Gegenwart klug zu gestalten.

**Christian Kölling** beschäftigt sich als promovierter Forstwissenschaftler seit über zwanzig Jahren mit dem Thema »Wälder im Klimawandel«. Er arbeitete sowohl als Wissenschaftler als auch bis heute in der Praxis des Waldumbaus. In zahlreichen Fachartikeln und Vorträgen arbeitet er lösungsorientiert zum Thema Waldumbau.

