

# Das Ökosystem Wald als Klimafaktor

**Facharbeit von Harriet Hoffmann  
Seminarfach: Klima- und Klimawandel  
Lehrer: Herr Hansen  
Mai 2007**

# Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG.....	3
2. DER WALD IM KLIMASYSTEM .....	3
2.1 <i>Definition des Begriffs Wald</i> .....	3
2.2 <i>Zusammenhang: Ökosystem Wald – Klima</i> .....	4
3. DIE AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF DEN WALD .....	8
3.1 <i>Temperatur:</i> .....	8
3.2 <i>Wasserhaushalt:</i> .....	9
3.3 <i>Kohlenstoffdioxidgehalt:</i> .....	10
3.4 <i>Nährstoffe:</i> .....	11
3.5 <i>Der Wald der Zukunft:</i> .....	11
4. DER WALD IN DER WELTPOLITIK: .....	14
5. FAZIT .....	16
6. QUELLEN- UND ABBILDUNGSVERZEICHNIS: .....	17
7. LITERATURVERZEICHNIS: .....	19

## **1. Einleitung**

In den vergangenen Jahren konnten weltweit extreme Wetterereignisse beobachtet werden: Stürme wie Katrina (USA, 2005) oder das Orkantief Kyrill (D, 2007), Hochwasser (D, 2002/2005), heftige Hagelschauer und Gewitter sowie extreme Hitze- und Kälteperioden in Gebieten, wo dies sonst nicht der Fall ist. Wenn nur die mildesten Prognosen der Klimaforscher zutreffen, muss in Zukunft häufiger mit solchen Extremereignissen gerechnet werden. (1)

Beschäftigt man sich mit dem Thema Klimawandel, wird schnell deutlich, dass das Ökosystem Wald eine entscheidende Rolle dabei spielt. Das Klima beeinflusst den Wald unmittelbar durch atmosphärische Eigenschaften wie Temperatur, Feuchtigkeit und chemische Zusammensetzung. Auf der anderen Seite wirkt der Wald aber auch auf diese Eigenschaften und andere Klimafaktoren zurück. (2)

In meiner Arbeit stelle ich das Ökosystem Wald sowie seine Wechselwirkung mit dem Klima vor und gehe der Frage nach, wie sich der Wald aufgrund des Klimawandels verändert. Außerdem gehe ich auf die Rolle des Waldes in der Klimapolitik ein.

## **2. Der Wald im Klimasystem**

### **2.1 Definition des Begriffs Wald**

Wälder sind Ökosysteme, deren Charakter von Bäumen und Gehölzen geprägt ist. Von einem Wald kann man sprechen, wenn Bäume auf einer Fläche von mindestens einem Hektar einen geschlossenen Bestand mit Kronendach bilden. (4)

„Die Food and Agriculture Organization<sup>1</sup> bezeichnet ein Ökosystem als Wald, wenn die Bäume in winterkalten Gebieten mindestens drei Meter und im gemäßigten Klima mindestens sieben Meter hoch sind.“ (5) In unterschiedlichen Ausprägungen bedecken Wälder heute noch 30% der Landoberfläche. (6)

Von Natur aus sind die Waldökosysteme in Mitteleuropa sommergrüne, winterkahle Wälder, in denen Laubbäume vorherrschen. Nur im Hochgebirge kommen Nadelbäume bei uns natürlich vor. Die Wälder wurden in den vergangenen Jahrhunderten stark vom Menschen genutzt und verändert. So gibt es heute in Mitteleuropa keine intakten Naturwälder mehr. Der größte Teil der Wälder sind Wirtschaftswälder, welche je nach Wirtschaftsweise und Zusammensetzung mehr oder weniger naturnah sind. (3)

---

<sup>1</sup> Die Food and Agriculture Organization (FAO) ist eine Sonderorganisation der Vereinten Nationen für Ernährung und Landwirtschaft, mit Sitz in Rom.

Wälder sind zentrale Klimafaktoren. Sie sind das produktivste Landökosystem und nach den Ozeanen die wichtigsten Einflussgrößen des Klimas. Sie stellen einen Lebensraum für Tiere und Pflanzen dar und speichern Kohlenstoffdioxid in Form von Biomasse und wirken so dem Treibhauseffekt entgegen. Außerdem absorbieren sie Luftschadstoffe, dienen der Wasserreinigung, vermindern Bodenerosion und binden viele Schadstoffe. Global stellen sie eine der wirksamsten Kohlenstoffdioxidsenken dar und sind die wichtigsten Sauerstoffproduzenten. (7)

## 2.2 Zusammenhang: Ökosystem Wald – Klima

Das Ökosystem Wald hängt sehr stark vom Klima ab, gleichzeitig wirkt es aber auch auf das Klima zurück. Beide Systeme stehen miteinander in einer „Wechselbeziehung“. Wie in Abbildung 1 zu sehen ist, nehmen Wälder Kohlenstoffdioxid aus der Luft auf und geben Sauerstoff ab. Dafür ist der Vorgang der Photosynthese verantwortlich. Die Photosynthese treibt alle biogeochemischen Kreisläufe in allen bestehenden Ökosystemen der Erde an.

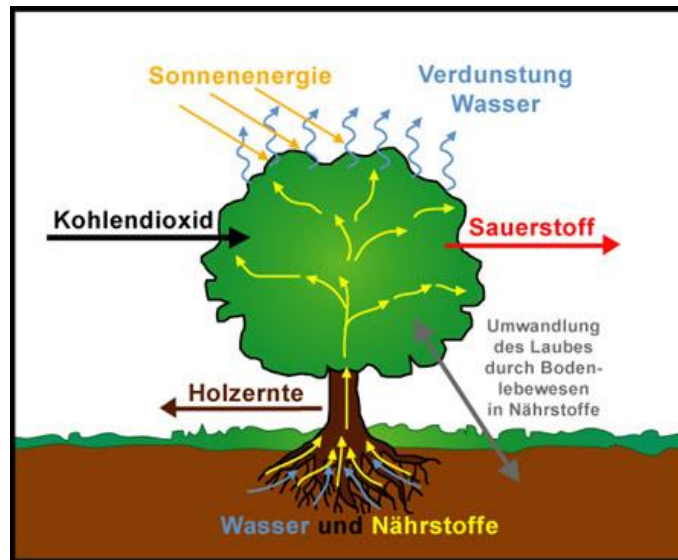


Abb. 1: Wie der Wald „funktioniert“ (8)

Aus Kohlenstoffdioxid und Wasser bauen Laubblätter mithilfe von Licht (und Chlorophyll) Glucose auf und setzen dabei Sauerstoff frei. Dieser Vorgang ist allerdings von äußeren Faktoren abhängig. Temperatur, Licht und Kohlenstoffdioxidgehalt beeinflussen die Photosynthese. ==> Wälder produzieren also Sauerstoff und fixieren gleichzeitig Kohlenstoffdioxid.

Abbildung 2 zeigt, dass die Kohlenstoffdioxidkonzentration der Luft in der Umgebung von Bäumen deutlich niedriger ist als in der weiteren Umgebung ohne Bäume, da Bäume Kohlenstoffdioxid binden.

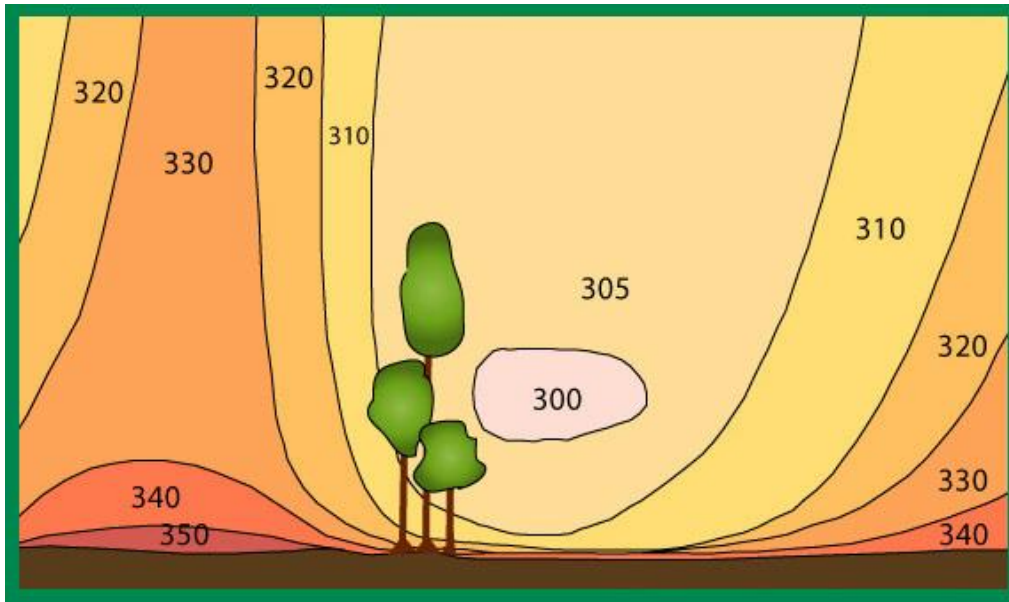


Abb. 2: Ungleiche Kohlendioxid-Verteilung in der Nachbarschaft einer Baumgruppe im Verlauf eines Tages. Geringste Konzentration 305 ppm (hellblau), höchste 350 ppm (dunkelblau) (9)

Speichern Wälder mehr Kohlenstoffdioxid, als sie abgeben, bezeichnet man sie als Kohlenstoffdioxidsenke. Geben sie mehr Kohlenstoffdioxid wieder an die Umwelt ab, zum Beispiel durch Verrottung von Biomasse, als sie binden, bezeichnet man sie als Kohlenstoffdioxidquelle. (10)

Das Treibhausgas<sup>2</sup> Kohlenstoffdioxid ist relevant für den anthropogenen<sup>3</sup> Treibhauseffekt. Wasserdampf vermindert zusammen mit anderen Treibhausgasen die Wärmeabstrahlung der Erde in den Weltraum. Hierdurch entsteht der natürliche Treibhauseffekt (vgl. Abb.3), der zu Temperaturen führt, die die Erde überhaupt erst bewohnbar machen. Seit Beginn der industriellen Revolution sorgt der Mensch für eine Verstärkung dieses Effektes. Die Verbrennung von Kohle, Erdöl und Erdgas, führt zu einem Anstieg der Treibhausgase, vor allem von Kohlenstoffdioxid. Dadurch wird ein großer Teil der Wärmestrahlung in der Atmosphäre zurückgehalten und die Atmosphäre heizt sich auf. Dies ist der anthropogene Treibhauseffekt. Er ist einer der Hauptgründe für die Klimaveränderung. (11)

<sup>2</sup> Als Treibhausgase bezeichnet man die Gase in der Atmosphäre, die zum Treibhauseffekt beitragen. Zu den wichtigsten natürlichen Treibhausgasen gehören Wasserdampf, Kohlenstoffdioxid und Ozon.

<sup>3</sup> Der vom Menschen zusätzlich verursachter Treibhauseffekt.

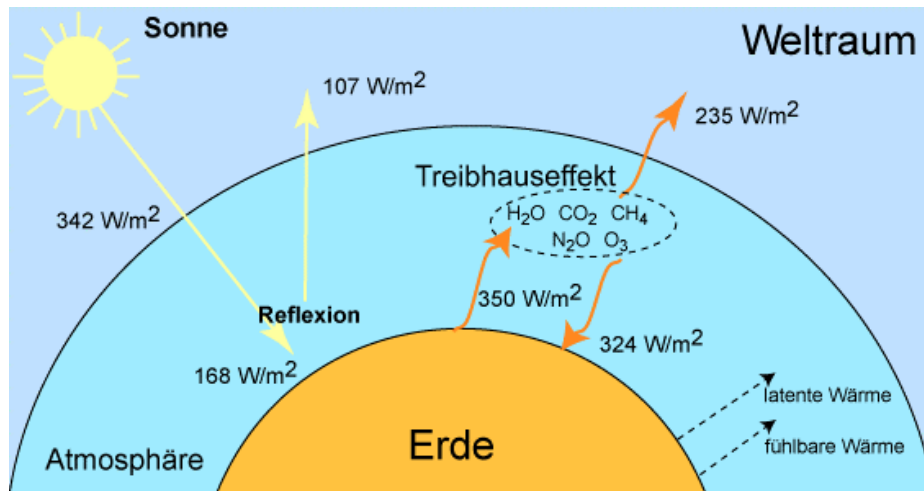


Abb. 3: Der natürliche Treibhauseffekt, das Prinzip ist auch auf den anthropogenen Treibhauseffekt übertragbar. (12)

Der IPCC<sup>4</sup> rechnet, abhängig von den Zuwachsraten aller Treibhausgase und dem angewandten Modell, mit einer Zunahme der globalen Durchschnittstemperatur bis zum Jahre 2100 um 2 bis 4,5°C. (13)

Dadurch, dass der Wald Kohlenstoffdioxid in der Biomasse speichert, kann er einer Klimaveränderung entgegenwirken. Die Kohlenstoffdioxidsenkenleistung des Waldes hat eine große Bedeutung für das Klima. Dies sagt auch Till Pistorius: „Die Wälder der nördlichen Hemisphäre sind zur Zeit eine bedeutende Netto-Senke. Allein die größtenteils nachhaltig bewirtschafteten Wälder Europas (geographische Einheit bis Ural) binden zur Zeit CO<sub>2</sub> in einer Größenordnung von ca. 20% der jährlichen Emissionen durch Verbrennung fossiler Brennstoffe im gleichen Gebiet.“ (10)

Wälder stellen allerdings nur im Wachstum eine reale Kohlenstoffsénke dar. Denn das Kohlenstoffdioxid, welches von den Bäumen aufgenommen wird und über die gesamte Lebensdauer der Bäume im Holz gebunden bleibt, wird, wenn das Holz zersetzt wird, wieder frei und an die Atmosphäre abgegeben. So können sich der Wald und seine Bewirtschaftung auf die Belastung der Atmosphäre auswirken. Wird der Wald abgeholzt, entweicht das in der Biomasse gespeicherte Kohlenstoffdioxid je nach weiterer Verarbeitung z.T. wieder zurück in die Atmosphäre. Bei Brandrodung und Kahlschlag entweichen zusätzlich noch klimawirksame Gase aus Humus<sup>5</sup> und Boden. Die höhere Konzentration an Treibhausgasen in der Atmosphäre bewirkt eine Verstärkung des Treibhauseffekts. In der Folge kann es dann zu Klimaänderungen kommen, die oft auch

<sup>4</sup> Der Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ist ein zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen und ist der Klimarahmenkonvention (UNFCCC) beigeordnet. Zu den Hauptaufgaben gehört neben der Einschätzung der Risiken des Klimawandels auch das Zusammenbringen von Vermeidungsstrategien. Der Sitz des IPCC Sekretariats befindet sich in Genf.

<sup>5</sup> Def.: Humus ist die Gesamtheit abgestorbener Substanz pflanzlicher und tierischer Herkunft im Boden. Humus unterteilt sich in org. Auflage und Mineralbodenhumus.

mit Phänomenen wie Stürmen, Feuer (Waldbrände), Trockenheit und Vermehrung von Schadinsekten einhergehen. Dadurch wird die Speicherleistung des Waldes beeinträchtigt, und er kann vorübergehend eine Kohlenstoffdioxidquelle darstellen.

Durch seine Senkenleistung kann der Wald dem Klimaschutz dienen. Dafür sind Aufforstung, nachhaltige Bewirtschaftung und Nutzung von Holz sehr wichtig. Es sind bislang die einzig kostengünstigen Möglichkeiten bereits in die Atmosphäre eingetretenes Kohlenstoffdioxid über Photosynthese wieder zu entziehen. (10)

Der Einfluss des Waldes auf den Kohlenstoffdioxidkreislauf ist sicherlich der zurzeit bedeutendste Prozess, in dem das Klima und der Wald miteinander wechselwirken. Der Wald wirkt allerdings durch seine Eigenschaften auch in anderen Bereichen auf das lokale Klima ein, die ich kurz erwähnen möchte, um die Komplexität des Systems Wald↔Klima zu verdeutlichen. Wälder haben zum Beispiel eine sehr niedrige Albedo (Reflexionsvermögen), das bedeutet, dass der Wald einen großen Anteil der einfallenden solaren Strahlung absorbieren kann. Abholzen oder auch Aufforsten von Wäldern würde sich also auf den lokalen Strahlungs- und Energiehaushalt auswirken.

Auch im hydrologischen Kreislauf spielen Wälder eine große Rolle. Sie stellen in ihrer Gesamtheit eine große Blattoberfläche bereit, von der Wasser verdunsten kann, welches dann in Form von Wasserdampf durch die Luftströmungen in andere Gebiete transportiert wird, dort wieder kondensieren kann und gegebenenfalls als Niederschlag zum Boden zurückfällt. Damit tragen Wälder also auch zum Flüssigwassertransport bei. Außerdem wird durch den hohen Bewuchs die Wasseraufnahme- und Speicherkapazität der Vegetationsdecke gefördert.

Betrachtet man den Wald als eine Ansammlung hoher Bäume auf einer großen Fläche, dann bildet der Wald ein Hindernis und führt damit zu Veränderungen im lokalen Strömungsverhalten. Er bremst bodennahe Luftströmungen ab.

Wälder sind sehr gut an das lokale Klima angepasst. Klimatische Veränderungen werden deshalb eine große Auswirkung auf alle Bereiche und Eigenschaften des Waldes haben.

### **3. Die Auswirkungen des Klimawandels auf den Wald**

Dass das Ökosystem Wald auf die veränderten klimatischen Bedingungen reagieren wird, steht außer Frage. Auch dass diese sich unter anderem auf die abiotischen<sup>6</sup> Faktoren: Strahlung (Lichtangebot), Kohlenstoffdioxidkonzentration, Temperatur und Niederschlag auswirken werden, steht fest. Wie genau sich diese Faktoren ändern werden und was dies wiederum für Auswirkungen auf das Ökosystem Wald hat, darüber kann man nur mutmaßen, da es so etwas in der jüngeren Erdgeschichte nicht gegeben hat.

#### **3.1 Temperatur:**

Die Aufnahmefähigkeit der Luft für Wasserdampf nimmt überproportional mit der Temperatur zu. Dadurch kann, wenn es wärmer wird, mehr Wasser von Oberflächen verdunsten, Blattoberflächen eingeschlossen. Eine Erwärmung der Luft wird so auch zu einer erhöhten Transpiration bei Pflanzen führen. Außerdem versuchen Pflanzen, sich durch die Verdunstung von Wasser und der damit verbundenen Verdunstungskälte gegen eine Überhitzung zu schützen, die zu Zellschäden führen würde. Sie verdunsten Wasser, um ihre Temperatur zu halten. Je höher die Lufttemperatur steigt, desto mehr Wasser müssen sie abgeben. Die Pflanzen verlieren durch beide Effekte mehr Wasser, was gegebenenfalls einen Wassermangel auslöst, sollten sie dieses Defizit nicht durch die Aufnahme von Wasser ausgleichen können. Dies würde sich negativ auf die Photosynthese sowie das Wachstum auswirken, da ohne ausreichend Wasser keine Photosynthese stattfinden kann. (14)

Wenn allerdings ein ausreichendes Kohlenstoffdioxid- und Wasserangebot vorhanden ist, könnten höhere Temperaturen die Wachstumsraten der Bäume steigern, da die Pflanzen dann verstärkt Photosynthese betreiben könnten.

Die verschiedenen Pflanzenarten sind an spezifische Klimabereiche angepasst, daher kann ihr Wachstum nur bis zu einer gewissen Steigerung der Temperatur positiv beeinflusst werden, auch wenn alle anderen, die Photosynthese begrenzenden, Faktoren im Optimum sind. Ist die Toleranzgrenze der Bäume überschritten, werden sie in andere Klimabereiche verdrängt oder sie sterben aus.

---

<sup>6</sup> Umweltfaktoren, an denen Lebewesen nicht erkennbar beteiligt sind, nennt man ‚abiotisch‘



Besonders von höheren Temperaturen profitieren C4- Pflanzen<sup>7</sup>, da ihr Temperatur-Optimum für die Photosynthese sehr hoch liegt. Aus diesem Grund kann es zu einer stärkeren Verbreitung von C4- Unkräutern kommen. (15)

Wenn es nur um ein Grad Celsius im Jahresmittel wärmer werden würde, würden sich die Vegetationszonen um bis zu 200 km nach Norden bzw. um bis zu 180 Höhenmeter nach oben verschieben. (16) Das bedeutet, dass einigen Arten das Wachstum ganz neu ermöglicht werden würde und einige Gebiete ein ganz neues Erscheinungsbild erhalten würden. Eine Erwärmung bringt aber auch negative Aspekte mit sich, zum Beispiel können sich Schadinsekten (wie der Borkenkäfer) bei höheren Temperaturen besser vermehren. Es könnte zu Massenvermehrungen kommen, welche bereits in vergangenen, überdurchschnittlich warmen Jahren beobachtet wurden. Die Schadinsekten könnten die Bäume stark beeinträchtigen und so dem gesamten Ökosystem schaden. (16) Sie machen die Bäume zusätzlich auch anfälliger gegenüber Stürmen.

Auch die Waldbrandgefahr nimmt bei höheren Temperaturen zu, erst recht bei ausbleibendem Niederschlag.

### **3.2 Wasserhaushalt:**

Der Bodenwassergehalt beeinflusst das Wachstum der Bäume sehr und reagiert umgehend auf Veränderungen in der Niederschlagsmenge oder dessen Verteilung sowie auf Temperaturänderungen. Verändert sich das Klima, kann dies in einigen Gebieten zu Trockenheit führen, was sich schädlich auf den Wurzelbereich der Pflanzen auswirken kann. Ausbleibender Niederschlag sorgt nämlich für eine Versauerung des Bodens, was die Wurzeln angreift und bewirkt, dass sich die Pflanzen schlechter entwickeln können.(14)

Ein Versuch zum Bodenwassergehalt wurde im Rahmen des Bayrischen Klimaforschungsprogramms unternommen:

„Mittels dendroökologischer<sup>8</sup> Untersuchungen an den Baumarten Fichte, Tanne und Buche konnte anhand von Klimadaten die langfristige Wuchsreaktion auf die sich jährlich ändernden, witterungsabhängigen Wachstumsbedingungen untersucht werden (BAYFORKLIM, 1999). Dazu wurden tägliche Wasserbilanzen abgeschätzt. Der

---

<sup>7</sup> Pflanzen mit strukturellen und funktionellen Anpassungen der Fotosynthese an die ökologischen Bedingungen trocken-heißer oder salzreicher Standorte mit hohem Lichtangebot. Durch Vorschalten eines zusätzlichen, sehr wirksamen, rasch ablaufenden Kohlendioxid-Fixierungsprozesses. (Meyers Lexikon online, <http://lexikon.meyers.de/meyers/C4-Pflanzen>)

<sup>8</sup> Dendroökologie umfasst alle Teilgebiete der Dendrochronologie( Umweltinformationen aus den Jahrringen herauslesen): Dendroklimatologie(Klima), Dendrohydrologie (Wasser), Dendrogeomorphologie (Erdbewegungen), DendroglaziologieGletscherbewegungen.

Radialzuwachs im Zeitraum von 1880 - 1995 war vor allem dann beeinträchtigt, wenn Wassermangel zu Zeiten der Reservestoffspeicherung im Hoch- und Spätsommer des Vorjahres auftrat. Zu Wachstumseinbrüchen im Trockenjahr selbst kam es nur in extremen Jahren, wenn der Wassermangel schon früh einsetzte.“ (14)

Wasser ist ein die Photosynthese begrenzender Faktor. Wenn der Bodenwassergehalt gering ist, wird die Entwicklung der Pflanzen stark eingeschränkt. Erhöhen sich allerdings die Niederschläge in den Wachstumsphasen der Pflanzen, so können sie stark davon profitieren, da dann verstärkt Photosynthese betrieben werden kann, wenn auch die Temperaturen stimmen.

### 3.3 Kohlenstoffdioxidgehalt:

Die Abbildung 4 zeigt die Folgen einer erhöhten Kohlenstoffdioxid-Konzentration der Atmosphäre auf das Klima und auf natürliche Ökosysteme:

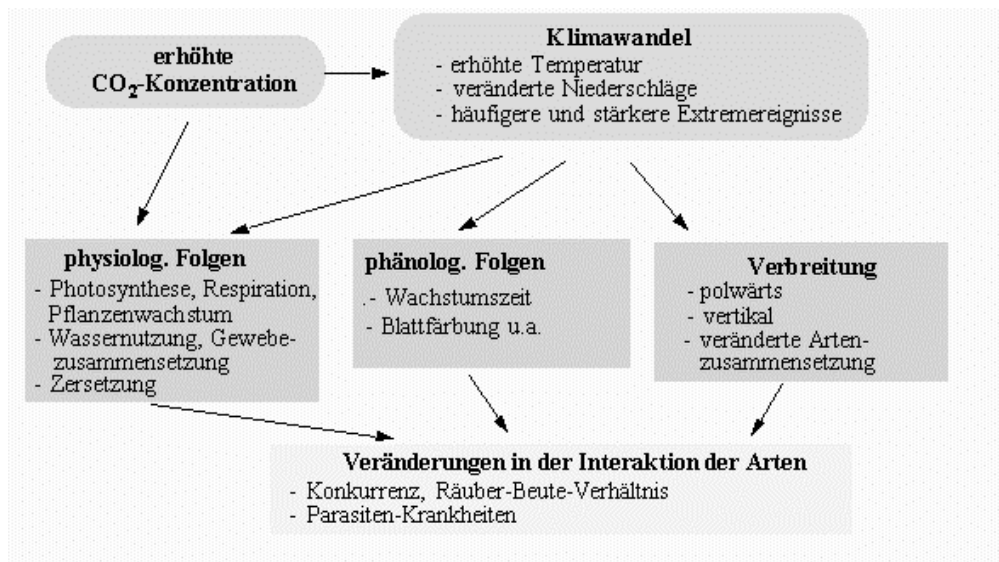


Abb. 4: Mögliche Folgen einer erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentration der Atmosphäre und des daraus resultierenden Klimawandels auf natürliche Ökosysteme. (17)

Durch einen erhöhten Kohlenstoffdioxidgehalt der Atmosphäre, kommt es zum anthropogenen Treibhauseffekt und dadurch zum Klimawandel. Dieser äußert sich unter anderem durch eine erhöhte Temperatur, veränderte Niederschläge und häufigere Extremereignissen. Die Veränderungen und der erhöhte Kohlenstoffdioxidgehalt haben Folgen für die Photosynthese und die Respiration<sup>9</sup> und somit für das Wachstum der Pflanzen. Schon durch einen geringen Anstieg der Temperatur würde sich zum Beispiel in den gemäßigten und kalten Regionen der Erde bei genügendem

<sup>9</sup> Respiration (von lat. Respiratio) = Atmung

Kohlenstoffdioxidangebot die Nettoprimärproduktion<sup>10</sup> erhöhen. (18) Die klimatischen Veränderungen wirken sich auch auf die Wassernutzung und Zersetzung in den Ökosystemen aus. Außerdem ändern sich auf Grund des Klimawandels die Vegetationsperiode und die Verbreitung der Pflanzen. Verlängert sich die Vegetationsperiode, würde das einigen Pflanzen das Wachstum in höheren Breiten neu ermöglichen. Manche Arten sind jedoch so an spezielle Lichtverhältnisse angepasst, dass sie nicht in andere Breiten versetzt werden könnten. . (18) Sich verändernde Vegetationsperioden und das Einziehen anderer Pflanzen in die verschiedenen Gebiete haben wiederum Einfluss auf den Kohlenstoffkreislauf. Aus alledem resultiert dann eine Veränderung in der Interaktion der Arten (siehe Abbildung 4).

In einer Laborstudie wurde versucht herauszufinden, wie verschiedene Rotbuchen-Provenienzen auf einen erhöhten Kohlenstoffdioxidgehalt bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen reagieren. Gezeigt werden konnte, dass bei einer Verdopplung der Kohlenstoffdioxid-Konzentration nur zu einer deutlichen Wuchssteigerung (von immerhin 38%) führt, wenn gleichzeitig auch das Maximum an Licht zur Verfügung gestellt wird. (14)

### **3.4 Nährstoffe:**

Eine Klimaänderung wird auch den Nährstoffhaushalt der Ökosysteme beeinflussen. Steigt die Temperatur und wird weiterhin mehr Kohlenstoffdioxid in die Atmosphäre entlassen, wird sich, bei einer Verbesserung der Bedingungen für das Wachsen der Pflanzen, der Nährstoffvorrat im Boden stark erniedrigen. Durch Veränderungen in der Umsetzung und Mineralisierung, ändert sich auch die Verfügbarkeit der Nährstoffe. Dies beeinträchtigt auch Bodenmikroorganismen. Des Weiteren ist zu erwarten, dass sich extreme Trockenheit auf die Bildung von Böden und damit auf die Bildung von sekundären Mineralen auswirken wird (14)

Ist die Nährstoffversorgung der Pflanzen schlecht, können sich diese nicht entwickeln oder die Entwicklung erfolgt stark eingeschränkt.

### **3.5 Der Wald der Zukunft:**

Die Folgen des Klimawandels auf das Ökosystem Wald werden umso tiefgreifender sein, je mehr es schon heute ökologischen Grenzbedingungen ausgesetzt ist. Es lässt sich jedoch nicht pauschal sagen, ob die Wachstumsreaktionen der Pflanzen auf die sich ändernden klimatischen Bedingungen positiv oder negativ ausfallen werden. Hierbei

---

<sup>10</sup> Die Nettoprimärproduktion ist die Bruttoprimärproduktion (durch Photosynthese erzeugte organische Stoffe) minus die Respiration (Atmung).

kommt es darauf an, in welchem Vorzugsbereich die Bäume wachsen und wie die heutigen Lebensbedingungen für den Baum in dem Gebiet sind. Es wird einen Unterschied machen, ob die klimatischen Änderungen sich in der Nähe des Optimums der Pflanzen bewegen, oder ob die Standortfaktoren bereits in einem für die Pflanzenart kritischen Bereich liegen.

Geht man von einer Klimaerwärmung bei unverändert bleibenden Niederschlags-Verhältnissen aus, so ist zum Beispiel für die Buche im Bereich der ehemaligen DDR ein Rückgang des Bestandes von Norden her zu erwarten. Für die Fichte sieht es noch schlechter aus. Während der Vegetationszeit reagiert die Fichte sehr stark auf Veränderungen der Temperatur, sie kann nur mit einer Schwankung vom Jahresmittel von maximal 5°C bis 8°C umgehen. In vielen Bereichen Mitteleuropas, in denen die Fichte vorkommt, ist dieser Bereich mit 7°C – 7,5°C schon jetzt fast ausgeschöpft. Jede weitere Erhöhung würde die Fichte an ihre Toleranzgrenze führen, so dass der Fichtenbestand stark zurückgehen wird. (19)

In Gebirgslagen ist zu erwarten, dass sich die Nettoprimärproduktion der Wälder bei einer Erwärmung des Klimas erhöht, solange ein ausreichendes Niederschlagsangebot besteht. Die Höhengrenze der Baumarten wird sich nach oben verschieben. Mit der Klimaerwärmung wird eine Veränderung der ökologischen Faktoren einhergehen, die das Pflanzenwachstum bestimmen. Ein erhöhtes Wärme- und Kohlenstoffdioxidangebot ermöglicht dem Wald, auch in größeren Höhen zu wachsen, dafür ist natürlich auch ein ausreichendes Niederschlagsangebot von Nöten. Werden die Niederschläge jedoch zurückgehen, werden vermutlich auch der Gesamtwuchs der Bäume und die Oberhöhe zurückgehen.

Dies wurde 2002 bei Studien mit einem Waldwachstumssimulator herausgefunden. Getestet wurde, wie sich das Waldwachstum unter veränderten Klimabedingungen verhält. Dabei wurden für das zukünftige Klima ein Temperaturanstieg von 2K, eine Niederschlagsabnahme von 10% und eine Verlängerung der Vegetationsperiode von 10 Tagen angenommen. Die Abbildung 4 zeigt die simulierten Veränderungen der Oberhöhe von Fichtenbeständen in Bayern im Alter von 100 Jahren unter heutigen und zukünftigen Klimabedingungen.

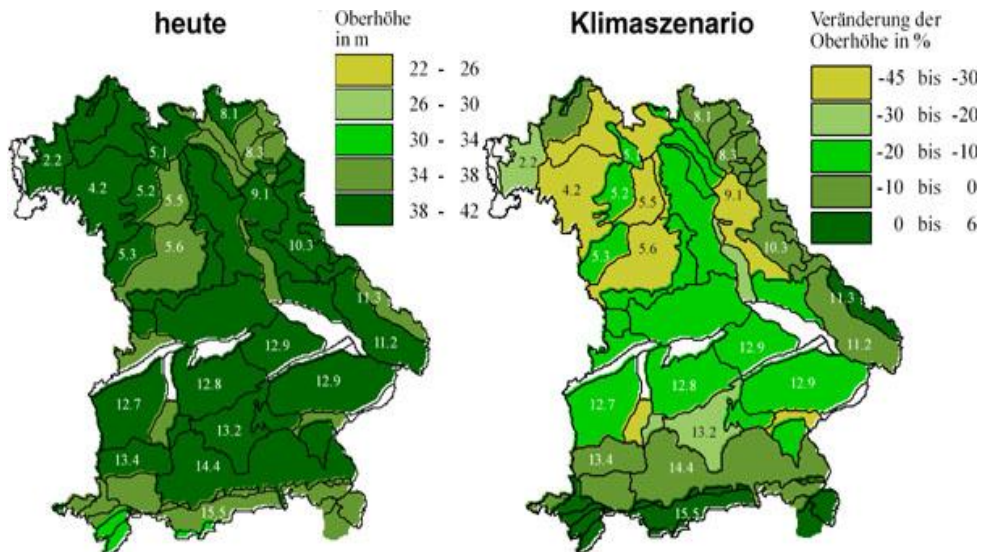


Abb. 5: Oberhöhe  $h_{100}$  repräsentativer Fichtenbestände in den bayerischen Wuchsbezirken im Alter von 100 Jahren unter gegenwärtigen Klimabedingungen (links) und Reaktion der Oberhöhe auf Klimaveränderungen (rechts). (20)

In Zukunft werden Fichten voraussichtlich eine Höhe von 40 Metern in Bayern nicht mehr überschreiten. (14)

Schon heute müssen Bäume gepflanzt werden, die auch in mehr als 100 Jahren noch in unseren Wäldern überleben können. Vornehmlich wird es sich dabei um Baumarten handeln, die nicht nur bei höheren Temperaturen wachsen können, sondern zusätzlich auch noch für die Waldwirtschaft ertragreich sind. Bäume zu finden, die beide Eigenschaft aufweisen, ist nicht einfach. Buchen z.B. vertragen zwar wärmere Temperaturen und können auch mit einer größeren Temperaturvarianz umgehen, wachsen aber nicht immer gerade. Zudem ist ihr Holz sehr schwer, was sich negativ auf die Wirtschaftlichkeit dieses Baumes auswirkt. Außerdem ist zu erwarten, dass der Klimawandel gesundheitliche Auswirkungen auf die Buche haben wird. Häufigere Stürme oder auch Stress durch einen sinkenden Grundwasserspiegel sowie das vermehrte Auftreten von Schädlingen können die Buche anfälliger für Krankheiten machen.

Die Fichte hingegen kommt mit den höheren Temperaturen nicht zurecht. Sie fühlt sich eher in kälteren Regionen wohl, so dass sie nicht für den zukünftigen Wald geeignet ist. Das Erscheinungsbild des Waldes wird in Zukunft trotz diverser Nachteile eher durch die Buche dominiert werden. (21)



Abb 6: Buchenwald in Deutschland (22)

#### **4. Der Wald in der Weltpolitik:**

Nach der UN-Konferenz über Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro im Jahre 1992 wurden weitere internationale Vereinbarungen getroffen. Es trafen sich Vertreter aus 178 Ländern, um über Fragen zu Umwelt und Entwicklung im 21. Jahrhundert zu beraten. Die zentralen Ergebnisse dieses Weltgipfeltreffens sind neben der Agenda 21<sup>11</sup> die Klimarahmenkonvention<sup>12</sup>, die Biodiversitätskonvention<sup>13</sup> sowie die Waldgrundsatzerklärung<sup>14</sup>. In diesen verpflichtet sich die Bundesregierung zum Zustand und zur zukünftigen Entwicklung der Wälder und zu bevorstehenden Veränderungen regelmäßig Bericht zu erstatten (23)

In der Agenda 21 wird Nachhaltigkeit als allgemein übergreifendes Ziel in der Politik definiert.

*„Nachhaltige Entwicklung ist eine Entwicklung, die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen.“* Weltkommission für Umwelt und Entwicklung („Brundtland-Kommission“), 1987 (24)

---

<sup>11</sup> Aktionsprogramm mit Handlungsempfehlungen für alle Bereiche der Umwelt und Entwicklung, welches aus der Rio- Konferenz hervorgeht.

<sup>12</sup> Aus der Rio-Konferenz hervorgegangene Erklärung, die Treibhausgase in der Atmosphäre zu reduzieren.

<sup>13</sup> Abkommen der Rio- Konferenz womit die Artenvielfalt bewahrt werden soll.

<sup>14</sup> Erklärung der Staatengemeinschaft welche die Waldzerstörung reduzieren soll.

Außerdem beinhaltet die Agenda 21 Aspekte der internationalen Zusammenarbeit, so wird unter anderem eine neue Entwicklungs- und Umweltpartnerschaft zwischen Industrie- und Entwicklungsländern gefordert.

Mit der Waldschutzerklärung ist die erste Grundlage für weitere Wald schützende Abkommen geschaffen. Es wurden internationale Verhandlungen eingeleitet, die die Waldzerstörung aufhalten sollen.

Nachhaltige Entwicklung ist inzwischen international als Leitbild akzeptiert. Große Teile der Weltgemeinschaft versuchen, die Handlungsvorschläge der Agenda 21 umzusetzen. (25) Auch auf weiteren Konferenzen, wie z.B. der Millenniumskonferenz 2000, wird das Ziel einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung verfolgt. (26)

Ganz deutlich wird auf jeden Fall, dass sich die globale Politik mit dem Ökosystem Wald in Hinblick auf den Klimawandel beschäftigt.

Die im Kyoto-Protokoll abgemachten Verpflichtungen der Industriestaaten, die Emissionen von klimaschädlichen Gasen zu reduzieren, sind seit Inkrafttreten des Protokolls (Februar 2005) für alle Teilnehmer verbindlich. Der Wald spielt dabei eine entscheidende Rolle, denn er kann teilweise als Senke angerechnet werden. Dies wird in den Artikeln 3.3 KP (Aufforstung, Wiederaufforstung, Entwaldung) und 3.4 KP (Forstmanagement) im Protokoll aufgeführt.

Bislang hat Deutschland diese Möglichkeit jedoch nicht wahrgenommen, es lehnt eine Anrechnung sogar aus unterschiedlichen Gründen, zu denen unter anderem die noch vorhandenen wissenschaftlichen Unsicherheiten gehören, ab.

Theoretisch besteht noch die Option, den Wald mit sogenannten projektbasierten Mechanismen in die nationalen Bemühungen um den Klimaschutz einzubinden. Senkenprojekte im Ausland werden jedoch nicht angerechnet. Für die deutsche Forstwirtschaft gibt es somit bislang keine Möglichkeit, ihren Beitrag zum Klimaschutz in Wert zu setzen. Auch deutschen Unternehmern und Investoren bringt es bisher finanziell und umweltpolitisch nichts, aufforstende Projekte zu unterstützen, damit lässt sich zur Zeit kein Geld verdienen, erstrecht nicht im Ausland. (10)

## **5. Fazit**

Das Ökosystem Wald wird auf jeden Fall auf den Klimawandel reagieren. Dies zeigt sich auch teilweise heute schon. Es war zum Beispiel jetzt im Frühjahr zu beobachten, dass sich Blätter und Blüten, durch wärmere Temperaturen, schon sehr früh ausgebildet haben. Ob dies ein Einzelfall war oder wirklich auf den Klimawandel zurückzuführen ist, wird sich in den nächsten Jahren zeigen. Der Klimawandel hat sehr weitreichende Folgen für das Waldökosystem, welche allerdings für Deutschland nicht durchweg negativ sind.

Wie sich während meiner Nachforschungen herausstellte, bekommen die Wälder eine neue Struktur, einige Baumarten werden verschwinden und durch andere ersetzt werden. Der Wald bekommt ein neues „Gesicht“. Das Wachstum verschiedener Pflanzen wird aber durchaus auch in positiver Weise beeinflusst, z.B. durch einen höheren Kohlenstoffdioxidgehalt der Luft und höhere Temperaturen. Der Wald kann, wenn er umstrukturiert wird, um in Zukunft noch effizient nutzbar zu sein, durch seine Kohlenstoffdioxidsenkenfunktion, einen großen Teil zum Klimaschutz beitragen. Das haben auch einige Politiker erkannt, wie man an verschiedenen Abkommen sieht. Fragwürdig ist, ob tatsächlich global Aufforstung betrieben wird und alle Staaten die Kohlenstoffdioxidsenkenleistung des Waldes als elementar ansehen. Es sollte weiterhin daran geforscht werden, wie der Wald als stabiles Ökosystem bestehen kann. Denn nur dann kann er den Kohlenstoffdioxidgehalt der Atmosphäre reduzieren und einer Klimaveränderung entgegenwirken. Das Thema Ökosystem Wald ist auch deshalb so brisant, weil es jeden etwas angeht. Es gibt viele öffentliche Waldflächen. Jeder kann mithelfen, die Waldökosysteme stabil zu halten, indem er ihn nicht durch Müll verschmutzt oder indem man generell beim Kauf von Holzprodukten darauf achtet, dass das Produkt aus nachhaltigem Anbau stammt.



## **6. Quellen- und Abbildungsverzeichnis:**

- (1) Borchert, Herbert; Kölling, Christian (2004): Wälder jetzt an den Klimawandel anpassen, [http://www.waldwissen.net/dossier/bfw\\_dossier\\_klimawandel\\_DE](http://www.waldwissen.net/dossier/bfw_dossier_klimawandel_DE), (26.05.07)
- (2) Kasang, Dieter (unbekanntes Erscheinungsjahr): Ökosysteme und Klimawandel, <http://lbs.hh.schule.de/welcome.phtml?unten=/klima/infothek.htm>, (26.05.07)
- (3) Weber, Ulrich (2005): Biologie Oberstufe, 1. Auflage, 2001 Cornelsen Verlag, Berlin, S. 348
- (4) Unbekannter Autor (unbekanntes Erscheinungsjahr): Wald, <http://de.wikipedia.org/wiki/Wald>, (26.05.07)
- (5) Food and Agriculture Organization (FAO): Globalisierung –Fakten, [http://www.bpb.de/wissen/0XZOJP,0,J%E4hrliche\\_Ver%E4nderung\\_der\\_Waldbest%E4nde.html](http://www.bpb.de/wissen/0XZOJP,0,J%E4hrliche_Ver%E4nderung_der_Waldbest%E4nde.html), (26.05.07)
- (6) Brockhausredaktion (2000): Brockhaus Mensch, Natur, Technik -Lebensraum Erde. Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, Leipzig, Mannheim, S. 541
- (7) Kasang, Dieter (unbekanntes Erscheinungsjahr): Wälder – Wald und Klima, <http://www.hamburgerbildungsserver.de/welcome.phtml?unten=/klima/klimafolgen/oekosysteme/index.htm> (27.05.07)
- (8) Abb.1: verändert nach Seiler, Michael (unbekanntes Erscheinungsjahr): Die Rolle der Wälder beim Klimawandel – Wald = CO<sub>2</sub> Speicher, [http://www.waldundklima.net/wald/wald\\_docs/jena\\_050128\\_seiler.pdf](http://www.waldundklima.net/wald/wald_docs/jena_050128_seiler.pdf) (27.05.07)
- (9) Abb. 2: verändert nach Baumgartner, A.(1968): Stoffkreisläufe – Kreislauf des Kohlenstoffs, <http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/d54/54d.htm#carbon>, (26.05.07)
- (10) Pistorius, Till (2006): Kohlenstoffkreisläufe in Wald und Holzprodukten - Der Wald in der Klimapolitik, [http://www.waldwissen.net/themen/umwelt\\_landschaft/co2\\_klimaschutz/fva\\_wald\\_klimapolitik\\_DE](http://www.waldwissen.net/themen/umwelt_landschaft/co2_klimaschutz/fva_wald_klimapolitik_DE) (24,05,07)
- (11) Unbekannter Autor (unbekanntes Erscheinungsjahr): Das Problem: Die Treibhausgase und der Klimawandel, <http://www.prima-klimaweltweit.de/problem/klimawandel.php3?choice1=problem&choice2=klimawandel>, (25.04.07)
- (12) Abb.3: Kasang, D. (2007): Der Natürliche Treibhauseffekt, Hamburger Bildungsserver, <http://www.hamburgerbildungsserver.de/klima/klimawandel/atmosphaere/images/treibhauseffekt.gif> (17.09.2007)

- (13) Mrasek, Volker (2006): Neuer Uno-Bericht sagt Klimakatastrophe voraus,  
<http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/0,1518,418165,00.html>,  
(29.05.07)
- (14) Hirschberg, Michaela-Maria, Kennel, Martin; Menzel Annette; Raspe, Stephan  
(2003): Klimaänderungen unter Forstlichem Aspekt – Wachstumstrends,  
[http://www.waldwissen.net/themen/umwelt\\_landschaft/co2\\_klimaschutz/  
lwf\\_klimawandel\\_forstlicher\\_aspekt\\_2003\\_DE](http://www.waldwissen.net/themen/umwelt_landschaft/co2_klimaschutz/lwf_klimawandel_forstlicher_aspekt_2003_DE) (27.05.07)
- (15) Kasang, Dieter( unbekanntes Erscheinungsjahr): Natürliche Ökosysteme-  
Prognosen, <http://lbs.hh.schule.de/index.phtml?site=themen.klima>  
(25.05.07)
- (16) Umweltbundesamt (unbekanntes Erscheinungsjahr): Auswirkungen von  
Klimaänderungen auf den Wald,  
[http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/wald/klimawandel/auswirkun  
gen](http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/wald/klimawandel/auswirkungen) (30.05.07)
- (17) Abb. 4: Kasang, Dieter (unbekanntes Erscheinungsjahr): Natürliche Ökosysteme -  
Beobachtete Veränderungen – Pflanzen,  
<http://lbs.hh.schule.de/index.phtml?site=themen.klima>, (30.05.07)
- (18) Kasang, Dieter (unbekanntes Erscheinungsjahr): Klimawandel und  
Landwirtschaft - CO<sub>2</sub>-Düngungseffekt, Temperaturerhöhung,  
Niederschlagsveränderung,  
<http://lbs.hh.schule.de/welcome.phtml?unten=/klima/infothek.htm>  
(23.05.07)
- (19) Anders, Dr. habil S. ;Müller, Dr. J.(2005): Einfluss der Waldstruktur auf den  
Wasserhaushalt, [http://www.bfafh.de/bibl/pdf/vii\\_05\\_2.pdf](http://www.bfafh.de/bibl/pdf/vii_05_2.pdf) (12.05.07)
- (20) Abb. 5: Hirschberg, Michaela-Maria, Kennel, Martin; Menzel Annette; Raspe,  
Stephan (2003): Klimaänderungen unter Forstlichem Aspekt – Wachstumstrends,  
[http://www.waldwissen.net/themen/umwelt\\_landschaft/co2\\_klimaschutz/lwf klim  
awandel\\_forstlicher\\_aspekt\\_2003\\_DE](http://www.waldwissen.net/themen/umwelt_landschaft/co2_klimaschutz/lwf_klimawandel_forstlicher_aspekt_2003_DE) (27.05.07)
- (21) Scheele, Bärbel, Schwanke, Karsten (2006): Der Wald im Klimawandel,  
<http://www.zdf.de/ZDFde/inhalt/11/0,1872,3981995,00.html>, (30.05.07)
- (22) Abb.6: Tyssen, Malene (2005): grib\_skov.jpg,  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Grib\\_skov.jpg](http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Grib_skov.jpg) (17.09.07)
- (23) Institut für Waldökologie und Waldinventuren (unbekanntes Erscheinungsjahr):  
ohne Überschrift, <http://www.bfafh.de/inst7/index.htm> (23.05.07)
- (24) unbekannter Autor, Forschungszentrum Jülich (unbekanntes Erscheinungsjahr):  
Was ist Nachhaltigkeit,  
<http://www.fz-juelich.de/ptj/projekte/index.php?index=1276>, (23.05.07)

- (25) unbekannter Autor, BMZ (unbekanntes Erscheinungsjahr): es begann in Rio 1992, [http://www.bmz.de/de/themen/umwelt/hintergrund/umweltpolitik/rio\\_1992.html](http://www.bmz.de/de/themen/umwelt/hintergrund/umweltpolitik/rio_1992.html), (23.05.07)
- (26) unbekannter Autor, BMZ (unbekanntes Erscheinungsjahr): Die Millenniumskonferenz 2000, <http://www.bmz.de/de/themen/umwelt/hintergrund/umweltpolitik/millenniumskonferenz.html>, (23.05.07)

## **7. Literaturverzeichnis:**

- Anders, Dr. habil S. ; Müller, Dr. J.(2005): Einfluss der Waldstruktur auf den Wasserhaushalt, [http://www.bfafh.de/bibl/pdf/vii\\_05\\_2.pdf](http://www.bfafh.de/bibl/pdf/vii_05_2.pdf), (12.05.07)
- Borchert, Herbert; Kölling, Christian (2004): Wälder jetzt an den Klimawandel anpassen, [http://www.waldwissen.net/dossier/bfw\\_dossier\\_klimawandel\\_DE](http://www.waldwissen.net/dossier/bfw_dossier_klimawandel_DE), (26.05.07)
- Brockhausredaktion (2000): Brockhaus Mensch, Natur, Technik -Lebensraum Erde. Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, Leipzig, Mannheim, S. 541  
Food and Agriculture Organization (FAO): Globalisierung –Fakten, [http://www.bpb.de/wissen/0XZOJP,0,J%E4hrliche\\_Ver%E4nderung\\_der\\_Waldbest%E4nde.html](http://www.bpb.de/wissen/0XZOJP,0,J%E4hrliche_Ver%E4nderung_der_Waldbest%E4nde.html), (26.05.07)
- Hirschberg, Michaela-Maria, Kennel, Martin; Menzel Annette; Raspe, Stephan (2003): Klimaänderungen unter Forstlichem Aspekt – Wachstumstrends, [http://www.waldwissen.net/themen/umwelt\\_landschaft/co2\\_klimaschutz/lwf\\_klimawandel\\_forstlicher\\_aspekt\\_2003\\_DE](http://www.waldwissen.net/themen/umwelt_landschaft/co2_klimaschutz/lwf_klimawandel_forstlicher_aspekt_2003_DE), (27.05.07)
- Institut für Waldökologie und Waldinventuren (unbekanntes Erscheinungsjahr): ohne Überschrift, <http://www.bfafh.de/inst7/index.htm>, (23.05.07)
- Kasang, Dieter( unbekanntes Erscheinungsjahr): Natürliche Ökosysteme-Prognosen, <http://lbs.hh.schule.de/index.phtml?site=themen.klima>, (25.05.07)
- Kasang, Dieter (unbekanntes Erscheinungsjahr):Ökosysteme und Klimawandel, <http://lbs.hh.schule.de/welcome.phtml?untten=/klima/infothek.htm>, (26.05.07)
- Kasang, Dieter (unbekanntes Erscheinungsjahr): Klimawandel und Landwirtschaft - CO<sub>2</sub>-Düngungseffekt, Temperaturerhöhung, Niederschlagsveränderung, <http://lbs.hh.schule.de/welcome.phtml?untten=/klima/infothek.htm> (23.05.07)
- Kasang, Dieter (unbekanntes Erscheinungsjahr): Wälder – Wald und Klima, <http://www.hamburger-bildungsserver.de/welcome.phtml?untten=/klima/klimafolgen/oekosysteme/index.htm>, (27.05.07)
- Mrasek, Volker (2006): Neuer Uno-Bericht sagt Klimakatastrophe voraus, <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/0,1518,418165,00.html>, (29.05.07)

- Pistorius, Till (2006): Kohlenstoffkreisläufe in Wald und Holzprodukten - Der Wald in der Klimapolitik,  
[http://www.waldwissen.net/themen/umwelt\\_landschaft/co2\\_klimaschutz/fva\\_wald\\_klimapolitik\\_DE](http://www.waldwissen.net/themen/umwelt_landschaft/co2_klimaschutz/fva_wald_klimapolitik_DE) (24.05.07)
- Scheele, Bärbel, Schwanke, Karsten(2006): Der Wald im Klimawandel,  
<http://www.zdf.de/ZDFde/inhalt/11/0,1872,3981995,00.html>, (30.05.07)
- Unbekannter Autor, BMZ (unbekanntes Erscheinungsjahr): Die Millenniumskonferenz 2000,  
<http://www.bmz.de/de/themen/umwelt/hintergrund/umweltpolitik/millenniumskonferenz.html>, (23.05.07)
- Unbekannter Autor, BMZ (unbekanntes Erscheinungsjahr): es begann in Rio 1992,  
[http://www.bmz.de/de/themen/umwelt/hintergrund/umweltpolitik/rio\\_1992.html](http://www.bmz.de/de/themen/umwelt/hintergrund/umweltpolitik/rio_1992.html), (23.05.07)
- Unbekannter Autor (unbekanntes Erscheinungsjahr): Was ist Nachhaltigkeit,  
<http://www.fz-juelich.de/ptj/projekte/index.php?index=1276>, (23.05.07)
- Unbekannter Autor (unbekanntes Erscheinungsjahr): Auswirkungen von Klimaänderungen auf den Wald,  
<http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/wald/klimawandel/auswirkungen> (30.05.07)
- Unbekannter Autor (unbekanntes Erscheinungsjahr): Das Problem: Die Treibhausgase und der Klimawandel, <http://www.prima-klima-weltweit.de/problem/klimawandel.php3?choice1=problem&choice2=klimawandel>, (25.04.07)
- Unbekannter Autor (unbekanntes Erscheinungsjahr): Wald,  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Wald>, (26.05.07)
- Wagner, Prof. Dr. Sven (2005): Klimawandel - einige Überlegungen zu waldbaulichen Strategien,  
[http://www.waldundklima.net/klima/klimawandel\\_waldbau\\_wagner\\_01.php](http://www.waldundklima.net/klima/klimawandel_waldbau_wagner_01.php), (26.05.07)
- Weber, Ulrich (2005): Biologie Oberstufe, 1. Auflage, 2001 Cornelsen Verlag, Berlin, S. 348