

Technische Zusammenfassung

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1: Ziele, Herangehensweise und Kontext	30
Kapitel 2: Auswirkungen der Landnutzung und -bewirtschaftung sowie naturnaher Ökosysteme auf den Klimawandel: biophysikalische Effekte, Treibhausgasemissionen und Kohlenstoffspeicher	31
Kapitel 3: Sozio-ökonomische und klimatische Treiber der Änderung der Landnutzung in Österreich	33
Kapitel 4: Anpassungsoptionen in der Landnutzung an den Klimawandel	37
Kapitel 5: Minderung des Klimawandels	41
Kapitel 6: Landnutzungsentscheidungen: Klimawandelrelevante Strategien, Steuerungsinstrumente und Managementansätze	47
Kapitel 7: Raumplanung und Klimawandel	49
Kapitel 8: Landnutzung und Klimawandel im Kontext der nachhaltigen Entwicklungsziele	51
Kapitel 9: Synopsis – Synergien, Zielkonflikte und Umsetzungsbarrieren von Klimaanpassungs- und Klimaschutzmaßnahmen	55

Koordination:

Ulrike Tappeiner, Karl-Heinz Erb, Robert Jandl

Unterstützung:

Paula Bethge

Zitiervorschlag:

APCC (2024): Technische Zusammenfassung. [Tappeiner, U., Erb, K.-H., Jandl, R., Anderl, M., Baumgarten, A., Bethge, P., Bohner, A., Borsky, S., Bruckman, V. J., Bruckner, M., Díaz-Pinés, E., Dobernig, K., Dumke, H., Eitzinger, J., Fischer, T., Formayer, H., Freudenschuss, A., Gaube, V., Getzner, M., Gingrich, S., Glatzel, S., Gratzner, G., Haas, W., Hörtenhuber, S., Jäger, J., Kirchner, M., Kitzler, B., Koch, A., Kottusch, C., Kraxner, F., Lapin, K., Leitinger, G., Lexer, M. J., Lindenthal, T., Loibl, W., Mehdi-Schulz, B., Meyer, I., Miloczki, J., Obrovsky, M., Penker, M., Sandén, T., Scharler, M., Schauburger, G., Schauburger, A., Schindlbacher, A., Schinko, T., Shinozaki, K., Schirpke, U., Schmid, C., Schneider, S., Schöner, W., Schüler, S., Sinabell, F., Spiegel, H., Stöglehner, G., Stumpp, C., Sturmbauer, C., Tasser, E., Thaler, T., Theurl, M., Tötzer, T., Weber, G., Weber, K., Weiss, P.,

Wenzel, W., Zessner-Spitzenberg, M., Zoboli, O., Zollitsch, W., Zuvela-Aloise, M.]. In: APCC Special Report: Landnutzung und Klimawandel in Österreich [Jandl, R., Tappeiner, U., Foldal, C. B., Erb, K.-H. (Hrsg.)]. Springer Spektrum: Berlin/Heidelberg, S. 29–56.

¹ Universität für Bodenkultur Wien

² Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft

³ HBLFA Raumberg-Gumpenstein

⁴ Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung

⁵ Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH

⁶ Universität Innsbruck

⁷ Eurac Research

⁸ Umweltbundesamt GmbH

⁹ Wirtschaftsuniversität Wien

¹⁰ Universität Graz

¹¹ GeoSphere Austria

¹² privat

¹³ Veterinärmedizinische Universität Wien

- ¹⁴ Technische Universität Wien
¹⁵ Internationales Institut für Angewandte Systemanalyse (IIASA)
¹⁶ Österreichische Akademie der Wissenschaften
¹⁷ Universität Wien
¹⁸ Austrian Institute of Technology GmbH
¹⁹ Fachhochschule Wiener Neustadt
²⁰ Paris Lodron Universität Salzburg
²¹ Österreichische Forschungsförderung für Internationale Entwicklung (OEFSE)

Kapitel 1: Ziele, Herangehensweise und Kontext

Herbert Formayer¹, Robert Jandl², Andreas Böhner³, Josef Eitzinger¹, Karl-Heinz Erb¹, Willi Haas¹, Ina Meyer⁴, Heide Spiegel⁵, Ulrike Tappeiner^{6,7}, Erich Tasser⁷

Nachwuchswissenschaftler_innen:

Paula Bethge¹ und Bastian Bertsch-Hörmann¹

Landnutzung ist eine Grundlage zur Befriedigung unterschiedlichster menschlicher Bedürfnisse [vollständige Übereinstimmung]. Aufgrund der Vielzahl von Interessen und gesellschaftlichen Akteuren entstehen Zielkonflikte, die durch den Klimawandel verstärkt werden [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Zielkonflikte und Landnutzungs Konkurrenz treten zwischen der Produktion von Biomasse und dem Flächenbedarf für Infrastruktur, Siedlungen und regulierenden und kulturellen Ökosystemleistungen auf. Der Klimawandel verändert die Bereitstellung von unterschiedlichen Ökosystemleistungen und die Möglichkeiten der Landnutzung [hohe Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die Landnutzung kann zur Emissionen von Treibhausgasen führen, die den Klimawandel verstärken. Landnutzung bietet aber auch die Möglichkeit der Emissionsminderung und der Schaffung und Erhaltung von Kohlenstoffsenken, die den Klimawandel abschwächen können [hohe Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 1.2; 1.3; 1.4}

Die Erwärmung liegt in Österreich über dem globalen Durchschnitt und wird sich bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts fortsetzen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Während die globale Mitteltemperatur um rund 1 °C gegenüber vorindustriellen Zeiten angestiegen ist, beträgt die Erwärmung in Österreich bereits mehr als 2 °C. Die Erwärmung findet zu allen Jahreszeiten statt und hat sich in den letzten Jahrzehnten verstärkt [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die weitere Entwicklung hängt vom menschlichen Verhalten ab. Beim Einhalten des Pariser Klimaschutzabkommens (RCP 2.6) stabilisiert sich die Temperatur, werden keine Klimaschutzmaßnahmen ergriffen (RCP 8.5) setzt

sich der Erwärmungstrend mit mehr als 3 °C fort [mittlere Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. Die jährlichen Niederschläge werden gleich bleiben bzw. im Winterhalbjahr leicht zunehmen [geringe Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. Die Niederschlagsintensität bei kleinräumigen Starkniederschlägen wird aus physikalischen Gründen um rund 10 % pro Grad Temperaturerhöhung zunehmen [robuste Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. {Abschn. 1.1.1; 1.2.1}

In Österreich werden 81 % der Fläche für Land- und Forstwirtschaft genutzt, etwa 7 % der Fläche sind Siedlungsraum und Verkehrsflächen (Stand 2018). Österreich ist etwa zur Hälfte bewaldet. Ackerbau und Grünlandwirtschaft nehmen etwa ein Drittel der Landesfläche ein. Die Land- und Forstwirtschaft sind wesentliche Wirtschaftsfaktoren des Ländlichen Raumes. Neben der Verarbeitung der Primärproduktion spielt die Veredelungswirtschaft eine wichtige Rolle [hohe Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 1.2.2}

Ein essenzieller Aspekt der globalen Umweltkrise, der eng mit Klimawandel und Landnutzung verknüpft ist, ist das Vorschreiten des Biodiversitätsverlustes (nahezu gesichert). In Europa ist fast ein Viertel der wild lebenden Arten vom Aussterben bedroht, und der Zustand vieler Ökosysteme hat sich in den vergangenen Jahrzehnten so weit verschlechtert, dass sie nicht mehr in der Lage sind, ihre Leistungen zu erbringen. Für Österreich sind dazu keine umfassenden Daten vorhanden. Eng an die Biodiversität geknüpft ist die Bereitstellung von Versorgungs-, Regulierungs- und kulturellen Ökosystemleistungen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung], deren Zusammenhang zueinander (Synergien und Trade-offs) durch den Klimawandel zusehends verändert wird [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Gesetzliche Instrumente und Rahmenbedingungen sind in Österreich definiert, ohne jedoch der Biodiversitätskrise adäquat zu begegnen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 1.4; Box 1.2}

Die IPCC-Sektoren Landwirtschaft (v.a. N₂O- und CH₄-Emissionen aus Düngung und Tierhaltung) und Forstwirtschaft und andere Landnutzungen (v.a. CO₂-Emissionen und -Senken aus der Änderung der Biomasse-, Boden- und Holzprodukte-Kohlenstoffvorräte) zusammen sind in Österreich seit 2006 eine Netto-Quelle von Treibhausgasen, davor ab Betrachtungszeitraum 1990 eine Netto-Senke (Stand 2020). Besonders die Tierhaltung, und zu einem geringeren Teil die Düngung verursachen THG-Emissionen (7 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente [Mio. t CO₂e] im Jahr 2020, das sind 9,7 % der gesamten THG-Emissionen Österreichs) [hohe Evidenz]. Der Sektor Landnutzung, Landnutzungswechsel und Forstwirtschaft (LULUCF) war dagegen eine THG-Senke (rd. –1 Mio. t CO₂e im Jahr 2020) [mittlere Evidenz]. Wälder und Holzprodukte waren seit zumindest 1960 eine Senke von Treibhausgasen. Die Senkenleistung des Waldes ist

zunehmend variabel. Im langjährigen Schnitt (1990–2020) kompensierte diese LULUCF-Senke rund 11 % der Gesamt-THG-Emissionen Österreichs [mittlere Evidenz]. Ursachen für die Senkenwirkung sind, dass die jährliche Holznutzung niedriger ist als der jährliche Zuwachs, die Zunahme der Waldfläche und des Holzproduktepools. Der Holzproduktebestand nimmt ebenfalls zu und kompensiert im Schnitt 1990–2020 3 % der Gesamtemissionen Österreichs [mittlere Evidenz]. {Abschn. 1.2.4}

Kein Konsens herrscht in der wissenschaftlichen Gemeinschaft über den Beitrag der stofflichen und energetischen Nutzung von Waldbiomasse zur Minderung des Klimawandels. Im Wesentlichen können zwei gegensätzliche Standpunkte unterschieden werden, die sich hinsichtlich der Definition der Referenzlinie, die zur Beurteilung der CO₂-Neutralität von Holz herangezogen wird, unterscheiden: Im einen Fall wird als Referenzlinie die Balance von C-Aufbau und -Abbau im Wald betrachtet, im anderen Fall stellt die Referenzlinie die hypothetische Entwicklung der C-Bestände im Wald ohne die zu betrachtenden Maßnahmen oder ohne jegliche Bewirtschaftungseingriffe dar. Weitere Unterschiede beziehen sich auf die Einschätzung der relevanten Zeitskala oder die Bewertung der Substitution von z. B. fossilen Energieträgern durch Waldbiomasse. Gemeinsamkeiten liegen in der Favorisierung der stofflichen vor der energetischen Nutzung von Holzbiomasse sowie der energetischen Nutzung von Reststoffen, die bei der Produktion von wichtigen Holzdienstleistungen oder -produkten anfallen und nicht weiterhin für solche nutzbar sind, oder von nicht rezyklierbaren Holzprodukten am Ende der Lebensdauer. Diese Maßnahmen werden in beiden Standpunkten als Beiträge zum Klimaschutz angesehen und können daher als Grundlage von Entscheidungen herangezogen werden. {Box 1.1}

Die Landnutzung ist in Österreich im Wandel. Die Siedlungs- und die Waldflächen werden größer auf Kosten der landwirtschaftlich genutzten Böden [hohe Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die Flächen-Inanspruchnahme wird durch die Raumplanung reguliert. Die Umsetzung der Planungen ist durch die Vielzahl der Interessen und die Fragmentierung der Zuständigkeiten gekennzeichnet. Die Netto-Zunahme der Waldfläche auf früher landwirtschaftlich genutztem Land ist Ausdruck eines strukturellen Wandels in Österreich und vor allem auf den Rückgang von landwirtschaftlicher Fläche durch die Aufgabe von Grenzertragsflächen und die gestiegenen Möglichkeiten der Einkommenserzielung außerhalb der Landwirtschaft und den vermehrten Import an Biomasse zurückzuführen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 1.2.3; 1.3.5; 1.6.2}

Ökonomische Instrumente wie Emissionshandel und CO₂-Steuern werden für den Klimaschutz als Korrektur von Marktversagen seit den 1990er-Jahren eingesetzt (Kyoto-Protokoll). Die Umsetzung erfolgt bisher sektorspezifisch (EU-Emissionshandel für Industriesektoren)

und zumeist ohne direkten Bezug zur Landnutzung [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die Palette der eingesetzten klimapolitischen Instrumente hat sich seit Beginn der 2000er-Jahre erweitert und umfasst zunehmend Politikansätze im Bereich grüne Innovationen und Industriepolitik (Förderungen, Subventionen). Der Einsatz von klimapolitischen Instrumenten in der Landnutzung findet in Sektorpolitiken (Agrarpolitik, Forstpolitik, Biodiversitätsstrategie und Naturschutzpolitik) statt. Eine kohärente Ausgestaltung von Sektorpolitiken, Programmen und Politikinstrumenten im Sinne eines systemischen Ansatzes kann zu einer erfolgreichen Anpassung und Emissionsminderung in Landsystemen führen und deren Senkenfunktion stärken [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 1.6.1}

Kapitel 2: Auswirkungen der Landnutzung und -bewirtschaftung sowie naturnaher Ökosysteme auf den Klimawandel: biophysikalische Effekte, Treibhausgasemissionen und Kohlenstoffspeicher

Simone Gingrich¹, Peter Weiss⁸, Walter Wenzel¹, Michael Anderl⁸, Martin Bruckner⁹, Eugenio Díaz-Pinés¹, Stefan Hörtenhuber¹, Barbara Kitzler², Andreas Schindlbacher², Wolfgang Schöner¹⁰

Insgesamt stellen die IPCC-Sektoren Landwirtschaft (v. a. Tierhaltung, Düngung) und Landnutzung (v. a. Veränderung der Kohlenstoffvorräte in Biomasse und Boden aller Landnutzungskategorien sowie in Holzprodukten) zusammen im Mittel über die letzten zehn Jahre eine Netto-Emissionsquelle in Österreich dar, die bei einem Business-as-usual-Szenario auch künftig erhalten bleibt [hohe Evidenz]. Gemäß der Treibhausgas- (THG-)Inventur war der Sektor Landwirtschaft in Österreich im Jahr 2020 für 7 Mio. t CO₂e oder 9,5 % der österreichischen THG-Emissionen verantwortlich (54 % davon entfallen auf Methanemissionen aus dem Verdauungstrakt von Viehbeständen, v. a. Rindern) [hohe Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Der Sektor Landnutzung war hingegen zumeist eine Netto-Senke, die im Zeitraum von 1990 bis 2020 zwischen 2 und 25 % der jährlichen Gesamt-THG-Emissionen Österreichs kompensiert hat [hohe Evidenz]. Der absolute Beitrag des österreichischen Waldes (v. a. Biomasse) und der Holzprodukte am THG-Ergebnis des Landnutzungssektors Österreichs liegt um eine Größenordnung höher als jener der anderen Sektoren (Ackerland, Grünland, Feuchtgebiete, Siedlungsraum, Sonstiges Land) [hohe Evidenz], ist maßgeblich durch Bewirtschaftung und klimatische Effekte (Schäden durch Sturm oder Borkenkäfer, Einflüsse auf das Biomassewachstum) geprägt und stellt die Ursache für die Netto-Senke

des Sektors Landnutzung dar. Allerdings sind durch die THG-Inventur nicht alle Senken und Quellen der Landschaft erfasst; natürliche, vom Menschen unbeeinflusste Systeme (z. B. nicht bewirtschaftete Moore und Feuchtgebiete) sowie Systeme, für die noch keine robusten Methoden vorliegen (z. B. neuangelegte Gewässer), werden in der THG-Inventur nicht berichtet. {Abschn. 2.2.3.2; 2.2.3.3}

Die C-Senke in Österreichs Ökosystemen kommt auch dadurch zustande, dass sich die österreichischen Ökosysteme derzeit von den Effekten historischer Landnutzung erholen [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Seit dem 19. Jahrhundert haben Österreichs Ökosysteme kontinuierlich C angereichert (von 1,04 Gt C im Jahr 1830 stieg der C-Bestand in Vegetation und Boden auf 1,29 Gt C im Jahr 2010). Der Beitrag der Wälder an diesem Bestand stieg dabei von 52 auf 70 %, was sowohl auf eine Zunahme der Waldflächen als auch der Biomassedichte im Wald zurückzuführen ist, wohingegen die Dynamik im Boden weniger stark ausgeprägt, aber auch mit größeren Unsicherheiten behaftet ist [mittlere Evidenz]. {Abschn. 2.2.2}

Die Treibhausgasemissionen von Böden werden durch Klimaänderungen und Management beeinflusst [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Ergebnisse von THG-Messungen (das sind Messungen zum THG-Austausch zwischen dem gesamten Ökosystem oder dem Boden und der Atmosphäre) und Manipulationsstudien zeigen, dass Klimaerwärmung, N-Einträge (atmosphärisch und/oder Düngung), Starkregen nach langen Trockenperioden und Waldstörung die Boden-THG-Emissionen signifikant erhöhen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung], wohingegen Trockenheit [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung] sowie Einbringung von Biokohle die THG-Emissionen aus dem Boden signifikant reduzieren kann [mittlere Konfidenz, mittlere Übereinstimmung]. {Abschn. 2.2.4}

Die Klimawirkungen der THG-Emissionen werden durch biogeophysikalische Effekte, insbesondere den Anteil reflektierter Strahlung (Albedo), fühlbare (latente) Wärmeflüsse (durch Verdunstung beziehungsweise Kondensation) überlagert, wobei insbesondere Änderungen von Nutzungskategorien (v.a. von und zu Wald) Bedeutung zukommt [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Biogeophysikalische Effekte können die THG-Wirkungen verstärken oder abmildern, wobei insbesondere die Umwandlung von Nadelwald zu Laubwald im Sommer zu Kühlungseffekten führt. Die Datenlage zu biophysikalischen Effekten in Österreich ermöglicht darüber hinaus jedoch kaum generelle Aussagen, es besteht also Monitoring- und Forschungsbedarf. {Abschn. 2.3.1; 2.3.2; 2.3.4}

Landnutzungsänderungen bewirken eine Veränderung des Energieaustausches an der Erdoberfläche mit der Atmosphäre auf lokalen bis regionalen Skalen. Wie Modellergebnisse zeigen, hatte für Österreich die Zunahme der Waldflächen (ca. +1400 km²) auf Kosten der Grünland-

und Ackerflächen in den letzten drei Dekaden insbesondere im Frühling und Sommer einen abkühlenden Effekt (ca. -0,2 °C), der auf eine Zunahme der Verdunstung durch die vergrößerten Waldflächen bei gleichzeitig geringerer Wirkung der verminderten Albedo zurückzuführen ist [mittlere Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. Messungen bestätigen prinzipiell den modellierten abkühlenden Effekt, unterscheiden sich aber oft recht deutlich vom Betrag der Änderung. Die durch die Waldzunahme verursachte Abkühlung konnte jedoch die insgesamt beobachtete Temperaturzunahme für Österreich (ca. +1,5 °C seit 1980) nur geringfügig abschwächen. {Abschn. 2.3.1; 2.3.2}

Alpine Weiden in Österreich sind überwiegende Netto-THG-Senken [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die Wiederbewaldung von alpinen Weiden bindet zusätzliches CO₂ in der Biomasse und erhöht damit, zumindest kurz- bis mittelfristig, das Senkenpotenzial [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die mit der Bewaldung einhergehende Verschlechterung der Reflexionseigenschaften (Albedo) kann die klimawirksamen Effekte der Kohlenstoffsequestrierung teilweise oder ganz konterkarieren [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 2.4.4}

Die terrestrischen Ökosysteme Österreichs speichern derzeit nur einen Teil ihres natürlichen C-Potenzials (z. B. Waldvegetation: ca. 70 % des Potenzials [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]). Die Sequestrierungspotenziale sind jedoch nur bei entsprechenden Änderungen in der Landnutzungskategorie (z. B. Acker zu Grünland) in größerem Umfang zu realisieren, während Änderungen im Management innerhalb einer Kategorie oft nur bedingt Sequestrierungseffekte erwarten lassen [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 2.5.1; 2.5.2}

Im Vergleich zu den modellierten Kohlenstoffsättigungspotenzialen ist der aktuelle Kohlenstoffbestand österreichischer Böden gering, das Sättigungsdefizit wird für Ackerböden auf ca. 80 %, für Grünland auf ca. 60 % der Sättigungspotenziale geschätzt [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Für Waldböden liegen keine Berechnungen vor. Die hohen Sättigungsdefizite sind nicht mit realisierbaren Sequestrierungspotenzialen gleichzusetzen. {Abschn. 2.5.1.2; 2.5.1.3}

Wenn das auf maximal 283 Tg C geschätzte Sättigungsdefizit österreichischer Böden durch Sequestrierungsmaßnahmen voll ausgeschöpft werden könnte, würden 13 Jahre der aktuellen Gesamtemissionen in Österreich (22 Tg C pro Jahr) kompensiert [geringe Evidenz]. Eine Realisierung ist jedoch nicht einmal bei permanenter Umwandlung des gesamten Ackerlandes in Grünland oder Wald anzunehmen, da zumindest beim derzeitigen Bewirtschaftungsregime auch ein Teil der Grünlandböden deutlich untersättigt ist [robuste Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. Die meisten der im IPCC vorgeschlagenen Maßnahmen innerhalb einer bestehenden Landnutzungskategorie (z. B. re-

duzierte und pfluglose Bodenbearbeitung) haben keine Netto-Sequestrierungswirkung, werden durch Emission anderer Treibhausgase (N_2O und/oder CH_4) konterkariert, oder entsprechen keiner tatsächlichen Sequestrierungsleistung im Sinne der Definition, dass eine Netto-Entnahme von CO_2 aus der Atmosphäre erzielt werden muss. Die beste Wirkung im Ackerland wird auf Basis des aktuellen Wissensstandes Begrünungen und diversen Fruchtfolgen unter Berücksichtigung von Tiefwurzeln und Leguminosen zugeschrieben [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 2.5.1.3; 2.5.1.4; 2.5.1.5}

Modellierungen zeigen, dass Bodenerosion in landwirtschaftlich genutzten Böden Österreichs zu CO_2 -Freisetzung während des Erosionsprozesses in der Größenordnung von 15,3 bis 75 kt C pro Jahr führen könnte [geringe Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. Im Vergleich zu in der THG-Inventur berechneten C-speichernden Wirkung von ÖPUL-Maßnahmen in Österreichs Ackerböden (115 kt C pro Jahr) ist diese Größenordnung relevant. {Abschn. 2.5.1.6}

Bodenmonitoringdaten zeigen für einige Regionen Österreichs in den letzten 2–4 Jahrzehnten eine generelle Tendenz zur Zunahme des organischen C in Ackerobeböden [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Unter Grünland wurden in Niederösterreich in der einzigen gut abgesicherten Studie signifikante Zunahmen des organischen Kohlenstoffs im Oberboden von ca. 30 % des Ausgangswerts (Median) gemessen und liegen damit deutlich über jenen unter Ackernutzung [robuste Evidenz]. Diese Zunahmen sind im Bezug zum aktuellen Kohlenstoffbestand relevant, im Vergleich zu den Sättigungsdefiziten aber eher gering. {Abschn. 2.5.1.3}

Das maximale Kohlenstoffspeicherpotenzial der österreichischen Vegetation liegt etwa 50 % über dem derzeit beobachteten Bestand [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Der Großteil der Differenz zwischen aktuellem Bestand und maximalem Potenzial kommt dadurch zustande, dass potenzielle Waldflächen heute anders genutzt werden, z. B. landwirtschaftlich oder als versiegelte Flächen, Siedlungsgebiete, Infrastrukturflächen. Knapp ein Viertel der Differenz kommt dadurch zustande, dass die Kohlenstoffbestände in aktuellen Wäldern niedriger sind als in der potenziellen Vegetation (jene Vegetation, die sich ohne Landnutzung, aber mit jeweiligem Klima, spontan etablieren würde) [robuste Evidenz]. {Abschn. 2.5.2}

Berechnungen deuten darauf hin, dass etwa 62 % der durch den österreichischen Konsum landwirtschaftlicher Produkte verursachten THG-Emissionen im Jahr 2013 im Ausland verursacht wurden [geringe Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. Damit liegt Österreich unter dem europäischen Durchschnitt. Methodische Differenzen in der konsumbezogenen Emissionsattribuierung machen Vergleiche zwischen Studien schwierig. Die Auswirkungen des

österreichischen Holzkonsums auf Emissionen aus Waldbeständen im Ausland wurden noch nicht quantitativ erfasst. {Abschn. 2.7}

Forschungsbedarf bezüglich aktueller THG-Emissionen ist insbesondere für den Boden gegeben. Für Österreich liegen nur relativ wenige THG-Emissionsmessungen vor, wobei die Datenlage insbesondere für Ackerland unzureichend ist. Daneben sind das Verständnis und die Datenlage zu den Änderungen der Bodenkohlenstoffvorräte in Österreich aufgrund von Landnutzung und anderen Einflüssen ungenügend, die aktuellen Ergebnisse sehr unsicher. Dauerversuche, Monitoring, Modellierungen, Wiederholungen der Bodeninventuren in allen Landnutzungsarten sind notwendig, um diese Situation zu verbessern. Zu Ausdehnung, Kohlenstoffbeständen und Treibhausgaswirksamkeit von Mooren, bewirtschafteten organischen Böden und Binnengewässern liegen für Österreich kaum belastbare Daten vor. Auch daraus ergibt sich eine wichtige Forschungslücke. Ein weiterer Forschungsbedarf ergibt sich für österreichspezifische Erhebungen über die Lebensdauer von Holzprodukten, die bei der Berechnung der Senkenwirkung des Holzprodukt pools im Landnutzungssektor der THG-Inventur eine wichtige Eingangsgröße darstellen.

Kapitel 3: Sozio-ökonomische und klimatische Treiber der Änderung der Landnutzung in Österreich

Veronika Gaube¹, Stefan Schneider¹¹, Thomas Thaler¹, Stefan Borsky¹⁰, Mathias Kirchner¹, Wolfgang Loibl¹², Bano Mehdi-Schulz¹, Uta Schirpke⁶, Maja Zuvela-Aloise¹¹

Nachwuchswissenschaftler:

Bastian Bertsch-Hörmann¹

Agrarpolitische und wirtschaftliche Entwicklungen, inklusive der fortschreitenden Integration in die Weltmärkte, führten in der Vergangenheit zu einer Erhöhung der Produktivität (produzierte Biomasse pro Fläche) und Kapitalisierung der landwirtschaftlichen Produktion in Österreich [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Dabei kam es zu einer Zunahme der Betriebsgröße bei gleichzeitiger Abnahme der Anzahl der Betriebe und der Anbauflächen. Durch Maßnahmen des ÖPUL in den 1990er-Jahren wurde eine Extensivierung und Abschwächung negativer Umweltauswirkungen erzielt (Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit, Verminderung der Stickstoffemissionen) [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Allerdings stagniert dieser Trend seit den 2000er-Jahren und insbesondere seit der GAP 2013. {Abschn. 3.2.2}

Trotz des – aufgrund des ansteigenden Fleischkonsums – erhöhten Bedarfs an Futtermitteln nahm der

landwirtschaftliche Flächenbedarf des österreichischen Konsums im Zeitraum 1926–2018 aufgrund gegenläufiger Ertragssteigerungen deutlich ab [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Dabei ging die Grünlandfläche besonders deutlich, von 4,3 Mio. ha im Jahr 1926 auf 1,3 Mio. ha im Jahr 2018 zurück, was zu einem stetigen Anstieg der Waldflächen (in Österreich und ganz Europa) führte [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die Ackerlandflächen gingen im selben Zeitraum von 3,4 auf 2,2 Mio. ha zurück. In einer gesamtheitlichen Betrachtung muss beachtet werden, dass die Steigerung der Flächenproduktivität durch den vermehrten Einsatz fossil-energetisch basierter Betriebsmittel ermöglicht wurde [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Ein weiterer möglicher Faktor für die höhere Flächenproduktivität kann eine durch veränderte Handelsmuster bedingte Verschiebung hin zu produktiveren landwirtschaftlichen Gebieten sein. Eine Änderung der Ernährungsgewohnheiten hin zu vor allem weniger Fleisch wird nicht nur aus einer Gesundheitsperspektive empfohlen, sondern könnte auch den damit verbundenen Flächenbedarf für die Nahrungsmittelproduktion reduzieren [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Für Österreich ist eine potenzielle Reduktion des mit der Ernährung verbundenen Flächenbedarfs um –28 % (–43 % Grünland, –8 % Ackerland) bei fleischärmerer Ernährung möglich [mittlere Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. {Abschn. 3.2.2.1}

Bis etwa 2050 haben sozio-ökonomische Treiber meist noch einen größeren Einfluss auf Landnutzungsentscheidungen als klimabedingte Treiber, wobei sich dieses Verhältnis in der zweiten Jahrhunderthälfte zunehmend umdrehen könnte [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Sozio-ökonomische Treiber umfassen z. B. Einkommen und damit verbundene Konsumausgaben, Marktentwicklungen, politische Rahmenbedingungen wie die Agrar- oder Energiepolitik sowie technische Entwicklungen. Szenarien bis 2100 deuten darauf hin, dass der fortschreitende Klimawandel ab 2050 zum dominierenden Treiber für Landnutzungsänderungen werden könnte, insbesondere auf landwirtschaftlich intensiv genutzten Flächen [mittlere Konfidenz]. {Abschn. 3.2.1; 3.2.2; 3.2.3; 3.3.2; 3.5.4}

Durch klimawandelbedingt steigende Temperaturen verändern sich Potenziale und Risiken im Anbau von spezifischen Nutzpflanzen. Darüber hinaus bedingen Extremwetterereignisse ein hohes Ertragsrisiko und Schadenspotenzial für die Erzeugung von Nutzpflanzen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Durch die zeitliche Verschiebung der Entwicklungsstadien in Richtung Frühjahr, wie auch durch die beschleunigte Entwicklung von Pflanzen und davon abhängiger Feldarbeiten, wie Aussaat und Erntetermine, erfolgt eine Änderung in den pflanzen- und regionstypischen Wachstumsperioden von Nutzpflanzen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Durch den Klimawandel bedingte Extremwetterereignisse werden in

Europa für zunehmende jährliche Ertragsschwankungen verantwortlich gemacht [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Durch steigende Temperaturen und eine Verlängerung der Vegetationsperiode wird in einigen Regionen die Grünlandbewirtschaftung intensiver (Erhöhung der jährlichen Schnitthäufigkeit). Diese Trends haben somit große potenzielle Auswirkungen auf Praktiken und Einkommen in der Landwirtschaft [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 3.2.1.1; 3.2.1.3; 3.2.2.1}

Die Unsicherheit der durch den Klimawandel bedingten Auswirkungen auf die landwirtschaftlichen Erträge und die Landnutzung ist generell hoch und hängt v. a. mit der hohen Bandbreite an Niederschlagsszenarien [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung] als auch den Anpassungsmaßnahmen zusammen [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Hier gilt es, noch besser als bisher Wetterextreme, andere Störfaktoren (z. B. Schädlingsbefall), Anpassungsmaßnahmen (z. B. neue Kulturarten, Züchtungen) und verbleibende Wissenslücken (z. B. Effekt von Ozon und Kohlendioxid auf das Pflanzenwachstum) in den Klimaimpaktsimulationen zu berücksichtigen. Studien zeigen, dass die Klimawandelauswirkungen auf die landwirtschaftlichen Erträge und Landnutzung bis ca. 2050 in Österreich räumlich unterschiedlich ausfallen werden, mit tendenziell negativen Ertragsauswirkungen in trockenen Gebieten (v. a. östliches Flachland) und möglichen positiven Ertragsauswirkungen in niederschlagsreichen Gebieten (v. a. alpiner Raum) [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die stetige landwirtschaftliche Beratung und Ausbildung spielt eine essenzielle Rolle dabei, Landwirt_innen das Wissen und die Möglichkeiten zu vermitteln, Veränderungen frühzeitig zu erkennen und darauf zu reagieren. {Abschn. 3.2.2; 3.2.3}

Die vergangene sowie aktuelle Waldbewirtschaftung hat gravierende Auswirkungen auf die zukünftige Resilienz von Waldbeständen. Je naturferner Waldbestände zusammengesetzt sind, desto störungsanfälliger sind sie, besonders mit höherem, uniformem Bestandsalter [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Art und Stärke des klimatischen Einflusses auf Baumphysiologie und ökosystemare Prozesse (wie Photosynthese und Respiration) sind baumartenspezifisch. Durch eine Klimaänderung (Temperaturen, Niederschläge und Luftfeuchte) kommt es deshalb mittel- bis langfristig zur Veränderung der Konkurrenz zwischen Baumarten [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Dies führt bei natürlicher Waldentwicklung langfristig zur Veränderung der Baumartenzusammensetzung an einem Standort. In bewirtschafteten Wäldern wird dieses natürliche „ökologische Potenzial“ durch Managemententscheidungen, wie etwa bei der Baumartenwahl, überprägt [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Je deutlicher der Klimawandel ausfällt, desto stärker negativ sind seine Auswirkungen. Von besonderer Bedeutung ist auch der Störungseffekt auf das Mikroklima, welches ein wesentlicher Puffer für zukünftige makroklima-

tische Änderungen ist. Je wärmer es beispielsweise wird, desto stärker gleicht ein intaktes Kronendach die Temperaturzunahme aus [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 3.3.2}

In Österreich ist ein verstärkter Wandel von natürlichen sowie landwirtschaftlichen Flächen in versiegelte, bebaute Flächen feststellbar, die zu ökologischen Problemen und einem Verlust von Ökosystemdienstleistungen führen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Antriebskräfte waren in der Vergangenheit die Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung (steigender Wohlstand), sich ändernde Lebensstile (ressourcen- und flächenintensiver) sowie politische Entwicklungen in der Raum- oder Verkehrsplanung [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Das führte zu einer stetigen Zunahme der Siedlungsfläche und dem Verlust von natürlicher und landwirtschaftlich hochwertiger Produktionsfläche. Der damit einhergehende Ausbau der Infrastruktur im Bereich von Mobilität, Energie und Telekommunikation sowie Wasserversorgung und Abwasserbehandlung führte zu Landschaftszerschneidung [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. In Österreich wurden bis zum Jahr 2019 insgesamt 5729 km² Boden für Siedlungen und Infrastruktur in Anspruch genommen; das entspricht 7 % der Landesfläche. Die Flächeninanspruchnahme für Siedlung, Gewerbe und Infrastruktur steigt in Österreich dabei nach wie vor mit dem BIP an, wenn auch der Zuwachs des Bodenverbrauchs pro Kopf durch die Verdichtung und das generelle Bevölkerungswachstum langsamer wird. Gleichzeitig führt der Strukturwandel der Wirtschaft (Tertiärisierung) sowie der technische Fortschritt zu einer Verringerung des spezifischen Ressourcenverbrauchs (d. h. pro BIP-Einheit) im Inland [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 3.4.2; 3.5.3; 3.5.4}

Die landwirtschaftliche Nutzung hat in der Vergangenheit zu einem gravierenden Biodiversitätsverlust geführt [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Dieser Trend wird sich, wenn nicht gezielt gegengesteuert wird, fortsetzen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Maßgebliche Antriebskräfte dieser Entwicklungen sind hauptsächlich die Intensivierung und Vereinheitlichung der landwirtschaftlichen Nutzung, durch z. B. Monokulturen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Gleichzeitig führt die Extensivierung und Brachlegung von Grenzertragsflächen (Almbereich, steile Kulturflächen) langfristig zwar zu einer Wiederherstellung des natürlichen Menschen-unbeeinflussten Zustandes, aber auch zu einer Verringerung der Biodiversität [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Dementsprechend sind die Reduktion der Nutzungsintensität, ein Gegensteuern der Vereinheitlichung und der Erhalt von vielfältigen Kulturlandschaften die zentralen zukünftigen Herausforderungen für eine nachhaltige Entwicklung im Agrarsektor. {Abschn. 3.5; 3.5.1}

Der Wald nimmt zu in Fläche und Kohlenstoff-Bestand. Die Waldentwicklung der letzten 200 Jahre ist auf den

Wandel von landwirtschaftlicher Subsistenz zu einer industrialisierten Volkswirtschaft zurückzuführen, verbunden mit einer Abnahme des Nutzungsdruckes auf die Wälder, u. a. durch den Ersatz von Brennholz und Holzkohle durch fossile Energieträger, den Rückgang des landwirtschaftlichen Flächenbedarfes aufgrund von Produktivitätssteigerungen, die Globalisierung und damit einhergehende Verlagerung von Produktion in andere Länder und die Verringerung landwirtschaftlicher Nebennutzungen im Wald. Gleichzeitig wird rund 30 % der Waldfläche in Österreich eine Schutzfunktion zur Vermeidung von Naturgefahrenereignissen zugeordnet, was wiederum ein Rodungsverbot bzw. die Aufhebung von Waldweiden seit dem 19. Jahrhundert zur Folge hat [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 3.3.1; 3.5.2}

Die Vielfalt der Ökosystemleistungen erhöht sich mit einer vielfältig genutzten Landschaft [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung], wogegen eine Konzentration auf die Maximierung von Versorgungsleistungen häufig zu Lasten von vor allem regulierenden und kulturellen Ökosystemleistungen fällt [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Aufgrund der Abnahme landwirtschaftlich genutzter Flächen und einer zunehmenden Zersiedlung in Österreich in den letzten 20 Jahren sind generelle großräumige Trends der Ökosystemleistungen zu erkennen: die Abnahme aller Ökosystemleistungen, dabei grundsätzlich eine stärkere Abnahme der versorgenden Ökosystemleistungen, vor allem im nördlichen Voralpenland und Hochland, in den Südalpen mit Klagenfurter Becken sowie in den Zentralalpen. Es ist insgesamt anzunehmen, dass es zu einer weiteren räumlichen Verlagerung dominierender Ökosystemleistungen kommt [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Aufgrund des fortschreitenden Klima- und Strukturwandels (z. B. die steigende Nachfrage nach Bauland in Siedlungsgebieten, die klimatisch bedingte Verschiebung der Baumgrenze, etc.) werden regulierende Ökosystemleistungen in höheren Lagen an Bedeutung gewinnen, wogegen in den Tief- und Randlagen in Österreich, in Abhängigkeit der Wasserverfügbarkeit, die versorgenden Ökosystemleistungen bedeutender werden [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 3.5.4}

Die Landwirtschaft stellt neben den Versorgungsleistungen wichtige Ökosystemleistungen bereit (z. B. Erhalt der Bodenfruchtbarkeit, Erholungsraum, kulturelle Identität). Änderungen in der Intensität der landwirtschaftlichen Nutzung können positive sowie negative Auswirkungen auf diese Ökosystemleistungen haben [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. In der Vergangenheit hat beispielsweise eine Intensivierung der Landwirtschaft in Tallagen zu höheren Erträgen geführt, aber auch zu verringerter Wasserverfügbarkeit und -qualität, reduzierter Kohlenstoffspeicherung und erhöhter Eutrophierung sowie Erosion. Im Allgemeinen hat die Intensivierung der Landwirtschaft größtenteils negative Auswirkung auf regulierende

und kulturelle Ökosystemleistungen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Kulturelle Leistungen, die stark von der Art der Landnutzung sowie der Landschaftszusammensetzung und -vielfalt abhängen, wie ästhetische oder symbolische Werte, werden durch die zunehmende Bewaldung bzw. Intensivierung der Landnutzung weiter zurückgehen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 3.5; 3.5.4}

In Zukunft ist mit einer Verstärkung der Hitzebelastung, besonders in Siedlungsgebieten, zu rechnen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Diese Verstärkung kommt einerseits durch den allgemeinen Anstieg der Temperatur mit längeren und intensiveren Hitzeperioden und andererseits durch die Zunahme von Siedlungsflächen und einer Erhöhung der Bebauungsdichte zustande, welche städtische Hitzeinseleffekte intensivieren [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Bodenversiegelung führt auch zum Verlust von regulierenden Ökosystemleistungen, während Grüne Infrastruktur in Städten (z. B. Grünanlagen, Gärten, naturbelassene Flächen) die Biodiversität, das Stadtklima und die Luftqualität positiv beeinflussen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Grüne Infrastruktur stellt auch kulturelle und versorgende Leistungen zur Verfügung, mit einer zunehmenden Bedeutung für Erholung und Naturerlebnis sowie den Anbau von Lebensmitteln. {Abschn. 3.4.1; 3.5.3}

Der Stickstoffdüngereinsatz in der Landwirtschaft stagniert seit dem Jahr 2000 mit starken jährlichen Schwankungen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die Düngergaben in der Landwirtschaft können durch verpflichtende Maßnahmen sowie eine Internalisierung von externen Kosten durch Ökosteuern, wie das Aktionsprogramm Nitrat, aber auch durch freiwillige Maßnahmen, wie Förderungen für Agrarumweltmaßnahmen im Zuge des ÖPUL, stark beeinflusst werden [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Weitere Instrumente zur Optimierung der Bewirtschaftung, wie z. B. die Digitalisierung, dienen dazu, eine möglichst optimale und bedarfsgerechte Stickstoffversorgung zu erreichen und einen Stickstoffüberschuss zu vermeiden. Bestimmte ÖPUL-Maßnahmen wie biologischer Landbau, reduzierte Bodenbearbeitung und Fruchtfolgenvorgaben können den Humusgehalt und teilweise auch die Stickstoffemissionen beeinflussen [mittlere Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. Zudem gelten Beratungsaktivität und Bewusstseinsbildung als wichtige Treiber für die Anwendung von Düngeempfehlungen und Agrarumweltmaßnahmen [mittlere Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. {Abschn. 3.2.2.1; 3.2.2.3}

Bei der inländischen Produktion von Biodiesel war in den letzten Jahren hinsichtlich des Rohstoffaufkommens ein deutlicher Trend zu Abfallströmen (hauptsächlich Altspeiseöl) zu verzeichnen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die für die Produktion von Energieholz und Energiegräsern (z. B. *Miscanthus*, Sudangras) genutzte Ackerfläche stellt derzeit nur einen marginalen Beitrag zum

Rohstoffaufkommen des Bioenergiesektors dar [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Eine starke Ausweitung von Biomasseproduktion für Energiezwecke auf landwirtschaftlichen Flächen in Österreich kann zu Flächenkonkurrenz mit der Lebens- und Futtermittelproduktion führen. Dies hat zur Folge, dass sich zum einen Importe entsprechend erhöhen, sowie zum anderen, dass eine Intensivierung der Landnutzung stattfindet, welche eine Verschlechterung von Umweltindikatoren mit sich zieht, sofern nicht auf ein integriertes Fruchtfolgesystem umgestellt wird [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Hinsichtlich der energetischen Biomassennutzung spielt auch die Holzverarbeitende Industrie eine zentrale Rolle [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Aufgrund der hohen Industrieholzimporte stammt ein beträchtlicher Anteil dieser Energieträger nicht aus österreichischen Wäldern, weshalb der österreichische Bioenergiesektor wesentlich stärker auf importierter Biomasse basiert, als die Energiebilanz suggeriert, indem sie die in inländischen Betrieben anfallenden Biomassefraktionen in der Energiebilanz als Energieträger österreichischen Ursprungs ausweist. {Box 3.4; Abschn. 3.2.2.2}

In Österreich geht die Anzahl der Almen sowie der Bestock der Almen kontinuierlich zurück [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Seit 2000 wurden rund 14 % aller Almen aufgelassen. Darüber hinaus ging zwischen 2000 und 2019 die Anzahl der Betriebe mit Almauftrieb um knapp ein Viertel zurück. Ein Rückgang zeigt sich auch bei der Almfutterfläche, zum Teil aufgrund von Änderungen in der Flächendefinition/-erfassung und zum Teil durch Verwaldung und Verbuschung [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Der Almauftrieb von Rindern ist seit rund zehn Jahren kontinuierlich rückläufig [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Neben dem agrarischen Strukturwandel, wie etwa der Betriebsaufgabe oder der Reduktion des Viehbestandes, spielen auch forderungstechnische Überlegungen eine Rolle hinsichtlich des Rückgangs der Anzahl an Almen. Betriebsstrukturelle Veränderungen im Viehbestand sind eine Hauptursache für die Aufgabe des Almauftriebs in der Förderperiode 2014–2020, gefolgt vom zu großen Aufwand des Almauftriebes und der Möglichkeit für Heimbetriebe, Flächen im Tal zu pachten [geringe Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. {Box 3.1}

Windkraftanlagen gelten neben Photovoltaik als wesentliche erneuerbare Energiequellen mit großem Wachstumspotenzial [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die Möglichkeiten der Errichtung großer Wasserkraftwerke sind in Österreich hingegen zu großen Teilen ausgeschöpft [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Jegliche Energieerzeugungsinfrastruktur (z. B. konventionelle thermische Kraftwerke und Anlagen zur Gewinnung erneuerbarer Energie, etwa Windparks und Wasserkraftwerke) benötigt große Freiflächen (naturnahe oder landwirtschaftliche Flächen) und erzeugt so Flächennut-

zungskonkurrenzen. Erneuerbare Energie erfordert durch ihre schwankenden Erzeugungsmengen eine weiträumige Verteilung großer Strommengen, was die Errichtung von neuen Hochspannungsleitungen bedingen kann, welche Landschaft und Ökosysteme zusätzlich stören können [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 3.4.2}

Infrastruktur für Verkehr, Energieversorgung und Informations- und Kommunikationstechnologie ist einerseits ein Treiber für Siedlungsentwicklung, andererseits selbst Auslöser von Versiegelung und Verbrauch landwirtschaftlicher oder naturnaher Flächen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Vor allem hochrangige, kreuzungsfreie Straßen- und Schienentrassen verbrauchen große landwirtschaftlich wertvolle Flächen, „zerschneiden“ Landschaften und Wegenetze und stören damit die kleinräumige Erreichbarkeit, Ökosysteme (etwa Wildwechsel) sowie die landschaftliche Attraktivität [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Durch den Bau von Straßen und anderer Infrastruktur wird die Landschaft zunehmend fragmentiert, was zu Habitat- und Biodiversitätsverlust führt und sich negativ auf die Wanderbewegungen von Tieren auswirkt [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 3.4.2}

Kapitel 4: Anpassungsoptionen in der Landnutzung an den Klimawandel

Andreas Baumgarten⁵, Katharina Lapin², Silvio Schüler², Alexandra Freudenschuss², Manfred J. Lexer¹, Julia Miloczki⁵, Taru Sandén⁵, Günther Schauburger¹³, Andreas Schaumberger³, Christine Stumpp¹, Ottavia Zoboli¹⁴

Nachwuchswissenschaftler:

Bastian Bertsch-Hörmann¹

Im Lichte der existierenden Unsicherheiten hat eine vorrausschauende Planung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel maßgebliche Vorteile [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Obwohl zahlreiche Informationen und Ansätze zur frühzeitigen, proaktiven und langfristigen Klimawandelanpassung vorhanden sind, erfolgt die Planung und Umsetzung in der Praxis oft reaktiv [hohe Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Da ein Großteil der Anpassungsentscheidungen auf lokaler bzw. betrieblicher Ebene von Landbewirtschaftler_innen getroffen wird, ist die Einbeziehung der zugrunde liegenden sozialen Prozesse eine Voraussetzung für eine erfolgreiche Implementierung [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Landbewirtschaftler_innen entscheiden sich nur dann für Anpassungsmaßnahmen, wenn sie effektive Maßnahmen kennen, Eigenverantwortung annehmen und die verbundenen Kosten positiv bewerten. Deshalb sollten Informationsstrategien die Einbindung von regionalen und betriebstypspezifischen Be-

dürfnissen und Herausforderungen, Anpassungskosten sowie Nutzen für den Betrieb berücksichtigen. {Abschn. 4.1; 4.2.1}

Eine standortangepasste Bewirtschaftung hinsichtlich Bodenbearbeitung, Nährstoffmanagement und Wassermanagement baut Humus im Oberboden auf, sichert die Bodenfunktionen und erhöht dadurch das Anpassungspotenzial im Ackerbau [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Aufgrund kleinräumiger Topografien und Klimaregionen sind die Produktionssysteme der österreichischen Landwirtschaft durch große regionale Unterschiede geprägt, vor allem in der Niederschlagsverteilung. Die Vulnerabilität gegenüber dem Klimawandel ist folglich sehr unterschiedlich. Es ist davon auszugehen, dass sich die klimatischen Veränderungen (steigende Temperatur, sinkende Wasserverfügbarkeit, häufigere Wetterextreme) auf diverse Bodenparameter auswirken werden, vor allem auf den Wasserhaushalt und den Humusgehalt [hohe Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Angesichts der erwarteten stärkeren Wind- und Wassererosion und der beschleunigten Zersetzung geht Bodensubstrat verloren, und der Humusgehalt kann sich verringern [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 4.2.1}

Ein zentraler Hebel der landwirtschaftlichen Klimawandelanpassung ist die nachhaltige Sicherung der Bodenfunktionen, insbesondere die langfristige Stabilisierung eines optimalen Humusgehaltes, die Verbesserung der Bodenwasserverfügbarkeit und die Erhöhung der biotischen Aktivität [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Humusreiche (kohlenstoffreiche) Böden sind widerstandsfähiger gegenüber Extremereignissen wie Starkregen und Dürre, haben ein vermindertes Erosionsrisiko und erbringen vor allem mittel- bis langfristig höhere Erträge [hohe Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Humusaufbauende und -erhaltende Maßnahmen umfassen organische Düngung, konservierende Bodenbearbeitung, eine vielfältige und standortangepasste Fruchtfolge, Zwischenfruchtanbau und Zwischenbegrünung. Mulch- und Direktsaat sowie „No-till“ sind besonders in Trockenperioden wichtige Anpassungsmaßnahmen, da die Bodenbedeckung mit Ernterückständen und lebenden Pflanzen die Verdunstung senkt und das Wasserrückhaltevermögen erhöht [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die Anreicherung von Kohlenstoff als Humus trägt im Allgemeinen auch zur Minderung des Klimawandels bei, jedoch können sich hier Trade-offs mit Nährstoffausträgen, erhöhten Emissionen und vermehrtem Herbizideinsatz ergeben [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 4.2.1}

Maßnahmen des Wassermanagements, die die Verbesserung der Wassernutzungseffizienz (u. a. durch ackerbauliche Maßnahmen) und eine nachhaltige Nutzung der regionalen Wasserressourcen gewährleisten, zeigen starke Vorteile bei der Anpassung, finden jedoch in Österreich bisher kaum Umsetzung [robuste Evidenz,

hohe Übereinstimmung]. Bewässerung ist eine Maßnahme, um landwirtschaftliche Erträge in Regionen mit abnehmenden Niederschlagsmengen oder zur Überbrückung von Trockenperioden zukünftig zu sichern, in Abhängigkeit der regionalen Verfügbarkeit von Oberflächen- und Grundwasser [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die Effizienz von Anpassungen der Bewässerung in der Landwirtschaft wird durch bedarfsorientierte Steuerung erhöht [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung], dabei wird der tatsächliche Pflanzenwasserbedarf in Abhängigkeit von den Bodeneigenschaften bestimmt. Dies kann so einerseits die Entnahme von Grund- und Oberflächenwasser optimieren und andererseits negative Auswirkungen auf Wasserökologie und -qualität minimieren [hohe Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Zusätzlich müssen Entnahmekapazitäten langfristig geplant und regionale Wasserwirtschaftspläne erstellt werden. Wenn eine künstliche Bewässerung nur sehr begrenzt möglich ist, kann die Wasserverfügbarkeit bzw. Wassernutzungseffizienz vermehrt mittels ackerbaulicher Methoden (z. B. Optimierung der Bodenbedeckung und Bodenbearbeitung) gesteigert werden [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 4.2.1}

Die Optimierung der Fruchtfolge und die Diversifizierung der landwirtschaftlichen Produktion erhöhen die Resilienz gegen (klimawandelbedingte) Stressfaktoren und tragen zur Ertragsstabilität bei [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Eine abwechslungsreiche Fruchtfolge, Zwischenfruchtanbau, Mischkulturen, Untersaaten, Landschaftselemente und Agroforstsysteme erhöhen die Strukturdiversität und somit auch die Widerstandskraft des landwirtschaftlichen Systems gegen extreme Wetterbedingungen und gegen Unkraut- und Schädlingsdruck [hohe Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Diese Strukturen tragen zudem positiv zur Biodiversität bei [hohe Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 4.2.1}

Die prognostizierten Klimabedingungen erfordern die Prüfung und Etablierung neuer, angepasster Kulturarten oder Sorten, um Erträge zukünftig sicherstellen zu können [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Um mehr Diversität und Anpassungsfähigkeit an klimatische Veränderungen in der Pflanzenzüchtung zu erreichen, sind verwandte Wildarten von Nutzpflanzen eine wichtige Ressource [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Wildarten weisen oft größere Resistenz gegen hohe Temperaturen und Trockenheit sowie gegen Schädlinge und Krankheiten auf. Ein großes Potenzial wird auch in der Anwendung von Mikrobiomen der Pflanzen und des Bodens gesehen. Durch die Selektion und Züchtung von Pflanzen hinsichtlich ihrer Assoziation mit nützlichen Mikroorganismen können Toleranzen gegen Trockenheit, Salzgehalt und Pathogene verbessert und Erträge und die Nährstoffnutzungseffizienz gesteigert werden [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 4.2.1}

Anpassungsmaßnahmen im Bereich der agrarwirtschaftlichen Intensivierung können die Verfügbarkeit und Qualität des Wassers und die Biodiversität negativ beeinflussen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Der erhöhte Einsatz von Pflanzenschutzmitteln im Ackerbau hat beispielsweise negative Auswirkungen auf die Wasserqualität und die Biodiversität; besonders Bestäuber und andere Nützlinge sind hier betroffen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Ein anderes Beispiel ist die nachhaltige Intensivierung in der Tierhaltung, die weniger Energie und Ressourcen pro Tier oder Fleisch verbraucht, aber durch mehr Gülleproduktion den Stress auf die Wasserqualität erhöht [mittlere Konfidenz]. Intensive Landnutzungen führen außerdem meist zu einer Homogenisierung der Artenzusammensetzung, mit einer Ausbreitung von Generalisten auf Kosten von Spezialisten, und gefährden somit die Biodiversität nicht nur auf Artenniveau, sondern auch genetisch und funktionell [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Dies führt zu einer verringerten Resilienz und Anpassungsfähigkeit der Arten sowie auch der Ökosysteme gegenüber klimawandelbedingten Veränderungen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 4.1.1; 4.2.1; 4.2.4.1; 4.2.4.2; 4.3.4}

Der Schutz und Erhalt der Biodiversität sichert die Leistung der Ökosystemfunktionen und ist eine wichtige Anpassungsmaßnahme in der Landnutzung [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Anpassungen in der Landnutzung im Widerspruch mit dem Schutz der Biodiversität sind nicht nachhaltig. Zahlreiche Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel tragen gleichzeitig auch zur Förderung der Biodiversität bei und wirken sich positiv auf die Erfüllung von Biodiversitäts- und Klimaschutzziele aus [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 4.1; 4.1.2}

Die veränderte Ausbreitung und das Schadenspotenzial von Schadorganismen und Pflanzenkrankheiten im Klimawandel benötigen angepasste Pflanzenbaumethoden, effizienten Pflanzenschutz und gezielte Resistenzzüchtung [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Klimatische Veränderungen im Zuge des Klimawandels können die Ausbreitung und das Schadenspotenzial von Schadorganismen (Insekten, Krankheiten) und Beikräutern sowie deren Wechselwirkungen mit Kulturpflanzen erheblich beeinflussen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Klimatische Veränderungen und Extremwetterereignisse machen Ökosysteme außerdem anfälliger für die Etablierung und/oder Ausbreitung von Schädlingen, beispielsweise durch die Entstehung ökologischer Nischen für nichtheimische Arten [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Erhöhte Temperaturen bewirken eine Verschiebung des Verbreitungsgebietes von Schadorganismen weiter nach Norden und/oder in größere Höhenlagen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung] und führen zu einer Steigerung der Reproduktionsraten, der Vitalität, des Wachstums und der Lebendüber-

winterung [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Einem vermehrten Auftreten von Schadorganismen und Pflanzenkrankheiten kann mit Pflanzenschutzmethoden, wie z. B. der Etablierung vielfältiger Fruchtfolgen, der Förderung von Nützlingen und einer aktiven Bodenfauna sowie mit gezielter Resistenzzüchtung, entgegengewirkt werden [hohe Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Da das Wissen über die Ausbreitungsmuster und komplexen ökologischen Wechselwirkungen noch spärlich ist und konkrete Lösungen zur Eindämmung der Schadorganismen und Krankheiten benötigt werden, kommen der Forschung und dem langfristigen Monitoring eine hohe Priorität zu [mittlere Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. {Abschn. 4.2.1}

Die Erhaltung des Grünlandes mit seinen vielfältigen Funktionen trägt zum Klimaschutz bei [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung] und hängt weitgehend von einer standortgerechten Bewirtschaftung ab, die durch Anpassung der Pflanzenbestände, technische Innovationen und optimale Flächennutzung auf Klimaveränderungen reagieren kann [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die Umstellung auf Kulturarten mit geringerem Wasserbedarf wie Silomais oder Getreide in umbruchfähigen Lagen aufgrund von steigenden Temperaturen und eingeschränkter Wasserverfügbarkeit sollte vermieden werden. Problematisch ist dies deshalb, da das Dauergrünland mit vergleichsweise hohen Humusgehalten in einem stabilen, fruchtbaren und gut durchwurzelten Oberboden einen positiven Beitrag zum Kohlenstoffhaushalt leistet, der bei einem Umbruch verloren geht [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Standortangepasste Bewirtschaftung und die Versorgung der Flächen mit Wirtschaftsdüngern (Gülle, Stallmist, Jauche) fördern den Aufbau von Bodenhumus und tragen wesentlich zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit bei [mittlere Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. Technische Maßnahmen wie Bewässerung oder fernerkundungsbasiertes Ertragsmonitoring unterstützen Grünlandbetriebe in einer effizienten Bewirtschaftung und federn klimatisch bedingte Risiken ab [hohe Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 4.2.2}

Die Anpassungsfähigkeit des Grünlandes schafft Raum für unterschiedliche Maßnahmen, die von Änderungen der Nutzungshäufigkeit mit darauf abgestimmter Nährstoffversorgung bis hin zum Einsatz von trockenheitsresistenten Sorten und Mischungen reichen [hohe Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Mögliche Anpassungsmaßnahmen und -strategien der Züchtung für inneralpine Pflanzenbestände sind (i) eine Erweiterung des Artenspektrums in Grünlandmischungen für trockengefährdete Standorte, (ii) eine Intensivierung der Zucht auf trockenresistente Sorten unter Einsatz neuer Methoden, um Zuchterfolge schneller zu erkennen, und (iii) eine erhöhte Widerstandsfähigkeit gegenüber den bereits etablierten und neu auftretenden Krankheiten und Erregern als Zuchtziel neuer Sorten. Neben den spezifischen Sorteneigenschaften kommt der Mi-

schungsgestaltung große Bedeutung zu. Durch die Kombination von verschiedenen Sorten und Arten unter Einbeziehung ihrer funktionalen Merkmale kann sich der Bestand gut an widrige Witterungsbedingungen anpassen und so Ertragsausfälle deutlich verringern [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 4.2.2}

Eine Orientierung an der Verfügbarkeit von Ressourcen (Flächen- und Biomasseangebot) unter der Berücksichtigung des Konkurrenzverhältnisses zwischen Futterproduktion und Nahrungsproduktion erlaubt die zukünftige Entwicklung einer nachhaltigen Nutztierhaltung [hohe Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Wesentliche Kriterien der Entscheidung zwischen einer nachhaltigen Intensivierung oder Extensivierung der Nutztierhaltung sind der Flächenbedarf, die Flächennutzung, die Umweltbelastung sowie die Produktionsziele [hohe Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Schutzabstände/Pufferzonen zwischen Tierhaltungsbetrieben und stickstoffempfindlichen Ökosystemen (z. B. Feuchtgebiete, Magerrasen, Heide, Bäume und Waldökosysteme, insbes. Nadelbäume auf sauren Standorten) sowie Natura-2000-Gebieten vermeiden die Überschreitung von ökosystemspezifischen Belastungsgrenzen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 4.2.4.2; 4.2.4.3}

Die weidebasierte Milch- und Fleischproduktion auf den Almen, in der Viehbesatz und Standortpotenzial in einem Gleichgewicht stehen, stellt eine nachhaltige Produktionsstrategie mit einer vergleichsweise hohen Umweltverträglichkeit dar [mittlere Konfidenz]. Nicht mehr ausreichend oder optimal genutzte Flächen, insbesondere Almen, stellen wertvolle Ressourcen dar, die in Zukunft auch als Futtergrundlage verstärkt genutzt werden könnten [mittlere Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. Umfassende und adäquate Subventionen sind eine Möglichkeit zur Förderung einer flächendeckenden, dafür moderaten Almbewirtschaftung in Österreich und einer damit verbundenen Grundfutterversorgung, einer positiven Wasserbilanz sowie einer hohen Biodiversität [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Allerdings sind Bewirtschaftungs Nachteile, besonders in Hinblick auf Nutzung und Düngung und die nötige Arbeitszeit, für ein standortangepasstes Almmanagement damit verbunden. Fördermaßnahmen können hier ausgleichend wirken [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 4.2.2}

Eine vorausschauende, standorts- und klimaangepasste Baumartenwahl ist der stärkste Hebel für die Erhaltung der Multifunktionalität und der vielfältigen Ökosystemleistungen der Wälder [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Baumarten weisen eine art- und herkunftsspezifische Toleranz in Bezug auf klimatische Umwelteinflüsse wie z. B. Trockenheit, Hitze und Frost auf. Eine Abstimmung der Auswahl von Baumarten und Samenherkünften sowie deren Zusammenstellung in Mischbeständen auf die möglichen zukünftigen Klimabedingungen, erlaubt das Risiko von unkontrollierter Baummortalität und damit

verbundenen negativen Auswirkungen auf die Bereitstellung von Ökosystemleistungen zu senken [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Mischbestände reduzieren, im Vergleich zu Reinbeständen, das Auftreten von spezialisierten Forstschädlingen und den von ihnen verursachten Schäden [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung], können (in Abhängigkeit von den beteiligten Baumarten und Klimabedingungen) eine höhere Produktivität und Gesamtwuchsleistung aufweisen [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung] sowie während und nach Trockenperioden geringere Wachstumseinbußen, eine bessere Erholung und/oder geringere Mortalitäten bewirken [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Der klimabedingte Ausfall von einer oder mehreren Baumarten der Mischung führt bei entsprechend gewählten Mischungsanteilen nicht zu einem vollständigen Verlust des Bestandes. Werden Baumarten mit unterschiedlichem Verjüngungsverhalten gemischt, erhöht dies die Resilienz [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Zudem kann ein Anteil von Baumarten mit Pioniereigenschaften (z. B. häufige und intensive Samenproduktion) die natürliche Wiederbewaldung im Störungsfall deutlich beschleunigen. Auch können bei „smarten“ Baumartenmischungen durch Steuerung der Baumartenanteile im Laufe des Bestandslebens sich manifestierende klimatische Entwicklungstendenzen berücksichtigt werden [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Nichtheimische Baumarten können einen wichtigen Beitrag zur Erhaltung von Ökosystemleistungen liefern, wenn auf bestimmten Standorten, zum Beispiel in Tieflagen, die Toleranzgrenzen heimischer Baumarten im Klimawandel überschritten werden. Allerdings kann es hier zu Konflikten mit Biodiversitätszielen kommen, die in Anbauempfehlungen zu berücksichtigen sind [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 4.3.2}

Eine Absenkung des schädlichen Wildeinflusses durch ein integratives Wildtiermanagement sichert eine zukunftsfähige Waldverjüngung, die das volle Spektrum heimischer Baumarten umfasst [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Auf einem Großteil der verjüngungsnotwendigen Waldfläche wird die Verjüngung von Baumarten, die für die Begründung zukunftsfähiger Wälder im Klimawandel erforderlich sind, durch Schalenwildeinfluss erschwert oder lokal bis regional unmöglich gemacht [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. In höheren Lagen sind davon v. a. Tanne und Bergahorn, in den Tieflagen vor allem Eichen, Ahorn und andere Laubbaumarten betroffen. Abhilfe kann nur eine wildökologische Raumplanung sowie ein integratives Wald- und Wildmanagement unter Einbeziehung aller Akteur_innen aus Forstwirtschaft, Jagd, Landwirtschaft, Tourismus, etc. bringen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 4.3.1}

Ein aktives Waldmanagement, welches auf die Resistenz, Resilienz und Anpassungsfähigkeit von multifunktionalen Wäldern ausgerichtet ist, stärkt deren Fähigkeit

zur Bereitstellung vielfältiger Ökosystemleistungen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Durch sich intensivierende Störungsregime (Trockenheit, Wind, Schnee, Borkenkäfer) im Klimawandel werden einige wichtige Ökosystemleistungen wie z. B. der Schutz vor gravitativen Naturgefahren, der Schutz von Trinkwasserressourcen und die Kohlenstoffspeicherung, negativ beeinflusst [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Eine aktive Waldbewirtschaftung unter Berücksichtigung geeigneter Baumarten und Herkünfte, der Förderung vitaler Einzelbäume und stabiler Bestandsstrukturen und einer vielfältigen Waldverjüngung kann diese Risiken minimieren und gleichzeitig dazu beitragen, die Biodiversität zu verbessern [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Eine angepasste Bestandsdichte bewirkt während und nach Trockenperioden eine höhere Resistenz bzw. bessere Erholung und sichert die langfristige Stabilität gegenüber mechanischen Belastungen durch Schnee und Sturm und damit insgesamt eine geringe Mortalität [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Waldbauliche Maßnahmen des Biodiversitätsschutzes zur Vermeidung von Habitatfragmentierung und Isolation beinhalten die Erhaltung bzw. Förderung von Totholzinseln und Habitatbäumen und die Anlage von Trittsteinbiotopen und Korridoren [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 4.3.2}

Die Konnektivität von Schutzgebieten untereinander und mit anderen natürlichen und naturnahen Lebensräumen fördert die Anpassungsfähigkeit der Ökosysteme und ermöglicht die klimabedingte Migration von Arten zu deren Überleben [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Schutzgebiete stellen wichtige Refugien für seltene Pflanzen- und Tierarten dar. Die Fragmentierung von Lebensräumen ist eine Ursache für den Verlust von Biodiversität in Österreich [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Insbesondere im Alpenraum sind der Schutz und die Vernetzung von Lebensräumen und Schutzgebieten, sog. ökologische Netzwerke, über natürliche Korridore oder Trittsteinbiotope notwendig, um den genetischen Austausch und damit den Arterhalt zu sichern [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die Erhöhung der Konnektivität von Lebensräumen fördert auch die Erhöhung der Habitatqualität außerhalb von Schutzgebieten [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Als Anpassungsmaßnahme jenseits von Flächenausweitungen ist die Erhöhung der Habitatqualität außerhalb von Schutzgebieten eine Möglichkeit, um zusätzlich potenzielle Lebensräume für viele Zielarten der Schutzgebiete zu schaffen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die Gewährleistung eines genetischen Austausches zwischen Populationen erhöht zudem die Anpassungsfähigkeit von Arten an sich verändernde Umweltbedingungen und ist für den Fortbestand der Artenvielfalt notwendig [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 4.3.3; 4.3.4}

Durch die Erweiterung des konservierenden Naturschutzes um einen dynamisch-integrativen Biodiversi-

tätsschutz ergeben sich neue Handlungsmöglichkeiten für den Schutz von Biodiversität und die nachhaltige Nutzung der biologischen Ressourcen außerhalb von Schutzgebieten [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Das Schutzgebietsmanagement, welches derzeit je nach Schutzgebietskategorien und den jeweiligen Erhaltungszielen variiert, erfordert mit fortschreitenden Klimaveränderungen, Umweltverschmutzungen und einer steigenden Besucherfrequenz regelmäßige Managementeingriffe (z. B. ein kontinuierliches Monitoring von invasiven nichtheimischen Arten, die rechtzeitige Identifizierung von Gebieten mit zukünftigen Schutzbedürfnissen und von Möglichkeiten zur Renaturierung oder die Erhaltung der Lebensräume von gefährdeten regionalen Tier- und Pflanzenarten). Bestehende Zielarten- und Lebensraumkonzepte sollten außerdem klimasensible Arten berücksichtigen, da mit neuen schutzbedürftigen Arten zu rechnen ist [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Zu den Handlungsoptionen zählen auch der Schutz von pflanzenbestäubenden Arten sowie von ursprünglichen Wildformen von Nutztieren und Nutzpflanzenarten, die zur Entwicklung neuer, angepasster Kultursorten in laufenden Zuchtprogrammen verwendet werden. Hier ist der In-situ-Schutz (Erhaltung im Lebensraum) als wichtiger zu erachten als der Ex-situ-Schutz (Erhaltung über Samenbanken oder Zoos). {Abschn. 4.3.3; 4.3.4}

Grüne und Blaue Infrastruktur (Pflanzen und Wasser) tragen dazu bei, die zunehmende Anzahl von Hitzetagen und Tropennächten im dichten Siedlungsbestand zu reduzieren [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Der städtische Hitzeeinseleffekt kann minimiert werden, wenn Gebäudestrukturen, Materialien und das Verhältnis von versiegelten zu offenen, grünen Flächen und blauer Infrastruktur in Städten entsprechend angepasst werden [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Aufgrund der natürlichen Kühlung (durch Evapotranspiration) und Beschattung absorbierender Oberflächen können Grünflächen und Vegetation, neben der Erhöhung des Anteils von Wasserflächen, als ein Schlüsselement der Klimawandelanpassung bezeichnet werden [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Damit die Pflanzen ihre volle mikroklimatische Wirkung entfalten können, müssen sie ausreichend bewässert werden. Der Wasserbedarf für Stadtgrün kann dabei erheblich und der langfristige Erhalt von Begrünung kann gefährdet sein, wenn dieser Aspekt als wesentlicher Teil der Planung bzw. der Umsetzung nicht mitbetrachtet wird [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Durch ein integriertes, nachhaltiges Wassermanagementsystem und durch die Implementierung von Wasserretentionsmaßnahmen (z. B. Schwammstadtprinzip) kann man Überflutungen reduzieren, das Regenwasser in trockeneren Perioden verfügbar machen und Wasserkörper vor Schadstoffimmissionen schützen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung].

Kapitel 5: Minderung des Klimawandels

Florian Kraxner¹⁵, Werner Zollitsch¹, Charlotte Kottusch¹⁵, Viktor J. Bruckman¹⁶, Stephan Glatzel¹⁷, Robert Jandl², Thomas Lindenthal¹, Carmen Schmid⁸, Michaela Theurl⁸, Tanja Tötzer¹⁸

Nachwuchswissenschaftler_innen:

Paula Bethge¹ und Bastian Bertsch-Hörmann¹

Die Umsetzung von Minderungsmaßnahmen beeinflusst die ökologischen Funktionen und Dienstleistungen (z. B. Nährstoffkreislauf, Biodiversität) der Ökosysteme sowie ökonomische (Produktion) und soziale Komponenten (z. B. Erholung) der Landnutzung [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Minderungsmaßnahmen(bündel) stellen, wegen der oftmals gegebenen Notwendigkeit grundlegender Änderungen etablierter Prozesse und möglicher Interessenskonflikte mit Produktionszielen, die agrarische und forstliche Praxis häufig vor große Herausforderungen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Das Minderungspotenzial der verschiedenen Landnutzungsarten ist abhängig von deren konkreter Charakteristik und steigt mit der Entfernung des aktuellen Zustandes der Landnutzungssysteme von einem (ökologischen) Optimalzustand [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 5.1.1; 5.2.2; 5.4}

Das Minderungspotenzial in Land- und Forstwirtschaft kann durch räumliche bzw. sektorale Verlagerung von Treibhausgasemissionen („Carbon Leakage“, „Spillover“-Effekte) oder indirekte Landnutzungsänderungen reduziert werden [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Da die Märkte für agrarische und forstliche Produkte weitgehend globalisiert sind, müssen Minderungsmaßnahmen, die mit Veränderungen der Produktpalette verbunden sind, auf Verlagerungseffekte sowie direkte und indirekte Landnutzungsänderungen untersucht werden [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Diese Faktoren sind auch bei der Erstellung von Emissionsbilanzen zu berücksichtigen [hohe Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 5.2.1; 5.2.2; 5.3.2}

Die zusätzliche Speicherung (Sequestrierung) von atmosphärischem CO₂ in landwirtschaftlich genutzten Böden stellt eine mittelfristige Option zur Minderung des Klimawandels dar [mittlere Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. Das Sequestrierungspotenzial hängt allerdings von zahlreichen Faktoren (Bodenart, Wasserhaushalt, Temperatur, etc.) ab und ist mit vielen Unsicherheiten behaftet, da in diesem Zusammenhang außerdem die Freisetzung anderer Treibhausgase wie N₂O und CH₄ zu berücksichtigen ist [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Durch optimiertes landwirtschaftliches Bodenmanagement wird angestrebt, den Vorrat an organisch gebun-

denem Kohlenstoff im Boden zu erhöhen und gleichzeitig fördernd auf Bodengesundheit, Produktivität und damit die Ernährungssicherheit sowie die Anpassung an den Klimawandel zu wirken. Dies erscheint v. a. an Standorten mit niedrigem Ausgangsgehalt an organischem Bodenkohlenstoff erfolgversprechend; an Standorten, an denen solche Maßnahmen in der Vergangenheit bereits umgesetzt wurden, ist ein deutlich geringerer Effekt zu erwarten [hohe Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 5.2.1}

Durch Mineraldünger verursachte CO₂- und N₂O-Emissionen, einschließlich denjenigen aus Herstellung, Verpackung und Transport, liegen mit 76 % an erster Stelle, weit vor den Emissionen durch Maschinen (9,7 %) und Pestizideinsatz (1,6 %) im Ackerbau [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Der Stickstoffüberschuss auf den Marktfuchtbetrieben Österreichs liegt, je nach Betriebsform, in den konventionell wirtschaftenden Betrieben zwischen 34,4 und 44,8 kg/ha, während die Biobetriebe mit Werten zwischen 22,0 und –5,6 kg/ha deutlich darunter liegen [hohe Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. Unter pflanzenbaulichen Gesichtspunkten ist der legume Feldfutteranbau, bei gleichzeitiger Reduktion des Silomaisanteils, die effizienteste Maßnahme zur Reduktion des mineralischen Stickstoffeinsatzes und der damit verbundenen N₂O-Emissionen, denn Leguminosen-basierte Pflanzenbestände emittieren deutlich weniger CO₂e als N-gedüngte [mittlere Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. {Abschn. 5.1.1.1}

Die Umstellung des Bewirtschaftungssystems (z. B. konventionell – integriert – biologisch) im Acker-, Garten-, Obst- und Weinbau, aber auch in der Grünlandbewirtschaftung und Nutztierhaltung, kann das Minderungspotenzial der Landnutzung beeinflussen [hohe Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. Minderungsmaßnahmen können im Sinne einer systemischen, gesamtbetrieblichen Optimierung u. a. mit der Wahl eines standortangepassten Intensitätsniveaus, der Gestaltung von Anbausystemen (bis hin zu Agroforstsystemen) und der Fruchtfolge (einschließlich Zwischenfrüchte), der Integration einer angepassten Nutztierhaltung, einer Optimierung des Düngermanagements unter Nutzung geeigneter technologischer Optionen (bis hin zu „Precision Farming“) kombiniert werden. Bodenschutzmaßnahmen bzw. eine bodenschonende Bewirtschaftung tragen erheblich zum Minderungspotenzial in der agrarischen Landnutzung, sowohl im Ackerbau (durch Humusanreicherung, Bodenstabilisierung und eine erhöhte biotische Aktivität) als auch in der Grünlandbewirtschaftung (durch das Vermeiden von Bodenverdichtungen) bei. Eine biologische Bewirtschaftung birgt deshalb hohe Minderungspotenziale, kann aber kurzfristig zu Interessenskonflikten (insbesondere mit der Produktivität) führen. Allerdings sorgen die langfristig gesicherten Bodenfunktionen für eine zukünftige Ertragssicherheit [mittlere Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. {Abschn. 5.1.1.1; 5.1.1.2}

Im Dauergrünland als umbruchslosem System stellen v. a. die Vermeidung von Bodenverdichtung und die Sicherstellung einer an die Standortbedingungen angepassten Bewirtschaftung spezifische Minderungsoptionen dar [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die Intensivierung der Grünlandbewirtschaftung führt zu einer Bodenverdichtung, vor allem durch häufigeres Befahren mit landwirtschaftlichen Geräten und Maschinen und erhöhten Viehtritt durch stärkere Beweidung [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Durch Bodenverdichtung wird die Staunässebildung gefördert, welche, in Kombination mit reichlicher Düngung, erhöhte N₂O-Emissionen verursacht [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. In Böden unter Dauergrünland sind bereits hohe Mengen Kohlenstoff gespeichert, weshalb das zusätzliche Sequestrierungspotenzial relativ gering ist [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die C-Speicherung im Boden ist bei mittlerer Bewirtschaftungsintensität (regelmäßige Düngung mit Mist oder Kompost, zwei bis vier Nutzungen pro Jahr) am höchsten [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Eine Düngung zur Erhöhung des C-Vorrats im Boden ist auf artenreichen Magerwiesen und -weiden allerdings eine biodiversitätsmindernde Maßnahme, denn eine regelmäßige Mahd ohne Düngung mit Entfernung des Mähgutes ist Grundvoraussetzung für eine hohe Pflanzenartenvielfalt. Sie führt außerdem langfristig durch den C-Export mit der Ernte zu einem Humusabbau [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Es besteht somit ein Konflikt zwischen Produktivität, Klimaschutz und Biodiversitätsschutz. {Abschn. 5.1.1.1; 5.1.1.2}

Die Integration einer standortangepassten Nutztierhaltung trägt zur Erhaltung des Dauergrünlandes bei und bietet dadurch ein erhebliches Minderungspotenzial. Darüber hinaus beinhaltet eine Abstockung der Tierbestände grundsätzlich ein großes Potenzial zur Reduktion der THG-Emissionen der österreichischen Nutztierhaltung [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Im Besonderen ist die Reduktion der Tierzahlen in jenen Tierkategorien diskussionswürdig, bei denen der Selbstversorgungsgrad deutlich über 100 % liegt, wie bei Rindfleisch. Die Emissionen der Tiere und des Wirtschaftsdüngers aus der Rinderhaltung machen etwa 5 % der gesamten österreichischen Treibhausgasemissionen aus [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Aufgrund der (annähernd) linearen Beziehung zwischen dem Tierbestand und seinem relativen Anteil an den Gesamtemissionen würde eine Reduktion des Rinderbestandes um 20 % eine Reduktion der Gesamtemissionen um 1 % bewirken. Die Verringerung von Nutztierpopulationen birgt allerdings Interessenskonflikte v. a. zur Wirtschaftlichkeit und den aktuellen Ernährungsmustern [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Eine konsequente Nutzung primär heimischer Futterressourcen in der Nutztierhaltung zeigt ein hohes Potenzial zur Reduktion von globalen THG-Emissionen, würde aber v. a. in der Fleisch-

und Eierzeugung eine Verminderung des Produktionsumfanges bedingen. Hier bestehen positive Beziehungen zu den konsumseitigen Strategien, die ebenso auf eine Reduktion tierischer Lebensmittel abzielen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Innerhalb der Nutztierhaltung bestehen Minderungsoptionen auf unterschiedlichen Ebenen, wie z. B. in der Zucht, Haltung und Fütterung sowie dem (Wirtschaftsdünger-)Management [hohe Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. Das Wirtschaftsdüngermanagement hat einen erheblichen Einfluss auf die Minderung von THGs (v. a. CH_4 und N_2O). Schleppschlauchtechnik, die Injektion von Gülle direkt in den Boden, die Reduktion der ausgebrachten Mengen, angepasst an den zeitlichen Bedarf, sowie die Einarbeitung von Mist tragen zu weiteren THG-Reduktionen bei [hohe Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. {Abschn. 5.1.1.1; 5.1.1.2; 5.4}

Agroforstsysteme tragen über die Bindung von relevanten Mengen an Kohlenstoff in der pflanzlichen Biomasse und die Integration von Bäumen in Ackerflächen bedeutend zur Kohlenstoffspeicherung, aber auch zur Klimawandelanpassung bei [hohe Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. Das Minderungspotenzial unterschiedlichster Agroforstsysteme wird allgemein als hoch bis sehr hoch eingestuft [hohe Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. Darüber hinaus unterstützen Agroforstsysteme den Natur- und Biodiversitätsschutz sowie die Landschaftsästhetik [hohe Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. Zudem sind begleitende Biotopschutzmaßnahmen im Ackerbau sowohl als Minderungs- als auch Anpassungsstrategien von Bedeutung, denn sie unterstützen den Bodenschutz und die Nährstoffverfügbarkeit. Gehölzstrukturen wirken auch regulierend auf das lokale Klima [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 5.1.1.1}

Der waldbasierte Sektor wirkt sich in dreierlei Hinsicht auf die THG-Bilanz aus: (1) durch die Veränderungen der C-Vorräte im Wald (Biomasse, Totholz, Boden), (2) durch die Veränderungen der C-Vorräte in den Holzprodukten und (3) durch die Vermeidung von THG-Emissionen durch Holzprodukte im Vergleich zu Ersatzprodukten mit höherem THG-Fußabdruck [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Eine Gesamtbeurteilung dieser drei Faktoren (inkl. allfälliger externalisierter THG-Folgen außerhalb des betrachteten Gebietes) ist für die Beurteilung der Wirkung von Klimaschutzmaßnahmen im Wald erforderlich. Im österreichischen Wald sind durchschnittlich 227 t C/ha gespeichert (104 t C/ha in ober- und unterirdischer Waldbiomasse, 121 t C/ha in organischer Auflage und Mineralboden und 2 t C/ha Totholz). Durch natürlich ablaufende Prozesse sowie durch Bewirtschaftungsmaßnahmen sind mittel- bis langfristig Netto-Veränderungen in diesen C-Pools zu erwarten. Besonders relevant sind in diesem Kontext Störungsregime (Sturm, Schnee, Insekten, Trockenheit, Waldbrände), die kurzfristig regional wirksa-

me Veränderungen der C-Pools bewirken können [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Änderungen der Waldbewirtschaftung (z. B. Veränderungen der Umtriebszeit, Intensivierung/Extensivierung der Bewirtschaftung, Wildtiermanagement, Baumartenwahl) wirken sich auf den Kohlenstoffhaushalt (in Biomasse und Boden) von Wäldern aus und haben auch einen Einfluss auf die nachfolgende Klimaschutzleistung durch Holzprodukte [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Durch gezielte Waldbewirtschaftung in Richtung resistenter und anpassungsfähiger Wälder können deren Senkenkapazität optimiert und die Kohlenstoffvorräte aufgebaut werden [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Dies umfasst u. a.: naturnahe, angepasste Baumartenwahl, Naturverjüngung, adaptive Maßnahmen hinsichtlich Klimaänderungen sowie die Reduktion von negativen Einflüssen und Schäden auf bzw. Optimierung von Verjüngung, Zuwachs und Vorrat. Ein unbegrenzter Vorratsaufbau im Wald ist bei gleichbleibender Waldfläche nicht möglich [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Modellierungen zeigen, dass ein stärkerer Temperaturanstieg, eine stärkere Ernte sowie eine Zunahme an Kalamitäten die Netto-Senke des österreichischen Waldes deutlich verringern bzw. diesen von einer Netto-Senke in eine Netto-Quelle umwandeln könnte [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Box 5.1; Abschn. 5.1.2.1; 5.1.2.2; 5.4}

Das Minderungspotenzial von Naturschutzflächen- und Feuchtgebieten kann durch ihren konsequenten Schutz erhöht werden [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. An Standorten, die durch kühle, saure oder feuchte Bedingungen einen gehemmten Abbau organischer Bodensubstanz aufweisen (z. B. Moore und Feuchtgebiete), können ausgewählte Schutz- und Pflegemaßnahmen die Kohlenstoffspeicherung im Boden unterstützen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Das Kohlenstoff-Sequestrierungspotenzial von alpinen Böden ist aufgrund der bestehenden hohen organischen Kohlenstoffvorräte und wegen der fehlenden bzw. extensiven landwirtschaftlichen Nutzung (Almbeweidung) gering [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Minderungsmaßnahmen sind hier deshalb begrenzt sowie aufgrund standortbezogener Besonderheiten mit besonderen Herausforderungen, Limitationen und Trade-offs (soziale und wirtschaftliche Aspekte wie Tourismus und Landschaftsbild vs. Umwelt- und Klimaschutz) verbunden [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Einige durch Landschaftspflege offen gehaltene Flächen würden bei extensiverer oder ausbleibender Pflege langfristig wieder zu Wäldern mit im Vergleich zum Offenland höherer Kohlenstoffspeicherung in Biomasse und Boden. Dies führt an Standorten, die für den Erhalt der Biodiversität gepflegt werden, zu einem Zielkonflikt zwischen Klimaschutz und Biodiversität [mittlere Konfidenz]. {Abschn. 5.1.3.1; 5.1.3.2}

Landwirtschaftlich genutzte Moore sind, da sie in Österreich zum Großteil drainiert sind, eine wesentliche

Quelle der Treibhausgasfreisetzung [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Daher können z. B. die **Extensivierung der Nutzung, die Konservierung von Moorböden und die Renaturierung von Mooren wichtige Minderungsmaßnahmen darstellen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung].** Auch durch eine Anhebung des Wasserspiegels im Moor (z. B. durch Verringerung der Tiefe von Drainagegräben oder der Schließung von Gräben) und den Verzicht auf Abtorfung lässt sich eine Abschwächung der Treibhausgasfreisetzung aus genutzten Mooren erreichen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Dies ist nicht nur unter Naturschutzbedingungen möglich, sondern auch bei landwirtschaftlicher Nutzung ohne Entwässerung, also dem Anbau von nasseliebenden Kulturen, den sogenannten Paludikulturen. {Abschn. 5.1.3.3}

Eine Stellschraube zur Verringerung der THG-Emissionen aus aquatischen Ökosystemen ist die Reduktion der Nährstofffracht (v. a. Stickstoff und Phosphor) in die Gewässer bzw. die Steigerung der Wasserqualität [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. In eutrophierten Gewässern übertrifft die Methanemission jene von CO₂ in Bezug auf die Klimawirksamkeit deutlich. Ein weiterer Faktor ist die Gewässertiefe, denn flache, stehende Gewässer sind verstärkte THG-Emittenten [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die Reduktion der Fließgeschwindigkeit und die Unterbrechung der freien Fließstrecke durch Dämme und Stauhaltung führen deshalb zu einer gesteigerten THG-Produktion und -Emission. Wasserkraftwerke mit Stauhaltung bergen folglich das Risiko erhöhter THG-Emissionen aus dem Gewässer, auch wenn sie durch Wasserkraft als Ersatz für fossile Energieträger an anderer Stelle Emissionen senken können [mittlere Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. Zudem gibt es Trade-offs mit dem Schutz der Biodiversität. {Abschn. 5.1.3.3}

Die versiegelte Fläche nimmt in Österreich sehr stark zu. Durch den unterbundenen Wasser- und Luftaustausch verliert der Boden damit alle seine Funktionen, wie z. B. die Fähigkeit, Wasser zu speichern und zu verdunsten, Schadstoffe zu filtern und Kohlenstoff zu binden [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Österreich weist zudem im europäischen Vergleich einen relativ hohen Grad an Zersiedelung auf [mittlere Konfidenz]. Ein Entgegenwirken der Zersiedelung und der Versiegelung wie auch eine Steuerung der räumlichen Entwicklung ist im Sinne des Klimaschutzes dringend erforderlich [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Der Zusammenhang zwischen Siedlungsstruktur, Infrastruktur (Verkehrsaufkommen) und Energieverbrauch ist dabei zu berücksichtigen. Dichte Siedlungsstrukturen haben einen geringeren Flächenverbrauch, ermöglichen kurze Wege und effiziente Versorgungsstrukturen, erhöhen jedoch auch den lokalen Hitzeinseleffekt. Grüne und Blaue Infrastruktur (Pflanzen und Wasser) sowie Belüftungsschneisen, welche die lokale at-

mosphärische Zirkulation (Talwinde, Stadt/Umland, u. Ä.) fördern, können dabei Abhilfe schaffen und haben positive Effekte auf das Mikroklima [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 5.1.3.4}

Neben den Emissionen bei der Errichtung von Infrastruktur und Gebäuden entstehen Emissionen vor allem durch deren Nutzung [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die wichtigsten Verursacher von THG-Emissionen (inkl. Emissionshandel) im Jahr 2017 waren die Sektoren Energie und Industrie (44,9 %), Verkehr (28,8 %), Landwirtschaft (10,0 % bzw. 14,0 %, wenn der Energieeinsatz für Stickstoffmineraldünger und andere Betriebsmittel inkludiert wird) sowie Gebäude (10,1 %). Gebäude und Verkehr tragen somit zu 38,8 % der österreichischen Gesamtemissionen bei. Werden auch noch die Emissionen aus Industrie und zumindest teilweise aus Energie zu Siedlungsraum und Infrastruktur hinzugerechnet, ergibt sich ein Beitrag von zumindest zwei Dritteln zu den österreichischen Gesamtemissionen. Minderungsmaßnahmen für Infrastruktur und Siedlungsraum müssen daher darauf abzielen, den Energieverbrauch zu reduzieren, effizienter zu gestalten und stärker erneuerbare Energien zu integrieren [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Technische Minderungspotenziale liegen vor allem in der Sanierung des Gebäudebestands, im Umrüsten der Heizsysteme und einer Umstellung von fossilen Energieträgern zu erneuerbaren Energien [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die Mischung von Funktionen und damit Nutzungen innerhalb der Siedlungen sorgt für kürzere Wege und vermindert dadurch den motorisierten Individualverkehr und folglich die damit verbundenen Treibhausgasemissionen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 5.1.3.4}

Die technische Machbarkeit einer Transformation zu einer „Low-Carbon“-Bioökonomie auf Basis inländischer Ressourcen ist nur unter der Voraussetzung gegeben, dass der Energieverbrauch drastisch reduziert, die Nutzung anderer erneuerbarer Energieträger stark ausgeweitet und die Biomasse effizient eingesetzt wird [robuste Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. Die Substitution von Biomasse für fossile Rohstoffe im Sinne der Bioökonomie trägt nur dann zu einer Netto-THG-Reduktion bei, wenn: (1) mehr Biomasse auf der Landfläche wächst als vor der Umwidmung für Bioenergieproduktion und (2) Ernterückstände oder Abfälle als Input verwendet werden, die im Wald einem mehr oder weniger langem Verrottungsprozess ausgesetzt wären und letztlich das gesamte gespeicherte CO₂ wieder emittiert hätten [robuste Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. Das Konzept und vor allem die Umsetzung von Maßnahmen in einer zirkulären Bioökonomie tragen auch nicht zwingend zum Klimaschutz und den Zielen einer nachhaltigen Entwicklung bei [mittlere Konfidenz]. So sind z. B. auf Biomasse basierte Plastikprodukte nicht notwendigerweise biologisch abbaubar und eine Verschärfung

von Landnutzungskonflikten ist im Fall zunehmender stofflicher Nutzung landwirtschaftlicher Biomasse ebenso wahrscheinlich wie im Fall von landwirtschaftlicher Bioenergie. {Abschn. 5.2.1.1; 5.2.1.2}

Bioenergie ist als Ergänzung zu anderen erneuerbaren Energieträgern in Österreich für die regionale und dezentrale Energieversorgung von Bedeutung und trägt zur Emissionsminderung bei [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Hauptaugenmerk muss auf die nachhaltige Produktion (im In- und Ausland), den schonenden Umgang mit Ressourcen (Land, Boden, Düngung, etc.) sowie andere ökologische (z. B. Biodiversität, indirekte Landnutzung), ethische und soziale Faktoren gelegt werden [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Bei einer großflächigen Ausweitung von Biomasseproduktion für Energie müsste man beispielsweise mit einer Konkurrenz zwischen Lebensmittel- und Energieproduktion rechnen [hohe Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Erweitert wird diese Debatte um die wichtige Frage, ob Agrartreibstoffe tatsächlich zur Minderung von THG-Emissionen beitragen können und wie sich ein großflächiger Anbau auf andere wichtige ökologische Indikatoren, wie z. B. Biodiversität, Ökosystemleistungen und Wasserverbrauch, auswirkt. {Abschn. 5.2.1.1; Box 1.1}

Aus THG-Minderungsperspektive sind die stoffliche Nutzung von Biomasse in möglichst langlebigen Produkten, die Ausnützung der Möglichkeiten der Koppel- und Mehrfachnutzung und die energetische Nutzung nach Ausschöpfen dieser Möglichkeiten bzw. am Ende der Produktlebensdauer deutlich vorteilhafter als die sofortige energetische Nutzung ohne bzw. mit nur kurzer vorgelagerter stofflicher Verwertung [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Eine gesteigerte Langlebigkeit und die kaskadische Nutzung von Holzprodukten führen zu einem THG-Minderungspotenzial. Dieses kann bis hin zu einer „negativen Emission“ bei extremer Langlebigkeit (permanente CO₂-Speicherung) gesteigert werden [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Effizienzsteigerungen bezüglich Ressourcenschonung durch deutlich reduzierten Landverbrauch, optimierte Versorgungsketten, die Eindämmung indirekter Landnutzung und den Schutz von Biodiversität können z. B. durch einen Umstieg von konventionellen Biotreibstoffen hin zur Produktion fortschrittlicher Biotreibstoffe erwirkt werden. Grundvoraussetzung ist in jedem Fall eine nachhaltige Biomasseproduktion [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Zertifizierung und beständiges Monitoring können dazu beitragen, die nachhaltige Produktion sicherzustellen. {Abschn. 5.2.1.1; Box 1.1}

Der Wald kann zur Festlegung von Treibhausgasen und damit zur Minderung des Klimawandels auf vier Arten beitragen, durch (1) Maßnahmen der nachhaltigen Waldbewirtschaftung, (2) durch Nutzungseinschränkungen und Außer-Nutzung-Stellung, (3) durch die Produktion von langlebigen Holzprodukten und

(4) durch die Substitution von Materialien mit einem höheren Treibhausgasintensität pro Serviceeinheit [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Emissionsminderungsmaßnahmen der nachhaltigen Waldbewirtschaftung, wie z. B. Erhöhung der Anteile von Mischbeständen, Durchforstungen, der Einsatz von Naturverjüngung und Wildstandsreduktion, sind weitgehend deckungsgleich mit den Anpassungsmaßnahmen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Nutzungseinschränkungen und Außer-Nutzung-Stellung erhöhen die Kohlenstoffvorräte in der Biomasse, im Totholz und in Waldböden stärker als Nutzung [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Der Vorratsaufbau, der durch eine Verringerung der Holznutzung erreicht wird, verringert den Kohlenstoffvorrat in Holzprodukten und dessen Substitutionswirkung [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Der Netto-Emissionsminderungseffekt hängt von den Waldökosystemen, den Störungsregimen, dem Zuwachs, der Nutzungsrate, der Verwendung des genutzten Holzes, der Lebensdauer der Holzprodukte sowie den durch Holzprodukte vermiedenen Emissionen ab. Außer-Nutzung-Stellung erfüllt wesentliche Leistungen für den Schutz der Biodiversität [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die Kohlenstoffspeicherung in Holzprodukten (Schnittholz, Platte, Papier) kann erhöht werden, wenn die Nutzung der Wälder im Rahmen der Nachhaltigkeitskriterien erhöht, die Lebensdauer der Holzprodukte und die kaskadische Nutzung des Rohstoffs verlängert oder mehr Holz für langlebige Holzprodukte herangezogen wird [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Holz aus nachhaltiger Waldbewirtschaftung dient dem Klimaschutz als Substitutionsmaterial für THG-intensivere Materialien. Durch die Verwendung von Holz wird eine erhebliche Menge an Treibhausgasemissionen vermieden, wenn emissionsintensivere Produkte oder Prozesse ersetzt werden, allerdings wird auch der Kohlenstoffvorrat des Waldes durch die Holzernte verringert [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Bei nachhaltiger Waldbewirtschaftung ist die Substitution (Ersatz fossiler Rohstoffe durch Holzprodukte und die damit vermiedenen Emissionen) ein großer Hebel des waldbasierten Sektors für den Klimaschutz, deren Bedeutung mit zunehmender Dekarbonisierung abnimmt [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 5.1.2; 5.2.1; 5.2.2; Box 1.1}

Die Zunahme des Kohlenstoffbestandes im österreichischen Wald und in den Holzproduktepools hat seit 1990 jährlich zwischen 3,5 % (2020) und 26 % (1999) der österreichischen Gesamtemissionen kompensiert. Wald und Holzprodukte vermögen über einen begrenzten Zeitraum einen Beitrag zur Minderung zu leisten, können aber die Klimakrise nicht lösen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Große Unsicherheiten beziehen sich auf die durchschnittliche Verweildauer von Kohlenstoff in Produkten, in Waldboden und in Totholz sowie auf die Auswirkungen veränderter Störungsregimes auf den Kohlenstoffbestand im Wald. Diese Unsicherheiten stellen wesentliche

Forschungslücken dar, deren Schließung Voraussetzung ist zur verlässlichen Quantifizierung und Abwägung von waldbasierten Klimaschutzmaßnahmen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 1.2.4; 4.3; 5.1.2.3; 5.4}

Gegenwärtig diskutierte Konzepte und Technologien zur dauerhaften Entfernung von CO₂ aus der Atmosphäre („negative Emissionen“) weisen ein stark kontextabhängiges Minderungspotenzial auf [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Diese landnutzungsbasierten (z. B. Aufforstung, BECCS) oder technologiebasierten (Direct Air Carbon Capture mit Kohlenstoffspeicherung/DACCS) Maßnahmen sind einer umfassenden systemischen Bewertung zu unterziehen, um Empfehlungen zur Umsetzung zu entwickeln. Negative Emissionen durch Bioenergie mit CO₂-Abscheidung und -Speicherung (BECCS) oder Aufforstungen können das Minderungspotenzial von land- und forstwirtschaftlicher Fläche erhöhen. Der einhergehende zusätzliche Flächenbedarf, die Permanenzfrage (steigende Gefahr von Ökosystemstörungen durch Klimawandel), mögliche Auswirkungen auf die Nahrungsmittelproduktion, potenzielle Gefahren für die Biodiversität sowie ethische und soziale Aspekte können hier allerdings stark entgegenwirken [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 5.2.2; 5.2.2.5; 5.2.2.6}

Minderungsoptionen und -strategien, die auf eine Veränderung der Konsummuster, d. h. die Nachfrage der privaten Haushalte nach Waren und Dienstleistungen, hinwirken, haben durch die Rückkopplung mit der Primärproduktion einen erheblichen Einfluss darauf, THG-Emissionen der Landnutzung zu reduzieren [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Neben den Bereichen Mobilität und Wohnen können sie daher insbesondere im Bereich Ernährung eine substanzielle Hebelwirkung ausüben. Die Nachfrage kann sich sowohl qualitativ als auch quantitativ verändern: einerseits durch Anreize zur Verminderung des Ressourcenverbrauchs sowie andererseits durch Änderungen der Art des Konsums und dessen, was nachgefragt wird. Dabei können zum einen der physische Rahmen, wie z. B. die gegebene Infrastruktur, und zum anderen soziale und kulturelle Normen auf Möglichkeiten und Ausprägung von Präferenzen und damit auf die Nachfrage wirken. In der Folge von Suffizienzstrategien werden beispielsweise weniger (ressourcenintensive) Güter, Energie oder Dienstleistungen in Anspruch genommen bzw. konsumiert, z. B. durch die Reduktion bestimmter ressourcenintensiver Lebensmittel wie Fleisch und anderen tierischen Lebensmitteln, im Bauwesen durch die Erneuerung des Baubestandes anstelle von Neubau oder durch die kollektive Nutzung von Gegenständen oder Geräten. Zum Bereich Holzprodukte und -services liegen derzeit keine Studien vor, was eine Forschungslücke darstellt. Zu beachten sind sozio-ökonomische Faktoren (wie Gender, Einkommen, Bildung, sozialer Hintergrund, etc.), welche die praktische Effektivität von Strategien bzw.

Maßnahmen beeinflussen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Politische Maßnahmen (z. B. spezifische Steuern, Anreizsysteme, Bildungsmaßnahmen, Maßnahmen der öffentlichen Beschaffung) oder privatwirtschaftliche Maßnahmen (z. B. im Lebensmittelhandel, private Großküchen, Catering, Zertifizierung und Labelprogramme) sind in ihrem Potenzial sehr kontextabhängig und haben je nach Maßnahme geringe bis hohe Minderungspotenziale. {Abschn. 5.3; 5.3.2.1; 5.3.2.2; Kap. 6}

Die Änderung der Ernährungsgewohnheiten hin zu einer vorwiegend auf pflanzlichen, biologisch erzeugten, weitgehend regional und saisonal bezogenen Produkten beruhenden Ernährung hat erhebliche THG-Einsparungen zur Folge [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Daneben stellt die deutliche Reduktion der vermeidbaren Lebensmittelabfälle im gesamten Lebenszyklus eine Minderungsstrategie mit hoher Wirkung dar [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Durch eine gesündere, pflanzenbetonte und klimafreundlichere Ernährung ergibt sich auch ein Synergieeffekt für die Ernährungssicherheit, indem der Flächenbedarf für die Futtermittelproduktion reduziert wird [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Ein deutlich reduzierter Fleischkonsum senkt den Bedarf an Futtergetreide, sodass mehr Fläche für pflanzliche Lebensmittel zur Verfügung steht und sich der Intensivierungsdruck auf die Landwirtschaft senkt. Auch eine Begrenzung der Fleischproduktion auf Weidehaltung, andere sonst nicht nutzbare Nährstoffströme oder die Nutzung primär heimischer Futterressourcen ist mit einer Reduktion der Tierbestände und reduzierten Anteilen tierischer Produkte in der menschlichen Ernährung verbunden [mittlere Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. {Abschn. 5.3.2}

Die in der jeweiligen Lebensmittelwertschöpfungskette zurückgelegten Transportkilometer und die Prozess-emissionen der Lebensmittelverarbeitung bei wenig verarbeiteten Produkten weisen ein geringes Minderungspotenzial auf, sodass, selbst wenn sie über weite Strecken transportiert werden, pflanzliche Lebensmittel immer noch deutlich niedrigere THG-Emissionen verursachen als lokal produzierte tierische Produkte [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Eine Verminderung von vermeidbaren Lebensmittelabfällen um 50 % (von der Produktion bis zum Konsum), einschließlich alternativer Verwertungspfade, hat ebenfalls ein hohes Minderungspotenzial [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung], da durch die Reduktion dieser Lebensmittelabfälle 15–20 % weniger Lebensmittel produziert werden müssten [mittlere Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. Vor allem bei Fleisch- und Milchprodukten würde eine Reduktion der Abfälle die Umweltauswirkungen erheblich verringern, denn trotz der vergleichsweise geringen Masseanteile (von nur 27 % auf europäischer Ebene) dieser Produkte im Lebensmittelabfall, machen sie über 69 % der gesamten THG-Emissionen der

Lebensmittelabfälle aus [robuste Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. {Abschn. 5.3; 5.3.2; 5.3.2.2; 5.3.2.3}

Kapitel 6: Landnutzungsentscheidungen: Klimawandelrelevante Strategien, Steuerungsinstrumente und Managementansätze

Jill Jäger¹², Ina Meyer⁴, Karin Dobernig^{9,19}, Georg Leitinger⁶, Markus Scharler¹², Gerlind Weber¹², Franz Sinabell⁴

Nachwuchswissenschaftlerin:

Paula Bethge¹

Die knappe Ressource Land kann auf vielfältige Art und Weise genutzt werden. Entscheidungen, wie Land genutzt werden soll, wirken sich langfristig auf den Klimaschutz (Mitigation), die Biodiversität und die Resilienz (Anpassung) der relevanten Sektoren – Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Naturschutz, Siedlungen, Verkehrswege, Tourismus – aus [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Aufgrund der Unvermehrbarkeit der Landfläche, der Vielzahl an Nutzungsansprüchen und der mit dem Boden verbundenen Bereitstellung von Ökosystemleistungen entstehen Nutzungskonflikte, und Interessenausgleiche sind unerlässlich. Es ist notwendig, dass sich unterschiedliche Akteur_innen (insb. Öffentliche Hand, Unternehmen, private Haushalte, Interessensvertreter_innen) am Entscheidungsprozess beteiligen und einen Ausgleich finden, wobei aber nie alle Nutzungsansprüche zugleich erfüllt werden können, was zu Zielkonflikten führt [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 6.1; 6.2}

Landnutzungsentscheidungen können langfristige Wirkungen haben, die sich insbesondere aus Pfadabhängigkeiten ergeben (Lock-in-Effekte) [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die Langlebigkeit von Strukturen (z.B. Siedlungen, Verkehrs- und Energieinfrastruktur) resultiert technisch und ökonomisch aus den hohen Anfangsinvestitionen zur Errichtung von Kapitalstöcken, den damit verbundenen, nicht mehr rückgängig zu machenden Kosten und den Netzwerk- und Größenvorteilen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Eine Überwindung und Änderung bestehender Landnutzungsstrukturen wird neben den technisch-ökonomischen Lock-in-Wirkungen auch durch verhaltensbezogene und institutionelle Pfadabhängigkeiten sowie allgemein ein Markt- und Institutionsversagen erschwert [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 6.2; 6.6}

Eine nachhaltige Nutzung und Bewirtschaftung von Land erfordert politische Rahmenbedingungen, die ein sektorübergreifendes Landmanagement ermöglichen und die Land-/Forstbewirtschaftung besser integrieren

[robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Um soziale, wirtschaftliche und ökologische Ziele zu erreichen, sind systemische, sektorübergreifende Ansätze notwendig. Die aktuell auf Wirtschaftswachstum ausgerichteten Produktions- und Konsummuster sind ein wichtiger zugrunde liegender Treiber der nicht nachhaltigen Flächeninanspruchnahme [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 6.8}

Umweltkontraproduktive Subventionen, die gegen eine klimaschonende Landnutzung wirken, existieren nach wie vor [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Umweltkontraproduktive Subventionen umfassen u. a. niedrigere Steuersätze oder Steuerbefreiungen und -ermäßigungen für bestimmte Nutzergruppen (z. B. Verwendung von Dieselmotoren in der Landwirtschaft oder der Fischerei) und bestimmte Produktgruppen wie Fleisch- oder Milchzeugnisse (stickstoffintensive landwirtschaftliche Erzeugnisse). Für Österreich wurde ein durchschnittliches jährliches umweltkontraproduktives Fördervolumen von rund 3,25 Mrd. Euro berechnet. {Abschn. 6.4}

Drei Gebietskörperschaften (Bund, Land und Gemeinde) wirken in Österreich auf die nur einmal vorhandene Landfläche mit z. T. widersprüchlichen Zielen ein [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die zersplitterte Kompetenzverteilung führt oftmals dazu, dass eine Sachmaterie nicht von einem einzigen Gesetzgeber (Bundes- oder Landesgesetzgeber) einheitlich geregelt werden kann [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Der Austausch zwischen den verschiedenen Entscheidungsebenen (Bundes-, Landes- und Kommunalebene) ist von zentraler Bedeutung für das Erkennen und Vermeiden von Konfliktfeldern [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung], da sich Konflikte oft erst auf der lokalen Ebene manifestieren, eine Vermeidung oder Minderung aber Entscheidungen auf der übergeordneten Ebene erfordern würde. {Abschn. 6.4; 6.2}

Klimawandelanpassungsmaßnahmen, die kurz- bis mittelfristig umgesetzt werden, können mittel- bis längerfristige Konflikte verursachen; die Zeitdimension ist also entscheidend [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Zum Beispiel ist die Baumpflanzung kurzfristig zu realisieren, aber der mögliche Konflikt mit dem Naturschutz ein langfristiger, da Bäume erst viel später gefällt werden. {Abschn. 6.2}

Der größte Teil der Ökosystemleistungen und Werte, die durch Naturkapital (einschließlich Böden) zur Verfügung gestellt werden, wird bei politischen oder privaten Planungs- und Investitionsentscheidungen bisher nicht angemessen berücksichtigt, weder monetär noch qualitativ [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Naturbasierte und potenziell kosteneffiziente Lösungen nehmen deswegen einen zu geringen Stellenwert ein. Dies führt wiederum zu Übernutzung und Erosion des Naturkapitals wie auch zu Kosten und Risiken für Wirtschaft und Gesellschaft [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Zum Beispiel

sind Ökosystemleistungen und biologische Vielfalt auch für die Gewährleistung der Ernährungssicherung von entscheidender Bedeutung – bei Verlust der Integrität der Ökosysteme steht u. a. die Ernährungssicherung auf dem Spiel [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 6.4}

Vor dem Hintergrund der Klimakrise gewinnt der Bodenschutz und damit der Handlungsgrundsatz „von der Außenentwicklung zur Innenentwicklung“ in der Raum- und Verkehrsplanung an Bedeutung [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Im Wesentlichen geht es hier zum Beispiel um Leerstandsmanagement von schon existierenden Gebäuden (statt Neubau), das Schließen von Baulücken in schon bebauten Gegenden und darum, das Bauen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen stark zu drosseln oder stoppen, sodass möglichst wenig Boden neu versiegelt werden muss. Der bereits hohe Bestand an Gebäuden und Verkehrswesen schränkt die Interventionsmöglichkeiten der Raum- und Verkehrsplanung bezüglich Anpassung und Minderung zusehends ein [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 6.6; Tab. 6.1}

Die zunehmende Zersiedelung steht einer Reduktion des Verkehrsaufkommens, inklusive einer Reduktion von Energieverbrauch und Emissionen, entgegen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Eine auf Verkehrsreduktion ausgerichtete Raumorganisation (wie z. B. die „Stadt der kurzen Wege“) wird als wirksames Mittel gesehen, die Wege im motorisierten Individualverkehr mit Fuß- und Radverkehr bzw. durch die Nutzung des öffentlichen Verkehrs zu ersetzen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 6.6}

Sektorübergreifende Analysen zu den Emissionsentwicklungen des Landnutzungssektors, die die unterschiedlichen Landnutzungstypen und ihre Rückwirkungen auf andere Sektoren in Österreich abbilden, fehlen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Als Basis für die Berechnung der Treibhausgasemissionen werden zweijährlich Energie- bzw. Klimaschutzszenarien für Österreich entwickelt und die Effekte von unterschiedlichen Instrumenten sowie Verhaltensänderungen auf die Wirtschaftsentwicklung und die Treibhausgasemissionen bis 2030/2050 sektorübergreifend analysiert. Solche Szenarienanalysen und vor allem Analysen, die sozio-ökonomische Szenarien berücksichtigen, gibt es im Landnutzungssektor nicht. Dabei wären sie für die Entwicklung einer Klimaschutzstrategie im Bereich der Landnutzung Österreichs und für die Analyse möglicher Landnutzungskonflikte zwischen den Sektoren und deren vorausschauende Vermeidung von großer Bedeutung [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 6.7}

Bei der Förderung von klimafreundlichen Maßnahmen ist es wesentlich, zu berücksichtigen, dass Landwirt_innen, Unternehmer_innen und Bürger_innen eigenständig Maßnahmen entwickeln, wenn rechtliche Rahmenbedingungen Freiräume dafür bereitstellen [ro-

buste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. So hat z. B. das Alternativfinanzierungsgesetz die Finanzierung von Initiativen durch Crowdfunding ermöglicht. Öffentliche Fördertöpfe, die kleine Beträge als „Risikokapital“ für neue Initiativen und Vernetzungsprojekte zur Verfügung stellen, können innovative Projekte zusätzlich fördern. Derzeit werden in der Landwirtschaft allerdings primär standardisierte Investitionen (z. B. Stallneubau) gefördert [robuste Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. {Abschn. 6.4}

Alternativkonzepte zum dominanten Agrar- und Lebensmittelsystem entstehen durch Kooperation zwischen Landwirt_innen und Konsument_innen entlang der Wertschöpfungskette [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Dazu gehören unterschiedliche alternative Produktions- und Vermarktungsinitiativen, wie z. B. die „solidarische Landwirtschaft“, Food-Coops, Nachbarschafts- und Gemeinschaftsgärten oder Selbsterntefelder. Auch wenn es schwer ist zu quantifizieren, welchen Beitrag solche zivilgesellschaftlichen Initiativen zum Klimaschutz leisten, können sie das Problembewusstsein fördern und auch Lösungsansätze aufzeigen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 6.5}

Für eine Änderung in der Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Böden ist es wesentlich, dass Kooperationen entlang der Wertschöpfungskette (Agrarhandel, Landwirt_innen, Lager- und Verarbeitungsbetriebe, Lebensmittel Einzelhandel) aufgebaut werden, um die Auswirkungen dieser Veränderungen gemeinsam zu tragen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Landwirt_innen können eine Reihe von Maßnahmen in der Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Böden setzen. Aber eine Änderung der Bewirtschaftung bzw. der Bewirtschaftungsintensität führt auch zu einer Änderung der produzierten Waren und Qualitäten, deren Vermarktung gesichert werden muss [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Dabei spielen Qualitätssicherung, eine gute Kommunikation sowie Fairness entlang der gesamten Wertschöpfungskette eine wichtige Rolle. {Abschn. 6.5}

Zur Reduktion von konsumbasierten THG-Emissionen auf Ebene der Konsument_innen und Haushalte können insbesondere die Reduktion und Vermeidung (1) des Wegwerfens genießbarer Lebensmittel und (2) des Konsums von Fleisch und anderen tierischen Produkten maßgeblich beitragen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Geht man davon aus, dass veränderte Konsummuster (Nachfrage) auch auf Produktionsweisen (Angebot) wirken, können Maßnahmen auf Konsum- und Haushaltsebene somit (indirekt) Landnutzung beeinflussen [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Eine Verbrauchsreduktion steht zudem in Einklang mit nationalen Ernährungsempfehlungen; somit wäre auch mit positiven Effekten auf die öffentliche Gesundheit zu rechnen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 6.4}

CO₂-Steuern (CO₂-Bepreisungen) werden zunehmend in vielen Ländern zur Erreichung klimapolitischer Ziele eingesetzt, weil sie ein wirksames Instrument zur Emissionsreduktion darstellen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Durch die Einführung einer CO₂-Steuer erhöhen sich die Kosten für die Nutzung fossiler Rohstoffe, was einen Anreiz zur Verminderung der Emissionen darstellt. Eine höhere Besteuerung von Treibstoffen kann auch zu einer Eindämmung der Zersiedelung beitragen, indem durch die höheren Kosten ein Anreiz gegen lange Wegstrecken gesetzt wird (mittlere Konfidenz). Insofern gehen von der CO₂-Bepreisung auch Effekte auf die Landnutzung aus. Zu den Effekten der 2022 in Österreich eingeführten CO₂-Bepreisung liegen noch keine umfassenden Analysen vor. Aufgrund des niedrigen Preisniveaus ist von relativ geringen Lenkungseffekten auszugehen. {Abschn. 1.6.1.1; 6.4}

Kapitel 7: Raumplanung und Klimawandel

Hartmut Dumke¹⁴, Tatjana Fischer¹, Gernot Stöglehner¹, Michael Getzner¹⁴

Die aktuell hohe Flächeninanspruchnahme für Bau- und Verkehrsflächen ist sowohl aus Sicht von Minderung als auch Anpassung problematisch [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Jede zusätzliche Flächeninanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrszwecke bringt einen zusätzlichen Energie- bzw. Ressourcenverbrauch mit sich [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die außerdem damit einhergehende Versiegelung von Flächen erhöht den Regenwasserabfluss und verstärkt den Effekt urbaner Hitzeinseln [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Der dauerhafte Verlust der Bodenfunktionen (Ökosystemleistungen und biologische Fruchtbarkeit für die Ernährungsbasis) durch Versiegelung ist zudem doppelt schädlich: Die Abhängigkeit von agrarischen Importen, welche häufig mit einem schlechten ökologischen Fußabdruck belastet sind, nimmt zu, und die ökologische Kühl- und Luft-Reinigungsfunktion der Bepflanzung reduziert sich, wenn diese Flächenanteile verliert [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 7.1.1; 7.1.2}

Suburbanisierungsprozesse führen dazu, dass sich die Bevölkerung sowie bestimmte Infrastruktureinrichtungen (v. a. Einkaufsmöglichkeiten) zunehmend dispers im Raum verteilen und bewirken, gepaart mit flächenzehrenden Bauweisen, eine Reduktion der Infrastruktureffizienz und eine Zunahme des motorisierten Individualverkehrs [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Auch im Ländlichen Raum sind Neuwidmungen und Neubauten für einen Großteil der zusätzlichen Versiegelungen verantwortlich, auch weil die (gegenüber den städtischen Agglomerationen) geringen Baulandpreise einem Flächenspa-

ren entgegenwirken [mittlere Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. Diesen Umständen begegnen Innenentwicklungsstrategien, welche die vorhandene Bausubstanz effizienter nutzen und so Neuwidmungen von Bauland und daraus resultierende Neubautätigkeit verhindern oder reduzieren [mittlere Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. {Abschn. 7.1.2}

Eine erhöhte Energieeffizienz, insbesondere in bestehenden Raum- und Siedlungsstrukturen, ist auch ein wesentlicher Faktor für die Umsetzung der Energiewende [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die Entwicklung und Nachverdichtung bereits erschlossener Flächen in zentraler Lage (Innenentwicklung) leistet dafür einen wesentlichen Beitrag [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die Bereiche „Wärmebedarf“ (v. a. in bestehenden Siedlungsstrukturen), „Mobilität“ (v. a. im motorisierten Individualverkehr) und „Energie und Industrie“ verursachen zusammen 76 % der CO₂-Emissionen und haben zugleich nach wie vor eher geringe Beitragsanteile (Mobilität ca. 8 %, Wärme ca. 30 %) aus erneuerbaren und/oder dekarbonisierten Energieträgern [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Energieeffiziente Raum- und Siedlungsstrukturen, die sich durch Funktionsmischung, Nähe, maßvolle Dichte und Kompaktheit auszeichnen, ermöglichen nicht nur Energieeinsparung, sondern auch eine effiziente Energieversorgung mit einem zunehmenden Versorgungsanteil erneuerbarer und/oder dekarbonisierter Energieträger [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Energieraumplanung ist dafür ein noch eher neuer Begriff, mit dem Aspekte des Klima- und Bodenschutzes in die Raumplanung integriert werden sollen. {Abschn. 7.1; 7.1.2; 7.2.1}

Gebäude nehmen im Kontext des Energiesystems eine zentrale Funktion ein, da sie derzeit einer der Hauptverbraucher von Energie sind. Die Weiterentwicklung der Gebäude von reinen Verbrauchern hin zu Energieproduzenten und Energiespeichern ist ein wesentlicher Eckpfeiler der Transition des Energiesystems [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Dies kann zum einen z. B. durch die Integration von Photovoltaik und Wärmepumpen erreicht werden. Zum anderen kann mit flexiblen und bidirektionalen Smart-Grid-Netzen durch die Interaktion der Gebäude mit dem (dezentralisierten) Energiesystem das gesamte Energiesystem zu einer agilen Einheit werden, in der die Integration erneuerbarer Energien auf lokaler Ebene erleichtert werden kann [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die funktionale Mischung von Gebäuden, Quartieren und – in größerem Maßstab – ganzen Städten oder Regionen beeinflusst wesentlich, wie die Potenziale von Gebäuden zur Erzeugung und Speicherung von erneuerbarer Energie verstärkt genutzt werden können [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 7.1.4}

Das Konzept der „Stadt der kurzen Wege“, eingebettet in eine „Region der kurzen Wege“, kann eine potenziell verkehrssparende Wirkung erzielen und so

den zunehmenden negativen Klimaauswirkungen, verursacht durch zunehmende Verkehrsmengen und ständig steigende Antriebsleistungen, entgegenwirken [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die Mengen emittierter Treibhausgase korrelieren im Verkehrssektor streng mit Verkehrsleistung und Energiebedarf, besonders bei mit fossilen Treibstoffen angetriebenen Verkehrsmitteln [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Klammert man den Flugverkehr aus, so sind pro transportierter Person und Kilometer Weglänge der spezifische Energiebedarf und damit die CO₂-Emissionen im motorisierten Individualverkehr (MIV; Pkw, Motorrad) am höchsten, im öffentlichen Verkehr (ÖV) deutlich geringer und im Aktivverkehr (Fuß, Fahrrad) minimal, auch bei Betrachtung des gesamten Lebenszyklus (LCA) der Verkehrsmittel [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die Verkehrsmittelwahl ist maßgeblich von der zurückzulegenden Distanz und dem Verkehrsangebot abhängig. Die durchschnittliche Weglänge in Österreich ist zwischen den beiden Mobilitätshebungen 1995 und 2013/14 um 27 % gestiegen. Das ist eine Folge der starken Zunahme der Wege im MIV (um 51 % zugenommen) und der Abnahme der Fußwege um knapp 40 % [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Neben dem Energiebedarf und den Emissionen hat der MIV auch einen grob zehnfach höheren spezifischen Flächenbedarf pro transportierter Person als alle anderen Mobilitätsformen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 7.1.3}

Die Internalisierung externer Kosten ist ein möglicher Hebel, um der nachweislich zu billigen Mobilität die gesamtwirtschaftlichen Kosten aufzuerlegen und klimabelastende Verkehrsarten für den Nutzer teurer und weniger attraktiv zu gestalten [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Im Verkehrssektor Österreichs werden (Stand 2019) in absoluten Mengen über 31 % der Treibhausgase emittiert, und er verzeichnet die stärkste relative Zunahme von über 73 %, seit 1990 [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Der Verkehrssektor ist damit hauptverantwortlich dafür, dass es insgesamt noch nicht zu einer Emissionsreduktion kommen konnte [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Selbst die nationalen Ziele zur CO₂-Einsparung im Verkehrssektor gemäß Pariser Klimaabkommen und EU Green Deal sind mangels verbindlich festgelegter Erreichungspfade zu wenig wirksam. Deutlich ambitioniertere Ziele und deren Umsetzung können zu einer relevanten Emissionsreduktion führen [hohe Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Namhafte, verbindliche und strategische Planungen, wie es sie im Forstrecht (Waldentwicklungsplan) und Wasserrecht (u. a. wasserwirtschaftliche Rahmenpläne und Rahmenverfügungen) gibt, fehlen im Energie- und Verkehrsrecht [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 7.1.3; 7.3}

Die soziale Komponente bei der Erreichbarkeit von lebensnotwendigen Einrichtungen der Daseinsgrundfunk-

tionen verdient künftig erheblich mehr Beachtung [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]. „Transport Poverty“ oder „Mobility Poverty“ betreffen besonders mehrfach benachteiligte Bevölkerungsgruppen (auch Kinder) mit geringem Einkommen, die oft kaum über motorisierte Transportmöglichkeiten verfügen und daher vom öffentlichen Leben zumindest teilweise ausgeschlossen sind und häufig überproportional hohe Aufwendungen für Mobilität auf sich nehmen müssen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Diese Gruppen sind besonders auf fußläufige und mit dem Fahrrad bewältigbare Raum- und Versorgungsstrukturen sowie ein gutes Angebot öffentlicher Verkehrsmittel angewiesen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die Förderung des Aktivverkehrs rechnet sich auch gesamtwirtschaftlich, z. B. durch geringere Investitionskosten pro Weg, deutlich positive Gesundheitsauswirkungen und auch verringerte Klimabelastungen [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 7.1.3}

Viele bestehende finanzielle Förderungs- und Anreizsysteme wirken kontraproduktiv zum Klimaschutz, beispielsweise fördern Subventionen im Verkehrsbereich, wie z. B. die Pendlerpauschale, die Zersiedelung und damit Abhängigkeit vom MIV [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Finanzielle Anreizsysteme, wie Wohnbauförderung, Pendlerpauschalen, andere Steuern und Förderungen, welche Aspekte der Energieraumplanung berücksichtigen, wirken effizient für den Klimaschutz und die Klimawandelanpassung [mittlere Konfidenz, mittlere Übereinstimmung]. Dies kann auch durch die fahrleistungsbezogene Internalisierung externer Kosten unterstützt werden [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Zudem können ökonomische Steuerungsinstrumente, wie beispielsweise eine Planwertabgabe, eine Erhöhung von Immobilienertragsteuern, Infrastrukturabgaben sowie Leerstandsabgaben, einen wichtigen Beitrag zu einer flächensparenden Landnutzung leisten, finden in Österreich aber derzeit noch kaum Anwendung [geringe Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. {Abschn. 7.1.2; 7.2.3; 7.3}

Rechtlich-institutionelle Faktoren, wie z. B. die nicht ausreichende Effektivität der bestehenden Instrumente, deren mangelhafte Ausgestaltung und Anwendung sowie die Unverbindlichkeit und Lückenhaftigkeit von raumbezogenen Zielsetzungen und Gesetzen bedingen ein „Umsetzungsversagen“ bei Maßnahmen der Raumplanung für Klimaschutz und Klimawandelanpassung [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Darüber hinaus sind fehlende Anreize, die vorhandene Kompetenzzerplitterung sowie die politische Ökonomie der kommunalen Flächenwidmung nicht förderlich für eine flächensparende Landnutzung [mittlere Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. Gestaltungsprinzipien, die energieeffiziente Raum- und Siedlungsstrukturen auszeichnen, ergänzt um ein vielfältiges, zugängliches und robustes Angebot an vernetzten

Grünräumen bzw. Grünraumelementen, kennzeichnen eine nachhaltige Raumentwicklung [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Diese vermittelt qualitativ und quantitativ zwischen den Landnutzungskonkurrenzen von bebauten (versiegelten) und unbebauten (unversiegelten) Flächen. Die Raumplanung kann zudem bei der Klimawandelanpassung wirksam werden, etwa über die Freiraumsicherung und das Naturgefahrenmanagement [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 7.1.1; 7.2.1; 7.3}

Ein umfassendes „Climate Proofing“, also die transparente Beweisführung der Klimawirksamkeit von Instrumenten der Raumplanung sowie der Energieraumplanung, fehlt derzeit. Ein solches Climate Proofing hat aber ein großes Potenzial, gemeinsam mit der stringenten Anwendung einer Planungshierarchie und einer Verbindlichkeit der Inhalte der Raumplanungsinstrumente, die Ordnungs- und Entwicklungsfunktion der Raumplanung beim Kampf gegen die Klimakrise wirksamer als bisher zu unterstützen [geringe Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Instrumente der Raumplanung sind Pläne und Programme. Projekte sind als Planungsvorhaben nicht den Instrumenten zuzuordnen, auch wenn sie Änderungen in Planungsinstrumenten mit sich bringen sollten. Zum Climate Proofing des Instrumentariums (als transparente Beweisführung, welcher Ansatz wo wie wirksam ist) besteht noch erheblicher Forschungsbedarf, weil momentan nicht empirisch bewiesen werden kann, wie hilfreich diese Instrumente beim Kampf gegen den Klimawandel bereits waren – oder künftig sein könnten [geringe Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Möglicherweise wären etwa die Ökosystemleistungen als eines der Proof-Kriterien für den Umbau des Förderinstrumentariums im Sinne des Klimawandels geeignet [geringe Evidenz, geringe Übereinstimmung]. Ein weiteres Proof-Kriterium zur Bewertung von Planungsinstrumenten ist die CO₂-Emissionsmenge vor und nach der Anwendung eines Instrumentes, etwa in den Energiebedarfsdimensionen Wärme, Strom und Mobilität {Abschn. 7.1.1; 7.2.3; 7.3; 7.4}.

Information, Kommunikation und Partizipation sind wichtige Eckpfeiler, um ein breites Verständnis für die räumlichen Aspekte von Klimaschutz und Energiewende zu erreichen, politische Entscheidungen in diese Richtung zu unterstützen bzw. einzufordern und es Bürger_innen und anderen Akteur_innen zu ermöglichen, sich aktiv an Planungsprozessen und deren Umsetzung zu beteiligen [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Wenn alle Entscheidungen auf nationaler, regionaler, kommunaler und individueller Ebene in dieselbe Richtung zeigen, fördert das die Erreichung von Energiewende-, Klimaschutz- und Flächeneffizienzzielen [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Dies kann durch neue Governance-Ansätze erleichtert werden; allerdings besteht hier noch Forschungsbedarf [geringe Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. {Abschn. 7.1.2; 7.2.3; 7.5}

Kapitel 8: Landnutzung und Klimawandel im Kontext der nachhaltigen Entwicklungsziele

Georg Gratzer¹, Kyoko Shinozaki²⁰, Andreas Koch²⁰, Michael Obrovsky²¹, Marianne Penker¹, Thomas Schinko¹⁵, Christian Sturmbauer¹⁰, Karin Weber¹, Matthias Zessner-Spitzenberg¹⁴

Nachwuchswissenschaftlerin:

Paula Bethge¹

Globale Krisen und Bedrohungen verlangen nach vernetzten umfassenden Lösungsansätzen auf allen Ebenen. Die Ziele für nachhaltige Entwicklung (SDGs) der UN bieten dafür einen politischen Handlungsrahmen für Österreich [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Landnutzung in Österreich hat Anteil an der Verursachung und ist betroffen von multiplen, miteinander vernetzten Krisen (Klimakrise, Biodiversitätskrise, Wirtschaftskrisen, globale soziale und humanitäre Krisen), die sich auf globaler, nationaler und lokaler Ebene manifestieren. Ihre Lösung ist nur mit systemischen, sektoren- und disziplinenübergreifenden Ansätzen möglich [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung (von Armut über Gesundheit und Bildung, Umwelt und Wirtschaft bis hin zu Weltfrieden), die von 193 UN-Mitgliedsstaaten, u. a. auch Österreich, als „Agenda 2030“ verabschiedet wurden, bieten einen breit legitimierten Handlungsrahmen zur umfassenden Bewältigung dieser Krisen von der lokalen bis zur globalen Ebene [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die analytische Verknüpfung der ökologischen Dimension mit der sozialen und der ökonomischen Dimension globaler Entwicklung führt zu einer neuen Qualität von nachhaltiger Entwicklung. Die Ziele für nachhaltige Entwicklung sind an alle Länder weltweit adressiert, sie inkludieren alle Menschen sowie die globalen öffentlichen Güter und sind sowohl für die lokale, die nationale als auch für die globale nachhaltige Entwicklung relevant. Sie bilden einen Rahmen, innerhalb dessen mögliche Synergien und Widersprüche politischer Optionen für alle relevanten Politikbereiche konsistent analysiert und bewertet werden können [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 8.1; 8.2; 8.5}

Die 17 SDGs sind eng miteinander verflochten und beeinflussen sich in unterschiedlichem Ausmaß gegenseitig [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die Interaktionen zwischen den Zielen sind kontextspezifisch, jedoch überwiegen verstärkende (Synergien) gegenüber konfligierenden Zusammenhängen (Trade-offs) [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die Nutzung von Synergien und die Vermeidung von negativen Interaktionen ist die effizienteste und teilweise die einzige Möglichkeit, Fortschritte bei der Erreichung der Ziele und Zielvor-

gaben der Agenda 2030 zu erzielen. SDG-Interaktionen müssen bei der Umsetzung der Agenda 2030 berücksichtigt werden, um eine effiziente und effektive Zielerreichung zu ermöglichen. Konkrete Interaktionen zwischen einzelnen, bestimmten SDGs sind jedoch kontextspezifisch [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung] und erfordern daher eine lokale, spezifische Betrachtung für den gewählten Kontext. Eine Analyse der SDG-Interaktionen für Österreich deutet – in Übereinstimmung mit internationaler Literatur – auf die zahlreichen Einflüsse von Wirtschaftswachstum (SDG 8) und der Intensivierung der Landwirtschaft (SDG 2) auf verschiedene Umweltfaktoren, wie zum Beispiel Wasserqualität (SDG 6) und Biodiversitätsverlust (SDG 15), hin. Insbesondere Maßnahmen zum Klimaschutz (SDG 13) können langfristig die Umsetzung anderer Ziele unterstützen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 8.2.1; 8.2.2}

Es gibt keine gesamtstaatliche, kohärente Strategie der österreichischen Bundesregierung zur Umsetzung der nachhaltigen Entwicklungsziele (SDGs). Defizite bei den konkreten Zielsetzungen, bei der Koordination der Maßnahmen in den einzelnen Politikbereichen und bei der Berücksichtigung der globalen Dimension der SDGs führen zu Problemen beim Monitoring sowie bei der Überprüfung der Fortschritte bzw. der Zielerreichung der SDGs [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. In Österreich wurde keine umfassende „Gap Analyse“ (Lückenanalyse) zur Identifizierung strategischer und operativer Lücken durchgeführt, daher fehlen konkrete Zielsetzungen. Die Umsetzung der SDGs erfolgt in Österreich in den verschiedenen Bundesministerien und öffentlichen Einrichtungen. Eine gesamtstaatliche Koordination der Maßnahmen ist nicht vorgesehen. Der Freiwillige Nationale Bericht zur Umsetzung der SDGs „Österreich und die Agenda 2030“ (FNU) stellt keine systematische Analyse dar, er illustriert vielmehr an Hand von Initiativen und „Best-Practice-Beispielen“ die Aktivitäten verschiedener Akteur_innen in Österreich. Bei der Umsetzung der SDGs ist der Fokus in Österreich vorrangig auf Aktivitäten in Österreich gerichtet, während die globale Dimension der einzelnen SDGs als Aufgabe der österreichischen Entwicklungszusammenarbeit gesehen wird. Um dem Anspruch einer globalen sozio-ökologischen Transformation gerecht zu werden, sind gesamtstaatliche, kohärente Strategien zur Umsetzung der SDGs in allen Politikbereichen hilfreich [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 8.3}

Der jährliche SDG-Monitoringbericht des europäischen Statistikamtes Eurostat misst die Fortschritte der EU und ihrer Mitgliedstaaten in Bezug auf die 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung. Österreich liegt darin im EU-Vergleich sowohl den Grad der Zielerreichung (Status) als auch der Entwicklung betreffend in den letzten fünf Jahren (Fortschritt) im Mittelfeld. Besonders in den Bereichen Landwirtschaft (SDG 2), Energie und Klima

(SDGs 7 und 13) und Ökosysteme (SDG 15) liegt Österreichs Status unter dem EU-Durchschnitt, mit nur geringen Fortschritten zur Zielerreichung. Der Eurostat-Bericht „Sustainable development in the European Union. Monitoring report on progress towards the SDGs in an EU context“ aus 2021 zeigt, dass Österreich bei rund der Hälfte der 17 Ziele im Betrachtungszeitraum 2014–2019 bzw. 2015–2020 moderate Fortschritte erzielt hat. Dies trifft allerdings nicht auf die gerade im Kontext von Landnutzung, Landmanagement und Klimawandel relevanten Ziele – Landwirtschaft (SDG 2), Energie (SDG 7), Klimaschutz (SDG 13) und terrestrische Ökosysteme (SDG 15) – zu. Hier liegt Österreich laut den Eurostat-Daten nicht nur unter dem EU-Durchschnitt, es konnten zudem im Betrachtungszeitraum nur geringe Fortschritte erzielt werden. Die Eurostat-Indikatoren zum Thema Energie (SDG 7) zeigen für Österreich sogar einen leichten Rückschritt bei der Zielerreichung. Dagegen liegt Österreichs Status bei den Zielen zu nachhaltigen Städten und Gemeinden (SDG 11) sowie nachhaltigen Konsum- und Produktionsmustern (SDG 12) etwas über dem EU-Durchschnitt, mit mäßig positiven Trends. Den höchsten Status erreicht Österreich im EU-Vergleich im Bereich sauberes Wasser (SDG 6), mit moderaten Fortschritten im Betrachtungszeitraum. {Abschn. 8.4}

Für eine Transformation der Landnutzungsmuster im Sinne der Agenda 2030 braucht es grundlegende Änderungen in der Governance, um gemeinsame Visionen, verbindliche Regeln und effektive Instrumente für eine nachhaltige Landnutzung zu entwickeln [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Es sind zudem neue Lern- und Innovationsstrategien in Wissenschaft und Technik, grundlegende Änderungen im Wirtschafts- und Finanzwesen sowie kollektives Handeln und starke soziale Bewegungen nötig [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Individuelles Engagement und verantwortungsvoller Konsum sind auch wichtige Stellschrauben für eine Transformation zu einer nachhaltigeren Landnutzung [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung], allein allerdings nicht ausreichend. Die Effektivität von verhaltenssteuernden Aufklärungskampagnen, Schulprogrammen oder Labels ist oft gering, denn Konsument_innen haben keinen Einfluss auf die Verfügbarkeit bestimmter Produkte, Dienstleistungen oder Infrastrukturen, zwischen denen sie verantwortungsvoll wählen sollen. {Abschn. 8.5.1–8.5.4}

Die Transformation hin zu einer nachhaltigen und gerechten Ökonomie wird, sowohl in Österreich als auch auf globaler Ebene, durch klimawandel- und klimapolitikbedingte Landnutzungsänderungen gefährdet [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Einflüsse auf die Landnutzung durch klimabedingte Risiken, wie etwa Trockenheit, Dürre, Hagel, Starkniederschläge und biotische Schadursachen (z. B. Borkenkäfer) sowie zunehmender klimawandelbedingter Nutzungsdruck auf die begrenzte Res-

source Land wirken bremsend auf das Wirtschaftswachstumspotenzial [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die Konkurrenz um Land verstärkt sich im Kontext des Klimawandels u. a. durch Landnutzungsänderungen im Rahmen von Klimawandelanpassung, den Flächenanspruch mancher klimapolitischer Maßnahmen (z. B. Energie aus primärer Biomasse), die voranschreitende Zersiedelung, aber auch durch Ökologisierungsmaßnahmen in der Landwirtschaft, da diese oft mit Ertragsminderungen bzw. Extensivierungen einhergehen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Unter diesen Rahmenbedingungen kann es bei gleichbleibender, auf tierischen Nahrungsmitteln basierender Ernährungsweise zu einer zunehmenden Verlagerung landwirtschaftlicher Produktion entlang der gesamten Wertschöpfungskette (z. B. Futtermittel) in andere Länder und Weltregionen kommen. Das erhöht dort den Landnutzungsdruck und führt zu negativen sozialen, ökonomischen und ökologischen Effekten. Die zunehmende globale Konkurrenz um Land kann die Nahrungsmittelpreise erhöhen und zu einer weiteren Intensivierung (z. B. Düngemittel- und Wassernutzung) mit Auswirkungen auf die Wasser- und Luftverschmutzung und den weiteren Verlust der Biodiversität führen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Solche Folgen würden die Fähigkeit der Gesellschaften gefährden, viele Ziele der nachhaltigen Entwicklung zu erreichen, die von der Ressource Land abhängen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Weiters haben klimawandel- und klimapolitikbedingte Veränderungen in landwirtschaftlichen Produktionsprozessen bei gleichbleibend traditionell geschlechtsspezifischen Arbeits- und Lebensbedingungen negative Auswirkungen auf die Gendergerechtigkeit [mittlere Evidenz, mittlere Übereinstimmung]. {Abschn. 8.4.2.2–8.4.2.3}

Wirtschaftswachstum trägt zur Schaffung und dem Erhalt von Arbeitsplätzen bei, ist aber auch ein zentraler Treiber des anthropogenen Klimawandels sowie der Ausweitung bzw. Intensivierung der Flächennutzung, wenn dies nicht durch technischen Fortschritt (Effizienzsteigerung), Strukturwandel, erhöhten Arbeitseinsatz oder stärkere Nutzung weniger flächenbeanspruchender Produktionsprozesse kompensiert wird [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. In diesem Sinn kann Flächennutzung, wenn sie ausgeweitet wird, auch als Treiber für das Wachstum der gesamten Wirtschaft verstanden werden [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Diese Wechselwirkung setzt sich fort, solange keine absolute Entkopplung zwischen Wachstum, Ressourceneinsatz und THG-Emissionen erreicht wird [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Bestimmte wirtschaftspolitische Maßnahmen, wie etwa eine Verringerung der Arbeitszeit, können hingegen gleichzeitig die Lebenszufriedenheit bei geringerem Wirtschaftswachstum erhöhen, Arbeitsplätze schaffen oder sichern sowie die Flächeninanspruchnahme und Klimaschädigung verringern. {Abschn. 8.4.2.1}

Armut und soziale Ungleichheit haben ein Ausmaß erreicht, das sowohl das individuelle Wohlergehen als auch den gesellschaftlichen Zusammenhalt gefährden kann [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Da die Nutzung von Grund und Boden vom Kapital und nicht der grundlegenden Bedürfnisbefriedigung aller Menschen abhängt, liegt in der Entkopplung von Bodennutzungs- und Profitinteressen ein Schlüssel für eine nachhaltige sozial-ökologische Transformation [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Soziale Ungleichheiten (SDG 10) und Armut (SDG 1) wirken ursächlich auf Landnutzung und Landmanagement ein. Während einkommenshohe soziale Schichten für Wohnen, Freizeit und Verkehr überproportional viel Land konsumieren, ist dies bei einkommensarmen Schichten umgekehrt der Fall. Ohne einen verantwortungsvollen Umgang mit Grund und Boden und entsprechende Verteilungsgerechtigkeit droht die soziale Ungleichheit weiter zuzunehmen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die Kommodifizierung von Land und Immobilien zur Generierung und Steigerung wirtschaftlicher Werte ist ein paradigmatisches Prinzip neoliberaler Gesellschaften wie der österreichischen. Da der Zugang zu Land und dessen Inwertsetzungsmöglichkeiten jedoch sozial ungleich verteilt sind, bieten sich Maßnahmen einer gerechteren Allokation an, wie sie in den Unterzielen der nachhaltigen Entwicklungsziele formuliert wurden. Derzeit liegt die Durchschnittsgröße einer österreichischen Wohnung bei 100 m², die Wohnfläche pro Person beträgt etwa 45 m². Beide Werte sind in den letzten Jahrzehnten bis heute kontinuierlich gestiegen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]; ihre Varianz ist eine Folge der sozialen Ungleichheit. Es ist anzunehmen, dass von dieser Ungleichheit besonders betroffene soziale Gruppen wie einkommensarme, alleinerziehende oder kinderreiche Personen/Haushalte, Menschen mit Migrationserfahrungen und ältere Frauen ohne weitere und zunehmende Unterstützung hinsichtlich ihrer Verwirklichungschancen weiterhin marginalisiert bleiben. Um dies zu verhindern, können Unterstützungsleistungen in den übergeordneten Kontext einer umfassenden sozial-ökologischen Transformation integriert werden. Die inter- und intragenerationelle Gerechtigkeit erfordert eine umfassende und dabei sozial gerechte Reduktion der Flächeninanspruchnahme (absolut und relativ). Ein sorgsamer Umgang mit Grund und Boden – sowohl in direkter (Land- und Forstwirtschaft, Wohnen, Gewerbe, Verkehr) als auch indirekter (Tourismus, Mobilität, Arbeit, Kultur) Verantwortung – hat höchste Priorität für nachhaltiges menschliches Wohlergehen und gesellschaftlichen Zusammenhalt. {Abschn. 8.4.1.1–8.4.1.2}

Gegenwärtige Landnutzung im globalen und lokalen Kontext des Klimawandels geht mit ausbeuterischen Beschäftigungsverhältnissen in der Forst- und Agrarwirtschaft einher (SDGs 8, 19, 15, 16) [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Diese Arbeitssektoren sind durch saiso-

nale, häufig auch prekäre Beschäftigung gekennzeichnet. Bereits vor zehn Jahren waren mehr als die Hälfte (53,4 %) der Arbeitskräfte in der Land- und Forstwirtschaft nichtösterreichische Staatsbürger_innen, die mehrheitlich aus Osteuropa stammten. {Abschn. 8.4.1.3}

Innovationen und Anpassungen hinsichtlich klimawandelbedingter Veränderungen können helfen, österreichische Städte und Siedlungen widerstandsfähiger zu gestalten (SDG 11) sowie deren negative Effekte auf die Umwelt zu minimieren [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Städte und Siedlungen zudem inklusiv und sozial gerecht zu gestalten, gilt global, aber auch für Österreich, als Herausforderung [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Österreichische Städte unterliegen klimawandelbedingten Veränderungen, insbesondere häufiger auftretenden städtischen Wärmeinseln und innerstädtischen Hochwasserereignissen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Diese stellen vulnerable und einkommensschwache Personengruppen vor besondere Herausforderungen [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Suburbanisierung und Zersiedelung, insbesondere durch Bodenverbrauch und Flächeninanspruchnahme, verursachen indirekte und direkte Energie- und Stoffströme und sind dadurch gleichzeitig Treiber des Klimawandels [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Diese negativen Auswirkungen wirken negativ auf die Gesundheit der Bevölkerung Österreichs (z. B. Luftgüte in Ballungsräumen). Insbesondere die Verkehrsmittelwahl (Modal Split), Pendler_innenmuster sowie Stadt-Umland-Beziehungen und Lebensweisen beeinflussen diese Effekte. Insbesondere einer Grünen Infrastruktur (städtischen Grünräumen – privat und öffentlich, Dach- und Fassadenbegrünung), deren Zugang sicher und inklusiv gestaltet ist, kommt eine zentrale Rolle in der Klimawandelanpassung zu [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 8.4.5.1–8.4.5.2}

Das aktuelle Ernährungssystem in Österreich ist sowohl durch ökologische Nachhaltigkeitsdefizite (SDGs 6, 13, 14 und 15) als auch durch einen relevanten Anteil der Bevölkerung mit Übergewicht und Fehlernährung (SDG 3) gekennzeichnet. Eine Änderung der Ernährungsgewohnheiten in Richtung einer deutlichen Reduktion von tierischen Nahrungsmitteln kann daher zu Synergien zwischen diesen Zielgrößen führen und den Optionenraum für Anpassungs- und Emissionsminderungsstrategien erweitern [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die Konkurrenz um die begrenzte Ressource Boden verstärkt sich u. a. durch Landnutzungsänderungen im Rahmen von Klimawandelanpassung, aber auch durch Ökologierungsmaßnahmen in der Landwirtschaft, da diese oft mit Ertragsminderungen einhergehen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Bei gleichbleibender, auf tierischen Nahrungsmitteln basierender Ernährungsweise und unveränderten Handelsbedingungen und CO₂-Regimen kommt es

durch die Globalisierung zu einer zunehmenden Verlagerung landwirtschaftlicher Produktion (entlang der gesamten Wertschöpfungskette, z. B. Futtermittel) in andere Länder und Weltregionen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Das erhöht dort den Landnutzungsdruck und kann zu negativen sozio-ökonomischen und ökologischen Effekten führen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Ein wesentlicher Schlüssel für die nachhaltige und gesunde Gestaltung des Ernährungssystems liegt in einer Änderung der Ernährungsweise der österreichischen Bevölkerung mit deutlicher Reduktion von tierischen Nahrungsmitteln. {Abschn. 8.4.3.4}

Der Verlust der biologischen Vielfalt (SDG 15) ist beispiellos in der Geschichte der Menschheit. Im globalen Durchschnitt sind etwa 25 % der bewerteten Tier- und Pflanzenarten bedroht, in Österreich zeigen sich überdurchschnittliche Bedrohungen [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Eine intensivierte Landnutzung, gefolgt von Klimawandel und invasiven Arten, sind die Haupttreiber dieser Entwicklung [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. In Österreich sind 45 % der Säugetierarten, 57 % der Brutvogelarten, 100 % der Kriechtiere und Lurche, 33 % der Farn- und Blütenpflanzen und 29 % der Pilzarten gefährdet, die Populationen von Wirbeltieren sind in den letzten 30 Jahren um 40 % zurückgegangen [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Zudem ist die Hälfte der für Österreich ausgewiesenen 488 Biotoptypen gefährdet [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die Datenlage in Bezug auf Artenverluste bei Insekten ist für Österreich schlecht und der Bedarf für Forschung und Monitoring hoch [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. In Deutschland verringerte sich die Arthropodenbiomasse seit 2008 um 67 %, Artenzahlen nahmen um 34 % ab [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Für Österreich werden aus vorliegenden Beobachtungen vergleichbare Entwicklungen vermutet [mittlere Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 8.4.6.1–8.4.6.3}

Die Transition im Energiesystem ist verbunden mit dem vermehrten Einsatz von fluktuierenden Energieträgern, wie Photovoltaik- und Windenergie. Bioenergie kann zum Ausgleich solcher Energieangebotsschwankungen genutzt werden und einen Beitrag zur Stabilität des Energiesystems leisten, wobei eine Abstimmung mit Fragen der Biodiversitätserhaltung und Ernährungssicherheit erforderlich ist [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Biogene, nachwachsende Ressourcen sind begrenzt. Eine kaskadische Nutzung von Biomasse – am Anfang stofflich und erst am Ende des Produktlebenszyklus energetisch – ermöglicht eine effiziente Ressourcennutzung. Relevant für die Bioenergiebereitstellung ist somit insbesondere der Einsatz von organischen Reststoffen. {Abschn. 8.4.4}

Der reiche Wissensstand und die Kapazitäten der Natur-, Ingenieurs-, Sozial- und Geisteswissenschaften

sind bei Weitem noch nicht für eine effektive Verfolgung der SDGs ausgeschöpft [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Nachhaltigkeitsinnovationen stoßen auf Barrieren, wie inkompatible technische Standards oder Infrastrukturen; auch die vorherrschenden Strukturen des Wissenschaftssystems bevorzugen inkrementellen Wissenszuwachs gegenüber bahnbrechenden Forschungsideen. Neuen Arten der Wissensproduktion (wie Mode 2 Science oder Post-Normal Science), die auf Transdisziplinarität sowie problemorientierten und partizipativen Ansätzen beruhen, wird die Kapazität zugeschrieben, vernetzte Probleme zu erfassen, zu analysieren und näher an die Umsetzung zu bringen. Um kohärente Lösungsansätze für die komplexe und umfassende Agenda 2030 zu entwickeln, sind daher einerseits inter- und transdisziplinäre Zugänge nötig, aber andererseits auch eine doppelte Verzahnung von Wissenschaft mit der Gesellschaft: zum einen durch die Ermächtigung der Öffentlichkeit, Wissensproduktion zu betreiben, wie z. B. in Zugängen von Citizen Science, und zum anderen, indem Wissenschaftler_innen sich an die Schnittstellen zum politischen und gesellschaftlichen Raum begeben und dort beratend, informierend, diskutierend aber auch lernend tätig werden. Fördergeber_innen benötigen neue Förderschienen, die so hoch dotiert sein müssen, dass sie, über intrinsische Motivationen von Wissenschaftler_innen hinaus, starke Anreize darstellen, solche Forschungsansätze zu verfolgen. {Abschn. 8.5.4}

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

Karl-Heinz Erb¹, Robert Jandl², Ulrike Tappeiner^{6,7}, Andreas Baumgartner⁵, Bastian Bertsch-Hörmann¹, Paula Bethge¹, Viktor J. Bruckman¹⁶, Simone Gingrich¹, Stephan Glatzel¹⁷, Charlotte Kottusch¹⁵, Florian Kraxner¹⁵, Katharina Lapin², Bano Mehdi-Schulz¹, Joachim Raich¹, Silvio Schüler², Erich Tasser⁷, Tanja Tötzer¹⁸, Werner Zollitsch¹

Maßnahmen im Spannungsfeld Klimawandel und Landnutzung weisen ein breites Spektrum an Synergien und Zielkonflikten (Trade-offs) auf und bringen (weitreichende) Implikationen für die Bereiche Biodiversität und Wasserhaushalt mit sich [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Eine integrative, übersichtliche Bewertung der Maßnahmen kann helfen, sinnvolle Maßnahmen und Maßnahmenbündel zu identifizieren, die möglichst viele Synergien und möglichst wenige Trade-offs mit sich bringen sowie auch möglichst einfach, kosteneffizient und schnell umsetzbar sind. {Abschn. 9.1; 9.3; 9.4}

Auswirkungen und Wirksamkeit von Maßnahmen sind abhängig vom regionalen und lokalen Kontext sowie von den Raum- und Zeitskalen der Betrachtung [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Maßnahmen sind oft Landtyp-spezifisch, 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 [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. {Abschn. 9.6}

Maßnahmen weisen unterschiedlich ausgeprägte Profile in Bezug auf Synergien und Zielkonflikte auf [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Besonders Maßnahmen im Bereich des Konsums und der Prozessketten, des Siedlungsraums und im Bereich „anderer Ökosysteme“ (weder land- noch forstwirtschaftlich genutzte Ökosysteme) 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. {Abschn. 9.3; 9.4; 9.5.1}

Maßnahmen weisen unterschiedliche Profile der Umsetzbarkeit auf [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Die meisten Maßnahmen sind durch erhebliche Barrieren in mindestens einem der drei Bereiche Konfliktpotenzial, technische Umsetzbarkeit, Kosten charakterisiert. Es gibt allerdings auch einige Maßnahmen, die keine Barrieren aufweisen. Dazu zählen vor allem Maßnahmen an Acker- und Grünland (z. B. vielfältige Fruchtfolgen und Zwischenfrüchte, ganzjährige Bodenbedeckung, Erhalt von extensiv genutzten Grünflächen und Einhaltung der Tierbestandsobergrenzen und standortangepasste Bewirtschaftung). Die Bereiche „Andere Ökosysteme und Schutzgebiete (ohne Schutzwald)“ und „Andere Maßnahmen“ weisen die meisten und stärksten Barrieren auf. {Abschn. 9.3; 9.4; 9.5.1}

Einige Maßnahmen bergen kaum Risiken und zeigen hohe Synergien bei wenigen Umsetzungsbarrieren. Diese erhöhen die Resilienz der Ökosysteme und schaffen so neue Handlungsspielräume für die Emissionsminderung [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Diese Maßnahmen finden sich hauptsächlich im Bereich Ackerland, während die Grünlandwirtschaft wie auch der Konsum- und Prozesskettenbereich mit deutlich weniger Maßnahmen vertreten sind. Bei der Forstwirtschaft und im Siedlungsbereich findet sich hier nur jeweils eine Maßnahme. {Abschn. 9.5.1.2}

Einige Maßnahmen bringen viele Trade-offs mit sich, besonders bezüglich Biodiversitätserhalt und Wasser-

haushalt. Negative Auswirkungen auf diese beiden Bereiche mindern auch die Resilienz der Ökosysteme und schränken in der Folge die Handlungsoptionen ein [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Zu diesen Maßnahmen, die ein nur sehr geringes Synergiepotenzial aufweisen und die zusätzlich auch von erheblichen Barrieren, insbesondere im Bereich Konfliktpotenzial, gekennzeichnet sind, zählen (1) Bioenergiebereitstellung aus Primärbiomasse, (2) Intensivierungsmaßnahmen wie verstärkter Pestizideinsatz oder verstärkte Stallhaltung bei erhöhten Tierbeständen, (3) waldbauliche Maßnahmen wie die Außer-Nutzung-Stellung nicht angepasster Bestände und die Verkürzung der Umtriebszeit. Auch die Wiederbewaldung/Aufforstung von arten- und strukturreichen (Agrar-)Flächen findet sich in diesem Bereich. {Abschn. 9.5.1.3}

Ein verzögertes Handeln wird die bereits bestehenden klimawandelbedingten Herausforderungen verschärfen [hohe Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Verspätet eingeführte Anpassungs- und Klimaschutzmaßnahmen in der Land- und Forstwirtschaft verkleinern den Spielraum der möglichen Handlungsoptionen. Unzureichende Emissionsminderungen in den Sektoren Energie, Verkehr und Industrie können zu einem erhöhten Bedarf an Treibhausgassenken führen und den Spielraum weiter verringern. Verspätetes Handeln verengt das Spektrum der Reaktionsoptionen und erhöht die betrieblichen und volkswirtschaftlichen Kosten des Einsatzes [robuste Evidenz, hohe Übereinstimmung]. Es besteht hohe Konfidenz, dass die landbasierten Emissionsminderungen nur einen begrenzten Teil der Gesamtemissionen ausgleichen können. {Abschn. 9.8}

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.

