

# Klimawandel und Biodiversität

## Auswirkungen und mögliche Stossrichtungen für Massnahmen im Kanton Zürich

Fachbericht als Grundlage für die Ergänzung des Naturschutzgesamtkonzeptes des Kantons Zürich im Auftrag der Fachstelle Naturschutz, Amt für Landschaft und Natur

## **Impressum**

### **Auftraggeber**

Fachstelle Naturschutz  
Stampfenbachstrasse 12  
8090 Zürich  
043 259 30 32  
[naturschutz@bd.zh.ch](mailto:naturschutz@bd.zh.ch)

### **Auftragnehmer**

Forum Biodiversität Schweiz  
Akademie der Naturwissenschaften Schweiz  
Postfach  
3001 Bern  
+41 31 306 93 40  
[biodiversity@scnat.ch](mailto:biodiversity@scnat.ch)

### **Autor**

Jodok Guntern, Forum Biodiversität Schweiz der Akademie der Naturwissenschaften

### **Mitwirkende Experten**

Andreas Grünig, Agroscope  
Urs Neu, ProClim (scnat)  
Gian-Reto Walther, Bundesamt für Umwelt (BAFU)

### **Unterstützung bei der Redaktion**

Danièle Martinoli, Daniela Pauli

### **Zitiervorschlag**

Guntern, J. (2016): Klimawandel und Biodiversität. Auswirkungen und mögliche Stossrichtungen für Massnahmen im Kanton Zürich. Fachbericht als Grundlage für die Ergänzung des Naturschutzgesamtkonzeptes des Kantons Zürich im Auftrag der Fachstelle Naturschutz, Amt für Landschaft und Natur. Forum Biodiversität Schweiz

### **Hinweis**

Dieser Fachbericht wurde im Auftrag der Fachstelle Naturschutz des Kantons Zürich erarbeitet. Er dient als eine Grundlage für die Ergänzung des Naturschutzgesamtkonzeptes des Kantons Zürich (NSGK). Der Inhalt fasst den aktuellen Kenntnisstand basierend auf der wissenschaftlichen Literatur, dem Wissen des Autors und der mitwirkenden Experten zusammen. Aus diesem Blickwinkel werden zudem mögliche Stossrichtungen zur Ergänzung des NSGK aufgezeigt. Der Bericht wiedergibt die Einschätzung der Autorinnen und stimmt nicht zwingend mit den Ansichten der Fachstelle Naturschutz überein.

## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung .....	4
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>6</b>
<b>2 Klimawandel: Situation und Entwicklung.....</b>	<b>7</b>
<b>3 Aktueller Wissensstand zur Wirkungsweise und zu Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität.....</b>	<b>11</b>
<b>3.1 Hauptursachen und Wirkungsweise .....</b>	<b>11</b>
<b>3.2 Direkte Auswirkungen .....</b>	<b>12</b>
3.2.1 Genetische Diversität.....	12
3.2.2 Arten .....	13
3.2.3 Lebensräume.....	21
3.2.4 Funktionsfähigkeit der Ökosysteme und ökologische Interaktionen .....	27
3.2.5 Zeitliche Dimensionen .....	29
<b>3.3 Wechselwirkungen mit anderen Einflussfaktoren und potenzielle indirekte Auswirkungen .....</b>	<b>30</b>
<b>3.4 Unsicherheiten.....</b>	<b>36</b>
<b>4 Strategische Stossrichtungen für Handlungsmöglichkeiten .....</b>	<b>36</b>
<b>4.1 Klimaschutz (Mitigation).....</b>	<b>36</b>
<b>4.2 Anpassung an den Klimawandel (Adaptation) .....</b>	<b>38</b>
4.2.1 Bedeutung, Zusammenarbeit und Perspektiven .....	38
4.2.2 Umgang mit Unsicherheiten .....	41
4.2.3 Verminderung nicht klimawandelbedingter Stressfaktoren .....	41
4.2.4 Lebensraumförderung .....	42
4.2.5 Artenförderung .....	45
4.2.6 Erhaltung des Genpools.....	47
4.2.7 Lebensraumverbund und ökologische Infrastruktur.....	48
4.2.8 Schutzgebiete .....	49
4.2.9 Sektorübergreifende Zusammenarbeit .....	51
4.2.10 Monitoring.....	52
4.2.11 Kommunikation.....	53
<b>5 Wissenslücken.....</b>	<b>53</b>
<b>6 Fazit.....</b>	<b>56</b>
<b>7 Literatur .....</b>	<b>57</b>
<b>8 Anhang .....</b>	<b>65</b>
<b>8.1 Struktur zur Ermittlung der Vulnerabilität von Arten gegenüber dem Klimawandel</b>	<b>65</b>
<b>8.2 Klimasensibilität der Aktionsplanarten Flora .....</b>	<b>66</b>
<b>8.3 Klimasensibilität der Aktionsplanarten Fauna .....</b>	<b>68</b>
<b>8.4 Klimasensibilität von Lebensräumen .....</b>	<b>70</b>
<b>8.5 Karten zu klimawandelbedingten Veränderung von Vogel- und Pflanzengemeinschaften in der Schweiz.....</b>	<b>72</b>
<b>8.6 Karten zu klimawandelbedingten Veränderungen bei Insekten in der Schweiz und in Europa.....</b>	<b>74</b>
<b>8.7 Expertise zu Klimawandel und Biodiversität in der Schweiz .....</b>	<b>75</b>
<b>8.8 Synergie- und Konfliktpotenziale zwischen Massnahmen in verschiedenen Sektoren und der Biodiversität.....</b>	<b>76</b>

### Zusammenfassung

**Der Klimawandel findet statt.** Seit 1961 wurde in der Schweiz eine Erwärmung um 0.37 °C pro Jahrzehnt, ein Trend zu mehr Hitze- und weniger Kältetagen sowie zu stärkeren und häufigeren Starkniederschlägen festgestellt. Die Erwärmung ist in der Schweiz stärker als im Durchschnitt über den Landmassen der Nordhemisphäre.

**Zukünftig wird für die Schweiz ein weiterer Anstieg der mittleren Temperaturen in allen Regionen und Jahreszeiten projiziert.** Im Vergleich zum Durchschnitt von 1980-2009 wird bis Mitte des 21. Jh. ein Temperaturanstieg von 0.8-1.6°C vorhergesagt, bis 2100 je nach Emissionsszenario von 1.0-5.1 °C. Die mittleren Niederschläge dürften bis Ende des 21. Jh. im Vergleich zu heute im Sommer um 5-20% abnehmen und im Winter zunehmen. In Gewässern werden im Jahresverlauf abnehmende Abflüsse im Sommer und Herbst, aber eine Erhöhung im Winter erwartet. Voraussichtlich wird feuchtes, kühles Wetter noch feuchter werden, warmes trockenes Wetter noch wärmer und trockener. Zudem werden mehr und intensivere Hitzeextreme und Starkniederschläge vorhergesagt.

**Der Klimawandel im Kanton Zürich bewegt sich ebenfalls im Bereich dieser Aussagen.** Für Städte und Agglomerationen dürfte die Erwärmung aber stärker ausfallen.

**Die direkte Wirkung des Klimawandels auf die Biodiversität** erfolgt vorwiegend über erhöhte Temperaturen von Luft und Wasser, eine geringere Wasserverfügbarkeit, veränderte Saisonalitäten, häufigere und intensivere Extremereignisse sowie über eine erhöhte Klimavariabilität. Veränderungen können schleichend, aber in Folge von Extremereignissen auch schlagartig erfolgen.

**Indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität** erfolgen über Veränderungen in der Landnutzung, Klimaschutz- oder Klimaanpassungsmassnahmen in verschiedenen Sektoren und Handlungsfeldern oder über Veränderungen anderer Einflussfaktoren. Solche indirekten Wirkungen werden für die Biodiversität als besonders relevant erachtet. Zudem werden sie voraussichtlich zunehmen und sind schwierig vorhersagbar.

**Landnutzung und Landnutzungsänderungen werden zumindest bis zur Mitte des 21. Jh. einen stärkeren Einfluss auf die Biodiversität ausüben als der Klimawandel.** Längerfristig wird der Wirkungsanteil des Klimawandels bedeutender. Er verstärkt Effekte anderer Stressfaktoren auf die Biodiversität (z.B. Entwässerung, Fragmentierung). Ebenso können andere Einflussfaktoren die Anpassungsfähigkeit der Biodiversität an den Klimawandel beeinträchtigen.

**Klimawandelbedingte Veränderungen der Biodiversität sind in der Schweiz bereits beobachtbar.** Bei verschiedenen Artengruppen wurden Verschiebungen des Verbreitungsgebietes in höhere Lagen, eine Ausbreitung und Zunahme von wärme- und trockenheitstoleranten Arten, Einwanderung von Arten wärmerer Gebiete, phänologische Verschiebungen und klimabedingte Stresserscheinungen beobachtet.

**Arten mit folgenden Eigenschaften reagieren besonders empfindlich auf den Klimawandel:** angepasst an kalte, feuchte/nasse oder oligotrophe Bedingungen oder an ein bestimmtes Wasserregime, geringe Nischenbreite, kleines unterteiltes Verbreitungsareal, spezifische Interaktionspartner, standorttreu und ausbreitungsschwach, lange Generationszeiten, kleine und isolierte Populationen. Folgende Lebensräume weisen einen erhöhten Anteil an klimasensibler Arten auf: Moore, Wälder, Trockenrasen, Quellen, Fließ- und Stillgewässer, Felsen.

**Folgende Lebensräume reagieren besonders empfindlich auf den Klimawandel:** Gewässer, Moore, mehrere Wald- sowie einige Grünlandlebensräume; ebenso Lebensräume mit langen Entwicklungszeiten, Vorkommen an eher kühlen, feuchten, nassen oder räumlich stark begrenzten Standorten und solche mit einem hohen Anteil klimasensibler Arten.

**Standortpotenziale für Lebensräume und damit ihre Ausdehnung und Verbreitung werden sich verändern.** Der Klimawandel verändert zudem die Struktur der Lebensräume und betrifft verschiedene Sukzessionsstadien unterschiedlich stark. Ein moderater Klimawandel führt bei genügender Wasserversorgung zur Verlängerung der Wachstumsperiode und Erhöhung der Produktivität. Die tatsächliche Reaktion von Lebensräumen auf den Klimawandel ist jedoch stark standortabhängig und durch weitere Faktoren beeinflusst.

**Nicht nur das Verbreitungsgebiet von Arten, sondern auch die Verfügbarkeit geeigneter Habitats innerhalb ihres Verbreitungsgebietes wird sich verändern.** Dies wirkt sich artspezifisch unterschiedlich aus, sodass teilweise heimische Arten verschwinden, sich gebietsfremde Arten etablieren und sich Lebensgemeinschaften verändern werden. Dies trifft insbesondere für Tieflagen und Kantone mit einer geringen Höhenausdehnung zu. Im Kanton Zürich ist mit deutlichen Veränderungen bei den Arten und Lebensgemeinschaften zu rechnen. Gewisse Arten werden voraussichtlich aus dem Kanton verschwinden, die Artenzahl insgesamt aber eher steigen.

**Die Verlangsamung des Klimawandels ist absolut entscheidend für die Erhaltung der Biodiversität,** denn Anpassungsmassnahmen haben bezüglich ihrer Wirkung Grenzen. Prioritär ist die

Verminderung der Treibhausgasemissionen. Ökosystembasierte Klimaschutzmassnahmen können die Treibhausgasemissionen vermindern sowie deren Aufnahme und Speicherung fördern.

**Die Anpassung der Biodiversität an den Klimawandel wird erschwert durch den beeinträchtigten Zustand der Ökosysteme** und die Fragmentierung von Lebensräumen. Die naturräumlichen Verhältnisse in der Schweiz würden aber grundsätzlich gute Voraussetzung für die Anpassung bieten.

**Prioritär umzusetzen sind Anpassungsmassnahmen, die robust**, d.h. unter verschiedenen Bedingungen und Auswirkungen des Klimawandels wirksam sind, deren Wirkung nachgewiesen ist, die besonders relevant und dringend sind sowie solche, die leicht umgesetzt werden können. Angesichts der Unsicherheiten ist ein Handeln gemäss dem Vorsorgeprinzip zentral.

**Intakte Ökosysteme mit einer hohen Biodiversität sind gegenüber dem Klimawandel** einerseits resistenter (widerstandsfähiger) und andererseits resilienter (erholungsfähiger nach Störungen) als beeinträchtigte Systeme des gleichen Typs. Denn verschiedene Arten tragen zu unterschiedlichen Zeiten, an verschiedenen Orten und bei unterschiedlichen Umweltbedingungen zur Funktionsfähigkeit der Ökosystemprozesse bei. Ebenso sind grosse, wachsende und funktionell vernetzte Populationen anpassungsfähiger als kleine, abnehmende und isolierte Populationen.

**Anpassungsmassnahmen müssen deshalb** den ökologischen Zustand der Ökosysteme (Quantität, Qualität und Vernetzung) und die Durchlässigkeit der Landschaft verbessern sowie eine hohe Biodiversität, Heterogenität und langfristig überlebensfähige Populationen fördern. Die Berücksichtigung von Standortpotenzialen und die Umsetzung standortspezifischer Massnahmen wird wichtiger. Eine ökologische Infrastruktur bietet die Möglichkeit, dies gesamtheitlich umzusetzen sowie Potenzialflächen mit zukünftig geeigneten Bedingungen zu sichern.

**Die Wirkungen von Einflussfaktoren, welche die Biodiversität gegenüber dem Klimawandel empfindlicher machen, sind zu minimieren.** Ebenso Auswirkungen, die durch den Klimawandel verstärkt werden. Dringend sind die Optimierung des Wasserhaushaltes in Einzugsgebieten von Gewässern und Feuchtgebieten, die Erhöhung der Wasserrückhaltung in der Landschaft, die Verminderung der Eutrophierung sowie die Minimierung der Lebensraum-Fragmentierung.

**Der grossräumig wirksame Klimawandel**, die dadurch verursachten Veränderungen von Standortpotenzialen und artspezifische Arealverschiebungen führen dazu, dass ein eng standortbezogener Schutz der Biodiversität nicht mehr genügt: Biodiversitätsförderung auf der Gesamtfläche wird wichtiger, Wanderungsbewegungen entlang von Klima- und Standortgradienten sollten erleichtert, zukünftig geeignete Lebensraumflächen identifiziert, freigehalten und in eine ökologische Infrastruktur integriert werden. Dazu wird die Zusammenarbeit zwischen Nachbarkantonen und -ländern wichtiger.

**Aufgrund der erwarteten Veränderungen der Biodiversität** gewinnen die Funktionsfähigkeit von Ökosystemen, ihre vielfältigen Wechselwirkungen und sich selbst regulierende Prozesse – also eine dynamische im Vergleich zu einer bewahrenden Perspektive – für den Naturschutz an Bedeutung. Wertgebende Kriterien wie „Natürlichkeit“ oder „einheimisch“ sind zu diskutieren.

**Da eine Veränderung der Artengemeinschaften unvermeidlich wird, ist ein spezifischer Umgang mit Neobiota wichtig.** Invasive Neobiota sollten überwacht und entsprechend ihren unerwünschten Auswirkungen reguliert werden. Hingegen kann die Akzeptanz unproblematischer Neobiota sich positiv auf ihren europäischen Erhaltungszustand auswirken.

**Schutzgebiete gewinnen mit dem Klimawandel an Bedeutung.** Ihre Lebensräume weisen aufgrund ihrer ökologischen Qualität voraussichtlich eine bessere Anpassungsfähigkeit auf, sie erhöhen die Überlebensfähigkeit von Populationen, erleichtern die Ausbreitung und Arealanpassung von Arten. Hinsichtlich des Klimawandels sollten Vorgaben für Schutzgebiete und ihr Management regelmässig überdacht und bei Bedarf mit der nötigen Vorsicht angepasst werden. Schutzgebiete sollten möglichst gross, vielfältig, mit Korridoren und Trittsteinen vernetzt sowie in eine ökologische Infrastruktur integriert sein. Bestehende negative Einflüsse müssen reduziert werden.

**Die Zusammenarbeit mit anderen Sektoren/Handlungsfeldern gewinnt für den Naturschutz an Bedeutung.** Denn der Klimawandel beeinflusst die Biodiversität direkt oder indirekt zu einem grossen Teil über Veränderungen in anderen Tätigkeitsbereichen.

**Unsicherheiten und Wissenslücken hinsichtlich des Klimawandels und seiner Auswirkungen bestehen, sind aber kein Grund, Handlungen zu Gunsten der Biodiversität aufzuschieben.** Das Wissen genügt, um zu handeln. Die hauptsächlichen Gefährdungsfaktoren der Biodiversität sind bekannt. Ebenso die grundlegenden Stossrichtungen, um diesen Faktoren zu begegnen. Diese bleiben bei unterschiedlichen zukünftigen Entwicklungen für Lebensräume, Arten und Populationen gültig und erhöhen ihre Anpassungsfähigkeit: Erhalten – Aufwerten, Vernetzen – Wiederherstellen.

**Die wichtigsten weitergehenden Inhalte des Berichtes sind jeweils in blau hervorgehobenen Boxen an den Enden der Unterkapitel aufgeführt.**

# 1 Einleitung

Der Kanton Zürich aktualisiert und ergänzt sein Naturschutzgesamtkonzept (NSGK), das 1995 erschien. Als Vorarbeit wurde dafür unter anderem 2012 ein ExpertInnen-Workshop durchgeführt. An diesem wurden einerseits die Bedeutung verschiedener Ursachen von Biodiversitätsveränderungen und andererseits neue populationsökologische Erkenntnisse thematisiert. Als besonders relevante und grossräumig wirksame Einflussfaktoren auf die zukünftige Entwicklung der Biodiversität und ihrer Leistungen im Kanton Zürich wurden dabei der Klimawandel, die Eutrophierung und die Siedlungsentwicklung erachtet. In Folge wurde das Forum Biodiversität der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (scnat) von der Fachstelle Naturschutz beauftragt, den aktuellen Wissensstand zu diesen Einflussfaktoren und zur Populationsökologie in Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern zusammenzutragen.

Der vorliegende Bericht thematisiert den Bereich Klimawandel und Biodiversität, wobei voraussichtliche und mögliche Veränderungen bis 2100 behandelt werden. Auf die physikalischen Grundlagen des Klimawandels wird in Kapitel 2 eingegangen. Die aktuellen Kenntnisse zur Wirkungsweise und zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität werden in Kapitel 3 beschrieben, wobei auch die Klimasensibilität verschiedener Arten(gruppen) und Lebensräume thematisiert wird. Wechselwirkungen mit anderen Einflussfaktoren sind Thema im Kapitel 3.3. Mögliche Stossrichtungen für den Umgang mit dem Klimawandel für den Kanton Zürich werden in Kapitel 3.4 aufgezeigt. Dabei wird hauptsächlich auf Stossrichtungen und Massnahmen zur Anpassung an den Klimawandel eingegangen. Möglichkeiten zur Abschwächung des Klimawandels (Klimaschutzmassnahmen) werden nur gestreift. Schlussendlich werden auch Wissenslücken aufgezeigt, die zu Unsicherheiten im Verständnis und im Umgang mit dem Einfluss des Klimawandels auf die Biodiversität führen (Kapitel 5). Die wichtigsten Inhalte der Unterkapitel sind jeweils an deren Enden in blau hervorgehobenen Boxen aufgeführt.

# 2 Klimawandel: Situation und Entwicklung

Informationen zur Situation und zur Entwicklung des Klimawandels sind weitgehend aber gekürzt übernommen von ProClim (2016)<sup>1</sup>.

Das Klima erwärmt sich in den meisten Regionen der Erde seit einigen Jahrzehnten aussergewöhnlich stark. Dies ist hauptsächlich auf steigende Konzentrationen von Treibhausgasen in der Atmosphäre zurückzuführen (Emissionen durch Verbrennungsprozesse, Veränderungen der Landnutzung). Der Einfluss des Menschen auf diese Entwicklung ist unterdessen klar, obwohl es aufgrund natürlicher Schwankungen im Klimasystem Jahrzehnte dauern kann, bis menschlich verursachte Änderungen statistisch feststellbar werden. Da das Klima verzögert auf Änderungen in der Strahlungsbilanz reagiert, ist die zukünftige Entwicklung bis ca. Mitte des 21. Jh. aufgrund der bisherigen Emissionen von Treibhausgasen kaum mehr beeinflussbar. Umso wichtiger sind aber Minderungs- und Anpassungsmassnahmen für die nachfolgende Entwicklung.

### Klimawandel global und in Europa

Von 1880 bis 2012 ist die mittlere globale Temperatur an der Erdoberfläche um 0.85 °C angestiegen. Seit Mitte des 20. Jh. beobachtet man zudem Veränderungen in der Stärke und Häufigkeit von Temperaturextremen. So haben, insbesondere auch in Europa, Hitzeextreme (sehr warme Tage, Hitzeperioden, Temperaturerrekorde) zu- und Kälteperioden abgenommen. Parallel zur Erwärmung wird seit 1970 eine Zunahme des absoluten atmosphärischen Wassergehaltes gemessen. Zumindest im Mittelmeerraum hat seit 1950 die Trockenheit zugenommen.

Unabhängig von den verschiedenen Emissionsszenarien (d.h. unterschiedlichen möglichen Entwicklungen der Treibhausgasemissionen) werden steigende globale und regionale Temperaturen vorhergesagt. Ausser in einem Szenario mit starker Emissionsminderung (Verminderungsszenario RCP2.6) wird eine Temperaturerhöhung von mehr als 1.5 °C (seit Beginn der Industrialisierung) als *wahrscheinlich*<sup>2</sup> erachtet. Im Vergleich zu 1986-2005 wird sich die globale Jahresmitteltemperatur bis 2035 *wahrscheinlich* um 0.3-0.7 °C erhöhen. Bis Ende des 21. Jh. werden die Temperaturen im Verminderungsszenario *wahrscheinlich* um 0.3-1.7 °C steigen, im Referenzszenario RCP8.5 (keine Klimaschutzmassnahmen) um 2.6-4.8 °C.

Aufgrund der Erwärmung erhöht sich auch der Wassergehalt in der Atmosphäre, was zu einer Zunahme der globalen Niederschläge und der Verdunstung führt (Beschleunigung des Wasserkreislaufes). Zudem wird sich das Wasser stärker konzentrieren, d.h. feuchte Gegenden und Jahreszeiten werden feuchter, trockene Jahreszeiten und Gegenden werden trockener. In Nordeuropa werden die Niederschläge bis Ende des 21. Jh. demnach zunehmen, in Südeuropa bzw. im Mittelmeerraum insbesondere im Sommer und Herbst abnehmen. Die Schweiz befindet sich im Übergangsbereich dieser zwei Niederschlagszonen, wobei sie im Winterhalbjahr eher vom nördlichen Regime, im Sommer häufiger vom südlichen beeinflusst wird. Damit dürfte die Variabilität von Nass- und Trockenperioden eher zunehmen. Natürliche Schwankungen werden jedoch in naher Zukunft das Niederschlagsverhalten noch dominieren. *Praktisch sicher*<sup>3</sup> wird es weltweit häufigere und intensivere Hitzeextreme, aber weniger Kälteextreme geben. Ebenso ist mit einer Zunahme von Starkniederschlägen zu rechnen. Zudem besteht in Südeuropa und im Sommer auch in Zentraleuropa ein erhöhtes Trockenheitsrisiko, wobei dieses je nach Modellprognose unterschiedlich stark ausgeprägt ist.

### Klimawandel in der Schweiz

Wie auf globaler Ebene ist die Erwärmung in der Schweiz eindeutig (Abbildung 1). Seit 1864 ist die Jahresdurchschnittstemperatur um ca. 1.8°C gestiegen, wobei die Erwärmung seit 1961 deutlich stärker ist (0.37 °C/Jahrzehnt) als im Durchschnitt (0.12 °C/Jahrzehnt). Zudem sind die jährlichen Variationen der Temperatur im regionalen Massstab der Schweiz im Vergleich zum globalen Mittel relativ stark. In der Schweiz war die Temperaturzunahme in den letzten 50 Jahren ca. 1.6 Mal stärker als die mittlere Temperaturveränderung über den Landmassen der Nordhemisphäre. Bezüglich des mittleren Jahresniederschlags zeigen sich gesamtschweizerisch keine eindeutigen Trends. Im Mittelland wird für den Winter aber eine Zunahme der Niederschläge (+22%/100 Jahre seit 1864) sowie der Abflüsse von Gewässern beobachtet. Letzteres ist zusätzlich durch den Anstieg der mittleren Schneefallgrenze um 300 m in den letzten Jahrzehnten beeinflusst, da ein höherer Anteil der Jahres-

---

<sup>1</sup> Ähnliche und weitere Informationen für die physikalischen Grundlagen des Klimawandels in der Schweiz finden sich in (OcCC 2007; CH2011 2011b; MeteoSchweiz 2013; CH2014-Impacts 2014b). In Perroud & S. (2013) sind zudem Quellen der Treibhausgasemissionen in der Schweiz und beeinflussende Faktoren beschrieben.

<sup>2</sup> Mit einer geschätzten Eintrittswahrscheinlichkeit von 60-90%

<sup>3</sup> Mit einer geschätzten Eintrittswahrscheinlichkeit von >99%

niederschlags als Regen erfolgt und damit direkt abfließt. In den letzten Jahrzehnten wurde auch ein Trend zu mehr und intensiveren Hitzetagen und weniger Kältetagen festgestellt. An den meisten Messstellen hat zudem die Häufigkeit und Intensität der Starkniederschläge zugenommen. Für andere Klima- und Wetterextreme sind bisher keine statistisch signifikanten Veränderungen festgestellt worden.

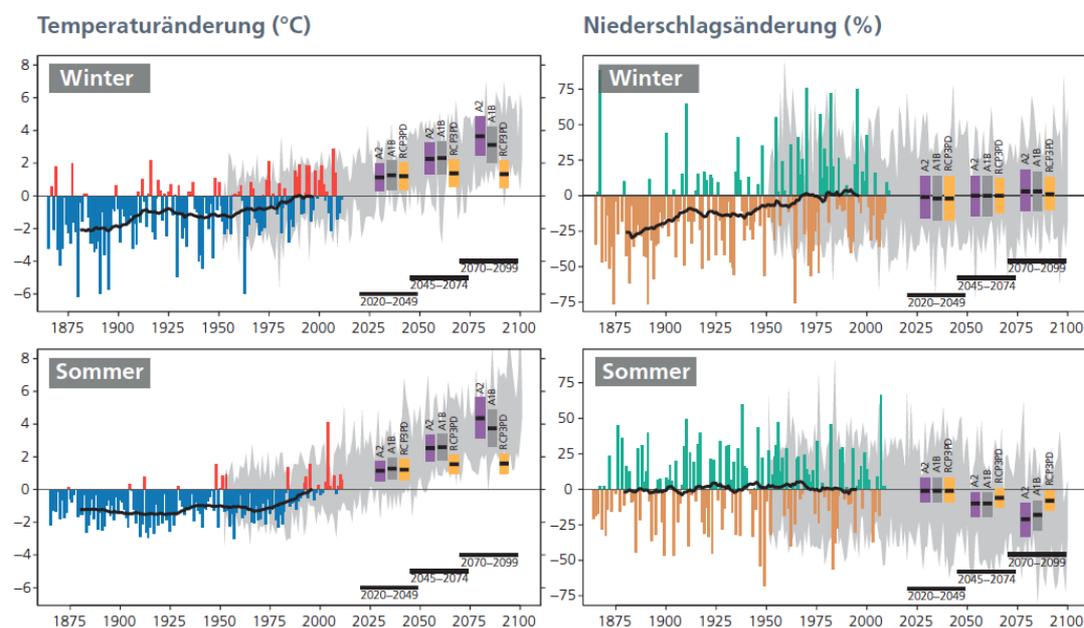


Abbildung 1: Vergangene und zukünftige Änderungen der Temperatur und des Niederschlags in Winter und Sommer unter verschiedenen Szenarien in der Nordostschweiz (Referenzzeitraum 1980-2009). Dünne farbige Balken: jährlichen Abweichungen vom gemessenen Durchschnitt über den Referenzzeitraum; schwarze Linie: über 30 Jahre geglättete Durchschnittswerte; grauer Bereich: Spannweite der jährlichen Abweichungen für Szenario A1B; dicke farbige Balken: Schätzungen der Projektionen mit Unsicherheitsbereich (CH2011 2011a).

Trotz enormer Fortschritte in der Projektion der Klimaentwicklung, sind die Unsicherheiten von Vorhersagen je nach Klimaphänomen unterschiedlich. Relativ gut möglich sind Projektionen für globale Mittelwerte, da sie von der *Energiebilanz des Gesamtsystems* abhängen, und Temperaturen sowie deren Extreme, welche räumlich relativ homogen verteilt sind. Aussagen zum regionalen Klimawandel oder Wasserhaushalt sind nach wie vor eher schwierig und entsprechend mit grösseren Unsicherheiten behaftet.

### Für die Schweiz gelten die folgenden Projektionen als relativ sicher:

- Die mittleren Temperaturen werden in allen Regionen und Jahreszeiten *sehr wahrscheinlich*<sup>4</sup> ansteigen und einige °C über dem Durchschnitt von 1980-2009 liegen (Abbildung 1 für Nordostschweiz). Die Jahresmitteltemperaturen steigen bis 2100 im Vergleich zur Periode 1980-2009 im Referenzszenario (Emissionsentwicklung ähnlich wie bisher) um 2.9-5.1 °C. Im Verminderungsszenario nehmen sie um 1.0-1.9 °C zu. Bis Mitte des 21. Jh. wird in beiden Szenarien eine Zunahme von 0.8-1.6 °C vorhergesagt. Für die Temperaturen im Sommer wird ein stärkerer Anstieg als in den anderen Jahreszeiten erwartet.
- Die mittleren Niederschläge werden bis Ende des 21. Jh. im Vergleich zu heute im Sommer ab und im Winter zunehmen, wobei der Jahresniederschlag ungefähr gleich bleiben dürfte (Abbildung 1 für Nordostschweiz). Die Abnahme im Sommerhalbjahr<sup>5</sup> (CH2011 2011b) wird vor allem über einen Rückgang der Anzahl Regentage erfolgen, was auch längere Trockenperioden bedeutet. Im Herbst und Frühling dürfte sich der Niederschlag vorwiegend im Bereich der natürlichen Variabilität bewegen. Die Verminderung der Schnee- und Eismassen in den Alpen, frühere Schneeschmelze, saisonale Umverteilung der Niederschläge, mehr flüssiger Niederschlag und Veränderungen in der Verdunstung führen zu einer weiteren Umverteilung der Abflüsse der Gewässer im Jahresverlauf: Zunahme im Winter, abnehmende Pegel im Sommer und Herbst (siehe

<sup>4</sup> Mit einer geschätzten Eintretenswahrscheinlichkeit von >90%

<sup>5</sup> Mittlere Projektionswerte für die Nordostschweiz betragen je nach Szenario für 2060 zwischen ca. 5 und 10%, für 2085 zwischen ca. 5 und 20 %.

## Klimawandel und Biodiversität

auch Kapitel 3.2.3 → Gewässer). Gegen Ende des 21. Jh. werden die Voraussagen stark abhängig von den zukünftigen Treibhausgasemissionen.

- Feuchtes kühles Wetter wird feuchter und warmes trockenes Wetter wird noch wärmer und trockener.
- Es kommt zu mehr und intensiveren Hitzeextremen und Starkniederschlägen (Abbildung 2), wobei die Variabilität relativ hoch ist. Die Veränderung bei den Starkniederschlägen dürfte sich wahrscheinlich erst im Verlauf des 21. Jh. signifikant nachweisen lassen. Das Trockenheitsrisiko (v.a. bezüglich Bodenfeuchte) nimmt voraussichtlich ebenfalls zu, wobei die entsprechenden Modellresultate unsicherer sind als für Temperatur- und Niederschlagsextreme. Für andere Klima- und Wetterextreme sind Veränderungen mit hohen Unsicherheiten behaftet.

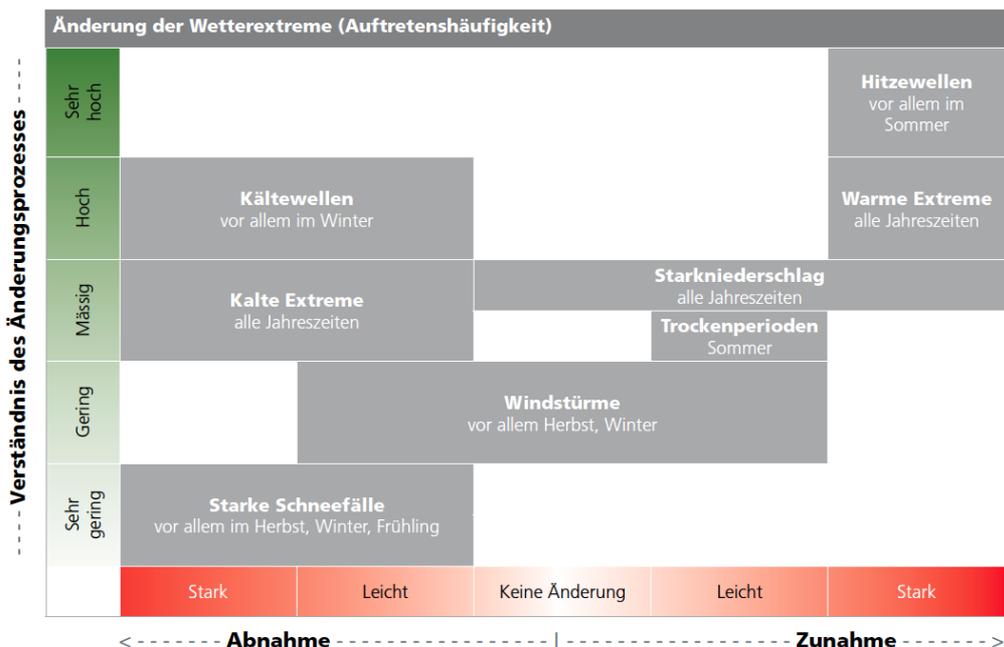


Abbildung 2: Übersicht der möglichen zukünftigen Änderungen von verschiedenen Wetterextremen im 21. Jahrhundert (MeteoSchweiz 2013).

Klimaindikatoren wie z.B. die Anzahl Sommertage oder die Länge der Vegetationsperiode<sup>6</sup> erlauben, die oben beschriebenen Veränderungen zu veranschaulichen. Gemäss MeteoSchweiz (2013) ist bis 2060 (Mittelwert der Periode 2045-2074) mit den in Tabelle 1 gezeigten Veränderungen zu rechnen.

Tabelle 1: Veränderung von Klimaindikatoren für das Schweizer Mittelland, die Voralpen und die Agglomeration Zürich. Angegeben sind Mittelwerte der Indikatoren für heute (kursiv) und 2060 (Bereich von drei verschiedenen Szenarien gemäss IPCC). Angepasst von MeteoSchweiz (2013).

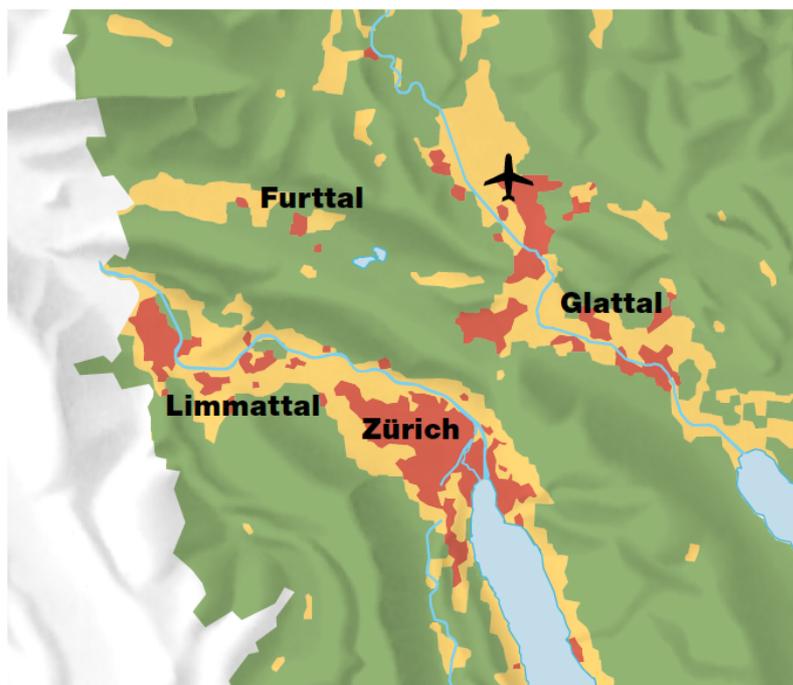
Klimaindikator [Anzahl Tage pro Jahr]	Mittelland		Voralpen		Agglomeration Zürich
	<400 m ü.M	>600 m ü.M.	>600 m ü.M.	1000-1500 m ü.M.	
Sommertage	49 → 65-76	31 → 45-55	41 → 57-68	7 → 16-23	46 → 62-73
Frosttage	69 → 49-37	99 → 73-60	81 → 58-47	138 → 111-95	80 → 58-46
Länge der Vegetationsperiode	266 → 289-307	240 → 264-281	257 → 284-299	203 → 227-242	262 → 286-301
Tage mit Neuschnee	12 → 7-5	25 → 16-12	19 → 11-8	51 → 40-33	15 → 9-7

### Klimawandel im Kanton Zürich

Parlow et al. (2010) beschreiben die grossklimatische Einordnung Zürichs und das Lokalklima der Stadt Zürich, als Basis für ihre Klimaanalyse der Stadt. Abbildung 3 zeigt die unterschiedliche heutige Situation des Lokalklimas (Temperatur, Durchlüftung) für einen Teil des Kantons.

<sup>6</sup> Sommertage = Tage pro Kalenderjahr, an denen die Maximaltemperatur 2 m über Boden mind. 25 °C erreicht; Vegetationsperiode = Tage pro Kalenderjahr zwischen dem ersten Auftreten einer mindestens 6 Tage langen Periode mit Tagesmitteltemperaturen über 5°C und dem ersten Auftreten einer mindestens 6 Tage langen Periode mit Tagesmitteltemperaturen unter 5 °C (MeteoSchweiz 2013)

Die zukünftige Entwicklung des Klimas im Kanton Zürich bewegt sich im Bereich der vorhergehenden Aussagen für die Schweiz/Nordostschweiz. Genauere Aussagen sind aufgrund der Kleinräumigkeit mit grossen Unsicherheiten behaftet. Für Agglomerationen dürfte die Erwärmung aufgrund des Wärmeinseleffektes tendenziell stärker ausfallen (Sommermitteltemperaturen um 2060 >21 °C, d.h. ähnlich wie im Hitzesommer 2003) mit entsprechenden Auswirkungen auf die Anzahl Sommer- und Frosttage (Tabelle 1) (MeteoSchweiz 2013). Die Zürich-spezifischen Berichte von AWEL & IBK (2007) und econcept (2013) beruhen auf den physikalischen Grundlagen etwas älterer Publikationen, präsentieren ähnliche Befunde, behandeln aber Extremereignisse aber etwas ausführlicher.



- belastetes Lokalklima: erhöhte Temperaturen und schlechte Durchlüftung
- ungünstiges Lokalklima: erhöhte Temperaturen oder schlechte Durchlüftung
- gutes Lokalklima: nicht erhöhte Temperaturen und gute Durchlüftung

Abbildung 3: Lokalklima: Belastungssituation in einem Teilgebiet des Kantons Zürich (Baudirektion Kanton Zürich 2014).

### Box: Klimawandel: Situation und Entwicklung

- In den letzten 50 Jahren war die Temperaturzunahme in der Schweiz stärker als der Durchschnitt über den Landmassen in der Nordhemisphäre.
- In den letzten Jahrzehnten wurde ein Trend zu mehr Hitze- und weniger Kältetagen sowie stärkeren und häufigeren Starkniederschlägen festgestellt.
- Die mittleren Temperaturen werden in allen Regionen und Jahreszeiten *sehr wahrscheinlich* weiter ansteigen und einige °C über dem Durchschnitt von 1980-2009 liegen.
- Die mittleren Niederschläge werden bis Ende des 21. Jh. im Vergleich zu heute im Sommer ab (bis 2085 um 5-20%) und im Winter zunehmen.
- Ebenso werden für die Abflüsse der Gewässer im Jahresverlauf abnehmende Pegel im Sommer und Herbst, aber eine Zunahme im Winter erwartet.
- Feuchtes kühles Wetter wird feuchter, warmes trockenes Wetter wird wärmer und trockener.
- Es kommt zu mehr und intensiveren Hitzeextremen und Starkniederschlägen.
- Die Entwicklung des Klimas im Kanton Zürich bewegt sich ebenfalls im Bereich dieser Aussagen, für Städte und Agglomerationen dürfte die Erwärmung aber stärker ausfallen.
- Das Klima reagiert auf Änderungen in der Strahlungsbilanz verzögert. Bis Mitte des 21. Jh. ist die Klimaentwicklung deshalb kaum mehr beeinflussbar. Umso wichtiger sind aber Minderungs- und Anpassungsmassnahmen für die nachfolgende Entwicklung.

### 3 Aktueller Wissensstand zur Wirkungsweise und zu Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität

Klimawandel und Biodiversitätsverlust (bzw. biosphere integrity) sind im Konzept der Belastungsgrenzen des Planeten (planetary boundaries) zwei von neun Umweltbereichen, die sich gegenseitig beeinflussen. Um der Menschheit langfristig geeignete Lebensbedingungen auf der Erde zu bieten, sollten bestimmte Grenzen bei diesen Umweltbereichen nicht überschritten werden (Rockström et al. 2009; Steffen et al. 2015). In vier der neun Bereiche, u.a. Klimawandel und Biodiversitätsverlust, gelten die Grenzen allerdings bereits als überschritten.

Des Weiteren wird die Biodiversität weltweit wie auch in der Schweiz als ein Bereich betrachtet, der durch den Klimawandel direkt und indirekt sowie über Anpassungsmassnahmen in verschiedenen Sektoren stark beeinflusst wird (Schweizerische Eidgenossenschaft 2012a; Essl & Rabitsch 2013). Deshalb gilt die Biodiversität hinsichtlich des Klimawandels als besonders verletzlich (Wilke et al. 2011).

#### 3.1 Hauptursachen und Wirkungsweise

Die klimatischen Bedingungen sind nicht nur für die Verbreitung und das Überleben von Organismen sehr wichtig, sondern auch für die Ausbildung von Lebensgemeinschaften. Dabei spielen **Temperatur und Wasserangebot** sowie deren Variation entscheidende Rollen. Bei vielen Organismen sind physiologische Vorgänge direkt von der Temperatur abhängig. Verhalten und Lebenszyklen von Organismen werden von Temperaturveränderungen und Wasserangebot im Jahresverlauf wie auch von anderen Regelungsfaktoren wie Tageslänge und Nahrung gesteuert. Teilweise sind sie auch genetisch festgelegt.

Verschiedene Arten finden einerseits ihr Optimum in unterschiedlichen Bereichen und ertragen andererseits unterschiedlich starke Schwankungen der Standortfaktoren. Ungeeignete Bedingungen führen zur Abwanderung oder Bestandes-Abnahmen von Arten. Extremwerte wie auch ein nicht übereinstimmendes Eintreten von auslösenden Faktoren und übrigen Umweltbedingungen können zu Mortalität führen (Essl & Rabitsch 2013).

Steigende **Konzentrationen des Treibhausgases CO<sub>2</sub>** in der Atmosphäre können bei Pflanzen ein beschleunigtes Wachstum, eine höhere Nährstoffeffizienz, geringere Respiration und Spaltöffnungsleitfähigkeit sowie eine veränderte Struktur und Zusammensetzung des Pflanzengewebes verursachen. Über letzteres können auch Herbivoren und damit ganze Nahrungsnetze beeinflusst werden (Körner 2000). Die direkten Auswirkungen einer höheren CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre auf Landökosysteme (CO<sub>2</sub>-Düngung) werden allerdings von ExpertInnen als eher gering eingestuft (Huber & Hedinger 2008).

Kurz oder lang andauernde **Extremereignisse**<sup>7</sup>, ihre räumliche Ausdehnung sowie ihr örtlich und zeitlich verändertes Eintreten haben meist einen stärkeren Einfluss auf Organismen und Ökosysteme als Mittelwerte und langsame Veränderungen (IPCC 2014a). Denn Extremereignisse wirken sich unmittelbar auf das Vorkommen von Arten sowie die Struktur und Vitalität von Populationen aus. Insbesondere bei Lebensgemeinschaften, die stabile Umweltbindungen gewohnt sind, kann eine Erhöhung der **Klimavariabilität** zu bedeutenden Veränderungen führen.

Sich verändernde klimatische Bedingungen wirken einerseits wie beschrieben direkt auf die Biodiversität ein (Kapitel 3.2), andererseits lösen sie verschiedene **indirekte Auswirkungen** aus. So werden wichtige chemische und physikalische Eigenschaften und Systemprozesse, an die sich Organismen angepasst haben (z.B. Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit, Sauerstoffgehalt in Gewässern) und Wechselwirkungen zwischen den Organismen beeinflusst. Der Klimawandel wirkt sich aber auch auf die Landnutzung aus; betroffen sind insbesondere Sektoren wie Wasser-, Forst-, Landwirtschaft-, Energiewirtschaft, Tourismus. Dies wiederum hat Konsequenzen für die Biodiversität (Kapitel 3.3). Solche indirekten Effekte werden voraussichtlich mit der Fortdauer des Klimawandels zunehmen und werden als besonders relevant für die Biodiversität betrachtet (Alexander et al. 2015). Gerade diese sind aber besonders schwierig oder nicht vorhersagbar (Kapitel 3.4).

Besonders starke Folgen für die Biodiversität dürfte wahrscheinlich die **kombinierte Wirkung mehrerer klimatischer Veränderungen und die Wechselwirkung mit anderen Einflussfaktoren**

---

<sup>7</sup> Trockenzeiten, Starkniederschläge, Hitzewellen, Minimaltemperaturen, Stürme, Hochwasser, Brände,...

(z.B. Landnutzung) haben (Kapitel 4 in OcCC (2007), Kravcik et al. (2007)). So ist es z.B. wahrscheinlich, dass im Sommer hohe Temperaturen und Trockenheit öfters gemeinsam auftreten und im Winter mildere Temperaturen und feuchtere Bedingungen (CH2011 2011b).

Um die Komplexität der Folgen des Klimawandels zu reduzieren, können diese z.B. nach zeitlichen Dimensionen oder auch hinsichtlich meteorologischer Parameter kategorisiert werden (Wilke et al. 2011): Auswirkungen in Folge von Temperaturveränderungen, Veränderungen und Verteilung der Niederschläge oder von Extremereignissen. Solche Kategorisierungen und auch Klimaindikatoren (Kapitel 2) erleichtern es abzuschätzen, wo Anpassungsmassnahmen (Kapitel 4.2) erfolgreich ansetzen können und bezüglich welcher Veränderungen sie prioritär erforderlich sind.

### 3.2 Direkte Auswirkungen

Die globalen Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität sind in Kapitel 4 Terrestrial and Inland Water Systems von IPCC (2014a) wiedergegeben (Kapitel 3.3 für indirekte Auswirkungen und Wechselwirkungen). Die Hauptkenntnisse sind folgend wiedergegeben:

#### **Hauptkenntnisse vom Kapitel 4 Terrestrial and Inland Water Systems von IPCC (2014)**

The planet's biota and ecosystem processes were strongly affected by past climate changes at rates of climate change lower than those projected during the 21st century under high warming scenarios (e.g., Representative Concentration Pathway 8.5 (RCP8.5)) (high confidence). Most ecosystems are vulnerable to climate change even at rates of climate change projected under low- to medium-range warming scenarios (e.g., RCP2.6 to RCP6.0).

The Climate change is projected to be a powerful stressor on terrestrial and freshwater ecosystems in the second half of the 21st century, especially under high-warming scenarios such as RCP6.0 and RCP8.5 (high confidence).

Rising water temperatures, due to global warming, will lead to shifts in freshwater species distributions and worsen water quality problems, especially in those systems experiencing high anthropogenic loading of nutrients (high confidence).

Many plant and animal species have moved their ranges, altered their abundance, and shifted their seasonal activities in response to observed climate change over recent decades (high confidence). They are doing so now in many regions and will continue to do so in response to projected future climate change (high confidence).

Many species will be unable to move fast enough during the 21st century to track suitable climates under mid- and high-range rates of climate change (i.e., RCP4.5, RCP6.0, and RCP8.5 scenarios) (medium confidence).

Large magnitudes of climate change will reduce the populations, vigor, and viability of species with spatially restricted populations, such as those confined to small and isolated habitats, mountaintops, or mountain streams, even if the species has the biological capacity to move fast enough to track suitable climates (high confidence).

Increases in the frequency or intensity of ecosystem disturbances such as droughts, wind storms, fires, and pest outbreaks have been detected in many parts of the world and in some cases are attributed to climate change (medium confidence). Changes in the ecosystem disturbance regime beyond the range of natural variability will alter the structure, composition, and functioning of ecosystems (high confidence).

Increased tree death has been observed in many places worldwide, and in some regions has been attributed to climate change (high confidence). In some places it is sufficiently intense and widespread as to result in forest dieback (low confidence). There is a high risk that the large magnitudes and high rates of climate change associated with low-mitigation climate scenarios (RCP4.5 and higher) will result within this century in abrupt and irreversible regional-scale change in the composition, structure, and function of terrestrial and freshwater ecosystems, for example in the Amazon (low confidence) and Arctic (medium confidence), leading to substantial additional climate change.

#### 3.2.1 Genetische Diversität

##### Beobachtete Auswirkungen

Adaptive genetische Vielfalt ist eine der Grundvoraussetzungen für die Anpassungsfähigkeit und das Evolutionspotenzial von Arten und Populationen (siehe Bericht Populationsökologie) und damit auch für die Anpassung an den Klimawandel. Eine Anpassung von Arten und Populationen an den Klimawandel kann durch genetische Veränderungen aber nur erfolgen, wenn Allele für klimarelevante Merkmale in genügender Häufigkeit existieren und vererbt werden können.

Obwohl bei vielen Arten klimabedingte Veränderungen von Merkmalen beobachtet wurden, ist nur selten bewiesen, dass es sich dabei um Evolution handelt. Ein Beispiel für letzteres ist die Verschie-

bung phänologischer Phasen bei vielen Arten. Experimente zeigen zudem evolutive Antworten auf einzelne Faktoren wie Temperatur und Trockenheit (Essl & Rabitsch 2013).

Die genetische Vielfalt kann durch Umweltveränderungen beeinflusst werden. So zeigen empirische und Modellierungsstudien, dass Veränderungen des Verbreitungsgebietes, z.B. infolge der Erwärmung nach den Eiszeiten, aber auch heutige Ausbreitungsbewegungen zu einer Verringerung der genetischen Diversität lokaler Populationen führen können (Cobben et al. 2011). Auf zeitliche Dimensionen der Veränderung der genetischen Vielfalt wird kurz in Kapitel 3.2.5 eingegangen.

### Vorausgesagte Auswirkungen

Modellierungen lassen vermuten, dass es infolge von Arealverschiebungen der Arten durch den Klimawandel zu einem Verlust der genetischen Diversität von Populationen in ihrem neuen Verbreitungsgebiet kommt (Cobben et al. 2011).

Dies kann über mehrere Mechanismen und ihr Zusammenwirken erfolgen (Essl & Rabitsch 2013):

- Individuen, die ein neues Gebiet besiedeln, weisen nur einen Teil der genetischen Vielfalt der Ursprungspopulation auf (Flaschenhalseffekt). Ob eine Verarmung eintritt, wie ausgeprägt diese ist und ob ein späterer Ausgleich eintritt, hängt von Populationsgrößen, dem Ausbreitungsverhalten und der Vernetzung ab.
- Neubesiedlungen erfolgen meist vom Rand des Verbreitungsareals aus. Oft weisen Randpopulationen einer Art aber eine geringere genetische Diversität auf als Populationen im Zentrum.
- Bisher isolierte Populationen können durch Ausbreitung zusammentreffen, wodurch genetische Unterschiede verschwinden können. Dies kann auch bei einer Hybridisierung nah verwandter Arten geschehen.
- Durch den Klimawandel werden gewisse Gebiete und Lebensräume innerhalb und am Rande des Verbreitungsareals einer Art ungeeignet, was zur Verkleinerung und Isolation von Populationen führt. Dies kann zu einer Verkleinerung der genetischen Diversität und zum lokalen Aussterben von Populationen führen (siehe Bericht Populationsökologie).

Die Arealerweiterung von Arten und die Bildung neuer isolierter Populationen kann aber gesamthaft zumindest teilweise und temporär auch zu einer Erhöhung der genetischen Diversität einer Art führen (BAFU 2011). Konkrete Aussagen zur Entwicklung der genetischen Vielfalt bei einzelnen Arten sind aufgrund komplexer weiterer Wechselwirkungen und indirekter Effekte aber kaum möglich.

### Box: Genetische Vielfalt

- Lokales Aussterben und Arealverschiebungen von Arten führen mittelfristig vermutlich zu einem Verlust der genetischen Diversität von Populationen und von Arten in ihrem Verbreitungsgebiet. Längerfristig kann die Ausbreitung und Isolierung einiger Populationen auch zu einer Erhöhung der genetischen Diversität führen.
- ⇒ Populationsgrößen und die funktionelle Vernetzung von Populationen sind zu fördern und die Ausbreitung von Arten zu erleichtern.
- ⇒ Für isolierte, abnehmende und kleine Populationen mit speziellen genetischen Merkmalen sind allenfalls spezifische in und/oder ex-situ Massnahmen zu ergreifen.

### 3.2.2 Arten

Auswirkungen des Klimawandels hängen einerseits von dessen Ausmass und Geschwindigkeit andererseits von der Anpassungsfähigkeit der Arten, der Qualität und Grösse der Lebensräume sowie ihrer Vernetzung ab (Essl & Rabitsch 2013). Arten (bzw. Populationen, Individuen) finden in ihren Habitaten zunehmend andere Standortbedingungen vor, auf die sie auf dreierlei Weisen reagieren können (Kerth et al. 2014):

- Anpassung am Standort/im Gebiet
  - Phänotypische Plastizität, z.B. kurzfristige physiologische Reaktionen
  - langfristige Reaktionen während der Entwicklung, z.B. Grössenwachstum
  - Verhaltensanpassungen, z.B. Wahl der Standorte, Aktivitätsphasen
  - genetische Anpassung (Evolution)
- Arealverschiebung
- Aussterben

Anpassungen oder Arealverschiebungen sind nur bis zu einem bestimmten Grade möglich. Verlaufen die Änderungen zu schnell bzw. werden gewisse Schwellenwerte überschritten, ist eine Verringerung des Verbreitungsgebietes/Arealverluste (Corlett & Westcott 2013; Kerr et al. 2015) bis zum Ver-

schwinden der Population/Art nur durch menschliche Eingriffe zu vermeiden. Abbildung 4 zeigt, dass eine höhere Geschwindigkeit des Klimawandels (Temperaturveränderung) Arten in flachen Gebieten stärker betrifft als in Berggebieten, wo Arten in höher gelegene Gebiete ausweichen können. Eine Klimawandelrate von 0.037 °C/Jahr wie in der Schweiz seit 1961 beobachtet (Kapitel 2), übersteigt demgemäss bereits die Fähigkeit mehrerer Organismen(gruppen) für eine selbstständige grossräumige Anpassung ihres Verbreitungsgebietes. Dabei ist zu berücksichtigen, dass vertikale Ausbreitungsmöglichkeiten die Anpassung zumindest teilweise erleichtern können. Zudem ist die Resilienz der Populationen in der Schweiz aufgrund des Austausches mit umliegenden Populationen abhängig von der geographischen Lage der Schweiz im europäischen Verbreitungsgebiet der Art (Maggini et al. 2014). Dasselbe gilt für Populationen in einem Kanton hinsichtlich des schweizerischen Verbreitungsgebietes der Art.

Der Klimawandel führt aber nicht nur zu einer Verschiebung der Grenzen von geeigneten Gebieten für Arten. Es ist damit zu rechnen, dass innerhalb des Verbreitungsgebietes klimawandelsensibler Arten die für sie geeignete Habitatsfläche deutlich kleiner wird (Garden et al. 2015). Dies betrifft nicht nur bereits gefährdete Arten, sondern es können durchaus auch häufige Arten durch den Klimawandel bedroht werden (Mosbrugger et al. 2013). Besonders problematisch ist diese Veränderung dort, wo bestimmte Arten hauptsächlich in rechtlich geschützten Gebieten vorkommen. Um diesen Arten zukünftig das Überleben zu ermöglichen, müssten neue Gebiete mit dem zukünftig geeigneten Lebensraum unter Schutz gestellt werden (siehe dazu auch Kapitel 4.2.8).

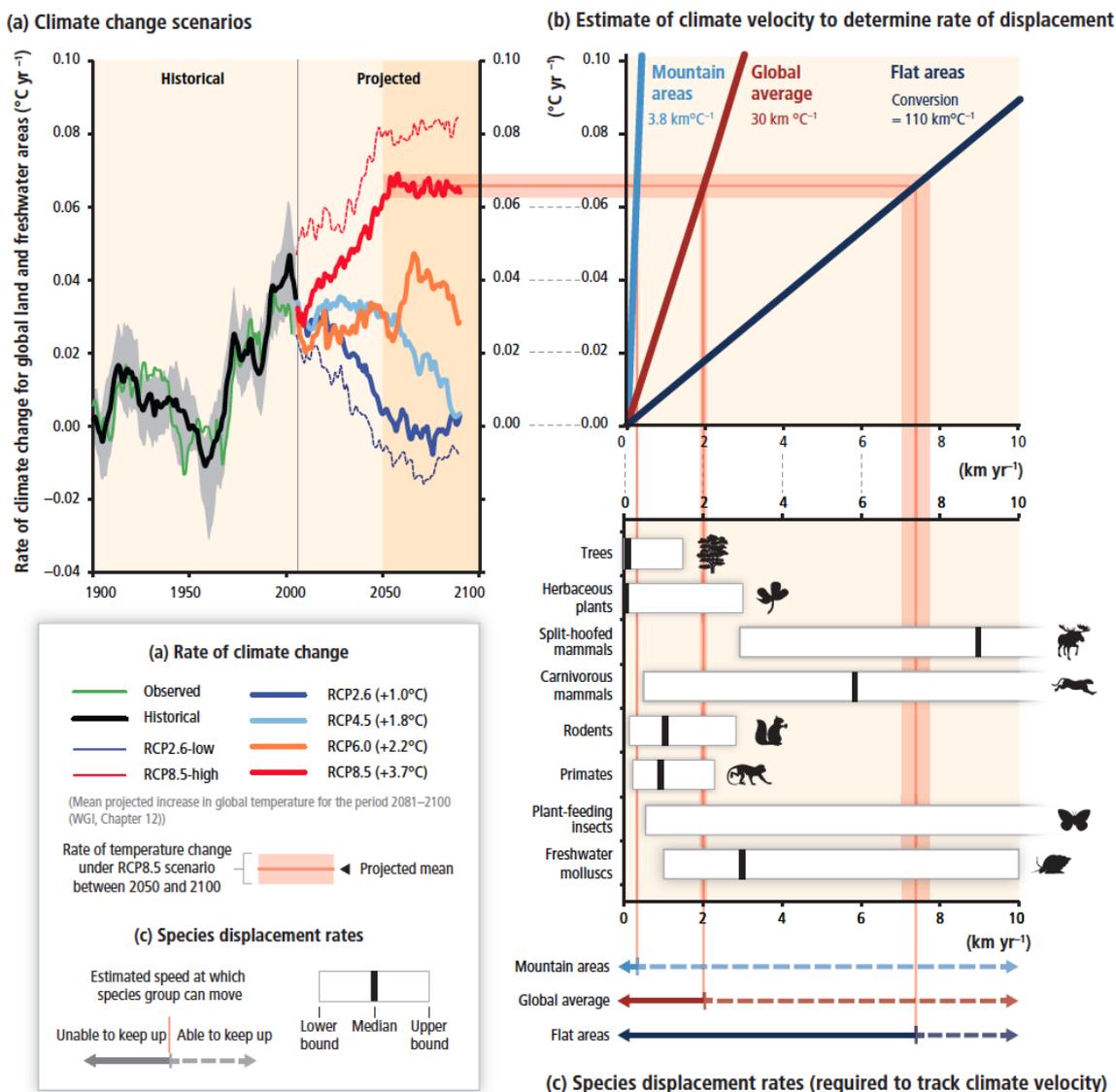


Abbildung 4: a) Rate des Klimawandels [°C pro Jahr] (Projektierte Temperaturveränderung in °C der verschiedenen Szenarien in der Legende), b) Schätzung der Geschwindigkeit des Klimawandels [km pro °C], c) Verschiebungsraten [km pro Jahr] verschiedener Organismengruppen. Organismen(gruppen), deren Verschiebungsraten sich links von den vertikalen orangenen Linien befinden (unterschiedlich je nach geographischer Lage), dürften ohne menschliche Interventionen kaum mit der Geschwindigkeit des Klimawandels mithalten können (IPCC 2014a).

### Sensibilität, Anpassungskapazität und Vulnerabilität von Arten

Die Vulnerabilität ist in der Klimafolgenforschung ein Mass für die Verletzlichkeit eines Systems auf den Klimawandel (Wilke et al. 2011; IPCC 2014a). Die Vulnerabilität einer Art hängt ab von:

- Den Auswirkungen des Klimawandels auf die Art. Diese werden beeinflusst von:
  - Der Einwirkung von klimatischen Änderungen auf die Art bzw. ihre Exposition (Klimaparameter, Ausmass, Häufigkeit)
  - Der Sensibilität (Empfindlichkeit) der Art gegenüber den Veränderungen (auf welche Weise und in welchem Ausmass erfolgt eine Reaktion)
- Der Anpassungskapazität der betroffenen Art, wobei diese auch ihre Sensibilität beeinflusst.

Die Sensibilität ist zudem von der Resilienz einer Art abhängig. Die Resilienz bezeichnet die Fähigkeit einer Art/Population sich von Störungen zu erholen. Mit steigender Resilienz nimmt also die Sensibilität und damit auch die Vulnerabilität einer Art ab.

Williams et al. (2008) schlagen eine umfassende Struktur zur Ermittlung der Vulnerabilität von Arten hinsichtlich des Klimawandels vor (Anhang 8.1). D.h. wie verletzlich eine Art voraussichtlich gegenüber dem Klimawandel reagieren wird, aber auch wie gut sie mit Massnahmen unterstützt werden kann. Diese Struktur setzt allerdings sehr viel Wissen auf verschiedenen Ebenen voraus.

Modellierungen deuten darauf hin, dass auch das Rote Listen System selbst – regelmässige Aktualisierungen gemäss IUCN vorausgesetzt – unter den Bedingungen des Klimawandels mehrere Jahrzehnte Vorwarnzeit bezüglich eines Aussterbeereignisses geben kann, ohne dass der Klimawandel explizit berücksichtigt wird (Stanton et al. 2015). Erhaltungsmaßnahmen sollten aber gemäss diesen Autoren bereits dann veranlasst werden, wenn eine Art als „verletzlich“ eingestuft worden ist, um genügend Reaktionszeit zu haben. Die Sensibilitäten und Vulnerabilitäten von Arten bezüglich des Klimawandels geben also ergänzende Information zu den Roten Listen. Insbesondere können damit zukünftig potenziell gefährdete Arten frühzeitig, d.h. bereits jetzt und nicht erst bei Veränderungen der Bestandesgrössen oder des Verbreitungsgebietes identifiziert werden (Maggini et al. 2014).

Bisherige Beobachtungen (Tabelle 4, Vittoz et al. 2013) und Standortfaktoren, die durch den Klimawandel verändert werden, erlauben generelle Aussagen zu den Eigenschaften von Arten, die eher vom Klimawandel profitieren (Gewinner) oder durch ihn gefährdet werden (Verlierer) (Tabelle 2). Hinweise auf die Sensibilität verschiedener Arten gibt auch ihre Lebensraumzugehörigkeit (Abbildung 5).

Tabelle 2: Eigenschaften von Arten, die eher als Gewinner oder eher Verlierer des Klimawandels hervorgehen (Essl & Rabitsch 2013).

Eigenschaft	Gewinner	Verlierer
Wärmebedürfnis	thermophil	hydrophil
Feuchtebedürfnis	xerophil	hygrophil
Höhenvorkommen	Tieflandarten (außer Küste)	(Hoch)Gebirgsarten, Küstenarten
Abundanz	häufig	selten
Nischenbreite	euryök	stenök
Areal	groß, geschlossen	klein, disjunkt
Nährstoffbedarf	eutroph	oligotroph
Interaktion	keine obligaten spezialisierten Interaktionspartner	obligate spezialisierte Interaktionspartner (z. B. Bestäuber)
Ausbreitung	mobil	ortstreu
Entwicklung	mehrere Generationen pro Jahr (multivoltin)	eine Generationen pro Jahr (univoltin)

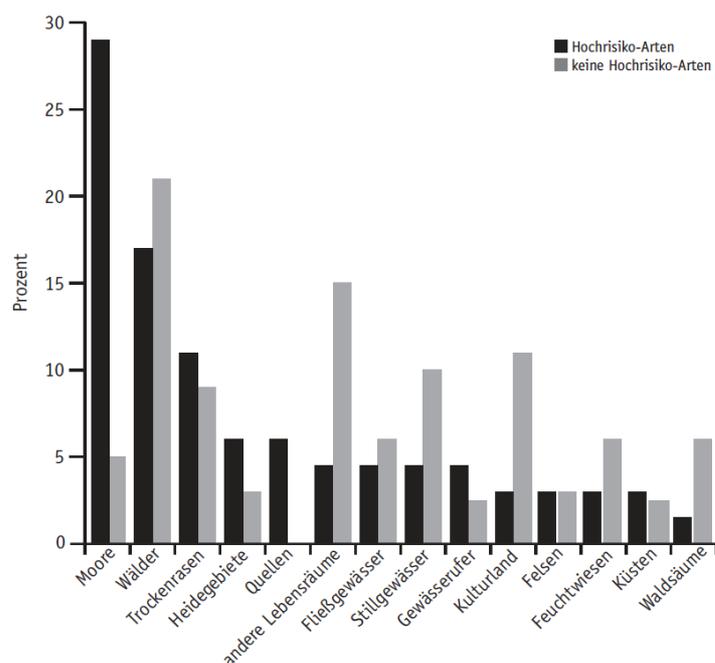


Abbildung 5: Lebensraumbindung von Hochrisiko- (n=63) und übrigen Tierarten (n=449) Deutschlands. Die Kategorie "andere Lebensräume" umfasst z.B. Rebberge, Röhrichte, Gebirgsrasen (Essl & Rabitsch 2013).

Eine Analyse für Deutschland verwendete folgende Kriterien zur Einstufung der Klimasensibilität von Tierarten: Ökologische Amplitude, Migrations-/Dispersionsfähigkeit, Vorkommen in klimawandelsensiblen Zonen, Vermehrungsrate, Rote Liste Status sowie Biotopbindung, Arealgrösse, aktuelle Bestandessituation (Rabitsch et al. 2010). Eine Folge-Studie zur Anpassungskapazität von 50 dieser Arten berücksichtigt aufgrund von Korrelationen zwischen dem Rote-Liste Status und Arealgrösse sowie der aktuellen Bestandessituation nicht mehr alle dieser Kriterien (Kerth et al. 2014, 2015). Sie zeigt, dass bei den Tag- und Nachtfaltern (33%), Weichtieren (21%) und Käfern (13%) am meisten klimasensible Arten anzutreffen sind. Es handelt sich dabei überdurchschnittlich häufig um sehr seltene, gemäss den Roten Listen als vom Aussterben bedrohte Arten mit kleinen bis mittleren Arealgrössen und einer starken Habitatbindung (Abbildung 5). Zudem sind sie oft sehr ausbreitungsschwach, weswegen eine Arealverschiebung eher unwahrscheinlich sei (vgl. Abbildung 4). Stress durch eine Temperaturerhöhung spielt bei den betrachteten Arten v.a. für die aquatischen Arten eine Rolle. Bei terrestrischen und amphibischen Arten besteht insbesondere ein Risiko durch Austrocknung ihrer Habitate und durch Habitatsveränderungen.

Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt auch eine Analyse für Arten der Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie Deutschlands (FFH-Arten): Die Gefährdung von Arten durch den Klimawandel steigt mit zunehmendem Rote Liste-Status. Ein hohes Risiko durch den Klimawandel besteht insbesondere für Käferarten sowie Arten, die auf Kleinstrukturen angewiesen sind oder im Umfeld von Gewässern oder in ihnen leben (Schlumprecht et al. 2010).

In der Schweiz wurde eine Vulnerabilitätsanalyse für Brutvögel durchgeführt (Maggini et al. 2014, Vulnerabilitätsindices für Arten in den Supporting Information des Artikels). Die Abschätzung der Vulnerabilität der Brutvögel erfolgte für zwei Klimawandel-Szenarien für 2050 und 2100 und basiert auf den vorhergesagten Veränderungen der Verbreitungsgebiete, den gesamteuropäischen Beständen der Arten sowie der Entwicklung der Populationen. Es zeigt sich, dass sich die Effekte im Verlauf des 21. Jh. verstärken werden (positiv oder negativ). Vorwiegend alpine und boreale Vogelarten sowie Feuchtgebietsarten weisen im Vergleich zu heute höhere Vulnerabilitätsindices auf. Aufgrund der bisherigen Beobachtungen gilt diese Aussage wohl generell für weitere Artengruppen.

Fünzig Pflanzenarten Deutschlands – darunter auch einige Aktionsplanarten Flora des Kantons Zürichs (Anhang 8.1) – wurden aufgrund einer Analyse der Arealveränderungen mit drei Modellierungsmethoden und für drei Klimawandel- und Landnutzungsszenarien in vier Risikoklassen eingeteilt (Pompe et al. 2011). Für die Schweiz und den Kanton Aargau wird eine Sensibilitätsanalyse für Pflanzenarten basierend auf Zeigerwerten (Feuchtigkeit, Temperatur) der Einzelarten im Vergleich zu den mittleren Zeigerwerten an ihren aktuellen Vorkommensstandorten (Pflanzengemeinschaften auf Z7 und Z9 Flächen des Biodiversitätsmonitorings auf nationaler Ebene und weitere Datensätzen aus dem

## Klimawandel und Biodiversität

Kanton Aargau) an der WSL (Ansprechperson Niklaus Zimmermann) durchgeführt. Die Sensibilität einer Art gibt in der Analyse an, an wie vielen Fundorten, sie begünstigt respektive beeinträchtigt wird (Abweichung des mittleren Zeigerwertes an einem Fundort von mindestens 1 vom Durchschnitt der mittleren Flächenzeigerwerte der Fundorte). Nicht berücksichtigt wird die zukünftige Ausbreitung einzelner Arten. Zum Abschluss wird aufgrund von Habitatsansprüchen, Lebensform, der geographischen Verteilung und dem Rote Liste Status beurteilt, ob eine Art tatsächlich bedroht ist, oder nur in der Berechnung der Kategorie „bedroht“ zugewiesen wird.

Für die Aktionsplanarten des Kantons Zürich ist auf europäischer Ebene mit unterschiedlichen Reaktionen auf den Klimawandel zu rechnen (Tabelle 3, Anhänge 8.2 und 8.3, hauptsächlich basierend auf Studien aus Deutschland). Die tatsächliche Reaktion in einem Teilgebiet bzw. im Kanton Zürich kann anders ausfallen.

Tabelle 3: Aktionsplanarten des Kantons Zürich, die auf europäischer Ebene eher vom Klimawandel profitieren oder eher beeinträchtigt werden. Genauere Angaben zu den einzelnen Arten in den Anhängen 8.2 und 8.3.

Aktionsplanarten	Reaktion auf Klimawandel			
	eher positiv	je nach Ausbreitungsmöglichkeit positiv oder negativ	eher negativ	keine Beurteilung
Anzahl Arten Flora (n=51)	11	2	22	16
Artnamen Flora	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Aldrovanda vesiculosa</i></li> <li>• <i>Aristolochia clematitis</i></li> <li>• <i>Himantoglossum hircinum</i></li> <li>• <i>Ophrys araneola</i></li> <li>• <i>Prunella laciniata</i></li> <li>• <i>Rosa gallica</i></li> <li>• <i>Sedum rubens</i></li> <li>• <i>Spiranthes spiralis</i></li> <li>• <i>Thalictrum galioides</i></li> <li>• <i>Thalictrum simplex</i> subsp. <i>galioides</i></li> <li>• <i>Thesium rostratum</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Filipendula vulgaris</i></li> <li>• <i>Potentilla inclinata</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Allium angulosum</i></li> <li>• <i>Anagallis minima</i></li> <li>• <i>Campanula cervicaria</i></li> <li>• <i>Carex chordorrhiza</i></li> <li>• <i>Daphne cneorum</i></li> <li>• <i>Eriophorum gracile</i></li> <li>• <i>Gagea pratensis</i></li> <li>• <i>Gagea villosa</i></li> <li>• <i>Gentiana cruciata</i></li> <li>• <i>Gratiola officinalis</i></li> <li>• <i>Hypochaeris maculata</i></li> <li>• <i>Inula britannica</i></li> <li>• <i>Inula hirta</i></li> <li>• <i>Liparis loeselii</i></li> <li>• <i>Orchis palustris</i></li> <li>• <i>Pulsatilla vulgaris</i></li> <li>• <i>Saxifraga granulata</i></li> <li>• <i>Scorzonera humilis</i></li> <li>• <i>Teucrium scordium</i></li> <li>• <i>Trifolium ochroleucon</i></li> <li>• <i>Viola elatior</i></li> </ul>	siehe Anhang 8.2
Anzahl Arten Fauna (n=36)	1	6	6	23
Artnamen Fauna	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eisvogel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Helm-Azurjungfer</li> <li>• Schlingnatter</li> <li>• Skabiosenscheckenfalter</li> <li>• Grosse Moosjungfer</li> <li>• Gelbringfalter</li> <li>• Kammmolch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geburtshelferkröte</li> <li>• Kreuzkröte</li> <li>• Mittelspecht</li> <li>• Laubfrosch</li> <li>• Auerhuhn</li> <li>• Gemeine Bachmuschel</li> </ul>	siehe Anhang 8.3

### Beobachtete Auswirkungen in der Schweiz

Sowohl auf globaler Ebene als auch in vielen Regionen Europas wurden bereits Verschiebungen des Verbreitungsgebietes von Pflanzen- und Tierarten bezüglich Höhe und geographischer Breite (Nord-Süd) beobachtet (EEA 2012).

Tabelle 4 zeigt die bisher beobachteten Auswirkungen des Klimawandels auf Arten und Lebensräume in der Schweiz. Bei Pflanzen, Moosen, Insekten (Schmetterlingen), Fischen, Amphibien, Reptilien und Vögeln wurden bereits Verschiebungen in höhere Lagen des Verbreitungsgebietes, Ausbreitung von wärmeliebenden Arten, Einwanderung von Arten wärmerer Gebiete und phänologische Verschiebun-

## Klimawandel und Biodiversität

gen beobachtet. Zudem können Fische in tiefen Lagen von wärmeren Wassertemperaturen und Bäume in den trockensten Gebieten von der Trockenheit beeinträchtigt werden (Occc 2007; Vittoz et al. 2013).

Auf Landschaftsebene (1 km<sup>2</sup>) haben in tiefen Lagen der Schweiz trockenheits- und wärmezeigende Pflanzenarten, Ruderalpflanzen und Neophyten im Vergleich zu anderen innerhalb von 10 Jahren stärker zugenommen. Allerdings sind diese Trends erst gering und auf Lebensraumbene (10 m<sup>2</sup>) noch nicht feststellbar. In hochmontanen und subalpinen Lagen ist eine überdurchschnittliche Zunahme von Arten tieferer und milderer Lagen feststellbar (Koordinationsstelle BDM 2012).

Tabelle 4: Übersicht bisher beobachteter und zukünftig erwarteter Auswirkungen des Klimawandels auf Lebensräume und Organismengruppen in der Schweiz im Flachland und in der montanen Stufe ("-" Rückgang der Biodiversität; "+" Zunahme der Biodiversität; "?" Auswirkung wahrscheinlich aber unklar, 0 keine erkennbaren Auswirkungen) sowie hauptsächliche Wirkungsfaktoren und ihr Einfluss auf die Biodiversität (- Wirkung eher negativ, + Wirkung eher positiv), wobei die Stärke der Wirkungsfaktoren im Verlauf des 21. Jh. voraussichtlich alle zunehmen. Angepasst von Vittoz et al. (2010) sowie ergänzt mit eigener Einstufung basierend auf Vittoz et al. (2013) und ProClim (2016).

	Beobachtete Auswirkungen (Flachland - montane Stufe)	Auswirkungen bis 2100	Wirkungsfaktoren und ihr Einfluss auf die Biodiversität
<b>Lebensräume</b>			
Teiche und Moore	-?	-	Trockenheit -
Fichtenwald	-	-	Trockenheit -
Gewässer	+/-	-	Trockenheit -, Temperaturerhöhung -
Bergwiesen und Bergweiden	0	-	Temperaturerhöhung -,
<b>Organismengruppe</b>			
Vögel	+ (wärmeliebende)	+/-	Temperaturerhöhung +/-, Waldmosaik nach Sturm oder Brand +
	- (einzelne Gebirgsarten)		
Reptilien	+ (wärmeliebende)	+?	Temperaturerhöhung +?
Amphibien	-?	-?	Trockenheit -, Temperaturerhöhung +/-
Fische	+ (wärmeliebende)	-	Trockenheit -, Temperaturerhöhung -
	- (einheimische)		
Libellen, Stein-, Eintagsfliegen und andere Wasserinsekten	+ (wärmeliebende)	+/-	Trockenheit -, Temperaturerhöhung -
Tagfalter	+ (wärmeliebende)	+/-	Temperaturerhöhung +/-, Waldmosaik nach Sturm oder Brand +
	- (Gebirgsarten)		
Gefässpflanzen	+/- (ohne Neophyten) siehe Abbildung 6	+/-	Waldmosaik nach Sturm oder Brand +
Moose	- (kälteliebende)	-?	Temperaturerhöhung -
Neobiota	+	+	Temperaturerhöhung +

### Vorhergesagte Veränderungen

Resultate von Modellierungen für Europa zeigen, dass in den nächsten Jahrzehnten regionale klimawandelbedingte Verluste (Aussterben) von Tierarten im Bereich von 15-37% und von Pflanzenarten von 5-30% (teils bis 20-50%) zu erwarten sind (Reich et al. 2012; Essl & Rabitsch 2013). Dabei dürften Populationen von Arten mit einer geringen Anpassungs- und Ausbreitungskapazität zunächst v.a. an ihren südlichen Verbreitungsgrenzen aussterben. Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass puffernde Faktoren wie phänotypische Anpassung oder Evolution in den Modellen bisher nicht berücksichtigt sind (Essl & Rabitsch 2013). Durch eine Verschiebung in höhere Lagen können Populationen zudem verstärkt voneinander isoliert werden (Reich et al. 2012).

Aufgrund von Arealverschiebungen wird es in einem bestimmten Gebiet (z.B. Schweiz oder Zürich) nicht nur weitere Artenverluste, sondern auch Neuzuzügler geben. In der Schweiz wird es sich dabei v.a. um wärmeliebende, frostempfindliche und bisher eher südlich verbreitete Arten handeln.

Dies kommt allerdings nicht einem Ersatz gleich, da insbesondere Arten mit alpiner Verbreitung auch im übrigen Europa eher Rückgänge aufweisen werden. Neben neuen Arten ist auch mit einer Vergrößerung der Populationen dieser Arten zu rechnen (BAFU 2011). Zu weiteren Wanderbewegungen wird es auch bei Arten kommen, die eher an kühle Bedingungen angepasst sind. Arten und ihre Populationen, die wärmere und trockenere Bedingungen nicht ertragen, werden voraussichtlich abnehmen. Insbesondere Arten und Lebensgemeinschaften an Extremstandorten mit selten anzutreffenden Standortbedingungen oder an räumlich begrenzten Standorten (z.B. Berggipfeln) werden tendenziell Mühe oder keine Möglichkeit haben, sich anzupassen oder ihr Areal zu verschieben und werden in der Folge Verluste erleiden (Vittoz et al. 2010).

Die grossen topographischen Unterschiede der Schweiz bieten grundsätzlich gute klein- und grossräumige Ausweichmöglichkeiten für Arten. Voraussetzung dafür ist aber eine ausreichende Vernetzung über die Höhenstufen (Huber & Hedinger 2008). Unter anderem aufgrund dieser Ausweichmöglichkeiten deuten Modellierungen für Gebirgspflanzenarten, die deren Ausbreitungsfähigkeit berücksichtigen, darauf hin, dass grössere Rückzug- und Aussterbeereignisse infolge des Klimawandels voraussichtlich erst nach 2050 erfolgen werden.

Voraussichtlich häufiger auftretende Extremereignisse wie z.B. der Hitzesommer 2003, die ab 2100 als normal betrachtet werden können, setzen einer kontinuierlichen Anpassung Grenzen (Vittoz et al. 2010). Häufigere Extremereignissen können die Mortalität erhöhen und den Fortpflanzungserfolg mindern (RSPB 2015). Dadurch erfolgen Veränderungen von Populationsgrössen zukünftig voraussichtlich abrupt und schneller. Allerdings können sich gewisse Extremereignisse z.B. durch eine Differenzierung verfügbarer ökologischer Nischen auch positiv auf Arten auswirken (Tabelle 4).

In der Schweiz zeigen Modellierungen der künftigen Verbreitung einheimischer (Pflanzen-)Arten, dass sich diese generell nach oben verschieben. Eine Erwärmung von ca. 2 °C könnte sich in einer ersten Phase positiv für die Artenzahlen in der Schweiz auswirken. Allerdings könnte diese Zunahme der Artenzahlen nur temporär sein (Vittoz et al. 2010). Denn Modelle basierend auf BDM-Daten schätzen für die Schweiz, dass die Pflanzenartenzahlen indigener Arten bei einer Temperaturerhöhung von 2.9 °C bis 2050 abnehmen und diejenigen von Archäo- und Neophyten zunehmen werden. Dabei fallen je nach Lebensform der Arten die Resultate unterschiedlich aus (Abbildung 6). Zudem können andere Einflussfaktoren auch einen grossen Einfluss haben (Nobis et al. 2009; Koordinationsstelle BDM 2013).

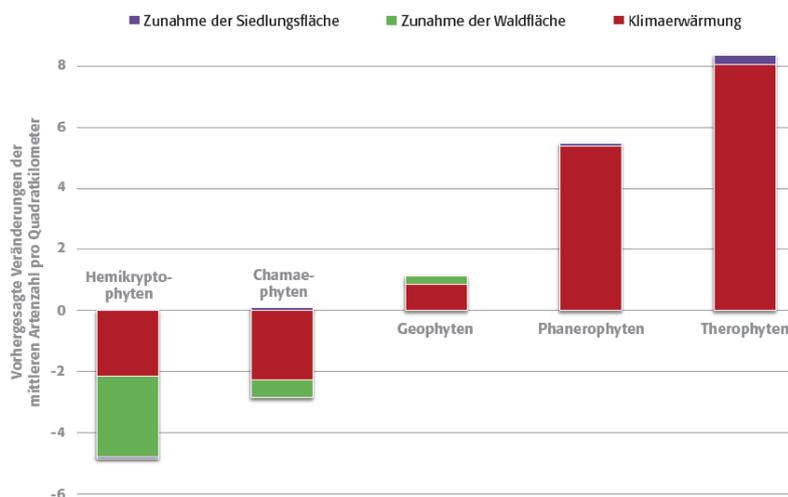


Abbildung 6: Für das Jahr 2050 vorhergesagte Veränderungen der mittleren Artenzahl verschiedener Lebensformen-Artengruppen pro Quadratkilometer infolge von Klima- und Landnutzungswandel (Koordinationsstelle BDM 2013).

Bezüglich Insekten hat die Schweiz ein hohes Potenzial, zukünftig mehr Arten zu beherbergen (Tabelle 4), da viele Lebensräume im mediterranen Raum insektenartenreicher sind. Allerdings wird die Verfügbarkeit naturnaher Habitats ein bedeutender limitierender Faktor für mögliche Besiedlungen sein. Ebenso werden positive Trends bei Vogelarten mit eher mediterraner Verbreitung erwartet (Vittoz et al. 2010). Bei Schmetterlingen werden zukünftig ebenfalls bedeutende Veränderungen stattfinden (Settele et al. 2008) (Anhang 8.6).

Für den Kanton Zürich ist damit zu rechnen, dass bis 2050 bei einer Temperaturerhöhung von 2 °C mehr als drei der momentan vorkommenden Schmetterlingsarten verschwinden (Anhang 8.6). Wie viele neu dazu kommen ist nicht bekannt.

Bezüglich Amphibien und Reptilien sind die Auswirkungen des Klimawandels in der Schweiz relativ unsicher. Eine Ausbreitung in höhere Lagen scheint wahrscheinlich, die Einwanderung neuer Arten eher nicht. Ein Risiko für Amphibien-Populationen stellen insbesondere auch Änderungen im Wasserregime von Gewässern dar (Vittoz et al. 2010). Bei Gewässerorganismen ist zudem entsprechend ihrer Temperaturpräferenzen und -limiten mit weiteren Verschiebungen des Verbreitungsareales zu rechnen (für Fische: Küttel et al. 2002).

Insbesondere in Tieflagen und in Kantonen mit einer geringen Höhengausdehnung wird der Klimawandel zu Verlusten geeigneter Habitats für die einheimischen Arten und bis 2090 zu bedeutenden Veränderungen führen (Anhang 8.5). Dies wird sich auf die ganze Lebensgemeinschaft auswirken. Diese Auswirkungen werden im Verlauf des 21. Jh. stärker und sind je nach Artengruppen in verschiedenen Höhenlagen besonders ausgeprägt, wobei zumindest eine Spitze in Tieflagen zu erwarten ist (Abbildung 7).

Der Kanton Zürich weist eine Höhengausdehnung von ca. 900 m (330-1292 m ü.M) auf. Er bietet damit zumindest für Tieflandarten gewisse kantonsinterne Verschiebungsmöglichkeiten. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die Durchlässigkeit der Landschaft im Kanton in den dicht besiedelten Gebieten stark beeinträchtigt ist. In den 1km<sup>2</sup>-Zellen des Kantons Zürich (n=1727) wird gemäss CH2014-Impacts (2014a) beim IPCC-A1b Szenario<sup>8</sup> bis 2090 eine mittlere Veränderung der Zusammensetzung von Lebensgemeinschaften (turnover) von 79 weitverbreiteten Vogelarten von  $0.281 \pm 0.042$  und bei 135 weitverbreiteten Gefässpflanzen von  $0.327 \pm 0.068$  erwartet (0 = keine Veränderung, 1 = keine gleiche Arten in der Lebensgemeinschaft). Zürich bewegt sich damit im Mittelfeld aller Schweizer Kantone. Aufgrund des methodischen Vorgehens in der Studie (Fokus auf weit verbreitete Arten, keine Berücksichtigung neu einwandernder Arten) ist die Schätzung des turnovers eher an der unteren Grenze.

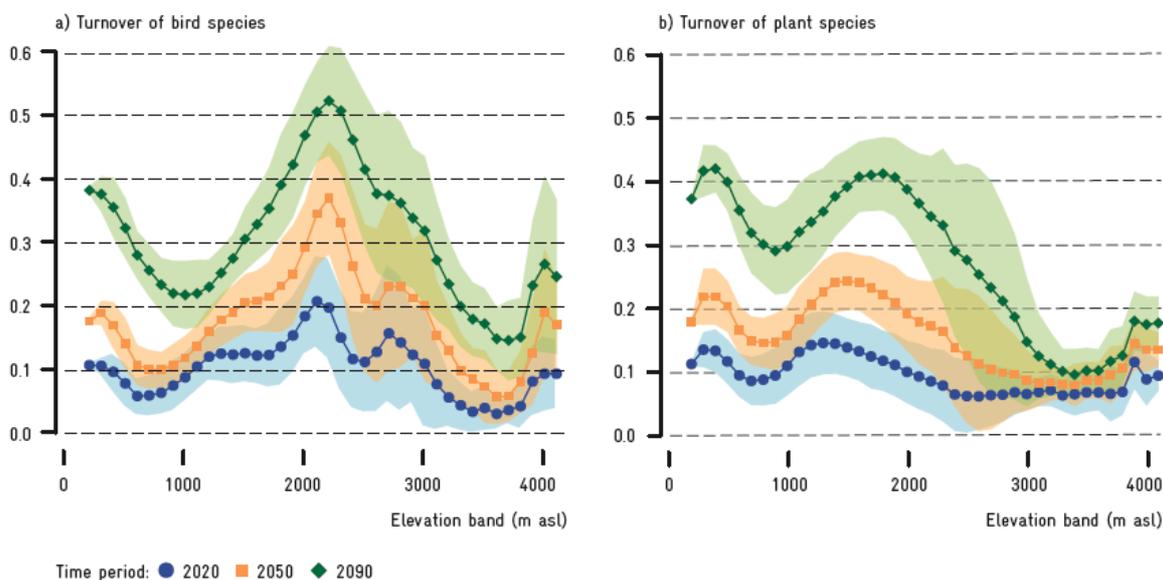


Abbildung 7: Mittlere Veränderung der Zusammensetzung von Lebensgemeinschaften (mean turnover) in der Schweiz gemittelt über alle 1km<sup>2</sup>-Zellen in 100 m Höhenzonenbereichen von a) 79 weitverbreiteten Vogelarten und b) 135 weitverbreiteten Gefässpflanzenarten. Die Veränderung ist als 1-S definiert, wobei S für den "Sorensen Index of similarity" steht: 0 = keine Veränderung der Lebensgemeinschaft (CH2014-Impacts 2014a).

### Box: Arten

- Die in der Schweiz seit 1961 beobachteten und global vorhergesagten Klimawandelraten übersteigen wahrscheinlich die Fähigkeit vieler Arten, mit dem Klimawandel Schritt zu halten bzw. die Grösse ihres Verbreitungsgebietes zu halten.
- ⇒ Die Durchlässigkeit der Landschaft für die verschiedenen Organismengruppen muss entlang kli-

<sup>8</sup> mittlerer Treibhausgasausstoss, aber keine Reduktionsmassnahmen

matischer Gradienten möglichst erhöht werden, um die Anpassung des Verbreitungsgebietes zu erleichtern.

- Infolge des Klimawandels sind Veränderungen bei Arten in der Schweiz bereits feststellbar.
  - Der Klimawandel führt via Veränderungen des Verbreitungsgebietes und (lokalem) Aussterben in einem bestimmten Gebiet zum Verschwinden einheimischer und zur Etablierung neuer Arten.
  - Arten mit einer hohen Resilienz (Erholungsfähigkeit nach Störungen) gegenüber klimatischen Veränderungen weisen eine geringere Klimasensibilität (Empfindlichkeit) und damit auch eine geringere Vulnerabilität (Verletzlichkeit) auf.
  - Folgende Lebensräume weisen einen erhöhten Anteil an klimasensibler Arten auf: Hoch- und Flachmoore, Wälder, Trockenrasen, Quellen, Fliess- und Stillgewässer, Felsen.
  - Arten mit folgenden Eigenschaften gelten als besonders sensibel gegenüber dem Klimawandel: angepasst an kalte, feuchte/nasse oder oligotrophe Bedingungen oder an ein bestimmtes Wasserregime, geringe Nischenbreite, kleines unterteiltes Verbreitungsareal, spezifische Interaktionspartner, standorttreu und ausbreitungsschwach, lange Generationszeiten, selten, kleine und isolierte Populationen.
- ⇒ Die Klimasensibilität von Arten sollte in Artenförderungsprogrammen berücksichtigt werden.
- ⇒ Die Entwicklung der Bestände klimasensibler Arten muss besonders aufmerksam beobachtet werden. Um einer Verkleinerung der Populationsgrößen vorzubeugen, sollen ihre Lebensräume in möglichst gutem Zustand erhalten und wo nötig aufgewertet werden. Werden Bestandesrückgänge festgestellt, sind umgehend spezifische Artenförderungsmassnahmen zu ergreifen.
- Aufgrund erhöhter Variation der Umweltbedingungen und häufigerer Extremereignisse muss zukünftig damit gerechnet werden, dass Veränderungen von Populationen abrupt und schneller erfolgen (siehe Fachbericht Populationsökologie). Dies stellt insbesondere für kleine, isolierte Populationen und solche mit kleinem Verbreitungsgebiet ein erhöhtes Aussterbens-Risiko dar.
  - Die Resilienz und Vulnerabilität von Populationen ist aufgrund des Austausches mit umliegenden Populationen abhängig vom Standort der Population im europäischen bzw. schweizerischen Verbreitungsgebiet der Art.
- ⇒ Insbesondere kleine und isolierte Populationen sind zu stärken und über die Grenzen des Kantons hinaus funktionell zu vernetzen.
- ⇒ Die Sicherung der Lebensraumqualität und eine Erhöhung der Heterogenität in Gebieten und auf Landschaftsebene können helfen, Auswirkungen einer erhöhten Variation der Umweltbedingungen auf Populationen zu minimieren.
- Insbesondere in Tieflagen und in Kantonen mit einer geringen Höhenausdehnung wird der Klimawandel zu Verlusten geeigneter Habitats für die einheimischen Arten und bis 2090 zu bedeutenden Veränderungen führen.
  - Im Kanton Zürich ist mit deutlichen Veränderungen bei den Arten und Lebensgemeinschaften zu rechnen, insbesondere in der zweiten Hälfte des 21. Jh.. Dadurch wird die Artenzahl im Kanton Zürich voraussichtlich eher steigen. Auf europäischer Ebene werden die Aktionsplanarten des Kantons Zürich je nach ihren Eigenschaften durch den Klimawandel teilweise begünstigt und teilweise beeinträchtigt. Für gewisse Arten unterscheiden sich die Vorhersagen in Abhängigkeit der Ausbreitungsmöglichkeiten.
- ⇒ Hinsichtlich des Klimawandels ist zu diskutieren, für welche (Aktionsplan-)Arten Erhaltungs- und Förderungsmassnahmen auf dem Gebiet des Kantons primär erfolgsversprechend sind. Aus europäischer Perspektive können Förderungsmassnahmen für gewisse neu auftretende Arten Sinn machen.

### 3.2.3 Lebensräume

#### Sensibilität von Lebensräumen

Nicht nur Arten, sondern auch Lebensräume unterscheiden sich in ihrer Sensibilität gegenüber dem Klimawandel (siehe Kapitel 3.2.4 für den Einfluss der Vielfalt auf die Resilienz und Sensibilität von Ökosystemen). Durch die klimatischen Veränderungen werden verschiedene Aspekte eines Lebensraumes unterschiedlich beeinflusst, was sich in einer Veränderung der Zusammensetzung, Struktur und Verbreitung der Lebensräume äussern kann (Mosbrugger et al. 2013). Zur Ermittlung der Sensibilitäten von Lebensräumen können verschiedene Kriterien herangezogen werden wie ihre bisherige Entwicklung, ihr Zustand, ihre Regenerationsfähigkeit, ihre Abhängigkeit von verschiedenen Umweltfaktoren, die Artenzusammensetzung oder die Exposition gegenüber klimatischen Veränderungen im

## Klimawandel und Biodiversität

Verbreitungsareal (Anhang 8.4). Folgende Lebensräume gelten als besonders sensibel gegenüber dem Klimawandel (Abbildung 8, Anhang 8.4) (Vittoz et al. 2010; Essl & Rabitsch 2013):

- Lebensräume mit langen Entwicklungszeiten (Hochmoore, altholzreiche Wälder), da eine Neubildung an neuen Standorten als Reaktion auf klimatische Änderungen kaum genügend schnell möglich sein wird
- Gewässer und Feuchtgebiete, da ihr Zustand stark von der Wasserverfügbarkeit abhängt.
- Lebensräume höherer und kühlerer Lagen, da sie aufgrund des Temperaturanstieges und fehlender Ausweichmöglichkeiten voraussichtlich besonders hohe Flächenverluste aufweisen werden

Trockenere und wärmere Lebensräume werden durch den Klimawandel tendenziell begünstigt bzw. das Potenzial für ihre Bildung steigt. Ob sich ihre Fläche vergrößert und die Populationen der typischen Arten zunehmen, hängt aber von vielen weiteren direkt und indirekt wirkenden Faktoren wie z.B. der Landnutzung ab. So werden – auf den ersten Blick überraschend – auch für einige Trockenwiesentypen und Wälder trockener Standorte hohe Risiken ermittelt.

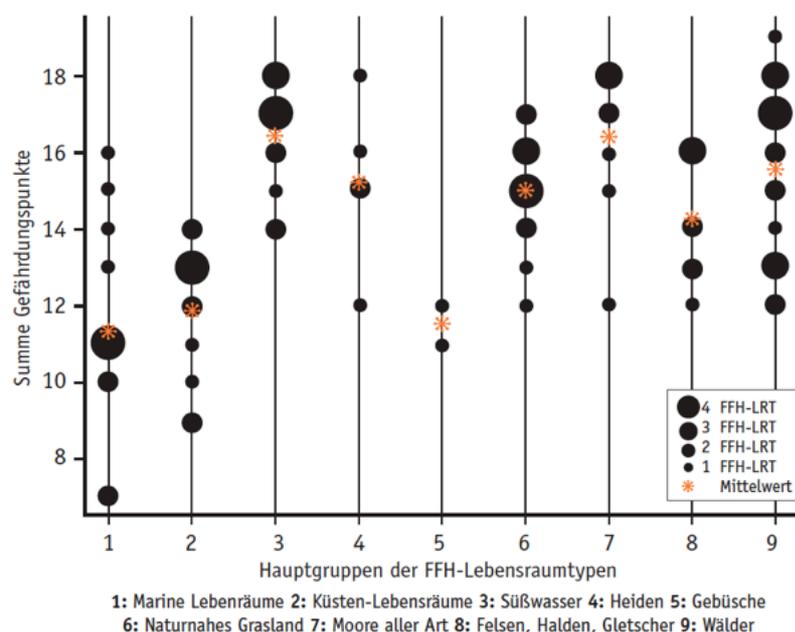


Abbildung 8: Sensibilität von Lebensraumtypen (LRT) der Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie in Deutschland. Den höchsten Mittelwert der Gefährdungspunkte zeigen Süßgewässer und Moore (Essl & Rabitsch 2013, siehe auch Anhang 9.3 für Einstufung). Abgesehen von den in der Schweiz nicht vorkommenden Lebensräumen ist die Einstufung in ihren Grundzügen auf die Schweiz übertragbar. Das Risiko für die verschiedenen Lebensräume weicht aufgrund der verwendeten Kriterien für die Schweiz wahrscheinlich um max.  $\pm 3$  Gefährdungspunkte ab (eigene Einstufung basierend auf den Kriterien in Anhang 9.3).

### Vorhergesagte Veränderungen

Die Artenzusammensetzung von Lebensräumen wird weiter ändern und sich voraussichtlich südlicheren und wärmeren Gebieten anpassen. Veränderungen von Lebensräumen und der Standorteignung sowie die Folgen für die Lebensräume werden voraussichtlich auch zu einer Veränderung der Landbedeckung auf Landschaftsebene führen (OcCC 2007). Allerdings wird die Landnutzung zumindest mittelfristig noch einen stärkeren Einfluss spielen (Kapitel 3.3).

Je nach Lebensraum sind in der Schweiz sowohl positive und negative (Wälder), v.a. positive (Trockenstandorte) oder v.a. negative Veränderungen (Fließgewässer, Feuchtgebiete, Bergwiesen, Alpine Lebensräume) zu erwarten (Tabelle 4, Bundesamt für Umwelt 2011).

### Gewässer

Insbesondere in Flusseinzugsgebieten mit geringem oder sinkendem Einfluss der Gletscherschmelze wird es infolge veränderter Niederschlagsverhältnisse (Saisonalität, weniger Schnee und mehr Regen) zu einer Verschiebung des Abflussregimes mit geringeren Abflüssen im Sommer und höheren im Winter kommen (BAFU 2012a; CH2014-Impacts 2014a). Die Niedrigwasserperioden im Sommer werden zudem länger dauern. Im Mittelland wird sich voraussichtlich ein neues Abflussregime-Typ ausbilden, der durch ein deutliches Abflussminimum im August und zwei Spitzen im Januar und

März charakterisiert ist. Die potenzielle Hochwasserzeit wird sich im Mittelland vom Frühsommer in das Winterhalbjahr verschieben und teilweise auch verlängern (BAFU 2012a).

Generell steigt das Risiko geringerer Wasserstände und des Austrocknens. Dies verringert sowohl die Lebensraumverfügbarkeit als auch die Durchgängigkeit für Gewässerlebewesen. Ein Grossteil der aquatischen Fauna und Flora überlebt das Unterschreiten bestimmter Minimal-Wasserstände nicht, was v.a. in Trockenperioden kritisch ist. Zudem ist die Ufervegetation stark vom Wasserstand abhängig und verändert sich schleichend mit mittleren Wasserstandsänderungen und mit Änderungen der Höchst- und Tiefstwerte (Mosbrugger et al. 2013). Hochwasserereignisse prägen die Morphologie eines Fließgewässersystems und damit auch die verfügbaren Habitats. Sie können auf die Lebensgemeinschaften des Ökosystems sowohl positiv als auch negativ wirken. Death et al. (2015) identifizieren mögliche Veränderungsrichtungen von Fließgewässerökosystemen infolge veränderter Häufigkeiten von Hochwasserereignissen (Abbildung 9).

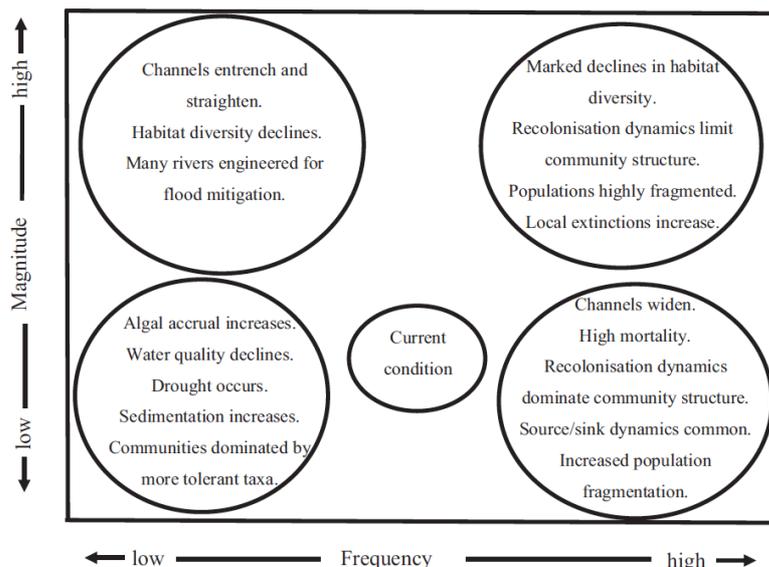


Abbildung 9: Potenzielle Auswirkungen des Ausmasses (Magnitude) und der Häufigkeit (Frequency) von Hochwasserereignissen auf die Ökologie von Fließgewässersystemen (Death et al. 2015).

Bis 2050 wird erwartet, dass die Wassertemperaturen in Flüssen und der Oberflächenschicht der Seen im Mittelland im Vergleich zu 1990 um 2 °C zunehmen werden. Dies würde in Seen auch zu einer stabileren und längeren Dichteschichtung, in Folge zu einer kürzeren Zeitdauer, in der eine Durchmischung der Seen stattfinden kann sowie geringerer Durchmischung-Häufigkeiten führen. Damit steigt das Risiko von Sauerstoffmangel im Tiefenwasser. Generell führen zunehmende Temperaturen zudem zu geringeren Sauerstoffgehalten in Gewässern. Bereits in den letzten Jahrzehnten wurde beobachtet, dass in Seen das Klarwasserstadium früher eintritt und zumindest in Seen mit genügendem Sauerstoffgehalt warme Wintertemperaturen die Phytoplankton-Diversität negativ beeinflussen. Es ist zu erwarten, dass sich dies in die gleiche Richtung weiter entwickelt (OcCC 2007).

Infolge der Temperaturerhöhung verändert sich zudem die Habitateignung für verschiedene Fischarten und damit die lokale bis regionale Fischfauna. Entsprechend ihrer Temperaturpräferenzen und -limiten (Küttel et al. 2002) nimmt der Lebensraum für Kaltwasserfische wie z.B. Bachforelle und Äsche ab oder verschiebt sich nach oben und für Warmwasserfische wie z.B. Brachse und Barbe zu.

Die Grundwasserneubildung wird infolge vermehrter Winterniederschläge im Winter eher zunehmen, im Sommer aber aufgrund höherer Temperaturen und Konzentration auf Starkniederschläge eher abnehmen. In Grundwasservorkommen in Talschottern mit mittelländischem Fließregime sinken dadurch voraussichtlich die Grundwasserstände im Sommer und Herbst, in Grundwasserkörpern mit alpinem Fließregime wahrscheinlich v.a. in Hitzesommern (OcCC 2007). Dies kann sich einerseits auf Feuchtgebiete (siehe untenstehend), aber auch auf verschiedene Quellentypen (z.B. oberflächennahe, Karstquellen) auswirken. Zudem ist die Interaktion von Oberflächen- und Grundwasser oft von entscheidender Bedeutung für die Erhaltung eines Ökosystems wie z.B. von Auen oder Mooren (Mosbrugger et al. 2013).

Aufgrund der erwarteten Veränderungen bei Abflussregimen und Wassertemperaturen empfiehlt BAFU (2012a) rechtliche Regelungen in verschiedenen Bereichen (z.B. Restwassermengen, Kühlwassernutzung) zu überprüfen.

### Feuchtgebiete

Feuchtgebieten kommt sowohl für den Natur- als auch für den Klimaschutz eine besondere Bedeutung zu (Kapitel 4.1). Gleichzeitig gehören sie zu den Lebensraumbereichen, die am stärksten durch den Klimawandel gefährdet sind. Dies stellen verschiedene Sensibilitätsstudien aus Mitteleuropa fest (Tabelle 4, Abbildung 8, Essl & Rabitsch 2013). So sind gemäss Modellierungen mit verschiedenen Klimawandelszenarien alle Moorlebensräume Österreichs hohen bis sehr hohen klimabedingten Risiken ausgesetzt. Die Gefährdung der Moorlebensräume steigt bis Ende des 21. Jahrhunderts, wobei Mitte des 21. Jh. die Unterschiede zwischen den Szenarien moderat sind und bis Ende des Jh. ansteigen. Dabei sind Hochmoore am stärksten gefährdet, da für diese langlebigen Biotope bis Ende des 21. Jh. kaum mehr klimatisch geeignete Gebiete vorhanden sein dürften (Essl et al. 2012). Eine weitere Studie kam zum Schluss, dass beim Anstieg der Jahresmitteltemperatur um ca. 2.3 °C in der Mitte des 21. Jh. für 85% der Hochmoore Österreichs ein hohes klimatisches Risiko besteht (Niedermair et al. 2011).

Gemäss Schweizer ExpertInnen ist aufgrund des Klimawandels und anderer Einflussfaktoren (Eutrophierung) auch in der Schweiz mit Veränderung der Moore zu rechnen (Huber & Hedinger 2008): Veränderung der Flächengrösse und -verbreitung bzw. des Lebensraumpotenzials, zunehmende Fragmentierung, stärkere Gefährdung von pflanzlichen „Moor-Zielarten“, Zunahme von Neophyten in degradierten Mooren und in Mooren tieferer Lagen, Trivialisierung der Artenzusammensetzung.

Für die Erhaltung der Moore ist die Sicherung des moortypischen Wasserhaushaltes absolut zentral. Die Austrocknung wird unabhängig von anderen Gefährdungsfaktoren wie der Verbuschung oder Eutrophierung als Hauptfaktor für die Gefährdung der Moore betrachtet (Grosvernier 2009). Allerdings wurde bereits während der durch die Wirkungskontrolle Moorschutz untersuchten Periode von 1997/2001 bis 2002/2006 Hoch- und Flachmoore im Schweizer Mittelland deutlich trockener (BDM Indikator Z11, Klaus (2007)). Wenn sich in Zukunft die Jahresniederschläge in der Schweiz zwar kaum verändern, im Sommer jedoch geringer ausfallen, so dürften die meisten Feuchtgebiete infolge erhöhter Temperaturen und folgender erhöhter Verdunstung, geringerer Wasserversorgung, vermehrter und längerer Trockenzeiten einem besonderen Austrocknungsrisiko unterliegen. Dies gilt insbesondere in Kombination mit dem landesweiten Drainagenetz, das die hydrologischen Verhältnisse von schätzungsweise 192'000 ha der Schweiz (ca. 18% der Landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN)) bzw. 17'226 ha des Kantons Zürich (ca. 23% der kantonalen LN) sowie der angrenzenden Gebiete tiefgreifend beeinflusst (Béguin & Smola 2010; Grosvernier 2015).

Innerhalb der Feuchtgebiete sind Lebensraumtypen, die weniger standortgebunden, nährstoffreicher und deren Wasserhaushalt vom Grundwasser geprägt ist, tendenziell weniger empfindlich als nährstoffarme, niederschlagsabhängige Lebensraumtypen mit langen Entwicklungszeiten (Essl & Rabitsch 2013). Eine Veränderung des Grundwasserspiegels (siehe obenstehend Gewässer) wirkt sich aber auf grundwasserabhängige Ökosysteme stark negativ aus. Dabei reagieren Biozönosen umso schneller, je geringer der durchschnittliche Flurabstand<sup>9</sup> ist. Gemäss Mosbrugger et al. (2013) kann von Schädigungen ausgegangen werden, wenn:

- *„bei grundwasserabhängigen Systemen der mittlere Flurabstand dauerhaft über- oder unterschritten wird oder*
- *bei wechselfeuchten Standorten der mittlere jährliche Grundwasserhöchst- oder Grundwasser-tiefststand die entsprechenden Werte des Referenzzeitraums über- bzw. unterschreitet.“*

Zudem ist zu berücksichtigen, dass sich die Grundwassertemperatur und -bilanz voraussichtlich ebenfalls ändern und viele typische Arten von grundwasserabhängigen Lebensräumen an enge Temperaturbereiche angepasst sind (Bertrand et al. 2011; Kløve et al. 2014).

Der Klimawandel wie auch Drainagen bzw. die wärmeren und trockeneren Bedingungen sowie abgesenkte Wasserstände, fördern die Mineralisierung organischer Substanz in (entwässerten) Torfmooren und organischen Böden. Dies führt zur Emission enormer Mengen von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) in die Atmosphäre (Kapitel 4.1, Leifeld et al. (2005), Höper (2007)), dem Eintrag von zum Teil erheblichen Frachten gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC: dissolved organic carbon) in Oberflächengewässer, einer Zunahme der verfügbaren Nährstoffe sowie vermutlich einer Begünstigung von Arten mit höheren Nährstoffansprüchen (Balzer et al. 2007). Die ablaufenden Prozesse verstärken sich gegenseitig. Insbesondere bei oligotrophen Feuchtgebietslebensräumen wirkt sich der zusätzliche Nährstoffeintrag (siehe Bericht Eutrophierung) sehr negativ auf die Entwicklung der Lebensräume aus. Das dadurch veränderte Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis kann die Aktivität von Mikroorganismen und dadurch die Freisetzung von Kohlenstoff erhöhen (Essl & Rabitsch 2013). Werden bestimmte Schwel-

---

<sup>9</sup> Höhenunterschied zwischen der Erdoberfläche und dem Grundwasserspiegel

lenwerte, insbesondere bezüglich des Wasserhaushaltes über- oder unterschritten, verändern sich Moorökosysteme zu anderen Lebensräumen.

### Grünland

Aufgrund der grossen Vielfalt von Grünlandlebensräumen werden die Auswirkungen des Klimawandels sehr unterschiedlich sein und insbesondere stark von der Nutzung beeinflusst bleiben (Kapitel 3.3). Relevant werden v.a. die Verlängerung der Wachstumsperiode und die Erhöhung der Produktivität bei einem mässigen Temperaturanstieg sein, wobei dafür eine genügende Wasserversorgung notwendig ist (Essl & Rabitsch 2013). Gemäss Calanca et al. (2005) verlängert sich die Vegetationsperiode von Wiesen und Weiden in tiefen und mittleren Lagen der Schweiz bei einer Zunahme der Jahrestemperatur um 3 °C um 30-40 Tage, was bei genügender Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit einen zusätzlichen Schnitt pro Jahr ermöglichen würde. Hitze- und Trockenperioden können aber zu bedeutenden Ertragsverlusten führen. Durch die höhere Produktivität würden tendenziell konkurrenzschwache Arten zurückgedrängt werden (Essl & Rabitsch 2013).

Spezifisch zu den Auswirkungen des Klimawandels auf Trockenwiesen und -weiden in der Schweiz führten Huber & Hedinger (2008) eine ExpertInnen-Befragung durch. Gemäss dieser profitieren TWW und ihre Arten tendenziell vom Klimawandel. Arten mit hoher Regenerationsfähigkeit und kurzen Lebenszyklen (Ruderalarten (R-Strategen) nehmen in TWW tendenziell zu. Dies wird durch BDM-Beobachtungen bekräftigt (Kapitel 3.2.2). Bezüglich dem Zusammenspiel des Klimawandels mit Neophyten bestehen bei den ExpertInnen verschiedene Ansichten.

### Wälder

Bei den Wäldern gelten gemäss der Einstufung von Petermann et al. (2007) für Deutschland (Abbildung 8) folgende Lebensraumtypen in absteigender Reihenfolge (19-17 Gefährdungspunkte, Anhang 8.4) als besonders empfindlich:

- Montane bis alpine bodensaure Fichtenwälder (*Vaccinio-Piceetea*) (19)
- Hartholzauenwälder mit *Quercus petraea* und *Carpinus betulus* (*Tilio-Carpinetum*) (18)
- Schlucht- und Hangmischwälder (*Tilio-Acerion*) (17)
- Auenwälder mit *Alnus glutinosa* und *Fraxinus excelsior* (*Alno-Padion*, *Alnion incanae*, *Salicion albae*) (18)
- Moorwälder (17)
- Mitteleuropäische Flechten-Kiefernwälder (17)

Ebenso sind Wälder mit langen Entwicklungszeiten bzw. späte Sukzessionsstadien und die darin auftretenden Artengemeinschaften aufgrund untenstehender Zusammenhänge tendenziell sensibler. Allerdings zeigen Untersuchungen aus der Schweiz, dass die Empfindlichkeit der Waldbestände wie auch der Baumarten gegenüber klimatischen Änderungen stark standortabhängig sind (Bircher et al. 2015; Weber et al. 2015).

Abgesehen vom Bewirtschaftungseinfluss (Kapitel 3.3) können relativ grossflächig wirkende Ereignisse wie Windwurf, Trockenheit, Waldbrand oder Insektenbefall (Kapitel 3.3) Waldgesellschaften relativ schnell und stark verändern (Vittoz et al. 2010). Solche Störungen gehören aus ökologischer Sicht bis zu einem gewissen Masse zum Waldökosystem. Sie werden mit dem Klimawandel aber voraussichtlich häufiger auftreten (Mosbrugger et al. 2013) und dadurch den Anteil früher Sukzessionsstadien erhöhen (Milad et al. 2011). Vermutlich werden solche Ereignisse für Wälder relevanter sein als graduelle Veränderungen (Brang et al. 2011). Insbesondere wenn sie gemeinsam oder in kurzer Abfolge eintreten und weil ein solches Ereignis (z.B. Trockenheit, Windwurf) oft die Eintretenswahrscheinlichkeit eines weiteren (z.B. Waldbrand, Insektenbefall) erhöht (Milad et al. 2011). Dadurch sind nicht nur verschiedene Baumarten und ihre Verbreitungsschwerpunkte, sondern auch Grössen- und damit Altersklassen unterschiedlich stark betroffen (Bennett et al. 2015). Ereignisse, die zu mehr Licht im Wald führen, erhöhen in vielen Fällen die Artenvielfalt über 10-20 Jahre. Dies trifft sowohl für Gefässpflanzen als auch für viele Insekten zu (Wohlgemuth et al. 2008, 2010). Bleibt stehendes oder liegendes Totholz im Wald, profitieren insbesondere auch die darauf angewiesenen Arten (Milad et al. 2011).

Auswirkungen des Klimawandels wie die Änderung des Verbreitungsgebietes von Arten können in Wäldern aufgrund langsamer Reaktionszeiten auch verzögert auftreten und sichtbar werden. Denn die relativ langen Entstehungszeiten und Lebensphasen von Wäldern sowie langsame Ausbreitungsraten und lange Generationszeiten von gewissen Waldpflanzen werden vermutlich vor allem am „hinteren Rand“ des Verbreitungsgebietes von Arten zu langsamen Anpassungsprozessen an den Klimawandel und damit einer höheren Wahrscheinlichkeit eines lokalen Aussterbens führen (Milad et al.

2011). Für Bäume ist auch mit einem höheren Risiko von Spätfrösten und Frosttrocknis<sup>10</sup> zu rechnen. Der Klimawandel beeinflusst also die Zusammensetzung, die Struktur und Verbreitung der Waldlebensräume (Mosbrugger et al. 2013) und führt damit langfristig zu einer Umgestaltung der Wälder (Brang et al. 2011). Viele weitere Auswirkungen des Klimawandels auf dem Wald sind im Rahmen des Forschungsprogramms Wald und Klimawandel der WSL zu erwarten.

Für den Kanton Zürich präsentieren Schmider & Nötzli (2009) wahrscheinliche Auswirkungen des Klimawandels auf Waldstandorte bezüglich ihrer Baumartenzusammensetzung, wobei Buche, Fichte und Tanne tendenziell abnehmen; Bergahorn, Traubeneiche, Linde, Kirsche und Esche eher zunehmen (CH2014-Impacts 2014b; Weber et al. 2015).

### Ruderalstandorte

Pflanzenarten von ruderalen Trockenstandorten dürften zukünftig weiter begünstigt werden, wie dies zwischen 2001/05 und 2006/10 auf Landschaftsebene (1 km<sup>2</sup>) bereits festgestellt wurde (Koordinationsstelle BDM 2012). Dies unter anderem deshalb, weil einjährige Arten (Therophyten), die für Ruderalstandorte typisch sind, vom Klimawandel wie auch von der Siedlungsentwicklung mehr profitieren als andere Arten (Abbildung 6). Allerdings dürften insbesondere in städtischen Gebieten der Anteil an Archäophyten und Neophyten zukünftig ebenfalls weiter zunehmen (Nobis et al. 2009; Koordinationsstelle BDM 2013).

### Äcker und Kulturen

Die Begleitflora von Ackerkulturen besteht zu einem grossen Teil aus Therophyten und Archäophyten (Delarze & Gonseth 2008), die vom Klimawandel tendenziell profitieren (Abbildung 6). Ähnliches trifft auf viele Vogelarten des Landwirtschaftsgebietes zu, insbesondere der Ackerbaugebiete (Zbinden et al. 2012). Allerdings spielt für diese Lebensgemeinschaften insbesondere die Bewirtschaftung die entscheidende Rolle für die weitere Entwicklung (Kapitel 3.3). Diese Lebensgemeinschaften können von den veränderten klimatischen Bedingungen also nur profitieren, wenn die Bewirtschaftung bewusst rücksichtsvoll stattfindet.

### Box: Lebensräume

- Erhöhte Temperaturen von Luft und Wasser, vermehrte und längere Trockenzeiten, eine geringere Wasserversorgung und -führung, veränderte Saisonalitäten (z.B. jahreszeitliche Umverteilung von Abflüssen und Niederschlägen) sowie häufigere und intensivere Extremereignisse stellen die hauptsächlichen direkten Einflussfaktoren für Lebensräume hinsichtlich des Klimawandels dar.
- Die Standortpotenziale für Lebensräume und damit auch deren Ausdehnung und Verbreitung werden sich verändern.  
⇒ Zukünftige Standortpotenziale sind zu identifizieren, um die Planung von Erhaltungs- und Wiederherstellungsmassnahmen zu erleichtern und deren langfristigen Erfolg zu erhöhen.
- Der Klimawandel beeinflusst die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften, Struktur, Verbreitung, Fläche und Fragmentierung von Lebensräumen und betrifft verschiedene Sukzessionsstadien unterschiedlich stark.
- Ein moderater Klimawandel führt bei einer genügenden Wasser- und Nährstoffversorgung zu einer Verlängerung der Wachstumsperiode und Erhöhung der Produktivität.  
⇒ Im Verlaufe der kommenden Jahrzehnte sind die Zeitpunkte und Häufigkeiten der Bewirtschaftung von (Naturschutz-)flächen kontinuierlich zu hinterfragen und gegebenenfalls anzupassen.
- Als besonders empfindlich gegenüber dem Klimawandel gelten Gewässer, Moore, mehrere Wald- sowie einige Grünlandlebensräume; ebenso Lebensräume mit langen Entwicklungszeiten, Vorkommen an eher kühlen, feuchten, nassen oder räumlich stark begrenzten Standorten und einem hohen Anteil klimasensibler Arten.
- Die tatsächliche Reaktion von Lebensräumen auf den Klimawandel ist stark standortabhängig. So spielen Bodeneigenschaften, die Wasserverfügbarkeit und der (qualitative) Ausgangszustand eine entscheidende Rolle für die zukünftige Ausprägung der Lebensräume.
- Insbesondere Moore sind mit fortschreitendem Klimawandel einem zunehmenden Risiko ausgesetzt. Es ist mit einer Veränderung der Flächengrösse und -verbreitung, einer zunehmenden Fragmentierung, einer stärkeren Gefährdung von „Moor-Zielarten“, einer Zunahme von Neophyten in degradierten Mooren und zumindest in Mooren tieferer Lagen mit einer Trivialisierung der Artenzusammensetzung zu rechnen. Dies gilt insbesondere in Kombination mit den grossfläch-

---

<sup>10</sup> Wassermangel aufgrund von winterlicher Transpiration an sonnigen Tagen bei gefrorenem Boden

gen bestehenden Entwässerungen (Drainagen) und der Eutrophierung.

- ⇒ Für die Erhaltung der Moore ist die Sicherung des moortypischen Wasserhaushaltes absolut zentral. Dringend ist die Optimierung und Wiederherstellung des Wasserhaushaltes in Einzugsgebieten. Zusätzlich ist zu diskutieren, in wie weit auch technische Möglichkeiten genutzt werden, um eine genügende Wasserversorgung zur Erhaltung der Lebensgemeinschaften von Feuchtgebieten zu sichern.
- ⇒ Ein guter Zustand und die Funktionsfähigkeit klimawandelempfindlicher Lebensräume muss gesichert werden. Bei einem ungenügenden Zustand, insbesondere bei einem beeinträchtigten Wasserhaushalt, sind dringend Aufwertungs- oder Wiederherstellungsmassnahmen notwendig.
- ⇒ In Gewässern sind ökologisch genügende Wasserpegel über das ganze Jahr zu gewährleisten. Ausnahmen sind Gewässer- und Abflussregimetypen, die „natürlicherweise“ temporär austrocknen.
- ⇒ Für Grund- und Oberflächengewässer sollten relevante rechtliche Regelungen in verschiedenen Bereichen (z.B. Restwassermengen, Kühlwassernutzung) hinsichtlich der erwarteten Veränderungen im Wasserhaushalt und bei den Temperaturverhältnissen überprüft werden.
- Lebensräume trockener und warmer Standorte sowie die Artengemeinschaften von Ruderalflächen werden durch den Klimawandel tendenziell begünstigt. Ob sie tatsächlich davon profitieren, hängt jedoch weitgehend von weiteren Einflussfaktoren wie z.B. ihrer Nutzung ab.
- ⇒ Die Chancen, die sich für Lebensräume und Arten trockener Standorte mit dem Klimawandel bieten, sollten gezielt genutzt werden. Dafür sind andere limitierende Einflussfaktoren wie die bisherige Nutzung allenfalls anzupassen.

### 3.2.4 Funktionsfähigkeit der Ökosysteme und ökologische Interaktionen

Mit zunehmender Biodiversität und gleichbleibenden anderen Bedingungen nimmt normalerweise die Leistung einzelner Ökosystemfunktionen asymptotisch zu (Cardinale et al. 2006). Dies lässt darauf schliessen, dass mehrere Arten dieselbe Funktion übernehmen können (Redundanz). In der Realität laufen viele verschiedene Ökosystemprozesse gleichzeitig ab. Je mehr Prozesse betrachtet werden, desto mehr Arten beeinflussen die Funktionsfähigkeit des Systems (Hector & Bagchi 2007; Maestre et al. 2012), wobei die Bedeutung der Diversität mit der berücksichtigten Zeitspanne zunimmt (Allan et al. 2013). Zudem tragen verschiedene Arten zu verschiedenen Zeitpunkten, an verschiedenen Orten und bei unterschiedlichen Umweltbedingungen zur Funktionsfähigkeit bei (Isbell et al. 2011; Cardinale et al. 2012). Eine hohe Biodiversität erhöht damit die Resistenz (Widerstandsfähigkeit) von Ökosystemen gegenüber Störungen und ihre Resilienz (Erholungsfähigkeit) nach Störungen (Elmqvist et al. 2009; Isbell et al. 2015).

Ökosystemen mit einer hohen Vielfalt auf verschiedenen Ebenen (Artenvielfalt, genetische und funktionelle Diversität, Lebensräume, hohe Heterogenität) weisen tendenziell also eine hohe Resilienz und damit eine geringere Vulnerabilität gegenüber dem Klimawandel auf als Systeme des gleichen Typs mit einer geringeren Vielfalt. Ebenso bedeutend ist diesbezüglich die Vielfalt an Wechselwirkungen zwischen den Organismen. Insbesondere wenn dominante Arten betroffen sind können sich Veränderungen der Interaktionen auch auf Ökosystemfunktionen auswirken. Grundsätzlich bestehen nicht nur paarweise Interaktionen wie folgend hauptsächlich erläutert, sondern komplexe Netzwerke, in denen Teilkomponenten unterschiedlich auf Veränderungen der Umweltbedingungen reagieren. Bei gewissen Änderungen kann es deshalb zu kaskadenartigen Effekten kommen, bei anderen kann das natürliche Beziehungsnetz Veränderungen in den Ökosystemfunktionen abpuffern (Essl & Rabitsch 2013). Ein System kann resistenter, muss aber dadurch nicht unbedingt resilienter werden wie z.B. für Bestäubernetzwerke mit vielen Interaktionen gezeigt wurde (Tylianakis & Coux 2014).

Der Grossteil der ökologischen Beziehungen wird durch den Klimawandel wahrscheinlich mittel- bis langfristig direkt oder indirekt verändert werden (Essl & Rabitsch 2013). Denn Arten reagieren aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften und Ansprüche unterschiedlich stark oder gegenläufig auf Umweltveränderungen. Ökologische Wechselwirkungen werden aber durch den Klimawandel nicht nur verändert, sondern sie beeinflussen auch die Anpassungsfähigkeit einzelner Arten (Corlett & Westcott 2013).

Bereits relativ gut untersucht sind ökologische Veränderungen infolge phänologischer Verschiebungen. Diese können zur **zeitlichen Entkoppelung** von Interaktionen führen, weil verschiedene Arten sich an unterschiedlichen „Taktgebern“ – Temperatur, Tageslänge, Niederschlag, Bodenfeuchte oder Schneeschmelze – orientieren. Infolge von Arealverschiebungen von Arten (Kapitel 3.2.2) kann es

auch zu **räumlichen Entkoppelungen** kommen. Beide können sich je nach den involvierten Arten positiv oder negativ auswirken (Essl & Rabitsch 2013).

Beierkuhnlein et al. (2014) haben beispielhaft den Einfluss des Klimawandels auf Interaktionen verschiedener naturschützerisch bedeutsamer Arten zusammengestellt. Sie stellen fest, dass abgesehen von forst- und landwirtschaftlich bedeutsamen Arten (v.a. Schadorganismen, Kapitel 3.3) relativ wenig Information, die nicht nur auf Vermutungen beruht, vorhanden ist. Des Weiteren lassen sich Aussagen zur Veränderung der Interaktionen kaum von einer Art auf eine andere übertragen. Insbesondere für Arten mit mehreren verschiedenen spezifischen Interaktionen, die in verschiedenen Lebensphasen stattfinden und sich auch gegenläufig entwickeln können, sind die Auswirkungen des Klimawandels sehr schwierig abschätzbar.

Generell gilt jedoch (Essl & Rabitsch 2013; Beierkuhnlein et al. 2014), dass:

- veränderte Interaktionen sich tendenziell über mehrere trophische Ebenen ziehen
- höhere trophische Ebenen oft sensibler auf Klimaänderungen reagieren als niedrigere
- Arten, die auf einen bestimmten oder wenige Interaktionspartner angewiesen sind (Spezialisten) durch Veränderungen stärker betroffen sind als Arten mit vielen nicht obligaten Interaktionspartnern
- Ökologische Beziehungen, in denen zumindest eine der involvierten Arten ein sehr kleines Verbreitungsgebiet hat, stärker betroffen sind

Infolge wird beispielhaft auf verschiedene paarweise Interaktionen eingegangen.

### **Herbivorie und Räuber-Beute Interaktionen**

Für Schmetterlinge ist das Klima einer der Hauptfaktoren, welche die Verbreitung einer Art bestimmen. Die Wirkung erfolgt einerseits direkt auf die Physiologie, andererseits und vor allem bei stark spezialisierten Arten via Interaktionen mit Pflanzenarten (Futterpflanzen: Verbreitungsgebiet, Phänologie) und anderen Tierarten (van Swaay et al. 2008). So wurde in der Schweiz für obligat auf bestimmte Pflanzenarten angewiesene Schmetterlinge ein durch das Vorkommen der Pflanzenarten begrenztes Verbreitungsgebiet festgestellt (Hanspach et al. 2014).

Für Herbivoren ist zudem die Abstimmung mit ihren Nahrungspflanzen von grosser Bedeutung: Schlüpfen sie zu früh, finden sie keine Nahrung; kommen sie zu spät, ist die Zusammensetzung der Nahrungspflanzen z.B. aufgrund von Abwehrstoffen nicht mehr optimal (Essl & Rabitsch 2013).

Ein Beispiel aus der Schweiz, das sich über mehrere trophische Ebenen erstreckt, ist das Beziehungsgefüge Laubaustrieb von Bäumen, dem Schlüpfen von Schmetterlingsraupen und dem Fortpflanzungserfolg von Vögeln. Es zeigt sich, dass die phänologischen Verschiebungen nicht gleichermassen erfolgen und sowohl die Fortpflanzungsraten von Schmetterlingen wie auch von Vögeln beeinträchtigt werden (Vittoz et al. 2010). Gewisse Vogelarten zeigen diesbezüglich eine beträchtliche Plastizität. Diese scheint aber nicht zu genügen, um die Effekte des Klimawandels vollkommen aufzufangen zu können (Naef-Daenzer et al. 2012).

Veränderungen solcher Interaktionen betreffen auch die Land- und Forstwirtschaft und sind über entsprechende Anpassungsmassnahmen wieder relevant für die Biodiversität (Kapitel 3.3).

### **Konkurrenz**

Veränderungen der Konkurrenzverhältnisse infolge klimatischer Veränderungen sind gemäss Beierkuhnlein et al. (2014) häufig, aber sehr variabel. Verschiedene Arten reagieren unterschiedlich auf Veränderungen der Verfügbarkeit von Ressourcen (z.B. Wasser, Nährstoffe, Licht) und auf Stressfaktoren (z.B. Trockenheit, Überschwemmungen). Jene Arten, die gut damit umgehen können, weisen hinsichtlich des Klimawandels vermutlich einen Konkurrenzvorteil auf. Deshalb wird es infolge der Veränderung der Umweltbedingungen auch Veränderungen im Artengefüge geben. Die an einem Standort bestehenden Konkurrenzbedingungen sind auch ein wichtiger Faktor für den Etablierungserfolg neu einwandernder Arten. Umgekehrt können neue Arten die Verhältnisse in einer Lebensgemeinschaft stark verändern (Essl & Rabitsch 2013) (siehe auch Kapitel 3.3 → Neobiota).

### **Parasiten und Pathogene**

Klimatische Veränderungen können zur Einwanderung und Etablierung neuer Krankheitserreger oder Schadorganismen (siehe Land- und Forstwirtschaft) führen und das Auftreten gewisser Krankheiten reduzieren oder erhöhen. Das Auftreten eines Schadorganismus kann aber oft nicht oder nicht zweifelsfrei auf den Klimawandel zurückgeführt werden (Mosbrugger et al. 2013). Generell sind z.B. die Belege für den Einfluss des Klimawandels auf die Dynamik und Verbreitung von Pilzkrankungen bei

Tieren noch wenig klar. Bei Wildpflanzen besteht im Gegensatz zu Kulturpflanzen noch relativ wenig Wissen (Fisher et al. 2012).

Infektionen durch Parasiten und Pathogene scheinen jedoch mit dem Klimawandel in Mitteleuropa allgemein zuzunehmen (Beierkuhnlein et al. 2014). Für Amphibien (Chytrid-Pilz), Fische (PKD) und Krebse (Krebspest) stellen neu auftretende Krankheitserreger unabhängig vom Klimawandel bereits bedeutende Risiken dar (Vittoz et al. 2010; BAFU 2011). Je nach Veränderungen werden Krankheitserreger weiter begünstigt oder die Empfindlichkeit der Wasserlebewesen durch zusätzlichen Stress erhöht. Höhere Wassertemperaturen führen z.B. zu einer Zunahme des Auftretens von PKD bei Fischen (Perroud & Bader 2013).

Ebenso sind Vorhersagen bei Parasiten schwierig. Beispielsweise ist in der Schweiz einerseits eine Ausbreitung von Zecken in höhere Lagen sowie eine längere Aktivitätszeit im Jahr mit den klimatischen Änderungen beobachtbar, andererseits werden die Lebensbedingungen durch abnehmende Sommerniederschläge und heisse Sommer verschlechtert. Allerdings überstehen mit Lyme-Borreliose infizierte Zecken trockene, heisse Witterung besser als Zecken ohne diesen Krankheitserreger (Perroud & Bader 2013).

### **Box: Funktionsfähigkeit der Ökosysteme und ökologische Interaktionen**

- Verschiedene Arten und andere Aspekte der Biodiversität tragen zu verschiedenen Zeitpunkten, an verschiedenen Orten und bei unterschiedlichen Umweltbedingungen zur Funktionsfähigkeit von Ökosystemen bei.
- ⇒ Die Erhaltung oder Schaffung intakter Lebensräume mit einer hohen Biodiversität sowie grosse, stabile bis wachsende und funktionell vernetzte Populationen sind eine bedeutende Anpassungsmassnahme. Denn diese sind gegenüber dem Klimawandel einerseits resistenter (widerstandsfähiger) und andererseits resilienter (bessere Erholungsfähigkeit nach einem Ereignis) als beeinträchtigte Lebensräume oder Populationen (IPCC 2014a).
- Durch den Klimawandel kann es zu zeitlichen und räumlichen Entkoppelungen von Interaktionen kommen. Dadurch sind v.a. spezialisierte Arten und solche mit wenigen Interaktionspartnern gefährdet. Entkoppelungen können sich für gewisse Arten auch positiv auswirken.
- Ökologische Beziehungen werden durch den Klimawandel mittel- bis langfristig direkt oder indirekt verändert werden. Dies wirkt sich auch auf Ökosystemfunktionen aus.
- Die genauen Folgen von Veränderungen von Interaktionen sind sehr schwierig abschätzbar, da nicht nur paarweise Interaktionen, sondern komplexe Netzwerke bestehen, in denen Veränderungen sowohl abgepuffert werden als auch kaskadenartige Effekte entstehen.
- ⇒ Für Arten mit ganz spezifischen Interaktionspartnern kommt der Berücksichtigung ihrer Wechselwirkungen bei Artenförderungsmassnahmen eine steigende Bedeutung zu.

### **3.2.5 Zeitliche Dimensionen**

#### **Genpool**

Zukünftig ist mit vermehrten Extremereignissen, also einer erhöhten Umweltstochastizität zu rechnen. Der Verlust an genetischer Vielfalt kann aufgrund des Verschwindens einer Population infolge eines Extremereignisses unmittelbar erfolgen. Dieses Risiko besteht insbesondere für kleine Populationen (Caughley 1994; Matthies et al. 2012). Eine stärkere Variation der Klimabedingungen erhöht auch die Variation von demographischen Raten wie der Überlebens- oder Fortpflanzungsrate von Populationen (Verboom et al. 2010). Dadurch oder infolge von Inzuchteffekten oder genetischer Drift kann sich ein Verlust im Genpool auch schleichend über Jahrzehnte hinwegziehen (siehe Fachbericht Populationsökologie). Die Ausbildung neuer Genkombinationen in einer Population benötigt hingegen meist Hunderte von Jahren (BAFU 2011).

#### **Arten**

Hinsichtlich des Klimawandels sind die Reaktionszeiten von Arten stark unterschiedlich je nach Geschwindigkeit und Ausmass des Klimawandels und der Empfindlichkeit der Arten gegenüber den Veränderungen. Zudem spielen weitere Faktoren wie die Habitatqualität eine Rolle. Negative Effekte werden sich wahrscheinlich vor allem in Folge von Extremereignissen zeigen und, zumindest vor 2050, weniger aufgrund der Veränderung von Durchschnittswerten. Das Aussterben von Arten kann z.B. infolge der qualitativen Verschlechterung des Lebensraumes aufgrund des Klimawandels mit einer beträchtlichen Zeitverzögerung erfolgen (Tilman et al. 1994). Dieser Verzögerungs-Effekt (extinction debt) ist schwierig nachzuweisen, da die Gefährdung nicht sichtbar wird. Mehrere Studien weisen aber auf dessen Existenz hin (Kuussaari et al. 2009) (siehe Fachbericht Populationsökologie).

Bei vielen Arten ist unklar, wie schnell sie auf ändernde Lebensraumbedingungen reagieren und abwandern können (Abbildung 4). Viele Arten können sich zwar relativ schnell und über grosse Distanzen fortbewegen (Dispersionsdistanzen) (Wiedemeier 1990). Ihre tatsächliche Ausbreitung hängt aber auch davon ab, welche Barrieren sie antreffen und ob sie an einem neuen Ort den Lebensraum vorfinden, der sowohl in seiner Ausprägung als auch von den klimatischen Bedingungen für sie passt.

### Lebensräume

Lebensräume mit ihren biologischen (Lebensgemeinschaften) und anderen Eigenschaften (z.B. Struktur, Bodeneigenschaften) brauchen je nach berücksichtigten Aspekten, Typ, Lebensphase oder Sukzessionsstadium unterschiedlich lange für ihre Entwicklung (Riecken et al. 2006). So benötigen z.B. verschiedene Aspekte einer Auenlandschaft Zeiträume von weniger als einem Jahr (z.B. Besiedlung von vegetationslosen Flächen nach einer Flut) bis zu Tausenden von Jahren (z.B. langfristige Sukzession auf Terrassen, Ausbreitung oder Evolution von Arten) (Tockner & Stanford 2002).

In den Roten Listen der gefährdeten Biotoptypen Deutschlands (Riecken et al. 2006) und Österreichs (Essl et al. 2008) werden Angaben zur Regenerierbarkeit der Lebensräume (Zeitangaben) gemacht. „Unter Regenerierbarkeit wird sowohl das biotopeigene Potenzial zur (selbstständigen) Regeneration nach Beendigung negativer Beeinträchtigungen als auch die Möglichkeit einer Wiederentwicklung durch gestaltendes Eingreifen des Menschen im Zuge von Massnahmen zur Regeneration oder Neuentwicklung von Biotopen verstanden.“ Die Regenerationsfähigkeit ist in starkem Mass auch von regionalen und lokalen Gegebenheiten abhängig und gilt nicht für die Vegetation alleine.

#### Box: Zeitliche Dimensionen

- Viele Auswirkungen des Klimawandels auf Genpool, Arten und Lebensräume erfolgen schleichend oder zeitverzögert und sind schwierig feststellbar. Hingegen wirken sich Extremereignisse voraussichtlich stärker und schneller auf die Biodiversität aus als graduelle Veränderungen.
- ⇒ Das Handeln gemäss dem Vorsorgeprinzip gewinnt im Naturschutz hinsichtlich des Klimawandels weiter an Bedeutung.
- Der Zeitbedarf von Arten und Lebensräumen zur Anpassung an den Wandel hängt von den Eigenschaften der Arten, den Bildungs- und Regenerationszeiten der Lebensräume, der Verfügbarkeit von geeigneten Standorten, der Durchlässigkeit der Landschaft und weiteren Faktoren ab.
- ⇒ Die Rahmenbedingungen für Arten und Lebensräumen zur selbstständigen Anpassung sollten optimiert werden.

### 3.3 Wechselwirkungen mit anderen Einflussfaktoren und potenzielle indirekte Auswirkungen

Der aktuelle Klimawandel zählt neben Lebensraumverlust und -schädigung weltweit zu einem der wichtigsten Gefährdungsfaktoren für die Biodiversität (Sala et al. 2000; Thomas et al. 2004). Insbesondere Aussterbeereignisse werden aber in den wenigsten Fällen durch einen einzigen Faktor, sondern durch das Zusammenspiel von mehreren, sich teilweise gegenseitig verstärkenden Faktoren (z.B. Landnutzungsänderungen und Klimawandel) verursacht (Brook et al. 2008). Dabei sind die Wirkungsanteile verschiedener Einflussfaktoren schwierig auseinander zu halten.

Potenzielle indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität können über Veränderungen chemischer, physikalischer und biologischer Eigenschaften und Prozesse im Naturhaushalt entstehen, aber auch durch Veränderungen und Anpassungsmassnahmen in verschiedenen Sektoren (z.B. Energie-, Forstwirtschaft, Tourismus,...).

Die globalen Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität sind in Kapitel 4 Terrestrial and Inland Water Systems von IPCC (2014a) wiedergegeben (siehe Kapitel 3.2 für direkte Auswirkungen). Die Haupterkenntnisse zu Wechselwirkungen mit anderen Einflussfaktoren und potenzielle indirekten Auswirkungen sind folgend wiedergegeben:

#### Haupterkenntnisse vom Kapitel 4 Terrestrial and Inland Water Systems von IPCC (2014)

Direct human impacts such as land use and land use change, pollution, and water resource development will continue to dominate the threats to most freshwater (high confidence) and terrestrial (medium confidence) ecosystems globally over the next 3 decades. Changing climate exacerbates other impacts on biodiversity (high confidence).

When terrestrial ecosystems are substantially altered (in terms of plant cover, biomass, phenology, or plant group

dominance), either through the effects of climate change or through other mechanisms such as conversion to agriculture or human settlement, the local, regional, and global climates are also affected (high confidence).

The capacity of many species to respond to climate change will be constrained by non-climate factors (high confidence)

The establishment, growth, spread, and survival of populations of invasive alien species have increased (high confidence), but the ability to attribute alien species invasion to climate change is low in most cases.

A large fraction of terrestrial and freshwater species face increased extinction risk under projected climate change during and beyond the 21st century, especially as climate change interacts with other pressures, such as habitat modification, overexploitation, pollution, and invasive species (high confidence).

Adaptation responses to climate change in the urban and agricultural sectors can have unintended negative outcomes for terrestrial and freshwater ecosystems (medium confidence).

Widespread transformation of terrestrial ecosystems in order to mitigate climate change, such as carbon sequestration through planting fast-growing tree species into ecosystems where they did not previously occur, or the conversion of previously uncultivated or non-degraded land to bioenergy plantations, will lead to negative impacts on ecosystems and biodiversity (high confidence).

**Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel in verschiedenen Sektoren**

Klimaschutz, Klimaanpassung und Biodiversitätserhaltung wirken sich oft, aber nicht immer positiv aufeinander aus wie Abbildung 10 zeigt (scnat 2008; Essl & Rabitsch 2013). Es lohnt sich deshalb, Synergien und (unbeabsichtigte) Konflikte zu identifizieren sowie gezielt zu nutzen bzw. allfällige Konflikte frühzeitig zu vermeiden (Vittoz et al. 2010). Spezifisch für verschiedene Sektoren sind in Anhang 8.8 Synergie- und Konfliktpotenziale aufgezeigt. Ebenso wurden im Rahmen der Anpassungsstrategie in der Schweiz Schnittstellen zwischen Sektoren identifiziert (Kapitel 5 in Schweizerische Eidgenossenschaft 2012). scnat (2008) erläutern für die Schweiz potenzielle Konflikte und Synergien für die folgenden Bereiche: Kohlenstoffsinken, Holz als Energie- und Baustoff, Treibstoffe aus Biomasse, Wasserkraft, Revitalisierung von Flüssen und Bächen, Beitrag der Vegetation zum Schutz vor Naturgefahren, Extensive Landwirtschaft, Erhaltung und Renaturierung von Mooren, Siedlungsentwicklung, Internationale Verantwortung der Schweiz.

Ein Konfliktfeld können auch politische Entscheide bezüglich der Verteilung der Finanzmittel im Umwelt- und Naturschutzbereich darstellen (IPCC 2014a).

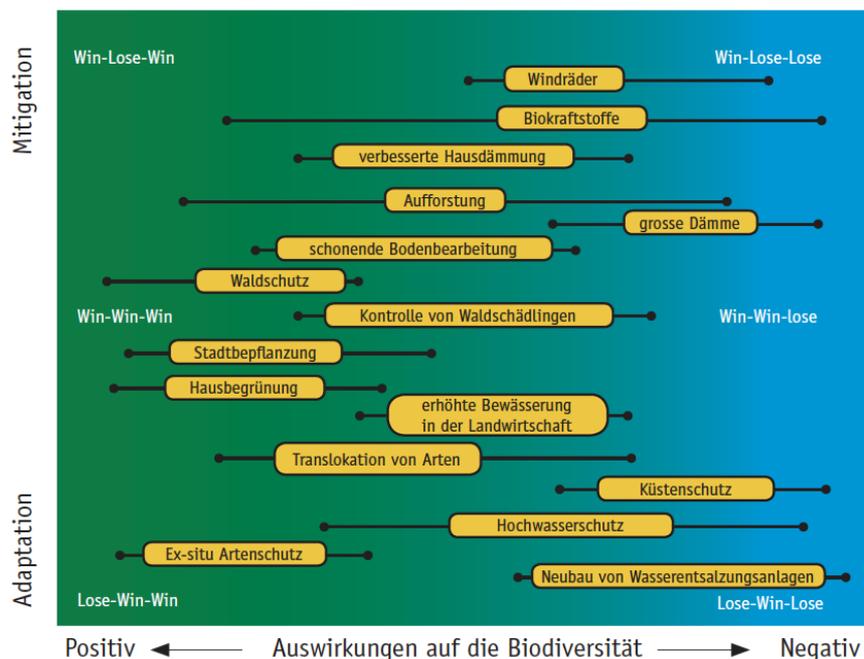


Abbildung 10: Synergien und Konflikte auf globaler Ebene zwischen Massnahmen zum Klimaschutz, zur Anpassung an den Klimawandel und den Auswirkung auf die Biodiversität basierend auf einem Literaturreview (Paterson et al. 2008; Essl & Rabitsch 2013). Je nach Umsetzungsart von Massnahmen können sich diese unterschiedlich auf die verschiedenen Bereiche auswirken (schwarze Linien). Die in der Abbildung weiss geschriebenen Abfolgen von „win“ und „lose“ (z.B. win-win-win am linken Rand in der Mitte) sind folgendermassen angeordnet: Effekt der Minderungs- oder Anpassungsmassnahme auf: mitigation (Klimaschutz) – adaptation (Anpassung) – Biodiversität.

### Landnutzung

Zumindest für gewisse Artengruppen (z.B. Vögel) sind Landnutzungsänderungen der wichtigere Einflussfaktor als der Klimawandel (Essl & Rabitsch 2013). Auch in der Schweiz stufen ExpertInnen insbesondere für die Gefährdung von Mooren und TWW die Landnutzung und die Siedlungsentwicklung als sehr gewichtig ein. Doch auch dem Klimawandel und der Stickstoffdeposition wird eine mittlere bis sehr hohe Bedeutung beigemessen (Huber & Hedinger 2008). Auswirkungen des Klimawandels werden mit den zu erwartenden Landnutzungsänderungen zumindest teilweise verstärkt werden (Sala et al. 2000; Berry et al. 2006). So wird die Wasserverfügbarkeit für Moore sowohl direkt durch den Klimawandel als auch durch Entwässerungsmassnahmen verringert. In städtischen Gebieten wird die Temperaturerhöhung aufgrund der Versiegelung (Wärmeinseleffekt) sehr wahrscheinlich stärker ausfallen als im Umland. Allerdings kann dem Wärmeinseleffekt mit gezielten Massnahmen wie Begrünungen entgegengewirkt werden, was Synergien zur Biodiversitätsförderung aufweist.

Die Anpassungsfähigkeit vieler Arten wird davon abhängen, ob sie klimatisch geeignete Standorte erreichen können (Vittoz et al. 2010). Artspezifische Studien zeigen, dass die räumliche Reaktion von Arten auf den Klimawandel durch Habitatfragmentierung stark beeinträchtigt werden kann (Vos et al. 2008). Dullinger et al. (2015) simulierten Migrationsraten von Pflanzenarten des Waldunterwuchses und untersuchten dabei den Einfluss der Fragmentierung. Die Migrationsraten von 16 Arten variierten in unzerschnittenen Waldgebieten ca. zwischen 95 und 225 m/Jahr, was voraussichtlich in vielen Regionen nicht genügt, um mit dem Klimawandel Schritt zu halten (Abbildung 4). Bei der aktuellen Fragmentierung der Wälder in Europa betrug die Migrationsrate sogar nur 68% dieser Werte und fiel in gewissen Regionen West- und Südeuropas unter 25%.

In städtischen Gebieten wie im Grossraum Zürich verstärken das spezifische Stadtklima und Luftbelastungen die Auswirkungen des Klimawandels und insbesondere damit einhergehender Extremereignisse wie Hitzewellen (econcept 2013).

Auch im aquatischen Bereich können Nutzungsänderungen infolge des Klimawandels eine bedeutende Rolle spielen. Seen sind effiziente und wichtige Retentionsbecken in unserem Gewässersystem. Da das Risiko von häufigeren und stärkeren Hochwasserereignissen in verschiedenen Jahreszeiten aufgrund des Klimawandels voraussichtlich steigt (BAFU 2012a; Götz et al. 2012), kommt dem Hochwasserschutz und dadurch dem Wasserrückhalt in Seen und der präventiven Regulierung der Wasserspiegel zukünftig eine steigende Bedeutung zu. Präventive Wasserspiegelabsenkungen können jedoch stark negative Auswirkungen auf Lebensräume und Arten im Übergangsbereich Wasser-Land haben, insbesondere wenn sie schnell und zu ungünstigen Zeitpunkten erfolgen. Andererseits könnten Regulierungen auch aus ökologischer Sicht eine Chance sein, wenn sie gezielt ökologische Aspekte berücksichtigen. So können Hochwasserschutzmassnahmen bei Seen und Fließgewässern, die landseitige Überschwemmungs-/Retentionsflächen einplanen, Synergien mit der Förderung von Feuchtgebieten aufweisen.

### Landwirtschaft

Art und Weise der landwirtschaftlichen Nutzung beeinflussen wahrscheinlich auch zukünftig die Biodiversität stärker als der Klimawandel (Peter et al. 2008; Vittoz et al. 2010). In höheren Lagen führt die Erwärmung voraussichtlich zu einer höheren Produktivität, damit zu mehr und intensiveren Nutzungsmöglichkeiten mit negativen Auswirkungen auf die Biodiversität (Walter et al. 2010). Generell ist eine Nutzungsintensivierung in höheren Lagen bereits heute zu beobachten (für die Schweiz: Peter et al. 2008; Graf et al. 2014). Dadurch dürfte der Druck auf wertvolle Lebensräume in höheren Lagen zukünftig einerseits durch Flächenkonkurrenz und andererseits durch Auswirkungen der Nutzung benachbarter Flächen (z.B. Stickstoffeinträge) steigen. Hingegen könnte aufgrund attraktiverer Nutzungsmöglichkeiten das Vergandungs- und Wiederbewaldungsrisiko abnehmen und artenreiches Grünland eher erhalten bleiben (Huber & Hedinger 2008), obwohl sich die Waldgrenze mit dem Klimawandel grundsätzlich nach oben verschiebt. Im Kanton Zürich ist allerdings die Waldausdehnung und eine daraus folgende Gefährdung wertvoller Grünland-Arten (Arten der Umweltziele Landwirtschaft) im Vergleich zu anderen Kantonen gering (Schüpbach et al. 2012; Walter et al. 2013).

Die mit dem Klimawandel zumindest temporär geringere Verfügbarkeit von Wasser und häufigere Trockenheit (OcCC 2007; Vittoz et al. 2010) führen voraussichtlich zu einem zunehmenden Bewässerungsbedarf in der Landwirtschaft (Perroud & Bader 2013). Dies führt zu potenziellen Konflikten der Sicherung einer genügenden Wasserführung in Oberflächengewässern und einem genügend hohen Grundwasserstand für grundwasserabhängige Ökosysteme (z.B. Flachmoore).

Fuhrer & Calanca (2014) identifizieren (Einzugs)Gebiete mit einem erhöhten Risiko für Wasserknappheit anhand eines Vergleichs zwischen dem potenziellen Bewässerungsbedarf und dem nutzbaren

Wasserdargebot für Durchschnitts- und Extremjahre von 1981-2010. Modellierungen für die Jahre 2036-2065 zeigen, dass die Häufigkeit der Jahre mit Wasserknappheit im Falle eines starken Klimawandels um ein Vielfaches ansteigt. Dies ist unter anderem auch für Einzugsgebiete im Kanton Zürich der Fall, insbesondere für das Einzugsgebiete von Glatt-Töss.

Entwässerungsmassnahmen (Drainagen) stören auch zukünftig den Landschaftswasserhaushalt und die Wasserversorgung von Feuchtgebieten (Mosbrugger et al. 2013). In Zürich wird die drainierte landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) auf ca. 15'000 ha (ca. 20% der LN) geschätzt (Béguin & Smola 2010; ALN 2014). Dabei ist nicht genau bekannt, welcher Anteil der Drainagen sich noch in einem guten Zustand befindet (Seitz 2013), und ehemals landwirtschaftlich genutzte, aber heute durch Siedlungen überbaute Flächen sind nicht berücksichtigt.

Da Schadorganismen tendenziell mehr vom Klimawandel profitieren als deren natürliche Gegenspieler, vermuten verschiedene Autoren, dass der Klimawandel in verschiedenen Kulturen zu einem höheren Einsatz von Pflanzenschutzmitteln führen könnte (Mosbrugger et al. 2013). Dies würde sich negativ auf die Biodiversität wie auch auf die Wasserqualität und andere Umweltbereiche auswirken (z.B. Jahn et al. 2014). Für die Schweiz wird erwartet, dass künftig mehr potenzielle Schadorganismen den Winter überleben, ihre Populationen sich schneller entwickeln (z.B. mehr Generationen pro Jahr) und besser ausbreiten können als bisher. Zudem können sich voraussichtlich neue Schadorganismen, Krankheitserreger und Überträger von Krankheiten (Vektoren) etablieren (CH2014-Impacts 2014a; Schweizerische Eidgenossenschaft 2014).

### Neobiota<sup>11</sup>

Im Hinblick auf den Klimawandel ist es bedeutend, Neobiota differenziert zu betrachten, nicht generell als negativ zu beurteilen und auch naturschützerische Werte zu erkennen (Schlaepfer et al. (2011) und Kommentar von Vitule et al. (2012), siehe auch Kapitel 4.2.4).

Der Klimawandel begünstigt Neobiota über verschiedene Mechanismen. Gemäss Essl & Rabitsch (2013) kann eine verstärkte Ausbreitung und Etablierung von Neobiota über klimawandelbedingte Änderungen folgender Aspekte erfolgen:

- Einbringungswege
- klimatische Habitategnung
- Populationsgrössen
- Nischenbreiten
- Effektivität von Managementmassnahmen
- Invasibilität von Lebensräumen.

Dies hat bereits, und wird zukünftig zu einem höheren Anteil von Neobiota in Lebensgemeinschaften führen, wodurch voraussichtlich auch eine erhöhte Anzahl invasiver Neobiota<sup>12</sup> mit unerwünschten Auswirkungen auf die heimische Biodiversität auftreten werden.

Bezüglich der Dynamik von Neobiota sind die Wechselwirkungen mit anderen Einflussfaktoren besonders bedeutend. So erfolgt eine Ausbreitung von Neobiota oft entlang von Verkehrswegen (Ciardo & Delarze 2003; Bornand & Ciardo 2011). Städtisch geprägte Gebiete spielen als Ausbreitungszentren eine wichtige Rolle (Nobis et al. 2009). Denn Stadtgebiete bieten aufgrund ihres Wärmeinseleffektes wärmeliebenden Arten günstigere Ansiedlungsmöglichkeiten als das Umland. Sie weisen u.a. deshalb im Vergleich zur Umgebung einen höheren Anteil Neophyten auf. Sattler et al. (2010) stellten in den Städten Lugano, Luzern und Zürich fest, dass viele Neophyten mit zunehmender Versiegelung häufiger werden. Dies trifft insbesondere für invasive Neophyten der Schwarzen Liste zu. Für Deutschland und Österreich haben Kleinbauer et al. (2010) das Ausbreitungspotenzial von und die Habitategnung für ausgewählte Neophyten modelliert. Momentan liegen die Vorkommenschwerpunkte in städtischen Ballungsräumen und grossen Flusstälern. Mit dem zu erwartenden Temperaturanstieg ist aber mit einer deutlichen Ausbreitung auch in ländliche Gebiete zu rechnen, sodass die aktuell enge Bindung vieler Neophyten an städtische Gebiete schwächer wird.

---

<sup>11</sup> Gebietsfremde Arten, die sich nach 1500 ohne oder mit absichtlichem oder unabsichtlichem menschlichem Einfluss in einem Gebiet etabliert haben, in dem sie zuvor nicht heimisch waren. Neobiota mit negativen Auswirkungen auf Mensch, wirtschaftliche Aspekte oder die heimische Biodiversität werden als invasiv bezeichnet.

<sup>12</sup> Global invasive species database: <http://www.issg.org/database/welcome/>  
Delivering Alien Invasive Species In Europe (DAISIE): <http://www.europe-aliens.org>  
European Network on Invasive Alien Species (NOBANIS) : <https://www.nobanis.org>  
Black- und Watchlist von Neophyten in der Schweiz: <https://www.infoflora.ch>

Neobiota ihrerseits können die Reaktionen von einheimischen Arten auf den Klimawandel beeinflussen. So zeigen Alexander et al. (2015) mit Verpflanzungsexperimenten für Alpenpflanzen, dass deren Fitness in einem wärmeren Klima bei Anwesenheit neuer Konkurrenten stärker geschwächt wird als durch bisherige Konkurrenten. Hingegen gibt es auch Beispiele, in denen sich Neobiota scheinbar gut in heimische Netzwerke einfügen und neue Interaktionen entstehen (z.B. Neophyt, der durch Bestäuber besucht wird).

Grundsätzlich werden zukünftig sicherlich bestehende Lebensgemeinschaften durch neue Arten verändert und ergänzt werden, wobei auch Ökosystemfunktionen durch Neobiota beeinflusst werden (Vilà et al. 2011; Cameron et al. 2016). Da in Europa durch den Klimawandel auch neue klimatische Nischen entstehen und viele Arten ihr Verbreitungsgebiet verändern, wird vermutet, dass auch gänzlich neue Lebensgemeinschaften entstehen können (Essl & Rabitsch 2013).

### Forstwirtschaft

Der Einfluss der Bewirtschaftung auf die Waldbiodiversität wird, insbesondere bei einer mässigen Veränderung des Klimas, als stärker erachtet als der Einfluss des Klimawandels (Mosbrugger et al. 2013). Allerdings wurde in Schweizer Wäldern zumindest beim Unterwuchs bereits eine deutliche Verschiebung in höhere Lagen festgestellt (Küchler et al. 2015) (siehe auch Kapitel 3.2.3). Wälder werden durch Interaktionen verschiedener biotischer und abiotischer Faktoren normalerweise stärker beeinflusst als durch für sich alleine wirksame Einflussfaktoren. Je nach gewählten Anpassungsmassnahmen der Waldbewirtschaftung ergeben sich für die Biodiversität eher positive oder negative Auswirkungen (Tabelle 5, Anhang 8.8).

Tabelle 5: Einfluss von forstwirtschaftlichen Massnahmen auf den Klimaschutz, die Anpassung an den Klimawandel und die Biodiversität (Mosbrugger et al. 2013).

Maßnahmen	Klimaschutz	Anpassung	Biodiversität
Aufforstung	+	0	+ bis – (Vorkultur und Bewirtschaftungsform)
Produktivere Baumart	+	+ bis – (Anpassungsfähigkeit)	– (?) (Homogenisierung der Bestände)
Boden- und Humuspflge	+	+	+ (?)
Waldmoorschutz (Wasserrückhaltung)	+	+	+ (Wiederherstellung seltener Habitats)
Totholzanzreicherung	+ bis – (Substitutionseffekte)	+ bis – (Brutsubstrat)	+ (Seltene Strukturen)
Baumartenmischung und Strukturvielfalt	+ bis – (Gesamtproduktivität)	+	+ (Habitatvielfalt)
Anpassungsfähige Baumarten/Herkünfte	+	+	+ bis – (Neophyten, Züchtung)
Neuartige Waldbehandlungsmethoden	+ bis – (suboptimale Bestandesdichten, Umtriebszeiten)	+	+ bis – (Wirkung auf Strukturvielfalt)

Interaktionen von Klimawandel/Witterung mit Pathogenen und Schädlingen könnten für Wälder und ihre Baumartenzusammensetzung von grosser Bedeutung sein. Es ist bekannt, dass witterungsbedingte Schwächungen von Bäumen (Trockenstress, Überschwemmungen) die Infektionsraten erhöhen kann (Essl & Rabitsch 2013). Durch das Ulmensterben ist auch bekannt, dass es durch Krankheitserreger zum lokalem Verschwinden einer Art kommen kann. Die Auswirkungen des sich momentan in Ausbreitung befindliche Eschentriebsterbens sind noch nicht endgültig abschätzbar.

Zukünftig geht man auch von einem erhöhten Schadrisiko von forstlichen (thermophilen) Schadinsekten aus, da deren Anpassungspotenzial im Vergleich zu den Bäumen höher ist und sich durch die zunehmenden Sommertemperaturen wahrscheinlich teils mehr Generationen und teils kürzere Entwicklungszeiten pro Jahr entwickeln können, was zu höheren Populationsdichten führt (Mosbrugger et al. 2013). So wird beim IPCC A1B-Szenario<sup>13</sup> in der Schweiz um 2085 mit einer zusätzlichen Borkenkäfergeneration im Vergleich zu heute gerechnet (CH2014-Impacts 2014a).

Im Zusammenhang mit dem Klimawandel sind aufgrund forst- und holzwirtschaftlicher Aspekte die Anpflanzung nicht heimischer Arten und Herkünfte als Anpassungsmassnahmen im Gespräch. Diese wie auch unbeabsichtigt eingeführte und sich im Wald ausbreitende Arten verändern die Lebensgemeinschaft im Wald (Mosbrugger et al. 2013). Die Auswirkungen auf die Biodiversität müssen art- und regionenspezifisch differenziert beurteilt werden. Sie sind wie z.B. bei der Douglasie oft nicht eindeutig (Tschopp et al. 2015) und können sich im Verlauf der Zeit verändern. Letzteres ist z.B. der

<sup>13</sup> mittlerer Treibhausgasausstoss, aber keine Reduktionsmassnahmen

Fall für die Entwicklung des invasiven Verhaltens einer Art oder aber auch für ökologische Wechselwirkungen mit heimischen Arten.

### Energiewirtschaft

Energiegewinnung aus erneuerbaren und nicht erneuerbaren Energieträgern kann die Biodiversität beeinträchtigen. Hingegen kann die Förderung erneuerbarer Energien über den Klimaschutz auch einen Beitrag zur Erhaltung der Biodiversität leisten. Die potenziellen Synergien zwischen den zwei Handlungsfeldern sind obenstehend unter dem Untertitel „Klimaschutzmassnahmen und Anpassung an den Klimawandel in anderen Sektoren“ und im Anhang 8.8 thematisiert.

### Eutrophierung

Tendenziell häufigere Starkniederschläge, Abnahme von Bodenfrost und häufigere Trockenereignisse erhöhen voraussichtlich das Erosionsrisiko (Abschwemmung, Winderosion) und damit mögliche Nährstoffeinträge in Gewässer und terrestrische Lebensräume. Starkniederschläge führen zudem zu hohen Durchflüssen des Bodens, womit allenfalls auch Nährstoffverlagerungen gefördert werden (Mosbrugger et al. 2013). Gemäss IPCC (2014) führen steigende Wassertemperaturen in Folge der globalen Erwärmung zu Verstärkung von Problemen bei der Wasserqualität, insbesondere in Systemen mit hohen anthropogenen Nährstoffeinträgen.

Höhere Temperaturen bei genügender Bodenfeuchte, feuchtere, mildere Winter mit einem häufigeren Wechsel von Frieren und Tauen sowie die Veränderung dauerhaft vernässter (Böden oder Gewässer) zu wechsellässigen Lebensräumen führen voraussichtlich zu einer erhöhten Stickstoff-Mineralisation und einer erhöhten Nährstoff-Nachlieferung, aber auch zu höheren Nährstoffverlusten aus Böden in der Zeit der Vegetationsruhe. Eine eindeutige und generelle Abschätzung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Nährstoffkreisläufe ist aber kaum möglich.

Zumindest momentan werden die Wirkungen der Eutrophierung auf den Unterwuchs von Wäldern noch als bedeutender eingestuft als diejenigen des Klimawandels. In Wäldern erhöht die Eutrophierung durch Stickstoff die Empfindlichkeit von Bäumen gegenüber Spätfrösten, Trockenheit und dem Befall durch Pathogene und Parasiten. Dadurch kann auch die Widerstandsfähigkeit der Bäume gegenüber Stürmen verringert werden (Mosbrugger et al. 2013). Geringere Basensättigung und Bodenversauerung, die durch Stickstoffeinträge verstärkt werden, haben in der Schweiz zu höheren Sturmschäden durch den Sturm Lothar geführt. Die Erwärmung kann in Wäldern zwar die Verwitterungsraten in Böden steigern, was zu einer erhöhten Pufferung gegenüber Säureeinträgen führen würde, gleichzeitig wird bei genügender Feuchtigkeit aber auch die Mineralisierung von organischen Bestandteilen erhöht, was zu einer erhöhten Stickstofffreisetzung, -auswaschung und Versauerung führen könnte (Mosbrugger et al. 2013).

### Box: Indirekte Auswirkungen und Wechselwirkungen

- Zumindest bis zur Mitte des 21. Jh. werden Landnutzung und Landnutzungsänderungen voraussichtlich einen stärkeren Einfluss auf die Biodiversität ausüben als der Klimawandel. Längerfristig wird der Wirkungsanteil des Klimawandels bedeutender, hängt aber von dessen Ausmass ab.
- Veränderungen von Ökosystemen können das regionale und lokale Klima beeinflussen. Ebenso beeinflussen Veränderungen des Klimas die Ökosysteme.
- Der Klimawandel verstärkt Effekte anderer Stressfaktoren (z.B. beeinträchtigter Wasserhaushalt) auf die Biodiversität. Ebenso können andere Einflussfaktoren wie die Fragmentierung der Lebensräume die Auswirkungen des Klimawandels verstärken und die Anpassungsfähigkeit der Biodiversität beeinträchtigen.
- ⇒ Massnahmen zur Minderung der Auswirkungen von anderen Gefährdungsursachen als dem Klimawandel sollten mit unverminderter Anstrengung weitergeführt werden.
- Klimaschutzmassnahmen (z.B. die Erzeugung erneuerbarer Energien, Aufforstungen) und präventive und reaktive Klimaanpassungsmassnahmen (z.B. Bewässerung, Hochwasserschutz) in anderen Sektoren können bedeutende positive oder negative Effekte auf die Biodiversität haben.
- Mit dem Klimawandel ist in einigen Sektoren mit einer intensiveren Landnutzung in Teilregionen zu rechnen, was sich wiederum auf die Biodiversität auswirkt.
- ⇒ Bei der Planung von Anpassungsmassnahmen in den verschiedenen Handlungsfeldern und Sektoren müssen potenzielle Konflikte in einer frühen Planungsphase identifiziert und der Umgang damit geklärt werden.
- ⇒ In Gebieten, die mit dem Klimawandel potenziell intensiver genutzt werden können, ist besondere Aufmerksamkeit für die Erhaltung von naturschützerisch wertvollen Flächen angebracht.

### 3.4 Unsicherheiten

Mit dem Klimawandel wird es bei der Biodiversität in der Schweiz bis Ende 21. Jh. zu grossen Veränderungen kommen. Die verschiedenen zeitlichen und räumlichen Dimensionen, welche für den Klimawandel relevant sind, führen aber zu grossen Unsicherheiten in den Abschätzungen. Einerseits weisen die Szenarien der Emissionsentwicklung Unsicherheiten auf, andererseits reichen die Modelle, mit denen die Auswirkungen des Klimawandels und deren Ausmass vorhergesagt werden, weit in die Zukunft und sind dadurch unsicher. Insbesondere für Szenarien, die eine starke Temperaturerhöhung voraussagen (Erhöhung der Sommertemperatur von 7 °C), sind Abschätzungen zu den Auswirkungen auf die Biodiversität kaum mehr möglich (Vittoz et al. 2010). Zudem sind wahrscheinlich viele Zusammenhänge und Rückkoppelungseffekte noch nicht bekannt und können deshalb nicht in Modellen berücksichtigt werden. Gerade für die Biodiversität sind zudem Sekundäreffekte, d.h. wie sich Anpassungsmassnahmen in verschiedenen Sektoren auf sie auswirken, von grosser Bedeutung (Kapitel 3.3). Biologische Prozesse und Interaktionen zwischen Organismen, genetische Unterschiede, Wechselwirkungen mit anderen Einflussfaktoren und mit den sozioökonomischen Systemen werden (und können) in Modellierungen z.B. noch kaum berücksichtigt werden und führen damit zu weiteren Unsicherheiten (Essl & Rabitsch 2013; IPCC 2014a). So ist z.B. nur schwierig vorherzusagen, welche Arten zukünftig in die Schweiz eingeschleppt werden oder einwandern und wie sich diese auf die Artenzusammensetzung, Lebensräume und Ökosystemfunktionen auswirken (Holthausen et al. 2013). Deshalb dürfen modellierte Arealveränderungen oder ermittelte Sensibilitäten und Vulnerabilitäten von Arten nicht als konkrete Prognosen aufgefasst, sondern müssen als Hinweise auf allfälligen Handlungsbedarf verstanden werden (Mosbrugger et al. 2013).

Konsequenzen dieser Unsicherheiten sind, dass es oft schwierig ist, beobachtete Änderungen eindeutig auf den Klimawandel zurückzuführen (IPCC 2014a). Ebenso werden Unsicherheiten mit einer abnehmenden räumlichen Skala grösser, weshalb Aussagen auf Ebene eines Kantons schwieriger sind als auf Ebene Europas.

Auf Wissenslücken, die für den Naturschutz im Kanton Zürich besonders relevant sind, wird in Kapitel 5 eingegangen.

## 4 Strategische Stossrichtungen für Handlungsmöglichkeiten

Um mit dem Klimawandel umzugehen gibt es zwei Hauptstossrichtungen: Einerseits gilt es die Ursachen des menschengemachten Klimawandels zu minimieren (Klimaschutz), andererseits müssen geeignete Massnahmen zum Umgang mit den stattfindenden Änderungen getroffen werden (Anpassung an den Klimawandel), wobei gewisse Massnahmen Beiträge zu beiden Stossrichtungen leisten. Weltweit ist die Abschwächung des Klimawandels für die Erhaltung der Biodiversität absolut zentral. Hinsichtlich des Handlungsspielraums der Fachstelle Naturschutz wird das Schwergewicht im Folgenden hauptsächlich auf Anpassungsmöglichkeiten gelegt.

### 4.1 Klimaschutz (Mitigation)

Klimaschutz bzw. die Minimierung des Klimawandels ist entscheidend für die Erhaltung der Biodiversität und das Wohlergehen der Menschen. Denn den Anpassungsmassnahmen sind Grenzen gesetzt und ihre Wirksamkeit sinkt mit zunehmendem Ausmass des Klimawandels (Leadley et al. 2010). Für den Klimaschutz sind sowohl gesellschaftliche, technologische als auch ökosystembasierte Ansätze – Integrierte Managementstrategien von Land, Wasser und biologischen Ressourcen, die ihre Erhaltung und nachhaltige Nutzung fördern – notwendig (CBD 2009).

Synergien zwischen Klimaschutz, Klimaanpassung und Biodiversitätserhaltung ergeben sich insbesondere bei Massnahmen, die Emissionen von Treibhausgasen aus Ökosystemen reduzieren oder deren Aufnahme und Speicherung in Ökosystemen erhöhen (Kapitel 3.3, z.B. Regeneration von Lebensräumen, angepasste Grün- und Ackerlandbewirtschaftung, Wildnisgebiete) (Trumper et al. 2009; Essl & Rabitsch 2013). Solche „nature-based solutions“ nutzen das Potenzial der Natur gezielt für den Klimaschutz sowie die Anpassung an den Klimawandel und sind ökonomisch gesehen kosteneffizient (IPCC 2014a). Dieser Ansatz wird aktuell insbesondere für Massnahmen im Siedlungsgebiet vermehrt thematisiert (BfN et al. 2015a, 2015b). Naturschutzmassnahmen können also sowohl Klimaschutzmassnahmen sein, als auch Folgen des Klimawandels abpuffern (Mosbrugger et al. 2013).

Generell ist auch der sorgfältige Umgang mit Ökosystemen eine Klimaschutzmassnahme. Denn Ökosysteme können bedeutende Mengen an CO<sub>2</sub> aufnehmen und speichern (IPCC 2014a). Hingegen

können Veränderungen des lokalen und regionalen Wasserhaushaltes (z.B. verminderte Infiltration und beschleunigter Abfluss auf versiegelten Flächen, Entwässerungsmassnahmen, geringere Wassergehalte in Böden) auch auf das lokale und regionale Klima beeinflussen und Auswirkungen des Klimawandels verstärken (Kravcik et al. 2007).

So sind z.B. intakte, torfbildende Moore und Torfböden CO<sub>2</sub>-Senken. Insbesondere die Erhaltung der Torfkörper (Kohlenstoffspeicher) von Hochmooren trägt zum Klimaschutz bei. Ihre Degeneration bzw. die Zersetzung von Torf führt hingegen zu CO<sub>2</sub>-Ausstössen (SRU 2012). In einem systematischen Review von 52 Studien (Bussell et al. 2010) wurden die Belege für die Auswirkungen einer Trockenlegung und Wiedervernässung von torfbildenden Mooren zusammengestellt. Demgemäss sind die Emissionen der Treibhausgase CO<sub>2</sub> und meistens auch N<sub>2</sub>O höher (medium confidence), CH<sub>4</sub>-Emissionen aber tiefer (high confidence) in drainierten im Vergleich zu intakten Mooren. Für die Beurteilung der Auswirkungen einer Wiedervernässung hinsichtlich CO<sub>2</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen fehlen gemäss dem Review genügend Studien, die Emissionen von CH<sub>4</sub> werden aber erhöht (low confidence). Der kombinierte Effekt bezüglich der Treibhausgase kann basierend auf der Datengrundlage (fehlend und/oder hohe Variation) nicht beurteilt werden. Es ist zudem diesbezüglich sehr wichtig, die zeitliche Dimension zu berücksichtigen: So kann eine Regeneration zwar kurzfristig zu höheren Methan-Emissionen führen, längerfristig wird aber die CO<sub>2</sub>-Speicherung erhöht. Für Zürich hat Greene (2015) die CO<sub>2</sub>-Emissionen und Kohlenstoffbindung der Feuchtgebiete des Kantons abgeschätzt und basierend darauf Prioritäten für Regenerationen aus Sicht des Klimaschutzes bestimmt. Diese weisen aber beträchtliche Unsicherheiten auf. Vor einer Umsetzung müssten auch Effekte auf weitere Treibhausgase (Methan, Lachgas) in die Analysen einbezogen werden, wobei weitere grosse Unsicherheiten bestehen bleiben würden.

Aufgrund der Wirkung zukünftiger Emissionen, der Synergien und um die Akzeptanz von Massnahmen in Öffentlichkeit und Politik zu steigern, wird von Wilke et al. (2011) empfohlen, die Reduzierung von Treibhausgasemissionen auch als Ziel im Naturschutz zu verankern. Für spezifische Massnahmen wird auf entsprechende Programme (kantonal bis international) verwiesen. Beispielsweise sollen gemäss Ziel im kantonalen Energiegesetz die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Kanton Zürich von aktuell rund 5 Tonnen pro EinwohnerIn und Jahr bis 2050 auf 2,2 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Kopf reduziert werden. Zudem wird eine Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstosses neu zugelassener Personenwagen angestrebt. Beide Ziele werden als „zum grossen Teil erreicht“ und mit positiver Entwicklung bewertet (Baudirektion Kanton Zürich 2014).

Einen Beitrag zum Klimaschutz kann auch die Verwertung von Biomasse leisten, die bei der Bewirtschaftung von Naturschutzgebieten oder dem Grünflächenunterhalt anfällt, vorausgesetzt eine andere stoffliche Verwertung ist diesbezüglich nicht sinnvoller. Gemäss Müller et al. (2016) liegt das theoretische Biomasse-Gesamtpotenzial der untersuchten Biotop- und Grünflächentypen im Kanton Zürich bei rund 11'500 t TM/a. Für eine nachhaltige energetische Verwertung eignen sich ca. 27% davon, das mehrheitlich von Strassenbegleitgrün stammt. Dazu käme noch Mulch von Bahnflächen, der momentan aber aus Betriebs- und Kostengründen nicht zugänglich ist. Insgesamt liessen sich im Kanton Zürich rund 18'000 GJ nachhaltig aus der Biomasse von Naturschutzgebieten und Strassenbegleitgrün gewinnen, ohne andere sinnvolle Verwertungswege zu konkurrenzieren. Damit könnte ein gewisser, wenn auch geringer, Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden.

Bedeutende Wirkung haben auch Massnahmen, die Wechselwirkungen mit dem Ausland einbeziehen, denn über die Hälfte der konsumbedingten Treibhausgasemissionen der Schweiz fallen im Ausland an (Frischknecht et al. 2014). So spielt wie bei Verminderungsmassnahmen im Bereich der Stickstoffproblematik (siehe Fachbericht Eutrophierung) auch im Klimaschutz eine Veränderung des Konsumverhaltens eine bedeutende Rolle (Mosbrugger et al. 2013).

### **Box: Klimaschutz**

- Für die Erhaltung der Biodiversität ist die Verlangsamung des Klimawandels (Klimaschutz) absolut entscheidend, denn Anpassungsmassnahmen haben bezüglich ihrer Wirkung Grenzen.
- Um den Klimawandel zu verlangsamen, ist die Verminderung der Treibhausgasemissionen der wichtigste Schritt.
- ⇒ Der Naturschutz sollte Klimaschutzmassnahmen und insbesondere die Verminderung von Treibhausgasemissionen so gut wie möglich unterstützen, solange sie nicht Konflikte mit der Biodiversitätserhaltung aufweisen.
- Als «Nature-based solutions» werden ökosystembasierte Klimaschutzmassnahmen bzw. Managementstrategien bezeichnet, welche die Erhaltung und nachhaltige Nutzung der biologischen

Ressourcen fördern. Diese können bedeutend zur Verminderung von Emissionen und verstärkter Aufnahme und Speicherung von Treibhausgasen beitragen, sind ökonomisch gesehen meist kosteneffizient und weisen ein hohes Synergiepotenzial mit der Förderung der Biodiversität auf.

- Die Erhaltung von torfbildenden Mooren und organischen Böden trägt aufgrund ihrer Kohlenstoffspeicher zum Klimaschutz bei. Ihre Degeneration und Zerstörung, z.B. infolge einer Entwässerung, führt hingegen zu CO<sub>2</sub>-Emissionen.
- ⇒ Der Naturschutz kann in seinem Tätigkeitsfeld bedeutend zum Klimaschutz beitragen. Um das diesbezügliche Potenzial auszunutzen sollte die Zusammenarbeit mit den für den Klimaschutz zuständigen Stellen verstärkt ausgebaut und Synergien zwischen Klima- und Naturschutz genutzt werden.
- ⇒ Der Nutzen von ökosystembasierten Klimaschutzmassnahmen kann auf kantonaler Ebene vermehrt kommuniziert werden. Dies sollte sich auf Massnahmen mit bekannter, eindeutiger und leicht verständlicher Wirkung beschränken.

## 4.2 Anpassung an den Klimawandel (Adaptation)

### 4.2.1 Bedeutung, Zusammenarbeit und Perspektiven

Anpassungsmassnahmen im Bereich Biodiversität haben zum Ziel, die Überlebens- und Funktionsfähigkeit von Organismen und Ökosystemen zu steigern (IPCC 2014a) und unerwünschte Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität zu vermeiden oder zu minimieren (Essl & Rabitsch 2013). Anpassungsmassnahmen können die Risiken des Klimawandels nicht völlig beheben, aber reduzieren und die Anpassungsfähigkeit von Ökosystemen und ihren Arten erhöhen (IPCC 2014b: hohe Zuverlässigkeit der Aussage). Besonders bedeutend für die Anpassung an den Klimawandel ist die selbstständige Anpassung der Ökosysteme und Arten (Essl & Rabitsch 2013) (siehe auch „nature based solutions“ in Kapitel 4.1). Nach aktuellem Wissensstand verläuft diese umso erfolgreicher je intakter die Ökosysteme und je höher ihre Biodiversität ist (Isbell et al. 2015), da damit die Resilienz der Ökosysteme steigt (Kapitel 3.2.4). Der Mensch kann das Potenzial zur selbstständigen Anpassung (Selbstregulation) unterstützen, indem ein guter Zustand und die Funktionsfähigkeit der Biodiversität gesichert (IPCC 2014a) und die Vielfalt auf allen Stufen gefördert werden (Bollmann et al. 2012).

Anpassungsmassnahmen können vorbeugend und in gewissen Fällen auch in Folge von Schadereignissen erfolgen. Um das Schadenspotenzial so gering wie möglich zu halten, ist jedoch ein vorbeugendes Handeln bzw. die Verbesserung der Anpassungskapazität gemäss dem Vorsorgeprinzip meist sinnvoll (Wilke et al. 2011). Aufgrund der starken erwarteten Auswirkungen des Klimawandels (Kapitel 3.2) wird der Anpassungsbedarf im Bereich Biodiversität als hoch eingestuft (Abbildung 11). Die naturräumlichen Verhältnisse in der Schweiz bieten aufgrund der Kleinräumigkeit, Topographie und vielfältigen Klimata auf engem Raum grundsätzlich gute Voraussetzungen für die selbstständige Anpassung der Biodiversität. Voraussetzung dafür sind aber ein ökologisch guter Zustand der Ökosysteme (Kapitel 3.2.4) und eine durchgängige Landschaft. Wird dies umgesetzt, kann auch mit erfolgreichen Anpassungsmassnahmen gerechnet werden. Die Schaffung einer ökologischen Infrastruktur, die als Ziel in der Strategie Biodiversität Schweiz verankert ist (Schweizerische Eidgenossenschaft 2012b), kann diese Ansprüche gesamtheitlich berücksichtigen und damit auch einen Beitrag zur Anpassung an den Klimawandel im Bereich Biodiversitätsmanagement leisten (siehe auch Kapitel 4.2.7).

Für die Anpassungsplanung im Bereich Biodiversität kann eine Auflistung besonderer Herausforderungen, betroffener Sektoren (Schweizerische Eidgenossenschaft 2012a) oder eine Unterscheidung direkter Auswirkungen infolge der Veränderung klimatischer Parameter (Kapitel 3.2) und indirekter Folgen z.B. aufgrund von Anpassungsmassnahmen in verschiedenen Sektoren (Kapitel 3.3) hilfreich sein.

Drei Handlungsfelder der Anpassungsstrategie des Bundesrates für den Sektor Biodiversitätsmanagement werden im vorliegenden Bericht ebenfalls aufgegriffen (BAFU 2011): Genpool im Kapitel 4.2.6, Lebensräume und Arten in den Kapiteln 4.2.4 und 4.2.5, Biotopverbund/Vernetzung im Kapitel 4.2.7. Die Handlungsfelder „Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten“ sowie „Ökosystemleistungen“ werden nicht thematisiert, da ersteres von der Fachstelle Naturschutz in einem eigenständigen Dokument behandelt wird und zweiteres weit über die eigentliche Biodiversitätsförderung hinaus geht.

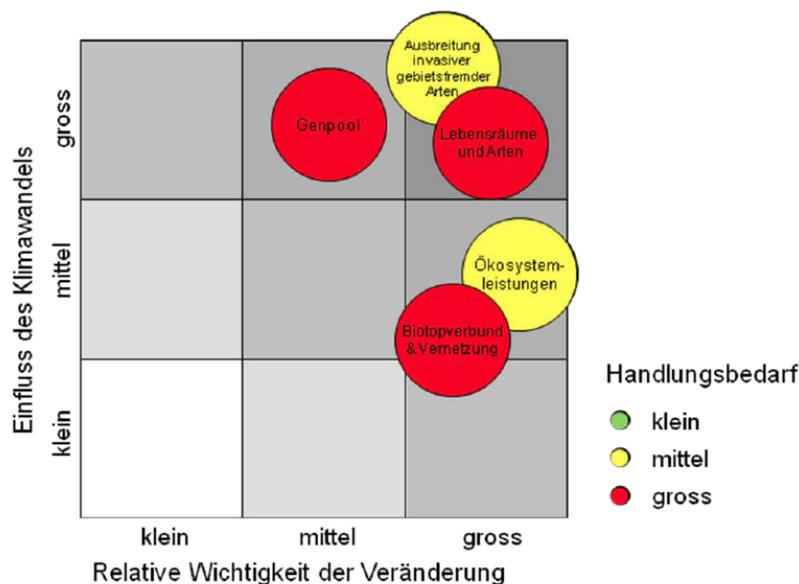


Abbildung 11: Bewertung von Handlungsfeldern im Bereich Biodiversitätsmanagement in der Strategie Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz (BAFU 2011).

Obwohl den Kantonen im Rahmen der nationalen Anpassungsstrategie vom Bund keine detaillierten Vorgaben gemacht werden, sind sie von vielen Massnahmen betroffen (BAFU 2015). Informationsfluss und gute Zusammenarbeit sind deshalb wesentlich. Letztere erfolgt im Bereich Biodiversitätsmanagement zwischen Bund und Kantonen im Rahmen der Programmvereinbarungen im Umweltbereich (Schweizerische Eidgenossenschaft 2014). Ebenso ist eine gezielte Zusammenarbeit unter den Nachbarkantonen wesentlich (Fachstelle Naturschutz Zürich 2012). Dies insbesondere was die Durchgängigkeit der Landschaft, Vernetzung von Lebensräumen und Populationen und Artenförderungsmaßnahmen im Grenzgebiet betrifft.

Ein besonderes Augenmerk sollte darauf geworfen werden, Chancen, die die zukünftigen Veränderungen bieten, zu erkennen und für die Förderung der Biodiversität zu nutzen. *„Wandel als solcher ist weder gut noch schlecht. Es gilt vielmehr, ihn hinsichtlich der Schutzgüter des Naturschutzes und anderer umwelt- und gesellschaftspolitischer Zielsysteme zu beurteilen und aktiv mitzugestalten“* (Essl & Rabitsch 2013).

**Folgende Perspektiven sind dabei bedeutend** (Wilke et al. 2011; Essl & Rabitsch 2013; Mosbrugger et al. 2013):

- Vorsorgender Klimaschutz (Kapitel 4.1) und Anpassungsmaßnahmen zur Vermeidung unerwünschten Wandels sollen möglichst im Einklang mit bestehenden Naturschutzstrategien erfolgen. Dazu bedarf es neuer Methoden und Verfahrensschritte zur Berücksichtigung des Klimawandels in Naturschutzinstrumenten.
- Für den Naturschutz wird es wichtiger, sich mit Aspekten der nachhaltigen Entwicklung zu beschäftigen und Wechselwirkungen damit zu berücksichtigen, z.B. hinsichtlich Klimaschutzmassnahmen. Die eigentlichen Ziele des Naturschutzes sollen dabei aber nicht aufgegeben werden. Dazu ist unter anderem ein kritischer Umgang mit Klimaschutz und Anpassungsmaßnahmen notwendig (Kapitel 3.3). Im Verlauf des Klimawandels werden Abwägungen und Kompromisse mit Zielen in anderen Bereichen notwendig sein, die zu Biodiversitätsverlusten führen können. Die Einzigartigkeit und Unersetzlichkeit von Biodiversitätsaspekten verlangt aber grosse Aufmerksamkeit.
- Der Wandel fordert den zukünftigen Naturschutz, indem die dynamische im Vergleich zu einer bewahrenden Perspektive ein stärkeres Gewicht erhält. Werte, wertgebende Kriterien wie Natürlichkeit oder einheimisch, Leitbilder und Ziele sind zu diskutieren und zu differenzieren. Strategien, Konzepte, Instrumente und Massnahmen bezüglich ihrer Angemessenheit und Eignung hinsichtlich der kommenden Veränderungen kritisch zu prüfen (siehe auch Fachstelle Naturschutz 2012). Dies insbesondere weil mit dem Klimawandel „natürliche“ von menschengemachten Veränderungen schwieriger unterscheidbar werden. Nach wie vor wird aber empfohlen, einerseits erhaltende und dynamische Konzepte zu verfolgen (bewahrend-dynamischer Naturschutz) und andererseits integrative und segregative Strategien beizubehalten.

- Veränderungen der Standortbedingungen, von Artenzusammensetzungen und von Lebensräumen sind unvermeidbar. Die Erhaltung von spezifischen Arten oder Lebensräumen auf bestimmten Flächen wird deshalb teilweise nicht oder kaum mehr möglich sein. Dadurch erhalten die Funktionsfähigkeit von Ökosystemen, deren Resilienz und die Anpassungsfähigkeit der Biodiversität ein stärkeres Gewicht.

Anpassung an den Klimawandel im Bereich Biodiversität heisst nicht nur, konkrete Massnahmen in der Natur zu ergreifen, sondern auch, im planerisch-strategischen Kontext aktiv zu werden. Wilke et al. (2011) haben für die Berücksichtigung des Klimawandels in der Landschaftsplanung (ausgerichtet auf Deutschland) Checklisten für die folgenden Arbeitsschritte erarbeitet:

Orientierung – Bestandeserfassung – Bestandesbewertung – Zielkonzept und Leitbildentwicklung – Handlungsprogramm (Massnahmen und Erfordernisse – Monitoring – Kommunikation und Partizipation).

Trotz neuen Perspektiven behalten aber bestehende Inhalte, Aufgaben und Massnahmen des Naturschutzes ihre Bedeutung; andere Gefährdungsfaktoren sollten keinesfalls vernachlässigt werden (Kapitel 3.3). Es ist jedoch darauf zu achten, dass Massnahmen auch unter veränderten Klimabedingungen ihre Wirkung erfüllen können (Wilke et al. 2011).

In der Schweiz wurde zur Unterstützung der Kantone, Regionen und Gemeinden das Pilotprogramm «Anpassung an den Klimawandel» gestartet. Es zielt darauf ab, innovative und beispielhafte Projekte zur Anpassung an den Klimawandel anzustossen und umzusetzen. Die Projekte sollen dazu beitragen, vor Ort die Klimarisiken zu verringern und die Chancen zu nutzen<sup>14</sup>.

Der Kanton Zürich hat 2007 die Auswirkungen des Klimawandels und mögliche Anpassungsstrategien dargelegt (AWEL & IBK 2007), wobei auch der Bereich Biodiversität berücksichtigt wurde. Momentan erarbeitet der Kanton einen Massnahmenplan Klimawandel (Legislaturziel 7.1g, Legislatur 2015-2019). AWEL & IBK (2007) weisen unter anderem darauf hin, dass Anpassungsmassnahmen auch ihre Grenzen haben: *"Räume, wo sich Menschenleben und Sachwerte nicht mehr mit vernünftigem Aufwand schützen lassen, sollten wieder der Natur oder der Landwirtschaft überlassen werden. Solche Gefahrenzonen sind mit raumplanerischen Mitteln zu sichern."* Eine solche Perspektive bietet auch Chancen für die Biodiversität, indem z.B. auf gewissen Flächen eine (nahezu) ungestörte Entwicklung von Lebensräumen zugelassen werden kann.

### Box: Generelle Aspekte der Anpassung

- Risiken des Klimawandels für die Biodiversität und andere Bereiche werden mit Anpassungsmassnahmen nicht völlig aufgehoben, können aber reduziert werden.
- ⇒ Klimaschutz und insbesondere die Verminderung der Treibhausgasemissionen sind deshalb auch für die Erhaltung der Biodiversität von zentraler Bedeutung.
- Die Anpassungskapazität intakter und biodiversitätsreicher Ökosysteme ist höher als jene beeinträchtigter Ökosysteme.
- ⇒ Die Förderung der Biodiversität auf verschiedenen Ebenen steigert ihre eigene Anpassungskapazität und diejenige in anderen Handlungsfeldern.
- Der Anpassungsbedarf im Bereich Biodiversität wird als hoch eingestuft. Die naturräumlichen Verhältnisse in der Schweiz bieten zwar grundsätzlich gute Voraussetzung für eine selbstständige Anpassung der Biodiversität, allerdings wird diese durch einen ökologisch ungenügenden Zustand der Ökosysteme und der Fragmentierung von Lebensräumen beeinträchtigt.
- ⇒ Anpassungsmassnahmen im Bereich der Biodiversität müssen den ökologischen Zustand der Ökosysteme und die Durchlässigkeit der Landschaft verbessern. Die Schaffung einer ökologischen Infrastruktur bietet die Gelegenheit dies gesamtheitlich umzusetzen.
- ⇒ Eine gezielte und enge Zusammenarbeit zwischen den Nachbarkantonen ist hinsichtlich der grossräumig wirksamen Veränderungen der Biodiversität infolge des Klimawandels wesentlich.
- Aufgrund der zu erwartenden Veränderungen erhält im Naturschutz eine dynamische im Vergleich zu einer bewahrenden Perspektive ein stärkeres Gewicht.
- ⇒ Der Funktionsfähigkeit von Ökosystemen, ihren vielfältigen Wechselwirkungen und sich selbst regulierenden Prozessen sollte im Naturschutz mehr Gewicht und Raum gegeben werden.
- Infolge des Klimawandels werden trotz Anpassungsmassnahmen bedeutende Veränderungen bei der Biodiversität erfolgen. „Natürliche“ Veränderungen werden von menschengemachten schwierigen

<sup>14</sup> <http://www.bafu.admin.ch/klima/> → Fachinformation → Anpassung an den Klimawandel → Pilotprogramm

ger unterscheidbar.

- ⇒ Es wird empfohlen Werte, wertgebende Kriterien (Natürlichkeit oder einheimisch), Leitbilder und Ziele hinsichtlich des Klimawandels zu diskutieren und allenfalls anzupassen.
- ⇒ Zur Berücksichtigung des Klimawandels in Naturschutzinstrumenten bedarf es teilweise neuer Methoden und Verfahrensschritte.

### 4.2.2 Umgang mit Unsicherheiten

Die Klimawandelszenarien weisen bezüglich Ausmass, regionaler Wirkung und Geschwindigkeit nach wie vor grosse Unsicherheiten auf (Kapitel 3.4); nicht aber bezüglich der Richtung der zu erwartenden Veränderungen. Biologische Systeme reagieren oft schleichend oder verzögert auf Umweltveränderungen, und gesellschaftliche Veränderungen sind schwierig vorhersehbar. Entscheidungen über Ausrichtungen und Schwerpunkte im Naturschutz müssen deshalb vermehrt unter relativ grossen Unsicherheiten getroffen werden (Mosbrugger et al. 2013). Anpassungsmassnahmen sollten deshalb möglichst robust, d.h. unter verschiedenen Bedingungen und Auswirkungen des Klimawandels wirksam sein, und vorausschauend erfolgen (Essl & Rabitsch 2013). Solche Massnahmen sind auch als „no-regret“ Massnahmen bekannt. Zu bevorzugen sind zudem Massnahmen mit hoher Relevanz, dringendem Umsetzungsbedarf, Massnahmen deren Wirkungen nachgewiesen (z.B. Sutherland 2015 oder auch <sup>15</sup>) und solche, die leicht umsetzbar sind (Zürcher Kantonalbank 2013). Grundsätzlich soll in der Praxis auch hinsichtlich des Klimawandels nach dem Vorsorgeprinzip gehandelt werden (Mosbrugger et al. 2013). Hilfsmittel bei einer Planung, die erhöhte Unsicherheiten berücksichtigen soll, können Szenarien sowie die vorgängige Prüfung potenzieller Auswirkungen von Handlungen (Synergie-/Konfliktanalyse) sein (Wilke et al. 2011).

Für eine erfolgreiche Förderung und Erhaltung der Biodiversität bedeuten die bestehenden Unsicherheiten, dass diese in die Planung einbezogen werden müssen. Die laufende Erweiterung und Erneuerung von Wissen (Forschung, Monitoringresultate, Wirkungskontrollen,...) verlangen zudem, dass die Planung kontinuierlich wiederkehrend und flexibel angepasst werden sollte. Dies bedingt einen intensiven Austausch zwischen Forschung und Praxis sowie innerhalb dieser Bereiche (siehe z.B. Sutherland 2015).

In der Literatur diskutiert und teilweise gefordert wird auch ein Risikomanagement für den Umgang mit dem Klimawandel im Naturschutz analog den Ansätzen in der Raumplanung. Allerdings ist noch offen, in welchen konkreten Bereichen dies besonders geeignet und wie ein Risikomanagement tatsächlich umgesetzt werden könnte (Wilke et al. 2011).

#### Box: Umgang mit Unsicherheiten

- Entscheidungen über Ausrichtung und Schwerpunkte von Massnahmen im Naturschutz werden zukünftig vermehrt unter relativ grossen Unsicherheiten getroffen werden müssen.
- ⇒ Prioritär sind Massnahmen umzusetzen, die robust, d.h. unter verschiedenen Bedingungen und Auswirkungen des Klimawandels wirksam sind („no-regret“-Massnahmen), deren Wirkungen nachgewiesen ist, besonders relevant und dringend sind sowie solche, die leicht umsetzbar sind. Dabei handelt es sich insbesondere um Massnahmen, welche die Funktionsfähigkeit von Lebensräumen sichern und fördern sowie Populationsgrössen von Arten erhöhen.
- ⇒ Angesichts der Unsicherheiten ist ein Handeln gemäss dem Vorsorgeprinzip absolut zentral.

### 4.2.3 Verminderung nicht klimawandelbedingter Stressfaktoren

Gefährdungs- und Stressfaktoren wirken nicht für sich alleine, sondern in Wechselwirkung miteinander. Dabei weist eine intakte Biodiversität eine höhere Anpassungsfähigkeit auf als eine beeinträchtigte (Kapitel 3.2.4 und 3.3).

Deshalb ist es hinsichtlich des Klimawandels wesentlich, auch nicht direkt Klimawandel-bezogene Massnahmen umzusetzen bzw. die Wirkung von nicht klimabedingten Stressfaktoren zu minimieren (RSPB 2015). Prioritär anzugehen sind dabei Einflussfaktoren und Effekte, die durch den Klimawandel weiter verstärkt werden und Massnahmen, die eine dynamische Anpassung der Lebensräume sowie ihrer Arten und Populationen an sich ändernde Bedingungen unterstützen (Essl & Rabitsch 2013). Es

<sup>15</sup> <http://www.conservationevidence.com>  
<http://www.environmentalevidence.org>

gilt also, bestehende erfolgreiche Massnahmen wie die Wiederherstellung von Ökosystemen weiterzuführen und allenfalls zu intensivieren.

### **Box: Verminderung nicht klimawandelbedingter Stressfaktoren**

- ⇒ Einflussfaktoren, welche die Biodiversität gegenüber dem Klimawandel empfindlicher machen oder deren Auswirkungen durch diesen weiter verstärkt werden (z.B. Entwässerungen, Fragmentierung von Lebensräumen), sind möglichst zu minimieren.
- ⇒ Massnahmen, die eine dynamische Anpassung der Biodiversität an sich ändernde Bedingungen unterstützen (z.B. Vernetzung, Vergrösserung von Populationen) sowie bestehende erfolgreiche Massnahmen sind weiterzuführen und möglichst zu intensivieren.

### **4.2.4 Lebensraumförderung**

Hinsichtlich des Klimawandels kann entweder die Resilienz (Erholungsfähigkeit) von Ökosystemen, wie sie heutzutage bestehen, oder Fähigkeit sich zu wandeln, gesteigert werden. Gemäss IPCC (2014) besteht eine geringe Übereinstimmung, welche Strategie bevorzugt angewendet werden sollte. Bonn et al. (2014) empfehlen für Mitteleuropa als längerfristige Anpassungsmassnahme, den Wandel von Lebensräumen und die Entwicklung neuer Lebensgemeinschaften zuzulassen. Damit ist nicht gemeint Flächen „aufzugeben“, sondern eine dynamische Entwicklung ausgehend von einem intakten Zustand zu erlauben.

Sicherlich wird es mit individuellen Arealverschiebungen von Arten vermehrt zu neuen Artenzusammensetzungen kommen. Deshalb und aufgrund der Verschiebung/Veränderung von Lebensraumpotenzialen wird ein eng standortbezogener Schutz sicherlich nicht mehr genügen.

Um die Resilienz und Anpassungsfähigkeit der Lebensräume zu stärken geht es gemäss Wilke et al. (2011) hauptsächlich um die:

- Erhaltung und Aufwertung von Lebensräumen: Beeinträchtigungen und Gefährdungen von Lebensräumen vermeiden und minimieren, z.B. mittels ausreichend grossen Pufferzonen, da v.a. andere Einflussfaktoren wie die Landnutzung mittelfristig noch einen grösseren Einfluss haben werden als der Klimawandel.
- Wiederherstellung: Beeinträchtigungen, falls möglich und sinnvoll, rückgängig machen (Revitalisierungen von Gewässern und Auen, Wiedervernässung von Mooren)
- Anpassung: Massnahmen einleiten, die mit hoher Wahrscheinlichkeit und unter verschiedenen Szenarien die Resilienz von Ökosystemen hinsichtlich des Klimawandels erhöhen bzw. deren Vulnerabilität minimieren wie z.B. die Verfügbarkeit von Wasser für Risikogebiete in Trockenperioden erhöhen.

Generell ist bei der Bewirtschaftung und der Wiederherstellungen von Lebensräumen (für Schutzgebiete siehe auch Kapitel 4.2.8) wichtig, dass die Standortpotenziale berücksichtigt und genutzt werden. Hinsichtlich des Klimawandels wird es deshalb wichtiger, zu erwartende Standortbedingungen (Lebensraumpotenziale) zu identifizieren (Beierkuhnlein et al. 2014) und in klimatisch geeigneten Gebieten allenfalls auch „Entwicklungsflächen“ auszuscheiden (Reich et al. 2012) bzw. diese möglichst raumplanerisch zu sichern.

Für die Erhaltung und Förderung der Biodiversität sind auch Anpassungsmassnahmen in den Bereichen Böden, Grund- und Oberflächengewässer von hoher Bedeutung. Diesbezüglich ist eine enge Zusammenarbeit der verschiedenen zuständigen Fachstellen notwendig (Kapitel 4.2.9).

### **Feuchtgebiete**

Für Feuchtgebiete und Gewässer spielt der Wasserhaushalt im Einzugsgebiet bzw. die Wasserrückhaltung in Gebieten und auch in der Landschaft die entscheidende Rolle (Mosbrugger et al. 2013). Diese Autoren und Wilke et al. (2011) empfehlen folgende Massnahmen, um die Resilienz des Landschaftswasserhaushaltes zu steigern:

- Stabilisierung der hydrologischen Verhältnisse
  - Sicherung einer ausreichenden Wasserführung in Gewässern\*
  - Verhinderung der Entwässerung von hydromorphen Böden und Mooren und evt. Wiedervernässung

- Wiederherstellung eines natürlichen Bodenwasserregimes durch Rückbau von Drainagen<sup>16</sup>
- Erhaltung und Neuschaffung von Retentionsflächen/Stauräumen hinsichtlich Hochwasser- und Starkregenereignissen), z.B. in Form von Verbreiterung des Gewässerraumes und Überschwemmungsflächen\*
- Einschränkung der Überbauung auf Überflutungsflächen\*
- Angepasste landwirtschaftliche Nutzung\*
- Reduzierung von Nähr- und Schadstoffeinträgen bzw. Verringerung deren Einsatzes\*
- Verringerung des Bewässerungsbedarfes und Hinweise zu Wasser sparenden Methoden in Land- und Forstwirtschaft\*
- Dezentrales Wassermanagement in Siedlungsbereichen
- Versiegelung von Flächen vermeiden und Entsiegelung fördern\*
- Berücksichtigung der Grundwasserneubildung bei Landnutzungsänderungen
- Förderung der künstlichen Grundwasseranreicherung\*

\* AWEL & IBK (2007) sprechen diese Massnahmenansätze, teils in leicht anderer Form, in verschiedenen Handlungsfeldern ebenfalls an.

Zusammenhänge bezüglich der hydrologischen Einzugsgebiete von Mooren in der Schweiz und Möglichkeiten zu ihrer Sicherung („hydrologische Pufferzonen“) sind vom Projekt „Espace marais“, das im Rahmen der Pilotprojekte zur Anpassung an den Klimawandel des Bundesamtes für Umwelt bis 2018 durchgeführt wird, zu erwarten (Grosvernier (Coordination du projet) 2015). In einem weiteren Projekt werden die *Auswirkungen der Klimaänderung auf das Grundwasser und auf Niedrigwasserverhältnisse* in der Schweiz insbesondere im Hinblick auf Trockensituationen untersucht (Schweizerische Eidgenossenschaft 2014).

Auch lokale und etablierte Massnahmen spielen für die Funktionsfähigkeit und zur Steigerung der Anpassungskapazität von Feuchtgebieten eine bedeutende Rolle. Dabei wird auch die Vergrösserung einzelner und der gesamten Feuchtgebietsfläche zur Vergrösserung von Populationen empfohlen (Bonn et al. 2014). Grundwasserganglinien, wie diejenigen von Klötzli (1969) für Zürcher Feuchtgebiete, können genutzt werden, um Richtlinien für das Management des Wasserhaushaltes von Feuchtgebieten zu erarbeiten. Dabei muss allerdings darauf geachtet werden, dass die Referenz-Grundwasserganglinien von hydrologisch intakten Feuchtgebieten stammen. Mit diesem Ansatz wurden z.B. auch Leitlinien für verschiedene Feuchtgebietstypen in Grossbritannien entwickelt (Wheeler et al. 2004; Barsoum et al. 2005). Diese können allerdings nicht direkt für Schweizer Verhältnisse übernommen werden.

Bonn et al. (2014) führen als längerfristige Anpassungsmassnahme auch die Prüfung und Entwicklung von Paludikultur auf organischen Böden auf. Dabei handelt es sich um ökologisch nachhaltige landwirtschaftliche Nutzungsformen von nassen oder wiedervernässten Moorböden, z.B. Anbau von Röhrlicht, Erlen oder Torfmoosen. Damit wird durch die Schonung organischer Böden nicht nur Klimaschutz betrieben, sondern auch Lebensraum für gewisse Arten der Feuchtgebiete geschaffen. Z.B. für den Anbau von Rohrkolben gibt es Analysen zu potenziellen Anbauflächen in der Schweiz sowie Wirkungskontrollen hinsichtlich der Biodiversität von bestehenden Projekten (Schweizerische Vogelwarte 2008; Businet Rohrkolben 2010).

### Gewässer

Bei Gewässern gilt auf Einzugsgebietsebene dasselbe wie für Feuchtgebiete (Bonn et al. 2014). Zusätzlich spielt die Sicherung der longitudinalen, lateralen und vertikalen Durchgängigkeit eine sehr wichtige Rolle (Kapitel 4.2.7). Lokal bestehen mit dem Schutz der Ufervegetation, Anpassungen beim Unterhalt, der Schaffung von Rückzugsmöglichkeiten weitere Anpassungsmöglichkeiten (Mosbrugger et al. 2013; IPCC 2014a). Bezüglich der Wasserführung und -temperatur ist ein besonderes Augenmerk auf Wasserentnahmen (Kühl- und Bewässerungszwecke) zu werfen. Bei Niedrigwasser spielt zudem auch ein einwandfreier Betrieb von Abwasserreinigungsanlagen eine wichtige Rolle, um ungenügende Verdünnungsverhältnisse von gereinigtem Abwasser und Flusswasser sowie damit erhöhte

---

<sup>16</sup> Eine Grundlage für das Auffinden alter Drainagen im Kanton Zürich sind unter anderem die vom Amt für Natur und Landschaft, Abteilung Landwirtschaft auf Werkplänen erfassten drainierten Flächen für jede Gemeinde: <http://www.aln.zh.ch/internet/baudirektion/aln/de/ala/meliorationen/drainageplaene.html>. Eine weitere Grundlage wäre eine systematische Auswertung von CIR- & Echtfarben-Luftbildern in Kombination mit DTM hinsichtlich parallel laufender Drainagerohrstränge bzw. frisch umgebrochener organischer Böden, die an ihrer dunklen Farbe vielfach gut erkennbar sind (pers. Mitteilung A. Grünig).

Konzentrationen von Nährstoffen und Pflanzenschutzmitteln zu vermeiden (AWEL & IBK 2007; Wittmer et al. 2014).

Generelle Empfehlungen für eine nachhaltige Wassernutzung in der Schweiz wurden im Rahmen des NFP61 formuliert (Leitungsgruppe NFP 61 2015).

### Wald

Brang et al. (2014) identifizieren und evaluieren in ihrem Review sechs Prinzipien, um die Anpassungskapazität von Wäldern der gemässigten Zonen Europas aus forstwirtschaftlicher Sicht zu steigern:

- Baumartenvielfalt erhöhen
- Strukturvielfalt erhöhen
- Erhaltung und Förderung der genetischen Vielfalt von einzelnen Baumarten
- Erhöhung der Resistenz individueller Bäume gegenüber biotischen und abiotischen Stressfaktoren
- Ersatz von Waldbeständen, die einem hohen Risiko ausgesetzt sind
- Niedrighaltung des durchschnittlichen Holzvorrates

Sie folgern, dass der heutige naturnahe Waldbau mehrere dieser Prinzipien erfüllt, aber zukünftig auch vermehrt auf weitere Ansätze setzen sollte. Einige dieser Prinzipien wie die Niedrighaltung des durchschnittlichen Holzvorrates oder die Erhöhung der Baumartenvielfalt mit Neophyten stehen aber zumindest teilweise in Konflikt mit Biodiversitätsaspekten oder naturschützerischen Werthaltungen. Für den Kanton Zürich geben Schmider & Nötzli (2009) waldbauliche Empfehlungen im Kontext des Klimawandels. Die Bewirtschaftung sollte sich nach dem naturnahen Waldbau richten, die Bodenfruchtbarkeit erhalten und allenfalls gezielte Pflanzungen vornehmen (Baudirektion Kanton Zürich 2014).

Für den Waldnaturschutz gelten hinsichtlich des Klimawandels grundsätzlich dieselben Überlegungen wie für die generelle zukünftige Biodiversitätsförderung (Kapitel 4.2, Milad et al. (2011)). Die meisten Massnahmen zielen auf eine Erhöhung der Resilienz des Ökosystems Wald (Kapitel 3.2.4). Zusätzlich wird Folgendes als bedeutend erachtet (Milad et al. 2011, 2012; Wilke et al. 2011; Bonn et al. 2014):

- Förderung von naturnahen, vielfältigen, standortgerechten Mischwäldern mit verschiedenen Altersklassen
- Nebeneinander verschiedener Sukzessionsstadien
- Grossflächiges Zulassen der natürlichen Sukzession
- Arten- und genetische Vielfalt von Waldbeständen und auf Landschaftsebene fördern
- Erhöhung der Habitat- und Strukturvielfalt der Wälder auf Ebene Einzelbaum, Bestand und Landschaft
- Verwendung von möglichst heimischen und standortangepassten Baumarten, aber unter gewissen Umständen Pflanzungen toleranterer Baumarten oder Herkünfte zur Erhaltung gewisser Waldfunktionen
- Bodenschutz: Bodenverdichtung, -degradation und Erosion verhindern, da Wasserhaushalt und Bodeneigenschaften hinsichtlich der Reaktion von Waldbeständen auf den Klimawandel eine grosse Rolle spielen
- Wiederherstellung eines naturnahen Wasserhaushaltes von nassen Waldstandorten (Barsoum et al. 2005), Wiedervernässung von Auenwäldern und Aufhebung/Blockierung von Drainagen nasser Waldstandorte

### Box: Lebensraumförderung

- Hinsichtlich des Klimawandels kann sowohl die Resilienz von Ökosystemen wie sie heutzutage bestehen oder die Fähigkeit sich zu wandeln gesteigert werden.
- ⇒ Erhaltungs-, Aufwertungs- und Wiederherstellungsmassnahmen bleiben wichtig zur Förderung der Biodiversität, um unter anderem ihre Resilienz zu steigern.
- ⇒ Längerfristig wird in der Literatur für Mitteleuropa empfohlen, den Wandel von Lebensräumen ausgehend von einem ökologisch guten Zustand der Ökosysteme zuzulassen.
- Der Wandel bietet Gelegenheit, gezielt neue Lebensgemeinschaften zu fördern.
- ⇒ Insbesondere im Siedlungsraum und in anderen stark anthropogen geprägten Systemen verdient dieser Ansatz auch hinsichtlich Ökosystemleistungen vermehrte Aufmerksamkeit.
- Ein eng standortbezogener Schutz der Biodiversität wird aufgrund individueller Arealverschie-

- bungen von Arten und der Veränderung von Lebensraumpotenzialen nicht mehr genügen.
- ⇒ Der Förderung der Biodiversität auf der Gesamtfläche bzw. nicht nur in abgegrenzten Gebieten kommt hinsichtlich des Klimawandels eine grössere Bedeutung zu.
  - Die Auswirkungen des Klimawandels sind stark standortabhängig.
  - ⇒ Der Berücksichtigung von aktuellen und zukünftigen Standortpotenzialen kommt bei der Bewirtschaftung von Gebieten und der Wiederherstellungen von Lebensräumen eine grössere Bedeutung zu.
  - ⇒ Lebensraumpotenzialkarten gemäss heutigen und zukünftigen Standortbedingungen, aber auch sozio-kulturelle Aspekte bilden eine wichtige Grundlage für die Planung.
  - Heterogenität spielt für die Unterstützung der selbstständigen Anpassung der Biodiversität an den Klimawandel eine bedeutende Rolle.
  - ⇒ Die Heterogenität und Vielfalt sollte auf verschiedenen Ebenen (Lebensräume, Gebiete, Landschaft) erhöht werden.
  - Der Optimierung des Wasserhaushaltes in Einzugsgebieten und der Wasserrückhaltung in der Landschaft kommen insbesondere für Gewässer und Feuchtgebiete aber auch für andere Lebensräume eine entscheidende Rolle zu.
  - ⇒ Eine nachhaltige Wassernutzung in verschiedenen Sektoren sollte gefördert sowie Optimierungen des lokalen Wasser- und Bodenmanagements dringend durchgeführt werden.

### 4.2.5 Artenförderung

Arten, die stark vom Klimawandel betroffen sind, können in Zukunft vielerorts sehr wahrscheinlich nur durch spezifische Artenförderungsmassnahmen erhalten werden (Wilke et al. 2011; BAFU 2012b). Dies gilt insbesondere, wenn ein Land/Kanton im europäischen Kontext eine besondere Verantwortung für eine Art aufweist. Dies sind zukünftig nicht unbedingt nur die aktuell gefährdeten oder wenig häufigen Arten, sondern können auch häufige Arten sein, da sie bis 2090 ebenfalls von Veränderungen betroffen sein werden (CH2014-Impacts 2014a). Bestehende Artenschutzprogramme und -massnahmen sind deshalb hinsichtlich Effekten des Klimawandels zu überprüfen (Rabitsch et al. 2010).

Wilke et al. (2011) plädieren zudem für einen gezielten Umgang mit einwandernden Arten mit Berücksichtigung eines allfälligen positiven Beitrages zur europaweiten Erhaltung, der Auswirkungen invasiver Neobiota und der Zusammensetzung und Funktionsfähigkeit neuer Lebensgemeinschaften (siehe auch Kapitel 3.3). So lohnt es sich, bei der Beurteilung von problematischen Arten auch positive Auswirkungen auf andere Arten(gruppen) zu berücksichtigen, wie eine Studie zu einer invasiven Pflanzenart und dem dadurch entstehenden Nahrungsangebot für Insekten zeigt (Russo et al. 2015).

Die Ermittlung und Veränderung der Sensibilitäten, Vulnerabilitäten (Kapitel 3.2.2) und der Anpassungskapazitäten (Kapitel 3.2.2) von Arten hinsichtlich des Klimawandels kann zeigen, welche Arten besonderer Aufmerksamkeit bedürfen. Es zeigt sich, dass viele Arten sehr spezifisch auf direkte und indirekte Folgen des Klimawandels reagieren. Oft sind deshalb artspezifische Lösungen notwendig (Kerth et al. 2014). Im Kanton Zürich wäre zu prüfen, ob allenfalls weitere Arten aufgrund ihrer Empfindlichkeit gegenüber dem Klimawandel als Aktionsplanarten aufgenommen werden bzw. für die Ausscheidung von Aktionsplanarten ein Kriterium "Empfindlichkeit gegenüber dem Klimawandel" aufgenommen wird.

Generell soll der Schwerpunkt von Massnahmen auf der Erhaltung langfristig überlebensfähiger Populationen liegen (siehe Fachbericht Populationsökologie) und auf die Verminderung bestehender Gefährdungsursachen zielen (Wilke et al. 2011). Ziel ist deshalb – wie bei den Lebensräumen – die Schaffung möglichst optimaler Bedingungen für Hochrisikoarten, um sie gegenüber dem Klimawandel weniger verletzlich zu machen. Mit dem Klimawandel ändern sich nicht nur die Verbreitungsgebiete von Arten, sondern auch die zur Verfügung stehende geeignete Habitatsfläche innerhalb ihres Verbreitungsgebietes. Es kommt deshalb nicht nur der Unterstützung von grossräumigen Wanderungsbewegungen (Kapitel 4.2.7), sondern insbesondere auch der Identifikation, dem Schutz und der Wiederherstellung von zukünftig nach wie vor geeigneten Habitatsflächen grosse Bedeutung zu (Garden et al. 2015). Dazu gehört v.a. die Optimierung der Lebensräume und ihrer Funktionsfähigkeit: Wasserhaushalt optimieren, Angebot von vielfältigen mikroklimatisch unterschiedlichen Habitaten innerhalb des Lebensraumes und Vernetzung. Allerdings genügen Sensibilitäts-/Vulnerabilitätsabschätzungen alleine nicht, um Prioritäten bei der Artenförderung festzulegen. Wei-

tere Faktoren wie z.B. Kosten oder Erfolgchancen sollten ebenso berücksichtigt werden (Maggini et al. 2014).

Insbesondere bei Szenarien, die eine starke Veränderung (Erwärmung) vorhersagen, ist mit einem starken Wandel bei den Arten und den Artenzusammensetzungen zu rechnen. Mit Ausnahme von wenigen besonders bedeutenden Arten ist deshalb bei den Massnahmen eher ein Fokus auf Lebensräume angebracht (Bollmann et al. 2012). Entscheide für bestimmte Artenförderungsmassnahmen sollten auf der aktuellen Verbreitung und der potenziellen zukünftigen Eignung eines Gebietes für eine Art basieren. Oliver et al. (2012) schlagen ein entsprechendes Verfahren vor, um geeignete Massnahmen zu identifizieren. Um zu verschiedenen Entscheidungsbäumen zu gelangen, unterscheiden sie in einem ersten Schritt (Abbildung 12):

- Adversely sensitive area: aktuelles Vorkommen im Gebiet, zukünftiges Klima ungeeignet
- Climate overlap area: aktuelles Vorkommen im Gebiet, zukünftiges Klima geeignet
- New climate space area: kein aktuelles Vorkommen im Gebiet, zukünftiges Klima geeignet

Dabei berücksichtigen sie folgende Massnahmen: Pufferzonen, in-situ Management, Wiederherstellung, Neuschaffung, Matrix Management, Translokation, ex-situ Erhaltung, Überwachung und Forschung und Akzeptanz eines Verlustes.

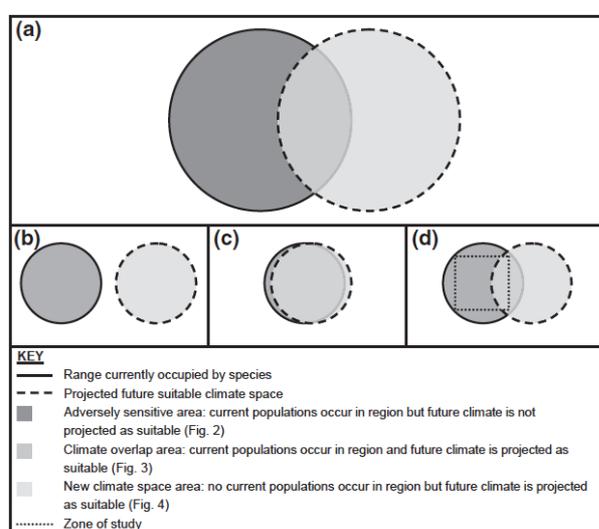


Abbildung 12: Schematische Darstellung der aktuellen Verbreitung einer Art (durchgezogene Linien) und des zukünftig potenziell geeigneten Gebietes für eine Art (gestrichelte Linien), wobei (a) drei Möglichkeiten hinsichtlich der Kombination der heutigen und zukünftigen Eignung existieren (Farbtöne in Abbildung). In (b) überlappen das aktuelle Verbreitungsgebiet und zukünftig potenziell geeignetes Gebiet nicht. In (c) besteht eine grossflächige Überlappung (large climate overlap area). (d) illustriert, dass man das Entscheidungsverfahren zur Identifikation von Massnahmen in der Publikation (siehe Text) auch für einen begrenzten Teil des Verbreitungsgebietes einer Art, z.B. einen Kanton, einsetzen kann (Oliver et al. 2012).

Hoegh-Guldberg et al. (2008) schlagen einen Entscheidungsbaum vor, um Umstände zu identifizieren, unter denen Praktiken der *assisted migration*<sup>17</sup> (siehe Bericht Populationsökologie und Bonn et al. (2014)) in Betracht gezogen werden können. Dabei berücksichtigen sie das Risiko für die Arten durch den Klimawandel, die technische Machbarkeit und den Vergleich von Nutzen und Nachteilen.

Bezüglich Methoden der *assisted migration* besteht gemäss IPCC (2014) eine mittlere Übereinstimmung, ob sie eine nützliche Anpassungsoption darstellen. Diese wären einerseits nötig, weil sich voraussichtlich viele Arten aufgrund des schnellen Klimawandels und einer starken Fragmentierung der Landschaft nicht selbst den neuen Bedingungen anpassen werden können. Andererseits besteht Besorgnis, weil bisherige Einführungen von Arten oft zu unvorhergesehenen und teilweise katastrophalen Auswirkungen führten (Aussterbeereignisse heimischer Arten infolge der Ansiedlung von Neobiota). Dies bezieht sich allerdings v.a. auf grossräumige Umsiedlungen von Arten in Gebiete ausserhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebietes.

### Box: Artenförderung

- Langfristig überlebensfähige Populationen sind die Basis für den Fortbestand einer Art.

<sup>17</sup> Ansiedlung von Arten, die insbesondere durch den Klimawandel gefährdet sind, in zukünftig klimatisch geeigneten Gebieten, die sie selbst nicht (genügend schnell) erreichen können.

- ⇒ Artenförderungsmassnahmen sollten schwerpunktmässig dieses Ziel (Behebung bestehender Gefährdungsursachen und Vergrösserung der Populationen) verfolgen.
- Der Klimawandel führt zu grossräumigen Arealverschiebungen von Arten
- ⇒ Die Anwendung eines Kriteriums „Klimasensibilität/-vulnerabilität“ für die Ausscheidung von Aktionsplanarten im Kanton Zürich ist zu überlegen. Dazu wäre die Ermittlung der Klimasensibilität/-vulnerabilität der Arten oder einer Auswahl von Arten im Kanton Zürich notwendig.
- ⇒ Potenzielle Auswirkungen des Klimawandels sollten bei Artenschutzmassnahmen berücksichtigt bzw. letztere diesbezüglich überprüft werden.
- ⇒ Es wird ein gezielter Umgang mit einwandernden Arten mit Berücksichtigung allfälliger positiver Beiträge zur europaweiten Erhaltung und ihrer Rolle bezüglich der Funktionsfähigkeit neuer Lebensgemeinschaften empfohlen.
- ⇒ Risiken invasiver Neobiota müssen berücksichtigt werden.
- Nicht nur das Verbreitungsgebiet von Arten, sondern auch die geeignete Lebensraumfläche innerhalb ihres Verbreitungsgebietes wird sich verändern.
- ⇒ Insbesondere um klimasensible Arten auf die kommenden Veränderungen vorzubereiten, ist die Schaffung möglichst optimaler Lebensbedingungen prioritär.
- ⇒ Grossräumige Wanderungsbewegungen entlang von Klima- und Standortgradienten müssen erleichtert werden.
- ⇒ Zukünftig geeignete Lebensraumflächen sollten identifiziert, freigehalten, erhalten sowie aufgewertet werden.
- Für die Identifikation geeigneter Massnahmen unter verschiedenen Bedingungen stehen Entscheidungshilfen zur Verfügung.

### 4.2.6 Erhaltung des Genpools

Hinsichtlich der Auswirkungen des Klimawandels ist die Erhaltung eines ausreichend grossen Genpools von Arten und Populationen von besonderer Bedeutung, um die Anpassungsfähigkeit von Populationen und Arten zu ermöglichen und die Evolutionsfähigkeit weiterhin zu ermöglichen (Sarrazin & Lecomte 2016). Von zentraler Bedeutung ist hierbei die Sicherung genügend grosser und fortpflanzungsfähiger Populationen und deren Vernetzung (Fachbericht Populationsökologie sowie Kapitel 4.2.7). Randpopulationen sollten besondere Beachtung finden, wobei bei Erhaltungs- und Fördermassnahmen darauf geachtet werden sollte, dass biogeographische Strukturen nicht künstlich verwischt werden (Bollmann et al. 2012). Bei einer allfälligen Stärkung genetisch verarmter Populationen, Wiederansiedlungen und generell bei Massnahmen in der Land-, Forstwirtschaft, Jagd und Fischerei sollte auf autochthone Herkünfte von Saat- und Pflanzgut bzw. Individuen geachtet werden (BAFU 2012b).

Nicht nur aus Sicht des Naturschutzes, sondern z.B. auch aus land- oder forstwirtschaftlicher Sicht kommt der Erhaltung der genetischen Vielfalt eine hohe Bedeutung zu. So empfehlen Koskela et al. (2007) Massnahmen für seltene Baumarten mit begrenzten Ausbreitungspotenzial, welche in fragmentierten Beständen vorkommen. Baumarten an extremen Standorten (z.B. sehr trockene Standorte) verdienen besondere Aufmerksamkeit, da ähnliche Standorte einerseits weit entfernt sein können und diese Baumarten an spezielle Bedingungen angepasst sind, was hinsichtlich Anpassungsmassnahmen an den Klimawandel interessant sein kann.

Gemäss Modellierungen fördert eine Vergrösserung der Lebensraumfläche und die Vernetzung die Erhaltung der genetischen Diversität von Metapopulationen, während sie infolge des Klimawandels ihr Verbreitungsgebiet anpassen (Cobben et al. 2011). Um längerfristig die ursprüngliche genetische Diversität einer Metapopulation zu erhalten, sind gemäss den Autoren aber weitere Massnahmen wie z.B. die Ex-situ Erhaltung von genetischem Material oder sich wiederholende Umsiedlungen nötig (Kapitel 4.2.4, Fachbericht Populationsökologie).

#### Box: Erhaltung des Genpools

- Für die Anpassungs- und Evolutionsfähigkeit von Populationen und Arten kommt der Erhaltung des Genpools eine grosse Bedeutung zu.
- ⇒ Neben Massnahmen, welche die selbstständige Anpassungsfähigkeit fördern, werden hinsichtlich des Klimawandels in der Literatur vermehrt weitere Massnahmen mit stärkeren menschlichen Eingriffen wie Umsiedlungen oder ex-situ Massnahmen diskutiert.

### 4.2.7 Lebensraumverbund und ökologische Infrastruktur

Gemäss IPCC (2014) besteht eine hohe Übereinstimmung, dass die Erhaltung oder Verbesserung von ökologischen Netzwerken oder Wanderkorridoren einer „low-regret“-Strategie entspricht. Denn nur eine durchlässige Landschaft ermöglicht den Austausch von Individuen zwischen Populationen, damit (in den meisten Fällen) die Erhaltung der genetischen Vielfalt und die genetische Anpassungsfähigkeit von Populationen (siehe auch Bericht Populationsökologie). Dasselbe gilt für saisonale Wanderungen, Ausweichbewegungen bei Extremereignissen und generelle Ausbreitungsbewegungen von Organismen.

Dabei ist sicherzustellen, dass der Lebensraumverbund für ein breites Spektrum von Arten mit unterschiedlichen Eigenschaften und verschiedenen Lebensräumen geeignet ist. Gemäss Reich et al. (2012) ist der Biotopverbund v.a. für Arten mit mittlerer Mobilität wie z.B. Tagfalter wichtig. Für Arten mit geringer Mobilität wie viele Pflanzen sind andere Massnahmen bedeutender (Kapitel 4.2.4, 4.2.5). Zudem ist zu berücksichtigen, dass invasive Neobiota, deren Einwanderung aufgrund des globalen Wandels voraussichtlich eher zunehmen wird, ebenfalls von der Vernetzung profitieren können (IPCC 2014a). Allerdings weisen viele Neobiota sowieso eine hohe Mobilität auf, weshalb sie sich auch unabhängig von Vernetzungsmassnahmen gut ausbreiten können.

Mosbrugger et al. (2013) empfehlen den Aufbau einer „grünen Infrastruktur“ über Biotopverbundsysteme (Vernetzen von Schutzgebieten, Grünbrücken) hinaus. Im Siedlungsgebiet heisst das z.B., dass städtische Grünflächen, Frischluftschneisen, begrünte Dächern bis zu nachhaltigen Technologien und der biodiversitätsfreundliche Bau und Betrieb von Gebäuden in ein Netzwerk einbezogen werden. Eine solche „ökologische Infrastruktur“ ist auch als Ziel in der Strategie Biodiversität Schweiz aufgeführt (Schweizerische Eidgenossenschaft 2012b).

Wichtig ist, dass der Klimawandel in die Methoden (z.B. Population viability assessments, siehe Fachbericht Populationsökologie) und Kriterien für die Planung der Vernetzung und einer ökologischen Infrastruktur einfließt. Insbesondere weil damit zu rechnen ist, dass eine stärkere Variation der Klimabedingungen innerhalb eines Jahres (Kapitel 2) auch die Variation von demographischen Raten wie der Überlebens- oder Fortpflanzungsrate von Populationen erhöht (Verboom et al. 2010). Teilpopulationen, die zwar vernetzt, aber verschiedenen Standortbedingungen ausgesetzt sind, würden die Metapopulation stabilisieren. Letztere Autoren schlagen aufgrund von Simulationen vor, dass eine Vergrösserung von besonders geeigneten Flächen (Kerngebiete = key patches)<sup>18</sup> innerhalb eines Lebensraumnetzwerkes die Folgen einer erhöhten Variation von demografischen Raten (Kapitel 3.2.2) kompensieren kann. Heute geeignete Kerngebiete sollten deshalb auf ihre Sensibilität hinsichtlich des Klimawandels geprüft werden. Dies insbesondere da die Bedeutung von solchen Flächen mit dem Klimawandel zunimmt (Kapitel 4.2.8).

Um die Durchlässigkeit der Landschaft zu gewährleisten, sollten grossräumige Verbundsysteme wie eine ökologische Infrastruktur die voraussichtlichen horizontalen (Himmelsrichtungen) und vertikalen (über Höhenzonen) Wanderungsrichtungen von Arten berücksichtigen (Reich et al. 2012). D.h. eine Ausrichtung entlang von Klimagradien (IPCC 2014a) sowie lokal und regional auch entlang von Standortgradienten wird wichtiger (Reich et al. 2012). Dazu sind geeignete Flächen und Korridore zu identifizieren. Ebenso sollte eine ökologische Infrastruktur hinsichtlich potenziell in Refugialräumen gefangener Arten und bedeutender neu zuwandernder Arten entwickelt werden. Die weitere Fragmentierung der Landschaft und der Lebensräume ist unbedingt zu vermeiden. Bedeutend ist auch die Aufhebung anthropogener Barrieren (Reich et al. 2012). In der Landschaft ist eine hohe zeitliche und räumliche Habitatheterogenität mit einem abgestuften Nutzungsregime für die Biodiversität förderlich (Wilke et al. 2011; Bollmann et al. 2012). Generell erhält die Landschaft hinsichtlich des Klimawandels also eine höhere Bedeutung für den Naturschutz (Fachstelle Naturschutz Zürich 2012). Ein integriertes Management von gesamten Landschaften wird notwendig (Beierkuhnlein et al. 2014) und kann im Rahmen einer ökologischen Infrastruktur umgesetzt werden.

Als Anpassungsstrategie auf der Landschaftsebene schlagen Vos et al. (2008) Folgendes vor:

- Konnektivität zwischen ökologischen Netzwerken grossskalig (überkantonal und international) erhöhen. Dazu müssen isolierte Gebiete identifiziert und an „klimasichere“ Netzwerke angeschlossen werden. Insbesondere sollen auch Lebensräume in zukünftig potenziell geeigneten Gebieten (**new climate space**) in solche Netzwerke integriert werden.

---

<sup>18</sup> Kerngebiete (key patches) sind grosse Flächen, die in einem Lebensraumverbund eine stabilisierende Funktion wahrnehmen. Lebensraumnetzwerke mit solchen Kerngebieten können deshalb kleiner sein, als Netzwerke, die nur aus kleineren Flächen bestehen.

- In Gebieten mit kleinen oder weit verteilten Quellpopulationen sollte die Grösse und Dichte von ökologischen Netzwerken erhöht werden, um die Ausbreitung und damit auch die Neubesiedlung von zukünftig geeigneten Gebieten zu begünstigen. Diese Strategie sei insbesondere für Feuchtgebiet-Ökosysteme dringend. Zudem ist diese Erhöhung der Besiedlungskapazität insbesondere in sogenannten „**overlap zones**“, d.h. in Gebieten, die über mehrere Zeitperioden hinweg klimatisch geeignet bleiben, anzustreben.
- Generell sollen ökologische Netzwerke in Gebieten, in denen sich das Klima kaum verändert (**climate refugia**) optimiert werden.

Diese Punkte werden grundsätzlich von Reich et al. (2012) bestätigt. Sie weisen zusätzlich darauf hin, dass die Identifikation und der Einbezug von „Flaschenhals“-Gebieten wichtig ist, um die Vernetzung klimawandelsicher zu gestalten.

### Box: Lebensraumverbund und ökologische Infrastruktur

- Die Erhaltung oder Verbesserung von ökologischen Netzwerken entspricht einer „low-regret“-Strategie. Das heisst sie ist bei verschiedenen Klimawandel-Szenarien wirkungsvoll.
  - Mit den zu erwartenden Arealverschiebungen gewinnt die Qualität und Durchlässigkeit der Landschaft und damit eine biodiversitätsfreundlichere Landnutzung an Bedeutung.
  - Um die Biodiversität gesamtheitlich und auch langfristig hinsichtlich kommender Veränderungen zu erhalten, wird der Aufbau einer ökologischen Infrastruktur empfohlen, die über einzelne Biotopverbundsysteme hinaus geht.
- ⇒ Damit eine ökologische Infrastruktur langfristig wirksam bleibt, sollte in der Planung der Einfluss des Klimawandels berücksichtigt und die Vernetzung entlang von Klima- und Standortgradienten ausgerichtet werden.
- ⇒ Es wird empfohlen, innerhalb einer ökologischen Infrastruktur:
- Netzwerke in Gebieten, die sowohl aktuell wie auch zukünftig geeignet sind, zu optimieren,
  - die Besiedlungskapazität von Gebieten, die über mehrere Zeitperioden geeignet sein werden, zu erhöhen und,
  - zukünftig potenziell geeignete Gebiete in die ökologische Infrastruktur zu integrieren.

### 4.2.8 Schutzgebiete

Schutzgebiete sind für die Erhaltung und Förderung der Biodiversität als eines der wichtigsten Instrumente anerkannt. So zeigen z.B. Jackson & Gaston (2008), dass in Grossbritannien (UK) mehr als die Hälfte der Arten, die entweder weltweit bedroht oder in UK einen starken Rückgang erleiden, für ihr Überleben stark auf das Schutzgebietssystem angewiesen sind. In der Schweiz befindet sich ca. die Hälfte der Populationen von 502 der 708 Prioritären Arten der Kategorie 1 und 2 innerhalb der aktuellen Schutzgebiete (Fivaz 2012). Gewisse Lebensraumtypen würden ohne den strengen Schutz kaum mehr existieren. Schutzgebiete sind deshalb wesentliche Bestandteile (Kerngebiete) einer ökologischen Infrastruktur (siehe auch Kapitel 4.2.7).

Aufgrund zukünftiger Veränderungen durch Klimawandel und andere Einflussfaktoren erfüllen jedoch Schutzobjekte mit fixen Grenzen für sich alleine gewisse der ihnen zugesprochenen Funktionen – Erhaltung der Lebensräume und ihrer Arten – nicht mehr. Das heisst aber nicht, dass sie ihre Bedeutung verlieren (siehe folgende Abschnitte). Aufgrund bisheriger Beobachtungen und Modellierungen muss damit gerechnet werden, dass der Klimawandel zu Verlusten von Zielarten in Schutzgebiet(system)en (Essl & Rabitsch 2013), einer anderen Vegetation in einem bedeutendem Anteil der Gebiete (Hickler et al. 2012) und einer geringeren Differenzierung der Arten- und Lebensraumvielfalt in Gebieten führen könnte, da Verschwinden und Einwanderung von Arten nicht gleich schnell erfolgen (Pompe et al. 2010).

Dies heisst aber nicht, dass bestehende Schutzgebiete ihre Rolle verlieren. Hinsichtlich des Klimawandels nimmt ihre Bedeutung sogar zu (Wilke et al. 2011). Sie sind freigehaltene, unverbaute Flächen, die aufgrund ihres relativ guten Zustandes im Vergleich zu anderen Flächen Störungen des Naturhaushaltes abpuffern (TEEB DE 2015). Ihre Artenvielfalt bildet eine Ressource für die Zukunft (Huber & Hedinger 2008). Sie sind an den bisherigen Standorten sehr wichtig für die Habitatskontinuität (Bollmann et al. 2012). Sowieso erfüllen Schutzgebiete multifunktionale Aufgaben und verlieren z.B. aufgrund des Verlustes einer Art nicht ihren Wert (Petermann et al. 2007). Viele Arten reagieren auf veränderte Umweltbedingung mit einer Veränderung ihres Ausbreitungsgebietes. Schutzgebiete können die Ausbreitung erleichtern, indem sie unter anderem als Ausgangsort für Ausbreitungen oder als Ansiedlungszentren für neu zuwandernde Arten dienen (Thomas et al. 2012; Hiley et

al. 2013). Da eine grössere geschützte Fläche mehr Ausweichmöglichkeiten für Arten bietet und eine ausgleichende Wirkung auf den Naturhaushalt hat, schreiben Beierkuhnlein et al. (2014) der Ausweitung der Schutzgebiete eine grosse Bedeutung zu und empfehlen die Erarbeitung eines Konzepts zur zeitlichen Entwicklung bestehender und Ausweisung neuer Schutzgebiete für die kommenden Jahrzehnte.

Allerdings wird empfohlen, Schutzgebiete nicht nur für bestimmte Arten zu konzipieren, da unsicher ist, ob die klimatischen Bedingungen in Zukunft noch für sie geeignet sein werden (Vittoz et al. 2010). Ebenso ist zu überlegen, wie mit bestehenden Lebensraum-spezifischen Schutzgebieten umgegangen wird, wenn sich deren Lebensgemeinschaften und Lebensräume umwandeln. Wildnis- bzw. Prozessschutzgebiete (z.B. Naturwaldreservate) werden ihre Funktionsfähigkeit voraussichtlich durch eigenständige Anpassung erhalten können. Schutzgebiete, die für die Erhaltung von Kulturlandschaftselementen und entsprechenden Arten eingerichtet wurden, benötigen aber eine Art adaptives Management. Das heisst Zielvorstellungen, Schutzgebietsverordnungen, Entwicklungskonzepte, Pflegepläne und Management müssen regelmässig überdacht, überarbeitet und angepasst werden (Wilke et al. 2011; TEEB DE 2015). Bei Änderungen muss allerdings sehr vorsichtig vorgegangen werden, da Prognosen und Szenarien mit grossen Unsicherheiten behaftet sind (Essl & Rabitsch 2013). Generell werden die Berücksichtigung von Prozessen, das Beobachten der Entwicklungen und entsprechende Reaktionen wichtiger (Huber & Hedinger 2008). Man muss lernen neue Qualitäten bei Lebensräumen zu erkennen (Fachstelle Naturschutz Zürich 2012). Zur Gewährleistung der Wirksamkeit von Schutzgebieten ist nach wie vor wichtig, dass bisherige Belastungen reduziert werden (Kapitel 4.2.3).

Je nach Lebensraum und Region sind Schutzgebiete unterschiedlich empfindlich auf Auswirkungen des Klimawandels. Eine Einschätzung der Vulnerabilität von Schutzgebieten kann anhand der ändernden Exposition, der Anpassungsfähigkeit und der biotischen Sensibilität erfolgen (Vohland et al. 2013). Wichtige Kriterien sind auch die Flächengrösse, Art und Qualität des Schutzgebietsmanagements, Einbettung in die Landschaft, Vernetzung mit anderen Schutzgebieten und die klimatische Heterogenität innerhalb des Gebietes (Essl & Rabitsch 2013). Für eine erfolgreiche Anpassung an den Klimawandel ist bezüglich Schutzgebieten wichtig, dass sie möglichst gross und vielfältig, gut mit Korridoren und Trittsteinen vernetzt und in eine ökologische Infrastruktur eingebettet sind (Kapitel 4.2.7) (Fischer 2011). Das heisst es muss regional geplant und die Umgebung einbezogen werden (IPCC 2014a).

West et al. (2009) präsentieren in ihrem Review Strategien bezüglich Managementanpassungen in Schutzgebieten, konkrete Massnahmenbeispiele sowie Hürden und Möglichkeiten. Gemäss Essl & Rabitsch (2013) stellen sich für das Management von Schutzgebieten allerdings keine grundsätzlich neuen Anforderungen.

Folgende Punkte seien hinsichtlich des Klimawandels aber besonders bedeutend:

- Reduzierung bestehender negativer Einflüsse
- Stärkung von Massnahmen zur Begrenzung des Klimawandels (Kapitel 4.1)
- Verbesserung der Bedingungen für die vorkommenden Arten und Lebensräume (Kapitel 4.2.4, 4.2.5)
- Überwachung und Management invasiver Neobiota (Kapitel 4.2.9)
- Schaffung von Referenzflächen zur Beobachtung der Auswirkungen des Klimawandels (Kapitel 4.2.9)
- Verstärkte Berücksichtigung potenzieller Auswirkungen des Klimawandels bei der Managementplanung, v.a. bei langfristigen Zielen und Massnahmen
- Berücksichtigung von Potenzialräumen als Trittsteine, um Wanderungen zu ermöglichen
- Sicherung von Potenzialräumen für neu einwandernde Arten entlang klimatischer und ökologischer Gradienten

### **Box: Schutzgebiete**

- Schutzgebiete sind für die Erhaltung und Förderung der Biodiversität ein anerkanntes Instrument und gewinnen mit dem Klimawandel sogar an Bedeutung. Sie erhöhen die Überlebensfähigkeit von Populationen und erleichtern die Ausbreitung von Arten.
  - Für eine erfolgreiche Anpassung von Schutzgebieten an den Klimawandel ist wichtig, dass sie einen ökologisch guten Zustand aufweisen.
- ⇒ Das heisst: die Funktionsfähigkeit der Lebensräume und ihrer Gemeinschaften muss gegeben sein, die Gebiete müssen möglichst gross und vielfältig sein, bestehende negative Einflüsse

müssen reduziert werden und die Gebiete sollten gut mit Korridoren und Trittsteinen vernetzt sowie in eine ökologische Infrastruktur integriert werden.

- Innerhalb der Schutzgebiete ist längerfristig mit Veränderungen der Lebensgemeinschaften zu rechnen. Neue Lebensgemeinschaften können aus Biodiversitätssicht zumindest längerfristig ebenso wertvoll sein wie die bestehenden.
- ⇒ Aufgrund des Klimawandels und des laufend aktualisierte diesbezügliche Wissen sollten Strategien für Schutzgebiete und ihr Management regelmässig überdacht und bei Bedarf mit der nötigen Vorsicht angepasst werden.
- Um Lebensräume zu sichern und um aktuell vorkommenden sowie neu einwandernden Arten zukünftig Lebensraum zu bieten, ist die Freihaltung von Potenzialräumen wichtig.
- ⇒ Potenzialflächen für die Biodiversität sollten identifiziert und gesichert werden.
- ⇒ Ein Konzept zur zeitlichen Entwicklung (Optimierung der Qualität und Ausdehnung der Fläche) bestehender und Ausweisung neuer Schutzgebiete und/oder weiterer Biodiversitätsflächen für die kommenden Jahrzehnte kann diesbezüglich die Richtung weisen.

### 4.2.9 Sektorübergreifende Zusammenarbeit

Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität wirken zu einem grossen Teil im Tätigkeitsbereich von Sektoren (Raumplanung, Land-, Forst-, Wasserwirtschaft und andere), in denen der Naturschutz herkömmlicherweise nur begrenzte Möglichkeiten zur Einflussnahme hat. Massnahmen zur Förderung der Biodiversität müssen aber oft in diesen spezifischen Sektoren umgesetzt werden. Zukünftig werden zudem sektorspezifische Klimaschutz- und Anpassungsmassnahmen bedeutende Auswirkungen auf die Biodiversität haben (Kapitel 3.3). Umgekehrt sind auch Rückwirkungen von Veränderungen und Anpassungsmassnahmen im Bereich Biodiversität für andere Handlungsfelder ebenfalls relevant und interessant (Mosbrugger et al. 2013). Die Erhaltung und Förderung der Biodiversität kann deshalb mit Massnahmen im engeren Tätigkeitsfeld des Naturschutzes alleine nicht gewährleistet werden.

Beim Biodiversitätsmanagement handelt es sich deshalb um eine Querschnittsaufgabe. Eine Mitwirkung des Naturschutzes bei Klimaschutz- und Anpassungsmassnahmen anderer Sektoren bzw. eine enge Zusammenarbeit und steter Austausch zwischen verschiedenen Zuständigkeitsbereichen sowie die Prüfung potenzieller Auswirkungen auf die Biodiversität sind deshalb sehr wichtig (Wilke et al. 2011; Schweizerische Eidgenossenschaft 2012a). Kooperationen und Win-Win-Lösungen sollten gezielt gesucht werden. Dabei sind auch indirekte oder sekundäre Auswirkungen (Kapitel 3.3) zu beachten. In der Politik sei diesbezüglich „eine Integration von Klimapolitik, Naturschutzpolitik und weiteren sektoralen Politiken im Sinne einer nachhaltigen Landnutzung“ nötig (Mosbrugger et al. 2013).

Auf Bundesebene soll die diesbezügliche Koordination zwischen den Sektoren im Rahmen der Programmvereinbarungen im Umweltbereich und der Umsetzung der Strategie Biodiversität Schweiz erfolgen. Allerdings fehlt für die Abstimmung der Massnahmen von Bund und Kantonen zur Bewältigung der sektorenübergreifenden Herausforderungen bei der Anpassung an den Klimawandel noch ein geeignetes Gremium (Schweizerische Eidgenossenschaft 2014). Um ein abgestimmtes Vorgehen zwischen Bund und Kantonen bei der Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz zu erreichen, wurde eine Arbeitshilfe erarbeitet (BAFU 2015).

Anpassungsmassnahmen in anderen Sektoren mit positiver Auswirkungen auf die Biodiversität sind:

- Siedlungsraum (Mosbrugger et al. 2013; Zürcher Kantonalbank 2013)
  - Sicherung und Aufwertung bestehender Freiräume
  - Klimagerechte Gestaltung der Grünflächen, Vermehrung und Anpassung des Stadtgrüns durch die Wahl geeigneter Arten und Vegetationstypen sowie durch eine stärkere Berücksichtigung der Spontanvegetation.
  - Begrünung der „grauen“ Freiräume und von Gebäuden
  - Verringerung der versiegelten Fläche bzw. Festlegung eines maximalen Versiegelungsgrades
  - Entsprechende Information von privaten Eigentümern bezüglich Anpassungsmassnahmen
- Forstwirtschaft (Kapitel 4.2.4)
- Landwirtschaft (Mosbrugger et al. 2013)
  - Förderung der Erhaltung der Artenvielfalt, der Diversifizierung und Nachhaltigkeit der Produktion als Voraussetzung für eine hohe Agrobiodiversität und Anpassungsfähigkeit
  - Schutz der Böden mit ihren wichtigen Funktionen (verschiedene Sektoren)

- Dem Klima angepasste Wahl von Kulturarten und -sorten, um unerwünschte indirekte Effekte auf die Biodiversität z.B. via Einsatz von Pflanzenschutzmitteln oder Bewässerungsbedarf zu minimieren
- Minimierung von mit dem Klimawandel wechselwirkender Faktoren wie z.B. der Eutrophierung durch eine Verbesserung der Stickstoffeffizienz
- Gesundheit (Mensch und Tier) (Mosbrugger et al. 2013)
  - Umgang mit invasiven Neobiota (z.B. *Ambrosia artemisiifolia*, *Heracleum mantegazzianum*) und durch den Klimawandel begünstigten einheimischen Arten (z.B. Eichenprozessionsspinner), die ein Risiko für die Gesundheit von Mensch, Nutz- und Wildtieren darstellen
  - Abwehr invasiver Stechmückenarten, Verringerung geeigneter Brutgewässer an Risikostandorten (Verbesserung der Abfallbeseitigung bei Raststätten, Handel und Lagerung von Altreifen). Ähnliches gilt für weitere tierische Vektoren von Krankheiten
  - Sicherung der Wasserqualität

Gerade bei der Zusammenarbeit mit anderen Sektoren ist auch die Erhaltung multifunktionaler Ökosystemleistungen neben der eigentlichen Biodiversität ein wichtiges Ziel (BAFU 2011) und Argument, wobei aber auch Zielkonflikte möglich sind (Kapitel 3.3).

### Box: Sektorübergreifende Zusammenarbeit

- Der Klimawandel beeinflusst die Biodiversität zu einem grossen Teil über Veränderungen, die nicht im engeren Tätigkeitsbereich des Naturschutzes stattfinden, sondern im Zuständigkeitsbereich von verschiedenen Sektoren (Land-, Forst-, Wasserwirtschaft, Raumplanung u.a.)
  - Diverse Anpassungsmassnahmen in anderen Sektoren/Handlungsfeldern mit positiven Auswirkungen auf die Biodiversität sind bekannt.
- ⇒ Die sektorübergreifende Zusammenarbeit zur Identifikation von potenziellen Synergien und Konflikten von Klimaschutz-/Anpassungsmassnahmen sind unerlässlich für die Biodiversitätserhaltung und nachhaltige Nutzung. Dabei sollten, Synergien gezielt genutzt und Konflikte minimiert werden.

### 4.2.10 Monitoring

Eine ausführliche Zusammenstellung von generell hinsichtlich des Klimawandels relevanter Monitoringsysteme findet sich in ProClim (2015).

Für Aussagen bezüglich den Auswirkungen des Klimawandels sind Anpassungen in Teilaspekten gewisser Programme oder eine gezielte Auswahl und Analyse der Daten, die bereits erhoben werden, hilfreich. Bezüglich Organismen wird ein Monitoring Klimawandel-empfindlicher Arten empfohlen, um rechtzeitig geeignete Massnahmen ergreifen zu können (Vittoz et al. 2010; Schweizerische Eidgenossenschaft 2014). Dies wird für Vogelarten bereits gemacht (Zbinden et al. 2012) und ist für Schmetterlinge vorgeschlagen (van Swaay et al. 2008). Als Indikatoren eignen sich z.B. der „Climate Impact Indicator“ (positiv oder negativ beeinflusste Arten), der „Community Temperature Index“, der jeder Art eine mittlere Temperaturnische zuweist und die Werte entsprechend der Häufigkeit einer Art gewichtet und mittelt (Mosbrugger et al. 2013). Zumindest teilweise ist auch der Rote Liste Status dazu geeignet (Kapitel 3.2.2 → Sensibilität). Ebenso vermag das Biodiversitätsmonitoring Schweiz zumindest auf nationaler Ebene Veränderungen infolge des Klimawandels nachzuweisen (Koordinationsstelle BDM 2013). Für Deutschland wurde die Einführung eines Monitorings empfohlen, das ökologische Veränderungen infolge des Klimawandels erfasst. Ein solches sollte über Veränderungen auf Artniveau hinaus gehen (z.B. Interaktionen) (Mosbrugger et al. 2013).

Um die Wirksamkeit von Massnahmen zu überprüfen, ist die Wirkungskontrolle unabdingbar (Beierkuhnlein et al. 2014). Um Wissen für weitere Massnahmen zu sammeln, sollten klimawandelbedingte Veränderungen nicht nur auf Flächen mit gezielten Eingriffen, sondern auch bei ausgewählten Standorten ohne menschliche Eingriffe beobachtet werden (Wilke et al. 2011).

### Box: Monitoring

- Ein Monitoring der Veränderungen infolge des Klimawandels erlaubt frühzeitig Massnahmen ergreifen zu können. Mit Erfolgs- und Wirkungskontrollen lässt sich die Wirksamkeit von Massnahmen überprüfen und Wissen für weitere Tätigkeiten sammeln.
- ⇒ Für Aussagen Kantonsebene sowie für spezifische Fragen (z.B. für Aktionsplanarten) soll die Eignung nationaler Monitoring-Ansätze geprüft werden, bevor ein kantonales System aufgebaut wird. Allenfalls kann eine Verdichtung der nationalen Probenahmepunkte Sinn machen.

### 4.2.11 Kommunikation

Die Thematik des Klimawandels und seiner Auswirkungen auf die Biodiversität ist komplex und mit relativ hohen Unsicherheiten behaftet. Zudem beruhen viele Entscheidungen im Naturschutz auf sozio-kulturellen Werten. Deshalb und um die Akzeptanz des Naturschutzes zu gewährleisten, kommt einer verständlichen Kommunikation von Entwicklungen und geplanter/ergriffener Massnahmen eine hohe Bedeutung zu (Beierkuhnlein et al. 2014). Klare, aber verständliche Differenzierungen von Teilaspekten und die Vermittlung der Bedeutung der Funktionsfähigkeit von Systemen sind nötig.

Auswirkungen des Klimawandels können z.B. in einfach verständlicher Form mittels Flagship-species von klimasensibler Arten oder Lebensräumen (WWF 2015) oder Indices wie dem Swiss Bird Index SBI® Climate Change (Zbinden et al. 2012) kommuniziert werden. Dabei muss die Auswahl der Arten sowohl aus natur- als auch sozialwissenschaftlicher Sicht vorsichtig vorgenommen werden, um Erfolge und nicht kontraproduktive Ergebnisse zu erzielen (Caro 2010).

#### Box: Kommunikation

- Um die Akzeptanz der Biodiversitätserhaltung und -förderung unter den erwarteten, grossen Veränderungen infolge des Klimawandels zu gewährleisten, spielt eine verständliche Kommunikation zu Entwicklungen, Strategien, Massnahmen und deren Bedeutung eine wichtige Rolle.

## 5 Wissenslücken

Nach wie vor bestehen bezüglich des Klimawandels, seiner Auswirkungen und dem Umgang damit neben Unsicherheiten (Kapitel 3.4) auch Wissenslücken. Zu berücksichtigen ist insbesondere, dass es sehr wahrscheinlich viele Aspekte bezüglich des Klimawandels und den Auswirkungen auf die Biodiversität geben wird, von denen wir nicht wissen oder nicht erwarten, dass sie sich ändern oder relevant sein werden (Bradshaw 2015).

Im Aktionsplan Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz wurden Wissenslücken für die verschiedenen Handlungsfelder identifiziert und spezifisch Massnahmen zur Reduktion von Unsicherheiten und Wissenslücken erarbeitet (Schweizerische Eidgenossenschaft 2014, Kapitel 5.2). ProClim (2015) listet angelehnt an die Handlungsfelder der Anpassungsstrategie Wissenslücken auf. Diejenigen für das Handlungsfeld Biodiversitätsmanagement sind in Tabelle 6 aufgeführt.

Mosbrugger et al. (2013) betonen die Bedeutung transdisziplinärer Ansätze für Forschung im Bereich Klima und Biodiversität, wenn sie gesellschaftlich wirksam sein soll. Zudem gilt es, in den zwei Bereichen die sozialwissenschaftlichen Defizite (Faktoren, die Handlungsmotivation im Bereich des Klimaschutzes und der Biodiversitätsförderung wecken oder verhindern, Problemwahrnehmung, Einfluss der Biodiversität auf das menschliche Wohlbefinden und andere) zu überwinden.

Tabelle 6: Wissenslücken im Handlungsfeld Biodiversitätsmanagement gemäss dem Aktionsplan Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz basierend auf einer ExpertInnen-Befragung (ProClim 2015), unterteilt nach möglichen Auswirkungen des Klimawandels und Anpassungsmassnahmen.

### Mögliche Auswirkungen

Vertiefte Kenntnisse zur Reaktion von Arten und Lebensräumen nicht nur auf Durchschnittstemperaturen, sondern auch Extremereignisse (Temperatur und Niederschlag).

Verbreitung von Neophyten im Gebirge

Identifikation der verantwortlichen Faktoren für Bestandsveränderungen bei Brutvögeln (Klimaveränderung im Brutgebiet Schweiz als zusätzlicher Faktor neben Klimaveränderung im Durchzugs- und Überwinterungsgebiet, Lebensraumveränderungen, Prädatoren, etc.)

Gletscherrückgang führt je nach Untergrund über die Jahre zu neuen Flächen für die Biodiversität allgemein und Vögel im speziellen: Identifikation von Nutzungskonflikten mit möglichen anderen Nutzern (u.a. Tourismus, Freizeitsport) und Priorisierung von Vorrangflächen für die Biodiversität

Bedeutung der Vernetzung für den Erhalt der Biodiversität unter Klimawandel (grüne Infrastruktur)

Auswirkungen veränderter Diversität auf ein Ökosystem

Einfluss veränderter Bedingungen auf Diversität (Arten, Genotypen)

Auswirkungen des Klimawandels auf Ökosystemleistungen (massgebende Klimaparameter, die entscheidend sind für den Erhalt bzw. das Verschwinden von Arten. Z.B. Frost, Trockenperioden etc.)

Kenntnisse von ökophysiologischen Schlüsselfaktoren von naturschutzrelevanten Zielarten

Grundlagenwissen zur funktionalen Biodiversität, natürliche Gegenspieler, optimale Zusammensetzung von Ackergemeinschaften, Interaktion von Pflanze - Pflanze sowie Pflanze - Bodenorganismen zur optimalen Nutzung vorhandener Ressourcen

Auswirkungen der Energiewende auf Ökosysteme (Faktoren der Energiewende die positiv oder negativ beeinflussen (M))

Zu welchem Anteil sind Veränderungen der Vegetation wirklich klimabedingt, zu welchem Anteil sind andere Faktoren massgebend?

Auswirkungen veränderter Umweltbedingungen auf Einzelarten in Stress- und Erholungsphasen sowie die Interaktion zwischen den einzelnen Organen (Wurzel, Blätter etc)

Grundlagen: Messwerte zum Klima in (hoch)alpinen Lagen; Bedeutung der Schneebedeckung für Veränderungen in alpinen Ökosystemen

### Anpassung

Grenzen von adaptivem Habitatmanagement, das sich gegen klimabedingte natürliche Prozesse richtet (Wie schnell können sich Arten anpassen?)

Grundlagenwissen zu Anpassungsstrategien verschiedener Pflanzenspezies an den Standort auf molekularer bzw. physiologischer Ebene (Epigenetische Mechanismen). (M)

Ökosysteme (z.B. Grasland): Komplexe Systeme in ihrem zeitlichen Ablauf. Unerwartete Ergebnisse. Etablierung von veränderten / angepassten Systemen.\*

Verknüpfung Aktionsplan Biodiversität mit Klimawandel im Gebiet der Stadtökologie: Welche Arten soll man wählen, wie reagieren die Arten auf Klimaänderung und wie wirken die Pflanzen als „temperaturausgleichendes“ System?\*

Reaktionsnorm (physiologische und morphologische Anpassungsfähigkeit) bei verschiedenen Arten und Populationen (M), Wechselwirkungen von Organismen mit unterschiedlichen Reaktionsnormen (Mismatch)

Auswirkungen von starken Klimaänderungen auf Anpassung (genetisch) bzw. auf Migration von Arten, um an Orte hinzukommen, wo Umweltbedingungen und lokal angepassten Genotypen übereinstimmen

Dringlicher Mangel an fähigen Spezialisten zur Artbestimmung in der Biologie (Bioindikation als Instrument zur Beobachtung der Umweltdynamik)

Ungenügende Kompetenzen in der Schweiz zu Lebensgemeinschaften und zu Ökosystemen, zur Beurteilung von Anpassungsmassnahmen

Die heute verfügbaren Daten zur Vegetationsdecke der Schweiz genügen nicht, um allfällige Veränderungen in der Zusammensetzung der Vegetation nachweisen zu können.

Umgang mit sich schnell und unvorhersehbar verändernden Ökosystemen

Aufgrund der vorliegenden Arbeit werden für die Erhaltung und Förderung der Biodiversität im Kanton Zürich folgende Wissenslücken hinsichtlich des Klimawandels als besonders relevant erachtet:

### Mögliche Auswirkungen

- Welche Arten und Lebensräume reagieren im Kanton Zürich voraussichtlich positiv oder negativ auf den Klimawandel (BAFU 2011; Fachstelle Naturschutz Zürich 2012; siehe auch Kapitel 3.2.2 und 3.2.3)? Inwiefern ist dies im schweizerischen und europäischen Kontext relevant?
- Räumlich spezifischer Einfluss des Klimawandels auf die Wasserrückhaltefähigkeit, Grundwasser und Fliessgewässer im Kanton und die damit verbundenen Folgen für verschiedene (insbesondere grundwasserabhängige) Lebensräume und ihre Arten (BAFU 2011; Mosbrugger et al. 2013)
- Verständnis der Dynamik von Systemen (Langzeituntersuchungen) (Fachstelle Naturschutz Zürich 2012), Verzögerungen bis die Folgen für Lebensräume sichtbar werden (BAFU 2011)

### Anpassung

- Vorgehen bzw. Mechanismen zum Umgang mit Unsicherheiten von Abschätzungen und klimabedingten Risiken im Naturschutz (Wilke et al. 2011)
- Ausweitung Klimaanalyse Zürich (KLAZ) auf den gesamten Kanton Zürich (econcept 2013)
- Umgang mit Niedrigwasserständen (econcept 2013): Oberflächengewässern, Grundwasser, Feuchtgebiete
- Identifikation von Potenzialgebieten als zukünftige (Ersatz-)standorte für Lebensräume (Lebensraumpotenzialkarten) und ausgewählte Arten (Huber & Hedinger 2008), z.B. für Wiederansiedlungen im Rahmen der Aktionspläne des Kantons Zürich. Welches ist an einem bestimmten Standort das zukünftige Potenzial für einen bestimmten Lebensraum?
- Für viele Arten, die tendenziell einem hohen Risiko durch den Klimawandel ausgesetzt sind, mangelt es an Kenntnissen (Verbreitung, Plastizität, Ausbreitungsverhalten, Verbreitungspotenzial, Ausbreitungsgeschwindigkeit, Evolutionspotenzial), um deren Anpassungskapazität abzuschätzen (Huber & Hedinger 2008; Kerth et al. 2014). Entsprechende Grundlagen für die wichtigsten Arten des Kantons Zürichs (mindestens Aktionsplanarten und allfällige weitere durch den Klimawandel potenziell gefährdete Arten) sollten zusammengetragen oder erarbeitet werden.
- Anpassungskapazitäten-/möglichkeiten der durch den Klimawandel gefährdeten Arten (BAFU 2011)
- Möglichkeiten der Vernetzung (Huber & Hedinger 2008) und Anforderungen verschiedener Lebensräume und Arten an die Vernetzung (BAFU 2011)
- Wie ändern sich Naturbilder und Werte der Bevölkerung mit den Veränderungen der Natur? (Fachstelle Naturschutz Zürich 2012)
- Wie kann das Thema Biodiversität und Klima gesellschaftlich wirksam kommuniziert werden? (Mosbrugger et al. 2013)

Wissenslücken wird es immer geben, insbesondere hinsichtlich zukünftiger Veränderungen wie dem Klimawandel und dessen Auswirkungen. Dies ist aber kein Grund Handlungen aufzuschieben. Man kennt die hauptsächlichlichen Gefährdungsfaktoren der Biodiversität und weiss genug, um zu handeln! Insbesondere für die Biodiversität sind die grundlegend notwendigen Massnahmenbereiche, die auch zukünftig für Lebensräume und Arten (Populationen) gültig bleiben bekannt: Erhalten – Aufwerten und Vernetzen – Wiederherstellen. Diese Stossrichtungen erhöhen auch die Anpassungsfähigkeit der Biodiversität an den Klimawandel.

### 6 Fazit

Der Klimawandel findet statt. In der Schweiz sind Temperaturzunahmen und Trends von weiteren klimatischen Veränderungen messbar. In den nächsten Jahrzehnten wird sich dies mit grosser Wahrscheinlichkeit auch bei der Verteilung der Niederschläge, den Abflüssen von Gewässern und der Stärke und Häufigkeit von Extremereignissen deutlicher zeigen.

Ebenso sind Auswirkungen auf die Biodiversität bereits feststellbar. Dies gilt insbesondere für Verschiebungen des Verbreitungsgebietes von Arten und die Ausbreitung von Arten aus wärmeren und trockeneren Regionen. Der Einfluss des Klimawandels auf die Biodiversität wird im Verlauf des 21. Jahrhunderts zunehmen. Auswirkungen auf Populationen, Arten, Lebensgemeinschaften, Ökosysteme und ihre Prozesse werden vermehrt und stärker auftreten und damit sichtbarer werden. Besonders relevant werden voraussichtlich indirekte Auswirkungen des Klimawandels sein, z.B. über Veränderungen der Landnutzung, sowie die Wechselwirkungen mit anderen Einflussfaktoren.

Veränderungen der Biodiversität infolge des Klimawandels werden in jedem Fall stattfinden. Diese können aus Biodiversitätssicht positiv oder negativ sein. Chancen, die der Klimawandel bietet, sollten deshalb gezielt genutzt und unerwünschte Auswirkungen vorausschauend vermindert werden.

Für die Erhaltung der Biodiversität ist die Verlangsamung des Klimawandels bzw. Klimaschutz absolut entscheidend. Denn Anpassungsmassnahmen sind Grenzen gesetzt. Nichtsdestotrotz sind Anpassungsmassnahmen wichtig. Diese bestehen zu einem grossen Teil darin, bewährte bisherige Massnahmen umzusetzen: Wirkung von Gefährdungsfaktoren minimieren, überlebensfähige Populationen sichern, Lebensräume in Grösse und Qualität erhalten, aufwerten und falls nötig wiederherstellen, Lebensräume und Populationen vernetzen. Denn diese haben sich unter verschiedenen Bedingungen als erfolgreich erwiesen.

Weitere Stossrichtungen gewinnen hinsichtlich des Klimawandels und zur Anpassung an diesen aber an Bedeutung: Die Stärkung der Funktionsfähigkeit von Ökosystemen, das Zulassen lebensraumtypischer Dynamik und sich selbst regulierender Prozesse, die Biodiversitätsförderung auf der gesamten Fläche, die grossräumige Planung von ökologischen Netzwerken, die Erhöhung der Heterogenität auf verschiedenen Ebenen, die vermehrte Berücksichtigung von heutigen und zukünftigen Standortpotenzialen bei der Umsetzung von Massnahmen in verschiedenen Gebieten.

Hinsichtlich der kommenden Biodiversitätsveränderungen werden sich längerfristig auch Wertvorstellungen im Naturschutz ändern (müssen). Was ist natürlich? Was ist heimisch? Welcher Zustand soll erhalten und welche Veränderungen zugelassen werden? Und, in Folge, wie soll in der Naturschutz-Praxis mit Veränderungen der Wertvorstellungen umgegangen werden?

Generell ist für die Erhaltung eines guten Zustandes und der Förderung der Anpassungsfähigkeit der Biodiversität eine verstärkte Beschäftigung des Naturschutzes mit weiteren Umweltschutz- und Nachhaltigkeitsaspekten wichtig. Der Naturschutz kann dies Weiteren in Zusammenarbeit mit anderen Akteuren mit ökosystembasierten Klimaschutz- und Anpassungsmassnahmen einen Beitrag zur Anpassung der Gesellschaft an den Klimawandel leisten.

Aufgrund der grossräumigen zukünftigen Veränderungen der Biodiversität ist die Intensivierung der Zusammenarbeit mit Nachbarkantonen und -ländern unabdingbar. Ebenso die Zusammenarbeit mit anderen Sektoren und Handlungsfeldern, um einerseits unerwünschte Auswirkungen auf die Biodiversität von Klimaschutz-/Anpassungsmassnahmen in den verschiedenen Handlungsfeldern zu vermeiden und andererseits potenzielle Synergien gezielt zu nutzen.

## 7 Literatur

- Alexander, J.M., Diez, J.M. & Levine, J.M. (2015). Novel competitors shape species' responses to climate change. *Nature*, 525, 515–518.
- Allan, E., Weisser, W.W., Fischer, M., Schulze, E.-D., Weigelt, A., Roscher, C., Baade, J., Barnard, R.L., Beßler, H., Buchmann, N., Ebeling, A., Eisenhauer, N., Engels, C., Fergus, A.J.F., Gleixner, G., Gubsch, M., Halle, S., Klein, A.-M., Kertscher, I., Kuu, A., Lange, M., Le Roux, X., Meyer, S.T., Migunova, V.D., Milcu, A., Niklaus, P. a, Oelmann, Y., Pašalić, E., Petermann, J.S., Poly, F., Rottstock, T., Sabais, A.C.W., Scherber, C., Scherer-Lorenzen, M., Scheu, S., Steinbeiss, S., Schwichtenberg, G., Temperton, V., Tschardtke, T., Voigt, W., Wilcke, W., Wirth, C. & Schmid, B. (2013). A comparison of the strength of biodiversity effects across multiple functions. *Oecologia*, 173, 223–237.
- ALN. (2014). *Agrarbericht 2014. Strukturbericht der Jahre 2000-2013 der Zürcher Landwirtschaft, Tätigkeitsbericht der kantonalen Stellen 1. Jahrgang*. Kanton Zürich, Baudirektion, Amt für Landschaft und Natur.
- AWEL & IBK. (2007). *Auswirkungen des Klimawandels und mögliche Anpassungsstrategien. Erste Standortbestimmung*.
- BAFU. (2011). *Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz im Sektor Biodiversitätsmanagement Beitrag des Bundesamtes für Umwelt zur Anpassungsstrategie des Bundesrates*. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- BAFU. (2012a). *Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer. Synthesebericht zum Projekt «Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz» (CCHydro)*. Umwelt Wissen Nr. 1217. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- BAFU. (2012b). *Konzept Artenförderung Schweiz. Grundlagen für den Aktionsplan zur Strategie Biodiversität Schweiz im Bereich Artenförderung*. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- BAFU. (2015). *Anpassung an den Klimawandel. Bedeutung der Strategie des Bundesrates für die Kantone*. Umwelt Wissen Nr. 1509. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Balzer, S., Dietrich, M. & Beinlich, B. (2007). *Natura 2000 und Klimaänderungen*. Naturschutz und Biologische Vielfalt Nr. 46.
- Barsoum, N., Anderson, R., Broadmeadow, S., Bishop, H. & Nisbet, T. (2005). *Eco-hydrological guidelines for wet woodland- Phase I*. English Nature Research Reports.
- Baudirektion Kanton Zürich. (2014). *Umweltbericht 2014*.
- Béguin, J. & Smola, S. (2010). *Stand der Drainagen in der Schweiz Bilanz der Umfrage 2008*. Referenz/Aktenzeichen 2009-09-25/85. Bundesamt für Landwirtschaft.
- Beierkuhnlein, C., Jentsch, A., Reineking, B., Schlumprecht, H. & Ellwanger, G. (2014). *Auswirkungen des Klimawandels auf Fauna, Flora und Lebensräume sowie Anpassungsstrategien des Naturschutzes*. Naturschutz und Biologische Vielfalt Nr. 137.
- Bennett, A.C., McDowell, N.G., Allen, C.D. & Anderson-Teixeira, K.J. (2015). Larger trees suffer most during drought in forests worldwide. *Nature Plants*, 1, 15139.
- Berry, P.M., Rounsevell, M.D. a., Harrison, P. a. & Audsley, E. (2006). Assessing the vulnerability of agricultural land use and species to climate change and the role of policy in facilitating adaptation. *Environmental Science & Policy*, 9, 189–204.
- Bertrand, G., Goldscheider, N., Gobat, J. & Hunkeler, D. (2011). Review: From multi-scale conceptualization to a classification system for inland groundwater-dependent ecosystems. *Hydrogeology Journal*, 20, 5–25.
- BfN, ENCA, UFZ & iDiv. (2015a). Nature-based Solutions to Climate Change in Urban Areas and their Rural Surroundings. In: *European Conference on Biodiversity and Climate Change (ECBCC) 2015 in Bonn*.
- BfN, iDiv & UFZ. (2015b). Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas and their rural surroundings. In: *Workshop held from 10 - 11 March 2015 at the International Academy for Nature Conservation on the Isle of Vilm, Germany*.
- Bircher, N., Cailleret, M., Huber, M. & Bugmann, H. (2015). Empfindlichkeit typischer Schweizer Waldbestände auf den Klimawandel. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 166, 408–419.
- Bollmann, K., Holderegger, R. & Bürgi, M. (2012). *Stellungnahme zur Strategieüberprüfung NSGK Kanton Zürich*. WSL.
- Bonn, A., Macgregor, N., Stadler, J., Korn, H., Stiffel, S., Wolf, K. & Dijk, N. van. (2014). *Helping ecosystems in Europe to adapt to climate change*. BfN-Skripten 375. Bundesamt für Naturschutz.
- Bornand, C. & Ciardo, F. (2011). *Atriplex micrantha: un néophyte arrivé incognito en Suisse et déjà largement distribué sur les autoroutes du Plateau*. *Bulletin du Cercle vaudois de botanique*, 40,

107–114.

- Bradshaw, C. (2015). Scariest part of climate change isn't what we know, but what we don't [WWW Document]. URL <http://conservationbytes.com/2015/08/07/scariest-part-of-climate-change-isnt-what-we-know-but-what-we-dont/>
- Brang, P., Born, J., Augustin, S., Küchli, C., Pauli, B., Thürig, E., Wermelinger, B., Wohlgemuth, T. & Zimmermann, N.E. (2011). *Forschungsprogramm Wald und Klimawandel. Synthese der ersten Programmphase 2009 - 2011*. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf; Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern.
- Brang, P., Spathelf, P., Larsen, J.B., Bauhus, J., Boncina, A., Chauvin, C., Drössler, L., Garcia-Güemes, C., Heiri, C., Kerr, G., Lexer, M.J., Mason, B., Mohren, F., Mühlethaler, U., Nocentini, S. & Svoboda, M. (2014). Suitability of close-to-nature silviculture for adapting temperate European forests to climate change. *Forestry*, 87, 492–503.
- Brook, B.W., Sodhi, N.S. & Bradshaw, C.J. a. (2008). Synergies among extinction drivers under global change. *Trends in Ecology & Evolution*, 23, 453–60.
- Businet Rohrkolben. (2010). *Potentielle Anbauflächen für den Rohrkolben in der Schweiz*.
- Bussell, J., Jones, D.L., Healey, J.R. & Pullin, A. (2010). *How do draining and re-wetting affect carbon stores and greenhouse gas fluxes in peatland soils?* CEE review 08-012.
- Calanca, P., Fuhrer, J., Jasper, K., Torriani, D., Keller, F. & Dueri, S. (2005). Klimawandel und landwirtschaftliche Produktion. *Agrarforschung Schweiz*, 12, 392–397.
- Cameron, E.K., Vilà, M. & Cabeza, M. (2016). Global meta-analysis of the impacts of terrestrial invertebrate invaders on species, communities and ecosystems. DOI: 10.1111/geb.12436. *Global Ecology and Biogeography*.
- Cardinale, B.J., Duffy, J.E., Gonzalez, A., Hooper, D.U., Perrings, C., Venail, P., Narwani, A., Mace, G.M., Tilman, D., Wardle, D. a, Kinzig, A., Daily, G.C., Loreau, M., Grace, J.B., Larigauderie, A., Srivastava, D.S. & Naeem, S. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486, 59–67.
- Cardinale, B.J., Srivastava, D.S., Duffy, J.E., Wright, J.P., Downing, A.L., Sankaran, M. & Jouseau, C. (2006). Effects of biodiversity on the functioning of trophic groups and ecosystems. *Nature*, 443, 989–92.
- Caro, T. (2010). *Conservation by Proxy: Indicator, Umbrella, Keystone, Flagship, and Other Surrogate Species*. Island Press.
- Caughley, G. (1994). Directions in conservation biology. *Journal of Animal Ecology*, 63, 215–244.
- CBD. (2009). *Connecting biodiversity and climate change mitigation and adaptation: report of the second ad hoc technical expert group on biodiversity and climate change*. CBD Technical Series, CBD Technical Series No. 41. Secretariat of the Convention on Biological Diversity CBD.
- CH2011. (2011a). *Szenarien zur Klimaänderung in der Schweiz CH2011 - Zusammenfassung*. C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, OcCC.
- CH2011. (2011b). *Swiss Climate Change Scenarios CH2011*. C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, OcCC, Zürich, Switzerland.
- CH2014-Impacts. (2014a). *Toward quantitative scenarios of climate change impacts in Switzerland*. OCCR, FOEN, MeteoSwiss, C2SM, Agroscope, ProClim, Bern, Switzerland.
- CH2014-Impacts. (2014b). *Auf dem Weg zu quantitativen Szenarien für die Folgen des Klimawandels in der Schweiz - Zusammenfassung*.
- Ciardo, F. & Delarze, R. (2003). Observations floristiques sur l'autoroute lémanique. *Saussurea*, 33, 73–76.
- Cobben, M.M.P., Verboom, J., Opdam, P., Hoekstra, R.F., Jochem, R. & Smulders, M.J.M. (2011). Landscape prerequisites for the survival of a modelled metapopulation and its neutral genetic diversity are affected by climate change. *Landscape Ecology*, 27, 227–237.
- Corlett, R.T. & Westcott, D.A. (2013). Will plant movements keep up with climate change? *Trends in Ecology & Evolution*, 28, 482–488.
- Death, R.G., Fuller, I.C. & Macklin, M.G. (2015). Resetting the river template: The potential for climate-related extreme floods to transform river geomorphology and ecology. *Freshwater Biology*, 60, 2477–2496.
- Delarze, R. & Gonseth, Y. (2008). *Lebensräume der Schweiz - Ökologie - Gefährdung - Kennarten*. Ott, Bern.
- Dullinger, S., Dendoncker, N., Gattlinger, A., Leitner, M., Mang, T., Moser, D., M??cher, C.A., Plutzer, C., Rounsevell, M., Willner, W., Zimmermann, N.E. & Hülber, K. (2015). Modelling the effect of habitat fragmentation on climate-driven migration of European forest understorey plants. *Diversity and Distributions*, 21, 1375–1387.
- econcept. (2013). *Klimawandel im Grossraum Zürich: Auswirkungen und Anpassungsmassnahmen*.

### *Wissenschaftliche Grundlagen - Schlussbericht.*

- EEA. (2012). *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012 - An indicator-based report*. EEA Report No 12/2012.
- Elmqvist, T., Folke, C., Nyström, M., Peterson, G.D., Bengtsson, J., Walker, B.H. & Norberg, J. (2009). Response diversity, ecosystem change and resilience. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1, 488–494.
- Essl, F., Dullinger, S., Moser, D., Rabitsch, W. & Kleinbauer, I. (2012). Vulnerability of mires under climate change: Implications for nature conservation and climate change adaptation. *Biodiversity and Conservation*, 21, 655–669.
- Essl, F., Egger, G., Poppe, M., Irene, R.-K., Markus, S., Susanne, M., Marian, U. & Klaus, M. (2008). Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Österreichs. Binnengewässer, Gewässer- und Ufervegetation. Technische Biotoptypen und Siedlungsbiotoptypen. *Monographien*, REP-0134.
- Essl, F. & Rabitsch, W. (2013). *Biodiversität und Klimawandel - Auswirkungen und Handlungsoptionen für den Naturschutz in Mitteleuropa*. Springer Spektrum.
- Fachstelle Naturschutz Zürich. (2012). *Workshop «20 Jahre NSGK «Strategieüberprüfung NSGK aus wissenschaftlicher Sicht*. Baudirektion Kanton Zürich, ALN Amt für Landschaft und Natur.
- Fischer, M. (2011). Biodiversität benötigt Fläche. *Naturschutzbiologische Grundlagen. Hotspot*, 24, 17–19.
- Fisher, M.C., Henk, D. a, Briggs, C.J., Brownstein, J.S., Madoff, L.C., McCraw, S.L. & Gurr, S.J. (2012). Emerging fungal threats to animal, plant and ecosystem health. *Nature*, 484, 186–94.
- Fivaz, F. (2012). National Prioritäre Arten innerhalb und ausserhalb der Schutzgebiete. *Hotspot*, 25, 28.
- Frischknecht, R., Nathani, C., Büsser Knöpfel, S., Itten, R., Wyss, F. & Hellmüller, P. (2014). *Entwicklung der weltweiten Umweltauswirkungen der Schweiz. Umweltbelastung von Konsum und Produktion von 1996 bis 2011*. Umwelt-Wissen Nr. 1413. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Fuhrer, J. & Calanca, P. (2014). Bewässerungsbedarf und Wasserdargebot unter Klimawandel: eine regionale Defizitanalyse. *Agrarforschung Schweiz*, 5, 256–263.
- Garden, J.G., O'Donnell, T. & Catterall, C.P. (2015). Changing habitat areas and static reserves: challenges to species protection under climate change. *Landscape Ecology*, 30, 1959–1973.
- Götz, A., Burkhardt, A., Manser, R., Marendaz, E., Peter, H., Foen, G.W., Goldstein, B. & Grossenbacher, A. (2012). Adaptation to climate change in Switzerland Goals, challenges and fields of action. First part of the Federal Council's strategy.
- Graf, R., Müller, M., Korner, P., Jenny, M. & Jenni, L. (2014). 20% loss of unimproved farmland in 22 years in the Engadin, Swiss Alps. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 185, 48–58.
- Greene, S.E. (2015). *Wetlands as Climate Mitigation Infrastructure: A Carbon Footprint Assessment of the Wetlands of Kanton Zürich*.
- Grosvernier, P. (2009). *Utilisation et gestion conservatoire des bas-marais. Eléments de réflexion par rapport à la stratégie d'utilisation minimale requise et conséquences sur les mesures de gestion conservatoires des biotopes marécageux*. OFEV. Programme inventaires de biotopes. Document interne. Office fédéral de l'environnement (OFEV) division Gestion des espèces, Bern.
- Grosvernier, P. (2015). *Maintien des ressources en eau dans le bassin versant des biotopes marécageux d'importance nationale [WWW Document]*. URL <http://www.marais.ch>
- Hanspach, J., Schweiger, O., Kühn, I., Plattner, M., Pearman, P.B., Zimmermann, N.E. & Settele, J. (2014). Host plant availability potentially limits butterfly distributions under cold environmental conditions. *Ecography*, 37, 301–308.
- Hector, A. & Bagchi, R. (2007). Biodiversity and ecosystem multifunctionality. *Nature*, 448, 188–190.
- Hickler, T., Vohland, K., Feehan, J., Miller, P. a., Smith, B., Costa, L., Giesecke, T., Fronzek, S., Carter, T.R., Cramer, W., Kühn, I. & Sykes, M.T. (2012). Projecting the future distribution of European potential natural vegetation zones with a generalized, tree species-based dynamic vegetation model. *Global Ecology and Biogeography*, 21, 50–63.
- Hiley, J.R., Bradbury, R.B., Holling, M. & Thomas, C.D. (2013). Protected areas act as establishment centres for species colonizing the UK. *Proc R Soc B*, 280, 20122310.
- Hoegh-Guldberg, O., Hughes, L., McIntyre, S., Lindenmayer, D.B., Parmesan, C., Possingham, H.P. & Thomas, C.D. (2008). Assisted colonization and rapid climate change. *Science*, 321, 345–346.
- Holthausen, N., Locher, P., Blaser, L., Pütz, M. & Bründl, M. (2013). *Risiken und Chancen des Klimawandels im Kanton Aargau. Ergebnisbericht*.
- Höper, H. (2007). Freisetzung von Treibhausgasen aus deutschen Mooren. *Telma*, 37, 85–116.
- Huber, C. & Hedinger, C. (2008). *Klimawandel, Stickstoffeintrag und CO2 in Mooren und TWW. Auswirkungen von Klimawandel, Stickstoffeintrag und CO2 auf Biotope und Konsequenzen für den Biotopschutz*.

- IPCC. (2014a). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York.
- IPCC. (2014b). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Isbell, F., Calcagno, V., Hector, A., Connolly, J., Harpole, W.S., Reich, P.B., Scherer-Lorenzen, M., Schmid, B., Tilman, D., van Ruijven, J., Weigelt, A., Wilsey, B.J., Zavaleta, E.S. & Loreau, M. (2011). High plant diversity is needed to maintain ecosystem services. *Nature*, 477, 199–202.
- Isbell, F., Craven, D., Connolly, J., Loreau, M., Schmid, B., Carl, B., Bezemer, T.M., Bonin, C., Bruelheide, H., Luca, E. De, Ebeling, A., Griffin, J.N., Guo, Q., Hautier, Y., Hector, A., Jentsch, A., Kreyling, J., Lanta, V., Manning, P., Meyer, S.T., Mori, A.S., Naeem, S., Niklaus, P.A., Polley, H.W., Reich, P.B., Roscher, C., Seabloom, E.W., Smith, M.D., Thakur, M.P., Tilman, D., Tracy, B.F., van der Putten, W.H., van Ruijven, J., Weigelt, A., Weisser, W.W., Wilsey, B. & Eisenhauer, N. (2015). Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. *Nature*, 526, 574–577.
- Jahn, T., Hötter, H., Oppermann, R., Bleil, R. & Vele, L. (2014). *Protection of biodiversity of free living birds and mammals in respect of the effects of pesticides*. Report No. (UBA-FB) 001830.
- Kerr, J.T., Pindar, A., Galpern, P., Packer, L., Potts, S.G., Roberts, S.M., Rasmont, P., Schweiger, O., Colla, S.R., Richardson, L.L., Wagner, D.L. & Gall, L.F. (2015). Climate change impacts on bumblebees converge across continents. *Science*, 349, 177–180.
- Kerth, G., Blüthgen, N., Dittrich, C., Dworschak, K., Fischer, K., Fleischer, T., Heidinger, I., Limberg, J., Obermaier, E., Rödel, M.-O. & Stefan, N. (2014). *Anpassungskapazität naturschutzfachlich wichtiger Tierarten an den Klimawandel*. Naturschutz und Biologische Vielfalt Nr. 139.
- Kerth, G., Fischer, K., Fleischer, T., Limberg, J., Blüthgen, N., Dworschak, K., Dittrich, C., Kohlhammer, V.W., Kerth, G., Fischer, K., Fleischer, T., Limberg, J., Blüthgen, N., Dworschak, K., Dittrich, C., Rödel, M. & Obermaier, E. (2015). Anpassungskapazität von 50 Arten mit potenziell hohem Aussterberisiko gegenüber dem Klimawandel in Deutschland. *Natur und Landschaft*, 201, 17–24.
- Klaus, G. (2007). *Zustand und Entwicklung der Moore in der Schweiz. Ergebnisse der Erfolgskontrolle Moorschutz*. Umwelt-Zustand Nr. 0730. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Kleinbauer, I., Dullinger, S., Klingenstein, F., Nehring, S. & Essl, F. (2010). *Ausbreitungspotenzial ausgewählter neophytischer Gefäßpflanzen unter Klimawandel in Deutschland und Österreich*. BfN-Skripten 275.
- Klötzli, F. (1969). *Die Grundwasserbeziehungen der Streu- und Moorwiesen im nördlichen Schweizer Mittelland*. Huber Verlag, Bern.
- Kløve, B., Ala-aho, P., Bertrand, G., Gurdak, J.J., Kupfersberger, H., Kværner, J., Muotka, T., Mykrä, H., Preda, E., Rossi, P., Bertacchi, C., Velasco, E. & Pulido-velazquez, M. (2014). Climate change impacts on groundwater and dependent ecosystems. *Journal of Hydrology*, 518, 250–266.
- Koordinationsstelle BDM. (2012). Spuren des Klimawandels in der Vegetation? *BDM-FACTS*, 4, 1–5.
- Koordinationsstelle BDM. (2013). Unterschiedlicher Wandel der Pflanzenvielfalt. *BDM-Facts*, 6, 1–5.
- Körner, C. (2000). Biosphere responses to CO<sub>2</sub> enrichment. *Ecological Applications*, 10, 1590–1619.
- Koskela, J., Buck, A. & Teissier du Cros, E. (2007). *Climate change and forest genetic diversity: Implications for sustainable forest management in Europe*. Bioversity International, Rome.
- Kravicik, M., Pokorný, J., Kohutiar, J., Kovác, M. & Tóth, E. (2007). *Water for the Recovery of the Climate - A New Water Paradigm*.
- Küchler, M., Küchler, H., Bedolla, A. & Wohlgemuth, T. (2015). Response of Swiss forests to management and climate change in the last 60 years. *Annals of Forest Science*, 72, 311–320.
- Küttel, S., Peter, A. & Wüest, A. (2002). *Temperaturpräferenzen und -limiten von Fischarten Schweizerischer Fliessgewässer*. EAWAG, Kastanienbaum.
- Kuussaari, M., Bommarco, R., Heikkinen, R.K., Helm, A., Krauss, J., Lindborg, R., Ockinger, E., Pärtel, M., Pino, J., Rodà, F., Stefanescu, C., Teder, T., Zobel, M. & Steffan-Dewenter, I. (2009). Extinction debt: a challenge for biodiversity conservation. *Trends in Ecology & Evolution*, 24, 564–571.
- Landolt, E. & et al. (2010). *Flora Indicativa. Ökologische Zeigerwerte und biologische Kennzeichen zur Flora der Schweiz und der Alpen*. Haupt Verlag AG.
- Leadley, P., Pereira, H.M., Alkemade, R., Fernandez-Manjarrés, J.F., Proença, V., Scharlemann,

- J.P.W. & Walpole, M. (2010). *Biodiversity scenarios: projections of 21st century change in biodiversity and associated ecosystem services*. CBD Technical Series no. 50. Montreal.
- Leifeld, J., Bassin, S. & Fuhrer, J. (2005). Carbon stocks in Swiss agricultural soils predicted by land-use, soil characteristics, and altitude. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 105, 255–266.
- Leitungsgruppe NFP 61. (2015). *Nachhaltige Wassernutzung in der Schweiz. NFP 61 weist Wege in die Zukunft. Gesamtsynthese des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61*.
- Maestre, F.T., Quero, J.L., Gotelli, N.J., Escudero, A., Ochoa, V., Delgado-Baquerizo, M., García-Gómez, M., Bowker, M. a, Soliveres, S., Escolar, C., García-Palacios, P., Berdugo, M., Valencia, E., Gozalo, B., Gallardo, A., Aguilera, L., Arredondo, T., Blones, J., Boeken, B., Bran, D., Conceição, A. a, Cabrera, O., Chaieb, M., Derak, M., Eldridge, D.J., Espinosa, C.I., Florentino, A., Gaitán, J., Gatica, M.G., Ghiloufi, W., Gómez-González, S., Gutiérrez, J.R., Hernández, R.M., Huang, X., Huber-Sannwald, E., Jankju, M., Miriti, M., Monerris, J., Mau, R.L., Morici, E., Naseri, K., Ospina, A., Polo, V., Prina, A., Pucheta, E., Ramírez-Collantes, D. a, Romão, R., Tighe, M., Torres-Díaz, C., Val, J., Veiga, J.P., Wang, D. & Zaady, E. (2012). Plant species richness and ecosystem multifunctionality in global drylands. *Science*, 335, 214–218.
- Maggini, R., Lehmann, A., Zbinden, N., Zimmermann, N.E., Bolliger, J., Schröder, B., Foppen, R., Schmid, H., Beniston, M. & Jenni, L. (2014). Assessing species vulnerability to climate and land use change: the case of the Swiss breeding birds. *Diversity and Distributions*, 20, 708–719.
- Matthies, D., Bräuer, I., Maibom, W. & Tschardt, T. (2012). Population Size and the Risk of Local Extinction: Empirical Evidence from Rare Plants. *Oikos*, 105, 481–488.
- MeteoSchweiz. (2013). *Klimaszenarien Schweiz – eine regionale Übersicht*. Fachbericht Meteoschweiz.
- Milad, M., Schaich, H., Bürgi, M. & Konold, W. (2011). Climate change and nature conservation in Central European forests: A review of consequences, concepts and challenges. *Forest Ecology and Management*, 261, 829–843.
- Milad, M., Storch, S., Schaich, H., Konold, W. & Winkel, G. (2012). *Wälder und Klimawandel: Künftige Strategien für Schutz und nachhaltige Nutzung*. Naturschutz und Biologische Vielfalt Nr. 125.
- Mosbrugger, V., Brasseur, G., Schaller, M. & Stribrny, B. (eds.). (2013). *Klimawandel und Biodiversität: Folgen für Deutschland*. WBG (Wissenschaftliche Buchgesellschaft).
- Müller, G., Holderegger, R. & Bürgi, M. (2016). *Energie aus Landschaftspflegegrün*. WSL Berichte 38.
- Naef-Daenzer, B., Luterbacher, J., Nuber, M., Rutishauser, T. & Winkel, W. (2012). Cascading climate effects and related ecological consequences during past centuries. *Climate of the Past*, 8, 1527–1540.
- Niedermaier, M., Plattner, Gerald, Egger, G., Essl, F., Kohler, B. & Zika, M. (2011). *Moore im Klimawandel. Studie des WWF Österreich, der Österreichischen Bundesforste und des Umweltbundesamtes*.
- Nobis, M., Jaeger, J. a. G. & Zimmermann, N.E. (2009). Neophyte species richness at the landscape scale under urban sprawl and climate warming. *Diversity and Distributions*, 15, 928–939.
- OcCC. (2007). *OcCC Climate Change and Switzerland 2050. Expected Impacts on Environment, Society and Economy*.
- Oliver, T.H., Smithers, R.J., Bailey, S., Walmsley, C. a. & Watts, K. (2012). A decision framework for considering climate change adaptation in biodiversity conservation planning. *Journal of Applied Ecology*, 49, 1247–1255.
- Parlow, E., Scherer, D. & Fehrenbach, U. (2010). *Klimaanalyse der Stadt Zürich (KLAZ)*. Wissenschaftlicher Bericht.
- Paterson, J.S., Araújo, M.B., Berry, P.M., Piper, J.M. & Rounsevell, M.D. a. (2008). Mitigation, adaptation, and the threat to biodiversity. *Conservation Biology*, 22, 1352–1355.
- Perroud, M. & Bader, S. (2013). *Klimaänderung in der Schweiz. Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen*. Umwelt-Zustand Nr. 1308. Bundesamt für Umwelt, Bern, und Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, Zürich.
- Peter, M., Edwards, P.J., Jeanneret, P., Kampmann, D. & Lüscher, A. (2008). Changes over three decades in the floristic composition of fertile permanent grasslands in the Swiss Alps. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 125, 204–212.
- Petermann, J., Balzer, S., Ellwanger, G., Schröder, E. & Ssymank, A. (2007). Klimawandel - Herausforderung für das europaweite Schutzgebietssystem Natura 2000. *Naturschutz und Biologische Vielfalt*, 46, 127–148.
- Pompe, S., Berger, S., Bergmann, J., Badeck, F., Lübbert, J., Klotz, S., Rehse, A., Söhlke, G., Sattler, S., Walther, G.-R. & Kühn, I. (2011). *Modellierung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Flora und Vegetation in Deutschland*.

- Pompe, S., Hanspach, J., Badeck, F.W., Klotz, S., Bruelheide, H. & Kühn, I. (2010). Investigating habitat-specific plant species pools under climate change. *Basic and Applied Ecology*, 11, 603–611.
- ProClim. (2015). *Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz: Screening der Forschungs- und Umsetzungsaktivitäten sowie bestehender Monitoringsysteme. Schlussbericht.*
- ProClim. (2016). *IPCC-Bericht Climate Change 2014 (Arbeitstitel).*
- Rabitsch, W., Winter, M., Kühn, E., Götzl, M., Essel, F. & Gruttke, H. (2010). *Auswirkung des rezenten Klimawandels auf die Fauna von Deutschland.* Naturschutz und Biologische Vielfalt Heft 98.
- Reich, M., Rüter, S., Prasse, R., Matthies, S., Wix, N. & Ullrich, K. (2012). *Biotopverbund als Anpassungsstrategie für den Klimawandel?* Naturschutz und Biologische Vielfalt Nr. 122.
- Riecken, U., Finck, P., Rath, U., Schröder, E. & Ssymank, A. (2006). Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Deutschlands. Zweite fortgeschriebene Fassung 2006. *Naturschutz und Biologische Vielfalt*, 34.
- Rockström, J., Steffen, W.L., Noone, K., Persson, A. & Chapin III, F.S. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461, 472–475.
- RSPB. (2015). *The Nature of Climate Change. Europe's wildlife at risk.*
- Russo, L., Nichol, C. & Shea, K. (2015). Pollinator floral provisioning by a plant invader: quantifying beneficial effects of detrimental species. *Diversity and Distributions*, 22, 189–198.
- Sala, O.E., Chapin, F.S., Armesto, J.J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., Huenneke, L.F., Jackson, R.B., Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D.M., Mooney, H.A., Oesterheld, M., Poff, N.L., Sykes, M.T., Walker, B.H., Walker, M. & Wall, D.H. (2000). Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. *Science*, 287, 1770–1774.
- Sarrazin, F. & Lecomte, J. (2016). Evolution in the Anthropocene. *Science*, 351, 922–923.
- Sattler, T., Obrist, M.K., Pezzati, B., Nobis, M. & Moretti, M. (2010). BiodiverCity: Biodiversität im Siedlungsraum. Zusatzauswertungen Modul B1. *Unpublizierter Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU, Bern.*
- Schlaepfer, M. a, Sax, D.F. & Olden, J.D. (2011). The potential conservation value of non-native species. *Conservation Biology*, 25, 428–37.
- Schlumprecht, H., Bittner, T., Jaeschke, A., Jentsch, A., Reineking, B. & Beierkuhnlein, C. (2010). Gefährdungsdiskussion von FFH-Tierarten Deutschlands angesichts des Klimawandels: Eine vergleichende Sensitivitätsanalyse. *Naturschutz und Landschaftsplanung*, 42, 293–303.
- Schmider, P. & Nötzli, K. (2009). *Wald und Klimawandel. Waldbauliche Empfehlungen des Zürcher Forstdienstes.*
- Schüpbach, B., Hofer, G. & Walter, T. (2012). *Schlussbericht aus dem AlpFUTUR-Teilprojekt 5 "Qualität", Teil Landschaft.* Agroscope Reckenholz-Tänikon ART.
- Schweizerische Eidgenossenschaft. (2012a). *Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz. Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder. Erster Teil der Strategie des Bundesrates.*
- Schweizerische Eidgenossenschaft. (2012b). *Strategie Biodiversität Schweiz. In Erfüllung der Massnahme 69 (Ziel 13, Art. 14, Abschnitt 5) der Legislaturplanung 2007–2011: Ausarbeitung einer Strategie zur Erhaltung und Förderung der Biodiversität.*
- Schweizerische Eidgenossenschaft. (2014). *Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz. Aktionsplan 2014–2019. Zweiter Teil der Strategie des Bundesrates.*
- Schweizerische Vogelwarte. (2008). *Rohrkolbenfeld Wauwilermoos. Schlussbericht Monitoring 2007 und 2008.*
- scnat. (2008). *Biodiversität und Klima – Konflikte und Synergien im Massnahmenbereich. Ein Positionspapier der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT).*
- Seitz, N.J. (2013). *Drainagen in der Schweiz. Zeitlicher Verlauf, aktuelle Datenlage und Einfluss auf die Landschaftsentwicklung.* Masterarbeit. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL).
- Settele, J., Kudrna, O., Harpke, A., Kuehn, I., van Swaay, C., Verovnik, R., Warren, M.S., Wiemers, M., Hanspach, J., Hickler, T., Kühn, E., van Halder, I., Velling, K., Vliegenthart, A., Wynhoff, I. & Schweiger, O. (2008). *Climatic risk atlas of european butterflies. BIORISK – Biodiversity and Ecosystem Risk Assessment.* Pensoft, Sofia-Moscow.
- SRU. (2012). *Moorböden als Kohlenstoffspeicher.* In: *Umweltgutachten 2012* (ed. Sachverständigenrat Für Umweltfragen). pp. 241–269.
- Stanton, J.C., Shoemaker, K.T., Pearson, R.G. & Akçakaya, H.R. (2015). Warning times for species extinctions due to climate change. *Global change biology*, 21, 1066–1077.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S., Fetzer, I., Bennett, E., Biggs, R., Carpenter, S.R., de Wit, C. a., Folke, C., Mace, G., Persson, L.M., Veerabhadran, R., Reyers, B. & Sörlin, S.

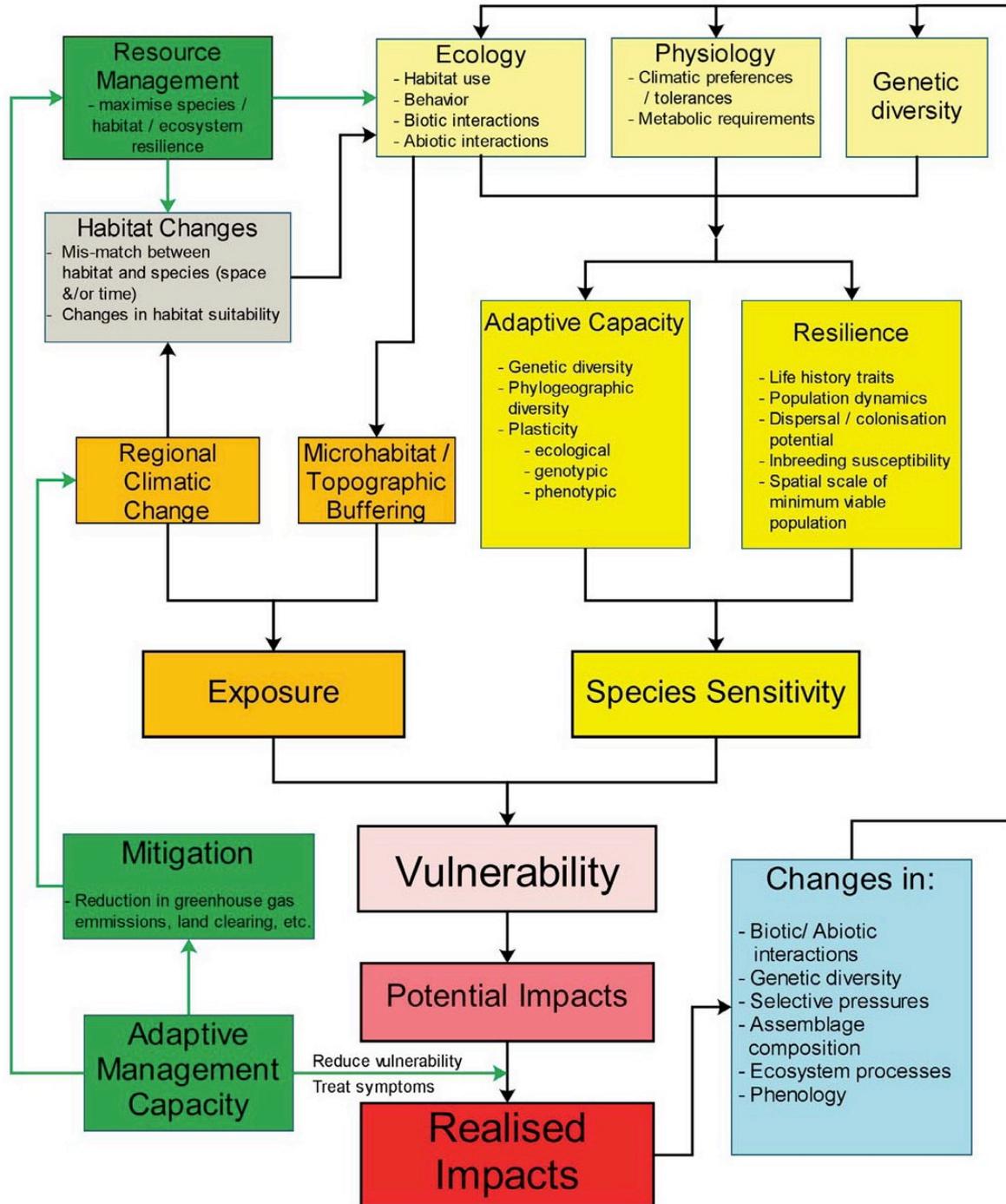
- (2015). Planetary Boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347.
- Sutherland, W.J., Dicks, L. V., Ockendon, N. & Smith, R.K. (eds.). (2015). *What Works in Conservation*. Open Book Publishers, Cambridge, UK.
- van Swaay, C., van Strien, A., Julliard, R., Schweiger, O., Brereton, T., Heliölä, J., Kuussaari, M., Roy, D., Stefanescu, C., Warren, M.S. & Settele, J. (2008). *Developing a methodology for a European Butterfly Climate Change Indicator*.
- TEEB DE. (2015). *Naturkapital und Klimapolitik - Synergien und Konflikte*. Berlin, Leipzig.
- Thomas, C.D., Cameron, A., Green, R.E., Bakkenes, M., Beaumont, L.J., Collingham, Y.C., Erasmus, B.F.N., De Siqueira, M.F., Grainger, A., Hannah, L., Hughes, L., Huntley, B., Van Jaarsveld, A.S., Midgley, G.F., Miles, L., Ortega-Huerta, M. a, Peterson, a T., Phillips, O.L. & Williams, S.E. (2004). Extinction risk from climate change. *Nature*, 427, 145–148.
- Thomas, C.D., Gillingham, P.K., Bradbury, R.B., Roy, D.B., Anderson, B.J., Baxter, J.M., Bourn, N. a. D., Crick, H.Q.P., Findon, R. a., Fox, R., Hodgson, J. a., Holt, a. R., Morecroft, M.D., O’Hanlon, N.J., Oliver, T.H., Pearce-Higgins, J.W., Procter, D. a., Thomas, J. a., Walker, K.J., Walmsley, C. a., Wilson, R.J. & Hill, J.K. (2012). Protected areas facilitate species’ range expansions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, 14063–14068.
- Tilman, D., May, R.M., Lehman, C.L. & Nowak, M.A. (1994). Habitat destruction and the extinction debt. *Nature*, 371, 65–66.
- Tockner, K. & Stanford, J.A. (2002). Riverine flood plains: present state and future trends. *Environmental Conservation*, 29, 308–330.
- Trumper, K., Bertzky, M., Dickson, B., van der Heijden, G., Jenkins, M. & Manning, P. (2009). *THE NATURAL FIX? The Role of Ecosystems in Climate Mitigation. A UNEP rapid response assessment*. Cambridge, UK.
- Tschopp, T., Holderegger, R. & Bollmann, K. (2015). Auswirkungen der Douglasie auf die Waldbiodiversität. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 166, 9–15.
- Tylianakis, J.M. & Coux, C. (2014). Tipping points in ecological networks. *Trends in Plant Science*, 19, 281–283.
- Verboom, J., Schippers, P., Cormont, A., Sterk, M., Vos, C.C. & Opdam, P. (2010). Population dynamics under increasing environmental variability: implications of climate change for ecological network design criteria. *Landscape Ecology*, 25, 1289–1298.
- Vilà, M., Espinar, J.L., Hejda, M., Hulme, P.E., Jarošík, V., Maron, J.L., Pergl, J., Schaffner, U., Sun, Y., Pyšek, P. & Espinar, José, L. (2011). Ecological impacts of invasive alien plants: a meta-analysis of their effects on species, communities and ecosystems. *Ecology Letters*, 14, 702–708.
- Vittoz, P., Cherix, D., Gonseth, Y., Lubini, V., Maggini, R., Zbinden, N. & Zumbach, S. (2010). Klimawandel. In: *Wandel der Biodiversität in der Schweiz seit 1900. Ist die Talsohle erreicht?* (eds. Lachat, T., Pauli, D., Gonseth, Y., Klaus, G., Scheidegger, C., Vittoz, P. & Walter, T.). Bristol-Stiftung, Zürich; Haupt, Bern, Stuttgart, Wien, pp. 350–377.
- Vittoz, P., Cherix, D., Gonseth, Y., Lubini, V., Maggini, R., Zbinden, N. & Zumbach, S. (2013). Climate change impacts on biodiversity in Switzerland: A review. *Journal for Nature Conservation*, 21, 154–162.
- Vitule, J.R.S., Freire, C. a, Vazquez, D.P., Nuñez, M. a & Simberloff, D. (2012). Revisiting the potential conservation value of non-native species. *Conservation Biology*, 26, 1153–1155.
- Vohland, K., Badeck, F., Böhnin-Gaese, K., Ellwanger, G., Hanspach, J., Ibisch, P.L., Klotz, S., Kreft, S., Kühn, I., Schröder, E., Trautmann, S. & Cramer, W. (2013). *Schutzgebiete Deutschlands im Klimawandel - Risiken und Handlungsoptionen*. Naturschutz & Biologische Vielfalt Nr. 129.
- Vos, C.C., Berry, P.M., Opdam, P., Baveco, H., Nijhof, B., Hanley, J.O., Bell, C. & Kuipers, H. (2008). Adapting landscapes to climate change : examples of climate-proof ecosystem networks and priority adaptation zones. *Journal of Applied Ecology*, 1722–1731.
- Walter, T., Eggenberg, S., Gonseth, Y., Fivaz, F., Hedinger, C., Hofer, G., Klieber-kühne, A., Richner, N., Szerencsits, E., Schneider, K. & Wolf, S. (2013). *Operationalisierung der Umweltziele Landwirtschaft - Bereich Ziel- und Leitarten, Lebensräume (OPAL)*. ART-Schriftenreihe. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART Tänikon, Ettenhausen.
- Walter, T., Klaus, G., Altermatt, F., Ammann, P., Birrer, S., Boller, B., Capt, S., Eggenschwiler, L., Fischer, J., Gonseth, Y., Grünig, A., Homburger, H., Jacot, K., Kleijer, G., Köhler, C., Kohler, F., Kreis, H., Loser, E., Lüscher, A., Meyer, A., Murbach, F., Rechsteiner, C., Scheidegger, C., Schierscher, B., Schilpperoord, P., Schmid, H., Schnyder, N., Senn-Irlet, B., Suter, D., Zbinden, N. & Zumbach, S. (2010). Landwirtschaft. In: *Wandel der Biodiversität in der Schweiz seit 1900. Ist die Talsohle erreicht?* Bristol-Stiftung, Zürich; Haupt, Bern, Stuttgart, Wien, pp. 64–122.

- Weber, P., Heiri, C., Lévesque, M., Sanders, T., Trotsiuk, V. & Walthert, L. (2015). Zuwachs und Klimasensitivität von Baumarten im Ökogramm der kollinen und submontanen Stufe. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 166, 380–388.
- West, J.M., Julius, S.H., Kareiva, P., Enquist, C., Lawler, J.J., Petersen, B., Johnson, A.E. & Shaw, M.R. (2009). U.S. Natural Resources and Climate Change: Concepts and Approaches for Management Adaptation. *Environmental Management*, 44, 1001–1021.
- Wheeler, B.D., Gowing, D.J.G., Shaw, S.C., Mountford, J.O. & Money, R.P. (2004). *Ecohydrological Guidelines for Lowland Wetland Plant Communities*. Environment Agency (Anglian Region).
- Wiedemeier, P. (1990). *Raumbezüge von Ökosystemen: Grösse, Isolation, Vernetzung. Teil 1: Begriffsdefinitionen und empirische Daten. Fachgutachten zum Entwurf des Naturschutz-Gesamtkonzeptes für den Kanton Zürich 1992. Band 5.*
- Wilke, C., Bachmann, J., Hage, G. & Heiland, S. (2011). *Planung- und Managementstrategien des Naturschutzes im Lichte des Klimawandels*. Naturschutz und Biologische Vielfalt Nr. 109.
- Williams, S.E., Shoo, L.P., Isaac, J.L., Hoffmann, A. a & Langham, G. (2008). Towards an Integrated Framework for Assessing the Vulnerability of Species to Climate Change. *PLoS biology*, 6, 2621–2626.
- Wittmer, I., Moschet, C., Simovic, J., Singer, H., Stamm, C., Hollender, J., Junghans, M. & Leu, C. (2014). Über 100 Pestizide in Fliessgewässern. *Aqua & Gas*, 3, 32–43.
- Wohlgemuth, T., Brigger, A., Gerold, P., Laranjeiro, L., Moretti, M., Moser, B., Rebetez, M., Schmatz, D., Schneiter, G., Sciacca, S., Sierro, A., Weibel, P., Zumbrunnen, T. & Conedera, M. (2010). Leben mit Waldbrand. *Merkblatt für die Praxis*, 46, 1–16.
- Wohlgemuth, T., Moser, B., Brändli, U., Kull, P. & Schütz, M. (2008). Diversity of forest plant species at the community and landscape scales in Switzerland. *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 142, 604–613.
- WWF. (2015). *Impact of Climate Change on Species*.
- Zbinden, N., Maggini, R., Keller, V. & Schmid, H. (2012). *Swiss Bird Index SBI Climate Change. Bericht zur Herleitung*. Schweizerische Vogelwarte Sempach.
- Zürcher Kantonalbank. (2013). *Klimawandel im Grossraum Zürich. Was können wir tun?* Studienreihe "Wirtschaft und Gesellschaft" der Zürcher Kantonalbank.

## 8 Anhang

### 8.1 Struktur zur Ermittlung der Vulnerabilität von Arten gegenüber dem Klimawandel

Quelle: Williams et al. (2008)



doi:10.1371/journal.pbio.0060325.g001

**Figure 1.** A General Framework To Assess the Vulnerability of Species to Global Climate Change

Vulnerability is a function of the species' sensitivity and their exposure to climatic change, mediated by the adaptive potential of the species (both ecological and evolutionary), the resilience of the species, and the capacity for adaptive management to either reduce vulnerability, treat the impacts, mitigate regional exposure, or maximise the system resilience via resource management to increase buffering or reduce other threats. Any realised impacts are likely to cause feedback effects due to changes in biotic/abiotic interaction, loss of genetic diversity, and changes in or loss of ecosystem processes. These feedback effects could result in cascading impacts throughout the ecosystem. All elements of this framework need to be considered in a comprehensive evaluation of vulnerability.

### **8.2 Klimasensibilität der Aktionsplanarten Flora**

Die untenstehende Tabelle umfasst eine Abschätzung der Klimasensibilität aller Aktionsplanarten Flora des Kantons Zürich. Die Einstufung wurde basierend auf vorhandenen Abschätzungen aus Europa (Pompe et al. 2011; Reich et al. 2012) vorgenommen. Abschätzung für die Schweiz bzw. den Kanton Aargau sind an der WSL in Erarbeitung (Ansprechperson Niklaus Zimmermann). Da sich die vorliegenden Angaben hauptsächlich auf Europa und Deutschland beziehen, kann die Entwicklung der Aktionsplanarten innerhalb der Grenzen des Kantons Zürich allenfalls anders ausfallen als von den Abschätzungen vorausgesagt. Die Zeigerwerte stammen aus der Flora Indicativa (Landolt & et al. 2010).

#### **Erläuterung zu Spalten mit Informationen aus Pompe et al. (2011)**

Fallbeispiele zu einer Auswahl von Arten, die besonders stark auf den Klimawandel reagieren dürften und zu ihren Arealveränderung bis 2080 in Deutschland: Berechnung des Arealwandels für verschiedene Szenarien. Die Zuordnung zu Risikokategorie erfolgt aufgrund der mittleren Arealveränderung im Vergleich zu 1961-90:

- Zunahme des Areals
- Abnahme des Areals R1: < 25%
- $25\% \leq R2 < 50\%$
- $50\% \leq R3 < 75\%$
- $R4 \geq 75\%$

#### **Erläuterung zu Zeigerwerten aus Landolt & et al. (2010).**

T Temperatur	Mass für die mittlere Lufttemperatur, der die Pflanze während der Vegetationszeit ausgesetzt ist: 1 (alpin und nival) - 5 (sehr warm-kollin)
Tv Temperaturvariabilität	
F Feuchtezahl:	Mass für die mittlere Feuchtigkeit des Bodens in der Vegetationszeit am hauptsächlichsten Standort der Art: 1 (sehr trocken) - 5 (unter Wasser)
Fv Feuchtezahlvariabilität	
W Wechselfeuchtezahl:	Mass für die wechselnde Feuchtigkeit des Bodens im Jahresverlauf am hauptsächlichsten Standort der Art: 1 (wenig wechselnd) - 3 (stark wechselnd)

#### **Gesamtbewertung zum Einfluss des Klimawandels auf einzelne Arten in Europa**

+ Art profitiert tendenziell; Art wird eher beeinträchtigt; +/- Art reagiert je nach Szenario unterschiedlich; k.A. keine Angaben gefunden

Artnamen vollständig	Taxonomie ID	Zeigerwerte (Flora Indicativa 2010)							Pompe et al. 2011 Fallbeispiele wahrscheinlich positive Reaktion	Pompe, S. et al. 2011, Arealveränderungen 2080		Reich, M. et al. 2012		Gesamt- bewertung
		T	Tv	F	Fv	W	SEDG (+2,2°C)	BAMBU (+2,9°C)		GRAS (+3,8°C)	Ausbreitung gspezifisch	potenzielle Hauptausbreitung gspezifisch in Deutschland		
Aldrovanda vesiculosa L.	21600	5	II	5u	I	1			k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	+	
Allium angulosum L.	22200	4	I	4	II	3			k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	-	
Anagallis minima (L.) E. H. L. Krause	30000	4	I	4	I	3			k.A.	k.A.	2	k.A.	-	
Aristolochia clematilis L.	44600	4.5	I	3.5	I	1			Zunahme	Zunahme	Zunahme	k.A.	+	
Blackstonia acuminata (W. D. J. Koch & Ziz.) Domin	62300	4.5	I	3.5	I	3			k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	
Campanula cervicaria L.	75100	4	II	3	I	3			k.A.	k.A.	3	k.A.	-	
Cardamine palustris (Wimm. & Grab.) Peterm.	79400	3.5	I	4.5	I	3			k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	
Carex chordorrhiza L. f.	85100	3.5	I	5	I	2			k.A.	k.A.	4	k.A.	-	
Carex hartmannii Cajander	88400	3.5	I	4	I	3			k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	
Daphne cneorum L.	133400	4	II	1.5	I	2			k.A.	k.A.	3	k.A.	-	
Eriophorum gracile Roth	155300	3.5	I	4.5	I	2			k.A.	k.A.	4	k.A.	-	
Filipendula vulgaris Moench	173200	3.5	I	2.5	I	3			Zunahme	Zunahme	2	k.A.	+/-	
Gagea pratensis (Pers.) Dumort.	175900	4.5	II	2	I	2			k.A.	k.A.	1	k.A.	-	
Gagea villosa (M. Bieb.) Sweet	176100	4.5	II	2	I	1			k.A.	k.A.	1	k.A.	-	
Gentiana cruciata L.	183600	3	I	1.5	I	2			k.A.	k.A.	1	k.A.	-	
Gratiola officinalis L.	193000	4	II	4.5	I	3			k.A.	k.A.	3	k.A.	-	
Himantoglossum hircinum (L.) Spreng.	206200	4.5	II	1.5	I	2			k.A.	k.A.	Zunahme	k.A.	+	
Hypochoeris maculata L.	212000	4	I	3	I	3			k.A.	k.A.	2	k.A.	-	
Inula britannica L.	214000	4.5	I	4	I	3			k.A.	k.A.	2	k.A.	-	
Inula helvetica Weber	214500	4.5	I	4	I	3			k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	
Inula hirta L.	214600	4.5	I	1.5	I	1			k.A.	k.A.	2	k.A.	-	
Liparis loeselii (L.) Rich.	241800	4	I	4.5	I	2			k.A.	k.A.	4	k.A.	-	
Littorella uniflora (L.) Asch.	242400	4	I	4.5	I	3			k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	
Nuphar pumila (Timm) DC.	272400	3	I	5v	I	1			k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	
Oenanthe lachenalii C. C. Gmel.	273900	4.5	II	4.5	I	3			k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	
Ophrys araneola Rchb.	278300	4.5	II	2	I	3			k.A.	k.A.	Zunahme	k.A.	+	
Orchis palustris Jacq.	281300	4.5	II	4.5	I	2			k.A.	k.A.	4	k.A.	-	
Potamogeton coloratus Hornem.	318300	4.5	I	5u	I	1			k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	
Potentilla incinata Vill.	322900	4.5	I	1	I	1			Zunahme	Zunahme	2	k.A.	+/-	
Potentilla leucopolitana P. J. Müll	323100	4.5	I	1.5	I	2			k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	
Potentilla praecox F. W. Schultz	324100	4.5	I	1.5	I	2			k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	
Prunella laciniata (L.) L.	328000	4.5	I	2	I	1			k.A.	k.A.	Zunahme	k.A.	+	
Pulsatilla vulgaris Mill.	334200	4	I	1.5	I	1			k.A.	k.A.	1	k.A.	-	
Rosa gallica L.	348600	4.5	II	2.5	I	2			Zunahme	Zunahme	Zunahme	k.A.	+	
Sagittaria sagittifolia L.	362700	4.5	I	5	I	3			k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	
Saxifraga granulata L.	373400	4	I	2.5	II	2			1	2	3	k.A.	-	
Scorzonera humilis L.	381200	3.5	II	3.5	I	3			k.A.	k.A.	3	k.A.	-	
Sedum rubens L.	385100	4.5	I	1	I	3			Zunahme	Zunahme	Zunahme	k.A.	+	
Spiranthes spiralis (L.) Chevall.	405100	3.5	II	3.5	II	2			k.A.	k.A.	Zunahme	k.A.	+	
Teucrium scorodium L.	415200	4	I	4.5	I	3			k.A.	k.A.	3	k.A.	-	
Thalictrum galloides Pers.	416000	4	I	3.5	I	3			Zunahme	Zunahme	Zunahme	k.A.	+	
Thesium rostratum Mert. & W. D. J. Koch	417800	4	I	1.5	I	1			k.A.	k.A.	Zunahme	k.A.	+	
Trifolium ochroleucum Huds.	426600	4	II	2	I	2			k.A.	k.A.	1	k.A.	-	
Typha minima Hoppe	432300	4	I	4 <sup>a</sup>	I	3			k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	
Typha shuttleworthii W. D. J. Koch & Sond.	432400	4.5	I	5	I	3			k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	
Viola elatior Fr.	450200	4	I	4	I	3			k.A.	k.A.	3	k.A.	-	
Viola persicifolia Schreb.	451200	4	I	4	I	3			k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	
Viola pumila Chaix	451400	3.5	I	3.5	II	3			k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	

### **8.3 Klimasensibilität der Aktionsplanarten Fauna**

Die untenstehende Tabelle umfasst eine Abschätzung der Klimasensibilität aller Aktionsplanarten Fauna des Kantons Zürich. Die Einstufung wurde basierend auf vorhandenen Abschätzungen aus Europa (Schlumprecht et al. 2010; Beierkuhnlein et al. 2014; Kerth et al. 2014, 2015) und der Schweiz für Vogelarten (Zbinden et al. 2012)(Maggini et al. 2014) vorgenommen. Da sich die Angaben mit Ausnahme der Vögel hauptsächlich auf Europa beziehungsweise Deutschland beziehen, kann die Entwicklung der Aktionsplanarten innerhalb der Grenzen des Kantons Zürich allenfalls anders ausfallen als von den Abschätzungen vorausgesagt.

#### **Erläuterung zu Spalten mit Informationen aus Beierkuhnlein et al. (2014)**

Vorhergesagte Veränderung der Verbreitung der Arten in Europa bei verschiedenen Emissionsszenarien und für verschiedene Zeiträume (Reaktion in verschiedenen Zeiträumen mit „/“ getrennt) mit Temperaturanstiegen von 1.8 °C, 3.4°C und 4°C bis 2100. In der Schweiz kann die Entwicklung anders sein.

#### **Erläuterung zu Spalten mit Informationen aus Schlumprecht et al. (2010)**

Gefährdungsdiskposition (max. 19 Punkte) von FFH-Tierarten: hoch: >9, mittel 6-9, nieder <6

#### **Erläuterung zu Spalten mit Informationen aus Kerth et al. (2014, 2015)**

Lebensraumansprüche, Gefährdungsfaktoren, arteigene Anpassungsoptionen (Plastizität, Evolution, Mobilität) und Schutzmassnahmen für 50 Hochrisikoarten. Information vorhanden: ja oder nein

#### **Erläuterung zu Spalten mit Informationen aus (Reich et al. 2012)**

Ausbreitungspotenzial der Arten und potenzielle Hauptausbreitungsrichtungen

#### **Erläuterung zu Spalten mit Informationen vom Swiss Bird Index SBI® Climate Change (Zbinden et al. 2012)**

Brutvogelarten mit besonders starken Arealveränderungen zwischen dem Verbreitungsgebiet der 1990er-Jahre und der vorhergesagten Verbreitung am Ende des 21. Jahrhunderts. Aufgearbeitet für die Öffentlichkeit, basierend auf Maggini et al. (2014). Angaben für weitere Vogelarten finden sich in der Publikation.

#### **Erläuterung zu Spalten mit Informationen aus Maggini et al. (2014)**

Vulnerabilitäts-Indices für Brutvögel der Schweiz bei zwei Klima- und Landnutzungsänderungsszenarien (Bereichsangaben) für 2050 (VI\_2050) und 2100 (VI\_2100). V\_ref gibt den Ausgangswert an. Dafür werden die voraussichtliche Änderung des Verbreitungsgebietes der Art, das Reservoir für die Art auf europäischem Niveau und der Populationstrend berücksichtigt.

Angaben für weitere Brutvogelarten finden sich in der Publikation.

#### **Gesamtbewertung zum Einfluss des Klimawandels auf einzelne Arten in Europa**

+ Art profitiert tendenziell; Art wird eher beeinträchtigt; +/- Art reagiert je nach Szenario unterschiedlich; k.A. keine Angaben gefunden

deutsch	lateinisch	Art	Beierkuhnlein et al. 2014 (2021-2050/2051-2080/2071-2100)		Schlumprecht, H. et al. 2010	Kerth, G. et al. 2014 und 2015	Reich, M. et al. 2012		Zbinden et al. (2012)	Maggini et al. 2014		Gesamtbewertung	
			Verbreitung in Europa mit Ausbreitung	Verbreitung in Europa ohne Ausbreitung			Gefährdungsdiskussion	Anpassungskapazität von Hochrisikoarten		Ausbreitungspotenzial	potenzielle Hauptausbreitung in Deutschland		Verbreitungsgebiet 2100
Eisvogel	<i>Alcedo atthis</i> (Eisvogel)		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	starker Ausdehnung	0.339	0.300 - 0.320	0.259 - 0.315	+
Geburtsheiferkröte	<i>Alytes obstetricans</i> (Laurenti, 1768)		-/-	-/-	niedrig	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	-
-	<i>Andrena aglissima</i> (Scopoli, 1770)		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
-	<i>Andrena florea</i> Fabricius, 1793		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
-	<i>Andrena hattorfiana</i> (Fabricius, 1775)		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
-	<i>Andrena pandellei</i> Perez, 1895		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Kleiner Schillerfalter	<i>Apatura ilia</i> Denis & Schiffermüller, 1775		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	S-N	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Kreuzkröte	<i>Bufo calamita</i> Laurenti, 1768		- bis +/-	-/-	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	-
Betonien-	<i>Cartharodius flocciferus</i> Zeller, 1847		k.A.	k.A.	k.A.	ja	S-N	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Heilwies-Dickkopffalter	<i>Cheragion tenellum</i> (De Villiers, 1789)		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Späte Adonislibelle	<i>Coenagrion hastulatum</i> (Charpentier, 1825)		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Speer-Azurjungfer	<i>Coenagrion mercuriale</i> (Charpentier, 1840)		+/+	-/-	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	+/-
Grosses	<i>Coenonympha tullia</i> Müller O. F., 1764		+/+	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Schlingenfalter	<i>Coronilla austriaca</i> Laurenti, 1768		+/+	-/-	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	0.385	0.418 - 0.451	0.474 - 0.491	+/-
Mittelspecht	<i>Dendrocopos medius</i>		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	hoch	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	-
Skabiosen-	<i>Euphydryas aurinia aurinia</i> Roittemburg 1775		+/+	-/-	k.A.	ja	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	+/-
scheckenfalter	<i>Hyla arborea</i> (Linnaeus, 1758)		- bis +/-	-/-	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	-
Laubrosch	<i>Hyaleus pectoralis</i> Förster, 1871		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
-	<i>Lasio glossum costulatum</i>		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Glänzende	<i>Lestes dryas</i> Kirby, 1890		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Binsenjungfer	<i>Leucornithia pectoralis</i> (Charpentier, 1825)		+/+	-/-	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	+/-
Grosse Moosjungfer	<i>Lopinga achine</i> Scopoli 1763		+/+	-/-	k.A.	k.A.	mittel	S-N, O>W	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	+/-
Gelbbirnfalter	<i>Megachile parietina</i> (Geoffroy in Fourcroy, 1785)		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	mittel	S-N, NPS, O>W	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
-	<i>Minois dryas</i> Scopoli 1763		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	mittel	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Blauauge	<i>Oedipoda caerulea</i> (Linnaeus, 1758)		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Ödlandschrecke	<i>Omocestus rufipes</i> (Zetterstedt, 1821)		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Buntbauchiger	<i>Osmia gallarum</i> Spinola, 1808		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Grashüpfer	<i>Osmia tridentata</i> Durour + Perris, 1841		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
-	<i>Piebelius idas</i> Linnaeus 1761		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Ginster-Bläuling	<i>Pupilla bigranata</i> (Rossmässler, 1839)		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Zweizähliges	<i>Ruspolia nitidula</i> (Scopoli, 1786)		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Moospüppchen	<i>Satyrus ilicis</i> Esper 1779		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Grosse	<i>Tetrao urogallus</i>		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Schiefkopfschrecke	<i>Triturus cristatus</i> (Laurenti, 1768)		- bis +/- bis +/-	-/-	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	starker Schrumpfung	0.406	0.560 - 0.577	0.688 - 0.723	-
Steinchen-			k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	(unterschätzt)	(unterschätzt)	(unterschätzt)	+/-
zipfelfalter			k.A.	k.A.	hoch	ja	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	-
Auerhuhn			k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Kammloch			k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Gemeine			k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Bachmuschel			k.A.	k.A.	hoch	ja	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	-
Kreuzotter			k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.

## 8.4 Klimasensibilität von Lebensräumen

Quelle: Petermann et al. (2007). Erläuterung der Einstufung der Sensibilität am Ende.

Tab. 3: Vorläufige Sensitivitätsanalyse der Lebensraumtypen nach Anhang I der FFH-Richtlinie

Code	P	Name des Lebensraumtyps nach Anhang I	alpin	atlantisch	kontinental	Qualitative Gefährdung	Regenerierbarkeit	Arealgrenzen	auf Hochlagen beschränkt	GW-Abhängigkeit	Tendenz Fläche	Invasionen (Neobiota)	Summe	Sensitivität	
1110		Sandbänke mit nur schwacher ständiger Überspülung durch Meerwasser	v	v	1	1	1	1	1	1	1	1	7	1	
1130		Ästuarien	v	v	2	3	2	1	3	2	1	14	2		
1140		Vegetationsfreies Schlick-, Sand- und Mischwatt	v	v	2	3	1	1	1	2	1	11	1		
1150	*	Lagunen des Küstenraumes (Strandseen)	v	v	2	3	2	1	3	3	1	15	2		
1160		Flache große Meeressarme und -buchten (Flachwasserzonen und See-graswiesen)	v	v	2	3	1	1	1	2	1	11	1		
1170		Riffe	v	v	2	3	1	1	1	2	1	11	1		
1210		Einjährige Spülsäume	v	v	2	3	1	1	1	2	1	11	1		
1220		Mehrfährige Vegetation der Kiesstrände	v	v	2	2	2	1	1	2	1	11	1		
1230		Atlantik-Felsküsten und Ostsee-Fels- und -Steilküsten mit Vegetation	v	v	2	3	3	1	1	2	1	13	1		
1310		Pioniervegetation mit Salicornia und anderen einjährigen Arten auf Schlamm und Sand (Quellerwatt)	v	v	2	2	1	1	1	2	1	10	1		
1320		Schlickgrasbestände (Spartinion maritimae)	v	1	1	1	1	1	1	1	1	7	1		
1330		Atlantische Salzwiesen (Glauco-Puccinellietalia maritimae)	v	v	2	2	1	1	1	2	1	10	1		
1340	*	Salzwiesen im Binnenland	v	v	3	3	3	1	2	3	1	16	2		
2110		Primärdünen	v	v	2	1	1	1	1	2	1	9	1		
2120		Weißdünen mit Strandhafer Ammophila arenaria	v	v	2	2	1	1	1	1	1	9	1		
2130	*	Festliegende Küstendünen mit krautiger Vegetation (Graudünen)	v	v	2	2	1	1	2	2	2	12	1		
2140	*	Entkalkte Dünen mit Empetrum nigrum	v	v	2	2	2	1	2	2	2	13	1		
2150	*	Festliegende entkalkte Dünen der atlantischen Zone (Calluno-Ulicetea)	v	v	2	2	1	1	1	2	2	11	1		
2160		Dünen mit Hippophaë rhamnoides	v	v	2	1	1	1	1	2	2	10	1		
2170		Dünen mit Salix repens ssp. argentea (Salicion arenariae)	v	v	2	2	1	1	2	2	2	12	1		
2180		Bewaldete Dünen der atlantischen, kontinentalen und borealen Region	v	v	2	3	2	1	2	2	1	13	1		
2190		Feuchte Dünentäler	v	v	3	2	2	1	3	2	1	14	2		
2310		Trockene Sandheiden mit Calluna und Genista [Dünen im Binnenland]	v	v	2	2	2	1	1	3	2	13	1		
2320		Trockene Sandheiden mit Calluna und Empetrum nigrum [Dünen im Binnenland]	v	v	2	2	2	1	1	3	2	13	1		
2330		Dünen mit offenen Grasflächen mit Corynephorus und Agrostis [Dünen im Binnenland]	v	v	3	2	2	1	1	3	2	14	2		
3110		Oligotrophe, sehr schwach mineralische Gewässer der Sandebenen (Littorelletalia uniflorae)	v	v	3	3	2	2	3	3	1	17	3		
3130		Oligo- bis mesotrophe stehende Gewässer mit Vegetation der Littorelletea uniflorae und/oder der Isoeto-Nanojuncetea	v	v	v	3	3	2	2	3	3	1	17	3	
3140		Oligo- bis mesotrophe kalkhaltige Gewässer mit benthischer Vegetation aus Armleuchteralgen	v	v	v	3	3	2	3	3	3	1	18	3	
3150		Natürliche eutrophe Seen mit einer Vegetation des Magnopotamions oder Hydrocharitons	v	v	2	2	1	2	3	2	3	15	2		
3160		Dystrophe Seen und Teiche	v	v	v	3	3	2	3	3	3	1	18	3	
3180	*	Turloughs	v	v	2	3	2	1	3	2	1	14	2		
3190		Gipskarstseen auf gipshaltigem Untergrund	v	v	2	3	2	1	3	2	1	14	2		
3220		Alpine Flüsse mit krautiger Ufervegetation	v	v	2	3	3	2	3	2	1	16	2		
3230		Alpine Flüsse mit Ufergehölzen von Myricaria germanica	v	v	3	3	3	2	3	3	1	18	3		
3240		Alpine Flüsse mit Ufergehölzen von Salix eleagnos	v	v	2	3	3	2	3	2	2	17	3		
3260		Flüsse der planaren bis montanen Stufe mit Vegetation des Ranunculion fluitantis und des Callitriche-Batrachion	v	v	v	3	3	1	2	3	2	3	17	3	
3270		Flüsse mit Schlammabänken mit Vegetation des Chenopodium rubri p.p. und des Bidention p.p.	v	v	2	2	2	2	3	2	3	16	2		
4010		Feuchte Heiden des nordatlantischen Raums mit Erica tetralix	v	v	3	3	3	1	3	3	2	18	3		
4030		Trockene europäische Heiden	v	v	3	2	1	3	1	3	2	15	2		
4060		Alpine und boreale Heiden	v	2	3	3	3	1	3	1	16	2			
4070	*	Buschvegetation mit Pinus mugo und Rhododendron hirsutum (Mugo-Rhododendretum hirsuti)	v	v	1	2	3	3	1	1	1	12	1		
40A0	*	Subkontinentale peripannonische Gebüsche	v	3	3	3	1	1	3	1	15	2			

## Klimawandel und Biodiversität

5110	Stabile xerothermophile Formationen von <i>Buxus sempervirens</i> an Felsabhängungen (Berberidion p.p.)	v	v	2	2	3	1	1	2	1	<b>12</b>	<b>1</b>
5130	Formationen von <i>Juniperus communis</i> auf Kalkheiden und -rasen	v	v	2	2	1	2	1	2	1	<b>11</b>	<b>1</b>
6110	* Lückige basophile oder Kalk-Pionierrasen ( <i>Alyso-Sedion albi</i> )	v	v	2	3	3	2	1	2	1	<b>14</b>	<b>2</b>
6120	* Trockene, kalkreiche Sandrasen	v	v	3	2	3	1	1	3	2	<b>15</b>	<b>2</b>
6130	Schwermetallrasen ( <i>Violetalia calaminariae</i> )	v	v	1	3	2	2	1	2	1	<b>12</b>	<b>1</b>
6150	Boreo-alpines Grasland auf Silikatsubstraten	v	v	2	2	3	3	1	2	1	<b>14</b>	<b>2</b>
6170	Alpine und subalpine Kalkrasen	v	v	1	3	3	3	1	1	1	<b>13</b>	<b>1</b>
6210	* Naturnahe Kalk-Trockenrasen und deren Verbuschungsstadien ( <i>Festuco-Brometalia</i> ) (* besondere Bestände mit bemerkenswerten Orchideen)	v	v	3	3	3	2	1	2	3	<b>17</b>	<b>3</b>
6230	* Artenreiche montane Borstgrasrasen (und submontan auf dem europäischen Festland) auf Silikatböden	v	v	3	2	2	2	2	3	1	<b>15</b>	<b>2</b>
6240	* Subpannonische Steppen-Trockenrasen [ <i>Festucetalia vallesiaca</i> ]	v	v	3	3	3	1	1	3	3	<b>17</b>	<b>3</b>
6410	Pfeifengraswiesen auf kalkreichem Boden, torfigen und tonig-schluffigen Böden ( <i>Molinion caeruleae</i> )	v	v	3	2	1	2	3	3	1	<b>15</b>	<b>2</b>
6430	Feuchte Hochstaudenfluren der planaren und montanen bis alpinen Stufe	v	v	2	2	1	3	3	2	3	<b>16</b>	<b>2</b>
6440	Brenndolden-Auenwiesen ( <i>Cnidion dubii</i> )	v	v	3	2	3	1	3	3	1	<b>16</b>	<b>2</b>
6510	Magere Flachland-Mähwiesen ( <i>Alopecurus pratensis</i> , <i>Sanguisorba officinalis</i> )	v	v	3	2	1	2	2	3	3	<b>16</b>	<b>2</b>
6520	Berg-Mähwiesen	v	v	2	2	3	2	2	3	1	<b>15</b>	<b>2</b>
7110	* Lebende Hochmoore	v	v	3	3	2	3	3	3	1	<b>18</b>	<b>3</b>
7120	Noch renaturierungsfähige degradierte Hochmoore	v	v	3	3	2	3	3	2	2	<b>18</b>	<b>3</b>
7140	Übergangs- und Schwingrasenmoore	v	v	3	3	1	3	3	3	2	<b>18</b>	<b>3</b>
7150	Torfmoor-Schlenken ( <i>Rhynchosporion</i> )	v	v	1	2	1	2	3	2	1	<b>12</b>	<b>1</b>
7210	* Kalkreiche Sümpfe mit <i>Cladium mariscus</i> und Arten des Caricion <i>davallianae</i>	v	v	3	2	2	2	3	3	1	<b>16</b>	<b>2</b>
7220	* Kalktuffquellen ( <i>Cratoneurion</i> )	v	v	3	3	2	2	3	3	1	<b>17</b>	<b>3</b>
7230	Kalkreiche Niedermoore	v	v	3	3	1	3	3	3	1	<b>17</b>	<b>3</b>
7240	* Alpine Pionierformationen des Caricion <i>bicoloris-atrofuscae</i>	v	v	1	3	3	3	3	1	1	<b>15</b>	<b>2</b>
8110	Silikatschutthalden der montanen bis nivalen Stufe ( <i>Androsacetalia alpinae</i> und <i>Galeopsietalia ladani</i> )	v	v	1	2	3	3	1	2	1	<b>13</b>	<b>1</b>
8120	Kalk- und Kalkschieferschutt-Halden der montanen bis alpinen Stufe ( <i>Thlaspietea rotundifolii</i> )	v	v	1	2	3	3	1	1	1	<b>12</b>	<b>1</b>
8150	Kieselhaltige Schutthalden der Berglagen Mitteleuropas	v	v	2	3	3	2	1	2	1	<b>14</b>	<b>2</b>

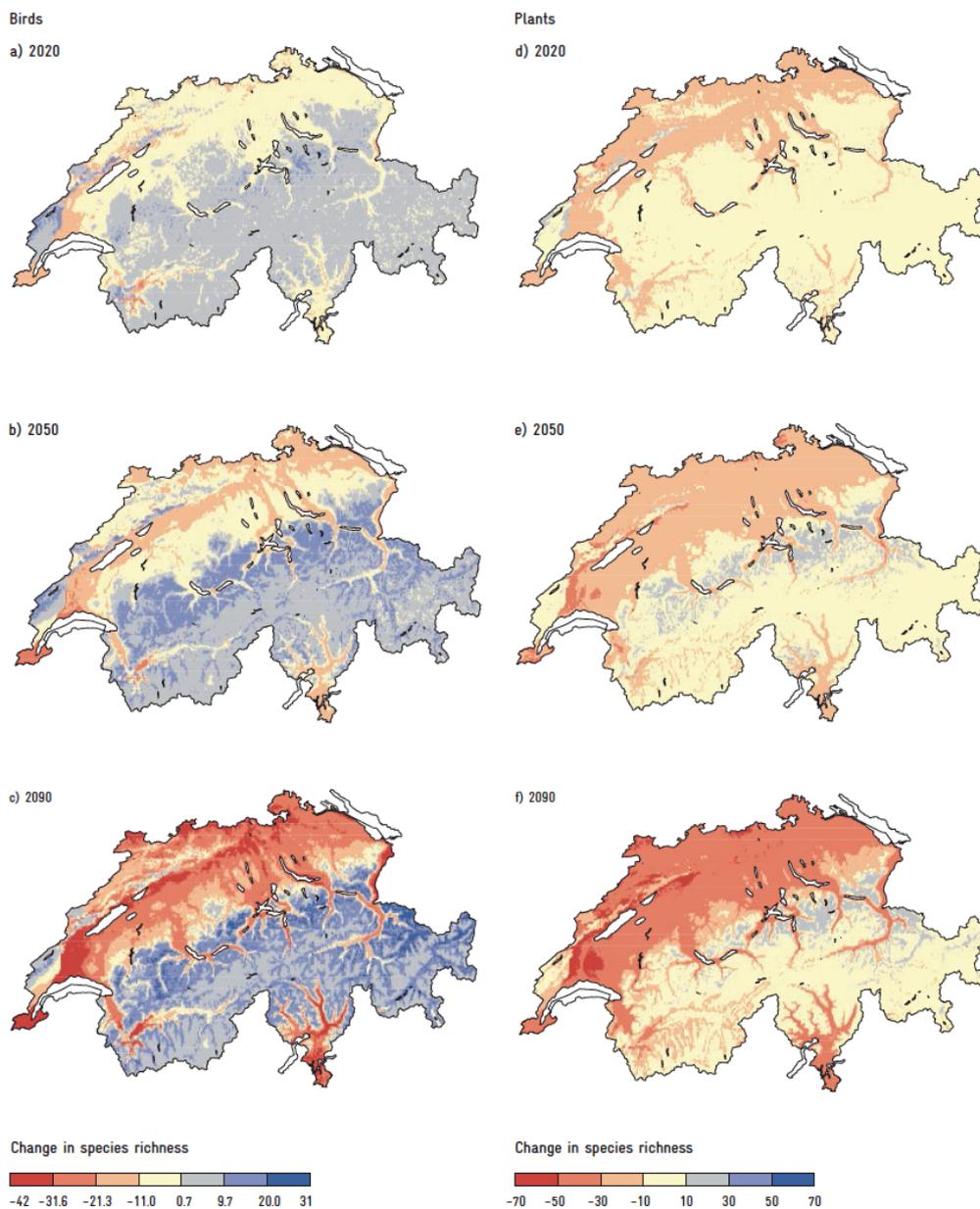
8160	* Kalkhaltige Schutthalden der collinen bis montanen Stufe Mitteleuropas	v	v	2	3	3	2	1	2	1	<b>14</b>	<b>2</b>
8210	Kalkfelsen mit Felsspaltvegetation	v	v	2	3	3	2	2	1	<b>16</b>	<b>2</b>	
8220	Silikatfelsen mit Felsspaltvegetation	v	v	2	3	3	2	2	1	<b>16</b>	<b>2</b>	
8230	Silikatfelsen mit Pionierv egetation des Sedo-Scleranthion oder des Sedo albi-Veronicion <i>dillenii</i>	v	v	2	3	3	1	3	1	<b>16</b>	<b>2</b>	
8310	Nicht touristisch erschlossene Höhlen	v	v	2	3	1	3	1	2	1	<b>13</b>	<b>1</b>
8340	Permanente Gletscher	v	v	2	3	3	3	2	1	<b>17</b>	<b>3</b>	
9110	Hainsimsen-Buchenwald ( <i>Luzulo-Fagetum</i> )	v	v	2	3	1	2	2	3	<b>15</b>	<b>2</b>	
9120	Atlantischer, saurer Buchenwald mit Unterholz aus Stechpalme und gelegentlich Eibe ( <i>Quercion robori-petraeae</i> oder <i>Ilici-Fagenion</i> )	v	v	2	3	3	1	2	2	3	<b>16</b>	<b>2</b>
9130	Waldmeister-Buchenwald ( <i>Asperulo-Fagetum</i> )	v	v	2	3	1	2	2	3	<b>15</b>	<b>2</b>	
9140	Mitteleuropäischer subalpiner Buchenwald mit Ahorn und <i>Rumex arifolius</i>	v	v	1	3	3	3	1	1	<b>13</b>	<b>1</b>	
9150	Mitteleuropäischer Orchideen-Kalk-Buchenwald ( <i>Cephalanthero-Fagion</i> )	v	v	2	3	3	2	1	2	<b>13</b>	<b>1</b>	
9160	Subatlantischer oder mitteleuropäischer Stieleichenwald oder Hainbuchenwald ( <i>Carpinion betuli</i> ) [ <i>Stellario-Carpinetum</i> ]	v	v	2	3	1	2	3	2	3	<b>16</b>	<b>2</b>
9170	Labkraut-Eichen-Hainbuchenwald <i>Galio-Carpinetum</i>	v	v	2	3	1	2	1	2	1	<b>12</b>	<b>1</b>
9180	* Schlucht- und Hangmischwälder <i>Tilio-Acerion</i>	v	v	2	3	3	2	3	2	<b>17</b>	<b>3</b>	
9190	Alte bodensaure Eichenwälder auf Sandebenen mit <i>Quercus robur</i>	v	v	2	3	1	1	2	3	2	<b>14</b>	<b>2</b>
91D0	* Moorwälder	v	v	3	3	2	3	3	3	<b>17</b>	<b>3</b>	
91E0	* Auenwälder mit <i>Alnus glutinosa</i> und <i>Fraxinus excelsior</i> ( <i>Alno-Padion</i> , <i>Alnion incanae</i> , <i>Salicion albae</i> )	v	v	3	3	1	2	3	3	3	<b>18</b>	<b>3</b>
91F0	Hartholzauenwälder mit <i>Quercus robur</i> , <i>Ulmus laevis</i> , <i>Ulmus minor</i> , <i>Fraxinus excelsior</i> oder <i>Fraxinus angustifolia</i> ( <i>Ulmion minoris</i> )	v	v	3	3	2	1	3	3	3	<b>18</b>	<b>3</b>
91G0	* Pannonische Wälder mit <i>Quercus petraea</i> und <i>Carpinus betulus</i> [ <i>Tilio-Carpinetum</i> ]	v	v	1	3	3	1	1	2	1	<b>12</b>	<b>1</b>
91T0	Mitteleuropäische Flechten-Kiefernwälder	v	v	3	3	3	1	1	3	3	<b>17</b>	<b>3</b>
91U0	Kiefernwälder der sarmatischen Steppe	v	v	3	3	3	2	1	3	3	<b>18</b>	<b>3</b>
9410	Montane bis alpine bodensaure Fichtenwälder ( <i>Vaccinio-Piceetea</i> )	v	v	3	3	3	3	2	3	2	<b>19</b>	<b>3</b>
9420	Alpiner Lärchen- und/oder Arvenwald	v	v	1	3	3	3	1	1	1	<b>13</b>	<b>1</b>

### Kriterien für die Einstufung der Klimasensibilität von Lebensräumen (Petermann et al. 2007):

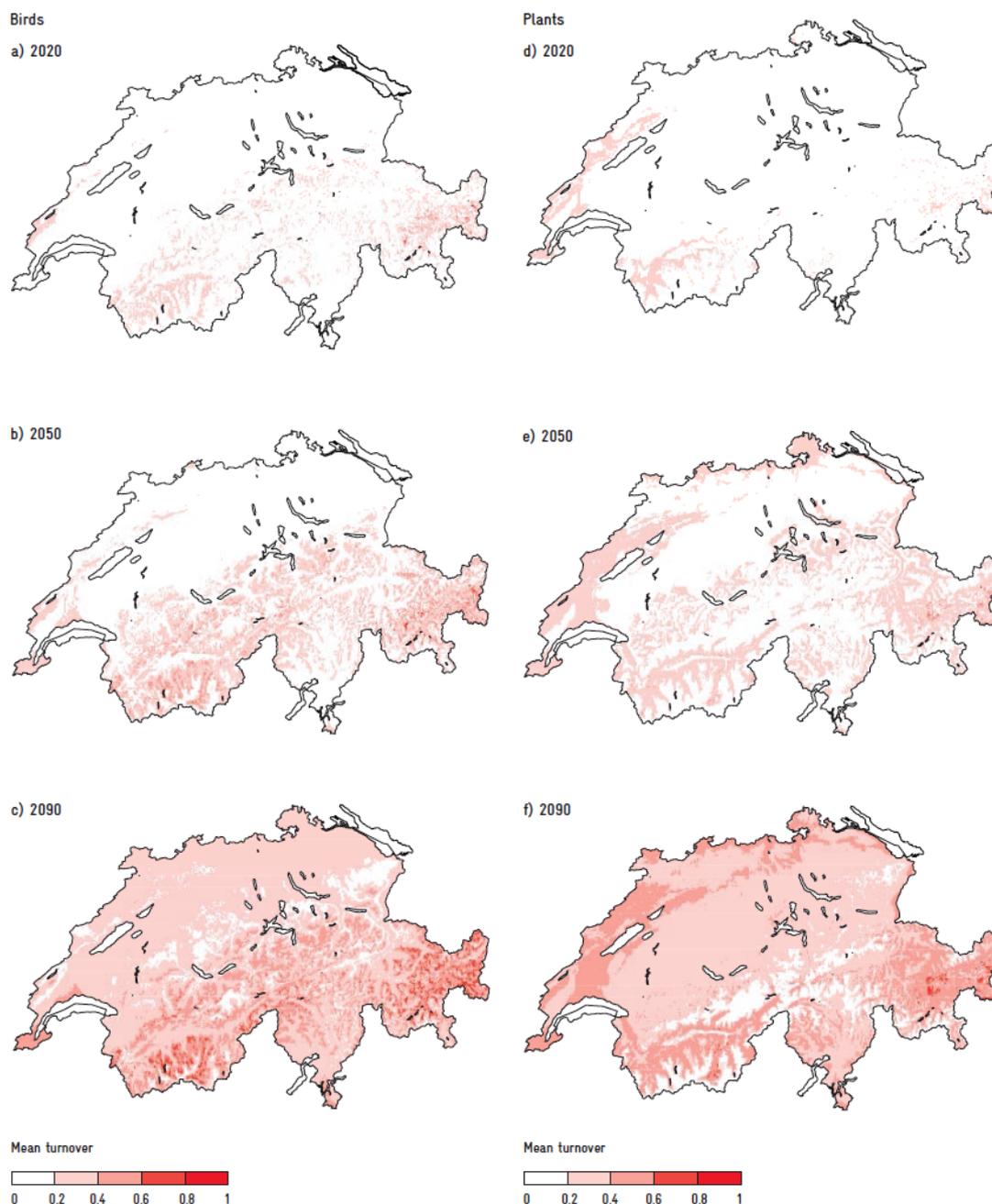
Sensitivität	Qualitative Gefährdung	Regenerierbarkeit	Arealgrenzen	auf Hochlagen beschränkt	Tendenz Fläche	Invasionen (Neobiota)	GW- bzw. Oberflächenwasserabhängigkeit
1 gering	bis 3, *	B (X)	keine, geschlossen	planar, kollin vorhanden	Zunahme oder gleichbleibend; bis 3, *, T =, +	keine	keine
2 mittel	bis 2, R	S	keine, fragmentiert	nur ab Montanstufe	mittlere Rückgänge; bis 2, R, T =	eine Art	nur best. Ausbildungen
3 hoch	bis 1	N, K	vorhanden oder disjunkte Teilareale	nur subalpin und alpin	starke Rückgänge; bis 1; T -	mehrere Arten	abhängig
Quelle:	CD/RL	RL	FFH-Handb.	CD	BfN/ RL	KOWARIK 2005	BfN/RL

## 8.5 Karten zu klimawandelbedingten Veränderung von Vogel- und Pflanzengemeinschaften in der Schweiz

Quelle: CH2014-Impacts (2014a)

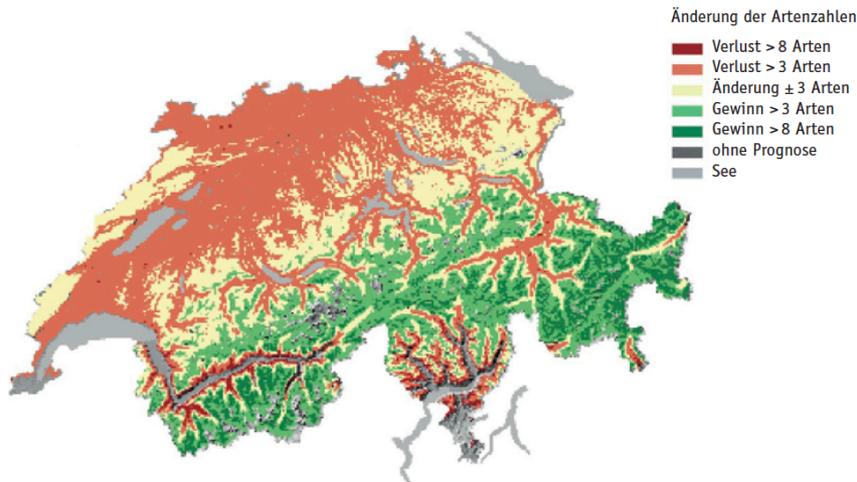


**Figure 7.1:** Mean change in the number of study species with suitable climate conditions under the A1B scenario at 2020 (a, d), 2050 (b, e), and 2090 (c, f). Results for birds (a, b, c) and plants (d, e, f) are shown. The resolution is 1 km × 1 km. The mean was calculated from application of the distribution models to current climate and to six regional models of future climate. Only the results for species that currently breed in Switzerland and have passed the selection criteria (see text) are shown. The potential arrival of species that might newly breed in Switzerland is not addressed because the models could not be validated at a resolution of 1 km × 1 km. The largest changes in terms of absolute numbers of breeding species occur in relatively low elevation areas because these areas originally have the largest number of species.

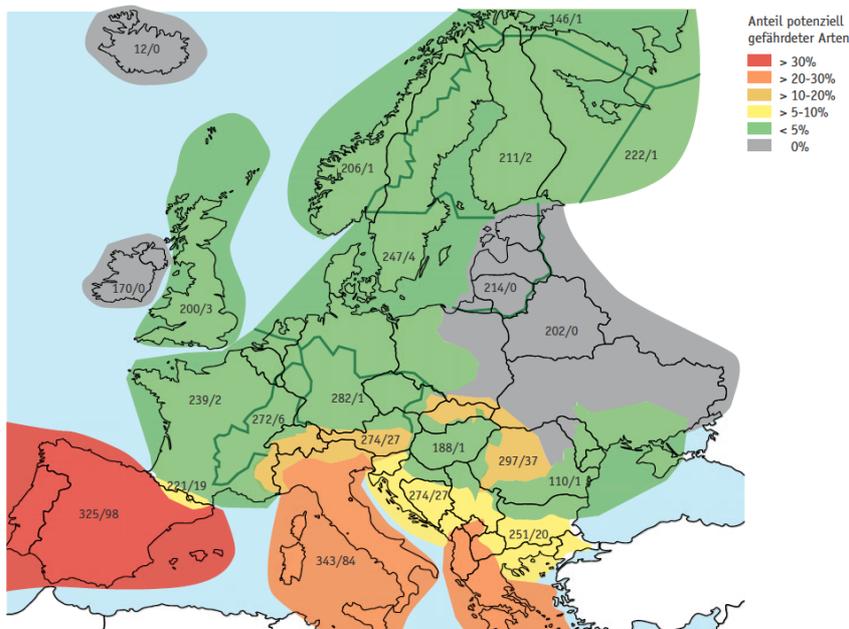


**Figure 7.2:** Mean turnover in species composition for climate conditions under the A1B scenario at 2020 (a, d), 2050 (b, e), and 2090 (c, f) as compared to current simulated distributions of suitable climate conditions. Turnover is defined as  $1-S$ , where  $S$  is the Sorensen Index of similarity. Results for birds (a, b, c) and plants (d, e, f) are shown. The resolution is  $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ . Mean turnover for each pixel was calculated by averaging across the results of model application to six different regional climate simulations. A value of zero (0) for a pixel indicates there has been no change in which species are simulated to have suitable climate, while a value of one (1) indicates that the species that are modeled to find suitable climate currently or in the future form two distinct groups with no shared members. Turnover is independent of the absolute number of species, which may vary widely.

## 8.6 Karten zu klimawandelbedingten Veränderungen bei Insekten in der Schweiz und in Europa



Vorhergesagte Veränderungen der Tagfaltervielfalt in der Schweiz bis 2050 bei einer Erhöhung der mittleren Jahrestemperatur von 2 °C. Die Einwanderung neuer Arten ist nicht berücksichtigt. © Biodiversitätsmonitoring Schweiz BDM und M. Nobis/WSL in Essl & Rabitsch (2013).



Durch den Klimawandel gefährdete Köcherfliegenarten und -unterarten in den biozönotischen Ökoregionen nach Illies. Angegeben sind die Gesamtartenzahlen sowie die Anzahl potenziell durch den Klimawandel gefährdeten Arten (Essl & Rabitsch 2013).

### **8.7 Expertise zu Klimawandel und Biodiversität in der Schweiz**

National Centre for Climate Services NCCS: <http://www.nccs.ch>

Klimaportal Schweiz: <http://www.climate-change.ch>

**ProClim**, das Forum für Klima und globalen Wandel, dient als Schnittstelle zwischen Wissenschaft, Administration, Politik, Wirtschaft und der Öffentlichkeit: <http://www.proclim.ch>

Das **Forum Biodiversität Schweiz** ist das wissenschaftliche Kompetenzzentrum für die Biodiversität in der Schweiz. Es setzt sich für die Erforschung der Biodiversität ein und pflegt den Dialog und die Zusammenarbeit zwischen WissenschaftlerInnen, EntscheidungsträgerInnen und der Gesellschaft: <http://www.biodiversity.ch>

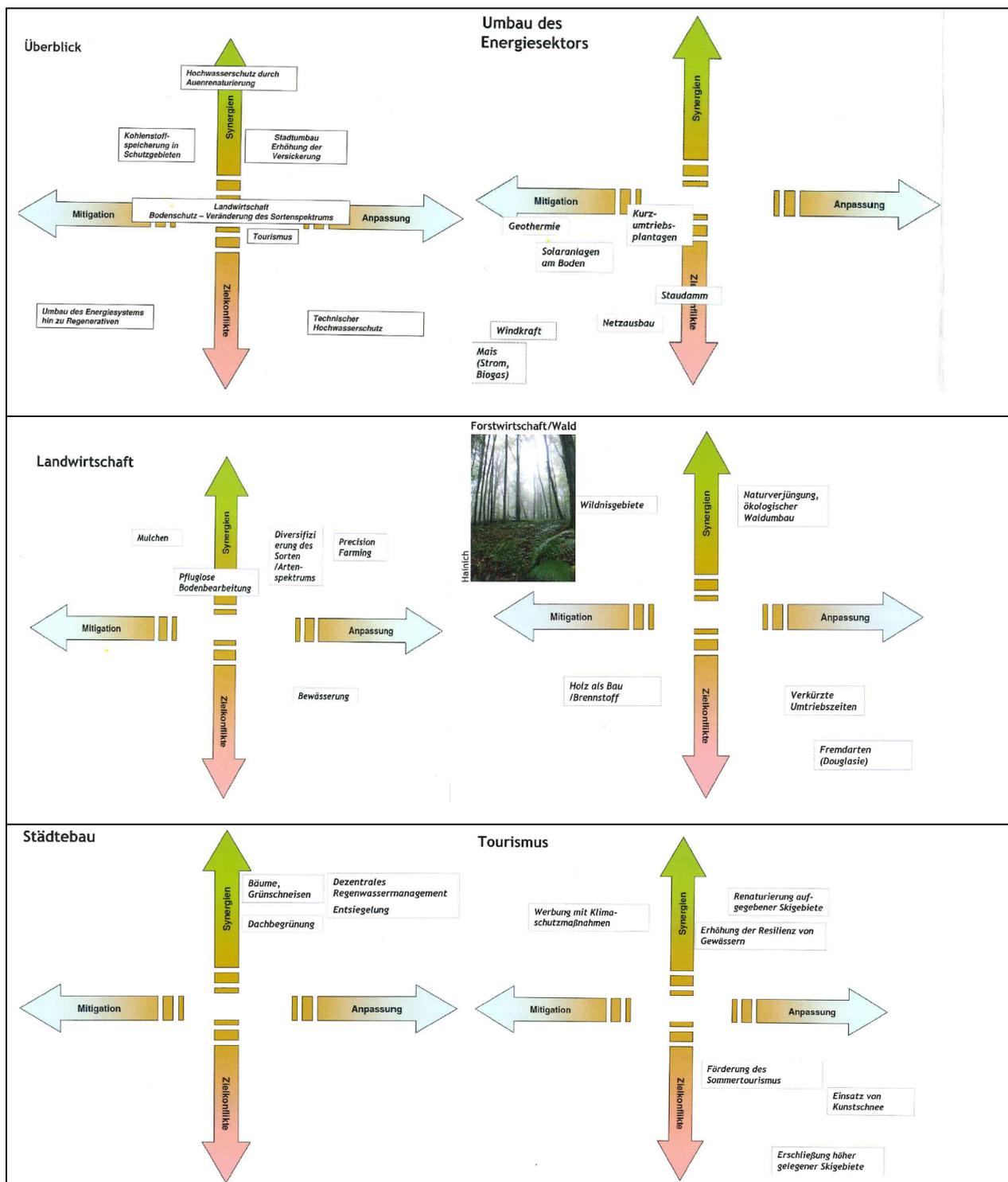
Bundesamt für Umwelt (BAFU): Expertise und Pilotprojekte zur Anpassung an den Klimawandel im Bereich Biodiversitätsmanagement sowie Pilotprojekte zur Anpassung:  
<http://www.bafu.admin.ch/klima>

## 8.8 Synergie- und Konfliktpotenziale zwischen Massnahmen in verschiedenen Sektoren und der Biodiversität

### Identifikation von Synergie- und Konfliktpotenzialen für Klimaschutz- und Anpassungsmassnahmen in Deutschland (Mosbrugger et al. 2013)

- Mitigation: Massnahmen zur Verringerung anthropogener Treibhausgasemissionen
- Anpassung: Massnahmen zur Erhaltung der Funktionsfähigkeit der Gesellschaft beim Klimawandel

Lesebeispiel aus erster Grafik: Massnahmen zur „Kohlenstoffspeicherung in Schutzgebieten“ sind Klimaschutzmassnahmen (Mitigation), die potenzielle Synergien zur Biodiversitätsförderung aufweisen. Beim „technischen Hochwasserschutz“ handelt es sich um eine Anpassungsmassnahme, die potenzielle Zielkonflikte zur Biodiversitätsförderung aufweist.



### Schnittstellen zwischen dem Handlungsfeld Biodiversitätsmanagement und anderen Sektoren im Rahmen der Anpassungsstrategie an den Klimawandel in der Schweiz (Schweizerische Eidgenossenschaft 2012a)

Zwischen den farbig hinterlegten Textboxen sind weitere Schnittstellen aus Schweizerische Eidgenossenschaft (2012a) eingefügt, die in der Publikation nicht unter Biodiversitätsmanagement aufgeführt, aber für dieses Handlungsfeld ebenfalls relevant sind. Diese Auflistung ist allerdings nicht abschliessend. Es gibt durchaus weitere Schnittstellen, die für die Biodiversität relevant, aber nicht erwähnt sind wie z.B. die präventive Seeregulierung aus Hochwasserschutzgründen. Eine weitere Publikation (scnat 2008) widmet sich spezifisch der Schnittstelle Biodiversität und Klima – Konflikte und Synergien im Massnahmenbereich.

#### Schnittstelle Wasserwirtschaft/Biodiversitätsmanagement

- Wasserverteilung: Abstimmen des steigenden Wasserbedarfs auf die Bedürfnisse der verschiedenen Lebensräume im Rahmen einer integralen Wasserwirtschaftsplanung (Einzugsgebietsmanagement). Bei Grenzgewässern in Koordination mit den Nachbarländern.  
(Hauptverantwortung: BAFU; weitere betroffene Sektoren: E, L, N, R)
- Bekämpfung und Prävention der Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten entlang von Gewässern. Bei Grenzgewässern in Koordination mit den Nachbarländern.  
(Hauptverantwortung: BAFU; weitere betroffene Sektoren: keine)
- Vermeidung/Verminderung von Beeinträchtigungen der Wasserqualität durch Massenvermehrung aquatischer Organismen (z. B. Algenblüten) in ruhenden Gewässern  
(Hauptverantwortung: BAFU; weitere betroffene Sektoren: keine)

- Wasserverteilung: In Zeiten geringer Wasserführung ergeben sich für kleinere und evtl. auch mittlere Fließgewässer Konflikte bei der Wasserkraftnutzung mit anderen Nutzungen oder Schutzanliegen. (Hauptverantwortung: BAFU; weitere betroffene Sektoren: B, G, L, R)
- Restwasser: Überprüfung der gesetzlichen Regelungen wegen veränderten Abflussregimes (Hauptverantwortung: BAFU; weitere betroffene Sektoren: B, R)
- Kühlwassernutzung für Anlagen (thermische Kraftwerke, Raumkühlung): Wärmeeinleitung in Gewässer (inkl. Grundwasser) (Hauptverantwortung: BFE (BAFU); weitere betroffene Sektoren: B, G)
- In Zeiten geringer Wasserführung ergeben sich für kleinere und evtl. auch mittlere Fließgewässer Konflikte bei der Wassernutzung. Davon ist auch die Trinkwassernutzung (Mensch und Tier) betroffen. (Hauptverantwortung: BAFU; weitere betroffene Sektoren: B, E, L, R)
- Förderung des integralen Wassermanagements (Hauptverantwortung: BAFU; weitere betroffene Sektoren: B, E, L, N)

#### Schnittstelle Umgang mit Naturgefahren/Biodiversitätsmanagement

- Einbezug von ökologischen Aspekten bei der Planung und Gestaltung von Schutz- bzw. Präventionsmassnahmen in den Bereichen rutschgefährdete Hänge, Murgänge/Hangstabilisierung, Hochwasser- und Lawinenschutz sowie Revitalisierung von Fließgewässern  
(Hauptverantwortung: BAFU; weitere betroffene Sektoren: L, W, R)
- Prävention und Bekämpfung der Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten im Bereich von Schutz- bzw. Präventionsinfrastruktur (v. a. Hochwasserschutz, Schutz vor Rutschungen, ingenieurbioökologische Massnahmen)  
(Hauptverantwortung: BAFU; weitere betroffene Sektoren: keine)
- Berücksichtigung ökologischer Aspekte bei der Erhaltung der Schutzwaldfunktion in Waldreservaten  
(Hauptverantwortung: BAFU; weitere betroffene Sektoren: F, W)

- Erhaltung der Schutzleistungen des Waldes unter veränderten klimatischen Bedingungen und nach Ereignissen (Trockenheit, Stürme, Waldbrand etc.) (Hauptverantwortung: BAFU; weitere betroffene Sektoren: B, W)

#### Schnittstelle Landwirtschaft/Biodiversitätsmanagement

- Festlegen und Weiterentwickeln von Instrumenten zur Etablierung einer standortgerechten Landwirtschaft mit angepassten Bewirtschaftungsformen und Anbausystemen:
  - zur Vermeidung von Nährstoffverlusten (insb. nach Starkregenereignissen)
  - zur Erhaltung und Förderung der Biodiversität durch eine räumliche Verteilung und Vernetzung von Biodiversitätsförderflächen (BFF) im Hinblick auf Erwärmungsszenarien (Trittsteine, Genfluss, Refugien, etc.) und mit Strukturen, die im Rahmen des Klimawandels grosse Bedeutung erlangen (z. B. vernässte Stellen, Tümpel)
  - zur Förderung klimasensitiver Arten  
(Hauptverantwortung: BLW (BAFU); weitere betroffene Sektoren: W)
- Erarbeiten von Massnahmen zur Prävention und Bekämpfung invasiver gebietsfremder Arten und Schadorganismen und Fördern des Austauschs zu Erfolg und Misserfolg dieser Massnahmen  
(Hauptverantwortung: BAFU (BLW); weitere betroffene Sektoren: G)

## Klimawandel und Biodiversität

---

- Bewässerungsbedarf (Wasserverteilung und Wasserspeicherung)(Hauptverantwortung: BLW; weitere betroffene Sektoren: B, E, N, R)
- Überwachung, Prävention und Bekämpfung von neu auftretenden Arten, die gesundheitsschädigend sind(Hauptverantwortung: BVET, BAG (BLW); weitere betroffene Sektoren: B)
- Überwachung, Prävention und Bekämpfung von Vektoren / Wirtstieren, die für das Auftreten neuer und bereits bekannter Infektionserreger bedeutsam sind(Hauptverantwortung: BAG, BVET; weitere betroffene Sektoren: B)

### Schnittstelle Waldwirtschaft/Biodiversitätsmanagement

- Abstimmung der Anpassungsziele auf alle Ökosystemfunktionen, insbesondere auch auf die Bedürfnisse der Biodiversität; prioritäre Beachtung der Erhaltung der vorhandenen genetischen Vielfalt bei Massnahmen zur Anpassung der Wälder an den Klimawandel und im Hinblick auf die Risikoverteilung auf diverse Baumarten (Hauptverantwortung: BAFU; weitere betroffene Sektoren: keine)
- Prävention der Ausbreitung invasiver gebietsfremder Organismen mit waldbaulichen Mitteln (Hauptverantwortung: BAFU; weitere betroffene Sektoren: keine)
- Einsatz einheimischer Baumarten aus anderen, z. B. trockeneren Wuchsgebieten oder anderer, nicht invasiver Baumarten, um die Ökosystemfunktionen auch bei einem starken Klimawandel zu gewährleisten (Hauptverantwortung: BAFU; weitere betroffene Sektoren: keine)
- Entwicklung von waldbaulichen Massnahmen zur Steigerung der Anpassungsfähigkeit und der Risikodiversifizierung unter Berücksichtigung von Biodiversitätsaspekten (Hauptverantwortung: BAFU; weitere betroffene Sektoren: keine)

### Schnittstelle Energie/Biodiversitätsmanagement

- Schutz der Gewässerökologie bei verändertem Abflussregime bei Kraftwerken aufgrund des Klimawandels oder klimabedingter Veränderungen in der Bewirtschaftung:
  - Mindestwasserführung der Fliessgewässer, Spülung von Staubecken, Lebensraumveränderungen in und an Gewässern
  - Einleitung von Kühlwasser bei erhöhten Wassertemperaturen in Flüssen (AKW, thermische Kraftwerke) (Hauptverantwortung: BAFU; weitere betroffene Sektoren: W)

### Schnittstelle Biodiversitätsmanagement/Raumentwicklung

- Einbinden von Biodiversitätsaspekten in die Siedlungsplanung durch Ausscheiden ausreichend grosser und naturnaher Grünräume (Hauptverantwortung: BAFU, ARE; weitere betroffene Sektoren: keine)
- Erhaltung von Landschaften mit reichhaltigem Lebensraummosaik und ihren Ökosystemleistungen im Rahmen der Raumplanung (Hauptverantwortung: BAFU, ARE; weitere betroffene Sektoren: keine)
- Abstimmen von Siedlungsgebieten und Infrastrukturen auf nationales Biotopverbundsystem (Vernetzung Lebensräume) (Hauptverantwortung: BAFU, ARE; weitere betroffene Sektoren: keine)

- Sicherung von Freiräumen und Erholungsräumen(Hauptverantwortung: ARE; weitere betroffene Sektoren: B)
- Sicherung des Schutzwaldes und der Schutzfunktion des Waldes(Hauptverantwortung: BAFU; weitere betroffene Sektoren: W, B)

### Schnittstelle Biodiversitätsmanagement/Gesundheit

- Überwachung des Vorkommens und der Ausbreitung neu auftretender Arten, welche die Gesundheit von Mensch und Nutztieren beeinträchtigen (Vektoren, Wirtstiere, allergene Pflanzen) (Hauptverantwortung: BAG, BVET, BAFU; weitere betroffene Sektoren: L)
- Berücksichtigung der Risiken von Feuchtbiotopen als potenzielle Habitats für neue, feuchtigkeitsliebende Vektoren (Hauptverantwortung: BAG, BVET, BAFU; weitere betroffene Sektoren: keine)
- Unterstützen der ökologischen Infrastruktur als zentrales Bindeglied zwischen urbaner Biodiversität und Gesundheit der urbanen Bevölkerung (Hauptverantwortung: BAG, BVET, BAFU; weitere betroffene Sektoren: R)