

Biodiversität, eine Garantie für Gesundheit?

Eine natürliche oder naturnahe Umgebung hat in vielerlei Hinsicht positive Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. Dies bedeutet, dass eine natürliche Umgebung auch helfen kann, Herausforderungen im Bereich der öffentlichen Gesundheit zu bewältigen. Zu diesen gehören etwa Fettleibigkeit, gewisse chronische, infektiöse und nicht übertragbare Krankheiten, Depressionen und Angstzustände, aber auch Kindesentwicklung und kognitives Altern. Um jeder Person Kontakt und Zugang zu hochwertiger Natur zu ermöglichen, empfiehlt es sich, die Entwicklung und Erhaltung von Grünflächen und Naturlandschaften mit reicher biologischer Vielfalt zu verstärken. Dafür ist eine enge Zusammenarbeit auf lokaler und nationaler Ebene zwischen öffentlicher Gesundheit, Siedlungsentwicklung, Raumplanung und Naturschutz erforderlich. Parallel dazu gilt es, das Wissen über die Zusammenhänge zwischen Gesundheit und biologischer Vielfalt durch inter- und transdisziplinäre Forschung auszubauen.

Ein gesundes Leben und Wohlbefinden für alle Menschen jeden Alters zu ermöglichen und zu fördern ist weltweit eine grosse Herausforderung.¹ In den Industrieländern bergen zunehmende Verstädterung und Umweltveränderungen Risiken für die Gesundheit. Sie führen unter anderem zu einem Anstieg von mit modernen Lebensstilen verbundenen nichtübertragbaren Krankheiten wie Fettleibigkeit, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, psychischen Erkrankungen, mit Umweltbelastung in Zusammenhang stehenden Krankheiten, allergischen sowie nichtübertragbaren Entzündungskrankheiten.²

Gesundheit und Wohlbefinden weisen eine klare Verbindung auf zur natürlichen und naturnahen Umwelt, der Biodiversität

und zu den von ihr erbrachten Ökosystemleistungen.²⁻⁸ Daher dürfte sich der weltweite und auch in der Schweiz stattfindende massive und anhaltende Biodiversitätsverlust negativ auf die menschliche Gesundheit auswirken.^{3,9,10} Bekannte Zusammenhänge sind z.B. die Bereitstellung von Arzneimitteln, Ernährungssicherheit und gesunde Nahrungsmittel, saubere Luft, Trinkwasserreinigung, Klimaregulierung sowie Abbau und Bindung von Schadstoffen. Weniger bekannt sind die Zusammenhänge zwischen dem Aufenthalt in naturnahen Umgebungen und der psychischen und physischen Gesundheit, zwischen Biodiversität und Infektions-, Allergie- und Entzündungskrankheiten sowie zwischen dem Mikrobiom und der Gesundheit.

Menschliche Gesundheit ist ein Zustand des vollständigen körperlichen, geistigen und sozialen Wohlergehens und nicht nur das Fehlen von Krankheit oder Gebrechen.¹¹

Biodiversität ist die Vielfalt des Lebens. Sie umfasst die Vielfalt der Gene (Rassen oder Sorten von wildlebenden und genutzten Arten), der Arten (Tiere, Pflanzen, Pilze, Mikroorganismen) und der Ökosysteme (Lebensräume wie Gewässer, Wald, Wiese), sowie deren Wechselwirkungen.¹²

Ökosystemleistungen sind der Nutzen, den Menschen von Ökosystemen und ihrer Biodiversität erhalten. Dazu gehören Versorgungsleistungen wie Nahrung und Wasser, Regulierungsleistungen wie Hochwasserschutz und Schutz vor Krankheiten, kulturelle Leistungen, welche spirituellen, Freizeit- und kulturellen Nutzen bringen, sowie Unterstützungsleistungen, welche die Bedingungen für das Leben auf der Erde aufrechterhalten, etwa den Nährstoffkreislauf.¹³

Das Mikrobiom ist die Gesamtheit der Mikroorganismen (Bakterien, Bakteriophagen, Pilze, Protozoen und Viren), die im und am menschlichen Körper leben, und deren Wechselwirkungen mit der Umwelt.

Natürliche oder naturnah ist die Umwelt oder Landschaft dann, wenn sie die Bedingungen der Natur berücksichtigt und nicht ausschliesslich vom Menschen geprägt ist. Natürliche oder naturnahe Umgebungen sind etwa städtische Parks, Schulgelände und Spielplätze, Gärten und andere Grünräume in Siedlungen, strukturreiches Landwirtschaftsland, Wälder und andere natürliche Flächen, die für die Biodiversität günstig sind.

Zusammenhänge zwischen natürlicher Umwelt und psychischer sowie physischer Gesundheit

Forschungserkenntnisse belegen, dass der Kontakt mit Natur zu Gesundheit und Wohlbefinden beiträgt, indem die Sterblichkeit (aufgrund von Herz-Kreislauf-Erkrankungen)^{14,15} und das kognitive Altern reduziert¹⁶, die psychische Gesundheit und das Wohlbefinden verbessert (z.B. Verringerung von Stress, Müdigkeit, Angst und Depression)^{14,17,18}, die Aufmerksamkeit wiederhergestellt¹⁹, das Geburtsgewicht erhöht^{20,21}, die Fettleibigkeitsrate gesenkt²² und das persönliche Gesundheitsempfinden erhöht werden.^{3,14, 23–29} Es gibt auch Hinweise, dass der Aufenthalt in Naturlandschaften mit vorteilhafteren Herzfrequenzen, Blutdruckwerten, Vitamin-D-Spiegeln, Erholungsraten und Cortisol-Spiegeln, einer verringerten Prävalenz von Typ-2-Diabetes²⁶ sowie mit der Immundefunktion³⁰ in Zusammenhang steht. Ein Grünraum kann soziale Kontakte fördern und den gesellschaftlichen Zusammenhalt stärken (z.B. Einsamkeit verringern, gegenseitige soziale Unterstützung stärken, Gefühle der sozialen Sicherheit bieten), was stark zu Gesundheit und Wohlbefinden beiträgt.^{26,28} Neben Grünflächen, begrünten Schularealen^{31–33}, Gärten, Landwirtschaftsgebieten und Wäldern scheinen auch Gewässer relevant zu sein.^{34,35}

Der gesundheitliche Nutzen des Kontakts mit der Natur beruht hauptsächlich auf drei Mechanismen: Bewegung, soziale Kontakte und Entspannung. Grünräume und Naturlandschaften bieten Gelegenheit, körperlich aktiv zu sein, mit Familie

und Freunden Zeit zu verbringen sowie sich geistig zu erholen und Stress abzubauen.^{28,36} Verallgemeinerungen sind jedoch mit Vorsicht zu geniessen, da der potenzielle Nutzen von zahlreichen interagierenden und verzerrenden Faktoren beeinflusst wird.

Wichtige Grünräume

Nahe gelegene Grünflächen fördern die menschliche Gesundheit. Dabei zählt die Nähe.^{37,38} Empirische Belege für einen bestimmten Entfernungsgrenzwert scheint es jedoch nicht zu geben. Denn auch Grünräume in mehr als 200–300 m Entfernung sind mit gesundheitlichen Vorteilen in Verbindung gebracht worden. Obwohl grössere Grünräume mit einer natürlicheren Vegetation möglicherweise eine bessere Erholung bieten, tragen selbst kleine Grünanlagen in der Nähe zur Verbesserung der psychischen Gesundheit bei. Der Einfluss von Grünflächen auf die Gesundheit lässt sich deshalb sehr wahrscheinlich besser mit der Gesamtheit aller Grünräume jeder Grösse innerhalb einer bestimmten Entfernung beschreiben als mit der blossen Entfernung.³⁷ Des Weiteren wurde ein positiver Zusammenhang zwischen der täglichen «Naturdosis» und der psychischen Gesundheit festgestellt.^{39–41}

Die Forschung hat sich bisher grösstenteils auf die visuellen Aspekte der Naturerfahrung konzentriert. Nicht-visuelle Zugänge, insbesondere akustische (z. B. Vogelgesang⁴²), aber auch Gerüche (z.B. Phytoncide^{30,43}), Geschmack und Berührung, sind potenziell ebenfalls wichtig für den gesundheitlichen Nutzen von Naturerfahrungen. Doch die Faktenlage hierzu ist noch schwach.^{44–47}

Immer mehr Studien zeigen Zusammenhänge zwischen einer starken persönlichen Naturverbundenheit (die Mischung aus Gefühlen, Einstellungen, Überzeugungen und Verhaltensweisen, die Menschen gegenüber der Natur haben) und einer Vielzahl von positiven Ergebnissen für Gesundheit und Wohlbefinden.^{40,48–50}

Die gesundheitlichen Vorteile der Nutzung von Grünräumen unterscheiden sich oft nach soziologischen, demografischen und kulturellen Gruppen. Obwohl die Zusammenhänge vielfach nicht eindeutig oder noch nicht systematisch erforscht sind, scheinen sie für die städtische Bevölkerung mit ihrem verminderten Kontakt zur naturnahen Umwelt besonders relevant zu sein.^{14,24,26,28,51–55} Die Unterschiede nach Geschlecht und Alter sind besonders markant.^{50,53,56,57} Einige Studien deuten darauf hin, dass der Kontakt mit der Natur im Kindesalter kumulative Vorteile mit weitreichender Bedeutung für die Kindesentwicklung bietet. So gibt es Hinweise, dass Naturkontakt etwa die Aufmerksamkeit bei Kindern mit einer diagnostizierten Aufmerksamkeitsstörung verbessert, die Selbstdisziplin²⁸ und kognitive Entwicklung fördert^{58–61} und das Risiko einer späteren psychischen Erkrankung reduziert.⁶² Zudem zeigen einige Ergebnisse, dass der Nutzen des Kontakts mit der Natur in wirtschaftlich schwächeren Gruppen möglicherweise am bedeutendsten ist.^{54,63}

Die Bedeutung der Biodiversität

Die Rolle der Biodiversität in Grünräumen für die Gesundheit ist komplex. Eine systematische Auswertung der Lite-



Sich in einer vielfältigen Natur aufzuhalten, fördert die Entspannung und hilft, Stress abzubauen.

ratur deutet darauf hin, dass der Aufenthalt in artenreichen Umgebungen oder deren Nutzung generell mit besserer psychischer Gesundheit und verstärktem gesundheitsförderndem Verhalten zusammenhängt. Die Ergebnisse waren jedoch nicht eindeutig, weil Gesundheit, Wohlbefinden und Biodiversität in den Studien oft nicht klar definiert waren.⁶⁴ Positive Beziehungen zeigten sich am deutlichsten nach unmittelbaren Begegnungen oder nach wiederholtem Kontakt mit einer artenreichen Umwelt. Eine weitere Metastudie ergab einen positiven Zusammenhang zwischen der Artenvielfalt (Pflanzen, Vögel und Schmetterlinge waren die am meisten untersuchten Gruppen) und dem geistigen und körperlichen Wohlbefinden sowie zwischen der Vielfalt der Lebensräume und des Immunsystems.⁶⁵

Andere Studien zeigen, dass sich Aufenthalte im Wald generell positiv auf die psychische Gesundheit und das Wohlbefinden auswirken.^{66–69} Wichtig ist dabei die Struktur des Waldes: Spaziergänge in gepflegten Stadtwäldern mit einem ausgewogenen Verhältnis von dichteren und offeneren Bereichen förderten Erholung und Wohlbefinden stärker als solche in strukturreichen Wäldern mit viel Totholz^{70,71} – wahrscheinlich weil Stadtwälder den meisten Menschen vertrauter sind und die Erholungssuchenden sich in diesen sicherer fühlen.

Die ästhetische Präferenz der Menschen wirkt sich auf das Wohlbefinden und die Gesundheit aus, da sie die Standortzufriedenheit sowie die Häufigkeit, Dauer und Art des Aufenthalts in naturnahen Umgebungen beeinflusst. Eine systematische Auswertung von 200 Studien zur Wahrnehmung und Bewertung von städtischer Biodiversität ergab, dass die Menschen eine mässig dichte Vegetation gegenüber einer sehr offenen oder sehr dicht bewachsenen Umgebung bevorzugen.⁵⁵ Ebenso fand die schweizweite BiodiverCity-Befragung⁷², dass die urbane Bevölkerung eine abwechslungsreiche Vegetation aus locker verstreuten Büschen, Bäumen und wenigen nicht gemähten Abschnitten gegenüber ausgeräumten Grünflächen bevorzugt.

Generell wird Artenreichtum überwiegend positiv bewertet, obwohl häufig auch gemischte oder gar keine Effekte festgestellt wurden.^{55,73} Feldstudien und Experimente in der Schweiz und Grossbritannien haben gezeigt, dass eine wahrgenommene hohe Artenvielfalt die ästhetische Wertschätzung von Pflanzengemeinschaften und damit das Wohlbefinden erhöhen.^{40,74,75} Artenreichtum scheint zudem einen erheblichen Teil der Aktivitäten in Parks direkt zu beeinflussen, z. B. das Pflücken von essbaren und dekorativen Pflanzen oder das Beobachten von Arten.^{73,76}

Zusammenhänge zwischen Biodiversität und Infektionskrankheiten sowie nichtübertragbaren Krankheiten

Infektionskrankheiten

Zwei wichtige Mechanismen beeinflussen die Wirkung der Biodiversität auf die Übertragung von Infektionskrankheiten.⁷⁷ Der erste, der «Verdünnungseffekt», besagt, dass eine Zunahme der Artenvielfalt zu einer Abnahme der Krankheitshäufigkeit führt. Es wird davon ausgegangen, dass eine grössere Artenvielfalt den Erfolg von Erregern, zwischen Wirten zu wechseln, verringert. Die Erreger treffen mit höherer Wahrscheinlichkeit auf resistente oder weniger empfindliche Arten. Dies führt zu einem Rückgang der Übertragungsrate und der Krankheitshäufigkeit.⁷⁸ Theoretische Modelle, Laborexperimente und Feldstudien stützen diesen Effekt⁷⁹; wie weit er sich verallgemeinern lässt, wird aber noch diskutiert^{80,81}. Der zweite Mechanismus, der «Amplifikationseffekt», ist das Gegenteil der Verdünnung und beschreibt einen positiven Zusammenhang zwischen Artenvielfalt und Krankheitsrisiko oder -häufigkeit.⁸²

Gemäss den vorliegenden Studien beeinflussen verschiedene Faktoren diese zwei Mechanismen. Mehrere von ihnen wirken sich auf die Zusammensetzung, die Struktur und die

Interaktionen der Lebensgemeinschaften aus⁸³, wie etwa die Regulierung empfänglicher Wirte durch zwischenartliche Konkurrenz oder Prädation⁸² oder durch Nahrungskonkurrenz⁸⁴. All diese Faktoren regulieren die Häufigkeit und Populationsdichte der Wirtsorganismen⁸⁵. Ausserdem können vom Mensch verursachte Landschaftsveränderungen wiederum diese Faktoren beeinflussen⁸⁶.

Skaleneffekte haben bei der Erforschung von Infektionskrankheiten eine grosse Auswirkung auf die Ergebnisse.⁸⁷ Kausale Mechanismen zwischen Biodiversität und Infektionskrankheiten lassen sich nur entwirren und verstehen, wenn entsprechende Daten räumlich und zeitlich in Beziehung gebracht werden.^{84,88–90} Ein Beispiel: Obwohl die Artenvielfalt das Krankheitsrisiko auf lokaler Ebene erhöhen kann (Amplifikation), kann eine Reduktion der Begegnungshäufigkeit von Wirten (Verdünnung) auf einer grösseren Ebene zum Tragen kommen, was zu einem Gesamtverdünnungseffekt führen kann.^{90,91} Habitateigenschaften (Landnutzung, Fragmentierung) spielen eine zusätzliche Rolle bei der Steuerung der Mechanismen der Verdünnung gegenüber der Amplifikation.⁹²

Nichtübertragbare Krankheiten

Die Zusammenhänge zwischen Biodiversität und nichtübertragbaren Krankheiten lassen sich grob in zwei Themenbereiche aufteilen: allergische und entzündliche Erkrankungen sowie die Beziehung zwischen Mikrobiom und Gesundheit.

Die «Hygienehypothese» besagt, dass das moderne Leben die Menschen nicht mehr der mikrobiellen Vielfalt aussetzt, unter der sich ihr Immunsystem entwickelt hat und welche für die Reifung des Immunsystems erforderlich ist.^{51,93,94} Zudem legen Untersuchungen nahe, dass mikrobe-reiche Umgebungen, etwa in der Landwirtschaft, vor Entzündungen und Autoimmunerkrankungen schützen.^{95–98} Neuere Arbeiten deuten zudem darauf hin, dass ein allgemeiner Rückgang der Biodiversität die Wahrscheinlichkeit einer menschlichen Immunschwäche erhöht.^{97–100} Dies lässt sich zur «Biodiversitätshypothese» erweitern, wonach die mangelnde Exposition gegenüber der naturnahen Umwelt und der damit verbundenen mikrobiellen Vielfalt zu einem Ungleichgewicht bei menschlichen Mikrobiom, zu Immundysfunktionen und zu klinischen Erkrankungen führt.^{101–104} Diese Hypothese wird durch Untersuchungen gestützt, die darauf hindeuten, dass das Darmmikrobiom mit dem Immunsystem interagiert, um die Immunfunktion aufrechtzuerhalten.¹⁰⁵ So beeinflussen Faktoren in der Neugeborenenphase wie Kaiserschnitt¹⁰⁶, Dauer des Stillens und Antibiotikagebrauch das Darmmikrobiom und sind mit einer erhöhten Häufigkeit von Asthma und allergischen Erkrankungen verbunden. Die Debatte über die relative Bedeutung verschiedener Quellen der mikrobiellen Exposition sowohl während der frühen Entwicklung als auch im späteren Leben, wird fortgesetzt^{99,100,102}, ebenso über Ko-Infektionen und Infektionen mit mehreren Stämmen des gleichen Erregers^{107,108}. Untersuchungen deuten zudem darauf hin, dass auch genetische Faktoren einen Einfluss auf das Darmmikrobiom haben.¹⁰⁹

Das Darmmikrobiom unterstützt eine Vielfalt an Funktionen, die zum grossen Teil noch nicht vollständig geklärt sind. Die frühe Umgebung eines Kindes, einschliesslich der von der

Mutter übertragenen pränatalen Signale, beeinflusst die Immunreife und damit das spätere Krankheitsrisiko.¹⁰⁰ Darm-, Haut- und Atemwegsmikroben aktivieren angeborene und regulierende Netzwerke von Zellen und Proteinen, die zur gesunden Immunfunktion beitragen.^{99,110} Experimentelle Studien stützen die Ansicht, dass eine frühe postnatale Darmkolonisation mit Mikroorganismen die Immunität beeinflusst (insbesondere humorale Immunität).¹¹¹ Zudem unterstützen einige Mikroorganismen das Gleichgewicht der Darmschleimhäute,¹¹² und mikrobielle Verschiebungen aufgrund von schwachen Entzündungen beeinflussen die Regulierung der Darmdurchlässigkeit⁹⁴.

Neben den Einflüssen von Umwelt und Ernährung haben Studien auch eine Kommunikation zwischen Darmmikrobiom und Gehirn sowie zwischen Hautmikrobiom und Lunge dokumentiert, einschliesslich direkter und indirekter Immun-, humoraler und neuraler Mechanismen.^{95,110,113}

Herausforderungen, Chancen und Risiken

Eine der grössten Herausforderungen bei der Analyse von Zusammenhängen zwischen Biodiversität und Gesundheit ist die Unterschiedlichkeit der beiden Forschungsbereiche in ihren Zugängen, Ansätzen, Methoden und Denkweisen. Sowohl Gesundheit als auch Biodiversität werden sehr breit definiert^{51,64,78}; dies erschwert oder verunmöglicht je nach betrachteten Aspekten Vergleiche. Zudem unterscheiden sich die Studien auch in ihrer Methodik stark. Es gibt nur sehr wenige Laborexperimente und angewandte Feldstudien in natürlichen Systemen, Verlaufstudien sind selten und Stichproben sind allgemein klein.

Eine weitere Schwierigkeit ist die Komplexität. Bei Infektionskrankheiten ist das Verständnis der relevanten Ökologie entscheidend, bleibt aber oft unvollständig aufgrund der vielen Interaktionen und der Dynamik der Systeme.^{88,114} Der demographische, sozioökonomische und kulturelle Kontext der Menschen sowie globale Entwicklungen wie der Klimawandel oder die Nährstoffbelastung bestimmen die Wechselbeziehungen zwischen Mensch und Natur und erhöhen noch diese Komplexität.^{28,115–117} Die Entflechtung der Wechselwirkungen bleibt eine zentrale Herausforderung.

Eine Reihe von Studien verweist auf Unsicherheiten^{110,118}, einen Mangel an überzeugenden Beweisen¹¹⁹, fehlende Validierungskriterien¹²⁰ und die Nichtberücksichtigung von Störfaktoren¹¹⁷. Andere beschreiben Hindernisse bei der Bestimmung von Kausalzusammenhängen, inklusive der Notwendigkeit von Langzeitstudien¹²¹. Zudem besteht die Schwierigkeit, Veränderungen im sozioökonomischen Status von solchen im Gesundheitszustand zu entkoppeln.⁵¹ Schliesslich sind die Beziehungen zwischen Biodiversität und Krankheitsrisiken wahrscheinlich nicht linear.^{91,122,123} Eine weitere Herausforderung – insbesondere was Biodiversität und Infektionskrankheiten angeht – ist, dass vorwiegend Berichte, die einen negativen Zusammenhang zeigen, veröffentlicht werden.¹²⁴

Dennoch gibt es zahlreiche Möglichkeiten für die Entwicklung von integrierten (inter- und transdisziplinären) Forschungsprogrammen, Strategien und Massnahmen, die auf

die gleichzeitige Förderung der Biodiversität und der Gesundheit und des Wohlergehens der Menschen abzielen. Das Wissen um den vielfältigen Nutzen von Naturerlebnissen für die körperliche, geistige und soziale Gesundheit stützt Anstrengungen zum Schutz und zur Förderung von naturnahen Grünräumen in und um Siedlungen und zur besseren Integration von Natur in die städtische Architektur, Infrastruktur und den öffentlichen Raum.^{46, 56, 125, 126} Naturnahe Umgebungen können helfen, den mit dem urbanen Leben verbundenen Stress zu reduzieren, die körperliche Aktivität zu steigern und soziale Kontakte zu fördern. Auf diese Weise profitiert die öffentliche Gesundheit von städtischen Grünflächen wie etwa Alleegebäuden, Gemeinschaftsgärten, Parks und Freiflächen sowie weitläufigen Spazier- und Radwegnetzen. Gleichzeitig mildert städtisches Grün den klimabedingten Hitzestress, verbessert die Luftqualität und reduziert den Lärm.^{2, 127} Eine solche Stadtgestaltung kann zudem ökologische Vorteile bringen: einerseits direkt durch die Schaffung und Vernetzung von Lebensräumen für Pflanzen, Tiere und andere Organismen und andererseits indirekt durch die Förderung einer positiveren Einstellung gegenüber der Natur.

Gemäss ökonomischen Schätzungen von Gesundheitsgewinnen und vermiedenen Gesundheitskosten scheint der Kontakt mit der Natur mehr Nutzen als Kosten zu verursachen. Genaue Schätzungen sind jedoch schwierig.¹²⁸⁻¹³⁰ Wichtig ist, dass monetäre Bewertungen den Verlauf eines menschlichen Lebens berücksichtigen, denn frühe Kontakte mit der Natur können zu erheblichen gesundheitlichen Verbesserungen und zur Vermeidung späterer Gesundheitskosten führen.¹²⁸

Gemäss der Position der Weltallergieorganisation ist die Erzeugung von Immuntoleranz eine vielversprechende Strategie zur Prävention und Behandlung von allergischen und immunologischen Erkrankungen. Die Organisation stützt sich dabei auf aktuelle Daten, die belegen, dass der Rückgang der Biodiversität zu menschlicher Immundysfunktion beiträgt.⁹⁹ Verhaltensaktivitäten wie körperliche Bewegung und gesunde Ernährung haben einen wichtigen Einfluss auf allergische Erkrankungen und die Prävention von nichtübertragbaren Krankheiten. Pragmatische Aktionspläne, die auf die Anliegen der Bevölkerung Rücksicht nehmen, bieten Chancen auf Erfolg.¹³¹

Neben den Vorteilen für die menschliche Gesundheit gibt es auch einige Risiken, die bei der Gestaltung von (städtischen) Grünräumen oder der Änderung bestehender Managementpraktiken zu berücksichtigen sind. Eine Veränderung des Pflanzenbestandes in Städten kann beispielsweise die Prävalenz allergener Pollen erhöhen oder die Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (volatile organic compounds VOC) erhöhen. Dabei wird das Risiko für unerwünschte Reaktionen in städtischen Gebieten wegen des Wärmeinseleffekts und der Luftverschmutzung als höher eingeschätzt.¹³² Naturnahe Umgebungen können zudem die Zahl von krankheitsübertragenden Schädlingen wie Zecken oder Wanderratten erhöhen.^{133, 134} Die komplexen Lebenszyklen von Allergenen, Krankheitserregern und Vektoren in städtischen Gebieten, die zu erwartenden Veränderungen aufgrund der Übertragungsdynamik und der Einfluss des Klimawandels müssen kontextabhängig untersucht werden, um den Nutzen für die Gesundheit zu maximieren und Gesundheitsrisiken zu minimieren.

Handlungsoptionen

Die Wissensbasis bezüglich des Beitrags der Biodiversität zur Gesundheit und zum Wohlbefinden der Menschen verbessern.

- Erarbeitung von evidenzbasierten Antworten auf offene Fragen in einem interdisziplinären Forschungsprogramm einschliesslich integrativer Ansätze zur Kombination verschiedener Perspektiven.^{89, 91, 135, 136} Das Programm sollte unter anderem ermitteln, welche Aspekte der Biodiversität für die physische, psychische und soziale Gesundheit und das Wohlbefinden von Nutzen oder von Nachteil sind, die für einen positiven Gesundheitseffekt erforderliche Biodiversität untersuchen sowie ökologische, soziodemografische, kulturelle, persönliche und Wahrnehmungsfaktoren berücksichtigen.^{36, 128, 137}
- Verbesserung und Harmonisierung der Methoden und Bewertungsverfahren im Querschnittsbereich Biodiversität und Gesundheit. Nötig sind epidemiologische und Verlaufstudien. Geografische und epidemiologische Methoden sollten verbunden werden, um die lokale Ebene und biogeografische Regionalität zu untersuchen. Weiter braucht es experimentelle Ansätze und Modelle, welche die Rückkopplungen zwischen Gemeinschaften über Gradienten hinweg enthalten und natürliche Ökosysteme einbeziehen.^{36, 116, 128, 137, 138}
- Analysen der Kostenwirksamkeit und der Kosten-Nutzen-Verhältnisse bezüglich des Einflusses der Biodiversität auf die Gesundheit aus einer Lebensverlaufsperspektive. Diese können EntscheidungsträgerInnen in Politik und Wirtschaft unterstützen.¹³⁹
- Entwicklung von innovativen, strategischen Lösungen für die Verbesserung der Wissensbasis durch interdisziplinäre, kontextbezogene Ansätze. Die Rockefeller Foundation-Lancet Commission on Planetary Health¹⁴⁰ bietet Vorschläge zum Umgang mit den Herausforderungen für eine ganzheitliche, integrierte Forschungsagenda.

Grünräume wirksam gestalten und bewirtschaften^{141, 142}

- Entwicklung einer «gemeinsamen Sprache» zwischen Akteuren der Forschung, Praxis und Politik, um das Verständnis und die sektorübergreifende Zusammenarbeit zu erleichtern. Forschende müssen verstehen, was Akteure in Praxis und Politik brauchen, um Forschungserkenntnisse über Biodiversität und Gesundheit umzusetzen.
- Geeignete Bewirtschaftung von kleinen städtischen Grünräumen. Dabei sollen insbesondere auch diejenigen Aspekte der Biodiversität gefördert werden, die für die menschliche Gesundheit und das Wohlbefinden von Vorteil sein können. Alle Menschen sollten die Möglichkeit erhalten, die Natur im Alltag zu erleben.
- Einrichtung von grösseren Grünräumen und von Grünkorridoren zwischen städtischen Grünanlagen und ländlicher Umgebung. Damit können zusätzliche Erholungsmöglichkeiten geschaffen werden.
- Erhöhung der Biodiversität der Grünräume und der Verweildauer der Menschen in diesen Räumen. Beide Aspekte fördern Gesundheit und Wohlbefinden.

Menschen für die Wirkung von Natur und Biodiversität auf ihre Gesundheit und ihr Wohlbefinden sensibilisieren

- Pflege des Dialogs über Disziplinen hinweg und unter Einbezug der Vielfalt des Wissens aller Beteiligten. So kann es gelingen, der Komplexität der Beziehungen zwischen Biodiversität und Gesundheit gerecht zu werden.²⁵
- Gesundheitlichen Nutzen der Biodiversität zielgruppen-gerecht kommunizieren z.B. für Zuständige für Grünflächenmanagement, LandschaftsarchitektInnen, StadtplanerInnen und -entwicklerInnen, Gesundheitsfachkräfte sowie politische EntscheidungsträgerInnen.^{46, 126}

Politikkohärenz verbessern und Synergien fördern

- Entwicklung von Wissen in den betroffenen Disziplinen und transdisziplinäre Vorgehensweisen fördern, die sich in nachhaltige politische Strategien integrieren lassen.¹⁴³
- Aufzeigen der Zusammenhänge zwischen Klimawandel, menschlicher Gesundheit und Biodiversität. Sektorübergreifende Ansätze entwickeln, um Synergien zu nutzen, etwa das Potenzial von naturnahen Grünräumen für die Gesundheit im Rahmen der Anpassung an den Klimawandel.^{126, 136}
- Erarbeitung von politischen Strategien über verschiedene räumliche Ebenen hinweg. Oft wird national entschieden – doch die lokale Ebene hat grossen Einfluss auf die öffentliche Gesundheit.^{100, 144}

Fazit

Der aktuelle Wissensstand zeigt, dass die Biodiversität in vielerlei Hinsicht eine Garantie für die menschliche Gesundheit ist. Die Erhaltung und Förderung natürlicher oder naturnaher Lebensräume beinhaltet ein erhebliches präventives und therapeutisches Potenzial, das noch weitgehend ungenutzt ist. Darüber hinaus kann die Förderung der Biodiversität auch Synergien bieten, um die Auswirkungen des Klimawandels oder anderer Umweltveränderungen auf die Gesundheit zu verringern. Wir empfehlen deshalb, die Förderung der Biodiversität und der menschlichen Gesundheit in Zukunft vermehrt in gemeinsamen Strategien und Programmen anzugehen und schlagen eine Reihe von Massnahmen vor, um das Potenzial der biologischen Vielfalt für die Förderung der öffentlichen Gesundheit besser zu nutzen. Dafür ist es nötig, die Zusammenarbeit zwischen den Bereichen öffentliche Gesundheit, Naturschutz sowie Stadt- und Raumentwicklung auf nationaler und lokaler Ebene zu stärken.

Die Mechanismen, welche Biodiversität und Gesundheit verbinden, sind komplex und variabel, und das Wissen darüber ist lückenhaft. Um diese Lücken zu schliessen, ist ein inter- und transdisziplinärer Ansatz erforderlich, bei dem vermehrt sozioökonomische, ökologische und kulturelle Faktoren berücksichtigt werden.

SDGs: Die internationalen Nachhaltigkeitsziele der UNO

In dieser Publikation leisten die Akademien der Wissenschaften Schweiz einen Beitrag zu SDGs 3, 11 und 15: «Ein gesundes Leben für alle Menschen jeden Alters gewährleisten und ihr Wohlergehen fördern», «Städte und Siedlungen inklusiv, sicher, widerstandsfähig und nachhaltig gestalten» und «Landökosysteme schützen, wiederherstellen und ihre nachhaltige Nutzung fördern, Wälder nachhaltig bewirtschaften, Wüstenbildung bekämpfen, Bodendegradation beenden und umkehren und dem Verlust der biologischen Vielfalt ein Ende setzen.»

> sustainabledevelopment.un.org
> eda.admin.ch/agenda2030/de/home/agenda-2030/die-17-ziele-fuer-eine-nachhaltige-entwicklung.html



1 – 144 Literaturangaben finden sich in der online-Version des Factsheets unter akademien-schweiz.ch/factsheets

IMPRESSUM

HERAUSGEBERIN UND BEZUGSQUELLE

Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT)
Forum Biodiversität Schweiz • Haus der Akademien
Laupenstrasse 7 • Postfach • 3001 Bern
+41 31 306 93 42 • biodiversity@scnat.ch • biodiversity.ch

AUTORSCHAFT

Dr. Danièle Martinoli (Forum Biodiversität), Dr. Vet. med. Lisa Crump,
Prof. Jakob Zinsstag (Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut)

GUTACHTERINNEN

Dr. Mathias Hofmann (Technische Universität Dresden), Prof. Simone Sommer
(Universität Ulm), Dr. med. Caroline Roduit (Universität Zürich, Kinderspital
Zürich und Ostschweizer Kinderspital St. Gallen), Dr. med. Markus Weissert
(Neuropädiater FMH, St. Gallen)

BEGLEITGRUPPE

Valérie Clerc und Dr. med. Hermann Amstad (SAMW), Dr. Matthias Stremlo
(BAFU), Prof. Marcel Tanner (SCNAT), Esther Walter und Damiano Urbinello
(BAG)

REDAKTIONELLE ÜBERARBEITUNG

Dr. Daniela Pauli, Jodok Guntern

ÜBERSETZUNG

Marlène Thibault (Centre for Development and Environment, Universität Bern)

LAYOUT

Olivia Zwygart

FOTOS

Dmitry Naumov/Patrick Daxenbichler – stock.adobe.com

Zitiervorschlag: Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (2019)
Biodiversität, eine Garantie für Gesundheit? Swiss Academies Factsheet 14 (3)

akademien-schweiz.ch

ISSN (print): 2297-1580
ISSN (online): 2297-1599

DOI: 10.5281/zenodo.3367099

Cradle to Cradle™-zertifiziertes und klimaneutrales
Faktenblatt gedruckt durch die Vögel AG in Langnau.



Literatur

- 1 United Nations (2015) **Transforming Our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. pp 29.
- 2 Golden Christopher D, Romanelli C et al (2015) **Connecting Global Priorities: Biodiversity and Human Health, a State of Knowledge Review**. World Health Organization and Secretariat for the Convention on Biological Diversity. pp. 360.
- 3 IPBES (2018) **Summary for policymakers of the regional report on biodiversity and ecosystem services**. IPBES Secretariat, Bonn. pp. 48.
- 4 Hornberg C (2016) **StadtNatur fördert die Gesundheit**. in Ökosystemleistungen in der Stadt – Gesundheit schützen und Lebensqualität erhöhen. (eds. Kowarik I, Bartz R, Brenck M) 98–125 Technische Universität Berlin, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Berlin, Leipzig.
- 5 Bundesamt für Naturschutz Deutschland. **Naturschutz und Gesundheit: Startseite**. <https://natgesis.bfn.de> (accessed 2nd September 2019).
- 6 Ragettli M, Flückiger B, Rösli M (2017) **Auswirkungen der Umwelt auf die Gesundheit**. Swiss TPH. pp 86.
- 7 Flüeler E, Rey L (2015) **Geerdet im Garten**. Umwelt 3: Gesundheit, ein kostbares Gut. 28–31. Bundesamt für Umwelt.
- 8 van den Bosch M, Bird W (2018) **Oxford Textbook of Nature and Public Health: The role of nature in improving the health of a population – Oxford Medicine**. Oxford University Press. pp 338.
- 9 BAFU (2017) **Biodiversität in der Schweiz: Zustand und Entwicklung**. Umwelt-Zustand Nr. 1630 pp 60.
- 10 Lachat T et al (2010) **Wandel der Biodiversität in der Schweiz seit 1900**. Bristol-Schriftenreihe 25, Haupt Verlag. pp 435.
- 11 World Health Organization. (2014) **Constitution of the world health organization**. Basic Document. 1–19.
- 12 United Nations (1992) **Convention on biological diversity**. Convention on biological diversity 30. doi:10.1146/annurev.ento.48.091801.112645
- 13 Millennium Ecosystem Assessment (2005) **Ecosystems and Human Well-being: Synthesis**. Island Press, Washington, DC.
- 14 van den Berg M et al (2015) **Health benefits of green spaces in the living environment: A systematic review of epidemiological studies**. Urban Forestry and Urban Green. 14, 806–816.
- 15 Gascon M et al (2016) **Residential green spaces and mortality: A systematic review**. Environment International 86, 60–67.
- 16 Cherrie MPC et al (2018) **Green space and cognitive ageing: A retrospective life course analysis in the Lothian Birth Cohort 1936**. Social Science and Medicine 196, 56–65.
- 17 Haluza D, Schönbauer R, Cervinka R (2014) **Green perspectives for public health: A narrative review on the physiological effects of experiencing outdoor nature**. International Journal of Environmental Research and Public Health 11, 5445–5461.
- 18 Gascon M et al (2015) **Mental health benefits of long-term exposure to residential green and blue spaces: A systematic review**. International Journal of Environmental Research and Public Health 12, 4354–4379.
- 19 Faber Taylor A, Kuo FE (2009) **Children with attention deficits concentrate better after walk in the park**. Journal of Attention Disorder. 12, 402–409.
- 20 Markevych I et al (2014) **Surrounding greenness and birth weight: Results from the GINIplus and LISAPlus birth cohorts in Munich**. Health and Place 26, 39–46.
- 21 Dadvand P et al (2012) **Surrounding Greenness and Pregnancy Outcomes in Four Spanish Birth Cohorts**. Environmental Health Perspectives 120, 1481–1487.
- 22 Lachowycz K, Jones AP (2011) **Greenspace and obesity: A systematic review of the evidence**. Obesity Reviews 12, 183–189.
- 23 Bowler DE, Buyung-Ali LM, Knight TM, Pullin AS (2010) **A systematic review of evidence for the added benefits to health of exposure to natural environments**. BMC Public Health 10, 456.
- 24 James P, Banay RF, Hart JE, Laden F (2015) **A Review of the Health Benefits of Greenness**. Current Epidemiology Reports 2, 131–142.
- 25 Sandifer PA, Sutton-Grier AE, Ward BP (2015) **Exploring connections among nature, biodiversity, ecosystem services, and human health and well-being: Opportunities to enhance health and biodiversity conservation**. Ecosystem Services 12, 1–15.
- 26 Maxwell S, Lovell R (2016) **Evidence Statement on the links between natural environments and human health**. University of Exeter and Defra collaborative project. pp 43.
- 27 Lee ACK, Maheswaran R (2011) **The health benefits of urban green spaces: A review of the evidence**. Journal of Public Health 33, 212–222.
- 28 Hartig T, Mitchell R, de Vries S, Frumkin H (2014) **Nature and Health**. Annual Review of Public Health 35, 207–228.
- 29 World Health Organisation (2016) **Urban green spaces and health: a review of the evidence**. pp 82.
- 30 Li Q (2010) **Effect of forest bathing trips on human immune function**. Environmental Health and Preventive Medicine 15, 9–17.
- 31 Chawla L, Keena K, Pevec I, Stanley E (2014) **Green schoolyards as havens from stress and resources for resilience in childhood and adolescence**. Health and Place 28, 1–13.
- 32 Li D, Sullivan WC (2016) **Impact of views to school landscapes on recovery from stress and mental fatigue**. Landscape and Urban Planning, 148, 149–158.
- 33 Matsuoka RH (2010) **Student performance and high school landscapes: Examining the links**. Landscape and Urban Planning 97, 273–282.
- 34 Gascon M, Zijlema W, Vert C, White MP, Nieuwenhuijsen MJ (2017) **Outdoor blue spaces, human health and well-being: A systematic review of quantitative studies**. International Journal of Hygiene and Environmental Health 220, 1207–1221.
- 35 Bell S, Graham H, Jarvis S, White P (2017) **The importance of nature in mediating social and psychological benefits associated with visits to freshwater blue space**. Landscape and Urban Planning 167, 118–127.
- 36 Markevych I et al (2017) **Exploring pathways linking greenspace to health: Theoretical and methodological guidance**. Environmental Research 158, 301–317.
- 37 Ekkel ED, de Vries S (2017) **Nearby green space and human health: Evaluating accessibility metrics**. Landscape and Urban Planning 157, 214–220.
- 38 Kühn S et al (2017) **In search of features that constitute an 'enriched environment' in humans: Associations between geographical properties and brain structure**. Scientific Reports 7, 1–8.
- 39 Cox DTC et al (2017) **Doses of neighborhood nature: The benefits for mental health of living with nature**. Bioscience 67, 147–155.
- 40 Southon GE, Jorgensen A, Dunnett N, Hoyle H, Evans KL (2018) **Perceived species-richness in urban green spaces: Cues, accuracy and well-being impacts**. Landscape and Urban Planning 172, 1–10.
- 41 Cox DTC et al (2017) **Doses of nearby nature simultaneously associated with multiple health benefits**. International Journal of Environmental Research and Public Health 14, 172, 1–13.
- 42 Hedblom M, Heyman E, Antonsson H, Gunnarsson B (2014) **Bird song diversity influences young people's appreciation of urban landscapes**. Urban Forestry and Urban Greening 13, 469–474.
- 43 Craig JM, Logan AC, Prescott SL (2016) **Natural environments, nature relatedness and the ecological theater: Connecting satellites and sequencing to shinrin-yoku**. Journal of Physiological Anthropology 35, 1–10.
- 44 Conniff A, Craig T (2016) **A methodological approach to understanding the wellbeing and restorative benefits associated with greenspace**. Urban Forestry and Urban Greening 19, 103–109.
- 45 Franco LS, Shanahan DF, Fuller RAA (2017) **Review of the benefits of nature experiences: More than meets the eye**. International Journal of Environmental Research and Public Health 14/8, 1–29.
- 46 Van den Berg AE (2017) **From green space to green prescriptions: Challenges and opportunities for research and practice**. Frontiers in Psychology 8, 8–11.

- 47 Bakolis I et al (2018) **Urban Mind: Using Smartphone Technologies to Investigate the Impact of Nature on Mental Well-Being in Real Time.** *BioScience* 68/2, 134–145.
- 48 Capaldi A, CA, Dopko LRL, Zelenski JM (2014) **The relationship between nature connectedness and happiness: A meta-analysis.** *Frontiers in Psychology* 5, 1–15.
- 49 Gunnarsson B, Knez I, Hedblom M, Sang AO (2017) **Effects of biodiversity and environment-related attitude on perception of urban green space.** *Urban Ecosystems* 20, 37–49.
- 50 Sang AO, Knez I, Gunnarsson B, Hedblom M (2016) **The effects of naturalness, gender, and age on how urban green space is perceived and used.** *Urban Forestry and Urban Greening* 18, 268–276.
- 51 Hough RL (2014) **Biodiversity and human health: Evidence for causality?** *Biodiversity and Conservation* 23, 267–288.
- 52 Luck GW, Davidson P, Boxall D, Smallbone L (2011) **Relations between Urban Bird and Plant Communities and Human Well-Being and Connection to Nature.** *Conservation Biology* 25, 816–826.
- 53 Richardson E, Mitchell R (2010) **Gender differences in relationships between urban green space and health in the United Kingdom.** *Social science and medicine* 71, 568–575.
- 54 Sugiyama T et al (2016) **Can neighborhood green space mitigate health inequalities? A study of socio-economic status and mental health.** *Health and Place* 38, 16–21.
- 55 Botzat A, Fischer LK, Kowarik I (2016) **Unexploited opportunities in understanding liveable and biodiverse cities. A review on urban biodiversity perception and valuation.** *Global Environmental Change* 39, 220–233.
- 56 Douglas O, Lennon M, Scott M (2017) **Green space benefits for health and well-being: A life-course approach for urban planning, design and management.** *Cities* 66, 53–62.
- 57 Astell-Burt T, Mitchell R, Hartig T (2014) **The association between green space and mental health varies across the lifecourse. A longitudinal study.** *Journal of Epidemiology and Community Health* 68, 578–583.
- 58 Dadvand P et al (2015) **Green spaces and cognitive development in primary schoolchildren.** *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112/26, 7937–7942.
- 59 Dadvand P et al (2018) **The Association between Lifelong Greenspace Exposure and 3-Dimensional Brain Magnetic Resonance Imaging in Barcelona Schoolchildren.** *Environmental Health Perspectives* 126, 1–8.
- 60 Schutte AR, Torquati JC, Beattie HL (2017) **Impact of Urban Nature on Executive Functioning in Early and Middle Childhood.** *Environment and Behavior* 49, 3–30.
- 61 Bourrier SC, Berman MG, Enns JT (2018) **Cognitive strategies and natural environments interact in influencing executive function.** *Frontiers in Psychology* 9, 1–11.
- 62 Engemann K, Böcker C, Arge L, Tsiogiannis C, Bo P (2019) **Residential green space in childhood is associated with lower risk of psychiatric disorders from adolescence into adulthood.** *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116/11, 5188–5193.
- 63 Mitchell RJ, Richardson EA, Shortt NK, Pearce JR (2015) **Neighborhood Environments and Socioeconomic Inequalities in Mental Well-Being.** *American Journal of Preventive Medicine* 49, 80–84.
- 64 Lovell R, Wheeler BW, Higgins SL, Irvine KN, Depledge MH (2014) **A systematic review of the health and well-being benefits of biodiverse environments.** *Journal of Toxicology and Environmental Health B* 17, 1–20.
- 65 Aerts R, Honnay O, Van Nieuwenhuysse A (2018) **Biodiversity and human health: mechanisms and evidence of the positive health effects of diversity in nature and green spaces.** *British Medical Bulletin* 5–22.
- 66 Hansmann R, Hug SM, Seeland K (2007) **Restoration and stress relief through physical activities in forests and parks.** *Urban Forestry and Urban Greening* 6, 213–225.
- 67 Karjalainen E, Sarjala T, Raitio H (2010) **Promoting human health through forests: Overview and major challenges.** *Environmental Health and Preventive Medicine* 15, 1–8.
- 68 Meyer K, Bürger-Arndt R (2014) **How forests foster human health – Present state of research-based knowledge** (in the field of Forests and Human Health). *International Forestry Review* 16, 421–446.
- 69 O'Brien L, Morris J (2014) **Well-being for all? The social distribution of benefits gained from woodlands and forests in Britain.** *Local Environment* 19, 356–383.
- 70 Martens D, Gutscher H, Bauer N (2011) **Walking in “wild” and “tended” urban forests: The impact on psychological well-being.** *Journal of Environmental Psychology* 31, 36–44.
- 71 Stigsdotter UK, Corazon SS, Sidenius U, Refshauge AD, Grahn P (2017) **Forest design for mental health promotion – Using perceived sensory dimensions to elicit restorative responses.** *Landscape and Urban Planning* 160, 1–15.
- 72 Obrist MK et al (2012) **Biodiversität in der Stadt – für Mensch und Natur.** *Merkblatt für die Praxis WSL* 48, 1–12.
- 73 Fischer LK et al (2018) **Beyond green: Broad support for biodiversity in multicultural European cities.** *Global Environmental Change* 49, 35–45.
- 74 Lindemann-Matthies P, Junge X, Matthies D (2010) **The influence of plant diversity on people's perception and aesthetic appreciation of grassland vegetation.** *Biological Conservation* 143, 195–202.
- 75 Southon GE, Jorgensen A, Dunnett N, Hoyle H, Evans KL (2017) **Biodiverse perennial meadows have aesthetic value and increase residents' perceptions of site quality in urban green-space.** *Landscape and Urban Planning* 158, 105–118.
- 76 Palliwoda J, Kowarik I, von der Lippe M (2017) **Human-biodiversity interactions in urban parks: The species level matters.** *Landscape and Urban Planning* 157, 394–406.
- 77 Crump L, Martinoli D, Zinsstag J. **Links between biodiversity and human health: a review.** Submitted.
- 78 Ostfeld RS, Keesing F (2012) **Effects of Host Diversity on Infectious Disease.** in *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, Vol 43, 157–182.
- 79 Civitello DJ et al (2015) **Biodiversity inhibits parasites: Broad evidence for the dilution effect.** *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112/28, 8667–8671.
- 80 Randolph SE, Dobson AD (2012) **Pangloss revisited: a critique of the dilution effect and the biodiversity-buffers-disease paradigm.** *Parasitology* 139, 847–863.
- 81 Wood CL et al (2014) **Does biodiversity protect humans against infectious disease?** *Ecology* 95, 817–832.
- 82 Huang ZY et al (2013) **Dilution effect in bovine tuberculosis: risk factors for regional disease occurrence in Africa.** *Proceedings of the Royal Society B* 280, 20130624.
- 83 Dizney LJ, Ruedas LA (2009) **Increased Host Species Diversity and Decreased Prevalence of Sin Nombre Virus.** *Emerging Infectious Diseases* 15, 1012–1018.
- 84 Johnson PT et al (2012) **Species diversity reduces parasite infection through cross-generational effects on host abundance.** *Ecology* 93, 56–64.
- 85 Mihaljevic JR, Joseph MB, Orlofske SA, Paull SH (2014) **The scaling of host density with richness affects the direction, shape, and detectability of diversity-disease relationships.** *PLoS One* 9(5), e97812.
- 86 Schmid J et al (2018) **Ecological drivers of Hepacivirus infection in a neotropical rodent inhabiting landscapes with various degrees of human environmental change.** *Oecologia* 188(1) 289–302.
- 87 Morand S, Jittapalapong S, Suputtamongkol Y, Abdullah MT, Huan TB (2014) **Infectious diseases and tww in Asia-Pacific: biodiversity and its regulation loss matter.** *PLoS One* 9(2), e90032.
- 88 Salkeld DJ, Padgett KA, Jones JH (2013) **A meta-analysis suggesting that the relationship between biodiversity and risk of zoonotic pathogen transmission is idiosyncratic.** *Ecology Letters* 16(5), 679–686.
- 89 Wood CL, Lafferty KD (2013) **Biodiversity and disease: a synthesis of ecological perspectives on Lyme disease transmission.** *Trends in Ecology and Evolution* 28(4), 239–247.

- 90 Huang ZY, Van Langevelde F, Estrada-Pena A, Suzan G, De Boer WF (2016) **The diversity-disease relationship: evidence for and criticisms of the dilution effect.** *Parasitology* 143(9), 1075–1086.
- 91 Kilpatrick AM, Salkeld DJ, Titcomb G, Hahn MB (2017) **Conservation of biodiversity as a strategy for improving human health and well-being.** *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 372, 20160131.
- 92 Ehrmann S et al (2018) **Habitat properties are key drivers of Borrelia burgdorferi (s.l.) prevalence in Ixodes ricinus populations of deciduous forest fragments.** *Parasites and Vectors* 11, 1–15.
- 93 Rook GA (2013) **Regulation of the immune system by biodiversity from the natural environment: an ecosystem service essential to health.** *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110, 18360–18367.
- 94 Logan AC, Jacka FN, Prescott SL (2016) **Immune-Microbiota Interactions: Dysbiosis as a Global Health Issue.** *Current Allergy and Asthma Reports* 16, 13.
- 95 Schaub B, Vercelli D (2015) **Environmental protection from allergic diseases: From humans to mice and back.** *Current Opinion on Immunology* 36, 88–93.
- 96 Karvonen AM et al (2012) **Exposure to microbial agents in house dust and wheezing, atopic dermatitis and atopic sensitization in early childhood: a birth cohort study in rural areas.** *Clinical and Experimental Allergy* 42, 1246–1256.
- 97 Ege MJ et al (2011) **Exposure to environmental microorganisms and childhood asthma.** *The New England Journal of Medicine* 364, 701–709.
- 98 Roduit C et al (2011) **Prenatal animal contact and gene expression of innate immunity receptors at birth are associated with atopic dermatitis.** *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 127, 179–85.
- 99 Haahtela T et al (2013) **The biodiversity hypothesis and allergic disease: world allergy organization position statement.** *World Allergy Organisation Journal* 6(1), 3.
- 100 von Hertzen L et al (2015) **Helsinki alert of biodiversity and health.** *Annals of Medicine* 47, 218–225.
- 101 Hanski I et al (2012) **Environmental biodiversity, human microbiota, and allergy are interrelated.** *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109, 8334–8339.
- 102 Karkman A, Lehtimäki J, Ruokolainen L (2017) **The ecology of human microbiota: dynamics and diversity in health and disease.** *Annals of the New York Academy of Sciences* 1399, 78–92.
- 103 Liddicoat C et al (2018) **Ambient soil cation exchange capacity inversely associates with infectious and parasitic disease risk in regional Australia.** *Science of the Total Environment* 626, 117–125.
- 104 Liddicoat C et al (2018) **Landscape biodiversity correlates with respiratory health in Australia.** *Journal of Environmental Management* 206, 113–122.
- 105 Riiser A (2015) **The human microbiome, asthma, and allergy.** *Allergy Asthma and Clinical Immunology* 11, 35.
- 106 Roduit C et al (2009) **Asthma at 8 years of age in children born by caesarean section.** *Thorax* 64, 107–113.
- 107 Balmer O, Tanner M (2011) **Prevalence and implications of multiple-strain infections.** *Lancet Infectious Diseases* 11, 868–878.
- 108 Wasimuddin et al (2018) **Astrovirus infections induce age-dependent dysbiosis in gut microbiomes of bats.** *Isme Journal* 12(12) 2883–2893.
- 109 Wollina U (2017) **Microbiome in atopic dermatitis.** *Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology* 10, 51–56.
- 110 Aziz Q, Dore J, Emmanuel A, Guarner F, Quigley EM (2013) **Gut microbiota and gastrointestinal health: current concepts and future directions.** *Neurogastroenterology and Motility* 25, 4–15.
- 111 Dimmitt RA et al (2010) **Role of postnatal acquisition of the intestinal microbiome in the early development of immune function.** *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition* 51, 262–273.
- 112 Shanahan F (2009) **Linking lifestyle with microbiota and risk of chronic inflammatory disorders.** In *Hygiene Hypothesis and Darwinian Medicine* (ed. Rook, GAW) 93–102.
- 113 Prescott SL et al (2017) **The skin microbiome: impact of modern environments on skin ecology, barrier integrity, and systemic immune programming.** *World Allergy Organization Journal* 10, 29.
- 114 Roche B, Dobson AP, Guegan JF, Rohani P (2012) **Linking community and disease ecology: the impact of biodiversity on pathogen transmission.** *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 367, 2807–2813.
- 115 Keesing F et al (2010) **Impacts of biodiversity on the emergence and transmission of infectious diseases.** *Nature* 468, 647–652.
- 116 Ostfeld RS, Keesing F (2017) **Is biodiversity bad for your health?** *Ecosphere* 8(3), e01676.
- 117 Hosseini PR et al (2017) **Does the impact of biodiversity differ between emerging and endemic pathogens? The need to separate the concepts of hazard and risk.** *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 372 (1722) 20160129.
- 118 Brooks CP, Zhang H (2010) **A null model of community disassembly effects on vector-borne disease risk.** *Journal of Theoretical Biology* 264, 866–873.
- 119 Bouchard C et al (2013) **Does high biodiversity reduce the risk of Lyme disease invasion?** *Parasites and Vectors* 6, 195.
- 120 Tischer CG, Heinrich J (2013) **Exposure assessment of residential mould, fungi and microbial components in relation to children's health: achievements and challenges.** *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 216, 109–114.
- 121 Derne BT, Fearnley EJ, Lau CL, Paynter S, Weinstein P (2011) **Biodiversity and leptospirosis risk: a case of pathogen regulation?** *Medical Hypotheses* 77, 339–344.
- 122 Huynen MM, Martens P, De Groot RS (2004) **Linkages between biodiversity loss and human health: a global indicator analysis.** *International Journal of Environmental Health Research* 14, 13–30.
- 123 Laporta GZ, Lopez de Prado PI, Kraenkel RA, Coutinho RM, Sallum MA (2013) **Biodiversity can help prevent malaria outbreaks in tropical forests.** *PLoS Neglected Tropical Diseases* 7, e2139.
- 124 Salkeld DJ, Padgett KA, Jones JH, Antolin MF (2015) **Public health perspective on patterns of biodiversity and zoonotic disease.** *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112, E6261–E6261.
- 125 Hartig T, Kahn PH (2016) **Living in cities, naturally.** *Science* 352, 938–940.
- 126 van den Bosch M, Nieuwenhuijsen M (2017) **No time to lose – Green the cities now.** *Environment International* 99, 343–350.
- 127 Ten Brink P et al (2016) **The Health and Social Benefits of Nature and Biodiversity Protection.** A report for the European Commission (ENV.B.3/ETU/2014/0039), Institute for European Environmental Policy, London/Brussels, pp 284.
- 128 Frumkin H et al (2017) **Nature Contact and Human Health: A Research Agenda.** *Environmental Health Perspectives* 125 (7), 1–18.
- 129 Wolf KL, Measells MK, Grado SC, Robbins AST (2015) **Economic values of metro nature health benefits: A life course approach.** *Urban Forestry and Urban Greening* 14, 694–701.
- 130 Bouzou N, Marques C (2016) **Les espaces verts urbains.** *Lieux de santé publique, vecteurs d'activité économique.* Asteres, pp 56.
- 131 Kupczyk M, Haahtela T, Cruz AA, Kuna P (2010) **Reduction of asthma burden is possible through National Asthma Plans.** *Allergy* 65 (4), 415–419.
- 132 Bell S et al (2016) **Green space, human health and biodiversity: four evidence cards to inform public open space policy making in Cornwall Council.** University of Exeter and Cornwall Council Collaborative Project. pp 43.
- 133 Medlock JM et al (2013) **Driving forces for changes in geographical distribution of Ixodes ricinus ticks in Europe.** *Parasites and Vectors* 6, 1.
- 134 Löhmus M, Balbus J (2015) **Making green infrastructure healthier infrastructure.** *Infection Ecology and Epidemiology* 5 (1).
- 135 Shanahan DF et al (2015) **Toward improved public health outcomes from urban nature.** *American Journal of Public Health* 105 (3), 470–477.
- 136 van den Bosch M, de Sang A (2017) **Urban Natural Environments As Nature Based Solutions for Improved Public Health – a Systematic Review of Reviews.** *Journal of Transport and Health* 5, S79.

- 137 Nieuwenhuijsen MJ, Khreis H, Triguero-Mas M, Gascon M, Dadvand P (2017) **Fifty shades of green.** Epidemiology 28 (1), 63-71.
- 138 Levi T et al (2016) **Does biodiversity protect humans against infectious disease?** Ecology 97, (2) 536-542.
- 139 Pongsiri MJ et al (2009) **Biodiversity Loss Affects Global Disease Ecology.** Bioscience 59 (11), 945-954.
- 140 Whitmee S et al (2015) **Safeguarding human health in the Anthropocene epoch: report of The Rockefeller Foundation-Lancet Commission on planetary health.** Lancet 386, 1973-2028.
- 141 WHO Regional Office for Europe (2017) **Urban green spaces: a brief for action.** pp 7.
- 142 World Health Organisation (2017) **Urban Green Space Interventions and Health.** A review of impacts and effectiveness. pp. 202.
- 143 Tengö M et al (2017) **Weaving knowledge systems in IPBES, CBD and beyond – lessons learned for sustainability.** Current Opinion in Environmental Sustainability 26-27, 17-25.
- 144 Wood CL, McInturff A, Young HS, Kim D, Lafferty KD (2017) **Human infectious disease burdens decrease with urbanization but not with biodiversity.** Philosophical Transactions Royal Society B 372, 20160122.