



Gekoppelte Herausforderungen für die Schweiz:  
Schnittstellen im Klimaschutz,  
Biodiversitätsschutz, Energiesicherheit  
und Landschaftsschutz

Whitepaper

Cyril Brunner, Rebecca Lordan-Perret, Elisa Cadelli,  
Nadine Salzmann, Dirk N. Karger, Niklaus E. Zimmermann  
17. Mai 2024

## Zusammenfassung

Massnahmen gegen den Klimawandel stellen uns vor diverse Herausforderungen: Wie können wir gleichzeitig die Biodiversität erhalten, die Landschaft bewahren und die Energieversorgung sichern? Ein Beispiel für solche Zielkonflikte ist die bevorstehende Abstimmung über das Bundesgesetz über eine sichere Stromversorgung mit erneuerbaren Energien. Um diese Fragen wissenschaftlich zu beurteilen, hat eine Gruppe von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern mit unterschiedlichem Hintergrund im interdisziplinären Projekt [SPEED2ZERO](#) mit der Beteiligung von sechs Institutionen des ETH-Bereichs die Herausforderungen, Chancen und Zielkonflikte zwischen Klimaschutz, Biodiversitätsschutz, Energiesicherheit und Landschaftsschutz analysiert. Dies ist eine Zusammenfassung der Erkenntnisse zur Unterstützung der Entscheidungsfindung.

### Kernaussagen

- Die Schweiz muss ihren Energiesektor schneller dekarbonisieren, um ihre Klimaziele zu erreichen und die Biodiversität zu schützen.
- Der Zustand der Biodiversität ist besorgniserregend. In der Schweiz sind die Ursachen für den Verlust der Biodiversität bisher hauptsächlich nicht energiebezogen. Ohne griffige Massnahmen gegen den Klimawandel, wird er voraussichtlich zu einem der Hauptfaktoren für den Verlust der Biodiversität werden. Der Klimawandel bedroht auch zunehmend Landschaften. Daher besteht eine wichtige Motivation für die Eindämmung des Klimawandels darin, den daraus resultierenden Verlust der Biodiversität und die Auswirkungen auf die Landschaft zu begrenzen.
- Die Schweiz plant die Abkehr von fossilen Brenn- und Treibstoffen vor allem durch die Elektrifizierung, z.B. von Heizungen und der Mobilität. Die Schweiz beabsichtigt diesen erhöhten Strombedarf durch den Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien zu decken, indem sie vor allem in die Photovoltaik und den Ausbau der Wasserkraftkapazitäten investiert. Diese dominierenden Quellen werden durch andere Technologien wie Windenergie oder Kraftwerke ergänzt, die mit Abfall (mit Kohlenstoffabscheidung und -speicherung), Biomasse, synthetischen Gasen und grünem Wasserstoff betrieben werden.
- Bei jeder neuen Infrastruktur, auch die für erneuerbare Energien, sind gewisse negative Auswirkungen unvermeidlich, und Kompromisslösungen sind zwingend. Die Wahl der Technologien für erneuerbare Energien und - vermutlich noch wichtiger - ihr Standort haben direkte Auswirkungen auf die Biodiversität und die Landschaft, die jedoch begrenzt werden können.
- Veränderungen sind unvermeidlich: Nichts zu tun bedeutet nicht, dass sich nichts ändert. Nichtstun bedeutet vielmehr, dass die unvermeidlichen Veränderungen weniger vorhersehbar und wahrscheinlich weniger wünschenswert sein werden. Deshalb sollte die Schweiz heute bewusste Veränderungen vornehmen, solange sie noch einige Hebel in der Hand hat, um den Wandel in eine wünschenswerte Richtung zu lenken.
- Negative Auswirkungen auf die Biodiversität können durch die Einhaltung von vier Leitprinzipien minimiert werden: Minimale Ausdehnung, Konnektivität, Komplementarität und Nachhaltigkeit.
- Die aktuellen Diskussionen über die Auswirkungen neuer Energieinfrastrukturen auf die Biodiversität sind zwar wichtig, es sollte jedoch betont werden, dass solche Anlagen nicht die Hauptursache für den Verlust der Biodiversität sind und höchstwahrscheinlich auch nie sein werden. Um den Verlust der Biodiversität im Allgemeinen zu bekämpfen, sollte die Schweiz auch die anderen Ursachen besprechen und angehen.

# Einleitung

In den nächsten Jahren wird die Schweizer Bevölkerung verschiedene wichtige Entscheidungen treffen müssen, um die vielschichtige Herausforderung der Eindämmung des Klimawandels zu bewältigen: Wie kann gleichzeitig die biologische Vielfalt (Biodiversität) geschützt, die Landschaft erhalten und die Energieversorgung gesichert werden? In diesem Whitepaper diskutieren wir einige der impliziten und notwendigen Abwägungen, mit denen sich die Schweiz auseinandersetzen muss, und wie die dringende Energiewende zur Bewältigung des Klimawandels angegangen werden kann, um die Auswirkungen auf die Biodiversität und die Landschaft zu begrenzen.

## Unzureichendes Tempo für die gesetzten Ziele

Während die demokratisch festgelegten nationalen Ziele in der Schweiz in einer Bandbreite liegen, um die ratifizierten internationalen Klimaziele zu erreichen, sind die bisherigen Massnahmen der Schweiz zur Reduktion ihrer Treibhausgasemissionen ungenügend (1). Ein wichtiger Weg zur Reduktion dieser Emissionen ist unter anderem die Abkehr von fossilen Energieträgern durch Elektrifizierung, z.B. des Verkehrs oder der Heizungen, in Kombination mit Strom aus emissionsarmen Quellen (z.B. 2). Die Stromerzeugung in der Schweiz ist bereits seit vielen Jahrzehnten fast vollständig dekarbonisiert. Der Rest des Energiesystems ist jedoch nach wie vor stark von fossilen Energieträgern abhängig (z.B. Heizungen und Verkehr).

Die Umstellung von fossilen Brennstoffen auf Elektrizität und die wachsende Bevölkerung werden die Stromnachfrage in der Schweiz je nach Aktionsplan um etwa ein Drittel von heute 58.5 TWh/Jahr auf 70-90 TWh/Jahr im Jahr 2050 erhöhen (3, 4). Die Schweiz will diese Nachfragesteigerung mit erneuerbaren Energiequellen wie Photovoltaik (PV), Wasserkraft und Windkraft decken. Diese Energiequellen müssen mit besser zuschaltbaren Technologien wie Kraftwerken, betrieben mit Abfall (mit Kohlenstoffabscheidung und -speicherung), Biomasse, synthetischen Gasen oder grünem Wasserstoff kombiniert werden. Aufgrund der derzeitigen rechtlichen und finanziellen Lage und der für den Bau erforderlichen Zeit werden neue Kernkraftwerke bis 2050 voraussichtlich nicht relevant sein (5).

Der Aufbau eines neuen, auf erneuerbare Ressourcen basierenden Energiesystems erfordert kontinuierliche und umfangreiche Investitionen, die Jahrzehnte dauern werden. Mit anderen Worten: Um die Dekarbonisierung bis 2050 zu erreichen, muss die Schweiz jetzt proaktiv handeln. Bis 2022 war der jährliche Zuwachs an erneuerbaren Energien zu langsam, manchmal sogar deutlich zu langsam, um die allgemeinen Dekarbonisierungsziele zu erreichen. Letztes Jahr jedoch wurde in der Schweiz zum ersten Mal mehr Solarstrom installiert (6) als zur Erreichung der in der Energiestrategie angestrebten 34 TWh bis 2050 (7) erforderlich ist (d. h. 1100 MWp/Jahr, einschliesslich Ersatz). Dieser beschleunigte Zubau wurde zum Teil durch die hohen Erdgas- und Strompreise und die aus der internationalen geopolitischen Lage resultierenden Unsicherheiten sowie die immer weiter sinkenden Kosten für die Photovoltaik verursacht. Inzwischen haben sich die Gas- und Strompreise entspannt (z.B. 8) und es ist unklar, ob das Tempo von 2023 beibehalten werden kann. Für die zuvor beobachtete Zurückhaltung bei der Anschaffung erneuerbarer Energien gibt es verschiedene Gründe, darunter die Dynamik des derzeitigen Systems, hohe Vorlaufkosten, fehlende Anreize und eine komplizierte gesellschaftliche Akzeptanz (z.B. 9). Ein weiterer Teil dieser Zurückhaltung ergibt sich aus der Sorge um eine Ausweitung der Energieerzeugung auf Kosten der Biodiversität und der Landschaft (z.B. 10, 11).

Weltweit, aber auch in der Schweiz, nimmt die Biodiversität in alarmierendem Ausmass ab. Die Schweiz muss mehr tun, um weitere Biodiversitätsverluste zu verhindern. Die Bemühungen gehen oft Hand in Hand mit der Eindämmung des Klimawandels. Neuere Untersuchungen zeigen, dass die

Hälfte der Lebensräume und ein Drittel der Arten in der Schweiz bedroht sind (12). Mit dem Rückgang der Populationen von Arten geht auch die genetische Vielfalt verloren. Die Verluste setzen sich auf anderen Ebenen der Biodiversität (Arten, Ökosysteme) fort (12). Eine der wirksamsten Schutzmassnahmen ist es, der Biodiversität mehr Raum zu geben (z.B. 13). Bislang sind nur 13.4% der Fläche der Schweiz geschützt, wobei 17% angestrebt werden. Damit wird das auf der COP15 vereinbarte und von der Wissenschaft empfohlene Ziel von 30% bis 2030 nicht erreicht<sup>1</sup>. Entwicklungen ausserhalb des Energiesektors wie die Zersiedelung (16) und die Landwirtschaft sind die grössten Treiber des Biodiversitätsverlustes (17). Im Energiesektor liegt der wichtigste - aber nicht der einzige - negative Einfluss in der raschen Erderwärmung, die durch Treibhausgasemissionen verursacht wird (18-20).

## Untätigkeit hat ihren Preis

Mit einer Erwärmung von 2.8°C hat sich die Schweiz seit dem Zeitraum 1871-1900 mehr als doppelt so stark erwärmt wie der globale Durchschnitt (21). Die gegenwärtige und künftige rasche Erwärmung und die Veränderung anderer wichtiger Klimavariablen wie der Niederschläge werden die natürlichen Ökosysteme schädigen und die Biodiversität direkt verringern. Während einheimische Arten verschwinden, werden nicht-einheimische Arten ihren Platz einnehmen. Einige von ihnen können invasiv werden, was die Ökosysteme noch weiter beeinträchtigt. Der Temperaturanstieg hat und wird auch in Zukunft die Landschaft verändern, z.B. durch das Verschwinden von Gletschern, destabilisierte Hänge infolge des auftauenden Permafrosts oder abgestorbene, ausgetrocknete Wälder (22, 23).

Eine der Hauptbegründungen für die Begrenzung der globalen Erwärmung auf 1.5°C ist die Vermeidung irreversibler Schäden an der globalen Biodiversität (z.B. Korallenriffe, Pflanzen- und Tierarten an Land). Bei einer Erwärmung von 2°C würde die globale Erwärmung zum grössten Treiber für den Verlust der Biodiversität werden (24). Daher wird jede der realisierbaren Netto-Null-Strategien (verschiedene Technologiekonfigurationen sind möglich) zum Schutz der Biodiversität beitragen, indem sie den Klimawandel abschwächt. Auch wenn der Verlust an Biodiversität schwer zu quantifizieren ist und nur selten in die Entscheidungsfindung einfliesst (25), handelt es sich häufig um irreversible Schäden, die die Kosten der Untätigkeit weiter erhöhen werden.

Andererseits sind Klimaschutzmassnahmen, auch wenn sie die Biodiversität und die Landschaft auf überregionaler Ebene erhalten, nicht frei von negativen Auswirkungen auf lokaler oder regionaler Ebene. In den meisten Fällen lassen sich die Auswirkungen neuer erneuerbarer Infrastrukturen auf die Biodiversität am besten minimieren, wenn sie auf bestehenden Infrastrukturen wie Gebäuden, Strassen, Lawinenschutz platziert werden, oder dort, wo die Biodiversität bereits stark beeinträchtigt ist, wie z.B. auf bewirtschafteten Flächen; diese Standorte geniessen auch eine grössere soziale Akzeptanz (26). Dies ist jedoch nicht in jedem Fall möglich oder zwangsläufig optimal. Eine Studie von Salak et al. (26) fand heraus, dass die Standortwahl für neue Infrastrukturen für erneuerbare Energien zur Maximierung des Ökosystemschutzes mehr Gesamtfläche für die Energieerzeugung erfordert als die Optimierung der Platzierung für die reine Energieerzeugung. Gemäss Salak et al. ergibt sich der höhere Flächenbedarf daraus, dass aus Sicht der sozialen Akzeptanz und der Ökologie ideale Standorte nicht unbedingt die besten Standorte für die Energieerzeugung sind. So entsteht ein Spannungsverhältnis zwischen der Minimierung der insgesamt gewidmeten Fläche und der

---

<sup>1</sup> Der derzeitige Schutzstatus der Schweiz liegt bei 13.4%, das angestrebte Ziel liegt bei 17% (14). Die CBD (Convention on Biological Diversity) fordert 30% bis 2030, wie 2022 in Montreal vereinbart (15). Das Defizit der Schweiz beträgt also mindestens 13%, so viel wie die gesamte heute geschützte Fläche.

Vermeidung sensibler Gebiete (26). Komplexe Abwägungen wie diese verdeutlichen die Kosten unserer dringend notwendigen Massnahmen.

Die Kosten des Handelns und Nichthandelns sind weit mehr als nur finanziell. Aber ohne einen Markt oder ein monetäres Äquivalent ist es schwierig, zwischen konkurrierenden Optionen zu wählen oder eine umfassende politische Entscheidung zu treffen. Letztlich ist die Bezifferung von Optionen mit einem einzigen Kostenwert höchst unsicher<sup>2</sup>. Aus diesem Grund lassen sich pauschale Kosten-Nutzen-Schätzungen nicht zuverlässig quantifizieren (27). Dennoch gibt es immer mehr Literatur, die versucht, spezifische Schäden im Zusammenhang mit dem Klimawandel zu quantifizieren (z.B. 28), einschliesslich indirekter Schäden wie die Verlangsamung des Wirtschaftswachstums (z.B. 29, 30). Trotz unvollkommener und unvollständiger Schätzungen dieser Schäden kann im Vergleich zu den Kosten der Eindämmung des Klimawandels überzeugend argumentiert werden, dass auf globaler Ebene die Vorteile der Eindämmung des Klimawandels wahrscheinlich grösser sind als die Kosten der Dekarbonisierung. Diese Argumentation wird noch verstärkt, wenn die Nebeneffekte der Dekarbonisierung berücksichtigt werden, z.B. besserer Allgemeingesundheit aufgrund geringerer Luftverschmutzung, geringere Auswirkungen auf die Biodiversität und bessere Boden- und Wasserqualität (z.B. 31).

Es mag paradox klingen, aber nichts zu tun bedeutet nicht, dass sich nichts ändern wird. Untätigkeit bedeutet vielmehr, dass unvermeidliche Veränderungen weniger vorhersehbar und wahrscheinlich weniger wünschenswert sind. Deshalb sollte die Schweiz heute bewusste Veränderungen vornehmen, solange sie noch einige Hebel in der Hand hat, um den Wandel in eine wünschenswerte Richtung zu lenken.

## Nutzen maximieren, Nebenwirkungen minimieren

Eine klimaneutrale Schweiz bis 2050 ist technisch und wirtschaftlich möglich. Das Wissen, die Technologien und die Finanzierungsmechanismen sind vorhanden (z.B. 32). Studien haben gezeigt, dass der Schweizer Finanzplatz den Investitionsbedarf für ein Netto-Null-Ziel decken kann (z.B. 33). Der politische Wille der Schweiz ist jedoch wechselhaft. Aber - und vielleicht zum Glück - gibt es viele mögliche Wege, um unsere Klimaziele zu erreichen. Im Idealfall wählt die Schweiz einen Energiepfad, der auch ihre Biodiversität und ihre Landschaft schützt.

Die Biodiversität ist nicht gleichmässig über die Landschaft verteilt. Ein tragfähiger Weg, der die grössten negativen Auswirkungen auf die Biodiversität und die Leistungen, die die Biodiversität oder funktionierende Ökosysteme für die Gesellschaft erbringen, vermeidet daher nicht einfach den Bau von erneuerbaren Energien an den Standorten mit der grössten Biodiversität. Vielmehr erfordert ein solcher Weg sorgfältige Optimierungsverfahren, die auf einigen wenigen Grundsätzen basieren, die die Entscheidungsfindung unterstützen können.

- 1) Das Prinzip des minimalen Ausmasses: Erfolgreicher Biodiversitätsschutz erfordert ein minimales Flächenausmass. Die "30 by 30"-Regel, die den Schutz von 30% der Landesfläche bis 2030 fordert, ist ein guter Kompromiss, um eine ausreichende Fläche für den Schutz der hochkomplexen Biodiversität in der Schweiz zu erreichen (34).

---

<sup>2</sup> Während die Investitionskosten oder die Kosten der Anpassung bis zu einem gewissen Grad geschätzt werden können, sind die Kosten der Biodiversität, der Ökosystemleistungen und der Veränderungen der Lebensqualität schwer oder gar nicht verlässlich zu quantifizieren oder zu vergleichen. Diese Kosten müssen auch aufgrund ihrer hohen Unsicherheit und ihrer potenziell katastrophalen und irreversiblen Folgen anders behandelt werden. Diese Kosten variieren auch je nach Zeit (z.B. Todesfälle in 1000 Jahren vs. heute) und Ort (z.B. irgendwo auf dem Globus vs. in der Schweiz).

Die zahlreichen Arten in der Schweiz bewohnen viele verschiedene Lebensräume, von nass bis trocken, von warm bis kalt, von Grasland bis Wald. Zudem unterscheiden sich ähnliche Lebensräume in zwei verschiedenen Regionen in ihrer Artenzusammensetzung. Daher kann man nicht nur ein kleines Gebiet schützen, da es nicht genügend Raum für das Überleben vieler Arten bietet und nicht viele verschiedene Lebensräume enthält (35). Ausserdem ist es nicht ratsam, ein grösseres Gebiet nur in einer Region zu schützen, auch wenn es viele Lebensräume enthält. Bei diesem Ansatz würden viele Arten aus anderen Regionen ungeschützt bleiben.

- 2) Prinzip der Komplementarität: Gebiete, die von Arten bewohnt werden, die durch bestehende Schutzgebiete nicht gut geschützt sind, sollten für neue Bauten gemieden werden.

Gebiete, die den Schutz der Biodiversität optimal ergänzen, müssen gemieden werden. Mit anderen Worten: Es muss geprüft werden, inwieweit die Biodiversität in der Schweiz durch die bestehenden Schutzgebiete erhalten wird. Danach müssen zusätzliche Schutzgebiete sorgfältig ausgewählt werden, um ein Netzwerk zu schaffen, das die Zahl der geschützten Arten maximiert. Installationen neuer Bauten in Gebieten sind weniger schädlich, wenn die Gebiete vor allem Arten beherbergen, die bereits gut geschützt sind.

- 3) Prinzip der Konnektivität: Gebiete, die im Idealfall bestehende Schutzgebiete innerhalb der Migrationsdistanz der meisten Arten verbinden, sollten für neue Bauvorhaben vermieden werden.

Der fortschreitende Klimawandel zwingt viele Arten zur Migration, um zu überleben (36, 37). Die anhaltende Erwärmung (und die häufig damit verbundene Austrocknung) zwingt die Arten, neue Standorte zu finden, die ihren Anforderungen an Temperatur und Feuchtigkeit entsprechen. Infolgedessen wandern die Arten ab, oft in höhere Lagen oder an Standorte, die zuvor zu feucht oder zu kalt waren (38). Sowohl die Migration als natürlicher Teil des Lebens einer Art als auch die Migration aufgrund von Klimaveränderungen erfordert ausreichend Platz. Die meisten Arten können nicht einfach quer durch die Landschaft wandern. Stattdessen neigen Arten dazu, entlang von Flecken ihres bevorzugten Lebensraums zu wandern (39). Dies klingt zwar komplex, aber der nationale Ansatz der "ökologischen Infrastruktur" (40), der sich derzeit in den Kantonen der Schweiz in der Planungsphase befindet, ist ein hervorragendes Instrument zur Unterstützung des Konnektivitätsprinzips.

- 4) Nachhaltigkeitsprinzip: Ein erfolgreicher Schutz der Biodiversität und die Erhaltung funktionierender Ökosysteme leisten einen wichtigen Beitrag zur Eindämmung des Klimawandels.

Die Vegetationsdecke der Schweiz bindet grosse Mengen an Kohlenstoff; die Trockenmasse der Vegetation besteht zu rund 50% aus Kohlenstoff (z.B. 41). Pflanzen sterben ständig ab und regenerieren sich. Wenn sie absterben, geben sie Kohlenstoff an die Atmosphäre ab. Wenn sie wachsen, entziehen sie der Atmosphäre Kohlenstoff. Weltweit hat die Vegetation rund 30% der menschlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den CO<sub>2</sub>-Düngungseffekt absorbiert und damit zur Abschwächung des Klimawandels beigetragen (42). Der fortschreitende Klimawandel führt dazu, dass die Ökosysteme deutliche Stresssymptome zeigen. Die Walliser Föhrenwälder und die Buchenwälder im Mittelland zeigen ein zunehmendes Absterben der vorherrschenden Baumarten als Reaktion auf immer stärkere Dürreereignisse (43). Massives Absterben und das geringere Wachstumspotenzial unter trockeneren Bedingungen wirken sich negativ auf das Potenzial aus, der Atmosphäre Kohlenstoff zu entziehen (44). Artenreichere Pflanzengemeinschaften sind gegenüber solchen negativen Einflüssen des fortschreitenden Klimawandels widerstandsfähiger als weniger artenreiche Gemeinschaften (45, 46) und können beispielsweise auch dazu beitragen, steile Hänge zu stabilisieren und damit Naturgefahren zu mindern.

Vor dem Hintergrund dieser Grundsätze muss die Schweiz entscheiden, welche Technologien und Quellen sie für ihre Stromversorgung nutzen will, und vor allem, wo sie diese ansiedeln will. Die

meisten Forschenden sind sich einig, dass die Schweiz in erster Linie auf Wasserkraft, Photovoltaik und in geringerem Masse auf Importe setzen wird, um die demokratisch beschlossene Energiewende zu erreichen. Die Schweiz wird auch auf eine Kombination von Windenergie und thermischen Erzeugern (z.B. Holz, Abfall, Biogas oder grüner Wasserstoff) setzen, doch wird der Anteil dieser Technologien im Vergleich zu Wasserkraft und Photovoltaik gering sein (4): Die meisten Szenarioergebnisse deuten darauf hin, dass die Schweiz bis 2050 rund 50% ihres Stroms mit Wasserkraft erzeugen wird (einschliesslich des von der Schweizer Regierung geplanten Ausbaus), während der Anteil der Solarenergie an der künftigen Stromnachfrage rund 40% betragen wird<sup>3</sup> (4).

Üblicherweise wird der meiste Strom der Wasserkraft im Frühjahr und Sommer aus der schmelzenden Schneedecke und den Gletschern gewonnen. Die Solarenergie erzeugt den meisten Strom im Sommer, wenn die Tage lang sind. Alle diese Stromquellen produzieren zwar auch im Winter, vor allem in den Bergregionen, doch ist die Stromnachfrage in Europa im Winter ebenfalls höher. Daher muss dieses Stromangebot durch Stromhandel, Technologien, die im Winter mehr produzieren (z.B. Windenergie oder Solarenergie in grossen Höhen) und/oder durch eine zuschaltbare Erzeugung (z.B. bestehende oder modernisierte Wasserkraftwerke oder Wärmekraftwerke, die Erdgas mit Kohlenstoffabscheidung und -speicherung, Biogas oder Wasserstoff verwenden) ergänzt werden (47). Die physische Konfiguration dieser Technologien wird Auswirkungen auf die Biodiversität und die Landschaft haben. Dennoch gibt es Möglichkeiten, diese Auswirkungen zu verringern und gleichzeitig unsere Energieziele zu erreichen, insbesondere in Hochgebirgsregionen, wo die Biodiversität besonders anfällig für den Klimawandel, extreme Wetterbedingungen und andere Störungen ist.

Wissenschaftliche Akzeptanzuntersuchungen zu neuen Infrastrukturen für erneuerbare Energien kommen zu den folgenden zwei Hauptaussagen: Erstens werden erneuerbare Energieanlagen in der Schweiz in bereits überbauten Gebieten, z.B. im dicht besiedelten Mittelland oder in Regionen mit bestehender touristischer Infrastruktur (z.B. 48), besser bewertet. Ausserdem wird ein Landschaftsszenario günstiger bewertet, wenn die Landschaft und die Energieanlagen als kompatibel mit der natürlichen Landschaft wahrgenommen werden. Zweitens ist die gesellschaftspolitische Akzeptanz höher, wenn die Energieanlagen verdichtet und nicht über die Landschaft verteilt gebaut werden (49). Diese beiden Punkte stehen auch im Einklang mit den Leitprinzipien für den Schutz der Biodiversität. Darüber hinaus wurde in Workshops mit diversen Interessengruppen eine Reihe relevanter Kriterien für eine biodiversitäts- und landschaftsfreundliche Planung neuer erneuerbarer Energien ausgearbeitet (50).

## Erneuerbare Energien und ihre Auswirkungen

Angesichts der diversen Optionen im Hinblick auf erneuerbare Energiequellen ist es sinnvoll, diese auf ihr Energiepotenzial, ihre Auswirkungen auf die Landschaft und die Biodiversität in der Schweiz zu untersuchen.

Die **Wasserkraft** liefert etwa zwei Drittel des aktuellen Schweizer Strommixes, hat aber erhebliche Auswirkungen auf die Biodiversität und die Landschaft, und es gibt wenig Flexibilität bei der Wahl des Standorts dieser Infrastrukturen. Diese Auswirkungen variieren je nach Art der Wasserkraftanlage: Laufwasserkraft, Speicherkraft oder Pumpspeicherkraft. Das [Schweizerische Gewässerschutzgesetz](#) (51) verlangt zum Beispiel die Wiederherstellung der Fischdurchgängigkeit in Flüssen, was wiederum durch neue Laufwasserkraftwerke negativ beeinträchtigt würde. Generell sind Laufwasserkraftwerke schädlich für laichende Fische und beeinträchtigen die Bewegung von nährstoffreichem Sediment stark. Speicherseen und Pumpspeicherkraftwerke schaden der Biodiversität vor allem durch

---

<sup>3</sup> In dieser Hinsicht ist die Schweiz ein Ausreisser in Europa: Im Rest des Kontinents produziert die Windenergie derzeit den meisten Strom aus erneuerbaren Energien, und laut den nationalen Entwicklungsplänen wird sie weiter ausgebaut (5).

Überflutung oder Trockenlegung bzw. Abschwemmung von Lebensräumen, in denen Arten brüten (oder wachsen, wenn es sich um Pflanzen handelt). Wasserkraft trägt auch zu Erosion und Instabilität der Uferlinie bei, was ebenfalls zum Verlust der Biodiversität beitragen und möglicherweise Erdbeben oder Felsstürze auslösen kann.

Nach Angaben des Bundesamts für Energie hat die Schweiz mit ihren landesweit fast 700 Wasserkraftwerken mit einer Leistung von mehr als 300 MW bereits einen Grossteil ihres Wasserkraftpotenzials ausgeschöpft. Diese Anlagen können rund 37 TWh pro Jahr oder 60% des gesamten Strombedarfs (3) produzieren. Dennoch hat sich die Schweiz in der Energiestrategie verpflichtet, mehr Strom aus Wasserkraft zu produzieren. In Zusammenarbeit mit den relevanten Interessengruppen wählte die Schweizer Regierung schliesslich 15 Wasserkraftprojekte aus, unter Berücksichtigung der prognostizierten Auswirkungen auf die Biodiversität und die Landschaft sowie des Umfangs der zusätzlichen Kapazität, die die Projekte bieten würden. Die ausgewählten Projekte werden die Winterproduktion um 2 TWh (52) erhöhen. Bei den meisten dieser Projekte handelt es sich um Erweiterungen bestehender Anlagen (d.h. Erhöhung bestehender Dämme, um die Speicherkapazität zu erhöhen); es sind jedoch auch zwei neue Anlagen am Gorner- und Triftgletscher in Planung (53). Diese neuen Anlagen werden auch für die Bewirtschaftung des überschüssigen Wassers der schmelzenden Gletscher wichtig sein.

Was die gesellschaftliche Akzeptanz betrifft, so sind die bestehenden Wasserkraftwerke weitgehend unumstritten, auch weil sich die Bevölkerung an sie gewöhnt hat und die Gemeinden oft finanziell davon profitieren. Einige Schweizer Staudämme gelten sogar als Wahrzeichen und sind wichtig für den Tourismus. Neue Anlagen stossen jedoch nicht auf die gleiche Akzeptanz (54). Einige Studien deuten darauf hin, dass ökologische Kompensationen, wie die Renaturierung lokaler Bäche in der Region, einen günstigen Einfluss auf die Akzeptanz haben (55), was auch den Erhalt der lokalen Biodiversität unterstützen würde. Darüber hinaus können Mehrzwecknutzungen von Wasserkraftwerken die Akzeptanz regional und national erhöhen (56): Neben der Stromproduktion können die Anlagen auch für die landwirtschaftliche Bewässerung oder die Trinkwasserversorgung, den Schutz vor Hochwasser oder als touristische Attraktionen genutzt werden.

Das grosse **Solar**potenzial der Schweiz wird gerade erst erschlossen. Im Jahr 2023 wurden in der Schweiz 1500 MW an neuer Solar-PV-Leistung installiert, und die gesamte installierte Leistung erreichte 6200 MW, die 6.4 TWh produzierten (6). Die letztjährige Ausbaurate würde ausreichen, um die Szenario-Ziele von bis zu 34 TWh zu erreichen (57). Der Weg dorthin ist aber noch weit. Zumal es wahrscheinlich ist, dass die letztjährige Installationsrate, die teilweise durch die Erdgasknappheit in Europa und die Unsicherheiten bezüglich der französischen Stromexportkapazitäten motiviert war, ohne zusätzliche Massnahmen nicht aufrechterhalten werden kann. Fast alle aktuellen Szenarien gehen davon aus, dass der Grossteil dieser neuen Kapazitäten aus Solaranlagen auf Dächern und an Fassaden stammen wird, da das Investitionsrisiko gering, die gesellschaftliche Akzeptanz hoch ist (58) und der Nutzer vom Eigenverbrauch profitieren kann (54). In der Tat befindet sich die überwiegende Mehrheit der bestehenden Solar-PV auf Gebäuden (59). Das PV-Potenzial auf Dächern wird jedoch oft nur teilweise ausgeschöpft, was eher auf private finanzielle Vorteile als auf gesellschaftliche Bedürfnisse zurückzuführen ist. Wenn aber jegliche private Investition nur einen Teil des Solarpotenzials auf den eigenen Dächern ausschöpft, wird die installierte Leistung auf Dächern nicht ausreichen, um die Schweizer Ziele zu erreichen, und andere Standorte/Typen von PV müssen in grösserem Umfang genutzt werden.

Eine hohe Akzeptanz besteht auch für PV auf anderen Anlagen wie Lärmschutzwänden entlang von Autobahnen oder anderen Funktionsbauten wie Lawinverbauungen. Auch Synergien durch multifunktionale Landnutzung sind denkbar, wenn zum Beispiel Landwirtschafts- oder Weideflächen mit PV-Anlagen weiterhin genutzt werden können. Die Schweiz ist sehr restriktiv gegenüber Freiflächenanlagen, während in der Europäischen Union drei Viertel des erzeugten Solarstroms aus Freiflächenanlagen stammen. Freiflächenanlagen können schneller errichtet werden und sind in der Regel kostengünstiger, während das Land in vielen Fällen weiterhin für seinen ursprünglichen Zweck

genutzt werden kann (z.B. als Weidefläche für Tiere). Jüngste Studien deuten darauf hin, dass Freiflächensysteme für die Erreichung der nationalen Ziele wichtig sein werden (26). Weitere vorgeschlagene Standorte sind Industrie- und Landwirtschaftsstandorte sowie - besonders umstritten - Standorte in den Alpen.

PV-Paneele auf Dächern oder in bereits bebauten Gebieten stehen im Einklang mit den Leitprinzipien für den Schutz der Biodiversität, da sie minimale bis keine negativen Auswirkungen auf die Biodiversität haben (60). Es gibt derzeit nur wenig Literatur, aber bisher gibt es keine Belege dafür, dass Solarinfrastruktur, wenn sie auf Flächen errichtet wird, die zuvor (oder nach wie vor) landwirtschaftlich genutzt wurden, negative Auswirkungen auf die Biodiversität hat (z.B. 61-63). Alpine PV hat den Vorteil, dass sie im Winter mehr Strom produziert, wenn die künftige Stromerzeugung in der Schweiz wahrscheinlich einen höheren Wert haben wird (z.B. 47). Der alpine Standort ist jedoch sowohl in Bezug auf die Biodiversität als auch auf die Landschaft sensibel. Aus der Energieperspektive würden PV-Paneele am geeignetsten auf nach Süden ausgerichteten Hängen aufgestellt, wo das Sonnenpotenzial am höchsten ist. Dort würden die Paneele das Sonnenlicht vom Boden verdecken und den Pflanzenreichtum und/oder die Artenzusammensetzung verändern. Je nach Grösse und Platzierung der Paneele könnten sich auch die Wander- und Weideflächen für Tiere verringern (60). Auch wenn sich die Photovoltaik auf die Artenverteilung auswirken kann, muss darauf hingewiesen werden, dass viele der geplanten alpinen PV-Standorte nicht in unberührten natürlichen Lebensräumen liegen, sondern auf bewirtschafteten Flächen, wo die biologische Vielfalt bereits stark beeinträchtigt ist, z.B. durch Weidevieh oder Tourismus.

Aus landschaftlicher Sicht wird die gesellschaftliche Akzeptanz von PV-Paneelen in den Bergen als geringer eingeschätzt als auf Gebäuden, aber eine kürzlich durchgeführte Umfrage deutet darauf hin, dass sich dies ändert, da etwa 60% der Schweizer Bevölkerung und 56% der lokalen Bevölkerung diese befürworten (64). Etwa zwei Drittel der vorgeschlagenen alpinen PV-Projekte wurden bei lokalen Abstimmungen für gut befunden. Eine Möglichkeit besteht darin, PV-Paneele auf Lawinenverbauungen zu montieren, um die visuellen Auswirkungen dieser Infrastrukturen zu verringern (65). Letzteres ist jedoch auch mit technischen Problemen (und damit verbundenen hohen finanziellen Kosten für Bau und Wartung) und einer potenziellen Beeinträchtigung der primären Schutzfunktion der Lawinenverbauung verbunden (66). Unabhängig davon erwarten die meisten Forschenden keine alpinen PV-Investitionen ohne erhebliche staatliche Unterstützung (67).

Während in allen Forschungsszenarien für die Schweiz die Photovoltaik und die Wasserkraft den grössten Teil des Stroms liefern werden, setzen diese Szenarien ausserdem auch auf Technologien wie Windenergie oder Kraftwerke betrieben mit Abfall oder erneuerbaren Gasen. Die **Windenergie** produziert derzeit etwa 0.14 TWh/Jahr aus 40 Windkraftanlagen (68). Laut der jüngsten Studie des Bundesamts für Energie beträgt das gesamte technische Potenzial der Windkraft in der Schweiz 29.5 TWh/Jahr (69). Die Windenergie produziert den grössten Teil ihres jährlichen Stroms im Winter und ist daher eine bevorzugte Technologie, um die geringere Produktion von Solar- und Wasserkraft in diesen Monaten zu kompensieren.

Aus Biodiversitätsperspektive hat die Windenergie insgesamt nur geringe negative Auswirkungen. Allerdings sind die Folgen für bestimmte Arten ausgeprägt - in der Schweiz vor allem für Vögel und Fledermäuse. Diese Belastung kann durch eine sorgfältige Planung von Windkraftanlagenstandorten in sicherer Entfernung zu Vogelbrutplätzen oder Zugrouten gefährdeter Arten und durch aktive Massnahmen, wie z.B. die automatische Erkennung von herannahenden Vögeln zur vorübergehenden Abschaltung der Windkraftanlage, um Kollisionen zu vermeiden, reduziert werden (70). Die Akzeptanz von Windkraftanlagen ist – vor allem aufgrund ihrer hohen Sichtbarkeit (71) – insbesondere im Flachland in der Nähe von Ballungszentren begrenzt. Finanzielle Vorteile, die im Verhältnis zur erzeugten Strommenge verteilt werden, können ebenfalls die Akzeptanz von Windenergieanlagen erhöhen und Anreize für die lokale Bevölkerung schaffen, wie die erfolgreichen Ansätze der Bürgerwindparks in Deutschland zeigen. Auch Synergien durch multifunktionale Landnutzung sind denkbar, wenn beispielsweise landwirtschaftliche Flächen ungeachtet der

Windkraftanlagen genutzt werden. Einige Untersuchungen kommen auch zu dem Ergebnis, dass eine Kombination von Windenergie mit Photovoltaik die Akzeptanz bis zu einem gewissen Grad erhöht (54).

**Abfallverwertungsanlagen und Kraftwerke betrieben mit synthetischen Gasen**, einschliesslich Biogas und Wasserstoff, können sogenannte "steuerbare", also zuschaltbare Energie sein. Das heisst, Elektrizität kann immer dann produziert werden, wenn sie benötigt wird, unabhängig von Wetter oder Jahreszeit. Es besteht Uneinigkeit darüber, welche Rolle synthetische Brennstoffe und Wasserstoff spielen werden oder woher diese Brennstoffe kommen sollen. Nicht nur können Stromimporte die Verbrennung von synthetischem Gas im Inland ersetzen, sondern auch die Einfuhr synthetischer Brennstoffe selbst kann dazu führen, dass die Schweiz verbraucht, statt zu produzieren. Ein Grossteil der Bedenken rührt von der Ungewissheit über die künftigen Kosten von Wasserstoff und synthetischen Brennstoffen, die stark von Entscheidungen und Investitionen im Ausland bestimmt werden.

Die Schweiz nutzt ihre Abfälle, um sowohl Wärme als auch Strom zu erzeugen. Im Jahr 2019 produzierten diese Anlagen etwa 4 TWh Wärme und 1.8 TWh Strom (72). Diese Anlagen trugen auch 5% zu den Treibhausgasemissionen der Schweiz im Jahr 2022 bei (73). Gemäss den Plänen des Bundesrates sollen jedoch an den 29 Kehrichtverbrennungsanlagen in der Schweiz Technologien zur Kohlenstoffabscheidung und -speicherung eingesetzt werden (74). Wenn die bisherigen Tendenzen mit diesen Anlagen bestehen bleiben, könnte die Energieerzeugung aus Abfällen im Laufe des Jahrhunderts aufgrund des gestiegenen Verbrauchs zunehmen (75), obwohl Effizienz- und Kreislaufmassnahmen diesen Anstieg abschwächen könnten.

Wenn ihre CO<sub>2</sub>-Emissionen begrenzt werden, ist es unwahrscheinlich, dass diese Infrastrukturen grosse Auswirkungen auf die Biodiversität und die Landschaft haben. Diese Wärmekraftwerke sind gross und zentralisiert und befinden sich in der Regel in der Nähe des Ortes, an dem der Energiebedarf anfällt. Daher kann man davon ausgehen, dass Standorte, die grosse Anlagen in der Nähe von Bevölkerungszentren vorweisen, wahrscheinlich bereits dicht besiedelt sind oder bereits eine Erzeugungsanlage beherbergen.

Bestehende Kehrichtverbrennungsanlagen sind in der Schweiz weitgehend akzeptiert, doch die Nutzung von Biogasanlagen ist bisher nicht weit verbreitet. Studien der WSL haben gezeigt, dass Landwirtschaftsbetriebe eher bereit wären, in Biogasanlagen zu investieren, wenn sie eine höhere Vergütung für die produzierte Energieform erhalten würden. Auch ziehen sie es vor, eigene Anlagen zu besitzen, anstatt grössere Anlagen gemeinsam mit anderen Betrieben zu bauen (54). Aus energiepolitischer Sicht sind zentrale Anlagen jedoch sinnvoll, da sie effizienter betrieben werden können und die Einspeisung des Biogases vereinfachen, da die meisten Betriebe keine Gasleitung in der Nähe haben. Die landwirtschaftliche Biogaserzeugung könnte demnach ausgebaut werden, wenn Gemeinden, landwirtschaftliche Genossenschaften und/oder Energieversorgungsunternehmen einen solchen Ausbau fördern und koordinieren würden. Dies würde den Koordinationsaufwand für die Betriebe verringern und Gemeinschaftsanlagen für sie attraktiver machen (54).

# Unabhängig von der Energiediskussion sollte die Schweiz die Biodiversität aktiv schützen und erhalten

Die aktuelle Debatte über die Auswirkungen neuer erneuerbarer Energieanlagen auf die Biodiversität und das Landschaftsbild ist wichtig. Es sollte jedoch betont werden, dass solche Anlagen nicht die Hauptursache für den Verlust der Biodiversität sind und höchstwahrscheinlich auch nie sein werden. Neben vielen anderen wichtigen Ökosystemleistungen bieten Ökosysteme mit intakter Biodiversität Schutz vor den Auswirkungen der globalen Erwärmung und sind daher ein wichtiger Aspekt der Eindämmung des Klimawandels (2). Der anhaltende Verlust der Biodiversität, den wir in den letzten Jahrzehnten beobachten konnten, stellt eine grosse Bedrohung für unsere Gesellschaft dar, sowohl auf lokaler als auch auf globaler Ebene. Um einen weiteren Verlust zu verhindern, müssen wir unsere politischen Diskussionen ausweiten und auch die Anwendung herkömmlicher Praktiken kritisch überprüfen, die die Biodiversität derzeit stark unter Druck setzen (76).

## Autorinnen und Autoren:

Cyril Brunner, Rebecca Lordan-Perret, Elisa Cadelli, Nadine Salzmann, Dirk Nikolaus Karger, Niklaus E. Zimmermann

Der Inhalt dieses Whitepapers spiegelt ausschliesslich das Fachwissen der Autorinnen und Autoren und ihre Synthese der wissenschaftlichen Erkenntnisse wider und nicht die Meinung der aufgeführten Institutionen.

## Zitiervorschlag

Brunner, C., Lordan-Perret, R., Cadelli, E., Salzmann, N., Karger, D.N., Zimmermann, N.E. *Gekoppelte Herausforderungen für die Schweiz: Schnittstellen im Klimaschutz, Biodiversitätsschutz, Energiesicherheit und Landschaftsschutz* (ETH Zurich, white paper, 2024).  
<https://doi.org/10.3929/ethz-b-000673411>

## Peer-Review:

Wir danken allen Kolleginnen und Kollegen der ETH Zürich, der Empa, der FHNW und der WSL für ihre hilfreichen Kommentare und Anregungen.

Insbesondere möchten wir uns bei den folgenden, alphabetisch aufgeführten Personen bedanken: Adrienne Grêt-Regamey, Gianfranco Guidati, Gabriela Hug, Anna Knörr, Reto Knutti, Tom Kober, Christian Moretti, Björn Niesen, Anthony Patt, Sarah Richman, Jonas Savelsberg, Christian Schaffner, Sonia Seneviratne und Petra Sieber.

Dieses Whitepaper wurde im Rahmen von [SPEED2ZERO](#) erstellt. SPEED2ZERO ist eine [Joint Initiative](#), die von den sechs Institutionen des ETH-Bereichs gemeinsam durchgeführt wird. In SPEED2ZERO werden Werkzeuge, Massnahmenpläne und Technologien entwickelt, die eine nachhaltige Transformation in der Schweiz unterstützen. Eine Transformation, welche die internationalen und nationalen Klimaziele erfüllt, in der eine resiliente Energieversorgung gewährleistet ist und in der die Biodiversität ihren Reichtum zurückgewinnen kann. SPEED2ZERO wurde vom ETH-Rat im Rahmen des Joint Initiatives Programms unterstützt.

# Quellenverzeichnis

1. Climate Action Tracker. <https://climateactiontracker.org/countries/switzerland/>. Zuletzt abgerufen 30. April, 2024.
2. IPCC, Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. (2022) doi: 10.1017/9781009157926
3. Bundesamt für Energie, Hydropower (2024); <https://www.bfe.admin.ch/bfe/en/home/versorgung/erneuerbare-energien/wasserkraft.html>.
4. A. Marcucci, J. Dujardin, V. Heinisch, E. Panos, S. Yilmaz, CROSS Scenarios and Drivers Definition. *Scenario version: CROSS-v2022-09*. (2022).
5. Energy Science Center, “The role of synthetic fuels in a net-zero emission electricity system in Switzerland” (2024); [https://nexus-e.org/wp-content/uploads/2024/03/Report\\_Syngas\\_240327.pdf](https://nexus-e.org/wp-content/uploads/2024/03/Report_Syngas_240327.pdf).
6. Swisssolar, Faktenblatt Photovoltaik (2024); [https://www.swissolar.ch/01\\_wissen/swissolar-publikationen/branchen-faktenblatt\\_pv\\_ch\\_d.pdf](https://www.swissolar.ch/01_wissen/swissolar-publikationen/branchen-faktenblatt_pv_ch_d.pdf)
7. IEA-PVPS International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme, “National Survey Report of PV Power Applications in Switzerland” (2021); <https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2023/02/IEA-PVPS-National-Survey-Report-Switzerland-2021.pdf>
8. Good News: Deine Stromrechnung wird bald günstiger, *watson.ch* (2024); <https://www.watson.ch/!388822726>.
9. S. Batel, Research on the social acceptance of renewable energy technologies: Past, present and future. *Energy Research & Social Science* **68**, 101544 (2020).
10. T. Egli, J. Bolliger, F. Kienast, Evaluating ecosystem service trade-offs with wind electricity production in Switzerland. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **67**, 863–875 (2017).
11. F. Kienast, N. Huber, R. Hergert, J. Bolliger, L. S. Moran, A. M. Hersperger, Conflicts between decentralized renewable electricity production and landscape services – A spatially-explicit quantitative assessment for Switzerland. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **67**, 397–407 (2017).
12. Bundesamt für Umwelt, “Zustand der Biodiversität in der Schweiz” (UZ-2306-D, 2023); <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/biodiversitaet/fachinformationen/zustand-der-biodiversitaet-in-der-schweiz.html>.
13. S. L. Maxwell, V. Cazalis, N. Dudley, M. Hoffmann, A. S. L. Rodrigues, S. Stolton, P. Visconti, S. Woodley, N. Kingston, E. Lewis, M. Maron, B. B. N. Strassburg, A. Wenger, H. D. Jonas, O. Venter, J. E. M. Watson, Area-based conservation in the twenty-first century. *Nature* **586**, 217–227 (2020).
14. Fedlex, Bundesgesetz Über Den Natur- Und Heimatschutz (NHG) (2022); <https://www.newsd.admin.ch/newsd/message/attachments/70478.pdf>
15. Convention on Biological Diversity, “Nations Adopt Four Goals, 23 Targets for 2030 In Landmark UN Biodiversity Agreement” (Convention on Biological Diversity), (2022); [https://prod.drupal.www.infra.cbd.int/sites/default/files/2022-12/221219-CBD-PressRelease-COP15-Final\\_0.pdf?\\_gl=1\\*1u4yprz\\*\\_ga\\*MTAyNDEzMDQ1OC4xNzEzNDQ1Mjg1\\*\\_ga\\_7S1TPRE7F5\\*MTcxMzQ0NTI4NS4xLjAuMTcxMzQ0NTI5MS41NC4wLjA](https://prod.drupal.www.infra.cbd.int/sites/default/files/2022-12/221219-CBD-PressRelease-COP15-Final_0.pdf?_gl=1*1u4yprz*_ga*MTAyNDEzMDQ1OC4xNzEzNDQ1Mjg1*_ga_7S1TPRE7F5*MTcxMzQ0NTI4NS4xLjAuMTcxMzQ0NTI5MS41NC4wLjA).

16. E. Piano, C. Souffreau, T. Merckx, L. F. Baardsen, T. Backeljau, D. Bonte, K. I. Brans, M. Cours, M. Dahirel, N. Debortoli, E. Decaestecker, K. De Wolf, J. M. T. Engelen, D. Fontaneto, A. T. Gianuca, L. Govaert, F. T. T. Hanashiro, J. Higuti, L. Lens, K. Martens, H. Matheve, E. Matthysen, E. Pinseel, R. Sablon, I. Schön, R. Stoks, K. Van Doninck, H. Van Dyck, P. Vanormelingen, J. Van Wichelen, W. Vyverman, L. De Meester, F. Hendrickx, Urbanization drives cross-taxon declines in abundance and diversity at multiple spatial scales. *Global Change Biology* **26**, 1196–1211 (2020).
17. S. L. Maxwell, R. A. Fuller, T. M. Brooks, J. E. M. Watson, Biodiversity: The ravages of guns, nets and bulldozers. *Nature* **536**, 143–145 (2016).
18. H. M. Pereira, I. S. Martins, I. M. D. Rosa, H. Kim, P. Leadley, A. Popp, D. P. van Vuuren, G. Hurtt, L. Quoss, A. Arneth, D. Baisero, M. Bakkenes, R. Chaplin-Kramer, L. Chini, M. Di Marco, S. Ferrier, S. Fujimori, C. A. Guerra, M. Harfoot, T. D. Harwood, T. Hasegawa, V. Haverd, P. Havlík, S. Hellweg, J. P. Hilbers, S. L. L. Hill, A. Hirata, A. J. Hoskins, F. Humpenöder, J. H. Janse, W. Jetz, J. A. Johnson, A. Krause, D. Leclère, T. Matsui, J. R. Meijer, C. Merow, M. Obersteiner, H. Ohashi, A. De Palma, B. Poulter, A. Purvis, B. Quesada, C. Rondinini, A. M. Schipper, J. Settele, R. Sharp, E. Stehfest, B. B. N. Strassburg, K. Takahashi, M. V. Talluto, W. Thuiller, N. Titeux, P. Visconti, C. Ware, F. Wolf, R. Alkemade, Global trends and scenarios for terrestrial biodiversity and ecosystem services from 1900 to 2050. *Science* **384**, 458–465 (2024).
19. C. D. Thomas, A. Cameron, R. E. Green, M. Bakkenes, L. J. Beaumont, Y. C. Collingham, B. F. N. Erasmus, M. F. de Siqueira, A. Grainger, L. Hannah, L. Hughes, B. Huntley, A. S. van Jaarsveld, G. F. Midgley, L. Miles, M. A. Ortega-Huerta, A. Townsend Peterson, O. L. Phillips, S. E. Williams, Extinction risk from climate change. *Nature* **427**, 145–148 (2004).
20. O. E. Sala, F. Stuart Chapin, III, J. J. Armesto, E. Berlow, J. Bloomfield, R. Dirzo, E. Huber-Sanwald, L. F. Huenneke, R. B. Jackson, A. Kinzig, R. Leemans, D. M. Lodge, H. A. Mooney, M. Oesterheld, N. L. Poff, M. T. Sykes, B. H. Walker, M. Walker, D. H. Wall, Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. *Science* **287**, 1770–1774 (2000).
21. MeteoSchweiz, Klimawandel (2024); <https://www.meteoschweiz.admin.ch/klima/klimawandel.html>.
22. I. M. Bollati, C. Viani, A. Masseroli, G. Mortara, B. Testa, G. Tronti, M. Pelfini, E. Reynard, Geodiversity of proglacial areas and implications for geosystem services: A review. *Geomorphology* **421**, 108517 (2023).
23. J. Bussard, E. Reynard, Conservation of World Heritage glacial landscapes in a changing climate: The Swiss Alps Jungfrau-Aletsch case. *International Journal of Geoheritage and Parks* **11**, 535–552 (2023).
24. IPCC, Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., (2022) doi:10.1017/9781009325844.
25. B. A. Bastien-Olvera, F. C. Moore, Use and non-use value of nature and the social cost of carbon. *Nat Sustain* **4**, 101–108 (2021).
26. B. Salak, M. Hunziker, A. Grêt-Regamey, R. Spielhofer, U. W. Hayek, F. Kienast, Shifting from techno-economic to socio-ecological priorities: Incorporating landscape preferences and ecosystem services into the siting of renewable energy infrastructure. *PLOS ONE* **19**, e0298430 (2024).
27. L. A. Smith, N. Stern, Uncertainty in science and its role in climate policy. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* **369**, 4818–4841 (2011).

28. S. Hsiang, R. Kopp, A. Jina, J. Rising, M. Delgado, S. Mohan, D. J. Rasmussen, R. Muir-Wood, P. Wilson, M. Oppenheimer, K. Larsen, T. Houser, Estimating economic damage from climate change in the United States. *Science* **356**, 1362–1369 (2017).
29. M. Dell, B. F. Jones, B. A. Olken, Temperature Shocks and Economic Growth: Evidence from the Last Half Century. *American Economic Journal: Macroeconomics* **4**, 66–95 (2012).
30. M. Kotz, A. Levermann, L. Wenz, The economic commitment of climate change. *Nature* **628**, 551–557 (2024).
31. M. Karlsson, E. Alfredsson, N. Westling, Climate policy co-benefits: a review. *Climate Policy* (2020).
32. M. Krishnan, T. Naucler, D. Pachtod, D. Pinner, H. Samandari, S. Smit, T. Humayun, “A framework for leaders to solve the net-zero equation” (2020); <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/solving-the-net-zero-equation-nine-requirements-for-a-more-orderly-transition#/>.
33. Die Schweizerische Bankiervereinigung, Boston Consulting Group, “Netto-Null bis 2050: Klima-Ziel erfordert jährliche Investitionen von CHF 12.9 Mrd.” (2021). <https://www.swissbanking.ch/de/medien/statements-und-medienmitteilungen/netto-null-bis-2050-klima-ziel-erfordert-jaehrliche-investitionen-von-chf-12-9-mrd>.
34. Forum Biodiversität Schweiz (SCNAT), Interface Politikstudien, Was die Schweiz für die Biodiversität tun kann - Handlungsoptionen für ausgewählte Sektoren. **Swiss Academies Factsheet 17** (2022).
35. V. Devictor, D. Mouillot, C. Meynard, F. Jiguet, W. Thuiller, N. Mouquet, Spatial mismatch and congruence between taxonomic, phylogenetic and functional diversity: the need for integrative conservation strategies in a changing world. *Ecology Letters* **13**, 1030–1040 (2010).
36. R. T. Corlett, D. A. Westcott, Will plant movements keep up with climate change? *Trends in Ecology & Evolution* **28**, 482–488 (2013).
37. M. A. Tucker, K. Böhning-Gaese, W. F. Fagan, et al., Moving in the Anthropocene: Global reductions in terrestrial mammalian movements. *Science* **359**, 466–469 (2018).
38. J. Lenoir, J.-C. Svenning, Climate-related range shifts – a global multidimensional synthesis and new research directions. *Ecography*, doi: 10.1111/ecog.00967 (2014).
39. M. Strnad, T. Mináriková, A. Dostálová, J. Plesnik, M. Hošek, S. Condé, “Report on methodological evaluation of approaches to migration corridors” (2013).
40. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Ökologische Infrastruktur, *SwissFungi*. <https://swissfungi.wsl.ch/en/species-promotion/oekologische-infrastruktur/>.
41. ECN, Phyllis2 - Database for the physico-chemical composition of (treated) lignocellulosic biomass, micro- and macroalgae, various feedstocks for biogas production and biochar (2024); <https://phyllis.nl/>.
42. P. Friedlingstein, M. O’Sullivan, M. W. Jones, et al., Global Carbon Budget 2023. *Earth System Science Data* **15**, 5301–5369 (2023).
43. P. Brun, A. Psomas, C. Ginzler, W. Thuiller, M. Zappa, N. E. Zimmermann, Large-scale early-wilting response of Central European forests to the 2018 extreme drought. *Global Change Biology* **26**, 7021–7035 (2020).
44. S. Wolf, E. Paul-Limoges, Drought and heat reduce forest carbon uptake. *Nat Commun* **14**, 6217 (2023).
45. T. H. Oliver, M. S. Heard, N. J. B. Isaac, D. B. Roy, D. Procter, F. Eigenbrod, R. Freckleton, A. Hector, C. D. L. Orme, O. L. Petchey, V. Proença, D. Raffaelli, K. B. Suttle, G. M. Mace, B. Martín-López, B. A. Woodcock, J. M. Bullock, Biodiversity and Resilience of Ecosystem Functions. *Trends in Ecology & Evolution* **30**, 673–684 (2015).

46. G. Peterson, C. R. Allen, C. S. Holling, Ecological Resilience, Biodiversity, and Scale. *Ecosystems* **1**, 6–18 (1998).
47. A. Mellot, C. Moretti, T. Tröndle, A. Patt, Mitigating future winter electricity deficits: A case study from Switzerland. *Energy Conversion and Management* **309**, 118426 (2024).
48. R. Spielhofer, T. Thrash, U. W. Hayek, A. Grêt-Regamey, B. Salak, J. Grübel, V. R. Schinazi, Physiological and behavioral reactions to renewable energy systems in various landscape types. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **135**, 110410 (2021).
49. B. Salak, F. Kienast, R. Olschewski, R. Spielhofer, U. Wissen Hayek, A. Grêt-Regamey, M. Hunziker, Impact on the perceived landscape quality through renewable energy infrastructure. A discrete choice experiment in the context of the Swiss energy transition. *Renewable Energy* **193**, 299–308 (2022).
50. U. Neu, S. Ismail, L. Reusser, “Ausbau erneuerbarer Energien biodiversitäts- und landschaftsverträglich planen - Kommentierter Kriterienkatalog mit Vorschlägen für die konkrete Umsetzung für Photovoltaik-Freiflächenanlagen” (Vol. 19, No. 1, Swiss Academies Communications, 2024); <https://sap.scnat.ch/en/id/Su6sK?embed=Pxpel>.
51. Fedlex, Bundesgesetz Über Den Schutz Der Gewässer (2023); [https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1992/1860\\_1860\\_1860/de](https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1992/1860_1860_1860/de).
52. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Gemeinsame Erklärung des Runden Tisches Wasserkraft (2021); <https://www.newsd.admin.ch/newsd/message/attachments/69601.pdf>.
53. Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband, Runder Tisch Wasserkraft Beschrieb der in Anhang 1 der gemeinsamen Erklärung aufgelisteten Projekte (2022). [https://www.swv.ch/fileadmin/user\\_upload/site/PDF/2022.02.24-Runder-Tisch\\_Projektbeschriebe.pdf](https://www.swv.ch/fileadmin/user_upload/site/PDF/2022.02.24-Runder-Tisch_Projektbeschriebe.pdf).
54. L. Gisler, A. Björnsen, G. Bowman, M. Buchecker, V. Burg, A. Hersperger, M. Hunziker, B. Salak, T. Schulz, I. Seidl, Energiewende: kommunale und regionale Handlungsmöglichkeiten. doi: 10.55419/wsl:35816 (2024).
55. K. Brugger, Energiestrategie 2050: Ohne Akzeptanz keine Umsetzung. Stakeholdermanagement als Erfolgsfaktor für die Umsetzung von Projekten im Bereich erneuerbarer Energien. Empfehlung für die Praxis am Beispiel Wasserkraft. (2013).
56. M. Brunner, A. B. Gurung, J. Speerli, S. Kytzia, S. Bieler, D. Schwere, M. Stähli, Beitrag von Wasserspeicher zur Verminderung zukünftiger Wasserknappheit? *Wasser Energie Luft* (2019).
57. Bundesamt für Energie, Energieperspektiven 2050+: Entwicklung der Stromproduktion, *Energieperspektiven 2050+: Entwicklung der Stromproduktion* (2020). [https://www.uveg-gis.admin.ch/BFE/storymaps/AP\\_Energieperspektiven/index2.html](https://www.uveg-gis.admin.ch/BFE/storymaps/AP_Energieperspektiven/index2.html).
58. E. Trutnevyte, J.-P. Sasse, V. Heinisch, M. Đukan, P. Gabrielli, J. Garrison, P. Jain, S. Renggli, G. Sansavini, C. Schaffner, M. Schwarz, B. Steffen, J. Dujardin, M. Lehning, P. Ripoll, P. Thalmann, M. Vielle, I. Stadelmann-Steffen, “Renewable Energy Outlook for Switzerland” (Université de Genève, 2024); <https://doi.org/10.13097/archive-ouverte/unige:172640>.
59. Swissolar, “Statistik Sonnenenergie - Referenzjahr 2022” (2023).
60. A. Lafitte, R. Sordello, D.-Y. Ouédraogo, C. Thierry, G. Marx, J. Froidevaux, B. Schatz, C. Kerbiriou, P. Gourdain, Y. Reyjol, Existing evidence on the effects of photovoltaic panels on biodiversity: a systematic map with critical appraisal of study validity. *Environmental Evidence* **12**, 25 (2023).
61. C. Guiller, L. Affre, M. Deschamps-Cottin, B. Geslin, N. Kaldonski, T. Tatoni, Impacts of solar energy on butterfly communities in mediterranean agro-ecosystems. *Environmental Progress & Sustainable Energy* **36**, 1817–1823 (2017).

62. E. Tinsley, J. S. P. Froidevaux, S. Zsebők, K. L. Szabadi, G. Jones, Renewable energies and biodiversity: Impact of ground-mounted solar photovoltaic sites on bat activity. *Journal of Applied Ecology* **60**, 1752–1762 (2023).
63. H. Blaydes, S. G. Potts, J. D. Whyatt, A. Armstrong, Opportunities to enhance pollinator biodiversity in solar parks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **145**, 111065 (2021).
64. R. Decurtins, S. Lanz, Alpiner Lebensraum. *BWK, Sotomo* (2024).
65. PV Magazine, Technische Herausforderungen bei der Umsetzung von alpinen Photovoltaik-Anlagen in der Schweiz, pv magazine Deutschland (2024); <https://www.pv-magazine.de/2024/03/01/technische-herausforderungen-bei-der-umsetzung-von-alpinen-photovoltaik-anlagen-in-der-schweiz/>.
66. S. Margreth, C. Wilhelm, R. Baumann, Solaranlagen und Lawinenverbauungen. *Bündnerwald*, 28–35 (2013).
67. Berner Fachhochschule, Drei gute Gründe für Alpine Solaranlagen – und vier dagegen, Berner Fachhochschule (2024); <https://www.bfh.ch/de/aktuell/stories/2024/alpine-solaranlagen-pro-kontra/>.
68. Bundesamt für Energie, Windenergie (2023); <https://www.bfe.admin.ch/bfe/en/home/versorgung/erneuerbare-energien/windenergie.html>.
69. Bundesamt für Energie, “Windpotenzial Schweiz 2022 - Schlussbericht zum Windpotenzial Schweiz 2022” (2022); <https://www.newsd.admin.ch/newsd/message/attachments/72771.pdf>.
70. B. Vogel, Weniger Kollisionen mit Windturbinen (2015). <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/8012> .
71. U. W. Hayek, R. Spielhofer, B. Salak, T. Luthe, U. Steiger, M. Hunziker, F. Kienast, T. Thrash, V. Schinazi, A. Grêt-Regamey, “NFP 70 Projekt «ENERGYSCAPE», Empfehlungen für eine Landschaftsentwicklung durch Anlagen erneuerbarer Energien in der Schweiz” 2019); [https://energyscape.ethz.ch/downloads/ENERGYSCAPE\\_Broschüre\\_Empfehlungen\\_191213\\_FI\\_N\\_WEB.pdf](https://energyscape.ethz.ch/downloads/ENERGYSCAPE_Broschüre_Empfehlungen_191213_FI_N_WEB.pdf).
72. Verband der Betreiber Schweizerischer Abfallverwertungsanlagen, Abfallverwertung - Energieproduktion der Schweizer KVA (MWh). <https://vbsa.ch/fakten/abfallverwertung/>. Zuletzt abgerufen: 10. März 2024.
73. Bundesamt für Umwelt, Entwicklung THG Emissionen seit 1990, (2024); [https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/klima/fachinfo-daten/THG\\_Inventar\\_Daten.xlsx.download.xlsx/Entwicklung\\_THG\\_Emissionen\\_seit\\_1990\\_2024-04.xlsx](https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/klima/fachinfo-daten/THG_Inventar_Daten.xlsx.download.xlsx/Entwicklung_THG_Emissionen_seit_1990_2024-04.xlsx).
74. Der Bundesrat, “CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Speicherung (CCS) und Negativemissionstechnologien (NET) - Wie sie schrittweise zum langfristigen Klimaziel beitragen können” (2022); <https://www.newsd.admin.ch/newsd/message/attachments/71551.pdf>.
75. Bundesamt für Energie, Waste incineration plants (2019). <https://www.bfe.admin.ch/bfe/en/home/versorgung/statistik-und-geodaten/geoinformation/geodaten/thermische-netze/kehrichtverbrennungsanlagen.html>.
76. C. Adler, S. Bacher, S. Battiston, T. Bernauer, S. Boch, S. Boillat, T. Brooks, G. Cissé, E. Fischer, M. Fischer, A. Fischlin, T. Fröhlicher, A. Guisan, C. Huggel, S. Jaccard, C. Krug, V. Muccione, R. Mukerji, U. Neu, A. Patt, G.-K. Plattner, M. Schläpfer, S. Seneviratne, E. Spehn, J. Steinberger, M. Wild, N. Zimmermann, “Trendwende Klima und Biodiversität: Parlament trifft Wissenschaft” (2022); <https://doi.org/10.5281/ZENODO.6452016>.

<https://speed2zero.ethz.ch/de/>

**Herausgeber:** SPEED2ZERO  
**Fotos:** Cyril Brunner

© ETH Zürich, Mai 2024