



SPRINGER NATURE

SDG – Forschung, Konzepte, Lösungsansätze zur Nachhaltigkeit

Michael Jacob

Ökologische Nachhaltigkeit – Interdisziplinäre Perspektiven



Springer Vieweg

SDG – Forschung, Konzepte, Lösungsansätze zur Nachhaltigkeit

Die nachhaltige Entwicklung unserer Welt ist eine der wichtigsten Herausforderungen in Gegenwart und Zukunft und zugleich eine Aufgabe, an der alle Wissenschaften beteiligt sind. Um einen sichtbaren Beitrag auf diesem Weg zu leisten, gibt SPRINGERNATURE die Buchreihe SDG – Forschung, Konzepte, Lösungsansätze zur Nachhaltigkeit heraus, in der Arbeiten aus allen Disziplinen publiziert werden können, die die wissenschaftliche Analyse oder die praktische Förderung von Nachhaltigkeit zum Ziel haben, wie sie insbesondere in den Nachhaltigkeitszielen der Vereinten Nationen definiert sind.

Michael Jacob

Ökologische Nachhaltigkeit – Interdisziplinäre Perspektiven



Springer Vieweg

Michael Jacob
Hochschule Kaiserslautern
Fachbereich Betriebswirtschaft
Zweibrücken, Deutschland

ISSN 2731-8826 ISSN 2731-8834 (electronic)
SDG – Forschung, Konzepte, Lösungsansätze zur Nachhaltigkeit
ISBN 978-3-658-46822-4 ISBN 978-3-658-46823-1 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-46823-1>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <https://portal.dnb.de> abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2025

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jede Person benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des/der jeweiligen Zeicheninhaber*in sind zu beachten.

Der Verlag, die Autor*innen und die Herausgeber*innen gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autor*innen oder die Herausgeber*innen übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Wenn Sie dieses Produkt entsorgen, geben Sie das Papier bitte zum Recycling.

Vorwort

Natürliche Ökosysteme bilden die wesentliche Grundlage für das Leben auf der Erde, sowohl für Menschen als auch für andere Lebewesen, und sind zugleich die Basis für soziale und wirtschaftliche Prozesse. Im Laufe der Geschichte hat der Mensch diese Ressourcen nicht nur als Quelle für Rohstoffe genutzt, sondern auch als Senke zur Entsorgung von Abfällen. Dadurch wurden die Ökosysteme erheblich belastet und stark verändert. Insbesondere in den letzten hundert Jahren hat der Mensch die Erde stärker beeinflusst als in den vorhergehenden zehntausend Jahren.

Im folgenden Band wird zunächst auf die Grundlagen der Ökologie eingegangen. Es folgt eine Darstellung des Systems „Erde“ mit ihren nachhaltigkeitsrelevanten Teilsystemen. Dazu gehören:

- Klima
- Leben
- Luft
- Wasser
- Boden

Die einzelnen Kapitel folgen einem ähnlichen Aufbau. Abschließend werden übergreifende Themen behandelt, die mehrere der zuvor genannten Teilsysteme betreffen. Hier geht es insbesondere um biogeochemische Flüsse, neue Substanzen und neue Lebensformen sowie den Einfluss des Menschen auf die Tragfähigkeit der Erde.

Das Werk wird durch weitere Bücher des Autors zum Thema Nachhaltigkeit ergänzt. Dadurch bleibt der Umfang überschaubar, während Veränderungen und Ergänzungen flexibel realisiert werden können. Über alle Bücher hinweg verfolgen der Autor und sein Team einen interdisziplinären Ansatz, der nicht nur eine einzelne Perspektive einnimmt, sondern Erkenntnisse aus Klimatologie, Ökologie, Soziologie, Wirtschaftswissenschaften und anderen Fachgebieten miteinander verknüpft. Ziel ist es, ein umfassendes Verständnis

der komplexen Zusammenhänge zwischen menschlichen Aktivitäten und globalen Veränderungen zu entwickeln. Diese Interdisziplinarität stellt jedoch auch eine Herausforderung dar. Um das Verständnis zu erleichtern, waren teilweise fachliche Vereinfachungen notwendig. Zudem ist die Wahrscheinlichkeit, dass Fehler entstehen, höher im Vergleich zu Werken, die sich auf ein engeres Fachgebiet beschränken. Dennoch sind wir überzeugt, dass neben der Entwicklung weiterer wissenschaftlicher Spezialgebiete auch eine stärkere Vernetzung unterschiedlicher Disziplinen notwendig ist. In diesem Sinne knüpfen wir an Alexander von Humboldt an, der ebenfalls eine breitere Perspektive einnahm, um die Welt als Ganzes zu verstehen. Diese ganzheitliche Betrachtung verbindet sich mit der Hoffnung, dass nachhaltiges Handeln nicht nur die Lebensqualität der heutigen Generation verbessert, sondern auch eine lebenswerte Zukunft für kommende Generationen sichert.

Die in dieser Arbeit verwendeten Personenbezeichnungen beziehen sich – sofern nicht anders kenntlich gemacht – auf alle Geschlechter.

Herzlich danken möchte ich folgenden Mitarbeitern: Bouba Abdouramane, Cagdas Ballikaya, Ellis Bauer, Thomas Risch und Viktoria Weienmaster.

Zweibrücken (Deutschland), August 2024

Michael Jacob

Inhalt

Abkürzungen.....	IX
Abbildungen.....	XIII
1 Grundlagen der ökologischen Dimension.....	1
1.1 Begriffe	2
1.2 Systeme.....	8
1.3 Zeitliche Aspekte	14
1.4 Biosphärenbezogene SDGs.....	19
Literatur	24
2 Klima	27
2.1 Fakten.....	28
2.2 Herausforderungen.....	35
2.3 Aktuelles	46
Literatur	51
3 Leben	55
3.1 Fakten.....	56
3.2 Herausforderungen.....	64
3.3 Aktuelles	76
Literatur	81
4 Luft	85
4.1 Fakten.....	86

4.2 Herausforderungen.....	92
4.3 Aktuelles	99
Literatur	104
5 Wasser.....	107
5.1 Fakten.....	108
5.2 Herausforderungen.....	112
5.3 Aktuelles	121
Literatur	126
6 Boden.....	129
6.1 Fakten.....	130
6.2 Herausforderungen.....	134
6.3 Aktuelles	141
Literatur	145
7 Übergreifende Themen	147
7.1 Biogeochemische Flüsse	148
7.2 Neue Substanzen.....	151
7.3 Erde und Mensch	157
Literatur	162
Index	165

Abkürzungen

Abb.	Abbildung
AE	Astronomische Einheit
AWI	Alfred-Wegener-Institut
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
BMZ	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
BUND	Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland
BVB	Bundesverband Boden
C	Celsius
C3S	Copernicus Climate Change Service
CBD	Convention on Biological Diversity
CFKW	Chlorfluorkohlenwasserstoff
CH ₄	Methan
CO	Kohlenstoffmonoxid
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO ₂ e	CO ₂ -Äquivalente

COP	Conference of the Parties
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
DDT	Dichlordiphenyltrichlorethan
DPSIR	Drivers-Pressures-State-Impact-Response
DWD	Deutscher Wetterdienst
EASA	European Union Aviation Safety Agency
EEA	European Environment Agency
EIONET	European Environment Information and Observation Network
ELSA	European Land and Soil Alliance
EMEP	European Monitoring and Evaluation Programme
ESA	European Space Agency
EUMETSAT	European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites
Eurostat	Statistical Office of the European Union
FAO	Food and Agriculture Organization
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoff
FKW	Fluorkohlenwasserstoff
GCP	Global Carbon Project
GEF	Global Environment Facility
GERICS	Climate Service Center Germany
GFZ	Deutsches GeoForschungsZentrum
GSP	Global Soil Partnership
HLNUG	Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie
IARC	Internationale Agentur für Krebsforschung
ICSMS	International Conference on Soil Mechanics and Structures
ICHMSW	International Conference on Heavy Metal in Soils and Water
ICSQCN SLM	International Conference on Soil Quality, Crop Nutrition and Sustainable Land Management
IEA	International Energy Agency

IPBES	Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISCO	International Soil Conservation Organization
ISRIC	International Soil Reference and Information Centre
IUCN	International Union for Conservation of Nature
JRC	Joint Research Centre
km	Kilometer
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
LUBW	Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg
MARPOL	International Convention for the Prevention of Pollution from Ships
Mrd.	Milliarden
MPI-BGC	Max-Planck-Institut für Biogeochemie
MPI-C	Max-Planck-Institut für Chemie
MPI-EB	Max-Planck-Institut für Evolutionsbiologie
MPI-M	Max-Planck-Institut für Meteorologie
MPIM	Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NH ₃	Ammoniak
NO ₂	Stickstoffdioxid
NO _x	Stickoxide
N ₂ O	Lachgas (Distickstoffmonoxid)
O ₃	Ozon
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
PFAS	Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen
PIK	Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
PM	Partikelmaterie (Feinstaub)
PM _{2,5}	Feinstaubpartikel mit einem Durchmesser von weniger als 2,5 Mikrometern
ppm	parts per million

RCP	Representative Concentration Pathways
SDAC	European Soil Data Centre
SDG	Sustainable Development Goals
SO ₂	Schwefeldioxid
SRC	Stockholm Resilience Centre
StBA	Statistisches Bundesamt
THG	Treibhausgase
TROPOS	Leibniz-Institut für Troposphärenforschung
UBA	Umweltbundesamt
UFZ	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung
UN	United Nations
UNCCD	United Nations Convention to Combat Desertification
UNDP	United Nations Development Programme
UNEP	United Nations Environment Programme
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
UNO	United Nations Organization
UNSD	United Nations Statistics Division
UV	Ultraviolett
WHO	World Health Organization
WMO	World Meteorological Organization
World Bank	World Bank Group
WWF	World Wide Fund for Nature

Abbildungen

Abb. 1.1	Zusammenhänge der ökologischen Dimension.....	2
Abb. 1.2	Ökologiebegriff nach Haeckel.	3
Abb. 1.3	Stellung der Ökologie im System der Wissenschaften.....	6
Abb. 1.4	Das Sonnensystem.	9
Abb. 1.5	Der Aufbau der Erde.	10
Abb. 1.6	Die Sphären der Erde.	12
Abb. 1.7	Das Erdsystem.....	13
Abb. 1.8	Epochen der Erdgeschichte.	16
Abb. 1.9	Unterziele des SDG 6.....	20
Abb. 1.10	Unterziele des SDG 13.....	21
Abb. 1.11	Unterziele des SDG 14.....	22
Abb. 1.12	Unterziele des SDG 15.....	23
Abb. 2.1	Das globale Förderband.	32
Abb. 2.2	Der Kohlenstoffkreislauf.....	33
Abb. 2.3	CO ₂ -Emissionen: Verbrennung fossiler Brennstoffe/Zementherstellung. ..	37
Abb. 2.4	Kipppunkte im Klimasystem.....	40
Abb. 3.1	Die 10 Länder mit dem größten Verlust an Baumbestand.	58
Abb. 3.2	Euphotische, dysphotische und aphotische Zonen der Ozeane.	60
Abb. 3.3	Geschützte Fläche wichtiger terrestrischer Gebiete (biologische Vielfalt). ..	65
Abb. 3.4	Geschützte Fläche wichtiger mariner Gebiete (biologische Vielfalt).....	67

Abb. 3.5	Verlust der globalen tropischen Regenwaldfläche.	68
Abb. 3.6	Index der Roten Liste für das Überleben von Arten.	72
Abb. 4.1	Der Aufbau der Atmosphäre.	87
Abb. 4.2	Natürlicher und anthropogener Treibhauseffekt.	88
Abb. 4.3	Durchschnittliche Treibhausgasemissionen im Personenfernverkehr.	90
Abb. 4.4	Emissionen ausgewählter Luftschadstoffe.	92
Abb. 4.5	Feinstaubkonzentrationen der Länder mit der höchsten Werten.	96
Abb. 5.1	Schematische Skizze des Wasserkreislaufs der Erde.	110
Abb. 5.2	Vereinfachter Albedo-Effekt.	112
Abb. 5.3	Bevölkerung mit mindestens grundlegender Trinkwasserversorgung.	113
Abb. 5.4	Globaler Wasserstresslevel.	116
Abb. 5.5	Grundlegender Wasserstress (Haushalte, Landwirtschaft und Industrie)..	118
Abb. 6.1	Verbindung der Pedosphäre mit anderen Teilsystemen.	131
Abb. 6.2	Funktionen des Bodens.	133
Abb. 6.3	Gefährdung der Bodenfunktionen durch Verdichtung.	136
Abb. 6.4	Anteil versiegelter und unversiegelter Siedlungs- und Verkehrsfläche.	138
Abb. 7.1	Stickstoff-Gesamtbilanz der landwirtschaftlich genutzten Fläche.	149
Abb. 7.2	Inlandsabsatz einzelner Wirkstoffgruppen in Pflanzenschutzmitteln.	152
Abb. 7.3	Pflanzenschutzmittelwirkstoffe und ihre relevanten Metaboliten.	154
Abb. 7.4	Ökologischer Fußabdruck ausgewählter Länder.	160



1 Grundlagen der ökologischen Dimension

Zusammenfassung

Im Kapitel „Grundlagen der ökologischen Dimension“ werden zentrale Begriffe, Systeme und zeitliche Aspekte der Ökologie behandelt. Ergänzend dazu wird ein Überblick über die ökologisch relevanten SDGs gegeben, wie etwa „Leben unter Wasser“ und „Leben an Land“. Die Ökologie hat sich im Laufe von Jahrtausenden durch ökologische Beobachtungen und daraus gezogene Schlussfolgerungen entwickelt. Als wissenschaftliche Disziplin untersucht sie die Beziehungen zwischen Organismen und ihrer Umwelt. Ein bedeutendes Ergebnis dieser Forschung sind die planetaren Belastbarkeitsgrenzen des Stockholm Resilience Centre, die die maximalen Umweltbelastungen definieren, welche die Erde verkraften kann, ohne irreversible Schäden zu erleiden. Um ein besseres Verständnis für die weiteren Zusammenhänge zu ermöglichen, wird die Erde im Kontext des Universums betrachtet und mit ihren wichtigsten Teilsystemen beschrieben. Dazu zählen unter anderem die Atmosphäre als Lufthülle, die Hydrosphäre, die alle Formen von Wasser umfasst, deren gefrorene Teile als Kryosphäre bezeichnet werden, der Boden als Pedosphäre und die Pflanzen und Tiere, die die Biosphäre bilden. In diesem Zusammenhang werden auch ausgewählte Aspekte der Erdgeschichte sowie die Zukunft unseres Sonnensystems thematisiert.

Abb. 1.1 zeigt die Zusammenhänge der ökologischen Dimension. Das Klima im Zentrum bildet den Rahmen für die anderen Teilsysteme.

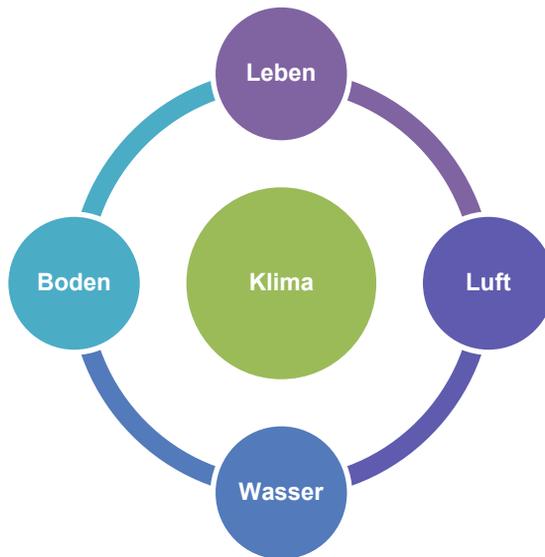


Abb. 1.1 Zusammenhänge der ökologischen Dimension.

1.1 Begriffe

Der Ursprung des Begriffs Ökologie sowie dessen Entwicklung bis in die moderne Zeit stehen im Fokus des folgenden Abschnitts. Zudem werden die Konzepte der ökologischen Nachhaltigkeit und der planetaren Belastbarkeitsgrenzen erörtert.

Der Begriff Umwelt beschreibt physische, chemische und biologische Faktoren, während die Ökologie als wissenschaftliche Disziplin die Beziehungen zwischen Organismen und ihrer Umwelt erforscht

Obwohl die Begriffe Umwelt und Ökologie oft synonym verwendet werden, gibt es einige wichtige Unterschiede. Als Umwelt werden die physischen, chemischen und biologischen Faktoren, die Menschen umgeben, einschließlich Luft, Wasser, Boden, Tiere, Pflanzen und andere lebende und nicht-lebende Dinge verstanden. Der Fokus liegt hier auf der Beschreibung der natürlichen Ressourcen und Umweltbedingungen, die unsere Gesellschaft umgeben und beeinflussen. Die Ökologie ist eine wissenschaftliche Disziplin der Biologie und befasst sich mit den Beziehungen zwischen Organismen und ihrer Umwelt. Dabei wird erforscht, wie sich diese Beziehungen auf die Artenvielfalt, Stoffkreisläufe und Ökosysteme auswirken. Die Ökologie untersucht sowohl die abiotischen, nicht lebenden, Fak-

toren, unter anderem Klima, Wasser, Licht oder Strömungen als auch die biotischen, lebenden, Faktoren, die die Lebensbedingungen für Organismen bereitstellen, wie Pflanzen, Tiere, Bakterien und Pilze. Ernst Haeckel gab der Ökologie schon 1866 ihren Namen und definierte sie als „die gesamte Wissenschaft von den Beziehungen des Organismus zur umgebenden Außenwelt“, wobei der Begriff aus den altgriechischen Wörtern „οἶκος“ (oikos/Haus) und „λόγος“ (logos/Lehre) stammt. Andere Definitionen legen den Schwerpunkt auf Struktur und Funktion der Natur (Eugene P. Odum, 1963) oder auf die Interaktionen, die die Verteilung und Häufigkeit von Organismen bestimmen (Charles J. Krebs, 1973). Gene E. Likens (1992) kombinierte diese Ansätze und definierte Ökologie als Wissenschaft von den Prozessen, die die Verteilung und Häufigkeit von Organismen beeinflussen, einschließlich der Interaktionen zwischen Organismen und dem Energie- und Materialfluss. Innerhalb der naturwissenschaftlich ausgerichteten Ökologie gibt es pragmatische Unterteilungen in Unterdisziplinen, die sich in ihren Fragestellungen und Methoden unterscheiden. Beispielsweise grenzen Vertreter geowissenschaftlicher Fachrichtungen ihre eigenen ökologischen Fragestellungen als Geoökologie von der von Biologen betriebenen Ökologie ab, die sie dann als Bioökologie bezeichnen. (vgl. Streit 2018)

Abschließend ist es wichtig zu betonen, dass der Begriff „Umwelt“ oft in Verbindung mit dem Begriff „Klima“ verwendet wird, wobei diese beiden Begriffe häufig in einer Art Und-Verknüpfung miteinander verbunden werden. Diese Formulierung kann den irreführenden Eindruck erwecken, dass das Klima eine eigenständige Kategorie darstellt, die getrennt von der Umwelt betrachtet werden muss, als ob es sich dabei um zwei unterschiedliche und unabhängige Bereiche handelt. In Wirklichkeit ist das Klima jedoch ein integraler Bestandteil der Umwelt und spielt eine zentrale Rolle in der Definition und Funktion dieser.

In [Abb. 1.2](#) ist die Definition der Ökologie von Haeckel visuell dargestellt.

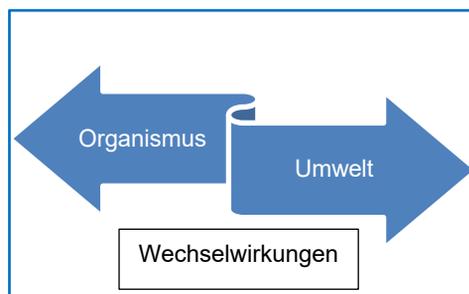


Abb. 1.2 Ökologiebegriff nach Haeckel.

(vgl. Nobel 2020, S. 7)