

# Einleitung

## 1 Klimawandel, eine nicht nur globale Herausforderung

Der Klimawandel steht für eine mittel- bis langfristige Veränderung der globalen Lebensbedingungen. Trotz Unsicherheiten erkennen Wissenschaft, Gesellschaft und Politik durch ihn ein hohes Risiko für eine zukünftige nachhaltige Entwicklung. Der Fünfte Sachstandsbericht des IPCC<sup>1</sup> formuliert demzufolge einen dringenden Handlungsbedarf, den Klimawandel und seine Folgen zu begrenzen (G7, 2015; Mittler, 2016).

Längst ist klar, dass der Klimawandel ein globales Problem mit sehr unterschiedlichen Ausprägungen darstellt (Rahmstorf & Schellnhuber, 2006). In der Entwicklung von Strategien sind daher Vereinbarungen der globalen Staatengemeinschaft von Bedeutung. Dazu zählen Staaten mit unterschiedlichen Ausgangsbedingungen, Erwartungen und Interessen. Umso mehr ist das Abkommen der UN-Klimakonferenz in Paris 2015 ein Indikator für den hohen politischen Stellenwert des Klimawandels und seiner Folgen (United Nations Framework Convention on Climate Change Paris, 2015)<sup>2</sup>. Unter dem Schirm der Vereinten Nationen (UN Framework Convention on Climate Change; UNFCCC)<sup>3</sup> einigten sich Delegierte aus 195 Staaten im Dezember 2015 auf eine gemeinsame Strategie zur Begrenzung des Klimawandels. Insbesondere wurde das Ziel einer Begrenzung der globalen Erwärmung auf unter 2 °C, möglichst 1,5 °C im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter vereinbart. Damit würden wesentliche negative Folgen vermieden werden können. Aktuell liegt das langjährige Mittel der globalen Temperaturen etwa 0,8 °C<sup>4</sup> höher als das vorindustrielle Niveau. Auffällig ist die Häu-

---

1 <http://www.ipcc.ch>

2 United Nations Framework Convention on Climate Change: adoption of the Paris agreement 2015; URL (original): <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>

3 <http://newsroom.unfccc.int/>

4 <http://www.dwd.de:2014> global wärmstes Jahr seit 1880.

fung neuer Temperaturrekorde innerhalb der letzten Jahre. Von den letzten zehn Jahren zählen sechs zu den wärmsten Jahren seit 1880.<sup>5</sup> Für das Jahr 2015 wurde in aktuellen Untersuchungen (Met Office, 2016) nachgewiesen, dass schon heute 1,02 Grad Erwärmung gegenüber vorindustriellen Verhältnissen erreicht sind.<sup>6</sup> Setzt sich dieser Trend fort, erscheint der Temperaturabstand zu der als kritisch bewerteten 1,5- bzw. 2-Grad-Grenze als gering. Ein Erfolg der Zielerreichung erscheint daher zunächst wenig wahrscheinlich.

Das Paris-Abkommen sieht vor, dieses Ziel durch eine globale kohlenstoffarme Entwicklung zu erreichen, dazu sei eine Balance aus anthropogen verursachten Treibhausgasen, die für die Temperaturerhöhung stehen, und Senken, die den Wärmeanstieg begrenzen, notwendig. In dieser Balance finden neben Kohlendioxid auch andere Treibhausgase wie insbesondere Methan oder Lachgas Berücksichtigung.

Eine kohlenstoffarme Weltwirtschaft erfordert ein Umdenken in der Energiewirtschaft sowie einen Zugang zu sauberer Energie auch in den Entwicklungs- oder Schwellenländern. Dies bedingt, eine eigene Finanzierungsarchitektur zur Abfederung der Klimaentwicklung einzurichten. Mit dem Paris-Abkommen 2015 wurden konkrete Finanzhilfen vereinbart. Weniger finanzstarke Staaten sollen ab 2020 bis zunächst 2025 zur Anpassung und Abmilderung (Mitigation) mit 100 Milliarden Dollar jährlich unterstützt werden. Bereits 2006 berechnete der sogenannte Stern-Report »Review on the Economics of Climate Change« (Stern, 2006), dass die späteren Kosten zur Beseitigung der Folgen des Klimawandels deutlich höher ausfallen dürften als die zur Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen heute notwendigen.

Trotz des erklärten Willens zu Grenzwerten einer Klimaveränderung von 2 Grad (1,5 Grad) durch globales politisches Handeln wird sich das Klima aber wohl weiter verändern. Dies ist einerseits wesentlich in der langen Verweilzeit von emittierten, klimawirksamen Gasen in der Atmosphäre begründet. Archer et al. (2009) bezweifeln gar, dass die oft angenommene Verweildauer von Kohlendioxid als wesentliche Komponente der Treibhausgase in der Atmosphäre auf 200 Jahre zu begrenzen sei. Auch gesellschaftliche und ökonomische Entwicklungen der Staatengemeinschaft deuten auf eine Beharrungswahrscheinlichkeit der

---

5 NOAA, <http://www.noaa.gov/>

6 Die Klimaerwärmung hat eine bedeutende symbolische Schwelle erreicht: Das Jahr 2015 war im Durchschnitt bislang 1,02 Grad wärmer als die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts, berichtet das britische Met Office, der meteorologische Dienst Großbritanniens (<http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/klima-globale-erwaermung-erreicht-1-grad-schwelle-a-1061895.html>).

gegenwärtigen energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen. Zu grundlegend ist die Nutzung fossiler Energie in gegenwärtigen industriellen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Prozessen verankert. In Anbetracht vieler unterschiedlicher Positionen ist für die Umstellung ein angemessener Zeitraum zu veranschlagen. Anpassungsmaßnahmen an veränderte Klimabedingungen sind daher insbesondere für Waldökosysteme mit mittel- bis langfristigen Lebenszyklen unverzichtbar.

Der ökologische Hintergrund für den Anpassungsprozess der Forstwirtschaft an den Klimawandel kann mit dem von Crutzen (2002) geprägten Begriff des Anthropozäns charakterisiert werden. Der Begriff bezeichnet das gegenwärtige Erdzeitalter, welches mit einer seit 200 bis 300 Jahren andauernden globalen Veränderung der natürlichen Umwelt durch den Menschen eingeleitet worden ist (Baccini & Brunner, 1991; Steffen et al., 2011; Zalasiewicz et al., 2008; Ehlers, 2008). Die anthropogen bedingte globale Veränderung drückt sich in veränderten Prozessen, Stoff- und Energieflüssen sowie Strukturen aus. Mit ökologischen gehen grundlegende gesellschaftliche und ökonomische Veränderungen einher. Der Begriff »Anthropozän« ist bisher durch die Internationale Stratigraphische Kommission (ICS) nicht offiziell akzeptiert.

Die Klimadynamik ist wesentlich durch die Erhöhung der atmosphärischen Konzentration von Treibhausgasen gesteuert, letztlich eine Folge der weitreichenden Prägung der Umwelt durch den Menschen. Die Gesellschaft sieht sich zunehmend veranlasst, die Folgen ihres Handelns für die Umwelt zu verstehen, zu erfassen und zu bewältigen. Der Mensch sieht sich immer mehr einer Umwelt gegenüber, die sein eigenes Produkt ist, das auf ihn zurückwirkt, mit der er lernen muss, in einer neu zu entwickelnden Balance zu leben, will er nicht sein eigenes Opfer werden.

## 2 Anpassungsnotwendigkeit der Wälder an den Klimawandel

### 2.1 Veränderung der Umweltbedingungen für Wälder

Der Begriff »Drift« steht für eine gerichtete Veränderung von Zuständen mit der Zeit.<sup>7</sup> Allerdings ist die gerichtete Veränderung des Klimas für den Menschen mit den eigenen Sinnen kaum wahrnehmbar. Dies ist wesentlich auf eine große zeitliche Variabilität der Witterungsbedingungen zurückzuführen. Die Entwicklungen treten zudem räumlich variabel auf und sind in ihrer Auswirkung je nach Ausgangssituation unterschiedlich zu bewerten.

#### *Der Faktor Zeit*

Ein verändertes Klima wirkt sich auf Wälder besonders deutlich aus, da die Lebensvoraussetzungen von Bäumen unmittelbar an Licht, Wärme und Feuchte gekoppelt sind und es für das Waldwachstum besonders auf das Ausmaß und die Verteilung dieser Größen ankommt. Wirksam sind sowohl langfristige Trends als auch kurzfristige Extrema. Zu Letzteren zählen beispielsweise aufeinanderfolgende extrem warm-trockene Jahre, besondere Trockenheit im Winter (Nichtvegetationszeit) wie auch im Sommer (Vegetationszeit), Spätfrost, extreme frühsommerliche Wärme oder Stürme.

Künftige Entwicklungen sind nicht präzise vorhersehbar, Projektionen auf die Zukunft sind mit Unsicherheiten belastet. Dies gilt beispielsweise für Klimaextreme, die für den Wald von großer Bedeutung sind.

Ursachen und Wirkungen einer Klimaänderung können zeitlich voneinander entkoppelt auftreten. So können sich infolge von Stürmen und Sturmwürfen im Wald Auswirkungen auf Insektenpopulationen ergeben, die für mehrere Jahre Einfluss auf die Entwicklung der Wälder nehmen (Krehan & Steyrer, 2005).

#### *Komplexität der Veränderungen*

Es sind aber nicht nur die veränderlichen Klimabedingungen, die dem Wald zusetzen. Wälder sind während der letzten Jahrzehnte auch mit wesentlichen Entwicklungen der chemischen Umwelt konfrontiert. Die heutigen Umweltbedin-

---

<sup>7</sup> Der Begriff »Drift« wird in verschiedenen Fachbereichen unterschiedlich definiert. Im Zusammenhang mit einer Klimaänderung ist darunter zu verstehen, dass sich Umweltbedingungen über längere Zeiträume in eine neue Hauptrichtung verändern und sich Lebensbedingungen künftig von denjenigen ohne verändertes Klima unterscheiden.

gungen für Wälder können durch Störungen in der Vergangenheit wesentlich beeinflusst sein.

Das Verständnis der Wirkungsweise des Klimawandels für den Wald und daraus abzuleitende Handlungsoptionen stellen eine besondere Herausforderung dar, weil

- ◆ Wälder vielgestaltig sind, indem sie unterschiedliche Strukturen (beispielsweise Baumarten, -alter sowie Stufigkeit) und standörtliche Bedingungen repräsentieren,
- ◆ Wälder – regional differenziert – eine Vielzahl von Aufgaben und Funktionen für die Gesellschaft haben,
- ◆ Informationen Entscheidungshilfen zu verschiedenen räumlichen Skalen vom Baum bis zu Waldökosystemen und der ganzen Landschaft leisten sollen,
- ◆ Bäume und Wälder komplexe adaptive (anpassungsfähige) Systeme darstellen.

#### *Einflüsse von früheren Umweltveränderungen (Waldhistorie) auf den Waldzustand heute*

Ein Blick in die Waldgeschichte zeigt, dass von der Gesellschaft eingeforderte Leistungen immer wieder wesentlich das Erscheinungsbild, die ökologischen Bedingungen sowie die Form und Funktion der Wälder gesteuert haben. Als Beispiel seien für die Zeit vor der Nutzung fossiler Energie die Holznutzung für Köhlerereien, Glas- und Eisenhütten wie auch die Streunutzung benannt, die bis heute mosaikartig Einfluss auf die standörtlichen Eigenschaften nehmen (siehe Kapitel »Zur Resilienz von Wäldern«, Abschnitt 2.1).

Bereits im 18. Jahrhundert verdrängte die fossile Energie die Holzkohle und wurde zum Motor der Industrialisierung. Die Nutzung fossiler Energie wie Kohle, Gas und Öl stieg rasch an. Der Eintrag von Säure und Stickstoff aus fossiler Energie in Wälder erreichte in den 1970er-Jahren maximale Werte. Stichworte wie Säureeinträge in Wälder, absterbende Wälder etwa in den Hochlagen des Harzes und Stickstoff-Eutrophierung sind Folgen der intensiven Nutzung fossiler Energie mit erheblichen Auswirkungen auf die Wälder. Wie Schwefel, Stickstoff und Ozon der bodennahen Luft ist auch Kohlendioxid zu wesentlichen Teilen eine Folge von anthropogener Verbrennung fossiler Energieträger. Die Klimaänderung der letzten Jahre ist ohne eine Erhöhung des Kohlendioxidgehaltes der bodennahen Luftschicht nicht denkbar.

## 2.2 Drift forstlicher Standorte und Folgen für die Waldentwicklung

Der für Deutschland diagnostizierte und in die Zukunft projizierte Klimawandel, der Einfluss von Fremdstoffeinträgen und das lokal veränderte Wasserregime der Waldböden bedingen eine Drift der natürlichen Produktionsbedingungen der Forstwirtschaft. Die Annahme stabiler Umwelt- und Standortbedingungen ist nicht (mehr) zutreffend.

Die Häufigkeit und die Intensität dieser Veränderungen kann selbst für größere Naturräume nur eingeschränkt vorhergesagt werden. Noch weitaus mehr gilt dies für kleinräumige und lokale Ausprägungen und den Einfluss auf das komplexe Wirkungsgefüge von Lebensgemeinschaften im Wald. Die regionalen Projektionen von verschiedenen Szenarien des Klimawandels bilden mit einem ebenfalls unterschiedlichen Anpassungspotenzial vieler Wälder einen unscharfen Möglichkeitsraum für Anpassungsstrategien der Forstwirtschaft. Je weiter der Blick in die Zukunft gerichtet ist, desto größer ist die Unsicherheit (vgl. Klimaprojektionen im Kapitel »Klimawandel global und regional«).

Die Veränderlichkeit dieses Möglichkeitsraumes schließt heute die Ausweisung von statischen Zielzuständen für die zukünftige Waldentwicklung aus. Dementsprechend müssen Entscheidungshilfen für die Waldwirtschaft wie beispielsweise eine Stabilisierung durch waldbauliche Behandlung oder Waldumbau als ein Prozess verstanden werden, der auf ein dynamisches Zielsystem gerichtet ist. Maßnahmen werden im Wesentlichen durch die Standortdrift, die Resilienz (Anpassungsfähigkeit) bzw. die an der Standortdrift ausgerichtete Dynamik der unterschiedlichen Waldökosystemtypen sowie durch forstbetriebliche und gesellschaftliche Anforderungen an den Wald bestimmt.

Mit der Klimaänderung ändern sich wesentliche Eigenschaften der forstlichen Standorte. Zu nennen sind im hessischen Beispiel<sup>8</sup> insbesondere die durch wärme-klimatische Höhenstufen definierte Wuchszone, die über den Feuchteindex definierte Klima-feuchte sowie der hilfswise vegetationskundlich abgeleitete Geländewasserhaushalt. Über klimabedingte Veränderungen des Zustandes der organischen Substanz von Böden sind ebenfalls Einflüsse auf die durch biotische und edaphische Merkmalsgruppen definierte Trophie wahrscheinlich.

Neben der allgemeinen Zunahme wärmebegünstigter Waldstandorte ergibt sich aus der Verschiebung der höhenzonalen Temperaturen noch eine weitere Besonderheit:

---

8 Forstliche Standortskunde 6. Auflage, 1996.

Waldgebiete in größeren Höhenlagen können bei wenig geänderten Niederschlagsbedingungen deutlich mehr Wärme erfahren. Daraus folgt, dass Standorte entstehen können, die in ihrer Wechselwirkung von Wärme und Niederschlag heute nicht vorkommen – etwa mäßig subatlantische Klimatönungen, die künftig aber den wärmebegünstigten Lagen ähnlich der Rhein-Main-Ebene zuzuordnen sind.

Mit dem neuen Zusammenspiel von mehr Wärme in an sich niederschlagsreichen Lagen können sich beispielsweise auch hinsichtlich der Dynamik von Insektenpopulationen Situationen ergeben, für die es heute keine Vergleiche gibt.

»Natürliche Vorbilder« für den Waldumbau als Anpassung an den Klimawandel können demnach nur noch eingeschränkt für die Formulierung von Zielen für die Waldentwicklung herangezogen werden. Es ist fraglich, inwieweit in der zu erwartenden Standortdrift die bisherigen Zuordnungen zwischen Standort und den als potenziell natürlich angenommenen Waldvegetationsgesellschaften erhalten bleiben. So weisen Schlutow & Gemballa (2008) zum Beispiel für den sächsischen Teil der Dübener Heide zum Ende des 21. Jahrhunderts eine submediterrane Klimaausprägung aus, für die im Zusammenwirken mit mittel- bis grobsandigen Substraten bisher keine Leitwaldgesellschaft ausgewiesen werden kann.