

ISOE-Materialien Soziale Ökologie **43**

**Barbara Bernard, Anna Walz, Alexandra Lux,
Marion Mehring**

Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen

Zielkonflikte und Synergien mit dem Biodiversitätsschutz



ISOE-Materialien Soziale Ökologie, Nr. 43

ISSN 1614-8193

Die Reihe „ISOE-Materialien Soziale Ökologie“ setzt die Reihe „Materialien Soziale Ökologie (MSÖ)“ (ISSN: 1617-3120) fort.

**Barbara Bernard, Anna Walz, Alexandra Lux,
Marion Mehring**

Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen

Zielkonflikte und Synergien mit dem Biodiversitätsschutz

Titelbild: © Buchroithner – [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:
Das_Gespr%C3%A4ch_-_Dialog_04.JPG?uselang=de](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Das_Gespr%C3%A4ch_-_Dialog_04.JPG?uselang=de)

Herausgeber:
Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) GmbH
Hamburger Allee 45
60486 Frankfurt am Main

Frankfurt am Main, 2014

Zu diesem Text

Der Klimawandel ist eine der größten Herausforderungen der Gegenwart und seine Auswirkungen auf Natur, Gesellschaft und Wirtschaft werden vielfach untersucht. Minderungs- wie auch Anpassungsmaßnahmen sind somit ein wichtiges Handlungsfeld geworden. Während der Einfluss des Klimawandels auf die Biodiversität bereits seit längerem Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen ist, rücken nun auch mögliche Folgen von Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen auf die biologische Vielfalt in den Fokus der Forschung: So ist eine generelle Treibhausgasreduktion zwar prinzipiell förderlich, jedoch kann die Umsetzung der hierfür notwendigen Maßnahmen zu Zielkonflikten mit dem Biodiversitätsschutz führen. Gleichwohl gibt es Herangehensweisen, die Synergien beider Bereiche erkennen lassen.

Das Papier bietet einen Überblick über Maßnahmen des Klimaschutzes und der Klimawandelanpassung in den Bereichen Wald- und Forstwirtschaft, Moore, Landwirtschaft, nachwachsende Rohstoffe, Fließgewässer, Küsten und Meere. Diese werden mit Blick auf ihre möglichen (sowohl förderlichen als auch abträglichen) Auswirkungen auf die Biodiversität vorgestellt. Mit dieser problemorientierten Diskursfeldanalyse soll ein Beitrag geleistet werden, potentielle Zielkonflikte von Klima- und Biodiversitätsschutz zu erkennen und Synergien zu fördern.

About this text

Climate change poses one of present days' biggest threats: its numerous effects on nature, society and economy are frequently investigated and measures to mitigate climate change as well as to adapt to its impacts have increased in importance. While the impact of climate change on biodiversity has been the object of study for some time, the focus has now also expanded on the effects of mitigation and adaptation measures on biodiversity. In this regard, reductions in green house gases will generally be favorable, however the implementation of certain measures to achieve this goal may imply trade-offs with the protection of biodiversity. At the same time, there are ways which seem promising to result in synergies between the protection of the climate as well as biodiversity.

This paper gives an overview on measures of climate change mitigation and adaptation in the areas of forestry, marshlands, agriculture, renewable resources, streams, coastlines and oceans. These will be presented with a focus on their possible (favorable and adverse) effects on biodiversity. The aim of this problem-oriented discourse field analysis is to contribute to the recognition of potential conflicting goals of climate protection and biodiversity conservation as well as portray specific measures which could enhance synergies.

Inhalt

Einleitung	4
1 Wald- und Forstwirtschaft.....	5
1.1 Die Bedeutung von Waldökosystemen für das Klima und die Biodiversität.....	5
1.2 Klimaschutzmaßnahmen in Waldökosystemen – Synergien und Konflikte mit der Biodiversität	6
1.3 Fazit.....	16
2 Moore	18
2.1 Die Bedeutung von Mooren für das Klima und die Biodiversität	18
2.2 Schutz und Wiederherstellung von Mooren.....	20
2.3 Fazit.....	21
3 Landwirtschaft.....	22
3.1 Die Bedeutung der Landwirtschaft für das Klima – und vice versa	23
3.2 Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen in der Landwirtschaft	24
3.3 Fazit.....	35
4 Anbau von nachwachsenden Rohstoffen als erneuerbarer Energieträger	36
4.1 Ausbau der Bioenergie in Deutschland.....	37
4.2 Bedeutung für Landflächen	38
4.3 Intensität des Anbaus	43
4.4 Energiepflanzen-Sorten	45
4.5 Fazit.....	50
5 Gewässer: Flüsse und Auen, Küsten- und Meeresschutz	53
5.1 Fließgewässer und Auen.....	53
5.2 Anpassung an den Klimawandel an Küsten	59
5.3 Fazit.....	62
5.4 Marine Klimaschutzmaßnahmen	63
5.5 Fazit.....	66
6 Zusammenfassende Einschätzung	67
Literaturverzeichnis.....	69

Einleitung

Der Klimawandel und seine Folgen ist eine der größten Herausforderungen der Gegenwart. Er beeinflusst dabei bereits heute sowohl die natürlichen Ökosysteme, die Gesellschaft, das tägliche Leben als auch die Wirtschaft. Die Wissenschaft ist sich einig, dass sich die Auswirkungen in den kommenden Jahrzehnten verstärken werden, auch wenn Maßnahmen zum Klimaschutz zügig umgesetzt werden (IPCC 2014). Der anthropogene Klimawandel ist nicht mehr vermeidbar – somit ist neben der Minderung (Mitigation) auch die Anpassung (Adaptation) ein wesentliches Handlungsfeld geworden. Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen spielen in allen Bereichen eine wichtige Rolle. In der Energiewirtschaft, der Industrie, den Haushalten, dem Verkehrssektor, in Gewerbe, Handel und Dienstleistungen und in der Land- und Forstwirtschaft bestehen unterschiedliche Handlungsoptionen, den Ausstoß von klimaschädlichen Treibhausgasen zu reduzieren und sich an die Folgen des Klimawandels anzupassen (BMUB 2014).

Die Auswirkungen des Klimawandels auf natürliche Ökosysteme und die Biodiversität sind schon seit Längerem Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen. Zunehmend weitet sich dieser Fokus auch auf die möglichen Folgen von Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen auf Ökosysteme und die biologische Vielfalt aus: So ist zwar das angestrebte Ergebnis (die Reduktion von Treibhausgasen) prinzipiell förderlich – allerdings können sich auf dem Weg dorthin negative, unbeabsichtigte Effekte einstellen (Vohland et al. 2012). Ein hierzulande viel diskutiertes Thema ist in diesem Zusammenhang bspw. der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen als erneuerbare Energieträger.

Die vorliegende problemorientierte Diskursfeldanalyse (Jahn/Lux 2009) nimmt sich dieser Thematik an. Vorgestellt werden Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen in den Bereichen Wald- und Forstwirtschaft, Moore, Landwirtschaft, nachwachsende Rohstoffe als erneuerbare Energieträger sowie Gewässer- und Küstenschutz. Hierfür werden zunächst die Hintergründe dargelegt, weswegen die jeweiligen Systeme im Hinblick auf das Klima von Bedeutung sind und wie eine Schädigung bzw. eine nicht angepasste Bewirtschaftung daher zur Freisetzung klimarelevanter Gase führen kann. Die in diesen Bereichen derzeit diskutierten und zum Einsatz kommenden Maßnahmen zur Einsparung von Treibhausgasen (oder wie im Falle von Gewässern hauptsächlich der Anpassung an den Klimawandel) werden vorgestellt und Synergien und Zielkonflikte mit dem Schutz der Biodiversität herausgearbeitet. Konflikte, die entstehen können, werden dabei hinsichtlich unterschiedlicher Interessengruppen in den jeweiligen Bereichen erörtert. Das Ziel dieser Analyse ist somit herauszufinden, welche Maßnahmen geeignet sind, sowohl einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten als auch förderlich für die Biodiversität zu sein. In einem übergreifenden Fazit (sechstes Kapitel) werden Konflikte bzw. Synergien aus den unterschiedlichen Bereichen zusammenfassend dargestellt.

Die Arbeit entstand auf Basis von Recherchen wissenschaftlicher Veröffentlichungen und Positionen von Stakeholdern (bspw. aus der Industrie und Naturschutzverbänden) im Zeitraum 2012 und wurde im Jahr 2014 überarbeitet. Hierfür wurden vorwiegend Veröffentlichungen der letzten sieben Jahre herangezogen. Der geographische Bezugsrahmen der Arbeit ist vorwiegend Deutschland – sofern es nicht im Text anders vermerkt ist.

1 Wald- und Forstwirtschaft

Wälder sind für das Klima und die Biodiversität von entscheidender Bedeutung. Warum dem so ist, welche Rolle der Wald für den Klimaschutz spielt und inwiefern sich in diesem Zusammenhang stehende Maßnahmen auf die Biodiversität auswirken können, soll in diesem Kapitel näher behandelt werden. Einleitend wird zunächst ein kurzer Überblick darüber gegeben, inwiefern Waldökosysteme als Komponenten des globalen Kohlenstoffkreislaufs wirken und welche Bedeutung ihnen als Lebensraum für viele verschiedene Arten dabei zukommt.

1.1 Die Bedeutung von Waldökosystemen für das Klima und die Biodiversität

Durch Photosynthese fixieren terrestrische Ökosysteme große Mengen an CO₂: Global betrachtet werden durch diesen Prozess insgesamt 123 Mrd. t Kohlenstoff aus der Atmosphäre aufgenommen – das entspricht 450 Mrd. t CO₂, die so zu Biomasse umgesetzt werden. Hiervon nehmen allein tropische Ökosysteme wie Regenwälder und Savannen fast zwei Drittel auf (Beer et al. 2010). Dabei absorbieren sie auch etwa ein Viertel aller CO₂-Emissionen, die bei der Verbrennung von fossilen Stoffen und durch Abholzung entstehen. In einem Waldökosystem wird durchschnittlich mehr Kohlenstoff gebunden, als durch Atmungsprozesse von Pflanzen, Tieren, Pilzen und Bakterien wieder freigesetzt wird, weswegen sie als CO₂-Senken gelten (Canadell/Raupach 2008). Zwischen 1 und 1,7±0,5 Mrd. t Kohlenstoff werden so jedes Jahr festgelegt (die genaue Menge ist u.a. abhängig von der Erdregion und dem Alter des Waldes) (Lal 2008). Obwohl Wälder mit etwas mehr als 4 Mrd. ha lediglich 30% der Landfläche einnehmen, sind dennoch etwa 50% des gesamten Kohlenstoffvorrates der terrestrischen Biosphäre in ihrer Biomasse gespeichert. Laut FAO (2010) liegen die globalen Kohlenstoffvorräte von Wald-Ökosystemen bei etwa 652 Gt C.

Mit diesen Zahlen kann die Bedeutung von Wäldern für den Klimaschutz (zumindest annäherungsweise) beziffert werden – generell gelten sie als „das wichtigste Landökosystem im Hinblick auf den Klimawandel“ (vgl. Freibauer/Schulze 2004: 1). Dies liegt jedoch auch daran, dass sich diese enorme Senkenleistung umkehrt, wenn Waldökosysteme ge- oder zerstört werden (z.B. durch Rodung). Einstige Waldgebiete werden so zu CO₂-Quellen, die den Klimawandel beschleunigen: 13 Mio. ha Wald werden jährlich

weltweit gerodet oder degradiert, wodurch 17,4% der weltweiten Treibhausgasemissionen freigesetzt werden (Nabuurs et al. 2007, UNEP/FAO/UNFF 2009). Hauptsächlich geht dies auf Landnutzungsänderungen für die Bereitstellung von Fläche für die Landwirtschaft zurück, aber auch auf den Bau von Siedlungen und Infrastruktur. Geographisch schlägt sich die Entwaldungsproblematik v.a. in den walddreichen tropischen Ländern Südamerikas, Afrikas und Südost-Asiens nieder (Nabuurs et al. 2007). Darüber hinaus wirken sich auch Formen der Waldbewirtschaftung unterschiedlich auf die Menge an gebundenem Kohlenstoff aus: Während bspw. eine Übernutzung dazu führt, dass Wälder zu CO₂-Quellen werden, fördert die Verlängerung von Umtriebszeiten die Funktion des Waldes als CO₂-Senke (Weigel/Dämmgen 2005).

Wälder sind jedoch nicht nur der wichtigste Landökosystemtyp für das Klima, sondern durch ihre einzigartige Vielfalt an Lebensräumen auch für ein enormes Spektrum an Tier-, Pflanzenarten und Kleinstlebewesen: Mehr als 80% der Landlebewesen sind in den Wäldern der tropischen, subtropischen, gemäßigten und borealen Klimazone beheimatet (UNEP/FAO/UNFF 2009). Global betrachtet überschneiden sich dabei Waldregionen, die überdurchschnittlich viel CO₂ speichern, häufig mit sog. Hotspots der Biodiversität,¹ insbesondere in tropischen Wäldern (Herold et al. 2001). Interessanterweise kommt dabei eine hohe biologische Vielfalt auch einer verbesserten Widerstandsfähigkeit gegenüber Umweltveränderungen zugute. So zeigt sich, dass bei einer großen Vielfalt an Arten und Genotypen Gefährdungen wie Brände oder der Insektenbefall besser überstanden werden. Dies erleichtert wiederum die Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels und sichert die Funktion als Kohlenstoffsenke (Pistorius 2007, Loft/Schramm 2011a). Allerdings ist diese Vielfalt durch die fortwährende Entwaldung, Degradation und Fragmentierung von Waldgebieten erheblich bedroht. Nach Schätzungen der CBD (Convention on Biological Diversity) hat die Rodung von Wäldern im vergangenen Jahrhundert dazu beigetragen, dass die Artenvielfalt von Wäldern um mehr als 30% zurückgegangen ist. Dieser Artenschwund fand damit schneller statt als in jedem anderen Ökosystem (UNEP/FAO/UNFF 2009).

1.2 Klimaschutzmaßnahmen in Waldökosystemen – Synergien und Konflikte mit der Biodiversität

Maßnahmen zum Schutz von Wäldern vor Rodung und Degradation wie auch forstwirtschaftliche Praktiken, die zu einer höheren Senkenleistung führen (bspw. Aufforstung oder nachhaltiges Management), sind somit von herausragender Bedeutung für den Klimaschutz. Gleichzeitig ist der Erhalt von Wäldern auch ein wesentlicher Beitrag für den Schutz der Biodiversität und es besteht generell ein großes Potenzial für Synergien beider Bereiche. Aber dies ist nicht immer der Fall und so können bei der Umsetzung von waldbezogenen Klimaschutzmaßnahmen durchaus Zielkonflikte

¹ Diese Überschneidung von großer Artenvielfalt und hohem Kohlenstoffgehalt der Wälder kann von dieser globalen Perspektive allerdings nicht vorbehaltlos auf alle Waldökosysteme übertragen werden, lokal betrachtet kann aber auch der gegenteilige Fall eintreten (CSC o.A. a).

entstehen und negative Folgen für das weitere Ökosystem mit sich bringen. Wann dieser Fall eintreten kann, wird in den folgenden Abschnitten näher beleuchtet.

1.2.1 Walderhalt/Unterschutzstellung

Der Schutz von Wäldern vor Rodung verhindert, dass zusätzliches Kohlendioxid freigesetzt wird und trägt dazu bei, dass bereits emittiertes CO₂ in pflanzlicher Biomasse und als Bodenkohlenstoff gebunden bleibt. Vor allem in Primärwäldern sind große Mengen an Kohlenstoff gespeichert, weshalb ihr Erhalt besonders wichtig ist: So ist bspw. in tropischen Wäldern 25–50% mehr Kohlenstoff gebunden als in Sekundärwäldern oder Plantagen (Herold et al. 2001). Kurzfristig betrachtet, überwiegen die CO₂-Einsparungspotenziale, wenn Abholzung verlangsamt (oder besser: vermieden) wird gegenüber der Mitigation durch Aufforstungsmaßnahmen (Nabuurs et al. 2007). Darüber hinaus profitiert auch die Biodiversität am meisten: Insbesondere in tropischen Primärwäldern, die von menschlichem Einfluss verschont geblieben sind, ist eine wesentlich größere Vielfalt an Tieren und Pflanzen beheimatet, als in bewirtschafteten Wäldern (Gibson et al. 2011, Loft/Schramm 2011b). Aus Sicht des Klimaschutzes, wie auch im Hinblick auf die Biodiversität, ist daher die Unterschutzstellung von Wäldern durchaus begrüßenswert und zielführend.

Jedoch kann bei Projekten zum Walderhalt das Risiko bestehen, dass die Nutzung des Waldes nicht generell aufgehoben, sondern vielmehr verlagert wird. Wird Wald stattdessen an anderer Stelle gerodet, bedroht dies die dortige Tier- und Pflanzenwelt (direkter Verlagerungseffekt). Werden anstelle von Waldflächen andere Flächen (bspw. Savanne) für landwirtschaftliche Zwecke o.ä. genutzt, führt dies zu einem indirekten Verlagerungseffekt (Pistorius 2009). Das Problem von Verlagerungseffekten stellt sich nicht einzig und allein bei Projekten zum Walderhalt, sondern tritt auch bei anderen Klimaschutzmaßnahmen zutage (siehe Kapitel 4). Allerdings scheint die Unterschutzstellung von Wald (bzw. die Aufforstung) eine Nutzungsverlagerung besonders zu fördern, weil die bewaldete Fläche nicht anderweitig genutzt werden kann (Loft/Schramm 2011b). Auch zeigt sich in den Diskussionen über Maßnahmen zum Walderhalt für die Schaffung von CO₂-Senken sehr deutlich, dass eine Fokussierung auf den Wald in seiner Klimaschutzfunktion zu der Vernachlässigung weiterer wichtiger Aspekte führen kann. Auf die unterschiedlichen Standpunkte und die Bedeutung für den Schutz des Klimas und der Biodiversität wird anhand des Beispiels REDD in Kasten 1 näher eingegangen.

Kasten 1: REDD

Ein in Politik, Wissenschaft und Nicht-Regierungsorganisationen (v.a. Naturschutzorganisationen, Organisationen indigener Völker und anderer traditioneller Gruppen) viel diskutierter Mechanismus der internationalen Klimaschutzpolitik ist REDD (*Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation*). REDD zielt darauf ab, die großen Mengen an Treibhausgasen, die durch die Rodung und Degradation von Wäldern emittiert werden, durch die Schaffung von finanziellen Anreizen zu reduzieren: Entwicklungsländer sollen für den Schutz oder die schonende Nutzung von Waldflächen vergütet werden (CSC 2014). Obwohl der Schutz stehender Wälder schon in den Verhandlungen zur Klimarahmenkonvention heftig diskutiert wurde (Loft 2009), kam REDD erstmals auf dem 11. Weltklimagipfel (2005) auf und wurde im Jahr 2007 um die Zusätze Erhalt von Kohlenstoffbeständen in Wäldern, Erhöhung von Kohlenstoffbeständen in Wäldern sowie nachhaltige Waldbewirtschaftung erweitert (REDD+).

REDD ist mittlerweile als eine wichtige Maßnahme gegen den Klimawandel anerkannt (Schmidt 2009). Abgesehen von dem Beitrag, den REDD für den Schutz des Klimas leisten kann, werden von Befürwortern häufig auch sog. Co-Benefits für die Biodiversität und Bekämpfung der Armut betont (bspw. Miles 2007). So können durch den Erhalt von Wäldern und der Erhöhung von Kohlenstoffbeständen Waldgebiete vor Rodung geschützt werden, noch bevor es zu einem Eingriff kommt und das Ökosystem somit in seinem Ursprungszustand intakt bleibt. Auf- und Wiederaufforstungsmaßnahmen wirken förderlich auf die Biodiversität, wenn Habitate neu geschaffen oder wiederhergestellt und Waldgebiete durch Korridore miteinander verbunden und so Wanderbewegungen von Arten zugelassen werden (CSC o.A. b). Einige traditionelle Bevölkerungsgruppen befürworten REDD, da der Mechanismus dazu beiträgt, die Lebensgrundlage von Bevölkerungsgruppen zu wahren, die in Urwäldern beheimatet sind (Fatheuer 2008).

Allerdings gibt es vonseiten der Wissenschaft, NGOs und Naturschutzorganisationen auch vorsichtigere Stimmen bezüglich dieser Effekte, die über den Klimaschutz hinausgehen: Einige Naturschutzverbände kritisieren, dass die Entwaldung durch REDD nur verlangsamt, nicht aber aufgehalten werde und nördliche Industrieländer bei gleichbleibenden Verhalten einen „Off-Setting-Mechanismus“ für die Erreichung von Klimazielen finden könnten (Fatheuer 2008). Zudem können aus dem Fokus auf den Wald als Kohlenstoffsенке unbeabsichtigte Nachteile entstehen: Zwar zeigt sich auf globaler Ebene ein Zusammenhang zwischen dem Kohlenstoffgehalt des Waldökosystems und der Biodiversität, lokal betrachtet trifft dies aber nicht immer zu. Erfolgt die Wahl der zu schützenden Waldgebiete basierend auf der Kohlenstoffspeicherkapazität, kann es daher zu einer Verlagerung der Gefährdung für die Biodiversität kommen, wenn stattdessen Wälder gerodet werden, die zwar weniger Kohlenstoff einlagern, dafür aber eine größere biologische Vielfalt aufweisen. Häufig liegen gerade die am meisten gefährdeten Waldtypen in Bereichen, in denen es relativ teuer ist, Schutzgebiete zu errichten und in denen die Wälder weniger Biomasse (und damit eine geringere Kohlenstoffspeicherkapazität) als in anderen Regionen aufweisen (Herold et al. 2001, Weigel/Dämmgen 2005, Miles/Kapos 2008). Kritik wurde auch dahingehend geäußert, dass der Schutz des Waldes (und damit ein Nutzungsverbot) deutliche Nachteile und eine Einschränkung der Rechte indigener Gruppen bedeuten kann (Schmidt 2009, Miles/Kapos 2008).

Um negative soziale und ökologische Auswirkungen von REDD+ zu verhindern, und somit Gefahren für die Biodiversität und die Rechte indigener Gruppen bei der Implementierung von REDD+ zu vermeiden, wurden auf der 16. Vertragsstaatenkonferenz zur UN-Klimarahmenkonvention (UNFCCC) im Jahr 2010 in Cancun, Mexiko, die *Safeguards* eingeführt (UNFCCC Decision 1/CP.16, Anhang I, Absatz 2) (siehe Loft 2010).

Generell hat REDD+, wenn es strukturiert eingeführt wird und Biodiversität einen integralen Bestandteil darstellt, ein großes Synergiepotenzial zwischen dem Schutz des Klimas und der Biodiversität (CSC o.A. b).

Zusammenfassende Darstellung positiver und negativer Auswirkungen auf die Biodiversität:

+	Walderhalt (insbesondere von Primärwäldern) wirkt sich immer positiv auf die Biodiversität aus, da Lebensräume erhalten bleiben.
—	Fokus auf Schaffung von CO ₂ -Senken: Gefahr der Vernachlässigung von Biodiversitätsschutzaspekten bei der Auswahl der zu schützenden Waldgebiete; Unterschützstellung kann direkte und indirekte Verlagerungseffekte mit sich bringen und die Biodiversität an anderen Orten beeinträchtigen; ggf. illegaler Holzeinschlag, wenn einstige Nutzer des Waldes keine Alternative finden, bzw. nicht kompensiert werden

1.2.2 Aufforstung

Aufforstungsmaßnahmen² gelten als sehr günstige Klimaschutzmaßnahme und wirken auf unterschiedlichen Ebenen. So kann einerseits das Regional- und Lokalklima beeinflusst werden (bspw. durch eine leichte Senkung der durchschnittlichen Sommertemperaturen und eine leichte Niederschlagszunahme) und zu einer Minderung der lokalen Auswirkungen des Klimawandels beitragen. Darüber hinaus werden allerdings v.a. dadurch, dass mehr (junge) Bäume wachsen, der Atmosphäre große Mengen an CO₂ entzogen und in Biomasse festgelegt. Wie groß diese Menge ist, ist dabei entscheidend von der Bewirtschaftungsform, der Dauer der Umtriebszeiten, dem Alter der Bäume, dem lokalen Klima und den Bodenverhältnissen abhängig (Freibauer/Schulze 2004).

Aufforstungen finden zunehmend auch für die Gewinnung von Holz als erneuerbarem Energieträger statt: Holz hat bei der energetischen Verwertung von Biomasse den größten Anteil und zeichnet sich im Vergleich zu anderen Bioenergiequellen durch eine höhere Effizienz in der Wärmeerzeugung aus – somit verfügt es über ein Treibhausgasminderungspotenzial (Hickler et al. 2012). Während bislang vorwiegend Holzabfälle, Rest- und Altholz als Energieträger zum Einsatz kamen, wird die Nachfrage jedoch weiter steigen und kann nicht mehr durch Holzentnahme aus bestehenden Wäldern gedeckt werden. Als Alternative wird zunehmend die Anlage von Kurzumtriebsplantagen (KUP) mit schnellwüchsigen Gehölzen (vorwiegend Pappel und Weide) auf existierenden landwirtschaftlich genutzten Flächen diskutiert, die bislang aber nur einen geringen Anteil an der landwirtschaftlichen Fläche haben (BfN 2012).

² Aufforstungsmaßnahmen werden danach unterschieden, ob die aufzuforstende Fläche zuvor einer anderen Nutzung unterlag (Erstaufforstung), oder bereits vorher bewaldet war (Wiederaufforstung).

Mit Blick auf die Auswirkungen von Aufforstungen auf die Biodiversität sind die Standortwahl (inklusive möglichem Schutzstatus), die Grundwasserversorgung (v.a. bei wasserintensiven Kulturen) und die Vornutzung der Fläche entscheidende Kriterien. Aufforstungen wirken sich v.a. dann positiv auf die Biodiversität aus, wenn sie artenarme Bewuchsformen ersetzen (Loft 2009). Dies ist bspw. dann der Fall, wenn degradiertes Weideland oder intensiv genutzte landwirtschaftliche Fläche wie Äcker für die Anlage von Kurzumtriebsplantagen aufgeforstet werden: Die Etablierung von extensiven Dauerkulturen auf zuvor intensiv genutzten Ackerflächen führt zu einem geringeren Einsatz an Pflanzenschutz- und Düngemitteln und zu längeren Phasen der Bodenruhe (Hickler et al. 2012). Hierdurch verringern sich die Erosion und die Nährstoffauswaschung, während der Bodenumusgehalt zunimmt. Gleichzeitig ist ein reduzierter Pflanzenschutz- und Düngemiteinsatz sowohl für die Qualität des Grundwassers als auch für die Bodengesundheit förderlich und für die davon abhängigen Organismen (Herold et al. 2001). Auch wenn Aufforstungen als Lebensraum keinen adäquaten Ersatz für natürliche Wälder oder Hecken darstellen, kann sich durch die deutlich geringere Bewirtschaftungsintensität die biologische Vielfalt im Vergleich zu intensiv genutztem Ackerland erhöhen (Hickler et al. 2012). Hierzu tragen eine geeignete Wahl des Pflanzguts (Vermeidung invasiver Arten, Einsatz unterschiedlicher Baumarten), Anpassungen sowohl der Anbaustruktur (Reihenabstände, Struktur innerhalb der Plantage) als auch der Umtriebszeiten und der Erntemethoden maßgeblich bei. Vor allem die Anlage von staudenreichen Saumstreifen und Randstreifen mit Hecken schaffen Lebensräume und bieten Nahrungsquellen (BfN 2012). Darüber hinaus können aufgeforstete Gebiete Lebensraumfragmente miteinander in Verbindung setzen und Wanderkorridore schaffen. Solche Wanderkorridore können bspw. auch durch Agroforstsysteme gestaltet werden, die landwirtschaftliche Nutzfläche mit der Anpflanzung von Bäumen kombiniert (Kasten 2).

Allerdings sind Aufforstungen nicht per se frei von jeder Kritik: So kann sich Widerstand formieren, wenn andere Nutzungsansprüche an die betreffende Fläche gestellt werden (bspw. als Bauland, für Infrastruktur oder Landwirtschaft). Wie auch bei der Unterschutzstellung von Wald, besteht in diesem Fall das Risiko von Verlagerungseffekten (Pistorius 2009). Negative Effekte für die Biodiversität sind v.a. dann zu erwarten, wenn Aufforstungen natürliche Ökosysteme (bspw. natürliche Wälder oder Grünland) ersetzen.³ Da es sich vorwiegend um Monokulturen handelt, wird der Lebens-

³ Insbesondere die Ausdehnung industrieller Plantagen ist in vielen tropischen Ländern eine bedeutende Ursache für den Verlust von Naturwäldern und der in ihnen beheimateten Arten. Ein Beispiel für ein in der breiten Öffentlichkeit sehr intensiv diskutiertes Thema ist die Anlage von Palmölplantagen auf Regenwaldflächen, die für diesen Zweck gerodet wurden. Vorwiegend in südostasiatischen Ländern (v.a. Malaysia und Indonesien) werden jedes Jahr enorme Flächen entwaldet. Hierdurch werden nicht nur die in diesen Wäldern festgelegten Kohlenstoffvorräte freigesetzt, womit sie von einer CO₂-Senke zu einer CO₂-Quelle werden. Auch die hier vorkommende außerordentliche Biodiversität wird zerstört – ein Sinnbild ist der Orang-Utan, der durch die massive Eingrenzung seines Lebensraumes stark bedroht ist. Der spezifische Fall von Palmölplantagen wird allerdings weithin nicht als Klimaschutzmaßnahme diskutiert (obwohl Palmöl neben seinem äußerst breiten Anwendungsbereich in der Nahrungsmittelindustrie und im Haushalt auch als Biodiesel zum Einsatz

raum stark vereinheitlicht und verfügt nur noch über eine deutlich geringere Begleitflora und -fauna. Selbst wenn Grünland für Aufforstungen nicht umgebrochen wird, so entfällt es doch als wichtiger Lebensraum bspw. für einige Feldvogel- und Bodenbrüterarten (BfN 2012). Umweltverbände kritisieren zudem, dass durch das Ziel der Maximierung der Kohlenstofffestlegung die Wahl der Bäume bei Aufforstungen häufig auf schnellwachsende Arten fällt, die oftmals nicht heimisch sind und invasiv wirken können (siehe Abschnitt 1.2.3) (Pistorius 2010). Darüber hinaus ist auch die Art und Weise der Bewirtschaftung der aufgeforsteten Fläche ein wichtiger Aspekt: Bspw. können kurze Rotationen und intensive Erntetechniken zu drastischen Nährstoffverlusten und damit einer erheblichen Verschlechterung des Bodens führen (Herold et al. 2001, Vohland et al. 2012).

An dieser Stelle sei als Beispiel das weltweit größte Aufforstungsprojekt in China erwähnt (*The Three-North Shelterbelt Development Program*, „Chinas Grüne Mauer“), das 1978 initiiert wurde und bis 2050 anhalten wird. Ziel dieser Aufforstungskampagne ist es, die zunehmende Desertifikation (ausgehend von der Wüste Gobi) aufzuhalten, durch die Erosion und starke Sandstürme verursacht werden. Hierdurch werden sowohl die landwirtschaftlich genutzten Flächen als auch Siedlungsgebiete bedroht: Starke Sandstürme, die bis über die Landesgrenzen hinausreichen, sorgen neben Sandablagerungen für erhöhte Temperaturen und rufen Atemprobleme hervor. Insgesamt sieht das Projekt vor, eine Fläche von 35 Mio. ha (4.500 km Länge) mit Bäumen zu bepflanzen. Nach massiven Problemen durch Schädlingsbefall erfolgte die Abkehr der Aufforstung mit Monokulturen (FAO o.A.).

Zusammenfassende Darstellung positiver und negativer Auswirkungen auf die Biodiversität:

+	Maßnahmen werden auf verödetem Weide- oder Ackerland durchgeführt und schaffen damit Lebensräume, bzw. setzen als Korridor Lebensräume miteinander in Verbindung; für die Aufforstung werden heimische Gehölze genutzt, strukturreich angepflanzt und bieten somit Lebensraum; ein reduzierter Einsatz von Pflanzenschutz- und Düngemitteln trägt zu einer Entlastung des Ökosystems bei.
—	Für die Maßnahme werden natürliche Ökosysteme zerstört, wodurch einst artenreiche Flächen verloren gehen, oder es durch die Aufforstung zu Verlagerungseffekten kommt; die Fokussierung auf maximale Kohlenstofffixierung bei der Baumartenwahl lässt Biodiversitätsaspekte außer Acht; der Anbau erfolgt in Monokultur, andere Vegetation wird entfernt; kurze Rotationen und intensive Bewirtschaftungsweisen belasten den Boden und das weitere Ökosystem.

kommt). Es handelt sich zwar im eigentlichen Sinne um eine Aufforstung, aber nicht unter der Prämisse des Klimaschutzes, weswegen an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen wird.

1.2.3 Waldbewirtschaftung

Einige forstwirtschaftliche Maßnahmen können zwar positive Effekte auf die CO₂-Festlegung in der Biomasse haben, sich darüber hinaus aber negativ auf die Biodiversität auswirken. Im Umkehrschluss gibt es ebenso Möglichkeiten der Bewirtschaftung, die förderlich für beide Bereiche sind: So können bspw. durch die Wahl geeigneter Baumarten und Produktionszeiten, die Altersdurchmischung des Bestands, vertikaler und horizontaler Strukturvielfalt, der Bestandsdichte oder der Berücksichtigung des Waldbinnenklimas (Hickler et al. 2012) Synergien maßgeblich gefördert werden. Die einzelnen Waldbewirtschaftungsmaßnahmen werden im folgenden Abschnitt näher erläutert.

- **Bodenbearbeitung und Ernteverfahren**

Sowohl bei der Ernte von Altbäumen als auch bei der Anpflanzung von Jungbäumen (bspw. für Aufforstungen) werden Treibhausgase gebildet. Dies liegt an der häufigen Bearbeitung des Bodens, der mit Pflügen umgebrochen wird, wodurch sich die Atmungsaktivität von Bodenorganismen erhöht und organischer Bodenkohlenstoff freigesetzt wird. Aber auch der Einsatz schwerer Maschinen, die zu einer Verdichtung des Untergrunds führen und einen hohen Kraftstoffverbrauch haben, tragen dazu bei (Loft/Schramm 2011b). Je weniger der Boden bearbeitet wird, desto weniger Treibhausgase werden daher emittiert. Mit Blick auf den Klimaschutz werden daher schonende Erntemethoden (z.B. Einzelstammnutzung statt Kahlschlag-Techniken, behutsame Erschließungs- und Bringungsmethoden, insbesondere auf verdichtungssensiblen Standorten) und verlängerte Umtriebszeiten empfohlen. Diese erweisen sich zudem förderlich für die Biodiversität, da die im Waldökosystem beheimateten Tiere, Pflanzen und Bodenlebensgemeinschaften weniger gestört werden (Marshall 2000). In Anbetracht längerer Umtriebszeiten stellt sich allerdings wiederum die Frage nach Verlagerungseffekten: Eine lange Zeitspanne zwischen Bestandsbegründung und Ernte kann dazu führen, dass die Nachfrage aus Entwicklungsländern bedient wird (oftmals aus nicht nachhaltiger Holzwirtschaft). In Abhängigkeit der dortigen Bewirtschaftungsmethoden hat dies Auswirkungen auf das Klima sowie die Biodiversität vor Ort (Herold et al. 2001).

- **Totholz**

Totholz ist durch seine vielfältigen Funktionen ein elementarer Bestandteil des Ökosystems Wald, dem jedoch vergleichsweise wenig Beachtung zuteil wird. Einerseits ist es eine bedeutende Komponente im Kohlenstoffkreislauf: In toter Wald-Biomasse sind 10% des gesamten Kohlenstoffs gespeichert, womit sie (ebenso wie lebende Bäume) eine wichtige CO₂-Senke ist (Herrmann/Bauhus 2007). Andererseits wird auch das Lokalklima durch das Vorkommen von Totholz positiv beeinflusst, da aufgrund von höheren Wassereinlagerungen Temperaturextreme im Ökosystem abgemildert werden können. So ist es sowohl als CO₂-Senke für den Klimaschutz von Bedeutung als auch durch die Beeinflussung des Lokalklimas als Anpassungsmaßnahme. Ersteres gilt allerdings nur, solange kein Substitutionseffekt eintritt (d.h., anstatt von Totholz werden energieintensivere Bau- oder Werkstoffe genutzt) (Hickler et al. 2012).

Abgestorbene Bäume und deren Teile sind zudem bedeutsam für den Energie- und Nährstoffkreislauf und aus Sicht des Biodiversitätsschutzes von großem Interesse: Sie bieten insbesondere Käfern, Pilzen, Flechten, Moosen, Wirbellosen aber auch Vögeln eine wichtige Nahrungsgrundlage und Lebensraum – damit sind sie für rund ein Fünftel der Tierwelt hiesiger Wälder überlebenswichtig (Herrmann/Bauhus 2007, Bütler 2005). So hängen bspw. über die Hälfte der Käferarten in deutschen Wäldern von dem Vorhandensein von Totholz ab, davon viele Arten der Roten Liste (Köhler 2000, zit. in Herrmann/Bauhus 2007). Damit die abgestorbenen Baumteile ihre Habitatfunktion erfüllen können, wird von naturschutzfachlicher Seite neben dem Vorhandensein einer ausreichend großen Menge an Totholz auch auf einige strukturelle Aspekte hingewiesen. Dies betrifft etwa die Verteilung von Totholzinseln (Vermeidung zu großer Entfernungen zwischen den Inseln, die für einige Insektenarten unüberbrückbare Distanzen darstellen könnten) und das Vorhandensein unterschiedlicher Zersetzungsgrade (Schaffung einer größeren Mikrohabitatsvielfalt für ein breiteres Spektrum an Insekten, Pilzen etc.) (Bütler 2005, Jedicke 2008, Herrmann/Bauhus 2007). Aufgrund der vielfältigen Leistungen gilt Totholz aus Sicht des Naturschutzes als Schlüssелеlement und wurde auf der Ministerkonferenz zum Schutz der Wälder in Europa (2003) als Indikator für eine ökologische, nachhaltige Forstwirtschaft aufgenommen (Hickler et al. 2012).

Bislang ist die Totholzmenge in Wirtschaftswäldern sehr gering: Zwar wurde zwischen 2002 und 2008 ein Zuwachs in deutschen Wäldern verzeichnet, allerdings reicht die Menge für die meisten hiervon abhängigen Arten dennoch noch nicht aus (Hickler et al. 2012). Der ökologischen Relevanz von Totholz kam in Wirtschaftswäldern lange Zeit wenig Beachtung zu und bis in die 1990er Jahre wurden abgestorbene Bäume und Baumteile im Rahmen einer „sauberen Wirtschaft“ rasch aus den Wäldern gebracht. Während in Naturwäldern abgestorbene Bäume bis zu 40% des Gesamtholzvorrats ausmachen, liegt ihr Anteil in europäischen Wirtschaftswäldern unter 5% (Herrmann/Bauhus 2007). Bütler (2005) berichtet zwar von der Tendenz einer Abkehr dieser Praxis und einer zunehmenden Anerkennung der Bedeutung, die Totholz für die Biodiversität hat (bspw. sind Totholzeempfehlungen Bestandteil der Biodiversitätsstrategie der Bundesregierung). Jedoch werden in Abhängigkeit der Nutzungsansprüche auch konträre Ansichten geäußert: So sehen bspw. der Verband der Waldbesitzer und der Bayrische Bauernverband in der teilweisen Nutzungsaufgabe neben einem Eingriff in Eigentumsrechte auch die Gefahr der Schaffung von Brutstätten für Schädlinge und Krankheiten (Bayrischer Bauernverband 2013). Wirtschaftliche Interessen der Waldnutzung stehen damit in deutlichem Konflikt zu den Interessen des Naturschutzes.

Zwar ist die Senkenkapazität von einzelnen Totholzinseln in Wirtschaftswäldern geringer im Vergleich zu großflächigen Aufforstungen oder der Unterschutzstellung von Naturwäldern, dennoch ist die Menge des in abgestorbenen Baumteilen gespeicherten CO₂ nicht zu unterschätzen und für die Biodiversität stellt die Totholzanreicherung „eine der bedeutendsten Maßnahmen im temperaten Wald Mitteleuropas“ dar (vgl. Hickler et al. 2012: 188).

- **Baumartenwahl**

Werden bei Neuanpflanzungen Baumarten mit schnellen Zuwachsraten gewählt, kann dies durch die größere Menge an fixiertem CO₂ einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Liegt der Fokus bei Aufforstungen jedoch ausschließlich auf der Wachstumsleistung, führt dies leicht zu einer Bestandshomogenisierung. In diesem Zusammenhang wird vonseiten der Wissenschaft und Naturschutzverbänden auch auf die Gefahren des Invasionspotenzials einiger fremdländischer, schnellwachsender Baumarten hingewiesen: Manche Arten finden hier optimale Wachstumsbedingungen vor, so dass sie die hiesige Vegetation verdrängen und sich z.T. unkontrollierbar ausbreiten können. Weitere Probleme ergeben sich dadurch, dass sie der Tierwelt oftmals nur wenig Nahrung und Lebensraum bieten oder giftig sind (Hickler et al. 2012). Baumarten, die aufgrund ihrer guten Wüchsigkeit aus wirtschaftlichem Interesse vermehrt angepflanzt werden, sich aber teilweise spontan verbreiten und invasiv wirken, sind bspw. die amerikanische Robinie, die Douglasie, die Küsten-Tanne, die japanische Lärche und die Rot-Eiche. Der Zielkonflikt zwischen wirtschaftlichem und naturschutzfachlichem Interesse soll kurz am Beispiel der Robinie verbildlicht werden. Die ursprünglich aus den USA eingeführte Art wird in einigen Regionen wegen ihrer sehr hohen Holzproduktionsleistung in Plantagen angepflanzt. Durch ihre Wuchsleistung, die die heimischer Bäume z.T. deutlich überschreitet, legt sie viel CO₂ in ihrer Biomasse fest – und wirkt damit positiv auf das Klima. Zudem hat das Holz sehr gute technische Eigenschaften (es ist biegsam, fest und hart), womit es sich auch für langlebige Produkte eignet und eine Alternative zu Tropenholz darstellt. Aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist die Robinie daher von großem Interesse, auch da sie selbst auf marginalen Standorten wächst und vergleichsweise geringe Ansprüche an ihre Umgebung stellt (Mühlethaler 2010). Allerdings handelt es sich um eine Art, die lokale oder regionale Naturschutzkonflikte auslöst (Kowarik 2002). Der als stark giftig eingestufte Neophyt wirkt in warm-trockenen Lagen invasiv und verdrängt durch das schnelle Wachstum, die lange Keimfähigkeit der Samen und die verstärkte Ausbildung von Wurzelsprossen die einheimische Vegetation. Da die Robinie eine stickstofffixierende Art ist, kann es durch den Düngeeffekt v.a. bei seltenen Biotoptypen wie Magerrasenarten zu einer Veränderung der Vegetationszusammensetzung kommen (Kowarik 2002, Mühlethaler 2010). Anders als in ihrem Herkunftsgebiet, wurde hierzulande keine natürliche Ablösung der Robinie durch andere Arten (Sukzession) beobachtet. In Anbetracht der Auswirkungen auf die Biodiversität werden Bekämpfungsmaßnahmen aus Naturschutzmotiven diskutiert, stellen jedoch aufgrund der starken Wüchsigkeit und Wiederkehr des Baums eine Herausforderung dar (Mühlethaler 2010).

Eine an den Standort angepasste Wahl der Baumart ist daher bei Aufforstungen von entscheidender Bedeutung, um Zielkonflikte zwischen dem Klima- und dem Biodiversitätsschutz zu vermeiden. Bei entsprechender Auswahl bietet sich dabei die Möglichkeit, Synergien zu schaffen: Kommen robuste Arten zum Einsatz, kann bspw. der Wald an veränderte Klimabedingungen angepasst und seine Widerstandsfähigkeit gegenüber Schädlingen erhöht werden (Hickler et al. 2012). Dabei wird die Flexibili-

tät eines Waldes, auf Störungen zu reagieren, durch eine große Strukturvielfalt erhöht (bspw. durch unterschiedliche Arten, Entwicklungsstufen, Wuchshöhen) (NABU 2012). Gleichzeitig kann durch die Berücksichtigung der Ursprungsregion und der Dominanz einer Art die Gefahr der Invasion verringert werden.

- **Maßnahmen zum Schutz gegen Krankheiten und Schädlinge**

Der Klimawandel wirkt sich auf das gesamte Waldökosystem aus: Während Bäume durch die zunehmend extremen Witterungsereignisse (wie die Hitzeperiode des Sommers 2003 oder die Sturmschäden, hervorgerufen durch den Orkan Lothar im Jahr 1999) an Vitalität verlieren und anfälliger für Schadinsekten und Erreger gefährlicher Pilzkrankheiten werden, profitieren viele Schädlinge von diesen veränderten Bedingungen (DBU 2009, Petercord et al. 2009). Schadinsekten und Pilze passen sich schnell an klimatische Veränderungen an – deutlich schneller als Bäumen dies möglich ist. Durch verlängerte Vegetationszeiten können sich mehr Generationen (bspw. des Borkenkäfers) innerhalb eines Jahres ausbilden, folglich erhöht sich der Druck in der Vegetationsperiode. Zudem wird ihre Entwicklung durch die höheren Temperaturen beschleunigt, die Mortalität in der Winterperiode verringert sich und neue Lebensräume können besiedelt werden (Hickler et al. 2012).

Im Jahr 2011 wurden gut 6% des Waldes der EU-27 nach UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) und FAO (Food and Agriculture Organization) als geschädigt eingestuft, wobei der Einfluss von Insekten und Krankheiten betont wird (Köhl/San-Miguel-Ayanz 2011). Anpassungsmaßnahmen an diese Herausforderungen sind daher von hoher Relevanz für die Waldwirtschaft. In deutschen Wäldern zielt der sog. Integrierte Waldschutz, der durch das Pflanzenschutzgesetz des Bundes und auf Bundesländer-Ebene durch Landeswaldgesetze gesetzlich vorgeschrieben ist, auf vorwiegend präventive Maßnahmen ab: Durch waldbaulich-biologische, biotechnische, mechanische und chemische Herangehensweisen sollen die Population von Schadinsekten auf einem niedrigen Level gehalten werden, wobei die Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel (Pestizide) auf ein Minimum reduziert und nur dann erfolgen soll, wenn keine praktikablen Alternativen möglich sind (FVA 2014). Der Integrierte Waldschutz betont auch die Bedeutung von Nutzorganismen (z.B. Vögel, Fledermäuse oder Ameisen) und nennt hier auch die Möglichkeit der Anlage von Totholzinseln. Kommen allerdings Insektizide gegen Schädlinge wie den Borkenkäfer oder Maikäfer zum Einsatz, handelt es sich meist um Mittel mit einem breiten Wirkungsspektrum (Herold et al. 2001, Schröter 2002). Insbesondere Naturschutzverbände kritisieren die Bekämpfung von Schädlingen mit Pestiziden aufgrund dieser breiten Wirkung und den Effekten, die sie über die Zielorganismen hinaus auf andere Arten wie bspw. Honigbienen, Hummeln und Schmetterlinge, seltene Wildbienenarten, Fliegen und Schwebfliegen haben. Zudem wird die Nutzung des Waldes durch Waldbesucher beeinträchtigt (Gesundheitsgefahr durch Pestizide, bspw. beim Sammeln von Wildkräutern und Beeren) (BUND 2010).

Generell gelten strukturreiche Mischwälder als robuster im Vergleich zu Monokulturen und sind weniger von Insektenkalamitäten betroffen, da das Fraßspektrum be-

stimmter Insekten (wie bspw. dem Borkenkäfer, der nur Nadelbäume befällt) geringer ist. Es besteht indes weiterer Forschungsbedarf sowohl zu den Auswirkungen des Klimawandels auf Schadorganismen als auch zu ihrer Verbreitung und Lebensweise (Hickler et al. 2012, Petercord et al. 2008).

Zusammenfassende Darstellung positiver und negativer Auswirkungen auf die Biodiversität:

+	Biodiversität profitiert bei schonenden Erntemethoden und verlängerten Umtriebszeiten (geringe Bodenbearbeitung); Erhalt von Totholz und Totholzinseln schaffen Habitate und liefern Nahrung; hohe Strukturvielfalt (unterschiedliche Arten, Altersstufen, Wuchshöhen) bietet mehr Lebensräume.
—	Nachteile bei Bestandshomogenisierung ohne Strukturvielfalt; Anpflanzung nicht heimischer Baumarten mit Ausbreitungs- und Verdrängungspotenzial); Einsatz von Pflanzenschutzmitteln als Anpassungsmaßnahme bei zunehmendem Schädlingsbefall; intensive Bewirtschaftungsmethoden (Einsatz schwerer Maschinen; häufige Bodenstörung bei kurzen Umtriebszeiten; großflächiger Kahlschlag in Gebieten, in denen sonst keine umfangreichen Störungen vorkommen)

1.3 Fazit

Der Wald hat eine Schlüsselrolle im Hinblick auf den Klimaschutz. Als eine der größten Kohlenstoffsenken speichern Waldökosysteme enorme Mengen des Treibhausgases CO₂ – der Erhalt dieser Senkenfunktion (u.a. durch Unterschützstellung), wie auch die Entwicklung der Speicherfähigkeit (etwa durch Aufforstung) ist daher aus Klimaschutzgründen von herausragender Bedeutung. Es muss allerdings berücksichtigt werden, dass in Anbetracht der großen Mengen an Treibhausgasemissionen Wälder nur in begrenztem Maße zu einer Minderung des Klimawandels beitragen können. Anpassungsmaßnahmen an die Auswirkungen des Klimawandels sind daher von ebenso großer Wichtigkeit. Nicht allein deswegen ist der Erhalt der Biodiversität entscheidend: Durch die individuelle Reaktion unterschiedlicher Arten auf Veränderungen der Umgebungsbedingungen steigt die Widerstandsfähigkeit des Waldökosystems. Vor allem strukturreiche, biodiverse Mischwälder, in denen Bäume in verschiedenen Entwicklungsstadien vorkommen, streuen bzw. verringern das Risiko, das sich durch den Klimawandel für den Wald ergibt. Für die Biodiversität ist hierbei v.a. die Art und Weise der Bewirtschaftung entscheidend. Die in diesem Kapitel vorgestellten forstwirtschaftlichen Maßnahmen, die auf den Schutz des Klimas bzw. die Anpassung an den Klimawandel abzielen, wirken dabei unterschiedlich auf die Biodiversität, und es sind insbesondere schonende Bearbeitungsmethoden (lange Umtriebszeiten, reduzierte Bodenbearbeitung, Wahl des Zeitpunkts der Waldarbeiten), die Erhöhung der Strukturvielfalt (Altersdurchmischung des Bestands, vertikale und horizontale Strukturvielfalt, Bestandsdichte, Waldbinnenklima) und die Anpflanzung angepasster, nicht invasiver Arten, die ein großes Synergiepotenzial haben. Aufforstungen auf

degradiertem Land können dazu beitragen, dass Habitats wieder hergestellt und miteinander vernetzt werden. Zielkonflikte treten indes v.a. dann zutage, wenn durch die Fokussierung auf die CO₂-Speicherfähigkeit von bestimmten Baumarten Biodiversitätsaspekte außer Acht gelassen werden und stattdessen besonders produktive Arten gefördert werden. Eine intensive Waldbewirtschaftung mit häufigen Eingriffen und dem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln wirkt sich generell negativ aus. Nicht zuletzt muss auch berücksichtigt werden, dass es zu Verlagerungseffekten kommen kann, wenn Naturwälder unter Schutz gestellt oder Umtriebszeiten verlängert werden.

Kasten 2: Agroforstwirtschaft

Die Agroforstwirtschaft ist eine lokal angepasste, traditionelle Form der Landnutzung, bei der Land- und Forstwirtschaft auf derselben Fläche miteinander kombiniert werden: Hierfür werden mehrjährige, verholzende Pflanzen (Bäume, Sträucher) gemeinsam mit einjährigen landwirtschaftlichen Nutzpflanzen oder Grünland angepflanzt (Bender et al. 2009). Da durch das Wachstum der Bäume der Atmosphäre mehr CO₂ entzogen wird als im flächenhaften Anbau von Feldfrüchten, kann diese Form der Bewirtschaftung sowohl einen Beitrag zum Klimaschutz leisten, als auch durch die hohe Strukturvielfalt als Anpassungsmaßnahme gesehen werden (Verchot et al. 2007).

Agroforstwirtschaft ist heute vorwiegend in den Tropen anzutreffen; ihr Spektrum reicht von einfachen Zwei-Arten-Systemen (bspw. die Kombination einer Getreideart mit einer schnellwachsenden Hülsenfruchtbaumart) bis hin zu großflächigen Landschaftssystemen mit bis zu 300 Arten. In Europa fallen klassische kulturlandschaftliche Anbauweisen darunter (in Deutschland bspw. in Form von Streuobstwiesen und -äckern oder der Dehesa in Spanien, bei der der Anbau von Korkweide, Weide und Acker kombiniert wird) (Reisner et al. 2007). Vor dem Hintergrund der steigenden Nachfrage nach Holz für stoffliche und energetische Zwecke liegt der Fokus zunehmend auch auf Alley-Cropping Systemen (Baum- oder Buschreihen in Kombination mit Feldfrüchten).

Der positive Nutzen von Agroforstsystemen ergibt sich durch eine sinnvolle Auswahl sich ergänzender Pflanzen (Baumarten und deren Wurzelsysteme, Lichtdurchlässigkeit der Krone, Zersetzung der Blattstreu etc. abgestimmt auf die Eigenschaften und Bedürfnisse der landwirtschaftlichen Nutzpflanzen) sowie deren gezielte räumliche und zeitliche Anordnung. Die Fläche ist besser vor Erosion und Wind geschützt, der Boden trocknet weniger aus und zeichnet sich durch eine höhere Infiltration und Humusbildung aus, was eine bessere Nährstoffversorgung der Pflanzen ermöglicht (Bender et al. 2009). Diese Synergien optimieren die Ressourcennutzung, was sich nach Kaeser et al. (2010) in einer höheren Flächenproduktion niederschlägt, als bei getrenntem Anbau von Unterkultur und Bäumen. Eine naturschutzfachliche Bewertung von Reeg et al. (2009) verdeutlichte zudem, dass durch diese strukturelle Bereicherung der Agrarlandschaft die Artenvielfalt erhöht werden kann – sowohl im Hinblick auf das angebaute Sortenspektrum als auch in Bezug auf Nützlinge: So dienen bspw. Flurgehölze und speziell Hecken als Rückzugsrefugien für Tier- und Pflanzenarten. Wald- und Waldrandbewohnende Arten, für die Ackerland oft ein Ausbreitungshemmnis darstellt, werden in landwirtschaftlich genutzte Bereiche eingebracht und können Agroforstelemente als Wanderkorridore nutzen (Wöllecke et al. 2008, Jose 2009, Kaeser et al. 2010). Eine Aufwertung ist dabei v.a. auf zuvor intensiv genutzten Flächen zu erwarten (Reeg et al. 2008).

Negative Effekte ergeben sich in der Regel nur dann, wenn natürliche Ökosysteme (bspw. auch Dauergrünland) für die Etablierung einer Agroforstwirtschaft in Nutzung genommen oder invasive Arten angepflanzt werden. Die Vorteile, die Agroforstsysteme neben der Bereitstellung von

stark nachgefragtem Holz als regenerativem Energieträger für Ökosysteme mit sich bringen, ersetzen zwar nicht die Unterschutzstellung von Gebieten, bieten aber die Möglichkeit als Pufferzone zum Erhalt wildlebender Arten beizutragen (Pandey 2007, Guariguata et al. 2008). Die Integration von Agroforstsystemen in eine Biotopverbundplanung kann daher für den Naturschutz von großem Interesse sein (Reeg et al. 2008). Es bieten sich somit zahlreiche Synergien zwischen Klima- und Biodiversitätsschutz (Jose 2009). Bislang besteht allerdings noch Forschungsbedarf zu den vielfältigen möglichen Wirkungen dieser Anbausysteme auf den Naturhaushalt. Auch fehlt es an standortangepassten Empfehlungen für die Auswahl von Arten sowie an erfolgreichen Praxisbeispielen, die langfristig stabilere oder höhere Erträge für Agroforstsysteme belegen (Grünwald et al. 2009, Schneider/Hüttl 2012).

2 Moore

Wie auch Wälder sind Moore im Hinblick auf das Klima in zweierlei Hinsicht von herausragender Bedeutung: So sind sie einerseits wichtige langfristige Kohlenstoffsenken, andererseits werden diese Speicher durch den Abbau von Torf mobilisiert, wodurch Moore zu einer wesentlichen Quelle klimawirksamer Emissionen werden. In dem folgenden kurzen Kapitel wird daher zunächst auf die Rolle von Mooren im globalen Kohlenstoffkreislauf sowie als Habitat einiger seltener Arten eingegangen. Weshalb die unangepasste Nutzung ein gravierendes Problem für den Klimaschutz darstellt, wird anschließend ebenso beleuchtet, wie Maßnahmen zum Schutz bzw. zur Wiederherstellung von Mooren.

2.1 Die Bedeutung von Mooren für das Klima und die Biodiversität

Nur ein sehr kleiner Anteil der globalen Landfläche ist von Mooren bedeckt (ca. 4 Mio. Quadratkilometer, d.h. 3%). Dennoch werden der Atmosphäre durch die Bildung von Torf jährlich 150 bis 250 Mio. t CO₂ entzogen (BfN 2014a, Joosten 2006). Von noch größerer Bedeutung ist jedoch ihre Rolle als Kohlenstoffspeicher: Sofern sich keine Störungen ereignen, befindet sich dieser kontinuierlich im Aufbau und legt Kohlenstoff dabei sehr langfristig fest. So sind auf globaler Ebene ca. 500 Gt Kohlenstoff in Mooren gebunden – dies ist die doppelte Menge, die in allen Wäldern der Erde gespeichert ist und etwa ein Drittel des Kohlenstoffs, der in Böden festgelegt ist. Daher sind Moore im Vergleich zu anderen terrestrischen Ökosystemen die wichtigsten – und raumeffektivsten – Kohlenstoffspeicher (Joosten et al. 2013, CBD 2003, SCNAT 2008). Die Speicherkapazität variiert mit der Region: In tropischen Mooren ist bis zu zehnmal mehr Kohlenstoff gespeichert als in tropischen Wäldern, in borealen Wäldern etwa das Siebenfache. In Deutschland befindet sich etwa die gleiche Menge Kohlenstoff in Mooren wie in Wäldern – wobei berücksichtigt werden muss, dass hiesige Wälder 30% der Landfläche bedecken und der Flächenanteil von Mooren 4% beträgt (BfN 2014a).

In Bezug auf die Biodiversität nehmen Moore und Feuchtgebiete eine wichtige Position ein, denn einige hochspezialisierte Tier- und Pflanzenarten finden nur hier geeignete Bedingungen vor. Während tropische Moorlandschaften zu den Ökosystemen mit der größten biologischen Vielfalt zählen, weisen europäische Moore zwar wenige, jedoch sehr seltene Arten auf. Viele von ihnen sind Arten der Roten Liste und so gibt es bspw. Vorkommen von Glazialreliktarten. Diese Spezialisierung an ihren extremen Lebensraum bedeutet allerdings auch, dass bereits kleine Veränderungen der Umgebung negative Konsequenzen haben können, denn ein Ausweichen in andere Gebiete ist vielen dieser Arten nicht möglich (BfN 2014a).

Hinzu kommt die Funktion, den Wasserhaushalt zu stabilisieren und die Abflussbildung zu regulieren. Intakte Hochmoore speichern nahezu den gesamten Niederschlag, während auf drainierten Moorwiesen der größte Teil abfließt. Gewässerbegleitende Moore können daher einen wichtigen Beitrag zu einem vorsorgenden Hochwasserschutz leisten, was v.a. in Anbetracht des Klimawandels in einigen Regionen von zunehmender Bedeutung sein wird. Darüber hinaus fungieren sie als Wasserfilter und halten Schadstoffe zurück bzw. bauen diese ab. Häufig können daher in Flussniederungen Ziele des Biotop- und Artenschutzes mit Klima-, Gewässer- und Bodenschutzzielen und dem Hochwasserschutz miteinander verknüpft werden.

Bis heute werden Moore vielerorts großflächig zur Nutzbarmachung entwässert, insbesondere für die Flächengewinnung in der Landwirtschaft, in der Forstwirtschaft, im Zuge von Siedlungsbau und Urbanisierung oder wegen des Abbaus von Torf (Brennstoffmaterial und Düngemittel). Zwar gibt es noch große Flächen, die weitgehend ungestört sind (bspw. in Sibirien und Kanada), weltweit wurden jedoch durch Drainage und Torfabbau etwa ein Fünftel der ursprünglichen Moore zerstört (Succow 2012, Joosten 2006). Die Moorverluste sind in Europa besonders groß und viele der deutschen Mooregebiete befinden sich in einem Zustand anhaltender Degeneration (Joosten 2006). Derzeit werden in Deutschland 90% der Moorböden genutzt, so dass torfakkumulierende Hochmoore auf 1% ihrer ursprünglichen Ausdehnung reduziert wurden. Die durch diesen Entwässerungsprozess einsetzende Oxidation zieht die Freisetzung von CO₂ und anderer, noch klimawirksamerer Treibhausgase nach sich, wodurch Moore ihre Senkenfunktion verlieren und zu Treibhausgasquellen werden (Loft/Schramm 2011b). Auf globaler Ebene setzen alle entwässerten Moore jährlich rund 2 Gt CO₂ frei. Zwar ist der Flächenanteil drainierter Moore an der globalen Landfläche gering (0,3%) jedoch werden allein auf dieser Fläche 6% der anthropogenen Treibhausgase emittiert, ein Großteil davon in Indonesien, in der EU, Russland, China und den USA (Joosten et al. 2013). Bspw. werden in Indonesien große Mooregebiete für den Anbau von Ölpalmen oder Reis entwässert und abgebrannt: Bei Moorbränden in den Jahren 1997/1998 wurden hierdurch 810 bis 2570 Mio. t CO₂ freigesetzt (Joosten 2006). Auch in Deutschland sind mehr als 95% der Moore aufgrund entwässerungsbedingter Torfzersetzung Emittenten für klimarelevante Gase und somit verantwortlich für 2,5 bis 5% der CO₂-Äquivalente der jährlichen Gesamtemissionen (BfN 2014a). Dieser Effekt wird voraussichtlich durch die Klimaerwärmung ver-

stärkt, da eine Senkung des Wasserspiegels ebenfalls die Humusmineralisation und Freisetzung von Gasen nach sich zieht (Bens/Lorenz 2012).

2.2 Schutz und Wiederherstellung von Mooren

Zentral für das Klima und den Naturschutz ist es somit, die vielfältigen Ökosystemleistungen von Mooren durch Schutz- oder Revitalisierungsmaßnahmen zu erhalten bzw. wiederherzustellen (Jensen et al. 2012). Hierfür bedarf es gründlicher hydrologischer und ökologischer Planungen im Vorfeld, da bspw. ein nicht den Gegebenheiten angepasster Wasserstand die biologische Vielfalt beeinträchtigt und darüber hinaus sogar zur Freisetzung von Treibhausgasen führt (BfN 2014a).

2.2.1 Renaturierung

Die Renaturierung von Mooren und Feuchtgebieten gilt als eine eher kostengünstige Maßnahme zur Minderung des Klimawandels: Bei vergleichsweise geringem Aufwand werden durch die gezielte Wiedervernässung von Hochmooren die jährlichen THG-Emissionen um bis zu 15 t CO_{2eq} je ha reduziert. Bei Niedermooren können durch eine Wasserspiegelanhebung sogar bis zu 30 t CO_{2eq} je ha vermieden werden. Bezogen auf Deutschland, wäre so eine Einsparung von bis zu 35 Mio. t CO_{2eq} möglich (Freibauer et al. 2009). Wichtig für den Erfolg der Maßnahme ist die richtige Einstellung des Wasserstands, da es andernfalls (bei einer Überstauung der Oberfläche) sowohl zur Freisetzung klimaschädlicher Gase kommen kann (insbesondere bei zuvor stark entwässerten Mooren), als auch Nähr- und Schadstoffe in das Bodenwasser gelangen können. Dies hätte auch negative Konsequenzen für die Biodiversität: Während Tiere und Pflanzen generell davon profitieren, wenn ihr Habitat durch Wiedervernässung wiederhergestellt wird, kann eine Überstauung dazu führen, dass noch verbleibende Populationen bestimmter Arten vernichtet werden (BfN 2014a). Eine fundierte hydrologische Planung der Renaturierung ist daher eine wichtige Voraussetzung. Allerdings stoßen bei der Wiedervernässung von Mooren konträre Interessen und Nutzungsansprüche aufeinander: Neben der Torfindustrie, deren Grundlage die Nutzung von Mooren ist, und Anwohnern, die Angst vor einer Gefährdung ihrer Grundstücke (bspw. Eintritt von Wasser in die Kellerräume) und Mückenplagen haben, sind es auch die Landwirte, die einer Wiedervernässung von Mooren kritisch gegenüberstehen. Sie befürchten eine geringere Tragfähigkeit ihrer Flächen bei nassen Nutzungskonzepten bzw. den Verlust von Landflächen für den Moorschutz. Der Bauernverband von Niedersachsen⁴ spricht bspw. von einer Gefährdung der Existenzgrundlage vieler Landwirte und weist auf eine Verschärfung der Flächenverknappung hin (Landvolk Niedersachsen 2014).

⁴ 38% der Moorflächen und 84% der Hochmoorflächen Deutschlands befinden sich in Niedersachsen, ca. 2/3 davon werden landwirtschaftlich genutzt (LBEG 2014, Flessa 2012).

2.2.2 Paludikultur

Infolge eines hohen Einstiegswiderstands wird eine moorschonende Bewirtschaftung von Landwirten bisher kaum praktiziert. Ein Ansatz, der möglicherweise zwischen beiden Positionen vermitteln könnte, ist die Paludikultur. Bei dieser neuen Form der nassen Bewirtschaftung von Mooren bleibt Torf erhalten oder wird im Idealfall neu gebildet. Da aufgrund des Nutzungsdrucks, der auf landwirtschaftlichen Flächen lastet nicht davon auszugehen ist, dass in einigen Regionen die Bewirtschaftung von Mooren gänzlich aufgegeben wird, zielt dieses Konzept auf eine nachhaltige Bewirtschaftung ab: Auf degradierten, landwirtschaftlich genutzten Moorlandschaften sollen nach Wiedervernässung nachwachsende Rohstoffe (bspw. Schilf, Schwarzerlen) Substrat für die Bau- und Gartenmöbelindustrie und den Gartenbau liefern, oder als Energieträger fungieren. Die Ernte erfolgt untergrundscheidend durch spezielle Maschinen (Universität Greifswald 2014). Da gegenwärtige Praktiken der Entwässerung eine langfristige Nutzung aufgrund von Degradation, Sackungen und Oxidation nicht möglich machen (Joosten 2006), gehen die Hoffnungen dahin, dass durch diesen Ansatz landwirtschaftliche Flächen auf Mooren bewahrt werden, während gleichzeitig Treibhausgasemissionen verringert werden.

Zusammenfassende Darstellung positiver und negativer Auswirkungen auf die Biodiversität:

	Moore sind Lebensräume für wenige, an extreme Bedingungen angepasste, hochspezialisierte Arten. Der Schutz bzw. die Revitalisierung von Mooren erhält Habitate, bzw. stellt diese wieder her und sichert das Überleben von Arten, die andernorts nicht konkurrenzfähig sind.
	Hydrologische Planung ist wichtig: Eine Überstauung kann dazu führen, dass Schad- und Nährstoffe in das Bodenwasser gelangen und Treibhausgase freigesetzt werden; die Überstauung kann auch direkt dazu führen, dass Populationen von (immobilen) Arten durch Lebensraumverlust vernichtet werden.

2.3 Fazit

Der Erhalt intakter, und die Renaturierung degradierter Moore ist sowohl ein äußerst wichtiger Beitrag zum Schutz des Klimas als auch für den Erhalt der Biodiversität. Die Relevanz ergibt sich aus den enormen Mengen an Kohlenstoff, die in Mooren dauerhaft festgelegt ist und die bei Störung entweichen. Aber auch die kontinuierliche Festlegung von CO₂ ist ein wichtiger Beitrag zur Minderung des Klimawandels. Gleichzeitig finden sich in diesem sehr speziellen Lebensraum hochspezialisierte und seltene Arten, die nur geringe Ausweichmöglichkeiten in andere Gebiete haben. Die Wiedervernässung von Mooren und anderen Feuchtgebieten ist aufgrund ihrer stabilisierenden Wirkung auf den Landschaftswasserhaushalt auch im Hinblick auf die erwartete Zunahme an Dürreperioden von Bedeutung und stellt eine wichtige Waldbrandprophylaxe dar (BUND 2011). Durch den Schutz von Mooren entstehen dem-

nach aus Naturschutzsicht in vielerlei Hinsicht Synergien, ohne dass dabei Konflikte offenkundig zutage treten. Im Vorfeld ist jedoch eine gründliche hydrologische Planung der Wiedervernässung entscheidend, denn im Falle einer Überstauung können klimaschädliche Gase freigesetzt werden und Habitate verloren gehen. Eine große Herausforderung sind unterschiedliche Nutzungsansprüche (v.a. Fläche für Landwirtschaft, Infrastruktur, Torfindustrie), die der Rückführung entwässerter Moore in ihren natürlichen Zustand entgegenstehen. Die Einführung von Paludikulturen auf drainierten Mooren kann hier eine Lösungsmöglichkeit darstellen.

Diese multifunktionalen Effekte des Moorschutzes können bei der Umsetzung rechtlicher Vorgaben (z.B. EG-Wasserrahmenrichtlinie, Strategie zur biologischen Vielfalt, Nationale Klimaschutzinitiative, Europäische Bodenschutzstrategie) einen wichtigen Beitrag leisten (Jensen et al. 2012). Joosten et al. (2013) merken an, dass in Deutschland die Möglichkeit, Emissionsreduktion durch Moorwiedervernässung im Rahmen des Kyoto-Protokolls zu verrechnen, bislang kaum genutzt werde, auf dem freiwilligen Kohlenstoffmarkt indes schon. Allerdings stelle sich die Schwierigkeit, die über die Klimaleistung hinausgehenden Ökosystemleistungen von Mooren in Wert zu setzen. Wie auch bei Kompensationsprojekten in Waldökosystemen kann der Fokus auf die Kohlenstofffestlegung negative Auswirkungen auf andere Ökosystemleistungen haben. Hierzu besteht weiterer Forschungsbedarf (Joosten et al. 2013).

3 Landwirtschaft

Für das Klima und die Umwelt hat die Landwirtschaft hohe Relevanz: Wie kein anderer Wirtschaftszeig ist sie von ihren natürlichen Umgebungsbedingungen und klimatischen Einflüssen abhängig, wirkt dabei jedoch auch selbst in großem Maßstab auf den Naturhaushalt und das Klima ein. Wie groß (und auch wie schädlich) dieser Einfluss sein kann, hängt dabei entscheidend von der Art und Weise der Bewirtschaftung ab und hierbei bieten sich auch Möglichkeiten, durch geeignete Praktiken die Auswirkungen auf angrenzende Ökosysteme und das Klima zu reduzieren. In diesem Kapitel wird zunächst ein Einblick in das Beziehungsgeflecht von natürlichen Faktoren und der Landwirtschaft gegeben. Anschließend werden die Auswirkungen einiger landwirtschaftlicher Praktiken auf das Klima und die Biodiversität vorgestellt: Im Einzelnen wird dabei die Bedeutung einer hohen Kulturpflanzenvielfalt und Nutztier-rassen (Agrobiodiversität) dargestellt und auf die Rolle von unterschiedlichen Formen der Landnutzung (und Landnutzungsänderungen), Möglichkeiten der Bodenbearbeitung und den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (als Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel) eingegangen.

3.1 Die Bedeutung der Landwirtschaft für das Klima – und vice versa

Die Qualität des Bodens, der Gewässer, der Luft und der Biodiversität ist durch die Landwirtschaft (Deutschlands größter Flächennutzer) wesentlich beeinflusst. Um möglichst hohe Erträge zu erzielen, kommen vielfach intensive Bewirtschaftungsmethoden zum Einsatz, die sich schädlich auf das Ökosystem auswirken können: Schwere Maschinen für die Bodenbearbeitung und Ernte sowie die Ausbringung von Pflanzenschutz- und Düngemitteln ermöglichen zwar eine flächeneffiziente Bewirtschaftung, ziehen allerdings Gewässer, Luft und Böden in Mitleidenschaft. Nährstoffüberschüsse führen zur Überdüngung von Böden und Gewässern – es kann zu Algenplagen und Sauerstoffmangel kommen. In vielen intensiv bewirtschafteten Gebieten führt die Stickstoffdüngung zu einer Nitratbelastung des Grundwassers. Eine nachlassende Bodenfruchtbarkeit, Bodendegradation und Bodenverdichtung können weitere langfristige Folgen sein, ebenso wie „ausgeräumte“ Landschaften durch die Vergrößerung der Ackerschläge. Von alldem sind auch viele Wildtiere und -pflanzen betroffen, für die die landwirtschaftlich genutzte Fläche ein wichtiger Lebensraum ist. So gelten intensive Bewirtschaftungsmethoden heute aufgrund des Verlusts natürlicher Habitate, des Einsatzes von Pflanzenschutz- und Düngemitteln, der Verringerung des Nahrungsangebots (bspw. für Bestäuber) und der intensiven Bodenbearbeitung als eine wichtige Triebkraft für den Biodiversitätsrückgang (UBA 2012).

Eine neue Herausforderung stellt sich für die Landwirtschaft durch den Klimawandel, zu dem in vielerlei Hinsicht Wechselwirkungen bestehen. Einerseits wirken landwirtschaftliche Produktionsprozesse direkt auf das Klima: Die Landwirtschaft trägt pro Jahr mit 10–12% zu den globalen anthropogenen Treibhausgasemissionen bei (IPCC 2007), unter Berücksichtigung der Auswirkungen von Landnutzungsänderungen und der weiteren Bearbeitungsschritte der Produkte liegen Schätzungen mit einem Anteil von ca. 30% noch weit darüber (Enquete-Kommission 1994, zit. in Lünenbürger et al. 2013). Die Höhe der Emissionen steht in Zusammenhang mit der Bewirtschaftungsform und so kann bspw. durch extensive Formen der Landnutzung und geringe Bodenbearbeitung mehr Kohlenstoff im Boden gebunden bleiben, gleichzeitig wird der Atmosphäre durch die Biomasseproduktion (kurzfristig) CO₂ entzogen (Vohland et al. 2012).

Andererseits ist die Landwirtschaft von Veränderungen des Klimas direkt betroffen: Die Zunahme der Temperatur, Veränderungen der atmosphärischen Zusammensetzung sowie ein verändertes Niederschlags- und Extremwetterverhalten wirken unmittelbar auf die Anbaubedingungen ein (Schaller/Weigel 2007). Dies kann dazu führen, dass das lokale Anbauspektrum durch die Temperaturzunahme um wärmeliebende Nutzpflanzen erweiterbar wird oder durch die verlängerte Wachstumsperiode eine weitere Hauptkultur angebaut werden kann (Vohland et al. 2012). Gleichmaßen können ganze Regionen, die für die landwirtschaftliche Nutzung bislang zu feucht oder zu kühl waren, durch veränderte Umweltbedingungen für den Anbau zugänglich werden. Auch wird ein positiver Einfluss höherer CO₂-Konzentrationen in der Atmo-

sphäre auf das Wachstum und die Wassernutzungseffizienz von C3-Pflanzen diskutiert (CO₂-Düngeeffekt).⁵ Allerdings ergeben sich durch die zunehmende Erwärmung und insbesondere die steigende Klimavariabilität in immer größerem Umfang negative Folgen für die Landwirtschaft, v.a. in bereits heute warmen Regionen: Witterungsextreme reduzieren die Ertragssicherheit, da starke Schwankungen von Hitze, Kälte, Trockenheit und Nässe bei den Pflanzen vermehrt Stress hervorrufen. Schäden ergeben sich durch Starkniederschläge und Überflutungen wie auch durch eine nachlassende Winterhärte mehrjähriger Kulturen, die bei einer zunehmenden Wahrscheinlichkeit von Spätfrösten zu Ernteaussfällen führen können. Steigende Temperaturen erhöhen die Transpirationsraten und damit den Wasserbedarf der Pflanzen, während ein gleichzeitig nachlassendes Wasserangebot in der Wachstumsperiode prognostiziert wird (Vohland et al. 2012). Die Auswirkungen des Klimawandels erstrecken sich darüber hinaus auf die Zunahme von (auch neuen) Schadorganismen.

3.2 Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen in der Landwirtschaft

Um auf die vielfältigen Herausforderungen durch den Klimawandel reagieren zu können, werden Anpassungsmaßnahmen in unterschiedlichen Bereichen diskutiert. In Anbetracht des großen Anteils von Treibhausgasemissionen, die auf die Landwirtschaft zurückzuführen sind, kommen gleichzeitig diverse Mitigationsmaßnahmen in Betracht. Der Verband der Landwirtschaftskammern sieht Handlungsbedarf v.a. in den Bereichen Fruchtartenwahl und Fruchtfolgegestaltung, Sortenstrategie und Bestandsführung, Bodenbearbeitung und Bodenschutz, Pflanzenernährung, Düngung und Humusreproduktion, Bewässerung/Wassermanagement, Pflanzenschutz und Präzisionslandwirtschaft (*Precision Farming*) (Verband der Landwirtschaftskammern 2010). Die Diversifizierung des Anbauspektrums gilt außerdem als wichtige Maßnahme, um die Landwirtschaft an sich ändernde klimatische Verhältnisse anzupassen (Vohland et al. 2012, Schaller et al. 2012). Im Folgenden werden einige dieser Maßnahmen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Biodiversität vorgestellt.

3.2.1 Erhalt der Agrobiodiversität

Im Laufe des vergangenen Jahrhunderts wurde ein deutlicher Rückgang der Vielfalt der Feldfrüchte beobachtet (FAO 2013): Durch die Fokussierung auf einige wenige Hochleistungssorten und -rassen kam es zu einer genetischen Verarmung in der intensiven Landwirtschaft (gefördert v.a. durch die zunehmende Vernetzung der Märk-

⁵ Es wird davon ausgegangen, dass eine höhere Konzentration von CO₂ in der Atmosphäre das Pflanzenwachstum anregt, da mehr CO₂ gebunden und somit mehr Kohlehydrate gebildet werden können. Die genauen Auswirkungen des CO₂-Düngeeffekts sind jedoch nicht gänzlich vorhersehbar und es besteht u.a. Forschungsbedarf zu den möglichen Ertragssteigerungen, Effekten auf den Nährstoffgehalt der Ernteprodukte, eventuelle Anpassungen des Photosyntheseapparates und den Folgen, die sich durch verringerte Transpirationsraten auf das Bestandsklima ergeben (Schaller et al. 2012).

te, Veränderungen der Ernährungsweisen und der Urbanisierung) (Doyle 2008, Gold/McBurney 2012). Lediglich 150 Arten werden heute in nennenswertem Umfang kultiviert (Global Crop Diversity Trust 2013). Nur vier davon (Reis, Weizen, Mais und Kartoffeln) decken mehr als 60% des Kalorienbedarfs (FAO 2013). Bei sich ändernden Umwelt- und Klimabedingungen spielen die genetischen Ressourcen von Nutzpflanzen- und Nutztierarten für eine lokal angepasste landwirtschaftliche Produktion allerdings eine entscheidende Rolle. Hierbei ist eine hohe Anpassungsfähigkeit und Widerstandskraft von Vorteil, um auf Variationen von Temperatur und Niederschlag, aber auch z.T. neue Krankheiten und Schädlinge reagieren zu können. Dies kann v.a. durch eine möglichst große biologische Vielfalt von Nutztieren und -pflanzen mit einem dementsprechend breit gefächerten Genpool ermöglicht werden (Agrobiodiversität) (Schaller et al. 2012). Der Erhalt der Gene eröffnet dabei nicht nur die Möglichkeit für züchterische Anpassungsmaßnahmen an veränderte (und z.T. noch nicht abschätzbare) Bedingungen; durch ein breites Arten- und Sortenspektrum kann relativ schnell mit dem Anbau geeigneter Kulturen auf Klimaveränderungen reagiert werden. Der Zusammenhang zwischen Agrobiodiversität und Klimawandel wurde u.a. durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz in dessen Sektorstrategie Agrobiodiversität hervorgehoben: „Leitbild ist, durch die Erhaltung der Agrobiodiversität und die vorausschauende Nutzung ihrer Potenziale einen Beitrag zur Bewältigung des Klimawandels zu leisten und aktiven Klimaschutz durch die Förderung ökosystemarer Dienstleistungen der Agrobiodiversität und nachhaltiger Nutzungssysteme zu betreiben.“ (BMELV 2007: 32) Durch eine große Vielfalt an Arten und Sorten wird somit eine größere Flexibilität und Ertragssicherheit unter suboptimalen Wachstumsbedingungen gegeben, gleichzeitig hat sie auch ihrerseits positive Wirkungen auf die Umwelt: Vorteile ergeben sich für die Bodenqualität und die Regulation von Schädlingen (Bioversity International 2014). Darüber hinaus bietet eine hohe Agrobiodiversität wild lebenden Tieren und bestäubenden Insekten ein breit gefächertes Nahrungsangebot und schafft vielfältigere Lebensräume.

Im Hinblick auf den Klimawandel und die steigende Nachfrage sind Erhaltungsmaßnahmen der genetischen Ressourcen dringend notwendig. Ansätze hierfür sind: die aktive Nutzung der Agrobiodiversität auf dem Bauernhof und damit auch die Bewahrung des hiermit verbundenen Wissens (*on farm*); der nutzungsfreie Erhalt von Wildformen in ihrem natürlichen Lebensumfeld (*in-situ*), die über Resistenzen gegenüber biotischen und abiotischen Stressfaktoren verfügen. Diese können bei der Züchtung verloren gehen, weshalb Wildformen für die regelmäßige Auffrischung des Genmaterials von Kulturpflanzen wichtig sind (Jacobsen et al. 2013, Hurka et al. 2008). Ein weiterer Ansatz ist die Bewahrung des Genpools für die Verfügbarkeit für zukünftige Zucht- und Forschungszwecke außerhalb des natürlichen Umfelds, bspw. in Gen-Saatgutbanken oder Kryokonserven (Vohland 2008, BfN 2007).

Allerdings sind die Ziele von Biodiversitäts- und Klimaschutzmaßnahmen teilweise unterschiedlich. Während für den Erhalt der Biodiversität insbesondere alte Nutzpflanzensorten und alte Haustierrassen gefördert werden sollen, geht es bei Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel tendenziell stärker um Innovationen in der

Pflanzenzüchtung, wie bspw. durch Hybridzüchtung, Mutagenese, Smart Breeding oder Gentechnologie (Pflanzen-Forschung-Ethik 2013, DAS 2008). Vor allem die gentechnische Veränderung von Pflanzen stellt ein (insbesondere in Deutschland) gesellschaftlich sehr kontrovers diskutiertes Thema dar. Aus den Reihen von Wissenschaft und Wirtschaft werden Chancen darin gesehen, die Landwirtschaft durch die gezielte Züchtung von Pflanzen, die resistent gegenüber Wassermangel, hohem Salzgehalt oder Breitbandpestiziden sind, an die Auswirkungen des Klimawandels anzupassen. Kritiker (ebenfalls aus der Wissenschaft sowie Naturschutz- und Bauernverbänden und der Gesellschaft) sehen u.a. die Gefahr der Ausbildung von Resistenzen bei Schädlingen und Unkräutern („Superweeds“) infolge des verstärkten Pestizideinsatzes und negative Auswirkungen auf die Biodiversität: Während unabhängige Untersuchungen hierzu rar sind und erst in jüngerer Zeit stattfinden, wird der Einsatz von Totalherbiziden und deren Folgen für Böden, Gewässer und Nichtzielorganismen mit Besorgnis gesehen. Die Auswilderung und Einkreuzung transgener Pflanzen in Wildverwandte (bspw. Raps) oder die Verdrängung, sofern sich durch die Genveränderung Vorteile abseits des Ackers bieten, stellen weitere Kritikpunkte dar (NABU 2013). Die von Befürwortern der Gentechnik angeführte Verringerung der benötigten Pestizidmenge aufgrund der in das Genmaterial integrierten Insektizide lässt den meisten Studien zufolge nach dem ersten Jahr nach und kann durch die Ausbildung von Herbizidresistenzen zu einer Erhöhung der benötigten Menge an Pestiziden führen (Benbrook 2012).

Zusammenfassende Darstellung positiver und negativer Auswirkungen auf die Biodiversität:

+	Durch eine große Diversität von Nutzpflanzen werden unterschiedliche Habitate und Nahrungsquellen für Wildtiere und Bestäuber geboten, positive Wirkungen ergeben sich darüber hinaus bspw. für die Bodengesundheit und die Bodenlebewesen.
—	Risiken durch die Verwendung gentechnisch veränderter Organismen (bspw. in Bezug auf den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln, Auswilderung)

3.2.2 Reduzierte Bodenbearbeitung

Der Boden spielt für die landwirtschaftliche Produktion an sich wie auch für den Klimaschutz eine Schlüsselrolle: Kohlenstoffreiche Böden mit einem hohen Gehalt an organischer Substanz sorgen dafür, dass die Poren mit Luft und Wasser gefüllt sind und für das Pflanzenwachstum notwendige Nährstoffe zur Verfügung stehen. Mehr als nur das Ausgangssubstrat für Pflanzenwachstum, ernähren sie hierüber auch Tiere und den Menschen und bilden einen äußerst komplexen Lebensraum mit einer enormen biologischen Vielfalt. Das Ausmaß des in ihnen vorkommenden Artenreichtums kann nur geschätzt werden und übertrifft die oberirdische Biodiversität bei Weitem: Ca. 30.000 Bakterienarten, 60.000 Algenarten und mehr als 1,5 Mio. Pilzarten machen den Großteil aus; daneben wird das Erdreich von etlichen anderen, größeren

Tieren (wie Regenwürmern, aber auch Mäusen und Maulwürfen) bewohnt (UFZ 2011). Diese Vielfalt ist für Bodenbildungsprozesse (v.a. Zerkleinerung und Zersetzung von abgestorbenen Tier- und Pflanzenresten, Mineralisierung, Förderung der mikrobiellen Aktivität und Durchlüftung und Lockerung des Erdreichs) von herausragender Bedeutung. Zudem ist der Boden eine wichtige Kohlenstoffsенке und so ist in den obersten 30 cm Bodentiefe etwa doppelt so viel Kohlenstoff enthalten wie in der Atmosphäre. Die Bearbeitung dieser empfindlichen und dünnen Schicht hat daher sowohl für die Bodenfauna als auch das Klima besonders große Auswirkungen (Schaller et al. 2012).

Klimafreundliche Agrarmaßnahmen zielen darauf ab, die Intensität der Bodenbearbeitung gering zu halten und den Kohlenstoffgehalt des Bodens zu erhöhen. Dies bringt neben dem geringeren Einsatz von kraftstoffbetriebenen Maschinen weitere Vorteile mit sich: So wird bspw. in der dauerhaft konservierenden Bodenbearbeitung (mit Direktsaat) der Boden nicht gepflügt, sondern in seinem natürlichen Aufbau belassen, Ernterückstände oder Mulchmaterial (z.B. Stroh) verbleiben auf der Oberfläche. Hierdurch wird ein stabiles, wenig verschlammungsanfälliges Bodengefüge geschaffen, das widerstandsfähiger gegenüber Erosion und der Ausschwemmung von Nährstoffen ist. Dies ist für die Anpassung an den Klimawandel vorteilhaft: Die höhere Aggregatstabilität und mehr Makroporen sorgen bei Starkregenereignissen für eine bessere Infiltration des Regenwassers und die Mulchbedeckung reduziert die unproduktive Verdunstung. So wirken diese Maßnahmen einerseits als Adaptation an den Klimawandel, als auch als Mitigation, da infolge geringerer Bearbeitung weniger CO₂ freigesetzt wird und durch den Verbleib von Ernterückständen auf dem Feld die Zersetzung von Pflanzenresten, die Bildung stabiler Humuskomplexe und eine Rückführung des Kohlenstoffs in den Boden ermöglicht wird. Gleichzeitig ergeben sich Synergien mit dem Biodiversitätsschutz, da Bodenorganismen gefördert werden, was sich bspw. darin zeigt, dass auf pfluglos bearbeiteten Flächen deutlich mehr Regenwürmer vorkommen, die ihrerseits für stabile Bodenkrümel und die Bildung von Makroporen sorgen (Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie o.A.). Durch die konservierende Bodenbearbeitung, eine kontinuierliche Bedeckung des Bodens mit Vegetation und den Verbleib von Ernterückständen auf dem Feld, wird der Boden durch den Gründungs gleichzeitig mit Nährstoffen angereichert, wodurch synthetische Düngemittel eingespart werden können. Gleiches wird auch mit einer Untersaat und dem Anbau von Zwischenfrüchten wie z.B. Leguminosen erreicht, die den Boden mit Stickstoff versorgen. Durch eine geeignete Fruchtfolgegestaltung und durch den Anbau kompatibler Feldfrüchte in Mischkultur können Ernteerträge gesteigert (und damit der Atmosphäre mehr Sauerstoff entzogen), der Bedarf an Düngemitteln reduziert und die Bodenstabilität gefördert werden, insbesondere durch die Integration mehrjähriger Kulturen mit unterschiedlichen Wurzeltiefen. Vorteile für die Biodiversität ergeben sich u.a. aus der größeren Vielfalt an Nahrungsquellen und Lebensräumen für die Bodenfauna, Bestäuber und andere Tiere (Osterburg et al. 2014, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie o.A.).

Allerdings kann eine reduzierte Bodenbearbeitung u.U. die verstärkte Anwendung von Herbiziden nach sich ziehen, da das Pflügen auch der Unkrautkontrolle dient. Aus diesem Grund unterstützen häufig Agrochemie-Unternehmen die Praxis der konservierenden Bodenbearbeitung bei gleichzeitigem Einsatz von Breitbandherbiziden. Dies ist zwar für den Erhalt des Bodenkohlenstoffs von Vorteil (und damit für das Klima förderlich); der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln schädigt jedoch die Biodiversität, wodurch die positiven Auswirkungen der reduzierten Bodenbearbeitung für die Vielfalt an Bodenorganismen und -gemeinschaften ins Negative umschlagen können (Herold et al. 2001).

Zusammenfassende Darstellung positiver und negativer Auswirkungen auf die Biodiversität:

+	Konservierende Bodenbearbeitung, Anbau von Zwischenfrüchten oder Mischkultur fördert Bodenorganismen und bietet eine größere Vielfalt an Nahrungsquellen und Lebensräumen durch Verbleib von Ernterückständen auf dem Feld und geringerem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln.
—	Gefahr, dass reduzierte Bodenbearbeitung von verstärktem Herbizideinsatz begleitet ist: Breitbandherbizide vernichten auch Nichtzielorganismen.

3.2.3 Landnutzungsänderungen: Vermeidung von Grünlandumbruch, Extensivierung/Ökologischer Landbau

Die Landwirtschaft ist sowohl in Deutschland als auch weltweit der größte Flächennutzer. Die Art und Weise der Bewirtschaftung hat daher sehr weitreichende Auswirkungen auf umgebende Ökosysteme und das Klima. Auf nationaler Ebene wurde dieser Einfluss und insbesondere der Einfluss zunehmender Änderungen der Landnutzung auf das Klima, die Emissionen von Treibhausgasen und die biologische Vielfalt lange vernachlässigt (BfN 2009a). Das Ausmaß ist hierbei stark davon abhängig, wie eine entsprechende Fläche zuvor genutzt wurde. Insbesondere durch die Umwandlung von natürlichen oder naturnahen Ökosystemen in landwirtschaftliche Nutzfläche sind die Auswirkungen für den organischen Kohlenstoffbestand des Bodens wie auch für die Biodiversität durch die notwendigen Bearbeitungsprozesse besonders groß (Choudhury et al. 2004).

- **Grünlandumbruch – Grünlanderhalt**

Dies zeigt sich am Beispiel von Grünland, das als dauerhafte Pflanzengemeinschaft aus Gräsern und Kräutern entweder natürlich oder durch menschlichen Einfluss entstanden ist. Grünland, wie Mäh- und Streuobstwiesen oder Weiden, macht in Deutschland mehr als ein Drittel der landwirtschaftlich genutzten Fläche aus und verfügt über eine große Vielfalt an Kulturgrasland-Ökosystemen. Diese Flächen bieten Lebensraum für mehr als die Hälfte aller in Deutschland vorkommenden Arten und ihr Erhalt spielt damit eine „wesentliche Rolle bei der Erreichung von nationalen, europäischen und internationalen Biodiversitätszielen“ (BfN 2014b: 5). Darüber hinaus

hat Grünland eine hohe Wasserspeicherkapazität und wichtige Pufferfunktionen (Verhinderung des Eintrags von Nähr- und Schadstoffen in Gewässer). Durch die ganzjährige Vegetationsbedeckung ist der Humusgehalt hoch, womit es eine fast doppelt so hohe Speicherkapazität für Kohlenstoff im Vergleich zu Waldböden hat (Bens/Lorenz 2012). Der Umbruch von Grünland hat damit direkte Folgen sowohl für die Vielfalt an Pflanzen- und Tierarten, die hier beheimatet sind, als auch für das Klima: Enorme Mengen an Treibhausgasen werden freigesetzt und rund 60% des Vorrats an organischer Bodensubstanz geht in 1 m Tiefe verloren, wenn Grünland für Ackerbau umgebrochen wird (Bens/Lorenz 2012). Aber auch eine Nutzungsintensivierung bestehenden Grünlandes (häufigeres Mähen, stärkere Beweidung, Düngung) führt dazu, dass nur noch eine stark vereinfachte Artenzusammensetzung vorgefunden wird. Bereits heute werden 80% der Grünland-Lebensraumtypen in Deutschland in der Roten Liste als gefährdet eingestuft, wobei mit einer fortwährenden Verschlechterung dieses Zustands gerechnet wird. Die Umgestaltung dieses Lebensraumes hat darüber hinaus enorme Auswirkungen auf die Tierwelt: So hat die Zahl der Vögel, die in der Agrarlandschaft beheimatet sind, seit 1980 um die Hälfte abgenommen (BfN 2014b). Vonseiten der Politik, Wissenschaft und Naturschutzverbänden wird daher von einer Nutzungsänderung von Grünland aus Klimaschutz- und Biodiversitätsschutzgründen dringend abgeraten: Der Erhalt und die Etablierung von Grünland gilt als wichtige Klimaschutzmaßnahme. Dennoch findet weiterhin und in zunehmendem Maße die Umwandlung zu Ackerflächen statt, so dass der Flächenanteil von Dauergrünland in Deutschland zwischen 2003 und 2012 um 5% abgenommen hat (BfN 2014b). Die Hauptursache hierfür liegt momentan neben der Intensivierung der Milchviehhaltung (Futteranbau auf Ackerland) im zunehmenden Anbau von Energiepflanzen, die ihrerseits auch aus der Motivation heraus angepflanzt werden, Treibhausgasemissionen zu verringern (siehe hierzu Kapitel 4) (SRU 2008, Stiehr 2010). Regelungen zum Grünlanderhalt auf Landesebene greifen zu spät (Jering et al. 2013), bzw. auf nationaler Ebene besteht kein flächendeckendes Grünland-Erhaltungsgebot, so dass Nutzungsänderungen bspw. weiterhin stattfinden können, wenn entsprechend an anderer Stelle neu eingesät wird. Da durch den Umbruch allerdings wesentlich mehr und sehr viel schneller CO₂ freigesetzt wird als bei einer Neuanlegung gebunden werden kann, ist dies für den Klima- und Biodiversitätsschutz kein adäquater Ersatz. Der flächenscharfe Erhalt existierenden Grünlandes ist daher von herausragender Bedeutung für den Klima- und Biodiversitätsschutz und ein Bereich, der großes Konfliktpotenzial zwischen Naturschutz und Nutzungsansprüchen birgt (BfN 2014b, Osterburg et al. 2013).

- **Intensivierung der Bewirtschaftung auf begrenzter Fläche**

Aufgrund des großen Bedarfs an landwirtschaftlicher Nutzfläche wird häufig (v.a. von Akteuren aus der Wirtschaft, Agrarverbänden aber auch der Wissenschaft) die Position vertreten, dass die negativen Folgen des Landnutzungswandels mit Hilfe von Effizienzsteigerungen der Produktion auf bestehenden Flächen umgangen werden können. Dahinter steht die Maßgabe, dass insbesondere in einem dicht besiedelten Land wie Deutschland, in dem eine Vielzahl an Nutzungsansprüchen in Einklang

gebracht werden müssen, durch die Intensivierung die insgesamt genutzte Fläche gering gehalten wird. Dadurch, dass somit mehr Flächen in nutzungsfreiem Zustand belassen werden, könnten – so die Argumentation – Ziele des Naturschutzes erreicht werden (sog. *land-sparing- vs. land-sharing*-Debatte⁶). Allerdings geht dies mit einem höheren Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln einher, was die Biodiversität und die Boden- und Wasserqualität massiv beeinträchtigt (siehe hierzu Abschnitt 3.2.4) (Choudhury et al. 2004).

Im Hinblick auf intensive Anbaumethoden werden als wichtige Klimaschutzmaßnahmen Verbesserungen im Einsatz von Stickstoffdüngern (N-Dünger) diskutiert, die als eine der größten THG-Quellen (Stickstoff, Ammoniak, Lachgas) in der Landwirtschaft gelten. Einsparungen bei der ausgebrachten (und produzierten) Menge bedeuten eine deutliche Entlastung für das Klima und sind auch aus Biodiversitätsschutzaspekten positiv zu bewerten, da durch den geringeren Nährstoffeintrag die Eutrophierung und Versauerung von Böden und Gewässern abgemildert wird. Konkrete Ansatzpunkte sind Anpassungen der Menge (Senkung der N-Überschüsse und damit eine verbesserte Relation von N-Input zu N-Output), dem Ausbringungszeitpunkt (z.B. unterstützt durch teilflächenspezifische Düngung/*precision farming*), Entwicklungen an der Wirkstoffzusammensetzung und der geeigneten Lagerung von Düngemitteln (Osterburg et al. 2013).

- **Extensivierung der Flächennutzung, ökologischer Landbau**

Die Anbauintensivierung auf begrenzter Fläche wird aus Naturschutzsicht dahingehend kritisch gesehen, dass Ökosystemleistungen auf der genutzten Fläche durch die intensive Bewirtschaftung so stark in Mitleidenschaft gezogen werden, dass wichtige Voraussetzung für die landwirtschaftliche Produktion (auf längere Sicht) nicht gegeben sind (Tuck et al. 2014). Befürworter einer extensiven Flächennutzung sehen demgegenüber einen Beitrag zum Klimaschutz durch die größere Kohlenstoffsequestrierung des Bodens: Da der Boden deutlich weniger bearbeitet wird, wird weniger CO₂ aus der organischen Bodensubstanz freigesetzt. Das bedeutet, dass auch der Energieaufwand für die Arbeit mit Maschinen sowie der Einsatz von mineralischen Düngern geringer ist, so dass die flächenbezogenen Emissionen von CO₂ und Lachgas weiter abnehmen (SCNAT 2008). Eng hiermit in Zusammenhang steht die Bewirtschaftung nach Kriterien des ökologischen Landbaus. Positive Effekte für das Klima zeigen sich bereits in der Vorkette der Produktion durch die Einsparung von Mineraldüngern und chemischen Pflanzenschutzmitteln sowie dem weitgehenden Verzicht auf Importfuttermittel. Zudem sorgen bevorzugt regionale Vermarktungswege, ein geringerer Tierbesatz der Fläche, geringere Stickstoffdüngung und der Einsatz von Leguminosen

⁶ Im Falle von „land sparing“ wird somit ein Teil der Fläche für den Anbau von landwirtschaftlichen Produkten intensiv bewirtschaftet, während ein anderer Teil der Fläche für den Schutz der Biodiversität von der Nutzung ausgeschlossen bleibt. „Land sharing“ verfolgt hingegen einen anderen Ansatz: Insgesamt wird nur eine kleinere Fläche von der Nutzung freigehalten, allerdings wird stattdessen die landwirtschaftlich genutzte Fläche weniger intensiv bewirtschaftet, mit dem Ziel die Biodiversität auf einer insgesamt größeren Fläche zu erhalten (daher auch „wildlife-friendly farming“ genannt) (Green et al. 2005, zit. in Fischer et al. 2014).

dafür, dass, bezogen auf die Fläche, die Emissionen von Treibhausgasen um 1–2 t CO_{2äq}/ha unter denen des konventionellen Landbaus liegen (Schmid et al. 2013, zit. in Osterburg et al. 2013)⁷. Ökologische Produktionsmethoden führen durch die Rückbindung von CO₂ in die Biomasse des Bodens zu einer positiven Humusbilanz. Nach Hirschfeld et al. (2008) werden so, verglichen mit anderen Bewirtschaftungsmethoden, 12 bis 15% mehr Kohlenstoff im Boden angereichert, was einer zusätzlichen Menge von 575 bis 700 kg CO₂ pro Hektar und Jahr entspricht (FiBL 2007). Schonende Bodenbewirtschaftung, ein höherer Humusgehalt und höhere Bodenfruchtbarkeit, der Verzicht auf Agrochemikalien bei geringerer und organischer Düngung, vielfältige Fruchtfolgen und ein höherer Anteil naturnaher Flächen sind in hohem Maße biodiversitätsfördernd (SRU 2008). So finden sich auf biologisch bewirtschafteten Flächen 30% mehr Arten und 50% mehr Individuen im Vergleich zu konventionellen Betrieben (FiBL 2013). Dieser Effekt wird hierbei besonders in Regionen erzielt, die stark landwirtschaftlich geprägt sind (Tuck et al. 2014).

Es muss berücksichtigt werden, dass ökologischer Landbau nicht immer automatisch zum Klima- und Biodiversitätsschutz beiträgt, da dies stark vom einzelbetrieblichen Management abhängig ist (Osterburg et al. 2013). Zudem liegen die Ernteerträge ökologischer Betriebe ca. 20% unter den Erträgen konventionell bewirtschafteter Betriebe (de Ponti et al. 2012) und so wird von Teilen der Wissenschaft, der Agrarwirtschaft und Pflanzenschutzmittelhersteller oft auf die Gefahr von Verdrängungseffekten hingewiesen: Da für die Produktion der gleichen Menge unter ökologischer Bewirtschaftung ein höherer Flächenbedarf entsteht, kann dies bei begrenzt zur Verfügung stehendem Land einerseits dazu führen, dass es zu Konkurrenzsituationen mit anderen Sektoren kommt und andererseits, dass weitere Flächen erschlossen werden müssen – mit negativen Folgen für die dortige Biodiversität (Hirschfeld et al. 2008). Dem wird das Argument entgegen gesetzt, dass der höhere Flächenanspruch des ökologischen Landbaus dafür genutzt werden kann, Landnutzung mit anderen Umweltzielen zu kombinieren und das Kulturlandschaftsbild zu erhalten (bspw. durch Streuobstwiesen oder Grünland und der dortigen Artenvielfalt, die auf eine extensive Bewirtschaftung angewiesen ist) (Osterburg et al. 2013).

Zusammenfassende Darstellung positiver und negativer Auswirkungen auf die Biodiversität:

+	Positive Effekte für Gewässer, Böden und wild lebende Tier- und Pflanzenarten durch schonende Bodenbearbeitung und ohne den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und chemischen Düngemitteln (ökologischer Landbau); Erhalt und Etablierung von Grünland sichert Lebensräume; eine höhere Agrobiodiversität bietet Habitate und Nahrungsquellen; <i>land sparing</i> kann Flächen frei von Nutzung halten
---	--

⁷ Für produktbezogene Emissionen liegen weniger vergleichbare Aussagen vor; jedoch scheinen die Emissionen denen des konventionellen Landbaus zu entsprechen oder sind etwas niedriger. Hierbei gilt, dass die Einsparungen stark managementabhängig sind (Osterburg et al. 2013).

	<i>Land sparing</i> beeinträchtigt Biodiversität auf der bewirtschafteten Fläche durch Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und häufige Bodenbearbeitung; geht bodenschonende, pfluglose Bodenbearbeitung mit einem erhöhten Herbizideinsatz einher, ruft dies negative Folgen für die Biodiversität hervor; Gefahr von Verdrängungseffekten durch Extensivierung der Landnutzung (ggf. Mehrimport aus anderen Ländern)
--	---

3.2.4 Reduzierter Einsatz von Pflanzenschutzmitteln

Die sich ändernden klimatischen Bedingungen führen zu einer Zunahme des Schädlingsbefalls (Unkräuter, Schädlinge und Krankheiten) auf landwirtschaftlichen Flächen. Da viele Insekten relativ hohe Temperaturoptima besitzen und ihre Körpertemperatur durch die Umgebungstemperatur bestimmt wird, führt eine Erwärmung zu einem schnelleren Wachstum, größerer Vitalität und einer besseren Fortpflanzungsrate. Vor allem frostempfindliche Schadinsekten und Wurzelparasiten profitieren hiervon, da eine vitale Überwinterung möglich wird (Schaller/Weigel 2007). Gleichzeitig kann auch eine verstärkte Anreicherung von Kohlehydraten in der Wirtspflanze als Folge des CO₂-Düngeeffekts zu einem stärkeren Parasitenbefall führen (Schaller 2011). Aus der Zusammenstellung des Sachstands der Auswirkungen des Klimawandels auf die deutsche Landwirtschaft von Schaller und Weigel aus dem Jahr 2007 geht hervor, dass Fraßschäden und saugende Insekten im Jahr 2025 für Ertragsverluste von 20% verantwortlich sein können. Hierbei schädigen Insekten die Kulturpflanzen nicht nur direkt, sondern sind auch Überträger von Krankheiten, die in der deutschen Landwirtschaft (Stand 2007) Ernteverluste zwischen 9 und 16% hervorrufen (Schaller/Weigel 2007).

Unkräuter werden v.a. wegen steigenden Temperaturen, verlängerten Vegetationsperioden und aufgrund höherer CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre⁸ zunehmen. Ein Beispiel ist die aufgrund ihres allergenen Potenzials viel diskutierte, wärmeliebende beifußblättrige Ambrosie. In den 1980er Jahren wurde im Mittelmeerraum eine schnelle Ausbreitung dieses ursprünglich aus den USA stammenden Neophyten verzeichnet, der über Osteuropa und Österreich auch Deutschland erreicht hat. Trat sie bis vor einigen Jahren nur selten und unbeständig auf, hat sich die Pflanze mittlerweile offenbar in über der Hälfte der Landkreise und kreisfreien Städte etabliert. Durch höhere Temperaturen und CO₂-Konzentrationen findet sie nicht nur bessere Wachstumsbedingungen vor, auch die Pollenproduktion wird maßgeblich gesteigert (Eis et al. 2010). Das verstärkte Wachstum von Unkräutern führt wegen der Konkurrenz um Ressourcen zu Ertragsrückgängen bei Anbaukulturen: Nach Schaller und Weigel (2007) sind sie für einen Verlust von 12% der globalen Erträge verantwortlich.

⁸ Erhöhte CO₂-Konzentrationen wirken sich auf C3-Pflanzen förderlich aus, wozu die meisten Anbaukulturen hiesiger Breiten zählen. Viele Unkräuter haben indes einen C4- Photosynthesemechanismus, der weniger von erhöhtem atmosphärischen Kohlendioxidgehalt profitiert. Inwieweit dieser Nachteil jedoch durch eine für C4-Pflanzen charakteristische höhere Temperaturunempfindlichkeit und größere Trockenstressresistenz kompensiert wird, ist offen (Schaller/Weigel 2007).

Aufgrund dieser Einbußen wird die Eindämmung von Unkräutern und Insekten in der Landwirtschaft als eine äußerst wichtige Aufgabe wahrgenommen. Es handelt sich hierbei also um eine Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel und nicht um eine Klimaschutzmaßnahme. Inwiefern sich der Klimawandel per se auf den Einsatz und die Menge von Pflanzenschutzmitteln auswirkt, ist bislang schwer abschätzbar (Schaller 2011) und in Zusammenhang mit den jeweiligen Gegebenheiten zu sehen: Während eine Temperaturzunahme das Risiko von Pilzerkrankungen tendenziell reduziert (und damit die benötigte Menge an Fungiziden), ist dennoch ein steigender Pflanzenschutzmittelverbrauch angesichts verbesserter Wachstumsbedingungen von Unkräutern und Schadinsekten sowie der Wirkungsminderung der Mittel zu erwarten⁹ (Hinrichs-Berger 2008).

Hersteller von Pflanzenschutzmitteln und Industrieverbände beziehen sich auf die Notwendigkeit einer effizienten Nutzung landwirtschaftlicher Fläche, die zum Erhalt der Biodiversität (auf nicht landwirtschaftlichen Flächen) beiträgt (z.B. BASF o.A., Industrieverband Agrar 2014). Das Pflanzenschutzgesetz (PflSchG) stellt sicher, dass Pflanzenschutzmittel vor der Marktzulassung auf ihre Auswirkungen auf Umwelt und Biodiversität hin geprüft werden und bezweckt, dass „Gefahren, die durch die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln oder durch andere Maßnahmen des Pflanzenschutzes, insbesondere für die Gesundheit von Mensch und Tier und für den Naturhaushalt, entstehen können, abzuwenden oder ihnen vorzubeugen“ sind (§1, Abs. 3, PflSchG). Naturschutzverbände, Umweltbehörden und unabhängige Studien erachten die Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf die Umwelt und sog. Nichtzielorganismen dennoch als stark negativ: Die Wirkstoffe gelangen in den Boden und das Grund- und Oberflächenwasser der behandelten Fläche und können sich auch über die Fläche hinaus durch Verdriftung, Abschwemmungen oder kontaminierte Beizstäube in Gewässern in angrenzenden Gebieten sammeln und die hier vorkommenden Arten massiv beeinträchtigen (UBA 2010). Da die Wirkstoffe unabhängig voneinander getestet werden, würden kumulative Wirkungen somit nicht erfasst. Negative Folgen für die biologische Vielfalt ergeben sich neben der ausgebrachten Menge auch aufgrund ihres sehr breiten Wirkungsspektrums, wobei die Wirkungsintensität ausschlaggebender als die Menge sei. „Das sehr große Schädigungspotenzial in Verknüpfung mit der großflächigen Ausbringung in die Agrarlandschaft erklärt, warum Pflanzenschutzmittel als eine der wesentlichen Ursachen für die anhaltende Gefährdung der Biodiversität unserer Agrarlandschaft genannt werden.“ (vgl. UBA 2010: 33)

Neben den Schadorganismen werden dabei auch wichtige Nichtzielorganismen und Nützlinge stark in Mitleidenschaft gezogen, wie bspw. im Falle von Bestäubern intensiv diskutiert wird: So trägt der Einsatz von Unkrautvernichtungsmitteln (Herbiziden) wesentlich dazu bei, dass die Pflanzenvielfalt in der Agrarlandschaft kontinuierlich zurückgeht und Bestäuberhabitate und wichtige Nahrungspflanzen verloren gehen.

9 Eine Wirkungsminderung kann bspw. durch Abdampfen und schnelleren Abbau der Mittel wegen höherer Temperaturen, Veränderungen der Blattanatomie (Verdickung der Epidermis) oder schnellerem Abtrag von der Behandlungsfläche bei Starkregenereignissen hervorgerufen werden (Hinrichs-Berger 2008).

Hierbei sind jene mit spezialisierten Habitatansprüchen (im Gegensatz zu Generalisten) besonders betroffen und damit in direkter Konsequenz auch die Pflanzen, die von der Bestäubung bestimmter Insekten abhängig sind (Schaller et al. 2012). In diesem Zusammenhang wird häufig das Bienensterben erwähnt, das in den vergangenen Jahren deutlich zugenommen hat. Das Phänomen des sog. *Colony Collapse Disorder* (Völkerkollaps durch das Fehlen erwachsener Bienen im Stock) hat insbesondere in den USA für einen massiven Rückgang der Bienenvölker gesorgt. Neben dem Verlust an Habitaten und Nahrungsquellen sowie dem Befall mit Varroamilben, werden auch Pflanzenschutzmittel der Gruppe der Neonikotinoide mit dem Zurückgang der Bienenpopulation (und anderer Bestäuber) in Verbindung gebracht (Grimm et al. 2012). Im Jahr 2013 führte dies zu unterschiedlich stark ausgeprägten Restriktionen der Anwendung dieser Mittel in europäischen Ländern. Die Ergebnisse einer vierjährigen Meta-Analyse („Worldwide Integrated Assessment of the Impact of Systemic Pesticides on Biodiversity and Ecosystems“, WIA), die 2014 im *Journal of Environment Science and Pollution Research* veröffentlicht werden, setzen in der bislang umfassendsten Auswertung von über 800 referierten Artikeln der vergangenen fünf Jahre den Einsatz von Neonikotinoiden und Fipronil mit einer signifikanten Schädigung von Bestäubern (aber auch Erdwürmern und Vögeln) in Verbindung. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass diese Wirkstoffe eine Schlüsselrolle im Rückgang der Bienenpopulation haben und durch ihre Auswirkungen auf das gesamte Ökosystem die Grundlagen für die Erzeugung von Lebensmitteln stark gefährden (TFSP 2014). Durch die herausragende Bedeutung von Bestäubern für den Erhalt der Biodiversität und der Anpassung an den Klimawandel sind diese Ergebnisse besonders ernst zu nehmen (Christmann/Aw-Hassan 2012). Durchschnittlich sind etwa 35% der globalen Agrarproduktion und 60 bis 80% der Wildpflanzen von der Bestäubung durch Insekten abhängig. Wenn die natürlichen Bestäuber durch den vermehrten Einsatz von Pestiziden und die zunehmende Monotonisierung des Anbauspektrums in ihrem Bestand bedroht sind, wirkt sich dies daher drastisch auf die Mehrheit der landwirtschaftlich genutzten Arten aus. Neben Bestäubern sind aber auch weitere Tierarten durch den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln betroffen: Pestizide gelten als Hauptgrund für den Rückgang einiger Feldvogelarten wie bspw. des Rebhuhns, dessen Populationsgröße seit den 1990er Jahren um 90% abgenommen hat. Generell haben sich die Bestände von Vogelarten, die durch den Pestizideinsatz am meisten gefährdet sind, in den vergangenen 20 Jahren um die Hälfte reduziert (UBA 2012, BUND 2012).

Bei dem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln handelt es sich um eine in Zukunft wahrscheinlich an Bedeutung gewinnende Anpassungsmaßnahme an die Zunahme von Schädlingen und Unkräutern. Dies stellt einen wesentlichen Konfliktbereich dar, der eine massive Gefährdung der Wildtiere und -pflanzen, Insekten, Bodenorganismen, sowie des gesamten Ökosystems und all den von ihm bereitgestellten Ökosystemleistungen (v.a. Leistungen wie Bestäubung, fruchtbarer Boden, saubere Gewässer) nach sich zieht. Die Biodiversität profitiert daher maßgeblich davon, wenn weniger Pflanzenschutzmittel ausgebracht werden (zudem werden Treibhausgase eingespart, wenn weniger Pestizide und Herbizide hergestellt und verteilt werden). Wie der Einsatz

reduziert bzw. vermieden werden kann, zeigt sich am Beispiel der Methoden des ökologischen Landbaus: Elementare Maßnahmen sind zunächst die standortangepasste Arten- und Sortenwahl (wobei Selbstunverträglichkeiten und dementsprechende Anbaupausen zu berücksichtigen sind) sowie die ebenfalls standortangepasste Fruchtfolge für ein gesundes Wachstum der Kulturen und eine geringe Verunkrautung der Fläche. Der Einsatz von Leguminosen ist förderlich für die Bodenfruchtbarkeit (Stickstoffbindung) und hilft bspw. das Vorkommen von Disteln zu reduzieren. Ein gesunder Boden und eine angepasste Bodenbearbeitung sind generell Grundvoraussetzungen für die bestmögliche Entwicklung der Pflanzen, da es andernfalls (bei verdichteten, zu nassen oder zu trockenen Böden) zu Stressreaktionen kommt und die Anfälligkeit gegenüber Schädlingen zunimmt. Die Förderung von Nützlingen als natürlichen Gegenspielern helfen darüber hinaus, Unkräuter und Schädlinge fernzuhalten: Durch Hecken, Feldgehölze, Ackerrandstreifen, Blühstreifen etc. können Nützlinge (wie bspw. Schlupfwespen oder Marienkäfer) angezogen werden und vorbeugenden Pflanzenschutz leisten (BÖLN 2014).

Zusammenfassende Darstellung positiver und negativer Auswirkungen auf die Biodiversität:

+	Pflanzenschutzmittel sind eine wesentliche Ursache für die Gefährdung der Biodiversität in der Agrarlandschaft; ein verringerter Einsatz wirkt sich daher förderlich für Wildtiere und -pflanzen, Bodenorganismen, Böden und Gewässer aus.
—	Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln ist durch die Vernichtung von sog. Nichtzielorganismen äußerst schädlich für Flora und Fauna und gilt als Hauptgrund für den drastischen Rückgang einiger Feldvogelarten; schädliche Auswirkungen auf angrenzende Ökosysteme (Kontamination von Gewässern und Böden) und den hiervon abhängigen Organismen

3.3 Fazit

Angesichts der Größe der landwirtschaftlich genutzten Fläche und des Ausmaßes der umgesetzten Stoffe, stellt die Landwirtschaft einen Bereich dar, in dem durch Änderungen der landwirtschaftlichen Praktiken theoretisch große Effekte erzielt werden können. Während manche Herangehensweisen explizit auf die Einsparung von Treibhausgasen fokussieren (wie bspw. tierbezogene Leistungssteigerungen bei Milchkühen, wodurch die Zahl der Tiere reduziert werden kann, oder Veränderungen bei den Futtermitteln, durch die der Methanausstoß gesenkt werden soll), werden auch Maßnahmen diskutiert, durch die Synergien geschaffen werden und dem Schutz der Biodiversität zugutekommen. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn der Fokus auf Bodenschutz, Grünlanderhalt, und Diversifizierung des Anbauspektrums liegt. Besonders hervorzuheben sind hierbei die folgenden Aspekte:

- eine reiche Agrobiodiversität (z.B. in Form von resistenten und stressunempfindlichen Arten und Agrarökosystemen), die die Gefahr von Ernteausfällen reduziert, wenn die Umweltbedingungen außerhalb des Optimalbereichs der Hauptanbaukulturen liegen und gleichzeitig einen vielfältigeren Lebensraum für wilde Tiere und Pflanzen bieten;
- schonende Bodenbearbeitung (z.B. pfluglos, Integration von Zwischenfrüchten, Untersaat, Förderung der Bodenorganismen als Voraussetzung für fruchtbare Böden, etc.), die Förderung des ökologischen Landbaus;
- Verringerung des Düngemittelaustrags, um Nährstoffüberschüsse zu senken und generelle Reduzierung der Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln;
- der Erhalt und die Etablierung von Grünland.

4 Anbau von nachwachsenden Rohstoffen als erneuerbarer Energieträger

Der Biomasseanbau zur Energiegewinnung ist in vielerlei Hinsicht mit den Kapiteln zu Forst- und Landwirtschaft verbunden: Das liegt daran, dass Holz sowohl auf globaler Ebene einer der wichtigsten Energieträger ist und auch in Deutschland eine Renaissance als Wärmelieferant erfährt.¹⁰ Neben Holz, organischen Reststoffen und Abfällen wird Energie aus einer Reihe von Nutzpflanzen gewonnen, die auch in der Lebens- und Futtermittelindustrie eine wichtige Rolle spielen. Diese stellen den Hauptteil der Biomasse dar, die in Deutschland auf landwirtschaftlichen Flächen für Energiezwecke angebaut wird, während Kurzumtriebsplantagen mit schnellwachsenden Bäumen bislang in deutlich kleinerem Maßstab auf Ackerflächen angelegt werden (FNR 2013). Dieses Kapitel bezieht sich vorwiegend auf Kulturpflanzen, die auf landwirtschaftlichen Flächen für die Strom-, Wärme- und Kraftstoffgewinnung angebaut werden. Auf Wärmegewinnung mit Holz wird zwar im Kontext von Kurzumtriebsplantagen ebenfalls eingegangen, diese werden ausführlicher in dem Kapitel zu Wald und Forstwirtschaft behandelt.

Der Anbau von Energiepflanzen erfolgt u.a. aus Motiven des Klimaschutzes; allerdings können hiermit verschiedene Risiken für das Ökosystem verbunden sein. In diesem Kapitel wird zunächst ein kurzer Einblick in die Rolle der Biomasse bei der Energieversorgung in Deutschland gegeben und dargestellt, welche Aspekte in dieser Diskussion thematisiert werden. Anschließend wird näher auf Konfliktfelder (Flächenkonkurrenz, Intensivierung des Anbaus, Dominanz weniger Energiepflanzen) eingegangen und diese derzeit diskutierten Alternativen gegenübergestellt.

¹⁰ Holz macht den größten Anteil bei der energetischen Verwertung von Biomasse aus, v.a. für die Erzeugung von Wärme und bei der Kraft-Wärme-Kopplung. 2011 trug Holzenergie mit 68% zu der Wärmegewinnung aus Erneuerbaren Energien bei. Aufgrund der steigenden Nachfrage wird zunehmend die Anlage von Kurzumtriebsplantagen mit schnellwachsenden Baumarten diskutiert (siehe Abschnitt 1.2.3) (BfN 2012).

4.1 Ausbau der Bioenergie in Deutschland

Das Ziel der Bundesregierung ist, bis 2050 den Ausstoß an Treibhausgasemissionen um mindestens 80% gegenüber 1990 zu reduzieren, was durch eine Steigerung der Energieeffizienz und Verringerung der Verbräuche erreicht werden soll sowie durch den deutlichen Ausbau der erneuerbaren Energien. Hierbei soll der Anteil von Wasserkraft, Windenergie, solarer Strahlung, Erdwärme und nachwachsenden Rohstoffen von derzeit knapp 25% (2012) auf 55% bis 60% im Jahr 2035 steigen (BMWi 2014). Aktuelle Schätzungen zufolge sind nachwachsende Rohstoffe (inkl. Holz) sowohl in der Europäischen Union als auch in Deutschland mit einem Anteil von mehr als zwei Dritteln (67% bzw. 73% im Jahr 2011) der wichtigste erneuerbare Energieträger. Der Anbau von Energiepflanzen hat in den vergangenen Jahren sowohl in Deutschland als auch global kontinuierlich zugenommen (Statistisches Bundesamt 2014a). Während im Jahr 2000 700.000 ha Fläche mit nachwachsenden Rohstoffen bestellt wurde, vergrößerte sich die Fläche 13 Jahre später auf bereits 2.395.000 ha. Der Hauptteil entfiel 2013 mit 2.114.500 ha auf Energiepflanzen (vorwiegend Raps für Biodiesel/Pflanzenöl, Pflanzen für Biogas und Zucker und Stärke für Bioethanol, wobei der Anbau von Festbrennstoffen, d.h. v.a. Holz, auf landwirtschaftlicher Nutzfläche gering blieb). Auf 280.500 ha wurden Industriepflanzen (z.B. Arznei- und Färbepflanzen oder zur Stärkegewinnung oder Ölpflanzen) angebaut (FNR 2013). Mit der Nutzung von Bioenergie soll ein Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden. Allerdings können sich durch den Anbau von Biomasse Konkurrenzen zu anderen Nutzungen ergeben¹¹ sowie stark negative Auswirkungen auf Ökosysteme die Folge sein. Somit stellt diese Form der Energiegewinnung ein in den letzten Jahren in der öffentlichen Diskussion und politischen Debatte sehr kontrovers diskutiertes Thema dar (Vohland et al. 2012, EMPA 2012, Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina 2013, Thrän et al. 2009). Wie der Sachverständigenrat der Bundesregierung bereits 2007 anmerkte, kann Bioenergie nicht vorbehaltlos als nachhaltig angesehen werden: „Die hohe Plausibilität einer verstärkten Biomassenutzung zur Energieerzeugung schließt jedoch Fehlentwicklungen nicht aus. Möglicherweise fördert sie sogar einen zu leichtfertigen Umgang mit dem Thema, der in der Vorstellung der „Unerschöpflichkeit“ und unbegrenzten Verfügbarkeit zum Ausdruck kommt. Der vielfach verbreitete Eindruck, Biomasse könne in absehbarer Zeit einen großen Teil der fossilen Rohstoffe – klimafreundlich – ersetzen, ist wissenschaftlich nicht haltbar.“ (vgl. SRU 2007: 17) So empfahl der Sachverständigenrat sechs Jahre später, dass „wegen der zusätzlichen gravierenden ökologischen Folgen sowie unerwünschter Verlagerungseffekte die Beendigung der Förderung von Anbau-Biomasse unbedingt erwogen werden [sollte]“ (vgl. SRU 2013: 25). Die vorgetragene Kritik (die vorwiegend seitens der Wissen-

¹¹ Hierbei muss berücksichtigt werden, dass Konkurrenzen zwischen Landwirtschaft und anderen Raumnutzern bereits vor der energetischen Nutzung von Energiepflanzen bestanden, und dass einige dieser Konkurrenzen durch die Biomassenutzung für Energiezwecke lediglich verstärkt werden. Eine weitere bedeutende Raumnutzung ist bspw. der Ausbau der Infrastruktur, durch den landwirtschaftliche Fläche entzogen wird und Landschaft und Lebensräume für Tiere zerteilt werden (Gesemann/Rohde 2009).

schaft, Natur-, Umweltschutzverbänden und -ämtern, aber auch in den Medien und in Teilen der Bevölkerung¹² geäußert wird) bezieht sich dabei v.a. auf die folgenden Aspekte: 1. Flächenkonkurrenz zwischen Nahrungs- und Energiepflanzenanbau („Teller oder Tank“-Diskussion); 2. Die nicht automatisch gegebene CO₂-Neutralität; 3. Landnutzungsänderungen und deren Auswirkungen auf die biologische Vielfalt und Böden, Grund- und Oberflächengewässer (intensive Landwirtschaft und starker Pflanzenschutzmitteleinsatz) und das Landschaftsbild (Monotonisierung/„Vermaisung“). Als Vorteil wird indes die Möglichkeit einer dezentralen und flexiblen Energieerzeugung genannt, die im Vergleich zu Wind- und Solarenergie keinen Schwankungen unterworfen ist und über gute Speichereigenschaften verfügt (anders als andere erneuerbare Energieträger). Neben einer geringeren Importabhängigkeit von Erdöl bietet sie Land- und Forstwirten zusätzliche Einkommensmöglichkeiten. Nicht zuletzt ist ein wichtiges Argument die Verringerung von Treibhausgasen, wobei die potenziellen Vorteile für den Klimaschutz sehr eng mit der Art und Weise des Anbaus und der Nutzung zusammenhängen und eine Gesamtbetrachtung unter Berücksichtigung von Verlagerungseffekten notwendig ist (CBD 2003, SRU 2007, Jering et al. 2013). Es ist daher von zentraler Bedeutung aufzuzeigen, welche Konflikte bei der Biomassennutzung auftreten können und welche Synergien sich mit dem Schutz der biologischen Vielfalt, den Böden und Gewässern nutzen lassen. Ein Überblick über einige dieser Konflikte und Synergien wird in den folgenden Abschnitten geboten.

4.2 Bedeutung für Landflächen

4.2.1 Flächenkonkurrenzen – Landnutzungsdruck

In Deutschland wurden im Jahr 2012 12,8% (das entspricht 2,1 Mio. ha) aller landwirtschaftlich genutzten Flächen für den Anbau von Energiepflanzen für die Erzeugung von Biogas, Biodiesel/Pflanzenöl, Bioethanol und Festbrennstoffen genutzt (Mühlenhoff 2013); der Großteil hiervon für Öl- (Raps) und Biogaspflanzen (Mais) (Jering et al. 2013).

Ein vorgetragener Kritikpunkt ist, dass es sich hierbei um eine sehr flächenineffiziente Form der Energiegewinnung handelt: Durchschnittlich werden nur 0,5–1% der einfallenden Sonnenenergie in Biomasseenergie umgewandelt, weswegen für eine großmaßstäbige Energieerzeugung entsprechend viel Land für den Anbau benötigt wird (Jering et al. 2013). Da kultivierbare Fläche nur in begrenztem Umfang zur Verfügung steht, kann dies neben Zielkonflikten mit dem Naturschutz auch Konkurrenzsituationen mit dem Anbau von Lebens- und Futtermitteln hervorrufen. In Deutschland werden solche Nutzungskonflikte bspw. in sog. Hot Spot-Regionen beobachtet,

¹² Biomasse zur Energiegewinnung wird jedoch nach einer Umfrage des Statistischen Bundesamts (2014) von der Mehrheit der Befragten befürwortet (74%). Damit erfährt sie zwar weniger Zustimmung als die Energiequellen Wasserkraft (98%), Solarkraft (95%), Windenergie (94%) und Erdgas (83%), allerdings deutlich größere Zustimmung als Kohle (41%) und Atomenergie (21%) (Statistisches Bundesamt 2014b).

d.h. in Gegenden, in denen bereits viel Mais als Tierfutter angebaut wird. Im Jahr 2013 waren 10 von 276 Landkreisen von solchen Konflikten betroffen (BMWi 2014). Im nahen Umfeld von Biogasanlagen verschärft sich diese Problematik, da sich hier der Anteil von Silomais verdoppeln bis vervierfachen kann. Diese Situation schlägt sich auch in steigenden Pachtpreisen nieder (Gesemann/Rohde 2009).

Die unmittelbaren Folgen können die Verdrängung der landwirtschaftlichen Produktion von Lebens- und Futtermitteln sowie die generelle Ausdehnung der landwirtschaftlichen Nutzfläche sein. Eine Ausweitung der Produktion in bislang nicht oder weniger stark genutzte Gebiete, marginale oder degradierte Standorte oder sogar in Schutzgebiete geht dabei fast immer mit stark negativen Konsequenzen für das dortige Ökosystem einher. Folgen ergeben sich aus der Intensivierung der Bewirtschaftung mit einem höherem Pflanzenschutz- und Düngemiteleinsatz (siehe Abschnitt 3.2.4), stärkerer Bodenbearbeitung und ggf. häufigeren und anderen Erntetechniken. Durch finanzielle Anreize für die Kultivierung von Energiepflanzen und die Errichtung von Biogasanlagen wurde die Ausdehnung der Anbauflächen gefördert. Aufgrund dieser finanziellen Attraktivität werden zunehmend auch Dauergrünland, extensiv genutzte Flächen und ökologische Ausgleichsflächen genutzt.¹³ Die ökologische Ausgleichsfunktion (u.a. Regeneration der Bodenorganismen, Rückzugsraum und Nahrungsquelle für Wildtiere und -pflanzen) dieser Flächen wird damit aufgehoben (Ammermann/Mengel 2011). Da Grünland zu den artenreichsten Biotoptypen Mitteleuropas gehört und große Mengen an Kohlenstoff speichert, ist diese Entwicklung sowohl aus Sicht des Klima- als auch des Biodiversitätsschutzes stark kontraproduktiv (BfN 2010).

In diesem Zusammenhang wird zwischen den direkten und den indirekten Landnutzungsänderungen unterschieden: Die Umweltauswirkungen *direkter Landnutzungsänderungen*, d.h. direkte Veränderungen des Ökosystems durch den Anbau von Energiepflanzen, sind einfach zu ermitteln, da sie sofort ersichtlich werden. Schwieriger abzuschätzen sind die Auswirkungen *indirekter Landnutzungsänderungen*: Das Konzept dieser iLUC (*indirect Land Use Changes*) steht seit wenigen Jahren im Fokus wissenschaftlicher Untersuchungen. Werden Ackerflächen für den Anbau von Biomasse zur Energiegewinnung umgestellt, muss die auf diesen Flächen zuvor erzielte Agrarproduktion auf andere Flächen ausweichen, die bis dahin ggf. noch keiner Nutzung unterlagen, was zu Eingriffen in das dortige Ökosystem führt. Auch wenn auf diesen Flächen dann keine Biomasse für energetische Zwecke angebaut wird, so sind die Veränderungen, die sich durch die plötzliche landwirtschaftliche Nutzung ergeben, mit ihr in Verbindung zu bringen. In diesem Zusammenhang wird vonseiten der Wissenschaft und NGOs auch darauf hingewiesen, dass die ambitionierten politischen Ziele des Ausbaus erneuerbarer Energien nur durch Importe aus dem Ausland erreicht werden können, was folglich eine Verlagerung der Problematik nach sich zieht (Nati-

¹³ In welchem Ausmaß der Anbau von Energiepflanzen zu dem Umbruch von Grünland beiträgt, ist schwer zu ermitteln. Aus der Analyse agrarstatistischer Daten von Nitsch et al. (2009) geht jedoch hervor, dass in vier Bundesländern auf über der Hälfte der umgebrochenen Grünlandfläche Mais angebaut wird.

onale Akademie der Wissenschaften Leopoldina 2013)¹⁴. Wenn Biomasse für energetische Zwecke auf nationalen oder europäischen Flächen angebaut wird, ist für ein umfangreiches Bild der Blick auch auf Importe von Lebens- oder Futtermitteln aus anderen Ländern notwendig, die wegen Platzmangel in anderen Erdteilen produziert werden. Die Bedingungen des Anbaus und die Flächenwahl in den Anbauländern (bspw. die Problematik der Rodung von Regenwald oder Trockenlegung von Mooren für die Gewinnung landwirtschaftlicher Nutzfläche, durch die neben dem drastischen Verlust der Biodiversität auch die Treibhausgaseinsparung negiert wird (SRU 2007)) sind indes häufig nicht so weit nachvollziehbar, als dass sie bislang in eine ökobilanzielle Betrachtung der Energieträger integriert werden können. Für eine vollständige Bewertung der Auswirkungen des Anbaus von Energiepflanzen ist die Berücksichtigung dieser iLUC in Klimabilanzierungen von Energieträgern notwendig. Aufgrund der Komplexität der Berechnung ist dies jedoch noch nicht der Fall¹⁵ (Pelvin/Kammen 2013, Jering et al. 2013, Memmler et al. 2014).

4.2.2 Nutzung von degradierten und marginalen Flächen

Vor dem Hintergrund von Landnutzungskonkurrenzen und der Kritik an der Umwandlung von ökologisch wertvollen Flächen (wie Grünland) in landwirtschaftliche Nutzfläche, kam das Konzept der Nutzung von degradierten, marginalen oder aufgegebenen landwirtschaftlichen Flächen als ein Lösungsansatz auf, das auf breiter Ebene – sowohl global, aber auch regional – diskutiert wird (sog. *degraded-lands* Debatte) (Thrän 2014). Eine Fläche gilt als degradiert, wenn sie durch (natürliche oder anthropogene) Störungen so stark beeinträchtigt wurde, dass durch den Verlust von Ökosystemfunktionen und -leistungen ihre Nutzung aus ertragsorientierter Sicht längerfristig nicht mehr möglich ist. Die Folgen der Störungen (Mangel an organischer Substanz und Nährstoffen, Veränderungen der Bodenstruktur, Erosion) sind durch natürliche Prozesse allein nicht umkehrbar (Wiegmann et al. 2008, Kretzschmar et al. 2011). Hingegen sind marginale Flächen Grenzertragsstandorte, die durch eine geringere Produktivität, bspw. aufgrund von einer niedrigeren Bodenqualität gekennzeichnet sind (Kretzschmar et al. 2011). Der Bezugspunkt gebräuchlicher Definitionen ist die agrarökonomische Rentabilität, wonach auf diesen Flächen eine kostendeckende Landwirtschaft nicht möglich ist (Gopalakrishnan et al. 2011, zit. in Webb/Coates 2012).

¹⁴ In diesem Kontext werden Diskussionen über die weitergehenden, sozio-ökonomischen Auswirkungen geführt (steigende Preise für Lebensmittel infolge akuter Knappheit oder geringeres Nahrungsmittelangebot, falls die Produktion nicht verlagert wird). Durch den Anbau von Biomasse, die die gleichen Produktionsfaktoren wie Nahrungs- und Futtermittel hat, wird diese Situation verschärft (Searchinger 2013).

¹⁵ Die Relevanz der Effekte aus indirekten Landnutzungsänderungen ist zwar in Wissenschaft und Politik anerkannt, allerdings erweist sich die Vorhersagbarkeit und Modellierung ihrer Effekte aufgrund der Komplexität des globalen Marktes und der Vielzahl an Treibern bislang noch von zu starken Schwankungen behaftet, als dass sie als Instrument zur Bestimmung der Effekte herangezogen werden könnten (Pelvin/Kammen 2013).

Somit werden solche Flächen weithin als unkritisch gesehen, was mögliche Verdrängungseffekte betrifft. Angaben in der Literatur bezüglich des globalen Flächenpotenzials gehen weit auseinander und umfassen durchschnittlich eine Spanne von ca. 430 Mio. bis 2,5 Mrd. ha Land (Hoogwijk et al. 2003; Metzger/Hüttmann 2009, zit. in Fritsche 2011), das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft bezieht sich auf 3,5 Mrd. ha degradierte Fläche weltweit (FAO 2010; Metzger/Hüttmann 2009, zit. in BMELV 2011). Einer vergleichenden Untersuchung von Kleinhanß und Junker (2012) zufolge, besteht (unter Berücksichtigung der Sicherstellung der Flächenverfügbarkeit für die Lebensmittelversorgung einer wachsenden Bevölkerung bis 2050) global ein signifikantes Flächenpotenzial für den Energiepflanzenanbau – zumindest in rein technisch pflanzenbaulicher Hinsicht (die ökonomische Machbarkeit wird dabei nicht berücksichtigt). Als realistischste Einschätzung zitieren die Autoren die Angabe 240–500 Mio. ha.¹⁶

Allerdings sind die Auswirkungen auf die Biodiversität und die Landnutzungsrechte der betreffenden Flächen ungewiss, da degradierte oder marginale Flächen nicht per se frei von jeglicher Form der Nutzung oder Bedeutung für Ökosystemleistungen sind. Insbesondere in Schwellen- und Entwicklungsländern können degradierte oder marginale Flächen große Bedeutung für die Versorgung der Bevölkerung mit Nahrungsmitteln, als Weideflächen oder Sammelorte für Feuerholz und Wildpflanzen wie auch als Lebensraum für Wildtiere haben (Kretzschmar et al. 2011, Jering et al. 2013, Kleinhanß/Junker 2012). Auch in hiesigen Regionen können degradierte, aufgegebene oder marginale Flächen eine wichtige Funktion als Lebensraum für viele Arten haben. So sind bspw. aufgegebene Bergbaugebiete und nährstoffarme Rohböden wertvolle Habitate für hochspezialisierte Arten, die an extreme Bedingungen angepasst sind und auf nährstoffreicheren Flächen durch andere Arten verdrängt werden. Es handelt sich bei diesen Flächen generell um empfindliche Standorte (v.a. hinsichtlich ihrer Anfälligkeit gegenüber Erosion oder Wasserstress), weswegen differenzierte Untersuchungen im Vorfeld unverzichtbar sind (Wiegmann et al. 2008, BfN 2010). So ist die Berücksichtigung der ökologischen Tragfähigkeit und Pufferkapazität der jeweiligen Fläche entscheidend, da eine nicht an die Bedingungen des Standorts angebrachte Intensivierung der Produktion von hohen Umweltkosten (wie bspw. Eutrophierung von Böden und Gewässern, Lachgasemissionen, Verringerung des organischen Kohlenstoffs in Böden, Verknappung nutzbarer Wasserressourcen etc.) begleitet sein kann (Jering et al. 2013).

In vielen Fällen sind degradierte Flächen hingegen nicht förderlich für die Biodiversität und eine Flächenrestaurierung kann dazu beitragen, negative Nebeneffekte (z.B.

¹⁶ Generell dürften diese Zahlen jedoch von einer großen Fehlerwahrscheinlichkeit behaftet sein und die betreffenden Flächen aufgrund der für sie charakteristischen geringeren Produktivität wohl erst nach einem massiven Einsatz von Produktionsmitteln im Vorfeld für den Anbau genutzt werden können (Kretzschmar et al. 2011). Thrän (2014) weist zudem darauf hin, dass es kaum Praxisbeispiele für die Inwertsetzung solcher Flächen gibt und gleichzeitig die Klärung (z.T. informeller) Besitzverhältnisse das Flächenpotenzial weiter reduzieren dürfte.

die Verschlammung als Folge von Erosion) zu verhindern und sogar förderliche Bedingungen für die biologische Vielfalt zu schaffen. Neben der Vermeidung von Flächenkonkurrenzen geht die Hoffnung innerhalb dieser Diskussion daher auch in die Richtung, dass durch die Kultivierung bestimmter Pflanzenarten positive Effekte erwirkt werden (Jering et al. 2013). Bspw. wurde vor einigen Jahren verstärkt der Anbau des Wolfsmilchgewächs *Jatropha curcas* (Purgiernuss) in semi-ariden Erdteilen untersucht: Einerseits haben die Nüsse dieser Pflanze einen hohen Ölgehalt, andererseits ist *Jatropha* sehr genügsam und ihr Wachstum ist ohne hohen Mitteleinsatz (Dünger und Pflanzenschutzmittel) auch auf degradierten Standorten möglich. Der Anbau wurde unter dem Aspekt des Bodenschutzes diskutiert, da die Pflanze zur Stabilisierung des Bodengefüges, Erosionsminderung und damit Rückgewinnung degradierter Böden beitragen kann (Reubens et al. 2011). Inzwischen haben sich die einst sehr hohen Erwartungen jedoch relativiert¹⁷ (Baumert 2014). Prinzipiell kann durch die Wahl geeigneter Anbausysteme und -kulturen (v.a. mehrjährige Kulturen oder Kurzumtriebsplantagen) der Anbau von Biomasse auf degradierten Böden zu einer Aufwertung der Bodenfruchtbarkeit führen, Lebensraum für Tiere schaffen, die Wasserqualität verbessern und die Kohlenstoffsequestrierung des Bodens erhöhen (Tilman et al. 2009).

Zusammenfassende Darstellung positiver und negativer Auswirkungen auf die Biodiversität:

+	Degradierete Flächen können durch den Anbau geeigneter (mehrjähriger) Energiepflanzen restauriert werden (positive Auswirkungen u.a. durch Verhinderung von Erosion auf Boden- und Wasserqualität, Habitate werden geschaffen, Kohlenstoffsequestrierung im Boden wird erhöht); (vermutlich) Vermeidung von Flächenkonkurrenzen
—	Große Flächen (auch ökologisch wertvolle Flächen) werden für den Anbau umgewandelt bzw. umgebrochen (Grünland) und gehen als Habitate und Nahrungsquellen verloren bzw. werden grundlegend verändert; direkte und indirekte Verlagerungseffekte (im In- und Ausland) ergeben sich aus der Bewirtschaftungsform (intensive Bodenbearbeitung, Anbau in Monokultur, hoher Pflanzenschutzmitteleinsatz); marginale oder degradierte Flächen können wertvolle Habitate spezialisierter Arten darstellen und gehen durch Kultivierung verloren, ebenso wie Flächen, die (informell) für Beweidung, Sammlung von Wildpflanzen oder Feuerholz etc. genutzt werden.

¹⁷ Dies liegt daran, dass die Ernte unter suboptimalen Anbaubedingungen geringer ausfällt als angenommen und für hohe Erträge gute Standorte mit einer ausreichenden Wasserversorgung erforderlich sind. Die Ernte ist zudem, da manuell, sehr arbeitsintensiv und nur in Niedriglohnländern wirtschaftlich rentabel (Baumert 2014). Ferner zeigen sich nachteilige Umweltauswirkungen sowohl in Form von Eutrophierung und Versauerung, wenn der Anbau mit hohem Mitteleinsatz erfolgt (Reinhardt et al. 2007), als auch durch ein mögliches Invasionspotenzial der Pflanze (UNEP 2010 zit. in Webb/Coates 2012; Negussie et al. 2013). Eine Fokussierung auf die Klimawirkung hat in diesem Falle negative Konsequenzen für das Ökosystem, so dass die Anpflanzung von Dauerkulturen bzw. die Aufforstung mit Wald für den Klimaschutz und das umgebende Ökosystem zu bevorzugen wäre.

4.3 Intensität des Anbaus

4.3.1 Intensiv angebaute nachwachsende Rohstoffe

Die Verbesserung der Ressourceneffizienz wird beim Anbau von Energiepflanzen allgemein als Notwendigkeit genannt und Akteure aus Wirtschaft (bspw. Unternehmen der Bioenergiebranche, Saatgut- und Pflanzenschutzmittelhersteller) und Politik sehen Ertragssteigerungen als eine Kernaufgabe an. Hierfür kommen züchterische Maßnahmen zum Einsatz, die Erschließung bislang nicht genutzter Flächen und die Konzentration auf Kulturen und Sorten mit hohen Ertragspotenzialen (in Deutschland v.a. Raps und Mais, siehe Abschnitt 4.4) (Ammermann/Mengel 2011). Der Anbau ist häufig sehr großflächig und von einem massiven Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln begleitet. Vonseiten der Wirtschaft (bspw. Hersteller von Pflanzenschutzmitteln) wird die mit der Intensivierung erreichte gesteigerte Flächenproduktivität vielfach damit begründet, dass gleichzeitig unberührte Flächen entlastet werden: Durch die Intensivierung auf einer begrenzten Fläche könnten so andere Flächen der Nutzung komplett entzogen, und auf diesen ein Beitrag zum Natur- und Artenschutz geleistet werden (vgl. Abschnitt 3.2.2). Dieser Zusammenhang wird im Rahmen der *land-sharing- vs. Land-sparing*-Debatte kontrovers diskutiert¹⁸.

Die Kritik an dieser intensiven Bewirtschaftung (vorgetragen von unterschiedlichen Seiten wie der Wissenschaft, Naturschutzverbänden und -behörden, der Politik) bezieht sich vorrangig auf die hohen Aufwendungen von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln (wie dies auch bei anderen, konventionell erzeugten landwirtschaftlichen Produkten der Fall ist). Die Folgen für die Umwelt reichen von dem Eintrag von Pestiziden in Böden und Gewässer, der Eutrophierung von Gewässern durch Überdüngung sowie der Bodendegradation (bspw. Erosion, Versalzung und Verdichtung z.B. durch schwere Maschinen) bis hin zu der Freisetzung von Treibhausgasen bei der Produktion und Anwendung von Düngemitteln (Jering et al. 2013). Nach Fletcher Jr. et al. (2011) zieht insbesondere die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln und Veränderungen der Erntetechnik negative Konsequenzen für die Biodiversität nach sich: Frühe (und häufigere) Ernten können Vogelnester zerstören und Jungvögel töten, wenn diese noch nicht flügge sind. Auch haben bei frühen Erntezeitpunkten von häufig noch unreifen Beständen viele Ackerbegleitpflanzen (Wildkräuter) noch nicht die Samenreife erreicht, was die Aussaat und Reproduktionszyklen einschränkt (Luick et al. 2011, Glemnitz et al. 2009). Konflikte ergeben sich auch dann, wenn es zu einer Verengung der Fruchtfolge kommt und Monokulturen eine zuvor vielfältigere An-

¹⁸ So wird u.a. darüber diskutiert, dass die beiden Aspekte (landwirtschaftliche Produktion und Biodiversität) nicht unabhängig voneinander gesehen werden können (Fischer et al. 2014) und dass durch intensive Bewirtschaftungsformen Ökosystemleistungen beeinträchtigt werden, die wiederum wichtige Voraussetzungen für die landwirtschaftliche Produktion sind (Tuck et al. 2014). Neben normativen Aspekten (welche Flächen oder Arten sollen geschützt, welche bewirtschaftet werden?) stellen sich auch Fragen danach, wie sichergestellt werden kann, dass die Intensivierung an einer Stelle tatsächlich die Unterschutzstellung von Flächen an anderer Stelle nach sich zieht (und damit Rückzugsräume geboten werden) – oder ob stattdessen Skaleneffekte dazu führen, dass die Intensivierung ausgeweitet wird (Matson/Vitousek 2006; Perfecto/Vandermeer 2010, zit. in Fischer et al. 2014).

bauweise ablösen (Dziwiaty/Bernardy 2007, SRU 2007). Zwar ist die dreigliedrige Fruchtfolge eine Anforderung der Cross-Compliance¹⁹ der GAP (Gemeinsame Agrarpolitik), kann jedoch durch den Nachweis der Aufstellung einer Humusbilanzierung oder die Untersuchung des Bodenhumusgehalts umgangen werden (Landwirtschaftskammer NRW 2013). Durch die großflächige Anlage von Feldern und den damit einhergehenden Verlust von Kleinstrukturen kommt es zudem zu einer Abnahme der Landschafts- und Lebensraumvielfalt für Vögel und andere Tiere (dies steht auch in Zusammenhang mit der jeweiligen Feldfrucht, so dass bspw. die Diversität von Vögeln mit der Größenzunahme von Maisfeldern abnimmt, sich allerdings bei großflächigem Anbau von Rutenhirse erhöht) (Fletcher Jr. et al. 2011). Das Nahrungsangebot für Bestäuber wird durch das stark reduzierte Vorkommen und die geringe Vielfalt an Blühpflanzen herabgesetzt, Gleiches gilt für Feldvögel, die infolge des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln nur noch wenige Insekten finden.

4.3.2 Reduzierung des Dünger- und Pflanzenschutzmitteleinsatzes

Generell stehen bei dem Anbau von Energiepflanzen andere Anforderungen an die Qualität und Reinheit (bspw. Anteil an Beikräutern) als bei der Produktion von Lebens- oder Futtermitteln im Vordergrund, da der Fokus in erster Linie auf dem Methanertrag (und damit hohen Trockenmasseerträgen) liegt. Folglich kann die Produktionsintensität (und hierbei der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln) verringert werden (BfN 2010, Aigner et al. 2012). Allerdings ist dies abhängig von der jeweiligen Kultur: Im Falle des pflanzenschutzintensiven Mais, wie auch bei Sorghum, kann die bloße Reduktion von Herbiziden zu geringeren Methanerträgen und damit negativen Energie-Salden führen. Im Gegensatz hierzu sind andere Kulturen weniger anfällig, bzw. dominanter gegenüber Unkräutern (siehe auch folgender Abschnitt) (Aigner et al. 2012). Für einen umweltverträglichen Anbau kommen bspw. Anbauformen in Betracht, die durch eine optimierte, mehrgliedrige Fruchtfolge und/oder den Anbau von Zwischenfrüchten geringere Gaben von Pflanzenschutzmitteln und Düngemitteln erfordern. Insbesondere mehrjährige Kulturen, wie bspw. die in Kasten 4 vorgestellten Energiepflanzen *Miscanthus* und durchwachsene *Silphie*, Wildpflanzenmischungen, oder Kurzumtriebsplantagen von schnellwüchsigen Bäumen wie Weiden und Pappeln können extensiv bewirtschaftet werden und benötigen nur einen minimalen Einsatz an Pflanzenschutzmitteln und Düngern (SRU 2007, Zah/Kägi 2008). Jedoch ist der Anteil mehrjähriger Energiepflanzen in Deutschland noch sehr gering und ihre Anbaufläche belief sich im Jahr 2012 auf 6.500 ha (Mühlenhoff 2013). Generell leisten humusmehrende Leguminosen (wie bspw. Lupinen, Klee gras oder Wickroggen) einen wertvollen Beitrag zur Fruchtfolgediversifizierung, gleichzeitig fixieren sie Stickstoff,

¹⁹ Cross Compliance verbindet die Gewährung von Direktzahlungen mit der Einhaltung von Vorschriften aus den Bereichen Umwelt, Lebens- und Futtermittelsicherheit sowie Tierschutz. Ab 2015 gelten Änderungen in der GAP und Landwirte, die mehr als 30 ha bewirtschaften müssen drei Kulturen anbauen, von denen der maximale Anteil der Hauptkultur unter 75% der Fläche liegen muss, und die beiden größten Kulturen zusammen nicht mehr als 95% der Ackerfläche ausmachen dürfen.

so dass mineralische Ersatzdünger eingespart werden können. Zudem hat bspw. Wickroggen eine gute unkrautunterdrückende Wirkung, wodurch sich der Bedarf an Pflanzenschutzmitteln verringert bzw. überflüssig wird (Aigner et al. 2012).

Zusammenfassende Darstellung positiver und negativer Auswirkungen auf die Biodiversität:

+	Reduzierung des Pflanzenschutzes ist möglich durch optimierte, mehrgliedrige Fruchtfolge; Zwischenfrüchte, Leguminosen etc. erhöhen die Anbauvielfalt, senken den Bedarf an Düngemitteln, haben ggf. unkrautunterdrückende Wirkung und dienen zudem als Nahrungsquelle (bspw. für Bestäuber); Anbau mehrjähriger Kulturen und Kurzumtriebsplantagen (weniger Pflanzenschutzmittel benötigt)
—	Intensivierung geht mit großen Ackerschlägen, hohem Pflanzenschutzmittel- und Düngemiteleinsatz einher: Eintrag von Pestiziden in Böden und Gewässer, Eutrophierung von Gewässern, Bodendegradation und nachlassende Bodenfruchtbarkeit; Verlust von Kleinstrukturen reduziert Lebensräume, Insektizide töten Bodenorganismen und Insekten und damit Futterquellen für Vögel und andere Tiere; frühe und häufige Ernten können Vogelnester zerstören

4.4 Energiepflanzen-Sorten

4.4.1 Dominanz weniger Sorten

In Deutschland werden hauptsächlich Raps und Mais für die Gewinnung von Energie angebaut: Nach Angaben der Agentur für Erneuerbare Energien betrug die Anbaufläche von Raps als Kraftstoff im Jahr 2012 rund 0,91 Mio. ha. Im gleichen Jahr wurden 0,96 Mio. ha mit Mais und anderen Getreiden für Biogas bestellt, während auf 0,24 Mio. ha Getreide und Zuckerrüben für die Gewinnung von Bioethanol angepflanzt wurden (Mühlenhoff 2013). Obwohl das für die Energiegewinnung potenziell nutzbare Artenspektrum breit gefächert ist, dominieren somit einige wenige Kulturen den Anbau. Neben dem Fokus auf den Ertrag liegt dies auch daran, dass Landwirte diese Arten gut kennen und über die notwendigen Erntetechniken verfügen. Die dadurch in vielen Regionen hervorgerufene Homogenisierung der Landschaft wird von vielen Interessengruppen (u.a. Naturschutzgruppen, Bürgerinitiativen, aber auch Politik und Forstwirtschaft) sowohl aufgrund der Umweltauswirkungen als auch der landschaftsästhetischen Konsequenzen kritisiert. Dies wird anhand des Beispiels Mais anschaulich: Wegen seiner hohen Methanerträge zählt er bei vergleichsweise geringen Kosten zu den bedeutendsten Energiepflanzen in Deutschland. Die Auswirkungen, die sich daraus für angrenzende Ökosysteme und die Biodiversität ergeben, werden nachstehend in Kasten 3 exemplarisch dargestellt.

Kasten 3: Intensiver Anbau von Mais als Energiepflanze

Durch seine hohen Hektarerträge gilt Mais als leistungsfähigste Kultur für die Biogaserzeugung und ist damit vielen anderen Kulturen als Energiepflanze überlegen. Er dominiert in einigen Regionen Deutschlands zunehmend die Fruchtfolge, hauptsächlich im Umkreis von Biogasanlagen (Aigner et al. 2012, Gsemann/Rohde 2009). Dies ist allerdings nicht allein auf die Nutzung als Energiepflanze zurückzuführen, sondern auch darauf, dass Mais unterschiedliche Verwendungszwecke hat (v.a. als Futtermittel). So berichtete bspw. das Online-Informationszentrum der Landwirtschaft proplanta im Sommer 2014 von Rekorden im Maisanbau in einigen Bundesländern: „Brandenburg verzeichnet Rekordanbau bei Mais“ (20% Anteil am Ackerbau, 28.07.2014), „Maisanbau in Baden-Württemberg knackt 200.000 ha Grenze“ (somit zweitstärkste Feldfrucht, 26.07.2014), „Bayern rechnet mit guten Getreideerträgen“ (Anbau um 4,7% auf 565.000 ha gestiegen, 18.07.2014) (<http://www.proplanta.de/Agrar-Nachrichten/Pflanze/>).

Aus Sicht einer nachhaltigen Bewirtschaftung wird diese Ausweitung des Anbaus durchaus kritisch beurteilt. Mais kann bereits aufgrund spezifischer Eigenschaften negative Umweltauswirkungen hervorrufen, insbesondere dann, wenn der Anbau in großem Maßstab erfolgt: Es handelt sich um eine stark humuszehrende Pflanze und ein hoher Anteil in der Fruchtfolge führt langfristig dazu, dass der Humusgehalt des Bodens abnimmt – mit Konsequenzen für die hiervon abhängigen Bodenlebewesen, das Wasser- und Nährstoffhaltevermögen des Bodens sowie dessen Speicherfähigkeit für CO₂ (Aigner et al. 2012). Durch sein Höhenwachstum und schmale Stängel hat er nur eine sehr geringe Bodenbedeckung, so dass der Boden meist nackt und damit anfällig für Wind- und Wassererosion ist. Eine hohe Selbstverträglichkeit der Pflanze begünstigt den Anbau in Folge, ferner findet die Ernte mit schweren Maschinen statt (Gefahr der Bodenverdichtung). Auch ist der Nährstoffbedarf hoch, so dass es infolge hoher Düngergaben zur Eutrophierung angrenzender Gewässer kommen kann und das Sickerwasser nach der Ernte häufig erhöhte Nitratgehalte aufweist (Jering et al. 2013, Dziejwiaty et al. 2011, Aigner et al. 2012).

Das Deutsche Maiskomitee weist darauf hin, dass Mais durch seine sehr geringe Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern zu den pflanzenschutzintensivsten Kulturen zählt und daher die (überwiegend chemische) Unkrautbekämpfung die wichtigste direkte Maßnahme für den erfolgreichen Anbau darstellt (DMK o.A.). Wegen der vergleichsweise neuen, aber großen Gefahr von Schädlingskalamitäten insbesondere durch den Maiszünsler und den Maiswurzelbohrer, die erhebliche Ertragseinbußen hervorrufen können, werden weitere Pflanzenschutzmaßnahmen nötig: Die Einhaltung der Fruchtfolge, bei der Mais nur alle drei Jahre angebaut wird, kann die Ausbreitung des Maiswurzelbohrers zwar wirkungsvoll eindämmen. Aus wirtschaftlichen Gründen wird dies von den Maisbauern allerdings häufig umgangen, so dass stattdessen vielfach Insektizide zum Einsatz kommen. Die Populationsgröße des bedeutendsten Schädlings, dem Maiszünsler, lässt sich durch gründliches (tiefes) Unterpflügen der Maisstoppeln und des Maisstrohs reduzieren, jedoch wird er ebenfalls vielfach mit Insektiziden bekämpft (u.a. bei dem unter ökologischen Gesichtspunkten an und für sich erwünschten pfluglosen Anbau). Diese Pestizide wirken auch auf Nützlinge wie Marienkäfer und Florfliegen, so dass es in Folgejahren zu massiven Blattlausproblemen kommen kann (LfL o.A.).

Der großflächige Maisanbau begünstigt nicht nur das Vorkommen und die Ausbreitung dieser speziellen Schadinsekten, auch manche größere Tiere profitieren: Wildschweine finden in Maisfeldern Deckung vor Jägern und ein ausreichendes Nahrungsangebot. Neben anderen Faktoren (u.a. günstige klimatische Bedingungen, Lockfütterung, eine die Bejagung erschwerende Maisengsaat), hat dies mit dazu geführt, dass die Schwarzwildpopulation in den letzten Jahrzehnten drastisch zugenommen hat und einen Zuwachs von 200–300% des Frühjahrsbestands aufweisen kann. Dies spiegelt sich in der annähernden Verdoppelung der Jagdstrecke in den letzten 20 Jahren wider, die im Jagdjahr 2010/2011 nach Angaben des Deutschen Jagdschutzverbands rd. 585.000 Tiere umfasste (Leppmann et al. 2012). Diese Entwicklung beinhaltet v.a. aufgrund der großen Fraßschäden in Maisschlägen und auf anderen Landwirtschaftsflächen ein erhebliches Konfliktpotenzial und wird von Landwirten wie auch von Jägern mit Besorgnis gesehen (Jäger haften für den Schaden auf ihrem Pachtgebiet). Der Deutsche Jagdschutzverband e.V. und der Deutsche

Bauernverband befürworten eine enge Zusammenarbeit zwischen Landwirten, Grundeigentümern, Forstbewirtschaftern und Jägern und setzen sich für die Anlage von Bejagungsschneisen ein: Diese, besonders wenn in Kombination mit Strukturelementen angelegt (bspw. natürliche Wasserstellen, die ohnehin kritische Bewirtschaftungsstellen darstellen), können darüber hinaus ökologisch sinnvoll sein, da sie Habitate und Nahrung für Niederwildarten und Feldvögel bieten und die Nahrungssuche von Greifvögeln erleichtern, Pflanzenarten des Offenlandes fördern und Erosion entgegenwirken (Leppmann et al. 2012, Vocke 2007). Dies ist vor dem Hintergrund zu sehen, dass abgesehen von Schwarzwild große Maischläge für andere Tiere kaum Lebensraum bieten und damit nahezu bedeutungslos sind: Sobald der Mais aufgewachsen ist, finden Fasane, Rebhühner und andere Feldvogelarten aufgrund des lichten Bewuchses in Bodennähe nicht genügend Brutmöglichkeiten, wenig Nahrung oder Schutz vor Füchsen. Als für die Vogelwelt hilfreich haben sich Blüh-, Sonnenblumen- oder Brachstreifen im Maisfeld, Lerchenfenster, Verzögerung der Einsaat (so dass die Bruten vor der Bearbeitung schlüpfen können) oder eine Stilllegung von Teilflächen (z.B. in feuchten Senken) erwiesen (Luick et al. 2011).

4.4.2 Erhöhung der Pflanzenvielfalt, Wildpflanzenmischungen

Vor dem Hintergrund dieser Dominanz weniger Sorten wird sowohl vonseiten der Politik, Wissenschaft und Naturschutzverbände als auch der Energiewirtschaft der Anbau eines möglichst breiten Spektrums an Energiepflanzen als Chance hervorgehoben, die landwirtschaftlichen Fruchtfolgen aufzulockern und damit die Agrobiodiversität abwechslungsreicher zu gestalten. So werden Forschungsprojekte wie bspw. das seit 2005 laufende Verbundprojekt EVA (www.eva-verbund.de, koordiniert durch die Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft und gefördert über die FNR durch das BMEL) initiiert, um geeignete alternative Energiepflanzenarten und Anbaumethoden zu untersuchen (Mühlenhoff 2013). Mit Blick auf den (Agro-)Biodiversitätsschutz kann durch den Anbau alter, heimischer Sorten auch der in Abschnitt 3.2.1 angesprochenen Generosion entgegengewirkt und durch die gezielte Auswahl von Kulturen Umweltauswirkungen reduziert werden. Die Erforschung der Potenziale, die eine Erweiterung des Energiepflanzenspektrums und Veränderungen des Anbaus auf die Umwelt haben, ist daher ein zentrales Thema und wichtiger Gegenstand der gegenwärtigen Debatte.

Als alternative Energieträger, die wirtschaftlich tragfähig sind und von einer Konzentration auf vorherrschende Energiepflanzen wegführen könnten, werden neue wie auch klassische Kulturen und Wildpflanzenmischungen diskutiert, die z.T. jedoch bislang nur versuchsweise angebaut werden. Hierbei handelt es sich u.a. um Sorghumhirsen (Zuckerhirse und Sudangras), Durchwachsene Silphie, Miscanthus, Sida, Topinambur, Switchgrass (Rutenhirse), Amaranth, Buchweizen, Gerste, Roggen oder Sonnenblumen (BfN 2010, FNR o.A. a, ALB Bayern e.V. o.A.). Diese ein- und häufig auch mehrjährigen Kulturen haben teilweise ähnlich hohe Methanerträge wie Mais. Positive Effekte für die Umwelt und die Biodiversität werden in Kasten 4 am Beispiel von Miscanthus und der Durchwachsenen Silphie dargestellt.

Für die Biogasproduktion kann, anders als im Falle der Erzeugung von Lebens- oder Futtermitteln, der gesamte Aufwuchs einer Fläche verwertet werden, wofür sich nicht

notwendigerweise der Anspruch nach Reinsaat oder hoher Qualität der Erzeugnisse stellt. Vor diesem Hintergrund wird zunehmend vonseiten des Naturschutzes, der Wissenschaft und Energiewirtschaft sowie Akteuren aus Jagd und Bienenhaltung der Nutzen von Wildpflanzenmischungen betont: Ihre gezielte, den jeweiligen Bedürfnissen und Standorten angepasste Anpflanzung stellt einen innovativen Ansatz dar, um die Energieerzeugung enger mit den Zielen des Natur-, Arten- und Landschaftsschutzes zu verbinden²⁰ (Kuhn et al. 2014). So werden derzeit im Rahmen des Projekts „Energie aus Wildpflanzen“ (Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft, Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau, Netzwerk „Lebensraum Feldflur“, nähere Informationen unter www.lebensraum-brache.de) verschiedene Wildblumenmischungen konzipiert, die aus variierenden Anteilen mehr- und einjähriger, heimischer (und damit nicht invasiver) Pflanzen zusammengesetzt sind. Aus rund 80 Arten wurden die vielversprechendsten (bezogen auf ökonomische und ökologische Effekte) ausgewählt, wie bspw. Malven, Rainfarn, Sonnenhut oder Flockenblumen: Wirtschaftliche Rentabilität erlangen Wildpflanzendauerkulturen durch einen hohen wiederkehrenden Biomassezuwachs, so dass die Fläche nicht jährlich bearbeitet werden muss und damit der Arbeitsaufwand ab dem ersten Jahr gering bleibt. Dies fördert die Humusbilanz des Bodens und verringert die Anfälligkeit für Erosion. Durch die gezielte Kombination verschiedener Pflanzen kann weitgehend auf mineralische Düngung und chemische Pflanzenschutzmittel verzichtet und damit ein Beitrag zum Schutz des Bodens, des Grund- und Oberflächenwassers geleistet werden. Vorteile für die Biodiversität ergeben sich durch die geringe Eingriffshäufigkeit und die hohe Artenzahl. So bietet die Wahl spät blühender Arten Nahrungsquellen für Wild- und Honigbienen und andere Insekten, wenn andere Blühpflanzen (bspw. Raps) bereits abgeerntet sind oder die Blühphase abgeschlossen ist. Hiervon profitieren nicht nur blütensuchende Insekten, sondern auch deren Fressfeinde wie Vögel oder Fledermäuse. Außerdem werden Störungen während der Setz- und Brutzeit vermieden und Habitate für Wildtiere geschaffen. Positive Effekte ergeben sich zudem für das Landschaftsbild und den Erholungswert einer Region (Vollrath/Kuhn 2010, Kuhn et al. 2014).

Kasten 4: Potenziale alternativer Energiepflanzen für den Naturschutz

Einige der derzeit in Wirtschaft und Wissenschaft diskutierten alternativen Energiepflanzen sind nicht nur wegen ihrer hohen Energieerträge von Interesse, sondern auch aufgrund von teils deutlich geringeren Auswirkungen auf die Umwelt. Das Potenzial, das sich daraus sowohl für den Klimaschutz als auch für den Schutz der Biodiversität ergeben kann, soll anhand folgender zweier Beispiele veranschaulicht werden.

Miscanthus x giganteus (Riesen-Chinaschilf) ist ein ostasiatisches Süßgras, das seit den 1990er Jahren in Europa zunehmend bekannt wird und als eine der vielversprechendsten alternativen Bioenergiepflan-

²⁰ Um eine engere Verbindung von Arten- und Naturschutz und der Erzeugung von Energiepflanzen zu erreichen, wurde 2012 das Netzwerk „Lebensraum Feldflur“ von unterschiedlichen Akteuren aus den Bereichen Naturschutz, Jagd, Bienenhaltung und Energiewirtschaft gegründet: „Ziel des Netzwerkes ist es, ertragreiche Mischungen aus blütenreichen ein- und mehrjährigen heimischen Wildarten und Kulturarten als eine ökologisch notwendige und ökonomisch tragfähige Ergänzung zu konventionellen Energiepflanzen in der Landwirtschaft zu etablieren.“ (vgl. Kuhn et al. 2014: 7)

zen gilt (Jørgensen 2011). Dies liegt neben den hohen Erträgen der C4-Pflanze und den vielfältigen Anwendungsbereichen (hoher Lignin- und Zellulosegehalt, daher gut geeignet für die stoffliche und energetische Nutzung in der Energie-, Bau-, Papier- und Automobilindustrie) auch daran, dass der Anbau nur geringe Umweltauswirkungen hat. *Miscanthus* kann für eine Dauer von bis zu dreißig Jahren bewirtschaftet werden, in denen Pflegemaßnahmen nur bedingt notwendig sind – und zwar v.a. zu Beginn der Bestandsgründung, ab dem zweiten oder dritten Jahr lassen die Pflegeansprüche deutlich nach (IGM 2014). Das ausgeprägte Wurzelwerk beugt Erosion vor und abfallendes Laub fördert die Anreicherung des Bodens mit Nährstoffen, wodurch externer Düngemittelinput überflüssig wird. Auch bei zusätzlicher Düngung ist die Nitratauswaschung sehr gering, weswegen *Miscanthus* u.a. im Hinblick auf die europäische Wasserrahmenrichtlinie interessant ist (Jørgensen 2011). Die nur einmal jährlich erfolgende Ernte verhindert die Verdichtung und Störung des Bodens und der Bodenlebewesen (Felten/Emmerling 2011). Gemeinsam mit der Akkumulation und Zersetzung von Laub fördert dies eine hohe C-Sequestrierung, die auch durch die Bodenbearbeitung für die Begründung des Bestands nicht aufgehoben wird (Zimmermann 2013). Ab dem zweiten Jahr ist die Widerstandsfähigkeit des Bestands gegenüber Unkräutern so weit entwickelt, dass auf den Einsatz von Herbiziden weitgehend verzichtet werden kann. Ein möglicher Einfluss von Schädlingen wurde bislang nicht festgestellt (IGM 2014, Zimmermann 2013). Im Hinblick auf die Biodiversität sind es indes weniger die spezifischen Eigenschaften von *Miscanthus*, die eine positive Wirkung haben (es ist nur in begrenztem Maß Nahrungsquelle), als vielmehr die Tatsache, dass es sich um eine Dauerkultur handelt (Jørgensen 2011). So bieten sich durch die geringe Eingriffsintensität und der erst im Frühjahr erfolgenden Ernte Rückzugs- und Überwinterungsmöglichkeiten für Tiere und die Artenvielfalt ist höher als auf intensiv bewirtschafteten Feldern oder in Beständen mit einjährigen Kulturen (bspw. in Mais). Lediglich die mit der Zeit zunehmende Dichte (mehrere Meter Wuchshöhe, dichter Unterwuchs, geringer Lichteinfall) vermag das Platzangebot für Brutstätten von Bodenbrütern der Agrarlandschaft sowie die Entwicklung einer Begleitflora zu verringern und eine Barriere für die Mobilität mancher Tiere darstellen – daher wird nach Bestandsabschluss von einer Abnahme der Biodiversität im Vergleich zu den ersten Jahren berichtet (mehrjährige Pflanzen im Bestand profitieren im Vergleich zu einjährigen) (Angenendt et al. 2010). Im Gegensatz zu anderen *Miscanthus*-Sorten (*Miscanthus sinensis* und *sacchariflorus*) ist die für Biomasse-Nutzung angebaute *Miscanthus x giganteus* eine hybride Sorte und nicht invasiv (Jørgensen 2011).

Ein weiteres Beispiel für eine potenzielle Energiepflanze ist die ursprünglich in Nordamerika beheimatete Durchwachsene Silphie, die bislang in Deutschland nur versuchsweise angebaut wird. Die mehrjährige Vertreterin der Familie der Korbblütler gilt aufgrund ihrer geringen Ansprüche an den Standort, ihrer Resistenz gegenüber Trockenheit und insbesondere wegen ihrer hohen Erträge als vielversprechende Alternative zu bislang angebauten Energiepflanzen: Ab dem zweiten Jahr des Anbaus bleibt die Erntemenge auf stabilem Niveau und die Methanerträge sind mit denen von Silomais vergleichbar. Durchwachsene Silphie ist 10 bis 15 Jahre ackerbaulich nutzbar und nur im Jahr der Bestandsgründung arbeitsintensiv (hier v.a. bei der Anpflanzung und Unkrautkontrolle). In den Folgejahren verdichtet sich ihr Wuchs und wirkt dadurch Erosion und dem Aufkommen von Unkräutern entgegen. Krankheiten sind nicht in ertragsminderndem Umfang bekannt, auf Pflanzenschutzmittel kann daher vollständig verzichtet werden (FNR o.A. b). Der mit der geringen Bodenstörung und begrenztem Pflanzenschutzmitteleinsatz verbundene positive Effekt für das Klima wird ergänzt durch die lange Blühphase der Pflanze: Durchwachsene Silphie blüht zwischen Juli und September, womit sie die Trachtlücke der Ackerlandschaft füllt und Hummeln, Bienen und Schmetterlingen und zahlreichen anderen Insekten Nahrung bietet (Stolzenburg 2012). Dabei weist sie mangels tieferreichender Rhizome oder Ausläufern und der langsamen (und damit nicht mit anderen Pflanzen konkurrierenden) Entwicklung von Jungpflanzen nur ein geringes Invasionspotenzial auf (FNR o.A. b).

Zusammenfassende Darstellung positiver und negativer Auswirkungen auf die Biodiversität:

+	Möglichkeit der Verwendung alter, heimischer Sorten (beugt Generosion vor); durch den Anbau von Wildpflanzenmischungen und alternativen ein- und mehrjährigen Kulturen werden abwechslungsreiche Habitate und Futterquellen für Vögel, Bestäuber und andere Tiere geschaffen, Trachtlücken können durch unterschiedliche Blühzeiten geschlossen werden; die geringe Bearbeitungsintensität fördert die Humusbilanz des Bodens, Düngung oder Pflanzenschutzmitteleinsatz sind kaum notwendig; die einmal im Jahr erfolgende Ernte gewährt Bodenlebewesen, Vögeln und anderen Wildtieren lange Phasen der Ruhe (Rückzugs- und Überwinterungsmöglichkeiten)
—	Große Ackerschläge mit einer Dominanz weniger Sorten (vorw. Mais, Raps) verringern das Spektrum an Futterquellen, bes. bei Mais: nach Aufwuchs kaum Brutmöglichkeiten für Feldvögel, keine Versteckmöglichkeiten, Bodenlebewesen werden durch Pestizideinsatz bei pflanzenschutzmittelintensiven Kulturen geschädigt

4.5 Fazit

Die Nutzung von Biomasse gilt grundsätzlich als wichtiger Bestandteil der Energiewende und kann zu einer nachhaltigeren Energieversorgung beitragen (BfN 2010). Ein Hauptmotiv für die Verwendung von Bioenergie ist die Reduktion von CO₂-Emissionen, was mit der Substitution fossiler Energieträger wie Kohle oder Erdöl durch nachwachsende Rohstoffe erreicht werden soll. Hierbei wird Bioenergie von Branchenvertretern und in vielen Lebenszyklusanalysen als (weitgehend) CO₂-neutral beschrieben, da bei ihrer Verbrennung genauso viel CO₂ freigesetzt wird, wie zuvor durch Photosynthese assimiliert wurde. Auch ohne eine vorherige energetische Nutzung wird der in Pflanzen festgelegte Kohlenstoff durch natürliche Zerfallsprozesse freigesetzt (Pelvin/Kammen 2013).

Allerdings steht das CO₂-Einsparpotenzial von Bioenergie (mit der möglichen Ausnahme von Holz) sehr stark in Abhängigkeit von der Art und Weise des Biomasseanbaus, der Herkunft der Produkte und den Veränderungen der Landnutzung für den Anbau. So kann im ungünstigsten Fall sogar mehr CO₂ freigesetzt werden, als durch den Einsatz fossiler Brennstoffe, womit die angestrebte Treibhausgas-Reduktion nicht automatisch gewährleistet ist (Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina 2013, WWF 2006). Dies bezieht sich besonders auf die Problematik der direkten oder indirekten Flächenkonversion (v.a. von kohlenstoffreichen Böden wie Feuchtgebieten oder Grünland) für den Anbau von Energiepflanzen und die damit einhergehende intensive Bodenbearbeitung. Werden indirekte Landnutzungsänderungen, die aus dem Anbau resultieren berücksichtigt, können die erhofften Treibhausgas-Einsparungen relativiert bzw. überkompensiert werden: Übersteigen die Emissionen, die aus

der Herstellung von Biomasse resultieren, die Einsparung von Treibhausgasen, wird die Klimaschutzwirkung zunichte gemacht und der Klimawandel sogar verschärft.²¹

Der Aspekt der indirekten Verlagerungseffekte ist u.a. mit Blick auf Biokraftstoffe relevant, da auf globaler Ebene für sie der Flächenanteil beim Anbau von Energiepflanzen überwiegt. Dies ist auch vor dem Hintergrund eines global steigenden Verkehrsaufkommens zu sehen und insbesondere des Flugverkehrs, der künftig einer der größten Verbraucher von flüssigem Treibstoff sein wird (Jering et al. 2013). Bereits heute wird zur Deckung der Nachfrage nach Biokraftstoffen ca. die Hälfte der benötigten Rohstoffe aus dem Ausland importiert (BMEL 2013). Die Schweizer Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt EMPA kommt in einer Ökobilanzstudie über Biokraftstoffe im Jahr 2012 zu dem Schluss, dass etliche Biokraftstoffe zwar helfen, den THG-Ausstoß zu verringern (hierbei insbesondere Biogas aus Rest- oder Abfallstoffen), durch den intensiven Anbau aber zu einer Verlagerung der Umweltprobleme führen, wie der Eutrophierung von Böden und Gewässern (EMPA 2012).

Wie die Ausführungen in diesem Kapitel zeigen, kann der Anbau von Energiepflanzen die Biodiversität erheblich schädigen, v.a. durch häufige Ernten, intensive Bodenbearbeitung, den teils massiven Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und Düngern, der Monotonisierung des Anbauspektrums und der großen Ackerschläge. Bei einer nachhaltigen Ausgestaltung des Anbaus können sich jedoch auch Synergieeffekte mit dem Schutz der Biodiversität und des Naturhaushaltes ergeben. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn eine vielfältige Anbauweise von Energiepflanzen eine zuvor intensiv genutzte Ackerlandschaft ablöst und durch standortgerechte Düngung, Erhöhung des Humusgehalts im Boden und verringerten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln die Belastungen für die Umwelt reduziert (BfN 2010). Durch alternative Anbauverfahren wie räumliche und zeitliche Mischkulturen (Fruchtfolge), Mulchverfahren und Low-Input/Low-Output-Kulturen (mit einer günstigen Nettoenergiebilanz) können Flächen mit Energiepflanzen extensiv bewirtschaftet werden (Graß/Scheffer

²¹ Bei Biokraftstoffen und Strom und Wärme aus flüssiger Biomasse hat die Bundesregierung im Jahr 2009 mit dem Erlass der Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung (Biokraft-NachV) und der Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung (BioSt-NachV) reagiert. Wenn eine Anrechnung auf die Biokraftstoffquote, eine steuerliche Ermäßigung oder Vergütung nach dem EEG erfolgen soll, sind demnach Auflagen einer Nachhaltigkeitszertifizierung zu erfüllen: Die Verordnungen beinhalten die Auflage, die gesamte Herstellungs- und Lieferkette zu berücksichtigen und erfordern, dass für den Rohstoffanbau keine schützenswerten Flächen mit hohem Kohlenstoffgehalt (z.B. Feuchtgebiete, Moore, alte Wälder) oder hoher biologischer Vielfalt (z.B. Regenwälder, Naturschutzgebiete, Grünland) umgebrochen werden, sowie ungenutzte Rest- oder Abfallstoffe vermehrt der energetischen Nutzung zugeführt werden. Biokraftstoffe müssen seit dem 01.01.2011 eine THG-Minderung von 35% im Vergleich zu fossilen Kraftstoffen erbringen (ab 2017 50%) (BMEL 2014, BGBl 2009). Direkte Landnutzungsänderungen durch den Anbau von Biomasse für Biokraftstoffe und Biobrennstoffe zur Stromgewinnung sollten aufgrund dieser Verordnungen nur von untergeordneter Bedeutung sein. Dies trifft allerdings nicht auf den Anbau von Silomais für Biogasverstromung zu: Da die Biogasverstromung nicht unter die BioStNachV fällt, bestehen keine Anforderungen an ein THG-Minderungspotenzial und so kann bspw. Grünland für den Anbau umgebrochen werden (Memmler et al. 2014). Ferner wird Kritik dahingehend geäußert, dass Emissionen, die aus indirekten Landnutzungsänderungen resultieren, in Ermangelung einer einheitlichen Berechnungsmethode nicht berücksichtigt werden (Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina 2013).

2005). Ob Synergien zwischen Energiegewinnung und dem Schutz der Biodiversität geschaffen werden, ist entscheidend davon abhängig, welche Kulturen an welchen Standorten angebaut werden und mit welchen Verfahren die Bewirtschaftung erfolgt (BfN 2010).

Als besonders umweltfreundliche und sehr konfliktarme Möglichkeit der Energieerzeugung gilt die Verwendung von Rest- und Abfallstoffen, die mit den geringsten ökologischen Problemen verbunden ist. Zu Abfallbiomasse zählen z.B. biogene Rest- und Abfallstoffe, Landschaftspflegematerial, Ernterückstände und organische Siedlungsabfälle (Jering et al. 2013, Tilman et al. 2009). Da das Material durch andere Nutzungen anfällt und nicht speziell für die Energiegewinnung erzeugt wird, werden Konflikte, die bspw. durch Flächenkonkurrenzen oder Nutzungsintensivierung hervorgerufen werden, vermieden. Trotz der Vorteile wird die energetische Nutzung von Landschaftspflegematerial bisher nur ansatzweise genutzt (BfN 2010, Ammermann/Mengel 2011). Ähnlich verhält es sich mit dem Anbau alternativer, mehrjähriger Kulturen oder Wildpflanzenmischungen, die bislang ebenfalls noch nicht großmaßstäbig angebaut werden, aber ein großes Potenzial sowohl im Hinblick auf die Energiegewinnung, als auch für den Schutz der Natur und der Biodiversität haben. Darüber hinaus werden weitere Möglichkeiten der Biomassenutzung erforscht, wie bspw. Algen, die als Treibstoffe der dritten Generation diskutiert werden (siehe Kasten 5).

Kasten 5: Die Nutzung von Algenbiomasse als biologische Brennstoffe

Aufgrund ihres schnellen Wachstums, ihrer hohen Photosyntheserate und des ebenfalls hohen Ölgehalts sind Algen als Rohstoff zur Produktion von Biotreibstoff seit einiger Zeit für die Forschung interessant. Während Landpflanzen 0,5–1% der Sonnenenergie in chemische Energie umwandeln, absorbieren Algen 5% des Lichts (Webb/Coates 2012). Da die einfallende Sonnenenergie ein entscheidender Wachstumsfaktor ist, ist dies von der jeweiligen Erdregion abhängig. Verglichen mit konventionellen Energiepflanzen wie Soja oder Ölpalmen, deren Ertrag auf einer Fläche von einem Hektar jährlich ca. 5.000 l Biotreibstoff entspricht, können aus Algen 10.000–60.000 l pro Hektar und Jahr produziert werden (Dixon 2013).

Algenkulturen werden entweder in geschlossenen Bioreaktoren, oder, deutlich häufiger, in Open Pond-Systemen angelegt und wachsen, je nach Algenart, sowohl in Süß-, als auch in Salzwasser und sogar Abwasser (bspw. aus der Landwirtschaft). Da sie andere Ansprüche als die meisten Kulturpflanzen an ihre Umgebung stellen (d.h., hohe Temperaturen und intensive Sonneneinstrahlung während des ganzen Jahres bei gleichzeitig geringem Niederschlag), ist die Gefahr deutlich geringer, dass sie in Konkurrenz zu Lebens- und Futtermittelpflanzen treten. So eignen sie sich auch für den Anbau auf marginalen oder versalzten Flächen, auf denen land- oder forstwirtschaftliche Nutzungen nicht (mehr) möglich sind (Borowitzka/Moheimani 2013).

Ihre bemerkenswerte Produktivität bei gleichzeitig geringen Anforderungen an die Umgebung erklärt die großen Hoffnungen, die auf die Nutzung von Algen als der dritten Biotreibstoffgeneration gelegt werden. Die Branche wächst und die Ausgaben für Forschung und Entwicklung beliefen sich in den USA allein im privaten Sektor im vergangenen Jahrzehnt auf über 2 Mrd. Dollar und auch das Interesse von Nationen wie Japan, China und Indien nimmt zu (Dixon 2013).

Jedoch stellen sich auch einige Herausforderungen: So zieht die Bewirtschaftung von Algenkulturen energieintensive Prozesse nach sich, wie bspw. den Aufwand für Ernte und Entwässerung der Algen oder die fortwährende Durchmischung des Wassers. Neben der Errichtung großflächiger Open Pond-Systeme oder geschlossener Bioreaktoren kann so die CO₂-Einsparung relativiert werden. Wie andere landwirt-

schaftliche Kulturen auch, benötigen Algen große Mengen an Wasser – für eine nachhaltige Energiegewinnung empfiehlt sich daher der Fokus auf Salzwasseralgen (Borowitzka/Moheimani 2013, Klöck 2009). Durch Verdunstung gehen insbesondere in warmen Regionen große Mengen an Wasser verloren, die ggf. mit Süßwasser ersetzt werden müssen, um zu hohe Salzanreicherungen zu verhindern (dies ist auch bei der Entsorgung des Wassers nach der Ernte zu berücksichtigen) (Klöck 2009). Um die Produktion nachhaltiger und im Sinne einer Kreislaufwirtschaft zu gestalten, gibt es Vorhaben, die Kultivierung von Algen in bestehende industrielle Produktionsketten zu integrieren (bspw. Zuführung von CO₂ aus Verbrennungsprozessen in das Gewässer für schnelleres Algenwachstum; Nutzung nährstoffreicher Nebenprodukte als Düngemittel; Anreicherung der Algenkultur mit Stickstoff durch stickstofffixierende Algenarten, mit nachgeschalteter Nutzung in der Landwirtschaft) (Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina 2013, Borowitzka/Moheimani 2013). Generell besteht hinsichtlich der Nutzung von Algen zur Biotreibstoffgewinnung noch großer Forschungsbedarf (Jering et al. 2013).

5 Gewässer: Flüsse und Auen, Küsten und Meere

Die möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt zeigen sich in langfristigen Trends (z.B. Änderung alpiner Abflussregime, Veränderung der Grundwasserstände) und im häufigeren Auftreten von Extremereignissen (z.B. Hochwasser, Sturmfluten und Dürren). Es ergeben sich daher große Herausforderungen an das komplexe Zusammenspiel der Gewässernutzungen und Anpassungsmaßnahmen, v.a. für den Hochwasser- und Küstenschutz, sind erforderlich. Hier kommen sowohl „harte“ als auch „weiche“ Maßnahmen zum Einsatz, das heißt, solche, die auf technische Lösungen (wie Deichbau oder Sturmflutsperrwerke) abzielen, und solche, die durch die Renaturierung von Flüssen und der Wiederherstellung natürlicher Retentionsräume auf einen eher vorbeugenden Hochwasserschutz fokussieren. Welche Maßnahmen dabei im Einzelnen existieren und welchen Einfluss diese auf Gewässer als Lebensräume haben können, wird in den Abschnitten 5.1 und 5.2 beschrieben. Anschließend folgt ein Blick auf Klimaschutzmaßnahmen im Meer, das heißt Geo-Engineering-Maßnahmen, die darauf angelegt sind, die Aufnahmefähigkeit der Ozeane für CO₂ zu erhöhen und damit die Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre zu reduzieren. Abschnitt 5.4 stellt einige dieser Vorhaben vor und geht auf Risiken ein, den sie für den bislang zum großen Teil unbekannten Lebensraum der Tiefsee haben können.

5.1 Fließgewässer und Auen

Die erwarteten Auswirkungen des Klimawandels auf (hiesige) Gewässer sind vielfältig und reichen u.a. von einer höheren Hochwassergefahr durch die Zunahme und Intensität von Starkniederschlägen (vorwiegend im Winter) bis zu häufigeren Niedrigwasserperioden im Sommer. Für Flüsse bedeutet dies starke jahreszeitliche Schwankungen der Wassertiefe und der Fließgeschwindigkeit sowie Veränderungen des Flussquerschnitts. Um dem zunehmendem Risiko von Hochwasser zu begegnen, sind daher

Anpassungs- und Schutzmaßnahmen erforderlich. Der moderne Hochwasserschutz beruht auf drei Säulen und beinhaltet den technischen Hochwasserschutz (u.a. Deiche, Mauern, Hochwasserrückhaltebecken, Talsperren, Gewässerausbau, Maßnahmen zum Objektschutz), Stärkung des natürlichen Wasserrückhalts (z.B. Auen als natürliche Retentionsflächen, Freiflächen) und die weitergehende Vorsorge (Risikovorsorge, Verhaltensvorsorge, Bauvorsorge, Flächenvorsorge) (MLU 2014).

5.1.1 Natürliche Retentionsflächen, Auenrevitalisierungen

Zwar wird der technische Hochwasserschutz zur Sicherung von Siedlungen als unabdingbare Maßnahme gesehen, jedoch handelt es sich gleichzeitig um eine lokal begrenzte Maßnahme, die zu einer flussabwärts gerichteten Verlagerung des Hochwassers führen kann (BfN 2013). Natürliche Rückhaltebecken gehen durch die Trennung von Flüssen und ihren Auen durch die Anlage von Deichen in großem Maßstab verloren und so nennt z.B. der BUND in seinem Positionspapier für einen ökologischen Hochwasserschutz (2002), dass das Ausmaß von Flutkatastrophen (Donau, Elbe, Mulde) in direktem Zusammenhang mit dem mangelhaften vorsorgenden Umwelt- und Naturschutz steht. Im Hinblick auf den Schutz vor Überschwemmungen wird daher generell (sowohl seitens der Naturschutzverbände als auch der Politik) hervorgehoben, dass natürliche Retentionsräume dringend erhalten und vergrößert werden müssen und den *Flüssen mehr Raum* gegeben werden muss (BMU/BfN 2009, BMU 2007). Die Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt formuliert das Ziel einer Ausweitung der Rückhalteflächen an Flüssen um 10% bis 2020 (BMU 2007), allerdings kam es in den vergangenen 15 Jahren nur zu einer Vergrößerung der Auenfläche um 1% (BfN 2013).

Natürliche Retentionsflächen sind hierbei sowohl aufgrund des vorbeugenden Hochwasserschutzes von Belang als auch hinsichtlich ihrer positiven Effekte auf die Biodiversität: Während wasserbauliche Maßnahmen des technischen Hochwasserschutzes die natürliche Wasserführung stark verändern (bspw. durch harte Uferverbauung, Kanalisierung), und sich Konflikte mit dem Schutz der Gewässerökosysteme und der Biodiversität ergeben können,²² zeigen sich deutliche Synergien, wenn degradierte Fließgewässer revitalisiert werden und Flüsse wieder frei fließen können (SCNAT 2008). In diesem Zusammenhang spielen Auenrevitalisierungen eine entscheidende Rolle. Der Auenzustandsbericht (BMU/BfN 2009) führt vor Augen, dass naturnahe Auen in Deutschland selten geworden sind und aus der Strategie zur biologischen Vielfalt (BMU 2007) geht hervor, dass nur noch ein Anteil von 15–20% erhalten geblieben ist. 83% aller Biotoptypen von Flüssen und Auen werden als gefährdet eingestuft, einige dieser Entwicklungen gelten als irreversibel. Zwei Drittel der ehemaligen Überschwemmungsgebiete sind durch Deichbau und andere Hochwasserschutzmaß-

²² So wird in der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt auch der Wasserbau (bspw. durch die Begradigung durch Fließgewässer oder den technischen Hochwasserschutz) als ein Grund für die Gefährdung von Arten in Deutschland genannt (BMU 2007).

nahmen verloren gegangen. Nur ein Drittel können bei Hochwasserereignissen überflutet werden (Hoffmann 2011).

Dabei sind Auen in vielerlei Hinsicht von Bedeutung: So wirken sie einerseits hochwasserdämpfend, das bedeutet, dass sie große Wassermengen zurückhalten, zwischenspeichern, verdunsten und versickern lassen und die Wassergeschwindigkeit (v.a. in Auwäldern) reduzieren (BUND 2002). Darüber hinaus wirken sie als Puffer für Schadstoffe und tragen aufgrund von natürlichen biochemischen und physikalischen Prozessen zum Rückhalt von Nährstoffen wie Stickstoff und Phosphor bei (Trepel 2009). Zugleich sind sie ein sehr wichtiger Lebensraum für Tiere und Pflanzen und gelten als Hotspot der Artenvielfalt (Tröltzsch et al. 2012). Wechselnde Wasserstände in Flussauen und eine sich beständig verändernde Flusslandschaft in Mäanderbereichen bieten der Tier- und Pflanzenwelt unstete Lebensbedingungen, die eine große Flexibilität voraussetzen. Auenlandschaften sind somit auch Habitate vieler tierischer und pflanzlicher Spezialisten (BUND/Alsace Nature o.A.). So fungieren sie als Wanderkorridore, die Lebensräume miteinander verbinden und damit eine wichtige Komponente von Schutzgebietsnetzen sind (bspw. Natura 2000).

Nicht zu unterschätzen ist auch ihre Eigenschaft als Kohlenstoffsенке. So sind die Kohlenstoffvorräte in Auen im Boden und in der Vegetation deutlich höher als in vielen anderen Ökosystemen. Diese Vorräte resultieren zum einen aus der Ablagerung von kohlenstoffreichen Sedimenten während Überflutungsereignissen und zum anderen sind sie eine Folge der hohen Nettoprimärproduktion insbesondere in Auenwäldern. Wie auch bei Mooren der Fall, können die Nutzung und sinkende Grundwasserspiegel (oder seltenere Überschwemmungen) die Aue von einer Kohlenstoffsенке zu einer Kohlenstoffquelle umwandeln. Während jedoch Feuchtgebiete und Moore im globalen Kohlenkreislauf mittlerweile anerkannt sind, besteht hinsichtlich der Quellen- und Senkenfunktion von Auen noch ein Mangel an Wissen (Scholz 2010).

Durch diese Zusammenhänge wird deutlich, dass intakte Auen und das Vorhandensein von natürlichen Retentionsräumen wichtige Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel sind, auch wenn dies häufig nicht ausreichend wahrgenommen wird (BUND 2011). So heißt es im Auenzustandsbericht: „Nicht zuletzt die mittel- bis langfristigen Anforderungen zur Anpassung an den Klimawandel machen es erforderlich, die natürliche Dynamik und die ökologische Schwankungsbreite der Auen zu nutzen. Intakte Auenlandschaften sind aufgrund ihrer Anpassung an wechselnde Wasserverhältnisse, die von Überschwemmung bis zu trockenen Verhältnissen reichen, zur Abpufferung der Auswirkungen des Klimawandels bestens geeignet“ (BMU/BfN 2009: 34). Gleichzeitig stellt die Renaturierung von Flussauen durch die Förderung von Kohlenstoffsенken eine wichtige Maßnahme zum Klimaschutz dar. Aufgrund des einzigartigen Lebensraums, den sie vielen, z.T. sehr spezialisierten, Tier- und Pflanzenarten bieten, sind sie zudem von herausragender Bedeutung für die biologische Vielfalt. Die Renaturierung von Auen ist daher eine Klimaschutzmaßnahme, die sehr großes Potenzial für Synergien mit dem Biodiversitätsschutz hat.

Zusammenfassende Darstellung positiver und negativer Auswirkungen auf die Biodiversität:

+	Natürliche Retentionsflächen und Auenrevitalisierung: wichtiger Lebensraum für z.T. sehr spezialisierte Arten bleibt erhalten, ständig wechselnde Wasserstände schaffen Habitate für „Spezialisten“; Lebensräume werden miteinander in Verbindung gesetzt und ermöglichen Wanderungsbewegungen
—	Bei technischem Hochwasserschutz gehen natürliche Rückhaltebecken durch die Trennung von Flüssen und ihren Auen verloren, die Wasserführung wird stark verändert.

5.1.2 Wasserkraft als erneuerbare Energiequelle

Wasserkraft stellt neben der erzeugten Energie aus Biomasse und Wind die älteste Nutzungsform erneuerbarer Energien dar. Im Vergleich zu anderen Quellen wird diese Form der Energie sehr CO₂-arm und ressourcenschonend gewonnen, weshalb aus Sicht des Klimaschutzes ein weiterer Ausbau der Wasserkraft prinzipiell zu begrüßen wäre. Der Beitrag der Wasserkraft zur Lösung der Klimaproblematik ist hierzulande dennoch begrenzt: Ihr Anteil an der Bruttostromerzeugung entsprach 2013 rund 3,5% (BMWi 2014). Das nutzbare Wasserkraftpotenzial gilt in Deutschland als weitgehend ausgeschöpft und eine Steigerung dieser Art der Stromerzeugung kann hier hauptsächlich durch die Modernisierung und Erweiterung bereits bestehender Anlagen erreicht werden²³ (Anderer et al. 2012).

So ist also die Nutzung von Wasserkraft im Vergleich zu anderen Energieträgern für das Klima durchaus förderlich, kann sich jedoch gleichzeitig nachteilig auf andere Schutzgüter auswirken. Da diese Form der Energiegewinnung mit z.T. erheblichen Eingriffen in die Natur und die Landschaft verbunden ist (insbesondere wenn große Staudämme und Stauseen errichtet werden), wird daher der Neubau von Wasserkraftwerken aus Naturschutzsicht für kritisch befunden (UBA 2014b, BfN 2009b, Vohland 2008). Hierbei sind die von einer Wasserkraftanlage ausgehenden Wirkungen auf die Fließgewässer sowohl stark von den lokalen Gegebenheiten als auch von der eingesetzten Technologie abhängig: In Deutschland kommt den Speicherkraftwerken und den Laufwasserkraftwerken die größte Bedeutung zu (Wasserräder sind als Antrieb von Sägewerken und Mühlen teilweise noch im Alpengebiet anzutreffen). Erstere gewinnen Energie durch die Nutzung des Höhenunterschieds zwischen Talsperren und Bergseen, während Laufwasserkraftwerke Energie aus der Strömung eines Flusses oder Kanals erzeugen (GFN/ZSW 2011).

²³ Im Gegensatz dazu zählt die Wasserkraft auf globaler Ebene mit einem Anteil von 16% der weltweiten Stromversorgung zu den bedeutendsten erneuerbaren Energiequellen. Hauptproduzenten sind China, Brasilien, Kanada, USA, Russland, Norwegen und Indien, wo z.T. sehr großmaßstäbige Wasserkraftprojekte realisiert werden (als prominentes Beispiel sei die Drei-Schluchten-Talsperre in China genannt). Hauptproduzenten in Europa sind Norwegen und Island, die ihren Strombedarf fast vollständig aus Wasserkraft decken können (UBA 2014a).

Konflikte mit Naturschutzbelangen ergeben sich v.a. aus den Veränderungen der Fließwasserdynamik, der Gewässer-Auen-Verbindung und der Grundwasserverhältnisse (BfN 2009b). So ist eine Aufstauung zunächst mit einem großen Flächenbedarf verbunden, der häufig den Verlust von Ökosystemen nach sich zieht. Wertvolle Auelebensräume können durch die massive Einschränkung der Wasserspiegelschwankungen und dem damit verbundenen Ausbleiben des Wechsels aus Überflutung und Trockenfallen an Qualität nachlassen oder verloren gehen. Hiervon ist nicht nur die charakteristische Biodiversität betroffen, sondern auch die Eigenschaft von Auen als Kohlenstoffsенke (Loft/Schramm 2011b, GFN/ZSW 2011).

Zudem ergibt sich durch die Anlage von Querbauten aus der Unterbrechung des Fließgewässers immer eine Barrierewirkung für die ansässige aquatische Flora und Fauna. Das betrifft bspw. wandernde Fischarten, die je nach Entwicklungsstadium spezifische Lebensräume aufsuchen – so verbringen einige Arten einen Teil ihres Lebens in Fließgewässern und wandern zum Laichen in die Meere (bspw. Aale). Querbauwerke stellen für einige Arten unüberbrückbare Hindernisse dar, wodurch ihr Lebensraum in seiner Ausdehnung deutlich reduziert wird. Flussabwärts gerichtete Wanderungen werden zwar durch die Barrierewirkung von Anlagen weniger behindert als flussaufwärtsgerichtete, allerdings können u.a. Turbinen oder zu große Fallhöhen Verletzungen und Individuenverluste hervorrufen. In Abhängigkeit der Anzahl der zu passierenden Anlagen kann sich die Überlebensrate der abwandernden Fische drastisch reduzieren. Diese Segmentierung eines Flusses in isolierte Abschnitte betrifft auch weniger weit wandernde Arten und nur lokal vorkommende aquatische Organismen, wenn Querbauten Lebensräume unterteilen, die lineare und laterale Vernetzung verhindern und den genetischen Austausch dadurch unterbinden. Dem Problem der Auswirkungen von Querbauten und Wasserkraftanlagen auf Wanderbewegungen kann durch die Anlage von Umgehungsgerinnen oder Fischtreppen (teilweise) begegnet werden (GFN/ZSW 2011, Dumont et al. 2005).

Darüber hinaus beeinflussen Wasserkraftwerke sowohl ober- als auch unterhalb der Aufstauung eine Vielzahl hydrologischer Parameter – und damit den Lebensraum aquatischer Organismen. In den Stauräumen kommt es einerseits zu hydromorphologischen Veränderungen, die durch die Verringerung der Fließgeschwindigkeit – und damit der Schaffung künstlicher Stillwasserzonen – hervorgerufen werden: Die Ablagerung von Sediment führt zu einer Uniformierung der Habitatvielfalt im Gewässerbett und Stauraumspülungen werden notwendig, um Verlandungen zu vermindern. Andererseits rufen Aufstauungen Veränderungen auch auf chemisch-physikalischer Ebene hervor: Die Temperatur der oberflächennahen Wasserschicht steigt an, wodurch Arten, die an niedrigere Temperaturen angepasst sind, ihren Lebensraum verlieren. Wasserorganismen können darüber hinaus auch durch Schwankungen des pH-Werts in eutrophen Gewässern (durch Phytoplanktonbildung) sowie durch eine geringere Sauerstoffsättigung des Wassers (durch nachlassende Wasserbewegungen und dem damit einhergehenden reduzierten Gasaustausch mit der Atmosphäre) beeinträchtigt werden. Unterhalb von Aufstauungen, in den Ausleitungen, wird durch den meist deutlich reduzierten Abfluss (Mindestabfluss) die Fließgeschwindigkeit verrin-

gert. Durch die vermehrte Ablagerung von Feinmaterial, die geringere Wassertiefe und geringere permanent benetzte Fläche (Flussquerschnitt) kann dies zu einem deutlichen Lebensraumverlust führen (Dumont et al. 2005, GFN/ZSW 2011, Loft/Schramm 2011b).

Zusammenfassend zeigt sich ein großer Konfliktbereich zwischen Klimaschutz auf der einen und Biodiversitätsschutz auf der anderen Seite: So wird durch die Nutzung von Wasserkraft der Treibhausgasausstoß reduziert und darüber hinaus vielfach auch ihre Bedeutung als Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel hervorgehoben (Hochwasserschutz durch die Schaffung von zusätzlichem Rückhalteraum in Talsperren und Speicherseen sowie Wasserabgabe aus Speichern in Trockenzeiten). Dem stehen allerdings ökologische Bedenken in Bezug auf die erheblichen Auswirkungen auf das Ökosystem Fließgewässer und die hier beheimatete Tier- und Pflanzenwelt entgegen. Mit Blick auf die biologische Vielfalt wäre daher jeder weitere Eingriff in die Fließgewässer zu verhindern (SCNAT 2008). Durch die Einhaltung bestimmter ökologischer Mindestanforderungen und Maßnahmen zur Eingriffsminimierung können die Probleme z.T. entschärft, wenn auch nicht völlig ausgeglichen werden. Dazu zählen: Die Gewährleistung der Durchgängigkeit für Fische und andere wirbellose Tiere, die Garantie eines ökologischen Mindestwasserabflusses, die Vermeidung von Individuenverlusten und Verletzungen an Turbinen, kein Schwellbetrieb sowie keine Beeinträchtigung des Grundwasserspiegels und der Auen. Einige technische Möglichkeiten (wie die bereits genannten Fischtreppen) bestehen, mit denen die negativen Auswirkungen gemindert werden können (Nitsch et al. 2004). Der Betrieb einer Wasserkraftanlage bleibt dennoch immer mit gravierenden Eingriffen in das Gewässer verbunden. Daher steht bspw. das Bundesamt für Naturschutz in seiner Position zur Wasserkraftnutzung dem Neubau von Wasserkraftwerken und Querbauwerken kritisch gegenüber und befürwortet stattdessen „die Nutzung und Potenzialausbau bestehender Standorte und notwendige bestehender Querbauwerke bei gleichzeitiger Minimierung der ökologischen Auswirkungen durch Wasserkraftnutzung“ (BfN 2009b).

Zusammenfassende Darstellung positiver und negativer Auswirkungen auf die Biodiversität:

+	Keine positiven Effekte für die Biodiversität
—	Der Bau von Wasserkraftanlagen ist mit erheblichen Eingriffen in das Ökosystem und die ganze Landschaft verbunden (großer Flächenbedarf): massive Auswirkungen auf den Lebensraum in Flüssen aufgrund von Veränderungen der Fließdynamik; auf Gewässer-Auen-Verbindung; Grundwasserverhältnisse; nachlassende Wasserspiegelschwankungen; Wassertemperatur; Veränderungen des pH-Werts, der Sedimentation und des Sauerstoffgehalts des Wassers; Querbauten haben eine Barrierewirkung für ansässige Flora und Fauna; genetischer Austausch kann unterbunden werden; Verletzungen und Individuenverluste bei wandernden Fischen

5.2 Anpassung an den Klimawandel an Küsten

Die Auswirkungen des Klimawandels auf Küsten und Meere sind vielfältig und werden ihre zukünftige Entwicklung stark beeinflussen. So geht der fünfte Bericht des IPCC (2014) – je nach Szenario – von einem globalen Meeresspiegelanstieg zwischen 28 und 98 cm bis zum Jahr 2100 aus – das ist etwa ein Drittel höher, als bislang angenommen. Die unmittelbaren Folgen reichen hierbei von Erosionsprozessen an der Küstenlinie, einer weiter landeinwärts reichenden Brackwasserzone (verstärkter Rückstau), der durch höhere, und anders im Jahr verteilte Niederschlagsmengen veränderten Binnenzufuhr bis hin zu veränderten Strömungen und häufigeren, stärkeren Sturmfluten: Sturmfluten mit Hochwasserständen, wie sie bislang durchschnittlich einmal in 350 Jahren vorkommen, könnten klimawandelbedingt einmal in 100 Jahren auftreten (Hirschfeld et al. 2012).

Hieraus ergibt sich die dringende Notwendigkeit, dass sich Küstenregionen verstärkt an den Klimawandel anpassen. Von den theoretisch möglichen Maßnahmen (Verteidigung der bestehenden Küstenlinie, Anpassung bspw. durch die Anlage von Warften und anderen baulichen Maßnahmen oder den kompletten bzw. teilweisen Rückzug aus gefährdeten Gebieten) stellt die Schutzgewährung, also die Verteidigung der Küstenlinie durch strukturelle Maßnahmen, die gängige Praxis dar. Hierfür kommen insbesondere sog. „harte Maßnahmen“ zum Einsatz, das heißt, der Bau bzw. die Verstärkung von Dämmen, Deichen oder Sturmflutwehren. Ökologische Bedenken stehen dieser linienhaften Verteidigungsstrategie jedoch entgegen, weswegen in Bereichen, in denen dies möglich ist (d.h. außerhalb von Ballungsräumen), die vermehrte Umsetzung flächenhafter „weicher Maßnahmen“ gefordert werden (Hirschfeld et al. 2012). Nachfolgend sollen zunächst einige dieser „harten Maßnahmen“ mitsamt ihren Auswirkungen auf die sie umgebenden Ökosysteme vorgestellt werden; anschließend wird ein kurzer Überblick über alternative „weiche Maßnahmen“ gegeben.

5.2.1 Deichverstärkungen

In Anbetracht des Meeresspiegelanstiegs und der Zunahme und Heftigkeit von Sturmfluten ist eine Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel die Deichverstärkung, um dahinter liegende Bereiche vor eintretendem Wasser zu schützen. Hierfür wird der Deich erhöht und der Deichfuß verbreitert. Je nach Ausmaß und Lage des Deichs kann diese Verbreiterung eine große Fläche in Anspruch nehmen, was zwangsläufig mit Eingriffen in die umgebende Landschaft verbunden ist. Hiervon können die naturschutzfachlich sehr wertvollen Flächen des Vorlandes betroffen sein, welches sich zwischen dem Deich und der Linie des mittleren Tidehochwassers befindet. Da es in unregelmäßigen Abständen überflutet wird, ist es ein besonderer Teilhabensraum, in dem spezielle und häufig stark gefährdete Biotoptypen vorkommen. Weite Bereiche dieser Flächen wurden aufgrund ihrer Bedeutung als Habitate als FFH- (Flora-Fauna-Habitatrichtlinie) bzw. EU-Vogelschutzgebiete ausgewiesen (Schuchardt et al. 2007). Bauliche Maßnahmen können jedoch zu dem Verlust bzw. der Verkleine-

rung des Vorlands führen und sich dementsprechend negativ auf die dort vorkommende Tier- und Pflanzenwelt auswirken (Preisinger 2010). Ein deutlicher Konflikt zwischen Küstenschutz und Naturschutz ergibt sich zusätzlich aus dem für die Errichtung bzw. die Verstärkung von Deichen benötigten Bodenmaterial, das als Baustoff dient: Dieses wird meist aus der näheren Umgebung bezogen, was an den Entnahmestellen großräumige Veränderungen der Landschaft hervorruft, auch wenn diese anschließend renaturiert werden (Vohland et al. 2012). Neben Sand ist dies v.a. Klei, ein stark bindiger, toniger Boden. Klei wird auch auf den naturschutzfachlich besonders wertvollen Salzwiesen abgebaut, die als Lebensraum für eine Vielzahl hoch spezialisierter Arten von eminenter Bedeutung sind. Zwar verlanden diese Pütten (Orte der Kleientnahme) nach dem Abbau – in Abhängigkeit ortsspezifischer Besonderheiten kann dies allerdings bis zu einige Jahrzehnte in Anspruch nehmen. Bis sich salzwiesenspezifische Funktionen wieder einstellen, geht in dieser Zeit dieser charakteristische Lebensraum weitgehend verloren (Heiber et al. 2005). Zudem werden durch die Anlage von Wegen und Plätzen an Deichen häufig nicht zu vernachlässigende Flächen an Untergrund versiegelt.

5.2.2 Errichtung von Sturmflutsperrwerken

Eine weitere Küstenschutzmaßnahme ist die Errichtung von Sturmflutsperrwerken an Flussmündungen: Diese werden bei Sturmfluten geschlossen und hindern so das Meerwasser daran, in die Flussmündung einzudringen. Infolge des Klimawandels ist anzunehmen, dass sich Sperrwerksschließungen häufen werden und länger andauern. In Abhängigkeit der Dauer, des Zeitpunkts und der Häufigkeit ihrer Inbetriebnahme kann sich dies jedoch maßgeblich auf die Umgebung auswirken: So kommt es zunächst zu Veränderungen der hydrologischen Verbindung des Ästuars vor und hinter der Sperrwerksmauer, was sowohl die Strömungsverhältnisse und die Sedimentation betrifft als auch eine Abschwächung des Einflusses der Gezeiten bedeutet (Osterkamp/Schirmer 2000). Eine geschlossene Sperrwerksmauer beeinträchtigt außerdem die Wanderungsbewegungen von Fischen. Lange Schließzeiten führen zu einem Aufstau des mündenden Flusses: Osterkamp und Schirmer (2000) weisen darauf hin, dass es sich hierbei aber nicht um eine natürliche, sondern um eine künstliche Überflutung handelt, bei der das Wasser zeitweise stagniert. Dies wiederum bewirkt eine zunehmende Ablagerung von Feinsedimenten und eine geringere Bodendurchlüftung und wirkt sich zudem auf die bodennahe Vegetation aus (Verschiebung von Krautvegetation zu Flutrasen oder Brennesselfluren). Der Bau von Sperrwerken, der außerdem mit dem Verlust wertvoller Vorlandbiotope einhergeht, zieht seinerseits weitere Küstenschutzmaßnahmen nach sich, um im Falle einer Sperrwerksschließung das Vorland zu sichern. So ergibt sich die Notwendigkeit, neue Deiche anzulegen, wodurch es zu Eingriffen in die hinter dem Sperrwerk gelegenen Biotope (wie bspw. die besonders schützenswerten Salzwiesen) kommen kann (Osterkamp/Schirmer 2000, Vohland et al. 2012).

5.2.3 Anlage von Sturmflutentlastungspoldern

Für Sturmflutentlastungspolder wird die Deichhöhe stellenweise reduziert, so dass bei Sturmfluten Hochwasser gezielt abfließen und somit die Deiche entlastet werden können. Generell sind die Auswirkungen, wie auch im Falle von Mündungssperrwerken, abhängig von Dauer, Häufigkeit und dem Jahreszeitpunkt der Flutung – aber auch von der Überflutungstoleranz der vorkommenden Arten. Die häufige bzw. langanhaltende Flutung kann einen umfangreichen Artenwandel (Dominanzverschiebung) nach sich ziehen, Kenn- und Differentialarten können gänzlich wegfallen. Typischerweise nehmen Kräuter stark ab, wohingegen Gräser eine höhere Toleranz aufweisen und bei häufigeren Überflutungen dementsprechend überwiegen. Bei neuangelegten Poldern muss allerdings auch die veränderte landwirtschaftliche Nutzung beachtet werden: Da eine intensive Landnutzung (z.B. Ackerbau) nicht (länger) möglich ist, bedeutet eine Verschiebung hin zu extensiver Landnutzung (z.B. extensive Beweidung) eine positive Entwicklung für das Artenspektrum (Osterkamp/Schirmer 2000, Vohland et al. 2012).

Anhand der vorgestellten Küstenschutzmaßnahmen zeigt sich, dass diese als Anpassungsmaßnahmen an die Auswirkungen von klimatischen Veränderungen zwar notwendig sind, jedoch großen Druck auf angrenzende Ökosysteme erzeugen und die Gefahr des Verlusts artenreicher Feuchtgebiete zunimmt.²⁴ In der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (2008) wird daher die Nutzungskonkurrenz zwischen dem infrastrukturellen Hochwasserschutz und Naturschutzräumen um bereits jetzt knappe Flächen als ein wesentlicher Konfliktpunkt zwischen Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel und Fragen der Biodiversität aufgeführt. In einem vom Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung (im Umweltbundesamt) herausgegebenen Themenblatt zum Küstenschutz wird angeregt, das alte Leitbild „Verteidigung um jeden Preis“ in Richtung eines neuen Leitbilds „mit dem Wasser leben“ weiterzuentwickeln (Hirschfeld et al. 2012). Die Umsetzung „weicher“ Küstenschutzmaßnahmen könnte dabei helfen, sowohl Klimaschutzziele als auch Naturschutzziele zu erreichen bzw. besser miteinander in Einklang zu bringen. Hierbei greifen sie weniger stark in die Küstenökosysteme ein und erlauben, flexibler auf das mit Unsicherheiten behaftete Ausmaß des Meeresspiegelanstiegs zu reagieren (WBGU 2006). Weiche Maßnahmen beinhalten bspw. die Erhaltung und Neuanlage schützender Küstenökosysteme, wie Küstenschutzwälder, die (Wieder-)Anlage von Flachwasserräumen, Feuchtgebieten, Inseln oder Sandvorspülungen als natürliche Barrieren. In Anbetracht der Herausforderungen, die sich durch den Klimawandel stellen, besteht Bedarf nach einer Vision für eine langfristige und nachhaltige Entwicklung der Küstenräume. Nach Hirschfeld et al. (2012) könne hierzu das Integrierte Küstenzonenmanagement einen wichtigen Beitrag leisten.

²⁴ Nicht erwähnt in diesem Zusammenhang sind die mit Maßnahmen des infrastrukturellen Küstenschutzes verbundenen hohen Kosten und der Aufwand ihrer Wartung.

Zusammenfassende Darstellung positiver und negativer Auswirkungen auf die Biodiversität:

+	Sturmflutentlastungspolder: wenn auf den Flächen zuvor intensive Landwirtschaft betrieben wurde, kann nach der Anlage nur noch eine extensive Bewirtschaftung erfolgen, was die biologische Vielfalt auf diesen Flächen fördert; ggf. positive Effekte durch weiche Küstenschutzmaßnahmen (Anlage von Küstenschutzwäldern, Wiederanlage von Flachwasserräumen, Feuchtgebieten, Inseln oder Sandvorspülungen) durch den Schutz/Wiederherstellung/Schaffung von Habitaten
—	Deichverstärkung: sehr flächenintensiv, kann sich auf naturschutzfachlich sehr bedeutsame Vorlandflächen ausdehnen, die besondere Teillebensräume sind (häufig FFH- bzw. EU-Vogelschutzgebiete); benötigtes Baumaterial (Klei) wird lokal entnommen und führt zu großräumigen Veränderungen an der Entnahmestelle (Salzwiesen), die bis zur Verlandung über Jahrzehnte ihre lebensraumtypischen Funktionen verlieren; Sturmflutsperrwerke: Veränderungen der hydrologischen Verbindung des Ästuars; Einfluss auf die Strömungsverhältnisse, die Sedimentation, die Gezeiten; Beeinträchtigung der Wanderungsbewegung von Fischen; Bau ist flächenintensiv und führt zum Verlust von Vorlandbiotopen; Sturmflutentlastungspolder: häufige bzw. langanhaltende Flutung kann zu einem umfangreichen Artenwandel führen, manche Arten (z.B. Kräuter) können wegfallen, Gräser besetzen Nischen

5.3 Fazit

Hochwasserschutz wird in Anbetracht der Auswirkungen des Klimawandels in vielen Regionen eine immer wichtigere Rolle spielen. Die hier vorgestellten „harten“ Maßnahmen des technischen Hochwasserschutzes an Flüssen und Küsten wie bspw. Eindeichungen, Hochwasserrückhaltebecken, Sturmflutsperrwerke etc., sind für den Schutz von Siedlungen (insbesondere in dichtbesiedelten Regionen) und Einzelobjekten notwendig; allerdings wirken sie lokal begrenzt und können zu einer Verlagerung des Hochwassers führen. Hierbei sind zudem die Auswirkungen auf den Zustand der Gewässer und der Biodiversität zu berücksichtigen: Durch Veränderungen der Fließgeschwindigkeit des Wassers, der Höhe des Wasserstands, der Wassertemperatur, des Sauerstoffgehalts etc. können sich Habitate im Gewässer und in Ufernähe drastisch verändern und als Lebensraum vieler Organismen verloren gehen. Gleiches gilt für die Nutzung von Wasserkraftwerken, die großflächige Veränderungen in der Landschaft bedeuten und durch Querbauten für viele Organismen unüberbrückbare Barrieren darstellen. Im Gegensatz dazu reagieren naturnahe Fließgewässer weniger sensibel auf Klimaschwankungen oder Hoch- und Niedrigwasserperioden, als verbaute und ziehen keine großmaßstäbigen Veränderungen des Naturhaushalts nach sich. Von unterschiedlichen Seiten (bspw. aus Politik und Naturschutz) wird daher gefor-

dert, den Flüssen wieder mehr Raum zu geben und durch die Schaffung natürlicher Retentionsflächen Hochwasserereignisse in der Fläche abzumildern. Auenrenaturierungen sind hier besonders hervorzuheben, da sie nicht nur ihre Funktion als Kohlenstoffsенке wieder erhalten, sondern auch wichtige Lebensräume vieler, z.T. nur hier vorkommenden Arten darstellen und darüber hinaus auch Verbindungsglieder von Habitaten sind. Solche „weichen“ Maßnahmen verfügen damit über ein großes Synergiepotenzial von Klimaschutz, Klimaanpassung und Biodiversitätsschutz.

5.4 Marine Klimaschutzmaßnahmen

Für eine Beschreibung der in der Wissenschaft diskutierten Maßnahmen zur Mitigation außerhalb von Küstengebieten – in den Ozeanen – ist zunächst ein Blick auf die Rolle des marinen Ökosystems im globalen Kohlenstoffkreislauf sinnvoll. Weltmeere bedecken 71% der Erdoberfläche und speichern beträchtliche Mengen an Kohlenstoff: Mit ca. 38.000 Gigatonnen Kohlenstoff nehmen sie die 16-fache Menge der terrestrischen Biosphäre auf und beinhalten die ca. 60-fache Menge der Atmosphärenzusammensetzung der vorindustriellen Zeit. Ozeane sind damit als CO₂-Senke von herausragender Bedeutung und bestimmen den Gehalt des Treibhausgases in der Atmosphäre entscheidend mit: Sie nehmen CO₂ aus der Atmosphäre und durch den Biomasse-Eintrag aus Flüssen auf und tragen so auf natürliche Weise zur Abmilderung des Treibhauseffekts bei. Durch die Durchmischung der Wassersäule gelangt es in tiefere Schichten – ein Prozess, der allerdings sehr langsam vonstatten geht und nicht mit den drastisch steigenden CO₂-Emissionen Schritt halten kann (Bollmann et al. 2010). Gegenwärtig nehmen die Ozeane ca. 25% der anthropogen erzeugten CO₂-Emissionen auf (IPCC 2014) und der Weltklimarat und die World Meteorological Organisation warnen eindringlich vor der durch die direkte Lösung von CO₂ im Oberflächenwasser hervorgerufenen zunehmenden Versauerung der Ozeane, die mit der gegenwärtigen Geschwindigkeit bislang (d.h., vermutlich zumindest während der vergangenen 300 Mio. Jahre) unbekannte Ausmaße angenommen hat (IPCC 2014, WMO 2014). Dies hat gravierende Auswirkungen auf den marinen Lebensraum: So sind bspw. insbesondere die kalkbildenden Organismen wie Korallen, Algen oder Mollusken betroffen, da die Kalkbildung, die für den Aufbau ihrer Skelette notwendig ist, mit einer zunehmenden Versauerung des Meerwassers abnimmt (WMO 2014). Zusätzlich bewirkt der Klimawandel, dass sich die Effizienz als Kohlenstoffsенке deutlich abschwächen wird und in Zukunft nur noch ein Teil ihres Senkenpotenzials zum Tragen kommen kann. Auf der einen Seite liegt dies an der Sättigung der vorhandenen Kapazität: Die Löslichkeit von CO₂ im Meerwasser nimmt mit steigender Temperatur ab. Auf der anderen Seite führt eine zunehmende Schichtungsstabilität des Meerwassers dazu, dass die vertikale Durchmischung reduziert wird. Dadurch wird der Transport von mit Kohlenstoff angereichertem Oberflächenwasser in die Tiefe sowie der Transport von kohlenstoffärmerem Wasser an die Oberfläche geschwächt und somit die Aufnahmefähigkeit für CO₂ herabgesetzt.

Da die Weltmeere also die größten und wichtigsten Kohlenstoffsinken des Planeten sind, gibt es Bestrebungen, ihre Aufnahme von CO₂ künstlich zu erhöhen. Hierfür werden unterschiedliche Maßnahmen diskutiert, die alle darauf abzielen, der Atmosphäre möglichst viel CO₂ längerfristig zu entziehen, um damit einer weiteren Erwärmung entgegenzuwirken. Diese Maßnahmen reichen von Geo-Engineering bis hin zur Einlagerung von CO₂ im Meeresboden. Zum großen Teil sind sie aber sehr umstritten, sowohl aufgrund von Fragen der Effizienz, als auch hinsichtlich des damit verbundenen Risikos, das sich nicht zuletzt für die marine Biodiversität ergibt. Im Folgenden werden einige dieser Maßnahmen kurz vorgestellt.

5.4.1 Eisendüngung

Eine der Maßnahmen, die gegenwärtig im Raum stehen, ist die marine Eisendüngung zur Erhöhung der CO₂-Aufnahme durch das Meerwasser. Grundlage dieser Überlegung ist die Tatsache, dass in vielen Meeresgebieten das für das Algenwachstum wichtige Eisen nicht vorhanden ist und das Meer an diesen Stellen nahezu algenfrei ist. Da Algen jedoch große Mengen an CO₂ durch die Photosynthese assimilieren und es somit (zumindest zeitweise) dem Klimasystem entziehen, wird beabsichtigt, durch die Düngung geeignete Wachstumsbedingungen zu schaffen. Kritisiert wird diese Maßnahme allerdings sowohl auf Basis einer vermutlich nur geringen Effektivität (schneller Abbau der Biomasse im Oberflächenwasser), als auch dahingehend, dass es sich hierbei um einen Eingriff in biogeochemische Kreisläufe handelt, der sehr wahrscheinlich schädliche Auswirkungen auf das Ökosystem nach sich zieht. Mögliche Konsequenzen sind die Eutrophierung mariner Bereiche und die Störung des Nährstoffhaushalts meeresstromabwärts gelegener Meeresgebiete: Makronährstoffe, die ohne das durch die Düngung induzierte Algenwachstum weitertransportiert worden wären, können andere Regionen nicht erreichen und fehlen dort als Pflanzennährstoffe (Ginksy et al. 2011). Weitere Nebeneffekte können durch die Bildung von Methan und Distickstoffmonoxid sowie durch schädliche Algenblüten in Erscheinung treten. Wie auch bei der Deponierung von Ernteresten in großen Meerestiefen (1000–1500 m Tiefe), was aufgrund der langsamen Zerfallsprozesse als weitere Möglichkeit diskutiert wird, der Atmosphäre längerfristig CO₂ zu entziehen, kann eine Sauerstoffverarmung der tiefen Meeresbereiche die Folge sein (IPCC 2014). Auch der WGBU distanzierte sich im Jahr 2006 in seinem Sondergutachten über die Zukunft der Meere von der Eisendüngung. Neben den erwarteten geringen Effekten und der Frage nach der Langfristigkeit der Speicherung wurde dies mit den schwer abschätzbaren Risiken für die Meeresökosysteme begründet (WBGU 2006).

5.4.2 Ozeankalkung

Andere Überlegungen gehen in Richtung der Ozeankalkung. Hier ist das Ziel, durch die Erhöhung des pH-Werts des Meerwassers die Bindung von CO₂ aus der Atmosphäre zu steigern. Durch die Erhöhung des pH-Werts würde zudem der Versauerung

der Meere entgegengewirkt. Einige Faktoren können allerdings die beabsichtigten Effekte negieren: So wird für den Herstellungsprozess von Kalziumoxid viel Energie benötigt und große Mengen an Treibhausgasen freigesetzt (Ginsky et al. 2011). Auch bringt der für die Herstellung notwendige Kalkabbau negative Folgen für die betroffenen terrestrischen Ökosysteme mit sich. Die Einleitung des sehr basischen Wassers kann die an einen bestimmten pH-Wert angepassten Meeresorganismen schädigen, darüber hinaus sind die biologischen Effekte der hohen Konzentration von Kalziumoxidionen und des gelösten anorganischen Kohlenstoffs weitgehend unbekannt (IPCC 2014). Da das eingeleitete Wasser trüb ist, ändern sich darüber hinaus die Lichtverhältnisse, was sich auf die Photosyntheserate – und damit die Assimilation von CO_2 – auswirken kann (Ginsky et al. 2011). In seinem Sondergutachten bewertete der WBGU den Versuch, durch Kalkung die Versauerung aufzuhalten als unrealistisch und folgerte, dass diesem Trend durch die Reduzierung des CO_2 -Ausstoßes beigegeben werden müsse (WBGU 2006).

5.4.3 Carbon Capture and Storage (CCS)

Ein intensiv beforschter Bereich ist die Einlagerung von CO_2 in geologischen Formationen unter dem Meeresboden (Carbon Capture and Storage, CCS), die in dieser Form auch an Land betrieben wird (bspw. in Salzstöcken). Im Gegensatz zu der Einleitung von CO_2 in die offene Wassersäule oberhalb des Meeresgrunds, ist diese Form der Lagerung gesetzlich nicht untersagt (bspw. durch das Londoner Protokoll oder OSPAR-Abkommen) (Ginsky et al. 2011). In Anbetracht der steigenden CO_2 -Konzentrationen in der Atmosphäre sieht der wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung hierin eine nicht von vornherein abzulehnende Maßnahme (WBGU 2006). Diese Einschätzung wird durch das Umweltbundesamt geteilt, das darauf hinweist, dass diese Form der CO_2 -Speicherung als Brückentechnologie fungieren könne, ehe sich erneuerbare Energien ausreichend etabliert haben (Ginsky et al. 2011). Im Gegensatz zu Ozeandüngung oder -kalkung sind bei der CO_2 -Einlagerung die Sauerstoffvorkommen nicht betroffen (IPCC 2014). Nichtsdestotrotz beinhaltet auch diese Technologie Risiken für das Ökosystem, wenn Leckagen entstehen und CO_2 entweicht. Zwar reduziert sich das Ausmaß der Gefahr mit zunehmender Tiefe und die geringsten Schäden werden erwartet, wenn CO_2 durch den zunehmenden Druck der Wassersäule in seiner Flüssigphase als Hydrat austritt. Dennoch kann ein Austritt zu einer lokalen Versauerung des Meerwassers führen und eine sehr hohe CO_2 -Konzentration toxisch wirken, wovon insbesondere sesshafte Organismen betroffen sind (WBGU 2006). Die Lebewesen der Tiefsee haben sich an die extremen, hierbei aber konstanten Bedingungen ihres Lebensraumes in ihrer Entwicklung angepasst. Die hier herrschende andauernde Dunkelheit, die tiefen Temperaturen, der hohe Druck und auch die im Vergleich zu oberen Bereichen der Wassersäule sehr stabilen CO_2 -Verhältnisse erfordern in der Regel nicht, dass sich die hier beheimateten Arten schnell auf sich ändernde Umgebungsbedingungen einstellen müssen. Dies würde zudem durch ihre niedrigen Stoffwechselraten und ihre hohe Lebensdauer erschwert. Ein plötzliches

Austreten von CO₂ und damit die schlagartige Veränderung ihres Habitats, kann Individuen dieser Arten daher besonders schädigen und eine lange Regenerationsdauer des Ökosystems bedeuten (WBGU 2006). Hierbei wirkt sich nicht nur das ausströmende CO₂ schädlich aus, sondern auch die für das CO₂-Abtrennverfahren eingesetzten Beimengungen (Schwefelverbindungen, Stickoxide, Methan, Kohlenmonoxid, Wasserstoff, Stickstoff, Argon). Darüber hinaus können, in Abhängigkeit der Gesteinszusammensetzung der geologischen Formationen, die als Lagerstätte dienen, toxische Stoffe wie Schwermetalle oder radioaktive Substanzen ausgeschwemmt werden (Ginsky et al. 2011).

Zusammenfassende Darstellung positiver und negativer Auswirkungen auf die Biodiversität:

+	Keine
—	Eisendüngung: Eingriff in biochemische Kreisläufe und sehr wahrscheinlich negative Auswirkungen aufgrund von Eutrophierung mariner Bereiche; Störungen des Nährstoffhaushalts meeresstromabwärts gelegener Meeresgebiete Ozeankalkung: lokale Veränderung des pH-Werts durch die Einleitung sehr basischen Wassers kann Meeresorganismen schädigen; biologische Effekte hoher Konzentrationen von Kalziumoxidionen und anorganischen Kohlenstoffs sind weitgehend unbekannt; Trübung des Wassers ändert die Lichtverhältnisse in der Wassersäule (u.a. Beeinflussung der Photosyntheserate) CCS: Risiken, wenn Leckagen entstehen und CO₂ entweicht – lokale Versauerung des Meerwassers; eine schlagartige Veränderung der Tiefseehabitate wirkt sich dramatisch auf dortige Arten aus, die sich nicht ausreichend schnell anpassen können bzw. abwandern können; Beimengungen von Stoffen aus dem CO₂-Abtrennverfahren und gelöste Stoffe aus den Gesteinen sind z.T. toxisch und können im Falle eines Lecks sehr negative Auswirkungen auf das marine Ökosystem haben

5.5 Fazit

Mit den vorgestellten Maßnahmen soll Kohlendioxid möglichst langfristig der Atmosphäre entzogen werden, um damit dem Klimawandel und dessen Begleiterscheinungen entgegenzuwirken. In Anbetracht der großen Mengen an Treibhausgasen, die jedes Jahr emittiert werden, müssten die obigen Maßnahmen in großem Umfang zum Einsatz kommen, um einen spürbaren Effekt zu erzielen. Allerdings wird ihre Effektivität vielfach in Frage gestellt: So warnt z.B. der IPCC in seinem fünften Bericht, dass die Wissensbasis zu diesen Technologien der Klimawandelmitigation und den damit verbundenen Risiken ungenügend ist. Die Forscher betonen, dass es sich hierbei um sehr kostenintensive Maßnahmen handelt, die mit großen Umweltauswirkungen verbunden sind (IPCC 2014). So ist nicht nur ein beträchtlicher Energieeinsatz für den

Bau, den Betrieb und die Instandhaltung notwendig, der sich auf den Nettobetrag des entzogenen Kohlendioxids auswirkt. Auch können nicht erwünschte Folgeerscheinungen des Klimawandels (die Versauerung der Ozeane) durch manche Maßnahmen potenziell sogar verstärkt werden (Ginsky et al. 2011). Ganz allgemein muss auch berücksichtigt werden, dass über die Biodiversität in den Meeren, und insbesondere die in der Tiefsee, nach wie vor ein sehr großes Unwissen besteht. Die genaue Artenzahl ist unbekannt, was auch darauf zurückzuführen ist, dass die Tiefsee in über 2000 m Tiefe noch weitgehend unerforscht ist. Zwar gehen Schätzungen von mindestens 1 Mio. mariner Arten aus, das World Register of Marine Species (WoRMS 2014) führte in seiner Statistik Mitte September 2014 erst rund 226.400 verifizierte Arten. In dieses weitgehend unbekannte Ökosystem einzugreifen um das Klima zu beeinflussen, kann daher ungeahnte Auswirkungen auf die hier lebenden Arten, Nahrungsnetze und Systemzusammenhänge haben. Die in diesem Kapitel vorgestellten Maßnahmen zur Mitigation des Klimawandels stehen daher den Zielen des Biodiversitätsschutzes entgegen.

6 Zusammenfassende Einschätzung

Die vorangegangenen Ausführungen zeigen, dass es in den Bereichen Forst und Wald, Moore, Landwirtschaft, nachwachsende Rohstoffe und Gewässer und Meere einige Maßnahmen gibt, die durch den Entzug von CO₂ aus der Atmosphäre einen Beitrag zum Klimaschutz leisten können, bzw. dass diverse Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel zur Anwendung kommen. Es wurde allerdings auch offensichtlich, dass die Dauerhaftigkeit der Treibhausgasminderung deutlich variieren kann. Gleiches gilt für die Auswirkungen auf die Biodiversität: Während manche Maßnahmen für das Klima zwar förderlich sein können, bringen sie jedoch gleichzeitig gravierende Folgen für die biologische Vielfalt und Ökosysteme mit sich. Ebenfalls wurden Maßnahmen vorgestellt, die sowohl für das Klima als auch für die Biodiversität durchaus förderlich sind.

Unabhängig von dem jeweiligen Bezugsrahmen (wie bspw. Wald, Landwirtschaft oder dem Anbau nachwachsender Rohstoffe auf landwirtschaftlichen Flächen) stellten sich einige Aspekte generell als kritisch heraus:

- Bei unterschiedlichsten Maßnahmen (etwa bei Aufforstungen, Walderhalt, Moorenaturierungen, bei einer Extensivierung der Landwirtschaft, dem Anbau nachwachsender Rohstoffe auf Agrarflächen bzw. deren Import aus dem Ausland, oder bei der Anlage/Erweiterung von Deichen als Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel) besteht die Gefahr von (direkten oder indirekten) **Verlagerungseffekten**. Werden natürliche Ökosysteme umgewandelt, dann kann sich das durch die Zunahme der Bearbeitungsintensität nicht nur nachteilig auf den Bodenkohlenstoffgehalt und damit auf das Klima auswirken, sondern auch auf die Funktion dieser Gebiete als Lebensraum – und damit auf die biologische Vielfalt. Unterlag die betreffende Fläche zuvor einer anderen Nutzung, werden zugleich die Interes-

sen verschiedener Akteure berührt, was dazu führen kann, dass die Maßnahme abgelehnt wird.

- **Ausschlaggebend ist die Vornutzung** der jeweiligen Fläche: Während eine Nutzung natürlicher Ökosysteme fast immer zu einem negativen Effekt für die Biodiversität führt, kann eine Umwandlung von degradierten Flächen oder intensiv bewirtschaftetem Acker bspw. als Kurzumtriebsplantage sowohl für das Klima als auch die Biodiversität durchaus von Vorteil sein und Lebensräume bieten oder Habitate miteinander vernetzen.
- **Standortwahl:** Neben der Vornutzung ist auch die Wahl eines geeigneten Standorts von entscheidender Bedeutung, da bspw. für den Anbau vieler Kulturen (etwa als Kurzumtriebsplantage oder andere nachwachsende Rohstoffe) eine ausreichende Wasserversorgung gegeben sein muss.
- **Sortenwahl und -vielfalt:** Bei Aufforstungen, beim Anbau landwirtschaftlicher Produkte als Nahrungs- und Futtermittel oder nachwachsender Rohstoffe, kommt es leicht dazu, dass der Fokus auf das Ertragspotenzial einer Sorte zu einer Monotonisierung des Anbaus führt. Bei Kurzumtriebsplantagen bedeutet dies, dass häufig schnellwachsende Bäume gewählt werden, die sich durch hohe Zuwachsraten auszeichnen, aber ggf. nicht heimisch und invasiv sind. Bei nachwachsenden Rohstoffen liegt der Fokus auf dem Ertragspotenzial (z.B. dem Methan- oder dem Trockenmasseertrag). Zwar ist dies aus Gründen des Klimaschutzes verständlich, jedoch führt der Anbau einer einzigen Art auf einer großen Fläche leicht dazu, dass hohe Aufwendungen von **Pflanzenschutzmitteln** notwendig werden, um Schädlingsbefall zu vermeiden. Durch die Abwesenheit natürlicher Fressfeinde (Reduktion des Lebensraums und Nahrungsangebots) kommt es leichter zu der Ausbreitung von Insektenkalamitäten.
- Ein Argument für die Intensivierung des Anbaus von landwirtschaftlichen Produkten oder nachwachsenden Rohstoffen ist die Konzentration der Nutzung auf lokal begrenztem Raum. Indem die insgesamt genutzte Fläche gering gehalten wird, wird unnötiger Umbruch natürlicher Ökosysteme vermieden und damit der Freisetzung von Bodenkohlenstoff und der Zerstörung von Lebensräumen entgegengewirkt. Allerdings geht diese **hohe Bearbeitungsintensität** mit einem hohen Einsatz von Pflanzenschutz- und Düngemitteln einher. Durch häufige Ernten und Einsaaten wird der oberflächennahe Untergrund gestört, Bodenkohlenstoff wird freigesetzt. Dies wirkt sich nachteilig auf Bodenorganismen aus, der Boden verliert an Fruchtbarkeit.
- Förderlich für die Biodiversität ist generell die **Anlage von Hecken, Blühstreifen, die Integration von Strukturelementen** (z.B. Totholzinseln), **Ackerrandstreifen** etc. Hierdurch werden Lebensräume für Vögel, Insekten und andere Tierarten geschaffen und Nahrungsquellen u.a. für Bestäuber geboten. Gleichzeitig können natürliche Fressfeinde von Schädlingen angezogen werden.

Als Maßnahme zum Biodiversitätserhalt spielt die Vernetzung von Habitaten durch das Vorhandensein bzw. die Schaffung von Korridoren zwischen Schutzgebieten und anderen natürlichen Lebensräumen eine entscheidende Rolle. Denn insbesondere vor

dem Hintergrund des Klimawandels und der damit verbundenen Veränderungen und Verschiebungen der Lebensräume sind funktionierende Schutzgebiets- und Biotopverbundsysteme als Voraussetzung für uneingeschränkte Wanderbewegungen von Arten als Reaktion auf sich verändernde klimatische Bedingungen von großer Bedeutung (Fuchs et al. 2010, Jessel/Hopf 2008). Der Biotopverbund ist seit 2002 im Bundesnaturschutzgesetz verankert (BNatSchG §20, §21), in seiner 2010 in Kraft getretenen Fassung sind mindestens 10% der Landesfläche für den Biotopverbund (bestehend aus Kernfläche, Verbindungsflächen und Verbindungselementen) vorgesehen. Auf regionaler Ebene der Biotopvernetzung kommt durch den o.g. Erhalt bzw. die Anlage von Hecken, Ackerrandstreifen, Grünland, Blüh- oder Brachstreifen oder auch Agroforstsystemen eine wichtige Rolle zu. Darüber hinaus fördert der Ausbau und die Weiterentwicklung von Schutzgebieten auch die Senkenfunktion für klimarelevante Gase, insbesondere durch die Erhaltung naturnaher Flächen – und stellt damit einen wichtigen Bereich für Synergien dar.

Literaturverzeichnis

- Aigner, A./A. Biertümpel/M. Conrad/K. Deiglmayr/M. Diepolder/B. Eder/J. Eder/B. Formowitz/M. Fritz/K. Gehring/A. Hartmann/S. Hartmann/M. Heiermann/C. Herrmann/D. Hofmann/C. Idler/M. Kawasch/P. Kornatz/F. Lichti/A. Nehring/G. Salzeder/S. Schaffner/E. Stickel/F. Stockmann/A. Vetter/B. Vollrath/C. von Buttlar/M. Wendland/M. Willms/G. Wolf/K. Zeise (2012): Energiepflanzen für Biogasanlagen. Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (Hg.). Gülzow-Prüzen, 1–112
- ALB Bayern e.V. (Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V.) (o.A.): Steckbriefe neue und wiederentdeckte Energiepflanzenarten; Steckbriefe klassische Ackerkulturen und Fruchtfolgeglieder.
<http://www.biogas-forum-bayern.de/energiepflanzen/steckbriefe-neue-und-wiederentdeckte-energiepflanzenarten/durchwachsene-silphie> (19.08.2014)
- Ammermann, K. (2007): Biomassenutzung: Chancen und Risiken aus Naturschutzsicht. In: Bundesamt für Naturschutz (Hg.): Naturschutz und Landwirtschaft im Dialog: „Biomasseproduktion – ein Segen für die Land(wirt)schaft?“. Tagungsband, BfN-Skript 211. Bonn, 1–154
- Ammermann, K./A. Mengel (2011): Energetischer Biomasseanbau im Kontext von Naturschutz, Biodiversität, Kulturlandschaftsentwicklung. Informationen zur Raumentwicklung Heft 5/6, 323–337
- Anderer, P./U. Dumont/E. Massmann/R. Keuneke (2012): Wasserkraftnutzung in Deutschland – Wasserrechtliche Aspekte, ökologisches Modernisierungspotenzial und Fördermöglichkeiten. Umweltbundesamt (Hg.). Texte – 22/2012, 1–389
- Angenendt, E./A. Konold/R. Jooß/E. Bahrs/J. Zeddies (2010): Nachhaltiger Anbau von Bioenergie – eine ökonomisch-ökologische Analyse für das Umweltministerium in Baden-Württemberg. Vortrag anlässlich der 50. Jahrestagung der GEWISOLA

- „Möglichkeiten und Grenzen der wissenschaftlichen Politikanalyse“. Braunschweig, 29.09.–01.10.2010
- Augst, H.-J. (2008): Schutzgebiete im Klimawandel. In: Landesamt für Natur und Umwelt Schleswig Holstein (Hg.): Jahresbericht 2007/2008, 35–46
- BASF (2014): Biodiversität und Landwirtschaft. http://www.agro.basf.com/agr/AP-Internet/en/function/conversions:/publish/upload/news_room/Biodiversitaet-und-Landwirtschaft_DE.pdf (16.08.2014)
- Baumert, S. (2014): Life cycle assessment of carbon and energy balances in Jatropha production systems of Burkina Faso. Dissertation. Hohe Landwirtschaftliche Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn, 1–170
- Bayrischer Bauernverband (2013): Schützen durch Nützen. <http://www.bayerischerbauernverband.de/schuetzen-durch-nuetzen> (16.08.2014)
- Beer, C./M. Reichstein/E. Tomelleri/P. Ciais/M. Jung/N. Carvalhais/C. Rödenbeck/M. Altaf Arain/D. Baldocchi/G.B. Bonan/A. Bondeau/A. Cescatti/G. Lasslop/A. Lindroth/M. Lomas/S. Luyssaert/H. Margolis/K.W. Oleson/O. Roupsard/E. Veenendaal/N. Viovy/C. Williams/I. Woodward/D. Papale (2010): Terrestrial Gross Carbon Dioxide Uptake: Global Distribution and Co-variation with Climate. *Science* 329, 834–838
- Benbrook, C. (2012): Impacts of genetically engineered crops on pesticide use in the U.S. –the first sixteen years. *Environmental Sciences Europe* 24, 24
- Bender, B./A. Chalmin/T. Reeg/W. Konold/K. Mastel/H. Spiecker (2009): Moderne Agroforstsysteme mit Werthölzern – Leitfaden für die Praxis. Broschüre, 1–51
- Bens, O./K. Lorenz (2012): Kohlenstoffspeicherung und Humusversorgung der Böden in Deutschland. In: V. Moosbrugger/G. Brasseur/M. Schaller/B. Strižny (Hg.): Klimawandel und Biodiversität – Folgen für Deutschland. Darmstadt: WBG Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 132–138
- BfN (Bundesamt für Naturschutz) (2007): Agrobiodiversität. http://www.bfn.de/0313_agrobiodiv.html (01.08.2014)
- BfN (Bundesamt für Naturschutz) (2009a): Klimawandel, Landnutzung und Biodiversität – Chancen erkennen – Synergien nutzen. Empfehlungen des BfN für die nächste Legislaturperiode. http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/landwirtschaft/2009-10-07-pos-papier-kernpunkte_Klimawandel_landnutzung.pdf (06.02.2014)
- BfN (Bundesamt für Naturschutz) (2009b): Position des BfN zur Wasserkraftnutzung. http://www.bfn.de/0319_wasserkraft_nutzung.html (22.09.2014)
- BfN (Bundesamt für Naturschutz) (2010): Bioenergie und Naturschutz. Synergien fordern, Risiken vermeiden. Bundesamt für Naturschutz (Hg.). Bonn, 1–31
- BfN (Bundesamt für Naturschutz) (2012): Energieholzanzbau auf landwirtschaftlichen Flächen – Auswirkungen von Kurzumtriebsplantagen auf Naturhaushalt, Landschaftsbild und biologische Vielfalt. Bundesamt für Naturschutz (Hg.). Leipzig, 1–19
- BfN (Bundesamt für Naturschutz) (2013): Für einen vorsorgenden Hochwasserschutz – Eckpunktepapier des Bundesamts für Naturschutz, Juli 2013. Bundesamt für Naturschutz. Bonn-Bad Godesberg, 1–7

- BfN (Bundesamt für Naturschutz) (2014a): Moorschutz. http://www.bfn.de/0311_moore-moorschutz.html (10.08.2014)
- BfN (Bundesamt für Naturschutz) (2014b): Grünland-Report: Alles im Grünen Bereich? Bonn, 1–34
- Bioversity International (2014): Why Agrobiodiversity matters. <http://www.bioversityinternational.org/why-agricultural-biodiversity-matters-foundation-of-agriculture/> (18.08.2014)
- BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft) (2013): Nutzen und Bedeutung der Bioenergie. <http://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Nachwachsende-Rohstoffe/Bioenergie/texte/Bioenergie.html> (15.11.2014)
- BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft) (2014): Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung. <http://www.bmelv.de/DE/Landwirtschaft/Nachwachsende-Rohstoffe/Bioenergie/e10/texte/Anwendung-Biomasse-Nachhaltigkeitsverordnung.html?nn=1880346> (15.11.2014)
- BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) (2007): Agrobiodiversität erhalten, Potenziale der Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft erschließen und nachhaltig nutzen. BMELV. Bonn, 1–84
- BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) (2011): Der volle Durchblick in Sachen Bioenergie – Daten und Fakten zur Debatte um eine wichtige Energiequelle. Broschüre. Berlin, 1–40
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit)/BfN (Bundesamt für Naturschutz) (2009): Auenzustandsbericht – Flussauen in Deutschland. Berlin/Bonn, 1–35
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Berlin, 1–179
- BMUB (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit) (2014): Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 – Eckpunkte des BMUB. Berlin, 1–13. http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutz_2020_aktionsprogramm_eckpunkte_bf.pdf (05.01.2015)
- BMW (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) (2014): Erneuerbare Energien. <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/erneuerbare-energien.html> (18.08.2014)
- Bollmann, M./T. Bosch/F. Colijn/R. Ebinghaus/R. Froese/K. Güssow/S. Khalilian/S. Kraschel/A. Körtzinger/M. Langenbuch/M. Latif/B. Matthiessen/F. Melzner/A. Oeschles/S. Petersen/A. Proelß/M. Quaas/J. Reichenbach/T. Requate/T. Reusch/P. Rosenstiel/J. Schmidt/K. Schrottke/H. Sichelschmidt/U. Siebert/R. Soltwedel/U. Sommer/K. Stattegger/H. Sterr/R. Sturm/T. Treude/A. Vafeidis/C. van Bernem/J. van Beusekom/R. Voss/M. Visbeck/M. Wahl/K. Wallmann/F. Weinberger (2010): World Ocean Review – Mit den Meeren leben 2010. maribus gGmbH (Hg.). Hamburg, 1–234
- BÖLN (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft) (2014): Pflanzenschutz im Ökologischen Landbau. <http://www.oekolandbau.de/erzeuger/pflanzenbau/allgemeiner-pflanzenbau/pflanzenschutz/> (10.08.2014)
- Borowitzka, M./N. Moheimani (2013): Sustainable biofuels from algae. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 18, 13–25

- BUND (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V.) (2002): BUND Forderungen für einen ökologischen Hochwasserschutz. http://www.flussbuero.de/fileadmin/user_upload/Startseite/PDFs/Position_Hochwasser.pdf (17.09.2014)
- BUND (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V.) (2010): Pfungstadt hat Gift gesprüht und will es wiedertun! http://darmstadt.bund.net/themen_und_projekte/natur_und_artenschutz/wald_um_darmstadt/kein_gift_gegen_mai_kaefer_waldschutz_fordern/ (21.09.2014)
- BUND (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V.) (2011): BUND-Vision für Flusslandschaften in Deutschland. Eine Studie zur Lage und zu den Perspektiven der Flüsse und Ströme in Deutschland. http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/wasser/20110808_wasser_lebendige_fluesse_langfassung_studie.pdf (16.11.2012)
- BUND (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V.) (2012): Pressemitteilung: 50 Jahre nach „Stummer Frühling“ – Pestizideinsatz weiterhin zu hoch, viele Vogelarten gefährdet. <http://www.bund.net/nc/presse/pressemitteilungen/detail/artikel/50-jahre-nach-stummer-fruehling-pestizideinsatz-weiterhin-zu-hoch-viele-vogelarten-gefaehrde/> (02.07.14)
- BUND (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V.)/Alsace Nature (Association Fédérative Régionale pour la Protection de la Nature en Alsace) (o.A.): Hochwasserrückhalt durch Auenrevitalisierung – Mit Deichrückverlegung und Auenrevitalisierung zu mehr Hochwasserschutz an Rhein und Main. Landesverbände Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz BUND und Alsace Nature (Hg.), Düsseldorf, 1–84
- BUND (Bund für Umwelt und Naturschutz) (2012): Pestizide töten Vögel – 50. Jahrestag von Rachel Carsons „Silent Spring“: Pestizideinsatz weiterhin zu hoch. BUND Hintergrund, 1–8. http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/pdfs/chemie/pestizide/120912_bund_chemie_pestizide_vogelsterben_hintergrund.pdf (12.08.2014)
- Bütler, R. (2005): Alt- und Totholz – Ein Zeichen moderner, nachhaltiger Waldwirtschaft. Wald und Holz 86 (4), 45–48
- Caldeira, K./M. Akai/P. Brewer/B. Chen/P. Haugan/T. Iwama/P. Johnston/H.S. Khesghi/T. Ohsumi/H.O. Pörtner/C. Sabine/Y. Shirayama/J. Thomson (2005): Chapter 6: Ocean Storage. In: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Hg.): IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Cambridge/New York: Cambridge University Press, 4–41
- Canadell J./M. Raupach (2008): Managing Forests for Climate Change Mitigation. Science 320, 1456–1457
- CBD (Secretariat of the Convention on Biological Diversity) (2003). Interlinkages between biological diversity and climate change. Advice on the integration of biodiversity considerations into the implementation of the United Nations Framework Convention on Climate Change and its Kyoto protocol. CBD technical Series No. 10, SCBD, Montreal, 1–154
- CBD (Secretariat of the Convention on Biological Diversity) (2010): A Quick Guide to the Aichi Biodiversity Targets – Protected Areas Increased and Improved. <http://www.cbd.int/doc/strategic-plan/targets/T11-quick-guide-en.pdf> (16.09.2014)

- Chakraborty S./A. von Tiedemann/P.S. Teng (2000) Climate Change: potential impact on plant diseases. *Environmental Pollution* 108, 317–326
- Choudhury, K./C. Dziedzioch/A. Häusler/C. Ploetz (2004): Zusammenstellung und Auswertung geeigneter Kriterien, Indikatoren, UVP und dergleichen für die notwendige Berücksichtigung von Biodiversitätsaspekten bei Maßnahmen des Klimaschutzes, insbesondere bei Landnutzungsänderungen. *Climate Change* 04/04, Umweltbundesamt (Hg.). Berlin, 1–215
- Christmann, S./A. Aw-Hassan (2012). Farming with alternative pollinators (FAP) – an overlooked win-win-strategy for climate change adaptation. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 161, 161–164
- CSC (Climate Service Center) (2014): REDD(+) und seine Bedeutung für den internationalen Wald- und Klimaschutz. http://www.climate-service-center.de/012359/index_0012359.html.de (24.09.2014)
- CSC (Climate Service Center) (o.A. a): Hoffnungsträger REDD? http://www.climate-service-center.de/011489/index_0011489.html.de (21.05.2014)
- CSC (Climate Service Center) (o.A. b): Biodiversitätsschutz unter REDD+. http://www.climate-service-center.de/012554/index_0012554.html.de (21.05.2014)
- DBU (Gesellschaft der Deutschen Bundesstiftung Umwelt zur Sicherung des nationalen Naturerbes GmbH) (2009): Manche mögen's heiß. Waldschädlinge im Klimawandel. Projekt Wald in Not. Broschüre. Bonn, 1–40
- De Groot, R.S./P. van der Meer (2010): Quantifying and valuing goods and services provided by plantation forests. In: J. Bauhus/P. van der Meer/M. Kanninen (Hg.): *Ecosystem Goods and Services from Plantation Forests*. London, 16–42
- De Ponti,t./B. Rijk/M. van Ittersum (2012): The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agricultural Systems* 108, 1–9
- Deutscher Bauernverband (2014): Pflanzenschutz sichert hochwertige Lebensmittelproduktion. <http://www.bauernverband.de/pflanzenschutzmittel> (13.08.2014)
- Deutsches Maiskomitee e.V. (DMK) (o.A.): Unkrautbekämpfung. <http://www.maiskomitee.de/web/public/Produktion.aspx/Pflanzengesundheit/Unkrautbek%C3%A4mpfung> (13.08.2014)
- Dixon, R. (2013): Algae based biofuels. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 18, 1–4
- DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e. V.)/WWF Umweltstiftung Deutschland (2006): Nachhaltiger Anbau und energetische Verwertung von Biomasse. Empfehlungen der AG Landwirtschaft von DLG und WWF. Frankfurt am Main: DLG- Verlag
- Doleschel, P. (2007): Klimawandel und Landwirtschaft, Anpassungsmöglichkeiten in Ackerbau und Tierhaltung. Bayerisches Symposium zu den Folgen des Klimawandels am 12. April 2007. Nürnberg
- Doyle, U. (2008): Biodiversitätsschutz und Klimaschutz: Landnutzungen können „Mitigation“ und „Adaptation“ unterstützen. *Vilm*, 14. Juli 2008. http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/ina/vortraege/2008-05-Doyle_Landnutzungen-Vilm.pdf (16.11.2012)

- Dumont, U./P. Anderer/U. Schwevers (2005): Handbuch Querbauwerke. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hg.). Düsseldorf, 2005, 1–212
- Dziwiaty, K./P. Bernardy (2007): Auswirkungen zunehmender Biomassenutzung (EEG) auf die Artenvielfalt – Erarbeitung von Handlungsempfehlungen für den Schutz der Vögel der Agrarlandschaft. Endbericht – Studie im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Berlin, 1–128
- EEA (European Environment Agency) (2006): How much bioenergy can Europe produce without harming the environment? EEA Report No 7. Luxembourg, 1–60
- Eis, D./D. Helm/D. Laußmann/K. Stark (2010): Klimawandel und Gesundheit – ein Sachstandbericht. Robert Koch Institut (Hg.). Berlin, 1–244
- EMPA (Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt) (2012): Medienmitteilung: Neue Daten zur Ökobilanz von Biotreibstoffen – Die wenigsten Biotreibstoffe sind „grün“. http://www.empa.ch/plugin/template/empa/*/125605 (21.07.2014).
- Europäische Kommission (2011): Energy 2020 – A strategy for competitive, sustainable and secure energy. Publications Office of the European Union. Luxembourg, 1–24
- FAO (Food and Agriculture Organization) (2010): Global Forest Resources Assessment 2010 – Main Report. FAO Forestry Paper 163. Rom, 1–343
- FAO (Food and Agriculture Organization) (2013): Plant genetic resources: Use them or lose them. <http://www.fao.org/nr/cgrfa/cthemas/plants/en> (10.08.2014)
- FAO (Food and Agriculture Organization) (o.A.): Tackling Desertification in the Korqin Sandy Lands through Integrated Afforestation. <http://www.fao.org/docrep/006/AD115E/AD115E00.HTM> (23.05.2014)
- Farage, P./J. Ardö/L. Olsson/E. Rienzi/A. Ball/J. Pretty (2007): The potential for soil carbon sequestration in three tropical dryland farming systems of Africa and Latin America: a modelling approach. Soil & Tillage Research 94, 457–472
- Fatheuer, T. (2008): Klimaschutz durch Wälderschutz – Über die Möglichkeiten von REDD in Brasilien. Heinrich Böll Stiftung. Berlin. http://www.boell.de/sites/default/files/assets/boell.de/images/download_de/weltweit/FatheuerREDD-Endversion.pdf (27.08.2014)
- Felten, D./C. Emmerling (2011): Effects of bioenergy crop cultivation on earthworm communities – A comparative study of perennial (Miscanthus) and annual crops with consideration of graded land-use intensity. Applied Soil Ecology 49, 167–177
- FiBL (Forschungsinstitut für biologischen Landbau) (2007): Presse-/Medienmitteilung zur BioFachmesse vom 15. Februar 2007. Biolandbau schont Ressourcen und Klima – Bioförderung ist Klimaschutz! <http://www.fibl.org/de/medien/medienarchiv/medienarchiv07/medienmitteilung07/article/biolandbau-schont-ressourcen-und-klima-biofoerderung-ist-klimaschutz.html> (27.01.2014)
- FiBL (Forschungsinstitut für biologischen Landbau) (2013): Biolandbau fördert Biodiversität. <http://www.fibl.org/?id=480> (27.01.2014)

- Fischer, J./D. Abson/V. Butsic/M. Chappell/J. Ekroos/J. Hanspach/T. Kuemmerle/H. Smith/H. von Wehrden (2014): Land sparing versus land sharing: moving forward. *Conservation Letters* 7, 149–157
- Flessa, H. (2012): Moore und Klimaschutz – Empfehlungen für eine nachhaltige Moornutzung. Vortrag. http://www.aktion-moorschutz.de/wp-content/uploads/Vortrag_Flessa-Moore-NS_1.pdf (28.07.2014)
- Fletcher Jr. R./B. Robertson/J. Evans/P. Doran/J. Alavalapati/D. Schemske (2011): Biodiversity conservation in the era of biofuels: risks and opportunities. *Frontiers in Ecology and the Environment* 9 (3), 161–168
- FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.) (2013): Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe 2013. <http://mediathek.fnr.de/anbauflaeche-fur-nachwachsende-rohstoffe-2013-grafik.html> (30.01.2014)
- FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.) (o.A. a): Energiepflanzen. <http://energiepflanzen.fnr.de/pflanzen/> (18.08.2014)
- FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.) (o.A. b): Die Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) aus der Gattung *Silphium* aus der Familie der Asteraceae (Korbblütler). <http://energiepflanzen.fnr.de/pflanzen/mehrjaehrige/durchwachsene-silphie/> (18.08.2014)
- ForstBW (2014): Vielfalt ist Trumpf. <http://www.forstbw.de/schuetzen-bewahren/waldnaturschutzkonzepte.html> (28.07.2014)
- Freibauer, A. (2009): Das Potenzial von Wäldern und Mooren für den Klimaschutz in Deutschland und auf globaler Ebene. *Natur und Landschaft* 1, 20–25
- Freibauer, A./E. Schulze (2004): Effizienz von Kohlenstoffsinken unter dem Aspekt des Klimaschutzes. Fachtagung „Auf Holzwegen in die Zukunft – eine Option für den Klimaschutz“. Kloster Nimbschen, 22.–23.6.2004
- Freibauer, A./M. Drösler, M./A. Gensior/E. Schulze (2009): Das Potenzial von Wäldern und Mooren für den Klimaschutz in Deutschland auf globaler Ebene. *Natur und Landschaft* 1, 20–25
- Fritsche, U. (2011): Zielkonflikte auf dem Weg zur Low Carbon Economy: Nachhaltige Biomasse? Workshop-Beitrag „Energiewende jetzt. Eine Low Carbon Economy (LCE) in Deutschland ist möglich“ des Forums Umwelt & Entwicklung, 28.0.2011, Berlin. http://www.forumue.de/fileadmin/userupload/AG_Weitere_Themen/Rio_20/20110628_Nachhaltige_Biomasse_WS_LCE_Vortrag_Fritsche.pdf (18.08.2014)
- Fuchs, D./K. Hänel/A. Lipski/M. Reich/P. Finck/U. Riecken (2010): Länderübergreifender Biotopverbund in Deutschland – Grundlagen und Fachkonzept. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 96, 191
- FVA (Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg) (2014): Abteilung Waldschutz. http://www.fva-bw.de/indexjs.html?http://www.fva-bw.de/fva/abt_ws.php (28.07.2014)
- Gallai, N./J. Salles/J. Settele/B. Vaissiere (2009): Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted to pollinator decline. *Ecological Economics* 68, 810–821
- Gesemann, S./M. Rohde (2009): Identifizierung strategischer Hemmnisse und Entwicklung von Lösungsansätzen zur Reduzierung der Nutzungskonkurrenzen beim

- weiteren Ausbau der energetischen Biomassenutzung. 1. Zwischenbericht. Teilbericht 2: Bioenergie und Naturschutz, Ergebnisse der Expertenworkshops. Deutsches BiomasseForschungsZentrum. Leipzig, 1–252
- GFN (Gesellschaft für Freilandökologie und Naturschutzplanung)/ZSW (Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg) (2011): Auswirkungen der Ausbauziele zu den Erneuerbaren Energien auf Naturschutz und Landschaft. FuE-Vorhaben FKZ 3509 83 0600. Endbericht, 1–286. http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/erneuerbareenergien/Publikationen_FuE/endbericht_regionale_auswirk_ee.pdf (15.09.2014)
- Gibson, L./T. Ming Lee/L. Pin Koh/B. Brook/T. Gardner/J. Barlow/C. Peres/C. Bradshaw/W. Laurance/T. Lovejoy/N. Sodhi (2011): Primary forests are irreplaceable for sustaining tropical biodiversity. *Nature* 478, 378–381
- Ginsky, H. (2008): Der Anbau nachwachsender Rohstoffe aus Sicht des Bodenschutzes. *ZUR* 3, 188–194
- Ginsky, H./F. Herrmann/K. Kartschall/W. Leujak/K. Lipsius/C. Mäder/S. Schwermer/G. Straube (2011): Geo-Engineering – Wirksamer Klimaschutz oder Größenwahn? Umweltbundesamt (Hg.). Dessau-Roßlau, 1–48
- Glemnitz, M./M. Willms/J. Hufnagel/F. Reinicke/R. Platen/D. Deumlich (2009): Einfluss der Anbaugestaltung auf die ökologischen Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus. In Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hg.). 2. Symposium Energiepflanzen 2009. Gülzower Fachgespräche, Band 34
- Global Crop Diversitytrust (2013): Why it matters. <http://croptrust.org/content/why-it-matters> (10.08.2014)
- Gold, K./R. McBurney (2012): Conservation of plant diversity for sustainable diets. In: FAO (Hg.): Sustainable Diets and Biodiversity. Proceedings of the International Scientific Symposium Biodiversity and Sustainable Diets United Against Hunger. 3–5 November 2010. Rom, 108–115
- Graß, R./K. Scheffer (2005): Alternative Anbaumethoden: Das Zweikulturnutzungssystem. *Natur und Landschaft* 80 (9110), 435–439
- Grimm, M./K. Sedy/E. Süßenbacher/A. Riss (2012): Existing scientific evidence of the effects of neonicotinoid pesticides on bees. Directorate-General for internal policies – policy department economic and scientific policy, 1–32
- Guariguata, M./J. Cornelius/B. Locatelli/C. Forner/G. Sanchez-Azofeifa (2008): Mitigation needs adaptation: tropical forestry and climate change. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 13, 8, 793–808
- Heiber, W./E. Götting/S. Arens (2005): Kleientnahmen in Salzwiesen an der niedersächsischen Küste – Merkmale, Entwicklung, Kriterien zu ihrer Bewertung. Forschungszentrum Terramare, Berichte Nr. 14, 58–67
- Herold, A./U. Eberle/C. Ploetz/S. Scholz. (2001): Anforderungen des Klimaschutzes an die Qualität von Ökosystemen – Nutzung von Synergien zwischen der Klimarahmenkonvention und der Konvention über die biologische Vielfalt. *Climate Change* 04/2001, Umweltbundesamt (Hg.). Berlin, 1–24

- Herrmann, S./J. Bauhus (2007): Totholz – Bedeutung, Situation, Dynamik. Portal Wald und Klima. http://www.waldundklima.net/wald/totholz_bauhus_herrmann_01.php (24.01.2014)
- Hinrichs-Berger, J. (2008): Konsequenzen für den Pflanzenschutz. Vortrag. Herausforderung Klimawandel – Chance oder Risiko für die Landwirtschaft in Baden-Württemberg? Mögliche Anpassungsreaktionen der Landwirtschaft in Baden-Württemberg (05.03.2008). Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Außenstelle Stuttgart
- Hirschfeld J./J. Weiß/M. Preidl/T. Korbun (2008): Klimawirkungen der Landwirtschaft in Deutschland. Schriftenreihe des Instituts für ökologische Wirtschaftsförderung 186/08. Berlin, 1–186
- Hirschfeld, J./E. Hoffmann/M. Welp (2012): Themenblatt Anpassung an den Klimawandel. Küstenschutz. Hg.: Umweltbundesamt, KomPass Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung. http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/364/publikationen/kompass_themenblatt_kuestenschutz_net.pdf (25.09.2014)
- Hoffmann, A. (2011): Anpassungsstrategien an den Klimawandel. Handlungsempfehlungen aus gewässerökologischer Sicht. Vortrag auf der Statuskonferenz Klimawandel und Biodiversität – Folgen für Deutschland, 19.-20. Mai 2011. Frankfurt am Main
- Hulme, P./P. Pysek/W. Nentwig/M. Vila (2009): Will threat of biological invasions unite the European Union? *Science* 324, 40–41
- Hülsbergen, K. (2006): Klimaverändernde Faktoren vermeiden, Auswirkungen des Klimawandels abmildern. Welchen Beitrag leistet das System Biolandbau? Fachbeitrag Biolandtagung „Klimawandel und Biolandbau“, 16.03.06. Freising
- Hurka, H./N. Friesen/P. Borgmann/B. Neuffer (2008): Schutz und Erhalt pflanzengenetischer Vielfalt: In situ- und Ex situ-Maßnahmen. Osnabrücker Naturwissenschaftliche Mitteilungen. Band 33/34, 177–195
- IGM (Interessensgemeinschaft Miscanthus) (2014): www.miscanthus.ch (15.08. 2014)
- Industrieverband Agrar (2014): Chemischer Pflanzenschutz sichert Erträge und schont Mensch und Umwelt. <http://www.iva.de/praxis/pflanzenschutz> (15.09.2014)
- IPCC (Intergovernmental panel on Climate Change (2000): Land Use, Land-Use change and Forestry. A special report of the IPCC. Cambridge/New York: Cambridge University Press
- IPCC (International Panel on Climate Change) (2014): Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Cambridge/New York: Cambridge University Press
- Jacobsen, S./M. Sørensen/S. Pedersen/J. Weiner (2013): Feeding the world: genetically modified crops versus agricultural biodiversity. *Agronomy for Sustainable Development* Vol. 33 (4), 651–662
- Jahn, T./A. Lux (2009): Problemorientierte Diskursfeldanalyse – neue Methode und Anwendungsmöglichkeiten. ISOE-Studientexte Nr. 15, Frankfurt am Main

- Jedicke, E. (2008): Biotopverbund für Alt- und Totholz-Lebensräume. Leitlinien eines Schutzkonzepts inner- und außerhalb von Natura 2000. Naturschutz und Landschaftsplanung 40 (11), 379–385
- Jensen R./L. Landgraf/U. Lenschow/B. Paterak/T. Permien/U. Schiefelbein/U.M. Sorg/J. Thormann/M. Trepel/T. Wälter/H. Wreesmann/M. Ziebarth (2012): Potentiale und Ziele zum Moor- und Klimaschutz. Gemeinsame Erklärung der Naturschutzbehörden. Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (Hg.). Schriftenreihe LLUR SH – Natur 20, 1–37
- Jering, A./A. Klatt/J. Seven/K. Ehlers/J. Günther/A. Ostermeier/L. Mönch (2013): Globale Landflächen und Biomasse nachhaltig und ressourcenschonend nutzen. Umweltbundesamt (Hg.). Dessau-Roßlau, 1–106
- Jessel, B./T. Hopf (2008): Naturschutz im Klimawandel – Ein Zwischenfazit. Tagungsdokumentation der NABU-Konferenz „Klimawandel und Biodiversität“, 8.–9. April 2008. Berlin
- Joosten, H. (2006): Moorschutz in Europa. Restauration und Klimarelevanz. Europäisches Symposium „Moore in der Regionalentwicklung“. Veranstaltung zur Feier 25 Jahre Niedersächsisches Moorschutzprogramm, Fachtagung vom 15.–17. Juni 2006
- Joosten, H./K. Brust/J. Couwenberg/A. Gerner/B. Holsten/T. Permien/A. Schäfer/F. Tanneberger/M. Trepel/A. Wahren (2013): MoorFutures® – Integration von weiteren Ökosystemdienstleistungen einschließlich Biodiversität in Kohlenstoffzertifikate – Standard, Methodologie und Übertragbarkeit in andere Regionen. BfN-Skripten 350, Bundesamt für Naturschutz (Hg.). Bonn-Bad Godesberg, 1–130
- Jørgensen, U. (2011): Benefits versus risks of growing biofuel crops: The case of Miscanthus. Current Opinion in Environmental Sustainability 3, 24–30
- Jose, S. (2007). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview. Agroforestry Systems 76, 1–10
- Kaaser, A./J. Palma/F. Sereke/F. Herzog (2010): Umweltleistungen von Agroforstwirtschaft. Die Bedeutung von Bäumen in der Landwirtschaft für Gewässer- und Bodenschutz, Klima, Biodiversität und Landschaftsbild. ART-Bericht 736, 1–12
- Kleinhanß, W./F. Junker (2012): Analyse und Abschätzung des Biomasse-Flächennutzungspotenzials. Arbeitsberichte aus der vTI-Agrarökonomie 2012/03, Johann Heinrich von Thünen Institut. Braunschweig, 1–63
- Klöck, G. (2009): Biodiesel aus Mikroalgen. Energy 2.0 (Juli), 53–55
- Köhl, M./J. San-Miguel-Ayanz (2011): Criterion 2: Maintenance of Forest Ecosystem Health and Vitality. In: Forest Europe/UNECE/FAO: State of Europe's Forests 2011. Status and Trends in Sustainable Forest Management in Europe, 29–49
- Kowarik, I. (2002): Biologische Invasionen in Deutschland: zur Rolle nichteinheimischer Pflanzen. In: I. Kowarik/U. Starfinger (Hg.): Biologische Invasionen. Herausforderung zum Handeln? Neobiota 1, 5–24
- Kretzschmar, J./R. Offermann/T. Seidenberger (2011): Ökologische und soziale Aspekte der Kraftstofferzeugung und -nutzung aus Biomasse. Endbericht des DBFZ im Rahmen des Verbundvorhabens „Sozial- und verhaltenswissenschaftliche Aspekte der Kraftstofferzeugung und -nutzung aus Biomasse“. Leipzig, 1–91

- Kuhn, W./J. Zeller/N. Bretschneider-Herrmann/K. Drenckhahn (2014): Energie aus Wildpflanzen – Praxisempfehlungen für den Anbau von Wildpflanzen zur Biomasseproduktion. Netzwerk Lebensraum Feldflur, 1–28
- Lal, R. (2008): Carbon Sequestration. Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Science Nr. 363(1), 815–830
- Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (2014): Moor und Torf. http://www.lbeg.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=666&article_id=590&psmand=4 (17.05.2014)
- Landvolk Niedersachsen (2014): Dialogbereitschaft beim Moorschutz nur vorge-täuscht. <http://www.landvolk.net/Presseservice/LPD-Meldungen/2014/LPD-Einzelmeldungen/Moore.php> (17.05.2014)
- Landwirtschaftskammer NRW (2013): Cross Compliance 2014 – Informationen über die Einhaltung der anderweitigen Verpflichtungen (Cross Compliance). Bonn, 1–77. (<http://www.landwirtschaftskammer.de/foerderung/pdf/cc-infobroschuere.pdf>) (14.08.2014)
- Leppmann, A./J. Hofmann/I. Garbe/J. Mück (2012): Schwarzwildbewirtschaftung in der Agrarlandschaft – Probleme und Maßnahmen. Ein Leitfaden für Landwirte und Jäger. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hg.). Berlin, 1–44
- LfL (Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft) (o.A.): Krankheiten und Schädlinge: Blattfrüchte, Mais. <http://www.lfl.bayern.de/ips/blattfruechte/> (13.08.2014)
- Loft, L. (2009): Erhalt und Finanzierung biologischer Vielfalt – Synergien zwischen Internationalem Biodiversitäts- und Klimaschutzrecht. Dissertation. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 1–237
- Loft, L. (2010): Der Mechanismus zur Vermeidung von Emissionen aus Entwaldung und Degradation (REDD) – Nachhaltige Umsetzung eines Klimaschutzinstruments. Masterarbeit. Hochschule für Wirtschaft und Recht. Berlin, 1–138
- Loft, L./E. Schramm (2011a): Welchen Mehrwert bietet der Wald im Klimaschutz?– Bedeutung und Besonderheiten von waldbasierten Emissionsminderungsprojekten. LOEWE Biodiversitäts- und Klima Forschungszentrum (BiK-F). Knowledge Flow Paper Nr. 13. Frankfurt am Main, 1–18
- Loft, L./E. Schramm (2011b): Bewertung von Waldprojekten zur Emissionsminderung hinsichtlich des gesamtökologischen und des sozialen Nutzens: Vorarbeiten für allgemein akzeptierte Leistungsindikatoren. LOEWE Biodiversitäts- und Klima Forschungszentrum (BiK-F). Knowledge Flow Paper Nr. 14. Frankfurt am Main, 1–26
- Luick, R./P. Bernardy/K. Dziewiaty/K. Schümann (2011): „Superstar“ Energiemais – Auswirkungen auf die Biodiversität am Beispiel der Feldvogelarten. In: Agrar-Bündnis e.V. (Hg.): Kritischer Agrarbericht 2011. Konstanz, 131–135
- Lünenbürger, B./A. Benndorf/M. Börner/A. Burger/H. Ginzky/C. Ohl/D. Osiek/D. Schulz/M. Stroogies (2013): Klimaschutz und Emissionshandel in der Landwirtschaft. Climate Change 01/2013. Umweltbundesamt (Hg.). Dessau-Roßlau, 1–41
- Maier, M./J. Stahl (2011): Salzwiesen im Spannungsfeld zwischen Küsten- und Naturschutz. In: U. Feit/H. Korn (2011): Treffpunkt Biologische Vielfalt X. Interdis-

- ziplinärer Forschungsaustausch im Rahmen des Übereinkommens über die biologische Vielfalt. BfN-Skript 289
- Marshall, V. (2000): Impacts of forest harvesting on biological processes in northern forest soils. *Forest Ecology & Management*. 133 (1-2), 43–60
- Memmler, M./L. Schrempf/S. Hermann/S. Schneider/J. Pabst/M. Dreher (2014): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger – Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2013. *Climate Change* 29/2014. Umweltbundesamt (Hg.). Dessau-Roßlau, 1–145
- Miles, L. (2007): Reducing Emissions from Deforestation – global mechanisms, conservation, and livelihoods. UNEP World Conservation Monitoring Centre. Cambridge (UK), 1–10
- Miles, L./V. Kapos (2008): Reducing greenhouse gas emissions from deforestation and forest degradation: Global land-use implications. *Science* 320 (5882), 1454–1455
- MLU (Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Sachsen Anhalt) (2014): Die drei Säulen des Hochwasserschutzes. <http://www.mlu.sachsen-anhalt.de/stichworte-a-z/hochwasser/3-saeulen-des-hochwasserschutzes/> (17.09.2014)
- Mühlenhoff, J. (2011): Anbau von Energiepflanzen Umweltauswirkungen, Nutzungskonkurrenzen und Potenziale. *Renews Spezial* Ausgabe 34, Agentur für Erneuerbare Energien (Hg.). Berlin, 1–26
- Mühlethaler, U. (2010): Mit Robinie in die Zukunft – oder den Neophyten bekämpfen? Eine Baumart gibt zu diskutieren. *Wald und Holz* 6 /10, 35–38
- NABU (Naturschutzbund Deutschland e.V.) (2012): Waldbesitzer lernen zu wenig aus Kyrill-Katastrophe. Pressemitteilung. <http://www.nabu.de/presse/pressemitteilungen/index.php?popup=true&show=3952&db=presseservice> (23.05.2014)
- NABU (Naturschutzbund Deutschland e.V.) (2013): Hintergrund – Agrogentechnik und Biodiversität. Kommerzieller Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen. http://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/gentechnik/hintergrund/biodiversitaet_agrogentechnik_lang.pdf (28.0.2014)
- Nabuurs, G.J./O. Masera/K. Andrasko/P. Benitez-Ponce/R. Boer/M. Dutschke/E. Elsidig/J. Ford-Robertson/P. Frumhoff/T. Karjalainen/O. Krankina/W.A. Kurz/M. Matsumoto/W. Oyhantcabal/N.H. Ravindranath/M.J. Sanz Sanchez/X. Zhang (2007): Forestry. In: B. Metz/O.R. Davidson/P.R. Bosch/R. Dave/L.A. Meyer (Hg.): *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge/New York: Cambridge University Press, 541–584
- Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina (2013): Bioenergie – Möglichkeiten und Grenzen. Halle (Saale), 1–132
- Negussie, A./W. Achte/L. Norgrove/M. Hermy/B. Muys (2013): Invasiveness risk of biofuel crops using *Jatropha curcas* L. as a model species. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 7 (5), 485–498
- Nitsch, H./B. Osterburg/W. Roggendorf (2009): Landwirtschaftliche Flächennutzung im Wandel – Folgen für Natur und Landschaft – eine Analyse agrarstatistischer Daten. NABU & DVL (Hg.). Berlin, 1–34

- Osterburg B./S. Rüter/A. Freibauer/T. de Witte/P. Elsasser/S. Kätsch/B. Leischner/H. Paulsen/J. Rock/N. Röder/J. Sanders/J. Schweinle/J. Steuk/H. Stichnothe/W. Stümer/J. Welling/A. Wolff (2013): Handlungsoptionen für den Klimaschutz in der deutschen Agrar- und Forstwirtschaft. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Report 11, 1–158
- Osterkamp, S./M. Schirmer (2000): Abschlussbericht Teilprojekt Ökologischer Komplex, Teil B: Klimasensitivität der Unterweser und ihrer Vorländer. Projekt „Klimaänderung und Unterweserregion“ (KLIMU) (Fallstudie Weserästuar). Universität Bremen, 1–151
- Pandey, D.N. (2007): Multifunctional agroforestry systems in India. *Current Science* 92, 455–463
- Pelvin, R./D. Kammen (2013): Indirect Land Use and Greenhouse Gas Impacts of Biofuels. In: S. Levin (Hg.): *Encyclopedia of Biodiversity*. Second Edition, Vol. 4. Waltham: Academic Press, 293–297
- Petercord, R./H. Schröter/H. Veit (2008): Forstinsekten im Klimawandel – alte Bekannte mit neuem Potenzial? *FVA Einblick* 01/08, 34–37
- Petercord, R./S. Leonhard/M. Muck/H. Lemm/G. Lobinger/T. Immler/M. Konnert (2009): Klimaerwärmung und Forstschädlinge. *Waldschutz-Klimaprojekt Forschen für die Forstwirtschaft in der Klimaerwärmung*. LWF 72, 4–7
- Pflanzen-Forschung-Ethik (2013): Züchtungsverfahren im Überblick – mit und ohne Gentechnik. <http://www.pflanzen-forschung-ethik.de/verfahren/1557.verfahren-pflanzenzuechtung.html> (22.08.2014)
- Pistorius, T. (2007): Kohlenstoffspeicherung in Wald und Holzprodukten. Wie Wirtschaftswald und nachhaltige Forstwirtschaft in Baden-Württemberg zum Klimaschutz beitragen. http://www.waldundklima.de/wald/wald_docs/pistorius_fva_2007_01.pdf (16.11.2012)
- Pistorius, T. (2009): REDD from the Conservation Perspective – Pitfalls and opportunities for mutually addressing climate change and biodiversity conservation. Institut für Forst- und Umweltpolitik. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 1–37
- Pistorius, T. (2010): REDD+: Challenges and opportunities for forest biodiversity conservation. Institut für Forst- und Umweltpolitik. Freiburg http://www.theredddesk.org/sites/default/files/resources/pdf/2010/T._Pistorius_et_al_2010_Greeneing_REDD_Challenges_and_opportunities_for_forest_conservation.pdf (16.11.2012)
- Preisinger, H. (2010): Die Außendeichsgebiete der Elbe. In: H.H. Poppendieck/H. Bertram/I. Brandt/B. Engelschall/J. von Prondzinski (Hg.): *Der Hamburger Pflanzenatlas*. München/Hamburg: Dölling & Galitz, 48–53
- Reeg, T./A. Möndel/M. Brix/W. Konoid (2008): Naturschutz in der Agrarlandschaft: Neue Möglichkeiten mit modernen Agroforstsystemen? *Natur und Landschaft* 83 (6), 261–266
- Reeg, T./M. Oelke/W. Konoid (2009): Moderne Agroforstsysteme in Deutschland: naturschutzfachliche Bewertung, Akzeptanz, historische Hintergründe und Auswirkungen auf das Landschaftsbild. Schlussbericht des Projektes agroforst – neue Optionen für eine nachhaltige Landnutzung, Teilprojekt Landespflege. Institut für Landespflege der Universität Freiburg

- Reinhardt, G./S. Gärtner/N. Rettenmaier/J. Münch/E. von Falkenstein (2007): Screening Life Cycle Assessment of Jatropha Biodiesel. Commissioned by Daimler AG Stuttgart. IFEU – Institut für Energie- und Umweltforschung (Hg.). Heidelberg, 1–55 https://www.ifeu.de/landwirtschaft/pdf/jatropha_report_111207.pdf (21. 08.2014)
- Reinhardt, G./S. Gärtner/N. Rettenmaier/J. Münch/E. von Falkenstein (2007): Screening Life Cycle Assessment of Jatropha Biodiesel. Final Report. IFEU – Institut für Energie- und Umweltforschung. Heidelberg, 1–56
- Reisner, Y./R. de Filippi/F. Herzog/J. Palma (2007): Target regions for silvoarable agroforestry in Europe. *Ecological Engineering* 29, 401–418
- Reubens, B./W. Achten/W. Maes/F. Danjon/R. Aerts/J. Poesen/B. Muys (2011): More than biofuel? *Jatropha curcas* root system symmetry and potential for soil erosion control. *Journal of Arid Environments* 75 (2), 201–205
- Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (o.A.): Konservierende Bodenbearbeitung. <http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/8120.htm> (15.07.2014)
- Sachverständigen Rat für Umweltfragen (SRU) (2007): Climate Change Mitigation by Biomass. Special Report. Hausdruck. Berlin, 1–121
- Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) (2008): Umweltgutachten 2008. Umweltschutz im Zeichen des Klimawandels. (Langfassung) Hausdruck. Berlin, 1–596
- Schaller, M. (2011): Auswirkungen auf landwirtschaftlich genutzte Räume. Tagungsbeitrag Statuskonferenz „Klimawandel und Biodiversität – Folgen für Deutschland“. Senckenberg Naturmuseum. Frankfurt, 19.05.2011
- Schaller, M./C. Beierkuhnlein/S. Rahmis/T. Schmidt/H. Nitsch/M. Liess/M. Kattwinkel/J. Settele (2012): Auswirkung auf landwirtschaftlich genutzte Räume. In: V. Moosbrugger/G. Brasseur/M. Schaller/B. Stribny (Hg.): Klimawandel und Biodiversität – Folgen für Deutschland. Darmstadt: WBG Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 222–259
- Schaller, M./H. Weigel (2007): Analyse des Sachstands zu Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die deutsche Landwirtschaft und Maßnahmen zur Anpassung. *Landbauforschung Völkenrode. Sonderheft* 316, 1–250
- Schmidt, L. (2009): REDD from an integrated perspective – Considering overall climate change mitigation, biodiversity and equity issues. Discussion Paper 4/2009, Deutsches Institut für Entwicklungspolitik. Berlin, 1–43
- Schneider, B./R. Hüttel (2012): Die Bedeutung von Landnutzungssystemen für die biologische Diversität. In: V. Moosbrugger/G. Brasseur/M. Schaller/B. Stribny (Hg.): Klimawandel und Biodiversität – Folgen für Deutschland. Darmstadt: WBG Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 149–156
- Scholz, M. (2010): „Nationales Auenprogramm“ – Beitrag zur Klimaanpassung und zum Schutz der Biologischen Vielfalt. Vortrag auf der BfN-Forschungskonferenz „Biologische Vielfalt und Klimawandel“, 2. März 2010. Bonn
- Schröter, H.-J. (2002): Biodiversität und Waldschutz – ein Widerspruch? Schriftenreihe Freiburger Forstliche Forschung, Bd. 18, 137–145
- Schuchardt, B./J. Scholle/S. Schulze/T. Bildstein (2007): Vergleichende Bewertung der ökologischen Situation der inneren Ästuarie von Eider, Elbe, Weser und Ems: Was-

- hat sich nach 20 Jahren verändert? In: G. Gönnert/B. Pflüger/J. Bremer (Hg.): Von der Geoarchäologie über die Küstendynamik zum Küstenzonenmanagement. Coastline Reports 9, 15–26
- SCNAT (Akademie der Naturwissenschaften Schweiz) (2008): Biodiversität und Klima – Konflikte und Synergien im Massnahmenbereich. Ein Positionspapier der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz. SCNAT. Bern, 1–32
- Searchinger, T. (2013): Understanding the bio-fueltrade-offs between indirect land use change, hunger and poverty. http://www.foeeurope.org/sites/default/files/press_releases/searchinger_paper_foee_briefing_understanding_biofuel_trade-offs_july2013.pdf (18.08.2014)
- SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen) (2013): Den Strommarkt der Zukunft gestalten. Sondergutachten. Hausdruck. Berlin, 1–179
- Statistisches Bundesamt (2014a): Erneuerbare Energien in der EU: Biomasse von zentraler Bedeutung. <https://www.destatis.de/Europa/DE/Thema/UmweltEnergie/ErneuerbareEnergien.html> (18.08.2014)
- Statistisches Bundesamt (2014b): Inwieweit sind Sie für den Gebrauch folgender Energiequellen in Deutschland? <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/196541/umfrage/akzeptanz-bestimmter-energiequellen-in-deutschland/> (18.08.2014)
- Stiehr, N. (2010): Das Thema „Klimabedingte Veränderungen der Biodiversität in der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt: Akteure und Konfliktfelder, Wissensbestände und Forschungsbedarf“. Diplomarbeit im Fachbereich Biowissenschaften der Johann Wolfgang Goethe- Universität. Frankfurt am Main
- Stolzenburg, K. (2012): Erste Versuchsergebnisse mit der Durchwachsenen Silphie (Silphium perfoliatum L.) in Baden-Württemberg. <https://www.landwirtschaft-bw.info> (18.08.2014)
- Succow, M. (2012): Bedeutung, Funktion und Zustand der Moore in Niedersachsen. Podiumsdiskussion: Moorschutz in Niedersachsen. Hannover, 14. Dezember 2012. http://www.bund-niedersachsen.de/fileadmin/bundgruppen/bcmslvniedersachsen/Pressemitteilungen/2012/AktionMoorschutz_Succow_Moore-NDS_14-12-2012_01.pdf (16.11.2012)
- TFSP (Task Force on Systemic Pesticides) (2014): Worldwide Integrated Assessment. <http://www.tfsp.info/worldwide-integrated-assessment/> (08.07.2014)
- Thrän, D. (2014): Die Rolle der Bioenergie in einer nachhaltigen Energieversorgung. Vortrag, Arbeitskreis Energie in der DPG (AKE). http://www.uni-saarland.de/fak7/fze/AKE_Archiv/DPG2014-AKE_Berlin/Buch/DPG20124_AKE3.1_Thraen_Rolle-Bioenergie_txt.vorab_14p.docx. (18.08.2014)
- Thrän, D./M. Edel/T. Seidenberger (2009): Identifizierung strategischer Hemmnisse und Entwicklung von Lösungsansätzen zur Reduzierung der Nutzungskonkurrenzen beim weiteren Ausbau der energetischen Biomassenutzung. 1. Zwischenbericht. Teilbericht 1: Rahmenbedingungen, Biomassenutzung und Konkurrenzfelder der unterschiedlichen Bioenergiemärkte. Deutsches BiomasseForschungsZentrum. Leipzig, 1–252

- Tilman, D./R. Socolow/J. Foley/J. Hill/E. Larson/L. Lynd/S. Pacala/J. Reilly/T. Searchinger/C. Somerville/R. Williams (2009): Beneficial Biofuels – the Food, Energy, and Environment Trilemma. *Science* 325, 270–271
- Trepel, M. (2009): Nährstoffrückhalt und Gewässerrenaturierung. *KW – Korrespondenz Wasserwirtschaft* 4, 211–215
- Tröltzsch, J./B. Görlach/H. Lückge/M. Peter/C. Sartorius (2012): Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel. Analyse von 28 Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel. *Climate Change* 10/12, Umweltbundesamt (Hg.). Dessau-Roßlau, 1–209
- Tuck, S./C. Winqvist/F. Mota/J. Ahnström/L. Turnbull/J. Bengtsson (2014): Land-use intensity and the effects of organic farming on biodiversity: a hierarchical meta-analysis. *Journal of Applied Ecology* 51, 746–755
- UBA (Umweltbundesamt) (2010): Durch Umweltschutz die biologische Vielfalt erhalten – ein Themenheft des Umweltbundesamtes zum Internationalen Jahr der Biodiversität. Dessau-Roßlau, 1–69
- UBA (Umweltbundesamt) (2012): Pflanzenschutzmittel in der Landwirtschaft. <http://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/pflanzenschutzmittel-in-der-landwirtschaft> (02.07.14)
- UBA (Umweltbundesamt) (2013): Grünlandumbruch. <http://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/landwirtschaft/gruenlandumbruch> (01.08.2014)
- UBA (Umweltbundesamt) (2013b): Ausbauziele der erneuerbaren Energien. <http://www.umweltbundesamt.de/daten/energiebereitstellung-verbrauch/ausbauziele-der-erneuerbaren-energien> (01.08.2014)
- UBA (Umweltbundesamt) (2014a): Nutzung von Flüssen: Wasserkraft. <http://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/fluesse/nutzung-belastungen/nutzung-von-fluessen-wasserkraft> (17.09.2014)
- UBA (Umweltbundesamt) (2014b): Energie aus Wasserkraft. <http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/energie-aus-wasserkraft> (22.09.2014)
- UFZ (Umweltforschungszentrum) (2011): Biodiversität und Boden. <http://www.ufz.de/index.php?de=20834> (22.08.2014)
- UN (United Nations) (2007): Sustainable Bioenergy: A Framework for Decision Makers. <ftp://ftp.fao.org/doctep/fao/010/a1094e/a1094e00.pdf> (16.11.2012)
- UNEP (United Nations Environment Program)/FAO (Food and Agriculture Organization)/UNFF (United Nations Forum on Forests) (2009): Vital Forest Graphics. UNEP. Nairobi (Kenya), 1–70
- Universität Greifswald (2014): Paludikultur. <http://www.paludiculture.uni-greifswald.de/de/index.php> (02.06.2014)
- Verband deutscher Landwirtschaftskammern (2010): Anpassungen im Pflanzenbau an den Klimawandel. <http://www.landwirtschaftskammern.de/pdf/klimawandel.pdf> (01.08.2014)
- Verchot, L./M. Noordwijk/S. Kandji/T. Tomich/C. Ong/A. Albrecht/J. Mackensen/C. Bantilan/K. Anupama/C. Palm (2007): Climate Change: linking adaptation and mi-

- igation through agroforestry. Mitigation Adaptation Strategy Global Change 12, 901–918
- Vocke, J. (2007): Energiepflanzenanbau berührt Jagdinteressen. Biogas Journal 1/07, 60. http://biogas-infoboard.de/pdf/Seiten60%20aus%20Biogas_1_2007_Heftmontage-3.pdf (15.09.2014)
- Vohland, K./W. Schoenberg/K. Jensen/U. Doyle/G. Ellwanger/A. Lüttger/E. Rottgardt/K. Runge/E. Schröder/W. Strasdas/R. Zeppenfelder (2012): Anpassung und Mitigation – Zielkonflikte und Synergien mit Biodiversität und Naturschutzziele. In: V. Moosbrugger/G. Brasseur/M. Schaller/B. Stribny (Hg.): Klimawandel und Biodiversität – Folgen für Deutschland. Darmstadt: WBG Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 343–371
- Vollrath, B./W. Kuhn (2010): Wildpflanzen geben Biogas. Biogas Journal Sonderheft Energiepflanzen, 30–33
- WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen) (2006): Meere der Zukunft – zu warm, zu hoch, zu sauer. Sondergutachten WBGU. Berlin, 1–114
- WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen) (2008): Welt im Wandel: Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung. WBGU. Berlin, 1–388
- Webb, A./D. Coates (2012): Biofuels and Biodiversity. Secretariat of the Convention on Biological Diversity. Technical Series No. 65. Montreal, 1–69
- Weigel, H./U. Dämmgen (2005): Biologische Senken für atmosphärischen Kohlenstoff in Deutschland. Tagungsband. Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 280, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft. Braunschweig, 1–152
- Wiegmann, K./K. Hennenberg/U. Fritsche (2008): Degraded Land and Sustainable Bioenergy Feedstock Production – Issue Paper. Öko-Institut. Darmstadt, 1–10
- WMO (World Meteorological Organization) (2014): The State of the Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2013. WMO Greenhouse Gas Bulletin Nr. 10, 9. September 2014, 1–8 http://www.wmo.int/pages/media_centre/press_releases/documents/1002_GHG_Bulletin.pdf (15.09.2014)
- Wöllecke, J./H. Grünwald/B. Schneider/R. Hüttl (2008): Alley-Cropping – Eine Möglichkeit der Etablierung von Biotopverbundstrukturen in der Agrarlandschaft? Naturschutz und Biologische Vielfalt 60, 73–78
- World Register of Marine Species (WoRMS) (2014): Statistics. <http://www.marine-species.org/> (23.09.2014)
- Zah, R./T. Kägi (2008): Treibstoffe aus Biomasse. SCNAT (Akademie der Naturwissenschaften Schweiz) (Hg.): Biodiversität und Klima – Konflikte und Synergien im Maßnahmenbereich. Ein Positionspapier der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz. Bern, 14–15
- Zimmermann, J. (2013): Soil carbon sequestration during the establishment-phase of *Miscanthus – giganteus*. A study on three spatial scales. PhD Thesis, Department of Botany, School of Natural Science Trinity College. University of Dublin, 1–132

ISOE – Institut für sozial-ökologische Forschung

Das ISOE – Institut für sozial-ökologische Forschung ist ein unabhängiges, transdisziplinäres Forschungsinstitut in Frankfurt am Main. Wir entwickeln sozial-ökologische Konzepte für eine nachhaltige Entwicklung. Durch unsere Forschung liefern wir fundierte Entscheidungsgrundlagen für Gesellschaft, Politik und Wirtschaft. Die Forschungsschwerpunkte des ISOE sind Wasser, Energie und Klimaschutz im Alltag, Mobilität und Urbane Räume sowie Bevölkerungsentwicklung und Versorgung.

Unsere Informationsangebote:

<http://www.isoe.de>

ISOE-Newsletter: <http://www.isoe.de/presse-aktuelles/newsletter/>