

Klimaveränderungen und Auswirkungen auf Ökosysteme

Harald Gebhardt

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe

1. Einleitung

Ein Rückblick auf die letzten Jahrzehnte lässt Klimaveränderungen immer wahrscheinlicher werden. Beobachtungen der Entwicklung verschiedener Klimaelemente, wie z.B. Temperatur, Niederschlag, Luftfeuchte, Schneebedeckung der Kontinente, mittlere Windgeschwindigkeiten, Sturmhäufigkeit sowie Anstieg des Meeresspiegels lassen diesen Schluss zu. Auch das Vordringen bzw. die Arealerweiterung wärmeliebender Tier- und Pflanzenarten geben Hinweise für eine solche Entwicklung (Enquete-Kommission 1992, Folland et al. 1992, Schönwiese 1994, Schönwiese et al. 1994, Bundesamt für Naturschutz 1995).

Die beobachtete globale Erwärmung kann weder ganz noch teilweise mit Sicherheit auf den verstärkten Treibhauseffekt zurückgeführt werden. Allerdings kann die Vermutung, dass eine durch die Emission von Treibhausgasen verursachte Klimaänderung wesentlich zur globalen Erwärmung beigetragen hat, nicht widerlegt werden (Folland et al. 1992). Bisher festgestellte Trends können auf verschiedene Ursachen (natürlich und anthropogen) und deren Überlagerung zurückgehen.

2. Auswirkungen auf Ökosysteme

2.1 Auswirkungen einzelner Klimaelemente

Temperatur und Niederschläge

Klimamodellrechnungen lassen eine Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur der Erdatmosphäre bis zur Mitte des nächsten Jahrhunderts erwarten. Die prognostizierte Erwärmung schwankt zwischen 1,5 bis 5 Grad Celsius (McG. Tegart et al. 1990). Dieser Temperatursprung ist vergleichbar mit der Temperaturdifferenz zwischen der Eiszeit vor 18.000 Jahren und der jetzigen Warmzeit. Der gravierende Unterschied besteht darin, dass die anthropogen ausgelöste Änderung des Klimas weitaus schneller eintreten wird. (Deutscher Bundestag 1994).

Sollte sich die Erwärmung im prognostizierten Rahmen bewegen, werden von den rasch ablaufenden Veränderungen alle Kompartimente des Naturhaushalts betroffen sein; insbesondere auch aquatische und terrestrische Ökosysteme. Letztere stellen bekanntlich ein kompliziertes Wirkungsgefüge zwischen den abiotischen Komponenten der Umwelt (Klima und Boden) und den biotischen Komponenten (Pflanzen, Tiere, Mikroorganismen) dar. Dabei bildet das Klima die wichtigste abiotische Komponente.

Die Temperatur, die zu den wichtigsten Klimaelementen zählt, steuert eine Vielzahl von Lebensvorgängen bei Tieren und bei Pflanzen (u.a. Stoffwechselvorgänge, Fortpflanzung, Mobilität, Verhalten sowie Vernalisation, Keimung, Blüte, Frucht- und Samenreifung). Beispielsweise werden durch zunehmende Temperaturen die Existenzbedingungen für Kälte- und Frostkeimer erschwert, für Wärme- und Trockenkeimer verbessern sich dagegen die Bedingungen. Darüber hinaus führen erhöhte Temperaturen auch zu einem Anstieg der Bodenaktivität und Mineralisierung. Die dadurch hervorgerufene Freisetzung von Nährstoffen ermöglicht einen Anstieg der Biomasseproduktion (Chapin et al. 1993, Leiros et al. 1999, Kesel 2000).



Die Aussagen über die zukünftige Verteilung von **Niederschlägen** in Europa sind noch mit großen Unsicherheiten behaftet. Für Mitteleuropa werden im Durchschnitt wärmere und trockener Sommermonate und mildere und feuchtere Wintermonate erwartet (Barrow 1993, Brunnert 1995).

Bereits geringe Änderungen von Menge, Eintrittszeitpunkt und Intensität von Niederschlägen können das regionale Wasserregime empfindlich stören. Für viele Pflanzenarten sind Niederschlag und Bodenfeuchte wichtiger als die Temperatur. Mit Ausnahme der Baumgrenze, bei der die Temperatur meist der limitierende Faktor ist, spielen die Niederschläge oft die wesentliche Rolle bei der Verteilung der Pflanzenarten. Allerdings können Temperatur- und Niederschlagsveränderungen als Stressfaktoren zusammenwirken.

Klimaänderungen wirken auf den Wasserhaushalt in Ökosystemen direkt über die Veränderungen von Niederschlag, Abfluss, Bodenfeuchte, Schneebedeckung, Schneeschmelze und Evapotranspiration; indirekt u. a. durch Veränderungen des Wasserstandes in Binnenseen, wodurch der Wasserspiegel und der Grundwasserstand im Uferbereich beeinflusst wird.

Die Wirkung des Niederschlags ist wesentlich durch die jahreszeitliche Verteilung bestimmt. Eine Verlängerung der Trockenperiode sowie ein Anstieg des Grundwasserspiegels können Versalzungstendenzen des Bodens intensivieren. Dadurch werden halophile Arten gefördert (Apel 1994).

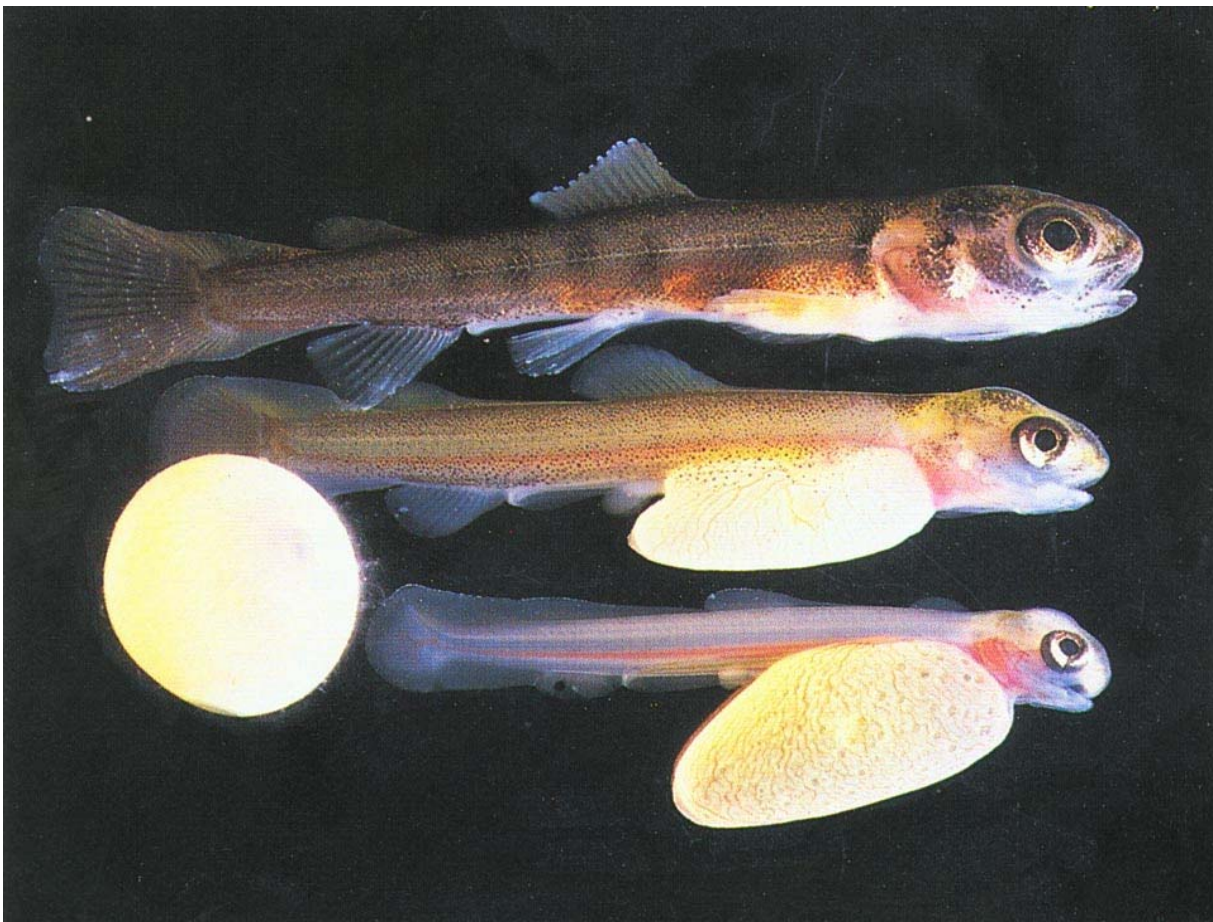


Abb.1: Entwicklungsstadien (Ei, Dottersacklarven, freischwimmender Brütlings) der kaltstethothermen Bachforelle (*Salmo trutta f. fario*). Foto R. Marthaler.

Durch Veränderungen des Niederschlagsregimes ergeben sich Auswirkungen auf den Abfluss und damit beispielsweise Beeinträchtigungen von Fließgewässern in Gebirgslagen oder

von Überschwemmungsgebieten in den Flussauen. Der Wegfall entsprechender Wassermengen wird sich hinsichtlich der Verbreitung vieler an kaltstenotherme Verhältnisse adaptierte, aquatisch lebende Tierarten durch Verlust des Lebensraumes auswirken. Betroffen sein werden u.a. Strudelwürmer, Stein- und Eintagsfliegenlarven sowie Fischarten wie Bachforelle (Abb. 1), Bachschmerle, Groppe sowie deren Entwicklungsstadien. Auch für an Überschwemmungsflächen gebundene Arten wird ein Ausbleiben von Überflutungen negative Folgen haben. Eine große Anzahl von Insekten-, Fisch- und Amphibienarten sind hinsichtlich ihrer Fortpflanzung an Überschwemmungsareale gebunden. Ausbleibende oder zeitlich verzögerte Hochwasserlagen verhindern die Fortpflanzung und das Aufkommen der verschiedenen Entwicklungsstadien.

Kohlendioxid

Kohlendioxid gilt als das bekannteste Treibhausgas. Seit Beginn des Industriezeitalters stieg die globale CO₂-Konzentration von 280 ppm auf über 350 ppm an und nimmt derzeit jährlich um 1,5 ppm (0,4 %) zu (Enquete-Kommission 1992, Kammann et al. 2000). Steigende Konzentrationen können in terrestrischen Ökosystemen indirekte Wirkungen erzeugen und u.a. zu Veränderungen der Ökosystemstruktur, der Artenzusammensetzung, der Populationsdynamik, der Konkurrenzverhältnisse sowie zu einer Beeinflussung der Streuzersetzung, Humusbildung und Nährstoffumsatzraten führen (O'Neill 1994). Beispielsweise rechnen Sætersdal et al. (1998) mit einer Zunahme der Pflanzenartendiversität um durchschnittlich 26 %. Zu den direkten CO₂-Wirkungen auf Pflanzen können nach Bazzaz & Fajer (1992) und Körner (1993) gerechnet werden:

- Steigerung der Photosyntheserate und der Biomasseproduktion
- Beschleunigung von Wachstum, Entwicklung und Alterung
- Stimulation der Dunkelatmung und eine Reduktion der Lichtatmung
- Reduktion der Öffnungsweite der Stomata, verbunden mit einer verminderten Transpirationsrate bzw. einer verbesserten Wasserausnutzungseffizienz
- Zunahme des löslichen Kohlehydratanteils bzw. eine Veränderung der Mineralstoffgehalte (z.B. C/N-Verhältnis)
- Veränderung der C-Verlagerung innerhalb der Pflanzen (z.B. Wurzel-/Sprossverhältnisse)
- Stärkere Reaktion von Pflanzen in Vergesellschaftung mit Stickstoff-fixierenden Symbionten

UV-B-Strahlung

Durch die Abnahme der stratosphärischen Ozonschicht hervorgerufen, kommt es in den letzten Jahren zu einer Zunahme der die Erdoberfläche erreichenden UV-B-Strahlung, was verschiedene Auswirkungen nach sich zieht (Zellner 1993). Lebende Systeme bzw. biologische Moleküle (u.a. Nukleinsäuren, Strukturproteine, Enzyme, Pigmente) werden durch Absorption der UV-B-Strahlung (280-320 nm) teilweise irreversibel geschädigt (Weigel & Kriebitzsch 1995). Auswirkungen auf terrestrische und aquatische Ökosysteme sowie auf den Menschen sind inzwischen mehrfach beschrieben (u.a. Grünhage et al. 1996, Przybilla 1999, Rau 1999, Siebeck 1999).

Ausreichend hohe UV-B-Strahlendosen können zahlreiche Effekte im Zellstoffwechsel von Pflanzen auslösen. Genannt werden können u.a. eine Hemmung des Photosystems II, Schädigung der DNA, Bildung freier Radikale sowie Änderungen im Sekundärstoffwechsel. Auf der Ebene der Gesamtpflanze wurden u.a. beobachtet: Reduktion der Photosynthese, Wachstumshemmung, anatomische und morphologische Änderungen, Hemmung von Pollenkeimung und -wachstum (Weigel & Kriebitzsch 1995, Grünhage et al. 1996).

Für aquatische Systeme werden Beeinträchtigungen bzw. Gefährdungen von Phyto- und Zooplankton sowie von Fischen (teilweise Hemmung der Sauerstoffproduktion, verminderte Lebensdauer, geringeres Körperwachstum, geringere Nachkommenschaft) beschrieben (Siebeck et al. 1994, Siebeck 1999).



2.2 Verschiebung von Vegetationszonen

Eine Reaktion natürlicher terrestrischer Ökosysteme auf Klimaveränderungen ist die Veränderung der Verteilung von Flora und Fauna, wobei sich als Folge der Verlagerung der Klimazonen eine Verschiebung der Vegetationszonen ergibt. Mit einer horizontalen Verschiebung der Vegetationszonen in Richtung der Pole bis zu 1000 km sowie mit einer vertikalen Verschiebung in höhere Gebirgslagen um etwa 700 Höhenmeter wird gerechnet (De Groot 1987, Ozenda & Borel 1990).

Eine solche Entwicklung, stellt an das Adaptionsvermögen von Tier- und Pflanzenarten hohe Anforderungen. Je nach dem Adaptionsvermögen der einzelnen Arten sowie der Fähigkeit zur Abwanderung als Reaktion auf sich ändernde Umweltgegebenheiten, ergibt sich u. a. die räumliche Verteilung und Zusammensetzung der natürlichen Lebensgemeinschaften sowie eine Beeinflussung der Stoffkreisläufe.

Es wird davon ausgegangen, dass für zahlreiche Ökosysteme und deren Lebensgemeinschaften eine Anpassung an die sich rasch ändernden Klimabedingungen - die sich in der Vergangenheit über Jahrtausende hingezogen haben - nicht möglich sein wird. Aus einer Temperaturerhöhung um 1 Grad Celsius wird eine polwärtige Verschiebung der Vegetationszonen um 200-300 km angenommen (Enquete-Kommission 1992). Da die einzelnen Pflanzenarten unterschiedliche Wanderungsgeschwindigkeiten aufweisen, kommt es zu einer Aufspaltung bisher bestehenden Artengemeinschaften. Dabei werden weniger "mobile" Tier- und Pflanzenarten in Mitleidenschaft gezogen (vgl. Kap 2.3).

2.3 Artenzusammensetzung und biologische Diversität

Die Artenzusammensetzung und die biologische Diversität werden ebenfalls durch Klimaänderungen beeinflusst. Arten mit geringerem Anpassungsvermögen - verursacht durch eine schmale ökologische Amplitude bzw. geringe genetische Varianz gegenüber sich ändernden Standortfaktoren - reagieren auf die klimatisch ausgelösten, neuen Lebens- und Konkurrenzbedingungen besonders empfindlich. Zu diesen Arten zählen solche, die

- am Rand oder jenseits ihres ökologischen Optimums leben,
- als geografisch begrenzte Arten vorkommen (z.B. auf Bergkuppen, Inseln, in Resten natürlicher Landschaft innerhalb der Kulturlandschaft),
- eine starke Spezialisierung aufweisen,
- eine eingeschränkte Ausbreitungsfähigkeit sowie geringe Vermehrungsraten haben,
- räumlich begrenzte Populationen einjähriger Arten bilden,
- unter anderen Stressfaktoren leiden.

Für montane, alpine, polare sowie Insel- und Küstengemeinschaften lässt sich hieraus eine besondere Gefährdung ableiten (McG. Tegart et al. 1990). Dies bedeutet für Deutschland zumindest das gebietsweise Ausfallen nordischer Arten sowie von Glazialrelikten. Dagegen wird es bezüglich der Verbreitung frostempfindlicher bzw. wärmeliebender Tier- und Pflanzenarten als Folge der Erwärmung zu einer Arealerweiterung oder Zuwanderung auch gebietsfremder Arten kommen (Böcker et al. 1995, Gebhardt et al. 1996). Dies bewirkt zumindest kurzfristig eine Zunahme der Artenvielfalt (Saetersdal et al. 1998, Klose 2000).

Für die Tierwelt können als Beispiele in diesem Zusammenhang die zunehmende Ausbreitung mediterraner Faunenelemente wie Gottesanbeterin, *Mantis religiosa* (Abb. 2, Abb. 3) sowie von mediterranen Libellenarten in Deutschland angeführt werden (Brechtel et al. 1996, Ott 2000). Auch das Vordringen von Vogelarten nach Norden in bisher von diesen Arten nicht besiedelte Gebiete sowie Änderungen von Zugverhalten, Zugrouten, Zugzeiten und Überwinterungsstrategien konnte in den zurückliegenden Jahren festgestellt werden (Berthold 1997, 1998).

Für Nordwestdeutschland prognostiziert Kesel (2000) bei weiterer Erwärmung eine Entwicklung der Pflanzenwelt hin zu einer verstärkten Ausbreitung submediterraner, an günstigen Standorten mediterraner sowie tropischer Arten. Dabei wird je nach Klimaentwicklung eine Tendenz zu Steppen- und Trockenwald-Lebenszonen mit einer starken Dominanz von Gräsern oder zu westlich warm-temperaten Regenwäldern mit groß- und lederblättrigen Arten angenommen.



Abb. 2: Gottesanbeterin (*Mantis religiosa*). Foto F. Brechtel

Die Umstrukturierung von Artengemeinschaften kann zusätzlich durch einen weiteren Aspekt forciert werden. So kann der Ausfall einer Art den Verlust abhängiger Arten nach sich ziehen, wenn z. B. Nahrungsbeziehungen oder Fortpflanzungsabhängigkeiten bestehen, wie beispielsweise bei Insekten, die an bestimmte Pflanzenarten als Nahrungsgrundlage oder Eiablagesubstrate gebunden sind.

Der Zustrom gebietsfremder Organismen, darunter subtropische und tropische Schädlinge und Krankheitserreger bringt zudem für unsere Breiten bisher nicht gekannte bzw. auch wiederkehrende Gefahren für (Nutz)Pflanzen und (Nutz)Tiere sowie für den Menschen mit sich. Speziell für den Menschen ergeben sich Gefahren durch von Vektoren übertragene Krankheiten, die entweder neu in den letzten Jahrzehnten in Deutschland auftauchten (z. B. FSME-Vektor: Zecke; Leishmaniose-Vektor: Sandmücke) oder bisher als ausgerottet galten und jetzt wiederzukehren scheinen (z. B. Malaria-Vektor: *Anopheles*-Mücken) oder in Ausbreitung begriffen sind (z. B. Lyme-Borreliose-Vektor: Zecke). Insbesondere ist durch eine Einschleppung des Tigermoskitos *Aedes albopictus* (Gelbfieber- und Denguefieber-Vektor) nach Italien und Frankreich eine kritische Situation entstanden (Toth et al. 1996, MAEZo-Projekt 2001). Eine potentielle Gefahr könnte vor allem auch für die Menschen in der Oberrheinischen Tiefebene gegeben sein, da das Oberrheingebiet über die Burgundische Pforte eine Verbindung nach Italien und Frankreich aufweist, die als Invasionspfad für den Tigermoskito geeignet ist.

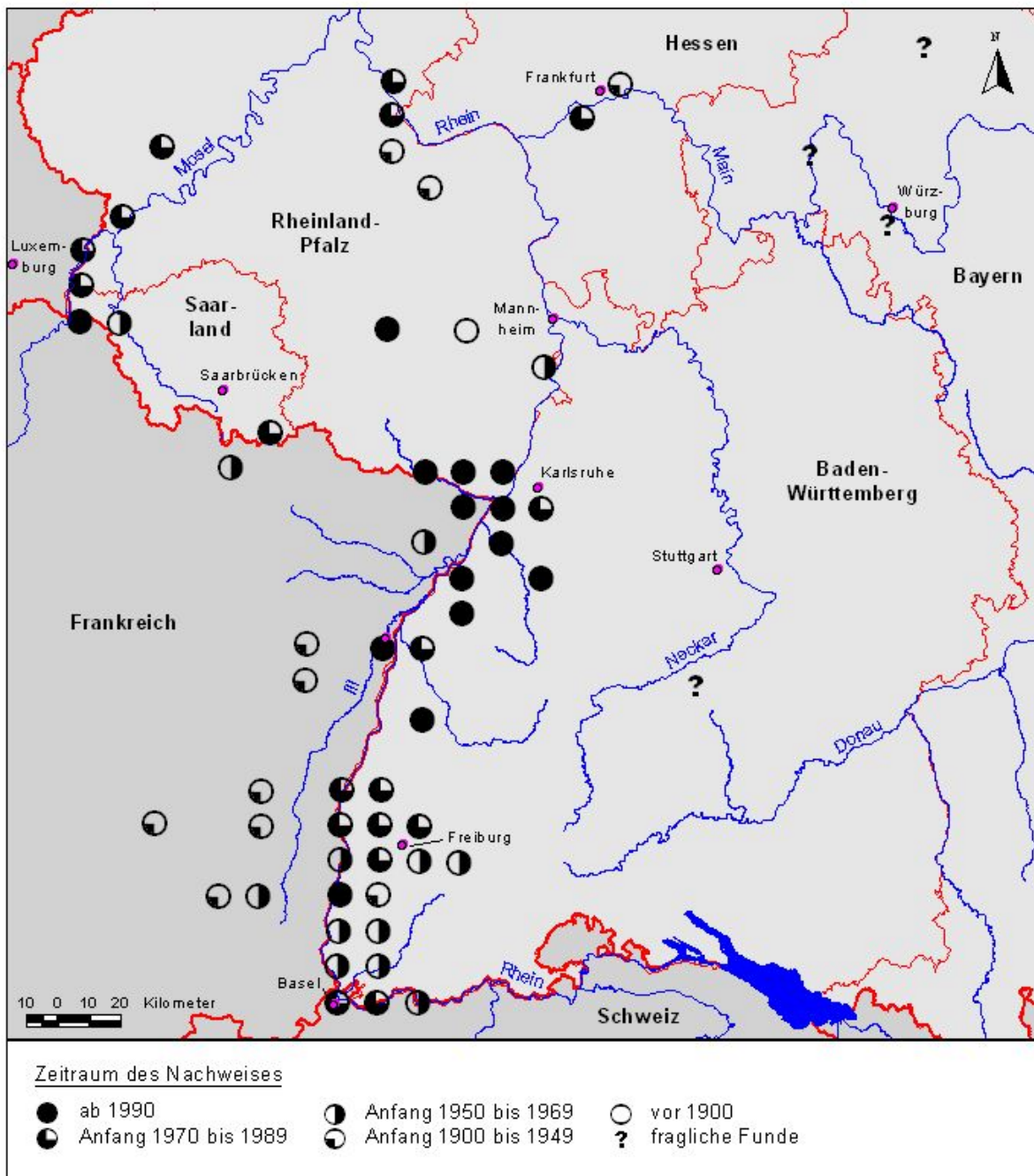


Abb.3: Gottesanbeterin (*Mantis religiosa*): Nachweise aus Deutschland und Nachbargebieten. (verändert nach Brechtel et al. 1996)

3. Veränderungen in ausgewählten Ökosystemen

Anhand ausgewählter Ökosysteme (Hochmoor, Waldökosysteme, Agrarökosysteme) werden mögliche Auswirkungen von Klimaänderungen dargestellt. Die daraus resultierenden Folgen und der Handlungsbedarf für Naturschutz, Forst- und Landwirtschaft werden in Kap. 5 aufgeführt.

3.1 Hochmoore

Schon aus der Verbreitung der Regenwassermoore (Hochmoore) in Europa lassen sich Rückschlüsse auf die notwendigen klimatischen Voraussetzungen schließen. Niederschlagsreiches, kühles Klima (boreal-montan oder subatlantisch) ist Voraussetzung für eine Moorentwicklung.

Die Hochmoore Norddeutschlands entstehen in Höhenlagen von 10-50 m bei Niederschlagsmengen von 600-800 mm im Jahr. Moore des Mittelgebirges entstehen ab 500 m aufwärts (Solling, Rhön), meist erst ab 800 m (Schwarzwald, Bayerischer Wald) und bei Niederschlägen von jährlich 1000 mm (Gerken 1983).

Geeignete Temperaturen und ausreichende jährliche Niederschlagsmengen sind für die Erhaltung von Hochmooren unabdingbar. Klimaveränderungen müssen sich daher auf das System "Moor" auswirken. So sind beispielsweise Zersetzungsprozesse stark von der Temperatur abhängig und die Verteilung aerober und anaerober Zonen innerhalb des Moorkörpers steht in engem Zusammenhang mit dem Grundwasserstand. Bei geringeren Niederschlägen kann es z.B. zum Austrocknen von Torfmooren und dadurch zu einem Wechsel von anaeroben zu aeroben Verhältnissen kommen, wodurch Schrumpfs- und Mineralisationsvorgänge ausgelöst werden. Bei längerem Anhalten dieser Vorgänge führt dies zum "Tod" des Moores und dem Verlust vieler an Moore gebundener Arten (u.a. Torfmoos, Sonnentau, Wollgras, Insektenarten, Moorfrosch). Besonders die Vegetation in Mooren reagiert sehr empfindlich auf das Ausbleiben entsprechender Niederschlagsmengen. Da Hochmoore zu den kaum regenerierbaren Ökosystemen zählen, ist eine Neuentstehung bei Verschiebung der Vegetationszonen an anderer Stelle nicht ohne weiteres denkbar, da der Zeitraum dafür zu kurz ist (Hoffmann 1995). Für den Weiterbestand der Hochmoore in Deutschland wird es darauf ankommen, ob die moorbildenden bzw. moorerhaltenden Voraussetzungen auch unter zukünftigen Klimabedingungen gewährt sind.

3.2 Waldökosysteme

Die möglichen Veränderungen von komplex strukturierten Waldökosystemen als Folge von Klimaveränderungen können vielfältig sein. Zur Wirkung einzelner Klimaelemente auf Wälder besteht immer noch erheblicher Forschungsbedarf. Dies gilt u.a. insbesondere hinsichtlich des Temperatur- und Kohlendioxidanstiegs auf Photosyntheseleistung, Pflanzenwachstum und Biomasseproduktion. Temperatur- und Niederschlagsänderungen sowie als Synergist die CO₂-Konzentration wirken sich nach Hager (1994) wesentlich auf das Waldwachstum aus. Allerdings könnten höhere Nachttemperaturen und wärmere Winter eine erhöhte Atmung der Pflanzen nach sich ziehen, wodurch die Möglichkeit eines Ausgleichs ja sogar einer Überkompensation einer erhöhten Photosyntheseleistung besteht (Kriebitzsch 1991). Auf der anderen Seite werden für boreale Wälder mit dem Erreichen des Temperaturoptimums für das Pflanzenwachstum (15-20 Grad Celsius) Vorteile für eine erhöhte Photosyntheseleistung gesehen (Deutscher Bundestag 1994).

Da viele Waldbestände in Mitteleuropa trotz neuartiger Waldschäden gestiegene Zuwächse zu verzeichnen haben, ist nicht auszuschließen, dass hierfür neben dem düngenden Effekt von N-haltigen Luftschadstoffen bereits veränderte klimatische Gegebenheiten (CO₂-Gehalt, Temperatur) ausschlaggebend sind (Fabian & Menzel 1998). Hager (1994) sieht unter den



derzeitigen Gegebenheiten einen die Primärproduktion steigernden Effekt durch den CO₂-Anstieg bei allen Baumarten als gegeben an. Allerdings wurde für einige Baumarten eine verringerte Frosthärte in Folge des CO₂-Anstiegs nachgewiesen (Kräuchi 1993). Hinsichtlich der von steigenden Temperaturen ausgehenden Wirkungen auf die Böden und Bodenprozesse wird auf das folgende Kapitel (Agrarökosysteme) verwiesen.

Weitere Risiken für unsere Wälder sind von vermehrt auftretenden Sturmereignissen und großflächigen Insektenkalamitäten zu erwarten. In diesem Zusammenhang wird auf die Schwammspinner- und Eichenprozessionsspinner-Kalamitäten in den 1990er Jahren in Südwestdeutschland hingewiesen (Wulf 1995). Auch die Waldbrandgefahr wird künftig wachsen, da sich auf trockeneren, versauerten Böden Rohhumusaufgaben ausbilden, die im Zusammenspiel mit sommerlichen Trockenzeiten ein hohes Brandrisiko darstellen (Hager 1994, Teuffel 1995, Fabian & Menzel 1998).

Im Zusammenhang mit den Auswirkungen einer Klimaänderung auf Waldökosysteme ergeben sich nach Müller (1995) zwei grundsätzliche Reaktionsmuster auf Störungen. Einerseits durch Ausgleich geringfügiger Änderungen der Umweltbedingungen über eine Anpassung der Artenzusammensetzung, jedoch ohne wesentliche Änderung (ökophysiologische Anpassungspotenzial). Andererseits durch Ausgleich tiefgreifender Umweltveränderungen über eine weitreichende Änderung der Artenzusammensetzung (evolutionäres Anpassungspotenzial).

Waldökosysteme mit hoher Arten- und Strukturvielfalt (z. B. Eichenmischwälder) erfüllen die Anforderungen an ein hohes ökophysiologische Anpassungspotenzial. Sie weisen damit ein geeignetes Puffervermögen auf, da die Vielfalt die umweltreizinduzierte Reaktionsfähigkeit durch wechselseitige Ergänzung und Unterstützung optimiert (Müller 1995).

Bei einer Erwärmung mit Mittelwerten von 3 Grad Celsius wäre das ökophysiologische Anpassungspotenzial deutlich überfordert. Der zur Anpassung an solche Klimabedingungen erforderliche evolutionäre Anpassungsprozess ist aber an längere Zeiträume gebunden. Für die Wälder in den gemäßigten und hohen Breiten ergeben sich damit klimatische Bedingungen, an die sie nicht angepasst sind, mit dem Ergebnis erheblicher Artenverluste. Beispielsweise würden sich unter solchen klimatischen Bedingungen die Höhengrenzen der Waldgesellschaften im Schwarzwald um 300-500 m nach oben verschieben. Dies bedeutet, dass bis in eine Höhe von 1000 m Voraussetzungen für konkurrenzfähige Buchen-Eichen-Wälder gegeben wären. Arten höherer Lagen würden dadurch verdrängt (Teuffel 1995).

Die Wälder scheinen damit künftig klimatischen Bedingungen zu unterliegen, an die sie nicht angepasst sind. Das Migrationsvermögen selbst von sich rasch verbreitenden Pionierbaumarten wäre nicht ausreichend, um mit dieser Entwicklung Schritt halten zu können. Besonders benachteiligt sind schwerfrüchtige Klimaxbaumarten, wie Buche und Eiche. Eine Rückversetzung von Waldgesellschaften in weniger entwickelte, möglicherweise baumlose Zustandsformen mit ausgeprägten Pioniereigenschaften ist für die unberührten Naturwäldern der Erde, die nach wie vor weltweit große Flächen einnehmen, nicht auszuschließen (Deutscher Bundestag 1994, Teuffel 1995).

3.3 Agrarökosysteme

Unter Agrarökosystemen können sowohl extensiv und intensiv bewirtschaftete agrarisch genutzte Flächen subsummiert werden, als auch von einer Bewirtschaftung ausgenommene Areale, wie z. B. Ackerrandstreifen, Feldraine, ackerbegleitende Hecken, Hohlwege und Weinbergmauern. Die Landwirtschaft stellt einerseits eine wesentliche Landnutzungsform dar, die von Klimaveränderungen möglicherweise stark betroffen sein kann; andererseits trägt die Landwirtschaft im weltweiten Mittel mit rund 15 % zum anthropogenen Treibhauseffekt bei (Enquete-Kommission 1992). Die sich anschließenden Ausführungen können auf

die Vielfalt der möglichen Auswirkungen von Klimaänderungen auf Agrarökosysteme nicht annähernd eingehen; eine Beschränkung auf wenige Beispiele war deshalb notwendig.

Die bereits o.g. Verschiebung der Vegetationszonen bzw. Klimazonen wird umwälzende Auswirkungen auf Agrarökosysteme bzw. die Landwirtschaft mit sich bringen. Verschiedene Klimamodellrechnungen lassen den Schluss zu, dass sich die für den Landbau geeigneten Klimazonen pro Grad Celsius um ca. 200 - 300 km polwärts und im Bergland um 200 m in die Höhe verschieben werden. Als Folge davon, können sich Anbauverfahren und das für einen Anbau geeignete Nutzpflanzenspektrum regionenspezifisch stark ändern. Darüber hinaus können die in den Kapiteln 2.2 und 2.3 beschriebenen Effekte auf Artenvielfalt und Artenzusammensetzung auch für Agrarökosysteme angeführt werden. Außerdem wird die Häufigkeit extremer Wetterereignisse (Dürren, Stürme, Frequenz und Intensität starker Regenfälle) zunehmen (Enquete-Kommission 1992).

Steigende Temperaturen wirken sich auch auf die Böden aus. Sie bewirken eine Beschleunigung von Bodenprozessen, wie Zersetzung, Mineralisation, Bodenatmung und Humusabbau. Ein erwärmungsbedingt beschleunigter Humusabbau im Boden wird die Nährstoffverfügbarkeit kurzzeitig verbessern, gleichzeitig kommt es jedoch zur Emission erheblicher CO₂-Mengen. Insgesamt wird die Bodenfruchtbarkeit stark abnehmen, dies ergibt sich infolge der Veränderung der physikalischen Beschaffenheit (Folge: geringeres Adsorptionspotential) und einer erhöhten Anfälligkeit für Wind- und Wassererosion. Mit einer vermehrten Nährstoffauswaschung sowie mit einer Mobilisierung von toxischen Schwermetallen in Agrarökosystemen ist zu rechnen, wodurch das Grundwasser und die Trinkwasserreserven beeinträchtigt werden können (Enquete-Kommission 1992, Weigel & Kriebitzsch 1995, Kammann et al. 2000).

Eine Veränderung der Niederschläge (Menge und Verteilung) beeinflusst das Aufkommen an pflanzenverfügbarem Bodenwasser. So führt ein akuter Mangel an Bodenwasser zu Stauungen oder Steckenbleiben der Ähre, Welkeerscheinungen, Notreife, Verdorren und Absterben der Kulturpflanzen sowie zu einer Beeinträchtigung der Nährstoffaufnahme. Andererseits kann die Zunahme extremer Niederschläge eine Verschlammung und Entwurzelung von Keimpflanzen, Abknicken von Halmen (Lagergetreide) und zur Verletzung der Pflanzenoberflächen mit der Folge erhöhter Infektionsgefahr mit sich bringen (Apel 1994, Burdick 1994).

Die Auswirkungen eines Anstiegs von Kohlendioxid in der Atmosphäre auf Pflanzen wurden weiter oben beschrieben, sie gelten auch für Nutzpflanzen. Auf weitere Ausführungen an dieser Stelle kann deshalb verzichtet werden.

Die bisherige Datenlage reicht nicht aus, um eine umfassende Abschätzung der durch Klimaveränderungen erzielten Effekte auf Pflanzenkrankheiten und Schädlinge vorzunehmen. Es kann allerdings davon ausgegangen werden, dass beispielsweise durch Hitzestress, Wassermangel, intensive Global- und erhöhte UV-B-Strahlung geschwächte Nutzpflanzen anfälliger gegenüber Krankheiten und Schaderregern sind. Zudem ist bei steigenden Temperaturen mit der Ausdehnung der geografischen Verbreitung und als Folge mit einer Einwanderung von wärmeliebenden Schädlingen und Krankheitserregern in neue Gebiete gerechnet werden. Durch mildere Winter werden frostempfindliche Schadinsekten und Wurzelparasiten begünstigt. So beschleunigt ein Temperaturanstieg bei Insekten die Entwicklungsgeschwindigkeit und den Entwicklungszyklus; darüber hinaus werden Fraßaktivität, Mobilität bzw. Wanderung und Populationsdynamik beeinflusst. Durch höhere, relative Luftfeuchtigkeit als Folge einer höheren Verdunstung ist eine Zunahme des Befalls mit wärmeliebenden Rostpilzarten sowie durch Pilze verursachten Ähren- und Wurzelinfektionen bei Nutzpflanzen zu rechnen (Enquete-Kommission 1992, Apel 1994, Jahn et al. 1995, Obst 1999).

Den Auswirkungen auf den Ertrag wird wegen ihrer wirtschaftlichen Bedeutung auch zukünftig besondere Beachtung gewidmet werden. Im Gegensatz zur Forstwirtschaft bestehen je



doch Möglichkeiten der Anpassung an veränderte Klimabedingungen beispielsweise durch angepasste, umweltschonende Landbauverfahren und -techniken (inkl. neuer Bewässerungstechniken) sowie durch eine angebrachte Arten- und Sortenwahl (ggf. Züchtung und Einfuhr neuer Nutzpflanzen).

4. Auswirkungen auf das Landschaftsbild:

Wie aus den vorgenannten Beispielen zu ersehen, ist die Struktur von Ökosystemen und Biotopen mit ihren Lebensgemeinschaften in großem Maße auch von den existierenden Klimagegebenheiten abhängig. Das Klima bedingt das "Aussehen" von Landschaften und Landschaftsteilen. Eine Entwicklung, die eine Klimaveränderung mit sich bringen kann, ist eine Veränderung des Landschaftsbildes. Landschaftsteile, aber auch ganze Landschaften werden ihr Aussehen in Abhängigkeit von Art und Intensität einer Klimaveränderung mehr oder weniger ändern. Je tiefgreifender die Klimaveränderungen sind, desto vehementer auch der Landschaftsumbau. Dies kann alle Ökosystemtypen betreffen und schließt selbst vom Menschen stark überprägten Agrarökosysteme mit ein. Nur am Rande sei erwähnt, dass dies negative sozio-ökonomische Auswirkungen nach sich ziehen kann. Regionen, die vom Tourismus leben, werden u.a. über Arbeitsplatzverluste und zurückgehendes Steueraufkommen erhebliche Probleme erwarten dürfen. So wird z. B. das Ausbleiben entsprechender Schneelagen in den Skigebieten der Mittelgebirge und im alpinen Raum entsprechende negative Entwicklungen nach sich ziehen.

5. Folgerungen und mögliche Maßnahmen

Im Hinblick auf mögliche Maßnahmen besitzt die weitere, konsequente Reduktion der Luftschadstoffe, insbesondere klimarelevanter Luftschadstoffe zentrale Bedeutung. Ansonsten wird eine Vielzahl an Ökosystemtypen weiterhin beeinträchtigt und labilisiert.

Zielführende Maßnahmen beinhaltet u. a. der Umweltplan Baden-Württemberg (Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg 2001) sowie das Klimaschutzkonzept Baden-Württemberg (Umweltministerium Baden-Württemberg 1994). Aufgeführt sind u.a.

- der rationelle und sparsame Umgang mit Energieträgern (Haushalte, Kleinverbraucher, Industrie, Umwandlungssektor, Verkehrssektor),
- die Substitution fossiler Energieträger durch regenerative Energieträger wie Wasserkraft, Windenergie, Photovoltaik, Solarthermie, Erdwärme, Geothermie und Biomasse,
- Reduktion von Verkehrsemissionen und Treibhausgasen.

Naturschutz

Bei tiefgreifenden Klimaänderungen deren Ursachen nicht in einem kurzen Zeitraum zu beheben sind, werden die heute in Mitteleuropa vorkommenden Pflanzengesellschaften und Biozönosen in ihrer derzeitigen Struktur und Funktionsweise nicht weiter existieren können. Den vorhandenen Arten und Lebensgemeinschaften müssen deshalb im Rahmen einer problemorientierten Naturschutzstrategie bestmögliche Entwicklungs- und somit Überlebenschancen auch auf lange Sicht gegeben werden. Folgende Maßnahmen können in diesem Zusammenhang aufgeführt werden (vgl. u.a. Bundesamt für Naturschutz 1995, Nettmann 1995, Ruthsatz 1995):

- Schaffung großflächiger, standörtlich vielfältiger und extensiv genutzter Schutzgebiete in Form möglichst großer Landschaftsausschnitte mit klimatisch unterschiedlichen Standortkomplexen (u.a. Täler, Mittelgebirgszüge, Gebirgsmassive, Trocken- und Feuchtbiotope),

- Ausweisung von Prozessschutzflächen,
- Ausbau von wirksamen Biotopverbundstrukturen entlang von Höhengradienten,
- Beseitigung anthropogener Barrieren (u.a. ausgeräumte Agrarlandschaften, Monokulturen der Forstwirtschaft),
- Extensivierung und nachhaltige Landnutzung mit reduziertem Produktionsmitteleinsatz in Kooperation mit der Forst- und Landwirtschaft,
- Begrenzung der weiteren Zersiedlung der Landschaft,
- Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen,
- Durchführung von Forschungsvorhaben zur Grundlagenermittlung.

Forstwirtschaft/Waldökosysteme

Wegen der sich aus einer Klimaveränderung ergebenden Konsequenzen muss die Forstwirtschaft nach Möglichkeiten suchen, die vielfältigen Funktionen unserer Wälder weitgehend zu erhalten. Dies gestaltet sich jedoch schwierig, da das Ausmaß und die möglichen Folgen einer Klimaveränderung für die Wälder noch nicht abzuschätzen sind.

Für die Wälder gilt es eine Strategie zu verfolgen, die die selbstregulierenden Kräfte der Natur möglichst weitgehend ausnutzt und zur Stabilisierung unserer Waldökosysteme beiträgt. Geeignete Maßnahmen sind (vgl. u.a. Thomasius 1991, Ruppert 1993, Müller 1994, Burschel 1995, Teuffel 1995):

- Aufforstungen zur Bindung von CO₂,
- Konsequente Baumartenwahl auf standörtlicher Grundlage bzw. Ersatz standortfremder Ersatzgesellschaften durch standortgerechte,
- Eine geeignete Mischung und Stufigkeit zur Risikoverteilung auf verschiedene Baumarten zur Verbesserung der Stabilität der Wälder,
- gezielte Bestandespflege zur Verminderung des erhöhten Sturmrisikos,
- Maßnahmen zum Bodenschutz und zur Bodenpflege,
- Förderung des Holzabsatzes,
- Weitere Ausweisung von Schon- und Bannwäldern sowie Prozessschutzflächen,
- Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen,
- Durchführung von Forschungsvorhaben zur Grundlagenermittlung.

Landwirtschaft/ Agrarökosysteme

Die Landwirtschaft kann in vielfältiger und je nach Region unterschiedlicher Weise durch Klimaänderungen betroffen sein. In Abhängigkeit von der jeweiligen Problemlage gilt es deshalb Strategien und Möglichkeiten zu suchen, die eine Landbewirtschaftung bzw. den Schutz von Agrarökosystemen auch zukünftig ermöglichen. Folgende Maßnahmen können genannt werden (vgl. u.a. Priebe 1993, Europäische Union 1995, Obst 1999):

- Weitere Einführung und grundsätzliche Förderung von Landbauverfahren und -techniken mit dem Ziel einer umweltschonenden Landbewirtschaftung,
- Einleitung von notwendigen Maßnahmen, die eine umweltschonende Erschließung, die Einsparung und die vernünftige Verwendung von Wasservorräten für den landwirtschaftlichen Bedarf begünstigen,
- Förderung neuer Techniken zur Einsparung von Wasser zu Bewässerungszwecken durch die Verbesserung des Kanalisationssystems, Tropfbewässerung,
- Entwicklung einer an geänderte Klimabedingungen angepassten Landwirtschaft durch eine entsprechende Sortenwahl bei Nutzpflanzen,
- Resistenzzüchtung bei Nutzpflanzen (Globalstrahlung, Blattverfärbung, Ertragsproblematik),
- Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen,
- Durchführung von Forschungsvorhaben zur Grundlagenermittlung.



6. Literatur

- Apel, U. (1994): Klimaänderungen und Auswirkungen auf die Vegetation. - Literaturstudie im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. Karlsruhe. 165 S. (unveröffentlicht).
- Barrow, E. (1993): Future scenarios of climate change for Europe. In: Kenny, G. J., Harrison, P. A. & M. L. Parry (eds.): The effect of climate change on agricultural and horticultural potential in Europe. - Environmental change unit, Univ. of Oxford. Research report 2. 224 S.
- Bazzaz, F.A. & E. D. Fajer (1992): Mehr Kohlendioxid - wie reagiert die Pflanzenwelt? - Spektrum der Wissenschaft, 3:64-71.
- Berthold, P. (1997): Wandel der Avifauna Mitteleuropas im Zuge rezenter Umweltveränderungen. In: Akademie für Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.): Zugvögel - Botschafter weltweiter Klima- und Lebensraumveränderungen. - Tagungsdokumentation. Stuttgart:11-16.
- Berthold, P. (1998): Vogelwelt und Klima - gegenwärtige Veränderungen. - Naturw. Rdsch., 51:337-346.
- Böcker, R., Gebhardt, H., Konold, W., & S. Schmidt-Fischer - Hrsg. (1995): Gebietsfremde Pflanzenarten - Auswirkungen auf einheimische Arten, Lebensgemeinschaften und Biotope, Kontrollmöglichkeiten und Management. - Ecomed Verlag, Landsberg. 215 S.
- Brechtel, F., Ehrmann, R. & P. Detzel (1996): Zum Vorkommen der Gottesanbeterin *Mantis religiosa* (LINNÉ, 1758) in Deutschland. - Carolea, 54: 73-90. Karlsruhe. 216 S.
- Brunnert, H. (1995): Elemente des physikalischen Klimas und ihre möglichen Auswirkungen. In: Brunnert, H. & U. Dämmgen (Hrsg.): Klimaveränderung und Landbewirtschaftung. - Landbauforschung Völkenrode. Sonderheft 148.
- Bundesamt für Naturschutz (1995): Klimaänderungen und Naturschutz. - Angewandte Landschaftsökologie, 4. Bonn-Bad Godesberg. 227 S.
- Burdick, B. (1994): Klimaänderung und Landbau: die Agrarwirtschaft als Täter und Opfer. -C. F. Müller. Heidelberg. 438 S.
- Burschel, P. (1995): Wald - Forstwirtschaft und globale Ökologie. - Forstwissenschaftliches Centralblatt, 114:80-96.
- Chapin, F.S, Rincon, E. & P. Huante (1993): Environmental responses of plants and ecosystems as predictors of the impact of global change. - J. Biosciences (Bangalore) 18(4): 515-524.
- De Groot, R. S. (1987): Assessment of the potential shifts in Europe's natural vegetation due to climatic change and implications for conservation. - Young Scientists Summer Program 1987: Final Report, Laxenburg, Austria: International Institute for Applied System Analysis.
- Deutscher Bundestag (1994): Schutz der Grünen Erde - Klimaschutz durch umweltgerechte Landwirtschaft und Erhalt der Wälder. - Bericht der Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages "Schutz der Erdatmosphäre". Economia Verlag, Bonn.
- Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" des Deutschen Bundestages (1992): Klimaänderungen gefährdet globale Entwicklungen. - Economica Verlag, Bonn, Verlag C. F. Müller, Karlsruhe. 238 S.
- Europäische Union (1995): Maßnahmen gegen die Auswirkungen der Trockenheit auf Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt in Südeuropa. - Stellungnahme des Ausschusses der Regionen. CdR 229. Brüssel. 6 S.
- Fabian, P. & A. Menzel (1998): Wie sehen die Wälder von morgen aus - aus der Sicht eines Klimatologen. - Forstw. Cbl., 117: 339-354.
- Folland, C. K., Karl, T. R., Nicholls, N., Nyenzi, B. S., Parker, D. E. & K. Y. Vinnikov (1992): Observed climate variability and change. In: Houghton, J. T.; Callander, B. A. & S. K. Varney (Hrsg.): Climate change 1992 The supplementary report to the IPCC scientific assessment: 139-167.
- Gebhardt, H., Kinzelbach, R. & S. Schmidt-Fischer - Hrsg. (1996): Gebietsfremde Tierarten - Auswirkungen auf einheimische Arten, Lebensgemeinschaften und Biotope - Situationsanalyse. - Ecomed, Landsberg. 314 S.
- Gerken, B (1983): Moore und Sümpfe - Bedrohte Reste der Urlandschaft. - Rombach-Verlag, Freiburg. 107 S.

- Grünhage, L., Hertstein, U. Hanewald, K. Baltrusch, M. & H.-J. Jäger (1996): Auswirkungen der globalen Klimaänderungen auf terrestrische Ökosysteme – Kenntnisstand und Forschungsbedarf. In: Grünhage, L., Hanewald, K., Jäger, H.-J. & W. Ott (Hrsg.): Auswirkungen dynamischer Veränderungen der Luftzusammensetzung und des Klimas auf terrestrische Ökosysteme in Hessen. - Schriftenreihe des Hess. Landesamtes für Umweltschutz: Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz, 220:7-37.
- Hager, H. (1994): Mögliche Einwirkungen von Klimaänderungen auf forstliche Ökosysteme. - In: Geburek, Th., Müller, F. & U. Schultze (Hrsg.): Klimaänderung in Österreich, Herausforderung an Forstgenetik und Waldbau. - Forstliche Bundesversuchsanstalt-Berichte, 81:7-17. Wien.
- Hoffmann, J. (1995): Einfluss von Klimaänderungen auf die Vegetation in Kulturlandschaften. In: Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.): Klimaänderungen und Naturschutz. - Angewandte Landschaftsökologie, 4:191-211.
- Jahn, M. Freier B. & E. Kluge (1995): Zum Einfluss von Klimaveränderungen auf die phytosanitäre Situation im Agrarbereich. In: Bundesministerium für Ernährung; Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.). Klimaforschung im Geschäftsbereich des BML. - Schriftenreihe des BML, 442:81-92.
- Kammann, C., Grünhage, L. & H.-J. Jäger (2000): Die klimarelevanten atmosphärischen Spurengase: Kenntnisstand und Forschungsbedarf. In: Grünhage, L., Hanewald, K., Jäger, H.-J. & W. Ott (Hrsg.): Auswirkungen dynamischer Veränderungen der Luftzusammensetzung und des Klimas auf terrestrische Ökosysteme in Hessen. - Schriftenreihe des Hess. Landesamtes für Umweltschutz: Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz, 274:7-80.
- Kesel, R. (2000): Auswirkungen der Klimaerwärmung auf Flora und Vegetation in Nordwestdeutschland. In: Alfred Toepfer Akademie für Naturschutz (Hrsg.): Klimaveränderungen und Naturschutz. - NNABer., 13. Jg., 2:2-12
- Klose, S. (2000): Konsequenzen globaler Klimaveränderungen für die biologische Vielfalt. In: Alfred Toepfer Akademie für Naturschutz (Hrsg.): Klimaveränderungen und Naturschutz. - NNABer., 13. Jg., 2:90-95.
- Körner, Ch. (1993): CO₂ fertilization: the great uncertainty in future vegetation development. In: Solomon, A.M & H.H. Shugart (eds.) Vegetation Dynamics and Global Change. - New York, Chapman & Hall: 53-70.
- Kräuchi, N. (1993): Potential impacts of a climate change on forest ecosystems. - Eur. J. For. Path., 23: 28-50.
- Kriebitzsch, W. U. (1991): Der Treibhauseffekt: Ursachen, Wirkungen und Folgen für den Wald. - Forstarchiv, 5:179-182.
- Leiros, M.C., Trasar-Cepeda, C., Seoane, S. & F. Gil-Sotres (1999): Dependence of mineralization of soil organic matter on temperature and moisture. - Soil Biol. Biochem., 31(3):327-335.
- MAEzo-Projekt (2001): Mögliche Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die Ausbreitung von humanmedizinisch relevanten Krankheitserregern über tierische Vektoren (Überträger) in Deutschland (MAEzo). - Internet-Bericht des Instituts für Medizinische Parasitologie, Universität Bonn. Bonn. 6 S.
- McG. Tegart, W. J.; Sheldon, W. G. & D. C. Griffiths - Hrsg. (1990): Climate change. The IPCC impacts assessment. - Australian Government publishing service. Canberra, Australia. 277 S.
- Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg (2001): Umweltplan Baden-Württemberg. - Stuttgart. 406 S.
- Müller, F. (1994): Müssen wir waldbauliche Konzepte ändern? In: Geburek, Th., Müller, F. & U. Schultze (Hrsg.): Klimaänderung in Österreich, Herausforderung an Forstgenetik und Waldbau. - Forstliche Bundesversuchsanstalt-Berichte, 81:67-75. Wien.
- Müller, F. (1995): Gibt es waldbauliche Strategien zur Bewältigung der drohenden Klimaänderung? - Österreichische Forstzeitung, 2:7-9.
- Nettmann, H.-K. (1995): Klimawandel und Fauna in Mitteleuropa: Beispiele aus dem Wirbeltierbereich und Aufgaben des Naturschutzes. In: Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.): Klimaänderungen und Naturschutz. - Angewandte Landschaftsökologie, 4: 155-164.
- Obst, A. (1999): Landwirtschaft. In: Bayerischer Klimaforschungsverbund (Hrsg.): Klimaänderungen in Bayern und ihre Auswirkungen. - Abschlussbericht des Bayerischen Klimaforschungsverbundes. München. 90 S.



- O'Neill, E. G. (1994): Responses of soil biota to elevated atmospheric carbon dioxide. - *Plant and Soil*, 165: 55-65.
- Ott, J. (2000): Die Ausbreitung mediterraner Libellenarten in Deutschland und Europa. In: Alfred Toepfer Akademie für Naturschutz (Hrsg.): *Klimaveränderungen und Naturschutz*. - NNABer., 13. Jg., 2:13-35.
- Ozenda, P. & J. L. Borel (1990): The possible responses of vegetation to a global climatic change – scenarios for western Europe, with special reference to the Alps. In: Boer & De Groot (eds.): *Proc. Europ. Conf. On landscape ecological impact of climatic change*, Amsterdam. IOS Press:221-249.
- Priebe, H. (1993): Agrarpolitik und Klimaveränderungen - Handlungsfelder und -optionen im Bereich Klima und Landwirtschaft auf EG-Ebene. - Studie im Auftrag der Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" im Deutschen Bundestag. Frankfurt. 77 S.
- Przybilla, B. (1999): UV-B und Mensch. In: Bayerischer Klimaforschungsverbund (Hrsg.): *Klimaänderungen in Bayern und ihre Auswirkungen*. - Abschlussbericht:50-54.
- Rau, W. (1999): UV-B und terrestrische Ökosysteme. In: Bayerischer Klimaforschungsverbund (Hrsg.): *Klimaänderungen in Bayern und ihre Auswirkungen*. - Abschlussbericht:39-43.
- Ruppert, K. (1993). Durch Aufforstung 10 Mio. Tonnen CO₂ binden. - *Forstliche Mitteilungen*, 6: 243-244.
- Ruthsatz, B. (1995): Welche Naturschutzmaßnahmen lassen sich schon heute aufgrund vermutlicher anthropogener Klimaänderungen empfehlen? Ein Beitrag aus vegetations-kundlicher Sicht. In: Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.): *Klimaänderungen und Naturschutz*. - *Angewandte Landschaftsökologie*, 4:213-223.
- Saetersdal, M., Birks, H. J. B. & S. M. Peglar (1998): Predicting changes in Fennoscandian vascular-plant species richness as a result of future climatic change. - *J. Biogeography*, 25 (1):111-122.
- Schönwiese, C. D. (1994): *Klima im Wandel*. - Rowohlt, Reinbeck bei Hamburg. 255 S.
- Schönwiese, C. D., Rapp, J., Fuchs, T. & M. Denhard (1994): Observed climate trends in Europe 1891-1990. - *Meteorol. Zeitschrift N.F.*, 3 (2):22-28
- Siebeck, O. (1999): UV-B und aquatische Ökosysteme. In: Bayerischer Klimaforschungsverbund (Hrsg.): *Klimaänderungen in Bayern und ihre Auswirkungen*. - Abschlussbericht: 44-49.
- Siebeck, O., Vail, T. L., Williamson, C. E., Vetter, R., Hessen, D., Zagarese, H., Little, E., Balseiro, E., Modenutti, B., Seva, J. & A. Shumate (1994): Impact of UV-B radiation on zooplankton and fish in pelagic freshwater ecosystems. - *Arch. Hydrobiol. Beih., Ergebn. Limnol.*, 43:197-206.
- Teuffel von, K. (1995): *Klimaänderung - Konsequenzen für den Waldbau?* - Vortrag anlässlich des 7. Seminars für Landschaftspflege der Pflanzschule Schlegel (Manuskript). Riedlingen. 11 S.
- Thomasius, H. (1991): Mögliche Auswirkungen einer Klimaveränderung auf die Wälder in Mitteleuropa. - *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 110: 305-330.
- Toth, F., Hizsnyik, E., Fröhlich, A. & M. Stock (1996): Mögliche Auswirkungen von Klimaänderungen auf das Land Brandenburg - Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. In: Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (Hrsg.): *Mögliche Auswirkungen von Klimaänderungen auf das Land Brandenburg*. - Pilotstudie:92-117.
- Umweltministerium Baden-Württemberg (1994): *Klimaschutzkonzept Baden-Württemberg - Bestandsaufnahme und Leitfaden der Landesregierung zur Senkung der Treibhausgas-Emissionen*. - Stuttgart. 119 S.
- Weigel, H. J. & W. U. Kriebitzsch (1995): Wirkungen von Klimaänderungen auf Agrar- und Ökosysteme. In: Bundesministerium für Ernährung; Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.). *Klimaforschung im Geschäftsbereich des BML*. - Schriftenreihe des BML, 442:43-59.
- Wulf, A. (1995): Einfluss von Klimaveränderungen auf die phytosanitäre Situation im Forst. In: Bundesministerium für Ernährung; Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.). *Klimaforschung im Geschäftsbereich des BML*. - Schriftenreihe des BML, 442:71-79.
- Zellner, R. (1993): *Ozon*