

# IO5 Stoffkreisläufe

## Biologie

---

*Stoffkreisläufe in der Nachbarschaft und im  
(Schul-)Garten*

# Lernen im Schulgarten

---

## Von der Theorie zur Erfahrung

"Piaget vertrat die Ansicht, dass Kinder ihr Wissen durch Interaktion mit ihrer Umwelt und das Sammeln von Erfahrungen in der realen Welt aufbauen.

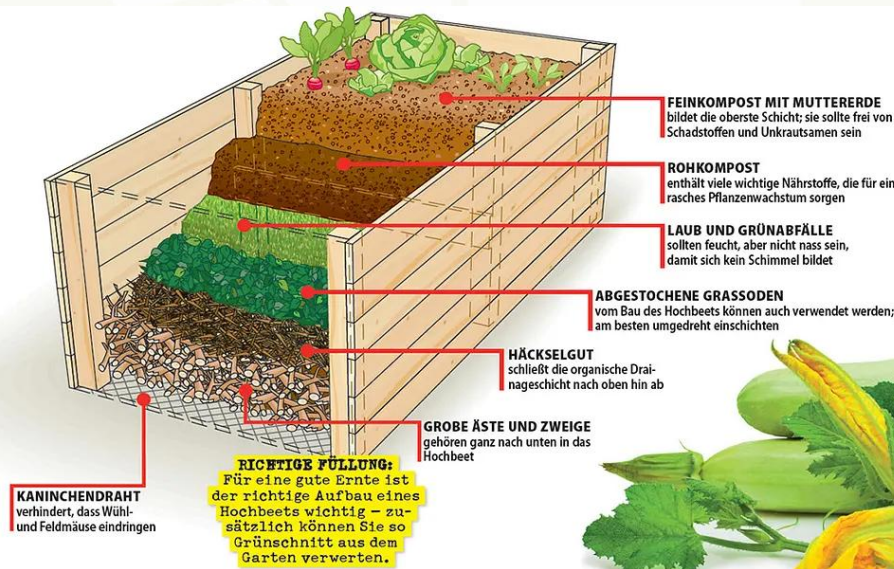
Vygotsky vertrat die Ansicht, dass Kinder durch Handeln und durch das Sprechen über ihre Erfahrungen lernen [...].

Montessori schlug vor, dass Kinder durch direkte Interaktion mit ihrer Umwelt Verantwortung übernehmen und lernen."

(Fine & Gee 2017, 7)

# Lernen im Schulgarten

## Von der Theorie zur Erfahrung

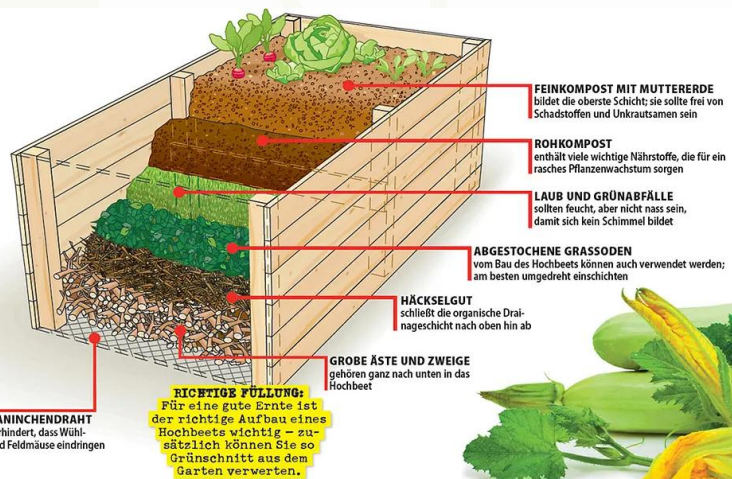


© sidm / JB

abgeleitet von <https://www.selbst.de/hochbeet-anlegen-581.html>

# Lernen im Schulgarten

## Von der Theorie zur Erfahrung

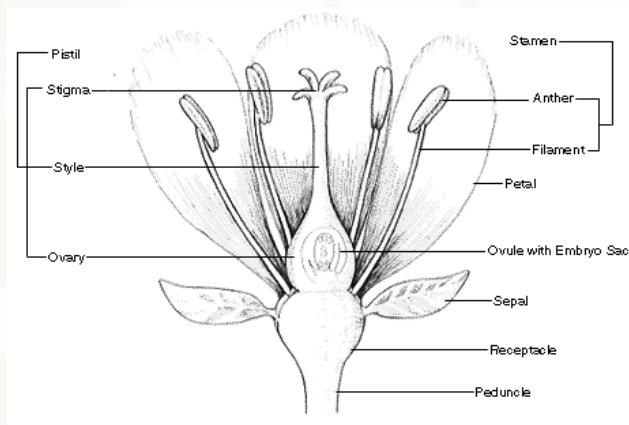


© sidm / JB  
abgeleitet von <https://www.selbst.de/hochbeet-anlegen-581.html>

© Elisabeth Carli

# Lernen im Schulgarten

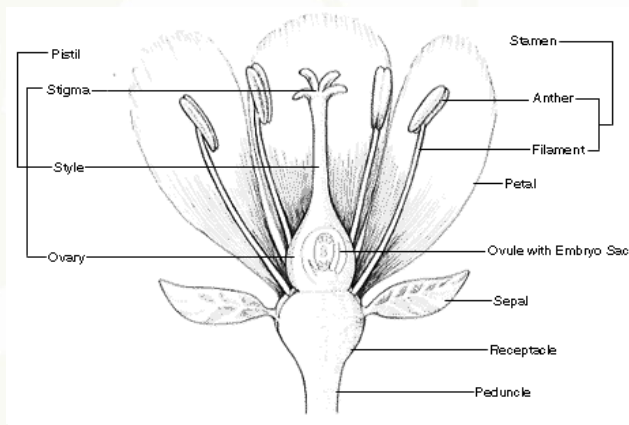
## Von der Theorie zur Erfahrung



Anjubaba, CC BY-SA 4.0, über Wikimedia Commons

# Lernen im Schulgarten

## Von der Theorie zur Erfahrung



Anjubaba, CC BY-SA 4.0, über Wikimedia Commons

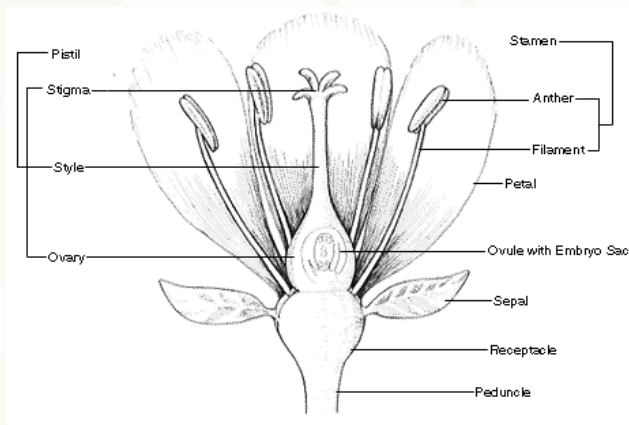


© Elisabeth Carli



# Lernen im Schulgarten

## Von der Theorie zur Erfahrung



Anjubaba, CC BY-SA 4.0, über Wikimedia Commons



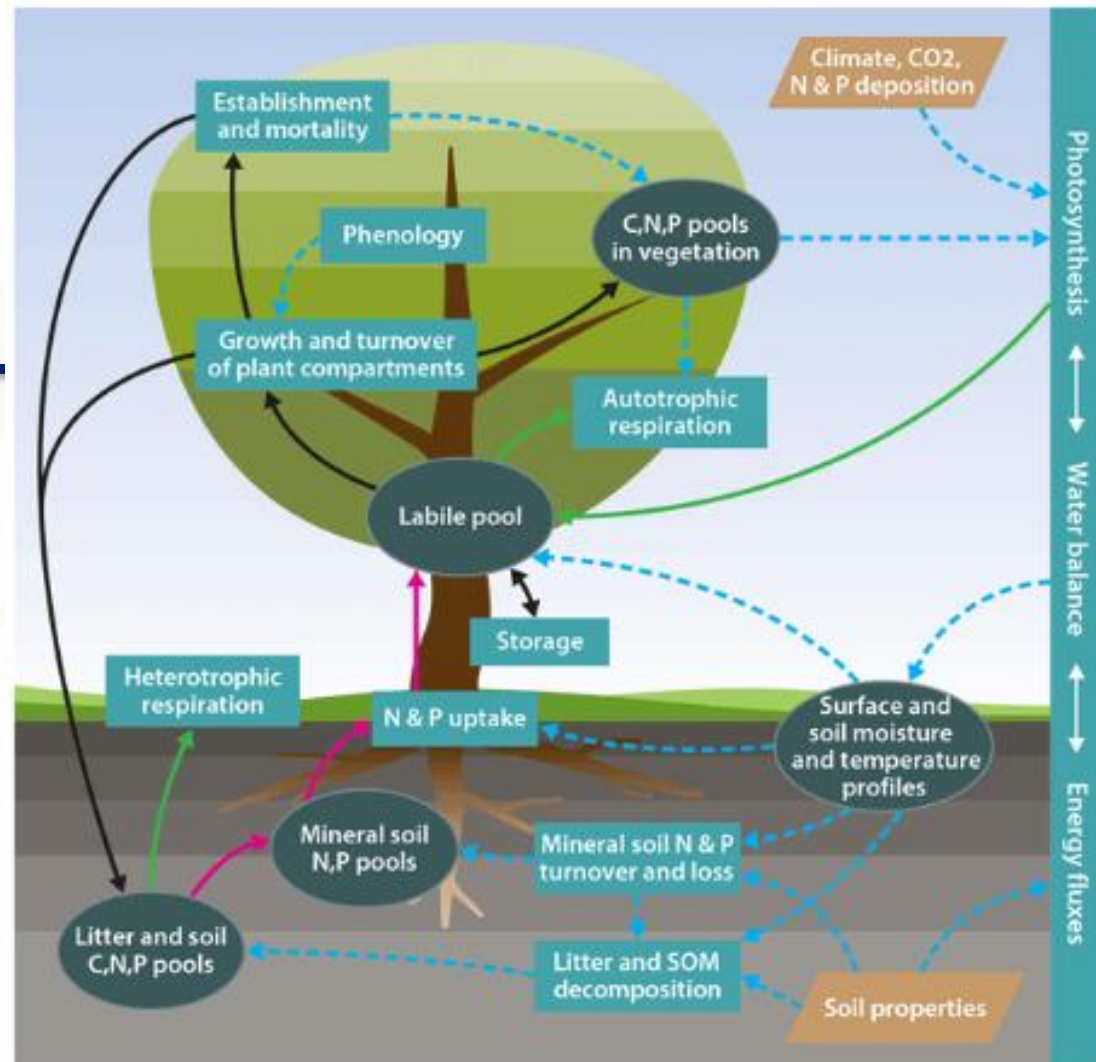
© Elisabeth Carli



© Elisabeth Carli

# Materialzyklen

## Übersicht



**Figure 1.** Schematic representation of the model structure. Ellipses: biogeochemical pools and other state variables; rectangles: biogeochemical processes; tetraethers: model input; solid green lines: carbon fluxes; solid dark red lines: nitrogen and phosphorus fluxes; solid black lines: carbon, nitrogen, and phosphorus fluxes; dotted blue lines: effects.

(© CC BY, Thum et al. 2019)

# Kohlenstoffkreislauf

In welcher Form kann Kohlenstoff im Schulgarten vorkommen?

- als gasförmiger Bestandteil der Luft
- als gasförmiger Bestandteil der Bodenluft
- aufgelöst in natürlichen Wasserquellen wie dem Bodenwasser
- gelöst in nicht-natürlichen Wasserquellen wie Gartenteichen
- als fester Bestandteil der lebenden organischen Substanz
- als fester Bestandteil der toten organischen Substanz
- als Teil der gelösten organischen Substanz (DOM) im Boden
- ...

# Vorurteile über Stoffkreisläufe

Verbreitete Vorurteile über den Stoffkreislauf  
wie sie oft in Schulbuchillustrationen gezeigt werden:

- **Vorannahme: Der Stoffkreislauf ist gleich dem Ökosystem**  
ein Stoff zirkuliert innerhalb eines Ökosystems, anstatt importiert, exportiert oder durch das Ökosystem geleitet zu werden.
- **Vorannahme: Der Kreislauf der Materie entspricht der Nahrungskette**

Die Umwandlung von Materie ist ein linearer Prozess, an dessen Ende die Materie "verschwindet", statt ein kreisförmiger Prozess, bei dem die Materie immer wieder umgewandelt wird.

(Kattmann 2016, S. 322 ff.)

# Vorurteile über Stoffkreisläufe

## Allgemeine Vorurteile über den Kohlenstoffkreislauf

- **Vorannahme: Die biochemischen Eigenschaften von Molekülen unterscheiden sich je nach ihrer Quelle**  
die Atmung setzt "natürliches"  $\text{CO}_2$  in die Atmosphäre frei, das durch die Photosynthese wieder entfernt wird, während die Verbrennung "künstliches"  $\text{CO}_2$  freisetzt, das nicht photosynthetisch gebunden werden kann und sich in der Atmosphäre anreichert
- **Vorannahme: atmosphärische  $\text{CO}_2$ -Konzentration = globale  $\text{CO}_2$ -Emissionen**  
Konstante  $\text{CO}_2$ -Emissionen führen zu einem konstanten  $\text{CO}_2$ -Spiegel in der Atmosphäre anstelle eines Gleichgewichts zwischen der Emission und der Bindung des Moleküls

(Niebert 2017, S. 92 f.)

# Vorurteile über Stoffkreisläufe

## Gängige Vorurteile über den Kohlenstoffkreislauf

- **Vorannahme: Erhaltung der Materie & Austausch von Atomen**  
 der Zustand der Materie ändert sich innerhalb des Kohlenstoffkreislaufs nicht  
 -> Atome wechseln von einer chemischen Verbindung zur anderen  
 -> *Gas-Gas-Kreislauf*: Gase bleiben Gase:  $O_2 \rightarrow CO_2$   
 -> *Feststoff-Feststoff-Kreislauf*: Feststoffe bleiben fest: Glucose: Autotrophe > Zersetzer > Autotrophe

(Düsing, Asshoff, Hammann 2021)

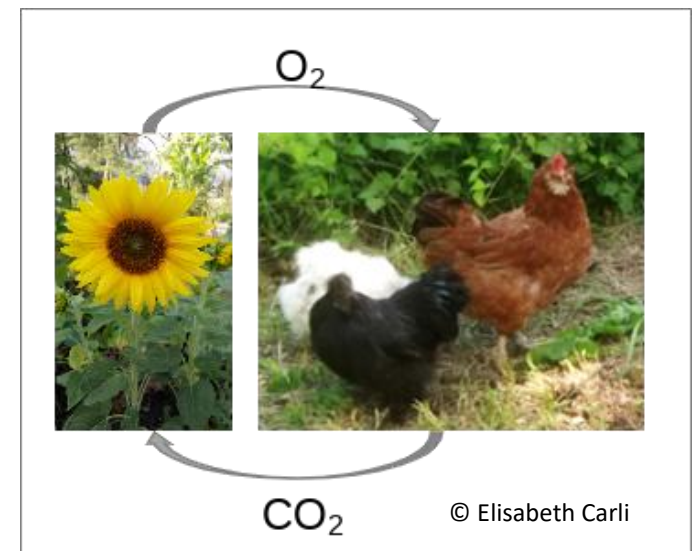


Abb. 2: *Gas-Gas-Kreislauf*

# Stoffkreisläufe

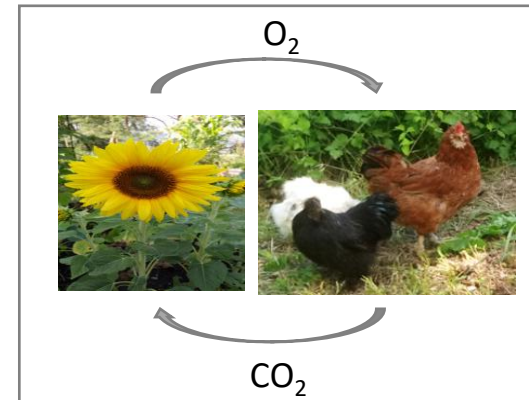
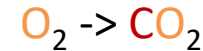
## Aktuelle Ansätze

Stoffkreisläufe werden häufig anhand abstrakter Zahlen unterrichtet, wobei die Schüler:innen die verschiedenen Phasen und Komponenten lernen sollen. Vielen Schüler:innen fehlt daher die Fähigkeit,...

... die Materie innerhalb eines Kreislaufs **zu verfolgen** und zwischen verschiedenen Organisationsebenen (Zelle <> Organismus) zu unterscheiden, ... ihr Wissen auf ihr eigenes Leben zu **beziehen** und

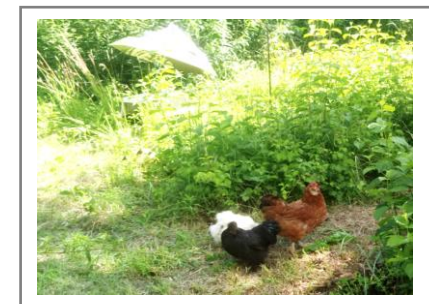
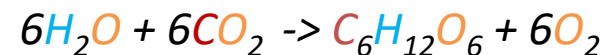
... die Bedeutung von Stoffkreisläufen für ihr eigenes Leben **zu beurteilen**.

## Atome tauschen



© Elisabeth Carli

## Verfolgung der Materie



© Elisabeth Carli

# Materialkreisläufe

Von abstrakten Darstellungen zur konkreten Erfahrung

Schulbuch: Schematische, reduzierte Darstellung

Herausforderung für Schüler:innen:  
Schematische Darstellungen verstehen und interpretieren und eine Verbindung zu realen Objekten herstellen

Schulgarten: reale Objekte

Hilfestellung für Schüler:innen:  
Verbindung zwischen schematischen Darstellungen oder Modellen und realen Objekten gemeinsam herstellen



© Elisabeth Carli

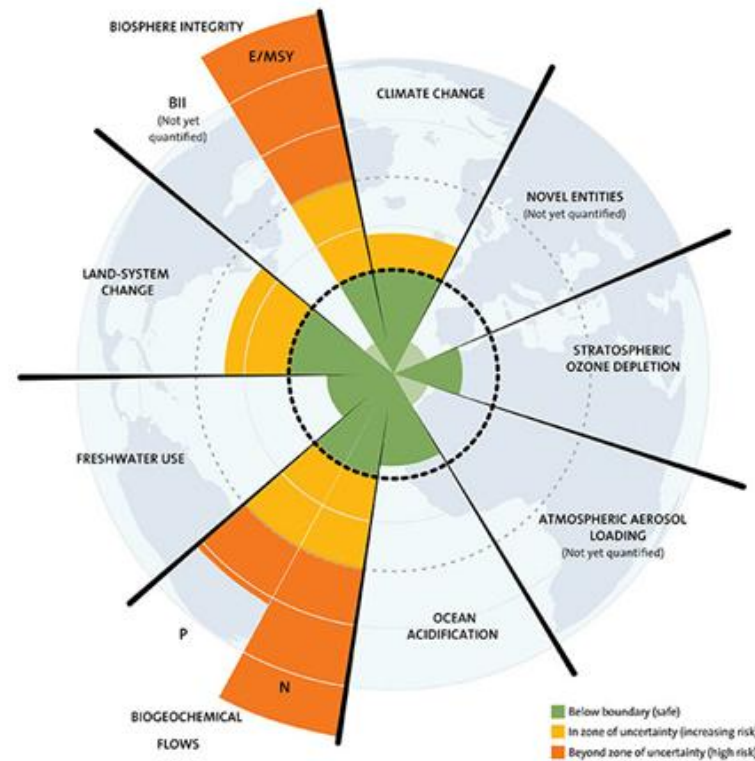
# Materialkreisläufe

Von abstrakten Darstellungen zur konkreten Erfahrung



© Elisabeth Carli

# Stoffkreisläufe <> Nachhaltige Entwicklung



Estimates of how the different control variables for seven planetary boundaries have changed from 1950 to present. The green shaded polygon represents the safe operating space.  
Source: Steffen et al. 2015

© Stockholmer Resilienz-Zentrum

abgeleitet von: <https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries/the-nine-planetary-boundaries.html>

# Bildung für nachhaltige Entwicklung

---

## WCED - Brundtland-Bericht (1990):

- "Nachhaltige Entwicklung ist eine Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne die Fähigkeit künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen (WCED 1990, S. 43)."

## ⇒ Nachhaltige Entwicklung (SD)

- stellt ein normatives Entwicklungsziel dar
- vereinigt den ökologischen mit dem entwicklungspolitischen Diskurs
- berücksichtigt wirtschaftliche und soziokulturelle Aspekte in Themen des Natur- und Umweltschutzes (und umgekehrt)

# Bildung für nachhaltige Entwicklung

## UN - Agenda 21 (1993):

- "**Bildung ist entscheidend für die Förderung einer nachhaltigen Entwicklung** und die Verbesserung der Fähigkeit der Menschen, Umwelt- und Entwicklungsfragen anzugehen" (UN 1993, S. 439).

## UN - Die 2030-Agenda für nachhaltige Entwicklung (2015):

Nachhaltiges Entwicklungsziel 4 (SDG 4), Zielvorgabe 4.7:

- "Bis 2030 sicherstellen, dass alle Lernenden die **Kenntnisse** und **Fähigkeiten** erwerben, die zur Förderung der nachhaltigen Entwicklung erforderlich sind, unter anderem **durch Bildung für nachhaltige Entwicklung** [...] (UN-Generalversammlung 2015, S. 17)"

# Bildung für nachhaltige Entwicklung

## ⇒ Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE)

- hat sich in den 1990er Jahren aus dem Konzept der Umweltbildung (EE) entwickelt
- zielt auf die Bewältigung der großen globalen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts

daher:

- ersetzt die vorwiegend regionale und ökologische Perspektive der BNE auf Umweltprobleme durch eine **globalere und ganzheitlichere Sichtweise**
- vermittelt den Lernenden eher **heuristisches** als epistemisches Wissen
- bietet **potenzielle** anstelle von retrospektiven Strategien zur Problemlösung
- hängt von **realen Unterrichtssituationen** ab

# Bildung für nachhaltige Entwicklung

## UNESCO - Roadmap for Implementing the GAP on ESD (2014):

- " BNE ermöglicht es jedem Menschen, sich das **Wissen, die Fähigkeiten, die Werte und die Einstellungen** anzueignen, die ihn dazu befähigen, zu einer nachhaltigen Entwicklung **beizutragen** und **informierte Entscheidungen zu treffen** und **verantwortungsbewusst zu handeln**, um die Integrität der Umwelt, die wirtschaftliche Lebensfähigkeit und eine gerechte Gesellschaft für heutige und zukünftige Generationen zu gewährleisten. (UNESCO 2014, S. 33)"

# Bildung für nachhaltige Entwicklung

⇒ Kompetenzen, die durch BNE vermittelt werden (Haan 2008, S. 32)

1. Wissen mit **Offenheit** aufzubauen und **neue Perspektiven einzubeziehen**
2. **vorausschauend zu** denken und handeln
3. Wissen zu erwerben und **interdisziplinär** zu handeln
4. **gemeinsam** mit anderen **planen und handeln zu** können
5. **sich an** Entscheidungsprozessen **beteiligen zu** können
6. **andere** zum Handeln **motivieren** können
7. Eigene und fremde Normen und Werte reflektieren können
8. **selbstständig** planen und handeln können
9. **Empathie** und **Solidarität** für Benachteiligte zeigen können
10. **sich selbst motivieren** können, aktiv zu werden

kognitiv

sozial

affektiv

# Bildung für nachhaltige Entwicklung

## UNESCO - Roadmap for Implementing the GAP on ESD (2014):

- "BNE fördert Fähigkeiten wie **kritisches Denken**, das Verstehen komplexer Systeme, das Vorstellen von Zukunftsszenarien und das Treffen von Entscheidungen auf eine partizipative und kollaborative Weise." (UNESCO 2014, S. 33)

### ⇒ Kritisches Denken (Vieira & Tenreiro-Vieira 2014, S.659, 667)

- ist eine "**Schlüsselkomponente[n]** der naturwissenschaftlichen **Bildung**, die darauf abzielt, **Schüler:innen darauf vorzubereiten, als verantwortungsbewusste Bürger:innen in einer Welt zu denken und zu handeln, die zunehmend von Wissenschaft und Technologie (W&T) beeinflusst wird**".
- hat konzeptionell eine "**große Interdependenz und Überschneidung**" mit der **wissenschaftlichen Kompetenz** (eng.: Scientific Literacy).

# Lesen & Schreiben Wissenschaft

## *PILLARS OF COMPREHENSION (Fang 2008)*

### "Verständnis der Sprache"

- fachspezifische Begriffe (vgl. Wortliste)
- nonverbale Repräsentationen (vgl. Abbildung "Kohlenstoff-Assimilationsrate")
- fachspezifische Syntax
- fachspezifische Textsorten und Diskurstypen (z.B. Beschreibungen, Erklärungen, ...)

### "Besitz von relevanten Erfahrungen und Hintergrundwissen"

- wichtige Bereiche, in denen Kohlenstoff vorkommt  
(z. B. Atmosphäre, Hydrosphäre, Lithosphäre, Biosphäre)
- Umwandlungsprozesse von Kohlenstoffverbindungen  
(z. B. Photosynthese, Zellatmung, Verrottung organischer Stoffe, Verbrennung von Holz/Brennstoff, Lösung in Wasser)

### "Beherrschen eines Repertoires von Selbstregulationsstrategien"

- > das eigene Lesen kontrollieren (z.B. Textverständnis)
- > Informationen im Text mit Erfahrungen und Hintergrundwissen in Beziehung setzen
- > die Relevanz verschiedener Informationen beurteilen
- > verschiedene Informationen miteinander verknüpfen

# Lesen & Schreiben Wissenschaft

## *Scientific Literacy (Norris, Phillips 2003)*

### Grundlegende Bedeutung von Scientific Literacy

- "Lesen und Schreiben, wenn der Inhalt wissenschaftlich ist"
- Das Lesen und Schreiben wissenschaftlicher Texte ermöglicht es den Schüler:innen,...  
... Wissen durch das Lesen wissenschaftlicher Quellen zu erlangen  
... über wissenschaftliche Forschung und Erkenntnisse auf dem Laufenden zu bleiben  
-> Mitglieder der wissenschaftlichen Diskursgemeinschaft zu werden

### Abgeleitete Bedeutung von Scientific Literacy

- "in den Wissenschaften bewandert, gelehrt und gebildet zu sein"
- Das Lesen und Schreiben wissenschaftlicher Texte befähigt die Schüler:innen,...  
... spezifische Aspekte der Natur der Wissenschaft / der wissenschaftlichen Praktiken zu erkennen  
... sich an der Diskussion gesellschaftswissenschaftlicher Fragen zu beteiligen  
-> informierte Bürger zu werden

# BNE-Grundfertigkeiten <> Scientific Literacy

---

## ⇒ Scientific Literacy

- hat keine einheitliche Definition
- ist nach dem PISA-Rahmen eine Voraussetzung, um unsere Welt zu verstehen und ihre Zukunft aktiv mitzugestalten

(Vieira & Tenreiro-Vieira 2014, S. 664)

# BNE-Grundkompetenzen <> Scientific Literacy

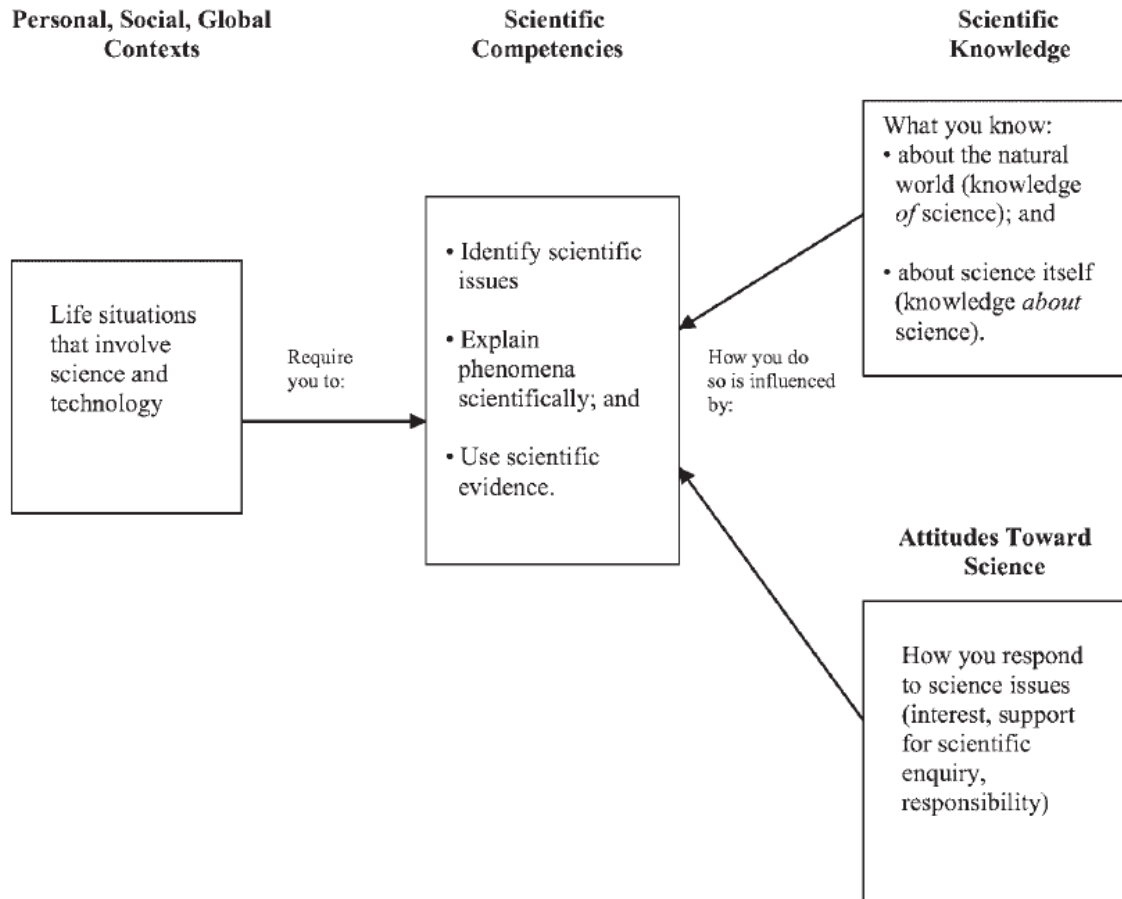


Figure 1. Framework for PISA 2006 science assessment.

(Bybee et al. 2009, S. 867)

# BNE-Grundkompetenzen <> Scientific Literacy

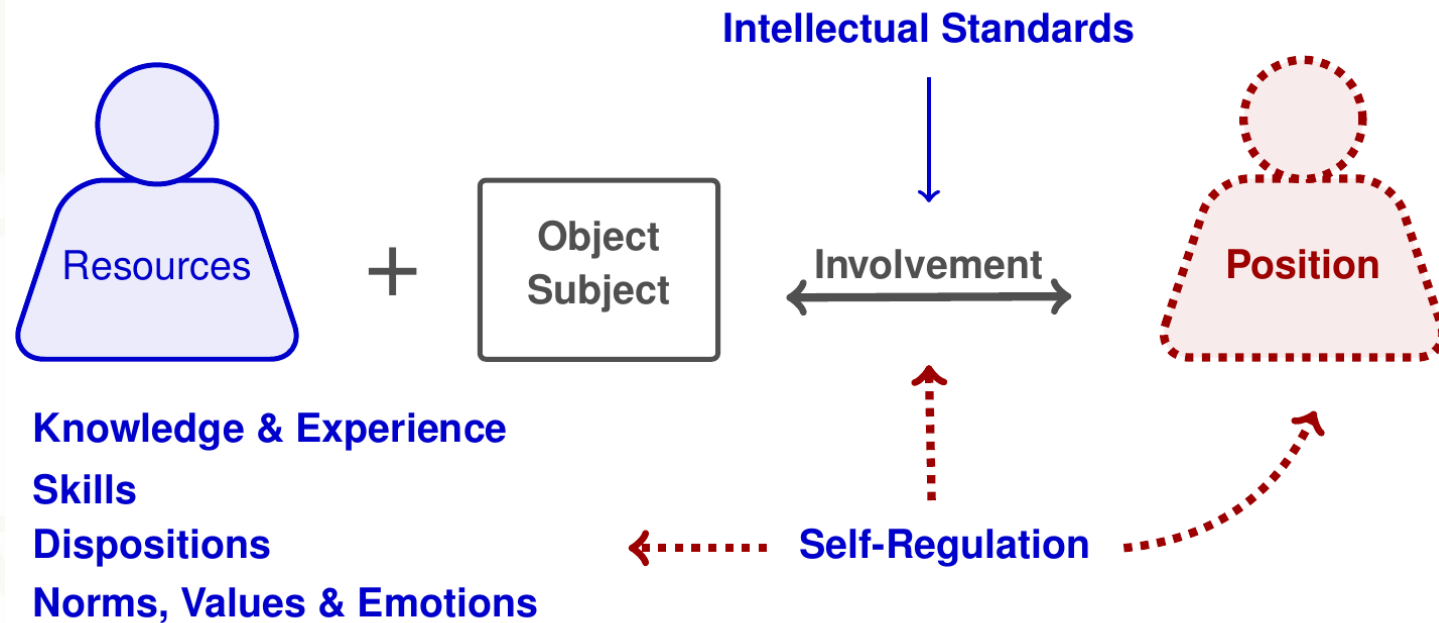
⇒ Kompetenzen, die durch BNE vermittelt werden (Haan 2008, S. 32)

1. Wissen mit Offenheit aufbauen und neue Perspektiven einbeziehen
2. vorausschauend denken und handeln
3. interdisziplinär Wissen erwerben und handeln

*UNESCO - Roadmap for Implementing the GAP on ESD (2014):*

- "BNE fördert Fähigkeiten wie kritisches Denken, das **Verstehen komplexer Systeme**, das Vorstellen von Zukunftsszenarien und das Treffen von Entscheidungen auf eine partizipative und kollaborative Weise. (UNESCO 2014, S. 33)"

# ESD Grundfertigkeiten <> Kritisches Denken



(Rafolt 2021, S. 80)

# ESD Grundfertigkeiten: Kritisches Denken

entsteht, wenn

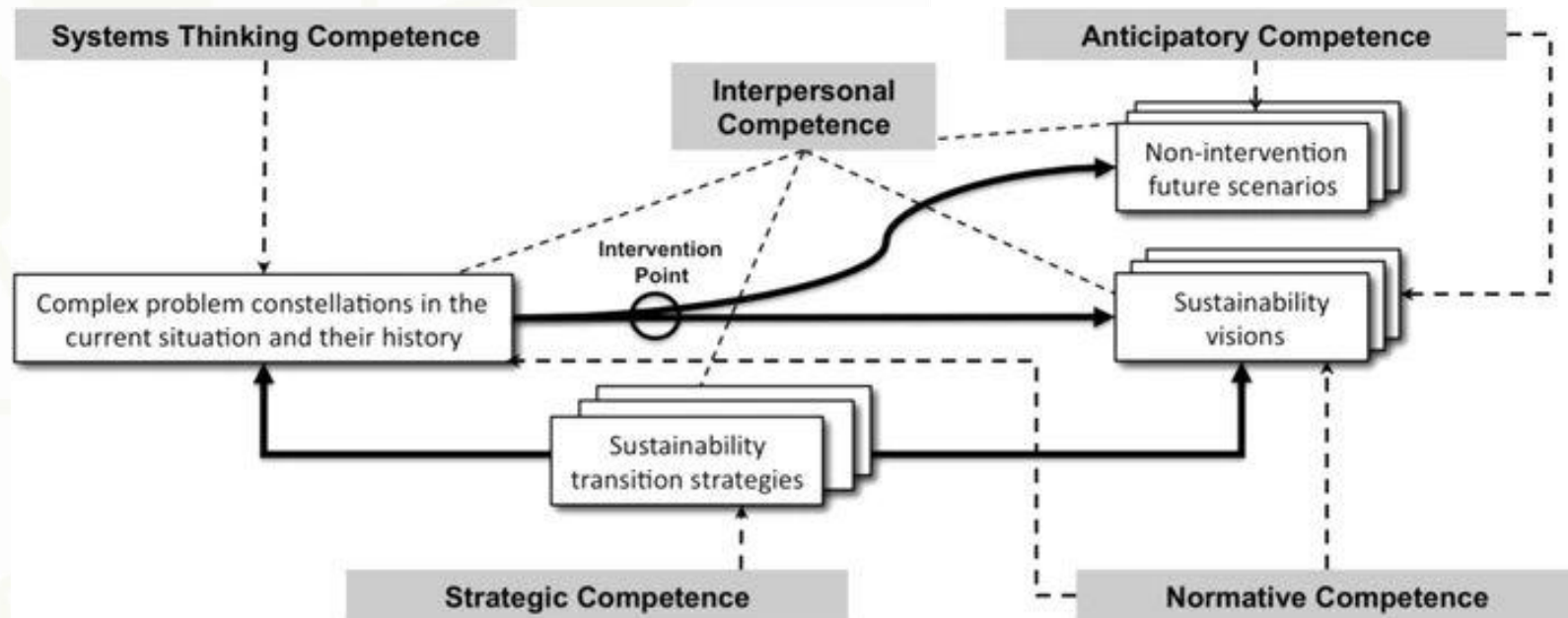
- **Wissen,**
- **Fähigkeiten,**
- **Dispositionen** (oder Haltungen) und
- **Normen, Werte und Emotionen**

im Umgang mit einem **Subjekt/Objekt** zusammenspielen, um **einen Standpunkt einzunehmen**, eine Entscheidung zu treffen und/oder zu handeln, und dieser Prozess gesteuert wird durch

- **intellektuelle Standards** (wie Korrektheit, Logik, Unabhängigkeit oder Relevanz) und
- **Selbstregulierung** (Perspektivenübernahme, Empathie, Selbstreflexion, Erkenntnis und Anpassung).

(Rafolt & Kapelari, 2022)

# ESD Grundlegende Fertigkeiten: Systemorientiertes Denken



(Wiek et al. 2001, S. 206)

# ESD Grundlegende Fertigkeiten: Systemorientiertes Denken

## ⇒ Systemdenkende Kompetenz

"ist die Fähigkeit, [...] komplexe Systeme zu analysieren"

- "über verschiedene Bereiche hinweg (Gesellschaft, Umwelt, Wirtschaft usw.)"
- "über verschiedene Skalen hinweg (lokal bis global)"
- im Hinblick auf Systemeigenschaften wie Rückkopplungsschleifen, Pufferbestände usw.

(Wiek et al. 2001, S. 207)

# BNE Allgemeine Ziele

---

BNE zielt darauf ab, die eigenen Fähigkeiten zu stärken:

⇒ Selbstwirksamkeit (im Sinne von NE)

die "wahrgenommene Fähigkeit, ein Zielverhalten auszuführen."

(Akça 2019, S. 3)

die konstitutiv ist für:

⇒ Agency (im Sinne von NE)

die Fähigkeit, "das eigene Funktionieren und die eigenen Lebensumstände absichtlich zu beeinflussen"

(Bandura 2006, S. 164)

# Allgemeine BNE-Ziele: Selbstwirksamkeit



FridaysForFuture Deutschland, CC BY 2.0

<<https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>>, über Wikimedia Commons

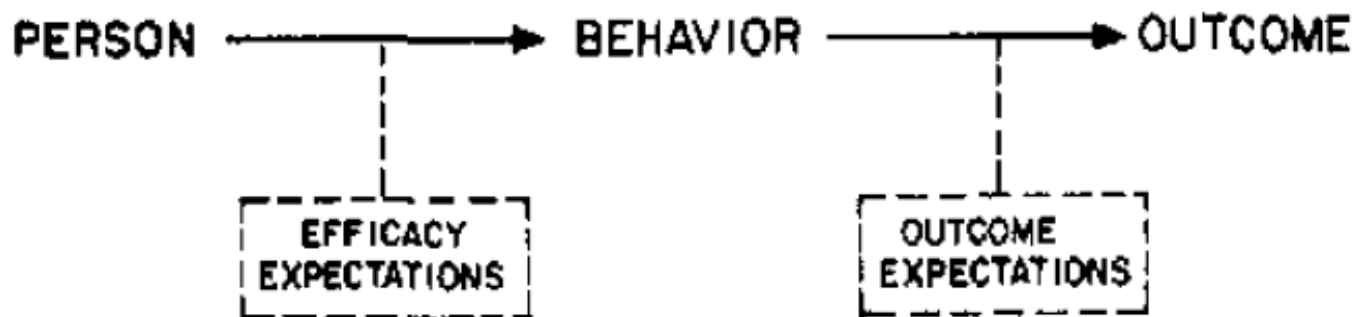


Gugerell, CC0, über Wikimedia Commons

# Allgemeine BNE-Ziele: Selbstwirksamkeit

⇒ Selbstwirksamkeit (Akça 2019, S. 11)

- Einschätzung der eigenen Fähigkeiten
- Einschätzung der Rahmenbedingungen, die als gegeben angesehen werden.



*Figure 1.* Diagrammatic representation of the difference between efficacy expectations and outcome expectations.

(Bandura 1977, S. 193)

# Materialkreisläufe unterrichten



© Elisabeth Carli

# Zitierte Literatur

- Akça, Figen (2019): Sustainable Development in Teacher Education in Terms of Being Solution Oriented and Self-Efficacy. In: Sustainability 11 (23), S. 1–16. DOI: 10.3390/su11236878.
- Bandura, Albert (1977): Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change. In: Psychological Review 84 (2), p. 191–215.
- Bandura, Albert (2006): Toward a Psychology of Human Agency. In: Perspectives on psycho-logical science 1 (2), p. 164–180.
- Bybee, Rodger; McCrae, Barry; Laurie, Robert (2009): PISA 2006. An assessment of scientific literacy. In: Journal of Research in Science Teaching 46 (8), pp. 865–883. DOI: 10.1002/tea.20333.
- Düsing, Asshoff, Hammann (2021): Von Stoffen verfolgen zu einem kohärenten Verständnis der biochemischen Umwandlungen kohlenstoffhaltiger Verbindungen im Kohlenstoffkreislauf. In: Suzanne Kapelari, Andrea Möller & Philipp Schmiemann (Hrsg.): Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik. Band 9. Innsbruck: StudienVerlag, S. 111–125.
- Fang, Zhihui (2008) Going beyond the Fab Five: Helping students cope with the unique linguistic challenges of expository reading in intermediate grades. In: International Reading Association. pp. 476–487.
- Fine, Aubrey H.; Gee, Nancy R. (2017): How Animals Help children Learn: Introducing a Roadmap for Action. In Nancy Gee, Aubrey Fina & Peggy McCardle (Ed.): How Animals Help Students Learn. New York: Routledge, pp. 3–11.
- Haan, Gerhard de (2008): Gestaltungskompetenz als Kompetenzkonzept der Bildung für nachhaltige Entwicklung. In: Inka Bormann & Gerhard de Haan (Hrsg.): Kompetenzen der Bildung für nachhaltige Entwicklung. Operationalisierung, Messung, Rahmenbedingungen, Befunde. 1. Auflage. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 23–43.
- Kattmann, Ulrich (2016): Schüler besser verstehen. Alltagsvorstellungen im Biologieunterricht. Hallbergmoos: Aulis Verlag.
- Niebert, Kai (2017): Den Klimawandel bremsen lernen. In Ulrich Kattmann (Hrsg.): Biologie unterrichten mit Alltagsvorstellungen. Didaktische Rekonstruktion in Unterrichtseinheiten. 1. Auflage. Seelze: Klett/Kallmeyer, S. 92–104

# Zitierte Literatur

- Norris, S.; Phillips, L. (2003) How Literacy in Its Fundamental Sense Is Central to Scientific Literacy. In: Wiley Periodicals, Inc. pp. 225-240.
- Rafolt, S.; Kapelari, S. (2022): Critical Thinking in Teacher Education Matters to Face Ecological Crises. Proceedings Paper.
- Rafolt, S. (2021): The Synergy Model of Critical Thinking. A Teacher-Centred Action Research Case Study of Challenges and Strategies. Strategies (PhD Thesis). Department of Subject-Specific Education, University of Innsbruck.
- Thum, Tea; Caldararu, Silvia; Engel, Jan; Kern, Melanie; Pallandt, Marleen; Schnur, Reiner et al. (2019): A new model of the coupled carbon, nitrogen, and phosphorus cycles in the terrestrial biosphere (QUINCY v1.0; revision 1996). In Geosci. Model Dev. 12 (11), pp. 4781–4802. DOI: 10.5194/gmd-12-4781-2019.
- UN (1993): Report of the United Nations Conference on Environment and Development. Rio de Janeiro, 3 - 14 June 1992. Volume I: Resolutions Adopted by the Conference. New York: United Nations publications, 1993 (A CONF.151 26 Rev.1).
- UN General Assembly (2015): Resolution Adopted by the General Assembly on 25 September 2015 [without reference to a Main Committee (A/70/L.1)]. A/RES/70/1, p. 1–35.
- UNESCO (Ed.) (2014): UNESCO Roadmap for Implementing the Global Action Programme on Education for Sustainable Development. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Paris.
- Vieira, Rui Marques; Tenreiro-Vieira, Celina (2016): Fostering Scientific Literacy and Critical Thinking in Elementary Science Education. In: International Journal of Science and Mathematics Education 14 (4), p. 659–680. DOI: 10.1007/s10763-014-9605-2.
- WCED (1990): Our common future. The world commission on environment and development. 12. Oxford, New York: Oxford University Press (Oxford paperbacks).
- Wiek, Arnim; Withycombe, Lauren; Redman, Charles L. (2011): Key competencies in sustainability: a reference framework for academic program development. In: Sustainability Science 6 (2), p. 203–218. DOI: 10.1007/s11625-011-0132-6.