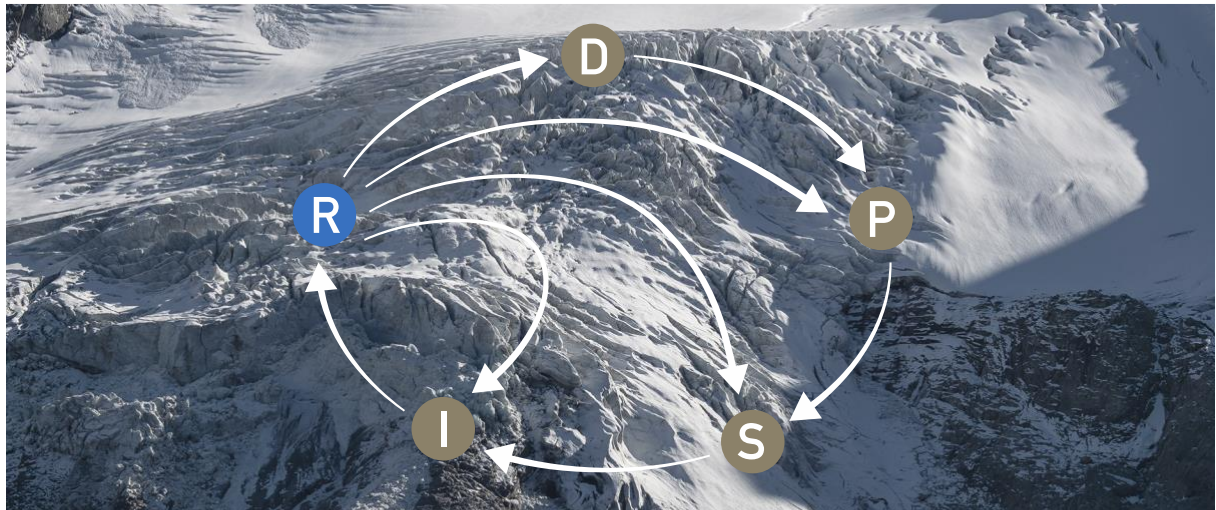


Systemdenken in Natur & Technik Sek I



Das Skript ist entstanden im Rahmen des Projektes «Mit Systemdenken MINT und Mensch verbinden» des [Nationalen Netzwerks MINT Bildung Schweiz](#).

Das Skript ist eine Zusammenstellung von Texten und Abbildungen aus verschiedenen online-Ressourcen und der folgenden vier Bücher bzw. Skripte zum Systemdenken (*engl. system thinking*) und der Systemanalyse:

- Bollmann-Zuberbühler, B., Frischknecht-Tobler, U., Kunz, P., Nagel, U.; Wilhem Hamiti, S. (2010). Systemdenken fördern. Systemtraining und Unterrichtsreihen zum vernetzten Denken. 1.-9. Schuljahr, Schulverlag plus AG, Bern.
- Meadows, D. (2008). Thinking in Systems: A Primer, Chelsea Green Publishing. ISBN 978-1-60358-055-7.
- Imboden, D., Koch, S. (2003). Systemanalyse - Einführung in die mathematische Modellierung natürlicher Systeme. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Kunz, P. (nicht veröffentlicht). Systemdenken. Skript Bereichsdidaktik Natur und Technik. Pädagogische Hochschule St. Gallen.

Bemerkungen zum Aufbau und zur Ausführlichkeit des Skripts: Im Skript sind Definitionen und illustrierende Beispiele in Kästen dargestellt. Der Text wurde in viele kurze Unterkapitel aufgeteilt und mit Links zu weiterführenden Informationen und Kapiteln versehen. Das Skript soll zum Nachschlagen wichtiger Begriffe, zum Recherchieren oder sich Vertiefen auf anderen Plattformen anregen.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
1. Einleitung mit Begriffsklärungen	2
1.1. Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE)	2
1.2. Systemdenken oder vernetzendes Denken in einer BNE	3
2. Systeme und Systemdenken in <i>Natur und Technik</i>	5
2.1. Systeme, Systemgrenzen & Modelle.....	5
2.2. Wichtige Konzepte für Systemdenken auf Sekundarstufe I	8
2.3. Haltungen von Systemdenkenden (aus Bollmann et al. 2010)	9
2.4. Weshalb Systemdenken im NT-Unterricht fördern (aus Bollmann et al. 2010)	10
2.5. Mensch-Umwelt-Technik-Systeme im NT-Unterricht	11
3. Vier Lernschritte des Systemdenkens im NT-Unterricht.....	13
3.1. Das System und ich	13
3.2. Problem erkennen und beschreiben.....	14
3.3. Ursachen des Problems und Auswirkungen auf Mensch und Umwelt verstehen.....	15
3.4. Massnahmen beschreiben und Visionen entwickeln.....	18
3.5. Beurteilung des Systemdenkens (aus Bollmann et al. 2010).....	21
4. Drei Systeme für den NT-Unterricht.....	23
4.1. Mikroverunreinigungen im Gewässer	23
4.2. Energie im Gebäude	25
4.3. Plastikmüll	27
Literatur	29
Anhang.....	30
A) Mind-Map.....	30
B) Vernetzungskreis.....	31
C) Concept-Map	32
D) Wirkungsdiagramm	33
E) Umweltbelastungen mit dem DPSIR-Modell analysieren	34
F) Wertetabellen & Verlaufsgrafiken	36
G) Flussdiagramme oder Stock-and-Flow Modelle (Energiefluss, Stofffluss etc.).....	37
H) Ökobilanzen (Lebenszyklusanalysen, LCA etc.).....	38

Inhalte und Ziele des Skripts:

Das Skript verfolgt in den vier Kapiteln und mit dem Anhang mehrere Ziele:

- Kapitel 1 klärt die grundlegenden Begriffe und verortet das Systemdenken als einen wichtigen Kompetenzbereich von *Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE)*.
- Kapitel 2 führt allgemein in das Systemdenken, wichtige Konzepte und Haltungen ein, um zum Schluss den Begriff «Mensch-Umwelt-Technik-System» zu klären.
- Kapitel 3 zeigt anhand von vier Lernschritten, wie Mensch-Umwelt-Technik-Systeme im NT-Unterricht auf Sekundarstufe I vermittelt werden können.
- Kapitel 4 zeigt an drei Beispielen, wie Systemdenken auf Sekundarstufe I gefördert werden
- Im Anhang sind nützliche Darstellungsformen und Modelle vorgestellt, mit denen das Systemdenken von Mensch-Umwelt-Technik-Systemen gefördert werden kann.

Abkürzungen, die im Skript verwendet werden, um den Lesefluss zu fördern:

NT = Fachbereich *Natur und Technik* der Sekundarstufe I

NT-Lehrperson = Lehrperson des Fachbereichs *Natur und Technik*

BNE = Bildung für Nachhaltige Entwicklung

SuS = Schülerinnen und Schüler

1. Einleitung mit Begriffsklärungen

1.1. Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE)

Die Begriffe «Nachhaltigkeit» und «nachhaltige Entwicklung» sind in aller Munde. Vieles wird als «nachhaltig» bzw. «nicht nachhaltig» eingestuft. Was bedeutet das überhaupt? Und was haben Sie als angehende oder amtierende NT-Lehrperson damit zu tun?

Definition Nachhaltige Entwicklung

Die Definition einer Nachhaltigen Entwicklung, auf die sich bis heute viele Fachleute beziehen, ist die des Brundtland Berichts (1987):

«Nachhaltig ist eine Entwicklung, wenn sie gewährleistet, dass die Bedürfnisse der heutigen Generationen befriedigt werden, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zur Befriedigung ihrer eigenen Bedürfnisse zu beeinträchtigen.»

UNO Sustainable Development Goals

In den letzten Jahren wurde die Nachhaltigkeitsarbeit der UNO konkretisiert. Vertreter von sechzig Ländern konnten sich in einem mehrjährigen Prozess auf 17 globale Ziele (und 169 Unterziele) für eine Nachhaltige Entwicklung einigen. 2019 ist auch erstmals ein UNO-Bericht zum globalen Stand der Nachhaltigen Entwicklung vorgelegt worden: <https://sustainabledevelopment.un.org>

Nachhaltige Entwicklung als Staatszweck

In der schweizerischen Bundesverfassung ist die Nachhaltige Entwicklung auch verankert:

Art. 2 Zweck, Abs.2: *«Die schweizerische Eidgenossenschaft fördert die gemeinsame Wohlfahrt, die nachhaltige Entwicklung, den inneren Zusammenhalt und die kulturelle Vielfalt des Landes.»*

Art. 73: *«Bund und Kantone streben ein auf die Dauer ausgewogenes Verhältnis zwischen der Natur und ihrer Erneuerungsfähigkeit einerseits und ihrer Beanspruchung durch den Menschen andererseits an.»*

Aufgabe der Schule – Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE)

Der Schule kommt im Zusammenhang mit einer Nachhaltigen Entwicklung eine wichtige Rolle zu. Damit eine Nachhaltige Entwicklung umgesetzt werden kann, bedarf es Bürgerinnen und Bürger, die wissen, worum es geht und die selber aktiv Beiträge zu einer solchen gesellschaftlichen Entwicklung leisten können. Dazu müssen sie entsprechend ausgebildet werden.

Manche Expert*innen versprechen sich deshalb von der BNE wichtige Impulse für eine Nachhaltige Entwicklung. Dieses Konzept wird von verschiedenen Expert*innen unterschiedlich definiert.

«Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE) soll Menschen zu zukunftsfähigem Denken und Handeln befähigen. [...] Bildung für Nachhaltige Entwicklung ermöglicht es jedem Einzelnen, die Auswirkungen des eigenen Handelns auf die Welt zu verstehen und verantwortungsvolle Entscheidungen zu treffen.»

www.bne-portal.de

«Kinder und Jugendliche können eigenständig und zusammen mit anderen wirksame Beiträge zu einer nachhaltigen Entwicklung leisten.» Stiftung Zukunftsrat (2018)

Lehrplan 21

Im Lehrplan 21 ist die [BNE als Leitidee](#) der gesamten Volksschule verankert. Alle Lehrpersonen der Volksschule sind dieser Leitidee verpflichtet. Sie sollen die Idee einer Nachhaltigen Entwicklung in ihrem Unterricht (unabhängig vom Fach) einbeziehen.

éducation21 – Lernmedien, Themendossiers & schulnetz21

Die Stiftung [éducation21](#) setzt sich schweizweit für eine BNE ein und bietet auf ihrem Internetportal sehr viele Hilfestellungen für Lehrpersonen verschiedener Fächer. Neben dem Katalog mit [Lernmedien für verschiedene Fächer](#) und [Themendossiers](#), stellt éducation21 Praxisbeispiele vor oder lädt Ihre Schule ein, sich bei www.schulnetz21.ch anzumelden, um BNE an ihrer Schule langfristig zu fördern.

éducation21 bietet auch theoretische Grundlagen zur BNE:

- Unter anderem gibt es ein [Kompetenzmodell](#), das helfen kann, den eigenen Unterricht zu analysieren. In welchen Bereichen mache ich seit jeher mit meiner Klasse BNE, in welchen Bereichen könnte ich etwas Neues ausprobieren?
- education21 nennt zudem [sieben pädagogische Prinzipien](#), die in einer BNE wichtig sind. Eines dieser Prinzip ist *Vernetzendes Denken*, das eng mit dem *Systemdenken* verknüpft ist.

1.2. Systemdenken oder vernetzendes Denken in einer BNE

Vernetzendes Denken als Prinzip einer BNE

«Weil die Herausforderungen für eine Wende hin zu einer Nachhaltigen Entwicklung vielfältig und vernetzt sind und offensichtlich nicht nach unseren Schulfächern geordnet, ist das Vernetzen einzelner Erkenntnisse aus verschiedenen Fächern und der Einsatz verschiedener Methoden für das Erfassen und Verstehen der Herausforderungen einer Nachhaltigen Entwicklung wichtig.» (Stiftung Zukunftsrat, 2018)

Weder im Leitbild BNE des Lehrplan 21 noch in den theoretischen Grundlagen von education21 wird der Begriff *Systemdenken* verwendet. Es ist die Rede von *vernetztem Denken* und dieses umfasst folgende Aspekte:

- «Themen/Probleme/Fragestellungen werden mit dem Blick aufs Ganze interdisziplinär angegangen. Dabei werden die verschiedenen Perspektiven und Interessen der Akteure identifiziert. Die Zusammenhänge und Wirkungen zwischen ökologischen, wirtschaftlichen, sozialen, gesundheitlichen und kulturellen Interessen werden angeschaut. Lokale Gegebenheiten werden in ihrer Verbindung zu Globalem gesehen und Vergangenes, Gegenwart und Zukunft miteinander verwoben.»
(www.education21.ch)
- Gemäss [Lehrplan 21](#) erfolgt *vernetztes Denken*, wenn derselbe Gegenstand aus mehreren fachlichen Perspektiven betrachtet wird und die dabei gewonnenen Einsichten, sowohl methodischer als auch inhaltlicher Art, miteinander verknüpft, zusammengebracht und verglichen werden. In der Beschreibung wird zudem von drei nachhaltigkeitspezifischen Verknüpfungen gesprochen:
 - einer **thematischen**: wenn politische, ökonomische, ökologische, soziale und kulturelle Dimensionen vernetzt werden;
 - einer **zeitlichen**, wenn Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft vernetzt werden;
 - einer **räumlichen**, wenn lokale und globale Gegebenheiten vernetzt werden.

Das Prinzip des vernetzenden Denkens enthält sehr viele Aspekte, welche dem Systemdenken (*system thinking*) zugrunde liegen oder umgekehrt. Die beiden Begriffe sind nicht gleichzusetzen. Wir verstehen die Verbindung folgendermassen: Mit dem in verschiedenen Disziplinen etablierten Ansatz des Systemdenkens kann das vernetzende oder vernetzte Denken gefördert werden.

Systemdenken (Bollmann et al., 2010, S. 113)

«Systemdenken hat sich in den letzten Jahrzehnten in verschiedensten Wissenschaftszweigen etabliert (siehe Abbildung rechts). Auch wenn einzelne Disziplinen andere Schwerpunkte setzen, so finden sich gemeinsame zentrale Konzepte wie z.B. Systemgrenzen, Wirkungsketten, Rückkoppelungen, gemeinsame Werk-zeuge (Darstellungsformen) und Haltungen wie z.B. die Bereitschaft zum Perspektivenwechsel wieder. Dieses gemeinsame Verständnis von Systemdenken erleichtert eine interdisziplinäre Zusammenarbeit wie sie gerade in dem multidisziplinären Spannungsfeld, in dem BNE stattfindet, erforderlich ist. Systemdenken fokussiert nicht auf Einzelteile bzw. Einzelereignisse, sondern auf Beziehungen und Wechselwirkungen, auf Dynamik und Verzögerungen von beabsichtigten und unbeabsichtigten Wirkungen, und eröffnet den Blick aufs Ganze.»

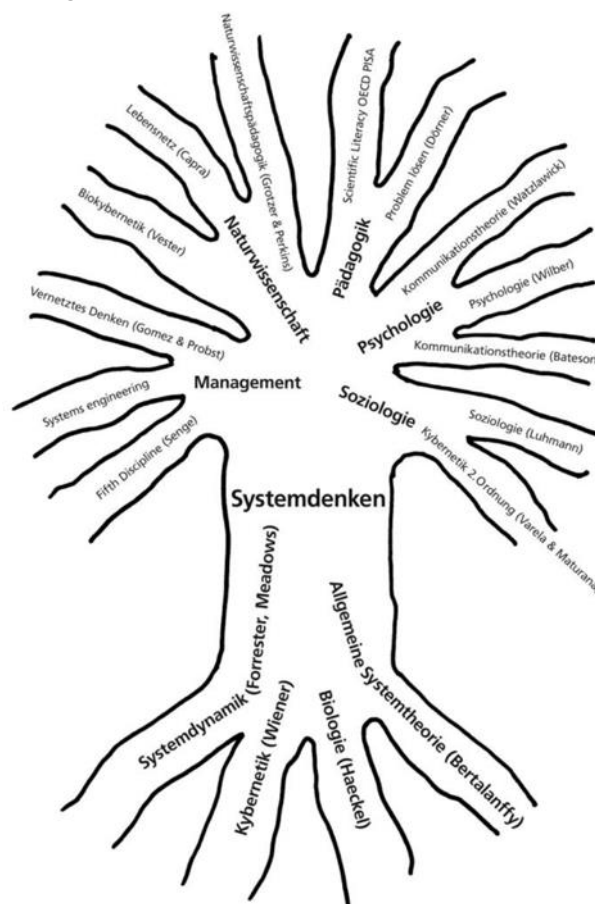


Abbildung: Baum des systemischen Denkens. (Frischknecht et al., 2008, S. 16.)

Was sollten nun Schülerinnen und Schüler wissen und können, wenn sie Systemdenken geübt haben? Die Autor*innen des Buchs *Systemdenken fördern* haben folgende Definition von Systemkompetenz entwickelt:

«Unter Systemkompetenz verstehen wir die Fähigkeit, komplexe Wirklichkeitsbereiche als Systeme zu beschreiben, zu rekonstruieren und zu modellieren und auf der Basis der Modellierung Erklärungen zu geben, Prognosen zu treffen und Handlungsmöglichkeiten zu entwerfen und zu beurteilen.»

(Frischknecht-Tobler et al. 2008, S. 20)

Im youtube-Video erzählen die Autor*innen des Lehrmittels *Systemdenken fördern*, was sie unter Systemdenken verstehen: <https://www.youtube.com/watch?v=DueV2gcO2I4>

2. Systeme und Systemdenken in *Natur und Technik*

2.1. Systeme, Systemgrenzen & Modelle

Die Ameise und der Mistkäfer

Ein Mistkäfer schaut einer Ameise zu, die sich abmüht, eine Fichtennadel auf einen riesigen Haufen zu schleppen. «Was verschwendest du deine Kraft?» fragt der Mistkäfer, «Auf eine Nadel mehr oder weniger wird es bei diesem wirren Haufen nicht ankommen. Was soll denn das Ganze sein?» - «Ich baue an einem System!», antwortet die Ameise schnippisch. Und bei sich selber denkt sie. «Dass dies kein wirrer Haufen ist, wirst du, Mistkäfer, spätestens begreifen, wenn wir dich von unserem Gift gelähmt in unseren Bau schleppen.» (Imboden, 2008)

Die Naturwissenschaften und ihre Teilsysteme (aus Imboden, 2008)

Die Naturwissenschaften begreifen unsere Umwelt oder kurz *die Welt* als ein dynamisches System. Um diese Welt beschreiben und analysieren zu können, haben sie im Laufe der Jahrhunderte eine unglaubliche Fertigkeit darin erlangt, das System «Welt» in immer kleinere Stücke zu unterteilen, in Teilsysteme also, und diese wiederum in Subteilsysteme usw. Die daraus resultierenden Gebilde, wiederum Systeme, wurden dadurch für den beschränkten menschlichen Geist wissenschaftlich analysierbar.

Der allem zugrunde liegende Ansatz, das Gesamtsystem zuerst in kleine übersichtliche Teilsysteme aufzuteilen und dann erst zu analysieren, wird Reduktionismus genannt. Der reduktionistische Ansatz wird jedoch mittlerweile von vielen Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen kritisiert und sogar dafür verantwortlich gemacht, dass der technologische Fortschritt blind zu sein scheint für seine negativen Auswirkungen wie Umweltzerstörung, Klimaveränderungen und Artensterben, aber auch für die negativen sozialen und politischen Konsequenzen, wie z.B. für die immer grösser werdende Schere zwischen den reichen und armen Ländern der Erde.

Noch existieren kaum Konzepte, mit denen die Welt ohne Rückgriff auf die Methode des Teilens von Anfang an ganzheitlich begriffen werden könnte. Auch wenn uns die Zukunft hier weiterbringen sollte, so werden wir doch immer auch auf das Analysieren von Einzelteilen angewiesen bleiben. Der Unterschied zur unreflektierten Anwendung des reduktionistischen Vorgehens sollte darin liegen, dass wir als kritisch Denkende die größeren Zusammenhänge, die Synthese, nicht aus den Augen verlieren dürfen.

Was ist ein System? (aus Bollmann et al. 2010 & Imboden, 2008)

Der Systembegriff wird in unterschiedlichen Wissenschaftsgebieten benutzt. Wir begegnen ihm in der Technik, Biologie, Physik und Mathematik ebenso wie in der Wirtschaft, im Management, in der Soziologie oder Psychologie, in den Kommunikationswissenschaften und der Ökologie. Alle diese Disziplinen arbeiten mit Systemansätzen und definieren den Begriff *System* meist unterschiedlich. Eine erste Annäherung an den Systembegriff erlaubt uns die Definition von Gomez und Probst, die sich auf offene Systeme bezieht, welche mit ihrer Umwelt in Verbindung stehen:

«Ein System ist ein dynamisches Ganzes, das als solches bestimmte Eigenschaften und Verhaltensweisen besitzt. Es besteht aus Teilen, die so miteinander verknüpft sind, dass kein Teil unabhängig ist von anderen Teilen und das Verhalten des Ganzen beeinflusst wird vom Zusammenwirken aller Teile.»

(Gomez & Probst, 1999, S.30)

Ein System besteht also aus verschiedenen Teilen, welche im Folgenden Systemelemente genannt werden. Diese sind miteinander verknüpft. Es bestehen Beziehungen oder Wechselwirkungen zwischen ihnen. Ein Haufen von Metallteilen ist also noch kein System. Die Teile müssen erst sinnvoll miteinander verknüpft werden. Werden die Metallteile zusammengesetzt, entsteht daraus z.B. das System «Uhrwerk». Wird ein Zahnrad davon entfernt, funktioniert das Uhrwerk nicht mehr. Dies illustriert, wieso man sagt: «Ein System ist mehr als die Summe seiner Einzelteile.»

Ob eine Anzahl von Objekten ein System bildet, kann nicht allgemein gültig entschieden werden, ohne die Sichtweise oder Fragestellung zu berücksichtigen. Für eine Kiesabbaufirma ist eine Kiesgrube ein Stein- oder Sandhaufen, für eine Geologin hingegen ist dieselbe Kiesgrube ein System, das wertvolle Information enthält.

Systemgrenzen (aus Bollmann et al. 2010 & Imboden, 2008)

Wie lassen sich Systeme (voneinander) abgrenzen? Die Grenzen eines Systems sind nichts Gegebenes, sie sind vom Interesse oder der Fragestellung der Betrachtenden abhängig. Es spielt beispielsweise eine Rolle, ob jemand Teil einer Schulklasse und in deren Wechselwirkungen einbezogen ist oder ob diese Person die Klasse von aussen quasi objektiv betrachtet und sich als nicht zugehörig erklärt. Bei vielen Systemen wie bspw. bei Lebewesen oder Maschinen ergibt sich die Abgrenzung durch die physische Grenze. Aber auch hier können unterschiedliche Systemgrenzen definiert werden. So können in der Biologie bspw. Zellen, Organe, Lebewesen, Lebensgemeinschaften oder ganze Ökosysteme betrachtet werden. Oder bei Maschinen können die Nutzerinnen und Nutzer der Maschine miteinbezogen werden oder auch nicht. Je komplexer und vielgestaltiger ein System ist, desto schwieriger ist es, die Systemgrenze genau zu definieren. Folgendes Beispiel soll dies veranschaulichen.

Ein See als System

Betrachten wir einen See als System. Unser Ziel bestehe darin, die Phosphorkonzentration in diesem See zu beschreiben. Der See als Wasserkörper ist begrenzt vom Ufer und der Wasser- und Sedimentoberfläche. Wir stellen aber schnell fest, dass diese Systemgrenze nicht sinnvoll ist: Der Phosphorgehalt des Seewassers ist von der Phosphorrücklösung aus dem Sediment abhängig. Als Folge vorausgegangener Phosphor-Belastungen sind im Sediment große Phosphormengen gespeichert. Also wählen wir als System: Wasserkörper und Sediment. Weiter stellen wir fest, dass eine Prognose über den Verlauf der Phosphorkonzentration im See nicht möglich ist, ohne zu wissen, was in dessen Einzugsgebiet geschieht (Bevölkerungswachstum, Bau von Kläranlagen, Landwirtschaftspolitik, Drainage von Land etc.). Also wählen wir als System: Wasserkörper, Sediment und Einzugsgebiet. (Imboden, 2008)

Zusammenfassend halten wir fest: Systeme sind gedankliche Konstrukte, die uns helfen, einen Teil der (Um)welt zu verstehen. Es gibt keine absolut gültige Abgrenzung eines Systems. Die Wahl der Systemgrenze und der berücksichtigten Systemelemente hängt von der Fragestellung ab.

Offene, selbstregulierte und vom Menschen regulierte Systeme (z.T. aus Skript Kunz)

Kein System ist unabhängig von seiner Umwelt. Mit «Umwelt» ist hier das gemeint, was ausserhalb der Systemgrenze liegt. Die Umwelt beeinflusst das System und umgekehrt hinterlässt auch jedes System Spuren in seiner Umwelt. Manche Systeme sind selbstreguliert und sollten im Gleichgewicht stehen mit der Umwelt. Diese Systeme tauschen meist Energie mit ihrer Umwelt aus und organisieren sich selbst (z.B. Lebewesen, Ökosysteme). In der Evolution ist diese Selbstorganisation erkennbar, wenn die «fittesten», d.h. diejenigen, welche am besten an ihre Umwelt angepasst sind, sich am erfolgreichsten fortpflanzen. In der Natur gibt es zahlreiche selbstregulierte Systeme. Oft sind es Botenstoffe (Hormone, Neurotransmitter),

welche Rückkoppelungen auslösen und einen stabilen Zustand herbeiführen. Wie die Systeme jedoch genau funktionieren, ist bei weitem noch nicht abschliessend erforscht. Die Systembiologie geht genau solchen Fragen nach.

Technische Systeme (Maschinen, Infrastruktur etc.) werden vom Menschen entwickelt und direkt oder indirekt auch vom Menschen reguliert. Auch hier ist ein stabiler Zustand des Systems und ein Gleichgewicht mit der Umwelt anzustreben. Aufgrund der schnellen Entwicklung neuer Technologien, des grossen Einflusses der Wirtschaft, der begrenzten Perspektiven der Technologie-Entwickler werden die Systemgrenzen oft einseitig gewählt. Ungleichgewichte und negative Folgen auf Umwelt und Gesundheit werden oft erst nach Jahren oder Jahrzehnten erkannt. Der Mensch greift mit technischen Systemen in selbstregulierte Umweltsysteme ein und beeinflusst oder zerstört diese Systeme zum Teil gar. Gleichzeitig ist der Mensch auch immer Teil dieser Systeme und abhängig von einer gesunden Umwelt.

Der globale Ressourcen- und Energieverbrauch und die dadurch verursachten Umweltverschmutzungen gehören zu den komplexesten Systemen, welche der Mensch in den nächsten Jahrzehnten besser verstehen und regulieren muss.

Weshalb brauchen wir Modelle beim Systemdenken? (aus Imboden, 2008)

Um ein komplexes System zu beschreiben und zu analysieren, muss man es irgendwie darstellen, sei es als Zeichnung, Funktionsschema, mathematische Gleichung oder als verbale Beschreibung. Eine solche Darstellung ist immer eine vereinfachte Beschreibung des wirklichen Systems, welches auch als Modell bezeichnet wird.

Mit einem Modell kann ein komplexes System vereinfacht dargestellt werden. Dabei wird das Modell nie eine Kopie des realen Systems sein. Es ist die Brille, durch die das System betrachtet wird, damit wir uns in der vernetzten und komplexen Welt besser zurechtfinden. Für das gleiche System gibt es völlig verschiedene Modelle. Ein Modell ist nicht deshalb besser, weil es komplizierter ist als ein anderes.

Abhängig von der Betrachtungsweise oder der Fragestellung werden bei der Modellbildung gewisse Systemelemente und -eigenschaften berücksichtigt und andere vernachlässigt.

Waldmodell von Hund und Besitzerin

Ein Hund macht sich beispielsweise von dem Wald, in dem er regelmäßig spazieren geführt wird, ein anderes Bild als seine Besitzerin. Er macht sich sein Waldmodell vermutlich anhand von Gerüchen. Er kann sich mit diesem Modell ebenso zurechtfinden wie seine Besitzerin, die sich im Wald mit dem Sehsinn oder einer Karte orientiert. (Imboden, 2008)

In den Naturwissenschaften und der Technik haben Modelle eine lange Tradition. Gute Modelle erlauben es, durch gewisse Vereinfachungen zu einem überschaubaren und mathematisch berechenbaren Abbild der realen Welt zu kommen. Eine wichtige Motivation, ein Modell zu konstruieren, ist der Wunsch vorauszusagen, wie sich das System in der Zukunft verhalten wird.

2.2. Wichtige Konzepte für Systemdenken auf Sekundarstufe I

Das Finden eines geeigneten Modells für ein System ist ein anspruchsvoller Schritt im Systemdenken. Er ist abhängig von der Zielgruppe und dem Ziel des Systemdenkens. Ingenieur*innen und Informatiker*innen wählen Modelle, die ihnen helfen ein System und seine Dynamik am Computer zu simulieren und zu berechnen. Biolog*innen und Geograf*innen stellen komplexe Systeme (Immunsystem, Wasser- oder Blutkreislauf) oftmals visuell dar, mit Zeichnungen, Pfeilen, Farben und Beschriftungen. In beiden Fällen kann es sich um qualitative und quantitative Modelle handeln, je nachdem ob im Modell Zahlen (Mengen, Grössen etc.) hinterlegt sind. Ob beim qualitativen oder quantitativen Computermodell, bei einer Illustration oder einer abstrakten Systembeschreibung, es müssen immer ähnliche Aspekte geklärt werden:

- Systemgrenzen und -elemente definieren
- Wirkungsbeziehungen, -kette/n, -kreisläufe und Rückkoppelungen identifizieren
- Zeitliche Entwicklungen der Systemelemente erfassen

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick mit konkreten Beispielen über Konzepte, die in vielen Systemen vorkommen und fächerübergreifend angewandt werden können.

Tabelle 1: Überblick über die wichtigsten Konzepte von Systemdenken (aus Bollmann et al 2010)

	Systemelemente: Jedes System setzt sich zusammen aus verschiedenen Bestandteilen, den Systemelementen.	Die verschiedenen Organe sind Systemelemente des Körpers.
	Systemgrenze: Systeme lassen sich voneinander abgrenzen, sie verfügen über Systemgrenzen. Diese sind allerdings vom Interesse oder der Fragestellung der Betrachtenden abhängig, denn in der Regel ist jedes System im Austausch mit anderen Systemen und so gesehen offen (s. auch Kapitel 2.a).	Die Haut bildet die Systemgrenze des menschlichen Körpers.
	System: Ein System besteht aus seinen Elementen, die untereinander in Beziehung stehen und Systemgrenzen, durch welche sich das System von der Umgebung abhebt.	Das System «Mensch» wird begrenzt durch die Haut und setzt sich zusammen aus den verschiedenen Organen, die untereinander in Wirkungsbeziehungen stehen.
	Wirkungsbeziehung: Systemelemente stehen untereinander in Beziehung, sie wirken aufeinander ein.	Sensoren in den Blutgefässen messen den Wassergehalt des Blutes und senden diesen Wert an das Gehirn.
	Wirkungskette: Mehrere Wirkungsbeziehungen hintereinander können lange Wirkungsketten bilden. Dadurch kann ein Systemelement ein anderes, scheinbar davon unabhängiges Element indirekt beeinflussen.	Nachdem die Sensoren dem Gehirn signalisiert haben, dass zu wenig Flüssigkeit im Körper vorhanden ist wird im Gehirn ein Hormon ausgeschüttet, das in der Niere dafür sorgt, dass vermehrt Wasser im Blut zurückbehalten wird.

	Kreislauf: Ein Systemelement kann über eine Wirkungskette wieder auf sich selbst zurück wirken.	Das Zurückhalten von Wasser wird wiederum von den Sensoren registriert und stoppt im Gehirn die Ausschüttung des entsprechenden Hormons.
	Rückkoppelungen: Ausgleichende und verstärkende Rückkopplung; In Kreisläufen können sich die Wirkungen • ausgleichen. Es entsteht ein Fließgleichgewicht. (ausgleichende Rückkopplung) • auf- oder abschaukeln. Es entsteht ein Verstärkungskreis (verstärkende Rückkopplung).	Bei den meisten Hormonkreisläufen im Körper handelt es sich um ausgleichende Rückkopplungen. Die Verzinsung eines Sparguthabens ist ein Verstärkungskreis. Das Aufnehmen von Kleinkrediten und die oft damit verbundene Verschuldung ist ebenfalls ein Verstärkungskreis, den man in der Regel als Teufelskreis bezeichnet.
	Lineare Veränderung Veränderungen können gleichmässig, also linear zu- oder abnehmen.	Die Uhrzeit oder das Auffüllen einer Badewanne mit einem gleichmässigen Wasserstrahl.
	Exponentielle Veränderung Veränderungen können aber auch immer rascher, also exponentiell zu- oder abnehmen.	Der «Lawinentanz», ein verzinstes Sparguthaben oder ein Kettenbrief sind Beispiele von exponentiellem Wachstum.
	Verzögerung Je nach Art der Wirkungsbeziehungen, die zwischen verschiedenen Systemelementen vorhanden sind, können zum Teil sehr lange Zeitverzögerungen eintreten, bis ein Effekt erfolgt.	Die Regulation einer Raumheizung wirkt sich erst mit Verzögerung auf die Raumtemperatur aus. Neu gepflanzte Bäume in einem Forstbetrieb ermöglichen erst nach mehreren Menschengenerationen eine Holzernste.

Eine Schwierigkeit des Systemdenkens besteht darin, die verschiedenen, doch eher abstrakten Konzepte miteinander in Beziehung zu bringen. Wie identifiziere ich die wichtigen Systemelemente, die sich für das Zeichnen eines Wirkungsdiagrammes eignen? Wie kann ich Wirkungsbeziehungen zwischen zwei Systemelementen und deren zeitlicher Verlauf miteinander verknüpfen und darstellen? etc.

Im *Anhang* haben wir diverse Darstellungsweisen und Modelle zusammengetragen, die Ihnen in der Umsetzung und Verknüpfung der Konzepte helfen können. In *Kapitel 3* schlagen wir vier Lernschritte vor, die Ihnen helfen ein komplexes Mensch-Umwelt-Technik-System Ihren Schülerinnen und Schülern näher zu bringen. Ergänzend zu den zum Teil eher abstrakten und technischen Konzepten spielen im Systemdenken die Haltungen eine wichtige Rolle.

2.3. Haltungen von Systemdenkenden (aus Bollmann et al. 2010)

«Die *habits of a systems thinker* (Deutsch: Gewohnheiten, Dispositionen oder Haltungen) sind Eigenschaften, die systemisch denkende Personen auszeichnen. Es sind keine Kompetenzen im engeren Sinne und auch keine Werkzeuge, sondern viel mehr Sichtweisen sowie die Neigung zu bestimmten Denk- und Arbeitsweisen, die für den Prozess der Aneignung von Systemverständnis und für das Erlernen des Systemdenkens überhaupt charakteristisch bzw. notwendig sind (Watersfoundation, 2003). Erfahrungen aus der Praxis sowohl in den USA wie auch in der Schweiz haben gezeigt, dass es durchaus lohnend sein kann, die *habits of a systems thinker* im Laufe des Unterrichts immer wieder zu thematisieren. Die Auseinandersetzung mit diesen Haltungen von Systemdenkenden scheint einen positiven Einfluss auf das Verinnerlichen der Systemkonzepte zu haben.

1. **Blick aufs Ganze.** Ich behalte den Blick aufs Ganze, denn das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile.
2. **Perspektive wechseln.** Ich betrachte die Dinge von verschiedenen Seiten.
3. **Zusammenhänge.** Ich achte darauf, wie die Dinge miteinander verbunden sind und wie sie zusammenhängen.
4. **Wirkungen erkennen.** Ich finde heraus, wie Dinge und Beziehungen sich mit der Zeit ändern.
5. **Wirkungsdauer berücksichtigen.** Ich denke darüber nach, ob Wirkungen nur kurz oder aber länger andauern.
6. **Veränderungen verfolgen.** Ich finde heraus, was Handlungen bewirken können.
7. **System weiterentwickeln.** Ich suche nach Wegen, wie das System besser arbeiten kann.
8. **Handeln optimieren.** Ich überprüfe die Wirkungen und passe wenn nötig meine Handlungen an.

2.4. Weshalb Systemdenken im NT-Unterricht fördern (aus Bollmann et al. 2010)

Sensibilisierung auf Vernetztheit. Unsere Welt ist vernetzt. Im Alltag gibt es keine Trennung zwischen verschiedenen Fächern. Systemdenken bietet eine Chance, auf diese Vernetztheit aufmerksam zu machen und dafür zu sensibilisieren.

Fächerübergreifender Unterricht. Systemisches Denken ist nicht an eine Fachdisziplin gebunden. Ein systemtheoretischer Ansatz kann deshalb als Leitkonzept benutzt werden, um verschiedene Systeme aus den Naturwissenschaften, allenfalls aber auch darüber hinaus (Gesellschaft, Wirtschaft), losgelöst von der Disziplinarität zu untersuchen.

Grafische Darstellung komplexer Sachverhalte. Viele Personen haben keine geeigneten Verfahren zur Hand, um komplexe Probleme sinnvoll zu erfassen und darzustellen. Systemisches Denken offeriert eine überschaubare Palette von Werkzeugen, mit denen sich unterschiedlichste Sachverhalte darstellen lassen.

Besseres Durchdringen der Sachverhalte durch Perspektivenwechsel (Aebli, 1983). Systemisches Denken regt an, einen Sachverhalt unter verschiedenen Blickwinkeln zu untersuchen. Die verschiedenen bei Systemdenken verwendeten Darstellungsformen fördern einen solchen Perspektivenwechsel ebenfalls.

Aktive Auseinandersetzung mit komplexen Problemen. Reale Probleme scheinen für den Unterricht oft nicht geeignet zu sein, da sie zu komplex sind. Der Ansatz des Systemischen Denkens mit seinen darstellerischen Werkzeugen bietet die Möglichkeit, die Einstiegshürde zur Auseinandersetzung mit realen Problemen tiefer zu halten.

Metakognition und bessere Behaltensleistungen. Systemisches Denken und speziell das Modellieren kann als ein metakognitives Instrument betrachtet werden. Das Reflektieren über Strukturen und Zusammenhänge ist einerseits eine wertvolle Lernstrategie, und andererseits auch ein wichtiges Hilfsmittel zur Erstellung von Grundlagen für eine Diskussion (Mandl & Fischer, 2000).

2.5. Mensch-Umwelt-Technik-Systeme im NT-Unterricht

Naturwissenschaftliche und technische Systeme und Mensch-Umwelt-Technik-Systeme

Der Ansatz des Systemdenkens selber ist nicht an eine Fachdisziplin gebunden. Systeme kommen in fast allen Disziplinen vor. Im NT-Unterricht sind zwei Arten von Systembetrachtungen wichtig:

1. **Naturwissenschaftliche & technische Systeme**, die die Schülerinnen und Schüler von aussen betrachten, verstehen und allenfalls in einer vereinfachten Form (Modell) nachbilden sollen. Beispiele hierfür: Elektromotor, Blutkreislauf, Zelle etc.
2. **Mensch-Umwelt-Technik-Systeme**, in denen Wechselwirkungen zwischen Menschen, Umwelt und Technik betrachtet werden und den Menschen als Nutzer*in, Expert*in, Regulator*in etc. in die Überlegungen einschliesst. Beispiele hierfür: Ressourcennutzung, Energiesystem, Abfallwirtschaft etc.

In Kapitel 3 erfolgt eine Fokussierung auf Mensch-Umwelt-Technik-Systeme. Die naturwissenschaftlichen und technischen Systeme werden in den üblichen NT-Lehrmitteln ausreichend und mit jeweils fachspezifischen Darstellungsformen vermittelt. Dagegen stellen die Mensch-Umwelt-Technik-Systeme für NT-Lehrpersonen eine besondere Herausforderung dar, weil sie interdisziplinär und über die Fachgrenzen hinaus vermittelt werden müssen. Mit ihnen verfolgen wir neben dem Systemdenken auch die Ziele einer BNE, wie sie eingangs beschrieben wurden:

- Perspektivenwechsel zwischen verschiedenen Akteuren im System
- Zukunftsorientierung: Wie entwickelt sich das System in Zukunft?
- Partizipation: Was kann ich selber tun?

Mensch-Umwelt-Technik-Systeme

Viele Menschen haben das Gefühl, dass sie der Technik und dem technischen Fortschritt und dessen Folgen ausgesetzt sind und sie auch die Folgen des technischen Fortschritts auf die Umwelt nicht beeinflussen können. In der Soziologie wird diese Haltung mit Technikdeterminismus bezeichnet. Mit dem Systemdenken kann aufgezeigt werden, dass Menschen in verschiedenen Rollen die Entwicklung, Nutzung, Entsorgung etc. technischer Systeme mitgestalten. Dass die Menschen also ein wichtiger Teil des Systems und seiner Auswirkungen auf die Umwelt sind. Um die Interaktionen von Mensch, Umwelt und Technik zu thematisieren, eignet sich der Ansatz des Systemdenkens und wir sprechen von Mensch-Umwelt-Technik-Systemen.

Beispiele für besonders komplexe Mensch-Umwelt-Technik-Systeme sind das Energie- oder das Ernährungssystem, die Mobilität, Abfallwirtschaft oder auch die Ressourcennutzung. Es geht um die Nutzung von Ressourcen und Energie, die nicht nachhaltig ist und in Wertstoffkreisläufe überführt werden müsste. Es geht um menschliche Aktivitäten und technologische Entwicklungen, die sich in hohem Masse auf die Umwelt auswirken. Zentral ist die Analyse der Systeme, das Eruiere von Kreisläufen und das Entwickeln von verschiedenen Ansätzen für deren nachhaltiges Management. Dies kann auf lokaler, regionaler oder globaler Ebene stattfinden.

Exkurs Technikdeterminismus (aus Hillerbrand 2017, S. 26)

«Ist der moderne Mensch der Technik ausgesetzt? Hat uns die Technik der Möglichkeit beraubt, gestalterisch zu agieren? Das Forschungsfeld der Science and Technology Studies (STS) lehnt den Technikdeterminismus als philosophische Position zwar weitgehend ab, aber dessen Grundgedanken finden sich gegenwärtig in vielen Diskursen wieder. So sehen die sogenannten Ökomodernisten die Lösung für die globalen Risiken wie den Klimawandel in einem Mehr an Technik: Durch den sinnvollen Einsatz von Technologie sollen der Wohlstandszuwachs und die Umweltbelastung voneinander entkoppelt werden. Das ökomodernistische Manifest verspricht eine (nahe) Zukunft, in der wir und unsere (Kindes-)Kinder unberührte Natur genießen können und zugleich unsere ökonomischen Bedürfnisse auf eine effiziente Art und Weise erfüllt werden.»

Eine moderate Form des Technikdeterminismus ist auch unter Politikern und Vertretern der Wirtschaft weit verbreitet. Sobald eine Technik eine gewisse Reife erreicht habe, hänge ihre Akzeptanz, so die Annahme, nur noch von ökonomischen Faktoren ab. Die Geschichte der Kernenergie zeigt jedoch deutlich, dass gesellschaftliche Zustimmung kein Selbstläufer ist und nicht allein von technischen und ökonomischen Aspekten bestimmt wird. So hat die zunehmende Sicherheit und Wirtschaftlichkeit neuer Kernkraftwerke den gesellschaftlichen Zuspruch keinesfalls erhöht, vielmehr war das Gegenteil der Fall. Das Systemvertrauen spielt hier ebenso eine Rolle wie der Einfluss einer Technologie auf andere gesellschaftliche Bereiche. [...]

Mithilfe von Naturwissenschaft und Technik hat sich der Mensch die Erde untertan gemacht. Während in vergangenen Jahrhunderten Naturkatastrophen noch als Wille Gottes gedeutet worden waren, machte die Aufklärung die Natur nicht nur wissenschaftlich verständlich und erklärbar, sondern durch Technikeinsatz auch veränderbar.»

3. Vier Lernschritte des Systemdenkens im NT-Unterricht

Im Folgenden werden vier Lernschritte beschrieben, die Ihnen helfen können, eine Unterrichtssequenz zu einem Mensch-Umwelt-Technik-System zu strukturieren. Die Reihenfolge der Schritte kann auch anders gewählt werden. Wichtig ist, dass Schülerinnen und Schüler nach der Unterrichtssequenz ihren eigenen Einfluss auf das System abschätzen, wichtige Wirkungsbeziehungen (z.B. Wirkungsketten, Kreisläufe, Rückkoppelungen etc.) verstehen und eigene Handlungsmöglichkeiten sowie Handlungsmöglichkeiten anderer kennen und grob beurteilen können.

3.1. Das System und ich

In diesem Schritt lösen wir bei den SuS Betroffenheit aus. Sie erfahren, dass sie ein mehr oder weniger einflussreicher Teil eines komplexen Mensch-Umwelt-Technik-Systems sind. Wir gehen in diesem Schritt vom Individuum aus und schauen, welche Auswirkungen das eigene Handeln auf das System hat.

Wie kann der Lernschritt konkret umgesetzt werden?

- A) SuS können ihr Verhalten, ihre Kaufgewohnheiten, die Infrastruktur, die sie jeden Tag nutzen, auf einen bestimmten Aspekt hin (Energie, Abfall, Wasser) analysieren. Bspw. indem sie ihr eigenes Verhalten protokollieren, eine Bestandsaufnahme der Geräte zu Hause machen oder einen Footprint- oder Ökobilanz-Rechner benutzen:
- CO₂-Footprint: <https://www.wwf.ch/de/nachhaltig-leben/footprintrechner>
 - Wasserverbrauch: <https://waterfootprint.org> (nur auf Englisch verfügbar)
 - Öko- bzw. Nachhaltigkeitsbilanz von Nahrungsmitteln, Kleidung, Elektrogeräten etc.: <https://www.clever-konsumieren.ch/>
- B) Die Resultate dieser Analysen werden ins Plenum getragen und diskutiert, mit dem Ziel, eine erste Übersicht von Systemelementen zu erstellen, welche jede*r Einzelne selber beeinflusst. Dies kann beispielsweise in Form einer Zeichnung, einer Mind-Map oder einer einfachen Liste geschehen.

BEISPIEL KLIMAWANDEL

Beispiel: Emma Musters CO₂-Footprint: 12 Tonnen CO₂ bzw. 2.9 Planeten

Folgende Lebensbereiche tragen in dieser Reihenfolge zu Hans Musters CO₂-Ausstoss bei:

- **Konsum & öffentliche DL** (ca. 4t): Kleider, Elektrogeräte, Freizeit, Restaurant etc.
- **Wohnung & Haushalt** (ca. 3.5t): Heizung, Warmwasser, Dämmung, Fläche, Geräte (Beleuchtung, Kühlschrank etc.), Waschen etc.
- **Ernährung** (ca. 2.5t): Anteil Fleisch, Milchprodukte, Bio- und Label-Produkte, Regional etc.
- **Mobilität** (ca. 2t): Flugzeug, Auto, ÖV

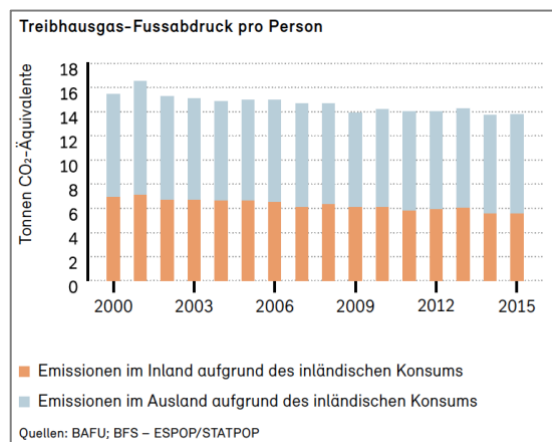


Abbildung und viele weitere Informationen zu Treibhausgas-Emissionen und anderen Umwelteinwirkungen in [Umweltbericht Schweiz 2018](#)

3.2. Problem erkennen und beschreiben

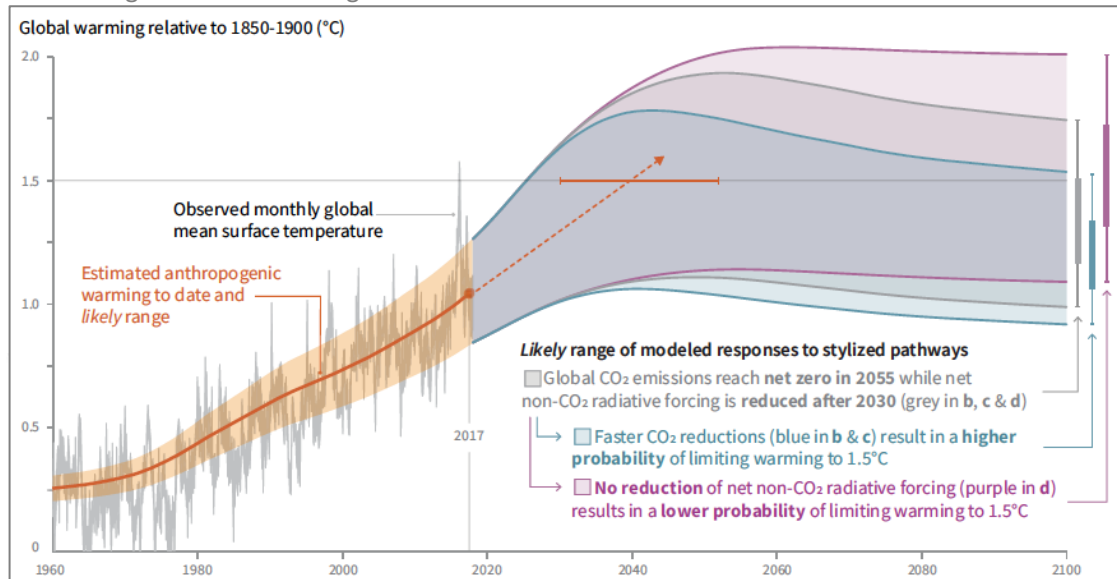
In diesem Lernschritt wird das Problem identifiziert. Weshalb behandeln wir dieses Mensch-Umwelt-Technik-System in der Schule? Weshalb ist es relevant? Weil das System für Mensch und/oder Umwelt einerseits wichtig (geworden) ist und andererseits langfristig für den Menschen und/oder die Umwelt negative Auswirkungen hat und damit nicht *nachhaltig* ist. Falls Sie die Begriffe *Nachhaltigkeit* oder *Nachhaltige Entwicklung* in Ihrer Klasse noch nicht eingeführt haben, kann das an dieser Stelle gemacht werden (vgl. Kapitel 1).

Wie kann der Lernschritt konkret umgesetzt werden?

- Falls möglich, kann das Problem in einem stark vereinfachten Modell oder mit einer Verlaufsgrafik eines wichtigen Systemelements illustriert und in der Klasse diskutiert werden, z.B. exponentielles oder stetiges Wachstum eines wichtigen Systemelements. Weshalb ist der Verlauf dieses Systemelements nicht nachhaltig? Was würde passieren, wenn die Entwicklung in den nächsten 50 Jahren so weiterginge?
- Unterlagen zur Einführung von Nachhaltigkeit finden Sie unter www.education21.ch; am besten ist es, wenn Sie am konkreten System aufzeigen, wo es Probleme gibt bezüglich der drei Dimensionen der Nachhaltigkeit «Umwelt», «Wirtschaft», «Gesellschaft» und auf der räumlichen und zeitlichen Achse. Im NT-Unterricht ist es gerechtfertigt, dass Sie den Fokus auf die Umwelt-Probleme und -Zusammenhänge setzen und die gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Aspekte nur am Rande ansprechen.
- Ziel ist es, dass das Problem am Schluss von Ihnen oder von den SuS in einem Satz zusammengefasst werden kann. Dieses Problem ist Ausgangspunkt des nächsten Lernschrittes.

BEISPIEL KLIMAWANDEL

Darstellung der Erderwärmung ab 1960 mit verschiedenen Szenarien bis 2100:



Die zunehmende Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre führt dazu, dass weniger Energie ins All abgestrahlt werden kann als von der Erde aufgenommen wird. Dadurch erhöht sich die globale Temperatur der Atmosphäre, der Erdoberfläche und der Meere. Diese sogenannte Klimaerwärmung stellt für Mensch und Umwelt ein sehr ernsthaftes Problem dar.

Abbildung und viele weitere Infos: [2018 Intergovernmental Panel on Climate Change: Global warming of 1.5°C](https://www.ipcc.ch/report/sr15/)

3.3. Ursachen des Problems und Auswirkungen auf Mensch und Umwelt verstehen

Im dritten und umfangreichsten Lernschritt geht es darum, die Problemursachen und -auswirkungen zu verstehen: Wie kommt das Problem zustande, wer oder was verursacht das Problem in welchem Ausmass und welche Auswirkungen hat es auf Umwelt Mensch und Technik? Um diese Zusammenhänge zu vermitteln, ist es wichtig, dass Sie geeignete Darstellungsformen oder ein geeignetes Modell für Ihr Mensch-Umwelt-Technik System wählen.

Gewisse Darstellungsformen und Modelle können von den SuS selber entwickelt werden, andere müssen teilweise von Ihnen vorbereitet werden und andere wiederum werden Sie den Schülerinnen und Schülern in finalisierter Form präsentieren und anschliessend mit geeigneten Fragestellungen gemeinsam analysieren. Grundsätzlich ist eine schrittweise Erarbeitung des Modells zusammen mit den Schülerinnen und Schülern zu empfehlen.

Im Anhang werden verschiedene Darstellungsformen und Modelle beschrieben, die sich für Mensch-Umwelt-Technik-Systeme eignen und die auch miteinander kombiniert werden können. Im Folgenden finden Sie eine kurze Zusammenfassung mit Verlinkung zum Anhang:

Qualitative Darstellungsformen und Modelle:

- **Mind-Map** und **Vernetzungskreis** eignen sich, um Beziehungen in einem System sichtbar zu machen. In der Mind-Map würde das Problem in der Mitte notiert und davon ausgehend alles zusammengetragen, was in irgendeiner Beziehung mit dem Problem steht. Das Mind-Map eignet sich insbesondere für das Brainstorming, um sich die verschiedenen Facetten eines Problems zu vergegenwärtigen und, um das bereits vorhandene Wissen der SuS aufzunehmen. Im Vernetzungskreis werden wichtige Systemelemente bzw. Ursachen und Auswirkungen des Problems auf einem Kreis notiert und Ursache-Wirkungspfeile ergänzt. Mit dem Vernetzungskreis können Ursache-Wirkungszusammenhänge qualitativ identifiziert werden.
- Die **Concept-Map** kann hilfreich sein, um Beziehungen und auch die zu Grunde liegenden Wirkungszusammenhänge, insbesondere auch Wirkungsketten und -kreisläufe, darzustellen. Concept-Maps lassen sich gut aus Sachtexten erstellen, die das Problem oder das System beschreiben. Die Concept-Map bietet eine vereinfachte und visuell gut erfassbare Zusammenfassung der Systemzusammenhänge.
- Das **Wirkungsdiagramm** ist eine Weiterentwicklung des Vernetzungskreises. Die Pfeile von Ursache zu Wirkung werden mit «plus» (gleichgerichtet, verstärkend) und «minus» (entgegengesetzt, ausgleichend) gekennzeichnet (vgl. Tabelle 1, Rückkoppelungen). So können sich verstärkende oder ausgleichende Rückkoppelungen und Kreisläufe identifiziert werden. Wirkungsdiagramme eignen sich, um einzelne Subsysteme oder stark vereinfachte Systemzusammenhänge mit den SuS anzuschauen. Das gesamte Mensch-Umwelt-Technik-System kann mit dem Wirkungsdiagramm nicht abgebildet werden. Das wäre zu abstrakt und komplex.
- Umweltbelastungen mit dem **DPSIR-Modell** zu analysieren macht Sinn, wenn in Schritt 2 (Kap. 3.2) eine klassische Umweltverschmutzung (z.B. Gewässerverschmutzung, Pestizide in Böden, Plastikmüll etc.) identifiziert wurde. Im Modell werden Ursachen (Drivers), Belastungen (Pressures), Umweltzustand (State), Auswirkungen (Impacts) und Massnahmen (Responses) in einen qualitativen Zusammenhang zueinander gebracht. Mit diesem Modell können die übergeordneten Ursache-Wirkungsbeziehungen eines Mensch-Umwelt-Technik-Systems dargestellt werden. Ausserdem können in Lernschritt 4 (Kap 3.4) die Massnahmen mit demselben Modell besprochen werden. Wenn das Modell für die SuS zu anspruchsvoll ist, kann es auch in vereinfachter Form verwendet werden.

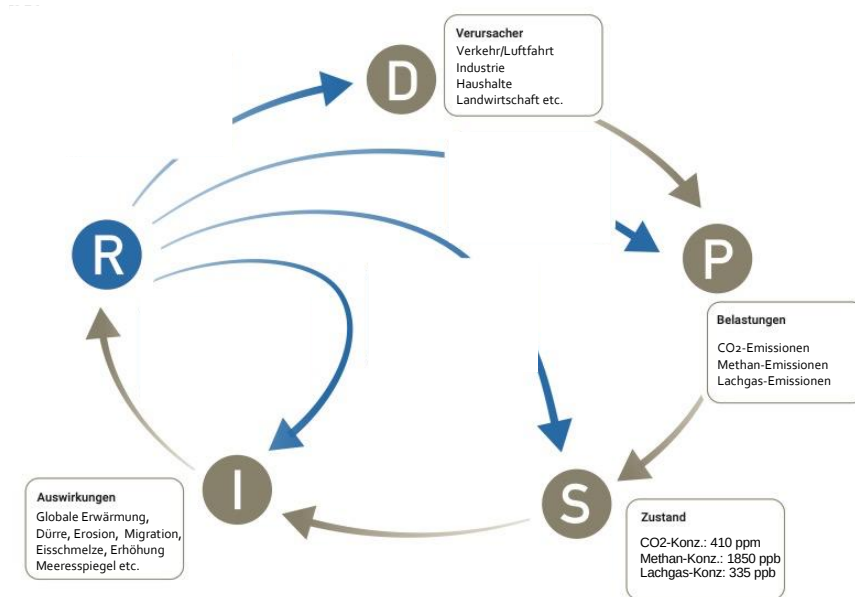
Quantitative Darstellungsformen und Modelle:

- Zeitliche Entwicklungen einzelner Systemelemente können in **Wertetabellen und Verlaufsgrafiken** dargestellt werden. Für die Quantifizierung von Anteilen verschiedener Systemelemente zu einer bestimmten Grösse (bspw. Anteil von CO₂- oder Methan an Gesamtemissionen) sind **Kuchendiagramme** sehr nützlich.
- Um Energie- und Stoffflüsse oder -kreisläufe darzustellen, sind **Flussdiagramme** oder Stock-and-Flow Modelle hilfreich. In den Diagrammen werden verschiedene Energie- und Stoffflüsse (Input, Verlust, Output bzw. Recycling) visualisiert. Anhand der Diagramme können nicht so sehr Zusammenhänge erklärt werden, als vielmehr Mengen und Grössenverhältnisse miteinander in Beziehung gesetzt und Verluste identifiziert werden.
- **Ökobilanzen** (Lebenszyklusanalysen, LCA etc.) dienen dazu, einzelne Produkte und Technologien in Bezug auf ihre Umweltauswirkungen zu analysieren und/oder miteinander zu vergleichen. Bspw. wird ein Apfel aus der Schweiz mit einem Apfel aus Südafrika verglichen oder es wird das Auto (Benzin/Diesel) mit dem Öffentlichen Verkehr (Bahn) verglichen. Grössen, die häufig in Ökobilanzen einbezogen werden, sind Rohstoffe, Wasserverbrauch, Energiebedarf, Landverbrauch, Biodiversitätsverlust, Emissionen in Luft, Wasser und Boden. Solche Analysen helfen Unternehmen, ihre Prozesse ökologisch zu optimieren, sie können aber auch uns allen bei Konsumententscheidungen helfen. Das Problem vieler Ökobilanzen ist, dass sie komplex sind und auf vielen Annahmen beruhen. Die Aussagekraft der Bilanz ist nicht einfach abzuschätzen und sie bezieht nur selten auch wirtschaftliche und soziale Kriterien mit ein, die gerade bei Konsumententscheidungen auch sehr wichtig sind.

Das Ziel dieses Lernschrittes ist es, dass die SuS die Mensch-Umwelt-Technik-Zusammenhänge und Grössenordnungen soweit verstehen, dass sie in Schritt 4 Massnahmen auf verschiedenen Ebenen entwickeln und auch grob beurteilen können.

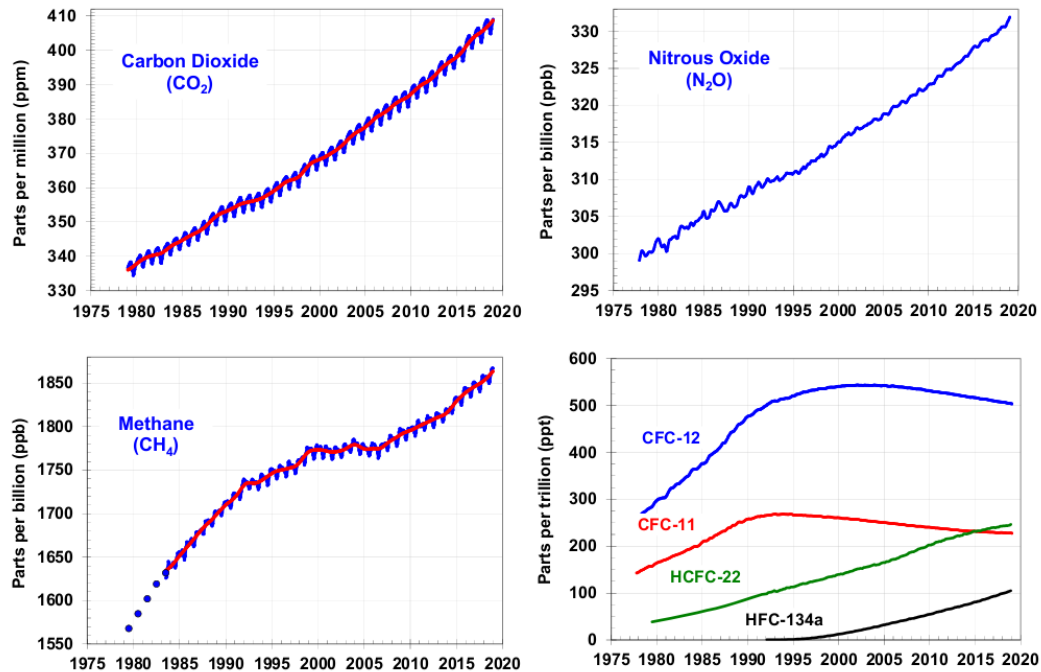
BEISPIEL KLIMAWANDEL DPSIR (qualitativ)

Eine gute Übersicht über die Ursachen und Auswirkungen des Klimawandels gibt das Ursache-Wirkung-Massnahmen-Modell. Dieses kann zusammen mit den SuS entwickelt werden, bspw. indem Sie einzelne Begriffe in den vier Kästchen vorgeben und die SuS weitere Begriffe ergänzen und das Modell dann im Plenum, an der Tafel vervollständigt wird.



BEISPIEL KLIMAWANDEL: Verlaufsgrafiken (quantitativ)

Um einzelne Größen des DPSIR-Modells zu quantifizieren und die zeitlichen Entwicklungen darzustellen, sind Verlaufsgrafiken oder Wertetabellen nützlich.



US Govt - NOAA's Annual Greenhouse Gas Index: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.fig2.png>

3.4. Massnahmen beschreiben und Visionen entwickeln

Im letzten Schritt geht es nun darum, Massnahmen und Visionen zu entwickeln, wie das System in Zukunft optimiert und nachhaltiger gestaltet werden kann. Bei Mensch-Umwelt-Technik-Systemen können zwei Arten von Massnahmen unterschieden werden:

- die **Massnahmen der Verringerung oder Verhinderung** des Problems (engl. mitigation): diese präventiven Massnahmen verfolgen das Ziel, die Umweltbelastung oder das Problem gar nicht erst entstehen zu lassen. Diese Massnahmen greifen an der Quelle des Problems bzw. bei den Verursachenden an. Zum Beispiel soll die Energienutzung oder die Mobilität reduziert oder so viel Abfall wie möglich vermieden werden. Oder gewisse Stoffe (z.B. Herbizide, Pestizide, FCKW etc.) werden verboten, damit sie gar nicht erst in die Umwelt gelangen. Oder es werden zur Verringerung der CO₂-Emissionen erneuerbare Energiequellen gefördert.
- die **Massnahmen der Anpassung** an das Problem (engl. Adaptation): bei diesen Massnahmen geht man davon aus, dass das Problem bzw. die Umweltbelastung existiert, bzw. nicht aufzuhalten ist. Es wird nach Möglichkeiten gesucht, die negativen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt zu verringern. Oftmals werden technische Lösungen angestrebt bspw. eine neue Reinigungsstufe auf der ARA oder die «Carbon Dioxide Capture and Storage Technologien». Auch nicht-technische Massnahmen der Anpassung sind möglich; bspw. indem das Tourismusangebot den neuen Hitze- und Schneeverhältnissen angepasst wird. Und wo das Geld für jegliche Lösungen fehlt, ist Umsiedlung oder Migration die einzige Antwort.

Wenn immer möglich sollten Massnahmen an der Quelle angestrebt werden. Doch stehen diesen Massnahmen oftmals wirtschaftliche, gesellschaftliche und individuelle Interessen im Weg. Die Menschen verändern ihr Verhalten nicht gerne und selten freiwillig und auch die Unternehmen nicht. In vielen Fällen braucht es neue Gesetze, Richtlinien oder Gebühren, um Massnahmen durchsetzen zu können.

Wie kann der Lernschritt konkret umgesetzt werden?

- A) Massnahmen auf verschiedenen Ebenen identifizieren und beschreiben; vgl. Beispiel Klimawandel A.
- B) Wichtige Akteure und Akteurinnen im System identifizieren: Wer könnte die Massnahme umsetzen? Wer wäre von der Massnahme direkt betroffen? Wer würde sie unterstützen, wer bekämpfen? In einem Rollenspiel oder einer Expert*innendebatte mit verschiedenen Akteur*innen können die Massnahmen diskutiert werden. Die Interessen der verschiedenen Akteure und Akteurinnen werden auf Rollenkarten beschrieben und den SuS verteilt. Als Vorbereitung auf das Rollenspiel notieren die SuS Pro- und Contra-Argumente zu den verschiedenen Massnahmen aus der Perspektive ihrer zugewiesenen Rolle; vgl. Beispiel Klimawandel B & C.
- C) Mit fortgeschrittenen Klassen können die Massnahmen noch ohne Zuweisung von Rollen grob beurteilt und diskutiert werden; bspw. in Bezug auf Akzeptanz in der Bevölkerung, Kosten und Nutzen; vgl. Beispiel Klimawandel B & C.
- D) Anstelle von Schritt B und C können Visionen entwickelt werden. Hier können SuS kreativ sein und «ihre Vision einer Problemlösung» bspw. auf einem Poster zusammenstellen. Wichtig ist, dass sie ihre Visionen begründen und diese Begründungen fachlich korrekt sind. In den Visionen können wirtschaftliche Interessen und auch die Akzeptanz der breiten Bevölkerung etwas weniger stark gewichtet werden. Hier kann für die Sache, den Umweltschutz, gedacht werden.
- E) Zum Schluss dieser Sequenz kann sich jede Schülerin/jeder Schüler ein eigenes, konkretes und messbares Ziel setzen und regelmässig überprüfen. Dies schliesst den Bogen zum Lernschritt 1. Wenn in der Klasse ein offener und respektvoller Umgang gepflegt wird, kann die Überprüfung der Ziele in regelmässigen Abständen in der Klasse diskutiert werden: Habe ich mein Ziel erreicht? Weshalb ja, weshalb nein? Muss/will ich mir ein neues Ziel setzen? Da die SuS in diesem Alter in ihrer

Lebensgestaltung nicht besonders frei und stark von den Eltern geprägt sind, dürfen sie keinesfalls diskriminiert oder von der LP kritisiert werden, wenn sie ihre Ziele nicht erreichen. Der Austausch muss auf freiwilliger Basis stattfinden.

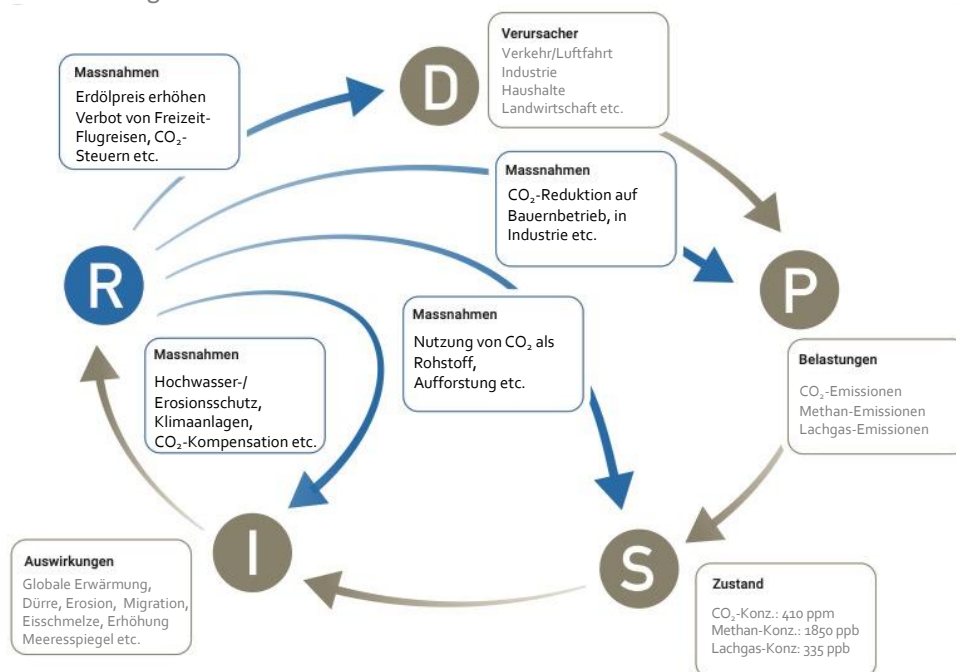
BEISPIEL KLIMAWANDEL E

Meine drei Ziele bis Ende Schuljahr:

- Ich gehe immer mit dem Velo zur Schule und ins Training (pro Monat gibt es max. 1 Ausnahme).
- Ich esse nur noch zweimal pro Woche Fleisch (max. 200g/Woche).
- Ich erkläre meinen Eltern die Folgen vom Fliegen und Fleisch Essen auf die Erderwärmung.

BEISPIEL KLIMAWANDEL A

Das DPSIR-Modell kann bspw. in Gruppenarbeit mit Massnahmen in den vier «blauen» Kästchen vervollständigt werden.



BEISPIEL KLIMAWANDEL B & C

Gruppen von Akteur*innen:

- Wirtschaft: Erdölfirmen, Autoindustrie, Landwirtschaft, Flugzeugindustrie, Betonindustrie etc.
- Forschung & Entwicklung: Entwickler*innen, Verkäufer*innen neuer Technologien
- Politik: Gemeindepräsident*in (FDP, Grüne), Bundespolitiker*innen
- Endverbraucher*innen: Reisende, Autofahrende, Fleisch Essende, Konsument*innen

<i>Massnahmen:</i>	<i>Massnahmen-Ebene (vgl. A)</i>	<i>Direkt betroffene Akteur*innen</i>	<i>Akzeptanz (0-2)</i>	<i>Kosten (0-2)</i>	<i>Nutzen (0-2)</i>
Erdölpreis erhöhen	Verursachende	Wirtschaft	1	1	2
Verbot von Freizeit-Flugreisen	Verursachende	Politik	0	0	2
CO ₂ -Steuer auf Flugverkehr	Verursachende	Konsumierende	1	1	2
CO ₂ -Steuer auf Fleisch & Milchprodukte	Verursachende	Konsumierende	1	1	2
CO ₂ Reduktion auf Bauernbetrieb	Belastungen	Landwirtschaft	1	1	1-2
Nutzung von CO ₂ als Rohstoff	Zustand	Forschung & Entwicklung	2	1	1-2
Hochwasser-, Erosionsschutz	Auswirkungen	Politik	2	2	1
Mehr Klimaanlagen	Auswirkungen	Hausbesitzende	2	1	1

Die Beurteilung der drei Kriterien (Akzeptanz, Kosten, Nutzen) ist nicht einfach und nicht eindeutig. Je nachdem welcher Nutzen beurteilt wird, der Nutzen für die Reduktion der Treibhausgas-Emissionen oder der kurzfristige Nutzen für die Notleidenden, kann die Bewertung unterschiedlich ausfallen. Was aber auffällig ist und verallgemeinert werden kann, ist dass die Massnahmen bei den Verursachenden in der Regel weniger Akzeptanz geniessen als die Massnahmen später in der Wirkungskette. Zweitere bieten konkrete Lösungen für bereits spürbare Folgen oder konkrete Gefahren der Klimaveränderung und gleichzeitig müssen die Menschen ihr Verhalten nicht ändern. Doch besonders effizient (Nutzen/Kosten) sind diese Massnahmen nicht. Die Massnahmen bei den Versursachenden sind in der Regel effizienter. Es braucht aber grossen politischen Druck und es müssen Leben gefährdet sein (wie bspw. während der Corona-Pandemie), damit Gesetze erlassen und akzeptiert werden, welche die individuellen Freiheiten einschränken.

3.5. Beurteilung des Systemdenkens (aus Bollmann et al. 2010)

Es gibt vielfältige Möglichkeiten, um zu überprüfen, was die SuS in einer Unterrichtssequenz zum Systemdenken an einem konkreten Beispiel gelernt haben. Ein reiner Wissenstest wird dem Systemdenken vermutlich weniger gerecht als eine Kombination von formativen und summativen Beurteilungen. In der Folge sind einige Möglichkeiten der formativen Evaluation aufgeführt.

Möglichkeiten der formativen Evaluation

Bei der **Kärtchenmethode** schreiben die Lernenden am Ende einer Sequenz auf Zettel ein kurzes Fazit.

- auf gelbe Zettel: Das habe ich heute gelernt!
- auf grüne Zettel: Das würde mich noch interessieren!

Die Zettel können an einer Pinwand oder Wandtafel mit der Klasse gruppiert und ausgewertet oder durch die Lehrperson tabellarisch erfasst werden. Die Zettel gehen zurück an die Schülerinnen und Schüler, die damit auch ihre eigenen Lernfortschritte dokumentieren. Mit dieser Methode gewinnt man einen raschen Überblick über den Wissens- und Interaktionsstand der Schülerinnen und Schüler und kann den Unterricht entsprechend flexibel anpassen.

Der **Lernbericht** ist eine andere Technik, die sich gut für eine Standortbestimmung eignet. Die Lernenden werden dabei angehalten, einen Bericht zu Fragen wie den Folgenden zu verfassen:

- Was hat mir am besten gefallen, was hat mich am meisten interessiert?
- Wie bin ich mit meiner Arbeit zufrieden? (Einsatz, Beteiligung, Sorgfalt, Zusammenarbeit, Rückmeldungen an die anderen, Weiterdenken)
- Worauf bin ich am meisten stolz, wenn ich mein Heft betrachte?
- Was habe ich vom Systemdenken gut verstanden?
- Was finde ich schwierig, verstehe ich noch nicht?
- Wo möchte ich mich noch weiter vertiefen?

Bei der Auftragserteilung soll darauf hingewiesen werden, dass dieser Bericht NICHT benotet wird! Die Lernberichte erlauben es der Lehrperson einerseits, individuell auf Stärken und Schwächen der einzelnen Schülerinnen und Schüler einzugehen und andererseits können daraus auch Hinweise für den weiteren Unterrichtsverlauf entnommen werden.

Mit **Lernjournalen** oder Reisetagebüchern (Ruf & Gallin, 2005) werden die Schülerinnen und Schüler nicht nur punktuell zur Reflexion angehalten, wie mit dem Lernbericht oder der Kärtchenmethode, sondern begleitend zur ganzen Unterrichtseinheit. Die Lernenden führen dazu ein Journal, ein Arbeitsheft oder führen einen Blog, in welchem sie ihre Gedanken zu offenen Fragen festhalten, wie sie auch beim Lernbericht aufgeführt sind. Die Lehrperson sammelt diese Journale regelmässig ein bzw. schaut regelmässig die Lerntageblogs online an.

Systemdenken mit Noten bewerten

Soll eine Leistungsnote über eine ganze Unterrichtseinheit gewonnen werden, so gibt es die folgenden beiden Varianten, die auch miteinander kombiniert werden können:

1. Die verschiedenen Arbeiten der Schülerinnen und Schüler (z.B. Verhaltensprotokoll/Footprint Rechner (Schritt 1), System-Modell (Schritt 2), Erstellen eines Posters etc.) werden im Verlauf der Unterrichtseinheit mit Punkten bewertet (Beispielsweise: 0 = Kriterien nicht erfüllt / 1 = Kriterien

teilweise erfüllt / 2 = Kriterien voll erfüllt). Aus der Gesamtpunktzahl wird am Ende eine Gesamtnote errechnet.

2. Eine Unterrichtseinheit wird mit einer Prüfung abgeschlossen, wobei verschiedene Typen von Aufgaben gestellt werden können:
 - Aufgaben zu den vier Lernschritten, unabhängig oder abhängig vom bearbeiteten Mensch-Umwelt-Technik-System
 - Wissens-, Verständnis-, Anwendungs- und Transferaufgaben zum Mensch-Umwelt-Technik-System
 - Aufgaben zu den in der Unterrichtssequenz geübten Darstellungsweisen und Modellen (Vernetzungskreis, DPSIR-Modell, Ökobilanz etc.)
 - Transferaufgaben zu einem anderen Mensch-Umwelt-Technik-System (Energie, Ressourcen, Abfall, Schadstoffe etc.)

4. Drei Systeme und konkrete Beispiele für den NT-Unterricht

Im Rahmen des Projektes «Mit Systemdenken MINT und Mensch verbinden» wurden zusammen mit Expert*innen der MINT-Hochschulen zu drei Mensch-Umwelt-Technik-Systemen Lehr- und Lernmaterialien für angehende Sek I Lehrpersonen entwickelt. In der Lehrveranstaltung «Interdisziplinär Natur und Technik unterrichten» wurden die Lehrmaterialien erprobt. Im Folgenden werden die drei Systeme und die Ziele und Inhalte der Lehreinheiten zusammengefasst.

Aufgrund des Distance Teaching im Frühlingsemester 2020 und 2021 wurden die Lehrmaterialien für das Selbststudium weiterentwickelt. Von drei Expert*innen der MINT-Hochschulen wurden unterschiedliche Formen des Distance Teaching gewählt. Sie finden Hinweise dazu bei den jeweiligen Themen.

4.1. Mikroverunreinigungen im Gewässer

Relevanz des Themas

Mikroverunreinigungen, oder auch Spurenstoffe genannt, sind Substanzen, welche in sehr tiefen Konzentrationen in Gewässern nachgewiesen werden. Dabei handelt es sich beispielsweise um Rückstände von Alltagsprodukten wie Reinigungsmittel, Hygiene- und Körperpflegeprodukte, Medikamente oder Pflanzen- und Materialschutzmittel. Diese Stoffe gelangen auf drei Wegen in unsere Gewässer:

- mit dem gereinigten Abwasser aus Abwasserreinigungsanlagen
- direkt über die Kanalisation durch Regenentlastungsmassnahmen
- über diffuse Einträge wie z. B. aus der Landwirtschaft.

Bereits in sehr tiefen Konzentrationen können sich Mikroverunreinigungen nachteilig auf Wasserlebewesen und auf unsere Umwelt auswirken. Weitreichende Massnahmen zur Reduktion von Mikroverunreinigungen in unseren Gewässern sind somit erforderlich.

Übergeordnetes Ziel der Lehreinheit

Das Ziel der Lehreinheit ist es, das System «Mikroverunreinigungen im Gewässer» einschliesslich seiner Ursachen, Auswirkungen und möglichen Massnahmen mit Hilfe der vier Lernschritte des Systemdenkens selber zu verstehen, um es anschliessend Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I vermitteln zu können.

Struktur und Inhalt der Lehreinheit

Die Lehreinheit besteht aus drei Teilen, welche in je ungefähr zwei Stunden bearbeitet werden können und folgende Fragen beantworten:

1. Das System und ich

- Wo wird Wasser direkt und indirekt verbraucht?
- Wie funktioniert eine konventionelle Abwasserreinigungsanlage?
- Was versteht man unter Mikroverunreinigungen?
- Wie tragen wir zu deren Eintrag in Gewässer direkt oder indirekt in unserem Alltag bei?

2. Problem erkennen und beschreiben und

3. Ursache des Problems und Auswirkungen auf Mensch und Umwelt verstehen

- Woher kommen Mikroverunreinigungen und in welchen Bereichen werden sie eingesetzt?
- Durch welche Eintragspfade können Mikroverunreinigungen in das Gewässer gelangen?
- Wie viele Mikroverunreinigungen und in welchen Konzentrationen sind diese in unseren Gewässern vorhanden?
- Wie wirken sich Mikroverunreinigungen direkt oder indirekt auf unsere Umwelt aus?
- Mit welchem Modell lässt sich das System „Mikroverunreinigungen im Gewässer“ strukturieren und seine Ursache-Wirkungs-Beziehung beschreiben?

4. Massnahmen beschreiben und Visionen entwickeln

- Durch welche Massnahmen ist es möglich, den Eintrag von Mikroverunreinigungen in die Gewässer zu reduzieren?
- Auf welche Ebenen des Systems wirken sich die Massnahmen aus?
- Welche Ideen für Massnahmen haben Sie, um den Eintrag potenziell zu reduzieren?

Materialien für das Selbststudium

Die Lehreinheit enthält ein Spiel, drei Arbeitsaufträge, die zusammen mit Präsentationen (digital) und Hintergrundinformationen und Berichten gelöst werden können. Zwischen der ersten und zweiten Untereinheit und nach der dritten Lehreinheit ist eine Diskussion mit der Expertin geplant. Die Lehreinheit wurde von Nadja Rastetter, Kirsten Remmen und Thomas Wintgens entwickelt. Sie arbeiten bzw. arbeiteten im [Team Umwelt- und Wassertechnologien](#) am [Institut für Ecopreneurship](#) der Hochschule für Life Sciences der FHNW.

Unterrichtsmaterialien für Sekundarstufe I

- Spurenstoffe mit Klärungsbedarf – Gebrauchsfertige Unterlagen für den handlungsorientierten Unterricht <https://mikroverunreinigungen.nt3.ch/>
- Bericht mit anwendbarem Unterrichtsmaterial zum Thema Ökotoxikologie und Mikroverunreinigungen https://www.oekotoxzentrum.ch/media/111639/2015_seminararbeit_stefan_widmer_web.pdf
- BNE-Kit – Didaktische Impulse zu Bildung für Nachhaltige Entwicklung zum Thema Gewässer schützen https://www.education21.ch/sites/default/files/uploads/pdf-d/bne-kit/BNE-Kit_Wasser_Zyklus2_DE_DEF.pdf

4.2. Energie im Gebäude

Relevanz des Themas

Rund die Hälfte der schweizerischen Energienutzung ist Gebäuden zuzuordnen. Energieeffizienzmassnahmen im Gebäudebereich sind daher unumgänglich, um Ressourcen und Umwelt zu schonen. Um eine sparsame Energienutzung zu ermöglichen, sind Kenntnisse über das System «Energie im Gebäude» notwendig.

Bei einer Energiebilanzierung von Gebäuden wird der Energiefluss von der Endenergie zur Nutzenergie unter Berücksichtigung von Energieverlusten und -gewinnen betrachtet. Das heisst, dass die Energien, die dem System Gebäude zugeführt werden denjenigen gegenübergestellt werden, die im Gebäude genutzt werden bzw. durch Verluste das System verlassen. Die Systemgrenze ist als Gebäudehülle sichtbar.

Die (End-)Energienutzung hängt massgeblich von den Personen ab, die das Gebäude nutzen, aber auch von der Beschaffenheit und Ausstattung des Gebäudes. Faktoren, wie beispielsweise Raumtemperatur, Wassertemperatur, Helligkeit im Raum, Anzahl der betriebenen Geräte werden von Personen beeinflusst und wirken auf die Nutzung der Endenergie. Wie gut die Gebäudehülle gedämmt ist, wie viele Fenster das Gebäude hat usw. hat einen direkten Einfluss auf die Energieverluste und kann nur bedingt von den Gebäudenutzenden beeinflusst werden. Abbildung zeigt die verschiedenen Faktoren (Systemelemente) die bei einer Bilanzierung berücksichtigt werden.



Abbildung: Faktoren Energieverluste, Energieverbrauch und Energiegewinne

Übergeordnetes Ziel der Lehreinheit

Das Ziel der Lehreinheit ist es, die Energieflüsse im Gebäude einerseits qualitativ und andererseits an exemplarischen Beispielen quantitativ zu erfassen, um sie anschliessend Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I vermitteln zu können.

Struktur und Inhalt der Lehreinheit

Die Lehreinheit besteht aus drei Teilen, welche in je ungefähr zwei Stunden bearbeitet werden können:

1. Energiefluss: von der Primärenergie zur Nutzenergie

- Welche Energiearten und -flüsse gibt es?

- Welche Energieumwandlungen und -transporte sind von der Primärenergie bis zur Heizwärme im Raum nötig?
- Welche Energieträger haben welchen Anteil an der Energieversorgung der Schweiz?
- Wie kann der Heizwärmebedarf berechnet und schematisch dargestellt werden?

2. Energieflüsse im Gebäude

- Welche Energieflüsse sind im Gebäude wie gross?
- Welche Parameter beeinflussen den Endenergiebedarf für Raumwärme?
- Von welchen Faktoren hängt der U-Wert einer Gebäudehülle ab?
- Wie können Sie persönlich den Endenergiebedarf für Raumwärme beeinflussen?

3. Energiefluss Elektrizität

- Welche Faktoren beeinflussen die Stromnutzung?
- Welche Vor- und Nachteile haben die einzelnen Wege in die Stromzukunft?
- Welchen Nutzen haben Energieetiketten?

Im Anhang **Error! Reference source not found.** auf Seite 37 ist das detaillierte Energieflussdiagramm eines Gebäudes gezeigt. Dort werden die Energieflüsse in Form von Pfeilen dargestellt. Die Pfeildicken sind proportional zum Energieverbrauch.

Materialien für das Selbststudium

Die Lehreinheit wurde in einem Skript mit drei Kapiteln und Aufgaben zu jedem Kapitel umgesetzt. Zwischen dem ersten und zweiten Kapitel und nach dem dritten Kapitel ist eine Diskussion mit der Expertin geplant. Die Lehreinheit wurde von Beate Weickgenannt entwickelt. Sie arbeitet am [Institut Nachhaltigkeit und Energie am Bau](#) der Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik der FHNW.

Hintergrundinformationen und Unterrichtsmaterialien für Sekundarstufe I

- Energie Schweiz: Faktenblätter Energie - <https://www.energieschweiz.ch/page/de-ch/unterrichtsthema-energie>
- Lehrmaterial für energieeffiziente Beleuchtung: https://www.ufu.de/wp-content/uploads/2017/06/LED-Lehrmaterial_low.pdf
- srf MySchool: diverse Beiträge zum Thema Energie beispielsweise
 - <https://www.srf.ch/sendungen/myschool/2000-watt-gesellschaft-2>
 - <https://www.srf.ch/sendungen/myschool/die-schweiz-bauen> Folge 1 - Monte Rosa Hütte
- vdf-Verlag: <https://enbau-online.ch/> zu den Themen Energiemanagement, Heizung, Lüftung, Elektrizität, Bautechnik der Gebäudehülle, Bauphysik, Solararchitektur
- Faktorverlag: <https://www.energieschweiz.ch/page/de-ch/fachbuchreihe> zu den Themen Neubau, Erneuerung, Erneuerbare Energien, Gebäudetechnik

4.3. Plastikmüll

Relevanz des Systems

Das System Plastikmüll eignet sich ebenfalls sehr gut für die Erarbeitung des Systemdenkens auf Ebene Sekundarstufe I: Einerseits ist es ein zu 100% von Menschen reguliertes System mit globalen Systemgrenzen, welches die Zugänglichkeit auch für Jugendliche erleichtert und andererseits ist der Bezug zum System (s. Kap. 3.1 «Das System und ich») praktisch tagtäglich durch ein – mehr oder weniger verantwortungsbewusstes – Wegwerfen von Kunststoffverpackungen gegeben.

Auch die weltweite Problematik des nicht sachgerecht entsorgten Plastikmülls ist in den Medien allgegenwärtig und lässt den Systemgedanken augenscheinlich werden. Das Problem wird schnell als solches erkannt und mögliche Massnahmen zur Reduktion des weltweiten Plastikmülls dürften den meisten spontan bekannt sein. Umso komplexer ist jedoch die wissenschaftliche Beleuchtung der Gründe, warum Plastikmüll nicht weniger wird und sich nicht von selber abbaut.

Übergeordnetes Ziel der Lehreinheit

Das Ziel der Lehreinheit ist es, das System «Plastikmüll» einschliesslich seiner Ursachen, Auswirkungen und möglichen Massnahmen mit Hilfe der vier Lernschritte des Systemdenkens selber zu verstehen, um es anschliessend Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I vermitteln zu können.

Struktur und Inhalt der Lehreinheit

Die Lehreinheit besteht aus drei Teilen, welche in je ungefähr zwei Stunden bearbeitet werden können und folgende inhaltliche und didaktische Schwerpunkte setzen:

Im ersten Teil werden nebst dem Vorstellen der verschiedenen Kunststoff-Klassen vor allem die Herstellungsverfahren mit Fokus auf die Problematik des Abfallwesens erklärt. Hierbei eignet sich entweder eine klassische Vorlesung oder ein Lernvideo. Das Ziel dieser ersten Untereinheit ist es, dass die Studierenden wissen, wie Kunststoffe hergestellt werden und warum diese herstellungsbedingt eben nicht organisch abbaubar sind. Mit einer Präsentation einer Studie über die Herkunft des weltweiten Plastikmülls sollen die Studierenden auf den nächsten Lernschritt des Systemdenkens heranzuführen: Probleme erkennen und beschreiben.

Zahlreiche Eigenschaften → Klassifizierung			
	Thermoplaste	Duroplaste	Elastomere
Modell			
Bsp.			
↑ ↓	Erweichen	Zersetzen	Erweichen
↑ ↓ RT (Raumtemp.)	-	++	~ bis + (abh. Vernetzung)
Sekundärbindungen	Defizient für Eigenschaften	Keine vorhanden	Vorhanden

Primär- & Sekundärbindungen

Primärbindung

- kovalente Bindung zwischen Atomen
- Sehr stark

Sekundärbindung

- Zwischen Molekülketten, weniger stark
- Können abgleiten oder s. auflösen
- Ermöglichen **kristalline Bereiche**

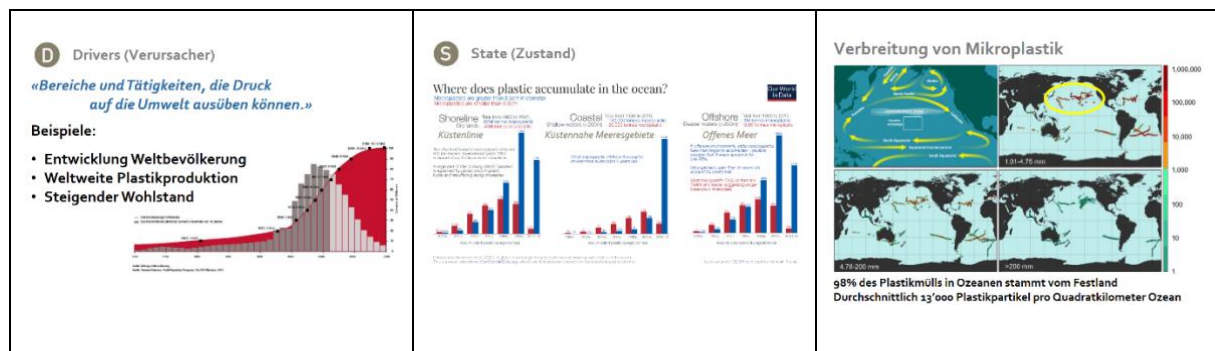
2. Einstellmöglichkeit: Struktur

- Cross-Linking (Vulkanisieren)
- Weichmacher zufügen
- Verzweigungsgrad & -ort kontrollieren

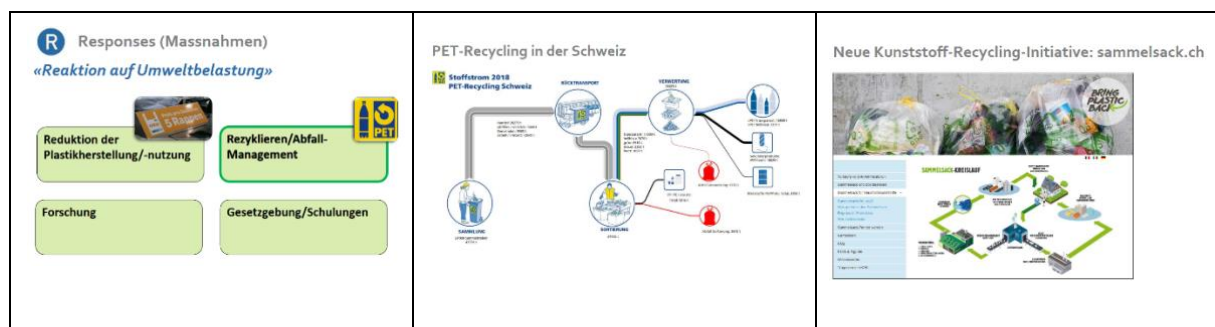
Im zweiten Teil wird vermehrt mit den Konzepten des Systemdenkens gearbeitet (s. Tabelle 1) wie z.B. Wirkungsbeziehungen sowie linearen und exponentiellen Veränderungen. Dabei werden zeitliche Entwicklungen der weltweiten Plastikherstellung dem Wachstum der Weltbevölkerung gegenübergestellt und mit den Studierenden diskutiert. Das System Plastikmüll wird mit dem DPSIR-Modell erarbeitet (vgl. Kapitel 3.3). Die Verschmutzung der Weltmeere durch Plastikmüll kann dabei sehr gut mittels Ursache-

Wirkungsbeziehungen dargestellt werden und mögliche Massnahmen können auf verschiedenen Ebenen besprochen werden.

Als thematisch unabhängiger aber systemtechnisch wichtiger Einschub wird das Web-Tool «Loopy» vorgestellt. Mit diesem rein webbasierten Tool lassen sich Wirkungsbeziehungen mit linearen Veränderungen sowie Rückkopplungen einfach darstellen. Als (komplexes) Beispiel sei hier auf eine mögliche Umsetzung des DPSIR-Modells auf das System «Plastikmüll» hingewiesen: <https://polybox.ethz.ch/index.php/s/wIAe1UMFg1SjK9Q>



Im dritten Teil wird das vorgestellte DPSIR-Modell für das System Plastikmüll mit den Massnahmen (Responses) vervollständigt. Hierbei sollen die Studierenden alleine oder zu zweit mögliche Massnahmen erarbeiten, um den Anteil an Plastikmüll zu reduzieren. Zur Unterstützung gibt es einen Input des Dozierenden zu den möglichen Recycling-Verfahren «PET-Recycling» und «sammelsack.ch». Die Studierenden sollen sich anschliessend selbstständig einen Überblick über diese beiden vorgestellten Massnahmen verschaffen und dabei auch kritische Stimmen (wie z.B. «Das Märchen vom Plastik-Recycling») berücksichtigen.



Materialien für das Selbststudium

Die Lehreinheit mit den drei vorgestellten Untereinheiten enthält drei Präsentationen (digital) mit einzelnen Arbeitsaufträgen und pdf-Dokumente mit Hintergrundinformation. Zwischen dem ersten und zweiten Teil und nach dem dritten Teil ist eine Diskussion mit dem Experten geplant.

Die Lehreinheit wurde von Arne Wahlen entwickelt. Er leitet das Team [Werkstoffwissenschaften](#) am [Institut Produkt- und Produktionsengineering](#) der Hochschule für Technik der FHNW.

Literatur

Referenzen

Bollmann-Zuberbühler, B, Frischknecht-Tobler, U., Kunz, P. (2013). Systemdenken in der BNE. BNE-Konsortium COHEP.

Frischknecht-Tobler, U.; Nagel, U.; Seybold, H. (2008). Systemdenken. Wie Kinder Jugendliche komplexe Systeme verstehen lernen. Zürich.

Hillerbrand, R. (2017). Mensch und Technik. Wer beherrscht wen? Die politische Meinung. Nr. 546, 62. Jahrgang.

Stiftung Zukunftsrat (2018) Allgemeine Didaktik einer Bildung für Nachhaltige Entwicklung. Für Lehrerinnen und Lehrer. Edition Rüegger im Somedia Buchverlag

Basistexte zum Systemdenken:

- O'Connor, Joseph, McDermott, Ian: Die Lösung lauert überall. Systemisches Denken verstehen und nutzen. Kirchzarten bei Freiburg 1998
- Meadows, D. (2008). **Thinking in Systems: A Primer**, Chelsea Green Publishing. ISBN 978-1-60358-055-7.
- Senge, Peter M.: Die fünfte Disziplin. Kunst und Praxis der lernenden Organisation Stuttgart 1996.
- Vester, Frederic: Die Kunst vernetzt zu denken. Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität. Stuttgart 2001

Didaktisch-methodische Unterrichtsideen:

- Bollmann-Zuberbühler, B., Frischknecht-Tobler, U., Kunz, P.; Nagel, U., Wilhem Hamiti, S. (2010). Systemdenken fördern. Systemtraining und Unterrichtsreihen zum vernetzten Denken. 1.-9. Schuljahr. Bern 2010
- Rempfler, Armin; Uphues, Rainer: Systemkompetenz und ihre Förderung im Geographieunterricht. In: Geographie und Schule 189 (2011), S.22-33
- Rieß, Werner: Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) und Förderung des systemischen Denkens. In: Anliegen Natur 35 (2013), S.55-64

Weitere Texte:

- Brand, Frank: Komplexe Systeme. Neue Ansätze und zahlreiche Beispiele. München 2013
- Hölz, Michaela: Der Globetrotter Sustainable Development. Auf den Spuren eines Leitbilds mit der Luhmannschen Systemtheorie als Landkarte. München 2012
- Senge, Peter M.; Smith, Brian; Kruschwitz, Nina; Laur, Joe; Schley, Sara: Die notwendige Revolution. Wie Individuen und Organisationen zusammenarbeiten, um eine nachhaltige Welt zu schaffen. Heidelberg 2011
- Simon, Fritz B.: Einführung in die Systemtheorie des Konflikts. Heidelberg 201

Anhang

Darstellungsformen und Modelle, welche das Systemdenken in *Natur und Technik* fördern können.

A) Mind-Map

Was ist das?

Eine Mind-Map (englisch mind map; auch: Gedanken[land]karte, Gedächtnis[land]karte) beschreibt eine von Tony Buzan geprägte kognitive Technik, die man z. B. zum Erschließen und visuellen Darstellen eines Themengebietes, zum Planen oder für Mitschriften nutzen kann. Hierbei soll das Prinzip der Assoziation helfen, Gedanken frei zu entfalten und die Fähigkeit des Gehirns zur Kategorienbildung zu nutzen. (Wikipedia)

Wozu geeignet, wozu nicht geeignet?

Die Technik des Mind-Mappings hilft, einen Sachverhalt zu strukturieren, zusammenzufassen, zu memorieren und in eine Form zu bringen, die einen schnellen und optisch ansprechenden Überblick ermöglicht. In der ursprünglichen Form sind keine Querverbindungen zwischen den verschiedenen Ästen vorgesehen, auch keine Quantifizierungen der verschiedenen Äste.

Darstellungsweise / wie kann ich vorgehen?

Buzan, der angebliche Erfinder der Mind-Map, schlägt folgende Vorgehensschritte vor:

1. Start in the center with an image of the topic, using at least 3 colors.
2. Use images, symbols, codes, and dimensions throughout your mind map.
3. Select key words and print using upper or lower case letters.
4. Each word/image is best alone and sitting on its own line.
5. The lines should be connected, starting from the central image. The lines become thinner as they radiate out from the center.
6. Use multiple colors throughout the mind map, for visual stimulation and also for encoding or grouping.
7. Develop your own personal style of mind mapping.

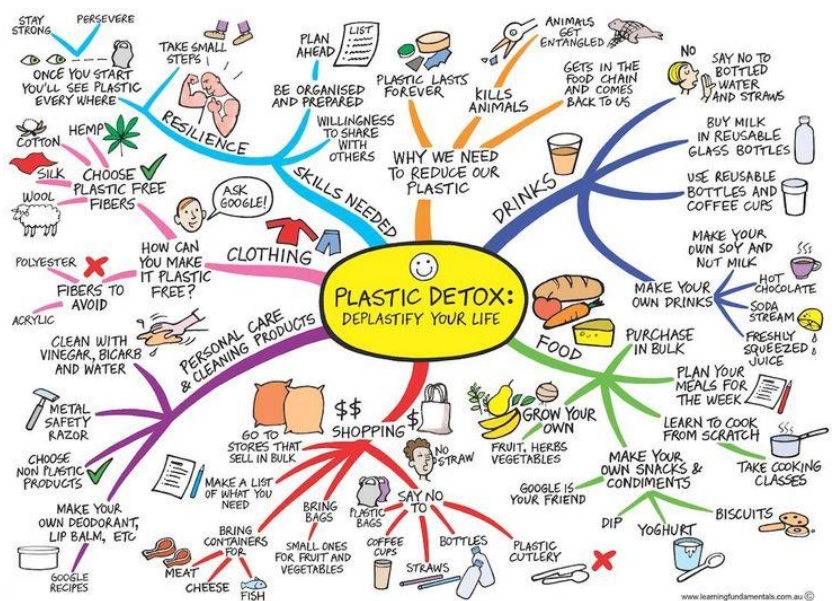


Abbildung rechts: Eine Mind-Map, die Herrn Buzan gefallen würde. Unter folgenden Links finden Sie weitere Beispiele: <https://akademie-fuer-lernmethoden.de/lernmethoden/mindmaps/beispiele/>; <https://www.mindmeister.com/blog/students-guide-to-mind-mapping/>

Digitale Hilfsmittel:

- Mit Microsoft Word oder Microsoft Powerpoint können Mind-Maps erstellt werden, jedoch ist es in vielen Fällen einfacher, zielführender und lernreicher, eine Mind-Map von Hand zu zeichnen.
- Einfache Online-Tools: <https://mind-map-online.de/>; <https://www.meisterlabs.com>

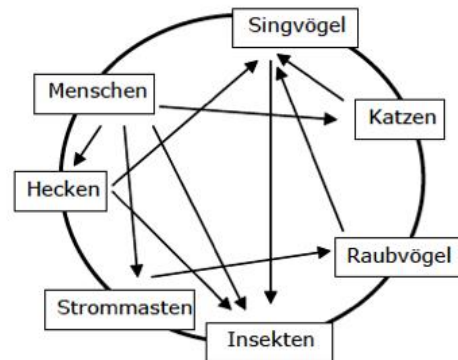
B) Vernetzungskreis

Was ist das?

Der Vernetzungskreis ist ein Werkzeug, um Beziehungen in einem System sichtbar zu machen.

Wozu geeignet?

Aus Vernetzungskreisen kann man ersehen, von welchen Elementen Wirkungen ausgehen und welche Elemente in erster Linie Ziel von Wirkungen sind. Weiter lassen sich auch einfache Rückkoppelungen herauslesen.



Darstellungsweise

Aus einer Problemschilderung werden 5-10 Elemente herausgesucht, welche die folgenden drei Kriterien erfüllen:

- ✓ Sie sind wichtig für Veränderungen im System
- ✓ Es sind Nomen
- ✓ Sie werden im Verlauf der Zeit grösser oder kleiner / mehr oder weniger.

Diese Elemente werden in einem Kreis angeordnet. Nun werden Elemente mit Pfeilen verbunden, die miteinander in Beziehung stehen. Und zwar vom verursachenden Element zum Element, auf das die Wirkung ausgeübt wird. Die Verbindung zwischen den beiden Elementen muss direkt sein.

Auswertung

Zur Auswertung eignen sich folgende Fragen und Überlegungen:

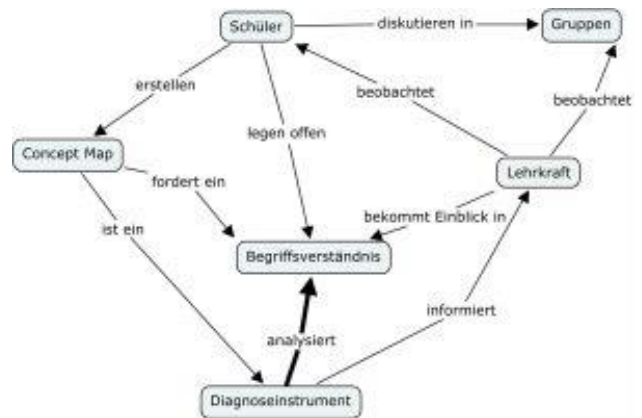
- Welche Elemente haben viele Pfeile, die darauf hinführen oder davon weggehen?
→ Ein Element mit vielen Pfeilen ist vermutlich ein wichtiges Element im System.
- Was bedeutet es, wenn ein Element viele Pfeile hat, die von ihm ausgehen?
→ Das heisst, dieses Element ist Ursache vieler Veränderungen, es scheint wichtig zu sein.
- Was bedeutet es, wenn ein Element keine Pfeile hat, die zu ihm hinführen?
→ Das heisst, dieses Element wird nicht verändert.
- Was bedeutet es, wenn ein Weg von Pfeilen wieder zurück zu dem Element führt, mit dem man angefangen hat?
→ Das deutet auf eine Rückkoppelung hin. Jeder geschlossene Kreis ist ein Rückkoppelungskreis.
- Was bedeutet es, wenn Elemente eines Vernetzungskreises zu mehr als einem Rückkoppelungskreis gehören?
→ Diese Elemente könnten Schlüsselfaktoren sein.

Quelle: Skript Kunz, P. und Bollmann et al. (2010)

C) Concept-Map

Was ist das? (Wikipedia)

Eine Concept-Map ist die Visualisierung von Begriffen (Concepts) und ihren Zusammenhängen in Form eines Netzes. Sie ist ein Mittel zur graphischen Darstellung von Informationen und ein Mittel der Gedankenordnung und -reflexion. Im Gegensatz zum Vernetzungskreis deuten die Pfeile die Leserichtung (und nicht Ursache-Wirkung) an und sie sind beschriftet. Zu unterscheiden ist die Concept-Map ausserdem von der Mind-Map, die eine Baumstruktur und kein Netz aufweist. Die Elemente der Darstellung sind Rechtecke, Pfeile und Pfeilbeschriftungen. Die *Rechtecke* repräsentieren Begriffe. Die *Pfeile* zwischen den Begriffen symbolisieren die Beziehungen zwischen den Begriffen. Die *Pfeilbeschriftungen* spezifizieren die Art der Beziehung; die Pfeilspitze legt die Leserichtung fest. Die Beziehung kann statisch (besteht aus, d. h., z. B., entspricht, ist, ähnelt, ein Teil von) oder dynamisch sein (führt zu, durch, verändert, hat zum Ziel, bewirkt, beeinflusst, spricht für, erhöht, verringert). (Wikipedia)



Wozu geeignet, wozu nicht geeignet?

Eine Concept-Map kann hilfreich sein, um Beziehungen und auch die zu Grunde liegenden Wirkungszusammenhänge, insbesondere auch Wirkungsketten und -kreisläufe darzustellen. Concept-Maps lassen sich gut aus Sachtexten erstellen, die das Problem oder das System beschreiben. Die Concept-Map bietet eine vereinfachte und visuell gut erfassbare Zusammenfassung der Systemzusammenhänge. Sie kann als Mittel zur aktiven Wissenskonstruktion und als Instrument der Wissensdiagnose (qualitativ und quantitativ) dienen. Für die Erstellung einer Concept-Map muss genügend Zeit eingeplant werden. Die Methode muss mit den SuS geübt werden.

Darstellungsweise / Wie kann ich vorgehen?

Der Visualisierungsprozess lässt sich als kognitiver Prozess in vier Schritten beschreiben. In diesen vier Schritten wird das (mentale) Konzept eines Gegenstandes oder Sachverhaltes, in eine (reale) Graphik externalisiert und damit sichtbar. Die Schritte sind: Reduktion, Strukturierung, Visualisierung und Elaboration. Mehr zu den vier Schritten: <https://de.wikipedia.org/wiki/Concept-Map>

Hier finden Sie eine Anleitung für die Einführung der Concept-Map-Methode im Unterricht:

https://web.fhnw.ch/plattformen/hattie-wiki/w/images/Concept_Maps_im_Unterricht_einsetzen.pdf

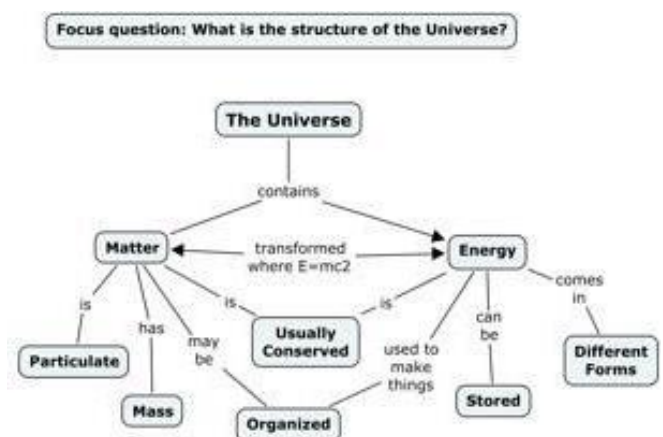
In vielen Concept-Maps werden die Pfeile nicht konsequent gezeichnet, siehe Beispiel unten. Die Leserichtung ist dann nicht eindeutig.

Digitales Hilfsmittel:

Cmap ist eines der bekanntesten Concept Map Tools. Es kann auf dem eigenen Rechner oder in einer Cloud auf einem Browser genutzt werden. Die kostenlosen Produkte können unter folgendem Link heruntergeladen werden:

<https://cmap.ihmc.us/products/>

Abbildung: eine Concept-Map mit Cmap dargestellt.



D) Wirkungsdiagramm

Wirkungsdiagramme (qualitativ):

Was ist das?

Ein Wirkungsdiagramm beschreibt die qualitativen Zusammenhänge von relevanten Systemelementen in einem System.

Wozu geeignet?

Ein Wirkungsdiagramm erlaubt Aussagen über die Gesamtwechselwirkungen in einem System.

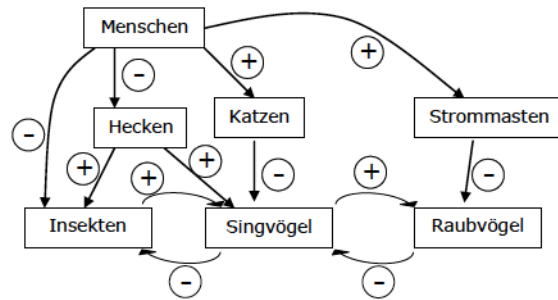
Darstellungsweise

Die einzelnen Systemelemente werden in einem Kasten (= "Knoten") dargestellt.

Die Kausalzusammenhänge sind Pfeile.

Die Pfeile weisen der Ursache eine Wirkung zu:

- + über dem Pfeil symbolisiert gleichgerichteten, verstärkenden Zusammenhang:
Je mehr A, desto mehr B;
Je weniger A, desto weniger B
- über dem Pfeil symbolisiert gegensätzlichen, ausgleichenden Zusammenhang:
Je mehr A, desto weniger B
Je weniger A, desto mehr B



Quelle: Skript Kunz, P. und Bollmann et al. (2010)

Digitale Hilfsmittel:

Loopy ist ein einfaches online Tool zur Erstellung von Wirkungsdiagrammen, mit dem auch die Dynamik des Systems bis zu einem gewissen Grad simuliert werden kann: <https://ncase.me/loopy/>

E) Umweltbelastungen mit dem DPSIR-Modell analysieren

Was ist das?

Umweltbelastungen, ihre Ursachen und Folgen können mit dem DPSIR-Modell analysiert und übersichtlich dargestellt werden. Das Modell eignet sich um Wirkungsketten in einem Mensch-Umwelt-Technik -system schrittweise zu entwickeln und zu verstehen. Im Folgenden sind die fünf Schritte am Beispiel der Mikroverunreinigungen im Gewässer illustriert:

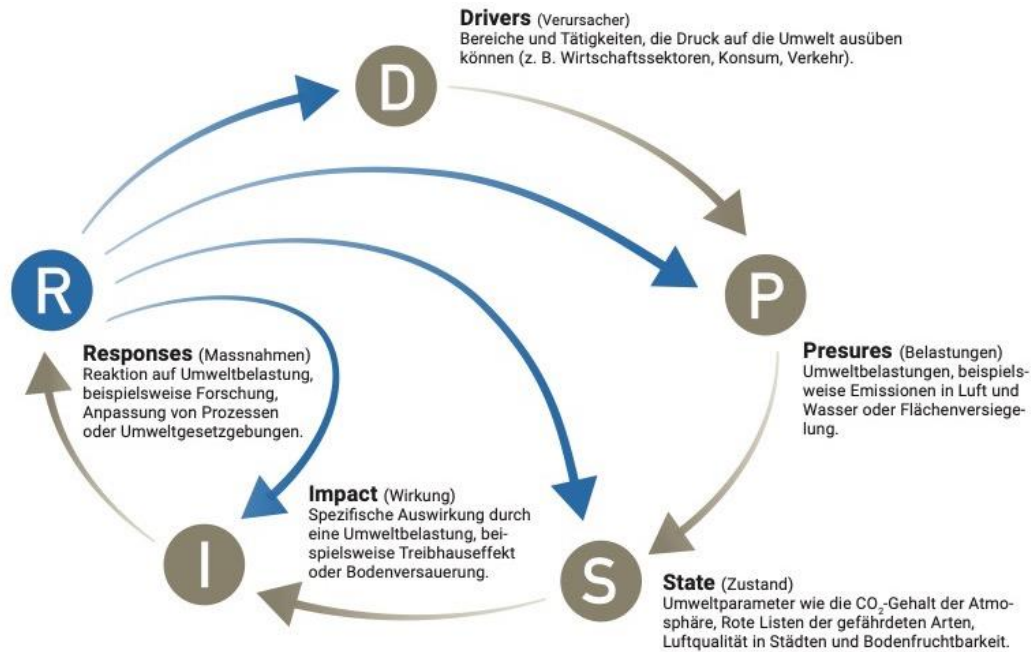
- 1) Verursachende (**Drivers**): Wer produziert, konsumiert und verwendet Produkte, die in Gewässer Mikroverunreinigungen verursachen?
- 2) Belastungen (**Pressures**): Auf welchen Wegen gelangen die Mikroverunreinigungen ins Abwasser und in die Gewässer?
- 3) Zustand (**State**): Welche Konzentrationen von welchen Mikroverunreinigungen werden in den Gewässern gemessen?
- 4) Auswirkungen (**Impact**): Welche Auswirkungen haben die Konzentrationen auf Tiere und Pflanzen?
- 5) Massnahmen (**Responses**) auf verschiedenen Ebenen: Welche Massnahmen können die Verursachenden ergreifen? Welche Massnahmen können gegen die «Verbreitung» der Mikroverunreinigungen ergriffen werden? Welche Massnahmen können den aktuellen Zustand der Umwelt verbessern? Wie können wir uns und die Tiere vor den Auswirkungen schützen?

Wozu geeignet, wozu nicht geeignet?

Das DPSIR-Modell eignet sich für klassische Umweltbelastungen und deren systematische Analyse. Je nach Niveau der Klasse, kann das Modell vereinfacht werden. Je nach Niveau der Klasse kann das Modell vereinfacht werden: Die Faktoren «Belastungen» und «Zustand» können zusammengefasst werden zu «Umweltbelastung». Wenn das Modell noch stärker vereinfacht werden soll: Verursachende/Ursachen – Wirkung/Problem – Massnahmen.

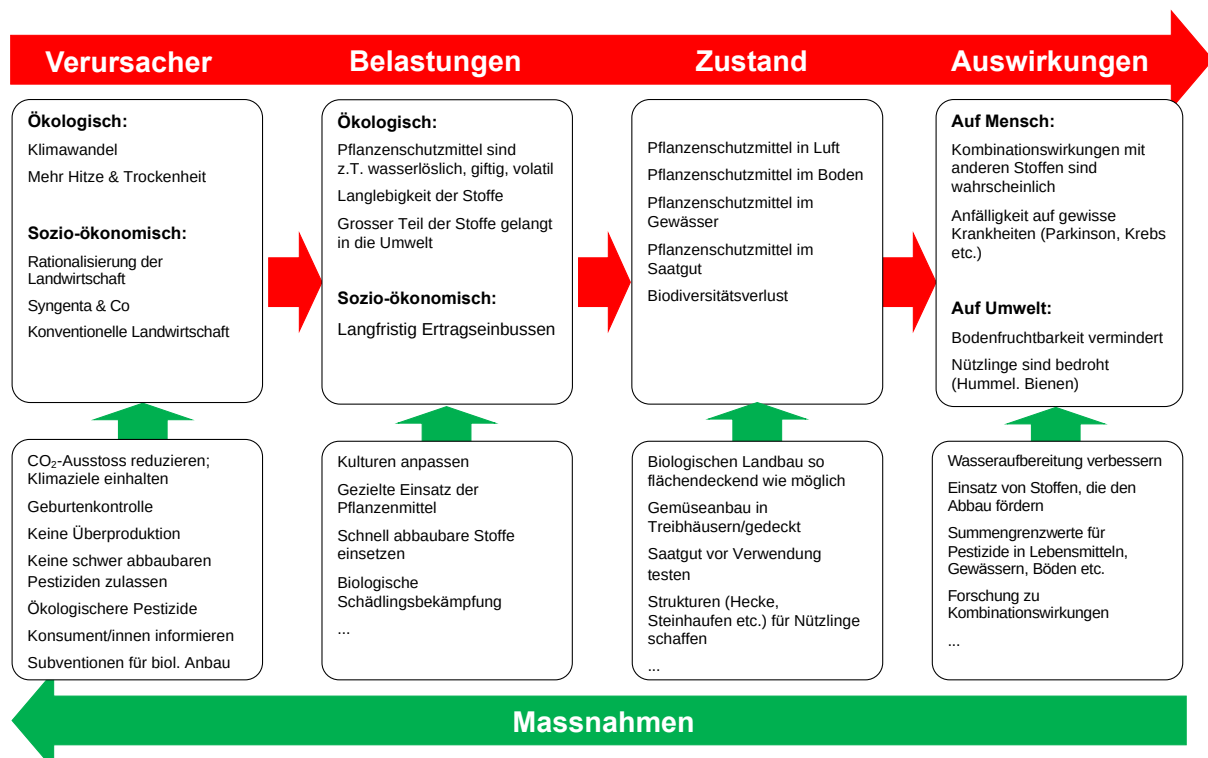
Darstellungsweise / Wie kann ich vorgehen?

Das Modell sollte mit den SuS schrittweise entwickelt und aufgebaut werden. Es lohnt sich, das Modell an der Tafel oder auf Kärtchen aufzuzeichnen und mit Pfeilen zu verbinden.



Das Modell kann unterschiedlich (differenziert) dargestellt werden. In einem Fachdidaktik-Kurs haben wir das untenstehende Modell zum Thema «Pflanzenschutzmittel in der Landwirtschaft» gemeinsam entwickelt.

Umweltbelastung analysieren & Massnahmen entwickeln am Beispiel Pflanzenschutzmittel



F) Wertetabellen & Verlaufsgrafiken

Was ist das?

Tabellarische Zusammenstellung, wie sich ein oder mehrere Systemelemente im Laufe der Zeit verändern.

Wozu geeignet?

Mit Hilfe einer Wertetabelle lässt sich die Dynamik erfassen. Zudem bilden Wertetabellen die Grundlagen zur Erstellung einer quantitativen Verlaufsgrafik.

Darstellungsweise

Tabellarisch: In der linken Spalte wird die Zeit (in Sekunden, Minuten oder aber in Zyklen) aufgeführt. In den Spalten daneben wird pro untersuchtes Element die Veränderung der Anzahl, Häufigkeit etc. angegeben.

Zeit [Jahre]	lebende Luchse [Anzahl]	getötete Luchse [Anzahl]
1	12	2
2	10	2
3	9	3

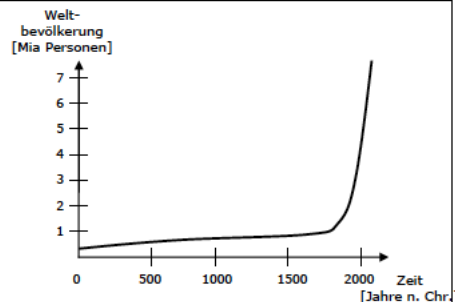
Verlaufsgrafiken

Was ist das?

Verlaufskurven oder in der Fachliteratur auch Behavior Over Time Graphs (BOTG) genannt, stellen die Veränderungen von einem Systemelement **im Laufe der Zeit** dar.

Es lassen sich zwei verschiedene Formen unterscheiden:

a.) rein qualitative Darstellungen ohne skalierte Achsen (soft graphs)



b.) quantitative Darstellungen mit skalierten Achsen auf welchen berechnete Werte genau eingetragen werden können (hard graphs)

Wozu geeignet?

Verlaufsgrafiken sind die einzige einfache Darstellungsform, mit welcher sich die Dynamik rasch und übersichtlich darstellen lässt.

Darstellungsweise

X-Y Koordinatensystem mit der Zeit auf der X-Achse und das darzustellende Systemelement auf der Y-Achse.

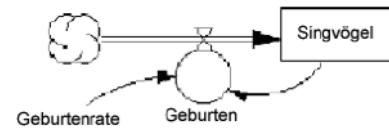
Quelle: Skript Kunz, P. und Bollmann et al. (2010)

G) Flussdiagramme oder Stock-and-Flow Modelle (Energiefluss, Stofffluss etc.)

Flussdiagramme (quantitativ)

Was ist das?

In Wirkungsdiagrammen werden Beziehungen nur qualitativ angegeben. Dadurch ist das Ausmass einer Beziehung über eine längere Wirkungskette mit mehreren Rückkoppelungen schwierig abzuschätzen. Im obigen Beispiel ist der Einfluss des Menschen auf Singvögel nicht leicht herauszulesen. Bei Flussdiagrammen werden im Gegensatz zu Wirkungsdiagrammen verschiedene Typen von Systemelementen unterschieden:



- **Bestandesgrößen (=stock)** haben zu jedem Zeitpunkt einen bestimmten Wert. Dieser kann sich im Laufe der Zeit ändern. im dargestellten Beispiel die Anzahl Singvögel.
- **Flussgrößen (=flow)** beschreiben die Veränderung der Bestandesgrößen pro Zeiteinheit. z.B. Geburten von Singvögeln
- **Hilfsgrößen** schliesslich sind Zusatzgrößen wie Konstanten, welche die Flussgrößen beeinflussen. Im angeführten Beispiel die Geburtenrate.

Wozu geeignet?

Flussdiagramme ermöglichen es, die Beziehungen (= Fluss) zwischen einzelnen Elementen zu quantifizieren. Somit bilden Flussdiagramme die Basis von Gleichungen und somit von mathematischen Modellen, mit welchen ein System simuliert werden kann.

Darstellungsweise

	Startpunkt (source) oder Endpunkt (sink) des dargestellten des Gesamtflusses
	Pfeile drücken den Fluss von Größen aus.
	Rechtecke stellen Bestandesgrößen dar.
	Kreise an Fließpfeilen sind Flussgrößen
	Texte mit oder ohne Kreisen werden für Hilfsgrößen verwendet.
Geburtenrate	

Quelle: Skript Kunz, P. und Bollmann et al. (2010)

Eine spezielle Form der Flussdiagramme sind die Energieflussdiagramme:

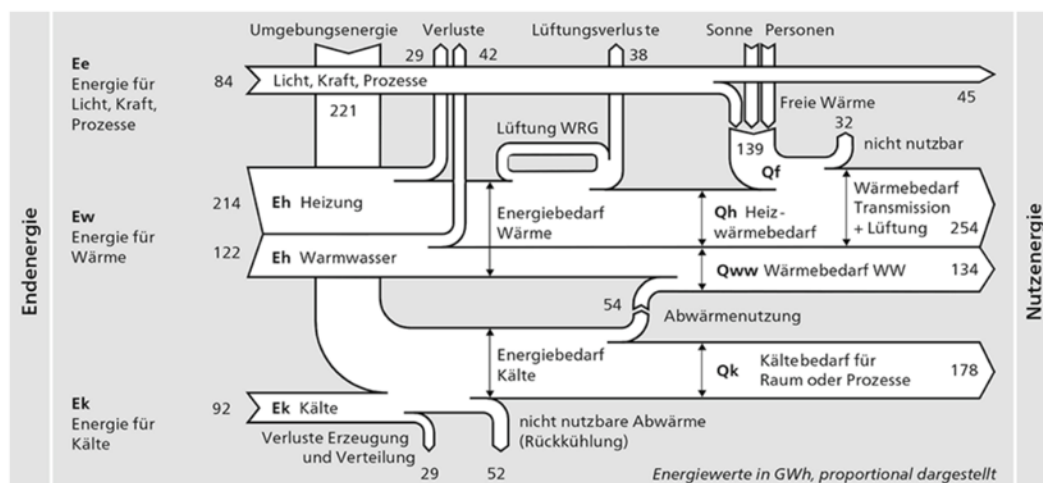


Abb. 44: Energieflussdiagramm für ein Gebäude mit Kühlung, angelehnt an Norm SIA 380/1 (2007)

Merkblatt Energiekonzept, Stadt Zürich 2011

Quelle: <https://enbau-online.ch/energiemanagement/9-2-erfassen-der-aktuellen-situation/>

H) Ökobilanzen (Lebenszyklusanalysen, LCA etc.)

Was ist das?

- Die Ökobilanz ist ein Werkzeug zur Abschätzung der mit einem Produkt verbundenen Umwelteinwirkungen.
- Die Ökobilanz berücksichtigt den ganzen Lebenszyklus eines Produkts von der Wiege bis zur Bahre (from cradle to grave). Sie heisst deshalb auch Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Analysis, LCA).
- Die Ökobilanz vergleicht die Produkte anhand ihres erbrachten Nutzens (Bsp. nicht 1 kg Verpackung, sondern 1 Stück Verpackung mit bestimmten Fassungsvermögen)
- Ökobilanzen liefern keine Entscheide, aber Entscheidungsgrundlagen.
- Die Ökobilanz ist eine standardisierte Methode und liefert quantitative Ergebnisse.



Wozu geeignet, wozu nicht geeignet?

Ökobilanzen helfen in erster Linie Unternehmen, ihre Prozesse ökologisch zu optimieren. Sie können aber auch uns allen bei Konsumententscheidungen helfen. Das Problem vieler Ökobilanzen ist, dass sie komplex sind und auf vielen Annahmen beruhen. Die Aussagekraft der Bilanz ist nicht einfach abzuschätzen und sie bezieht nur selten auch wirtschaftliche und soziale Kriterien mit ein, die gerade bei Konsumententscheidungen auch sehr wichtig sind.

Folgendes ist zu beachten:

- Ökobilanzen können zu überraschenden Ergebnissen führen. Verbreitete Clichés (natürlich=umweltfreundlich) treffen nicht immer zu.
- Bei der Beurteilung von Ökobilanzen muss man kritisch sein. Welche Annahmen wurden gemacht? Wer war der Auftraggeber? Welche Systemgrenzen wurden gesetzt?
- Ökobilanzen berücksichtigen zwar keine finanziellen Aspekte, aber umweltfreundliche Massnahmen und verbessertes Ökodesign können auch wirtschaftlich rentabel sein

Darstellungsweise / Wie kann ich vorgehen?

Eine vollständige Ökobilanz umfasst die folgenden Elemente:

- Definition von Ziel und Untersuchungsrahmen bzw. Systemgrenzen
 - Sachbilanz mit allen Input- und Output-Daten aus Messungen, Schätzungen oder Berechnungen;
 - Energieinputs, Rohstoffinputs, Betriebsstoff-Inputs, andere physikalische Inputs;
 - Produkte, Koppelprodukte und Abfall;
 - Emissionen in Luft, Wasser und Boden;

- weitere Umweltaspekte.
- Wirkungsabschätzung: Wahl von Wirkungskategorien und Relevanz verschiedener Emissionen für bspw. Energiebedarf, Treibhauseffekt, Abholzung, Ozonloch, Gewässerverschmutzung etc.
- Auswertung

Das Resultat einer Ökobilanz wird oft in Form von Balkendiagrammen dargestellt (vgl. unten). Dabei werden alle einbezogenen Kriterien und die Produkte, die miteinander verglichen werden (hier 1kg Rindfleisch aus verschiedenen Ländern) nebeneinander dargestellt.

Die Kriterien sind aufgrund von Annahmen normiert. Die Systemgrenzen und Annahmen können dem 177-seitigen Bericht der Agroscope entnommen werden:

<https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/themen/umwelt-ressourcen/oekobilanzen/oekobilanz-Anwendungen/oeb-chint.html>

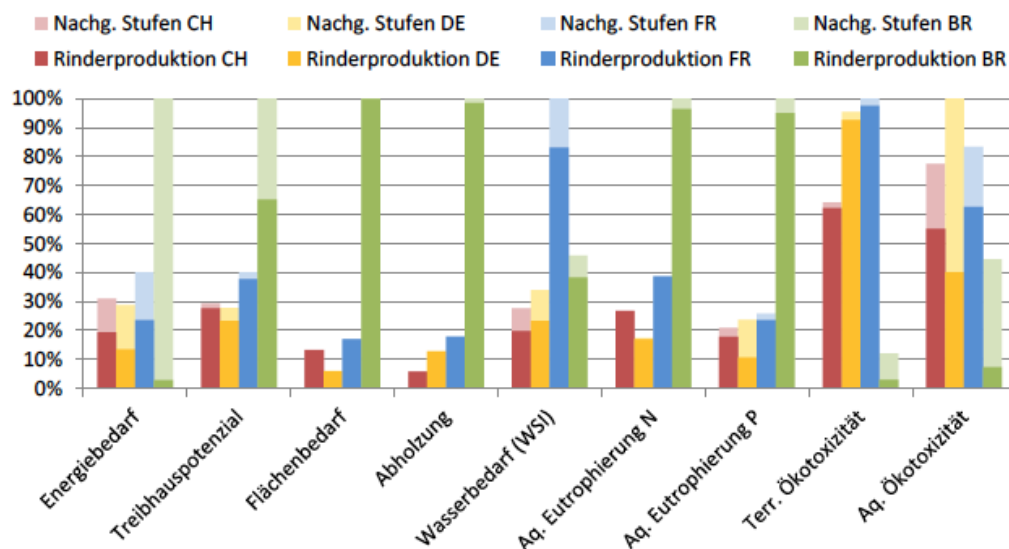


Abbildung 5: Ausgewählte Umweltwirkungen von 1 kg Rindfleisch aus der Schweiz (CH), Deutschland (DE), Frankreich (FR) und Brasilien (BR), ab Verkaufsstelle in der Schweiz. WSI: Wasserstress-Index.

Digitale Hilfsmittel:

- Lehrinheit zur Einführung der Ökobilanz (tertiäre Stufe): <https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/dual/educeth-dam/documents/Unterrichtsmaterialien/geographie/Umweltlehre/Oekobilanz-vortrag-und-lektion/1-lektion-oekobilanz-mit-deckblatt.pdf>
- Ökobilanz verschiedener Konsumprodukte; für WAH-Unterricht sehr gut geeignet: <https://www.clever-konsumieren.ch>