

# Digitalisierung im Naturschutz

Potenziale, Risiken und Lösungsansätze

Christian Schneider, Klemens Mrogenda  
und Marlen Davis

BfN-Schriften

656

2023





Bundesamt für  
Naturschutz

# Digitalisierung im Naturschutz

## Potenziale, Risiken und Lösungsansätze

Christian Schneider  
Klemens Mrogenda  
Marlen Davis

## Impressum

**Titelbild:** Collage digitaler Uhus (*bubo bubo*). Teile der Abbildung wurden mit DALL-E 2 auf Basis von Textbeschreibungen von Christian Schneider erstellt. DALL-E 2 nutzt maschinelles Lernen – sog. generative pre-trained transformer (GPT) Modelle – zur Schaffung von Bildern aus Texteingaben.

### Adressen der Autorin und der Autoren:

Dr. Christian Schneider	Bundesamt für Naturschutz
Klemens Mrogenda	Fachgebiet I 1.1: „Strategische Digitalisierung in Natur und Gesellschaft“
Marlen Davis	Alte Messe 6, 04103 Leipzig
	E-Mail: <a href="mailto:Christian.Schneider@bfn.de">Christian.Schneider@bfn.de</a> ,
	E-Mail: <a href="mailto:Klemens.Mrogenda@bfn.de">Klemens.Mrogenda@bfn.de</a> ,
	E-Mail: <a href="mailto:Marlen.Davis@bfn.de">Marlen.Davis@bfn.de</a>
	<a href="https://www.bfn.de/thema/digitalisierung">https://www.bfn.de/thema/digitalisierung</a>

Diese Veröffentlichung wird aufgenommen in die Literaturdatenbank „DNL-online“ ([www.dnl-online.de](http://www.dnl-online.de)).

BfN-Schriften sind nicht im Buchhandel erhältlich. Eine pdf-Version dieser Ausgabe kann unter [www.bfn.de/publikationen](http://www.bfn.de/publikationen) heruntergeladen werden.

Institutioneller Herausgeber: Bundesamt für Naturschutz  
Konstantinstr. 110  
53179 Bonn  
URL: [www.bfn.de](http://www.bfn.de)

Der institutionelle Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in den Beiträgen geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des institutionellen Herausgebers übereinstimmen.



Diese Schriftenreihe wird unter den Bedingungen der Creative Commons Lizenz Namensnennung – keine Bearbeitung 4.0 International (CC BY - ND 4.0) zur Verfügung gestellt ([creativecommons.org/licenses](http://creativecommons.org/licenses)).

Druck: Druckerei des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV)

Gedruckt auf 100% Altpapier

ISBN 978-3-89624-417-8

DOI 10.19217/skr656

Bonn 2023

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>Strategisches Modell zur Digitalisierung und Naturschutz.....</b>	<b>15</b>
2.1	Sozioökologischer Kontext und Rahmenbedingungen .....	15
2.2	Handlungsfeld Naturschutz.....	16
2.3	Handlungsfeld Digitalisierung .....	17
2.4	Synthese: Strategische Digitalisierung in Natur und Gesellschaft.....	18
<b>3</b>	<b>Technologieradar.....</b>	<b>23</b>
3.1	Künstliche Intelligenz (KI).....	23
3.2	Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) .....	23
3.3	Digitale Zwillinge (digital twins) .....	24
3.4	Drohnen .....	24
3.5	eDNA .....	26
3.6	Blockchain .....	27
3.7	Biobots .....	30
3.8	Quantencomputing .....	30
<b>4</b>	<b>Schwerpunkt: Sensorgestützte Datenerfassung für den Naturschutz .....</b>	<b>34</b>
4.1	Sensorik und Einsatzzweck.....	42
4.2	Werkzeuge zur Unterstützung manueller Datenerfassungen .....	42
4.3	Potenziale und Chancen.....	42
4.4	Herausforderungen und Risiken .....	44
<b>5</b>	<b>Schwerpunkt: Datenmanagement im Naturschutz.....</b>	<b>47</b>
5.1	Zunahme an Datenmengen und -typen .....	47
5.2	Harmonisierung und Verfügbarmachung von Datenbeständen .....	48
5.3	Potentiale und Chancen .....	51
5.4	Herausforderungen und Risiken .....	52
5.5	Bewertung und Lösungsansätze .....	53
<b>6</b>	<b>Schwerpunkt: Maschinelles Lernen und Künstliche Intelligenz im Naturschutz .....</b>	<b>54</b>
6.1	Definitionen und Taxonomien .....	54
6.2	Grundlagen und Voraussetzungen.....	57
6.3	Potenziale und Chancen.....	58

6.4	Herausforderungen und Risiken .....	59
6.5	Bewertung und Lösungsansätze .....	61
<b>7</b>	<b>Schwerpunkt: Naturbildung und -bewusstsein in Zeiten der Digitalisierung .....</b>	<b>69</b>
7.1	Übersicht digitaler Formate .....	69
7.2	Anwendungsbeispiele digitaler Formate im Naturschutz.....	71
7.3	Potentiale und Chancen .....	76
7.4	Herausforderungen und Risiken .....	77
7.5	Bewertung und Lösungsansätze .....	79
<b>8</b>	<b>Schwerpunkt: Naturschutzengagement und Ehrenamt in Zeiten der Digitalisierung .....</b>	<b>80</b>
8.1	Anwendungsbeispiele für digitales und digital-gestütztes Naturschutzengagement.....	80
8.2	Potentiale und Chancen .....	86
8.3	Herausforderungen und Risiken .....	86
8.4	Bewertung und Lösungsansätze .....	87
<b>9</b>	<b>Chancen und Risiken der Digitalisierung für den Naturschutz – Eine Zusammenfassung .....</b>	<b>90</b>
9.1	Chancen für den Naturschutz .....	90
9.2	Herausforderungen und Risiken für den Naturschutz .....	92
<b>10</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>96</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>98</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>120</b>
	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>121</b>

## Vorwort

Nur wenigen Menschen ist vermutlich auf Anhieb bewusst, was Digitalisierung mit Naturschutz zu tun hat. Von Einigen werden beide Begriffe sogar als Gegensätze wahrgenommen – wecken sie doch Assoziationen von etwas „Digitalem“ auf der einen und etwas „Natürlichem“ auf der anderen Seite.

Tatsache ist jedoch, dass digitale Werkzeuge und Methoden aus der Naturschutzarbeit nicht wegzudenken sind: So werden Geoinformations- und Datenbanksysteme bereits seit Jahrzehnten zur Erfassung, Analyse und Darstellung von Naturschutzinformationen genutzt. Inzwischen können sich Politikberatung und Naturschutzpraxis auf immer genauere Modellierungen stützen, zum Beispiel zur Verbreitung oder zum Aussterberisiko von Arten. Die technischen und methodischen Entwicklungssprünge der letzten Jahre - wie steigende Rechenkapazitäten, die Verbreitung mobiler Endgeräte, Social Media oder die Weiterentwicklung von Methoden des Maschinellen Lernens - eröffnen auch für die Naturschutzarbeit viele neue Möglichkeiten. Die daraus resultierenden Chancen verwirklichen sich jedoch nicht automatisch, sondern erfordern eine proaktive und strategische Steuerung. Forschung, Entwicklung und Umsetzung müssen sich dabei stets an den konkreten naturschutzfachlichen Bedarfen ausrichten.

In der Tat besteht in Deutschland auch auf politischer Ebene ein wachsendes Bewusstsein für die Potentiale der Digitalisierung im Naturschutz. So wurde 2020 die Umweltpolitische Digitalagenda des Bundesumweltministeriums verabschiedet, durch die wichtige Initiativen auf den Weg gebracht wurden wie zum Beispiel der Aufbau des Nationalen Monitoringzentrums zur Biodiversität (NMZB) im Bundesamt für Naturschutz (BfN) oder das ressortweite Anwendungslabor für Künstliche Intelligenz und Big Data am Umweltbundesamt (UBA). Das aktuelle Fünf-Punkte-Programm für Künstliche Intelligenz, mit dem die Förderinitiative KI-Leuchttürme umgesetzt wird, verdeutlicht ebenfalls den Stellenwert der Digitalisierung aus Sicht des Bundesumweltministeriums. Das Themenfeld Digitalisierung und Nachhaltigkeit gewinnt zunehmend auch zivilgesellschaftlich an Bedeutung. Dies wurde nicht zuletzt eindrücklich auf Konferenzen wie der Bits & Bäume 2022 oder der re:publica 2022 unter Beweis gestellt.

In Ergänzung zu den bereits seit einigen Jahrzehnten im Einsatz befindlichen Systemen fördert das Bundesamt für Naturschutz eine kontinuierlich wachsende Zahl digitaler Anwendungen und legt damit einen deutlichen Fokus auf die Digitalisierung. Mit Flora Incognita wurde im Rahmen des Bundesprogramms Biologische Vielfalt beispielsweise eines der erfolgreichsten Systeme zu automatisierten Pflanzenerkennung in Deutschland entwickelt. Im Jahr 2021 nahm im BfN ein eigenes Fachgebiet zur strategischen Ausrichtung der Digitalisierung in Natur und Gesellschaft seine Arbeit auf und es wurde die jährliche Tagungsreihe NaturschutzDigital gestartet. Zudem ist das Thema Digitalisierung im aktuellen BfN-Forschungsprogramm deutlich präsenter platziert worden, um digitale Methoden- und Anwendungsentwicklung stärker als Querschnittsthema zu verankern.

Der vorliegende Bericht strukturiert die vielseitigen Zusammenhänge zwischen den Themenfeldern Digitalisierung und Naturschutz. Er fokussiert auf die Potentiale digitaler Anwendungen sowie auf Herausforderungen und möglichen Risiken. Der Bericht bietet somit einen systematischen Überblick über das Thema „Digitalisierung im Naturschutz“.

Sabine Riewenherm

Präsidentin des Bundesamtes für Naturschutz

## Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht gibt einen Überblick über die wesentlichen Chancen, Herausforderungen und Risiken im Rahmen von ausgewählten Schwerpunktthemen im Schnittpunkt von Digitalisierung und Naturschutz.

Ziele des Berichtes:

- konzeptionelles Strukturieren der Zusammenhänge von Digitalisierung und Naturschutz;
- Identifikation und erste Einschätzung relevanter Digitaltrends;
- Skizzieren der Chancen, Herausforderungen und Risiken für den Naturschutz und
- Zusammenstellen konkreter Digitalanwendungen und -projekte mit Naturschutzbezug.

Die Digitalisierung ist ein gesamtgesellschaftlicher Megatrend und somit auch im Naturschutz ein wichtiges Querschnittsthema. Digitale Anwendungen sind in der Naturschutzarbeit bereits weit verbreitet und reichen z. B. von der Erfassung von Arten und Lebensraumzuständen, über vernetzte Dateninfrastrukturen, leistungsstarke Analysemethoden bis hin zu modernen Kommunikations- und Beteiligungsformen. Auf der BfN-Webseite finden Sie eine ausführliche Sammlung digitaler Anwendungen und Projekte im Naturschutz (Liste zum Download im PDF-Format unter <http://bit.ly/3FN9Znd>).

Anhand eines **strategischen Modells** werden diese vielseitigen Themenfelder konzeptionell sortiert (vgl. Kap. 2). Dabei werden die beiden Handlungsfelder Digitalisierung sowie Naturschutz vor dem Hintergrund ihres sozioökologischen Kontexts und verschiedener Einflussfaktoren betrachtet. Die **politisch-rechtlichen Einflussfaktoren** werden beispielhaft in einem Exkurs thematisiert (vgl. Exkurs S. 21).

Basierend auf diesen Grundlagen, gibt Kapitel 3 einen Einblick in **naturschutzrelevante Technologien**. Durch Weiterentwicklungen und Kombinationsmöglichkeiten aus den Bereichen der Sensorik, Auswertungsverfahren, sowie der visuellen Aufbereitung, ergeben sich fortlaufend neue Anwendungen, wie z. B. KI, eDNA, Blockchain oder Quantencomputing.

Kapitel 4 skizziert die Entwicklung der **digitalen Datenerfassung**. Vernetzte Sensoren erlauben die zeitlich, räumlich und inhaltlich immer besser aufgelöste Erhebung von Daten über Natur sowie über Treiber des Biodiversitätsverlusts. Auch sind digitale Erhebungstools immer weiter verbreitet. Sie beschleunigen potenziell die Arbeit von Kartierenden und befähigen zudem neue Akteure, wie Citizen Scientists oder Unternehmen, naturschutzrelevante Daten aufzunehmen. Obwohl die Technisierung der Naturbeobachtung große Potentiale birgt, sollten unrealistische Erwartungen an die „Echtzeitüberwachung“ der Natur vermieden und die Qualitätskontrolle stets im Blick behalten werden. Zudem ist eine Nutzenabwägung über den Einsatz hochentwickelter Sensoren unter Berücksichtigung möglicher unbeabsichtigter Konsequenzen notwendig.

Grundsätzlich sollten alle Digitalanwendungen durch **holistische Bewertungsansätze** analysiert werden, um fundiert über ihren Einsatz und ihre Ausgestaltung zu entscheiden. Neben ökologischen Faktoren spielen auch soziale, ethische, rechtliche und ökonomische Aspekte eine Rolle (vgl. Exkurs S. 32). Selbst wenn Digitalprojekte so konzipiert werden, dass ein



positiver Einfluss auf ein naturschutzfachliches Problem zu erwarten ist, kann die Gesamtbeurteilung einer Anwendung negativ ausfallen. Dies kann an **Reboundeffekten** liegen oder daran, dass lediglich Symptome von Naturzerstörung digital behandelt werden, nicht aber die Ursachen (vgl. Exkurs S. 45).

Die Entwicklungen in der Datenerfassung und der damit verbundenen Komplexität und Menge der Daten stellen hohe Anforderungen an das **Datenmanagement** (vgl. Kap. 5). Zusätzlich erfordern neue Analysemethoden und Technologien, wie z. B. Künstliche Intelligenz (KI) entsprechende Datenhaltungsformen und Dokumentationspflichten. Ein Beispiel hierfür sind die großen Mengen an Trainingsdaten, die für das Training eines KI-Modells benötigt werden. Langfristig sollte eine verstärkte Harmonisierung von Datenbeständen im Vordergrund stehen, um Parallelstrukturen zu vermeiden und um es Akteur:innen zu erleichtern, Datensätze miteinander zu verschneiden und zielführend zu analysieren. Eine weitere Anforderung des Datenmanagements ist, dass Verwaltungs- und Forschungsdaten zunehmend öffentlich bereitgestellt werden sollen (Open Data). Der Exkurs auf Seite 67 erläutert die grundlegenden Konzepte und wesentliche Trends im Bereich **Open Science, Open Access, Open Source und Open Data**.

Ein Fokus der Datenauswertung liegt gegenwärtig auf Methoden des **maschinellen Lernens und der sogenannten Künstliche Intelligenz**. Eindrucksvolle Anwendungen wie automatische Arterkennung, die Auswertung von Satellitendaten oder die automatische Erkennung von Naturschutzverstößen lassen die Potenziale selbstlernender Systeme für den Naturschutz erahnen. Im Gegensatz zu klassischen Algorithmen folgen diese Systeme keinem vorgegebenen Auswertungsweg. Vielmehr suchen sie anhand von Trainingsdaten selbstständig jene Funktion, welche am besten einen Zusammenhang zwischen den Beobachtungen herstellen kann. Die Grundlagen dafür stellen einerseits historische und neue schnell wachsende Datenbestände, zum Beispiel aus Fernerkundung und Sensorik, dar. Andererseits steht inzwischen die nötige Rechenleistung für solche Systeme zur Verfügung. Im Kapitel 6 werden die Potenziale und Anwendungsfelder für selbstlernende System vorgestellt und anschließend die Herausforderungen hinsichtlich Erklärbarkeit, Vertrauenswürdigkeit und Nachhaltigkeit diskutiert.

**Modellierung** ist ein wichtiges Methodenfeld im Naturschutz und erlangt in der Politikberatung eine immer größere Bedeutung (vgl. Exkurs S. 64). Ihre Einsatzfelder sind sehr breit und reichen von Verbreitungsmodellierung einzelner Arten, über Aussterberisikobewertung, bis hin zur Modellierung komplexer Ökosysteminteraktionen. Zukünftig sollen sogenannte Digitale Zwillinge die Felder Modellierung, Sensorik und maschinelles Lernen noch enger zusammenführen.

Zusätzlich spielt die Digitalisierung für die **Naturschutzbildung und das Naturbewusstsein** der Gesellschaft eine große Rolle (vgl. Kap. 7). Durch die digitale Lebenswelt vieler Menschen, verändern sich die Formate zur Vermittlung von Naturschutzwissen und Naturerleben. Von PC-basierten Lernplattformen, digitalen Lehrpfaden, Augmented Reality (AR), naturschutzorientierten Routen-Apps, Artbestimmungs-Apps bis hin zu virtuellen Naturerlebnissen (VR) – es bieten sich kreative Wege, um Inhalte zielgruppenspezifisch aufzubereiten. Nichtsdestotrotz sollten digitale Medien stets nur eine Ergänzung zu realem Naturerleben sein und Menschen idealerweise dazu motivieren, die Natur selbst auf interaktive Weise entdecken zu wollen.

Darüber hinaus wandeln sich die **Beteiligungs- und Engagementformen** zivilgesellschaftlicher Akteure und Ehrenamtler:innen. Kapitel 8 gibt einen Einblick, wie sich Akteure rein digital für Naturschutz einsetzen und wie digitale Tools das praktische Engagement in der Natur unterstützen können. Obwohl digitale Formate die öffentliche Beteiligung am Naturschutz fördern können, sollten analoge Arbeitsweisen weiterhin bestehen, um alle Engagierten einzubinden – unabhängig ihrer Einstellungen, Möglichkeiten und Fähigkeiten im Umgang mit digitalen Medien.

Ungeachtet dessen, dass der Digitalisierungstrend Chancen für die Naturschutzarbeit bietet, führt er nicht automatisch zu einer **sozial-ökologischen, gesellschaftlichen Transformation** (vgl. Exkurs S. 53). Um eine naturverträgliche Digitalisierung zu fördern, sollten Naturschutzziele soweit wie möglich auch in den Digitalisierungsprojekten **anderer Bereiche von Wirtschaft und Gesellschaft** berücksichtigt werden (vgl. Exkurs S. 88).

Insgesamt zeigt der Bericht, auf welcher vielfältigen Weise der digitale Wandel den Naturschutz betrifft. Kapitel 9 fasst schlussendlich die **Chancen und Risiken der Digitalisierung** themenübergreifend zusammen. Davon ausgehend werden im Kapitel 10 **zentrale Schlussfolgerungen** gezogen.

## Abstract

This report provides an overview of the main opportunities, challenges and risks in the context of selected key topics at the intersection of digitalisation and nature conservation.

Objectives of the report:

- conceptual structuring of the connections between digitalisation and nature conservation;
- identification and initial assessment of relevant digital trends;
- outline of opportunities, challenges and risks for nature conservation; and
- compilation of specific digital applications and projects related to nature conservation.

Digitalisation is a societal megatrend and as such also an important cross-cutting issue in nature conservation. Digital applications are already widely used in nature conservation and range, for instance, from the assessment of species and habitat conditions, connected data infrastructures, advanced analytical methods to modern forms of communication and participation. Chapter 2 conceptualises these diverse subject areas using a **strategic model**. The two fields of action, digitalisation and nature conservation, are considered against the background of their socio-ecological context as well as various influencing factors. The example of **political and legal influencing factors** is discussed in an excursus (cf. Excursus p. 21).

Based on these fundamentals, Chapter 3 gives an insight into **relevant technologies for nature conservation**. Further developments and possible combinations from the areas of sensor technology, data analysis methods and visual processing continuously result in new applications, such as Artificial Intelligence (AI), environmental DNA (eDNA), blockchain or quantum computing.

Chapter 4 outlines the development of **digital data collection**. Connected sensors allow the collection of data about nature and about the drivers of biodiversity loss with ever better resolution in terms of time, space and content. Digital survey tools are also becoming more widespread. They potentially accelerate the work of mappers and enable new actors, such as citizen scientists or companies, to record data that is relevant for nature conservation. Although the digitalisation of nature assessments has great potential, unrealistic expectations of "real-time monitoring" should be avoided and quality control should always be kept in mind. In addition, a benefit assessment of the use of highly developed sensors is necessary, taking into account possible unintended consequences.

In principle, all digital applications should be analysed using **holistic assessment approaches** in order to make well-founded decisions about their use and design. Aside of ecological factors also social, ethical, legal and economic aspects play a role (cf. Excursus p. 32). Even if digital projects are designed in such a way that a positive impact on a conservation problem is to be expected, the overall assessment of a digital tool might nevertheless be negative. This can be due to **rebound effects** or the fact that a digital tool might only address the symptoms of environmental destruction, but not the causes (see Excursus p. 45).

The developments in data collection and the associated complexity and volume of data place high demands on **data management** (see Chapter 5). In addition, new analysis methods and

technologies, such as AI, require suitable forms of data storage and documentation rules. An example of this is the large amount of training data required to train an AI model. In the long term, greater harmonisation of databases should be a priority in order to avoid parallel structures and to make it easier for actors to merge datasets and analyse them in a targeted manner. Another requirement of data management is that administrative and research data should be increasingly made available to the public (open data). The excursus on page 67 explains the basic concepts and key trends in the field of **open science, open access, open source and open data**.

One focus in the field of data analysis is currently on **machine learning and so-called Artificial Intelligence methods**. Impressive applications, such as automatic species recognition, the evaluation of satellite data or the automatic detection of violations of conservation laws, hint at the potential of self-learning systems for nature conservation. In contrast to classic algorithms, these systems do not follow a predetermined data evaluation path. Rather, they use training data to independently search for the function that can best establish a connection between observations. On the one hand, the foundations for this are historical and new, rapidly growing databases, for example from remote sensing and sensor technology. On the other hand, the necessary computing power for such systems is now available. Chapter 6 presents the potential and fields of application for self-learning systems and then discusses the challenges in terms of explainability, trustworthiness and sustainability.

**Modelling** is an important methodological field in nature conservation and is becoming increasingly important for policy consultation (cf. Excursus p. 64). Their areas of application are very broad and range from modelling the distribution of individual species to assessing the risk of extinction as well as modelling complex ecosystem interactions. In the future, so-called digital twins will bring the fields of modelling, sensor technology and machine learning even closer together.

In addition, digitalisation plays a major role in **nature conservation education and society's awareness of nature** (see Chapter 7). Due to the presence of digital tools in the lives of many people, the ways to facilitate nature-related knowledge and experiences are changing. From PC-based e-learning platforms, digital nature education trails, augmented reality (AR), conservation-oriented outdoor apps, species identification apps to virtual reality (VR) - there are creative ways to prepare content for specific target groups. Nevertheless, digital media should always only be a supplement to real nature experiences and ideally motivate people to discover the outdoors in an interactive way.

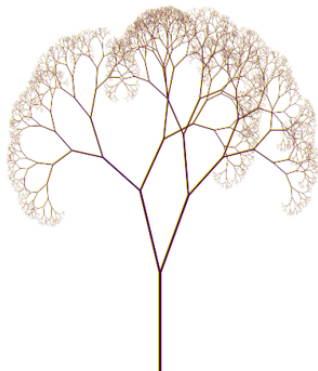
In addition, the **forms of participation and commitment** of civil society actors and expert volunteers are changing. Chapter 8 gives an insight into how actors can be engaged in a purely digital way as well as how digital tools can support the practical engagement for nature conservation. Although digital formats can promote public participation, analogue formats and work processes should remain in order to keep nature conservation inclusive for everyone - regardless of people's attitudes, possibilities and skills in dealing with digital media.

Irrespective of the fact that digitalisation offers opportunities for nature conservation, it does not automatically lead to a **socio-ecological, societal transformation** (cf. Excursus p. 53). In order to promote an overall green digitalisation, nature conservation targets should be

considered as much as possible within digitalisation projects **of all other economic and societal areas** (cf. Excursus p. 88).

All in all, the report shows the diverse ways in which the digital transformation relates to nature conservation. Finally, Chapter 9 summarises the **opportunities and risks of digitalisation** across all themes mentioned in the report. Following from this, Chapter 10 draws **key conclusions**.

## 1 Einleitung



„Das **künftige Schicksal** der **planetarischen Umwelt** [wird] massiv vom Fortgang der **digitalen Revolution** abhängen“  
(WBGU 2019: 1)

Die Tatsache, dass sich die Digitalisierung zu einem weltumspannenden Megatrend entwickelt und Gesellschaften auf dem Weg in ein „Digitalzeitalter“ befinden, ist weitestgehend akzeptiert (WBGU 2019, Stengel et al. 2017). Grundlegend bedeutet der Begriff „Digitalisierung“ die Übertragung von analogen Aufzeichnungen und Vorgängen in ein maschinenlesbares Format. Die Entwicklung zum Megatrend wurde aber erst durch exponentielle Entwicklungssprünge in der Informationstechnik, z. B. aus den Bereichen Prozessorgeschwindigkeit, Speicherkapazität, Energieeffizienz und Datenübertragungsraten ermöglicht (Brynjolfsson et. al. 2015: 64). Digitalisierung ist daher kein statischer Begriff, sondern ein dynamischer, kontinuierlicher Prozess, geprägt durch transformative Entwicklungsschübe, wie z. B. die Verbreitung von Heim-PCs, die weltweite Vernetzung durch das Internet, die Entwicklung Künstlicher Intelligenz (KI) und zukünftig womöglich die Verwendung von Quantencomputern.

Die Digitalisierung wirkt sich mittlerweile in vielen Ländern auf nahezu alle Lebensbereiche der Menschen aus. Kommunikation und Interaktion verlagern sich zunehmend ins digitale Umfeld, ebenso wie das Konsumverhalten sowie Informationsquellen zur Meinungsbildung. Prozesse werden digitalisiert, Akteure aus Wirtschaft, Politik und Zivilgesellschaft passen ihre Strukturen an digitale Trends an und es entstehen in hoher Geschwindigkeit neue, digitale Produkte und Dienstleistungen für eine Vielzahl von Einsatzfeldern. Um die tiefgreifende Transformationskraft der Digitalisierung zu betonen, wird daher häufig vom „digitalen Wandel“ oder „digitaler Transformation“ gesprochen.

Die Umweltpolitische Digitalagenda des BMUV skizziert diese transformativen Tendenzen anhand eines Wirkungskreises digitaler Lösungen für den Bereich Nachhaltigkeit (BMU 2020: 9). Für den Naturschutz lässt sich die Notwendigkeit ableiten, die aktuellen und zukünftig absehbaren Entwicklungen der Digitalisierung mit naturschutzfachlichen Zielen zu verknüpfen und positiv auszugestalten.

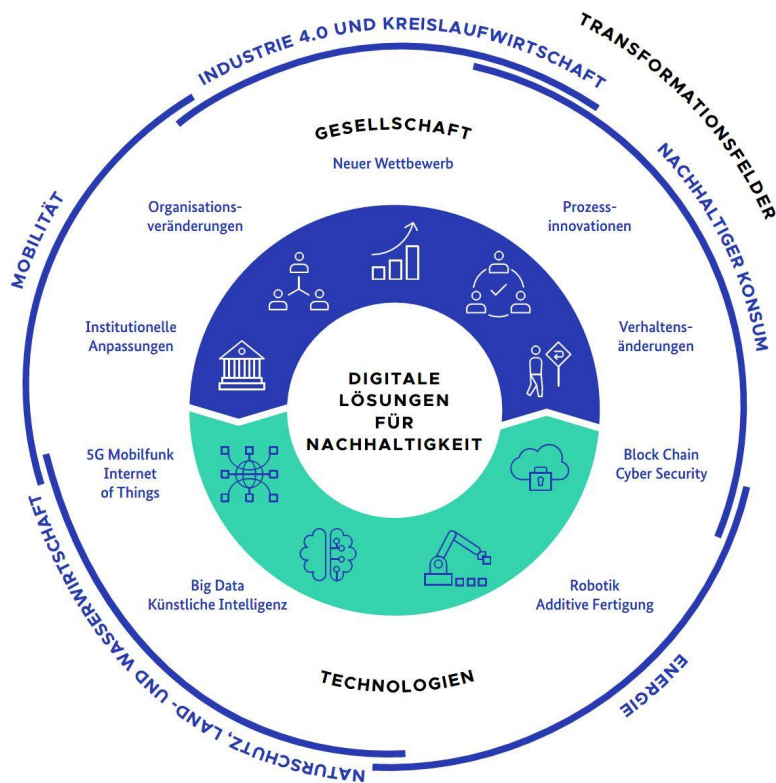


Abb. 1: Wirkungskreis digitaler Lösungen (BMU 2020: 9)

Während die Digitalisierung zunehmend im Nachhaltigkeitskontext diskutiert und beforscht wird (z. B. WBGU 2019, D21-Digital-Index 2021/2022, Projekt CODI:NA), ist die naturschutzfachliche Ausgestaltung der Digitalisierung weiterhin ein Nischenthema im übergreifenden Diskurs. Dabei sind die Potentiale digitaler Innovationen auf Naturschutzthemen eminent vorhanden:

Die Digitalisierung verändert...



...die Art und Weise wie **Daten über die Natur erhoben, verarbeitet und gespeichert** werden (Fernerkundung, KI, Cloud/Edge Computing, Repositorien)



...die **Arbeitsweise von Naturschutzorganisationen** (Agile Prozesse, dezentrale Führungskultur, Einsatz von digitalen Tools und Methoden)



...die Art und Weise wie **Naturschutzinhalte aufbereitet und kommuniziert** werden (Inhalte, Formate und Touchpoints)



...die Art und Weise wie **Naturschutzengagement und Ehrenamt beworben und organisiert** werden können (Digitale Vernetzung, digitale Erfassungstools)

Der vorliegende Bericht legt deshalb ein Schlaglicht auf das Schnittfeld zwischen Digitalisierung, Naturschutz und Gesellschaft und vermittelt systematisches Handlungs- und Orientierungswissen, mit dessen Hilfe die Digitalisierung für den Naturschutz ganzheitlich hinsichtlich Chancen, Risiken, Herausforderungen und Trends analysiert werden kann. Darüber hinaus werden erste Lösungsansätze skizziert.

## 2 Strategisches Modell zur Digitalisierung und Naturschutz

Um die beiden Handlungsfelder Naturschutz und Digitalisierung gemeinsam zu denken, hat das BfN ein strategisches Modell entwickelt (siehe Abb. 2), das in diesem Kapitel näher erläutert wird. Der Zweck des Modells ist die Erschließung der komplexen Zusammenhänge zwischen Digitalisierung und Naturschutz. Grundlage dieses Modells ist die Verzahnung der beiden Handlungsfelder Naturschutz und Digitalisierung unter der Prämisse eines sozioökologischen Kontextes, der über die beiden Sphären Mensch und Gesellschaft sowie Natur und Ökosysteme auf die Handlungsfelder einwirkt. Diese Vorgehensweise eröffnet die Grundlage für eine systematische Betrachtung von Digitalprojekten im Naturschutz. Auch die Ableitung von sich aus der Überlappung der beiden Handlungsfelder ergebenden Schwerpunktthemen ist durch das Modell umsetzbar und wurde für die Erschließung der Schwerpunktthemen in diesem Bericht eingesetzt.

Das hier vorgestellte Modell mit den einhergehenden Erläuterungen ist bewusst allgemeingültig formuliert und richtet sich somit an alle naturschutzfachlichen Akteure, die in ihrem Aufgabenfeld Schnittpunkte zum Thema Digitalisierung aufweisen. Auf eine enge Anbindung an die Handlungsfelder des BfN wurde bewusst verzichtet, um den vielseitig einsetzbaren Charakter des Modells zu verdeutlichen.

### 2.1 Sozioökologischer Kontext und Rahmenbedingungen

Digitalisierung im Naturschutz ist kein isoliert zu betrachtendes Themenfeld, sondern gliedert sich vielmehr in einen sozioökologischen Kontext ein, der sich aus den Sphären Menschen und Gesellschaft sowie Natur und Ökosystemen ergibt.

Laut Weltbiodiversitätsrat (IPBES) wirken indirekte Einflussfaktoren aus der Sphäre Mensch und Gesellschaft auf die Biodiversität, vorwiegend in den Bereichen Institutionen und Governance, Konflikte und Epidemien, Demografie und Soziokultur, sowie Wirtschaft und Technologie. Im Bereich Natur und Ökosysteme sind vor allem die intensive Land- und Meeresnutzung, Verschmutzung, Ausbeutung biotischer Ressourcen, die Ausbreitung invasiver Arten sowie der Klimawandel die direkten Treiber des Biodiversitätsverlusts (IPBES 2019). Diese Sphären sind Einflussfaktoren auf der einen und Wirkungsfeld auf der anderen Seite, sowohl für Entwicklungen im Bereich Digitalisierung, als auch im Naturschutz. Zusammen mit soziokulturellen Normen, dem rechtlichen Rahmen sowie der Politikgestaltung bilden sie die Rahmenbedingungen und Handlungsmotivation für die gemeinsame Betrachtung der Handlungsfelder Digitalisierung und Naturschutz.



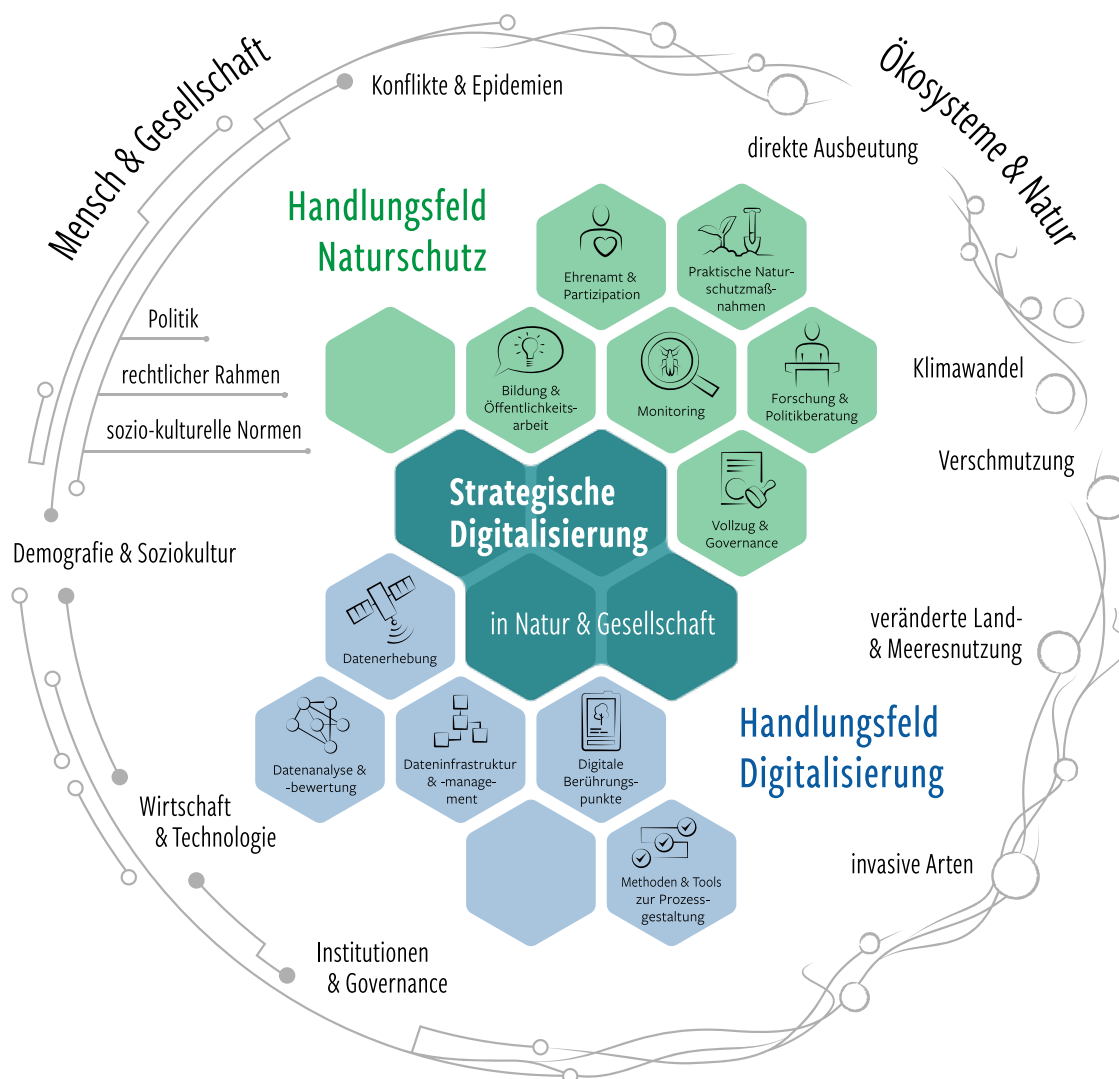


Abb. 2: Strategisches Modell Digitalisierung und Naturschutz (BfN FG I 1.1, IPBES 2019: 27)

## 2.2 Handlungsfeld Naturschutz

Der Naturschutz ist definiert durch das Verhältnis des Menschen zur Natur. Einerseits sind Naturschutzziele das Ergebnis eines gesellschaftlichen Aushandlungsprozesses darüber, welche Natur bzw. welche Biodiversität wir als „schützenswert“ empfinden und was wir bereit sind, dafür zu tun. In diesem Sinne ist auch der Naturschutz ein dynamischer Handlungsbereich, beeinflusst z. B. durch neue Forschungserkenntnisse, Bewusstseinsänderungen und von Generation zu Generation wandelbare Präferenzen. Zudem wird Naturschutz von Menschen „gemacht“ und erfordert das Zusammenspiel unterschiedlicher Akteursgruppen – von Politik und Verwaltung über Wissenschaft, Ehrenamt und Zivilgesellschaft. Das Handlungsfeld Naturschutz haben wir gegliedert in Systematisches Monitoring, Praktischer Naturschutz vor Ort, Vollzug und Governance, Forschung und Politikberatung, Ehrenamt und Partizipation sowie Bildung und Öffentlichkeitsarbeit.

## 2.3 Handlungsfeld Digitalisierung

Ganz grundlegend bedeutet der Begriff Digitalisierung die Übertragung von analogen Aufzeichnungen und Vorgängen in ein maschinenlesbares Format, basierend auf einem binären Informationssystem aus 0 und 1<sup>1</sup>. Digitalisierung im allgemeinen Sprachgebrauch bezieht sich aber zumeist etwas unscharf auf die aktuellen Trends und Treiber, wie der Einsatz neuer Technologien (z. B. KI) oder die Auswirkungen von Social Media auf die Gesellschaft.

Das hier beschriebene Modell folgt dieser Logik und geht von 5 zentralen Schwerpunktbereichen aus, die die aktuelle Entwicklung der Digitalisierung maßgeblich gestalten und das Handlungsfeld umreißen.

**Datenerhebung:** Neue Möglichkeiten der Datenerhebung steigern den zeitlichen, räumlichen und fachlichen Datengewinn über die Natur. Dazu zählen vor allem Methoden der Fernerkundung mittels Satelliten, Flugzeuge oder Drohnen. Durch die Weiterentwicklung verschiedener Erdbeobachtungsprogramme erweitern sich die Anwendungsmöglichkeiten für den Naturschutz stetig. Für das Erfassen naturschutzrelevanter Daten sind auch bodenbasierte Technologien essentiell, wie z. B. akustische, visuelle und olfaktorische Sensoren, Telemetriesender und animatronische Kamera-Roboter. Auch die Datenerfassung über mobile Endgeräte (z. B. Smartphones, Tablets, VR-Brillen) und digitale Eingabemasken verbessern die zur Verfügung stehenden Datenmengen stetig und unterstützen z. B. die Möglichkeiten von Ehrenamt und Bürgerwissenschaften (Citizen Science).

**Datenmanagement und -infrastruktur:** Eine exponentiell steigende Datenmenge stellt steigende Anforderungen an Datenhaltung, -vernetzung und -zugang. Dabei ist die Verfügbarkeit von Natur- und Umweltdaten die Grundlage für Forschung, Monitoring und Vollzug. Zum Beispiel erfordern DNA-Barcoding-Verfahren zur Identifizierung von Arten oder auch die Kontrolle gentechnisch-veränderter Organismen Zugriff auf Referenzdatenbanken mit entsprechenden Sequenzinformationen. Für die Nutz- und Vergleichbarkeit von Daten spielen insbesondere Metadaten- und Managementstandards eine Rolle, wie sie aus Sicht des Naturschutzes im Bereich der Geodaten bereits erfolgreich vereinbart wurden. Weitere wichtige Aspekte dieses Schwerpunktbereichs umfassen zudem Fragen des Dateneigentums, Nutzungsrechte sowie den öffentlichen Zugang zu Behörden- und Forschungsdaten (Open Data).

**Datenanalyse und -bewertung:** Die steigende Menge und Komplexität der Datengrundlage, erfordert fortgeschrittene Analysemethoden, um aus den erhobenen Daten wertvolle Erkenntnisse zu ziehen. Wesentliche Fortschritte erfolgen im Bereich der Szenarienmodellierung, datenbasierter Entscheidungssysteme (Decision Support Systeme) sowie des maschinellen Lernens (ML) aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz. Entwicklungen im Bereich der automatischen, ML-basierten Erkennung von Landschaftsstrukturen oder Arten sind erst durch die Verwendung komplexer Algorithmen in Kombination mit einer fundierten Datengrundlage möglich.

**Methoden und Tools zur Prozessgestaltung:** Moderne Arbeitsweisen (z. B. Agilität, iteratives Arbeiten, partizipative Führung, Design Thinking) verändern die Formen der Zusammenarbeit

---

<sup>1</sup> In der Quantentechnologie werden aus Bits sog. Qubits vgl. Kap. 3.8

in Teams und Projekten. Dieser Trend wird durch eine Vielzahl von Online-Kollaborations- und Projektmanagementtools begleitet. Arbeit 4.0 betrifft dabei auch sämtliche Akteure, die sich mit der Beforschung, Umsetzung und Verwaltung von Naturschutzthemen befassen. Zudem sind Formen digitaler Vernetzung und Kommunikation (z. B. Social Media) für die zielgruppenspezifische Informationsvermittlung sowie die Mobilisierung von Ehrenamtlichen und Citizen Scientists nicht mehr wegzudenken.

**Digitale Berührungspunkte (Touchpoints):** Unter digitalen Berührungspunkten, auch digitale Touchpoints genannt, versteht man eine Schnittstelle, über die ein Nutzer oder eine Nutzerin digitale Inhalte auf einem Endgerät abrufen. Beispiele sind klassische Webseiten und Apps, sowie zunehmend auch Virtual Reality- und Augmented Reality-Anwendungen oder die Interaktion mit sogenannten Smart Speakern.

## 2.4 Synthese: Strategische Digitalisierung in Natur und Gesellschaft

Die Synthese des Modells liegt darin, die beschriebenen Handlungsfelder mit den ihnen zugrunde liegenden Rahmenbedingungen und sozioökologischen Grundlagen in Verbindung zu bringen. Aus dieser Verschneidung der einzelnen Aspekte ergibt sich eine Reihe von möglichen Anwendungsfeldern für das strategische Modell:

**Zur Identifizierung von Forschungsschwerpunkten:** Das Modell identifiziert auf Basis der aktuellen Rahmenbedingungen und der sozioökologischen Handlungsmotivation Forschungsschwerpunkte im Überlappungsbereich von Digitalisierung und Naturschutz. Dieser systematische Ansatz bildet die Basis für die Auswahl der Schwerpunktthemen in diesem Bericht.

**Zur Klassifizierung von Einflussfaktoren auf Digitalprojekte:** Digitalprojekte im Bereich Naturschutz können mit Hilfe des Modells analysiert werden. Welche Digitaltechnologie wird im Projekt verwendet? Welche Touchpoints werden adressiert? Was ist das Wertversprechen mit Blick auf den Zustand der Ökosysteme? In welche primären naturschutzfachlichen Themenbereiche kann das Projekt verordnet werden?

**Als Unterstützung von Business Modeling und Kreativ-Prozessen:** Das Modell kann in frühen Stadien von Design Thinking Prozessen (Brainstorming, Analyse von Umwelteinflüssen, User Journeys etc.) genutzt werden, um die kreative Lösungsfindung in der Produktentwicklung im Bereich Digitalisierung und Naturschutz zu unterstützen. Aufgrund des ganzheitlichen Aufbaus bietet es viele Einstiegspunkte für die strategische Anwendungsgestaltung, sei es aus der Sicht einer konkreten Problemstellung mit Bezug auf die genannten Treiber, dem Einsatz einer neuen (Digital-) Technologie oder bestehender naturschutzfachlicher Prozesse und Schwerpunkte, die neu gedacht werden sollen.

**Als Grundlage für die holistische Bewertung von Digitalprojekten:** Bestehende und zukünftige Digitalprojekte können über das strategische Modell holistisch bewertet werden, indem alle positiven und negativen Auswirkungen des Digitalprojekts auf die Treiber in den Sphären Mensch und Gesellschaft, sowie Natur und Ökosysteme analysiert werden. Daraus resultierende Bewertungsdimensionen von Digitalprojekten sind z. B. soziale, technologische, rechtliche, ökonomische und ökologische Auswirkungen (vgl. Exkurs: Holistische Bewertungsansätze von Digitalprojekten).

Das strategische Modell eröffnet dem Betrachter eine systematische Erschließung des Themenfeldes Digitalisierung und Naturschutz und schafft ein Verständnis dafür, wie diese beiden Handlungsfelder gemeinsam gedacht werden können. Fachanwender:innen ermöglicht es als praktisches Tool einen Einstieg in das komplexe Themenfeld digitaler Anwendungen im Naturschutz und hilft bei der Ideenfindung (Ideation) von Digitalprojekten, dem Aufzeigen von Forschungsbedarfen, sowie der Klassifizierung und holistischen Bewertung von bereits bestehenden digitalen Anwendungen.

## Exkurs: Digitale Anwendungen und Projekte im Naturschutz

Die in Kapitel 2 (vgl. Kap. 2.3) aufgezeigten vielseitigen Handlungsfelder der Digitalisierung gehen einher mit immer kürzer werdenden Innovationszyklen auf dem Feld der Digitalforschung, was die anwendbare Palette digitaler Methoden und Tools für naturschutz-fachliche Bedarfe kontinuierlich erhöht. Dies führt zu Fülle von digitalen Anwendungen im Naturschutz, die weiter zunehmen wird. Abb. 3 gibt einen Überblick über relevante nationale und internationale Projekte. Die dieser Abbildung zugrunde liegenden Daten inklusive einer Kurzbeschreibung der Projekte finden sich hier: [Link](#).



Abb. 3: Digitale Anwendungen im Naturschutz. In größerer Schrift sind diejenigen beispielhaft hervorgehoben, die durch Förderung des BfN mit Mitteln des Bundesumweltministeriums (BMUV) realisiert wurden. Die Abbildung dient der Veranschaulichung der Fülle digitaler Tools im Naturschutz und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Weiterführende Informationen und Links zu den Digitalanwendungen finden Sie zum Download unter <http://bit.ly/3FN9Znd>. (BfN FG I 1.1)

## Exkurs: Politisch-rechtliche Rahmenbedingungen

Um den digitalen Wandel voranzubringen und zu gestalten, existieren in Europa und Deutschland zahlreiche politische Initiativen. Die Bundesregierung strebt einen „digitalen Aufbruch“ an und legt dabei einen Fokus auf Verwaltungsdigitalisierung, Nachhaltigkeit sowie Forschung und Entwicklung von Schlüsseltechnologien, insb. KI (vgl. Kap. 6) und Quantentechnologie (vgl. Kap. 3.8). Durch die im August 2022 veröffentlichte Digitalstrategie der Bundesregierung „Gemeinsam digitale Werte schöpfen“ unter Federführung der BMDV sind einige strategische Eckpfeiler für die digitale Transformation in Deutschland erneut kommuniziert worden. Entlang von Handlungsfeldern und ausgewählten Projekten, z. B. digitale Identitäten und moderne Register, werden konkrete Ziele bis 2025 definiert.

Wachsende politische Anforderungen für mehr Digitalisierung werden folglich auch Naturschutzakteure, wie z. B. Verwaltungen, betreffen. Die Bundesregierung bestärkt im Koalitionsvertrag von 2021 bspw. die Pläne zum Kampf gegen den illegalen Wildtierhandel im Internet, kündigt die Einführung eines digitalen Waldmonitorings an und fordert zentral zugängliche Kartierungs- und Artendaten zur Beschleunigung von Planungs- und Genehmigungsprozessen.

Bislang wurde die Digitalisierung aus Umwelt- und Naturschutzsicht v. a. im Rahmen der einschlägigen Umweltpolitischen Digitalagenda in den Blick genommen. Aber auch andere Strategiepapiere, wie z. B. die KI-Strategie, die Hightech-Strategie, die Blockchain-Strategie und die Datenstrategie, haben Bezugspunkte zum und Auswirkungen auf den Naturschutz. Bspw. fördert das BMUV auf Basis der KI-Strategie die Entwicklung umweltgerechter und gemeinwohlorientierter KI i. H. v. 150 Mio. Euro bis 2025. In der BMUV-Förderinitiative „KI-Leuchttürme für Umwelt, Klima, Natur und Ressourcen“ werden auch Projekte umgesetzt, die sich mit dem Biodiversitätsschutz beschäftigen. Weitere Informationen zu den bundesweiten Rahmenbedingungen im Bereich Digitalisierung sind auf der BfN-Website zusammengefasst.

In Ergänzung dazu gibt die folgende Tabelle eine Übersicht ausgewählter Rechtsgrundlagen, die einen Einfluss auf Digitalaktivitäten von Umwelt- und Naturschutzverwaltungen haben. Ein Anspruch auf Vollständigkeit wird dabei nicht erhoben.

Tab. 1: Beispielhafte Rechtsgrundlagen der Digitalisierung mit Relevanz für den Naturschutz. (BfN I 1.1)

Name (mit Link)	Kurzbeschreibung
<u><a href="#">Datenschutzgrundverordnung – DSGVO</a></u>	Die DSGVO der EU ist unmittelbar geltend für Mitgliedsstaaten. Sie regelt die Verarbeitung personenbezogener Daten zum Schutz der Privatsphäre. Auch Umweltdaten können personenbezogene Daten sein oder Rückschlüsse auf diese erlauben. In Kraft seit 2016.
<u><a href="#">Digital Service Act – DSA</a></u>	Der EU-Gesetzesentwurf über digitale Dienste dient vorwiegend der Regulation großer Online-Plattformen in der EU. Ziele sind v. a. gegen illegale Inhalte vorzugehen, Hass und Desinformationen zu begrenzen, Transparenz über die Empfehlungsalgorithmen von Tech-Konzernen zu fördern und die Verwendung sensibler, persönlicher Daten für individualisierte Werbung einzugrenzen.

<u>E-Government-Gesetz – EGovG</u>	<p>Die EU-Richtlinie über offene Daten und die Weiterverwendung von Informationen des öffentlichen Sektors wird in Deutschland durch eine Änderung des EGovG (auch „Open-Data-Gesetz“ genannt) sowie durch die Einführung des Gesetzes für die Nutzung von Daten des öffentlichen Sektors (auch „Datennutzungsgesetz - DNG“ genannt) umgesetzt. Ziel ist die Bereitstellung offener Daten der Bundesverwaltung. Nach der Neufassung des EGovG unterliegen Daten der mittelbaren Bundesverwaltung sowie Daten aus Forschungsprojekten erstmals der Bereitstellungspflicht. Zur Umsetzung dient das Metadatenportal GovData, durch das maschinenlesbare Rohdaten zur Verfügung gestellt werden, sofern keine Datenschutz- oder sicherheitsrelevanten Gründe entgegenstehen. Das DNG gilt nicht für Umweltinformationen und Geodaten – diese sind weiterhin durch das UIG geregelt. Änderung des EGovG und Einführung des DNG seit 07/2021.</p>
<u>INSPIRE-Richtlinie</u>	<p>Die EU INSPIRE-Richtlinie wird in Deutschland aufgrund der föderalen Struktur durch Einzelgesetze auf Ebene des Bundes (Geodatenzugangsgesetz -GeoZG) und der Bundesländer umgesetzt. Ziel der INSPIRE-Richtlinie ist eine europäisch einheitliche Geodateninfrastruktur als Grundlage für umweltpolitische Entscheidungen auf EU-Ebene. In Kraft seit 2007.</p>
<u>Onlinezugangsgesetz – OZG</u>	<p>Das OZG verpflichtet Bund und Länder ihre Verwaltungsleistungen bis Ende 2022 insbesondere über digitale, miteinander verknüpfte Verwaltungsportale anzubieten. In Kraft seit 2017.</p>
<u>Umweltinformationsgesetz – UIG</u>	<p>Die Umweltinformations-Richtlinie der EU wird auf Bundes- und Länderebene jeweils individuell im Rahmen eines UIG umgesetzt. Das UIG regelt den öffentlichen Zugang zu Umweltinformationen und fordert Behörden zur aktiven Informationsverbreitung auf. In Kraft seit 2005.</p>

### 3 Technologieradar

Digitalisierung ist ein stark technologiegetriebener Trend. Neue Entwicklungsstufen in kurzen Zyklen ermöglichen neue digitale Anwendungen, auch im Naturschutz. Das folgende Kapitel greift diesen Umstand auf und liefert eine Übersicht über neue Technologien und Verfahren, die den Diskurs bezüglich Digitalisierung im Naturschutz aktuell und in naher Zukunft prägen werden. Zusätzlich werden einige grundlegenden technischen Besonderheiten der Digitalisierung erläutert. Aufgrund der hohen Dynamik im Umfeld der Digitalisierung erhebt die Liste keinen Anspruch auf Vollständigkeit und wird kontinuierlich auf neue Entwicklungen hin analysiert und, wenn nötig, angepasst.

Eine der grundlegenden Besonderheiten der Digitalisierung ist der Umstand, dass viele entscheidende Bausteine der Informationstechnik sich nicht linear, sondern exponentiell entwickeln. Dies gilt für Faktoren wie die Prozessorgeschwindigkeit, Speicherkapazität, Energieeffizienz oder Downloadgeschwindigkeit (Brynjolfsson et. al. 2015: 64). Dies führt zu einem sehr hohen Innovationspotential, da der für bestimmte Fortschritte notwendige technische Rahmen in kurzen Zeitsprüngen erreicht wird. Der heutzutage flächendeckende Einsatz von Machine-Learning Algorithmen (vgl. Kap. 6) ist beispielsweise nur durch den rasanten Anstieg an zur Verfügung stehender Rechenleistung möglich geworden. Der flächendeckende Einsatz von Cloud und Hybrid-Cloud Lösungen (vgl. Kap. 5.1) ist nicht ohne ein stabiles Internet mit schnellen Up- und Downloadraten denkbar. Der praktikable Einsatz von Quantencomputern für bestimmte Anwendungsfelder wäre ein weiterer, möglicher Innovationssprung (vgl. Kap. 3.8) in absehbarer Zukunft.

Eine gute Informationsquelle für einen ersten Überblick zu aktuellen Technologiepotentialen im Digitalbereich ist der Hype Cycle. Technologien werden hier anhand ihrer Aufmerksamkeit, bzw. ihres Reifegrades über die Zeit sortiert und ihr Potential erläutert. Alternativ bietet der GIZ Tech Detector eine Möglichkeit, innovative Technologien anhand ihrer Relevanz auf Nachhaltigkeitsthemen zu analysieren und mögliche Einsatzfelder zu erschließen. Beide Modelle fokussieren sich nicht ausschließlich auf naturschutzfachliche Themen, bieten aber eine große Schnittmenge zu den technologischen Entwicklungen im Bereich Digitalisierung, die auch für den Naturschutz relevant sind.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass jedweder Einsatz einer neuen Technologie oder eines neuen technologiebasierten Verfahrens kritisch hinterfragt und holistisch auf seine Eignung für die gewählte Zielsetzung analysiert und bewertet werden sollte. Ein exemplarisches Vorgehen plus ein Anwendungsbeispiel hierfür findet sich im Exkurs: Holistische Bewertungsansätze von Digitalprojekten, S. 32.

#### 3.1 Künstliche Intelligenz (KI)

KI wird in einem Schwerpunktkapitel behandelt (vgl. Kap. 6).

#### 3.2 Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR)

Die Anwendungsgebiete von VR und AR sind v. a. für Bildung und Kommunikation relevant und werden daher im Schwerpunktthema zur Naturschutzbildung näher erläutert (vgl. Kap. 7).



### 3.3 Digitale Zwillinge (digital twins)

Die Destination Earth Initiative der EU plant bis 2030 ein digitales Replikat der Erde zu entwickeln: Digital Twin Earth. Erste sogenannte digitale Zwillinge wurden in der Raumfahrttechnik und der Industrie erstellt (Bauer et al. 2021a, Liu et al. 2021). Sie sind eine Weiterentwicklung der analogen Zwillinge von Raumfahrzeugen, an denen die NASA in der Vergangenheit parallel Tests durchführen konnte, während sich ein baugleiches Modell im Weltall befand. So wie die digitalen Kopien die Beobachtung und Wartung von Maschinen während des Betriebs ermöglichen, sollen digitale Zwillinge der Erde zukünftig Umweltsysteme simulieren und die Beobachtung von Veränderungen virtuell ermöglichen (Bauer et al. 2021a). In dieser Vision sollen Simulationen und Echtzeitbeobachtung nach Möglichkeit immer enger an das physische Vorbild geknüpft werden, indem kontinuierlich neue Daten eingespeist werden (Lui et al. 2021). Die ambitionierten Ziele der Destination Earth Initiative stellen Wissenschaft und Entwicklung vor große technische Herausforderungen. Aus Perspektive des Naturschutzes muss in diesem Rahmen zunächst eine Vorstellung entwickelt werden, welche Rolle digitale Zwillinge spielen können und welche geeigneten Datengrundlagen dafür tatsächlich zur Verfügung stehen. Das Projekt BioDT zielt darauf ab, auf dem Feld der Biodiversitätsforschung, neue Modellierungsansätze auf Basis von high performance computing zu entwickeln. Häufig wird der Begriff Digitaler Zwilling auch für virtuelle Abbilder wie 3D Oberflächenmodelle oder für themenbezogene Datenräume genutzt (Digitaler Zwilling Deutschland, TrilaWatt).

### 3.4 Drohnen

Der Einsatz von Drohnen für Belange des Naturschutzes etabliert sich zunehmend als effektiver Technologieeinsatz, aufgrund der leichten Anwendbarkeit (Stark et al. 2018) sowie einer Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten mit Ergebnissen, die oftmals den herkömmlichen bodengestützten Methoden überlegen sind (z. B. Hodgson et al. 2018, Krause et al. 2017, Torres et al. 2018). Drohnen können aber auch negative Auswirkungen auf die Natur haben, z. B. durch Störung der Fauna (Lambertucci et al. 2015, Mulero-Pázmány et al. 2017, Bennitt et al. 2019).

Die Abbildung 4 (S. 25) gibt eine Übersicht zu Anwendungsfeldern für Drohnen im Naturschutz, klassifiziert anhand der verwendeten Sensorik.

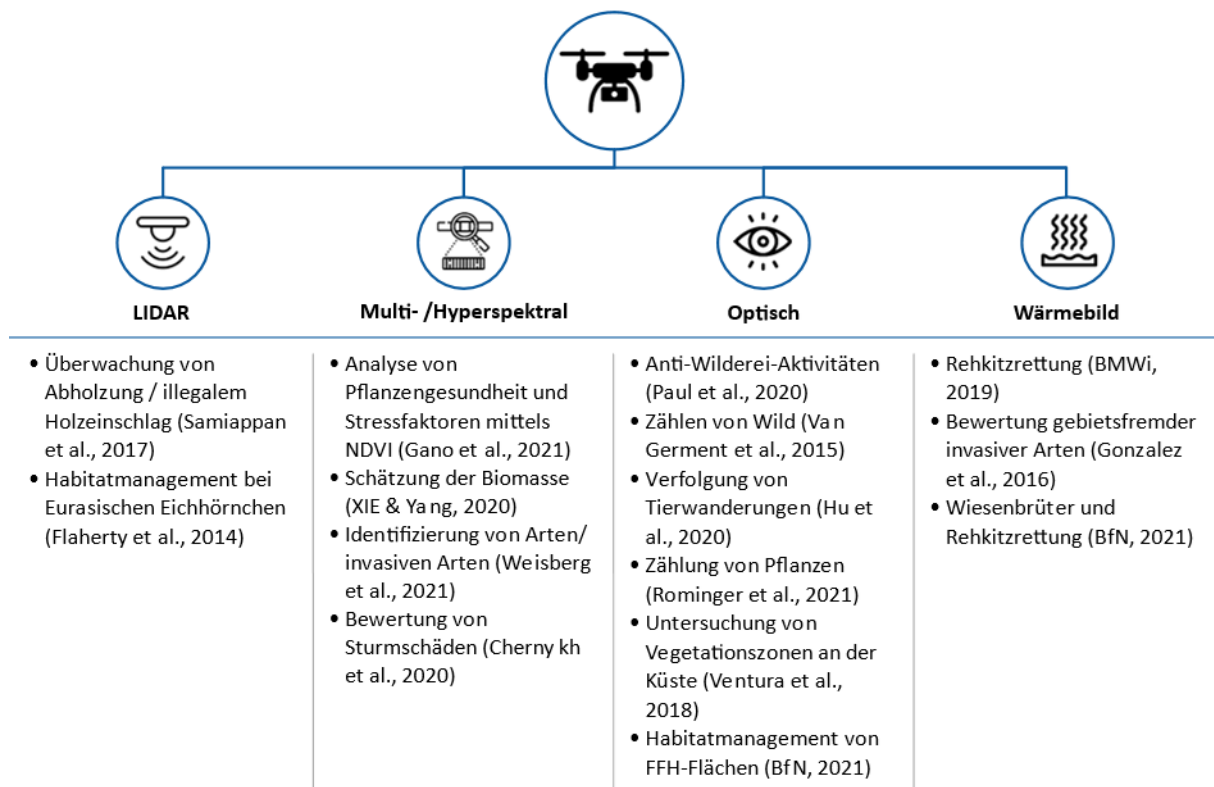


Abb. 4: Anwendungsgebiete für Drohnen im Naturschutz nach verwendeter Sensorik (BfN FG I 1.1, Icons von Flaticon)

Neben den skizzierten vielseitigen Einsatzmöglichkeiten gilt es auch etwaige Risikofaktoren durch die verstärkte Nutzung von Drohnen zu betrachten. Aus naturschutzfachlicher Sicht muss vor allem die Störung der lokalen Tierpopulationen sehr genau analysiert und in die Einsatzplanung von Drohnenflügen einbezogen werden. Auf diesem Themenfeld gibt es bereits eine Vielzahl von Studien, die sich mit den Reaktionen unterschiedlicher Arten auf Drohnenanflüge in unterschiedlichen Ansteuerungswinkeln und Entfernungen beschäftigen. Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass unterschiedliche Artengruppen sehr unterschiedlich auf Drohnen reagieren und dass das Störempfinden von vielen Parametern, wie der umgebenden Geräuschkulisse, Flugverhalten der Drohne, Ansteuerungswinkel zum und Abstand vom Untersuchungsobjekt abhängt. Eine gute Übersicht der Risikobetrachtung von Drohnen im Naturschutz bieten Rebolo-lfrán et al. (2019), erste Handlungsempfehlungen für einen naturschonenden Einsatz von Drohnen finden sich in der Veröffentlichung Luftsport und Naturschutz (BfN und DAEC 2021). Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass keine generellen Aussagen für oder gegen den Drohneneinsatz in bestimmten Anwendungsfällen zu treffen ist, sondern ein fallspezifisches Abwägen der Vor- und Nachteile zielführend ist.

Tab. 2: Beispielhafte Drohnenprojekte mit Naturschutzbezug (BfN I 1.1)

Projektname (mit Link)	Beschreibung
<a href="#">AirShepherd</a>	Afrikanische Schutzgebiete werden mit Drohnen überwacht, um Wilderer aufzuspüren. Drohnen sind u. a. ausgestattet mit High-Res-, Infrarot- und Wärmebildkameras. Sobald Wilderer entdeckt werden, werden die Koordinaten an die nächstpositionierten Ranger gefunkt.
<a href="#">DroBio</a>	Am Institut für Fernerkundung und Landschaftsinformationssysteme der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg startet ein Forschungsprojekt zum Einsatz von Drohnen bei der Naturschutzarbeit. Untersucht werden technische Möglichkeiten, Einsatzfelder, Potentiale und Wirtschaftlichkeit.
<a href="#">Drohnen im BioMonitoring</a>	Das von der Stiftung Naturschutzfonds Baden-Württemberg geförderte Projekt verfolgt das Ziel, die Nutzung der Drohnentechnologie für Anwendungen im Naturschutz und im Biomonitoring zu untersuchen.
<a href="#">ProtectFOREST</a>	Ziel ist die drohnengestützte Detektion phytophager Forstschädlinge mittels Electronic Nose auf Basis des ausgestoßenen Harz-Geruchs bei Befall durch Borkenkäfer. Dazu überfliegt eine Drohne ein Waldgebiet und detektiert den Harzgeruch von etwaigen befallenen Bäumen. Förster:innen können so früher auf eine Bedrohung durch Borkenkäferbefall reagieren.
<a href="#">Terra1</a>	Ein vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördertes Projekt eines sich selbst verwaltenden Waldstücks auf Basis von Drohnen, Satellitendaten und der Blockchain-Technologie zur Initiierung von Aktionen (smart contracts), das in die Lage versetzt werden soll, selbständig über bestimmte Handlungen zu entscheiden. Zum Beispiel soll ein automatisierter Holzverkauf aus dem eigenen Bestand möglich werden.
<a href="#">Wildrettung</a>	Ein Unternehmen, das Rehkitze und Wiesenbrüter vor dem Mähtod schützt. Dies umfasst die Flugplanung, das Fliegen, die Auswertung und das Geocaching zum lokalisierten Tier.
<a href="#">zUCKERrübe</a>	Das Ziel des Projektes zUCKERrübe ist die Zuhilfenahme von autonomen Feldrobotern und Unmanned Aircraft System (UAS)-Technologie für die Erzeugung ökologischer Hackfrüchte (speziell Zuckerrüben). Dadurch soll ein Beitrag zur pestizidfreie(re)n Landwirtschaft erfolgen.

### 3.5 eDNA

Environmental DNA (eDNA) ermöglicht die genetische Bestimmung von Arten aus Wasser-, Boden-, Sediment- oder Luftproben. Die verschiedenen Umweltmedien enthalten u. a. DNA-Material von vielzelligen Organismen, das z. B. in Form von reproduktiven Stadien, Gewebefragmenten oder Exkrementen in die Umgebung abgegeben wurde. Je nach umschließendem Medium ist die DNA unterschiedlich lang nachweisbar, z. B. in der freien Wassersäule sind dies Stunden bis Tage (Sansom 2017). Die aus den Umweltproben extrahierten DNA-Sequenzen werden daraufhin je nach genetischer Analyseverfahren (z. B. Metabarcoding) mit Referenzdatenbanken abgeglichen (Pawlowski et al. 2020: 8).

Die allgemeinen Anwendungsgebiete des Verfahrens lassen sich in drei Bereiche zusammenfassen: Einzelartnachweis (Goldberg et al. 2016, Harper et al. 2017, Holderegger 2016, Wermelinger et al. 2015), Biodiversitätserhebung (Hänfling et al. 2016, Fernández et al. 2018) und biotische Indizes für Umweltverträglichkeitsprüfungen (Pawlowski et al. 2018, Birk et al. 2012). Internationale Beispiele für eDNA basierte Monitoringaktivitäten sind z. B. die Erfassung invasiver Karpfen in den USA und gefährdeter Molche in Großbritannien. U. a. aufgrund der Nicht-Invasivität stellt das eDNA-Beprobungsverfahren einen großen Vorteil für das Monitoring dar, v. a. für sehr seltene oder gefährdete Arten.

Obwohl eDNA selbst kein digitales Verfahren ist, findet es in diesem Bericht Erwähnung, da es aufgrund darauf aufbauender DNA-Sequenzanalysemethoden (z. B. Metabarcoding) enge Schnittstellen zu Digitalisierungsthemen aufweist: So ist der Nachweis vieler Arten oder gar des gesamten Artspektrums in einer eDNA-Probe nicht ohne umfassende Referenzdatenbanken für DNA-Barcodes denkbar (mitunter auch Digitale Sequenzinformationen – DSI genannt). Es kann in einer Probe nur detektiert werden, was mit einem DNA-Barcode bereits in einer Datenbank hinterlegt ist. In Deutschland stellt z. B. das vom BMBF geförderte Projekt German Barcode of Life (GBOL) eine Referenzbibliothek für DNA-Barcodes zur Verfügung, die fortlaufend ergänzt und gepflegt wird sowie Eingang in die internationale Barcode of Life Datenbank (BOLD) findet. Aktuell unvollständige Datenbanken stellen mitunter noch eine Hürde bei z. B. Metabarcodinganalysen dar (Weigand et al. 2019). Dies trifft insbesondere auf die sogenannte „Dark Taxa“ zu. Hiermit sind Arten gemeint, die noch nicht oder nur unzureichend wissenschaftlich beschrieben sind. Das Projekt GBOL III: Dark Taxa setzt hier an, um Referenzdatenbanken sukzessive zu erweitern. Weitere Vor- und Nachteile von eDNA, bzw. DNA-Barcoding Methoden können in der einschlägigen Fachliteratur nachgelesen werden (z. B. Pawloski et al. 2020: 13; Greyer et al. 2018: 17).

Tab. 3: Beispielhafte eDNA Projekte mit Naturschutzbezug (BfN I 1.1)

Projektname (mit Link)	Beschreibung
<a href="#">DNAqua-Net</a>	Ein weltweites Konsortium mit dem Ziel, unterschiedliche Interessen aus den Bereichen Politik, Wissenschaft, NGOs und Privatwirtschaft im Themenfeld eDNA zusammen zu bringen.
<a href="#">GBOL III: Dark Taxa</a>	Projekt im Rahmen der GBOL Initiative, um die Referenzdatenbank bezüglich Arten aus der sogenannten Dark Taxa zu erweitern. Viele der Arten sind noch nicht oder unzureichend wissenschaftlich beschrieben. Von besonderer Bedeutung sowohl hinsichtlich Individuen- als auch hinsichtlich Artenzahl sind hierbei die Mücken und die parasitoiden Wespen.
<a href="#">International Barcode of Life (iBOL)</a>	International Barcode of Life (iBOL) ist ein internationales Projekt bzw. Konsortium, um eine weltweite Datenbank (BOLD) für digitale Sequenzinformationen aufzubauen. Die Teilnahme erfolgt über eine zentrale Organisation (z. B. Behörden, Museen) in jedem Land. In Deutschland ist die German Barcode Of Life (GBOL) die nationale Barcoding-Initiative, die die DNA-Barcodes der deutschen Fauna, Flora und Pilze in die BOLD-Datenbank einspielt.

### 3.6 Blockchain

Vereinfacht gesprochen ist das Blockchain-Verfahren eine verteilte, öffentliche Datenbank mit deren Hilfe Transaktionsinformationen dezentral und nahezu fälschungssicher gespeichert werden können. Der Hauptunterschied zu zentralen Datenbanken ist die Tatsache, dass alle erzeugten Datensätze/Transaktionen in Blöcken aneinandergereiht werden und diese dezentral an verschiedenen Knotenpunkten des Blockchain-Netzwerks (Peer-to-Peer Netzwerk) parallel gespeichert werden.

Somit wird die Korrektheit einer neuen Transaktion durch eine kollektive Verifizierung bestätigt und obliegt nicht mehr einer einzelnen Entität. Die Verifizierung erfolgt über die Verwendung eines „Hash“, der sich aus den Informationen der Transaktion zusammensetzt und einem Identifikator. Der Hash, die Informationen der Transaktionen und ein Zeitstempel bilden zusammen einen Block. Der nächste Block ist gleich aufgebaut, beinhaltet aber neben dem eigenen Hash auch den des Vorgängerblocks und validiert damit dessen Echtheit (Nakamoto

2008). Da die Information jedes vorigen Hashs in die Erstellung des Hash eines neuen Blocks eingeht, führt jede nachträgliche Änderung an einer beliebigen Stelle der Blockchain zu einer Ungültigkeit aller weiteren Hashs.

Durch die Aneinanderreihung mehrerer Blöcke zu einer Kette entsteht dann die sogenannte Blockchain, die aufgrund des verwendeten Verfahrens ein hohes Maß an Irreversibilität und Sicherheit der gespeicherten Informationen ermöglicht. Eine gelungene Visualisierung der grundlegenden Funktionsweise von Blockchain-Anwendungen bietet [Goldman Sachs](#). Alternativ bietet der Youtube Kanal [3Blue1Brown](#) gute Erklärvideos für einen Einstieg in die Thematik.

Die Kombination aus den erwähnten Eigenschaften dieses Verfahrens eröffnet interessante neue Anwendungsfelder im Bereich des Naturschutzes. Die Politik hat das Potential der Blockchain erkannt und unterstützt mit der Veröffentlichung der Blockchain Strategie die weitere Exploration der Technologie und mögliche Anwendungsfelder (BMW und BMF 2019). Ein Fokus liegt hierbei auf dem Ziel „nachhaltigkeitsbezogene Anforderungen zu einem wichtigen Entscheidungskriterium bei der Umsetzung staatlich geförderter oder initiiertes Projekte im Bereich Blockchain-Technologie [zu] machen“ (BMW und BMF 2019 S.5). Mehr dazu in der später folgenden Risikobetrachtung in diesem Kapitel. Eine grundlegende Relevanz der Technologie für Aspekte des Naturschutzes ist gegeben. Es muss aber für jeden Anwendungsfall eine kritische Gesamtbewertung aller Aspekte vorgenommen werden, die mit dem Einsatz einer Blockchain-Lösung einhergehen. Spannende Einsatzfelder für den Naturschutz sind vor allem automatisierte Zahlungen über Smart Contracts im Bereich der Ökosystemdienstleistungen für die Erbringung naturschutzrelevanter Leistungen. Erste Prototypen werden derzeit z. B. in dem Projekt [Gainforest](#) erprobt. Das Prinzip hierbei ist eine automatische Überprüfung

**Smart Contracts:** Unter Smart Contracts versteht man eine Art „intelligenter Vertrag“, der auf der Blockchain-Technologie aufbaut. Werden bestimmte Eintrittsbedingungen erfüllt, initiiert der Smart Contract automatisch eine Aktion die für alle Teilnehmer:innen transparent auf der Blockchain gespeichert wird. Die Funktionsweise entspricht letztendlich einer Wenn-Dann Schleife, die nach einmaliger Initialprogrammierung selbständig Entscheidungen trifft und nicht von Dritten manipuliert werden kann. Vorteile dieser Smart Contract sind eine hohe Sicherheit, Effizienz, Verlässlichkeit und Dezentralität. Für den Naturschutz sind z. B. Anwendungen im Bereich monetärer Ausgleichs bei Einhaltung periodisch überprüfbarer Biodiversitätsindikatoren (z. B. aus repetitiven Fernerkundungsdaten) denkbar.

eines Gebiets mittels fernerkundlicher Satellitendaten. Bei Einhaltung festgelegter Kriterien, z. B. kein Holzeinschlag detektiert, erfolgt eine direkte Auszahlung über Smart Contracts an indigene Gruppen, die das Gebiet verwalten. Ein ähnliches Konzept verfolgt das Projekt [FLRChain](#), welches vom IUCN und Gaiachain umgesetzt wird. Auf der Basis von [Algorand](#), eine nach strengen Nachhaltigkeitskriterien ausgerichtete Blockchain, werden Waldbesitzer über Smart Contracts automatisch vergütet, sobald die biodiversitätsrelevante Aktion, in diesem konkreten Fall die Wiederaufforstung von Waldflächen, erfolgt und durch eine dritte Partei verifiziert wurde. Das für diese Maßnahme von Investoren bereitgestellte Geld gelangt so transparent und sicher auf direktem Wege zu den bezugsfähigen Akteuren. Ein Projekt aus Deutschland, [Combayn](#) der Firma BayWa, testete ein

Verfahren, bei dem Landwirt:innen und potentielle Spender:innen für Blühstreifen über eine digitale Plattform vermittelt werden. Auf dieser Plattform werden die Transaktionen über eine Blockchain dokumentiert und digitale Tokens erprobungsweise zum Nachweis der Spendensummen verwendet. Auch der WWF nutzt mittlerweile die Blockchain Technologie bei der Generierung von Spendenmitteln (vgl. Kap. 8.1). Grundsätzlich denkbar sind auch sich selbst verwaltende Entitäten im Bereich Natur und Umwelt, z. B. in Form eines autarken Waldstücks. In einer Initialphase werden Entscheidungsalgorithmen aufgesetzt, die zur Verfügung stehenden Daten (Baumwachstum, Wassergehalt, Nährstoffgehalt, etc.) verknüpfen und mögliche Handlungsszenarien (z. B. Baumverkauf aus Bestand) über Smart Contracts vorprogrammieren. Anschließend handelt das Waldstück autark und transparent auf Basis der dem Waldstück zur Verfügung stehenden Informationen im Sinne der Optimierung seiner festgelegten multi-kriteriellen Zielfunktion, bestehend aus ökonomischen, ökologischen, rechtlichen und gesellschaftlichen Gewichtungen. Das BMBF fördert auf diesem Zukunftsfeld das Projekt Terra1.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass Blockchains für Transaktionsprozesse überall dort effizient eingesetzt werden können, wo eine zentrale Instanz fehlt, der alle Teilnehmer:innen vertrauen, wie am Beispiel der Verwaltung von Naturschutzgebieten in Ländern mit hoher Anfälligkeit für Korruption oder unklaren rechtlichen Verhältnissen verdeutlicht. Für naturschutzfachliche Anwendungen in Deutschland grenzt das den Lösungsraum erheblich ein, da hier mit der öffentlichen Verwaltung ein vertrauenswürdiger Umsetzungspartner für datenbankbasierte Anwendungen existiert. Es ist dahingehend darauf zu achten, dass Projekte nicht strategisch motiviert auf Blockchain Technologie „getrimmt“ werden, um die Außenwahrnehmung als technologischer Vorreiter zu beeinflussen, ohne dass dafür eine technische Notwendigkeit besteht. Als weiterer Risikofaktor ist der immense Energieverbrauch von Blockchains zu erwähnen. Dies gilt insbesondere für Blockchains, die ein Proof-of-Work Verifizierungsverfahren verwenden. Es gibt jedoch mittlerweile eine Vielzahl an alternativen Verifizierungsverfahren, die mit wesentlich weniger Energie auskommen. Eine gute Übersicht zu Nachhaltigkeitsaspekten der Blockchain Technologie bietet der Bericht Blockchains nachhaltig gestalten (Ramesohl et al. 2020). Zusätzlich ist der technische Aufwand einer Blockchain-Implementierung und der damit verbundene Bedarf an Fachpersonal und Erfahrungswissen nicht zu unterschätzen. Die Verknüpfung von den in der Einführung erwähnten Transaktionsdaten in der Blockchain (On-Chain Data) mit zugehörigen Datensätzen außerhalb der Blockchain (Off-Chain Data) ist z. B. eine oft unterschätzte technische Herausforderung. Bei der Planung neuer digitaler Projekte sollten diese Faktoren in die Entscheidung für oder gegen den Einsatz der Blockchain Technologie einfließen. Von Pauschalurteilen ist dabei grundsätzlich abzusehen. Technologien wie die Blockchain sind nicht per se gut oder schlecht, es kommt auf den konkreten Eignungsgrad für spezifische Problemstellungen und die Art der Umsetzung an. Zielführend sind aktuell Erprobungen im Sinne eines explorativen Ansatzes, um mögliche positive und negative Auswirkungen, z. B. mit Hilfe von prototypischen Anwendungen, zu analysieren.

Tab. 4: Beispielhafte Blockchain Projekte mit Naturschutzbezug (BfN I 1.1)

Projektname (mit Link)	Beschreibung
<a href="#">FLR Chain</a>	Die FLR Chain ist ein vom IUCN gefördertes Projekt welches von Gaiachain auf Basis der Algorand Blockchain umgesetzt wird. Ziel ist es, Maßnahmen von Bauern/Flächenbesitzern im Bereich Forest Landscape Restoration (FLR) auf einer Blockchain nachzuverfolgen und transparent zu vergüten.
<a href="#">GainForest</a>	Plattform über die Geldgebende indigenen Gruppen zum Zwecke des Waldschutzes Geld zusichern. Sobald Meilensteine erreicht werden, werden Zahlungen freigeschaltet. Überwachung der Meilensteine erfolgt durch KI und Ausschüttung der Zahlungen über Smart Contracts. Ziel ist das Stoppen der Entwaldung.
<a href="#">Terra1</a>	Ein vom BMBF gefördertes Projekt eines sich selbst verwaltenden Waldstückes auf Basis von Drohnen, Satellitendaten und der Blockchain-Technologie zur Initiierung von Aktionen (smart contracts), das in die Lage versetzt werden soll, selbständig über bestimmte Handlungen zu entscheiden. Zum Beispiel soll ein automatisierter Holzverkauf aus dem eigenen Bestand möglich werden.
<a href="#">The Earth Twine-Stratis Platform</a>	Seit 2017 in Entwicklung befindliche Plattform auf Basis einer Blockchain für Herkunftsdaten und -verfolgung für die internationale Fischindustrie.

### 3.7 Biobots

Unter Biobots oder auch Bio-Robots versteht man die extern initiierte Ansteuerung des Nervensystems von Tieren über geeignete Schnittstellen. Insekten oder Säugetiere führen somit durch fremdgesteuerte elektrische Signale bestimmte Funktionen aus oder werden befähigt, andere Reize aus ihrer Umwelt wahr zu nehmen. Aktuelle Forschungen zu dem Thema befassen sich z. B. mit der gezielten Wegführung von Insekten (Latif und Bozkurt 2012), der Audiodetektion (Latif et al. 2016) oder der Erweiterung der Sinneswahrnehmungen, z. B. durch Detektion von Infrarotlicht bei Ratten (Fukayama et al. 2019).

Neben der Analyse von potentiellen Einsatzmöglichkeiten von Biobots für die Belange des Naturschutzes gilt es in diesem frühen Entwicklungsstadium der Technologie den Fokus vor allem auf eine frühzeitige Betrachtung möglicher Risiken zu lenken. Insbesondere aus ethischer und moralischer Sicht birgt die Thematik ein hohes Konfliktpotential, da Lebewesen bewusst manipuliert und gegen ihren Willen für menschliche Zwecke eingesetzt werden. Die weitere Entwicklung dieses Themenfeldes gilt es ergebnisoffen zu analysieren, um ggf. Leitplanken für den Einsatz von Biobots unter naturschutzfachlichen Aspekten zu erarbeiten oder sich generell gegen den Einsatz dieser Technologie auszusprechen.

### 3.8 Quantencomputing

“Nature isn’t classical, dammit, so if you want to make a simulation of nature, you’d better make it quantum mechanical.” — Richard Feynman, Physiker

Quantencomputer sind ein neues Phänomen im Bereich der digitalen Informationsverarbeitung und bieten einen alternativen Ansatz zur gängigen Bit-Kodierung von Informationen im digitalen Umfeld. Jedwede Prozessierung in den aktuell verwendeten Computern, Tablets oder Smartphones basiert auf Bits, die entweder den Zustand 0 oder 1 annehmen können. Auch Quantencomputer haben zwei logisch unterscheidbare Zustände: 0 und 1. Das Besondere ist jedoch, dass durch Superpositionsprinzipien der Quantenmechanik z. B. diese beiden Zustände gleichzeitig abgerufen werden können. Die daraus resultierende Recheneinheit

eines Quantencomputers nennt man Qubit. Eine detaillierte technische Herleitung bietet das Buch „Quantum Computing“ (Stolze und Suter 2008).

Unabhängig von der komplexen technischen Herleitung liegen die Vorteile einer solchen Informationsverarbeitung auf der Hand: Während ein 2-Bit-System immer nur einen Zustand aus den vier Kombinationsmöglichkeiten 00, 01, 10 und 11 darstellen kann, können mit 2 Qubits diese vier Ergebnisse gleichzeitig dargestellt werden. Allgemein gesprochen kann also ein n-Qubit System  $2^n$  Zustände gleichzeitig darstellen. Die gleichzeitig darstellbaren Zustände steigen also exponentiell mit der Addition weiterer Qubits an. Dieser Vorteil zeigt sich vor allem in der Anwendung bestimmter komplexer Algorithmen, die auf Quantencomputern signifikant schneller ausgeführt werden können. Eine gute Übersicht hierzu bieten Outeiral et al. (2021: S. 7). Grundsätzlich werden 100 operativ einsetzbare Qubits in einem Quantencomputer als Schwelle angesehen, bei der die Rechenleistung der heute gängigen binären Supercomputer herausgefordert wird. Aktuelle Meldungen legen nahe, dass diese Schwelle bald erreicht sein wird. Die IBM veröffentlichte im November 2021 einen Quantencomputer mit 127 Qubits. Neben der reinen Anzahl der Qubits sind aber noch weitere Faktoren essentiell für den operativen Betrieb, vorrangig die Störempfindlichkeit der Qubits.

Auf politischer Ebene hat die Quantentechnologie einen hohen Stellenwert als Zukunftstechnologie eingenommen. Der Bund fördert Quantentechnologie und Quantencomputer mit einem Gesamtkonzept von zwei Milliarden Euro, auf das sich die Bundesregierung im Rahmen des Konjunktur- und Zukunftspakets am 3. Juni 2020 verständigt hat. Aktuell fördert z. B. das BMBF die Entwicklung eines Quantencomputers an der Universität Hamburg mit rund 29 Millionen Euro. Am 1. Januar 2022 wurde darüber hinaus das erste Quanten-Cloud-basierte System am Forschungszentrum Jülich mit über 5000 Qubits eröffnet. Der sogenannte Quantenanreiner ist Teil der Jülicher Nutzer-Infrastruktur für Quantencomputing (JUNIQ), die Forschenden in Deutschland und Europa seit Herbst 2019 Zugriff auf verschiedene Quantensysteme ermöglicht.

Die Technologie der Quantencomputer befindet sich noch in einem sehr frühen Stadium und hat bisher kaum konkrete Anknüpfungspunkte für naturschutzfachliche Aspekte. Jedoch ist absehbar, dass Quantencomputer durch ihre Beeinflussung anderer Technologien mittelfristig auch Auswirkungen auf Themen des Naturschutzes haben werden. Als Beispiel hierfür ist die Integration von Quantentechnologie in bestehende Machine-Learning Algorithmen zu nennen, um eine sogenannte quantenkünstliche Intelligenz zu kreieren (Mangini et al. 2021). Erste Ansätze auf diesem Feld existieren bereits, z. B. von Google mit dem TensorFlow Quantum, einer Open Source Bibliothek für Ansätze im Bereich Quantum Machine Learning. Mögliche Anwendungsgebiete diesbezüglich für den Naturschutz sind komplexe, multivariable Ökosystem-Modellierungen (vgl Kap. 3.3). Ein weiterer Aspekt ist die durch Quantencomputer potentiell mögliche schnellere Entschlüsselung derzeit viel verwendeter Verschlüsselungsverfahren aus den Bereichen der symmetrischen und asymmetrischen Kryptographie, was perspektivisch Auswirkungen auf die IT-Sicherheit naturschutzrelevanter Datenbestände haben kann. Gleiches gilt für die Sicherheit von potentiell im Naturschutz eingesetzten Blockchains, die durch Quantentechnologie angreifbar werden könnten (Fernandez-Carames und Fraga-Lamas 2019). Bis moderne Quantencomputer genug Rechenleistung haben, um hier eine Gefahr darzustellen, wird es noch etwas dauern. Das Problem ist jedoch, dass die Möglichkeit



besteht, sich aktuell verfügbare, verschlüsselte Datenbestände zu sichern und diese dann, sobald möglich, mit Quantenphysik zu entschlüsseln. Die potentielle Bedrohung gilt damit sowohl für Ex-Post, als auch für Ex-Ante Datenbestände, ausgehend vom Zeitpunkt der Veröffentlichung der ersten dafür einsetzbaren Quantencomputern.

Aktuell ist es noch ein weiter Weg, bis die skizzierten, möglichen Auswirkungen der Quantentechnologie Einzug in die Realität des Naturschutzes erhalten werden. Technologischer Fortschritt entwickelt sich jedoch oft nicht linear, sondern sprunghaft, weshalb es sinnvoll ist, zukünftige Entwicklungen im Bereich der Quantentechnologie zu beobachten, um auf etwaige Auswirkungen auf die eigenen Themenbereiche frühzeitig und angemessen reagieren zu können.

### **Exkurs: Holistische Bewertungsansätze von Digitalprojekten**

Wie bewertet man den „Nutzen“ von Digitalprojekten? Aufgrund ihrer oft interdisziplinären Ausrichtung tangieren Digitalprojekte in ihren Auswirkungen unterschiedlichste Dimensionen. Diese gilt es objektiv zu analysieren und in Kontext zueinander zu setzen, um eine fundierte Entscheidung für oder gegen den Einsatz von digitalen Technologien zur Lösung von konkreten Problemstellungen zu treffen. Die folgende Abb. 5: Vorschlag für ein holistisches Bewertungsmodell für Digitalprojekte zeigt ein Modell, das die wichtigsten Bewertungsdimensionen aufzeigt und mögliche Fragen skizziert, die zur Ermittlung des Gesamtnutzens des Digitalprojektes aus einer holistischen Perspektive herangezogen werden können.

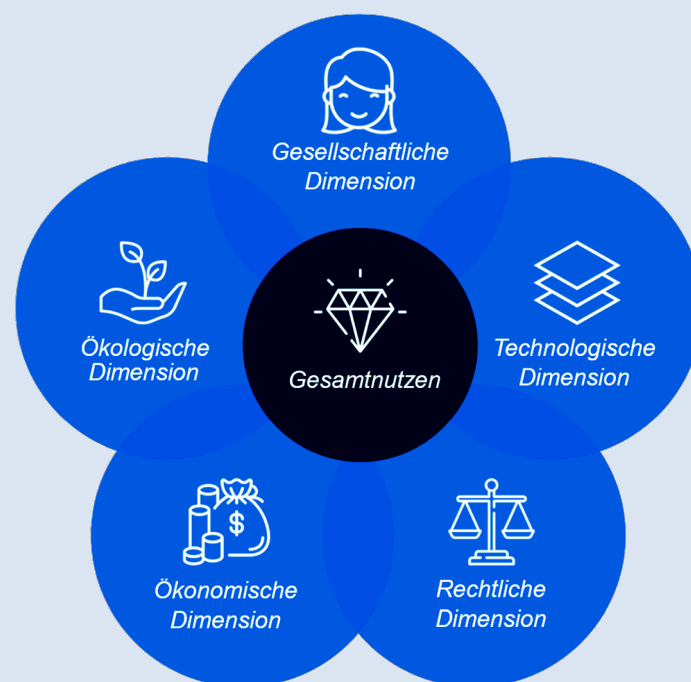


Abb. 5: Vorschlag für ein holistisches Bewertungsmodell für Digitalprojekte (BfN FG I 1.1, Icons von Flaticon)

### **Praxisbeispiel: Drohneneinsatz auf Schafsalpen**

Auf Schafsalpen im deutschsprachigen Raum ist der verstärkte Einsatz von Drohnen mit optischen Kameras zur Überwachung und Steuerung von Schafsherden zu beobachten. Aus **technologischer Sicht** eignen sich Drohnen zunächst gut, um unwägbares Gelände durch Kontrollflüge ohne viel Aufwand einzusehen. Drohnen sind technisch sehr ausgereift und es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Modelle, die auf den genauen Einsatzbereich zugeschnitten sind (vgl. Kap. 3.4). Bei Abstürzen kann es jedoch zur Belastung von Alpflächen durch feinteiligem Elektroschrott kommen. Aus **ökonomischer Sicht** müssen die Anschaffungskosten und Unterhalt der Drohne sowie der entstehende Arbeitsaufwand der Schäfer:innen gegen die etwaigen eingesparten Kosten durch Verzicht auf Hütehund oder Zusatzgewinne aus verbessertem Weidemanagement gegeneinander aufgewogen werden. Große Relevanz hat aus Sicht des Naturschutzes natürlich auch die **ökologische Perspektive**: Wie reagieren die Schafe, aber auch die gesamte Alp-Fauna auf die Präsenz der Drohnen? Entstehen erhöhte Stresslevel? Sind Kollisionen, z. B. mit Schwärmen von Alpendohlen erwartbar? Kann eine Schafsherde in Panik geraten durch einen hektischen, unprofessionellen Drohnenanflug? Und nicht zuletzt die **sozialen Auswirkungen**: Will man nicht als Hirt:in oder Wanderer die Alpen als technologiefreie Zone mit Vogelgezwitscher wahrnehmen und wäre von dem Surren der Drohnen massiv gestört? Zudem sind auch **rechtliche Fragen** zu klären: Gibt es Schonfristen, zu denen die Drohne nicht eingesetzt werden darf? Wie sieht es mit den Überflugrechten von Natur- oder Landschaftsschutzgebieten aus?

Wie das Beispiel verdeutlicht, sollte die Entscheidung für oder gegen den Einsatz digitaler Technologien bei einer konkreten Problemstellung stets anhand einer gründlichen Einzelfallbewertung geprüft werden. Das hier vorgestellte holistische Bewertungsmodell liefert dafür einen Einstieg, um die wichtigsten Einflussfaktoren systematisch zu analysieren.

## 4 Schwerpunkt: Sensorgestützte Datenerfassung für den Naturschutz

Der größte Teil der Naturschutzdaten in Deutschland wird gegenwärtig durch Forschungsinstitutionen, Fachgesellschaften, beauftragte Büros sowie durch unzählige ehrenamtlich Kartierende erfasst. Vernetzte Sensoren und digitale Methoden können deren Arbeit inzwischen in großem Umfang unterstützen und haben neue Formen des kollaborativen Zusammenarbeitens hervorgebracht. Zugleich führt die technische Entwicklung dazu, dass neue Akteure, von einzelnen Bürger:innen, über Start-Ups bis hin zu großen Tech-Firmen und multinationalen Konsortien auf diesem Feld aktiv werden. Dadurch nimmt die Erfassung von naturschutzrelevanten Daten deutlich an Fahrt auf und umfasst neue Bereiche, Skalen und zeitliche Auflösungen. Diese Entwicklung ist möglich, weil neue Sensoren und Erhebungsmethoden verfügbar sind und zugleich leistungsfähigere Infrastrukturen und Methoden zur Telemetrie, Datenhaltung, Integration und zur Analyse von Daten entwickelt werden ([diversityworkbench](#), [Taxon-Works](#), vgl. Kap. 6). Die Weiterentwicklung der Datenerfassung ökologischer Informationen kann daher nicht getrennt von deren Auswertung betrachtet werden. Allein die Zunahme der Quantität verfügbarer Bilddaten übersteigt inzwischen die Kapazitäten zur manuellen Auswertung bei Weitem (Lürig et al. 2021). In der Konsequenz werden die Grenzen zwischen Sensorik und Verarbeitung immer fließender. Bilddaten werden beispielsweise inzwischen direkt am Sensor durch Computer Vision-Methoden ausgewertet (Ärje et al. 2020).

Sensoren zur automatisierten Datenerhebung stehen für vielzählige Geräte und Plattformen zur Verfügung: von Trackern, Audiorekordern, Bio-Loggern bis hin zu Smartphones, Drohnen, Flugzeugen und Satelliten (siehe Tab. 5) (Tuia et al. 2021, Lahoz-Monfort und Magrath 2021, [Wildlabs](#)). In diesem Zusammenhang erlangen auch Assistenzsysteme und Kartierhilfen eine immer größere Bedeutung, deren Entwicklung vom BfN aktiv unterstützt werden ([Recorder-D](#)).

Darüber hinaus ist zu klären, welchen Nutzen Daten haben können, die zwar nicht direkt für den Naturschutz erhoben werden, aber dennoch nalyzen zur Verfügung stehen, Stichwort Big Data und Open Data.

Tab. 5: Sensoren, Plattformen und beispielhafte Anwendungsfelder zur digitalen Datenerhebung im Naturschutz (BfN | 1.1)

Methode Sensortyp	Plattformen						Flugzeug	Satellit	Gegenstand	Anwendungsgebiet	Quellen	Projekte
	handbetrieben	stationär/ Labor	mobil	Drohne	Flugzeug	Satellit						
Radar	fliegende Organismen	fliegende Organismen; Wetter	fliegende Organismen; Bodeneigenschaften; Bodenheterogenitäten	Oberboden; Wasser Oberfläche	Geländeoberflächen	fliegende Organismen, Pflanzen- und Habitatstrukturen, Geländeoberflächen						
	Insektenmonitoring	Erkennung und Aktivitätserfassung von Vögeln, Fledermäusen, Insektengruppen	Erkennung und Aktivitätserfassung von Vögeln, Fledermäusen, Libellen, marinen Säugstieren; Torfmächtigkeit	Bodenfeuchteschätzung; Wasserstandsänderung in Fließgewässern	Küstenmonitoring	Vogelzugmonitoring, digitale Höhenmodelle, Habitatzustand, Waldbiodiversität						
	Drake und Reynolds 2012	Weisshaupt et al. 2021, Ammann et al. 2020, Hüppop et al. 2018, Zaugg et al. 2017	Verfuss 2018, Harndensen 2007, Hüppop et al. 2018	Bandini et al. 2020 und 2022, Wu et al. 2019	Bolz et al. 2020	Coss et al. 2020, Bae et al. 2019, Schmidt et al. 2018, Schulte to Bühne und Petto-relli 2018						
-	BirdScan MR 1 (Video), Natur 4.0, ENRAM, GioBAM	VESPER X25, Hypatia-trackRadar	-	-	GeoWAM	ECOPOTENTIAL (Video)						

Methode	Plattformen						Satellit
	handbetrieben	stationär/ Labor	mobil	Drohne	Flugzeug		
Sensortyp							
	Optische Strahlung/UV	große Säugetiere	Tierkrankheiten	-	Floureszenztracking, Insekten	Wasserkörper, Waldstruktur	marine und terrestrische Ökosysteme
		Reflektanz arktischer Säugetiere	Fledermaus white nose syndrome Erkennung	-	Insektentracking	Wasserschmutzung, Waldstruktur	benthische Habitatzusammensetzung
		Leblanc et al. 2016	Turner et al. 2014	-	Kaye und Pitman 2020, Teickner et al. 2019	Baschek und Winterscheid 2012, Cuesta et al. 2010	Minghelli et al. 2021
	-	-	-	-	-	-	-
Optische Strahlung/visuell							
		Einzelindividuen, Pflanzen-, Tier- und Pilzarten, Pflanzen- und Tiergemeinschaften	Tiere, Pflanzen, Menschen	mobile Tiere	Bestandskartierung, Zustandsanalyse Vegetation, Tierbeobachtung	Tiere, Pflanzen, Habitat, menschliche Eingriffe, abiotische Kenngrößen	Pflanzengesellschaften, Pflanzenzustand, Habitatkartierung
		Arbestimmung Pflanzen und Tiere, Vorkommen von Tieren und Pflanzen, Citizen Science	Wildtierkameras, Insektenfallen, Fotodokumentation, Abschaltung von Windenergieanlagen (WEAs), marines Monitoring	Verhaltensbeobachtung und Raumnutzung von Tieren	Baumartenkartierung, Einsicht in schwer zugängliche Gebiete, Anti-Wilderei Aktivitäten, Zählung von Pflanzen und Tieren	Erfassung mariner Wirbeltiere, Baumartenkartierung, Habitatbewertung	Waldzustand, Grünlandbewertung, Fruchtartenbestimmung, Insektendiversität
		Mäder et al. 2021	Wägele et al. 2022, Jones et al. 2020, Langlois et al. 2020	Lahoz-Monfort und Magrath 2021, Wilmers et al. 2015, Rutz und Troschianko 2013	Egli und Höpke 2020, Schiefer et al. 2020, Hu et al. 2020, Neumann et al. 2019, van Germert et al. 2015	Schmidt et al. 2017a, b	Hein 2019, Schulte to Bühne und Pettorelli 2018
	Flora Incognita, Seek, iNaturalist	IdentiFlight (Video), AMMOD, BRUVS (Video)	Crittercam, Animal borne video collection systems	ConservationDrones	marines Monitoring des BfN	GainForest	Projekte

Methode Sensortyp	Plattformen						Satellit	Anwendungsgebiet
	handbetrieben	stationär/ Labor	mobil	Drohne	Flugzeug			
Infrarot Strahlung/Wärme	Boden	Insektenmonitoring, Reptilienmonitoring	Vögel	große Landschaften, Vögel, Bäume	marine und terrestrische Habitate		Dis-tanzmessungen, Vegetationsgesellschaften	<b>Gegenstand</b>
	Bodeneigenschaften	passive Infrarot (PIR) Wildtierkamaras, Insektenerkennung, Kollisionsvermeidung WEA	Aufspüren von Vögeln	Rehkitzrettung, Bewertung invasiver Arten, Vogelneidentifikation, Baumartenbestimmung	Waldzustand, Biodiversitätsbewertung, Algenwachstum, Korallen		Bewertung von Populationsdichten, Habitatkartierung NATURA 2000	<b>Anwendungsgebiet</b>
	Vohland et al. 2022, Baldi et al. 2021	Rydhmer et al. 2021, Welbourne et al. 2016, Vance et al. 2016, 2014, Desholm et al 2006	Chavarria et al. 2012	BfN 2021, Santangeli et al. 2020, BMWi 2019, Sothe et al 2019, Kamminga et al. 2018, Müllerova et al. 2017, Gonzales et al. 2016	Seeley et al. 2021		Jarocińska et al. 2022, Schulte to Bühne und Petto-relli 2018	<b>Quellen</b>
-	<u>KInsecta</u> , <u>Pria</u> <u>Wind</u>	-	<u>Drohnen im Naturschutz</u> , <u>Drones for Nature</u>	-	-	-	<b>Projekte</b>	

Methode Sensortyp	Plattformen						Satellit	Anwendungsgebiet
	handbetrieben	stationär/ Labor	mobil	Drohne	Flugzeug	Satellit		
LiDAR/Laser	Vegetationsstruktur, Gebäude und Anlagen	Vegetationsstruktur, Gebäude und Anlagen	Vegetationsstruktur, Gebäude und Anlagen, Habitatstrukturen, Bathymetrie	Pflanzenhöhe, Vegetationsstruktur, Gebäude, Flachwasserbereiche	Vegetationsstruktur, Gebäude und Anlagen, Flachwasserbereiche, Habitatstruktur	Flussnetze, Relief	<b>Gegenstand</b>	
	Waldstrukturanalyse, Todholz	Waldstrukturanalyse, Todholz	Waldstrukturanalyse/Forsinventur, 3D Aufnahme großer Waldbestände, Habitatmodellierung	aufwachsende Vegetation, Überwachung von illegalem Holzschlag, Habitatmanagement	Waldstrukturanalyse, aufwachsende Vegetation, Flachwasserhabitatanalyse	Monitoring von Flussnetzen, Relieflieferparameter		<b>Anwendungsgebiet</b>
	Donager et al. 2020	Donager et al. 2020, Bienert et al. 2018, Gonzales de Tanago 2018	Lowell und Calder 2022, Bienert et al. 2018, Gonzales de Tanago et al 2018, Wallace et al. 2012, Vierling et al. 2011	Flaherty et al. 2014, Samiappan et al. 2017, Yang et al. 2017	Takahashi Miyoshi et al. 2020, Tysiak 2020, Donager et al. 2020, Simonson et al. 2014, Kinzel et al. 2012, Valle et al. 2011, Chust et al. 2010	Zuo et al. 2021, Baghdadi et al. 2011	<b>Quellen</b>	
	<u>Median</u>	-	-	<u>Median</u>	<u>JKI-Kleinstrukturen und Landschaftselemente</u>	<u>Forest Map Plattform</u>		<b>Projekte</b>

Methode Sensortyp	Plattformen						Satellit	Flugzeug	Drohne	Anwendungsbereich	Projekte
	handbetrieben	stationär/ Labor	mobil	Drohne	Flugzeug	Satellit					
Akustische Sensoren/Sonar/Schall	Artbestimmung Vögel	Artbestimmung Vögel, Fledermäuse, Säugetiere, marine Säugetiere	Tierlaute terrestrisch und marin, Bioakustik	Fledermäuse, Vögel	-	-	-	-	-	Gegenstand	
	Vogelartbestimmung, Artenzusammensetzung, Insektenerkennung	Identifikation von Arten, Subspezies und Individuen, Walmonitoring, Vogelmonitoring, Kollisionsmonitoring	Bathymetrie, Walmonitoring, Verhaltensmonitoring, marine Säugetiere, Vogelmonitoring, Vergrämung von Walen, marine Trophielevel	Ortung von Fledermäusen in der Nähe von WEA, Monitoring von Vögeln und Fledermäusen	-	-	-	-	-	Anwendungsgebiet	
	Kahl et al. 2021	Jäckel et al. 2022, Larsen et al. 2022, Hatlauf et al. 2021, Ammermann et al. 2020, Browning et al. 2017	Lowell und Calder 2022, Ainslie et al. 2022, Tournier et al. 2021, Stidsholt et al. 2021, Mikkelsen et al. 2019	Michez et al. 2021	-	-	-	-	-	Quellen	
<u>Insecta</u> , <u>BirdNET</u>	Bioakustisches Messnetz Sachsen, <u>AudioMoth</u> , <u>HydroMoth</u> , <u>AMMOD</u> , <u>C-Pod</u> , <u>Sonitor</u> , <u>ARBIMON</u> , <u>ECOSOUNDS</u> , <u>BirdRecorder</u>	<u>Dawn Chorus</u> , <u>DTAG</u>	<u>Drone4Bats</u>	-	-	-	-	-	Projekte		



Methode		Plattformen						
		handbetrieben	stationär/ Labor	mobil	Drohne	Flugzeug	Satellit	
Sensortyp	Sensoren für volatile organische Verbindungen "Electronic nose"	-	Arterkennung, Ökosystemzustandsmessung, Wildtierkrankheiten	Boden	Detektion von Harz in Luftmolekülen	-	-	Gegenstand
		-	AMMOD Smellscapes, Fledermausartbestimmung	Bodenorganik, Bodenfeuchte	Detektion von Phytophagen Forstschädlingen (z. B. Borkenkäfer)	-	-	Anwendungsgebiet
		-	Wägele et al. 2022, Lahoz-Monfort et al. 2021, Doty et al. 2020	Dorji et al. 2017, Bieganowski et al. 2016	Quellen	-	-	Quellen
		<u>Cyranose</u>	<u>AMMOD</u>	-	<u>ProtectFOREST</u>	-	-	Projekte
DNA barcoding		-	Identifizierung von organischem Material	-	-	-	-	Gegenstand
		-	Einzelartennachweis, Bekämpfung von illegalem Handel mit Holz-, Fisch- und Wildtierprodukten, biologische Indizes für UVP	-	-	-	-	Anwendungsgebiet
		-	Makiola 2020: 3, BAFU 2020, LFULG 2018	-	-	-	-	Quellen
		-	<u>DNA Barcode Scanner</u> , <u>GBOL</u> , <u>IBOL</u>	-	-	-	-	Projekte

Methode Sensortyp	Plattformen							Satellit	Gegenstand
	handbetrieben	stationär/ Labor	mobil	Drohne	Flugzeug				
PS/GLONASS-Sensoren/Positionsbestimmung	-	-	Vögel, Tiere	-	-	-	-	Vögel	
	-	-	Vogeltracking, Wildtiertracking, Georeferenzierung	-	-	-	-	Migrationanalyse von Vogelpopulationen	Anwendungsgebiet
	-	-	Jetz et al. 2022, Davies et al. 2021, Sheppard et al 2015, Wilmers et al. 2015	-	-	-	-		Quellen
	-	-	<u>Virtual Fencing</u> , <u>IC-ARUS</u> , <u>BirdTracker Database</u>	-	-	-	-	<u>Argos system</u> ( <u>Video</u> )	Projekte

## 4.1 Sensorik und Einsatzzweck

Der Einsatz neuer Technologien hängt stark vom naturschutzfachlichen Bedarf, dem Zweck der Erhebung und dem Anspruch der jeweiligen Akteure an Datenqualität und Auflösung ab. Naturschutzdaten werden beispielsweise im Rahmen von amtlichen sowie ehrenamtlichen Kartierungen und Monitoringprogrammen, von Forschungsarbeiten, von Naturschutzmanagementmaßnahmen oder von Citizen Science-Projekten erhoben.

Diese Daten betreffen das gesamte Spektrum des Naturschutzes von molekularen Biodiversitätsinformationen, DNA-Spuren, über Artinformationen bis hin zur Erfassung kompletter Habitate und Landschaften sowie von globalen Prozessen. In zunehmendem Maße erheben aber auch kommerzielle Anbieter:innen naturschutzrelevante Daten, deren Qualität amtlicher Erfassungen nahekommen oder sie in räumlicher und zeitlicher Auflösung übertreffen (Curnick et al. 2021). Insbesondere auf dem Feld der Fernerkundung werden privatwirtschaftliche Unternehmen gezielt gefördert. Zukünftig ist außerdem davon auszugehen, dass noch viel mehr modellierte Daten zur Verfügung stehen werden (vgl. Kap. 3.3).

Aus der Breite der Einsatzmöglichkeiten und der Vielzahl von Akteuren resultiert eine große Anzahl bereits existierender Anwendungen, deren Nutzen für die praktische Naturschutzarbeit und die Naturschutzverwaltung im Einzelfall bewertet werden sollte. In Tab. 1 sind wichtige Sensoren und Plattformen zur Erhebung von Naturschutzdaten exemplarisch zusammengefasst.

## 4.2 Werkzeuge zur Unterstützung manueller Datenerfassungen

Auch die manuelle Erfassung von Naturschutzinformationen wird zunehmend durch Sensoren unterstützt. Während die Fotodokumentation schon lange und selbstverständlich eingesetzt wird, unterstützen digitale Assistenzsysteme bereits seit Langem beim strukturierten und automatisierten Speichern sowie bei der simultanen Auswertung von Daten: [gis.pad](#). Dafür stehen zum Beispiel Apps auf Smartphones und Mobilgeräten, Sprachassistenten-, oder automatische Artenerkennungssysteme mit Anbindung an eine Kartierungssoftware zur Verfügung: [cybertracker](#); [ESRI Collector](#); [QField](#); [GIS 2go](#) (Dreiser 2019, Aden et al. 2013). Insbesondere die automatisierte Arterkennung ist inzwischen in Citizen Science-Anwendungen weit verbreitet. Aber auch zur Unterstützung wissenschaftlicher und fachgesellschaftlicher Erhebungen werden diese auf maschinellem Lernen basierenden Anwendungen immer verstärkter eingesetzt (vgl. Kap. 6). Das BfN arbeitet an der Entwicklung solcher Assistenzsysteme. Zukünftig ist zu klären, für welche Anwendungsfelder und Organismengruppen ein besonderer Entwicklungs- und Unterstützungsbedarf durch die öffentliche Hand besteht.

## 4.3 Potenziale und Chancen

**Umfängliche Erfassung:** Die zunehmende Anzahl an Sensoren und die sich rasant entwickelnde Infrastrukturen für Vernetzung, Datentransport und Datenspeicherung bergen das Potenzial für ein weitaus umfänglicheres Erfassen von Ökosystemen und Arten sowie deren Zuständen als es bislang möglich war. Hinzu kommen die immer verlässlicher funktionierenden Methoden zur automatischen Erfassung und Kartierung von Organismen und Landschaftsausschnitten (Dyrmann et al. 2021).

Eine besondere Bedeutung für die Naturschutzforschung hat die Digitalisierung und „Mobilisierung“ analoger Daten- und Wissensbestände (Wilson et al. 2021). Die in diesem Zusammenhang von Museen gescannten, fotografierten und analysierten Sammlungen umfassen inzwischen hunderte Millionen Fundstücke mit unschätzbarem Wert für die Biodiversitätsforschung (Global Genome Biodiversity Network, Nelson und Ellis 2018). Die so generierten Wissensstände sind eine Grundlage für verbessertes Naturschutzmanagement und eine evidenzbasierte Politikberatung (Makiola et al. 2020).

**Neue Datenbestände und mehr Proxyinformationen:** Durch die Entwicklung neuer Sensoren, Plattformen und die damit einhergehenden neuen Auswertungsmethoden trägt die Digitalisierung zur Erschließung neuer Quellen für Naturschutzinformationen, aber auch für ergänzende Proxydaten, welche indirekt Rückschlüsse auf Naturschutzaspekte zulassen, bei. Bioakustik, Sensorik für organische Verbindungen in der Luft, aber auch die Weiterentwicklung von Fernerkundung und Biotechnologien machen es möglich, immer mehr Aspekte von Ökosystemen zu erfassen. In Verbindung mit erweiterten Auswertungsmethoden entstehen zunehmend Möglichkeiten, die Komplexität von Systemen besser zu erfassen, zu erklären und kommunizierbar zu machen (vgl. Kap. 6) (Makiola et al. 2020). Auf Basis dieser neuen Datenerfassungssysteme kann der Naturschutz also auf die Erfassungen von bislang unterrepräsentierten Räumen, Arten und Ökosystemzusammenhänge zurückgreifen und diese den etablierten Referenzsystemen zur Seite stellen (Makiola et al. 2020).

Auch die Digitalisierung wirtschaftlicher Sektoren ohne expliziten Naturschutzfokus, wie beispielsweise in Land- und Forstwirtschaft oder der Fischerei, schafft Datenbestände, welche von großem Nutzen für den Erhalt der Biodiversität sein können. Entweder betreffen sie direkte Schutzgüter oder enthalten wertvolle Informationen über Einflussgrößen und Treiber für den Rückgang der Biodiversität.

Eine gänzlich neuer Stang an naturschutzrelevanten Informationen eröffnet sich durch das Sammeln (harvesting) und die Auswertung digitaler Informationen, wie zum Beispiel Fotos von Pflanzen und Tieren auf Social Media (August et al. 2020).

**Mehr Details, höhere Auflösung in kürzerer Zeit:** Der technologische Fortschritt sorgt dafür, dass immer mehr Details über Beobachtungsgegenstände in immer kürzerer Zeit erfasst und gesammelt werden können. Viele herkömmliche Methoden des Erfassens, Sammelns und Identifizierens von Arten sind sehr zeit- und ressourcenaufwendig, aber zugleich auch bewährt und zukünftig nicht ersetzbar. Die digital unterstützte Datensammlung in Form von Fernerkundung, Kamerafallen, GPS-Trackern, Handscannern kann dennoch dazu beitragen, dass manche Informationsbestände wesentlich detaillierter und schneller zu Verfügung stehen. Möglicherweise trägt dies auch zu einer erhöhten Geschwindigkeit bei der Erfassung von Änderungen in Ökosystemen bei (Makiola et al. 2020).

**Erhöhte Beteiligung an der Datenerhebung:** Neue Sensoren und Erfassungssysteme stärken die Beteiligungsmöglichkeiten für Fachgesellschaften, aber auch die allgemeine Öffentlichkeit (vgl. Kap. 8) (Makiola et al. 2020). Daran knüpft sich die Chance, dass aus starker Beteiligung wirksamere Managementstrategien erwachsen (Makiola et al. 2020).

**Verbesserte interdisziplinäre Zusammenarbeit und Nutzung von vielfältigen Proxydaten:** Die Digitalisierung ermöglicht das Verknüpfen und die Nutzung von Datenerfassungsmetho-

den aus Disziplinen, die bislang in unterschiedlichen Domänen organisiert sind (Makiola et al. 2020). Eine Voraussetzung dafür sind eine Kultur und Strukturen, die auf Kooperation und Standardisierung ausgerichtet sind, aber auch die Erweiterung methodischer Ansätze für den Naturschutz (Kühl et al. 2020, Bennett et al. 2017).

#### 4.4 Herausforderungen und Risiken

**Fehlende empirische Belege für einen gesteigerten Naturschutznutzen:** Ein Großteil der skizzierten Potenziale leitet sich aus Erfahrungen in nicht-repräsentativen Projekten oder im wissenschaftlichen Kontext ab. Ob sich daraus allerdings tatsächlich ein positiver Naturschutznutzen ergibt, der sich gegenüber sozialen, finanziellen oder umweltbezogenen Kosten rechtfertigen lässt, muss in den meisten Fällen noch empirisch überprüft werden (Kehl et al. 2021: 147). Darüber hinaus könnte argumentiert werden, dass bereits hinreichend viel über den Naturverlust und die dahinterliegenden Treiber bekannt ist – in vielen Fällen mangelt es also nicht an Daten, sondern v. a. an entschiedenem Handeln.

**Unrealistische Erwartungen:** Das Versprechen und die Vorstellung der Datenerhebung in Echtzeit und der ebenso schnellen Detektion von Veränderungen in Ökosystemen, kann bei politischen Entscheidungstragenden und in der Öffentlichkeit falsch interpretiert werden und große Missverständnisse hervorrufen. So laufen biologische und ökologische Prozesse auf sehr unterschiedlichen Zeitskalen ab. Manche finden sehr schnell statt, andere im Laufe von Dekaden oder Jahrhunderten.

**Transfer wissenschaftlicher Methoden in die Anwendung:** Die Herausforderungen für den Transfer neuer Datenerhebungsmethoden aus der Wissenschaft in Naturschutzverwaltung und -management sind nicht zu unterschätzen und verlaufen häufig schleppend (Makiola et al. 2020). Auf diesem Feld muss klar sortiert werden, welche fachlichen Hürden bestehen und wo organisatorische Fragen, Fachkulturen oder fehlende Kommunikation und Kooperation den Einsatz behindern (Kühl et al. 2020).

**Konkurrenz vermeiden:** Neue technische Systeme werden häufig in Konkurrenz zu bestehenden Formen der Datenerhebung gesehen. Während Objektivität, Zeitersparnisse und Standardisierung als Vorteile technischer Systeme angesehen werden, verfügen erfahrene Kartierende über einen reichen Schatz an Kontextwissen, geprüften Methoden und eine hohe intrinsische Motivation. Ein starker Fokus auf neue digitale Methoden kann dazu führen, dass Bedeutung und der Wert etablierter Ansätze unterrepräsentiert sind und die notwendige Finanzierung in Frage gestellt wird. Diese aus fachlicher Perspektive nur scheinbar bestehenden Konkurrenz darf nicht einseitig aufgelöst werden. So ist die Nutzung von Drohnen zur Ökosystemkartierung im Gegensatz zur allgemeinen Wahrnehmung durchaus aufwendig und mit vielen Unwägbarkeiten verbunden, so dass sie den zusätzlichen Informationsverlust im Vergleich zu einer Begehung durch erfahrene Kartierende nur selten rechtfertigt.

**Qualitätskontrolle und Kontextualität von Daten:** Eine große Herausforderung steckt in der scheinbaren Objektivität automatisiert erhobener Daten. Durch die fortschreitende Entkopplung von Datenaufnahme und Datenauswertung durch die Verfügbarmachung in öffentlichen Repositorien sowie durch die zunehmende Technisierung steigt somit die Gefahr, dass Daten missinterpretiert werden. Darüber hinaus werden zukünftig immer mehr modellierte

Datensätze zur Verfügung stehen, sodass die Transparenz und Unterscheidbarkeit gegenüber gemessenen Daten große Relevanz bekommen wird.

Die Herausforderung liegt also darin, Kontextualität und Begleitumstände der Aufnahme mindestens mit der gleichen Sorgfalt zu dokumentieren und diskutieren, wie dies auch für herkömmliche, analoge Datenerfassungsmaßnahmen getan wird. Darüber hinaus muss sichergestellt werden, dass Informationen über methodenbedingte Unschärfen auch über Fachdomänen hinaus bekannt sind, um Fehlinterpretationen zu vermeiden.

**Mangelnde Zugänglichkeit von Daten anderer Sektoren:** Ein grundlegendes Problem besteht in der mangelhaften Zugänglichkeit von Daten, insbesondere derer, die für naturschutzfremde Zwecke erhoben werden, wie z. B. applizierte Herbizid- und Pestizidmengen, Betriebsdaten von Windenergieanlagen oder morphologische Aufnahmen in der Fischerei.

**Datenschutz, Privatsphäre und Sicherheit:** Viele der vorgestellten Sensoren im Naturschutz sind unauffällig, kostengünstig und vernetzt (Tuia et al. 2021). Sie ermöglichen, dass Akustiksensoren zum Singvogelmonitoring in Stadtparks angebracht werden, Wildtierkameras privat in Wäldern aufgehängt werden und privatwirtschaftlich betriebene Konstellationen von Mikrosatelliten mehrmals die Woche hochaufgelöste Fotos von Grundstücken und öffentlichen Räumen aufnehmen (Curnick et al. 2021). Viele der Einsatzmöglichkeiten haben also potenziell starke Auswirkungen auf Datenschutz, Persönlichkeitsrechte und öffentliche Sicherheit. Die rechtliche Regulation ihres Einsatzes ist häufig unklar oder zumindest den potenziell Betroffenen nicht transparent.

Analog zur Diskussion um Privatsphäre, Sicherheit und Datenschutz im „Internet of Things“ (IoT) ist auch bezogen auf den Naturschutz eine sachliche Abwägung des Nutzens von Sensoren gegenüber dem Datenschutz notwendig. Darüber hinaus ist auch in der Forschung und Entwicklung digitaler Anwendungen eine Abwägung unbeabsichtigter Konsequenzen notwendig (vgl. Exkurs: Holistische Bewertungsansätze von Digitalprojekten, S. 32).

### **Exkurs: Rebound- und Patch-Effekte bei digitalen Anwendungen**

Digitalisierung ist kein Selbstzweck. Dieses Credo betonen auch politische Entscheidungsträger:innen regelmäßig. Letztendlich verdeutlicht es die Notwendigkeit, Digitalprojekte immer an einer konkreten Problemstellung auszurichten. In der Realität ist allerdings oft zu beobachten, dass genau dies nicht passiert und Digitalprojekte als Prestige-Projekte konzipiert werden, um nicht als „altmodisch“ in Bezug auf digitale Transformationsthemen zu gelten. Aber auch wenn Digitalprojekte so konzipiert werden, dass ein positiver Einfluss auf eine Problemstellung zu erwarten ist, kann die Gesamtevaluation des Digitalprojekts trotzdem negativ behaftet sein. Dies ist auf zwei Hauptaspekte zurückzuführen, die im Folgenden kurz erläutert werden.

#### **Rebound-Effekte der Digitalisierung**

Der Rebound-Effekt hat seinen Ursprung in Einsparpotentialen von Ressourcen durch technologische Entwicklungen, z. B. beim Spritverbrauch von Autos. Die Annahme hier ist, dass durch den geringeren Spritverbrauch die Kosten pro gefahrenen Kilometer sinken und es dadurch zu einer stärkeren Nutzung des Autos kommt, was den Einspareffekt überwiegt und so in der Summe zu einer negativen Energiebilanz der technologischen Entwicklung führt (Berkhout et al. 2000, Greening et al. 2000).

Bei Digitalprojekten gibt es den sogenannten „Digital Rebound Effekt“ (Kunkel und Tyfield 2021: 3), der das gleiche Phänomen beim Einsatz digitaler Anwendungen beschreibt. Ein klassisches Beispiel hierfür sind Videokonferenzen, die für sich genommen ressourcensparender als ein physisches Treffen mit Anfahrtswegen sind. Entsteht durch die resultierenden niedrigeren Aufwände für Meetings aber eine signifikante Zunahme eben derer, wird ab einem bestimmten Niveau das Einsparpotential durch den quantitativen Anstieg aufgehoben (Malmodin et al. 2014). Solche Phänomene gilt es auch beim Einsatz von Digitaltechnologien für naturschutzfachliche Anwendungen zu berücksichtigen.

### **Patch-Effekte der Digitalisierung**

Ein „Patch“ bedeutet aus dem Englischen übersetzt in etwa „Korrektur“ oder „Flicken“ und bezieht sich zumeist auf das ausbessern/reparieren von Gegenständen, z. B. auch von Computerprogrammen, in denen Patches Korrekturauslieferungen zu einer Software darstellen. Die etwaige Problematik bei Patch-Effekten der Digitalisierung besteht nun darin, dass es Digitalprojekte geben kann, die zwar nachweislich einen positiven Einfluss auf eine Problemstellung haben können, aber dadurch von den Gründen ablenken, die überhaupt erst zum Problem geführt haben. Es wird also ein „Patch“ installiert, um die negativen Auswirkungen eines Trends oder Zustands mittels eines Digitalprojekts abzufedern. Dies kann im Extremfall dazu führen, dass die eigentliche Ursachenbekämpfung in den Hintergrund gerückt wird bzw. der betrachtete Zustand grundsätzlich legitimiert wird, da eine digitale Lösung zur Bekämpfung seiner verursachten negativen Konsequenzen existiert.

Ein Beispiel: Über mit Wärmebild- und optischen Kameras ausgestattete Drohnen könnte das Schalenwildmonitoring in Deutschland potentiell verbessern (Van Gemert et al. 2015, Beaver et al. 2020). Tiere können besser aufgespürt und von durch Verbiss gefährdeten Naturverjüngungsflächen ferngehalten werden. Es liegt also ein positiver Effekt der digitalen Anwendung auf eine Problemstellung im Naturschutz vor. Die Problematik eines Patch-Effekts würde entstehen, wenn dadurch die Hauptursachen einer grundsätzlich zu hohen Schalenwilddichte durch z. B. gezieltes Anfüttern (Ammer et al. 2010) toleriert bzw. durch den Einsatz der neuen digitalen Anwendung legitimiert wird.

Beide Betrachtungsweisen, Rebound-Effekte und Patch-Effekte, sollten in der holistischen Bewertung von Digitalprojekten berücksichtigt und angewandt werden (vgl. Exkurs: Holistische Bewertungsansätze von Digitalprojekten, S. 32).

## 5 Schwerpunkt: Datenmanagement im Naturschutz

Im allgemeinen Sprachgebrauch wird oft von einer „Datenexplosion“ durch die fortschreitende Digitalisierung gesprochen. Und ein erster Blick auf die Zahlen unterstützt dieses Schlagwort: Im Jahr 2018 wurden bereits 33 Zetabytes (1 Zetabyte = 10<sup>21</sup>) an digitaler Datenmenge erzeugt. Perspektivisch steigt dieser Wert auf 175 Zetabytes im Jahr 2025 an [Statista, 2021](#). Etwas konkreter: Ein einziges autonom fahrendes Auto erzeugt pro 1,5 Stunden Fahrtzeit etwa 4 Terabyte Daten [Intel, 2017](#). Auf einer Fahrt von München nach Hamburg fällt dabei eine Datenmenge an, die früher auf knapp 15 Millionen Floppy Disks<sup>2</sup> hätte Platz finden müssen. Auch im Naturschutz ist eine deutliche Zunahme digitaler Anwendungen zu verzeichnen, die große Datenmengen benötigen und oder erzeugen. Die hauptsächlich auf Länder- und Kommunalebene erhobenen Monitoringdaten bilden einen großen Datenpool, ebenso die ehrenamtlich erhobenen Daten der Verbände sowie vermehrt auch bürgerwissenschaftliche (Citizen Science) Initiativen. Letztere erhöhen nicht nur die Menge der sich im Umlauf befindenden Daten, sondern erzeugen auch neue Formate und Datentypen. Die App Flora Incognita z. B. trainiert ihren Erkennungsalgorithmus derzeit mit über 1 Million Testbildern, sogenannten Trainingsdaten (Mäder 2021). Darüber hinaus muss der Algorithmus/das Programm selbst als Quellcode abgelegt, sowie der Zugriff über eine API dokumentiert werden. Weiterhin entstehen durch die Nutzung der App Massendaten für ortsbezogene Pflanzenbestimmungen in Deutschland, die in bestehende Monitoringkonzepte integriert werden könnten.

Im Folgenden sollen die wichtigsten Trends und Entwicklungen des Bereichs Datenmanagement im Naturschutz geschildert werden, daraus resultierende Chancen und Risiken zusammengefasst, sowie erste zukunftsgerichtete Handlungsempfehlungen/Lösungsansätze skizziert werden.

### 5.1 Zunahme an Datenmengen und -typen

Wie in der Einleitung bereits erläutert, nimmt sowohl die Komplexität als auch die Menge der im Naturschutz verfügbaren Daten stetig zu. Wesentliche Treiber hierfür sind neue Monitoringansätze z. B. durch satellitengestützte Fernerkundung (vgl. Kap. 4) oder eDNA (vgl. Kap. 3.5), sowie der Einsatz neuer Verfahren aus den Bereichen KI und Blockchain, die neue Datenhaltungsformen und Dokumentationspflichten erfordern. Ein Beispiel hierfür sind die großen Mengen an Daten (Bilder, Videos, Tonaufnahmen etc.), die für das Training einer ML-Algorithmus benötigt werden.

Eine für den Naturschutz dabei grundsätzliche Unterscheidung ist die Qualität und Beschreibung der zu betrachteten Daten. Auf der einen Seite stehen qualitativ hochwertige, fachlich abgestimmte und gut dokumentierte Daten mit gepflegten Metadaten, die aus etablierten Monitoringkonzepten stammen. Auf der anderen Seite stehen eher quantitative Datensätze ohne detaillierte fachliche Prüfung, wie sie z. B. bei Gelegenheitsbeobachtungen in der Natur entstehen. Für den Naturschutz stellt sich die Frage, wie mit Crowdsourcing und Citizen Science Datenquellen umgegangen werden soll und wie sie sich mit Datenbeständen aus Monitoringprogrammen harmonisieren lassen.

---

<sup>2</sup> Ausgehend von einer 3,5“-Diskette mit 1,44 MB Speicherplatz



Neben der stetigen Zunahme an Datenmengen und -typen wird die Komplexität im modernen Datenmanagement durch neue Funktionen und Prozesse im Bereich der dezentralen Datenhaltung erhöht. Neben der Verwendung dedizierter Server und Infrastrukturen für Unternehmen und Behörden mit hohen Sicherheitsanforderungen etablieren sich zunehmend diverse Workflows im Bereich des Cloud-Computing. Hierbei werden IT-Ressourcen über das Internet bereitgestellt und befinden sich nicht mehr auf der eigenen IT-Infrastruktur, wie beim Einsatz lokaler oder dedizierter Server. Das Konzept des Cloud-Computing lässt sich weiterhin untergliedern in die Art der Bereitstellung der Cloud-Services. Als gängige Möglichkeiten stehen Infrastructure-as-a-Service (IaaS), Platform-as-a-Service (PaaS) und Software-as-a-Service (SaaS) zur Verfügung mit unterschiedlichen Auswirkungen auf die Anforderungen im Datenmanagement. Weitere Informationen hierzu finden sich z. B. auf den Seiten des [BSI](#) zum Thema Cloud Computing. Der Bund propagiert derzeit eine „Cloud-First“ Strategie [ITZ Bund, 2021](#) mit der konsequenten Weiterentwicklung der Bundescloud. Ein erster konkreter Anwendungsfall ist die E-Akte, die in der Bundescloud betrieben wird.

Eine Thematik, die unabhängig von der Form der Datenhaltung gilt, ist die Frage nach der langfristigen Aufbewahrung von Datenbeständen. Bei aktuell und zukünftig weiter steigenden Datenmengen im Naturschutz ist hier mit einem erhöhten Aufwand zu rechnen. Dies gilt auch für Bereiche außerhalb der Verwaltung, wie z. B. universitäre Forschungsdaten, sowie Datenbestände aus behördlich geförderten Forschungsvorhaben, die langfristig gesichert werden müssen.

Um Datenbestände vor unrechtmäßigen Zugriffen zu schützen steigen parallel auch die Anforderungen an die IT-Sicherheit und an den Datenschutz. Als ein Beispiel sind die vom Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik entwickelten Mindeststandards bei der Inanspruchnahme von externen Cloud-Diensten durch Verwaltungsorgane zu nennen (BSI 2021).

Weitere, eng mit der Thematik verknüpfte Diskurse, wie z. B. Open Data (vgl. Exkurs: Open Science, Open Access, Open Source, Open Data, S. 67), die Abhängigkeit von proprietärer Software oder die Herabsetzung der Wirksamkeit gängiger Datenverschlüsselungsverfahren durch Quantencomputer (vgl. Kap. 3.8) sollten eng begleitet und positiv gestaltet werden.

## **5.2 Harmonisierung und Verfügbarmachung von Datenbeständen**

Unter der Harmonisierung und Verfügbarmachung von digitalen Datenbeständen versteht man den Prozess, einer Thematik zuordbare Datensätze so aufzubereiten, dass diese an zentraler Stelle einer ohne Medienbrüche interoperabel verwaltet und bearbeitet werden können. Dafür müssen diese Datenbestände in einheitlich lesbaren Formaten vorliegen und über standardisierte Metadaten beschrieben werden. Dies erweist sich in der Praxis und insbesondere in föderalen Verwaltungsstrukturen als eine wesentliche Hürde für ein effizientes Datenmanagement.

Ein Beispiel hierzu: Für den innerdeutschen Artenhandel gibt es 238 zuständige Landesbehörden, welche u. a. Vermarktungsbescheinigungen erteilen, die EU-weite Gültigkeit haben. Wird ein Individuum zwischen 2 Händler:innen weitergegeben, entstehen umfangreiche Dokumentations- und Bescheinigungspflichten, z. B. zu Vermarktungsbescheinigungen sowie zu Melde- und Halterdaten, die von Behörde zu Behörde weitergegeben werden müssen, um den Handel

zu genehmigen. Da es aber keine einheitlichen Vorgaben gibt, wie diese Dokumentation in den jeweiligen Behörden erfolgen muss, rangieren die Lösungsräume von rein handgeschriebener physischer Datenablage, über Excel-Listen hin zu Software-Lösungen (z. B. ASPE). Dies erschwert und verzögert eine schnelle Antragsprüfung und -abwicklung. Hinzu kommen Schnittstellen zum internationalen Handel geschützter Arten, dem Zoll und weiteren Akteuren, wodurch die Komplexität nochmals erhöht wird. Das CITES Abkommen bietet zwar für den internationalen Artenhandel gute rechtliche Ansätze, umfassende Lösungen für einen einheitlichen internationalen Datenaustausch liegen aber auch hier noch nicht vor.

Allgemein lässt sich festhalten, dass eine Heterogenität bezüglich der eingesetzten Systeme, Datenstrukturen und inhaltlichen Standards in der Erfassung von naturschutzrelevanten Daten besteht (Richter 2019). Dies verursacht hohe Aufwände bei der angestrebten Harmonisierung, z. B. durch den Einsatz einer Vielzahl von taxonomischen Referenzlisten.

Gute Beispiele für eine bereits gelungene Harmonisierung von Datenbeständen ist die INSPIRE Richtlinie für Geodaten, sowie der nationale Bericht gemäß Art. 17 der Flora-Fauna-Habitat (FFH)-Richtlinie, für den die Länder ihre Daten über eine vom Bund zur Verfügung gestellte digitale Schnittstelle übermitteln können (Schneider et al. 2021). Das BfN stellt hier den Bundesländern eine Instanz und Schnittstelle der Software MultiBaseCS zur Verfügung, um wesentliche für den FFH-Bericht nach EU Richtlinie benötigte Informationen in einem einheitlichen Datenmodell zu erhalten und weiter zu verarbeiten. Das Datenmodell ist hierbei obligatorisch, die Schnittstelle über MultiBaseCS optional. Eine weitere erfolgreiche Initiative ist die NFDI<sub>4</sub>Biodiversity das sich als eine zentrale Anlaufstelle für den Umgang von Forschungsdaten aus Natur und Umwelt über den gesamten Datenlebenszyklus von Akquise bis Veröffentlichung versteht.

Grundsätzlich können folgende Erfolgsfaktoren für eine erfolgreiche Harmonisierung und Verfügbarmachung von Datenbeständen festgehalten werden:

**Einigung auf einheitliches Vorgehen:** Dieses kann sich auf unterschiedliche Aspekte, wie gemeinsam erarbeitete Standards zu Datenformaten oder Metadaten, oder die Wahl der Software, wie im Artenhandelbeispiel verdeutlicht, beziehen. Ein Positivbeispiel bildet hier der Bund-Länder Austausch von Schutzgebietsdaten, welcher auf einer Verwaltungsvereinbarung über den Datenaustausch basiert, die die konkreten fachlichen und technischen Vorgaben regelt, um die Interoperabilität der Daten zu gewährleisten. Auch der Aufbau der Geodateninfrastruktur für Deutschland ist ein positives Beispiel für Standardisierungsbestrebungen zwischen verschiedenen Akteuren, dessen Entwicklung vom Naturschutz als zentraler Akteur aktiv vorangetrieben wurde und wird.

Es gibt viele weitere Initiativen und Methoden, die ähnliche Ziele auf unterschiedlichen politischen Ebenen und thematischen Bereichen verfolgen, auf die hier nicht näher eingegangen wird. Einige relevante Initiativen finden sich in der ausführlichen Projektliste unter <http://bit.ly/3FN9Znd>.

**Maschinenlesbarkeit:** Das Zielbild ist die Verwendung international anerkannter Standards, um Daten auf einheitliche Art und Weise maschinenlesbar aufzubereiten. Ein Beispiel unter vielen ist die Verwendung der Extensible Markup Language (XML) zur Darstellung strukturierter Daten in einer Textdatei, aus der sich die für den Naturschutz relevanten Formate ABCD

und Darwin Core etabliert haben (Richter 2019). Dieser Standard kann z. B. für raumbezogene Objekte auf die Geography Markup Language (GML) erweitert werden. Auch in der INSPIRE-Richtlinie werden Vorgaben zu einheitlichen Datenmodellen und der Verfügbarmachung von Daten festgelegt. Darüber hinaus entstehen durch den Einsatz neuer Technologien auch neue Bedarfe an Standardisierungsprozessen, z. B. im Bereich der Künstlichen Intelligenz. Ein erster Ansatz hierzu wurde im Auftrag des BMWK als „German Standardization Roadmap on Artificial Intelligence“ entwickelt.

**Auffindbarkeit und Verfügbarkeit:** Grundsätzlich wird das Ziel verfolgt, Daten durch Repositorien und Schnittstellen, Application Programming Interfaces (APIs), einer gewünschten Zielgruppe zugänglich zu gestalten (vgl. Exkurs: Open Science, Open Access, Open Source, Open Data, S. 67). Durch die Erweiterung der im Naturschutzbereich eingesetzten Palette an digitalen Anwendungen und Verfahren ergeben sich auch neue Anforderungen an die langfristige Speicherung und Auffindbarkeit der neuen Datentypen und -formate. Beispiele hierfür sind Digitale Sequenzinformationen, die in speziell dafür ausgelegten Datenbanken gespeichert werden müssen. Das GBOL-Projekt bietet hier für Deutschland einen umfangreichen Datenbestand. Für die Bereitstellung von Software Entwicklungsprojekten und deren zugehöriger Code oder ML-Skripte hat sich GitHub als feste Größe etabliert.

**Klar definierter rechtlicher Nutzungsrahmen:** Fehlende Reglementierungen bei der Weitergabe und Verwendung urheberrechtlich geschützter Daten kann zu Verletzungen des Urheberrechts führen und wird von Akteuren ggf. als Hemmnis wahrgenommen, eigene Datenbestände für Dritte zur Verfügung zu stellen. Hinzu kommt die Angst vor möglichen inkorrekten Interpretationen der selbst erhobenen Daten. Auch unterschiedliche Level von Offenlegungspflichten verschiedener Akteure nach gesetzlichen Vorgaben, z. B. durch das Umweltinformationsgesetz (UIG) können Hemmnisse darstellen.

Für viele Datensätze, insbesondere wenn sie gut aufbereitet vorliegen, existiert eine Vielzahl an interessierten Akteuren aus Verwaltung, NGOs, Forschung und Privatwirtschaft, die sich einen einfachen und transparenten Zugang zu den jeweiligen Informationen wünschen. Für behördliche Daten des Naturschutzes gilt zunächst einmal das UIG, dessen Zweck es ist, den rechtlichen Rahmen für den freien Zugang zu Umweltinformationen bei informationspflichtigen Stellen sowie für die Verbreitung dieser Umweltinformationen zu schaffen (UIG 2004: Abs.1).

Darüber hinaus lässt sich der Trend zu einer verstärkten Aggregation in sogenannten Datenportalen der verstreut vorliegenden Datenbestände im Bereich des Naturschutzes beobachten. Einzelne Datensilos sollen aufgebrochen, zusammengeführt und über eine zentrale Schnittstelle oder Dienst ansprechbar sein, um dem Endnutzer ein schnelleres Auffinden und Nutzen der benötigten Datensätze zu ermöglichen. Die Datenstrategie der Bundesregierung unterstützt diese Auffassung mit dem Ziel der Schaffung sogenannter Datenräume, z. B. für den Bereich Umwelt (Bundeskanzleramt 2021: 28). Als stellvertretende Initiativen wären hier das Nationale Monitoringzentrum zur Biodiversität (NMZB), FloraWeb, Umwelt.info (ehem. UNIS-D), NFDI<sub>4</sub>Biodiversity, oder der GBOL zu nennen.

Grundsätzliche Erfolgsfaktoren für Datenportale sind eine hohe Abdeckung der verfügbaren Datensätze zu einem thematischen Schwerpunkt, eine gute Dokumentation der

Datengrundlage und Schnittstelle für den Datenzugriff sowie eine hohe User Experience im Umgang mit dem gewünschten Datensatz.

Tab. 6: Projektauswahl im Bereich Datenmanagement im Naturschutz. Mit \* markierte Anwendungen wurden vom BfN gefördert. (BfN I 1.1)

Projektname (mit Link)	Beschreibung
<a href="#">ASPE</a>	Verbreitete Behördensoftware zur Bearbeitung von Artenschutzverfahren, der Verwaltung von Tier- und Pflanzenarten sowie deren Haltern und Besitzern.
<a href="#">Biota-D</a>	Das Biota-Datenzentrum ist ein Dienstleister zur Erstellung von Kartierungsportalen inkl. Eingabe- und Analysetools. Die Daten können mit Tabellen, Karten und/oder Grafiken ausgewertet und visualisiert werden. Biota-D übernimmt außerdem das Datenhosting.
<a href="#">International Barcode of Life (iBOL)</a>	International Barcode of Life (iBOL) ist ein internationales Projekt, bzw. Konsortium, um eine weltweite Datenbank (BOLD) für digitale Sequenzinformationen aufzubauen. Die Teilnahme erfolgt über eine zentrale Organisation (z. B. Behörden, Museen) in jedem Land. In Deutschland ist die German Barcode Of Life (GBOL) die nationale Barcoding-Initiative, die die DNA-Barcodes der deutschen Fauna, Flora und Pilze in die BOLD-Datenbank einspielt.
<a href="#">Informations- und Vernetzungsplattform (IVP) des NMZB*</a>	IVP des Nationalen Monitoringzentrums zur Biodiversität (NMZB) zur Weiterentwicklung und langfristigen Sicherung des bundesweiten Biodiversitätsmonitoring. Weitere Ziele sind die Verbesserung des Datenzugangs, der Akteursvernetzung und des Wissenstransfers sowie der Weiterentwicklung von Erfassungs- und Auswertungsmethoden.
<a href="#">MultibaseCS</a>	Software zur Erfassung, Verwaltung und Auswertung von Tier- und Pflanzenvorkommen. Weit verbreitet genutzte Behördensoftware. Das BfN stellt den Ländern bei Bedarf eine MultibaseCS Lösung für das FFH-Monitoring zur Verfügung gestellt.
<a href="#">NFDI4Biodiversity</a>	NFDI4Biodiversity gehört zu den ersten neun Konsortien der Nationale Forschungsdateninfrastruktur (NFDI), die im Oktober 2020 offiziell gestartet sind, und widmet sich dem Aufbau einer Community rund um Biodiversitätsdaten. Mit dem vom Konsortium entwickelten und gepflegten Portfolio an Services sollen Daten langfristig gesichert, organisiert, publiziert und somit nachnutzbar gemacht werden. NFDI4Biodiversity übernimmt die Services und Arbeiten von GFBio.
<a href="#">umwelt.info</a>	Im Aufbau befindliches Portal für einen zentralen Zugang zu Umwelt-, Natur- und Klimaschutzinformationen und -daten aus den Umweltverwaltungen des Bundes und der Länder.
<a href="#">vegetweb 2.0*</a>	vegetweb ist eine pflanzensoziologische Datenbank, in der Vegetationsaufnahmen online recherchiert, dargestellt und zur weiteren Verarbeitung heruntergeladen werden können.
<a href="#">WerBeo*</a>	Digitale Werkzeuge zur Erfassung und Bearbeitung biologischer Beobachtungsdaten in Deutschland (WerBeo). Ziel ist die föderal-verteilten Beobachtungsdaten verschiedener Flora und Fauna Artengruppen zusammenzuführen und zu veröffentlichen sowie Möglichkeiten zentraler Auswertungen zu schaffen.

### 5.3 Potentiale und Chancen

**Transparentere Entscheidungen und Vertrauensbildung:** Eine objektive Informationsgrundlage durch harmonisierte und für alle relevanten Stakeholder zugängliche Daten verbessert die Grundlage zur transparenten Entscheidungsfindung, bei der eine naturschutzfachliche Betrachtung notwendig ist. Je sicherer ein Standpunkt datenbasiert begründbar ist, desto höher die Chance argumentativ gehört zu werden. Dies kann durch eine verbesserte Nachvollziehbarkeit von Entscheidungen parallel auch grundsätzlich das Vertrauen der Bevölkerung in politische Entscheidungen stärken.

**Stärkung des wissenschaftlichen Diskurses und Erschließung neuer Forschungsfelder:** Neben Politik und Verwaltung wird auch der wissenschaftliche Diskurs im Themenfeld Naturschutz durch eine breitere und besser zugängliche Datengrundlage gestärkt. Durch das Schaffen von

interoperablen Daten innerhalb des Naturschutzes (z. B. EU/Bund/Länder Austausch), aber auch zu anderen Disziplinen wie Wirtschaft (Planungsverfahren) oder Gesellschaft entstehen neue Ansätze für interdisziplinäre Forschungsfelder und datenbasierte Anwendungen. Als Beispiel hierfür ist die Verknüpfung der Daten von Privatunternehmen aus Genehmigungsverfahren von Windenergieanlagen (WEA) mit naturschutzfachlichen Datenbeständen, z. B. der Länder, zu nennen.

**Beschleunigte Verwaltungsprozesse:** Ein effizientes Datenmanagement kann zu erheblich beschleunigten Verwaltungsprozessen und einer geringeren Fehleranfälligkeit führen, wie z. B. in den erwähnten Beispielen CITES, FFH-Berichterstattung oder Schutzgebietsdaten.

**Zielgruppenorientierte Kommunikation:** Gut aufbereitete naturschutzfachliche Daten bilden die Grundlage für eine zielgruppenorientierte Kommunikation an spezielle Interessensgruppen sowie die breite Öffentlichkeit.

## 5.4 Herausforderungen und Risiken

**Zunehmende Heterogenität im Datenmanagement:** Fehlende zentrale Vorgaben, auf freiwilliger oder rechtlich verbindlicher Basis, können dazu führen, dass die Heterogenität im Datenmanagement stark zunimmt. Daraus resultieren eine Vielzahl komplexer Datenportale mit inhaltlichen Überschneidungen, unterschiedliche Metadatenstandards und Dateiformaten. Dies kann zu einem erschwerten Umgang mit benötigten Datensätzen aus Sicht der Endnutzer:innen führen.

**Erschwerte Vergleichbarkeit durch steigende Komplexität:** Durch die Zunahme an neuen datenbasierten Verfahren im naturschutzfachlichen Monitoring, z. B. durch Citizen Science Daten aus Arterkennungsapps wie Flora Incognita oder digitale Sequenzinformationen aus eDNA Monitoringprogrammen wird es schwieriger eine qualitätsgeprüfte Vergleichbarkeit innerhalb unterschiedlicher Monitoringverfahren zu gewährleisten. In ihrer qualitativen Reife unterschiedliche Datensätze könnten vermischt oder mit gleichem Maßstab in ihrer Wertigkeit interpretiert werden.

**Fehlende Standards durch föderale Strukturen:** Sequentielle und parallele Bearbeitung von Fragen rund um das Thema Datenmanagement durch föderale Strukturen können ein Hemmnis in der Harmonisierung von naturschutzrelevanten Datenbeständen in Deutschland darstellen. Die Entwicklung einheitlicher Standards muss von allen involvierten Stakeholdern mitgetragen werden um ihre volle Wirkung zu erzielen. Dies ist bei einer hohen Anzahl an verantwortlichen Stellen für ein konkretes Themenfeld sehr schwierig umzusetzen.

**Fehlende Ressourcen:** Auf der Verwaltungsebene im Naturschutz besteht die Gefahr, dass der Aufwand für die Umsetzung eines modernen Datenmanagements nicht adäquat abgeschätzt wird und es somit zu einem Mangel an Fachpersonal sowie technischen Ressourcen kommt, was wiederum zu einem ineffizienten Datenmanagement und damit letztendlich zu einem ineffektivem Naturschutz führt.

**Verschleppung von Innovationspotentialen:** Da ein professionelles Datenmanagement die absolute Grundlage für den Einsatz einer Vielzahl neuer Technologien, wie z. B. KI oder Blockchain darstellt, besteht die Gefahr, dass bei einer unzureichenden Berücksichtigung des Themas weiterführende innovative Bereiche perspektivisch nicht erschlossen werden können.

## 5.5 Bewertung und Lösungsansätze

Der Naturschutz muss grundsätzlich mit den nötigen finanziellen Ressourcen ausgestattet werden, um auf die hier skizzierten steigenden Anforderungen im Bereich Datenmanagement reagieren zu können. Finanzielle Hürden sind aber nicht die einzigen Problemstellungen. Harmonisierungsprozesse und die Festlegung auf einheitliche Standards sind oft eher eine Frage der politischen Rahmenbedingungen und nur schwer im Konsens umsetzbar. Jede Standardisierung bedeutet für die involvierten Stakeholder, die noch nicht mit dem propagierten neuen Standard arbeiten, einen Mehraufwand. Grundsätzlich ist natürlich an erster Stelle der konstruktive Dialog zwischen allen beteiligten Akteuren zu suchen. Aber auch ein rechtlich verbindlicher Rahmen kann zu Fortschritten führen.

Treiber und Trends im Bereich Datenmanagement, wie sie in diesem Kapitel skizziert wurden, sollten immer kritisch, aber ergebnisoffen analysiert werden um aktuelle und zukünftige Auswirkungen auf den Naturschutz frühzeitig zu erkennen. Darauf aufbauend können geeignete Strategien abgeleitet werden, wie die sich zukünftig ergebenden Chancen für den Naturschutz genutzt und die Risiken minimiert werden können.

### **Exkurs: Digitalisierung und gesellschaftliche Transformation**

Der digitalen Transformation wird großes Veränderungspotenzial zugeschrieben, also die Kraft etablierte Formen der Kommunikation, des Wirtschaftens und des Zusammenlebens zu verändern. Aus ökologischer und sozialer Perspektive zeigt sich allerdings, dass die digitale Transformation die Welt nicht automatisch nachhaltiger macht (WBGU 2019).

Dafür können zahlreiche Belege gefunden werden, wenn beispielsweise die materielle Basis der Digitalisierung, oder die Zuspitzung lokaler bis globaler Ungleichheiten in den Blick genommen werden (Andersen et al. 2021, Höfner und Frick 2019). Angesichts des Klimawandels und des Rückgangs der Biodiversität gerät daher die Notwendigkeit für grundlegende gesellschaftliche Veränderungen immer stärker in den Fokus (WBGU 2011). Die Vorstellung einer sozial-ökologischen Transformation hat sich in diesem Zusammenhang als ein wichtiges Leitbild herauskristallisiert (Höfner und Frick 2019, Uhle und Lange 2017, Brand 2014, WBGU 2011). Der Weltbiodiversitätsrat formuliert eine vergleichbare Zielrichtung unter dem Stichwort „Transformativer Wandel“ (transformative change) [IPBES](#).

Eine zentrale Frage in diesem Zusammenhang kann gegenwärtig jedoch noch nicht allumfänglich beantwortet werden: Wie kann die digitale Transformation in den Dienst grundlegender sozial-ökologischer Veränderungen gestellt werden, um gerechte Antworten auf die ökologischen Krisen zu finden?

Aus Perspektive des Naturschutzes zeichnet sich allerdings deutlich ab, dass die Digitalisierung nicht nur zur verbesserten Datenerfassung eingesetzt werden sollte. Vielmehr muss die digitale Transformation so gestaltet werden, dass die vom Weltbiodiversitätsrat formulierten direkten und indirekten Treiber für den Verlust von Biodiversität entweder nicht weiter durch Digitalisierung befeuert werden, oder – noch besser – durch digitale Möglichkeiten deutlich abgeschwächt werden (IPBES 2019).

## 6 Schwerpunkt: Maschinelles Lernen und Künstliche Intelligenz im Naturschutz

Kaum ein Thema der Digitalisierung verspricht gegenwärtig so große Chancen und provoziert so dystopische Befürchtungen wie die sogenannte Künstliche Intelligenz (KI). Schon der Begriff KI legt eine Vergleichbarkeit zwischen lernenden Maschinen und menschlicher Intelligenz nahe. Die Realität ist davon jedoch noch weit entfernt, dennoch bietet KI schon heute große Potenziale - nicht zuletzt für den Naturschutz. So können KI und maschinelles Lernen (ML) Antworten auf zwei wichtigen Feldern bieten (Boukabara et al. 2021). Einerseits existieren mit ML und KI geeignete Methoden, um stetig wachsende Datenmengen aus vielfältigen Quellen gewinnbringend für den Naturschutz nutzbar zu machen (vgl. Kap. 4). Zugleich bietet ML wichtige Möglichkeiten den steigenden gesellschaftlichen Bedarf an Daten und Wissen über Ökosystemzustände und den anthropogenen Einfluss auf Natur zu befriedigen (ebd.). Dabei ist es wichtig, den Blick nicht nur auf prominente Beispiele zu richten, deren Nutzen für den Naturschutz in vielen Fällen empirisch noch nicht eingeschätzt werden kann (Martini et al. 2020). Auch auf dem Feld der Modellierung gelten Big Data und maschinelles Lernen als wichtige Zukunftsthemen (vgl. Exkurs: Modellierung und Naturschutz, S. 64).

Das BMUV fördert die Entwicklung von KI und ML im Natur- und Umweltschutz über das Programm KI-Leuchttürme und setzt sein Fünf-Punkte-Programm für Künstliche Intelligenz um. Parallel nimmt das Anwendungslabor für Künstliche Intelligenz und Big-Data gegenwärtig seine Arbeit für den Geschäftsbereich des BMUV auf. Letzteres wird durch am Umweltbundesamt in Leipzig angesiedelt und von der KI-Taskforce des BMUV unterstützt.

Das folgende Kapitel bietet einen systematischen Überblick über die vielfältigen Anwendungsfelder und Anwendungsfälle von ML im Naturschutz. Darüber hinaus werden die Voraussetzungen für den Einsatz von ML skizziert, sowie Potenziale, Risiken und Lösungswege zum Umgang mit problematischen Aspekten aufgezeigt.

### 6.1 Definitionen und Taxonomien

Die Definitionen der Begriffe Künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen sind vielfältig und hängen vom jeweiligen Einsatzfeld und Kontext ab (Samoili et al. 2020: 7, Hatibouglu et al. 2019, HEG-KI 2018). Darüber hinaus sorgt die Breite des Themas dafür, dass Definitionen häufig nur den kleinsten gemeinsamen Nenner umfassen und somit einen hohen Grad an Abstraktion aufweisen. Der wesentlichste Unterschied von KI und ML gegenüber Algorithmen, also Programmabläufen mit einer vorgefertigten logischen Abfolge, ist deren Lernfähigkeit und Nicht-Festlegung von Lösungsabläufen sowie deren Einbeziehung von Trainingsdaten zur Findung eines Lösungswegs (Martini 2021). Hinzu kommt, dass die assoziative Kraft und die fehlende eindeutige Festlegung des Konzeptes der Intelligenz dazu geführt haben, dass in der KI-Forschung vereinfachend von Rationalität gesprochen wird (HEG-KI 2018).

Die folgende vergleichsweise detaillierte Definition der Europäischen Kommission wurde mit dem Ziel aufgestellt: „Missverständnissen vorzubeugen und eine gemeinsame Wissensbasis über die KI zu schaffen, die auch von Nichtfachleuten sinnvoll genutzt werden kann“ (ebd., Samoili et al. 2020, Borutta et al. 2020).

„Systeme der künstlichen Intelligenz (KI-Systeme) sind vom Menschen entwickelte Softwaresysteme (und gegebenenfalls auch Hardwaresysteme), die in Bezug auf ein komplexes Ziel auf physischer oder digitaler Ebene handeln, indem sie ihre Umgebung durch Datenerfassung wahrnehmen, die gesammelten strukturierten oder unstrukturierten Daten interpretieren, Schlussfolgerungen daraus ziehen oder die aus diesen Daten abgeleiteten Informationen verarbeiten, und über das bestmögliche Handeln zur Erreichung des vorgegebenen Ziels entscheiden. KI-Systeme können entweder symbolische Regeln verwenden oder ein numerisches Modell erlernen, und sind auch in der Lage, die Auswirkungen ihrer früheren Handlungen auf die Umgebung zu analysieren und ihr Verhalten entsprechend anzupassen. Als wissenschaftliche Disziplin umfasst die KI mehrere Ansätze und Techniken wie z. B. maschinelles Lernen (Beispiele dafür sind „Deep Learning“ und bestärkendes Lernen), maschinelles Denken (es umfasst Planung, Terminierung, Wissensrepräsentation und Schlussfolgerung, Suche und Optimierung) und die Robotik (sie umfasst Steuerung, Wahrnehmung, Sensoren und Aktoren sowie die Einbeziehung aller anderen Techniken in cyber-physische Systeme).“ (HEG-KI 2018)

Orientiert an dieser Definition haben Samoili et al. (2020) eine Systematik der Forschungs- und Anwendungsfelder von selbstlernenden Systemen entwickelt. Diese Systematik wird etwas abgewandelt auch von der Plattform selbstlernende Systeme (PLS) verwendet. Im Rahmen der vorliegenden Veröffentlichung wurde die, das gesamte Feld selbstlernender Systeme abdeckende, Gliederung auf die wichtigsten Anwendungsfelder im Naturschutz angepasst.

Abbildung 6 (S. 56) orientiert sich an der von Samoili et al. (2020) und der PLS verwendeten Systematik und erweitert sie um einen beispielhaften Überblick konkreter Anwendungsfälle im Naturschutz.

Diese Systematik ermöglicht es, Ergebnisse in der KI-Forschung und in Sektoren wie der Landwirtschaft, der Industrie oder der Klimaforschung mit potenziellen Anwendungen im Naturschutz in Bezug zu setzen. Zugleich ist so eine schnelle Überprüfung der Übertragbarkeit von Methoden auf Anwendungsfelder des Naturschutzes möglich. Für eine weiterführende Recherche zu einzelnen Domänen und Anwendungsfeldern stehen in einer Studie des JRC ausführliche Listen mit Schlüsselworten zur Verfügung (Samoili et al. 2020: 14 ff.).

Auf eine systematische Gliederung von KI anhand technisch-methodischer Kriterien soll an dieser Stelle verzichtet werden. Diese sind unter anderem in Veröffentlichungen von Barredo Arrieta et al. (2019), Rolnik et al. (2019) oder Döbel (2018) ausführlich beschrieben. Eine weniger systematische, aber dafür sehr anwendungsorientierte Darstellung hat der Verband BITKOM veröffentlicht (BITKOM 2021).



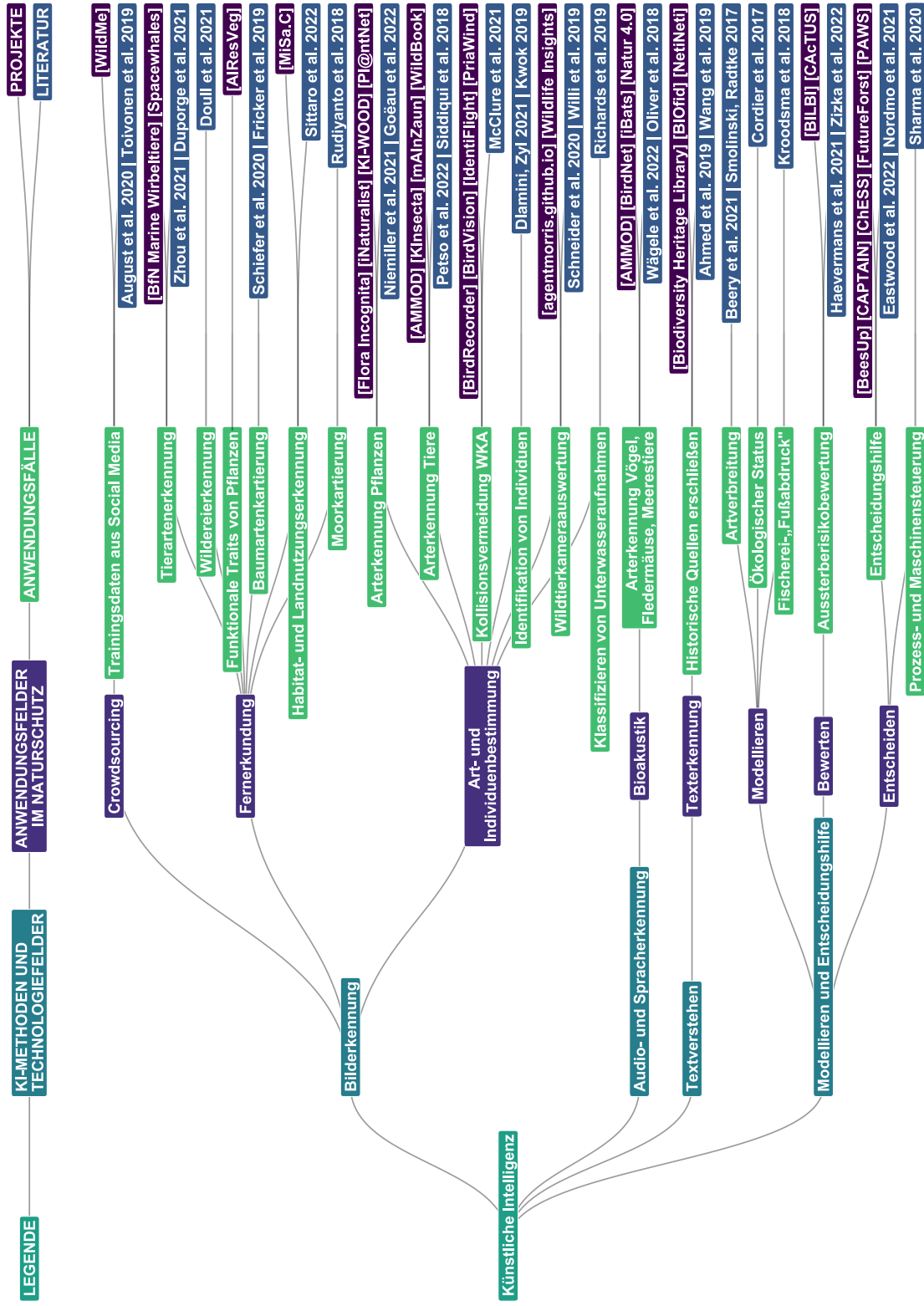


Abb. 6: Anwendungsfelder und Beispiele für maschinelles Lernen im Naturschutz (BfN FG I 1.1)

## 6.2 Grundlagen und Voraussetzungen

Neben ausreichend Rechenleistung ist die Verfügbarkeit von geeigneten Daten eine wichtige Voraussetzung für den Einsatz von ML. Dies gilt einerseits für entsprechend aufbereitete Trainingsdatensätze, als auch für die Datensätze, welche von den trainierten KI-Modellen ausgewertet werden sollen (vgl. Kap. 5).

Die Datenmenge kann dabei erheblich variieren. Der Bedarf an annotierten Trainingsdaten hängt stark vom verwendeten KI-Modell, von der Fragestellung und deren Komplexität ab. Sie reichen häufig von Hunderten bis Tausenden manuell klassifizierten Beispielen (Kwok 2019). Das Modell hinter der bekannten Pflanzenbestimmungssapp Flora Incognita basiert zum Beispiel auf mehr als einer Million klassifizierten Pflanzenbildern (Mäder et al. 2021). Öffentlich nutzbare Bildtrainingsdatenbanken wie ImageNet [image-net.org](http://image-net.org) oder Googles [Open Images Dataset](#) enthalten mehrere Millionen Bilder mit den zugehörigen Klassen. Open-source Programme wie die des Animal Detection Networks stehen zum Beispiel für die semiautomatische Klassifikation und Annotation von Wildtier-Fotos zur Verfügung und in der Wissenschaft wird verstärkt an Methoden zur Schaffung qualitätsgeprüfter Trainingsdaten gearbeitet (Yang et al. 2021, [BBoxEE](#)). Internetunternehmen sind diesbezüglich schon einige Schritte weiter. Facebook experimentiert inzwischen bereits mit Trainingsdatensätzen die mehrere Milliarden Instagramfotos enthalten, um Hashtags vorherzusagen (Mahajan et al. 2018). Die Modelle hinter dem Textgenerator [ChatGPT](#) wurden mit rund 300 Milliarden Wörtern trainiert.

Entsprechend unterschiedlich ist der Bedarf an Rechenleistung. Einfache Modelle, etwa zur Klassifikation von Baumarten für ein Waldstück von mehreren Hektar Größe, können in überschaubarer Zeit auf einem gängigen PC gerechnet werden. Ein vollständiges Training des CNN-Classifiers von Flora Incognita dauert hingegen mehrere Monate (Mäder et al. 2021). Facebook brauchte für sein Modell zur Vorhersage von Hashtags trotz seiner immensen Rechenleistung rund 22 Tagen für ein Training (Mahajan et al. 2018: 5).

Auch die Anpassung von KI-Modellen (eng. hyper parameter tuning) ist eine wichtige Voraussetzung, um die gewünschte Performanz zu erreichen. Bei diesem Schritt können erhebliche Rechenzeiten und die daran geknüpften Kosten und Energiebedarfe nötig sein. So nutzte Google mehr als 12.800 unterschiedliche Neuronale Netze zur Parametrisierung, um die Performanz seiner Objekterkennung und Sprachmodellierung zu verbessern (Schwartz et al. 2020).

Insbesondere im ehrenamtlichen Naturschutz können Kosten eine hohe Hürde darstellen, wenn es um den Einsatz von ML/KI geht (Schwartz et al. 2020). Laut Kwok (2019) belaufen sich die Kosten eines neuen Projekts zu KI-gestützten Erkennung einer neuen Wildtierart auf der Plattform Wild.me typischerweise auf zwischen 10.000 und 20.000 US Dollar. Allerdings ist zu erwarten, dass mit fortschreitender Entwicklung mehr öffentliche Trainingsdatensets und trainierte Modelle zur Verfügung stehen und die Kosten sinken. Es gibt bereits kommerzielle Angebote wie [Conservation Metrics](#), die eine Artenklassifizierung anhand von Audioaufnahmen ab wenigen US Dollar pro Stunde Audiomaterial anbieten.

Eine wichtige Voraussetzung für die Anwendbarkeit von KI/ML im Naturschutz ist auch die „Reife“ der Systeme. Sie gibt an, ob KI/ML-Methoden bereits im Kontext von Naturschutzorganisationen, Fachgesellschaften, öffentlicher Verwaltung und Vollzug einsetzbar sind.

### 6.3 Potenziale und Chancen

Wenngleich der tatsächliche Nutzen vieler KI-Anwendungen für den Naturschutz erst noch empirisch nachgewiesen werden muss, ist es unbestritten, dass diese Systeme große Chancen bergen. Das wird nicht zuletzt anhand der großen Fülle bereits existierender Anwendungen deutlich (vgl. Exkurs: Digitale Anwendungen und Projekte im Naturschutz, S. 20). Im Einzelnen wären folgende Vorteile zu nennen.

**Erleichterte Datenerhebung:** Mit der Hilfe von KI-Systemen wird bereits heute die Datenerhebung im Feld unterstützt. Insbesondere im Bereich Citizen Science sind diese Anwendungen weit verbreitet (iNaturalist, Flora Incognita, PlantNet, Franzen et al. 2021, Lemmens et al. 2021). Aber auch die Kartierungen von Fachleuten können in absehbarer Zeit durch KI-Anwendungen unterstützt werden. Automatisierte Arterkennungssysteme können dann einen Teil der Identifikation übernehmen, sodass die Expert:innen ihre Aufmerksamkeit vor allem auf die aufwendig zu bestimmenden Arten fokussieren können. Auch auf dem Feld der Vorbereitung von Feldkampagnen bieten KI-Systeme Potenziale, von automatisierter, fernerkundungsgestützter Veränderungserkennung bis hin zur Optimierung von Untersuchungsdesigns und zugrundeliegenden Theorien (Desjardins-Proulx et al. 2021).

**Erschließung neuer und bislang nicht digital erschlossener Datenbestände:** KI-Systeme bieten die Chance die immensen Datenmengen aus digitalisierten Sammlungen, sowie von neuen Methoden, Sensoren, aus der Fernerkundung und von Social Media-Veröffentlichungen für den Naturschutz nutzbar zu machen (Boukabara et al. 2021, Tuia et al. 2021, August et al. 2020). Maschinelles Lernen kann dabei sehr gut mit hochgradig multivariaten und „ungeordneten Daten umgehen, um aus ihnen nichtlineare Funktionen herauszulesen“ (Kaack in Schulzki-Haddouti 2021: 35, Lary et al. 2016). Diese Vorteile werden in anderen Bereichen wie der Klimamodellierung bereits verbreitet eingesetzt (Cowls et al. 2021). ML können zugleich dazu dienen, komplexe Simulationen effektiver zu gestalten, ökologische Theoriebildung zu unterstützen und Methoden des Biodiversitätsmonitorings zu optimieren (Kaack in Schulzki-Haddouti 2021: 35, Makiola et al. 2020: 8 ff., Desjardins-Proulx et al. 2019).

**Umweltbeobachtung, Umwelt-Governance und Überwachung von Umweltzielen:** Vor allem in Verbindung mit Fernerkundungsdaten von Satelliten und Befliegungen werden lernenden Systemen große Potenziale zur Umweltüberwachung zugesprochen (Martini et al. 2021). Auch im Zusammenhang des New Green Deals der EU und der EU Agrarpolitik wird der Einsatz von KI zu Zwecken der Umweltbeobachtung und Regulation diskutiert (Gailhofer et al. 2021). Dabei bleibt es zu prüfen, welche Zielgrößen des Naturschutzes mithilfe der zur Verfügung stehenden Sensoren wirklich zielführend erfasst werden können, um dann wiederum mit KI/ML ausgewertet zu werden. Darüber hinaus liegen große Chancen in der Nutzung von KI/ML zur Modellierung von Ökosystemzuständen und zur Simulation politischer Handlungsalternativen (Martini et al. 2021, Rana et al. 2019).

Mit Blick auf Anwendungen im Bereich Umweltschutz verweisen Martini et al. (2021) auf die Möglichkeiten von KI zur Kommunikation und Öffentlichkeitbeteiligung via Chatbots und Anfragenmanagementsystemen. Auch auf dem Feld der Anlagenkontrolle werden KI-Systeme bereits eingesetzt BirdVision.

**Zustandserkennung, Managementempfehlungen und Steuerung von Maßnahmen:** KI-Systeme in Land- und Forstwirtschaft, aber auch in der Industrie zeigen, dass sie sehr geeignet sind Zustandsänderungen von Systemen automatisiert zu erkennen und die menschliche Nutzung von Ökosystemen auf Nachhaltigkeit hin optimieren können (Cognitive Weeding, Cows et al. 2021, Kaack in Schultz-Haddouti 2021, Martini et al. 2021). Hierbei ist die Übertragbarkeit auf den Naturschutz zu überprüfen.

**Interne Unterstützung von Verwaltung und Organisationen:** Auch die interne Digitalisierung von Naturschutzverwaltungen und -organisationen kann durch KI-Systeme unterstützt werden. Aufgaben, die z. B. mit aufwendigen externen Recherchen oder internen Suchaufgaben in heterogenen Datenbeständen verbunden sind, lassen sich automatisieren und optimieren, wie es von kommerziellen Angeboten bereits vorgemacht wird (AskBrian, Wiggers 2020).

## 6.4 Herausforderungen und Risiken

Der Einsatz von ML im Naturschutz ist weder grundsätzlich positiv oder negativ zu bewerten, noch ist diese Technologie per se als neutral einzuschätzen (nach Kranzberg 1986 in Kharazian 2016). Entstehungsbedingungen, Kontext und tatsächlicher Gebrauch entscheiden auch hier darüber, ob positive oder negative Aspekte überwiegen (Cardon et al. 2018).

So können zum Beispiel Anwendungen, wie automatische Arterkennung mit einem großen Wert für den Naturschutz auch im negativen Sinne zur Identifikation seltener Pflanzen genutzt werden, um diese gezielt auszugraben. Grundsätzlich ist es wichtig, dass Anwender:innen und Betroffene von ML-Anwendungen deren Ergebnisse nicht blind vertrauen, sondern in die Lage versetzt werden, informierte Entscheidungen über Nützlichkeit und Sinnhaftigkeit fällen können.

Die Risiken und negativen Aspekte von ML werden im Folgenden unter den Punkten direkter Naturschutzbezug, indirekter Naturschutz- und Umweltbezug, soziale, politische und ethische Implikationen, sowie grundsätzliche Risiken aufgeteilt.

### Naturschutzbezug im engeren Sinne

**Hürden der interdisziplinären Zusammenarbeit:** Die interdisziplinäre Annäherung von Naturschutz, Ökologie und Biologie mit Computerwissenschaften und KI-Forschung ist vergleichsweise jung. Sie birgt die Gefahr, dass Grundannahmen der jeweils anderen Disziplin falsch übersetzt oder gedeutet werden und in kaum nachvollziehbare Systeme integriert werden. Dies spiegelt sich in der Nutzung unterschiedlicher konzeptioneller Grundlagen bis hin zu unterschiedlichen Programmiersprachen wider (Gimenez et al. 2021). Wearn et al. (2019) weisen außerdem darauf hin, dass einfache Genauigkeitsmaße, wie sie in der KI-Forschung verwendet werden, unzureichend sind, wenn es darum geht, Modelle auf neue Datensätze anzuwenden, zum Beispiel veränderte Standorte, oder Zeitpunkte der Datenerhebung.

**Ungewollte Konsequenzen:** Anwendungsfehler sowie unerkanntes oder unerwünschtes Verhalten von KI-System können zu falschen Entscheidungen führen. So kann die Anwendung von Trainingsdaten, in denen seltene Spezies unterrepräsentiert sind, dazu führen, dass zum Beispiel deren Habitatansprüche falsch bewertet werden, oder deren Aussterberisiko falsch klassifiziert wird (Wearn et al. 2019). Die häufig fehlende Nachvollziehbarkeit und Transparenz

von KI-Methoden lässt dieses Risiko im Vergleich zu etablierten statistischen Verfahren ungleich stärker werden.

**Intensivierung der Nutzung von Ökosystemen:** Gegenüber dem Naturschutz sind KI-Systeme in anderen Sektoren wie der Landwirtschaft, dem Energie- und Mobilitätssektor oder der Extraktionsindustrie schon wesentlich verbreiteter und führen zu deren Optimierung und Intensivierung (vgl. Exkurs: Digitalisierung für Naturschutz in anderen Bereichen von Wirtschaft und Gesellschaft, S. 88). Ziele dieser Sektoren stehen häufig in direktem Konflikt zum Naturschutz.

**Missbrauch:** KI-Systeme, die für den Naturschutz entwickelt wurden, können für Zwecke gebraucht werden, die ihm direkt entgegenstehen. Häufig wird das automatisierte Identifizieren oder Lokalisieren von geschützten Arten für den illegalen Wildtierhandel genannt. (Wearn et al. 2019).

### **Umwelt- und indirekter Naturschutzbezug**

**Energie und Ressourcenverbrauch:** Eines der am häufigsten genannten Umweltrisiken von KI-Systemen ist deren stetig steigender Bedarf an Energie und Hardware. Diese werden zum überwiegenden Teil nicht auf nachhaltige Weise gewonnen und produziert. Deshalb führen sie zu hohen Emissionen von CO<sub>2</sub> und verursachen negative Naturschutzwirkungen durch die Extraktion von Rohstoffen oder die nicht nachhaltige Entsorgung von Elektroschrott (Cowls et al. 2021, van Wynsberghe 2021, Schwartz et al. 2020, Strubell et al. 2019).

### **Soziale, politische und ethische Implikationen**

**Überwachung, Stigmatisierung und Akzeptanzverlust:** KI-Systeme eignen sich in besonderem Maße, menschliches Verhalten zu erfassen. Auf Basis von Fernerkundungsdaten, Ortsangaben von Schiffen, Landmaschinen und Mobiltelefonen können mit KI-Systeme einerseits wertvolle Daten über Mensch-Natur-Interaktionen analysiert werden. Andererseits können die Ergebnisse auch für eine sehr engmaschige Überwachung genutzt werden, zum Beispiel per Gesichtserkennung. Gegenwärtig werden darüber hinaus Systeme entwickelt, welche Arbeitszeiten auf Fischereiboote registrieren, landwirtschaftliche Aktivitäten permanent überprüfen oder Wander:innen auf ihrem Weg verfolgen. Allein das Potenzial der Technologie kann ohne Regulierung zu erheblichem Akzeptanzverlust auch gegenüber Anwendungen im Naturschutz führen.

Darüber hinaus können insbesondere KI-Anwendungen zur automatischen Erkennung von naturschädlichem Verhalten wie illegale Fischerei und Wilderei, durch unerkannte Fehlklassifikationen dazu führen, dass Menschen diskreditiert werden und das Vertrauen in wissenschaftsbasierte Ansätze des Naturschutzes verloren gehen (Schultz-Haddouti 2021, Wearn et al. 2019).

**Reproduktion von Vorurteilen und Falschannahmen:** Die Ergebnisse und „Empfehlungen“ von Systemen des maschinellen Lernens hängen sehr stark von den genutzten Trainingsdaten ab. Diese Daten reflektieren immer auch die Entscheidungen, Fehler und Werturteile derer, welche die Daten erheben. Eine sehr wichtige Debatte kreist daher um die Frage, wie es verhindert werden kann, dass KI-Systeme, welche häufig als neutral gelten, Fehllannahmen, Vorurteile oder soziale Ungerechtigkeiten reproduzieren, die in den Trainingsdaten bereits angelegt sind (Gibney 2020, Kharazian 2016).

**Mangelnde Nutzbarkeit für kleine Organisationen:** Sowohl das sehr spezialisierte Wissen als auch die teilweise erheblichen Kosten für KI-Anwendungen können hohe Zugangsbarrieren für Naturschutzorganisationen und Fachgesellschaften darstellen (COWLS et al. 2021, Strubell et al. 2019). Zugleich haben Unternehmen und vermögende Institutionen mit potenziell dem Naturschutz widersprechenden Zielen häufig einen leichteren Zugang zu diesen Technologien.

**Machtverschiebung und Entkopplung von demokratischer Kontrolle:** Kaack et al. (2021) warnen mit Blick auf KI und Klimawandel vor einer Konkurrenz und Machtverschiebung zwischen öffentlichen und privaten Einrichtungen, während Klima-, Umwelt- und Naturschutz zugleich maßgeblich vom öffentlichen Sektor getragen wird. Darüber hinaus können sich automatisierte Entscheidungssysteme der demokratischen Legitimierung entziehen und mit dem Rechtsstaatsprinzip in Konflikt stehen, wenn die behördliche Entscheidungsfindung nicht mehr nachvollziehbar ist (Martini 2021).

### Grundsätzliche Probleme

Die KI-Forschung diskutiert eine ganze Reihe grundlegender technischer und organisatorischer Fragen, die hier nur stichpunktartig aufgeführt werden sollen. Insbesondere die fehlende Nachvollziehbarkeit von KI-Methoden ist ein Feld für breite Diskussionen und Forschungen (Barredo Arrieta et al. 2019). Aber auch fehlende oder unausgewogene Trainingsdatensätze sind für den Naturschutz von großer Bedeutung, denn Artenvorkommen und komplexe ökologische Zusammenhänge können bislang nur ungenügend aus den verfügbaren Sensordaten gewonnen werden. Noch grundsätzlicher wird Heaven (2020), wenn er darauf verweist, dass viele der veröffentlichten KI-Forschungsprojekte nicht von unabhängigen Stellen reproduziert werden können, weil entweder die Dokumentation nicht ausreicht oder die Ressourcen nur wenigen Unternehmen zur Verfügung stehen.

## 6.5 Bewertung und Lösungsansätze

Für die meisten, der im Kapitel 6.4 genannten Herausforderungen existieren bereits Lösungsansätze, die teilweise unter den Stichpunkten Erklärbare KI, Nachhaltige KI, Grüne KI und Vertrauenswürdige KI zusammengefasst werden.

**Erklärbare KI (engl. explainable AI):** werden die Methoden genannt, welche die in den meisten Fällen nicht nachvollziehbaren Lösungswege von KI/ML-Verfahren erklär- und nachvollziehbar machen (Ji 2021; Yuan et al. 2021, Barredo Arrieta et al. 2019; Döbel et al. 2018). Eine ähnliche Motivation steckt auch hinter jüngeren Ansätzen, KI-Methoden durch neue Dokumentationsstandards reproduzierbar zu machen (Pineau 2021). Transparenz und Nachvollziehbarkeit sind grundlegende Voraussetzungen, um den rechtssicheren, demokratischen und fairen Einsatz von KI-Methoden zu gewährleisten. Städte wie Amsterdam und Helsinki haben vor diesem Hintergrund bereits begonnen, öffentliche KI-Register einzuführen, um transparent zu machen, auf welchen Feldern KI-Systeme bereits heute genutzt werden (AI Regulation 2020).

**Nachhaltige KI (engl. sustainable AI):** ist ein Überbegriff unter dem einerseits KI-Systeme zusammengefasst werden, die im Dienst der Nachhaltigkeit eingesetzt und andererseits selbst unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten entwickelt werden (van Wynsberghe 2021).

Grüne KI (engl. Green AI) bezeichnet die KI/ML-Systeme, die unter besonders energiesparsamen Gesichtspunkten entwickelt, trainiert und angewendet werden. Im Kontext von grüner KI wird zudem der Ansatz vorangetrieben, ‚Effizienz‘ zu einer wichtigen Maßzahl der KI-Forschung zu machen (Schwartz et al. 2020).

**Vertrauenswürdige und verantwortliche KI-Systeme (engl. trustworthy, responsible AI):** werden nach transparenten politischen, sozialen und ethischen Grundsätzen entwickelt und daran gemessen, ob sie die Risiken eindämmen, die sich aus der Anwendung dieser Systeme ergeben (Bernstein et al. 2021, Wearn et al. 2019, HEG-KI 2018). In diesem Kontext wird beispielsweise diskutiert, ob KI-Systeme zur Gesichtserkennung im öffentlichen Raum in der EU verboten werden sollten.

Damit all die genannten Ansätze umgesetzt werden können, ist es nötig die Kriterien zur Bewertung von KI/ML-Systemen zu erweitern und neue Kennzahlen einzuführen (Schwartz et al. 2021, Kaack et al. 2021: 15, Wearn et al. 2019, Lobe 2019). Diese sollten für alle Schritte, von Zweck, Entwicklung, Annotation von Trainingsdaten, Trainingsläufe, Anpassung bis hin zum Betrieb von KI/ML-Systeme gelten und zugleich den zukünftigen gesellschaftlichen und Naturschutznutzen abbilden.

Zugleich sollten diese Kriterien Eingang in die gegenwärtige Normierungs- und Regulationsinstrumente, wie der EU KI-Gesetzgebung oder der DIN 2021 Normierungsroadmap KI, finden (Kaack et al. 2021). Deren rechtspolitische Herausforderungen fassen Martini et al. (2021) in ihrem Gutachten zusammen.

Auch gemeinnützige Ansätze wie Datengenossenschaften für sozialverträgliche Trainingsdaten, open source Annotationswerkzeuge sowie offen zugängliche, qualitätsgeprüfte KI/ML-Pakete und Skripte für diverse Programmiersprachen können die skizzierten Lösungsansätze unterstützen (Kaack in Schultz-Haddouti 2021: 33, Gimenez et al. 2021).

Tab. 7: Übersicht über Anwendungen für maschinelles Lernen und Künstliche Intelligenz (BfN I 1.1)

Projektname (mit Link)	Beschreibung
<a href="#">AI4Biodiv</a>	Ziel ist die Entwicklung von Methoden und Technologien, die eine effiziente, schnelle und automatisierte Überwachung von Biodiversität in verschiedenen Lebensräumen und Landschaften ermöglichen, um die Entwicklung von Ökosystemen zu analysieren.
<a href="#">AQUA-KI</a>	Unterwassermikroskopie, Videotechnik und KI-Bildauswertung sollen Mikroorganismen in Gewässern sichtbar machen. So soll ein Frühwarnsystem für schädliche Arten oder Verunreinigungen entstehen.
<a href="#">BearID</a>	Automatische Gesichtserkennung-Software für Braunbären.
<a href="#">Better Weeds</a>	Ziel ist die Entwicklung autonomer Unkrauterkennung, KI-basierter Identifizierung von Unkrautarten und georeferenzierten Unkrautverteilungskarten unter Berücksichtigung standortspezifischer Besonderheiten des Einzelschlages.
<a href="#">BirdRecorder</a>	System zur Vermeidung von Kollisionen geschützter Vögel mit Windenergieanlagen.
<a href="#">ChESS</a>	Change Event Based Sensor Sampling (ChESS) entwickelt eine KI-basierte Teilautomatisierung naturwissenschaftlicher Versuchsdurchführungen in marinen Lebensräumen, z. B. für die Überwachung von Systemen und die Untersuchung von Biodiversität und Ökosystemfunktionen. Es dient der Früherkennung von Problemen, z. B. von giftigen Algenblüten.
<a href="#">Chimpface</a>	Automatische Gesichtserkennung wird zur Analyse von Social media und e-Commerce-Websites angewendet, um illegalen Online-Handel von Menschenaffen aufzudecken. Die KI wird mit verfügbaren Bildern von bereits gehandelten Affen trainiert.

<a href="#"><u>eBird/App</u></a>	Globales Netzwerk von Vogelbeobachter:innen, die ihre Beobachtungen teilen. eBird bietet zudem Visualisierungen und Datenerzeugnisse aus den Beobachtungsdaten, wie z. B. zu Migration und Häufigkeitsmuster, berechnet auf Basis von Modellen und maschinellem Lernen.
<a href="#"><u>FishFace</u></a>	FishFace ist ein Tool zur automatischen Erkennung von Fischen, um auf einem Fischerboot vor Ort auf See Informationen über Menge und Art des Fischfangs zu erhalten. Ziel ist die Förderung nachhaltigen Fischfangs.
<a href="#"><u>Flora Capture App</u></a>	Ziel ist das Sammeln von Pflanzenbildern aus vorgegebenen Perspektiven. Diese bilden u. a. die Datengrundlage für die Bestimmungsfunktion der Flora Incognita App. Flora Capture Beobachtungen werden von Expert:innen begutachtet und bestimmt.
<a href="#"><u>Flora Helvetica</u></a>	App zur Bestimmung von mehr als 3.000 in der Schweiz wachsenden Pflanzen, basierend auf Bestimmungsschlüsseln. Georeferenzierte Beobachtungslisten können erstellt werden und dem nationalen Daten- und Informationszentrum Info Flora gemeldet werden.
<a href="#"><u>Flora Incognita App</u></a>	Automatische Pflanzenbestimmung für mehr als 4.800 Pflanzenarten der mitteleuropäischen, wildwachsenden Flora. Neben der automatischen Bestimmung gibt die App auch Informationen zu Merkmalen, Bestäuber, Schutzstatus, Verwechslungsarten.
<a href="#"><u>Flora Incognita Q</u></a>	Automatisierte Pflanzenbestimmung ist bisher nur für einzelne Individuen und nicht flächenbasiert möglich. Ziel ist die Entwicklung eines Smartphone-Vegetationsscanners für plotbasierte Vegetationsaufnahmen durch dichte-Schätzungen von Arten der Bodenvegetation.
<a href="#"><u>iBatsID</u></a>	Online Tool zur automatischen Bestimmung von akustischen Fledermausaufnahmen. Beinhaltet 34 europäische Fledermauscalls.
<a href="#"><u>IdentiFlight</u></a>	Optisches System zur automatischen Vogelerkennung zur Vermeidung von Vogelschlägen an Windkraftanlagen.
<a href="#"><u>iNaturalist/App</u></a>	Weltweite Plattform, über die Wissenschaftler:innen und Citizen Scientists Naturbeobachtungen online stellen. Eine KI unterstützt die Artbestimmung zahlreicher Taxa.
<a href="#"><u>KInsecta</u></a>	Ziel ist ein digitales Echtzeit-Monitoring von Insekten durch die Entwicklung nicht-tödlicher, multisensorischer Insektenfallen, in denen Tiere durch KI bestimmt werden. Daten sollen auf einer Plattform hochgeladen werden können, um sie zu diskutieren, zu visualisieren und der Forschung zur Verfügung zu stellen.
<a href="#"><u>Microsoft Premonition</u></a>	Ziel von Premonition ist das Monitoring von Insekten, v. a. Mücken, um die Ausbreitung von Krankheitserregern zu überwachen. Zum Einsatz kommen smarte Insektenfallen, in denen Mücken KI-basiert bestimmt und selektiv gefangen werden.
<a href="#"><u>Natura Incognita</u></a>	Die geschaffenen Strukturen zur automatischen Pflanzenbestimmung im Rahmen des Flora Incognita Projekts sollen so ausgebaut werden, dass es in Zukunft einfacher ist, eine automatische Erkennung auch für andere Artengruppen zu realisieren.
<a href="#"><u>ObsIdentify App</u></a>	iObs bietet eine KI-basierte Arterkennung lässt das Anlegen von Beobachtungspunkten und Transekten zu.
<a href="#"><u>Pl@ntNet</u></a>	App und Webseite zur KI-basierten Bestimmung internationaler Pflanzenarten.
<a href="#"><u>PlasticObs</u></a>	Mit einem KI-System wird auf Multisensordaten der flugzeuggestützten Fernerkundung Plastikmüll in Meeren und Flüssen detektiert, um die wesentlichen Quellen und Verbreitungswege des Mülls zu identifizieren. Ziel ist die Verringerung der Plastikeinträge in Flüsse und Meere.
<a href="#"><u>PRIA-WIND</u></a>	Das Vorhaben PRIA-WIND wird ein Verfahren konzipieren, mit dem die Abschaltalgorithmen, die für viele Windenergieanlagen gesetzlich vorgeschrieben sind, unabhängig nachgeprüft werden können, um fehlerhafte Einstellungen, technische Störungen oder Verstöße gegen das Bundesnaturschutzgesetz erkennen zu können.
<a href="#"><u>Seek App</u></a>	Die App wurde entwickelt vom iNaturalist-Team und nutzt die KI von iNaturalist zur Artbestimmung. Beobachtungen werden nicht ohne Zustimmung an die iNaturalist-Datenbank weitergegeben.
<a href="#"><u>SpaceWhale</u></a>	Spacewhale verfolgt einen Ansatz zur semi-automatischen Erkennung von großen Walen mit Hilfe von Satellitenbildern.
<a href="#"><u>Terra-i</u></a>	Terra-i erkennt Veränderungen der Landbedeckung durch menschliche Aktivitäten nahezu in Echtzeit und erstellt alle 16 Tage Updates.
<a href="#"><u>Trailguard AI</u></a>	KI gestütztes System, um Wildtiere vor Wilderei zu schützen.



## **Exkurs: Modellierung und Naturschutz**

Die Modellbildung ist eine zentrale Methode in Biologie, Ökologie und in den Umweltwissenschaften. Auch in der Politikberatung ist sie zu einem wichtigen Werkzeug geworden (Grimm et al. 2020). Mithilfe von Modellierung werden heute Maßnahmen zur Bekämpfung der Covid19-Pandemie priorisiert, Strategien zur Bekämpfung des Klimawandels überprüft oder Maßnahmen zur Bekämpfung des Biodiversitätsverlustes simuliert. Gegenwärtig werden verstärkt sogenannte Digitale Zwillinge (engl. digital twins) und „smarte“ Modelle entwickelt, von Anwendungen in der Medizin über die Autoindustrie bis hin zu den Natur- und Umweltwissenschaften (Digital Twin of Earth, BioDT, Bauer et al. 2021b, Liu et al. 2021). Der Weltbiodiversitätsrat (IPBES) diskutiert gerade die Einführung des neuen Nature Futures Framework NFF. Dieser Bezugsrahmen soll neue Grundlagen zur Szenarientwicklung und die Modellierung konkreter Handlungsempfehlungen auf dem Feld des Biodiversitätsschutzes schaffen (Pereira et al. 2020). Im Vergleich mit zum Beispiel dem Klimaschutz stellt sich die Frage, ob Modellierung im Naturschutz in einem ähnlichen Maß eingesetzt werden kann und sollte.

Modelle sind vereinfachte Abbilder der Wirklichkeit, welche in der Wissenschaft zum Zweck des Erkenntnisgewinns geschaffen werden (Peters 2014: 4 ff). Als Modellierung wird der Prozess bezeichnet, Modelle zu schaffen und sie für Beschreibungen, Erklärungen, Prognosen und Entscheidungshilfen anzuwenden (Peters 2014: 17). Im Kontext von Naturschutz und Ökologie wird unter Modellierung zumeist die mathematische Beschreibung von Ökosystemkomponenten und deren gegenseitige Abhängigkeiten verstanden. Sie dienen dazu, Prozesse und Zustände von Systemen zu analysieren oder fokussieren sich auf Szenarien um zukünftige Systemzustände zu simulieren.

Die methodischen Ansätze dafür sind sehr breit und reichen von prozessbasierten Modellen, welche ökologische Prozesse und Mechanismen nachzubilden versuchen, bis zu statistischen Modellen und maschinellem Lernen zur Datenverarbeitung (Breckling 2014, Hoffmann 2014). Unter Modellierung wird aber auch die Veranschaulichung und Analyse von Datenbeständen verstanden. Sie wird immer stärker auch auf den Feldern Visualisierung, virtuelle Realität (engl. virtual reality) und erweiterter Realität (engl. augmented reality) eingesetzt (Chen und Lin 2018, Helbig et al. 2017).

Die Struktur von Modellen und den darin abgebildeten Objekten und Beziehungen hängt stark von Ziel und Zweck der Modellbildung ab. Modelle von Natur und Umwelt können dabei entweder in Forschung und Wissenschaft oder im Bereich Planung und Handlung eingesetzt werden (Populationsgefährdungsanalyse, Mammen et al. 2014). In der Forschung stehen nach Peters (2014) die Aspekte Beschreibung, Erklärung und theoretische Prognose des Gegenstands im Zentrum. Im Bereich Planung und Handlung wird der Fokus hingegen vor allem auf Beschreibung, handlungsbezogene Prognose und Bewertung gelegt (ebd.). In diesem Kontext steht auch die Entwicklung des NFF durch das IPBES. In diesem Rahmenkonzept wird großes Gewicht daraufgelegt, unterschiedliche Vorstellungen des Mensch-Natur-Verhältnisses sowie einer anstrebens- und lebenswerten Zukunft zur Grundlage der Szenarientwicklung zu machen (Pereira et al. 2020).

Im Gegensatz zu den Aktivitäten gegen den Klimawandel stellen Purves et al. (2013) in der Zeitschrift Nature fest, dass der Kampf gegen Biodiversitätsverlust nicht in vergleichbarem

Eine exponentiell steigende Datenmenge stellt steigende Maß auf Modelle der globalen der globalen Biosphäre zurückgegriffen wird. Dafür führen die Autor:innen mehrere Gründe an:

- a) Einerseits unterscheidet sich die Datenlage im Bereich Biodiversitätserfassung grundlegend von jener der Klimamodellierung. Insbesondere artspezifische Informationen lassen sich nur sehr aufwendig erheben. Global gilt der überwiegende Anteil aller Arten als noch nicht einmal wissenschaftlich beschrieben (Mora et al. 2011). Darüber hinaus existieren noch weitaus weniger Erhebungen über Vorkommen, Interaktion und Abundanz von Arten in den unterschiedlichsten Ökosystemen (IPBES 2019, Purves et al. 2013). Der Vergleich mit den 100 Millionen gemessenen täglichen Inputs in die globalen Wetter- und Klimamodelle macht den Unterschied zwischen den Domänen Klima und Biodiversität sehr deutlich (Bauer et al. 2021a).
- b) Die Komplexität von ökosystemaren Zusammenhängen auf den verschiedensten Skalenebenen scheint es nahezu unmöglich zu machen, allgemeingültige Regeln abzuleiten, wie z. B. die von der Klimamodellierung genutzten, physikalischen Gesetze. Zugleich sind das notwendige Wissen und die Rechenkapazitäten auch gegenwärtig zu eingeschränkt für individuen- oder agendenbasierte Modellierungen für globale Ökosysteme (Purves et al. 2013).
- c) Bislang existieren noch keine ausreichenden Informationen über gesamte Ökosysteme und deren Zustand, wie zum Beispiel die Verbreitung von Organismengröße (Purves et al. 2013).

Damit auch der Kampf gegen den Biodiversitätsverlust im vergleichbaren Maß wie die Klimawissenschaften auf Modelle zurückgreifen kann, wurden sogenannte allgemeine Ökosystemmodelle (eng. general ecosystem models (GEM)) entwickelt, wie zum Beispiel Ecopath with Ecosim, Atlantis und Madingley (Hoeks et al. 2021, Hansen et al. 2021, Colléter et al. 2015, Harfoot et al. 2014, Fritz et al. 1996). Solche GEM haben sich allerdings bis heute nicht als einheitliche Referenzmodelle durchgesetzt (IPBES 2019: 33). Mit Bezug auf Big Data, maschinelles Lernen und die entsprechenden Rechenkapazitäten scheint der Ansatz nun unter dem Begriff Digitaler Zwilling der Erde neuen Aufwind zu bekommen. Unterhalb dieser sehr generalisierenden Skalenebene existieren hingegen unzählige Anwendungsfälle zur Modellierung von Artenverbreitungen und Ökosystemzuständen. Die Abb. 7 umfasst diesbezüglich einige relevante Beispiele ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

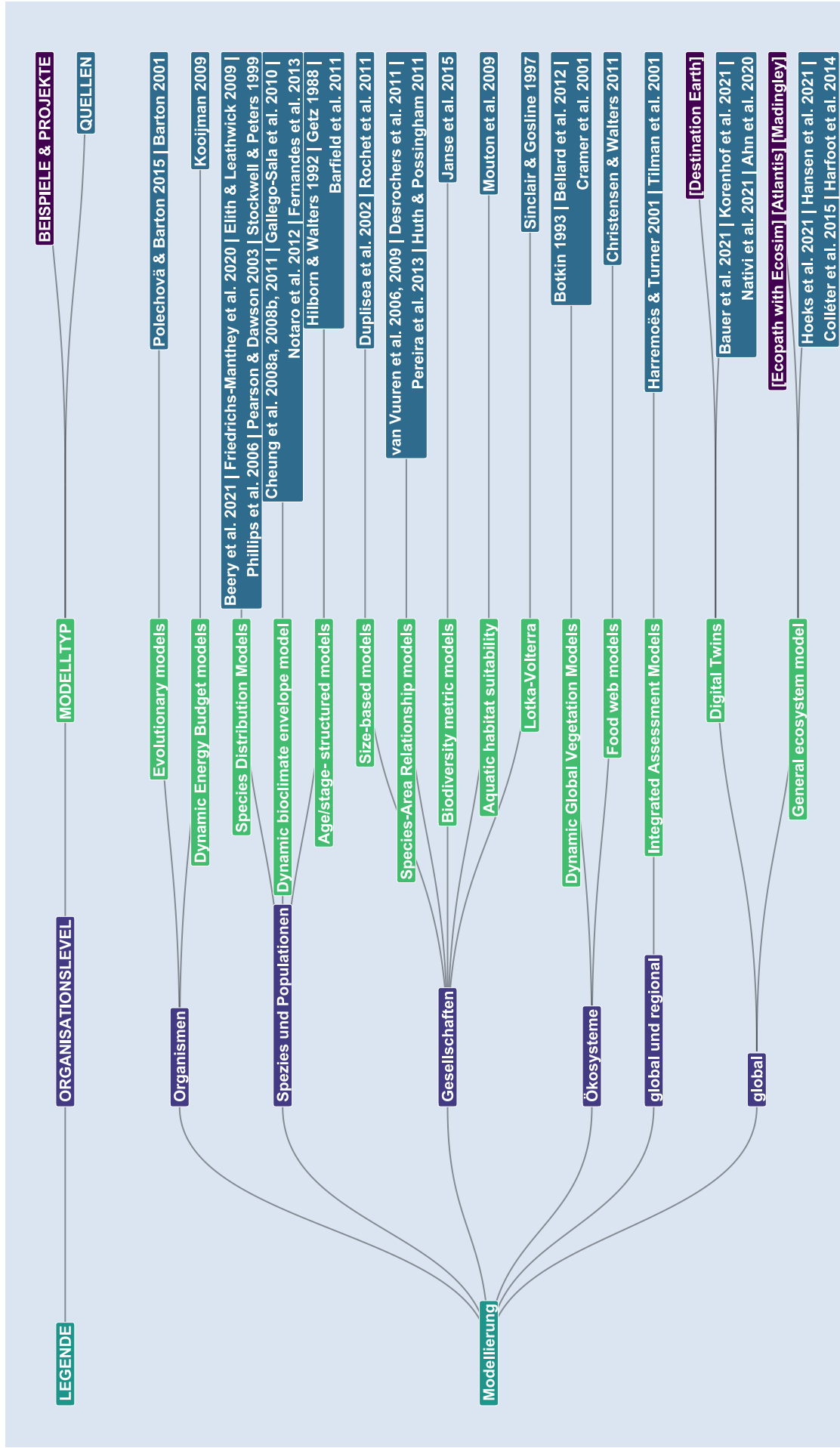


Abb. 7: Beispielhafte Anwendungsfälle von Modellierung im Naturschutz (BfN FG I 1.1 nach IPBES 2016)

## **Exkurs: Open Science, Open Access, Open Source, Open Data**

**Open Science** beschreibt einen Wissenschaftsprozess, bei dem Methoden, Daten und Ergebnisse möglichst frühzeitig offengelegt werden (European Union 2021). Auch die Partizipation von Nicht-Wissenschaftler:innen im Forschungsprozess (z. B. Citizen Scientists, Zielgruppen, Unternehmen), das Teilen von Infrastrukturen und die Reproduzierbarkeit von Ergebnissen sind wichtige Aspekte (ebd.). Ermöglicht durch digitale Technologien zielt Open Science darauf ab, die Forschung durch frühzeitigen Austausch mit relevanten Expert:innen zu optimieren. Daher definiert die EU Kommission Open Science als Leitbild ihrer wissenschaftspolitischen Strategien (ebd.). Auch die Bundesregierung unterstützt Open Science, u. a. um die Wissenschaftskommunikation und -partizipation zu stärken (Bundesregierung 2021: 24).

**Open Access** meint den kostenfreien Zugang zu wissenschaftlichen Publikationen über das Internet ohne technische und rechtliche Hürden (BMBF 2018). In manch anderen Kontexten geht das Begriffsverständnis darüber hinaus und schließt auch offene Daten, Software, Modelle, Algorithmen und Arbeitsprozesse mit ein (European Union 2021). Allerdings haben sich dafür eigene Begriffe etabliert (siehe im Folgenden), so dass wir sie hier getrennt betrachten.

Für Open Access Publikationen gibt es zwei Modelle: Beim „Goldenen Weg“ wird eine Publikation unmittelbar nach Abschluss des Peer-Review-Prozesses im Internet, typischerweise in einer Open Access-Zeitschrift, veröffentlicht. Beim „Grünen Weg“ wird eine Publikation als analoger Print veröffentlicht und entweder zeitgleich oder nach einer Embargofrist in ein Open Access Repository eingestellt. Die BfN Zeitschrift „Natur und Landschaft“ wird seit 11/2021 über den Grünen Weg mit einer Embargofrist von einem Jahr veröffentlicht. Um die Zugänglichkeit der zukünftigen Open Access Beiträge zu fördern, hat das BfN das Publikationsrepository BfN-e-dition entwickelt, in das neben NuL-Beiträgen u. a. auch BfN-Schriften und die bibliografischen Angaben der Naturschutz und Biologische Vielfalt (NaBiV) Hefte aufgenommen werden. Damit kommt das BfN der politischen Open Access Strategie des BMBF nach und unterstützt das seit 2014 gültige „unabdingbare Zweitveröffentlichungsrecht“, das besagt, dass Autor:innen ihre Publikationen aus überwiegend öffentlichen Mitteln zwölf Monate nach Erstveröffentlichung der Allgemeinheit zu nicht-gewerblichen Zwecken zugänglich machen dürfen.

**Open Source** bezieht sich auf Software, dessen Quellcode (source code) von Dritten einsehbar, nutzbar und veränderbar ist. Open Source Software ist somit ein populäres Gegenkonzept zu proprietärer Software. Die weltweit größte Plattform zum Verwalten, Hosten und gemeinschaftlichen Programmieren von Open Source Projekten ist Github (Microsoft), neben anderen bekannten wie GitLab (GitLab Inc.) und BitBucket (Atlassian). Über diese Anbieter können Entwickler:innen, Organisationen und Unternehmen u. a. private wie auch öffentliche Repositorien für Quellcodes, Skripte und Algorithmen anlegen.

Politisch setzen Bund und die meisten Länder darauf, ihre Verwaltungssoftware langfristig auf Open Source umzustellen, um die Öffentliche Verwaltung unabhängiger von Microsoft und anderen nicht-europäischen Firmen zu machen (vgl. Aktivitäten zum „Souveränen Arbeitsplatz“). Dadurch sollen die IT-Sicherheit und der Datenschutz besser gesichert und Kostenentwicklungen kontrollierbarer werden. Dementsprechend fordert die Bundesregierung, dass die im Rahmen öffentlicher IT-Projekte zu entwickelnde Verwaltungssoftware grundsätzlich

öffentlich sein sollte (Bundesregierung 2021: 15). Eine eigene Open Source-Plattform mit Code Repository soll perspektivisch über die Deutsche Verwaltungscloud bereitgestellt werden.

**Open Data** umfasst sämtliche Datenquellen, wie z. B. Forschungsdaten, Verwaltungsdaten und Unternehmensdaten, und meint „in der Regel nicht geheimhaltungsbedürftige und nicht personenbezogene Daten, die in offenen und maschinenlesbaren Formaten jeder Person vollständig zugänglich sind und deren Nutzung maximal durch die Auflage zur Nennung der Quelle eingeschränkt ist“ (Bieker et al. 2019: 8). Darüber hinaus gehende Open Data Prinzipien sind Vollständigkeit, Aktualität, Diskriminierungsfreiheit und Beständigkeit der veröffentlichten Daten (ebd.).

Mit Blick auf Verwaltungsdaten forciert die Bundesregierung gezielt deren Offenheit (Open Government Data): Laut E-Government-Gesetz (EGovG) müssen unmittelbare und mittelbare Bundesverwaltungen ihre erhobenen Rohdaten kostenfrei und maschinenlesbar zur uneingeschränkten Weiterverwendung veröffentlichen, sofern dem keine Datenschutz- oder sicherheitsrelevanten Gründe entgegenstehen. Ab 2024 gilt dies auch für Daten abgeschlossener Forschungsprojekte, die von der Bundesverwaltung selbst oder in ihrem Auftrag erhoben werden. Um die Auffindbarkeit der Daten zu gewährleisten, betreibt die Bundesregierung seit 2013 das Open-Data-Portal GovData, in dem auch BfN-Daten auffindbar sind. Das Portal stellt zudem Anwendungen vor, die bereits aus offenen Verwaltungsdaten hervorgegangen sind, wie z. B. die Plattform Gieß den Kiez. Auch die neue Bundesregierung setzt auf offene Daten und kündigt im Koalitionsvertrag (2021: 17) einen Rechtsanspruch auf Open Government Data an, der trotz EGovG bislang nicht bestand. Um die Bundesverwaltungen mit den wachsenden Anforderungen bezüglich Open Data zu unterstützen, wurde 2018 das Kompetenzzentrum für Open Data (CCOD) im Bundesverwaltungsamt eingerichtet und im Juli 2021 die Open-Data-Strategie der Bundesregierung verabschiedet.

Speziell im Forschungsdatenbereich haben sich v. a. die F.A.I.R.-Prinzipien etabliert: Daten sollen demnach Findable, Accessible, Interoperable und Reusable sein. Auch mit Blick auf Forschungsdaten kündigt die neue Bundesregierung an, den Zugang zum Zweck der Weiterverwendung im Rahmen öffentlicher und privater Forschung verbessern zu wollen. Open Data soll als Standard etabliert werden, wofür ein Forschungsdatengesetz entwickelt und Forschungsklauseln eingeführt werden sollen. Auch der weitere Aufbau der Nationale Forschungsdateninfrastruktur wird weiterhin unterstützt (Bundesregierung 2021: 21).

## 7 Schwerpunkt: Naturbildung und -bewusstsein in Zeiten der Digitalisierung

Das Wissen über ökologische Zusammenhänge und die Verbundenheit mit der Natur haben einen wichtigen Einfluss auf die Bereitschaft von Menschen, sich für den Naturschutz einzusetzen (Crawford et al. 2017, Wirzberger et al. 2021). Allerdings legen Studien nahe, dass direkte Naturkontakte seltener werden, während u. a. Bildschirmzeiten am TV, Computer oder Smartphone zunehmen (z. B. Kellert et al. 2017, Larson et al. 2019). Der Mangel an direktem Naturerleben hat Auswirkungen auf die Naturverbundenheit von Menschen. Die 2019 durchgeführte Naturbewusstseinsstudie des BfN zeigte, dass nur 28 % der Bevölkerung ein ausreichend hohes Naturbewusstsein haben – weit entfernt vom Zielwert der Nationalen Biodiversitätsstrategie von 75 % (BMU und BfN 2020). Der Bewusstseinsindikator bemisst sich dabei aus den Teilindikatoren „Wissen“, „Einstellung“ und „Verhalten“, wobei der Wissensindikator (in Form von Begriffsverständnis „biologische Vielfalt“) seit dem ersten Messzeitpunkt in 2009 recht konstant geblieben ist (ebd.). Wissenslücken zeigen sich aber nicht nur in der allgemeinen Bevölkerung, sondern auch bei naturaffinen Personen, wie die artenIpisa Umfragen belegen (Schulemann-Maier und Munzinger 2018). Der Mangel an Art- und Taxonomieexpert:innen stellt für Forschung, Fachgesellschaften und Naturschutzverwaltung mitunter große Herausforderungen dar (Frobel und Schlumprecht 2014).

Trotz des geringen Wissensstands ist der Wunsch nach besserer Tier- und Pflanzenkenntnis in der Bevölkerung, auch unter Jugendlichen, verbreitet (BMU und BfN 2020, 2021). Es stellt sich daher die Frage, wie das Wissen zukünftig besser vermittelt werden kann. Die Naturbewusstseinsstudie 2019 und die Jugend-Naturbewusstseinsstudie 2020 zeigen, dass sich v. a. Jugendliche und junge Erwachsene mehr digitale Formate für die Wissensvermittlung wünschen (siehe Tab. 8). Dieses Kapitel stellt daher digitale Möglichkeiten zur Förderung von Naturwissenschaftswissen und -bewusstsein vor und fasst deren wesentliche Vor- und Nachteile zusammen.

Tab. 8: Zustimmung zu ausgewählten, digitalen Formaten für die Vermittlung von Artenwissen (in %). (BfN I 1.1)

Altersgruppe	Digitale Medien (Apps, QR-Codes)	Internetangebote (z. B. Webseiten, Videoplattformen)
Bevölkerungsdurchschnitt (von 18+ Jährigen)	14	21
>65 Jahre	5	8
18-29 Jahre	28	34
14-17 Jahre	29	31

Quelle: Naturbewusstseinsstudie (BMU und BfN, 2020), Jugend-Naturbewusstseinsstudie (BMU und BfN, 2021). Eingeschränkte direkte Vergleichbarkeit der Studiendaten aufgrund unterschiedlicher Erhebungszeitpunkte und -methoden (Erwachsene: Interviews, vor Corona; Jugend: Online-Erhebung, während Corona).

### 7.1 Übersicht digitaler Formate

Digitale Formate zur Wissensvermittlung können anhand unterschiedlicher Aspekte differenziert werden, wie z. B. dem vorrangigen Ziel der Anwendung (d. h. steht Wissensvermittlung im Fokus oder ist eher ein Nebeneffekt), dem Lernort, der Zielgruppe oder den Touchpoints (vgl. Abb. 8). Die Abgrenzungen sind dabei nicht immer überschneidungsfrei: Beispielsweise

können Wissensvermittlung und Unterhaltung gleichwertige Ziele einer digitalen Anwendung sein. Jedoch kann man verallgemeinern, dass v. a. in der formalen Bildung (z. B. Schule, Aus- und Weiterbildung) die Wissensvermittlung im Vordergrund steht, wohingegen im Freizeitkontext Unterhaltungsaspekte zunehmend wichtig sind und digitale Angebote i. d. R. freiwillig und eigenständig (ohne Lehrpersonal) genutzt werden. Digitale Anwendungen mit Fokus auf Wissensvermittlung sind häufig unter dem Oberbegriff E-Learning zusammengefasst, wobei man von M-Learning spricht, wenn Lerninhalte über Mobilgeräte (v. a. Smartphone, Tablet) vermittelt werden. Dank der Verbreitung und rasanten Weiterentwicklung mobiler Endgeräte (z. B. LiDAR Scanner in iPhones/ iPads, Wärmebildsensoren in neuen iPhones und Outdoor-Handys wie z. B. CAT) und anderer Informations- und Kommunikationstechnologien (z. B. multisensorische VR-Brillen, Vibrationswesten) bieten sich moderne und kreative Einsatzmöglichkeiten im Naturschutz.

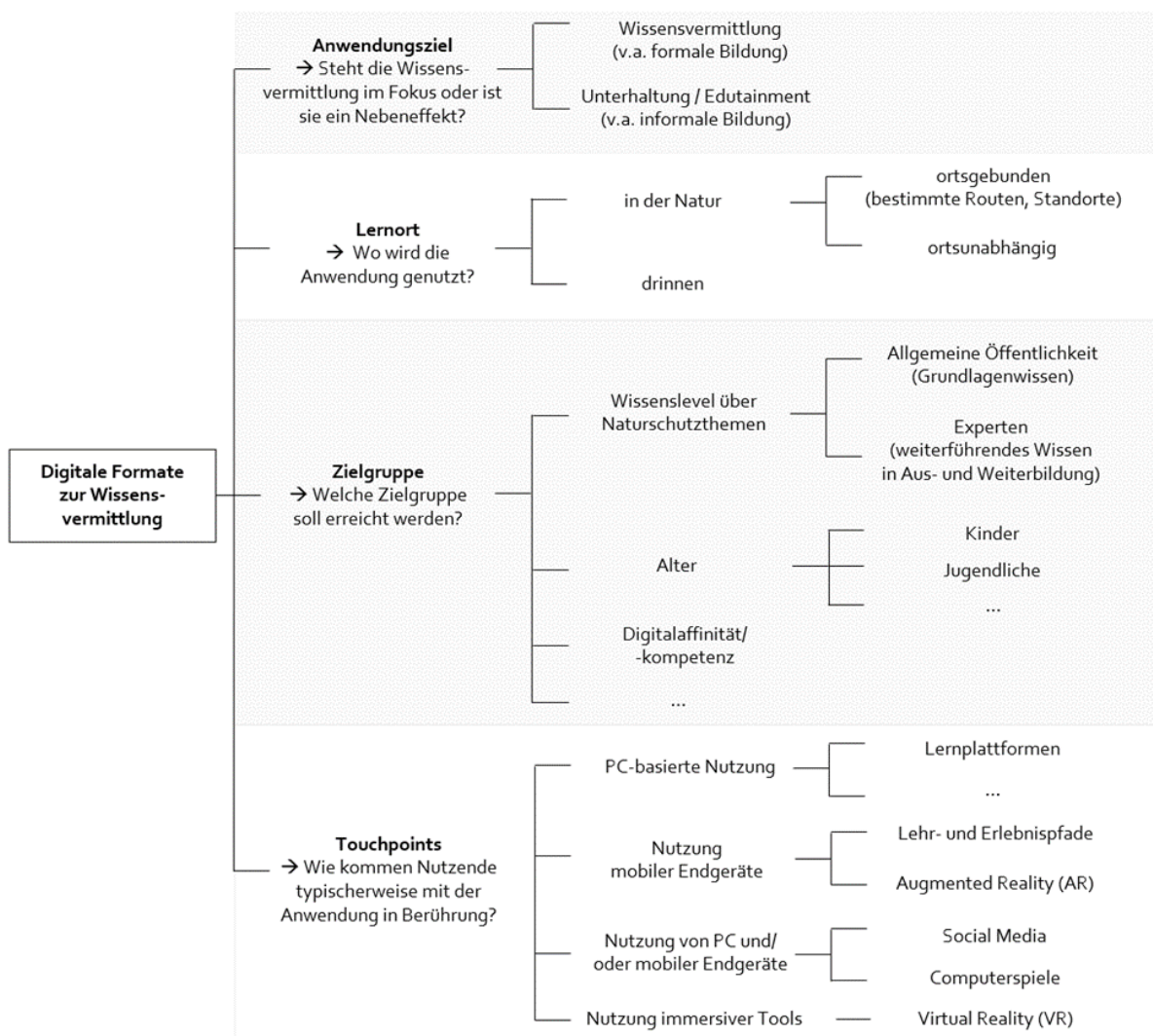


Abb. 8: Strukturierung digitaler Methoden zur Vermittlung von Naturschutzwissen (BfN FG I 1.1)

## 7.2 Anwendungsbeispiele digitaler Formate im Naturschutz

Beispiele digitaler Formate im Naturschutz werden in diesem Kapitel aufgezeigt. Zur Strukturierung nehmen wir eine Technologieperspektive ein und unterscheiden die Anwendungsfelder anhand der Touchpoints, durch die sie typischerweise genutzt werden, wohlwissend dass die Unterteilung nicht immer trennscharf möglich ist und u. a. vom individuellen Nutzerverhalten abhängt (vgl. Abb. 8).

### PC-basierte Nutzung (Desktop-Computer, Laptops)

**Lernplattformen, Webinare und Co.:** Digitale Angebote, die i. d. R. stationär und an größeren Bildschirmen genutzt werden, umfassen gängige Formen der Wissensvermittlung im Internet, wie z. B. Online-Kurse, Lernwebseiten, Webinare und Massiv Open Online Courses (MOOCs). Heutzutage können die meisten Webseiten dank responsiver Designs zwar auch mobil aufgerufen werden, allerdings gibt es auch Anwendungen, die speziell für PCs konzipiert sind. Die Webseite [Learning for Nature](#) des UN-Umweltprogramms ist ein Beispiel eines Informationsportals, das Zugang zu Online-Kursen, Podcasts, Google Earth Stories, virtuelle Events, etc. vermittelt. Zudem gibt es zielgruppenspezifische Lernplattformen. Im Naturschutzbereich sind das bspw. die [BfN Naturdetektive](#) (für Kinder), die [NABU|naturgucker-Akademie](#) (für die interessierte Öffentlichkeit), [artenkenntnis.de](#) (für die Ausbildung von Artexpert:innen), [Naturexpedition 2050](#) (für Lehrpersonal an Schulen) und [Natura2000 Manager](#) (für auszubildende Natura2000-Manager).

### Nutzung über mobile Endgeräte (Smartphones, Tablets)

**Ortsunabhängige, mobile Lernangebote:** Manche Angebote werden speziell für Mobilgeräte (Smartphones, Tablets) optimiert, was einen örtlich flexiblen Zugang zu den Lerninhalten erlaubt. Ein Beispiel ist die vom BMEL-entwickelte [Waldfibel App](#) für Kinder und Jugendliche. Ein Beispiel für die Aus- und Weiterbildung Erwachsener sind [Marteloskope](#). Hierbei handelt es sich um reale Waldtrainingsflächen, anhand derer durch eine Simulations- und Analysesoftware z. B. waldbauliche Eingriffe geübt werden (Pyttel et al. 2018).

**Ortsbasierte, digital-gestützte Lehr- und Erlebnispfade/ Outdoor-Spiele:** Bei diesem Anwendungsfeld befindet sich der/die Nutzer:in notwendigerweise auf vordefinierten Routen, bzw. Standorten in der Natur. Bei technisch einfachen Varianten digitaler Lehr- und Erlebnispfade ersetzen oder ergänzen digitale Informationen analoge Informationstafeln, z. B. an Aussichtspunkten oder Beobachtungstürmen. Informationen werden üblicherweise durch Scannen eines QR-Codes oder über Bluetooth-Beacons aufgerufen und richten sich meist an die allgemeine Öffentlichkeit.



Die Ergänzung eines Naturaufenthalts mit digitalen Medien kann Spaß machen und die Wissensvermittlung fördern (Berkovsky et al. 2016, Crawford et al. 2017). Lehr- und Erlebnispfade mit höherem Interaktionsgrad und technischem Aufwand sind zielgruppenspezifische Lern-touren, Schnitzeljagden oder Geogames, die mitunter auch als Outdoor-Spiele bezeichnet werden können. Sie nutzen verstärkt spielerische Elemente, wie z. B. Videos, Audios, Rätsel oder Augmented Reality (siehe Kasten). I. d. R. werden solche Angebote vorab von einer/m Organisator:in am PC erstellt und im Anschluss der Zielgruppe per App zur Verfügung gestellt. Zur standortbasierten Freischaltung von Inhalten kommen neben QR-Codes auch GPS oder Image Recognition (IR) zum Einsatz. IR funktioniert für Nutzende ähnlich wie ein QR-Code, bloß dass zum Aufrufen von Inhalten ein Objekt (z. B. Schild, Skulptur) gescannt wird. IR ist insb. eine Alternative, wenn der GPS-Empfang am geplanten Lernort unzureichend ist (z. B. innerhalb von Gebäuden). Apps, mit denen interaktive Lehr- und Erlebnispfade selbst ausprobiert oder individuell erstellt werden können sind u. a. die uRnature App (Umweltfokus, DE), die Agents of Discovery App (Umweltfokus, USA, Kanada) sowie die Actionbound App (diverse Einsatzbereiche, DE). Im Rahmen des FuU-Projekt BioDiv2Go (BMBF/ BfN, 2013-2018) wurden zudem das Such- und Sammelspiel „Der Grüne Schatz“ entwickelt, sowie ortsbasierte Simulationsspiele „FindeVielfalt“ (Lude et al. 2020). Ein weiteres Beispiel ist die BeeActive App, die Wissen über Bienen und Blühpflanzen kindgerecht vermittelt. Zur automatischen Pflanzenerkennung nutzt BeeActive den Algorithmus von Flora Incognita und bindet darüber hinaus auch Daten der BioFlor-Datenbank ein.

**Augmented Reality (AR):** AR zielt u. a. darauf ab, dass man sich interaktiver mit der echten Welt auseinandersetzt. Dafür werden AR-Elemente auf Bildschirmen von Mobilgeräten oder sog. Wearables angezeigt und in die Umgebung eingeblendet. Daher können AR-Elemente gut im Rahmen von Lehr- und Erlebnispfaden, wie Bürgerwald AR, von Outdoor-Spielen, wie z. B. Wildverse, sowie in musealen Ausstellungen, wie z. B. Digitize!, zum Einsatz kommen. Zudem kann AR im privaten Kontext genutzt werden: Beispielsweise bietet die NABU-Vogelwelt-App über In-App-Käufe eine 3D-Vogel-Paket Erweiterung an, über die man 100 Vögel in 3D und AR genau betrachten kann.

**Routen-Apps:** Ein weiteres Einsatzfeld digitaler Formate im Naturschutz sind Routen-Apps, bei denen naturverträgliche Wanderrouen vorgeschlagen oder Naturschutzinformationen (z. B. Betretungsverbote) während der Tourenplanung berücksichtigt werden. Kartenmaterial, Audios und Bilder können meist heruntergeladen werden, um Informationen über Arten und Lebensräume von unterwegs aufrufen zu können. Alles in allem zeigt sich ein recht breites Angebot solcher Apps, z. B. die Naturwald App (Naturwälder, Bayern),

#### **Augmented Reality (AR):**

Zu Deutsch „erweiterte Realität“, bedeutet das Überlagern, bzw. Einblenden virtueller Elemente (z. B. Figuren, Informationen) in die reale Umgebung. Ziel ist daher nicht, eine immersive, virtuelle Umgebung zu schaffen (vgl. VR), sondern die reale Umwelt durch digitale Elemente anzureichern. Bislang werden AR-Elemente meist über die Bildschirme mobiler Endgeräte angezeigt (z. B. über die Smartphone-Kamera). Zukünftig wird AR verstärkt über Wearables nutzbar, die eng auf oder am Körper getragen werden, wie z. B. Headsets, „Smart Glasses“ oder „Smart Contact Lenses“.

BayernTourNatur App (Übersicht zu Naturführungen, bayernweit), NaturDigital Bayern App und Webportal (Routenplanung, bayernweit, Launch ab 2023), Natürlich Hamburg! App (Naturschutzgebiete Hamburg) sowie der Wadden Sea Explorer (Wattenmeer-Region).

Trotz des Angebots regional-spezifischer, naturschutzorientierter Routen-Apps werden insb. kommerzielle Apps weitverbreitet genutzt, bei denen Routen nicht nur professionell vorgeschlagen, sondern oft durch die Nutzer-Community selbst erstellt und geteilt werden (z. B. Outdooractive, Komoot, Strava, Ride with GPS, Bikemap, etc.). Dadurch werden bei der Routenerstellung keine naturschutzrelevanten Aspekte berücksichtigt, was eine Herausforderung für die Besucherlenkung in ökologisch sensiblen Gebieten darstellt. Mit dem Ziel, naturschutzrelevante Nutzungsregelungen zu digitalisieren und Outdoor-Plattformen zur Verfügung zu stellen, hat sich der Verein Digitize the Planet gegründet.

**Artbestimmungs-Apps:** Artbestimmungs-Apps, die Menschen flexibel bei ihren Gelegenheitsbeobachtungen in der Natur einsetzen, sind zunehmend weitverbreitete Tools zum Wissenserwerb. Mitunter liefern App-basierte Arterfassungen auch umfangreiche, forschungsrelevante Datensätze, die z. B. für Verbreitungsanalysen von Arten genutzt werden können (vgl. z. B. Boersch-Supan et al. 2019; Mahecha et al. 2021). Allerdings verwenden vermutlich viele Anwender:innen Artbestimmungs-Apps in erster Linie, um sich selbst zu informieren, während ein Beitrag zur Forschung nur sekundär beabsichtigt oder die Möglichkeit dazu ggf. auch nicht bekannt ist. Sofern Arterfassungs-Apps von Bürger:innen in systematischer Form und/ oder an bestimmten Orten, bzw. zu vorgegebener Zeit erfolgen (z. B. um zu einer Bestandserfassung beizutragen), scheint ein Beitrag zur Forschung allerdings eher beabsichtigt zu sein als der persönliche Wissenserwerb und wird daher in Kapitel 8 thematisiert.

Tatsächlich ist das Angebot an Artbestimmungs-Apps für Gelegenheitsbeobachtungen national wie international recht umfangreich. Technisch arbeiten die Apps entweder mit Bestimmungsschlüsseln, d. h. die Arterkennung erfolgt nicht automatisch. Beispiele hierfür sind die Basisversion der NABU-Vogelwelt App, die Kosmos-Vogelführer App, die Schmetterling ID App, die Flora Helvetica App und die Welche Blume ist das? App. Zunehmend ausgereifter werden KI-basierte Apps, die Arten visuell und/oder akustisch automatisch erkennen (vgl. Kap. 6). Beispiele sind Flora Incognita (Pflanzen DE), Pl@ntNet (Pflanzen, international), ObsIdentify (Tiere und Pflanzen, Nordwesteuropa), Seek (Wildtiere, Pflanzen und Pilze, weltweit, von iNaturalist), NABU-Insektenwelt Web App (Insekten, DE), Naturblick (Tiere und Pflanzen im Stadtkontext, DE) sowie diverse, auf Vogelstimmen spezialisierte Apps, wie z. B. BirdNet und Zwitschomat.

### **Nutzung über PC und/ oder mobile Endgeräte**

**Social Media (SoMe):** Aufgrund ihrer enormen Reichweite sind Soziale Netzwerke/Social Media Kanäle (z. B. Twitter, Facebook, Instagram, Flickr, Pinterest, YouTube, Vimeo, TikTok, Snapchat, etc.) weitere, wichtige Digitalformate für die Kommunikation von Naturschutzinhalten. SoMe-Profilen, Videos, Blogs und Podcasts werden z. B. von Abenteuer- und Naturfotograf:innen, Influencer:innen, Reise- und Lifestyle Blogger:innen, wissenschaftlichen Einrichtungen oder Umweltorganisationen genutzt, um Informationen zu teilen. Aufgrund der Corona-Pandemie begann bspw. die Gesellschaft für Umweltbildung Baden-Württemberg, ihre Inhalte über einen YouTube-Kanal bereitzustellen und erreichte dadurch weiterhin ihre Zielgruppe an

Kindern und Lehrpersonal – seither sogar überregional. Auf SoMe finden sich vereinzelt auch Profile „von“ Wildtieren oder Pflanzen, wie z. B. „Grizzly Bear 399“ oder „twitternde Bäume“. Bei Letzterem werden Bäume mit Sensoren ausgestattet, die u. a. Saftfluss und Wuchsgeschwindigkeit messen. Diese Messungen werden dann über Twitter-Profilen geteilt. Im Verbundprojekt BayTreeNet werden die Messdaten als Umweltbildungsmaßnahme von Schüler:innen interpretiert und über Twitter kommuniziert.

Neben dem Teilen von Bildern und Informationen können auch Echtzeit-Videoübertragungen von Naturerlebnissen über SoMe-Kanäle stattfinden. Die Reiseunternehmen und Beyond und WildEarth bieten bspw. WILDwatch Live Safaris aus afrikanischen Schutzgebieten an, die über YouTube oder Instagram gestreamt werden. Zuschauende können per Chat Fragen an die Guides stellen.

SoMe ist jedoch nicht nur als Informationskanal an Zielgruppen wertvoll, sondern auch als Datenquelle für die Forschung selbst (Di Minin et al. 2015, August et al. 2020). Bspw. werden von Conservation International Daten von SoMe, Online-Newspapers und Suchmaschinenanfragen analysiert, um das globale Bewusstsein für Biodiversität abzuschätzen. Die Ergebnisse werden unter [biodiversityengagementindicator.com](http://biodiversityengagementindicator.com) veröffentlicht.

**Digitale Spiele/Computerspiele:** Computerspiele, die ortsunabhängig, bzw. indoor/von zuhause gespielt werden, sind aufgrund ihrer Reichweite und Popularität ein relevantes Digitalformat für den Naturschutz. Computerspiele können online und offline am PC, auf Mobilgeräten und auf Spielekonsolen gespielt werden und stellen einen der am stärksten wachsenden Digitaltrends dar. Insgesamt 58 % der Deutschen zwischen 6-69 Jahren spielen Computer- und Videospiele – damit ist Deutschland der größte Games-Markt in Europa und der fünftgrößte weltweit (Game 2021). Eine Studie schätzt, dass ca. 50 % der 10-18-Jährigen in Deutschland täglich Computerspiele spielen – eine Nutzungsintensität, die v. a. in der Coronapandemie stark zugenommen hat (DAK-Gesundheit 2020). Die Potentiale und Wirkungen von Spielen mit Bildungsabsicht, sogenannte Serious Games, werden zunehmend beforscht. Einige Studien unterstützen dabei die Annahme, dass sie das Naturwissen und -bewusstsein sowie ein ökologisches Systemverständnis fördern können, z. B. Fjaellingsdal und Klöckner (2019). Andererseits können sie von Problemen der echten Welt ablenken und Naturschutzherausforderungen zu stark vereinfachen (Sandbrook et al. 2015). Digitale Indoorspiele mit Naturschutzbezug sind z. B. Strategiespiele, in denen das Ziel darin besteht, Wildtiere vor Bedrohung zu schützen (z.B. Shelter Games, World of the Wild, Habitat the Game, Planet Zoo) oder Ökosysteme möglichst nachhaltig zu nutzen (z. B. Eco, Fate of the World, ÖkoSimulator). Auch unter den Spieleentwickler:innen und innerhalb der Gaming Community zeigt sich teilweise ein Interesse an Nachhaltigkeitsthemen: Die Gamer-Community des Shooterspiels DOOM initiierte bspw. die Fundraisingaktion DOOM WOOD, durch die eine Waldfläche nahe Bayreuth bislang mit rund 32.000 Bäumen aufgeforstet wurde.

## Nutzung immersiver Tools (insb. VR-Brillen)

**Virtual Reality (VR):** VR bietet faszinierende Möglichkeiten für sekundäre Naturerlebnisse, v. a. wenn ein direkter Aufenthalt in der Natur nicht möglich, zu gefährlich oder zu teuer ist. Die Effekte von VR-Naturerlebnissen werden daher zunehmend in der Forschung untersucht. Manche Studien deuten darauf hin, dass sie zum Wohlbefinden, zur Stressreduktion, zum verbesserten Umweltwissen sowie zur Naturverbundenheit beitragen können (Browning et al. 2019, Yeo et al. 2020, Eckes et al. 2021). Womöglich können immersive VR-Erfahrung sogar als ebenso erholsam empfunden werden, wie ein realer Aufenthalt in der Natur (Mattila et al. 2020). Zudem könnten VR-Erlebnisse helfen, naturschutzbezogene Einstellungen zu verändern: Büssing et al. (2021) lieferten den Hinweis, dass Menschen durch virtuelle Wolfsbegegnungen ihre psychologische Distanz gegenüber den Tieren abbauen, was wiederum deren Bereitschaft zum Wolfschutz beeinflussen könnte. Somit zeigen sich grundsätzlich interessante Forschungs- und Einsatzfelder von VR im Naturschutzbereich. Interessante VR-Erlebnisse sind bspw. Expedition Wilde Welten (Wald-, Wiese- und Moorlebensräume als 360° Video, entwickelt für die Stiftung NaturSchutzFonds Brandenburg), OstseeLife und NordseeLife (Unterwasserlebensräume als 360° Video, entwickelt für den NABU), Pollinator Park (Zukunftsvision einer Welt ohne Bestäuber als Computersimulation, entwickelt für EU DG-Environment) sowie Abenteuer Bodenleben (Bodenlebewesen als Computersimulation, Teil einer Museumsausstellung des Senckenberg Museum für Naturkunde Görlitz).

### Virtuelle Realität/ Virtual Reality (VR)

Man differenziert zwischen nicht-immersiver VR, bei der eine virtuelle Umgebung am Computerbildschirm gezeigt wird, und immersiver VR, bei der sie über eine VR-Brille dargestellt wird, um die echte Umgebung auszublenden. Ultimativ soll dadurch das Gefühl vermittelt werden, nicht mehr zwischen virtueller und realer Umwelt unterscheiden zu können. Allerdings werden selbst bei immersiven VR-Erleben bislang meist nur visuelle und akustische Sinne angesprochen, wobei bei realem Erleben auch taktile und olfaktorische Sinne stimuliert werden (Büßing et al. 2021). VR kann auch dahingehend unterschieden werden, wie die virtuelle Umgebung selbst erstellt wurde: Dies kann entweder durch 360° Aufnahmen realer Natur erfolgen oder durch grafische Computersimulationen (Yeo et al. 2020).

Tab. 9: Beispielhafte Digitalanwendungen im Bildungsbereich. Mit \* markierte Anwendungen wurden vom BfN gefördert. (BfN I 1.1)

Projektname (mit Link)	Beschreibung
<a href="#">BeeActive</a>	Digitales Outdoor-Spiel bei dem eine Blühpflanzen-Sammlung erstellt wird, die für ein Bienenvolk wichtig sind. Diese werden mit dem mobilen Endgerät fotografiert und georeferenziert. Nutzt über eine Schnittstelle die KI-basierte Pflanzenerkennung von Flora Incognita.
<a href="#">Der Grüne Schatz*</a>	Digitales Outdoor-Spiel, bei dem Pflanzen mit besonderen Eigenschaften gesucht und als Foto in verschiedenen "Schatzkisten" dokumentiert werden müssen.
<a href="#">Expedition Wilde Welten</a>	Virtual Reality Anwendung der Stiftung NaturSchutzFonds Brandenburg, konzipiert als Web-Anwendung für Virtual Reality Headsets. Interaktive Vermittlung von Lerninhalten.
<a href="#">Flora Incognita App*</a>	Automatische Pflanzenbestimmung für mehr als 4.800 Pflanzenarten der mitteleuropäischen, wildwachsenden Flora. Neben der automatischen Bestimmung gibt die App auch Informationen zu Merkmalen, Bestäuber, Schutzstatus, Verwechslungsarten. Aktuell wird an der Erarbeitung kindergerechter Pflanzensteckbriefe gearbeitet.
<a href="#">KennArt*</a>	Projekt zur Steigerung des Taxonomiewissens, u. a. durch den Aufbau der digitalen Lern-Plattform artenkenntnis.de. Zielgruppe: Taxonomieexpert:innen.
<a href="#">NABU I naturgucker-Akademie*</a>	Lernwebseite zur Vermittlung von Wissen über Arten und Lebensräume. Zielgruppe: interessierte Öffentlichkeit/Naturbeobachter:innen.
<a href="#">Naturblick App</a>	App zur Bestimmung von Pflanzen und Tieren im Stadtkontext basierend auf Bestimmungshilfen sowie automatischer Bild- und Lauterkennung. Vom Museum für Naturkunde Berlin.
<a href="#">Naturwald App</a>	App und Webservice für bayerische Naturwälder, aktuell verfügbar für den Donau-Auwald, weitere kommen hinzu. App schlägt z. B. Wanderrouten vor oder stellt Informationen über typische Tiere und Pflanzen des Naturwaldes vor. Integration von geotaggen iNaturalist Erfassungen in die Kartenansichten der Anwendung.
<a href="#">Pollinator Park</a>	Virtual Reality Zukunftsvision einer Welt ohne Bestäuber als Computersimulation, entwickelt für EU DG-Environment. U. a. in deutscher Spracheinstellung verfügbar.
<a href="#">uRnature App</a>	Smartphone App für digitale Lehrpfade in Verbindung mit Umweltbildung. Über die App werden interaktive Elemente eingebunden, wie z. B. Rätsel, AR, etc.
<a href="#">Waldfibel App</a>	Spielerische App des BMEL zur Vermittlung von Wissen über den Wald. Zielgruppe Kinder.

### 7.3 Potentiale und Chancen

**Zielgruppengerechte Ansprache:** Digitale Formate ermöglichen es, Menschen gezielter anzusprechen. Dies gilt v. a. für jüngere Generationen mit Präferenzen für digitale Medien (BMU und BfN, 2021).

**Erreichen neuer Zielgruppen:** Interessante Digitalformate können ein Anreiz sein, sich mit Natur zu beschäftigen (Crawford et al., 2017). Dadurch könnte das Interesse von Menschen an Natur geweckt werden, die bislang wenig interessiert waren.

**Einfacher Zugang:** Durch den weitverbreiteten Privatbesitz von IT-Ausstattung (Smartphones, Laptops, etc.) bieten digitale Medien für viele Menschen einen niedrighschwelligigen Zugang zu naturschutzbezogenen Lerninhalten. Dennoch ist der Zugang zu digitalen Endgeräten zwischen einkommensschwachen und einkommensstarken Haushalten unterschiedlich und muss daher seitens Naturschutzakteure berücksichtigt werden.

**Selbstbestimmtes, effektives Lernen:** Menschen können sich interessen- und bedarfsorientiert mit digitalen Lerninhalten beschäftigen. Die Angebote sind dabei nicht „one-size-fits-all“,

sondern flexibel, spielerisch und unterhaltsam. Dadurch kann das Naturschutzwissen erhöht werden.

**Neue Einblicke:** Neue Medien können Naturwunder sichtbar machen, die sonst kaum auffallen, die man aufgrund von räumlicher Abgeschlossenheit kaum oder nicht erreichen kann oder die aufgrund von Betretungsverboten nicht erlebbar sind.

**Inklusion und Teilhabe:** Menschen, denen reale Naturerlebnisse kaum oder nicht möglich sind, wie z. B. mobilitätseingeschränkte Personen (Yeo et al. 2020), können von sekundären Naturerlebnissen (v. a. immersiver VR) profitieren.

**Naturerleben für ‚Zwischendurch‘:** Immersive VR ermöglicht kurzfristiges Naturerleben während des Alltags und könnte zur Erholung und Entspannung beitragen (Mattila et al. 2020).

**Motivation zum realen Naturerleben:** Gute digitale Angebote (z. B. Lern- und Erlebnispfade, Artbestimmungs-Apps, VR) können Menschen motivieren, in die Natur zu gehen, bzw. virtuelle Erfahrungen auch analog erleben zu wollen (z. B. Yu et al. 2020). Allerdings ist es auch denkbar, dass manche digitale Naturerlebnisse als gute Alternative empfunden werden, was den Besuchsdruck auf sensible Ökosysteme reduzieren könnte (z. B. eine VR-Safari anstatt Fernreise nach Afrika).

## 7.4 Herausforderungen und Risiken

### Im Allgemeinen:

**Naturentfremdung:** Obwohl wir durch die Digitalisierung die Natur immer besser messen, beobachten und quantifizieren können, stellt sich die Frage, ob wir uns gleichzeitig von ihr entfremden. Denn je mehr Zeit Menschen am Bildschirm verbringen, desto weniger Zeit bleibt für direkte Naturbegegnungen. Dabei sind Naturerfahrungen insb. im Kindes- und Jugendalter entscheidend für eine spätere Wertschätzung der Natur (Broom 2017). In Deutschland sagen jedoch nur 46 % der 14 bis 17-Jährigen deutlich, dass es sie glücklich macht, in der Natur zu sein (BMU und BfN 2021) – bei Erwachsenen liegt der Anteil immerhin bei 59 % (BMU und BfN 2020).

**Mediensucht:** Digitale Formate, insb. Social Media und Gaming, können zu Suchtverhalten führen. Während der Corona-Pandemie hat eine pathologische Mediennutzung bei Kindern und Jugendlichen stark zugenommen (DAK-Gesundheit 2020).

**Überangebot:** Auf dem Markt gibt es eine Vielzahl an Informationsmöglichkeiten und Apps (z. B. Artbestimmungs-Apps, digitale Naturführer), was ggf. zur Überforderung und Ablehnung führen kann.

### Artbestimmungs-Apps:

**Verlust von Wissen:** Im Ehrenamt und im behördlichen Naturschutz könnten digitale Tools (z. B. automatische Artbestimmungs-Apps) bestehende Artkenntnis von Experten verringern, da das Wissen gewissermaßen „ausgelagert“ wird. Wenn grundlegende Arbeiten durch Automatismen abgedeckt werden können, könnte es die Motivation verringern, sich Grundlagenwissen selbst anzueignen und man könnte sich stattdessen zu stark auf die Technologie verlassen.

## Social Media (SoMe):

**Echokammern:** Viele SoMe-Plattformen sind durch Werbung und Nutzerdaten finanziert, so dass Klicks und Verweildauer auf den Plattformen möglichst maximiert werden. Erreicht wird das, indem emotional aufgeladene Inhalte geteilt werden, für die sich Nutzende interessieren (click bait). Dies befeuert „Echokammern“ und „Filterblasen“, d. h. Nutzende bekommen nur Inhalte angezeigt, die ihren Ansichten und Präferenzen entsprechen. Dies kann auch für den Naturschutz negative Folgen haben, wie z. B. dass neue Zielgruppen kaum erreicht werden oder dass sich Meinungen zu Naturschutzthemen polarisieren (Miller et al. 2021). Stets emotional aufgeladene Inhalte können zudem zu einer gewissen Abstumpfung führen.

**Fake News:** Die beschriebene Funktionsweise von SoMe-Plattformen führt zudem zu Fake News, die für Nutzende schwer oder gar nicht als solche identifizierbar sind. Um außergewöhnliche Inhalte zu posten und eine möglichst hohe Reichweite bzw. Likes zu erzielen, kursieren auf SoMe-Plattformen, wie z. B. Instagram und TikTok, zunehmend häufig gefakte „Retungsaktionen“, in denen Wildtiere involviert sind (SMACC 2021). Das hat unmittelbar negative Auswirkungen auf die Tiere selbst und vermittelt ein falsches Bild über den Umgang mit Wildtieren.

**Einschränkungen der öffentlichen Hand:** Bundesministerien und -behörden haben nur eingeschränkte Möglichkeiten, auf SoMe-Kanälen aktiv zu sein (Kelber 2021). Aufgrund von Datenschutzbedenken sollen sie keine eigenen Facebook-Pages betreiben bzw. diese, sofern vorhanden, bis spätestens Ende 2021 abschalten. Weitere SoMe-Plattformen werden geprüft und manche Datenschutz-Experten fordern die Ausweitung der Einschränkungen auf Landesbehörden.

## Immersive Naturerlebnisse:

**Ersetzbarkeit realer Natur:** Insbesondere bei immer besser werdenden, immersiven Naturerlebnismöglichkeiten (VR, Computerspiele) wäre es denkbar, dass sich Menschen mit bequemen, zeitsparenden und sicheren virtuellen Erlebnissen zufriedengeben und reale Naturerlebnisse weiter abnehmen.

**Idealisiertes Naturverständnis:** Virtuelle Naturerlebnisse könnten ein zunehmend idealisiertes Naturverständnis vermitteln und das Interesse an einer „Normallandschaft“ verringern.

**Actionbedarf:** Rein analoge Naturaufenthalte könnten zunehmend als langweilig betrachtet werden, wenn sich Menschen immer mehr an digitale „Wow-Effekte“ gewöhnen.

## Digitale Formate in der Naturschutzbildung:

**Hohe Kosten (je nach technischer Komplexität):** Beispielsweise gute VR-Anwendungen können in der Entwicklung leicht zw. 50.000-100.000 Euro kosten, je nachdem mit wie vielen Funktionen und Entdeckungspunkten man es ausstattet (Information eines Teilnehmenden auf der BfN-Tagung „Naturschutz Digital“, Juni 2021). Nach der Entwicklung eines Tools fallen zudem laufende Kosten für Betrieb und Wartung an.

**Abhängigkeit von technischen Dienstleistern:** Naturschutzakteure können digitale Angebote meist nicht allein umsetzen, sondern sind auf externe IT-Dienstleistungen angewiesen.

**Schnelligkeit technischer Entwicklungen:** Neue Technik und Trends verlaufen sehr schnell. Bspw. ist Facebook bei viele jungen Leuten schon wieder „out“ bevor sich Naturschutzverwaltungen ein Profil mit guter Reichweite und Sichtbarkeit erarbeitet haben.

**Ständige Aktualität:** Digitale Formate (z. B. SoMe-Profile, digitale Naturschutzinformationen für Routen-Apps, etc.) erfordern einen hohen Zeitaufwand, um sie stets relevant, aktuell und technisch funktionsfähig zu halten.

**Vorbehalte:** Manche Naturschutzakteure sehen digitale Techniken in der Umweltbildung kritisch, da es zu noch mehr Bildschirmzeit führen und reales Naturerleben verhindern könnte.

## 7.5 Bewertung und Lösungsansätze

Die Digitalisierung bietet interessante Potentiale für die Förderung von Naturbildung und -bewusstsein, aber auch ernstzunehmende Risiken. Aufgrund der Dringlichkeit der Biodiversitätskrise und der zunehmend digitalen Lebenswelt vieler Menschen, insb. von Kindern und Jugendlichen, werden Naturschutzakteure in Zukunft wohl auf digitale Formate setzen müssen, um ihre Zielgruppen zu erreichen und um interessant und sichtbar zu bleiben. Dabei sollten digitale Medien stets als eine sinnvolle Ergänzung zu realem Naturerleben gesehen werden, die im besten Fall Menschen motivieren, in die Natur zu gehen. Digitale Formate ersetzen daher eher traditionelle Schulbücher, Wanderkarten oder Informationstafeln als den eigentlichen Naturbesuch. Es ist daher wichtig, dass Naturschutzakteure und -verwaltungen die bestehenden Möglichkeiten digitaler Formate selbst nutzen, dafür stringente Kommunikationskonzepte erarbeiten und notwendige Ressourcen bereitstellen. Zudem sollten bestehende digitale Angebote verstärkt in der breiten Öffentlichkeit bekannt gemacht werden. Die Öffentliche Hand sollte darüber hinaus mehr Mittel für die Entwicklung neuer bzw. Weiterentwicklung bestehender Anwendungen bereitstellen, inkl. eines langfristig gesicherten technischen Betriebs. Allerdings ist darauf zu achten, dass Anwendungen (z. B. Arterkennungs-Apps) strategisch gezielt gefördert werden, um Konkurrenzangebote für gleiche Zielgruppen zu vermeiden. Zudem sollten gemeinnützige und überparteiliche Bildungsangebote gefördert werden, da Bildung – auch im Naturschutzbereich – möglichst wissenschaftsbasiert und unabhängig sein sollte.



## 8 Schwerpunkt: Naturschutzengagement und Ehrenamt in Zeiten der Digitalisierung

Naturwissen und -bewusstsein (vgl. Kap. 7) sind zwar sehr wichtige Prädiktoren, aber nicht die einzigen dafür, ob sich Menschen für den Schutz der Natur einsetzen. Es braucht zudem u. a. konkrete Möglichkeiten, sich zu engagieren. Als Engagement verstehen wir in diesem Kapitel das freiwillige, gemeinwohlorientierte Handeln zum Erhalt von Biodiversität als öffentliches Gut seitens zivilgesellschaftlicher Akteure – von der allgemeinen Öffentlichkeit bis zu ehrenamtlichen Expert:innen. Mit Blick auf die allgemeine Öffentlichkeit scheint es jedoch, dass trotz steigender Handlungsbereitschaft einige Menschen entweder nicht wissen, wie sie sich für den Naturschutz engagieren können bzw. sie es nicht auf die ihnen bekannten Weisen tun möchten oder können. Bspw. äußern nur 10 % der deutschen Bevölkerung eine klare Bereitschaft, in einem Naturschutzverein mitzuarbeiten (BMU und BfN 2020, 2021). Und tatsächlich ist ein Naturschutzengagement in der Bevölkerung eher selten: Laut deutschlandweitem Freiwilligensurvey engagieren sich nur 4,1 % der Befragten ab 14 Jahren im Themenbereich Umwelt, Naturschutz oder Tierschutz (BMFSFJ 2021).

Technische Innovationen und zunehmend digitale Lebenswelten könnten jedoch helfen, die Lücke zwischen der Bereitschaft zur Unterstützung des Naturschutzes und dem tatsächlichen Verhalten zu verringern. Zum einen können digitale Arbeitsweisen und Infrastrukturen die Vermittlung und Umsetzung analoger Naturschutzaktivitäten erleichtern. Zum anderen eröffnet die Digitalisierung neue, mitunter auch rein digitale Engagementformen im Naturschutz. Der bundesweite Engagementbericht zeigt, dass zumindest bei jungen Menschen (14 bis 27 Jahren) ein digitales Engagement bereits weit verbreitet ist: Rund 43 % der Befragten üben ein zivilgesellschaftliches Engagement teilweise, überwiegend oder gänzlich durch digitale Medien aus (BMFSFJ 2020).

Das folgende Kapitel gibt einen Einblick, wie sich zivilgesellschaftliche Akteure digital für den Naturschutz einsetzen können und wie die Digitalisierung analoge Naturschutzaktivitäten fördern kann.

### 8.1 Anwendungsbeispiele für digitales und digital-gestütztes Naturschutzengagement

#### Digitales Naturschutzengagement

**Internet und Social Media:** Eine mitunter sehr niedrigschwellige Form des digitalen Engagements umfasst Aktivitäten im Internet, insb. Social Media (SoMe), wie z. B. das einfache Liken, Teilen und Posten von Inhalten, das Initiieren oder Unterschreiben von Online-Petitionen oder das Schreiben von Blogbeiträgen. Naturschutzbeiträge ins Internet – als einen immer wichtigeren Ort für die persönliche Meinungsbildung – zu tragen, ist durchaus bedeutend. Denn was heutzutage nicht online ist, ist im gesellschaftlichen Diskurs praktisch nicht existent. Allerdings ist zu betonen, dass sehr niedrigschwellige Handlungen im Netz mitunter als „Engagement“ missverstanden werden können. Der oft negativ-konnotierte Begriff „Slackivism“, bzw. „Klicktivismus“ beschreibt das Phänomen, wenn Menschen nur zu einfachen Online-Aktivitäten bereit sind, aber darüber hinaus keine Verhaltensbereitschaft zeigen. Im ungünstigen Fall entschuldigen bzw. kompensieren Personen nicht nachhaltige Lebensstile und

-entscheidungen mit vergleichsweise unwirksamen Online-Aktivitäten. Speziell für Naturschutzthemen zeigt sich, dass zwar rund drei Viertel der 14 bis 17-Jährigen in Deutschland bereit sind, Seiten von Natur- und Umweltschutzorganisationen zu liken, aber nur 55 % bereit wären, Naturschutzbeiträge auch selbst zu teilen (BMU und BfN 2021).

**Crowdsourcing:** Crowdsourcing bedeutet grundsätzlich die Verteilung umfangreicher Aufgaben auf viele Mitwirkende der allgemeinen Öffentlichkeit (die „Crowd“), i. d. R. unter Nutzung digitaler Formate. Wenn die Aufgaben im Rahmen eines Forschungsprozesses stattfinden und zum wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn beitragen, spricht man von Citizen Science, Bürgerwissenschaften oder auch Mitmachforschung (Rückert-John et al. 2017). Beim Crowdsourcing stellen Engagierte ihre Ideen und Fähigkeiten, Ressourcen und/oder ihre Zeit zur Verfügung. Zu ersterem zählen bspw. Ideenwettbewerbe, das Teilen und gemeinsame Weiterentwickeln von Programmiercode (z. B. über das Repositorium [GitHub](#)) oder die Teilnahme an Datathons und Hackathons (z. B. am Umweltdaten-Hackathon [Code4Green](#)). Beispiele, bei denen Engagierte v. a. ihre Zeit in Form von Fleißarbeit investieren, ist die Mitwirkung bei der Dateninterpretation oder dem Training einer KI im Rahmen von Forschungsprojekten: Über die Citizen Science Plattform [Zooniverse](#) mit ihren rund 2,5 Mio. registrierten Freiwilligen kann jede:r dabei helfen, Bilder aus Kamerafallen und Webcams zu klassifizieren – hinsichtlich Art, Anzahl und/oder Verhalten der abgebildeten Individuen. Naturschutzprojekte, die auf diese Weise von mind. 20.000 Freiwilligen unterstützt werden, sind z. B. [Penguin Watch](#), [Snapshot Serengeti](#) oder [Floating Forests](#). Wiederum andere Projekte involvieren Freiwillige beim Digitalisieren umfangreicher Sammlungen von Naturkundemuseen, indem sie Aufnahmen von Objektetiketten abtippen, wie z. B. bei [Notes from Nature](#) (Florida, USA, ~ 3 Mio. Einträge) oder [Bees & Bytes](#) (Museum für Naturkunde Berlin, ~ 60.000 Einträge). Bei anderen Crowdsourcing-Projekten stellen Engagierte Ressourcen zur Verfügung. Ein Beispiel hierfür ist das Bereitstellen und Zusammenführen ungenutzter Rechnerkapazität privater PCs („volunteer computing“). Dadurch kann eine enorme, dezentrale Rechenleistung erzielt werden, die komplexe Modellierungsverfahren ermöglicht. Aus dem Klimabereich ist das Projekt [Climateprediction.net](#) zu nennen, spezielle Volunteer Computing Projekte aus Ökologie und Naturschutz sind jedoch nicht bekannt.

**Crowdfunding:** Ein bekannter – daher hier separat genannter – Unterbereich des Crowdsourcing ist das Crowdfunding über das Internet. Für den Naturschutz, in dem es i. d. R. mehr Projektideen als verfügbare Gelder gibt, sind finanzielle Beiträge privater und wirtschaftlicher Akteure hilfreich. Rund 57 % der Deutschen erklären sich grundsätzlich gewillt, für den Erhalt eines Schutzgebiets zu spenden (BMU und BfN 2020), allerdings zeigt die jährliche Panelstudie im Auftrag des Deutschen Spendenrats, dass es nur recht wenige auch tatsächlich tun: nur rund 3,3 % der privaten Spenden fielen in 2020 auf den Umwelt- und Naturschutzbereich (GfK 2021). Dennoch gibt es zahlreiche Online-Plattformen, über die Naturschutzprojekte finanziert werden können. Sie reichen von themenoffenen Plattformen, die nur zum Teil Naturschutzprojekte anbieten (z. B. [Betterplace](#)), umwelt- und naturschutzspezifischen Plattformen (z. B. [EcoCrowd](#) der Deutschen Umweltstiftung), bis hin zu themenspezifischen Plattformen, wie z. B. [MoorFutures](#) (Moorschutz), [AgoraNatura](#) (Agrarlandschaft) sowie diverse Plattformen für Blühpatenschaften, z. B. [Netzwerk Blühende Landschaft](#), [Combayn](#) oder [Artenglück](#).

Abgesehen von Spenden, bei denen man als Geldgebende naturgemäß keine Gegenleistung erwartet, gibt es auch Beispiele für digitale Dienstleistungen mit Naturschutzbezug. Beispielsweise ist das „digitale Gärtnern“ eine Möglichkeit, um eine naturverträgliche Lebensmittelproduktion zu unterstützen. Bei [IPGarten](#) kann man sich eine Gartenparzelle ökologisch bewirtschaften lassen (Verzicht auf Pestizide, ökologisch zertifiziertes Saatgut etc.). Jede Parzelle wird mit einer Kamera, In-frarotstrahler und diversen Sensoren überwacht, so dass sich die digitalen Gärtner:innen zu jeder Zeit per App über den Zustand ihres Gartens informieren können, bevor ihnen die Ernteprodukte zugesandt werden.

Eine weitere, neue Art des finanziellen Engagements ist der Kauf von NFT-Kunstwerken, bei dem das Geld an eine Naturschutzorganisation fließt. NTF-Kunstwerke sind derzeit ein Hype in der Digitalszene. Sie basieren auf Blockchain-Technologie (vgl. Kap. 3.6) und haben dadurch eine eindeutige Identität, welche die Besitzverhältnisse des Tokens fälschungssicher verbrieft. Der WWF Deutschland startete im Oktober 2021 eine [NFT-Aktion](#) mit Krypto-Kunstwerken bedrohter Wildtierarten namens „Non-Fungible Animals“ (NFA) (siehe Abb. 9). Die Anzahl der verfügbaren Exemplare der Kunstwerke entsprach dabei der verbliebenen Individuenzahl der jeweiligen Art in freier Wildbahn. Mit den 10 angebotenen Kunstwerken erzielte der WWF bislang rund 265.000 Euro Einnahmen (Stand Ende März 2022). Allerdings gibt es um NFT-basierte Fundraising-Aktionen auch Kontroversen, da Transaktionen in der Blockchain zu hohem Stromverbrauch führen und daher als nicht nachhaltig kritisiert werden (vgl. [Reset 2022](#)).



Abb. 9: NFT-Kunstwerk eines in Vietnam und Laos heimischen Saola (© Klemens Mrogenda)

## Digital-gestütztes, analoges Naturschutzengagement

Neben rein digitalen Unterstützungsformen kann die Digitalisierung auch das analoge Naturschutzengagement ehrenamtlich engagierter Laien und Experten unterstützen.

**Online-vermitteltes Engagement:** Online-Plattformen, Social Media-Profile, Blogs und Webseiten informieren über Möglichkeiten, wie interessierte Bürger:innen projektbezogen in der Natur aktiv werden können. Bereits ein Viertel der jungen Menschen finden den Zugang zu gesellschaftlichem Engagement über das Internet (BMFSFJ 2020). Beispiele aus dem Naturschutzbereich sind die Plattformen GoNature (diverse Natur- und Artenschutzprojekte deutschlandweit), Regiocrowd (Mitmach- und Crowdfundingprojekte im Naturschutzbereich in Sachsen und Sachsen-Anhalt), Deutschland Forstet Auf (Baumpflanzaktionen im Wald) und Giess den Kiez (Stadtbäume gießen). Zudem ist die digitale Vernetzung mit Gleichgesinnten über SoMe, Online-Kampagnen und Messenger-Diensten (Whatsapp, Telegram, etc.) unverzichtbar für die Pflege von Netzwerken, das Wachsen von Graswurzelbewegungen („grass root Initiativen“) und umweltpolitischen Aktivismus, der sich on- und offline abspielt. Bewegungen wie z. B. Fridays for Future, Extinction Rebellion oder die Hambacher Forst Demonstrationen wären ohne digitale Medien kaum denkbar.

**Gelegenheitsbeobachtungen von Arten:** Eine sehr wichtige Form des Engagements, die von Expert:innen und Laien gleichermaßen durchgeführt werden kann, ist die georeferenzierte Erfassung und das Teilen von Artvorkommen durch Gelegenheitsbeobachtungen in der Natur. I. d. R. werden hierfür Erfassungssapps und/oder Datenportale genutzt, um Beobachtungen mit einem Netzwerk anderer Naturbeobachtender zu teilen. Die Erfassung und das Teilen wird insb. durch die schnelle Weiterentwicklung und Verbreitung leistungsstarker Endgeräte erleichtert: so ist heutzutage in 86 % aller deutschen Haushalte mind. ein Smartphone vorhanden (Destatis 2021). Neben der Datengenerierung ist ein weiterer Vorteil solcher Netzwerke, dass die Mitglieder ihr Wissen durch „Schwarmintelligenz“ erweitern, indem sie sich über Beobachtungen austauschen und sich gegenseitig bei der Bestimmung von Arten helfen. Große, internationale Naturbeobachtungs-Communities sind iNaturalist (~4,7 Mio. Mitglieder, ~86 Mio. Beobachtungen, gleichnamige App) und eBird (~722.000 Mitglieder, ~61 Mio. Beobachtungen, gleichnamige App). In Deutschland sind v. a. NABU-Naturgucker (~107.000 Mitglieder, ~13 Mio. Beobachtungen, naturgucker.de-Meldeapp), ornitho.de (Naturalist App) und das regionale Netzwerk ArtenFinder (~3.000 Mitglieder, ~700.000 Beobachtungen in Rheinland-Pfalz) zu nennen. Bei ArtenFinder werden die übermittelten Daten fachlich geprüft und direkt an Naturschutzbehörden weitergeleitet.

Unsystematische Gelegenheitsbeobachtungen stellen für Wissenschaft und Verwaltung eine zunehmend interessante Datenquelle für das Monitoring dar. Mahecha et al. (2021) verglichen Pflanzenverbreitungsdaten von Flora Incognita (bürgerschaftliches Crowdsourcing) mit amtlichen Florkart-Daten (Expert:innenerhebungen). Zwar zeigte sich in den Flora Incognita Daten eine Unterrepräsentanz in dünn besiedelten Gegenden, aber durch statistische Methoden konnten aus beiden Datensätzen valide Aussagen zum Pflanzenvorkommen auf makroökologischer Ebene getroffen werden (ebd.). Auch eine vergleichende Analyse von eBird-Daten und behördlichen Monitoringdaten in den USA zeigte die Eignung beider Datensätze zur Berechnung von Populationstrends bei Vögeln (Horns et al. 2018).

**Systematische Arterfassungen:** Neben den Gelegenheitsbeobachtungen gibt es zudem gezielte Bestandserfassungs-Aktionen, an denen sich neben Experten auch interessierte Bürger:innen beteiligen können. Sie werden in systematischer Form und/oder an bestimmten Orten, bzw. zu vorgegebener Zeit durchgeführt und nutzen oftmals ebenfalls digitale Formate. Solche einschlägigen Citizen Science Aktivitäten, bei denen die Engagierten bewusst einen Beitrag zur Forschung leisten, sind z. B. Bioblitz (Kompletterfassung aller Arten an einem bestimmten Ort zu einer bestimmten Zeit), die bundesweiten NABU-Aktionen Stunde der Gartenvögel, Stunde der Wintervögel sowie Insektensommer oder auch das Projekt ViefalterGarten als Bestimmungs- und Meldeaktion von Schmetterlingsarten in der Region Leipzig.

**Erfassen und Teilen weiterer, naturschutzrelevanter Daten:** Neben der Erfassung von Artvorkommen können naturschutzengagierte Menschen weitere Geländebeobachtungen und Messungen aufnehmen, um sie mit Wissenschaft, Naturschutzorganisationen oder -verwaltungen zu teilen. Anwendungsfelder und Projektbeispiele, bei denen digitale Tools zum Einsatz kommen, sind Baumwuchsmessungen (z. B. im Projekt PLAN Birke), das Beobachten des Verhaltens besonderer Tiere (z. B. über die Animal Tracker App), das Kartieren von Landschaftsnutzungen und Ökosystemleistungen (z. B. durch die vom UFZ entwickelte MapNat-App), das Melden von Naturschäden und Verschmutzungen (z. B. im Waldreport) oder auch das Melden toter, verletzter oder gestrandeter Wildtiere über eine App (z. B. Tierfund-Kataster in Deutschland, Dolphin & Whale 911 App in den USA).

Tab. 10: Beispielhafte Digitalanwendungen, die ein Naturschutzengagement ermöglichen. Mit \* markierte Anwendungen wurden vom BfN gefördert. (BfN I 1.1)

Projektname (mit Link)	Beschreibung
<a href="#"><u>AgoraNatura*</u></a>	Crowdfunding-Plattform für Naturschutzprojekte mit Fokus auf Ökosystemleistungen.
<a href="#"><u>ArtenFinder App</u></a>	Kooperationsprojekt unterschiedlicher Bundesländer zur Verwendung von Artendaten, die von Bürger:innen erfasst werden. Die an die ArtenFinder-Portale übermittelten Daten werden fachlich geprüft, bevor sie an Naturschutzbehörden weitergeleitet werden. Stammt ursprünglich aus Rheinland-Pfalz, mittlerweile nutzen auch Nordrhein-Westfalen, Hessen und Berlin das ArtenFinder-Konzept.
<a href="#"><u>Bees &amp; Bytes</u></a>	Digitale Erfassung von Sammlungsetiketten aus dem Museum für Naturkunde Berlin als Teil des Projekts Digitize!. Ziel ist die Digitalisierung von Insekten-Exponaten, mit dem Zweck sie weltweit nutzbar zu machen. Beispiel eines Projektes auf der Zooniverse Plattform (s. u.).
<a href="#"><u>Deutschland Forstet Auf</u></a>	Vermittlungsplattform für freiwilliges Engagement bei der Wiederaufforstung in Deutschland.
<a href="#"><u>eBird/App</u></a>	Globales Netzwerk von Vogelbeobachtern, die ihre Beobachtungen teilen. eBird bietet zudem Visualisierungen und Datenerzeugnisse aus den Beobachtungsdaten, wie z. B. zu Migration und Häufigkeitsmuster, berechnet auf Basis von Modellen und maschinellem Lernen.
<a href="#"><u>Giess den Kiez</u></a>	Eine Plattform, über die sich Berliner Bürger:innen über den Standort und Wasserbedarf von Stadtbäumen informieren können, Baumpatenschaften übernehmen und sich um die Bewässerung kümmern können.
<a href="#"><u>GoNature*</u></a>	Vermittlungsplattform für freiwilliges Engagement in Natur- und Artenschutzprojekten.
<a href="#"><u>iNaturalist/App</u></a>	Weltweites Netzwerk und Plattform, über die Wissenschaftler:innen und Citizen Scientists Naturbeobachtungen online stellen. Artbestimmung durch KI sowie durch Input aus der Community. Leitet Daten an GBIF weiter.
<a href="#"><u>MapNat</u></a>	MapNat ist eine vom UFZ-entwickelte App für Anwender:innen und Wissenschaftler:innen, um zu kartieren, wie und wo Natur genutzt wird. Es können unterschiedlichste Arten von Naturnutzung aufgenommen werden, z. B. Freizeitnutzungen und Naturbeobachtungen.
<a href="#"><u>naturgucker.de/App</u></a>	naturgucker.de und die internationale Version enjoynature.net sind Plattformen zum Verwalten und Teilen von Naturbeobachtungen. Zusätzlich bieten sie Artinformationen, Fund- und Verbreitungskarten. naturgucker.de stellt über die Webseite eine automatische Erkennungshilfe für die 100 in Deutschland am häufigsten beobachteten Schmetterlingsarten zur Verfügung. Die Erfassung kann u. a. über die naturgucker.de-Meldeapp erfolgen (nicht KI-basiert).
<a href="#"><u>ornitho.de*</u></a>	Online-Meldeportal für Vogelbeobachtungen, bestehend seit 2011 und betrieben durch den Dachverband Deutscher Avifaunisten (DDA). Seit 2019 ist die Meldung von Beobachtungen des Monitorings seltener Brutvögel über ornitho.de möglich und zu dem Zwecke vom BfN gefördert.
<a href="#"><u>Regiocrowd</u></a>	Vermittlungsplattform von Mitmach- und Crowdfundingprojekten im Naturschutz in Sachsen und Sachsen-Anhalt.
<a href="#"><u>VielfalterGarten*</u></a>	Die App ermöglicht 15-Minuten-Zählungen von Schmetterlingen. Die Daten werden im Rahmen des Citizen Science Projekts VielFalterGarten unter einer offenen Lizenz zugänglich gemacht und wissenschaftlich ausgewertet. Regionales Citizen Science Projekt im Raum Leipzig.
<a href="#"><u>Waldreport</u></a>	Digitale Kartenanwendung, über die Bürger:innen Schäden im Wald dokumentieren und melden können. Ziele: 1) über Waldschäden informieren (z. B. Kahlschlag, Wegeschäden, Nadelwaldaufforstung). 2) Sehen, wo sich andere engagieren. 3) Daten erfassen für die Wissenschaft. Zukünftig soll eine mobile Anwendung die Desktopvariante ergänzen.
<a href="#"><u>Zooniverse</u></a>	Weltweite Plattform für Citizen Science Projekte aus unterschiedlichen Disziplinen, u. a. Natur. Projekte benötigen meist die Mitarbeit Freiwilliger zum Klassifizieren großer Datensätze, z. B. zum Antrainieren von KI.

## 8.2 Potentiale und Chancen

**Einbindung der breiten Öffentlichkeit:** Digitale Engagementformen entfalten ihre Wirkung, wenn sich möglichst viele Menschen beteiligen („Crowd“). Sie können daher helfen, ein Naturschutzengagement in die Breite zu tragen und Menschen zu involvieren, die sich ein traditionelles Engagement (z. B. Mitarbeit im Naturschutzverein) nicht vorstellen können. Dadurch, dass breite Zielgruppen angesprochen werden, auf deren „Schultern“ sich Arbeit verteilt, können personelle und finanzielle Engpässe beruflicher Naturschutzakteure gemildert werden.

**Moderne Formate:** Digitale Formate sind insb. anschlussfähig an die Präferenzen und Fähigkeiten junger Menschen. Sie können daher ein Anreiz für ein erstmaliges oder verstärktes Naturschutzengagement in dieser Zielgruppe sein.

**Flexibles Engagement:** Rein digitale Engagementformen ermöglichen örtliche und zeitliche Flexibilität. Zudem erfüllen manche digitale Engagementformen den Wunsch einiger Menschen, sich zeitlich begrenzt, unverbindlich und niedrigschwellig zu engagieren.

**Effizienz, Arbeitserleichterung und Prozessoptimierung:** Durch digitale Tools (z. B. Kartierungssoftware, Online-Portale, Melde-Apps) können Ehrenamtliche und Bürger:innen mehr Naturbeobachtungen erfassen und somit zu einer verbesserten Datenbasis beitragen (Richter 2019). Dank digitaler Infrastrukturen und Arbeitsweisen können sich Fachgesellschaften, Naturschutzorganisationen und -vereine, etc. leichter vernetzen, Öffentlichkeitsarbeit betreiben, Personal und Mitglieder werben oder Finanzierungsoptionen erschließen. Zudem erleichtern digitale Tools die Datenerfassung im Gelände sowie die Übertragung, Auswertung und Haltung der Daten. Diese Erleichterungen könnten sich motivierend auswirken und die Einsatzbereitschaft und Beteiligung, insb. im Ehrenamt, erhöhen.

**Sichtbarkeit:** Internetplattformen und Online-Communities machen Engagementmöglichkeiten sowie die Beiträge zahlreicher Ehrenamtler:innen und Citizen Scientists sichtbarer und führen so zu einer höheren Wertschätzung ihrer Leistungen.

## 8.3 Herausforderungen und Risiken

**Im Allgemeinen:**

**Slackivism/Klickivism:** Das Entscheidende eines Naturschutzengagements ist, welche positiven Effekte bei der Natur ankommen. V. a. wenn Personen nur zu oberflächlichen Aktionen bereit sind, kann sich daraus kaum eine überzeugende Bewegung bzw. Aktivismus entwickeln, so dass folglich auch die positiven Effekte für den Naturschutz ausbleiben.

**Substitutionseffekt:** Es wäre denkbar, dass sich naturschutzinteressierte Personen der Bequemlichkeit halber zunehmend auf ein rein digitales Engagement beschränken anstatt auch im Analogen mit anzupacken mit entsprechenden Folgen für die Arbeit von Naturschutzorganisationen.

**Geringe Verbindlichkeit:** Rein digitale Engagementformen haben i. d. R. keine hohe Verbindlichkeit seitens der Freiwilligen. Für Naturschutzakteure ergeben sich daraus Unsicherheiten, ob sich Menschen an ihren Crowdsourcing-Projekten beteiligen.

## Im Ehrenamt:

**Digital Divide (vgl. Begriffserklärung, S. 94):** Taxonomieexpert:innen sind im Durchschnitt eher ältere Personen (Richter 2019), wobei im Allgemeinen die Digitalkompetenz und -offenheit mit steigendem Alter abnimmt (D21 2022). Ehrenamtliche Expert:innen könnten sich durch den digitalen Wandel in ihrer Arbeit (z. B. durch neue Erfassungsmethoden, Datenmanagement- und Datenschutzerfordernungen) überfordert fühlen. Wenig technikaffine Menschen könnten ihr Engagement reduzieren oder von digitalen Arbeitsweisen ausgeschlossen werden. Abgesehen von Altersgründen können auch regionale Unterschiede den Einsatz von digitalen Tools verhindern, da in ländlichen Gebieten ein ausreichend schnelles Internet nicht selbstverständlich ist.

**Geringes Vertrauen in digitale Methoden und Technologien:** Insb. im stark intrinsisch motivierten und engagierten Ehrenamt kann es Bedenken geben, dass sensible, digitale Naturschutzdaten missbraucht oder von Dritten fälschlich verwendet und interpretiert werden.

## 8.4 Bewertung und Lösungsansätze

Die Digitalisierung eröffnet innovative Formate, über die sich Menschen für die Natur einsetzen können, was grundsätzlich positiv zu bewerten ist. Auch können über das Internet verschiedene Engagementmöglichkeiten sichtbar gemacht werden, was Menschen dabei hilft, ein für sie passendes Format oder Projekt zu finden – auch im Analogen. Allerdings zählt, was beim Naturschutz tatsächlich ankommt. Sicher haben nicht alle niedrigschwelligen und flüchtigen Online-Aktionen auch tatsächlich eine positive Wirkung für die Natur und sind daher mit einem verbindlichen, regelmäßigen Engagement, insb. des Ehrenamts, nicht vergleichbar. Dennoch sind rein digitale Engagementformen eine gute Ergänzung zum traditionellen Engagement in einem Naturschutzverein, einer Fachgesellschaft, o. ä. Dadurch, dass sie eine breite, insb. junge Öffentlichkeit ansprechen, ist zu hoffen, dass dadurch die gesellschaftliche Beteiligung am Naturschutz gesichert werden kann. Mit Blick auf das Ehrenamt im Speziellen, die Altersstruktur vieler Artexpert:innen und die teilweise ungenügende Internetqualität im ländlichen Raum, sollten beide Arbeitsweisen – analog und digital – nutzbar bleiben (z. B. bei der Kartierarbeit), um möglichst alle interessierten Zielgruppen einzubinden. Darüber hinaus sollten Trainingsangebote und gemeinsames Lernen den Prozess begleiten, digitale Arbeitsweisen und Prozesse im Ehrenamt weiter zu etablieren, um das volle Effizienzpotential zu nutzen.



## **Exkurs: Digitalisierung für Naturschutz in anderen Bereichen von Wirtschaft und Gesellschaft**

Naturschutz muss eine wichtige Rolle in der Digitalisierung vieler wirtschaftlicher und öffentlicher Bereichen einnehmen, auch wenn der Bezug nicht auf den ersten Blick gegeben scheint. Neben der Veränderung von Naturschutzpraxis und -verwaltung kann die digitale Transformation beispielsweise des Mobilitätssektors, des Handels, der Land- und Forstwirtschaft aber auch des Kommunikations-, oder des Finanzwesens eine große Hebelwirkung im Sinne des Naturschutzes entwickeln.

Dafür ist es notwendig, dass Naturschutzaspekte, ebenso wie Umweltschutz und soziale Belange, zu den zentralen Zielgrößen der Digitalisierung werden. Der Schutz von Biodiversität, Arten und Habitaten muss sprichwörtlich in die Digitalisierung aller Bereiche und Sektoren eingeschrieben werden. Dafür sollte Naturschutz als eine maßgebliche Zielgröße der digitalen Optimierung etabliert und nicht nur als ein Aspekt der Folgenabschätzung betrachtet werden. In der Landwirtschaft beispielsweise muss der positive Naturschutznutzen neben Ertragssteigerungen, Betriebsmitteleinsparungen oder Arbeitszeitorientierung mitgedacht und entsprechen operationalisiert werden.

An dieser Stelle wird deutlich, dass eine natur-, umwelt- und sozialverträgliche Digitalisierung immer an eine strukturelle Transformation der betreffenden Sektoren geknüpft ist. Ohne strukturelle Änderungen oder die Integration von Naturschutz als Ziel der Optimierung wird Digitalisierung zum Brandbeschleuniger, indem sie nicht-nachhaltige Trends noch effizienter gestaltet.

Dieser Zusammenhang lässt sich gut am Beispiel des Agrarsektors nachvollziehen. In der Landwirtschaft ist das Versprechen einer positiver Naturschutzwirkung bereits seit längerem ein zentrales Argument für Technisierung und digitale Steuerung. Doch trotz der weiten Verbreitung der sogenannten Präzisionslandwirtschaft in den vergangenen Jahrzehnten, ist keine entsprechende Verbesserung des Naturzustandes in Agrarlandschaften eingetreten (Indikator Artenvielfalt). Genauere Messmethoden und eine bessere Applikation von Dünger und Pflanzenschutzmitteln führten eben nicht automatisch zu einer verbesserten Natur- und Umweltwirkung. Die Kommission Landwirtschaft des Umweltbundesamts (KLU) sieht daher die strukturelle Transformation der Anbausysteme als Grundvoraussetzung für eine sinnvolle Anwendung der Digitalisierung (KLU 2019). Damit auch neuere digitale Anwendungen einen besseren Naturschutznutzen entfalten können, müssen also die Grundvoraussetzungen stimmen und die Digitalisierung unterstützend darauf angepasst werden. So können neue digitale Anwendungen, wie zum Beispiel Fahrleitsysteme, welche gesetzliche Mindestabstände zu naturschutzrelevanten Flächen direkt in die GPS-Steuerung von Landmaschinen einspeisen und die Düngeapplikation unterbrechen, einen wertvollen Beitrag leisten (Agrimentor). Unter der Voraussetzung, dass die zugrundeliegenden gesetzlichen Vorgaben stimmen, könnten bereits solche, vergleichsweise einfachen digitalen Hilfsmittel eine große Wirkung für Umwelt- und Naturschutz erzielen. Deshalb ist es wichtig, dass Naturschutzaspekte direkt in die digitalen Anwendungen der betreffenden Sektoren integriert werden.

Die Ansatzpunkte dafür sind, je nach wirtschaftlichem und gesellschaftlichem Bereich, vielfältig aber in sehr unterschiedlichem Maße ausgeprägt. Für die Forschung und Politikberatung

im Bereich smart cities konstatieren Moss et al. (2021) beispielsweise eine deutliche Fehlstelle des Themas urbane Natur. Zugleich dokumentieren sie jedoch zahlreiche existierende Projekte und Ansätze in denen digitale Anwendungen und Methoden entwickelt werden, um Stadtnatur zu erfahren oder zu schützen, wie zum Beispiel Naturblick.

Die genannten Beispiele verdeutlichen die Notwendigkeit, aktiv Einfluss auf die digitale Transformation aller Sektoren und Bereiche zu nehmen, statt sich im Feuerwehrmodus nur auf die Auswirkungen einer fehlgeleiteten Digitalisierung zu konzentrieren.

## 9 Chancen und Risiken der Digitalisierung für den Naturschutz – Eine Zusammenfassung

Dieses Kapitel fasst mit Blick auf den Naturschutz die wesentlichen Chancen und Risiken der Digitalisierung zusammen. Die hier genannten Punkte sind allgemeingültig formuliert und treffen somit auf unterschiedliche Digitaltechnologien zu, während in den Schwerpunktkapiteln themen- bzw. technologiespezifische Chancen und Risiken dargelegt werden. Lösungen, bzw. Lösungsansätze für einige der angesprochenen Herausforderungen und Risiken finden sich in den Schwerpunktkapiteln.

Insgesamt gehen mit der Digitalisierung vielfältige Potentiale und Risiken einher, was ambivalente Meinungen über den Nutzen der Digitalisierung auch für den Naturschutz begründet. Die Ergebnisse der Naturbewusstseinsstudie 2019 zeigen, dass gut ein Drittel (36 %) der Erwachsenen denkt, dass für den Naturschutz weder die Chancen noch die Risiken der Digitalisierung überwiegen (siehe Tab. 11). Aufgegliedert in verschiedene Alterskohorten zeigt sich allerdings ein differenzierteres Bild: Während insb. die jungen Erwachsenen im Alter von 18 bis 29 Jahren denken, dass die Chancen überwiegen (51 %), sind die über 65-Jährigen skeptischer. Interessanterweise fällt auch die Einschätzung der 14 bis 17-Jährigen weniger euphorisch aus, als die der jungen Erwachsenen: Nur 31 % der Jugendlichen denken, dass die Digitalisierung für den Naturschutz überwiegend Chancen bietet (BMU und BfN 2020, 2021).

Tab. 11: Bevölkerungsmeinung über die Chancen und Risiken der Digitalisierung für den Naturschutz (in %).

Altersgruppe	Chancen	teils/teils	Risiken	k. A.
Bevölkerungsdurchschnitt (18+ Jahre)	37	36	19	8
>65 Jahre	23	37	27	13
18-29 Jahre	51	37	9	3
14-17 Jahre	31	37	27	5

(Naturbewusstseinsstudie (BMU und BfN, 2020), Jugend-Naturbewusstseinsstudie (BMU und BfN, 2021))

Eingeschränkte direkte Vergleichbarkeit der Studiendaten aufgrund unterschiedlicher Erhebungszeitpunkte und -methoden (Erwachsene: Interviews, vor Corona; Jugend: Online-Erhebung, während Corona).

### 9.1 Chancen für den Naturschutz

**Neue Datenbestände sowie verbesserte Naturbeobachtungsmethoden:** Für den gesamten Bereich der Datenerhebung bietet die Digitalisierung enormes Potential. Die rasanten Weiter- und Neuentwicklungen von Erhebungstechnologien ermöglichen eine zunehmend flächendeckende, mintunter automatisierte Erfassung naturschutzrelevanter Faktoren sowie die Erhebung gänzlich neuer Daten. Auch die manuelle Kartierarbeit von Fachgesellschaften, Planungsbüros und anderen Expert:innen im Gelände kann durch digitale Erfassungstools erleichtert und ggf. effizienter gestaltet werden (vgl. Kap. 4).

**Neue Beteiligung bei der Erhebung von Daten zur Natur:** Zudem erweitert die Digitalisierung den Kreis derer, die forschungsrelevante Daten über die Natur erheben: Durch digital gestützte Citizen Science Projekte und Gelegenheitsbeobachtungen werden Datenbestände geschaffen, die von der breiten Bevölkerung generiert werden und zur umfangreichen Datenverfügbarkeit beitragen (vgl. Kap. 8).

**Digitalisierung analoger Datenbestände:** Historisches Kartenmaterial und unveröffentlichte Gutachten im Bestand von Naturschutzverwaltungen sowie umfangreiche Sammlungen von Naturkundemuseen bergen wertvolle Informationen, die bei Bedarf – wenn auch unter hohem Aufwand – digitalisiert und somit zugänglich und nutzbar gemacht werden können (vgl. Kap. 4).

**Sicherung, verbesserte Vernetzung und Zugänglichkeit von Datenbeständen:** Trotz steigender Datenmenge und -komplexität können zunehmend leistungsstarke IT-Infrastrukturen Daten langfristig sichern sowie ihre Auffindbarkeit, Weitergabe und Vernetzung gewährleisten. Zudem ermöglichen Datenportale, Dashboards und Repositorien die Umsetzung steigender gesellschaftlicher und politischer Anforderungen in Bezug auf offene Forschungs- und Verwaltungsdaten (Open Data), die Bereitstellung von Naturschutzinformationen an die Bevölkerung (UIG) und einen vereinfachten, zentralen Zugang zu Naturschutzdaten, was u. a. Planungs- und Genehmigungsprozesse beschleunigen kann. Die Veröffentlichung von Daten stellt außerdem Qualitätsanforderungen an die bereitgestellten Datensätze und verbessert somit deren Validität, Transparenz und Nachnutzbarkeit, z. B. durch Metadatenstandards (vgl. Exkurs: Open Science, Open Access, Open Source, Open Data, S. 67).

**Neue Forschungs-, Datenanalyse- und Bewertungsmethoden:** Die zunehmende Datenmenge sowie exponentiell steigende Rechenkapazitäten und performante IT-Infrastrukturen erfordern bzw. ermöglichen fortgeschrittene Methoden der Datenprozessierung. Analysemöglichkeiten von Daten unterschiedlicher Quellen sowie die Modellierung, Szenarienbildung und Visualisierung leisten einen enormen Beitrag zum Wissensgewinn über die Natur, z. B. präzise Zustands- und Trendanalysen von Ökosystemen und Arten, Einflüsse von Treibern des Biodiversitätsverlustes, die Effektivität von Naturschutzmaßnahmen oder die Risikoabschätzung von Handlungsalternativen. Gleichzeitig zeigen neue Analysemethoden bestehende Handlungsnotwendigkeiten, Daten- und Informationsdefizite auf (vgl. Kap. 6 und Exkurs: Modellierung und Naturschutz, S. 64).

**Bessere Governance und Überwachung von Naturschutzziele:** Dank der zuvor genannten Potentiale ist ein schnelleres und gezielteres Naturschutzmanagement insgesamt möglich – sei es in der Strategieentwicklung auf übergreifender, politischer Ebene als auch auf praktischer Ebene, z. B. in der Landwirtschaft durch naturverträglicheres Smart Farming oder im Management von Schutzgebieten durch datenbasierte Decision Support Systeme. Digitale Methoden versprechen auch im Vollzug wirksame Unterstützung, z. B. bei der automatisierten Überwachung des Online-Artenhandels sowie im Nagoya-Vollzug durch gezieltere Kontrollen. Naturschutzmaßnahmen und Politikentscheidungen, die auf zunehmend transparenten Daten und fundierten Methoden basieren, könnten zudem von Landnutzer:innen und der Bevölkerung im Allgemeinen mehr akzeptiert und unterstützt werden.

**Unterstützung der Arbeit von Naturschutzorganisationen und -verwaltungen:** Digitale Tools, z. B. für Kollaboration, Projektmanagement und Verwaltung, bringen neue Formen der Zusammenarbeit zwischen Naturschutzakteuren hervor, verschlanken Arbeitsprozesse und führen zu einem Kulturwandel in der Arbeitswelt (sog. „Arbeit 4.0“), der Haupt- und Ehrenamtlichen im Idealfall Spaß macht und in ihrer Arbeit motiviert. Zudem schafft die Digitalisierung neue Berufsbilder und neue Arbeitsplätze im Naturschutz.

**Moderne Formen der Wissensvermittlung und des Naturerlebens:** Digitale Medien, wie z. B. Social Media, Podcasts, Serious Games etc., sind moderne Kanäle, um Naturschutzwissen zielgruppenspezifisch zu vermitteln, insb. an die wachsende Gruppe digital-versierter Menschen. Interaktive Apps zur Artbestimmung können grundlegende Artkenntnis verbessern und die Freude an Naturbeobachtungen steigern. Außerdem können virtuelle Naturerlebnisse Inklusion fördern, sich leichter in den Alltag integrieren lassen und somit zum Wohlbefinden von Menschen beitragen (vgl. Kap. 7).

**Neue Möglichkeiten der gesellschaftlichen Beteiligung:** Die Digitalisierung erhöht das Repertoire an Beteiligungs- und Engagementmöglichkeiten und kann dadurch gänzlich neue Aktive für den Naturschutz gewinnen. Zum einen können sich Menschen durch verschiedene Crowdsourcing-Aktivitäten im Internet rein digital engagieren. Zum anderen kann die Digitalisierung das analoge Engagement ehrenamtlicher Lai:innen und Expert:innen erleichtern, z. B. indem Engagementmöglichkeiten über Online-Plattformen vermittelt, das Erfassen und Teilen von Naturbeobachtungen durch Apps und Datenportale ermöglicht, sowie die Einbindung der Öffentlichkeit in Citizen Science Projekte unterstützt werden (vgl. Kap. 8).

## 9.2 Herausforderungen und Risiken für den Naturschutz

**Hohe Anforderung an IT und Datenmanagement:** Die rasante Entwicklung der Digitalisierung stellt enorme Anforderungen an IT-Infrastrukturen und das Datenmanagement. Grundsätzlich muss eine angemessene IT-Grundausstattung vorhanden sein, was insb. für kleinere Naturschutzakteure bereits eine Herausforderung darstellen kann. Zudem braucht es geschultes Personal, das mit den zunehmend komplexen Tools im Backend umgehen und die IT-Sicherheit trotz steigender Risiken im Bereich der Cyberkriminalität sicherstellen kann. Daneben sind gesellschaftliche und rechtliche Anforderungen in Bezug auf Datenschutz, Copyright, Datenvernetzung und -zugänglichkeit weitere, komplexe Aufgaben. Gleichzeitig werden Daten über Artvorkommen häufig von Privatpersonen und Vereinigungen erhoben, so dass sich Urheberrechts- und Nutzungsrechtsfragen im Naturschutz häufiger stellen als in Bereichen, in denen verstärkt mit offiziell erhobenen Sensordaten gearbeitet werden kann, wie z. B. im Umwelt- und Klimabereich. Zudem bestehen für IT-Infrastrukturen im Großen, wie auch für jegliche Tools im Kleinen ein fortlaufender Bedarf an Finanzierung und technischer Betreuung. Dies liegt nicht zuletzt daran, dass technische Weiterentwicklungen die langfristige Kompatibilität von Dateiformaten, Speichermedien und Hardware gefährden kann. Bei fehlender technischer Betreuung kann dies im schlimmsten Fall zu Daten- und letztlich Wissensverlust führen.

**Notwendigkeit zur Standardisierung und Konsolidierung:** Um die Chancen der Digitalisierung auszuschöpfen, sind Standardisierungen von Vorteil, z. B. von Erfassungsmethoden, Datenformaten, Taxonomien und Metadaten. Das erfordert meist großen Aufwand und ist aufgrund der Komplexität von Naturschutzthemen ggf. dennoch nicht immer möglich. Einheitliche Strategien und Regelungen würden Standardisierungsbemühungen begünstigen, was in Deutschland allerdings u. a. durch föderale Strukturen im Naturschutz und die damit einhergehenden verstreuten Zuständigkeiten bei Digitalprojekten erschwert wird. Das Resultat sind mitunter digitale Einzellösungen mit eingeschränkter Skalierbarkeit, Konkurrenzsysteme oder Datensätze mit begrenzter Nachnutzbarkeit.

**Komplexität und Dynamik neuer Erhebungs- und Analysemethoden:** Mit der steigenden Komplexität digitaler Erhebungs- und Analysemethoden sinkt für viele Naturschutzexpert:innen – abgesehen von spezialisierten Fachkreisen – die Nachvollziehbarkeit von Ergebnissen und die Möglichkeit zur Qualitäts- und Plausibilitätskontrolle. Zudem ist denkbar, dass Verzerrungen in KI-Trainingsdaten oder unentdeckte Fehler in Algorithmen zu ungewollt fehlerhaften Interpretationen führen, was bei Anwender:innen und Entscheider:innen ein gewisses Misstrauen gegenüber neuen Methoden begründen kann. Speziell für standardisierte Monitoringprogramme haben neue Erfassungsmethoden, wie z. B. eDNA, zwar ein großes Potential, aber die Dynamik methodischer Weiterentwicklungen kann eine Herausforderung für die langfristige Vergleichbarkeit der Daten darstellen.

**Konkurrenz zum klassischen Naturschutz(-wissen):** Um den digitalen Wandel gut zu vollziehen, braucht es Ressourcen. Damit einher geht die Befürchtung, dass Themen mit geringen Berührungspunkten zur Digitalisierung ein Nachsehen haben könnten, z. B. bei der Fördermittelvergabe oder bei Stellenbewilligungen. Auch auf fachlicher Ebene könnten digitale Tools eine Konkurrenz zum menschlichen Wissen darstellen: Zunehmend komplexe, intransparente Analysemethoden könnten Grundlagenwissen an die Technik auslagern, so dass ggf. Grundverständnis und Erfahrungswissen bei Naturschutzakteuren verloren gehen.

**Steigende Anforderungen an Naturschutzorganisationen und -verwaltungen:** Die Dynamik des digitalen Wandels macht es für Einzelpersonen wie auch Organisationen schwierig, schnelllebige Trends stets fundiert einzuschätzen und den Überblick zu behalten. Dies kann ggf. zu Parallelentwicklungen, Konkurrenzsystemen und Überangeboten führen (z. B. funktionsähnlicher Apps). Die Chancen der Digitalisierung verursachen zudem einen gewissen Zugzwang zur ständigen Aktualität sowie zur Nutzung neuer Methoden und Tools. Dieser unvermeidliche Wandel der Arbeitswelt kann für Beschäftigte mitunter zu Überforderung und Ablehnung führen. Außerdem verursacht der digitale Wandel selbst, z. B. das Umstellen von Arbeitsprozessen, Weiterbildungsbedarfe etc., Aufwände und Einstiegshürden bei teilweise unklarem Nutzen. Schließlich ist auch der Fachkräftemangel im IT-Bereich sowie die Abhängigkeit von externen Dienstleistern eine Herausforderung. Aufgrund der Finanzkraft und den privaten Optimierungsvorteilen, verläuft der digitale Wandel in der Wirtschaft meist schneller als in Gemeinwohlbereichen, wie z. B. im Naturschutz. Der Naturschutz hängt daher den digitalen Entwicklungen am Markt tendenziell hinterher oder ist schlimmstenfalls negativ davon betroffen (siehe nächster Punkt).

**Unmittelbar negative Konsequenzen und Reboundeffekte auf die Natur:** Digitale Tools aus anderen Sektoren, die nicht primär an Naturschutzzielen ausgerichtet sind, können die Treiber des Biodiversitätsverlusts unbeabsichtigt verstärken. Bspw. können im Tourismus- und Sportsektor Apps für privat-erstellte Routen und Social Media Trends zu Besucheranstürmen in Schutzgebieten führen, sensible Habitate auffindbarer machen und eine naturverträgliche Besucherlenkung erschweren. Im Landwirtschaftssektor sind Precision Farming Tools häufiger an einer weiteren Intensivierung oder an Betriebsmitteleinsparungen ausgerichtet als am Biodiversitätsschutz. Schließlich stellt auch die unkontrolliert, öffentliche Verbreitung von Naturschutzdaten und -informationen ein Risiko dar: Hochauflösende Satellitenbilder, Social Media Posts oder Plattformen für Naturbeobachtungen können im schlimmsten Fall illegale Aktivitäten erleichtern, wie z. B. die Wilderei oder das Aufspüren und Entnehmen seltener Pflanzen

aus der Natur. Auch der illegale Handel mit geschützten Arten im Internet ist weit verbreitet und stellt große Herausforderungen an den Artenschutzvollzug.

**Digital Divide:** Der digitale Wandel vollzieht sich aufgrund uneinheitlicher Voraussetzungen in der Bevölkerung unterschiedlich und verursacht den sog. Digital Divide (Digitale Kluft). Der Begriff beschreibt regionale, nationale und internationale Unterschiede im Zugang und in der Nutzung moderner Informations- und Kommunikationstechnologien und den damit verbundenen sozialen und wirtschaftlichen Entwicklungschancen. Der Digital Divide ist verursacht durch verschiedene sozioökonomische und technische Faktoren, wie z. B. Zugang zu schnellem Internet, was insb. in ländlichen Regionen unzureichend sein kann; die Verfügbarkeit von Einkommen, um sich Internetzugang und IT-Ausstattung leisten zu können; sowie Alter, da ältere Menschen tendenziell ein geringeres Wissen, Nutzungsintensität und Akzeptanz für digitale Technologien haben. Daneben spielen auch Bildung, Geschlecht und persönliche Werte, Lebensstile und Interessen eine Rolle, inwieweit Personen am digitalen Wandel teilhaben können und wollen. Diese Konflikte zwischen Stadt-Land, Gesellschaftsschichten und Generationen spielen auch im Naturschutz in vielerlei Hinsicht eine Rolle, z. B. in der Arbeit des Ehrenamts, in der Zielgruppen-spezifischen Wissensvermittlung oder der (digitalen) Teilhabe in Planungsprozessen.

**Naturentfremdung und Mediensucht:** Je mehr Zeit Menschen am Bildschirm verbringen, desto weniger Zeit bleibt für persönliche, analoge Naturerlebnisse. Im schlimmsten Fall können digitale Formate, wie z. B. Social Media und Gaming, zu Suchtverhalten führen, insb. bei jungen Menschen. Dies erschwert Naturschutzakteuren, die allgemeine Bevölkerung für die Belange des Naturschutzes zu sensibilisieren, Grundlagenwissen über heimische Arten und Lebensräume aufrecht zu erhalten und zum eigenen, naturverträglichen Handeln zu aktivieren.

**Eingeschränkte staatliche/zivilgesellschaftliche Steuerbarkeit:** Da digitale Entwicklungen i. d. R. von internationalen wie auch nationalen Tech-Unternehmen, Start-Ups und Wissenschaftsakteuren vorangetrieben und teilweise monopolisiert werden, entziehen sie sich trotz ihrer gesellschaftlichen Brisanz einer staatlichen und zivilgesellschaftlichen Steuerung und Kontrolle. Bspw. Entwicklungen im Bereich von Kryptowährungen, starker künstlicher Intelligenz, humanoide Roboter etc. dürften von breiten Teilen der Bevölkerung kritisch gesehen, bzw. abgelehnt werden, was ihre weitere Beforschung und Entwicklung jedoch nicht verhindert.

**Überschätzung und Fehleinschätzung digitaler Möglichkeiten:** Eine mögliche Leichtgläubigkeit, dass digitale Technologien unsere gesellschaftlichen Probleme (z. B. Artensterben, Klimawandel, Trinkwasserknappheit) in Zukunft lösen werden (Schlagwort „Greentech“), kann ein konsequentes, gegenwärtiges Handeln – auf privater wie auch politischer Ebene – sträflich hinauszögern. Gleichzeitig können Missverständnisse und Fehleinschätzungen, z. B. was KI kann bzw. nicht kann, zu unbegründeter Ablehnung von Technologien führen. Insgesamt ist nur schwer abzusehen, wie sich Zukunftstechnologien weiterentwickeln und welche Potentiale und Risiken sie bergen, was den Disziplinen der Technikfolgenabschätzung und Zukunftsforschung eine zunehmende Bedeutung zuzisst. Dennoch sind aktuelle Entscheidungen und Strategien in Bezug auf die Digitalisierung stets mit großen Unabwägbarkeiten behaftet.

**Gesellschaftliche und politische Konjunkturen:** Auf dem Feld der Digitalisierung ist gelegentlich ein politisch induzierter, technologischer Fokus zu beobachten. Trotz aller strategischen Erwägungen darf dieser die fachlichen Bedarfe nicht aus dem Auge verlieren.

**Negative Umweltauswirkungen:** In den Debatten um Möglichkeiten und Risiken der Digitalisierung wird an vielen Stellen auf negative Umweltauswirkungen hingewiesen. Dabei stehen die materiellen Grundlagen der digitalen Transformation im Fokus wie Energieaufwand, Ressourcenverbrauch und Elektroschrott (Schwarz et al. 2020, Greenpeace 2020). Als weiteres wichtiges Feld werden die Potenziale der Digitalisierung, umweltschädliche Trends zu verschärfen, in den Blick genommen (Curnick et al. 2021: 7). Das Umweltbundesamt (UBA) widmet sich ausführlich den hier skizzierten Potenzialen und Risiken (Pagano und Krause 2019, UBA 2019). Deshalb soll an dieser Stelle auf detaillierte Ausführungen verzichtet werden.

**Souveränität, Privatsphäre und Stigmatisierung:** Viele Aspekte der Digitalisierung im Naturschutz können Auswirkungen auf die Souveränität und die Privatsphäre von Nutzenden und Unbeteiligten haben. Immer mehr Sensoren erfassen Standortinformationen, Bilder, Töne und inzwischen sogar Gerüche und Emotionen (vgl. Kap. 4). Automatisierte Empfehlungen, zum Beispiel in Routing-Apps und Kartenanwendungen, nehmen immer mehr Menschen Entscheidungen ab, wo und wie sie Natur erleben. Auch im Internet sollen die Konsum- und Informationsentscheidungen von Nutzenden zukünftig stärker aktiv im Sinne des Naturschutzes beeinflusst werden. Besonders offensichtlich wird die Notwendigkeit zur Abwägung, wenn direkt menschliches Verhalten erfasst, bewertet und gegebenenfalls sanktioniert wird. Beispiele dafür sind Systeme, mit denen Wilderei erkannt und bekämpft werden soll. Solche Systeme bergen das Risiko unter anderem marginalisierte Gruppen zu stigmatisieren (vgl. Kap. 6). Aber auch Trackingsysteme zur Besucher:innenlenkung zur Erkennung von unerwünschtem Verhalten betreffen die Privatsphäre aller Betroffenen. Entsprechend ist es notwendig, die Auswirkung von Naturschutzanwendungen auf unerwünschte soziale, rechtliche und ethische Implikationen hin zu überprüfen. Erste Ansätze zur Regulation sind im Kapitel 6 skizziert.



## 10 Fazit

Die erarbeiteten Wissensstände in diesem Bericht verdeutlichen die Komplexität und Tragweite von digitalen Technologien und Entwicklungen auf naturschutzfachliche Aspekte. Im Folgenden sind grundlegende Erkenntnisse zusammengefasst.

Digitalisierung ist ein Katalysator für die fachliche Arbeit des Naturschutzes im Speziellen und die Auswirkungen auf die Biodiversität im Allgemeinen. Ob dabei positive oder negative Verstärkungseffekte für den Naturschutz überwiegen, hängt von der aktuellen und zukünftigen Ausgestaltung der digitalen Transformation ab: im Naturschutz selbst wie auch in allen anderen Bereichen darüber hinaus. Eine Digitalisierung, die effektiv Naturschutzziele unterstützt, braucht klare gesellschaftliche, politische und rechtliche sowie wirtschaftliche Rahmenbedingungen. Diese sollten sich nicht nur auf den Naturschutz selbst beschränken, sondern auch naturschutzfachliche Bedarfe bei der Digitalisierung in allen anderen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Bereichen umfassen. Dafür notwendig wäre eine stärkere Ausrichtung digitaler Vorhaben an multikriteriellen Zielen, die im Sinne einer holistischen Bewertungsperspektive technische, soziale, ökologische, ökonomische und rechtliche Sichtweisen berücksichtigen.

Im Kontext konkreter digitaler Anwendungen im Naturschutz ist es wichtig, diese eng an den fachlichen Bedarfen auszurichten. Somit kann sich der katalytische Effekt digitaler Technologien entfalten, z. B. bei der Vereinfachung der Arbeit von Naturschutzakteuren durch geeignete Tools und Arbeitsabläufe, bei der Mobilisierung von Naturschutzinteressierten und der Wissensvermittlung durch ansprechende Digitalformate oder für evidenzbasierte Politikentscheidungen durch eine verbesserte Datenbasis. Die Digitalisierung sollte aber nie selbst das Ziel sein, sondern stets eine unterstützende Aktivität für Bedarfe und Ziele des Naturschutzes.

Neben den erwartbaren, positiven Effekten für die Naturschutzarbeit gilt es jedoch auch, realistische Erwartungen an das Potential digitaler Entwicklungen zu richten. Ökologische Zusammenhänge sind vielschichtig und wesentlich komplexer in der Darstellung als z. B. vergleichbare Analysen im Bereich der Klimaforschung. Die Integration biotischer Einflussgrößen und die resultierenden Interaktionen erhöht die Komplexität in der Modellierung signifikant. Der benötigte Aufwand für digitalgestützte großflächige Modellierungen von Ökosystemen, Stichwort „Digital Twin der Erde“ sollte deshalb im Verhältnis zum erhofften Nutzen stehen.

Auch sollten neue Möglichkeiten der digitalgestützten Erfassungsmethoden nicht von einem Mangel an realpolitischen Entscheidungswillen zugunsten einer naturschutzfachlichen Politikausrichtung ablenken. Naturveränderungen und ihre Treiber werden nie vollständig erfassbar sein, aber Daten und wissenschaftliche Erkenntnisse hierzu sind bereits heute für viele Fragestellungen ausreichend vorhanden, um fundierte Entscheidungen aus naturschutzfachlicher Sicht zu treffen und entsprechend zu handeln.

Ein weiterer kritischer Erfolgsfaktor für die positive Ausgestaltung der Digitalisierung im Naturschutz ist die Notwendigkeit zum engen fachlichen Austausch von Politik, Gesellschaft und Akteuren des Naturschutzes. Mangelnde Harmonisierung, ein entstehender Flickenteppich aus digitalen Einzellösungen durch föderale Strukturen und vermeidbare Mehraufwände durch parallele digitale Forschungs- und Projektentwicklung machen gut strukturierte Abstimmungsprozesse zwingend erforderlich.

Auch die stetig ansteigende Komplexität durch die Verzahnung neuer technologischer Entwicklungen mit Naturschutzaspekten und die damit einhergehende Notwendigkeit der Nutzung von interdisziplinären Arbeitsweisen in der Konzeptionierung und Umsetzung von digitalen Anwendungen sollte adressiert werden, um handelnde Akteure bestmöglich zu unterstützen. Denn richtig ist: Die Digitalisierung ist für den Menschen da und nicht umgekehrt. Digitale Entwicklungen dürfen nicht dazu führen, dass sich manche Gruppen abgehängt fühlen. Stattdessen müssen Menschen befähigt werden, um digitale Trends grundsätzlich einordnen und einschätzen zu können, um Berührungsängste mit digitalen Anwendungen abzubauen und um letztlich einen persönlichen Nutzen aus den Möglichkeiten der Digitalisierung schöpfen zu können.

Unter Berücksichtigung der genannten Aspekte und Faktoren kann eine fachliche und gemeinwohlorientierte Ausgestaltung der Digitalisierung im Naturschutz gelingen. Dafür müssen nun die richtigen Entscheidungen getroffen und Weichen gestellt werden. Die vorliegende Risiko- und Potentialanalyse bietet hierfür einen Einstieg in verschiedene thematische Schwerpunkte, sowie erste Einschätzungen und Leitplanken für eine positiven Ausgestaltung der digitalen Transformation im Naturschutz.

## Literaturverzeichnis

- Aden, C., Kastner, F., Loesbrock, J. und Krohn-Grimberghe, S. (2013): Neue Ansätze digitaler Artenerfassung für den ehrenamtlichen Naturschutz: Ergebnisse der Entwicklung mobiler Lösungen in Niedersachsen. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 45 (4): 101–107.
- Ahmed, S., Stoeckel, M., Driller, C., Pachzelt, A. und Mehler, A. (2019): BIOfid Dataset: Publishing a German Gold Standard for Named Entity Recognition in Historical Biodiversity Literature. In: Bansal, M. und Villavicencio, Aline (Hrsg.): *Proceedings of the 23rd Conference on Computational Natural Language Learning (CoNLL)*. Association for Computational Linguistics (ACL). Hong Kong, China: 871–880.
- Ahn, Eun-Young, Lee, Jaewook, Bae, Junhee und Kim, Jung-Min (2020): Analysis of emerging geo-Technologies and markets focusing on digital twin and environmental monitoring in response to digital and green new deal. *Economic and Environmental Geology* 53 (5): 609–617. DOI: 10.9719/EEG.2020.53.5.609.
- Ainslie, M. A., Halvorsen, M. B. und Robinson, S. P. (2022): A Terminology Standard for Underwater Acoustics and the Benefits of International Standardization. *IEEE Journal of Oceanic Engineering* 47 (1): 179–200. DOI: 10.1109/JOE.2021.3085947.
- Akella, L. M., Norton, C. N. und Miller, H. (2012): NetiNeti: discovery of scientific names from text using machine learning methods. *BMC Bioinformatics* 13: 211. DOI: 10.1186/1471-2105-13-211.
- Akinbulire, T., Falcon, R., Abielmona, R. und Schwartz, H. (2018): Responding to Illegal, Unreported and Unregulated Fishing with Evolutionary Multi-Objective Optimization. In: *CIVEMSA 2018* (Hrsg.): *IEEE International Conference on Computational Intelligence and Virtual Environments for Measurement Systems and Applications*. Ottawa, Ontario, Canada: 1–6.
- Akinbulire, T., Schwartz, H., Falcon, R. und Abielmona, R. (2017): A reinforcement learning approach to tackle illegal, unreported and unregulated fishing. In: *IEEE SSCI 2017* (Hrsg.): *2017 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence*. Honolulu, HI, USA: 1–8.
- Ammer, C., Vor, T., Knoke, T., Wagner, S. (2010): *Der Wald-Wild-Konflikt: Analyse und Lösungsansätze vor dem Hintergrund rechtlicher, ökologischer und ökonomischer Zusammenhänge*. Universitätsverlag Göttingen. Göttingen: 185 S.
- Ammermann, K., Bruns, E., Ponitka, J., Schuster, E., Sudhaus, D. und Tucci, F. (2020): Technische Systeme zur Minderung von Vogelkollisionen an Windenergieanlagen: Entwicklungsstand und Fragestellungen, *BfN-Skripten* 571. Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.). Bonn-Bad Godesberg: 29 S.
- Andersen, A. D., Frenken, K., Galaz, V., Kern, F., Klerkx, L. und Mouthaan, M. et al. (2021): On digitalization and sustainability transitions. *Environmental Innovation and Societal Transitions* 2021 41: 96–98. DOI: 10.1016/j.eist.2021.09.013.
- Ärje, J., Melvad, C., Jeppesen, M. R., Madsen, S. A., Raitoharju, J. und Rasmussen, M. S. et al. (2020): Automatic image-based identification and biomass estimation of invertebrates. *Methods in Ecology and Evolution* 11 (8): 922–931. DOI: 10.1111/2041-210X.13428.
- August, T. A., Pescott, O. L., Joly, A. und Bonnet, P. (2020): AI Naturalists Might Hold the Key to Unlocking Biodiversity Data in Social Media Imagery. *Patterns* 1 (7): 100–116. DOI: 10.1016/j.patter.2020.100116.
- Bae, S., Levick, S. R., Heidrich, L., Magdon, P., Leutner, B. F. und Wöllauer, S. et al. (2019): Radar vision in the mapping of forest biodiversity from space. *Nature Communications* 10 (1): 4757. DOI: 10.1038/s41467-019-12737-x.
- Baghdadi, N., Lemarquand, N., Abdallah, H. und Bailly, J. S. (2011): The Relevance of GLAS/ICESat Elevation Data for the Monitoring of River Networks. *Remote Sensing* 3 (4): 708–720. DOI: 10.3390/rs3040708.

- Baldi, E., Gioacchini, P., Montecchio, D., Mocali, S., Antonielli, L. und Masoero, G. et al. (2021): Effect of Biofertilizers Application on Soil Biodiversity and Litter Degradation in a Commercial Apricot Orchard. *Agronomy* 11 (6): 1116. DOI: 10.3390/agronomy11061116.
- Bandini, F., Frías, M. C., Liu, J., Simkus, K., Karagkiolidou, S. und Bauer-Gottwein, P. (2022): Challenges with Regard to Unmanned Aerial Systems (UASs) Measurement of River Surface Velocity Using Doppler Radar. *Remote Sensing* 14 (5): 1277. DOI: 10.3390/rs14051277.
- Bandini, F., Sunding, T. P., Linde, J., Smith, O., Jensen, I. K. und Köppl, C. J. et al. (2020): Unmanned Aerial System (UAS) observations of water surface elevation in a small stream: Comparison of radar altimetry, LIDAR and photogrammetry techniques. *Remote Sensing of Environment* 237: 111487. DOI: 10.1016/j.rse.2019.111487.
- Barfield, M., Holt, R. D. und Gomulkiewicz, R. (2011): Evolution in stage-structured populations. *The American Naturalist* 177 (4): 397–409. DOI: 10.1086/658903.
- Barredo Arrieta, A., Díaz-Rodríguez, N., Del Ser, J., Bennetot, A., Tabik, S. und Barbado, A. et al. (2020): Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI. *Information Fusion* 58: 82–115. DOI: 10.1016/j.inffus.2019.12.012.
- Barton, N. H. (2001): The role of hybridization in evolution. *Molecular Ecology* 10 (3): 551–568. DOI: 10.1046/j.1365-294x.2001.01216.x.
- Baschek, B. und Winterscheid, A. (2012): Airborne multi-sensor platform with potential for hydrological applications: Demonstration of fluorescence measurements of turbidity. *IAHS-AISH Publication* 352: 235–238.
- Bauer, P., Dueben, P. D., Hoefler, T., Quintino, T., Schulthess, T. C. und Wedi, N. P. (2021a): The digital revolution of Earth-system science. *Nature Computational Science* 1 (2): 104–113. DOI: 10.1038/s43588-021-00023-0.
- Bauer, P., Stevens, B. und Hazeleger, W. (2021b): A digital twin of Earth for the green transition. *Nature Climate Change* 11 (2): 80–83. DOI: 10.1038/s41558-021-00986-y.
- Beaver, J. T., Baldwin, R. W., Messinger, M., Newbolt, C. H., Ditchkoff, S. S. und Silman, M. R. (2020): Evaluating the Use of Drones Equipped with Thermal Sensors as an Effective Method for Estimating Wildlife. *Wildlife Society Bulletin* 44 (2): 434–443. DOI: 10.1002/wsb.1090.
- Beery, S., Cole, E., Parker, J., Perona, P. und Winner, K. (2021): Species Distribution Modeling for Machine Learning Practitioners: A Review. Online verfügbar unter <http://arxiv.org/pdf/2107.10400v1> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W. und Courchamp, F. (2012): Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters* 15 (4): 365–377. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2011.01736.x.
- Bennett, N. J., Roth, R., Klain, S. C., Chan, K., Christie, P. und Clark, D. A. et al. (2017): Conservation social science: Understanding and integrating human dimensions to improve conservation. *Biological Conservation* 205: 93–108. DOI: 10.1016/j.biocon.2016.10.006.
- Bennitt, E., Bartlam-Brooks, H. L. A., Hubel, T. Y. und Wilson, A. M. (2019): Terrestrial mammalian wildlife responses to Unmanned Aerial Systems approaches. *Scientific Reports* 9 (1): 2142. DOI: 10.1038/s41598-019-38610-x.
- Berkhout, P. H., Muskens, J. C. und Velthuisen, J. W. (2000): Defining the rebound effect. *Energy Policy* 28 (6-7): 425–432.
- Berkovsky, S., Freyne, J. und Coombe, M. (2016): Egress! How technophilia can reinforce biophilia to improve ecological restoration. *Restoration Ecology* 24 (6): 843–847. DOI: 10.1145/2395131.2395139.

- Bernstein, M. S., Levi, M., Magnus, D., Rajala, B., Satz, D. und Waeiss, C. (2021): ESR: Ethics and Society Review of Artificial Intelligence Research. Online verfügbar unter <http://arxiv.org/pdf/2106.11521v2> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- BfN und DAEC (2021): Luftsport und Naturschutz: Gemeinsam abheben. Bundesamt für Naturschutz. Bonn: 141 S.
- Bieganowski, A., Jaromin-Glen, K., Guz, Ł., Łagód, G., Jozefaciuk, G. und Franus, W. et al. (2016): Evaluating Soil Moisture Status Using an e-Nose. *Sensors* 16 (6): 886. DOI: 10.3390/s16060886.
- Bieker, L., Bruns, L., Thapa, B. E. P. und Welzel, C. (2019): Open Data zwischen Wunsch und Wirklichkeit. Kompetenzzentrum Öffentliche IT. Berlin: 23 S.
- Bienert, A., Georgi, L., Kunz, M., Maas, H.-G. und Oheimb, G. von (2018): Comparison and Combination of Mobile and Terrestrial Laser Scanning for Natural Forest Inventories. *Forests* 9 (7): 395. DOI: 10.3390/f9070395.
- Birk, S., Bonne, W., Borja, A., Brucet, S., Courrat, A. und Poikane, S. et al. (2012): Three hundred ways to assess Europe's surface waters: An almost complete overview of biological methods to implement the Water Framework Directive. *Ecological Indicators* 18: 31–41. DOI: 10.1016/j.ecolind.2011.10.009.
- BMBF (2018): Open Access in Deutschland: Die Strategie des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Online verfügbar unter [https://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/digitale-wirtschaft-und-gesellschaft/open-access/open-access\\_node.html](https://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/digitale-wirtschaft-und-gesellschaft/open-access/open-access_node.html) (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- BMFSFJ (2020): Dritter Engagementbericht: Zukunft Zivilgesellschaft: Junges Engagement im digitalen Zeitalter. Zentrale Ergebnisse, Berlin. Online verfügbar unter <https://www.bmfsfj.de/bmfsfj/service/publikationen/dritter-engagementbericht-156434> (Letzter Zugriff: 15. 11.2022)
- BMFSFJ (2021): Freiwilliges Engagement in Deutschland: Zentrale Ergebnisse des Fünften Deutschen Freiwilligensurveys (FWS 2019). Online verfügbar unter <https://www.bmfsfj.de/bmfsfj/service/publikationen/freiwilliges-engagement-in-deutschland-176834> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- BMU (2020): Umweltpolitische Digitalagenda. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). Berlin: 81 S.
- BMU und BfN (2020): Naturbewusstsein 2019: Bevölkerungsumfrage zu Natur und biologischer Vielfalt, Berlin. Online verfügbar unter <https://www.bmuv.de/publikation/naturbewusstsein-2019> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- BMU und BfN (2021): Jugend-Naturbewusstsein 2020: Bevölkerungsumfrage zu Natur und biologischer Vielfalt, Berlin. Online verfügbar unter <https://www.bmuv.de/publikation/jugend-naturbewusstsein-2020>. (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- BMW (2019): ... mit Drohnen: Unbemanntes Fliegen im Dienst von Mensch, Natur und Gesellschaft. Online verfügbar unter <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Technologie/drohnen-unbemanntes-fliegen.html> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- BMW und BMF (2019): Blockchain-Strategie der Bundesregierung: Wir stellen die Weichen für die Token-Ökonomie. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Berlin: 24 S.
- Boersch-Supan P. H., Trask A. E., Baillie S. R. (2019): Robustness of simple avian population trend models for semi-structured citizen science data is species-dependent. *Biological Conservation* 240: 108286. DOI: 10.1016/j.biocon.2019.108286.
- Bolz, T., Schmitz, S., Thiele, A., Soergel, U. und Hinz, S. (2020): Analysis of Airborne SAR and InSAR Data for Coastal Monitoring. 40. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF in Stuttgart. Publikationen der DGPF 29: 457–461.

- Borutta, Y., Haag, M., Hoffmann, H. und Kevekordes, J. (2020): „Fundamentalkritik“ des White Papers und des Datenstrategiepapiers der EU-Kommission vom 19. Februar 2020. Online verfügbar unter <https://goal-projekt.de/wp-content/uploads/2020/03/Fundamentalkritik-1.pdf> (Letzter Zugriff: 17.11.2020)
- Botkin, D. B. (1993): *Forest dynamics: An ecological model*. Oxford University Press. Oxford: 309 S.
- Boukabara, S.-A., Krasnopolsky, V., Penny, S. G., Stewart, J. Q., McGovern, A. und Hall, D. et al. (2021): Outlook for Exploiting Artificial Intelligence in the Earth and Environmental Sciences. *Bulletin of the American Meteorological Society* 102 (5): E1016–E1032. DOI: 10.1175/BAMS-D-20-0031.1.
- Brand, U. (2014): Sozial-ökologische Transformation als gesellschaftspolitisches Projekt. *Kurswechsel* (2): 7–18. Online verfügbar unter <https://goal-projekt.de/wp-content/uploads/2020/03/Fundamentalkritik-1.pdf> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Breckling, B. (2014): Individuenbasierte Modellierung – Entwicklungshintergrund und Anwendung einer ökologischen Modellierungsstrategie. In: Schröder, W., Müller, F. und Fränzle, O. (Hrsg.): *Handbuch der Umweltwissenschaften*. Wiley-VCH. Weinheim: 1–25.
- Broom, C. (2017): Exploring the Relations Between Childhood Experiences in Nature and Young Adults' Environmental Attitudes and Behaviours. *Australian Journal of Environmental Education* 33 (1): 34–47. DOI: 10.1017/aee.2017.1.
- Browning, E., Bolton, M., Owen, E., Shoji, A., Guilford, T. und Freeman, R. (2018): Predicting animal behaviour using deep learning: GPS data alone accurately predict diving in seabirds. *Methods in Ecology and Evolution* 9 (3): 681–692. DOI: 10.1111/2041-210X.12926.
- Browning, E., Gibb, R., Glover-Kapfer, P. und Jones, K. E. (2017): Passive acoustic monitoring in ecology and conservation. *WWF Technology Series* 1 (2): 1–75.
- Browning, M. H. E. M., Mimnaugh, K. J., van Riper, C. J., Laurent, H. K. und LaValle, S. M. (2019): Can Simulated Nature Support Mental Health? Comparing Short, Single-Doses of 360-Degree Nature Videos in Virtual Reality With the Outdoors. *Frontiers in Psychology* 10: 2667. DOI: 10.3389/fpsyg.2019.02667.
- BSI (2021): Mindeststandard des BSI zur Nutzung externer Cloud-Dienste: nach § 8 Absatz 1 Satz 1 BSIG – Version 2.0. Online verfügbar unter [https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Oeffentliche-Verwaltung/Mindeststandards/Externe\\_Cloud-Dienste/Externe\\_Cloud-Dienste\\_node.html](https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Oeffentliche-Verwaltung/Mindeststandards/Externe_Cloud-Dienste/Externe_Cloud-Dienste_node.html) (Letzter Zugriff: 07.07.2021)
- Bundeskanzleramt (2021): *Datenstrategie der Bundesregierung: Eine Innovationsstrategie für gesellschaftlichen Fortschritt und nachhaltiges Wachstum*. Bundeskanzleramt. Berlin: 118 S.
- Bundesregierung (2021): *Koalitionsvertrag: Mehr Fortschritt wagen - Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit*. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/breg-de/service/gesetzesvorhaben/koalitionsvertrag-2021-1990800> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Büssing, A. G., Filter, E., Eckes, A. und Fiebelkorn, F. (2021): Präsenz in immersiven 360-Grad-Videos und deren Wirkung auf die psychologische Distanz gegenüber Wölfen. In: Bauer, N., Blöbaum, A., Dütschke, E., Hanss, D., Hofmann, M. und Homburg, A. et al. (Hrsg.): *Psychologie der digitalen Umwelt: Digitalisierung, Umweltschutz und Umweltgestaltung*. Pabst Science Publishers. Lengerich/Westfalen: 73–95.
- Cardon, D., Cointet, J.-P. und Mazières, A. (2018): Neurons spike back: The Invention of Inductive Machines and the Artificial Intelligence Controversy. *Réseaux*, n° 211 (5): 173. DOI: 10.3917/res.211.0173.
- Chavarria, P. M., Kocek, A. R., Silvy, N. J. und Lopez, R. R. (2012): Use of Portable Infrared Cameras to Facilitate Detection and Capture Success of Montezuma Quail. *National Quail Symposium Proceedings* 7 (1): 333338.

- Chen, M. und Lin, H. (2018): Virtual geographic environments (VGEs): originating from or beyond virtual reality (VR)? *International Journal of Digital Earth* 11 (4), 329–333. DOI: 10.1080/17538947.2017.1419452.
- Cheung, W. W. L., Dunne, J., Sarmiento, J. L. und Pauly, D. (2011): Integrating ecophysiology and plankton dynamics into projected maximum fisheries catch potential under climate change in the North-east Atlantic. *ICES Journal of Marine Science* 68 (6): 1008–1018. DOI: 10.1093/icesjms/fsr012.
- Cheung, W., Lam, V. und Pauly, D. (2008a): Dynamic bioclimate envelope model to predict climate-induced changes in distribution of marine fishes and invertebrates. *Modelling Present and Climate-shifted Distributions of Marine Fishes and Invertebrates* 16: 5–50.
- Cheung, W. W. L., Lam, V. W. und Pauly, D. (2008b): Modelling present and climate-shifted distribution of marine fishes and invertebrates. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.14288/1.0074754> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Christensen, V. und Walters, C. J. (2011): Progress in the use of ecosystem modeling for fisheries management. In: Christensen, V. und Maclean, J. (Hrsg.): *Ecosystem Approaches to Fisheries*. Cambridge University Press. Cambridge: 189–206.
- Chust, G., Grande, M., Galparsoro, I., Uriarte, A. und Borja, Á. (2010): Capabilities of the bathymetric Hawk Eye LiDAR for coastal habitat mapping: A case study within a Basque estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 89 (3): 200–213. DOI: 10.1016/j.ecss.2010.07.002.
- Colléter, M., Valls, A., Guitton, J., Gascuel, D., Pauly, D. und Christensen, V. (2015): Global overview of the applications of the Ecopath with Ecosim modeling approach using the EcoBase models repository. *Ecological Modelling* 302: 42–53. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2015.01.025.
- Corcoran, E., Denman, S. und Hamilton, G. (2021): Evaluating new technology for biodiversity monitoring: Are drone surveys biased? *Ecology and Evolution* 11 (11): 6649–6656. DOI: 10.1002/ece3.7518.
- Cordier, T., Esling, P., Lejzerowicz, F., Visco, J., Ouadahi, A. und Martins, C. et al. (2017): Predicting the Ecological Quality Status of Marine Environments from eDNA Metabarcoding Data Using Supervised Machine Learning. *Environmental Science & Technology* 51 (16): 9118–9126. DOI: 10.1021/acs.est.7b01518.
- Coss, S., Durand, M., Yi, Y., Jia, Y., Guo, Q. und Tuozzolo, S. et al. (2020): Global River Radar Altimetry Time Series (GRRATS): new river elevation earth science data records for the hydrologic community. *Earth System Science Data* 12 (1): 137–150. DOI: 10.5194/essd-12-137-2020.
- Cowls, J., Tsamadis, A., Floridi, L. und Taddeo, M. (2021): The AI gambit: Leveraging artificial intelligence to combat climate change: opportunities, challenges, and recommendations. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.2139/ssrn.3804983> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Cramer, W., Bondeau, A., Woodward, F. I., Prentice, I. C., Betts, R. A. und Brovkin, V. et al. (2001): Global response of terrestrial ecosystem structure and function to CO<sub>2</sub> and climate change: results from six dynamic global vegetation models. *Global Change Biology* 7 (4): 357–373. DOI: 10.1046/j.1365-2486.2001.00383.x.
- Crawford, M. R., Holder, M. D. und O’Connor, B. P. (2017): Using Mobile Technology to Engage Children With Nature. *Environment and Behavior* 49 (9): 959–984. DOI: 10.1177/0013916516673870.
- Cuesta, J., Chazette, P., Allouis, T., Flamant, P. H., Durrieu, S. und Sanak, J. et al. (2010): Observing the forest canopy with a new ultra-violet compact airborne lidar. *Sensors* 10 (8): 7386–7403. DOI: 10.3390/s100807386.

- Curnick, D. J., Davies, A. J., Duncan, C., Freeman, R., Jacoby, D. M. P. und Shelley, H. T. E. et al. (2021): SmallSats: a new technological frontier in ecology and conservation? *Remote Sensing in Ecology and Conservation*. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1002/rse2.239> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- D21 (2022): Digital Index 2021/2022. Jährliches Lagebild zur Digitalen Gesellschaft. Online verfügbar unter <https://initiated21.de/d21index21-22/> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- DAK-Gesundheit (2020): Mediensucht 2020 – Gaming und Social Media in Zeiten von Corona: DAK-Längsschnittstudie: Befragung von Kindern, Jugendlichen (12 - 17 Jahre) und deren Eltern. Online verfügbar unter <https://www.dak.de/dak/gesundheit/dak-studie-gaming-social-media-und-corona-2295548.html#/> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Desholm M., Fox, A. D., Beasley, P. D. L. und Kahlert, J. (2006): Remote techniques for counting and estimating the number of bird-wind turbine collisions at sea: a review. *Ibis* (148): 76–89. DOI: 10.1111/j.1474-919X.2006.00509.x.
- Desjardins-Proulx, P., Poisot, T. und Gravel, D. (2019): Artificial Intelligence for Ecological and Evolutionary Synthesis. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00402> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Desrochers, R. E., Kerr, J. T. und Currie, D. J. (2011): How, and how much, natural cover loss increases species richness. *Global Ecology and Biogeography* 20 (6): 857–867. DOI: 10.1111/j.1466-8238.2011.00658.x.
- Destatis (2021): Daten aus den Laufenden Wirtschaftsrechnungen (LWR) zur Ausstattung privater Haushalte mit Informationstechnik. Online verfügbar unter [https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Einkommen-Konsum-Lebensbedingungen/IT-Nutzung/\\_inhalt.html](https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Einkommen-Konsum-Lebensbedingungen/IT-Nutzung/_inhalt.html). (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Di Minin, E., Tenkanen, H. und Toivonen, T. (2015): Prospects and challenges for social media data in conservation science. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.3389/fenvs.2015.00063> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Dionisio, M., Nisi, V., Xin, J., Bala, P., James, S. und Nunes, N. J. (2021): Amnesia in the Atlantic: An AI Driven Serious Game on Marine Biodiversity. In: Baalsrud Hauge, J., C. S. Cardoso, J., Roque, L. und Gonzalez-Calero, P. A. (Hrsg.): *Entertainment Computing – ICEC 2021*. Springer International Publishing. Cham: 427–432.
- Dlamini, N. und van Zyl, T. L. (2021): Comparing Class-Aware and Pairwise Loss Functions for Deep Metric Learning in Wildlife Re-Identification. *Sensors* 21 (18): 6109. DOI: 10.3390/s21186109.
- Döbel, I., Leis, M., Molina Vogelsang, M., Neustroev, D., Petzka, H. und Riemer et al. (2018): *Maschinelles Lernen: Eine Analyse zu Kompetenzen, Forschung und Anwendung*. Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V. München: 53 S.
- Donager, J. J., Sánchez Meador, A. J. und Blackburn, R. C. (2021): Adjudicating Perspectives on Forest Structure: How Do Airborne, Terrestrial, and Mobile Lidar-Derived Estimates Compare? *Remote Sensing* 13 (12): 2297. DOI: 10.3390/rs13122297.
- Dorji, U., Pobkrut, T. und Kerdcharoen, T. (2017): Electronic nose based wireless sensor network for soil monitoring in precision farming system. In: *IEEE KST 2017* (Hrsg.): 9th International Conference on Knowledge and Smart Technology. Chonburi, Thailand: 182–186.
- Doty, A. C., Wilson, A. D., Forse, L. B. und Risch, T. S. (2020): Assessment of the Portable C-320 Electronic Nose for Discrimination of Nine Insectivorous Bat Species: Implications for Monitoring White-Nose Syndrome. *Biosensors* 10 (2): 12. DOI: 10.3390/bios10020012.



- Doull, K. E., Chalmers, C., Fergus, P., Longmore, S., Piel, A. K. und Wich, S. A. (2021): An Evaluation of the Factors Affecting 'Poacher' Detection with Drones and the Efficacy of Machine-Learning for Detection. *Sensors* 21 (12): 4074. DOI: 10.3390/s21124074.
- Drake, V. A. und Reynolds, D. (2012): *Radar Entomology: Observing Insect Flight and Migration*. CABI. Wallingford: 489 S.
- Dreiser, C. (2019): Mobile Datenerfassung im Nationalpark. Vortrag zum Bund und Länder übergreifenden Workshop des StA UIS „Mobilen Erfassung von Geofachdaten“. Stuttgart. o. S.
- Duplisea, D. E., Jennings, S., Warr, K. J. und Dinmore, T. A. (2002): A size-based model of the impacts of bottom trawling on benthic community structure. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 59 (11): 1785–1795. DOI: 10.1139/f02-148.
- Duporge, I., Isupova, O., Reece, S., Macdonald, D. W. und Wang, T. (2021): Using very-high-resolution satellite imagery and deep learning to detect and count African elephants in heterogeneous landscapes. *Remote Sensing in Ecology and Conservation* 7 (3): 369–381. DOI: 10.1002/rse2.195.
- Dyrmann, M., Mortensen, A. K., Linneberg, L., Høye, T. T. und Bjerger, K. (2021): Camera Assisted Roadside Monitoring for Invasive Alien Plant Species Using Deep Learning. *Sensors* 21 (18): 6126. DOI: 10.3390/s21186126.
- Eastwood, N., Stubbings, W. A., Abou-Elwafa Abdallah, M. A., Durance, I., Paavola, J. und Dallimer, M. et al. (2022): The Time Machine framework: monitoring and prediction of biodiversity loss. *Trends in Ecology and Evolution* 37 (2): 138–146. DOI: 10.1016/j.tree.2021.09.008.
- Eckes, A., Seifert, W., Büssing, A. G. und Fiebelkorn, F. (2021): Comparing the effects of primary nature experiences and 360° nature videos on subjective vitality - a pilot study in a (virtual) tropical greenhouse. In: Bauer, N., Blöbaum, A., Dütschke, E., Hanss, D., Hofmann, M. und Homburg, A. et al. (Hrsg.): *Psychologie der digitalen Umwelt: Digitalisierung, Umweltschutz und Umweltgestaltung*. Pabst Science Publishers. Lengerich: 96–122.
- Egli, S. und Höpke, M. (2020): CNN-Based Tree Species Classification Using High Resolution RGB Image Data from Automated UAV Observations. *Remote Sensing* 12 (23): 3892. DOI: 10.3390/rs12233892.
- Elith, J. und Leathwick, J. R. (2009): Species Distribution Models: Ecological Explanation and Prediction Across Space and Time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 40 (1): 677–697. DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159.
- Erik Brynjolfsson und Andrew McAfee (2018): *The Second Machine Age: Wie die nächste digitale Revolution unser aller Leben verändern wird*. Plassen Verlag. Kulmbach: 368 S.
- European Union (2021): *Horizon Europe: Open Science*. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.2777/18252> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Fang, F., Nguyen, Thanh H., Pickles, R., Lam, Wai Y., Clements, Gopalasamy R. und An, B. et al. (2017): Deploying PAWS: Field Optimization of the Protection Assistant for Wildlife Security. Online verfügbar unter [https://www.cais.usc.edu/wp-content/uploads/2017/07/Fang-et-al-IAAI16\\_PAWS-1.pdf](https://www.cais.usc.edu/wp-content/uploads/2017/07/Fang-et-al-IAAI16_PAWS-1.pdf) (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Fernandes, P. G. und Cook, R. M. (2013): Reversal of fish stock decline in the Northeast Atlantic. *Current Biology* 23 (15): 1432–1437. DOI: 10.1016/j.cub.2013.06.016.
- Fernández, S., Rodríguez, S., Martínez, J. L., Borrell, Y. J., Ardura, A. und García-Vázquez, E. (2018): Evaluating freshwater macroinvertebrates from eDNA metabarcoding: A river Nalón case study. *PLoS One* 13 (8): e0201741. DOI: 10.1371/journal.pone.0201741.
- Fernandez-Carames, T. M. und Fraga-Lamas, P. (2020): Towards Post-Quantum Blockchain: A Review on Blockchain Cryptography Resistant to Quantum Computing Attacks. *IEEE Access* 2020 8: 21091–21116. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2968985.

- Fitz, H. C., DeBellevue, E. B., Costanza, R., Boumans, R., Maxwell, T. und Wainger, L. et al. (1996): Development of a general ecosystem model for a range of scales and ecosystems. *Ecological Modelling* 88 (1-3): 263–295. DOI: 10.1016/0304-3800(95)00112-3.
- Fjaellingsdal, K. S. und Klöckner, C. A. (2019): Gaming Green: The Educational Potential of Eco – A Digital Simulated Ecosystem. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02846> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Flaherty, S., Lurz, P. W. W. und Patenaude, G. (2014): Use of LiDAR in the conservation management of the endangered red squirrel (*Sciurus vulgaris* L.). *Journal of Applied Remote Sensing* 8 (1): 83592. DOI: 10.1117/1.JRS.8.083592.
- Franzen, M., Kloetzer, L., Ponti, M., Trojan, J. und Vicens, J. (2021): Machine Learning in Citizen Science: Promises and Implications. In: Vohland, K., Land-Zandstra, A., Ceccaroni, L., Lemmens, R., Perelló, J. und Ponti, M. et al. (Hrsg.): *The Science of Citizen Science*. Springer International Publishing. Cham: 183–198.
- Fricker, G. A., Ventura, J. D., Wolf, J. A., North, M. P., Davis, F. W. und Franklin, J. (2019): A Convolutional Neural Network Classifier Identifies Tree Species in Mixed-Conifer Forest from Hyperspectral Imagery. *Remote Sensing* 11 (19): 2326. DOI: 10.3390/rs11192326.
- Friedrichs-Manthey, M., Domisch, S., Langhans, S. D. und Jähnig, S. C. (2020): Danube freshwater species distribution models. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.911422> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Fröbel, K., Schlumprecht, H. (2014): Erosion der Artenkenner – Abschlussbericht im Auftrag des BUND Naturschutz in Bayern e. V. Online verfügbar unter <https://docplayer.org/storage/107/177431999/1661934513/VaEckO8EQ1UiFbhLnUlv1Q/177431999.pdf> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Fukayama, O., Sudo, N. und Isoyama, T. (2019): Leading a Rat along a Moving Virtual Reward Circle with "Rattractor", a Closed-loop Deep-Brain Stimulator. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1109/NER.2019.8716896> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Gailhofer, P., Herold, A., Schemmel, J. P., Scherf, C.-S., Urrutia, C. und Köhler, A. R. et al. (2021): The role of Artificial Intelligence in the European Green Deal: Study for the special committee on Artificial Intelligence in a Digital Age (AIDA). European Parliament. Luxembourg: 66 S.
- Gallego-Sala, A. V., Clark, J. M., House, J. I., Orr, H. G., Prentice, I. C. und Smith, P. et al. (2010): Bioclimatic envelope model of climate change impacts on blanket peatland distribution in Great Britain. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.3354/cr00911> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Game (2021): Jahresreport der deutschen Games-Branche 2021. Online verfügbar unter <https://www.game.de/publikationen/jahresreport-2021/> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Getz, W. M. (1988): Harvesting discrete nonlinear age and stage structured populations. *Journal of Optimization Theory and Applications* 57 (1): 69–83. DOI: 10.1007/BF00939330.
- GfK (2021): Die Bilanz des Helfens 2021: Spendenzeitraum Jan. - Dez. 2020. Online verfügbar unter <https://www.spendenrat.de/bilanz-des-helfens-2021/> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Gibney, E. (2020): The battle for ethical AI at the world's biggest machine-learning conference. *Nature* 577 (7792): 609. DOI: 10.1038/d41586-020-00160-y.
- Gimenez, O., Kervellec, M., Fanjul, J.-B., Chaine, A., Marescot, L. und Bollet, Y. et al. (2021): Trade-off between deep learning for species identification and inference about predator-prey co-occurrence: Reproducible R workflow integrating models in computer vision and ecological statistics. Online verfügbar unter <http://arxiv.org/pdf/2108.11509v1> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)

- Goëau, H., Lorieul, T., Heuret, P., Joly, A. und Bonnet, P. (2022): Can Artificial Intelligence Help in the Study of Vegetative Growth Patterns from Herbarium Collections? An Evaluation of the Tropical Flora of the French Guiana Forest. *Plants* 11 (4): 530. DOI: 10.3390/plants11040530.
- Goldberg, C. S., Turner, C. R., Deiner, K., Klymus, K. E., Thomsen, P. F. und Murphy, M. A. et al. (2016): Critical considerations for the application of environmental DNA methods to detect aquatic species. *Methods in Ecology and Evolution* 7 (11): 1299–1307. DOI: 10.1111/2041-210X.12595.
- Gonzalez de Tanago, J., Lau, A., Bartholomeus, H., Herold, M., Avitabile, V. und Raumonon, P. et al. (2018): Estimation of above-ground biomass of large tropical trees with terrestrial LiDAR. *Methods in Ecology and Evolution* 9 (2): 223–234. DOI: 10.1111/2041-210X.12904.
- Gonzalez, L. F., Montes, G. A., Puig, E., Johnson, S., Mengersen, K. und Gaston, K. J. (2016): Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and Artificial Intelligence Revolutionizing Wildlife Monitoring and Conservation. *Sensors* 16 (1): 97. DOI: 10.3390/s16010097.
- Greening, L., Greene, D. L. und Difiglio, C. (2000): Energy efficiency and consumption - the rebound effect - a survey. *Energy Policy* 28 (6-7): 389–401.
- Greyer, M., Rother, A., Klung, R. und Frieß, R. (2018): Integrative Taxonomie mit Barcoding. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG). Dresden: 24 S.
- Grimm, V., Johnston, A. S. A., Thulke, H.-H., Forbes, V. E. und Thorbek, P. (2020): Three questions to ask before using model outputs for decision support. *Nature Communications* 11 (1): 4959. DOI: 10.1038/s41467-020-17785-2.
- Haevermans, T., Tressou, J., Kwon, J., Pellens, R., Dubéarnès, A. und Veron, S. et al. (2021): Global Plant Extinction Risk Assessment Inform Novel Biodiversity Hotspots. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1101/2021.10.08.463027> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Hänfling, B., Lawson Handley, L., Read, D. S., Hahn, C., Li, J. und Nichols, P. et al. (2016): Environmental DNA metabarcoding of lake fish communities reflects long-term data from established survey methods. *Molecular Ecology* 25 (13): 3101–3119. DOI: 10.1111/mec.13660.
- Hansen, C., van der Meeren, G. I., Loeng, H. und Skogen, M. D. (2021): Assessing the state of the Barents Sea using indicators: how, when, and where? *ICES Journal of Marine Science* 78 (8): 2983–2998. DOI: 10.1093/icesjms/fsab053.
- Hardersen, S. (2007): Telemetry of Anisoptera after emergence first results (Odonata). *International Journal of Odonatology* 10 (2): 189–202. DOI: 10.1080/13887890.2007.9748299.
- Harfoot, M. B. J., Newbold, T., Tittensor, D. P., Emmott, S., Hutton, J. und Lyutsarev, V. et al. (2014): Emergent global patterns of ecosystem structure and function from a mechanistic general ecosystem model. *PLoS Biology* 12 (4): e1001841. DOI: 10.1371/journal.pbio.1001841.
- Harfoot, M., Tittensor, D. P., Newbold, T., McInerney, G., Smith, M. J. und Scharlemann, J. P. W. (2014): Integrated assessment models for ecologists: the present and the future. *Global Ecology and Biogeography* 23 (2): 124–143. DOI: 10.1111/geb.12100.
- Harper, L. R., Lawson Handley, L., Carpenter, A. I., Ghazali, M., Di Muri, C. und Macgregor, C. J. et al. (2019): Environmental DNA (eDNA) metabarcoding of pond water as a tool to survey conservation and management priority mammals. *Biological Conservation* 238: 108225. DOI: 10.1016/j.biocon.2019.108225.
- Harremoës, P. und Turner, R. (2001): Methods for integrated assessment. *Regional Environmental Change* 2 (2): 57–65. DOI: 10.1007/s101130100027.
- Hatiboglu, B., Schuler, S., Bildstein, A. und Hämmerle, M. (Hrsg.) (2019): Einsatzfelder von künstlicher Intelligenz im Produktionsumfeld: Kutzstudie im Rahmen von "100 Orte für Industrie 4.0 in Baden-Württemberg". Online verfügbar unter [http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn\\_nbn\\_de\\_0011-n-5491073.pdf](http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-5491073.pdf) (Letzter Zugriff: 15.11.2022)

- Hatlauf, J., Böcker, F., Wirk, L., Collet, S., Schley, L. und Szabó, L. et al. (2021): Jackal in hide: detection dogs show first success in the quest for golden jackal (*Canis aureus*) scats. *Mammal Research* 66 (1): 227–236. DOI: 10.1007/s13364-020-00537-4.
- Heaven, W. D. (2020): AI is wrestling with a replication crisis. *Artificial intelligence / Machine learning*. Online verfügbar unter <https://www.technologyreview.com/2020/11/12/1011944/artificial-intelligence-replication-crisis-science-big-tech-google-deepmind-facebook-openai/> (Letzter Zugriff: 15.11.2022).
- HEG-KI (Hrsg.) (2018): Eine Definition der KI: Wichtigste Fähigkeiten und Wissenschaftsgebiete. Europäische Kommission. Brüssel: 7 S.
- Hein, N., Löffler, J. und Feilhauer, H. (2019): Mapping of arthropod alpha and beta diversity in heterogeneous arctic-alpine ecosystems. *Ecological Informatics* 54: 101007. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2019.101007.
- Helbig, C., Dransch, D., Böttinger, M., Devey, C., Haas, A. und Hlawitschka, M. et al. (2017): Challenges and strategies for the visual exploration of complex environmental data. *International Journal of Digital Earth* 10 (10): 1070–1076. DOI: 10.1080/17538947.2017.1327618.
- Hilborn, R. und Walters, C. J. (1992): *Quantitative Fisheries Stock Assessment*. Springer US. Boston, MA: 470 S.
- Hodgson, J. C., Mott, R., Baylis, S. M., Pham, T. T., Wotherspoon, S. und Kilpatrick, A. D. et al. (2018): Drones count wildlife more accurately and precisely than humans. *Methods in Ecology and Evolution* 9 (5): 1160–1167. DOI: 10.1111/2041-210X.12974.
- Hoeks, S., Tucker, M. A., Huijbregts, M. A. J., Harfoot, M. B. J., Bithell, M. und Santini, L. (2021): MadingleyR: An R package for mechanistic ecosystem modelling. *Global Ecology and Biogeography* 30 (9): 1922–1933. DOI: 10.1111/geb.13354.
- Hoffmann, F. (2014): Deterministische Modellierung. In: Schröder, W., Müller, F. und Fränzle, O. (Hrsg.): *Handbuch der Umweltwissenschaften*. Wiley-VCH. Weinheim: 1–14.
- Höfner, A. und Frick, V. (Hrsg.) (2019): *Was Bits und Bäume verbindet – Digitalisierung nachhaltig gestalten*. oekom Verlag. München: 144 S.
- Holderegger, R. (2016): Vielfältige Anwendungen genetischer Methoden im Wald. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 167 (6): 308–315. DOI: 10.3188/szf.2016.0308.
- Horns, J. J., Adler, F. R. und Şekercioğlu, Ç. H. (2018): Using opportunistic citizen science data to estimate avian population trends. *Biological Conservation* 221: 151–159. DOI: 10.1016/j.biocon.2018.02.027.
- Hu, J., Wu, X. und Dai, M. (2020): Estimating the population size of migrating Tibetan antelopes *Pantholops hodgsonii* with unmanned aerial vehicles. *Oryx* 54 (1): 101–109. DOI: 10.1017/S0030605317001673.
- Hüppop, O., Ciach, M., Diehl, R., Reynolds, D. R., Stepanian, P. M. und Menz, M. H. M. (2019): Perspectives and challenges for the use of radar in biological conservation. *Ecography* 42 (5): 912–930. DOI: 10.1111/ecog.04063.
- Huth, N. und Possingham, H. P. (2011): Basic ecological theory can inform habitat restoration for woodland birds. *The Journal of applied ecology* 48 (2): 293–300. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2010.01936.x.
- IPBES (2019): *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. IPBES. Bonn: 56 S.

- Jäckel, D., Mortega, K. G., Brockmeyer, U., Lehmann, G. U. C. und Voigt-Heucke, S. L. (2022): Unraveling the Stability of Nightingale Song Over Time and Space Using Open, Citizen Science and Shared Data. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.778610> (Letzter Zugriff: 15.11.2022).
- Janse, J. H., Kuiper, J. J., Weijters, M. J., Westerbeek, E. P., Jeuken, M. und Bakkenes, M. et al. (2015): GLOBIO-Aquatic, a global model of human impact on the biodiversity of inland aquatic ecosystems. *Environmental Science & Policy* 48: 99–114. DOI: 10.1016/j.envsci.2014.12.007.
- Jarocińska, A., Kopeć, D., Kycko, M., Piórkowski, H. und Błońska, A. (2022): Hyperspectral vs. Multi-spectral data: Comparison of the spectral differentiation capabilities of Natura 2000 non-forest habitats. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 184: 148–164. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2021.12.010.
- Jetz, W., Tertitski, G., Kays, R., Mueller, U. und Wikelski, M. (2022): Biological Earth observation with animal sensors. *Trends in Ecology and Evolution* 37 (4): 293–298. DOI: 10.1016/j.tree.2021.11.011.
- Job-Hoben, B. und Pütsch, M. (2021): Drohnen und Naturschutz: Informationen für die Drohnennutzung. Bundesamt für Naturschutz. Bonn: 8 S.
- Jones, F. M., Arteta, C., Zisserman, A., Lempitsky, V., Lintott, C. J. und Hart, T. (2020): Processing citizen science- and machine-annotated time-lapse imagery for biologically meaningful metrics. *Scientific Data* 7 (1): 102. DOI: 10.1038/s41597-020-0442-6.
- Kaack, L. H., Donti, P. L., Strubell, E. und Rolnick, D. (2021): Künstliche Intelligenz und Klimawandel: Wie KI mit den Klimaschutzziele vereinbart werden kann. Online verfügbar unter <https://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:kobv:109-1-15443040> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Kahl, S., Wood, C. M., Eibl, M. und Klinck, H. (2021): BirdNET: A deep learning solution for avian diversity monitoring. *Ecological Informatics* 61: 101236. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2021.101236.
- Kammaing, J., Ayele, E., Meratnia, N. und Havinga, P. (2018): Poaching Detection Technologies-A Survey. *Sensors* 18 (5): 1474. DOI: 10.3390/s18051474.
- Kaye, T. G. und Pittman, M. (2020): Fluorescence-based detection of field targets using an autonomous unmanned aerial vehicle system. *Methods in Ecology and Evolution* 11 (8): 890–898. DOI: 10.1111/2041-210X.13402.
- Kehl, C., Meyer, R. und Steiger, S. (2021): Digitalisierung der Landwirtschaft: gesellschaftliche Voraussetzungen, Rahmenbedingungen und Effekte. Teil II des Endberichts zum TA-Projekt. Büro für Technikfolgen Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB). Berlin: 278 S.
- Kelber, U. (2021): Facebook-Auftritte von öffentlichen Stellen des Bundes: Rundschreiben an alle Bundesministerien und obersten Bundesbehörden. Online verfügbar unter <https://www.bfdi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/DokumenteBfDI/Rundschreiben/Allgemein/2021/Facebook-Auftritte-Bund.html> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Kellert, S. R., Case, D. J., Escher, D., Witter, D. J., Mikels-Carrasco, J. und Seng, P. T. (2017): The Nature of Americans: Disconnection and Recommendations for Reconnection. National Report. Online verfügbar unter <https://natureofamericans.org/> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Kharazian, Z. (2016): Technology is Neither Good, Nor Bad; Nor is it Neutral: The Case of Algorithmic Biasing. Online verfügbar unter <https://ssrmc.wm.edu/technology-is-neither-good-nor-bad-nor-is-it-neutral-the-case-of-algorithmic-biasing/> (Letzter Zugriff: 11.04.2022)
- Kinzel, P. J., Legleiter, C. J. und Nelson, J. M. (2013): Mapping River Bathymetry With a Small Footprint Green LiDAR: Applications and Challenges 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 49 (1): 183–204. DOI: 10.1111/jawr.12008.

- KLU (2019): Landwirtschaft quo vadis? Agrar- und Ernährungssysteme der Zukunft - Vielfalt gewähren, Handlungsrahmen abstecken. Position der Kommission Landwirtschaft beim Umweltbundesamt (KLU), Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/agrar-ernaehrungssysteme-der-zukunftveroeffentlicht> (Letzter Zugriff: 08.02.2022)
- Kooijman, B. (2009): *Dynamic Energy Budget Theory for Metabolic Organisation*. Cambridge University Press. Cambridge: 514 S.
- Korenhof, P., Blok, V. und Kloppenburg, S. (2021): Steering Representations—Towards a Critical Understanding of Digital Twins. *Philosophy & Technology* 34 (4): 1751–1773. DOI: 10.1007/s13347-021-00484-1.
- Krause, D. J., Hinke, J. T., Perryman, W. L., Goebel, M. E. und LeRoi, D. J. (2017): An accurate and adaptable photogrammetric approach for estimating the mass and body condition of pinnipeds using an unmanned aerial system. *PLOS ONE* 12 (11): e0187465. DOI: 10.1371/journal.pone.0187465.
- Kroodsma, D. A., Mayorga, J., Hochberg, T., Miller, N. A., Boerder, K. und Ferretti, F. et al. (2018): Tracking the global footprint of fisheries. *Science* 359 (6378): 904–908. DOI: 10.1126/science.aao5646.
- Kühl, H. S., Bowler, D. E., Bösch, L., Bruelheide, H., Dauber, J. und Eichenberg, D. et al. (2020): Effective Biodiversity Monitoring Needs a Culture of Integration. *One Earth* 3 (4): 462–474. DOI: 10.1016/j.oneear.2020.09.010.
- Kunkel, S. und Tyfield, D. (2021): Digitalisation, sustainable industrialisation and digital rebound – Asking the right questions for a strategic research agenda. *Energy Research & Social Science* 82: 102295. DOI: 10.1016/j.erss.2021.102295.
- Kwok, R. (2019): AI empowers conservation biology. *Nature* 567 (7746): 133–134. DOI: 10.1038/d41586-019-00746-1.
- Lahoz-Monfort, J. J. und Magrath, M. J. L. (2021): A Comprehensive Overview of Technologies for Species and Habitat Monitoring and Conservation. *Bioscience* 71 (10): 1038–1062. DOI: 10.1093/biosci/biab073.
- Lambertucci, S. A., Shepard, E. L. C. und Wilson, R. P. (2015): Ecology. Human-wildlife conflicts in a crowded airspace. *Science* 348 (6234): 502–504. DOI: 10.1126/science.aaa6743.
- Langlois, T., Goetze, J., Bond, T., Monk, J., Abesamis, R. A. und Asher, J. et al. (2020): A field and video annotation guide for baited remote underwater stereo-video surveys of demersal fish assemblages. *Methods in Ecology and Evolution* 11 (11): 1401–1409. DOI: 10.1111/2041-210X.13470.
- Larsen, H. L., Pertoldi, C., Madsen, N., Randi, E., Stronen, A. V. und Root-Gutteridge, H. et al. (2022): Bioacoustic Detection of Wolves: Identifying Subspecies and Individuals by Howls. *Animals* 12 (5): 631. DOI: 10.3390/ani12050631.
- Larson, L. R., Szczytko, R., Bowers, E. P., Stephens, L. E., Stevenson, K. T. und Floyd, M. F. (2019): Outdoor Time, Screen Time, and Connection to Nature: Troubling Trends Among Rural Youth? *Environment and Behavior* 51 (8): 966–991. DOI: 10.1177/0013916518806686.
- Lary, D. J., Alavi, A. H., Gandomi, A. H. und Walker, A. L. (2016): Machine learning in geosciences and remote sensing. *Geoscience Frontiers* 7 (1): 3–10. DOI: 10.1016/j.gsf.2015.07.003.
- Latif, T. und Bozkurt, A. (2012): Line Following Terrestrial Insect Biobots. [https://ibionics.ece.ncsu.edu/assets/EMBC\\_12.pdf](https://ibionics.ece.ncsu.edu/assets/EMBC_12.pdf) (Letzter Zugriff: 15.11. 2022)
- Latif, T., Whitmire, E., Novak, T. und Bozkurt, A. (2016): Sound Localization Sensors for Search and Rescue Biobots. *IEEE Sensors Journal* 16 (10): 3444–3453. DOI: 10.1109/JSEN.2015.2477443.
- Leblanc, G., Francis, C., Soffer, R., Kalacska, M. und Gea, J. de (2016): Spectral Reflectance of Polar Bear and Other Large Arctic Mammal Pelts; Potential Applications to Remote Sensing Surveys. *Remote Sensing* 8 (4): 273. DOI: 10.3390/rs8040273.

- Lemmens, R., Antoniou, V., Hummer, P. und Potsiou, C. (2021): Citizen Science in the Digital World of Apps. In: Vohland, K., Land-Zandstra, A., Ceccaroni, L., Lemmens, R., Perelló, J. und Ponti, M. et al. (Hrsg.): *The Science of Citizen Science*. Springer International Publishing. Cham: 461–474.
- Liu, M., Fang, S., Dong, H. und Xu, C. (2021): Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial applications. *Journal of Manufacturing Systems* 58: 346–361. DOI: 10.1016/j.jmsy.2020.06.017.
- Liu, R., Gailhofer, P., Gensch, C.-O., Köhler, A. und Wolff, F. (2019): Impacts of the digital transformation on sustainability. Issue Paper under Task 3 from the "Service contract on future EU environment policy", Öko-Institut e. V. Berlin: 136 S.
- Lobe, A. (2019): KI ist alles andere als grün. Online verfügbar unter <https://www.spektrum.de/news/kuenstliche-intelligenz-verbraucht-fuer-den-lernprozess-unvorstellbar-viel-energie/1660246> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Lowell, K. und Calder, B. (2022): Operational performance of a combined Density- and Clustering-based approach to extract bathymetry returns from LiDAR point clouds. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 107: 102699. DOI: 10.1016/j.jag.2022.102699.
- Lude, A., Haas, A., Schaal, S. und Schlieder, C. Biodiversität erleben mit ortsbezogenen Spielen – Biodiversität to go (BioDiv2Go) / Finde Vielfalt. Gemeinsamer Abschlussbericht. Online verfügbar unter <https://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:lg1-opus4-6711> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Lürig, M. D., Donoughe, S., Svensson, E. I., Porto, A. und Tsuboi, M. (2021): Computer Vision, Machine Learning, and the Promise of Phenomics in Ecology and Evolutionary Biology. *Frontiers in Ecology and Evolution* 9: o. S. DOI: 10.3389/fevo.2021.642774.
- Mäder, P., Boho, D., Rzanny, M., Seeland, M., Wittich, H. C. und Deggelmann, A. et al. (2021): The Flora Incognita app – Interactive plant species identification. *Methods in Ecology and Evolution* 12 (7): 1335–1342. DOI: 10.1111/2041-210X.13611.
- Maeder, M., Guo, X., Neff, F., Schneider Mathis, D. und Gossner, M. M. (2022): Temporal and spatial dynamics in soil acoustics and their relation to soil animal diversity. *PLoS One* 17 (3): e0263618. DOI: 10.1371/journal.pone.0263618.
- Mahajan, D., Girshick, R., Ramanathan, V., He, K., Paluri, M. und Li, Y. et al. (o. J.): Exploring the Limits of Weakly Supervised Pretraining. Online verfügbar unter <http://arxiv.org/pdf/1805.00932v1> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Mahecha, M. D., Rzanny, M., Kraemer, G., Mäder, P., Seeland, M. und Wäldchen, J. (2021): Crowd-sourced plant occurrence data provide a reliable description of macroecological gradients. *Ecography* 44 (8): 1131–1142. DOI: 10.1111/ecog.05492.
- Makiola, A., Compson, Z. G., Baird, D. J., Barnes, M. A., Boerlijst, S. P. und Bouchez, A. et al. (2020): Key Questions for Next-Generation Biomonitoring. *Frontiers in Environmental Science* 7: o. S. DOI: 10.3389/fenvs.2019.00197.
- Malmodin, J., Bergmark, P., Lövehagen, N., Ercan, M. und Bondesson, A. (2014): Considerations for macro-level studies of ICT s enabling potential. In: *ICT4S 2014* (Hrsg.): 2nd International Conference on ICT for Sustainability. Atlantis Press. Paris, Dordrecht, Greenland New Metropolis: 179188.
- Mammen, U., Nicolai, B., Böhner, J., Mammen, K., Wehrmann, J. und Fischer, S. et al. (2014): Artenhilfsprogramm Rotmilan des Landes Sachsen-Anhalt. In: Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (Hrsg.): *Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt*, Heft 5/2014. Halle (Saale): 160 S.
- Mangini, S., Tacchino, F., Gerace, D., Bajoni, D. und Macchiavello, C. (2021): Quantum computing models for artificial neural networks. *Europhysics Letters* 134 (1): 10002. DOI: 10.1209/0295-5075/134/10002.

- Martini, M., Ruschemeier, H. und Kolain, M. (Hrsg.) (2020): *Erforderlichkeit und Ansätze zur Regulierung algorithmenbasierter Entscheidungsprozesse aus Umweltsicht: Gutachten im Auftrag des Umweltbundesamtes*. 84 S.
- Mattila, O., Korhonen, A., Pöyry, E., Hauru, K., Holopainen, J. und Parvinen, P. (2020): Restoration in a virtual reality forest environment. *Computers in Human Behavior* 107: 106295. Online verfügbar unter 106295.
- McClure, C. J. W., Rolek, B. W., Dunn, L., McCabe, J. D., Martinson, L. und Katzner, T. (2021): Eagle fatalities are reduced by automated curtailment of wind turbines. *Journal of Applied Ecology* 58 (3): 446–452. DOI: 10.1111/1365-2664.13831.
- Michez, A., Broset, S. und Lejeune, P. (2021): Ears in the Sky: Potential of Drones for the Bioacoustic Monitoring of Birds and Bats. *Drones* 5 (1): 9. DOI: 10.3390/drones5010009.
- Mikkelsen, L., Johnson, M., Wisniewska, D. M., van Neer, A., Siebert, U. und Madsen, P. T. et al. (2019): Long-term sound and movement recording tags to study natural behavior and reaction to ship noise of seals. *Ecology and Evolution* 9 (5): 2588–2601. DOI: 10.1002/ece3.4923.
- Miller, A., Arndt, S., Engel, L. und Boot, N. (2021): Nature conservation in a digitalized world: echo chambers and filter bubbles. *Ecology and Society* 26 (3):11. DOI: 10.5751/ES-12549-260311.
- Minghelli, A., Vadakke-Chanat, S., Chami, M., Guillaume, M., Migne, E. und Grillas, P. et al. (2021): Estimation of Bathymetry and Benthic Habitat Composition from Hyperspectral Remote Sensing Data (BIODIVERSITY) Using a Semi-Analytical Approach. *Remote Sensing* 13 (10): 1999. DOI: 10.3390/rs13101999.
- Mora, C., Tittensor, D. P., Adl, S., Simpson, A. G. B. und Worm, B. (2011): How many species are there on Earth and in the ocean? *PLoS Biology* 9 (8): e1001127. DOI: 10.1371/journal.pbio.1001127.
- Moss, T., Voigt, F. und Becker, S. (2021): Digital urban nature. *City* 25 (3-4): 255–276. DOI: 10.1080/13604813.2021.1935513.
- Mouton, A. M., Baets, B. de und Goethals, P. (2009): Knowledge-based versus data-driven fuzzy habitat suitability models for river management. *Environmental Modelling & Software* 24 (8): 982–993. DOI: 10.1016/j.envsoft.2009.02.005.
- Mulero-Pázmány, M., Jenni-Eiermann, S., Strebel, N., Sattler, T., Negro, J. J. und Tablado, Z. (2017): Unmanned aircraft systems as a new source of disturbance for wildlife: A systematic review. *PloS One* 12 (6): e0178448. DOI: 10.1371/journal.pone.0178448.
- Müllerová, J., Bartaloš, T., Brůna, J., Dvořák, P. und Vítková, M. (2017): Unmanned aircraft in nature conservation: an example from plant invasions. *International Journal of Remote Sensing* 38 (8-10): 2177–2198. DOI: 10.1080/01431161.2016.1275059.
- Nakamoto, S. (2008): *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*. Online verfügbar unter <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Nathan, R., Spiegel, O., Fortmann-Roe, S., Harel, R., Wikelski, M. und Getz, W. M. (2012): Using tri-axial acceleration data to identify behavioral modes of free-ranging animals: general concepts and tools illustrated for griffon vultures. *The Journal of Experimental Biology* 215 (6): 986–996. DOI: 10.1242/jeb.058602.
- Nativi, S., Mazzetti, P. und Craglia, M. (2021): Digital Ecosystems for Developing Digital Twins of the Earth: The Destination Earth Case. *Remote Sensing* 13 (11): 2119. DOI: 10.3390/rs13112119.
- Nelson, G. und Ellis, S. (2018): The history and impact of digitization and digital data mobilization on biodiversity research. *Philosophical Transactions of the Royal Society B, Biological Sciences* 374 (1763): o. S. DOI: 10.1098/rstb.2017.0391.



- Neumann, C., Behling, R., Schindhelm, A., Itzerott, S., Weiss, G. und Wichmann, M. et al. (2020): The colors of heath flowering – quantifying spatial patterns of phenology in *Calluna* life-cycle phases using high-resolution drone imagery. *Remote Sensing in Ecology and Conservation* 6 (1): 35–51. DOI: 10.1002/rse2.121.
- Niemiller, K. D. K., Davis, M. A. und Niemiller, M. L. (2021): Addressing ‘biodiversity naivety’ through project-based learning using iNaturalist. *Journal for Nature Conservation* 64: 126070. DOI: 10.1016/j.jnc.2021.126070.
- Nordmo, T.-A. S., Ovesen, A. B., Johansen, H. D., Riegler, M. A., Halvorsen, P. und Johansen, D. (2021): Dutkat: A Multimedia System for Catching Illegal Catchers in a Privacy-Preserving Manner. In: Dao, M.-S., Dang-Nguyen, D.-T. und Riegler, M. (Hrsg.): ICDAR@ICMR 2921: Proceedings of the 2021 Workshop on Intelligent Cross-Data Analysis and Retrieval, Taipei Taiwan, 16.-19. November 2021. ACM. New York (USA): 57–61.
- Notaro, M., Mauss, A. und Williams, J. W. (2012): Projected vegetation changes for the American Southwest: combined dynamic modeling and bioclimatic-envelope approach. *Ecological Applications* 22 (4): 1365–1388. DOI: 10.1890/11-1269.1.
- Oliver, R. Y., Ellis, D. P. W., Chmura, H. E., Krause, J. S., Pérez, J. H. und Sweet, S. K. et al. (2018): Eavesdropping on the Arctic: Automated bioacoustics reveal dynamics in songbird breeding phenology. *Science Advances* 4 (6): eaaq1084. DOI: 10.1126/sciadv.aaq1084.
- Outeiral, C., Strahm, M., Shi, J., Morris, G. M., Benjamin, S. C. und Deane, C. M. (2021): The prospects of quantum computing in computational molecular biology. *WIREs Computational Molecular Science* 11 (1): e1481. DOI: 10.1002/wcms.1481.
- Paul, J. K., Yuvaraj, T. und Gundepudi, K. (2020): Demonstrating Low-Cost Unmanned Aerial Vehicle for anti-Poaching. In: IEEE (Hrsg.): 2020 IEEE 17th India Council International Conference (INDICON). IEEE. Piscataway, NJ: 1–7.
- Pawlowski, J., Apothéoz-Perret-Gentil, L., Mächler, E. und Altermatt, F. (2020): Anwendung von eDNA-Methoden in biologischen Untersuchungen und bei der biologischen Bewertung von aquatischen Ökosystemen. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.5167/UZH-187800> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Pawlowski, J., Kelly-Quinn, M., Altermatt, F., Apothéoz-Perret-Gentil, L., Beja, P. und Boggero, A. et al. (2018): The future of biotic indices in the ecogenomic era: Integrating (e)DNA metabarcoding in biological assessment of aquatic ecosystems. *The Science of the Total Environment* 637-638: 1295–1310. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.05.002.
- Pearson, R. G. und Dawson, T. P. (2003): Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography* 12 (5): 361–371. DOI: 10.1046/j.1466-822X.2003.00042.x.
- Pereira, L. M., Davies, K. K., Belder, E., Ferrier, S., Karlsson-Vinkhuyzen, S. und Kim, H. et al. (2020): Developing multiscale and integrative nature–people scenarios using the Nature Futures Framework. *People and Nature* 2 (4): 1172–1195. DOI: 10.1002/pan3.10146.
- Pereira, H. M., Ferrier, S., Walters, M., Geller, G. N., Jongman, R. H. G. und Scholes, R. J. et al. (2013): Essential biodiversity variables. *Science* 339 (6117): 277–278. DOI: 10.1126/science.1229931.
- Peters, W. (2014): Theorie der Modellierung. In: Schröder, W., Müller, F. und Fränzle, O. (Hrsg.): *Handbuch der Umweltwissenschaften*. Wiley-VCH. Weinheim: 1–22.
- Petso, T., Jamisola, R. S. und Mpoeleng, D. (2022): Review on methods used for wildlife species and individual identification. *European Journal of Wildlife Research* 68 (1): o. S. DOI: 10.1007/s10344-021-01549-4.

- Phillips, S. J., Anderson, R. P. und Schapire, R. E. (2006): Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190 (3-4): 231–259. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026.
- Pineau, J. (2020) Q&A. *Nature* 577: S. 14.
- Polechová, J. und Barton, N. H. (2015): Limits to adaptation along environmental gradients. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 112 (20) 6401–6406. DOI: 10.1073/pnas.1421515112.
- Purves, D., Scharlemann, J., Harfoot, M., Newbold, T., Tittensor, D. P. und Hutton, J. et al. (2013): Ecosystems: Time to model all life on Earth. *Nature* 493 (7432): 295–297. DOI: 10.1038/493295a.
- Pyttel, P., Kraus, D. und Schuck, A. (2018): Mit „Marteloskopen“ lehren und lernen. *AFZ-DerWald* (4): 26–29.
- Quinn, J. E., Schindler, A. R., Blake, L., Kline Schaffer, S. und Hyland, E. (2022): Loss of winter wonderland: proximity to different road types has variable effects on winter soundscapes. *Landscape Ecology* 37 (2): 381–391. DOI: 10.1007/s10980-021-01364-x.
- Ramesohl, S., Lauten-Weiss und Kobiela, G. (2020): Nachhaltigkeitskriterien Blockchain: Vorschlag von nachhaltigkeitsorientierten Entscheidungskriterien und eines Verfahrenskonzepts für die Umsetzung staatlich geförderter oder initiiertes Projekte im Bereich Blockchain. *Wuppertal Report* 21: 58 S.
- Rana, P. und Miller, D. C. (2019): Machine learning to analyze the social-ecological impacts of natural resource policy: insights from community forest management in the Indian Himalaya. *Environmental Research Letters* 14 (2): 24008. DOI: 10.1088/1748-9326/aafa8f.
- Rebolo-Ifrán, N., Graña Grilli, M. und Lambertucci, S. A. (2019): Drones as a Threat to Wildlife: YouTube Complements Science in Providing Evidence about Their Effect. *Environmental Conservation* 46 (3): 205–210. DOI: 10.1017/S0376892919000080.
- Richards, B. L., Beijbom, O., Campbell, M. D., Clarke, M. E., Cutter, G. und Dawkins, M. et al. (2019): Automated Analysis of Underwater Imagery: Accomplishments, Products, and Vision. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.25923/0cwf-4714> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Richter, A. (2019): Digitale Medien und Technologien im ehrenamtlichen Naturschutz. *Natur und Landschaft* 94 (3): 103–111. DOI: 10.17433/3.2019.50153671.103-111.
- Rochet, M.-J., Collie, J. S., Jennings, S. und Hall, S. J. (2011): Does selective fishing conserve community biodiversity? Predictions from a length-based multispecies model. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 68 (3): 469–486. DOI: 10.1139/F10-159.
- Rolnick, D., Donti, P. L., Kaack, L. H., Kochanski, K., Lacoste, A. und Sankaran, K. et al. (2019): Tackling Climate Change with Machine Learning. Online verfügbar unter <http://arxiv.org/pdf/1906.05433v2> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Romagnoni, G., Mackinson, S., Hong, J. und Eikeset, A. M. (2015): The Ecospace model applied to the North Sea: Evaluating spatial predictions with fish biomass and fishing effort data. *Ecological Modelling* 300: 50–60. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2014.12.016.
- Rominger, K. R., DeNittis, A. und Meyer, S. E. (2021): Using drone imagery analysis in rare plant demographic studies. *Journal for Nature Conservation* 62: 126020. DOI: 10.1016/j.jnc.2021.126020.
- Rückert-John, J., John, R., Jaeger-Erben, M., Wiatr, M., Vohland, K. und Ziegler, D. et al. (2017): Konzept zur Anwendbarkeit von Citizen Science in der Ressortforschung des Umweltbundesamtes: Abschlussbericht. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/konzept-zur-anwendbarkeit-von-citizen-science-in> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)

- Rudiyanto, Minasny, B., Setiawan, B. I., Saptomo, S. K. und McBratney, A. B. (2018): Open digital mapping as a cost-effective method for mapping peat thickness and assessing the carbon stock of tropical peatlands. *Geoderma* 313: 25–40. DOI: 10.1016/j.geoderma.2017.10.018.
- Rutz, C. und Troscianko, J. (2013): Programmable, miniature video-loggers for deployment on wild birds and other wildlife. *Methods in Ecology and Evolution* 4 (2): 114–122. DOI: 10.1111/2041-210x.12003.
- Rydhmer, K., Bick, E., Still, L., Strand, A., Luciano, R. und Helmreich, S. et al. (2022): Automating insect monitoring using unsupervised near-infrared sensors. *Scientific Reports* 12 (1): 2603. DOI: 10.1038/s41598-022-06439-6.
- Samiappan, S., Turnage, G., McCraine, C., Skidmore, J., Hathcock, L. und Moorhead, R. (2017): Post-Logging Estimation of Loblolly Pine (*Pinus taeda*) Stump Size, Area and Population Using Imagery from a Small Unmanned Aerial System. *Drones* 1 (1): 4. DOI: 10.3390/drones1010004.
- Samoili, S., López Cobo, M., Gómez, E., Prato, G. de, Martínez-Plumed, F. und Delipetrev, B. (2020): AI Watch - Defining Artificial Intelligence: Towards an operational definition and taxonomy of artificial intelligence. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.2760/382730> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Sandbrook, C., Adams, W. M. und Monteferrri, B. (2015): Digital Games and Biodiversity Conservation. *Conservation Letters* 8 (2), 118–124. DOI: 10.1111/conl.12113.
- Sansom, B. J. und Sassoubre, L. M. (2017): Environmental DNA (eDNA) Shedding and Decay Rates to Model Freshwater Mussel eDNA Transport in a River. *Environmental Science & Technology* 51 (24): 14244–14253. DOI: 10.1021/acs.est.7b05199.
- Santangeli, A., Chen, Y., Klun, E., Chirumamilla, R., Tiainen, J. und Loehr, J. (2020): Integrating drone-borne thermal imaging with artificial intelligence to locate bird nests on agricultural land. *Scientific Reports* 10 (1): 10993. DOI: 10.1038/s41598-020-67898-3.
- Schiefer, F., Kattenborn, T., Frick, A., Frey, J., Schall, P. und Koch, B. et al. (2020): Mapping forest tree species in high resolution UAV-based RGB-imagery by means of convolutional neural networks. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 170: 205–215. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2020.10.015.
- Schmidt, J., Fassnacht, F. E., Neff, C., Lausch, A., Kleinschmit, B. und Förster, M. et al. (2017): Adapting a Natura 2000 field guideline for a remote sensing-based assessment of heathland conservation status. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 60: 61–71. DOI: 10.1016/j.jag.2017.04.005.
- Schmidt, J., Fassnacht, F. E., Förster, M. und Schmidlein, S. (2017): Synergetic use of Sentinel-1 and Sentinel-2 for assessments of heathland conservation status. *Remote Sensing in Ecology and Conservation* 4 (3): 225–239. DOI: 10.1002/rse2.68.
- Schneider, S., Greenberg, S., Taylor, G. W. und Kremer, V. S. C. (2020): Three critical factors affecting automated image species recognition performance for camera traps. *Ecology and Evolution* 10 (7): 3503–3517. DOI: 10.1002/ece3.6147.
- Schneider, C., Mrogenda, K., Dibbern, B., Höfer, R., Davis, M. und Sommer, H. et al. (2021): Umweltinformationssysteme für den Naturschutz: Potenziale, Risiken, Anwendungsfelder und Entwicklungsperspektiven. In: Gesellschaft für Informatik e. V. (Hrsg.): *INFORMATIK 2021. Lecture Notes in Informatics (LNI)*. Gesellschaft für Informatik. Bonn: 623–632.
- Schröder, W., Müller, F. und Fränzle, O. (Hrsg.) (2014): *Handbuch der Umweltwissenschaften*. Wiley-VCH Weinheim: 2442 S.
- Schulemann-Maier, G., Munzinger, S. (2018): Das Artenwissen naturaffiner Menschen analysiert - Ergebnisse der arten|pisa-Umfrage. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 50 (11): 412–417.

- Schulte to Bühne, H. und Pettoirelli, N. (2018): Better together: Integrating and fusing multispectral and radar satellite imagery to inform biodiversity monitoring, ecological research and conservation science. *Methods in Ecology and Evolution* 9 (4): 849–865. DOI: 10.1111/2041-210X.12942.
- Schulzki-Haddouti, C. (2021): KI und Nachhaltigkeit: Ein Diskussionsbeitrag für die Plattform Lernende Systeme. *Lernende Systeme – Die Plattform für Künstliche Intelligenz*. München: 175 S.
- Schwartz, R., Dodge, J., Smith, N. A. und Etzioni, O. (2020): Green AI. Online verfügbar unter <http://arxiv.org/pdf/1907.10597v3> (Letzer Zugriff: 15.11.2022)
- Seeley, M. und Asner, G. P. (2021): Imaging Spectroscopy for Conservation Applications. *Remote Sensing* 13 (2): 292. DOI: 10.3390/rs13020292.
- Sharma, R., Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Kumar, V. und Kumar, A. (2020): A systematic literature review on machine learning applications for sustainable agriculture supply chain performance. *Computers & Operations Research* 119: 104926. DOI: 10.1016/j.cor.2020.104926.
- Siddiqui, S. A., Salman, A., Malik, M. I., Shafait, F., Mian, A. und Shortis, M. R. et al. (2018): Automatic fish species classification in underwater videos: exploiting pre-trained deep neural network models to compensate for limited labelled data. *ICES Journal of Marine Science* 75 (1): 374–389. DOI: 10.1093/icesjms/fsx109.
- Simonson, W. D., Allen, H. D. und Coomes, D. A. (2014): Applications of airborne lidar for the assessment of animal species diversity. *Methods in Ecology and Evolution* 5 (8): 719–729. DOI: 10.1111/2041-210X.12219.
- Sinclair, A. R. E. und Gosline, J. M. (1997): Solar Activity and Mammal Cycles in the Northern Hemisphere. *The American naturalist* 149 (4): 776–784. DOI: 10.1086/286020.
- Sittaro, F., Hutengs, C., Semella, S. und Vohland, M. (2022): A Machine Learning Framework for the Classification of Natura 2000 Habitat Types at Large Spatial Scales Using MODIS Surface Reflectance Data. *Remote Sensing* 14 (4): 823. DOI: 10.3390/rs14040823.
- SMACC (2021): Making Money from Misery: How social media giants profit from animal abuse. Online verfügbar unter <https://www.asiaforanimals.com/smacc-report> (Letzer Zugriff: 15.11.2022)
- Smoliński, S. und Radtke, K. (2017): Spatial prediction of demersal fish diversity in the Baltic Sea: comparison of machine learning and regression-based techniques. *ICES Journal of Marine Science* 74 (1): 102–111. DOI: 10.1093/icesjms/fsw136.
- Sothe, C., Dalponte, M., Almeida, C. M. de, Schimalski, M. B., Lima, C. L. und Liesenberg, V. et al. (2019): Tree Species Classification in a Highly Diverse Subtropical Forest Integrating UAV-Based Photogrammetric Point Cloud and Hyperspectral Data. *Remote Sensing* 11 (11): 1338. DOI: 10.3390/rs11111338.
- Stark, D. J., Vaughan, I. P., Evans, L. J., Kler, H. und Goossens, B. (2018): Combining drones and satellite tracking as an effective tool for informing policy change in riparian habitats: a proboscis monkey case study. *Remote Sensing in Ecology and Conservation* 4 (1): 44–52. DOI: 10.1002/rse2.51.
- Stengel, O. (2017): Die Ökologische Frage im Digitalzeitalter: Zukunft der Natur. In: Stengel, O., van Looy, A. und Wallaschkowski, S. (Hrsg.): *Digitalzeitalter - Digitalgesellschaft: Das Ende des Industriezeitalters und der Beginn einer neuen Epoche*. Springer VS. Wiesbaden: 193–222.
- Stidsholt, L., Johnson, M., Goerlitz, H. R. und Madsen, P. T. (2021): Wild bats briefly decouple sound production from wingbeats to increase sensory flow during prey captures. *iScience* 24 (8): 102896. DOI: 10.1016/j.isci.2021.102896.
- Stockwell, D. und Peters, D. G. (1999): The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographical Information Science* 13 (2): 143–158. DOI: 10.1080/136588199241391.

- Stolze, J. und Suter, D. (2008): *Quantum Computing: A Short Course from Theory to Experiment*. Wiley-VCH. Weinheim: 255 S.
- Strubell, E., Ganesh, A. und McCallum, A. (2019): Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP. Online verfügbar unter <http://arxiv.org/pdf/1906.02243v1> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Takahashi Miyoshi, G., Imai, N. N., Garcia Tommaselli, A. M., Antunes de Moraes, M. V. und Honkavaara, E. (2020): Evaluation of Hyperspectral Multitemporal Information to Improve Tree Species Identification in the Highly Diverse Atlantic Forest. *Remote Sensing* 12 (2): 244. DOI: 10.3390/rs12020244.
- Teickner, H., Lehmann, J., Guth, P., Meinking, F. und Ott, D. (2019): Recognize the Little Ones: UAS-Based In-Situ Fluorescent Tracer Detection. *Drones* 3 (1): 20. DOI: 10.3390/drones3010020.
- Tilman, D., Fargione, J., Wolff, B., D'Antonio, C., Dobson, A. und Howarth, R. et al. (2001): Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science* 292 (5515): 281–284. DOI: 10.1126/science.1057544.
- Toivonen, T., Heikinheimo, V., Fink, C., Hausmann, A., Hiippala, T. und Järv, O. et al. (2019): Social media data for conservation science: A methodological overview. *Biological Conservation* 233: 298–315. DOI: 10.1016/j.biocon.2019.01.023.
- Torres, L. G., Nieukirk, S. L., Lemos, L. und Chandler, T. E. (2018): Drone Up! Quantifying Whale Behavior From a New Perspective Improves Observational Capacity. *Frontiers in Marine Science* 5: o. S. DOI: 10.3389/fmars.2018.00319.
- Tournier, M., Goulet, P., Fonvieille, N., Nerini, D., Johnson, M. und Guinet, C. (2021): A novel animal-borne miniature echosounder to observe the distribution and migration patterns of intermediate trophic levels in the Southern Ocean. *Journal of Marine Systems* 223: 103608. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2021.103608.
- Tuia, D., Kellenberger, B., Beery, S., Costelloe, B. R., Zuffi, S. und Risse, B. et al. (2021): Seeing biodiversity: perspectives in machine learning for wildlife conservation. Online verfügbar unter <http://arxiv.org/pdf/2110.12951v1>.
- Turner, G. G., Meteyer, C. U., Barton, H., Gumbs, J. F., Reeder, D. M. und Overton, B. et al. (2014): Nonlethal screening of bat-wing skin with the use of ultraviolet fluorescence to detect lesions indicative of white-nose syndrome. *Journal of Wildlife Diseases* 50 (3): 566–573. DOI: 10.7589/2014-03-058.
- Turner und Woody, T. (2014): Sensing biodiversity. *Science*. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1126/science.1256014> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Tysiac, P. (2020): Bringing Bathymetry LiDAR to Coastal Zone Assessment: A Case Study in the Southern Baltic. *Remote Sensing* 12 (22): 3740. DOI: 10.3390/rs12223740.
- Uhle, C. und Lange, S. (2017): Digitalisierung für eine sozial-ökologische Transformation? *Ökologisches Wirtschaften - Fachzeitschrift* 32 (3): 14. DOI: 10.14512/OEW320314.
- UIG (2004): *Umweltinformationsgesetz*. Online verfügbar unter [https://www.gesetze-im-internet.de/uig\\_2005/](https://www.gesetze-im-internet.de/uig_2005/) (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Vahtmäe, E., Kutser, T. und Paavel, B. (2020): Performance and Applicability of Water Column Correction Models in Optically Complex Coastal Waters. *Remote Sensing* 12 (11): 1861. DOI: 10.3390/rs12111861.
- Valle, M., Borja, Á., Chust, G., Galparsoro, I. und Garmendia, J. M. (2011): Modelling suitable estuarine habitats for *Zostera noltii*, using Ecological Niche Factor Analysis and Bathymetric LiDAR. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 94 (2): 144–154. DOI: 10.1016/j.ecss.2011.05.031.

- van Gemert, J. C., Verschoor, C. R., Mettes, P., Epema, K., Koh, L. P. und Wich, S. (2015): Nature Conservation Drones for Automatic Localization and Counting of Animals. In: Agapito, L., Bronstein, M. M. und Rother, C. (Hrsg.): Computer Vision - ECCV 2014 Workshops. Springer International Publishing. Cham: 255–270.
- van Vuuren, D. P., Feddema, J., Froking, S., Hibbard, K., Hurtt, G. und Lamarque, J.-F. et al. (2009): Running policy-relevant Integrated Assessment Models scenarios in Earth System Models. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 6 (44): 442008. DOI: 10.1088/1755-1307/6/4/442008.
- van Wynsberghe, A. (2021): Sustainable AI: AI for sustainability and the sustainability of AI. AI and Ethics 1 (3): 213–218. DOI: 10.1007/s43681-021-00043-6.
- Vance, C. K., Kouba, A. J. und Willard, S. T. (2014): Near Infrared Spectroscopy Applications in Amphibian Ecology and Conservation: Gender and Species Identification. NIR news 25 (4): 10–15. DOI: 10.1255/nirn.1444.
- Vance, C. K., Tolleson, D. R., Kinoshita, K., Rodriguez, J. und Foley, W. J. (2016): Near Infrared Spectroscopy in Wildlife and Biodiversity. Journal of Near Infrared Spectroscopy 24 (1): 1–25. DOI: 10.1255/jnirs.1199.
- Vélez, J., Castiblanco-Camacho, P. J., Tabak, M. A., Chalmers, C., Fergus, P. und Fieberg, J. (2022): Choosing an Appropriate Platform and Workflow for Processing Camera Trap Data using Artificial Intelligence. Online verfügbar unter <http://arxiv.org/pdf/2202.02283v1> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Ventura, D., Bonifazi, A., Gravina, M. F., Belluscio, A. und Ardizzone, G. (2018): Mapping and Classification of Ecologically Sensitive Marine Habitats Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery and Object-Based Image Analysis (OBIA). Remote Sensing 10 (9): 1331. DOI: 10.3390/rs10091331.
- Verfuss, U. K., Gillespie, D., Gordon, J., Marques, T. A., Miller, B. und Plunkett, R. et al. (2018): Comparing methods suitable for monitoring marine mammals in low visibility conditions during seismic surveys. Marine Pollution Bulletin 126: 1–18. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2017.10.034.
- Vierling, K. T., Bässler, C., Brandl, R., Vierling, L. A., Weiß, I. und Müller, J. (2011): Spinning a laser web: predicting spider distributions using LiDAR. Ecological applications 21 (2): 577–588.
- Vohland, K., Land-Zandstra, A., Ceccaroni, L., Lemmens, R., Perelló, J. und Ponti, M. et al. (Hrsg.) (2021): The Science of Citizen Science. Springer International Publishing. Cham: 527 S.
- Vohland, M., Ludwig, B., Seidel, M. und Hutengs, C. (2022): Quantification of soil organic carbon at regional scale: Benefits of fusing vis-NIR and MIR diffuse reflectance data are greater for in situ than for laboratory-based modelling approaches. Geoderma 405: 115426. DOI: 10.1016/j.geoderma.2021.115426.
- Wägele, J. W., Bodesheim, P., Bourlat, S. J., Denzler, J., Diepenbroek, M. und Fonseca, V. et al. (2022): Towards a multisensor station for automated biodiversity monitoring. Basic and Applied Ecology 59: 105–138. DOI: 10.1016/j.baae.2022.01.003.
- Wallace, L., Lucieer, A., Watson, C. und Turner, D. (2012): Development of a UAV-LiDAR System with Application to Forest Inventory. Remote Sensing 4 (6): 1519–1543. DOI: 10.3390/rs4061519.
- Walters, C. L., Freeman, R., Collen, A., Dietz, C., Brock Fenton, M. und Jones, G. et al. (2012): A continental-scale tool for acoustic identification of European bats. Journal of Applied Ecology 49 (5): 1064–1074. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2012.02182.x.
- Wang, J., Lin, C., Bu, C., Xi, T., Wang, Z. und Ji, L. (2019): The Practice of Deep Learning Methods in Biodiversity Information Collection. Biodiversity Information Science and Standards 3: e37534. DOI: 10.3897/biss.3.37534.

- WBGU (2019): Unsere Gemeinsame digitale Zukunft: Zusammenfassung. Online verfügbar unter <https://www.wbgu.de/de/publikationen/publikation/unsere-gemeinsame-digitale-zukunft> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- WBGU (2011): Welt im Wandel: Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation. Online verfügbar unter <https://www.wbgu.de/de/publikationen/publikation/welt-im-wandel-gesellschaftsvertrag-fuer-eine-grosse-transformation> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Wearn, O. R., Freeman, R. und Jacoby, D. M. P. (2019): Responsible AI for conservation. *Nature Machine Intelligence* 1 (2): 72–73. DOI: 10.1038/s42256-019-0022-7.
- Weigand, H., Beermann, A. J., Čiampor, F., Costa, F. O., Csabai, Z. und Duarte, S. et al. (2019): DNA barcode reference libraries for the monitoring of aquatic biota in Europe: Gap-analysis and recommendations for future work. *The Science of the Total Environment* 678: 499–524. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.247.
- Weisberg, P. J., Dilts, T. E., Greenberg, J. A., Johnson, K. N., Pai, H. und Sladek, C. et al. (2021): Phenology-based classification of invasive annual grasses to the species level. *Remote Sensing of Environment* 263: 112568. DOI: 10.1016/j.rse.2021.112568.
- Weisshaupt, N., Lehtiniemi, T. und Koistinen, J. (2021): Combining citizen science and weather radar data to study large-scale bird movements. *Ibis* 163 (2): 728–736. DOI: 10.1111/ibi.12906.
- Welbourne, D. J., Claridge, A. W., Paull, D. J. und Lambert, A. (2016): How do passive infrared triggered camera traps operate and why does it matter? Breaking down common misconceptions. *Remote Sensing in Ecology and Conservation* 2 (2): 77–83. DOI: 10.1002/rse2.20.
- Wermelinger, B., Forster, B., Hölling, D., Plüss, T. und Klay, A. (2015): Invasive Laubholz-Bockkäfer aus Asien: Ökologie und Management. *Merkblatt für die Praxis* 50: 16 S.
- Wiggers, K. (2020): Atlassian details AI features headed to Jira, Confluence, and Bitbucket. Online verfügbar unter <https://venturebeat.com/ai/atlassian-details-ai-features-headed-to-jira-confluence-and-bitbucket/> (Letzter Zugriff: 14.12.2021)
- Willi, M., Pitman, R. T., Cardoso, A. W., Locke, C., Swanson, A. und Boyer, A. et al. (2019): Identifying animal species in camera trap images using deep learning and citizen science. *Methods in Ecology and Evolution* 10 (1): 80–91. DOI: 10.1111/2041-210X.13099.
- Wilmers, C. C., Nickel, B., Bryce, C. M., Smith, J. A., Wheat, R. E. und Yovovich, V. (2015): The golden age of bio-logging: how animal-borne sensors are advancing the frontiers of ecology. *Ecology* 96 (7): 1741–1753. Online verfügbar unter <http://www.jstor.org/stable/43494925>.
- Wilson, R. J., Siqueira, A. F. de, Brooks, S. J., Price, B. W., Simon, L. M. und van der Walt, S. J. et al. (2021): Applying computer vision to digitised natural history collections for climate change research: temperature-size responses in British butterflies. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13844> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Wirzberger, M., Bornemeier, J., Kampel, S., Alvarez Serrano, M. G., Ullmann, L. und Rey, G. D. (2021): Umwelt trifft App: Verbindung virtueller und realer Welten in der Bildung für nachhaltige Entwicklung: Kurzbericht. *Umweltpsychologie* 1 (48): 123132.
- Wu, Y., Chan, E., Melton, J. R. und Verseghy, D. L. (2017): A map of global peatland distribution created using machine learning for use in terrestrial ecosystem and earth system models. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.5194/gmd-2017-152> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Wu, K., Rodriguez, G. A., Zajc, M., Jacquemin, E., Clément, M. und Coster, A. de et al. (2019): A new drone-borne GPR for soil moisture mapping. *Remote Sensing of Environment* 235: 111456. DOI: 10.1016/j.rse.2019.111456.

- Xie, C. und Yang, C. (2020): A review on plant high-throughput phenotyping traits using UAV-based sensors. *Computers and Electronics in Agriculture* 178: 105731. DOI: 10.1016/j.compag.2020.105731.
- Xu, L., Gholami, S., Carthy, S. M., Dilkina, B., Plumptre, A. und Tambe, M. et al. (2019): Stay Ahead of Poachers: Illegal Wildlife Poaching Prediction and Patrol Planning Under Uncertainty with Field Test Evaluations. Online verfügbar unter <http://arxiv.org/pdf/1903.06669v3> (Letzter Zugriff: 15.11.2022)
- Xue, Y., Wang, T. und Skidmore, A. K. (2017): Automatic Counting of Large Mammals from Very High Resolution Panchromatic Satellite Imagery. *Remote Sensing* 9 (9): 878. DOI: 10.3390/rs9090878.
- Yang, F., Su, D., Ma, Y., Feng, C., Yang, A. und Wang, M. (2017): Refraction Correction of Airborne LiDAR Bathymetry Based on Sea Surface Profile and Ray Tracing. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 55 (11): 6141–6149. DOI: 10.1109/TGRS.2017.2721442.
- Yang, M.-D., Tseng, H.-H., Hsu, Y.-C., Yang, C.-Y., Lai, M.-H. und Wu, D.-H. (2021): A UAV Open Dataset of Rice Paddies for Deep Learning Practice. *Remote Sensing* 13 (7): 1358. DOI: 10.3390/rs13071358.
- Yeo, N. L., White, M. P., Alcock, I., Garside, R., Dean, S. G. und Smalley, A. J. et al. (2020): What is the best way of delivering virtual nature for improving mood? An experimental comparison of high definition TV, 360° video, and computer generated virtual reality. *Journal of Environmental Psychology* 72: 101500. DOI: 10.1016/j.jenvp.2020.101500.
- Yu, C.-P., Lee, H.-Y., Lu, W.-H., Huang, Y.-C. und Browning, M. H. (2020): Restorative effects of virtual natural settings on middle-aged and elderly adults. *Urban Forestry and Urban Greening* 56: 126863. DOI: 10.1016/j.ufug.2020.126863.
- Yuan, J., Chen, C., Yang, W., Liu, M., Xia, J. und Liu, S. (2021): A survey of visual analytics techniques for machine learning. *Computational Visual Media* 7 (1): 3–36. DOI: 10.1007/s41095-020-0191-7.
- Zaugg, S., Schmid, B. und Liechti, F. (2017): Ensemble approach for automated classification of radar echoes into functional bird sub-types. DOI: 10.13140/RG.2.2.23354.80326.
- Zhou, M., Elmore, J. A., Samiappan, S., Evans, K. O., Pfeiffer, M. B. und Blackwell, B. F. et al. (2021): Improving Animal Monitoring Using Small Unmanned Aircraft Systems (sUAS) and Deep Learning Networks. *Sensors* 21 (17): 5697. DOI: 10.3390/s21175697.
- Zizka, A., Andermann, T. und Silvestro, D. (2022): IUCNN – Deep learning approaches to approximate species' extinction risk. *Diversity and Distributions* 28 (2): 227–241. DOI: 10.1111/ddi.13450.
- Zuo, Z., Tang, X., Li, G., Ma, Y., Zhang, W. und Li, S. (2021): Inversion of Terrain Slope and Roughness with Satellite Laser Altimeter Full-Waveform Data Assisted by Shuttle Radar Topographic Mission. *Remote Sensing* 13 (3): 424. DOI: 10.3390/rs13030424.



## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Wirkungskreis digitaler Lösungen (BMU 2020: 9).....	14
Abb. 2:	Strategisches Modell Digitalisierung und Naturschutz (BfN FG I 1.1, IPBES 2019: 27).....	16
Abb. 3:	Digitale Anwendungen im Naturschutz. In größerer Schrift sind diejenigen beispielhaft hervorgehoben, die durch Förderung des BfN mit Mitteln des Bundesumweltministeriums (BMUV) realisiert wurden. (BfN FG I 1.1) .....	20
Abb. 4:	Anwendungsgebiete für Drohnen im Naturschutz nach verwendeter Sensorik (BfN FG I 1.1, Icons von Flaticon).....	25
Abb. 5:	Vorschlag für ein holistisches Bewertungsmodell für Digitalprojekte (BfN FG I 1.1, Icons von Flaticon).....	32
Abb. 6:	Anwendungsfelder und Beispiele für maschinelles Lernen im Naturschutz (BfN FG I 1.1) .....	56
Abb. 7:	Beispielhafte Anwendungsfälle von Modellierung im Naturschutz (BfN FG I 1.1 nach IPBES 2016) .....	66
Abb. 8:	Strukturierung digitaler Methoden zur Vermittlung von Naturschutzwissen (BfN FG I 1.1) .....	70
Abb. 9:	NFT-Kunstwerk eines in Vietnam und Laos heimischen Saola (© Klemens Mrogenda).....	82

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Beispielhafte Rechtsgrundlagen der Digitalisierung mit Relevanz für den Naturschutz. (BfN I 1.1) .....	21
Tab. 2:	Beispielhafte Drohnenprojekte mit Naturschutzbezug (BfN I 1.1) .....	26
Tab. 3:	Beispielhafte eDNA Projekte mit Naturschutzbezug (BfN I 1.1) .....	27
Tab. 4:	Beispielhafte Blockchain Projekte mit Naturschutzbezug (BfN I 1.1) .....	30
Tab. 5:	Sensoren, Plattformen und beispielhafte Anwendungsfelder zur digitalen Datenerhebung im Naturschutz (BfN I 1.1).....	35
Tab. 6:	Projektauswahl im Bereich Datenmanagement im Naturschutz. Mit * markierte Anwendungen wurden vom BfN gefördert. (BfN I 1.1).....	51
Tab. 7:	Übersicht über Anwendungen für maschinelles Lernen und Künstliche Intelligenz (BfN I 1.1) .....	62
Tab. 8:	Zustimmung zu ausgewählten, digitalen Formaten für die Vermittlung von Artenwissen (in %). (BfN I 1.1).....	69
Tab. 9:	Beispielhafte Digitalanwendungen im Bildungsbereich. Mit * markierte Anwendungen wurden vom BfN gefördert. (BfN I 1.1) .....	76
Tab. 10:	Beispielhafte Digitalanwendungen, die ein Naturschutzengagement ermöglichen. Mit * markierte Anwendungen wurden vom BfN gefördert. (BfN I 1.1).....	85
Tab. 11:	Bevölkerungsmeinung über die Chancen und Risiken der Digitalisierung für den Naturschutz (in %). .....	90

Die „BfN-Schriften“ sind eine seit 1998 unperiodisch erscheinende Schriftenreihe in der institutionellen Herausgeberschaft des Bundesamtes für Naturschutz (BfN) in Bonn. Sie sind kurzfristig erstellbar und enthalten u.a. Abschlussberichte von Forschungsvorhaben, Workshop- und Tagungsberichte, Arbeitspapiere oder Bibliographien. Viele der BfN-Schriften sind digital verfügbar. Printausgaben sind auch in kleiner Auflage möglich.

**DOI 10.19217/skr656**