

BIODIVERSITÄTSVERTRÄGLICHER AUSBAU ERNEUERBARER ENERGIE IN ÖSTERREICH

**Nina Weber¹ Christa Hainz-Renetzeder² Elisabeth Haring³, Jana S. Petermann⁴,
Rafaela Schinegger², Erich Tasser⁵ Andreas Tribsch⁴, Simon Vitecek²**

¹ RMW - Ingenieurbüro für Landschaftsplanung, Flatschacherstrasse 134/4/7, 9020 Klagenfurt, +43 650 9246162, nina.weber@rm-w.at, <https://www.rm-w.at/>

² BOKU University, Gregor-Mendel-Straße 33, 1180 Wien, +43 1 47654-85324, christa.hainz-renetzeder@boku.ac.at, rafaela.schinegger@boku.ac.at, simon.vitecek@boku.ac.at, <https://boku.ac.at/>

³ Naturhistorisches Museum Wien, Burgring 7, 1010 Wien, +43 1 52177-332, elisabeth.haring@nhm.at, https://www.nhm.at/en/mission_statement

⁴ Universität Salzburg, Hellbrunner Str. 34, A - 5020 Salzburg, +43 662 8044-5482, jana.petermann@plus.ac.at, andreas.tribsch@plus.ac.at, <https://www.plus.ac.at/umwelt-und-biodiversitaet/>

⁵ Eurac Research, Drususalle 1, I - 39100 Bozen, +39 0471 055 343, erich.tasser@eurac.edu, <https://www.eurac.edu/>

Kurzfassung:

Der Beitrag analysiert die Herausforderungen, Synergien und Zielkonflikte beim Ausbau erneuerbarer Energien in Österreich im Spannungsfeld zwischen Biodiversitäts-, Klima- und Energiezielen. Hauptursachen für den Biodiversitätsverlust in Österreich bleiben die intensive Landnutzung und Lebensraumzerstörung, wobei der Ausbau erneuerbarer Energien, ohne strategische Ausbauplanung und Umweltbegleitplanung, diesen Trend voraussichtlich verstärken wird. Expert*innen empfehlen daher differenzierte, biodiversitätsfördernde und -verträgliche Strategien wie z. B. die Priorisierung von Freiflächen-Photovoltaik auf degradierten Flächen, den gezielten Ausschluss sensibler Gebiete bei Windkraft, die Nutzung von Reststoffen bei Biomasse sowie die Optimierung bestehender Wasserkraftanlagen statt Neuerschließungen. Übergreifend sind Energieeffizienz und Umwelt-Begleitplanung von zentraler Bedeutung, um eine nachhaltige und integrative Energiewende in Österreich zu ermöglichen.

Keywords: Biodiversität, Energiewende, Klimaneutralität, Synergien & Zielkonflikte

1 Einleitung

Die energie- und klimapolitischen, aber auch geopolitischen Rahmenbedingungen haben sich auf europäischer und nationaler Ebene in den letzten Jahren grundlegend verändert. Unter anderem mit dem Europäischen Green Deal [1], dem Europäischen Klimagesetz [2] sowie der Renewable Energy Directive [3] verfolgt die Europäische Union einen tiefgreifenden Umbau des Energiesystems mit dem Ziel, die Klimaneutralität bis spätestens 2050 zu erreichen. Österreich hat diese Zielsetzungen in nationale Strategien überführt und sich ambitionierte Ausbaupfade für erneuerbare Energien gesetzt, darunter die nationale bilanzielle Deckung des Stromverbrauchs aus erneuerbaren Quellen bis 2030 [4].

Der Ausbau erneuerbarer Energien – insbesondere von Photovoltaik, Windkraft, Wasserkraft und Biomasse – stellt somit auch ein zentrales Instrument der Klimaschutzpolitik dar. Gleichzeitig ist dieser Ausbau mit einem steigenden Flächen- und Ressourcenbedarf verbunden, der neue Nutzungskonflikte mit dem Biodiversitäts- und Naturschutz erzeugt. Nationale sowie internationale Biodiversitätsziele, wie das globale Rahmenwerk für die biologische Vielfalt [5], die EU-Biodiversitätsstrategie [6] und die Biodiversitätsstrategie Österreich 2030+ [7], bzw. die EU-Verordnung zur Wiederherstellung der Natur [8] und der nationale Wiederherstellungsplan (in Österreich derzeit in Erarbeitung) verfolgen dabei vordringlich die Ziele des Schutzes und der Wiederherstellung der Natur sowie den Artenschwund aufzuhalten oder sogar umzukehren. Ohne eine integrierte Betrachtung von Klima-, Energie- und Biodiversitätszielen besteht somit die akute Gefahr, dass Maßnahmen zum Klimaschutz – durch den Ausbau erneuerbarer Energien – den fortschreitenden Rückgang der Biodiversität verstärken. Es besteht aber auch die Gefahr, dass Potenziale intakter Ökosysteme zur Eindämmung des Klimawandels, etwa als bedeutende CO₂-Speicher, nicht hinreichend realisiert werden. Vor diesem Hintergrund gewinnt das Konzept einer biodiversitätsverträglichen Energiewende zunehmend an Bedeutung.

Ziel dieses Beitrags ist es daher, die bestehenden wissenschaftlichen Erkenntnisse zu den Auswirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien auf die Biodiversität in Österreich systematisch zusammenzuführen, Zielkonflikte und Synergien differenziert herauszuarbeiten und fundierte Empfehlungen für eine integrierte Umsetzung der Energiewende unter gleichzeitiger Berücksichtigung nationaler und europäischer Klima-, Energie- und Biodiversitätsziele abzuleiten.

2 Methoden

In einem ersten Schritt wurden zentrale politische und strategische Planungsdokumente auf nationaler und europäischer Ebene analysiert. Dazu zählen insbesondere der Nationale Energie- und Klimaplan - NEKP [9], der österreichische Netzinfrastrukturplan – ÖNIP [10] inklusive der zugehörigen strategischen Umweltprüfungen - SUPs [11] [12], das zugrundeliegende WAM-Szenario [13], die österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel [14], sowie relevante EU-Richtlinien wie die Renewable Energy Directive - RED III [3]. Diese Dokumente wurden als nationale Planungsgrundlage für die Energiewende in Österreich angenommen und hinsichtlich ihrer Ausbauziele, Instrumente, Maßnahmen und Bewertungen analysiert. Dem national vorhandenen Stand der Planung wurden anschließend aktuelle Potenzialanalysen und Annahmen zur Ressourcen- und Flächenverfügbarkeit für die verschiedenen Energieträger bzw. -quellen gegenübergestellt [15].

In einem zweiten Schritt erfolgte eine Auswertung der wissenschaftlichen Literatur zu den biodiversitätsrelevanten Auswirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien. Der Fokus lag auf Studien mit Bezug zu mitteleuropäischen und insbesondere zu österreichischen Rahmenbedingungen. Die Literaturanalyse umfasste die Bewertung der Auswirkungen auf unterschiedliche Artengruppen sowie auf verschiedene Ökosysteme [16] [17] [18] [19] [20] [21] [22] [23].

Ein zentraler methodischer Baustein war die Integration von Expert*innenwissen. Dadurch konnten vorhandene Lücken im empirischen Wissen geschlossen und Bewertungen im nationalen Biodiversitätskontext abgeleitet werden. Zu diesem Zweck arbeiteten insgesamt

mehr als 15 Fachexpert*innen von Universitäten, außeruniversitären Forschungseinrichtungen, Naturschutzorganisationen und Planungsbüros zusammen. In einem strukturierten Konsensfindungsprozess wurden wissenschaftliche Erkenntnisse mit Praxiserfahrungen aus Genehmigungsverfahren, Monitoringprojekten und angewandter Forschung verknüpft.

Dieser Beitrag zielt darauf ab, unter Berücksichtigung der aktuellen nationalen strategischen Ausbauplanung und der dafür vorhandenen Flächen- und Ressourcenpotenziale, den aktuellen Wissensstand kritisch einzuordnen. Außerdem werden bestehende Wissenslücken aufgezeigt und Empfehlungen für einen österreichweiten, biodiversitätsverträglichen Ausbau erneuerbarer Energien abgeleitet. Der Beitrag stellt somit eine fundierte Diskussionsgrundlage für Wissenschaft, Planung und Politik dar.

3 Ergebnisse

3.1 Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energieinfrastruktur auf Biodiversität

3.1.1 Ausbau der Infrastruktur für erneuerbare Energie im Kontext des Klimawandels und des fortschreitenden Biodiversitätsverlusts

Der Klimawandel in Österreich wirkt bereits heute als Stressor auf die Biodiversität. Temperaturanstiege, veränderte Niederschlagsmuster und eine Zunahme von Extremereignissen beeinflussen nahezu alle Ökosysteme. Besonders betroffen sind Arten mit engen ökologischen Nischen, kleinen Populationen, geringer genetischer Variabilität und eingeschränkter Migrationsfähigkeit. Dazu zählen zahlreiche alpine und subalpine Pflanzenarten (z. B. Kugelblumenblättrige Teufelskralle - *Phyteuma globulariifolium* ssp. *globulariifolium* oder Schopfteufelskralle - *Physoplexis comosa*), kälteadaptierte Tierarten sowie feuchtigkeitsabhängige Arten der Moore, Auen und Feuchtwiesen. Klimabedingte Veränderungen wirken häufig nicht isoliert, sondern verstärken bestehende Belastungen. Fragmentierte Lebensräume, versiegelte Flächen und intensiv genutzte Agrarlandschaften schränken die Ausweich- und Anpassungsmöglichkeiten von Arten erheblich ein. Dadurch erhöht sich das Risiko lokaler Aussterbeereignisse. Gleichzeitig profitieren wärmeliebende und generalistische Arten, darunter auch Neobiota (z. B.: Robinie - *Robinia pseudoacacia*, Aufrechtes Traubenkraut - *Ambrosia artemisiifolia*) [24] [25] [26] [27] [28]. Trotz dieser Entwicklungen zeigen viele Studien, dass der Klimawandel in Österreich bislang nicht als der Haupttreiber für Artenverluste identifiziert wurde. Vielmehr wirkt er als Verstärker bestehender Landnutzungsintensivierung und Infrastrukturbelastungen [28]. Diese Erkenntnis ist zentral für die Bewertung des Ausbaus erneuerbarer Energien in Österreich: Sie verdeutlicht, dass eine einseitige Konzentration auf die Reduktion von Treibhausgasen durch den Ausbau der erneuerbaren Energieinfrastruktur, ohne eine gleichzeitige, strategische Ausbauplanung und Umsetzung von standortangepassten Biodiversitätsmaßnahmen, dazu führen könnte, den Verlust an biologischer Vielfalt zu verstärken.

Allerdings bestehen auch potenzielle Synergien zwischen den Zielen der Klimaschutzpolitik und jenen der Biodiversitätspolitik. Intakte Ökosysteme spielen nämlich auch eine tragende Rolle bei der Mitigation des Klimawandels, da sie natürliche Kohlenstoffspeicher darstellen,

Extremwetterereignisse abpuffern und gleichzeitig vielfältige Ökosystemleistungen für den Menschen erbringen (z. B.: Bereitstellung von sauberem Wasser, Filterung der Luftschadstoffe, Bestäubung für den Pflanzenbau, etc.) [29]. Die konkreten Auswirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien auf die Biodiversität werden maßgeblich durch den jeweiligen Energieträger, die dafür benötigten natürlichen Ressourcen, die bestehende Landnutzung, den vorhandenen Landschaftskontext, sowie die Art der Umsetzung des Ausbaus und etwaige kumulative Effekte, bestimmt. Im Folgenden werden die spezifischen Einflussfaktoren und Wirkungen einzelner Energieträger und -Quellen detailliert betrachtet, um die vielschichtige Beziehung zwischen dem Ausbau erneuerbarer Energien und der Biodiversität näher zu beleuchten.

3.1.2 Photovoltaik: Wirkungen von Freiflächenanlagen auf Biodiversität

Der Ausbau von Photovoltaik-Freiflächenanlagen stellt einen wesentlichen Bestandteil des österreichischen ÖNIP und NEKP dar. Der damit verbundene Flächenbedarf ist erheblich und macht Freiflächen-Photovoltaik zu einer der relevantesten Technologien für die Energiewende in Österreich. Die Wirkungen von PV-Freiflächenanlagen auf Biodiversität sind stark standort- und managementabhängig. Auf intensiv genutzten Acker- und Grünlandflächen können PV-Freiflächenanlagen bei entsprechender Umweltbegleitplanung zu einer ökologischen Aufwertung führen. Positive Biodiversitätseffekte können sich insbesondere durch das Ausbleiben intensiver Bodenbearbeitung, Bodenfeuchtgradienten, den reduzierten Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln sowie durch die Etablierung strukturreicher Vegetation mit Blühpflanzen zwischen den Panelreihen ergeben. In solchen Fällen können PV-Anlagen als Rückzugsräume für Insekten, Kleinsäuger und bodenbrütende Vogelarten dienen. Demgegenüber sind auf artenreichen und nicht oder extensiv genutzten Standorten überwiegend negative Biodiversitätseffekte zu erwarten. Der Bau und Betrieb von PV-Freiflächenanlagen auf natürlichen/naturnahen Lebensräumen (Magerwiesen, Trocken- und Halbtrockenrasen, Feuchtwiesen, Mooren oder artenreichen Brachen) aber auch in kleinteilig strukturierten und vielfältigen Kulturlandschaften führt in der Regel zu einem direkten Verlust dieser wertvollen Lebensräume. Besonders betroffen sind spezialisierte Pflanzenarten sowie Artengruppen mit spezifischen Habitatansprüchen. Auch für Vögel und Fledermäuse können Störungseffekte, Barrierewirkungen und eine Verringerung der Habitatqualität auftreten [30] [17] [16] [18].

3.1.3 Windkraft: Artenschutz, Raumplanung und kumulative Effekte

Auch der Ausbau der Windkraft hat für die nationale Erreichung der Energie- und Klimaziele einen sehr hohen Stellenwert. Konfliktpotenzial mit dem Arten- und Naturschutz ist jedoch vorhanden. Eingriffe in den Naturhaushalt durch Flächenauswahl, Erschließung und den Betrieb der Anlagen können projektbezogen sehr unterschiedlich sein. Durch den Betrieb von Windkraftanlagen sind besonders Vogel- und Fledermausarten betroffen, für die Kollisionen mit Windkraftanlagen eine Mortalitätsursache darstellen können. Neben direkten Kollisionen sind auch indirekte Effekte von Bedeutung, z. B. Habitatverluste durch Meideverhalten, Störungseffekte während der Bau- und Betriebsphase sowie Barrierewirkungen entlang von Zugrouten. Diese Auswirkungen können durch das Zusammenwirken mehrerer Windkraft-Projekte auf regionaler Ebene verstärkt werden (kumulative Effekte). Auch für den Ausbau von Windkraftanlagen sind die Standortwahl und eine Umweltbegleitplanung daher von entscheidender Bedeutung: Während in manchen intensiv genutzten Agrarlandschaften

Windkraftanlagen vergleichsweise geringe zusätzliche Biodiversitätseffekte verursachen, besteht in strukturreichen Landschaften, Schutzgebieten und Zugkorridoren ein hohes Konfliktpotenzial. Dies betrifft nicht nur die Windkraftanlagen selbst, sondern auch die Versorgungsinfrastruktur, die zur Fragmentierung von Lebensräumen beitragen kann [31].

3.1.4 Bioenergie: Landnutzungsdruck und Biodiversitätsrisiken

Die Biomassenutzung spielt im österreichischen Energiesystem bereits eine zentrale Rolle, insbesondere im Wärmebereich, jedoch zunehmend auch im Verkehrssektor. Unsere Ergebnisse zeigen jedoch, dass der weitere Ausbau der Bioenergie mit erheblichen Risiken für die Biodiversität verbunden sein kann. In der Forstwirtschaft führt eine zunehmende direkte energetische Nutzung von Holz voraussichtlich zu einer Intensivierung der Bewirtschaftung, einer Verkürzung der Umtriebszeiten und einem Rückgang alter, strukturreicher Waldbestände. Alte Waldbestände sind jedoch von immenser Bedeutung für zahlreiche spezialisierte Arten, darunter Totholzbewohner, epiphytische Moose und Flechten sowie waldgebundene Vogel- und Fledermausarten. Insbesondere wenn sich die jährliche Holznutzung an den jährlichen Holzzuwachs annähert oder diesen überschreitet, verschärfen sich Biodiversitätskonflikte. Gleichzeitig verringert eine intensivierte Holznutzung die Fähigkeit der Wälder, Kohlenstoff langfristig zu speichern. Auch im landwirtschaftlichen Bereich birgt der weitere Biomasseausbau erhebliche Risiken. Der zusätzliche Anbau von Energiepflanzen wie Mais oder Raps, bzw. auch die erhöhte energetische Nutzung von Grünschnitt erhöhen den Nutzungsdruck auf Acker- und Grünlandflächen und verstärken bestehende Probleme wie Habitatverlust, Nährstoffeinträge, Pestizideinsatz und Rückgang von Struktureichtum in der Landschaft. Einhergehend mit dem fortschreitenden Strukturwandel in der Landwirtschaft (Flächenaufgabe und Intensivierung, Umwidmungen) und erhöhtem Wettbewerbsdruck innerhalb der Landwirtschaft ist die Landnutzungsintensivierung in Gunstlagen der Haupttreiber für den Biodiversitätsverlust in der Kulturlandschaft. Als vergleichsweise biodiversitätsverträglich wird hingegen die energetische Nutzung von Biomasse-Reststoffen bewertet. Dazu zählen Durchforstungsholz, Sägenebenprodukte, Holzabfälle, Gülle, biogene Abfälle sowie die energetische Nutzung bereits anfallenden Grünschnitts und Ernterückstände. Diese Nutzungsformen stehen zudem weniger in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion und verursachen in der Regel keine zusätzliche Flächeninanspruchnahme. Für eine biodiversitätsverträgliche Nutzung gilt es jedoch auch hier Nachhaltigkeitsaspekte zu berücksichtigen: Etwa hinsichtlich des Belassens eines Anteils von Ernterückständen auf der Fläche, um Bodenfruchtbarkeit zu fördern und Nährstoffkreisläufe zu verbessern [32] [22].

3.1.5 Wasserkraft: Ökologische Grenzen eines ausgebauten Systems

Die Wasserkraft (Lauf-, Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke) ist in Österreich bereits sehr stark ausgebaut und prägt viele Fließgewässer grundlegend, wobei durch Wasserkraft auch viele negative Effekte auf die Biodiversität entstehen. Die Auswirkungen von Wasserkraftanlagen auf die Biodiversität sind erheblich und erstrecken sich auf viele Komponenten aquatischer sowie angrenzender terrestrischer Ökosysteme. Zu den zentralen Wirkungen zählen die Fragmentierung von Fließgewässern, der Verlust natürlicher Abfluss- und Sedimentdynamik, veränderte Temperaturregime sowie Barrieren für wandernde Fischarten. Diese Wirkungen führen zur Unterbrechung von Wanderwegen, zur Populationsisolierung und somit langfristig zu einem Rückgang der Artenvielfalt. Besonders

kritisch wird die Kleinwasserkraft bewertet. Trotz ihres vergleichsweise geringen Beitrags zur Stromerzeugung verursachen Kleinwasserkraftwerke häufig unverhältnismäßig hohe ökologische Schäden, da sie häufig entlang von artenreichen Gewässerstrecken errichtet werden [33]. Insgesamt stellen vorhandene Potenzialanalysen zur Wasserkraftnutzung in Österreich gute Bewertungsansätze dar, indem sie z. B. schutzwürdige Fließstrecken exkludieren [15]. Durch die Betrachtung von Einzelstrecken werden jedoch die tatsächlichen Auswirkungen der Wasserkraft auf Ökosysteme in und an Fließgewässern und auf die Biodiversität generell unterschätzt. Mit der ausschließlichen Ausnahme von «schutzwürdigen Strecken» werden wesentliche an Fließgewässer gebundene Organismengruppen wie die Vielfalt an Fischen, Vögeln, Insekten, Pflanzen nicht berücksichtigt. Auch kann die Langzeitwirkung des Ausbaus der Wasserkraft nicht ausreichend erfasst werden. Es muss davon ausgegangen werden, dass der Verlust der Konnektivität von Lebensräumen langfristig zu einem Biodiversitätsverlust führt [34] [35]. In Bezug auf die Wasserkraftnutzung können diese wesentlichen Aspekte bislang noch nicht mit objektiven Bewertungskriterien erfasst werden, weshalb bisher vorhandene Bewertungen des Ausbaupotenzials von Wasserkraft mit Vorsicht zu interpretieren sind. Die an dieser Studie beteiligten Expert*innen stellten aufgrund der vorhandenen Literatur (z. B.: [36]), in Kombination mit Expert*inneneinschätzungen und Beobachtungen fest, dass in Österreich für Wasserkraft kein biodiversitätsverträgliches Neuerschließungspotenzial mehr besteht. Weitere wissenschaftlich fundierte Ergebnisse dazu werden aus dem laufenden Projekt «Kli:Na Schutz» ab April 2026 verfügbar sein (<https://dafne.at/projekte/klina-schutz>). Die energietechnische und ökologische Optimierung bestehender Anlagen – energietechnisch etwa durch Verbesserung der Effizienz und den Austausch von Generatoren, ökologisch z. B. durch Verbesserung der Durchgängigkeit, Erhöhung der Restwassermengen und Reduktion von Schwall-Sunk-Effekten – wurde daher als zentrale zukünftige Handlungsoption identifiziert [37] [23].

3.2 Empfehlungen für eine biodiversitätsverträgliche Energiewende

Klimaneutralität und gleichzeitige Gewährleistung der Versorgungssicherheit des Energiesystems sind nur dann nachhaltig erreichbar, wenn der Biodiversitätsschutz gleichrangig berücksichtigt wird. Die Energiewende darf den bestehenden Biodiversitätsverlust nicht weiter beschleunigen, sondern muss – wo möglich – zur ökologischen Aufwertung und zur Verbesserung der Biodiversitätssituation beitragen. Eine isolierte Energiepolitik ohne integrativen Natur- und Biodiversitätsschutz ist weder nachhaltig noch zukunftsfähig.

Als **Voraussetzung** gilt: Eine profunde nationale Energiebedarfsanalyse und anschließende Energiesystemmodellierung sollten zur Gewährleistung der nationalen Versorgungssicherheit beitragen und die volkswirtschaftlichen Kosten der Energiewende optimiert modellieren. Ein volkswirtschaftlich optimierter erneuerbarer Energie-Mix, welcher primär auf die Deckung des nationalen Energiebedarfs ausgerichtet ist, sollte im Rahmen der nationalen, strategischen Ausbauplanung sicherstellen, dass nur der aus volkswirtschaftlicher Sicht dringend benötigte, begrenzte Ressourcen- und Flächenbedarf für den Ausbau Erneuerbarer Energien herangezogen wird [38].

Aus politischer Sicht ergibt sich außerdem die Notwendigkeit, **Energieeffizienz und Energiesuffizienz** als vorrangige Strategien zu verankern. Der Ausbau erneuerbarer

Energieinfrastruktur darf nicht isoliert betrachtet werden, sondern muss dem Grundsatz folgen, dass bestehende Anlagen zunächst optimiert werden, bevor neue Flächen in Anspruch genommen werden. Bereits im Zuge der nationalen Bedarfsanalyse und Ausrichtung der nationalen Ausbauplanung, spätestens jedoch bei der Umsetzung des Ausbaus, müssten alle technischen Möglichkeiten der Energieeffizienzsteigerung, welche die Umstellung eines Energiesystems zulässt, mitgedacht werden (z. B. effizientere Generatoren, vermehrte Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplung, vermehrte Nutzung von Abwärme und Restwärme etc.). Letztendlich sollte zukünftig deutlich mehr Nutzenergie aus der vorhandenen Primärenergie gewonnen werden können als heute [32] [37].

Ein zentrales Steuerungsinstrument für eine biodiversitätsverträgliche Energiewende ist die **räumliche Planung**. Bund und Länder sind gefordert, klare und verbindliche Zonierungen zu etablieren, die naturschutzfachlich sensible Gebiete vom Ausbau der Energieinfrastruktur ausschließen und den Ausbau gezielt auf bereits degradierte, intensiv genutzte oder vorbelastete Flächen lenken, um dort durch eine lokale Umweltbegleitplanung den Standort aufzuwerten. Dabei ist es essentiell, nicht nur einzelne Projekte, sondern auch die kumulativen Auswirkungen mehrerer Anlagen auf regionaler Ebene zu berücksichtigen [39] [31].

Für den **Ausbau der Photovoltaik** bedeutet dies, dass aus Biodiversitätsperspektive politische Rahmenbedingungen Anreize für Dachanlagen schaffen und versiegelte Flächen sowie degradierte und intensiv genutzte Freilandflächen mit geringer Biodiversitätswertigkeit priorisieren sollten. Der Ausbau von Photovoltaik-Freiflächenanlagen auf artenreichem Grünland, Mooren, Feuchtwiesen oder hochwertigen Brachen ist aus Biodiversitätsperspektive nicht zu vertreten und sollte politisch ausgeschlossen werden. Wo Freiflächenanlagen realisiert werden, sind verbindliche Mindeststandards – auch für kleinere Anlagen – für eine extensive Bewirtschaftung, strukturreiche und artenreiche Vegetation (z. B. Blühstreifen), ausreichende Modulabstände und eine Gestaltung, welche Wanderungen von Tierarten ermöglicht, gesetzlich zu verankern, um negative Biodiversitätswirkungen zu vermindern und positive Biodiversitätseffekte zu ermöglichen. Ergänzend zur Anwendung von verbindlichen Mindeststandards unterstützt eine standortangepasste Umwelt-Begleitplanung (Hecken, Feuchtbiotope) die Biodiversitätsverträglichkeit von Freiflächen-PV Anlagen [30] [17] [18].

Auch der weitere **Ausbau der Windkraft** erfordert eine klare politische und strategische Steuerung. Besonders sensible Gebiete wie Schutzgebiete, bedeutende Zugrouten und Rast- und Brutgebiete für Vögel sowie hochwertige Jagdgebiete wie Feuchtlebensräume, strukturreiches extensives Grünland und strukturreiche Laubwälder für Fledermäuse, müssen verbindlich vom Ausbau ausgenommen werden [31] [40] [41]. Die Bewertung von Einzelstandorten von Windkraftanlagen muss auf Basis einer fachlich fundierten, nachvollziehbaren und vergleichbaren Methodik erfolgen. Ergänzend dazu sind Mindestabstände zu sensiblen Arten und Habitaten sowie präventive und bedarfsorientierte Abschaltungen rechtlich abzusichern, um insbesondere die Mortalität von Vögeln und Fledermäusen zu minimieren [42]. Auch im Fall beschleunigter Verfahren muss eine standortangepasste Umweltbegleitplanung (inkl. Minderungs-, Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen) weiterhin umgesetzt werden, um negative Wirkungen auf die Biodiversität zu minimieren. Ein begleitendes Monitoring und eine Evaluierung sollten Abschaltalgorithmen kontinuierlich optimieren, um die Kollisions- und Mortalitätsrisiken für Vögel und Fledermäuse

noch weiter zu reduzieren. Eine regionale Gesamtbetrachtung ist notwendig, um kumulative Effekte mehrerer Windkraftanlagen zu vermeiden [31].

Im Bereich der **Bioenergie** zeigen die Analysen, dass der Ausbau aus Biodiversitätssicht nur begrenzt tragfähig ist. Politisch sollte daher eine klare Priorisierung der Nutzung von Rest- und Abfallstoffen wie Gülle, biogenen Abfällen sowie Durchforstungsreserven erfolgen. Eine zusätzliche Flächeninanspruchnahme durch den intensiven Anbau von Energiepflanzen ist weitgehend zu vermeiden, da sie den Nutzungsdruck auf die Kulturlandschaft weiter erhöht und damit den Haupttreiber des fortschreitenden Biodiversitätsverlusts weiter verstärkt. Stattdessen erscheint die Verstärkung des bereits vorhandenen Trends hin zu mehr pflanzenbasierter Ernährung erfolgversprechend (z. B. durch Förderung von Bewusstseinsbildung und Öffentlichkeitsarbeit). Durch die Reduktion der für die Fleischproduktion notwendigen Futtermittel können Flächen sowohl für die Bioenergiegewinnung als auch zur Anlage von Blühstreifen frei werden. Auch eine weitere Intensivierung der Waldnutzung zum Zweck der Energiegewinnung ist kritisch zu sehen (Ausnahme: vermehrte Durchforstung im Altersklassenwald in der Dickungsphase), da Wälder nicht nur zentrale Lebensräume, sondern auch bedeutende Kohlenstoffreservoirs darstellen und vor allem ältere Wälder mit längeren Umtriebszeiten reich an Biodiversität sind. Stattdessen sollten Gebäudesanierungen zur Reduktion des Raumwärmebedarfs, die vermehrte Nutzung von Wärmepumpen und -speichern sowie die Nutzung von Holzreststoffen forciert werden. Die vermehrte Ausweisung von Naturwaldinseln sowie eine biodiversitätsfördernde Waldbewirtschaftung stärken die Biodiversität im Wald zusätzlich [32].

Für die **Wasserkraft** kommen die vorliegende Evidenz und gemeinsame Expert*innen-Einschätzungen zu einem besonders klaren Ergebnis: Eine weitere Neuerschließung ist aus Biodiversitätsperspektive nicht zu unterstützen. Der politische Fokus sollte daher auf der Optimierung bestehender Anlagen liegen, insbesondere durch Effizienzsteigerungen der Generatorenleistungen sowie durch ökologische Sanierungsmaßnahmen wie die Verbesserung der Durchgängigkeit, eine ausreichende Restwasserführung und die Wiederherstellung natürlicher Sedimentregime. Einen besonderen Stellenwert für den Erfolg der gesamten Energiewende haben Pumpspeicherkraftwerke: Der Ausbau von PV- und Windkraftanlagen verursacht vermehrt jahres- und tageszeitliche Schwankungen in der Stromproduktion. Um die zeitlichen Differenzen zwischen Erzeugung und Verbrauch auszugleichen, wirken Pumpspeicher als großskalige, flexible Energiespeicher im Stromsystem. Es bedarf daher einer Optimierung und Effizienzsteigerung der Pumpspeicherkraftwerke, da diese bei Bedarf kurzfristig Strom produzieren und bei Stromüberschuss diesen in Form von hochgepumptem Wasser wieder speichern können. Das Ziel sollte sein, bereits vorhandene Pumpspeicherkapazitäten österreichweit koordiniert und optimiert zu nutzen, da ein Neubau mit hohen ökologischen Kosten verbunden wäre. Generell müsste die Effizienzsteigerung bei Pumpspeicherkraftwerken und der Ausbau von PV- und Windkraft zeitgleich mit dem Ausbau des Stromnetzes erfolgen, wobei auch der Ausbau dezentraler Speicheroptionen (Batteriespeicher, thermische Speicher, etc.) in der Ausbauplanung mitberücksichtigt werden sollte. Auch für die Wasserkraft gilt, dass im Fall beschleunigter Verfahren dennoch weiterhin standortangepasste Umweltbegleitplanung (inkl. Minderungs-, Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen) umgesetzt werden müssen, um negative Wirkungen auf Biodiversität zu minimieren [37] [23].

Insgesamt verdeutlichen die Empfehlungen, dass eine erfolgreiche Energiewende in Österreich eine **integrierte Governance-Struktur** erfordert, in der Energie-, Klima-, Raumordnungs-, Landwirtschafts- und Naturschutzpolitik eng miteinander verknüpft sind und mit gesellschaftsrelevanten Maßnahmen wie der Propagierung einer vermehrt pflanzenbasierten Ernährung und verstärkten Energiesparmaßnahmen kombiniert werden. Die Umsetzung europäischer Vorgaben, insbesondere im Rahmen der RED III, sollte daher nicht als reine Beschleunigung des Ausbaus erneuerbarer Energien verstanden werden, sondern als Chance, verbindliche Biodiversitätsstandards zu integrieren und systematisch zu verankern. Nur durch eine solche integrative und vorsorgende Politik kann die Energiewende langfristig zur Versorgungssicherheit und zur Erreichung von Klimaneutralität beitragen, ohne neue ökologische Rückschläge zu erzeugen [29] [39].

4 Diskussion

Die vergleichende Betrachtung der relevantesten Erneuerbaren Energieträger und -quellen für Österreich zeigt deutliche Unterschiede in ihrem Synergie- und Konfliktpotenzial mit dem Biodiversitätsschutz. Photovoltaik und Windkraft weisen bei sorgfältiger Planung und geeigneter Standortwahl grundsätzlich ein höheres Potenzial für eine biodiversitätsverträgliche Umsetzung auf als Biomasse und Wasserkraft. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass nationale Ausbauziele für erneuerbare Energien biodiversitätsverträgliche Potenziale als Ausbauobergrenze berücksichtigen sollten. Insbesondere bei der Wasserkraft werden die derzeit im aktuellen ÖNIP festgehaltenen Ausbauziele den biodiversitätsverträglich vorhandenen Potenzialen nicht gerecht. Insgesamt ist die Energiewende in Österreich untrennbar mit Fragen der Landnutzung, der Raumplanung und des Biodiversitätsschutzes verbunden. Klimaschutz und Biodiversität stehen dabei nicht in einem einfachen Zielkonflikt, sondern in einem komplexen Spannungsfeld aus konkurrierenden Nutzungsansprüchen, potenziellen Synergien und drohenden Trade-Offs. Intakte, artenreiche Ökosysteme spielen eine Schlüsselrolle für den Klimaschutz und die Klimawandelanpassung, da sie Kohlenstoff speichern, den Wasserhaushalt regulieren und Extremwetterereignisse abpuffern. Gleichzeitig können Maßnahmen zur Treibhausgasminderung, insbesondere der Ausbau erneuerbarer Energieinfrastruktur, durch zusätzliche Flächenbeanspruchung, neue Belastungen für Lebensräume und Arten erzeugen. Der Klimawandel in Österreich wurde bislang nicht als wichtigste Ursache für Artenverluste identifiziert, wirkt jedoch zunehmend als Verstärker bestehender Belastungen. Daraus folgt, dass Klimaschutzmaßnahmen und der Ausbau erneuerbarer Energien dann besonders effektiv und nachhaltig sind, wenn sie bestehende Landnutzungsprobleme nicht weiter verschärfen, sondern im Idealfall zu deren Reduktion beitragen. Energiewende, Klimaschutz und Biodiversitätsschutz sind daher nicht als konkurrierende Ziele zu verstehen, sondern als wechselseitig abhängige Komponenten einer nachhaltigen Transformation, welche es auf politischer und Verwaltungsebene optimal zu koordinieren gilt.

5 Literaturverzeichnis

- [1] Europäische Kommission, „Der europäische Grüne Deal - Erster klimaneutraler Kontinent werden,“ 2019. [Online]. Available: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de.
- [2] Verordnung (EU) 2021/1119, *Verordnung (EU) 2021/1119 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Juni 2021 zur Schaffung des Rahmens für die Verwirklichung der Klimaneutralität und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 401/2009 und (EU) 2018/1999 ("Europäisches Klimagesetz")*, Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union, 2019.
- [3] Directive (EU) 2023/2413, „Directive (EU) 2023/2413 of the European Parliament and of the Council of 18 October 2023 amending Directive (EU) 2018/2001, Regulation (EU) 2018/1999 and Directive 98/70/EC as regards the promotion of energy from renewable sources, (...)“, 2023. [Online].
- [4] BGBl. I Nr. 150/2021, *Bundesgesetz über den Ausbau aus erneuerbaren Quellen (Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz - EAG)*, B. d. R. Österreich, Hrsg., 2021.
- [5] CBD/COP/15/L.25, „Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework,“ 2022. [Online]. Available: <https://www.cbd.int/article/cop15-final-text-kunming-montreal-gbf-221222>.
- [6] COM (2020) 380 final, *COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS. EU Biodiversity Strategy for 2030*, European Commission, 2020.
- [7] BMK, *Biodiversitäts Strategie Österreich 2030+*, Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, 2022.
- [8] REGULATION (EU) 2024/1991, *REGULATION (EU) 2024/1991 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 24 June 2024 on nature restoration and amending Regulation (EU) 2022/869*, THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION.
- [9] BMK, „Integrierter nationaler Energie- und Klimaplan für Österreich,“ Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Wien, 2024.
- [10] BMK, „Integrierter österreichischer Netzinfrastukturplan,“ Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Wien, 2024.
- [11] Umweltbundesamt, „Strategische Umweltprüfung zum integrierten österreichischen Netzinfrastukturplan,“ Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Wien, 2024.

- [12] Umweltbundesamt, „Strategische Umweltprüfung zum Entwurf des integrierten nationalen Energie- und Klimaplan - Periode 2021-2030,“ Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Wien, 2024.
- [13] T. Krutzler, M. Anderl, S. Böhmer , E. Freisinger, M. Gössl, B. Gugele , C. Heller, H. Heinfellner, G. Lichtblau, W. Schieder, I. Schindler, M. Stiefmann, S. Svehla-Stix, F. Teurezbacher, J. Vogel, R. Wasserbauer, H. Wiesenberger, R. Winter und A. Zechmeister, „Energie- und Treibhausgasszenarien zum nationalen Energie und Klimaplan 2024,“ Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2024.
- [14] BMK, „Die österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel. Teil 2 - Aktionsplan Handlungsempfehlungen für die Umsetzung,“ Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Wien, 2024.
- [15] S. Böhmer, C. Brendle, G. Eisenkölb, M. Gössl, D. Guggenberger, S. Nemetz, I. Schindler, A. Storch, D. Trauner und R. Wasserbauer, „Erzeugung von erneuerbarem Strom und Biomethan - Szenarien für 2030 und 2040,“ Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2023.
- [16] K. Karner, Y. Asbäck, M. Getzner, M. Schönhart und N. Weber, „Analyse der Auswirkungen von Photovoltaikanlagen auf Biodiversität unter Berücksichtigung der vielfältigen Standortvoraussetzungen in Österreich,“ Teilprojekt von StartClim 2023, Wien, 2024.
- [17] S. Popp, C. Hainz-Renetzeder, R. Schinegger, T. Schauppenlehner, G. Gruber, A. Huber und S. Schmutz, „Identifikation von Konflikten und Lösungsansätzen einer naturverträglichen Energiewende zur gemeinsamen Erreichung von Klima- und Naturschutzziele - in Erarbeitung,“ BOKU-University, Wien, 2026.
- [18] B. Strohmaier, H. Berg, M. Dvorak , F. Grinschgl, J. Hohenegger, E. Karner-Ranner, A. Kleewein, C. Kuhn, D. Leopoldsberger, C. Nagl, J. Pöhacker, R. Probst, L. Sachslehner, M. Schmidt , H. Uhl und G. Wichmann, „Photovoltaik-Freiflächenanlagen und Vogelschutz in Österreich - Konflikt oder Synergie?,“ BirdLife Österreich, Wien, 2023.
- [19] M. Schmidt, „Dokumentierte Todesursachen von Kaiseradlern in Österreich,“ BirdLife Österreich, Wien, 2024.
- [20] A. E. Duerr , A. E. Parsons , L. R. Nagy, M. J. Kuehn und P. Bloom, „Effectiveness of an artificial intelligence-based system to curtail wind turbines to reduce eagle collisions,“ *PLoS ONE*, Bd. 18(1): e0278754, 2023.
- [21] KNE, „Beurteilung des einzelfallbezogenen Kollisionsrisikos für Vögel an Windenergieanlagen nach Sprötge, Sellmann und Reichenbach (2018). Kurzfassung und Einordnung,“ Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende, Berlin, 2020.
- [22] APCC, „Technische Zusammenfassung. In: Jandl, R., Tappeiner, U., Foldal, C.B., Erb, K. (eds) APCC Special Report: Landnutzung und Klimawandel in Österreich,“ *Springer Spektrum*, 2024.

- [23] Allianz BiodiWa, „Wasserforschung in Österreich. Perspektiven der Mitglieder des Forschungsbereichs Wasser (vormals Joint Water Initiative) der Allianz Biodiversität & Wasser. White Paper,“ 2024.
- [24] R. Mayo des la Iglesia, L. Miserere, M. Vust, J.-P. Theurillat, C. Randin und P. Vittoz, „Divergent responses of alpine bryophytes and lichens to climate change in the Swiss Alps,“ *Journal of Vegetation Science*, Bde. %1 von %2Volume 35, Issue 4, 2024.
- [25] D. Rödder, T. Schmitt, P. Gros, U. Werner und H. Christian , „Climate change drives mountain butterflies towards the summits,“ *Scientific Reports 11*, Article number: 14382 (2021), 2021.
- [26] K. Steinbauer, A. Lamprecht, P. Semenchuk, M. Winkler und H. Pauli, „Dieback and expansions: species-specific responses during 20 years of amplified warming in the high Alps,“ *Alpine Botany*, Bde. %1 von %2Volume 130, 1-11, 2020.
- [27] T. Zuna-Kratky, W. Holzinger, T. Frieß, H. Heimbürg, E. Huber, J. Neumayer, E. Ockermüller, P. Bärbel, D. Rabl, I. Illich und K. Pascher, „Veränderungen von Insektenpopulationen in Österreich in den letzten 30 Jahren - Ursachen und ausgewählte Beispiele - Endbericht,“ 2022.
- [28] L. Schratt-Ehrendorfer, H. Niklfeld, C. Schröck und O. Stöhr, „Rote Liste der Farn- und Blütenpflanzen Österreichs,“ *Stapfia 114*, 2022.
- [29] K. W. Steininger, R. Keywan, S. Stagl, H. Kromp-Kolb und G. Kirchengast, „Nationaler Energie- und Klimaplan (NEKP) für Österreich - Wissenschaftliche Bewertung der in der Konsultation 2023 vorgeschlagenen Maßnahmen,“ Climate Change Centre Austria (CCCA), Wien, 2024.
- [30] C. Hainz-Renetzeder, K. Karner, M. Milchram, J. Petermann , B. Strohmaier, A. Tribsch und N. Weber, „Fact Sheet #03: Biodiversitätsverträglicher Ausbau von Photovoltaik Freiflächenanlagen,“ Donau Universität Krems, 2025b.
- [31] B. Strohmaier, M. Milchram, G. Reiter, C. Hainz-Renetzeder, J. Petermann, A. Tribsch, S. Vitecek, N. Weber und M. Schmidt, „Fact Sheet #05: Biodiversitätsverträglicher Ausbau von Windenergie,“ Donau Universität Krems, 2025.
- [32] N. Weber, J. Petermann, K. Erb, G. Gratzner, N. Roux, U. Tappeiner, E. Tasser und A. Tribsch, „Fact Sheet #04: Biodiversitätsverträgliche Mobilisierung von Biomasse zur Energieerzeugung,“ Donau Universität Krems , 2025.
- [33] S. Schmutz, R. Schinegger, S. Muhar, S. Preis und M. Jungwirth, „Ökologischer Zustand der Fließgewässer Österreichs–Perspektiven bei unterschiedlichen Nutzungsszenarien der Wasserkraft,“ *Österreichische Wasser- und Abwasserwirtschaft*, Bd. 62(7), pp. 162-167, 2010.
- [34] E. Schneider, M. Werling, B. Stammel, K. Januschke, G. Ledesma-Krist, M. Scholz, D. Hering, M. Gelhaus, E. Dister und G. Egger, „Biodiversität der Flussauen Deutschlands,“ *Naturschutz und Biologische Vielfalt*, Bd. Heft 163, 2017.

- [35] I. Hanski und O. Ovaskainen, „Extinction Debt at Extinction Threshold,“ *Conservation Biology*, Bd. 16, pp. 666 - 673, 2002.
- [36] C. Komposch, W. Petutschnig und J. Lamprecht, „Gefährdungsursachen. Eine tiergruppenübergreifende Analyse,“ *Carinthia II - Sonderhefte Rote_Liste_2023*, pp. 229 - 254, 2023.
- [37] S. Vitecek, J. Petermann, A. Tribsch und N. Weber, „Fact Sheet #06: Biodiversitätsverträgliche Optimierung von Wasserkraft,“ Donau Universität Krems, 2025.
- [38] S. Fellingner, V. Gaube, C. Gumpinger, E. Haring, T. Hein, R. Hornek-Gausterer, H.-P. Hutter, C. Lauk, K. Lemmerer, C. Lettner, J. Liebmann-Holzmann, J. Petermann und N. Weber, „Multiple Krisen – Gemeinsame Lösungen: Das IPBES Nexus Assessment für Österreich,“ 2025.
- [39] C. Hainz-Renetzeder, J. Petermann, A. Tribsch und N. Weber, „Fact Sheet #02: Übergang zur Klimaneutralität: Schließung der Biodiversitätslücke,“ Donau Universität Krems, 2025.
- [40] A. Vorauer und C. Walder, „Die Fledermäuse Tirols - Natur in Tirol,“ Amt der Tiroler Landesregierung - Abteilung Umweltschutz, 2014.
- [41] C. Paniccia, M. J. Scott, A. Belle, A. Marsoner, E. Ladurner, L. Angelini, F. Reichegger, E. Tomelleri, U. Tappeiner und A. Hilpold, „Balancing bats and agriculture: Investigating the effects of agricultural management practices on bat species diversity in mountain ecosystems,“ *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Bd. Volume 387, 2025.
- [42] A. Tolvanen, H. Routavaara, M. Jokikokko und P. Rana, „How far are birds, bats, and terrestrial mammals displaced from onshore wind power development? – A systematic review,“ *Biological Conservation*, Bd. Volume 288, 2023.
- [43] Verbund Hydro Power AG, „Die Wasserkraftwerke in Kärnten,“ Wien, 2013.
- [44] Verbund, „Grüne Batterie: Neues Kavernenkraftwerk auf 2.300 Meter Seehöhe,“ 2021. [Online]. Available: www.verbund.com.
- [45] Umweltbundesamt, „Persönliche Mitteilungen des Umweltbundesamts vom 02.05.2024,“ 2025.
- [46] Österreichs E-Wirtschaft, „Kraftwerksprojekte - Wasserkraft,“ [Online]. Available: <https://oesterreichsenergie.at/kraftwerksprojekte/wasserkraft>.
- [47] OMT community, „Open Infrastructure Map,“ [Online]. Available: [https://openinframap.org/..](https://openinframap.org/)
- [48] N. Nackler, „KW Koralpe: Upgrading zum Pumpspeicherkraftwerk,“ 2015. [Online]. Available: https://www.hidroinstitut.si/files/2015/02/Aufsatz_mBilder.pdf.

- [49] Land Kärnten, Abteilung 8, Aus: Wesslak V. (2022) , „Energiebedarfe Kärnten - Last und Einspeisprofile Kärnten - Energiepotenziale Kärnten. Mündliche und schriftliche Mitteilungen.“, Institut für Regenerative Energietechnik, Nordhausen, 2022.
- [50] Kelag AG, „Kelag Kraftwerk Koralpe: Entleerung des Speichers Soboth im Herbst 2023,“ 2023. [Online]. Available: <https://presse.kelag.at/news-kelag-kraftwerk-koralpe-entleerung-des-speichers-soboth-im-herbst-2023?id=185834&menueid=27565&l=deutsch>.
- [51] Kelag Ag, „Energie aus Wasserkraft,“ [Online]. Available: <https://www.kelag.at/ueber-kelag/wasser.html>.
- [52] FH Kärnten, „Wissenschaftliche Studie zur Energiestrategie Kärnten - Teil C: Energiesystemmodellierung,“ Villach, 2025.
- [53] G. Berger, J. Klausner, S. Leitner und I. Preiss, „Sanierung, Revitalisierung und Modernisierung von Kleinwasserkraftwerken,“ *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, , Bd. Vol. 61, pp. 35-44, 2009.
- [54] K. Bauer, F. Borgwardt, T. Hein, N. Kreuzinger, J. Liebmann-Holzmann, J. Loos, T. Marke, C. Ornetsmüller, K. Pascher, J. Petermann, R. Schinegger und E. Schober, „Biodiversität an Land und im Wasser - eine Trendwende ist möglich! Positionspapier der Allianz Biodiversität und Wasser,“ Allianz BiodiWa, Krems, 2025.