



Kapitel 9. Synopsis – Synergien, Zielkonflikte und Umsetzungsbarrieren von Klimaanpassungs- und Klimaschutzmaßnahmen

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----|
| 9.1 Einleitung | 470 |
| 9.2 Übersicht und Strukturierung der Maßnahmen | 470 |
| 9.3 Wirkungspotenziale, Synergien, Trade-offs und Barrieren der Umsetzung | 471 |
| 9.3.1 Landnutzungs- und produktionsseitige Maßnahmen | 473 |
| 9.3.2 Maßnahmen im Konsum und entlang der Prozessketten | 480 |
| 9.3.3 Andere Maßnahmen | 482 |
| 9.4 Zusammenschau | 483 |
| 9.5 Identifikation und Umsetzung von geeigneten Maßnahmen | 486 |
| 9.5.1 Bewertung von Synergiepotenzial und Umsetzbarkeit | 486 |
| 9.6 Regionale Unterschiede und lokaler Kontext | 487 |
| 9.7 Zeitdimension der Mitigationseffekte | 487 |
| 9.8 Folgen verspäteten Handelns | 487 |
| Literatur | 488 |

Koordinierende Leitautor_innen:

Karl-Heinz Erb¹, Robert Jandl², Ulrike Tappeiner^{3,4}

Leitautor_innen:

Andreas Baumgarten⁵, Bastian Bertsch-Hörmann¹, Paula Bethge¹, Viktor J. Bruckman⁶, Simone Gingrich¹, Stephan Glatzel⁷, Charlotte Kottusch⁸, Florian Kraxner⁸, Katharina Lapin², Bano Mehdi-Schulz¹, Joachim Raich¹, Silvio Schüler², Erich Tasser⁴, Tanja Tötzer⁹, Werner Zollitsch¹

Beitragende Autor_innen:

Manfred Lexer¹, Julia Miloczki⁵

Zitiervorschlag:

Erb, K.-H., Jandl, R., Tappeiner, U., Baumgartner, A., Bertsch-Hörmann, B., Bethge, P., Bruckman, V. J., Gingrich, S., Glatzel, S., Kottusch, C., Kraxner, F., Lapin, K.,

Mehdi-Schulz, B., Raich, J., Schüler, S., Tasser, E., Tötzer, T., Zollitsch, W. 2024. Synopsis – Synergien, Zielkonflikte und Umsetzungsbarrieren von Klimaanpassungs- und Klimaschutzmaßnahmen. In: APCC Special Report: Landnutzung und Klimawandel (APCC SR Landnutzung). [Jandl, R., Tappeiner, U., Foldal, C. B., Erb, K.-H. (Hrsg.)]. Springer Spektrum. Berlin/Heidelberg. S. 469–489.

¹ Universität für Bodenkultur Wien

² Bundesforschungszentrum für Wald

³ Universität Innsbruck

⁴ Eurac Research

⁵ Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH

⁶ Österreichische Akademie der Wissenschaften

⁷ Universität Wien

⁸ Internationales Institut für Angewandte Systemanalyse (IIASA)

⁹ AIT Austrian Institute of Technology GmbH

9.1 Einleitung

Es existiert eine Fülle von potenziellen Maßnahmen der Klimawandelanpassung und Emissionsminderung im Bereich der Landnutzung (siehe Kap. 4 und 5). Allerdings stehen Klimawandelanpassung und Emissionsminderung nicht notwendigerweise in einem synergistischen Zusammenhang (siehe auch Abschn. 8.2 für Synergien und Trade-offs zwischen den SDGs im Landnutzungsbereich). Neben der Klimarelevanz sind auch andere Kriterien von Bedeutung, wenn die integrative Leistungsfähigkeit von Maßnahmen bewertet werden soll. Dazu gehören vor allem mögliche und erwartete Auswirkungen auf die Biodiversität und den Wasserhaushalt.

Dieses Kapitel fasst die Klimawandelanpassungs- und Emissionsminderungsmaßnahmen und ihre Auswirkungen tabellarisch zusammen. Dabei wird das Ziel verfolgt, eine integrative, übersichtliche Bewertung der Maßnahmen zu ermöglichen. Hierzu wird die Wirksamkeit bezüglich der Anpassung sowie der kurz- (20–30 Jahre) und längerfristigen (> 30 Jahre) Emissionsminderungspotenziale bewertet und gegenübergestellt. Neben diesen direkten Auswirkungen auf die Interaktion von Klimawandel und Landnutzung werden die Maßnahmen auch hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf den Wasserhaushalt und auf die Biodiversität bewertet. Diese beiden Bereiche sind von zentraler Bedeutung für eine nachhaltige Landnutzung und werden in diesem Sonderbericht als Querschnittsmaterien behandelt (siehe Abschn. 1.5 und 1.6).

Im Folgenden (Tabellen im Abschn. 9.3) werden Vor- und Nachteile einzelner Maßnahmen systematisch dargestellt, um die Identifikation jener Maßnahmen zu ermöglichen, die die meisten positiven Effekte mit den geringsten negativen Nebenwirkungen bieten. Ebenso sollen jene Maßnahmen identifiziert werden, die eine besonders hohe Wahrscheinlichkeit haben, gravierende Nachteile mit sich zu ziehen. Durch die Darstellung der Konfidenz der Bewertungen (als Produkt von Evidenz und Übereinstimmung) will das Kapitel jene Maßnahmen leicht erkennbar darstellen, die über die gesamte Bandbreite der Herausforderungen besonders leistungsfähig sind und über deren Leistungsfähigkeit bzw. zugrunde liegende Mechanismen robustes Wissen vorhanden ist. Für die Umsetzung solcher Maßnahmen stellen sich andere Herausforderungen als beispielsweise für Maßnahmen, über deren Auswirkungen wenig robustes Wissen besteht. In einem weiteren Schritt werden die Bewertungen bezüglich der Wirkungspotenziale der einzelnen Maßnahmen für die einzelnen Kriterien in einem Synergiepotenzial zusammengefasst.

Da das Ziel darin besteht, Handlungsoptionen integrativ zu bewerten, werden auch Aspekte der Umsetzbarkeit im Sinne von erwartbaren Barrieren dargestellt. Die Machbarkeit jeder Maßnahme wird dabei hinsichtlich des Konfliktpo-

tenzials, der technischen Umsetzbarkeit und der wirtschaftlichen Kosten bewertet (siehe unten).

Das Synergiepotenzial wird anschließend mit den Barrieren der Umsetzung in Beziehung gesetzt, sodass eine Zusammenschau (siehe Abschn. 9.4) generiert werden kann, die sowohl „Best-practice“-/„No-regret“-Optionen identifiziert als auch Maßnahmen mit besonders hohen Zielkonflikten (Trade-offs) und vielen Hürden der Umsetzung.

In einem Fazit (Abschn. 9.5) werden abschließend die wichtigsten identifizierten Maßnahmen und Maßnahmenbündel benannt, es wird auf lokale Kontexte und regionale Unterschiede eingegangen, sowie die Folgen eines verspäteten Handelns angesprochen.

In diesem Kapitel werden – im Gegensatz zu den anderen Kapiteln – die jeweiligen Einstufungen und Bewertungen der Handlungsoptionen nicht eigens mit Literatur belegt, sondern es wird auf die jeweiligen Kapitel, in denen die Maßnahmen vorgestellt und diskutiert werden, verwiesen. Damit kann Kap. 9 auch als eine „Propaedia“ gelesen werden, durch die die Inhalte des Special Reports Klimawandel und Landnutzung über die möglichen Klimawandelanpassungs- bzw. Emissionsminderungsmaßnahmen erschließbar sind.

9.2 Übersicht und Strukturierung der Maßnahmen

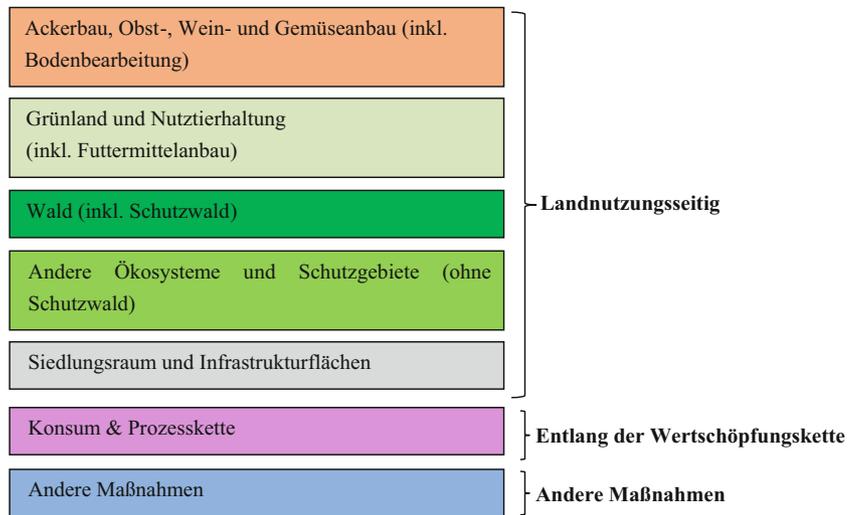
In diesem Abschnitt werden die Klimawandelanpassungs- und Emissionsminderungsmaßnahmen, die in den Kap. 4 und 5 vorgestellt wurden, übergreifend zusammengefasst. Theoretisch sind unterschiedlichste Gruppierungen möglich (z. B. entlang der intendierten Ziele), in diesem Kapitel wird jedoch ein prinzipiell „sektoraler“ Ansatz verfolgt.

Die Darstellung der Handlungsoptionen folgt dabei dem folgenden Aufbau: Auf der obersten Ebene werden drei Maßnahmentypen unterschieden:

- 1) landbasierte Maßnahmen, die auf der Produktionsseite wirksam werden,
- 2) Maßnahmen, die die Wertschöpfungs- und Prozesskette von Landprodukten betreffen, beispielsweise Maßnahmen, die auf den Endkonsum wirken. Bioenergie aus Primärbiomasse oder aus Restströmen wird ebenfalls unter dieser Kategorie eingeordnet.
- 3) Eine Gruppe von Maßnahmen, die weder die Produktion noch die Wertschöpfungskette adressieren.

Demgemäß ist die produktionsseitige Gruppe nach den Landnutzungsbereichen gegliedert (Abb. 9.1).

Abb. 9.1 Struktur der diskutierten Maßnahmen im Bereich Landnutzung und Klimawandel: Unterteilung in drei Hauptgruppen und sieben Untergruppen



9.3 Wirkungspotenziale, Synergien, Trade-offs und Barrieren der Umsetzung

Wirkungspotenziale

Die tabellarische Übersicht soll eine überblickhafte Bewertung der Wirkungspotenziale von Maßnahmen bieten. Als Bewertungskriterien werden die folgenden Aspekte angeführt:

- 1) Klimawandelanpassung,
- 2) kurzfristiges (20–30 Jahre) und
- 3) langfristiges (> 30 Jahre) Emissionsminderungspotenzial, sowie
- 4) Auswirkung auf den Wasserhaushalt und
- 5) Auswirkungen auf die Biodiversität.

Die Tabellen fassen dabei das bestehende und in den Kap. 2, 3, 4, 5, 6, 7 und 8 dargestellte Wissen übersichtlich zusammen und folgen dieser Legende:

| Auswirkungen |
|---------------------|
| Überwiegend negativ |
| Neutral oder unklar |
| Überwiegend positiv |

Emissionsminderungs- oder Klimaschutzmaßnahmen, die auf die Prozesskette und/oder auf den Endkonsum abzielen und zu einer Reduktion des Ressourcenbedarfs führen, führen auch direkt oder indirekt zu positiven Effekten in den Bereichen Anpassung, Wasser und Biodiversität. Dies wird in den Tabellen nicht eigens bewertet, sondern mit „§“ gekennzeichnet.

Sollten Aussagen und Einschätzungen über die Richtung des Effekts in der Literatur nicht eindeutig sein, wird die Maßnahme als unklar bewertet (beiges Feld), obwohl sich durchaus negative oder positive Effekte ergeben können. In Ausnahmefällen, wenn in den jeweiligen Kapiteln keine Bewertung vorgenommen wurde, wurde die Bewertung vom Autor_innenteam des Kap. 9 nachgetragen und stellt hier eine gemeinsame Einschätzung dar.

Die Einstufung der Konfidenz folgt dem Schema:

- *** = hohe Konfidenz Mindestens mittlere oder hohe Evidenz und mindestens mittlere oder hohe Übereinstimmung und mindestens eines der Kriterien hoch bewertet
- ** = mittlere Konfidenz Alle anderen Fälle
- * = geringe Konfidenz Geringe oder maximal mittlere Evidenz und geringe oder maximal mittlere Übereinstimmung, und nur eines der beiden Kriterien ist maximal „mittel“ bewertet

Synergiepotenzial

Des Weiteren wird, abgeleitet vom Wirkungspotenzial, das Synergiepotenzial der einzelnen Maßnahmen in drei Stufen bewertet. Die Bewertung des Synergiepotenzials stellt eines der zentralen Anliegen des gesamten Berichts dar. Bei der Bewertung des Synergiepotenzials wird folgendes Bewertungsschema angewendet:

- (1) hohes Synergiepotenzial und kaum Trade-offs (bei mind. 3 von 5 positiven Auswirkungen und keinen negativen),
- (0) mittleres Synergiepotenzial (bei 1–2 positiven und keinen negativen Auswirkungen oder bei mind. 3 positiven und max. 1 negativen Auswirkung), und

(–1) geringes Synergiepotenzial und hohe Trade-offs (bei nur negativen oder neutralen/unklaren, aber keinen positiven Auswirkungen).

Barrieren der Umsetzung

Die behandelten Maßnahmen werden hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit bewertet. Dazu werden systematisch und überblickhaft Barrieren der Umsetzung einzeln beleuchtet. Drei unterschiedliche Kategorien von Barrieren der Umsetzung werden unterschieden:

- 1) das Konfliktpotenzial, also die gesellschaftliche Akzeptanz bzw. Umstrittenheit von Maßnahmen,
- 2) die technische Umsetzbarkeit, also technische Barrieren, wie z. B. technologische Ausgereiftheit, Forschungsbedarf und Unsicherheiten, sowie
- 3) die Kosten, also wirtschaftliche Barrieren der Umsetzung.

Zur Bewertung der Barrieren wird folgender Farb-Schlüssel verwendet:

| Barrieren |
|----------------------------|
| Viele/ hohe Barrieren |
| Mittlere Barrieren |
| Wenige/ niedrige Barrieren |
| Barrieren unklar |

Im Folgenden werden die Maßnahmen tabellarisch bewertet. Tab. 9.1 fasst die Maßnahmen der Bereiche Ackerbau, Obst-, Wein und Gemüseanbau, inkl. Bodenbearbeitung zusammen, Tab. 9.2 die Maßnahmen der Bereiche Grünland und Nutztierhaltung, inkl. Futtermittelanbau, Tab. 9.3 die Maßnahmen im Bereich Wald und Schutzwald, Tab. 9.4 die Maßnahmen, die sich auf andere, natürliche Ökosysteme und Schutzgebieten (ohne Schutzwald) beziehen, und Tab. 9.5 jene Maßnahmen, die sich auf den Siedlungsraum und auf Infrastrukturflächen beziehen. Darauf folgen Maßnahmen der Bereiche Konsum und Wertschöpfungsketten (Tab. 9.6), gefolgt von anderen Maßnahmen (Tab. 9.7).

9.3.1 Landnutzungs- und produktionsseitige Maßnahmen

Tab. 9.1 Maßnahmen im Ackerbau, Obst-, Wein und Gemüseanbau (inkl. Bodenbearbeitung)

| Bereich | Maßnahme | (Sub-)Kapitel | Auswirkungen | | | | | Barrieren | | | | | | |
|---|---|-------------------------|--------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------|---------------|-------------------|-------------------|----------------------|----------------|---|--|----|
| | | | Anpassung | Mitigation kurzfristig (20–30 Jahre) | Mitigation langfristig (>30 Jahre) | Wasser | Biodiversität | Synergiepotenzial | Konfliktpotenzial | Techn. Umsetzbarkeit | Kosten | Ø | | |
| Ackerbau, Obst-, Wein- und Gemüseanbau (inkl. Bodenbearbeitung) | Agroforstwirtschaft auf landwirtschaftlichen Flächen (inkl. dem Erhalt von Streuobstwiesen) | 4.2.1; 5.2.1.1; 5.3.2.1 | *** | *** | *** | *** | *** | | 1 | | | | | -1 |
| | Künstliche Bewässerung ¹ bei Steigerung der Wassereffizienz | 4.2.1; 4.2.3 | *** | | | | * | * | 1 | | | | | -1 |
| | Biolandbau (extensiv) | 4.2.1; 5.2.1.1; 5.4.3.1 | ** | ** | *** | | ** | *** | 1 | | | | | 0 |
| | Forschung und Monitoring zu Schädlingen und Krankheiten | 4.2.1; 4.2.3 | *** | | | | | * | 0 | | | | | 0 |
| | Gezielte / überlegte Standortwahl und -anpassung | 4.2.1; 4.2.3 | *** | | | | * | * | 1 | | | | | 0 |
| | Mischkulturanbau | 4.2.1 | *** | | | | * | * | 1 | | | | | 1 |
| | Präzisionslandwirtschaft | 4.2.1; 5.2.1.1 | ** | ** | ** | | * | | 1 | | | | | -1 |
| | Landschaftselemente wie Hecken, Steinmauern, Blühflächen und Alleen | 4.1.2; 4.2.1; 5.2.1.1 | *** | ** | ** | | ** | *** | 1 | | | | | 0 |
| | Selektion heimischer hitze-/dürre-resistenter und robuster Sorten (auch verwandte Wildarten; alte Sorten) | 4.2.1; 4.2.3 | *** | | | | * | * | 1 | | | | | 1 |
| | Etablierung von Kulturarten aus anderen (wärmeren) Gegenden | 4.2.1; 4.2.3 | *** | | | | | | 0 | | | | | 1 |
| | Züchtung neuer Kulturarten oder Sorten (hitze- und trockenheitstolerant) | 4.2.1; 4.2.3 | *** | | | | *** | | 0 | | | | | 0 |
| | Anpassung des Aussaattermins und der Düngung an Verschiebung der Jahreszeiten | 4.2.1; 4.2.3 | *** | | | | * | | 0 | | | | | 1 |
| | Verstärkter Herbizid- und Pestizideinsatz | 4.1.1; 4.2.1 | ** | | | | ** | *** | -1 | |) ² | | | -1 |
| | Vielfältige Fruchtfolgen und Zwischenfrüchte (v. a. mit Leguminosen) ³ | 4.1.2; 4.2.1; 5.2.1.1 | *** | *** | *** | | *** | *** | b | | | | | 1 |

Tab. 9.1 (Fortsetzung)

| Bereich | Maßnahme | (Sub-)Kapitel | Auswirkungen | | | | | Barrieren | | | | |
|---------|---|--|--------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------|---------------|-------------------|-------------------|----------------------|--------|---|
| | | | Anpassung | Mitigation kurzfristig (20–30 Jahre) | Mitigation langfristig (>30 Jahre) | Wasser | Biodiversität | Synergiepotenzial | Konfliktpotenzial | Techn. Umsetzbarkeit | Kosten | Ø |
| | Ganzjährige Bodenbedeckung (Zwischenfrüchte, Zwischenbegrünung und Untersaat) ⁴ | 4.1.1; 4.1.2; 4.2.1; 4.2.3; 5.2.1.1; 5.3.2.1 | *** | *** | *** | *** | * | 1 | | | | 1 |
| | Einarbeiten von Biokohle aus Reststoffen | 2.5.1.5, 2.2.4.2, 5.2.2.2 | ** | *** | *** | ** | ** | 1 | | | | 1 |
| | Einarbeiten von Biokohle aus Primärbiomasse oder Biomassekategorien mit langen Verweilzeiten in der Biosphäre | 2.5.1.5, 2.2.4.2, 5.2.2.2 | ** | | | * | * | -1 | | | | 0 |
| | Einarbeiten von Ernterückständen | 4.2.1; 5.2.1.1; 5.3.2.1 | ** | | ** | * | ** | 0 | | | | 0 |
| | Einsatz von Kompostdünger und organischem Wirtschaftsdünger anstelle von Mineraldünger ⁵ | 4.2.1; 4.2.3; 5.2.1.1; 5.3.2.1 | ** | *** | ** | * | * | 1 | | | | 1 |
| | Reduzierte/keine/konservierende Bodenbearbeitung ⁶ (und Mulchsaat) | 4.1.2; 4.2.1; 5.2.1.1; 5.3.2.1 | *** | ** | | *** | * | 1 | | | | 1 |
| | Optimierung des N-Managements (effiziente Stickstoffdüngung) | 4.2.1; 5.2.1.1; 8.3.6.3 | ** | *** | *** | *** | ** | 1 | | | | 0 |

¹ Die Effekte einer Bewässerung hängen von den Standortfaktoren ab. Der kritische Aspekt der Wasserquelle ist zu beachten sowie die Konkurrenz mit anderen Wassernutzungen. Eine effiziente Nutzung mindert den Verbrauch. Bei Übernutzung sind die Auswirkungen auf Wasser und Biodiversität negativ. Sollte nur als Überbrückung oder Anpassung und nicht zur Ertragsmaximierung dienen.

² Zwar ist eine Ausbringung nach bisherigen Mustern technisch einfach umzusetzen, allerdings erfordern die vorherrschenden Problematiken (z. B. sparsamer Umgang mit Präparaten, Abdrift, synergistische Wirkungen von Mehrfachpräparaten, Querreaktionen) technologische Weiterentwicklungen, um die Schädlingwirkung zu maximieren und negative Umwelteffekte zu minimieren.

³ Die Lachgas-Emissionen der Leguminosen sind hier zu beachten.

⁴ Durch Grobporen im Boden kann es zur Verlagerung von Nähr- und Schadstoffen und somit zu einer Reduzierung der Filterfunktion des Bodens kommen. Bei Untersaat: Wasser- und Nährstoffkonkurrenz und potentielle Ertragsverluste (bis zu 10 %) der Hauptfrucht.

⁵ Eine Überdüngung kann negative Auswirkungen auf die Wasserqualität haben.

⁶ In der Praxis gehen pfluglose Varianten oft mit dem Einsatz von Herbiziden einher.

Tab. 9.2 Maßnahmen im Grünland und in der Nutztierhaltung (inkl. Futtermittelanbau)

| Bereich | Maßnahme | (Sub-) Kapitel | Auswirkungen | | | | | Barrieren | | | | |
|--|--|---|--------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------|---------------|-------------------|-------------------|----------------------|--------|----|
| | | | Anpassung | Mitigation kurzfristig (20–30 Jahre) | Mitigation langfristig (>30 Jahre) | Wasser | Biodiversität | Synergiepotenzial | Konfliktpotenzial | Techn. Umsetzbarkeit | Kosten | Ø |
| Grünland und Nutztierhaltung (inkl. Futtermittelanbau) | Erhalt von extensiv genutzten Grünflächen und Einhaltung der Tierbestandsobergrenzen | 4.1.2; 4.2.2; 4.2.4; 4.4.2; 5.2.1.1; 5.2.1.2; 8.3.6.3 | ** | *** | *** | | ** | 1 | | | | 1 |
| | Erweiterung des Arten- und Sortenspektrums | 4.2.2 | *** | | | | ** | 1 | | | | 1 |
| | Künstliche Bewässerung ¹ | 4.2.2 | * | | | * | * | 1 | | | | 0 |
| | Satellitengestütztes Monitoring der Biomasseentwicklung | 4.2.2 | *** | | | | | 0 | | | | 1 |
| | Silvopastorale Systeme (nicht Waldweide) | 5.2.1.2 | ** | * | * | * | ** | 1 | | | | 1 |
| | Standortangepasste Bewirtschaftung: Schnitthäufigkeit und Düngungsintensität; Einschränkung der Nutzungsintensität bei Trockenheit | 4.2.2, 5.2.1.2 | *** | * | * | *** | ** | 1 | | | | 1 |
| | Verstärkte Nutzung von Almen (extensiv und moderat, dafür flächendeckend) | 4.2.2 | ** | | | ** | ** | 1 | | | | 0 |
| | Züchtung und Einsatz trockenresistenter und widerstandsfähiger Sorten | 4.2.2 | ** | | | * | | 0 | | | | 0 |
| | Legumer Feldfutteranbau, bei gleichzeitiger Reduktion des Silomaisanteils / leguminosenbasierte Grasflächen | 5.2.1.1 | * | ** | ** | | * | 1 | | | | 0 |
| | Intensivierung (verstärkte Stallhaltung, höhere Tierbestände /Fläche) | 4.1.1; 4.1.2; 4.2.4.1; 4.2.4.3; 5.2.1.2 | | | | ** | *** | -1 | | | | -1 |
| | Extensivierung (verstärkte Freilandhaltung, erhöhter Weideanteil, verringerte Tierbestände/Fläche) | 4.2.4.3; 5.2.1.2 | * | * | * | | * | 1 | | | | -1 |
| | Abstockung der Tierbestände und Verminderung des Produktionsumfanges tierischer Lebensmittel | 5.2.1.2; 5.2.1.1; 4.2.4.3; 4.2.4 | * | *** | *** | | * | 1 | | | | -1 |
| | Monogastrische Tiere ersetzen Wiederkäuer ² | 4.2.4.3 | * | | | | | 0 | | | | -1 |
| | Ersatz kritischer Futtermittel (v. a. Soja(-produkte) aus Südamerika) durch hofeigene Produktion | 5.2.1.2 | | *** | * | | * | 1 | | | | -1 |

Tab. 9.2 (Fortsetzung)

| Bereich | Maßnahme | (Sub-) Kapitel | Auswirkungen | | | | | Barrieren | | | | | |
|---------|---|---------------------------|--------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------|---------------|-------------------|-------------------|----------------------|--------|---|----|
| | | | Anpassung | Mitigation kurzfristig (20–30 Jahre) | Mitigation langfristig (>30 Jahre) | Wasser | Biodiversität | Synergiepotenzial | Konfliktpotenzial | Techn. Umsetzbarkeit | Kosten | Ø | |
| | Alle Tierarten: emissionsarme Haltungs- und Wirtschaftsdüngersysteme | 5.2.1.2 | | *** | * | | | | 0 | | | | 0 |
| | Alle Nutztierarten: Senkung des Rohproteingehalts (Rationsoptimierung) | 5.2.1.2 | | *** | | | | | 0 | | | | -1 |
| | Wiederkäuer: Futtermittelzusatzstoffe zur Verminderung der enterogenen CH ₄ -Bildung | 5.2.1.2 | | ** | | | | | 0 | | | | -1 |
| | Milchkühe: Erhöhung der Lebensleistung ³ | 5.2.1.2 | | *** | | | | | 0 | | | | -1 |
| | Rinder: Erhöhung der Grundfutterqualität | 5.2.1.2 | | *** | | | | | 0 | | | | 0 |
| | Stalladaptation an Hitze (Kühlsysteme, Luftaufbereitung, etc.) | 5.2.1.2; 4.2.4.2; 4.2.4.3 | * | | | | | | 0 | | | | -1 |

¹ Die Effekte einer Bewässerung hängen von den Standortfaktoren ab. Der kritische Aspekt der Wasserquelle ist zu beachten sowie die Konkurrenz mit anderen Wassernutzungen. Eine effiziente Nutzung mindert den Verbrauch. Bei Übernutzung sind die Auswirkungen auf Wasser und Biodiversität schlecht. Sollte nur als Überbrückung oder Anpassung und nicht zur Ertragsmaximierung dienen.

² Diese Arten (Geflügel, Schwein, Fische, etc.) stehen allerdings in direkter Nahrungsmittelkonkurrenz zum Menschen.

³ Benötigt proteinhaltigeres Futter, was wiederum emissionsintensiver ist und somit zu Rebound-Effekten führen kann.

Tab. 9.3 Maßnahmen im Wald (inkl. Schutzwald)

| Bereich | Maßnahme | (Sub-) Kapitel | Auswirkungen | | | | | | Barrieren | | | |
|-------------------------|--|------------------------|--------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------|---------------|-------------------|-------------------|----------------------|--------|----|
| | | | Anpassung | Mitigation kurzfristig (20–30 Jahre) | Mitigation langfristig (>30 Jahre) | Wasser | Biodiversität | Synergiepotenzial | Konfliktpotenzial | Techn. Umsetzbarkeit | Kosten | Ø |
| Wald (inkl. Schutzwald) | Auswahl von standorts- und klimaangepassten Baumarten (heimischen Laub- und Nadelbaumarten) | 4.3.2 | ** | | | | | 0 | | | | 1 |
| | Auswahl von standorts- und klimaangepassten Baumarten (nichtheimische Laub- und Nadelbaumarten) | 4.3.2 | ** | * | *** | | | +1 | | | | -1 |
| | Samenherkünfte/Assisted Migration | 4.3.2 | ** | * | *** | | *** | +1 | | | | 0 |
| | Mischbestände | 4.3.2 | *** | ** | *** | | *** | +1 | | | | 1 |
| | Erhöhung der Strukturvielfalt und ungleichaltriger Waldaufbau | 4.3.2 | *** | ** | *** | | *** | +1 | | | | 0 |
| | Vorratsaufbau durch Nutzung < Zuwachs | 5.2.2.2, Box in Kap. 1 | | *** | * | | | 0 | | | | -1 |
| | Außer-Nutzung-Stellung nicht angepasster, gefährdeter oder stark genutzter Bestände | 5.1.2.2; 8.4.6.3 | ** | ** | * | | *** | -1 | | | | -1 |
| | Außer-Nutzung-Stellung alter etablierter Wälder mit hoher Resilienz | 5.1.2.2 8.4.6.3 | | *** | ** | | *** | 1 | | | | -1 |
| | Stärkere Durchforstungen und Senkung der Bestandsdichte und Bestandsgrundflächen | 4.3.2; 5.2.2.3 | *** |) ¹ | ** | | | 0 | | | | 1 |
| | Verkürzung der Umtriebszeit | 5.2.2.3 | *** | *** | *** | | *** | -1 | | | | -1 |
| | Wiederbewaldung/Aufforstung zuvor intensiv genutzter landwirtschaftlicher Flächen | 5.2.2; 5.3.2.5 | * | *** | *** | * | ** | +1 | | | | -1 |
| | Wiederbewaldung/Aufforstung von arten- und strukturreichen landwirtschaftlichen Flächen (Almen, Magerwiesen, etc.) | 5.2.2; 5.3.2.5 | | * | *** | * | ** | -1 | | | | -1 |
| | Wildtiermanagement | 5.2.2.2; 4.3.1 | *** | ** | *** | | *** | +1 | | | | -1 |
| | Besseres Monitoring der Forstschutzsituation | 4.3.2, 4.3.4 | ** | * | * | | | +1 | | | | -1 |

¹ Neutral bewertet, weil: Durchforstung führt durch den Biomasseentzug zu einer Kohlenstoff-Bestandsentwicklung, die kurzfristig unter jener der Entwicklung ohne Durchforstung liegen würde. Langfristig führt Durchforstung zu stabileren und damit höheren Beständen. Der Stabilitätseffekt ist jedoch auch kurzfristig wirksam und kann den kurzfristigen Kohlenstoff-Bestandsverlust kompensieren.

Tab. 9.4 Maßnahmen in allen anderen Ökosystemen und Schutzgebieten (ohne Schutzwald)

| Bereich | Maßnahme | (Sub-) Kapitel | Auswirkungen | | | | | Barrieren | | | | |
|--|--|-----------------------------|--------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------|---------------|-------------------|-------------------|----------------------|--------|----|
| | | | Anpassung | Mitigation kurzfristig (20–30 Jahre) | Mitigation langfristig (>30 Jahre) | Wasser | Biodiversität | Synergiepotenzial | Konfliktpotenzial | techn. Umsetzbarkeit | Kosten | Ø |
| Andere Ökosystemen/Schutzgebiete (ohne Schutzwald) | Förderung der Migration von Arten | 4.1.2; 4.4.1; 4.4.2 | ** | | * | | *** | 1 | | | | 0 |
| | Großflächige Renaturierung von Habitaten bzw. Erhöhung der Habitatqualität außerhalb von Schutzgebieten | 4.1.2; 4.4.2 | *** | ** | *** | ** | *** | 1 | | | | -1 |
| | Vernetzung von Schutzgebieten | 4.1.2; 4.4.1; 4.4.2 | *** | * | ** | | *** | 1 | | | | 0 |
| | Rekultivierung von Mooren | 5.2.3.3; 5.3.2.4 | * | ** | | *** | | 1 | | | | 0 |
| | Reduktion des Intensivgrünlands mit tiefer Drainage auf Moorboden | 5.2.3.3 | *** | * | * | ** | | 1 | | | | -1 |
| | Erhalt/Ausweitung natürlicher Retentionsflächen (Auen, etc.) | 4.1.2; 5.3.2.1 | * | * | ** | *** | ** | 1 | | | | 1 |
| | Ausweitung natürlicher Retentionsflächen (Auen, etc.) | | | | | | | | | | | -1 |
| | Monitoring und Evaluierung von Naturschutzmaßnahmen | 4.4.2 | *** | | | * | *** | 1 | | | | -1 |
| | Erweiterung der Schutzgebiete und Ausbau von Pufferzonen | 4.4.1; 4.4.2; 4.2.4.3 | *** | * | * | ** | *** | 1 | | | | -1 |
| | Reduktion der Nährstofffracht (Stickstoff und Phosphor) in die Gewässer ¹ | 5.2.3.3 | ** | ** | | *** | * | 1 | | | | 0 |
| | Erhalt ungenutzter/sehr extensiv genutzter Offenlebensräume durch aktive Landschaftspflege | 5.2.3.1 | *** | *** | *** | ** | *** | 1 | | | | 0 |
| | Neuausweisung und flächenmäßige Anpassung von Schutzgebieten, um klimatische Verschiebung bioklimatischer Verbreitungsgebiete zu berücksichtigen | 4.4.1; 4.4.2 | *** | *** | *** | | *** | 1 | | | | -1 |
| | Wiederherstellung/Wiedervernässung von (landwirtschaftlich genutzten) Mooren und Feuchtgebieten | 5.2.3.3; 5.3.2.4 | * | * | *** | * | * | 1 | | | | -1 |

¹ Für oligotrophe Gewässer besonders wichtig.

Tab. 9.5 Maßnahmen im Siedlungsraum und auf Infrastrukturfleichen

| Bereich | Maßnahme | (Sub-) Kapitel | Auswirkungen | | | | | | Barrieren | | | |
|---|--|------------------------------|--------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------|---------------|-------------------|-------------------|----------------------|--------|----|
| | | | Anpassung | Mitigation kurzfristig (20–30 Jahre) | Mitigation langfristig (>30 Jahre) | Wasser | Biodiversität | Synergiepotenzial | Konfliktpotenzial | Techn. Umsetzbarkeit | Kosten | Ø |
| Siedlungsraum und Infrastrukturfleichen | Entsiegelung und Nachverdichtung („die kompakte Stadt“) statt Zersiedelung | 4.1.2; 4.5; 5.2.3.4; 8.3.6.3 | *** | *** | * | ** | * | 1 | | | | 0 |
| | Albedo erhöhen (Anpassung der Gebäudematerialien und Oberflächenfarben) | 4.5 | *** | * | | | | 0 | | | | 1 |
| | Begrünung von Gebäuden, Straßen und öffentlichen Flächen (Grüne Infrastruktur) | 4.1.2; 4.5; 5.2.3.4; 8.3.5.1 | *** | ** | * | ** | * | 1 | | | | 0 |
| | Schwammstadtprinzip und Retentionsmaßnahmen sowie „blaue Infrastruktur“ | 4.1.2; 4.5; 5.2.3.5; 8.3.5.1 | *** | * | | *** | * | 1 | | | | -1 |
| | Energieraumplanung und Sektorkopplung | 5.2.3.4; 8.3.5.1 | * | ** | * | | | 1 | | | | 0 |
| | Verstärkt erneuerbare Energien integrieren (besonders Solar- und Windenergie) | 5.2.3.4; 8.2.2 | | ** | * | | | 0 | | | | 0 |
| | Thermische Sanierung und Erneuerung des Energiesystems im Gebäudebestand (Reduktion des Heizenergiebedarfs und Umrüsten von Heiz- und Energiesystemen) | 5.2.3.4 | * | *** | * | | | 1 | | | | -1 |
| | Photovoltaik auf Häuserflächen | 4.5 | *** | * | * | | | 1 | | | | 1 |

9.3.2 Maßnahmen im Konsum und entlang der Prozessketten

Tab. 9.6 Maßnahmen im Konsum und entlang der Prozessketten

| Bereich | Maßnahme | (Sub-) Kapitel | Auswirkungen | | | | | | Barrieren | | | |
|-------------------------|--|---|--------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------|---------------|-------------------|-------------------|----------------------|--------|----|
| | | | Anpassung | Mitigation kurzfristig (20–30 Jahre) | Mitigation langfristig (>30 Jahre) | Wasser | Biodiversität | Synergiepotenzial | Konfliktpotenzial | Techn. Umsetzbarkeit | Kosten | Ø |
| Konsum und Prozesskette | Ökolabels und Zertifikate | 5.4.1; 5.4.2; 6.4.3 | | ** | * | § | § | 1 | | | | 0 |
| | Suffizienzstrategien (weniger [ressourcenintensive] Güter, Energie oder Dienstleistungen konsumieren) | 5.2.2; 5.4; 8.3.2.1 | § | *** | *** | § | § | 1 | | | | -1 |
| | Steuern und steuerliche Anreize (z. B. Carbon Pricing) | 5.4.1; 6.4.2.4 | § | *** | * | § | § | 1 | | | | -1 |
| | Reduktion des Fleischkonsums und tierischer Produkte | 5.4.1; 5.2.1.1; 4.2.4.3; 5.4.2; 5.4.3.1; 8.3.3 | § | *** | *** | § | § | 1 | | | | -1 |
| | Reduktion des vermeidbaren Lebensmittelabfalls | 5.4.2; 5.4.3; | § | *** | *** | § | § | 1 | | | | 1 |
| | Konsum von saisonalen Lebensmitteln | 5.4.2.; 5.4.3.1 | § | ** | * | § | § | 1 | | | | 1 |
| | Konsum von Lebensmitteln aus der Region | 5.4.2.; 5.4.3.1 | | * | * | | | 0 | | | | 0 |
| | Reduktion energieintensiver Produkte mit kurzer Lebensdauer, wie z. B. hochverarbeitete und klein verpackte Produkte, Gewächshausgemüse, Süßigkeiten | 5.4.2.; 5.4.3.1 | § | ** | * | § | § | 1 | | | | -1 |
| | Zertifikate und Angebotsanpassung (pflanzlich, regional, bio, saisonal) in der Gastronomie | 5.4.2; 5.4.3.2 | | * | * | § | § | 1 | | | | -1 |
| | Lokale Bottom-up-Initiativen in urbanen Räumen (Solawis, Food Coops, Foodsharing, etc.) | 5.4.2; 6.5; 8.4.4 | * | * | * | § | § | 1 | | | | 1 |
| | Substitution von mineralischen und metallischen Baustoffen durch Holzmaterialien in Gebäuden | 5.3.1.2; 5.4; 5.4.1, Box 1.1 | | ** | ↑ | § | | 1 | | | | 0 |
| | Bioenergie aus Reststoffen der Holzproduktionskette | 5.2.2.2; 5.3.1.1; 5.3.1.2; 8.3.4; Box in Kap. 1 | | *** | * | | | 0 | | | | 1 |
| | Bioenergie aus landwirtschaftlichen Reststoffen | 5.3.1.1; 5.2.1.2; 5.3.2.1; 8.3.4 | | ** | ** | | | 0 | | | | 1 |
| | Bioenergie aus Wirtschaftsdünger (z. B. Biogas) | 5.2.1.1; 5.2.1.2 | | *** | * | | | 0 | | | | 1 |

Tab. 9.6 (Fortsetzung)

| Bereich | Maßnahme | (Sub-) Kapitel | Auswirkungen | | | | | Barrieren | | | | |
|---------|---|---|--------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------|---------------|-------------------|-------------------|----------------------|--------|----|
| | | | Anpassung | Mitigation kurzfristig (20–30 Jahre) | Mitigation langfristig (>30 Jahre) | Wasser | Biodiversität | Synergiepotenzial | Konfliktpotenzial | Techn. Umsetzbarkeit | Kosten | Ø |
| | Bioenergie/Agrotreibstoffe aus forst- und landwirtschaftlicher Primärbiomasse | 5.2.2.2; 5.3.1.1; 5.3.1.2; 8.3.4; Box in Kap. 1 | | | | | *** | -1 | | | | -1 |
| | Ersatz von erdölbasierten hin zu kompostierbaren Verpackungen aus nachwachsenden Rohstoffen | 5.3.1.2; 5.4.2 | | * | * | § | § | 1 | | | | 0 |
| | Kaskadische Nutzung von Biomasse bzw. Holzprodukten | 5.3.1.2; 5.4; 8.3.4 | § | *** | * | § | § | 1 | | | | 1 |
| | Bereitstellung und vermehrter Einsatz von langlebigen Holzprodukten (aus Laub- und Nadelholz) | 5.3.1.2; 5.2.2.3 | § | *** | * | § | § | 1 | | | | 1 |

§ Maßnahmen, die zu einer Reduktion des Ressourcenbedarfs führen, führen auch direkt oder indirekt zu positiven Effekten in den Bereichen Anpassung, Wasser und Biodiversität.

↑ Der Mitigations-Effekt ist stark von der tatsächlichen Substituierungswirkung abhängig. Bei dieser Bewertung wird davon ausgegangen, dass die De-Fossilisierung des Energiesystems gemäß den international vereinbarten Zielen eingehalten wird. Eine späte oder nicht ausreichende De-Fossilisierung würde einen längerfristigen Mitigationseffekt bedingen.

9.3.3 Andere Maßnahmen

Tab. 9.7 Andere Maßnahmen

| Bereich | Maßnahme | (Sub-) Kapitel | Auswirkungen | | | | | | Barrieren | | | |
|------------------|---|---------------------|--------------|--------------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------|-------------------|-------------------|----------------------|--------|----|
| | | | Anpassung | Mitigation kurzfristig (20–30 Jahre) | Mitigation langfristig (>30 Jahre) | Wasser | Biodiversität | Synergiepotenzial | Konfliktpotenzial | Techn. Umsetzbarkeit | Kosten | ∅ |
| Andere Maßnahmen | Enhanced Weathering | 5.3.2.3 | | | *** | * | * | 0 | | | | 1 |
| | Agrivoltaic (Photovoltaik auf landwirtschaftlichen Flächen, besonders Grünland) | 5.2.1.1 | | ** | ** | | | 1 | | | | -1 |
| | BECCS – Bioenergy with Carbon Capture Storage | 5.3.1.1; 5.3.2.6 | | * | * | Wie Bioenergie | Wie Bioenergie | 0/-1 | | | | -1 |

9.4 Zusammenschau

In diesem Abschnitt soll nun das Synergiepotenzial der einzelnen Maßnahmen mit den Barrieren der Umsetzung in Beziehung gesetzt werden, um so die effektivsten „No-regret“-Maßnahmen, aber auch die problematischsten, ineffizientesten Maßnahmen zu identifizieren (Tab. 9.8). Die Tabelle folgt diesem Klassifikationsschema:

| Ø Barrieren | Bewertung | Ø Synergiepotenzial |
|--|-----------|---|
| 3 grün oder 2 grün + 1 gelb/grau | 1 | Mind. 3 grün + Rest beige; kein braun |
| 1 grün, 2 grau/gelb | 0 | 1–2 grün + Rest beige; mind. 3 grün + 1 braun |
| Alles gelb/grau; alles mit mind. 1 rot | -1 | Nur beige oder braun + beige |

Abb. 9.2 Bewertungsschema für die Tabelle zu Synergiepotential & Barrieren

Tab. 9.8 Zusammenschau Synergien, Trade-offs und Barrieren

| | Kaum/wenige Barrieren | Mittlere Barrieren | Hohe/viele Barrieren |
|---|--|--|--|
| Hohes Synergiepotenzial/wenige Trade-offs | Selektion heimischer, hitze-/dürre-resistenter und robuster Sorten (auch verwandte Wildarten, alte Sorten) | Biolandbau (extensiv) | Künstliche Bewässerung ¹ bei Steigerung der Wassereffizienz |
| | Vielfältige Fruchtfolgen und Zwischenfrüchte (v. a. mit Leguminosen) ² | Gezielte/überlegte Standortwahl und -anpassung | Präzisionslandwirtschaft |
| | Ganzjährige Bodenbedeckung (Zwischenfrüchte, Zwischenbegrünung und Untersaat) ³ | Landschaftselemente wie Hecken, Steinmauern, Blühflächen und Alleen | |
| | Einarbeiten von Biokohle aus kaskadischer Biomasse | | |
| | Einsatz von Kompostdünger und organischem Wirtschaftsdünger anstelle von Mineraldünger ⁴ | | |
| | Reduzierte/keine/konservierende Bodenbearbeitung ⁵ (und Mulchsaat) | | |
| | Mischkulturanbau | | |
| | | | |
| | Erhalt von extensiv genutzten Grünflächen und Einhaltung der Tierbestandsobergrenzen | Satellitengestütztes Monitoring der Biomasseentwicklung | Extensivierung (verstärkte Freilandhaltung, erhöhter Weideanteil; verringerte Tierbestände/Fläche) |
| | Erweiterung des Arten- und Sortenspektrums | Verstärkte Nutzung von Almen (extensiv und moderat, dafür flächendeckend) | Abstockung der Tierbestände und Verminderung des Produktionsumfanges tierischer Lebensmittel |
| | Silvopastorale Systeme (nicht Waldweide) | Künstliche Bewässerung ¹ | Ersatz kritischer Futtermittel (v. a. Sojaprodukten aus Südamerika) durch hofeigene Produktion |
| | Standortangepasste Bewirtschaftung: Schnitthäufigkeit und Düngungsintensität, Einschränkung der Nutzungsintensität bei Trockenheit | Legumer Feldfutteranbau, bei gleichzeitiger Reduktion des Silomaisanteils/Leguminosen-basierte Grasflächen | |
| | Mischbestände | Samenherkünfte/Assisted Migration | Auswahl von standorts- und klimaangepassten Baumarten (nichtheimische Laub- und Nadelbaumarten) |
| | | Erhöhung der Strukturvielfalt und ungleichaltriger Waldaufbau | Außer-Nutzung-Stellung alter etablierter Wälder mit hoher Resilienz |
| | | | Wiederbewaldung/Aufforstung zuvor intensiv genutzter landwirtschaftlicher Flächen |
| | | Wildtiermanagement | |
| | | Besseres Monitoring der Forstschutzsituation | |

Tab. 9.8 (Fortsetzung)

| | Kaum/wenige Barrieren | Mittlere Barrieren | Hohe/viele Barrieren |
|---|--|---|--|
| | Erhalt natürlicher Retentionsflächen (Auen, etc.) | Förderung der Migration von Arten | Großflächige Renaturierung von Habitaten bzw. Erhöhung der Habitatqualität außerhalb von Schutzgebieten |
| | | Vernetzung von Schutzgebieten | Reduktion des Intensivgrünlands mit tiefer Drainage auf Moorboden |
| | | Rekultivierung von Mooren | Ausweitung natürlicher Retentionsflächen (Auen, etc.) |
| | | Reduktion der Nährstofffracht (Stickstoff und Phosphor) in die Gewässer ⁶ | Monitoring und Evaluierung von Naturschutzmaßnahmen |
| | | Erhalt ungenutzter/sehr extensiv genutzter Offenlebensräume durch aktive Landschaftspflege | Erweiterung der Schutzgebiete und Ausbau von Pufferzonen |
| | | | Neuausweisung und flächenmäßige Anpassung von Schutzgebieten, um klimatische Verschiebung bioklimatischer Verbreitungsgebiete zu berücksichtigen |
| | | | Wiederherstellung/Wiedervermässung von (landwirtschaftlich genutzten) Mooren und Feuchtgebieten |
| | | | |
| | Photovoltaik auf Häuserflächen | Entsiegelung und Nachverdichtung („die kompakte Stadt“) statt Zersiedelung | Schwammstadtprinzip und Retentionsmaßnahmen sowie „Blaue Infrastruktur“ |
| | | Begrünung von Gebäuden, Straßen und öffentlichen Flächen (Grüne Infrastruktur) | Thermische Sanierung und Erneuerung der Energiesysteme im Gebäudebestand (Reduktion des Heizenergiebedarfs und Umrüsten von Heiz- und Energiesystemen) |
| | | Energieraumplanung und Sektorkopplung | |
| | | | |
| | Reduktion des vermeidbaren Lebensmittelabfalls | Ökolabels und Zertifikate | Suffizienzstrategien(weniger [ressourcenintensive] Güter, Energie oder Dienstleistungen konsumieren) |
| | Konsum von saisonalen Lebensmitteln | Substitution von mineralischen und metallischen Baustoffen durch Holzmaterialien in Gebäuden | Steuern und steuerliche Anreize (z. B. Carbon Pricing) |
| | Lokale Bottom-up-Initiativen in urbanen Räumen (Solawis, Food-Coops, Foodsharing, etc.) | Bereitstellung und vermehrter Einsatz von langlebigen Holzprodukten (aus Laub- und Nadelholz) | Reduktion des Fleischkonsums und tierischer Produkte |
| Kaskadische Nutzung von Biomasse bzw. Holzprodukten | Ersatz von Erdöl-basierten hin zu kompostierbaren Verpackungen aus nachwachsenden Rohstoffen | Reduktion energieintensiver Produkte mit kurzer Lebensdauer wie z. B. hochverarbeitete und klein verpackte Produkte, Gewächshausgemüse, Süßigkeiten, etc. | |
| | | Zertifikate und Angebotsanpassung (pflanzlich, regional, bio, saisonal) in der Gastronomie | |
| | | Agrivoltaic (Photovoltaik auf landwirtschaftlichen Flächen, besonders Grünland) | |
| | | | |
| Mittleres Synergiepotenzial/mittlere Trade-offs | Anpassung des Aussaattermins und der Düngung an Verschiebung der Jahreszeiten | Forschung und Monitoring zu Schädlingen und Krankheiten | Etablierung von Kulturarten aus anderen (wärmeren) Gegenden |
| | Optimierung des N-Managements (effiziente Stickstoffdüngung) | Züchtung neuer Kulturarten oder Sorten (hitze- und trockenheitstolerant) | Agroforstwirtschaft auf landwirtschaftlichen Flächen (inkl. dem Erhalt von Streuobstwiesen) |
| | | Einarbeiten von Ernterückständen | |
| | | Einarbeiten von Biokohle aus Primärbiomasse oder Biomassekategorien mit langen Verweilzeiten in der Biosphäre | |
| | | Züchtung und Einsatz trockenresistenter und widerstandsfähiger Sorten | Monogastrische Tiere ersetzen Wiederkäuer ⁷ |
| | | Alle Tierarten: emissionsarme Haltungs- und Wirtschaftsdünger-Systeme | Alle Nutztierarten: Senkung des Rohproteingehalts (Rationsoptimierung) |
| | | Rinder: Erhöhung der Grundfutterqualität | Wiederkäuer: Futtermittelzusatzstoffe zur Verminderung der enterogenen CH ₄ -Bildung |
| | | | Milchkühe: Erhöhung der Lebensstagsleistung ⁸ |
| | | | Stalladaptation an Hitze (Kühlsysteme, Luftaufbereitung, etc.) |
| | | | |

Tab. 9.8 (Fortsetzung)

| | Kaum/wenige Barrieren | Mittlere Barrieren | Hohe/viele Barrieren |
|-----------------------|---|---|---|
| | Auswahl von standorts- und klimaangepassten Baumarten (heimischen Laub- und Nadelbaumarten) | | Vorratsaufbau durch Nutzung < Zuwachs |
| | Stärkere Durchforstungen und Senkung der Bestandsdichte und Bestandsgrundflächen | | |
| | Albedo erhöhen (Anpassung der Gebäudematerialien und Oberflächenfarben) | Verstärkt erneuerbare Energien integrieren (besonders Solar- und Windenergie) | |
| | Bioenergie aus Reststoffen der Holzproduktionskette | Konsum von Lebensmitteln aus der Region | |
| | Bioenergie aus landwirtschaftlichen Reststoffen | | |
| | Bioenergie aus Wirtschaftsdünger (z. B. Biogas) | | |
| | | Enhanced Weathering | |
| Hohe/viele Trade-offs | | | Verstärkter Herbizid- und Pestizideinsatz |
| | | | Intensivierung (verstärkte Stallhaltung, höhere Tierbestände /Fläche) |
| | | | Außer-Nutzung-Stellung nicht angepasster, gefährdeter oder stark genutzter Bestände |
| | | | Verkürzung der Umtriebszeit |
| | | | Wiederbewaldung/Aufforstung von arten- und strukturreichen, landwirtschaftlichen Flächen (Almen, Magerwiesen, etc.) |
| | | | Bioenergie aus forst- und landwirtschaftlicher Primärbiomasse |
| | | | BECCS – Bioenergy with Carbon Capture Storage |
| | | | |

¹ Die Effekte einer Bewässerung hängen von den Standortfaktoren ab. Der kritische Aspekt der Wasserquelle ist zu beachten, sowie die Konkurrenz mit anderen Wassernutzungen. Eine effiziente Nutzung mindert den Verbrauch. Bei Übernutzung sind die Auswirkungen auf Wasser und Biodiversität schlecht. Sollte nur als Überbrückung oder Anpassung und nicht zur Ertragsmaximierung dienen.

² Die Lachgas-Emissionen der Leguminosen sind hier zu beachten.

³ Durch Grobporen im Boden kann es zur Verlagerung von Nähr- und Schadstoffen und somit zu einer Reduzierung der Filterfunktion des Bodens kommen. Bei Untersaat: Wasser- und Nährstoffkonkurrenz und potentielle Ertragsverluste (bis zu 10 %) der Hauptfrucht.

⁴ Eine Überdüngung kann negative Auswirkungen auf die Wasserqualität haben.

⁵ In der Praxis gehen pfluglose Varianten oft mit dem Einsatz von Herbiziden einher.

⁶ Für oligotrophe Gewässer besonders wichtig.

⁷ Diese Arten (Geflügel, Schwein, Fische, etc.) stehen allerdings in direkter Nahrungsmittelkonkurrenz zum Menschen.

⁸ Benötigt proteinhaltigeres Futter, was wiederum emissionsintensiver ist und somit zu Rebound-Effekten führen kann.

9.5 Identifikation und Umsetzung von geeigneten Maßnahmen

9.5.1 Bewertung von Synergiepotenzial und Umsetzbarkeit

Die in Kap. 9 zusammengefassten und in den jeweiligen Abschnitten diskutierten und bewerteten Maßnahmen weisen unterschiedlich ausgeprägte Profile in Bezug auf Synergien und Zielkonflikte (Trade-offs) auf. Besonders die Maßnahmen im Bereich des Konsums und der Prozessketten zeichnen sich durch eine Vielzahl von Synergien und wenige Trade-offs aus. Aber auch viele produktionsseitige Maßnahmen haben überwiegend positive Auswirkungen auf mehr als drei der fünf untersuchten Dimensionen (Anpassung, langfristiges Emissionsminderungspotenzial, kurzfristiges Emissionsminderungspotenzial, Biodiversität, Wasserhaushalt). Zielkonflikte treten häufig in Zusammenhang mit Biodiversität auf. Am meisten Trade-offs wurden bei Maßnahmen im Bereich „Wald (inkl. Schutzwald)“ festgestellt.

Die bewerteten Maßnahmen weisen auch unterschiedliche Profile der Umsetzbarkeit auf. Die meisten Maßnahmen sind durch erhebliche Barrieren in mind. einem der drei Bereiche (Konfliktpotenzial, technische Umsetzbarkeit, Kosten) charakterisiert. Es gibt allerdings auch einige Maßnahmen, die nur wenige, geringe oder sogar keine Barrieren aufweisen. Dazu zählen vor allem Maßnahmen aus den Bereichen „Ackerbau, Obst-, Wein- und Gemüseanbau (inkl. Bodenbearbeitung)“, „Grünlandwirtschaft und Nutztierhaltung“ sowie „Konsum und Prozessketten“. Die Bereiche „Andere Ökosysteme und Schutzgebiete (ohne Schutzwald)“ und „Andere Maßnahmen“ weisen die meisten und stärksten Barrieren auf. In den Bereichen „Wald (inkl. Schutzwald)“ und „Konsum und Prozessketten“ ist vor allem das Konfliktpotenzial, also die gesellschaftliche Akzeptanz der Maßnahmen, eine entscheidende Barriere. Bezüglich der wirtschaftlichen Kosten gibt es insgesamt die meisten Unklarheiten.

9.5.1.1 Aufschlüsselung nach Bereichen

Die bewerteten Maßnahmen im Bereich Naturschutz („Andere Ökosysteme und Schutzgebiete (ohne Schutzwald)“) haben alle durchweg ein hohes Synergiepotenzial und kaum negativen Auswirkungen. Sie sind allerdings durch besonders viele Barrieren der Umsetzung gekennzeichnet.

Die bewerteten Maßnahmen im Bereich „Konsum und Prozessketten“ haben durchwegs (bis auf Bioenergie aus Primärbiomasse) ein hohes oder mittleres Synergiepotenzial. Sie sind zudem kostengünstig und technisch gut umsetzbar, allerdings bergen sie oft ein großes Konfliktpotenzial.

Die bewerteten Maßnahmen im Bereich „Siedlungsraum und Infrastrukturflächen“ haben oft ein hohes Synergiepotenzial und keine negativen Auswirkungen, sind aber durch mittelhohe Barrieren geprägt und haben oft unklare Kosten.

Die bewerteten Maßnahmen im Bereich „Wald (inkl. Schutzwald)“ zeigen ein gemischtes Bild. Hier gibt es sowohl Maßnahmen mit einem hohen Synergiepotenzial und keinen negativen Auswirkungen als auch Maßnahmen mit hohen Trade-offs. Fast alle Maßnahmen in diesem Bereich sind technisch gut umsetzbar, aber die Kosten sind teilweise hoch. Der Bereich ist durch ein hohes Konfliktpotenzial gekennzeichnet.

Die bewerteten Maßnahmen im Bereich „Ackerbau, Obst-, Wein- und Gemüseanbau (inkl. Bodenbearbeitung)“ zeigen meist ein mittleres bis hohes Synergiepotenzial; nur vereinzelt werden Trade-offs bzw. negative Auswirkungen festgestellt (z. B. verstärkter Herbizid- und Pestizideinsatz). Die Barrieren für eine Umsetzung zeigen ein heterogenes Bild von wenig, mittleren und hohen Barrieren.

Die bewerteten Maßnahmen im Bereich „Grünlandwirtschaft und Nutztierhaltung“ haben alle (bis auf eine Ausnahme, nämlich die Intensivierung [verstärkte Stallhaltung, höhere Tierbestände/Fläche]) ein mittleres oder hohes Synergiepotenzial und keine negativen Auswirkungen. Maßnahmen im Bereich der Nutztierhaltung weisen dabei deutlich mehr Barrieren der Umsetzung und unsichere Kostenpunkte auf als Maßnahmen in der Grünlandwirtschaft.

Die bewerteten Maßnahmen im Bereich „Andere Maßnahmen“ zeigen ein gemischtes Bild hinsichtlich der Trade-offs und Synergien. Sie sind teilweise von hohen Barrieren gekennzeichnet. Der Wissenstand wird als unterdurchschnittlich eingeschätzt.

9.5.1.2 Maßnahmen mit hohem Synergiepotenzial und geringen Barrieren

Zu den Maßnahmen mit besonders hohem Synergiepotenzial, die zudem von nur geringen Barrieren charakterisiert sind, zählen der Mischkulturanbau, die Schaffung von Landschaftselementen wie Hecken, Steinmauern, Blühflächen und Alleen, die Selektion heimischer, hitze-/dürre-resistenter und robuster Sorten (auch verwandte Wildarten, alte Sorten), weiters vielfältige Fruchtfolgen und Zwischenfrüchte (v. a. mit Leguminosen) wie auch die ganzjährige Bodenbedeckung (Zwischenfrüchte, Zwischenbegrünung und Untersaat), der Einsatz von Kompostdünger und organischem Wirtschaftsdünger anstelle von Mineraldünger sowie die reduzierte/konservierende Bodenbearbeitung (und Mulchsaat). Auch die Einarbeitung von Biokohle aus Reststoffen wurde als vorteilhaft und mit geringen Umsetzungsbarrieren bewertet. Die Grünlandwirtschaft ist mit deutlich weniger Maßnahmen vertreten, dazu gehören der Erhalt von extensiv genutzten Grünflächen und die Einhaltung der Tierbestandsobergrenzen, die Erweiterung des Arten- und Sortenspektrums, die Schaffung von silvopastoralen Systemen sowie die standortangepasste Bewirtschaftung (Schnitthäufigkeit und Düngungsintensität, Einschränkung der Nutzungsintensität bei Trockenheit). Bei der Forstwirtschaft und im Siedlungs-

bereich findet sich hier nur jeweils eine Maßnahme, nämlich die Schaffung von Mischbeständen bzw. der Ausbau von Photovoltaik auf Häuserflächen. Im Prozessketten- und Konsumbereich finden sich die Reduktion des vermeidbaren Lebensmittelabfalls, der Konsum von Lebensmitteln von saisonalen Lebensmitteln, lokale Bottom-up-Initiativen in urbanen Räumen und die kaskadische Nutzung von Biomasse bzw. Holzprodukten.

9.5.1.3 Maßnahmen mit potenziell hohen Trade-offs und Barrieren der Umsetzung.

Zu den Maßnahmen, die nur ein sehr geringes Synergiepotenzial aufweisen und die zusätzlich auch von erheblichen Barrieren, insbesondere im Bereich Konfliktpotenzial, gekennzeichnet sind, zählen die Verwendung von Agrotreibstoffen aus primärer Biomasse (Anbau von Bioenergiepflanzen), der verstärkte Herbizid- und Pestizideinsatz als Anpassungsmaßnahme, die Intensivierung in der Viehwirtschaft, wie verstärkte Stallhaltung und höhere Tierbestände pro Fläche, sowie einige waldbauliche Maßnahmen. Dazu gehören die Außer-Nutzung-Stellung nicht angepasster, gefährdeter oder stark genutzter Bestände und die Verkürzung der Umtriebszeit. Auch die Wiederbewaldung/Aufforstung von arten- und strukturreichen landwirtschaftlichen Flächen (Almen, Magerwiesen, etc.) findet sich in diesem Bereich, wie auch die Bioenergiebereitstellung aus forst- und landwirtschaftlicher Primärbiomasse. BECCS – „Bioenergy with Carbon Capture Storage“ ist ebenfalls in diesem Bereich, allerdings sind die Bewertungen der Synergien und Trade-offs nicht eindeutig, folgen aber im Wesentlichen der Bewertung der Bioenergiebereitstellung. Diese zeigt deutliche Unterschiede nach Herkunft der Biomasse (kaskadisch oder Reststoffe versus Primärbiomasse).

9.6 Regionale Unterschiede und lokaler Kontext

Die Auswirkungen und die Wirksamkeit von landnutzungsbezogenen Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen sind abhängig vom regionalen und lokalen Kontext sowie von den Raum- und Zeitskalen der Betrachtung (siehe Kap. 1 und 3–8). Maßnahmen sind oft landtypspezifisch, von bioklimatischen Charakteristika der Region oder von lokalen Kontexten der Lebensmittelproduktion und des Konsums abhängig. Einige Maßnahmen erzeugen negative Nebeneffekte häufig nur in bestimmten Regionen oder Kontexten; zum Beispiel haben Maßnahmen, die vermehrt Wasser benötigen, möglicherweise kaum negative Nebeneffekte in Regionen, in denen keine Wasserknappheit herrscht bzw. prognostiziert ist, sehr wohl aber hohe Auswirkungen in Regionen, in denen das Wasser bereits jetzt knapp ist.

Zudem gibt es Regionen, die aufgrund naturräumlicher und wirtschaftlicher Umstände mit mehr Herausforderungen konfrontiert sind als andere. Diese haben dadurch oftmals auch weniger Reaktionsmöglichkeiten für die Umsetzung von Maßnahmen. Die Umsetzung mancher Maßnahmen konkurriert außerdem, je nach Region, auch mit anderen Landnutzungsarten und der Bereitstellung von wichtigen Ökosystemleistungen. Dies gilt es in der Planung sowie bei der Interpretation der hier zusammengestellten Tabellen zu beachten.

9.7 Zeitdimension der Mitigationseffekte

Die Betonung kurzer Zeithorizonte (bis 2050) für die Bewertung des Emissionsminderungspotenzials in diesem Kapitel (in Abgrenzung zu den langfristigen [> 30 Jahre] Auswirkungen) folgt dem Aufruf des European Academies Science Advisory Council (EASAC): Im Lichte der hohen Dynamik des Klimawandels und seiner globalen Effekte ist es unumgänglich, kurzfristig wirksame Maßnahmen zu identifizieren und zu priorisieren (siehe auch Kap. 1 und Masson-Delmotte et al., 2018; Norton et al., 2019).

Bezüglich des Klimaschutzpotenzials weisen einige Maßnahmen unterschiedliche kurz- und langfristige Effekte auf (z. B. das Einarbeiten von Ernterückständen und eine reduzierte bzw. konservierende Bodenbearbeitung in der Landwirtschaft, die Außer-Nutzung-Stellung nicht angepasster, gefährdeter Bestände in der Forstwirtschaft, verstärkte Durchforstung; die Substitution von mineralischen Baurägern durch Holzmaterialien in Gebäuden). Oftmals gibt es hier auch keine differenzierten wissenschaftlichen Betrachtungen, sodass es schwer ist, zwischen kurz- und langfristigem Klimaschutzpotenzial zu unterscheiden. Die Berücksichtigung der verschiedenen Zeithorizonte in der Bewertung ist allerdings entscheidend und sollte in künftigen Forschungsprojekten dezidiert angesprochen werden.

9.8 Folgen verspäteten Handelns

Die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen in der Land- und Forstwirtschaft verlangt, je nach Maßnahme, rechtzeitiges Handeln, um die erwarteten negativen Folgen des Klimawandels auf das Landnutzungssystem zu reduzieren. In der Waldbewirtschaftung betrifft dies vor allem die Sicherstellung von Ökosystemleistungen wie zum Beispiel den Erhalt der Schutzleistung von Schutzwäldern und die Reduktion der Vulnerabilität bestehender Wälder gegenüber Störungen, um das Risiko systemgefährdender Störungsereignisse mit potenziell negativen Folgen für das Klimasystem zu verhindern (Kurz et al., 2008; Olsson et al., 2019). Aufgrund des langfristigen Bewirtschaftungshorizonts von Wäldern führen

zu späte Anpassungsmaßnahmen automatisch zu einer Verringerung von Steuerungsoptionen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung].

Ähnlich gelagert ist die Situation in der Landwirtschaft. Alle genannten Maßnahmen (z. B. Diversifizierung von Fruchtfolgen, Kulturarten und Anbausystemen, Etablierung von Agroforst-Systemen, Kulturarten- und Sortenwahl, die an die sich ändernden Standortbedingungen angepasst sind, insbesondere eine nachhaltige Bodenbewirtschaftung für die Sicherung optimaler Humusgehalte) benötigen entsprechende Vorlaufzeiten, um einerseits die Grundlagen für die Transformation der etablierten Anbausysteme zu erarbeiten und andererseits die Akzeptanz bei den Akteur_innen zu sichern [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Eine Verzögerung der Umsetzung dieser Maßnahmen steigert die Vulnerabilität der Anbausysteme gegenüber Klimawandelfolgen und hat dramatische Auswirkungen auf Erträge und Produktqualität (Haslmayr et al., 2018; Howden et al., 2007).

Es herrscht große Übereinstimmung in der Wissenschaftsgemeinschaft, dass verzögertes Handeln in Bezug auf die Emissionsminderung im Landwirtschafts-, Forst- und Energiesektor sowie bei der Umsetzung spezifischer Maßnahmen die bestehenden Herausforderungen verschärfen wird (IPCC, 2019a; Kap. 1). Es besteht auch Übereinstimmung, dass die landbasierten Emissionsminderungen nur einen Teil der Gesamtemissionen ausgleichen können (IPCC, 2019b). Die wichtigsten Folgen eines verzögerten Handelns sind:

- Erhöhter Bedarf an Klimawandelanpassungsmaßnahmen
- Hohe Kosten
- Einengung des Handlungsspielraums für Entscheidungsträger_innen
- Probleme der Irreversibilität und „Kippunkte“ im Erdsystem mit nicht abschätzbaren Folgen für Gesellschaft und Landökosysteme
- Reduktion der Implementierungszeit von Maßnahmen, reduzierte Diskursmöglichkeit (gesellschaftliche Kippunkte; Otto et al., 2020)
- Hohe Nachfrage an großflächigen landbasierten Mitigationsmaßnahmen (Creutzig et al., 2021; Roe et al., 2019)

Zum einen sind Auswirkungen des Klimawandels auf die Landnutzung bereits jetzt belegt (IPCC, 2019a; Kap. 3) und mit erheblichen volkswirtschaftlichen Kosten verbunden, führen sie doch zu umfangreichen Klimawandelanpassungsmaßnahmen. Zum anderen ist es absehbar, dass eine verspätete Umsetzung der Klimaschutzmaßnahmen zu einem erhöhten Bedarf an landbasierten Emissionsminderungsmaßnahmen führt. Verspätetes Handeln, in dem hier behandelten Feld der Landnutzung wie auch in allen anderen gesellschaftlichen Bereichen, kann dadurch das Potenzial der Reaktionsoptionen verringern und die Kosten des Einsatzes erhöhen [hohe Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Nicht

zuletzt auch deshalb kommt der IPCC Land Report (IPCC, 2019b) zum Schluss, dass landbasierte Klimaschutzmaßnahmen dann erfolgreich sind, wenn sie Teil von langfristigen ganzheitlichen Strategien, die alle Gesellschaftsbereiche umfassen, sind. Dies gilt global wie auch für Österreich.

Literatur

- Creutzig, F., Erb, K.-H., Haberl, H., Hof, C., Hunsberger, C., Roe, S., 2021. Considering sustainability thresholds for BECCS in IPCC and biodiversity assessments. *GCB Bioenergy* 13, 510–515. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12798>
- Haslmayr, H.-P., Baumgarten, A., Schwarz, M., Huber, S., Prokop, G., Sedy, K., Krammer, C., Murer, E., Pock, H., Rodlauer, C., Schaumberger, A., Nadeem, I., Formayer, H., 2018. BEAT – Bodenbedarf für die Ernährungssicherung in Österreich – Endbericht.
- Howden, S.M., Soussana, J.-F., Tubiello, F.N., Chhetri, N., Dunlop, M., Meinke, H., 2007. Adapting agriculture to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104, 19691–19696. <https://doi.org/10.1073/pnas.0701890104>
- IPCC, 2019a. Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. In press.
- IPCC, 2019b. Summary for Policymakers. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. In press., Climate Change and Land: an IPCC special report in climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems.
- Kurz, W.A., Stinson, G., Rampley, G.J., Dymond, C.C., Neilson, E.T., 2008. Risk of natural disturbances makes future contribution of Canada's forests to the global carbon cycle highly uncertain. *PNAS USA* 105, 1551. <https://doi.org/10.1073/pnas.0708133105>
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P.R., Pirani, A., Moufouma-Okia, W., Péan, C., Pidcock, R., Connors, S., Matthews, J.B.R., Chen, Y., Zhou, X., Gomis, M.I., Lonnoy, E., Maycock, T., Tignor, M., Waterfield, T., 2018. Global Warming of 1.5 °C: An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5 °C Above Pre-industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty. World Meteorological Organization Geneva, Switzerland.
- Norton, M., Baldi, A., Buda, V., Carli, B., Cudlin, P., Jones, M.B., Korhola, A., Michalski, R., Novo, F., Oszlányi, J., Santos, F.D., Schink, B., Shepherd, J., Vet, L., Walloe, L., Wijkman, A., 2019. Serious mismatches continue between science and policy in forest bioenergy. *GCB Bioenergy* 11, 1256–1263. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12643>
- Olsson, L., Barbosa, H., Bhadwal, S., Cowie, A., 2019. Chapter 4: Land Degradation – IPCC Special Report on Climate Change and Land. <https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/chapter-4/> (accessed 7.2.21).
- Otto, I.M., Donges, J.F., Cremades, R., Bhowmik, A., Hewitt, R.J., Lucht, W., Rockström, J., Allerberger, F., McCaffrey, M., Doe,

- S.S.P., Lenferna, A., Morán, N., van Vuuren, D.P., Schellnhuber, H.J., 2020. Social tipping dynamics for stabilizing Earth's climate by 2050. *PNAS USA* 117, 2354–2365. <https://doi.org/10.1073/pnas.1900577117>
- Roe, S., Streck, C., Obersteiner, M., Frank, S., Griscom, B., Drouet, L., Fricko, O., Gusti, M., Harris, N., Hasegawa, T., Hausfather, Z., Havlík, P., House, J., Nabuurs, G.-J., Popp, A., Sánchez, M.J.S., Sanderman, J., Smith, P., Stehfest, E., Lawrence, D., 2019. Contribution of the land sector to a 1.5 °C world. *Nature Climate Change* 9, 817–828. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0591-9>

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

