

Auswirkungen des Klimawandels auf den deutschen Wald

*Ein Projekt der Robert-Bosch-Stiftung –
behandelt während des Vertiefenden Unterrichtes in der Anne-Frank-Schule
(IGS Bargteheide)
Eingereicht bei R. Witt*

*Vorgelegt von Aljoscha Al-Badri, Jon Schröder und Victoria Rudolphi
Klasse 11b
Kontakt: klima.wald@web.de*

(Bargteheide, Juni 2007)

Inhaltsverzeichnis

I.	<i>Einleitung</i>	3
1.	<i>Der Wald</i>	4
1.1	Allgemeines	4
1.2	Unterschiede zwischen Laub- und Nadelbäumen	4
1.3	Eine kurze Geschichte der Bäume	5
1.4	Verbreitungsgebiete der Baumarten	5
2.	<i>Kohlenstoffkreislauf in Zeiten des Klimawandels</i>	6
2.1	‚Der‘ Kohlenstoffkreislauf	6
2.2	Der Kohlenstoffkreislauf des Waldes	7
	Photosynthese	7
	Zellatmung	8
3.	<i>Die Rolle des Waldes im globalen Klimageschehen</i>	9
4.	<i>Auswirkungen des Klimawandels auf den Wald</i>	10
4.1	Veränderung der Wasserbilanz	12
4.2	Verschiebung der Verbreitungsgebiete der Baumarten	12
4.3	Verschiebungen der Vegetationsperiode	14
4.4	Schadorganismen	15
	Migration	15
	Ausbreitung	16
5.	<i>Ausblick in die Zukunft</i>	17
6.	<i>Abbildungen</i>	18
7.	<i>Indexverzeichnis</i>	18
8.	<i>Quellen</i>	20

I. Einleitung

Wir haben uns im Rahmen unseres Schulprojektes zum Thema Klimawandel hauptsächlich mit dem Wald Deutschlands und der Auswirkungen des Klimawandels auf eben diesen beschäftigt. Wir haben uns für dieses Thema entschieden, da der Wald, ja alle Pflanzen, für das Leben auf diesem Planeten von elementarer Bedeutung sind. Diese Bedeutung wird in der, zum großen Teil emotional geführten, Klimadiskussion häufig vernachlässigt oder nur am Rande erwähnt. Da die wissenschaftlichen Fakten bezüglich des Klimageschehens im Allgemeinen nur Fachleuten bekannt sind, hielten wir es für wichtig, zumindest den Teilaspekt Klimageschehen und Wald zu untersuchen und zu beleuchten.

Das Thema wurde aufgegliedert und auf unsere Gruppe verteilt. Dabei wurden die einzelnen Punkte nach Interesse des Gruppenmitgliedes behandelt. Wir haben Literatur aus den Bereichen Biologie, Ökologie und Forstwissenschaft zu Hilfe genommen. Als große Unterstützung erwies sich auch der Hamburger Bildungsserver, den wir leider erst spät für uns entdeckten. Auch die Zusammenarbeit mit den betreuenden Instituten, wie dem Max-Planck-Institut, erfolgte nicht persönlich, sondern überwiegend über Internetrecherche. Stattdessen nahmen wir andere Institute zu Hilfe, zum Beispiel die eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft in Birmensdorf in der Schweiz oder die Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt in Göttingen.

Der Hauptteil unserer Ausarbeitung beginnt gleich mit dem Thema Wald, das sich unter anderem mit der Entstehung und der Zusammensetzung des Waldes, den Baumarten und des Kohlenstoffkreislaufes beschäftigt. Dann folgen die Auswirkungen des Klimawandels auf den Wald Deutschlands, die sich in zwei Unterpunkte aufgliedern. Zum Schluss wagen wir einen kurzen Ausblick in die Zukunft des Waldes.

1. Der Wald

1.1 Allgemeines

Rund 11,1 Millionen Hektar Deutschlands sind mit Wald bedeckt, das ist ca. ein Drittel der Gesamtfläche. Damit kommen auf einen Hektar Wald rund sieben Einwohner. Zum Vergleich: die ‚waldreichen‘ Nachbarländer Deutschlands, wie zum Beispiel Frankreich oder Österreich, kommen nur auf vier beziehungsweise zwei Einwohner pro Hektar.

Von diesen genau 11.075.799 Hektar Waldfläche bestehen 10.890.092 Hektar, also 98,3%, aus begehbarem Wald, der sich wiederum in Holzboden und Nichtholzboden aufteilt.

Dort nimmt wiederum der Holzboden den Großteil der Fläche (95,4%) ein, während der Nichtholzboden hauptsächlich für Waldwege oder Holzlagerplätze verwendet wird. Hauptbewaldungsgebiete liegen in Deutschland vor allem in Süddeutschland, außerdem noch im Nord- und Südosten Niedersachsens, im Norden und Süden Brandenburgs und im Südosten Nordrhein-Westfalens.

Der Wald verteilt sich zu 57,6 Prozent auf Nadelbäume und zu 40,1% auf Laubbäume.

Den größten Flächenanteil bedeckt die Baumartengruppe Fichte mit 28,2%, gefolgt von der Kiefer mit 23,3%. Die Buche bewächst 14,8% des von Wald bestandenen Bodens und die Eiche 9,3%.

Die Artenvielfalt variiert in den einzelnen Bundesländern erheblich, sogar so stark, dass man Deutschland noch einmal grob in Bewaldungsgebiete aufteilen kann:

Der Norden Deutschlands hat im Landesinnern einen hohen Kieferanteil, darauf folgen die laubbaumreichen Mittelgebirge und die Küste und zuletzt das fichtenreiche Süddeutschland.

Man unterteilt Bäume im Allgemeinen, unabhängig von ihrer Art, in Altersklassen. Es gibt neun Altersgruppen, die jeweils 20 Jahre umfassen, wobei die letzte Gruppe sämtliche Bäume über 160 Jahre zusammenfasst.

Im Großen und Ganzen werden Bäume jedoch zu aller erst immer in eine von zwei Kategorien eingeteilt: In Laubbäume und Nadelbäume.

1.2 Unterschiede zwischen Laub- und Nadelbäumen

Nadelbäume (Nacktsamer)

Als Nacktsamer oder auch Gymnospermen (griech. *gymnós* =nackt, *spérma* = Same) bezeichnet man die Nachfahren der Baumfarne (Cordaiten). [4]

Die Nadelbäume haben eine stockwerkartig gegliederte Baumgestalt mit einem kräftigen Stamm und einer meist pyramidalen Kronenform.

Die Nadelbäume sind, bis auf wenige Ausnahmen, immergrün, lediglich einige Arten, wie zum Beispiel die Lärche verlieren jedes Jahr ihre Nadeln.

Die Äste bilden fast immer einen Astquirl, das heißt, dass sie stumpfwinklig radial um die Stammachse angeordnet sind. Die Blätter der Nadelbäume sind spitz, meistens stachelig und werden Nadeln genannt.



Abb. 1: *Picea abies*

Laubbäume (Bedecktsamer)



Abb.2: *Castanea sativa*

Laubbäume gehören zu den Bedecktsamern. Als Bedecktsamer oder Angiospermen bezeichnet man Pflanzen, die ihre Samen in eine Frucht einhüllen. [4]

Der große Unterschied zu den Nadelbäumen besteht bei den Laubbäumen darin, dass sie die Seitenzweige, die sie in ihrer Jugend bilden, nur schwach weiterentwickeln, so dass sie nach einiger Zeit absterben. Erst in einiger Höhe wachsen diese Seitentriebe ständig weiter. Dadurch entsteht der Eindruck, dass dem astlosen unteren Stamm eine Krone aufgesetzt wird.

Ein ausgewachsener Laubbaum kann eine Fläche von bis zu 600m² beschatten.

Bei den Laubbäumen herrschen rundliche beziehungsweise ovale Kronenformen vor, was daran liegt, dass der Hauptstamm sein Wachstum früher

als der Nadelbaum einstellt und in weiteren Ästen ausläuft, welche sich dann in die Gesamtkrone einordnen. Die Blätter der Laubbäume haben eine zweckmäßige Konstruktion. Sie sind flach und haben eine, für ihre geringe Masse, sehr große Oberfläche.

1.3 Eine kurze Geschichte der Bäume

Vor ca. 220 bis 130 Millionen Jahren traten die ersten Nacktsamer auf unserem Planeten auf. Diese Nacktsamer kann man als die Vorfahren der heutigen Palmen, der Ginkgos und vor allem der Nadelbäume sehen. Sie waren also die direkten Vorläufer unserer Kiefern, Fichten, Tannen und Zedern. Und noch heute kann man Nadelbäume vor allem an wasserarmen Orten zu den wichtigsten Waldbäumen überhaupt zählen.

Vor ungefähr 140 Millionen Jahren vollzog sich der letzte und entscheidende Schritt in der Entwicklung der Pflanzen: Die Bedecktsamer traten auf. Sie bildeten die Blütenpflanzen und die Laubhölzer.

Fast 30 Millionen Jahre lang vollzog sich ein stetiger Kampf um die Vorherrschaft der Arten, der Sieger steht inzwischen eindeutig fest.

Von den rund 260.000 Pflanzenarten, die heute bekannt sind, sind nur etwa 700 Nacktsamer. [16]

1.4 Verbreitungsgebiete der Baumarten

Nun muss man sich fragen, warum, obwohl es nur noch so eine geringe Anzahl an Nacktsamerarten gibt, trotzdem der größte Teil (57,5%) der deutschen Waldfläche von Nadelhölzern bedeckt ist. [1]

Der Grund liegt darin, dass Nadelhölzer, auf Grund ihrer im Allgemeinen kürzeren Lebenserwartung und ihres dadurch schnelleren Wachstums früher höhere Holzträge liefern als Laubhölzer.

Deswegen wurden im Zuge der großen Aufforstungswelle am Ende des 19. Jahrhunderts auf vielen Standorten, die eigentlich Laubhölzern vorbehalten sind, großflächig Nadelhölzer, insbesondere Fichten und Kiefern angepflanzt.

Prozentualer Anteil an Fichte und Buche im Wald Deutschlands:

*Fichte: 1987 = 31,5%
2002 = 28,2%*

*Buche: 1987 = 12,9%
2002 = 14,8%*

Im Verlauf des Klimawandels werden die Nadelhölzer jedoch immer benachteiligter und so setzen sich die Laubbäume mehr und mehr in den einzelnen Standorten durch.

Das liegt unter anderem auch daran, dass Nadelbäume sich nur langsam an neue klimatische Begebenheiten anpassen können.

Auf die Auswirkungen des momentanen Klimawandels auf die Baumarten gehen wir an anderer Stelle verstärkt ein.

2. Kohlenstoffkreislauf in Zeiten des Klimawandels

2.1 ‚Der‘ Kohlenstoffkreislauf

Kohlenstoff bildet die Grundlage sämtlicher organischen Verbindungen. Die größte Kohlenstoffquelle bildet das aus der Atmosphäre stammende Kohlenstoffdioxid.

Die drei natürlichen Komponenten des globalen Kohlenstoffkreislaufes sind die Atmosphäre, der Ozean und natürlich die Vegetation.

Seit der Industrialisierung ist allerdings noch der Faktor Mensch in den Kohlenstoffkreislauf mit eingerückt, dessen Wirken vorher kaum der Rede wert war.

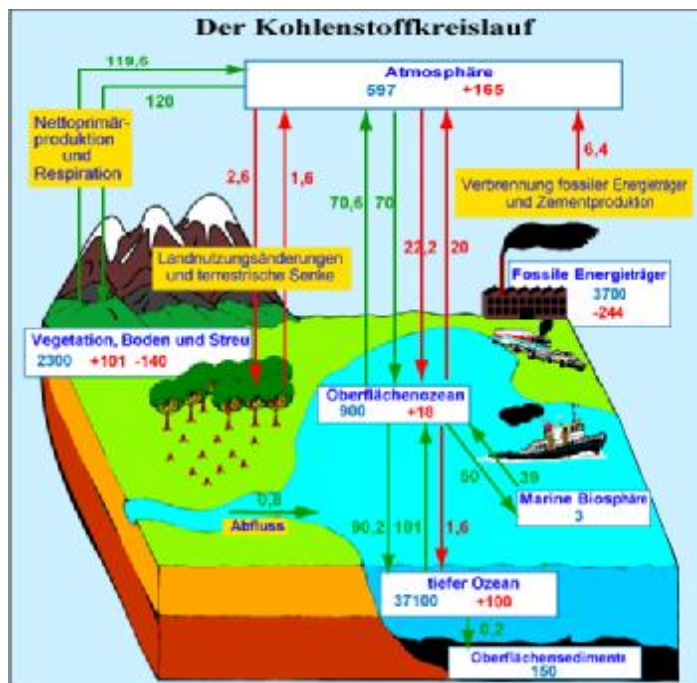


Abb.3: Kohlenstoffaustausch zwischen Atmosphäre, Landvegetation und Ozean in GtC pro Jahr sowie die Reservoirs in GtC (1 t C entspricht 3,67 t CO₂). Die grünen Pfeile und Werte zeigen die natürlichen Austausche und die blauen Werte die natürlichen Reservoirs vor 1750. Die roten Pfeile und Werte zeigen die anthropogenen Flüsse in den 1990er Jahren, die roten Werte bei den Reservoirs die anthropogenen Veränderungen seit Beginn der Industrialisierung.

Wenn man in einem Kreislauf von einem ‚Anfang‘ sprechen könnte, so würde dieser beim Kohlenstoffkreislauf in der Atmosphäre zu finden sein.

Durch Assimilationsprozesse (siehe Photosynthese) wird der Atmosphäre Kohlenstoff entzogen. Die beiden großen Pfeiler hierfür bilden der Ozean und die Vegetation. Obwohl sie gleichzeitig durch Dissimilationsprozesse (siehe Zellatmung) Kohlenstoff wieder an die Atmosphäre abgeben, bleibt durch den Aufbau von Biomasse ein nicht unerheblicher Teil des Kohlenstoffes gespeichert. So sind im Ozean bis zu 39.000 Gigatonnen Kohlenstoff gespeichert. In der Gesamtheit der globalen Vegetation sind immerhin noch 610 Gigatonnen Kohlenstoff gespeichert. (Siehe Grafik)

Eine Gigatonne umfasst 1.000.000.000, also eine Milliarde, Tonnen.

Fasst man dies zusammen, so müsste eigentlich konstant Kohlenstoff aus der Atmosphäre entnommen werden, und wenn man davon ausgeht, dass in der Atmosphäre sowieso ‚nur‘ 750 Gigatonnen Kohlenstoff vorhanden sind, dürfte man eigentlich nicht von einer zu hohen Kohlenstoffkonzentration in der Atmosphäre sprechen (die sowieso nur ca. 0,03 Vol-% beträgt).

Allerdings kommt zu diesem ausgeglichenen Zyklus auch noch der Faktor Mensch hinzu. Als einziger Faktor im Kohlenstoffkreislauf produziert er nur CO₂, entnimmt es aber nicht aus der Atmosphäre. Durch Verbrennung fossiler Brennstoffe (Kohle, Erdgas, Erdöl) und durch die massive Abholzung großer Waldflächen (Bsp. Regenwald) ‚pustet‘ er jährlich 7,2 Gigatonnen Kohlenstoff in die Atmosphäre.

2.2 Der Kohlenstoffkreislauf des Waldes

Grundpfeiler des Kohlenstoffkreislaufes des Waldes sind die Photosynthese und die Zellatmung.

Vereinfacht gesehen ist der Kohlenstoffkreislauf des Waldes lediglich die Entnahme des CO₂ aus der Atmosphäre (durch Assimilation → Photosynthese) und die Abgabe des CO₂ an die umgebende Luft (durch Dissimilation → Zellatmung).

Anders als bei immergrünen Pflanzen ändern sich die Bilanzen des Kohlenstoffkreislaufes des Waldes mit dem Verlauf der Jahreszeiten. Das liegt daran, dass die Blätter sich während des Herbstes verfärben und dann, im Winter, vom Baum abgestoßen werden. Zusammengefasst bilden alle Stoffkreisläufe ein ausgeglichenes System, dass allerdings durch anthropogene oder klimatische Einflüsse aus dem Gleichgewicht geraten kann. [15]

Photosynthese

In der Schule lernen wir: Nur grüne Pflanzen sind in der Lage, sich selbst mit Nährstoffen zu versorgen.

Aber warum?

Dazu muss man als erstes einmal wissen, dass ein Baum, als grüne Pflanze, nur Wasser und Nährsalze aus dem Boden aufnimmt, aber trotzdem stetig Biomasse aufbaut.

Diese organische Masse kann nicht nur aus der Nährsalzlösung des Bodens stammen. Dadurch bleibt nur noch der Kohlenstoff, der aus dem in der Luft enthaltenem Kohlenstoffdioxid (CO₂) entnommen wird.

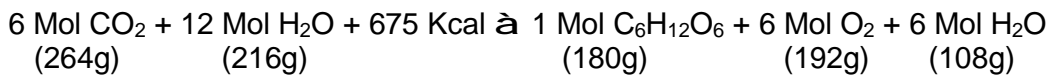
Photosynthese ist ein assimilativer Vorgang, da der Kohlenstoff in die Biomasse der Pflanze eingebaut, ihr also „angeglichen“ oder „assimiliert“ wird.

Photosynthese kann aber nur erfolgen, wenn mehrere Bedingungen erfüllt sind. Zum einen wird Licht benötigt, woher die Photosynthese auch ihren Namen hat (griech. Photos = Licht). Außerdem wird Chlorophyll, auch Blattgrün genannt, benötigt. [15]

In einem Baum ist Chlorophyll ausschließlich in den Chloroplasten der Blätter vorhanden. Es bezeichnet eine Klasse natürlicher Farbstoffe, die von verschiedenen Organismen gebildet werden, die Photosynthese betreiben. Die meisten Pflanzen erlangen ihre grüne Farbe durch Chlorophyllmoleküle.

Zuletzt wird auch noch Wasser benötigt.

Nun können wir eine Formel der Photosynthese erstellen:



(1 Mol (mol) ist die Stoffmenge, die aus ebensoviel Einzelteilchen besteht, wie Atome in 12 g ¹²C enthalten sind.)

Den Energiebetrag von 675 Kcal, der zur Synthese von einem Molekül Zucker nötig ist, liefert das Licht. Der bei der Photosynthese entstehende Sauerstoff wird in die umgebende Luft abgegeben und ist für weitere Stoffwechselprozesse nicht mehr zugänglich.

Fasst man all das zusammen, so erschließt sich einem das eigentliche Wesen der pflanzlichen Photosynthese:

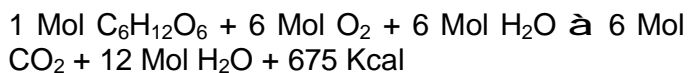
„Es wird in Pflanzen schon seit über 400 Millionen Jahren nicht nur in einzigartiger Weise aus einfachen anorganischen Grundstoffen Zucker gebildet, ohne den ein Leben auf unserer Erde gar nicht möglich wäre, sondern es wird dabei auch gleichzeitig kosmische Strahlungsenergie aufgefangen und in Form von chemischer Energie gespeichert, um später wieder den verschiedensten Zwecken des Lebens dienstbar gemacht zu werden.“ (Braun, Helmut J.: Bau und Leben der Bäume, 1980)

Kohlenstoff ist unter anderem auch in den Kohlenhydraten (u. a. Zucker, Stärke, Cellulose) und in den Eiweißen und Fetten zu finden.

In den Ozeanen finden ebenfalls assimilative Prozesse statt. Da diesen aber kein Licht zur Verfügung steht, erzeugen sie ihre Energie durch die sogenannte *Chemosynthese*.

Zellatmung

Die Zellatmung, die in der lebenden Zelle in den Mitochondrien, den sogenannten „Kraftwerken der Zelle“ stattfindet, ist, rein summarisch gesehen, nur der umgekehrte Vorgang der Photosynthese:



„Es ist ein Charakteristikum der Lebewesen, dass sie zur Aufrechterhaltung ihres Daseins atmen müssen.“ (Braun, Helmut J.: Bau und Leben der Bäume, 1980)

Es entstehen also aus einem Mol Traubenzucker, unter Zuhilfenahme von sechs Mol Sauerstoff und sechs Mol Wasser, sechs Mol Kohlenstoffdioxid und zwölf Mol Wasser.

Gleichzeitig wird aus der gespeicherten chemischen Energie ein Energiebetrag von 675 Kcal freigesetzt.

Das Kohlenstoffdioxid wird wieder der umgebenden Luft zugeführt und steht nicht mehr für weitere Stoffwechselprozesse zur Verfügung. Einfach gesagt ist die Zellatmung ein dissimilativer Vorgang, bei dem die aus der Lichtenergie gespeicherte chemische Energie für die verschiedensten Lebensvorgänge freigesetzt wird.

Eigentlich müsste eine höhere Kohlenstoffkonzentration also vorteilhaft für die Pflanzenwelt an sich und im Besonderen auch für den Wald sein. Das ist zwar nicht falsch, aber auch nicht ganz richtig. Es stimmt, dass durch eine Erhöhung der CO₂-Konzentration für kurze Zeit eine Steigerung der Biomasse erfolgen kann, allerdings betreibt ein Baum nur dann Assimilationsprozesse, wenn er die daraus entstehende Energie benötigt. Somit wird eine Erhöhung der Kohlenstoffkonzentration keineswegs zu einem Wachstumsschub der Bäume führen. [15]

Ein Baum, kann in 24 Stunden rund ein kg CO₂ ausatmen. Das entspricht in etwa der Atmungsintensität eines ausgewachsenen Menschen.

3. Die Rolle des Waldes im globalen Klimageschehen

Viel ist bereits über den Klimawandel gesagt worden. Und wir haben und werden noch viel über den Klimawandel und, bei uns im speziellen, seine Auswirkungen auf den Wald sagen und schreiben. Aber man darf dabei nicht vergessen, dass nicht nur der Klimawandel Auswirkungen auf den Wald hat - der Wald hat auch Auswirkungen auf das Klima.

Diese sind sogar recht bedeutend. Er ist nicht nur ein wichtiger Faktor im globalen Kohlenstoffkreislauf (siehe 1.3), sondern hat auch Auswirkungen auf den Strahlungshaushalt der Erde und er wirkt sich auf die Luftströmungen und die Luftfeuchtigkeit aus.

Diese Auswirkungen werden wir nachfolgend behandeln. Wir fangen mit dem Strahlungshaushalt an. Der Wald hat Auswirkungen auf den Strahlungshaushalt der Erde, weil sein Albedowert geringer ist als der, der meisten anderen Oberflächen.

„Die Albedo, das ist allgemein bekannt, ist ein Maß für das Rückstrahlvermögen von diffus reflektierenden, also nicht selbst leuchtenden Oberflächen. Sie wird bestimmt durch den Quotient aus reflektierter zu einfallender Energie der elektromagnetischen Wellen“. [9]

Nun ist die Albedo des Waldes mit nur 0,05 bis 0,18 wesentlich geringer als die durchschnittliche Albedo unserer Erde, die 0,3 beträgt. Diese 0,3 bedeuten, dass 30% des Sonnenlichtes in den Weltraum zurückgestrahlt werden. Also werden auf Flächen, die von Wald bedeckt sind, nur bis zu 18% zurückgestrahlt. Besonders in Zeiten des Treibhauseffekts spielt das eine sehr große Rolle bei der globalen Erwärmung. Das liegt zum Großteil daran, dass Bäume die einfallende Sonnenstrahlung nutzen, um Photosynthese betreiben zu können.

Als nächstes wenden wir uns vom Wald verursachten Veränderungen der Luftströmungen zu. Es ist logisch nachvollziehbar, dass ein großer Teil des Klimagesüges durch Luftströmungen am Leben erhalten wird. Auch das Wetter und damit das Klima werden von ihnen beeinflusst. Nun ist die Erde keine vollkommen flache Scheibe

Albedo ist ein lateinisches Wort. Es bedeutet 'Weißheit' und wird dazu genutzt, zu beschreiben, wie hell (weiß) etwas ist. [9]

(wie wir seit Aristoteles, Ptolemäus und Plinius wissen). Deshalb können Luftströmungen nicht überall gleich gut zirkulieren.

Veränderungen in der Bodenbeschaffenheit und der Rauigkeit der Oberfläche werden durch Täler, Gebirge, Ozeane und natürlich auch durch Waldflächen erzeugt. Es

Lee und Luv sind ursprünglich nautische Begriffe. Luv ist die dem Wind zugewandte Seite.

kommt nicht von ungefähr, dass häufig sogenannte Windschutzstreifen angepflanzt werden. Vor allem in Norddeutschland hat wahrscheinlich jeder schon einmal einen solchen Schutzstreifen gesehen: Hier nennt man sie Knicks. Durch einen solchen Windschutzstreifen kann die Windgeschwindigkeit im Lee bis zu 50% reduziert werden.

Außerdem und nicht zuletzt wird die Luftfeuchtigkeit durch Transpiration der Blätter beeinflusst. Dabei wird über die Spaltöffnungen der Blätter Wasserdampf an die Umwelt abgegeben. Das Transpirationsverhältnis eines Blattes zu seiner Umwelt lässt sich mit folgendem Satz zusammenfassen:

Je größer das Wasserdampfgefälle Blatt – Umwelt, desto größer ist die Transpiration der Blätter.

Im Durchschnitt beträgt der Wasserdampfgehalt der Luft in unseren Breiten 50-80%. Die Luft kann, je nach Temperatur, unterschiedliche Mengen Wasserdampf aufnehmen. Sinkt die Temperatur, steigt die Luftfeuchtigkeit, steigt die Temperatur an, so sinkt die Luftfeuchtigkeit. [4]

4. Auswirkungen des Klimawandels auf den Wald

Der Zustand der Waldbäume verschlechtert sich stetig. Nur noch 25% aller Waldbäume in Deutschland sind in einwandfreiem Zustand. Bei der Buche zum Beispiel stieg der Anteil der kranken Bäume um 9% auf 53%. Daran ist nicht nur der Klimawandel direkt schuld, sondern auch Schädlinge wie der Borkenkäfer und Schadstoffe.

Die einzelnen Baumarten können nur in Gebieten wachsen, in denen die klimatischen Bedingungen ihren Ansprüchen genügen. Ändern sich diese, kann es dazu kommen, dass Baumarten in klimatisch günstigere Gebiete verdrängt werden oder sogar ganz aus Deutschland verschwinden. Für die Buchen sind z.B. Niederschlagsmengen unter 600mm/Jahr und Temperaturen, deren Jahresmittelwert 8°C übersteigt, nicht mehr tragbar. Ihre Verbreitungsgebiete werden im Süden und Westen Deutschlands durch die 20°C-Juli-Isotherme begrenzt. Steigen die Temperaturen in Deutschland durch den Klimawandel an, kann der Bestand der Buchen gefährdet sein, allerdings nur in Bereichen, in denen die Niederschlagsmenge auch stark abnimmt.

Auch die Fichte wäre durch einen Klimawandel gefährdet, sie lebt schon heute unter nicht optimalen Bedingungen, denn es ist bereits jetzt in vielen Teilen zu warm. Fichten sind flachwurzeln, durch einen möglichen Anstieg der Sturmhäufigkeit durch den Klimawandel hätte diese Baumart also zusätzlich auch noch mit diesem Problem zu kämpfen. Auch der Befall von Schadorganismen ist eine Bedrohung für die Bäume, die durch den Klimawandel begünstigt wird.

Die einzelnen Auswirkungen des Klimawandels auf die Bäume wird im Folgenden näher erläutert.

Um die Veränderungen durch klimatisch bedingte Faktoren abzuschätzen, haben wir aus den Daten der Klimasimulationen vom Max-Planck-Institut für Meteorologie eigene Karten zu der Entwicklung der Temperatur und des Niederschlags erstellt:

Veränderung der durchschn. Temperatur [C]

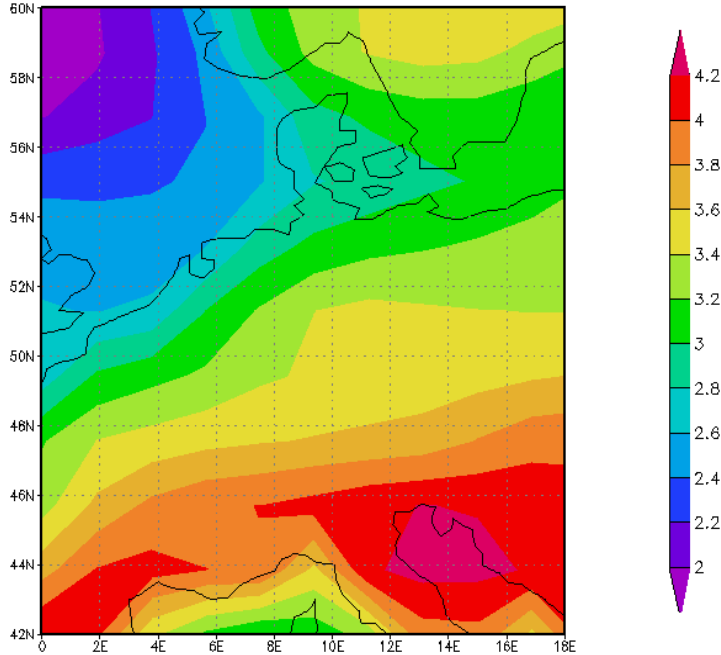


Abb. 4 zeigt die Veränderung der durchschnittlichen Temperatur bis zu den Jahren 2061-2090 (im Vergleich zu 1961-1990). Auffällig ist, dass die Temperaturen in ganz Deutschland zunehmen werden. Der Süden wird sich mit ca. 3,8 °C am stärksten erwärmen, gegen Norden nimmt der Temperaturanstieg stetig ab, so dass er an den Küsten lediglich nur noch zwischen 2° und 3°C beträgt.

Abb.4 (oben): Veränderung der Durchschnittstemperatur zwischen 1961-1990 und 2061-2090 2007-03-27-13:25

Abb.5 (unten): Veränderung des durchschnittlichen Niederschlages im selben Zeitraum.

Veränderung des durchschn. Niederschlages [mm/a]

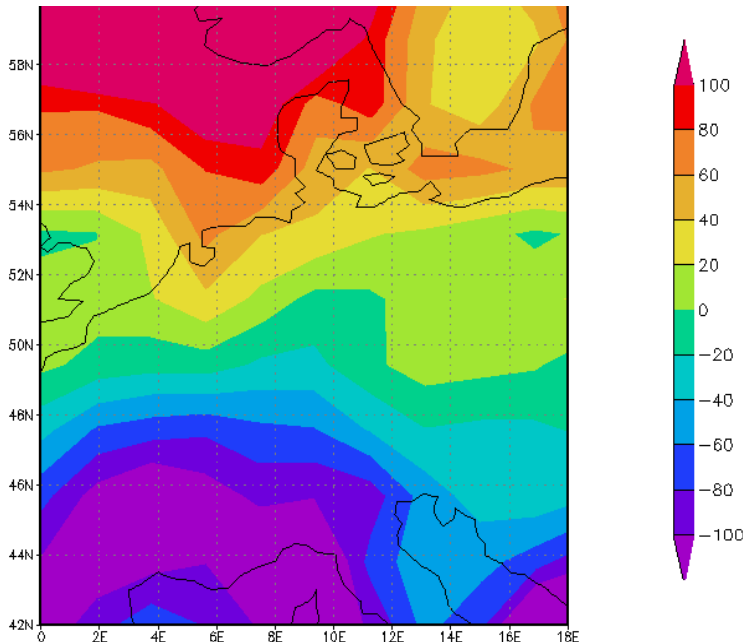


Abb. 5 zeigt die Veränderung des durchschnittlichen Niederschlages im selben Zeitraum. Im Norden Deutschland ist in Zukunft mit mehr Niederschlag zu rechnen. Im Süden wird dieser aber abnehmen. Diese Abbildung zeigt den Jahresdurchschnitt. In den einzelnen Monaten, bzw. Jahreszeiten kann das Bild ganz anders aussehen.

2007-03-27-14:25

4.1 Veränderung der Wasserbilanz

Pflanzen brauchen Wasser, um ihr Überleben zu sichern. Die Hauptquelle, aus denen Bäume ihren Wasserbedarf decken, ist das Grundwasser. Niederschlag sickert in den Boden und speist somit, auf direktem Weg, die Wurzeln. Das funktioniert auf folgende Weise:

Wurzeln gliedern sich in ältere und somit dickere und jüngere, feinere Wurzeln auf. Die dickeren Wurzeln dienen der Speicherung von Stärke, Fetten und auch von Wasser. Die feineren Wurzeln sind wiederum für die Aufnahme von Wasser und Nährsalzen verantwortlich. Diese Aufgabe können sie umso besser erfüllen, je höher die Oberfläche der Rhizodermis, der Wurzelhaut, ist.

Darum stülpt die Rhizodermis sogenannte Wurzelhaare aus, die sich eng an die Bodenteilchen anschmiegen können. Weder die Rhizodermis noch die Wurzelhaare haben eine Kutikula, außerdem bilden sie beide nur äußerst dünne Zellwände aus. Das Wasser wird mithilfe der Osmose aus dem Boden gewonnen [4].

Durch die Erhöhung der Durchschnittstemperaturen wird sich die Wasserbilanz Deutschlands verändern. Dies ist bereits in der Vergangenheit geschehen und wird sich wahrscheinlich auch in der Zukunft fortsetzen. Die Niederschlagsrate wird vor allem im Norden steigen, im Süden nimmt sie ab. Der Grundwasserspiegel wird sich senken. Eine weitere Veränderung lässt sich vor allem in einer Verschiebung der Niederschläge vom Sommer in den Winter sowie in einer erhöhten Verdunstung aufgrund der steigenden Temperaturen festmachen. Eine Verschiebung der Niederschläge in den Winter bedeutet, dass der Boden wesentlich weniger Wasser aufnehmen kann, da er durch Bodenfrost stark in seiner Aufnahmefähigkeit gehemmt ist (auch wenn anzunehmen ist, dass der Bodenfrost durch den Klimawandel seltener auftreten wird). Dies hat zur Folge, dass der Grundwasserspiegel sinken wird.

Was bedeutet das nun für den Wald?

Wie oben erwähnt, zieht ein Baum fast seinen gesamten Wasserbedarf aus dem Boden, genauer, aus dem Grundwasser. Sinkt der Grundwasserspiegel nun, wie angenommen wird, so wird dem Baum der Zugang zu seiner Wasserquelle erschwert beziehungsweise sogar ganz genommen.

Das ist zuallererst einmal eine enorme Wachstumshemmung. Der Baum benötigt das Wasser und die darin gelösten Nährsalze dringend um Biomasse aufzubauen. Es ist auch Bestandteil der Photosynthese und der Zellatmung. Würde es dann bei diesen Bedingungen bleiben, so könnte es zu Veränderungen der Verbreitungsgebiete der Baumarten kommen (S. 2.3), wenn nicht sogar zur kompletten Emigration einiger Arten. Außerdem wird sich der Phänotyp der Baumarten verändern. Mögliche Folgen hierbei sind die Abnahme der Wuchsleistung, Verringerung der Blatt- und Kronenmasse und, infolge dieser Disposition, vermehrter Befall von Schädlingen. Das wird zwar nicht bereits in den nächsten Jahren geschehen, da Bäume bis zu drei Generationen brauchen, um sich an drastische Veränderungen anzupassen, aber es ist nicht ausgeschlossen, dass es schließlich passieren wird.

4.2 Verschiebung der Verbreitungsgebiete der Baumarten

Bäume wachsen nicht überall. Sofern man sie nicht künstlich anpflanzt, lässt sich die ganze Welt in verschiedene natürliche Bewaldungsgebiete einteilen. So wachsen in Deutschland hauptsächlich Fichten, Kiefern, Buchen und Eichen. Verändern sich die gegebenen Umweltbedingungen, wie etwa Temperatur, Niederschlag oder andere

Faktoren, so können Baumarten diesen Umweltbedingungen folgen, einwandern oder müssen ausweichen.

Dieser Prozess ist heute noch nicht so stark zu beobachten, wird allerdings wie schon in vergangenen Jahrtausenden, wahrscheinlich stattfinden, sollte das Klima sich wie erwartet entwickeln.

Nachfolgend werde ich die Verbreitungsgebiete der vier Hauptbaumarten aufzeigen und eine Prognose geben, wie diese sich durch den Klimawandel verändern könnten. Dazu haben wir eigene Karten (siehe Abb. 4 und 5) aus Daten der Klimasimulationen am Max-Planck-Institut erarbeitet.

Die Fichte (*Picea abies*) zeigt in ihrer Verbreitung drei Teilgebiete: Das sibirische Fichtengebiet, welches sich nördlich des Urals befindet, das nordosteuropäische Fichtengebiet, welches das nordisch-baltische Gebiet umfasst, und zuletzt das mittel- und südosteuropäische Fichtengebiet. Dieses umfasst den alpinen und den südosteuropäischen Raum.

Fichten sind relativ unempfindlich Kälte gegenüber, benötigen aber eine gute Wasserversorgung mit regelmäßigen Niederschlägen.

Die Waldkiefer (*Pinus sylvestris*) hat das ausgedehnteste Verbreitungsgebiet der Welt, es reicht vom Norden Norwegens bis in die Türkei und vom ohotskischen Meer bis in die spanische Sierra Nevada. In Deutschland kommt sie vor allem im Osten und Süden vor.

Die Kiefer vermag sich durch ihre geringen Umweltansprüche gegen andere Arten durchzusetzen. So benötigt sie nur wenig Feuchtigkeit, ist quasi immun gegen Frost und wächst auch auf nährstoffarmen Böden.

Die Rotbuche (*Fagus sylvatica*) kommt ausschließlich in West- und Mitteleuropa vor. Lediglich in Süd- und Südosteuropa kommt sie noch vereinzelt auf montaner Stufe vor. Die Buche ist in ganz Deutschland vertreten.

Die Buche hat äußerst niedrige klimatische Ansprüche, lediglich strenge Winter und sommerliche Trockenzeiten sowie Spätfrost können ihr Wachstum beeinträchtigen.

Die Eichen breiten sich in Mittel-, West- und, in geringem Maße, auch in Nordeuropa aus. In Deutschland kommen sie überall vor. Die Hauptvertreter der Gattung sind die Stieleiche (*Quercus robur*) und die Traubeneiche (*Quercus petraea*).

Beide Arten benötigen ein gewisses Maß an Wärme um gut wachsen zu können. Dabei verträgt die Traubeneiche Wärme besser als die Stieleiche. Auch sind beide Arten recht anspruchslos, was die Nährstoffversorgung angeht, allerdings hat die Stieleiche einen höheren Nährstoffanspruch als die Traubeneiche. Lediglich bei der Wasserversorgung unterscheiden die beiden sich. Die Stieleiche benötigt eine gute Wasserversorgung, während die Traubeneiche bevorzugt auf eher trockenen Böden wächst. [3]

Was bedeutet der Klimawandel nun für diese Baumarten? Natürlich kann man nicht genau vorhersagen, wie die Baumarten auf Veränderungen des Klimas reagieren. Bäume reagieren nur sehr langsam auf Veränderungen, weshalb man heute noch nicht sagen kann, wie sich das Geschehen entwickeln wird. Man kann aber auf der Basis unseres heutigen Wissenstandes eine Prognose wagen.

Wie wir aus den Grafiken Abb. 4 und 5 entnehmen können, wird sich die Temperatur in Norddeutschland um ca. 3,2° Celsius erhöhen. Der Niederschlag wird ebenfalls steigen, um etwa 20-60 mm/Jahr.

Die Fichte benötigt, wie oben erwähnt, regelmäßigen Niederschlag, ohne größere Trockenperioden. Sie reagiert sehr stark auf Veränderungen der Temperatur, vor allem während der Vegetationszeit. Schwankungen vom Temperaturjahresmittel sind ab einem Betrag von 5-8°C schädlich. In vielen Bereichen Mitteleuropas und auch in Deutschland befinden sich diese Schwankungen schon jetzt an der Toleranzgrenze, weitere Erhöhung wird vermutlich dazu führen, dass der Fichtenbestand in Deutschland stark zurückgehen wird. Die Bedingungen im Norden sind günstiger als im Süden, deswegen dürfte sich das Verbreitungsgebiet der Fichte nach Norden hin ausbreiten. Allerdings wirkt der Klimawandel global und nicht nur auf die Fichte, denn er begünstigt ebenso ihre speziellen Schadorganismen. Außerdem ist anzunehmen, dass die Sturmhäufigkeit durch den Klimawandel zunehmen wird. Da die Fichte ein Flachwurzler ist, ist mit einer vermehrten Entwurzlung der Bäume durch Stürme zu rechnen.

Die Waldkiefer ist einer der anspruchlosesten Baumarten. Deswegen wird sie forstlich als Pionierbaumart bezeichnet. Sie wächst auf nährstoffarmen Böden mit geringer Wasserversorgung. Da sich die Nährstoffverhältnisse des Bodens jedoch nur sehr langsam verändern werden, ist in dem prognostizierten Zeitrahmen keine Änderung zu erwarten.

Die Rotbuche, die nur sehr geringe klimatische Ansprüche stellt, kann als eine der ersten Gewinner des Klimawandels gesehen werden. Sie verträgt ein größeres Temperaturspektrum als die Fichten. Deshalb wird ihr eine Temperaturerhöhung durch den Klimawandel nicht schaden. Wenn die Niederschlagsverhältnisse mitspielen, wird die Buche durch die Temperaturveränderung ihr natürliches Verbreitungsgebiet weiter nach Norden und Osten hin ausbreiten können.

Die Rotbuche hat allerdings wirtschaftliche Nachteile, denn ihr Holz ist schwer und wächst nicht immer gerade. Auch die Zunahme der Stürme und der Schadinsekten wirken negativ auf die Buche.

Beide Eichenarten werden das Optimum ihres natürlichen Verbreitungsgebietes nach Norden und Osten erweitern können.

4.3 Verschiebungen der Vegetationsperiode

Die Vegetationsperiode oder Vegetationszeit ist der Teil eines Jahres, in dem eine Pflanze wächst. Die Vegetationszeit beginnt, wenn die Temperaturen erstmals über 5° Celsius betragen und diese Temperatur für mindestens eine Woche gehalten wird. Sie endet, wenn die Temperaturen für einen Zeitraum von mindestens einer Woche unter 5° Celsius fallen. In Deutschland beginnt die Vegetationszeit ungefähr im Mai und endet ungefähr im September. Während der Vegetationszeit blühen, fruchten und wachsen die Pflanzen. Das Gegenteil zur Vegetationsperiode bildet die sogenannte Vegetationsruhe oder Ruheperiode. [11]

Man hat bereits festgestellt, dass sich die Vegetationsperiode verändert. So beginnt sie früher und endet später. Die Vegetationsperiode hat sich zwischen 1951 und 2000 bereits um 2,3 Tage verlängert. In einigen Jahrzehnten wird sie sich um bis zu 4 weitere Tage verschieben.

Das hört sich nun, oberflächlich, nicht besonders schlimm an. Doch man kann nicht ermessen, was für Auswirkungen solch eine Verschiebung der Vegetationsperiode auf das Ökosystem Wald haben wird.

So haben Bäume durch eine Verschiebung der Vegetationsperiode zwar die Möglichkeit, ihr Wachstum zu erhöhen, aber sie können die neu ausgebildeten Triebe nicht verholzen lassen. Das ist nur in der Ruhezeit möglich. Ist der Baum nun nicht in der Lage, zu verholzen, macht ihn das äußerst anfällig für Schädlinge aller Art. Treibt der Baum nun früher aus, so benötigt er mehr Wasser um seine Stoffwechselprozesse am Leben zu erhalten, da der Grundwasserspiegel aber leider sinkt (siehe. 2.2), wird er Probleme haben, seinen Wasserbedarf zu decken. Hinzu kommt außerdem, dass einige Baumarten durch diese frühere Austriebsmöglichkeit einen Vorteil anderen Arten gegenüber haben. Ein weiteres Problem ist auch noch, dass auch in der Vegetationsperiode noch Spätfröste auftreten können. Die Wahrscheinlichkeit von Spätfrost steigt, wenn die Vegetationsperiode früher beginnt. Das ist eine Gefahr für kälteempfindliche Pflanzen. Allerdings hat sich die Frostperiode ebenfalls verfrüht, weshalb sie auch früher endet. Darum sollte die Gefahr der Spätfröste nicht weiter gestiegen sein. [12]

Trotz dieser eher negativen Aspekte kann man davon ausgehen, dass eine Verschiebung der Vegetationsperiode überwiegend Vorteile für den Wald bringen wird. Vor allem, da die Bäume durch längere Wuchszeiten wesentlich mehr Biomasse aufbauen können.

4.4 Schadorganismen

Als Schadorganismen bezeichnet man Organismen wie Insekten und Pflanzenarten, die durch überstarke Vermehrung eine Bedrohung für den Waldbestand darstellen. In diesem Kapitel der Ausarbeitung widme ich mich im Besonderen den Insekten. Ich beschäftige mich im ersten Unterthema mit der Migration, also der Wanderung der Insektenarten und nehme mir hier als Beispiel den Chinesischen Laubholzbockkäfer vor.

Im zweiten Unterthema behandle ich die Ausbreitung bereits heimischer Arten, hier am Beispiel des Buchdruckers (*Ips typographus*).

Der Hauptfaktor bei der Wanderung von Insektenarten bildet die Erwärmung der Erdatmosphäre. Einwandernde Insektenarten, die vorher in den befallenen Gebieten nicht hätten überleben können, finden dort nun die gleichen, zum Teil sogar günstigeren Lebensbedingungen als in ihrem ursprünglichen Verbreitungsgebiet vor. Dies trifft vor allem auf Insekten aus dem mediterranen Raum zu. Hinzu kommt noch, dass die heimischen Insektenarten mit der Klimaveränderung zu kämpfen haben, was den Einwanderern die Eroberung neuer Lebensräume erleichtert.

Davon abgesehen bildet der Klimawandel auch eine große Hilfe für bereits heimische Arten, die sich zum Beispiel durch die Temperaturerhöhung wesentlich besser fortpflanzen können. [14]

Migration

Der Chinesische Laubholzbockkäfer (*Anoplophora chinensis*) befällt vorwiegend Laubhölzer (Ahorn, Buche usw.)

Der Käfer ist 25-40 mm groß, glänzend schwarz mit rund einem Dutzend hellen Flecken auf den Flügeldecken. Die Fühler der Weibchen erreichen gut Körperlänge, diejenigen der Männchen etwa die doppelte Körperlänge. Die Entwicklungsdauer des Chinesischen Laubholzbockkäfers dauert bei uns wahrscheinlich ca.2 Jahre.

Die Eier werden in T-förmigen Schlitz an der Stammbasis oder an Oberflächenwurzeln abgelegt. Die Larven fressen zuerst im Bast und dringen später ins Holz ein. Nach einer Entwicklungszeit von rund anderthalb Jahren sind sie 5 cm lang und verpuppen sich. Rund sechs Wochen nach der Verpuppung schlüpfen die ausgewachsenen Käfer im Sommer aus einem runden Loch von bis zu 2 cm Durchmesser und fressen an Laub und Rinde. Die Ausbohrlöcher befinden sich wie die Eiablagestellen an der Stammbasis oder an oberflächigen Wurzeln.



Abb.6: *Anoplophora chinensis malasiaca*

Nun kommt der Chinesische Laubholzbockkäfer ursprünglich (der Name lässt es vermuten) aus dem asiatischen Raum. Sein natürliches Verbreitungsgebiet ist das südliche China, Japan und Korea. Der Laubholzbockkäfer wurde wahrscheinlich, genau wie sein enger Verwandter, der Asiatische Laubholzbockkäfer, durch Verpackungsmaterial aus China nach Südeuropa mit Schwerpunkt Norditalien eingeschleppt.

Der Chinesische Laubholzbockkäfer ist sehr kälteempfindlich, weshalb er sich bis vor wenigen Jahren nur im mediterranen Raum ausbreiten konnte. Seit ca. 1970 jedoch breitet er sich auch immer weiter nach Mitteleuropa hin aus. Der Grund dafür liegt auf der Hand: Durch die globale Erwärmung und die damit zusammenhängenden veränderten Mitteltemperaturen der Jahreszeiten weitet er sein Verbreitungsgebiet immer weiter nach Norden hin aus.

Der Chinesische Laubholzbockkäfer ist sehr kälteempfindlich, weshalb er sich bis vor wenigen Jahren nur im mediterranen Raum ausbreiten konnte. Seit ca. 1970 jedoch breitet er sich auch immer weiter nach Mitteleuropa hin aus. Der Grund dafür liegt auf der Hand: Durch die globale Erwärmung und die damit zusammenhängenden veränderten Mitteltemperaturen der Jahreszeiten weitet er sein Verbreitungsgebiet immer weiter nach Norden hin aus.

Dieser Käfer befällt nicht nur geschwächte, sondern auch gesunde Bäume. Die Bohrlöcher dienen als ‚Eintrittspforte‘ für Krankheitskeime, der Larvenfraß führt zu großen Schädigungen in den Kronen und schließlich zum Sterben des gesamten Baumes. Auch die Bruchgefahr einzelner Baumteile wird begünstigt. [11]

Ausbreitung

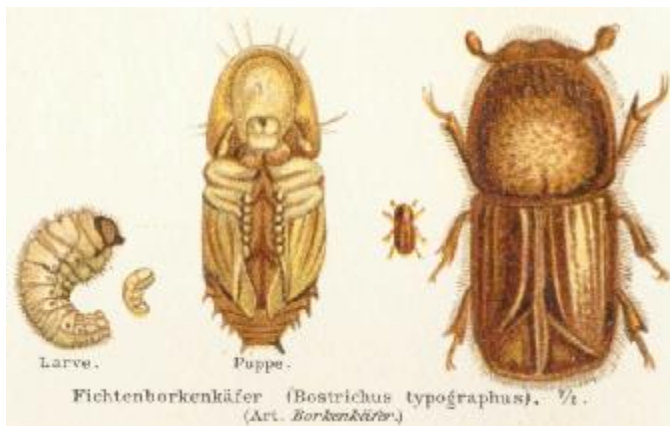


Abb.7 Fichtenborkenkäfer im Larven-, Puppen und im ausgewachsenen Zustand. Die verkleinerten Figuren sind in der Originalgröße dargestellt.

Nun ist es ja nicht so, dass durch die Erwärmung der Erdatmosphäre nur wandernde Arten begünstigt werden würden. Auch bei uns bereits heimische Arten erhalten durch den Wandel des Klimas einen ‚Ausbreitungsbonus‘. Als Beispiel für solche Arten soll uns der Buchdrucker (*Ips typographus*), eine Borkenkäferart, dienen.

Der Klimawandel hat sowohl positive als auch negative beziehungsweise hemmende Auswirkungen auf die verschiedenen Käferarten und somit natürlich auch auf den Hauptschädling der Fichte, den Buchdrucker. Zum einen bringt der Klimawandel eine deutliche Temperatur-

te, den Buchdrucker. Zum einen bringt der Klimawandel eine deutliche Temperatur-

erhöhung mit sich, was sich begünstigend auf die Reproduktionsrate des Buchdruckers auswirkt. Das bedeutet, dass die Puppenruhe des Käfers, die normalerweise ein bis zwei Wochen dauert, verkürzt wird. So können noch mehr Generationen des Käfers als bisher schlüpfen. Außerdem kann es passieren, dass durch die steigende Wärme die Bäume in Trockenstress (Prädisposition) geraten und weniger Harz produzieren können, um die Käfer abzuwehren.

Gleichzeitig kann der Klimawandel, wie schon erwähnt, aber auch hemmende Auswirkungen auf die Borkenkäferarten haben. So bedeutet eine steigende Niederschlagsmenge eine bessere Wasserversorgung der Fichte, was wiederum die Harzproduktion steigern kann. [14]

5. Ausblick in die Zukunft

Wie erwähnt ist es unmöglich, genau bestimmen zu können, wie sich der Wald Deutschlands im Zuge des Klimawandels verändern wird. Bäume benötigen eine lange Zeitspanne, bevor sie auf klimatische oder anderweitige Veränderungen reagieren. Man kann höchstens, wie wir es in unserer Ausarbeitung bereits versucht haben, auf wissenschaftlichen Erkenntnissen fußende Annahmen treffen. Doch man sollte sich nicht täuschen, denn es haben bereits Veränderungen stattgefunden. Eines der deutlichsten Beispiele hierfür ist die Verschiebung des borealen Nadelwaldes zum Nordpol hin.

Grundsätzlich sind jedoch keine verzweifelten Schutzmaßnahmen für den Wald Deutschlands erforderlich. Der Wald ist ein regeneratives, geschlossenes Ökosystem, das sich seit ca. 200 Millionen Jahren im Überleben und Anpassen an die verschiedensten klimatischen Begebenheiten geübt hat. Der Wald hat Klimakatastrophen ganz anderer Größenordnung bewältigt und wird das auch in Zukunft tun. Er wird sich den neuen Begebenheiten anpassen, und, für uns, sein Gesicht verändern.

6. Abbildungen

Abb.1:

Thomé, Prof. Dr. Otto Wilhelm (1885): Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz, Picea Abies,

http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Illustration_Picea_abies0_clean.jpg

Abb.2:

Koehler's Medicinal-Plants (1887): Castanea Sativa,

<http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Koeh-173.jpg>

Abb.3:

Kasang, D. (2007): Der Kohlenstoffkreislauf, [http://www.hamburger-](http://www.hamburger-bildungsserver.de/klima/klimawandel/treibhausgase/kohlendioxid/uebersicht.html)

[bildungsserver.de/klima/klimawandel/treibhausgase/kohlendioxid/uebersicht.html](http://www.hamburger-bildungsserver.de/klima/klimawandel/treibhausgase/kohlendioxid/uebersicht.html)

Abb.4:

selbsterstellte Karte aus Daten der Klimasimulationen vom Max-Planck-Instituts für Meteorologie, Hamburg

Abb.5:

selbsterstellte Karte aus Daten der Klimasimulationen vom Max-Planck-Instituts für Meteorologie, Hamburg

Abb.6:

Iwatebud (User), Wikipedia (2006): Anoplophora malasiaca,

http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Anoplophora_malasiaca.jpg

Abb.7:

Meyers Konversations-Lexikon, 1888: Fichtenborkenkäfer, Ausschnitt aus Tafel Waldverderber I (Käfer), 4. Aufl. 1888, Bd. 16, S. 352,

http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Ips_typographicus_1_meyers_1888_v16_p352.jpg

7. Indexverzeichnis

Literatur:

[1] Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft: *Die zweite Bundeswaldinventur – BWI². Das Wichtigste in Kürze*. Berlin

[2] Schwerdtfeger, Fritz (1981): *Die Waldkrankheiten. Ein Lehrbuch der Forstpathologie und des Forstschutzes*. 4. Auflage, Hamburg und Berlin: Paul Parey Verlag.

[3] Röhrig, Prof. Dr. Ernst (1980): *Der Wald als Vegetationstyp und seine Bedeutung für den Menschen*. 5., neubearbeitete Auflage, Hamburg und Berlin: Paul Parey Verlag.

[4] Braun, Helmut J. (1980): *Bau und Leben der Bäume*. Freiburg im Breisgau: Rombach+Co GmbH, Druck- und Verlagshaus.

[5] Mitscherlich, Prof. Gerhard / Moll, Prof. Wolfgang (1975): *Wald, Wachstum und Umwelt. Eine Einführung in die ökologischen Grundlagen des Waldwachstums, Band 1-3.*, Frankfurt am Main: J. D. Sauerländer's Verlag

[6] Beat Wermelinger (2006): *Augen auf für einen bislang unbekanntes Schädling. Erster Quarantänefall des Chinesischen Laubholzbockkäfers in der Schweiz.* Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf, Schweiz.

Internet/Web-Adressen:

[7] Kasang, Dieter (Datum unbekannt): *Wald und Klima.* <http://www.hamburger-bildungsserver.de/welcome.phtml?unten=klima/klimafolgen/oekosysteme/index.htm>
[Stand: 24. April 2007]

[8] Kasang, Dieter (12.10.2006): *Migration und Wachstumsraten.* <http://www.hamburger-bildungsserver.de/index.phtml?site=themen.klima>
[Stand: 24. April 2007]

[9] Wikipedia (18. 05.2007): Albedo.
<http://de.wikipedia.org/wiki/Albedo> [Stand: 31.05.2007]

[10] J. Gourdeau (06.05.2004): *Wolken und Partikel – Basis – Albedo.*
URL:http://www.atmosphere.mpg.de/enid/3_Sonne_und_Wolken/_Albedo_3ao.html [Stand: 02.06.07]

[11] Umweltbundesamt (2007): *Klimafolgen und Anpassung im Bereich Wasserwirtschaft,*
<http://osiris.uba.de/gisdienste/Kompass/fachinformationen/wasser.htm>
[Stand: 14.06.07]

[12] Wikipedia (2007): *Vegetationsperiode.*
<http://de.wikipedia.org/wiki/Vegetationsperiode> [Stand: 19.06.2007]

[13] Annette Menzel (2003): *Anzeichen des Klimawandels in der Pflanzen- und Tierwelt.*
http://www.waldwissen.net/themen/waldoekologie/pflanzenoekologie/lwf_klimawandel_pflanzentierwelt_2003_DE [Stand: 21.06. 2007]

[14] Kasang, Dieter (12.10.2006): *Insektenbefall.*
<http://www.hamburger-bildungsserver.de/index.phtml?site=themen.klima>
[Stand: 26. April 2007]

[15] Kasang, Dieter (12.10. 2006): *Ökosysteme und Klimawandel.*
<http://www.hamburger-bildungsserver.de/index.phtml?site=themen.klima>
[Stand: 21. April 2007]

[16] Lohberg, Rolf (Datum unbekannt): *Nur winterharte Arten bleiben übrig - Welt der Pflanzen - Geschichte des Waldes - Wald, Natur- und Freizeitführer.*
<http://www.wald.lauftext.de/welt-der-pflanzen/geschichte-des-waldes/>
[Stand: 18. März 2007]

8. Quellen

Bayrisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten (2006): *Waldzustandsbericht 2006*.

http://www.forst.bayern.de/imperia/md/content/forst-internet/pdf/wze-2006/waldzustandsbericht_2006.pdf

[Stand: 26. November 2006]

Bundesamt für Naturschutz (2006): *Wald, Naturschutz und Klimawandel*.

http://www.waldundklima.net/klima/klima_docs/hoeltermann_bfn_2006.pdf

[Stand: 22. Januar 2007]

Czajkowski, T./ Bolte, A. (2005): *Unterschiedliche Reaktion deutscher und polnischer Herkünfte der Buche (Fagus sylvatica L.) auf Trockenheit*.

http://www.waldundklima.net/klima/klima_docs/czajkowski_bolte_afiz_2006.pdf

[Stand: 22. Januar 2007]

European Environment Agency (2004): *Europa braucht Anpassungsstrategien, um Auswirkungen der Klimaänderung zu begrenzen*.

http://www.eea.europa.eu/pressroom/newsreleases/climate_report-de

[Stand: 23. April 2007]

Hamburger Bildungsserver (2006): *Klimawandel und Treibhauseffekte*.

<http://www.hamburger-bildungsserver.de/welcome.phtml?unten=/klima/klimafolgen/oekosysteme/index.htm>

[Stand: 2. Februar 2007]

Hamburger Bildungsserver (2006): *Natürliche Ökosysteme*.

<http://www.hamburger-bildungsserver.de/welcome.phtml?unten=/klima/klimafolgen/oekosysteme/index.htm>

[Stand: 22. Januar 2007]

Kubatzki, Claudia (2007): *Klimawandel und Vegetation*.

http://www.pik-potsdam.de/%7Ekubi/kubi_schulnetzwerk07.ppt

[Stand: 5. Februar 2007]

Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz (2006): *Waldzustandsbericht für Rheinland-Pfalz 2006*.

http://www.mufv.rlp.de/fileadmin/img/inhalte/wald/Waldzustandsbericht_2006.pdf

[Stand: 26. November 2006]

Umweltbundesamt (2005): *Klimawandel in Deutschland. Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme*.

<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2947.pdf>

[Stand: 14. Dezember 2006]

Unbekannter Verfasser (2006): *anthropogen*.

<http://www.umweltdatenbank.de/lexikon/anthropogen.htm>

[Stand: 30. Januar 2007]

Wikimedia Foundation Inc. (2007): *Bast (Baum)*.
http://de.wikipedia.org/wiki/Bast_%28Baum%29
[Stand: 30. Januar 2007]

Wikimedia Foundation Inc. (2006): *Boreale Zonen*.
<http://de.wikipedia.org/wiki/Boreal>
[Stand: 30. Januar 2007]

Wikimedia Foundation Inc. (2007): Intergovernmental Panel on Climate Change.
http://de.wikipedia.org/wiki/Intergovernmental_Panel_on_Climate_Change
[Stand: 28. Januar 2007]

Wikimedia Foundation Inc. (2007): Isotherme Zustandsänderung.
http://de.wikipedia.org/wiki/Isotherme_Zustands%3%A4nderung
[Stand: 28. Januar 2007]

Wikimedia Foundation Inc. (2007): Klimarahmenkonvention.
<http://de.wikipedia.org/wiki/Klimarahmenkonvention>
[Stand: 28. Januar 2007]

WBGU (Datum unbekannt): Auftrag.
http://wbgu.de/wbgu_auftrag.html
[Stand: 30. Januar 2007]

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen
(1995): *Szenario zur Ableitung globaler CO₂-Reduktionsziele und Umsetzungsstrategien*.
http://www.wbgu.de/wbgu_sn1995.pdf
[Stand: 25.04.2007]

-