



Unterricht zum Systemdenken am Beispiel des Klimawandels

MAGDALENA, HIMMER

MAGDALENA.HIMMER@APS.SALZBURG.AT

Zusammenfassung

Systemdenken ist eine wichtige Fähigkeit in der heutigen Welt. Aus diesem Grund beschäftigt sich dieses Paper damit, wie der systemische Denkansatz im Physikunterricht bzw. im Unterricht allgemein eingebracht werden kann. Es wird dafür zuerst der Systembegriff definiert und erklärt, was allgemein unter Systemdenken verstanden wird. Weiters werden am Beispiel des Klimawandels physikrelevante Systeme (Treibhauseffekt, Albedo-Effekt, Meeresströmungen) vorgestellt. Zum Abschluss werden Concept-Maps und Bewegungsspiele als konkrete Methoden für den Einsatz im Unterricht beschrieben.

1 Warum Unterricht zum Systemdenken

Systemdenken ist ein ganzheitlicher Ansatz um komplexe Systeme aus der echten Welt mit Fokus auf die dynamischen Zusammenhänge zwischen den Komponenten und auf die Muster und Verhaltensweisen, die aus diesen Beziehungen hervorgehen, zu untersuchen. In unserer immer komplexer werdenden Welt ist die Fähigkeit komplexe Zusammenhänge zu erkennen und zu verstehen essenziell. Das Verständnis von derartigen komplexen Systemen ist jedoch für Menschen nicht intuitiv, sondern sogar mitunter das Gegenteil. Systemteile werden oft als isoliert und statisch betrachtet, zeitliche und räumliche Größenordnungen werden ignoriert.

Es ist also notwendig, den Schülerinnen und Schülern das dafür notwendige geistige Werkzeug mitzugeben. Damit dies im Unterricht erfolgreich bewerkstelligt werden kann, muss Systemdenken explizit gelehrt bzw. gelernt werden (York, 2019). Dieses Paper beschäftigt sich damit, wie Lernenden im Rahmen des Physikunterrichts das Denken in und über Systeme am Beispiel des Klimawandels nähergebracht werden kann. Dafür wird zu Beginn eine Einführung in den Systembegriff und das Systemdenken im Allgemeinen gegeben, bevor in den nachfolgenden Kapiteln vernetzte Themen des Klimawandels im Physikunterricht und praktische Methoden für den Unterricht beleuchtet werden.

2 Der Systembegriff

Das Wort „System“ stammt ursprünglich aus dem Griechischen (*systema*) und bezeichnet dort ein „aus mehreren Teilen zusammengesetztes Ganzes“ (DWDS, 2023).

Der Begriff findet in vielen verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen, z. B. in den Naturwissenschaften (Nervensystem, Teilchensystem, Klimasystem, ...), in den Wirtschaftswissenschaften

(verschiedene Wirtschaftssysteme, Handelssystem, ...) oder auch in der Technik (Signalsysteme, Regelungssysteme, ...) Verwendung. Es gibt daher verschiedene, fachspezifische Definitionen, die jedoch in einer Grundaussage übereinstimmen: ein System ist eine Einheit, die ihre Existenz und Funktion als Ganzes, durch die Wechselwirkung ihrer Teile aufrechterhält. Diese über Ursache-und-Wirkungs-Beziehungen verbundenen Teile müssen einen bestimmten Zweck erfüllen und es müssen alle Teile vorhanden sein, damit das System funktionieren kann (vgl. Assaraf & Orion, 2005, S. 519/520).

Bossel (2004) bezeichnet ein materielles oder immaterielles Objekt dann als System, wenn es folgende Eigenschaften besitzt:

„1. Das Objekt erfüllt eine bestimmte Funktion, d. h. es lässt sich durch einen Systemzweck definieren, den wir als Beobachter in ihm erkennen.

2. Das Objekt besteht aus einer bestimmten Konstellation von Systemelementen und Wirkungsverknüpfungen (Relation, Struktur), die seine Funktionen bestimmen.

3. Das Objekt verliert seine Systemidentität, wenn seine Systemintegrität zerstört wird. Ein System ist daher nicht teilbar, d. h. es existieren Elemente und Relationen in diesem Objekt, nach deren Herauslösung oder Zerstörung der ursprüngliche Systemzweck nicht mehr erfüllt werden kann: Die Systemidentität hätte sich verändert oder wäre gänzlich zerstört.“ (Bossel, 2004, S. 35)

Arndt (2017) fügt dem noch hinzu, dass Systeme eine Grenze nach außen aufweisen und aus Subsystemen, also Elementen, die selbst wieder ein System bilden, bestehen können.

Nach Zapf et al. (2019) besteht zwischen zwei Elementen eines Systems (oder Teilsystemen)

eine Wechselwirkung, wenn eine Änderung des ersten Elements eine Änderung des zweiten Elements hervorruft. Diese Wechselwirkungen können linear (-> können also durch einen linearen Zusammenhang beschrieben werden) oder nichtlinear sein.

Ein Schreibtisch ist nach dieser Definition ein System: er hat einen Systemzweck (Arbeits-/Ablagefläche), besteht aus mehreren Teilen, die miteinander in Wechselbeziehung stehen (Tischbeine, Tischplatte) und das Entfernen von bestimmten Elementen (z. B. der Tischplatte) würde zum Verlust der Systemidentität führen. Im Gegensatz dazu wäre ein Steinhaufler kein System, da dieser zwar einen Zweck haben kann (Lagerung von Steinen) und aus mehreren Elementen besteht (verschiedene Steine), diese jedoch nicht über Wechselwirkungen miteinander in Verbindung stehen. Weiters kann man von dem Steinhaufler Steine entnehmen, ohne dass der Funktionszweck verloren geht.

Arten von Systemen

Systeme können in offen/abgeschlossen und einfach/komplex unterteilt werden.

Offene Systeme zeichnen sich dadurch aus, dass sie Wechselwirkungen über ihre Systemgrenzen hinaus mit ihrer Umwelt haben. Abgeschlossene Systeme haben keine Wechselwirkungen mit Elementen außerhalb ihrer Systemgrenze (Zapf et al., 2019).

Für die Einteilung von Systemen in einfach und komplex können drei Kategorien zu Hilfe gezogen werden:

- die Anzahl der Teilsysteme/Elemente
- der Vernetzungsgrad (= Anzahl der Wechselwirkungen zwischen Teilsystemen/Elementen)
- die Art der Wechselwirkung – komplex (z. B. nichtlinear) oder einfach (z. B. linear).

Ein komplexes System liegt anhand dieser Kategorien vor, wenn es mindestens zwei der folgenden Eigenschaften aufweist:

- es kann nur mittels einer großen Zahl (>10) von Elementen oder Teilsystemen beschrieben werden
- es weist einen hohen Vernetzungsgrad auf und
- die Wechselwirkungen sind als komplex einzustufen.

Ein einfaches System weist maximal eine dieser Eigenschaften auf. (vgl. Zapf et al., 2019, S. 5).

Als komplexes System wäre z. B. das Klimasystem einzustufen. Dieses besteht aus Teilsystemen (Atmosphäre, Hydrosphäre, Kryosphäre, Lithosphäre/Pedosphäre, Biosphäre), die einen hohen Vernetzungsgrad aufweisen und durch komplexe Wechselwirkungen miteinander verbunden sind.

Ein Beispiel für ein einfaches System wäre ein ideales Gas in einem abgeschlossenen Volumen. Es besteht zwar aus sehr vielen Teilchen (Teilsystemen), allerdings ist der Vernetzungsgrad der Teilchen gering und die Wechselwirkungen zwischen den Teilchen (elastische Stöße) sind einfach. Das System kann durch ein physikalisches Modell ausreichend genau beschrieben werden (Zapf et al., 2019).

2.1 Systemisches Denken

Ein stark verbreiteter Ansatz zum Lösen von komplexen Problemen ist das analytische Denken. Dabei wird das Problem in seine Einzelteile zerlegt, wodurch diese unabhängig voneinander leichter gelöst werden können. Für viele Herausforderungen der heutigen Zeit, die eine dynamische Komplexität aufweisen, ist dies jedoch nicht mehr zielführend und kann zu suboptimalen Entscheidungen führen. Dies liegt daran, dass ein System, wie in der vorhergehenden Definition beschrieben, erst durch das Zusammenspiel seiner einzelnen Elemente seine Identität erlangt, also ein System mehr ist als die Summe seiner Teile. Es ist daher notwendig die Elemente eines Systems anhand ihres Verhaltens zueinander zu analysieren (Arndt, 2017).

Das systemische Denken umfasst laut Ossimitz (2000) vier zentrale Dimensionen: vernetztes Denken, dynamisches Denken, Denken in Modellen und systemgerechtes Handeln.

Vernetztes Denken erfordert die Fähigkeit, sowohl direkte als auch indirekte Wirkungen zu erkennen, Rückkopplungsschleifen zu identifizieren und komplexe Netzwerke von Wirkungsbeziehungen zu verstehen.

Zum dynamischen Denken gehören verschiedene Fähigkeiten im Umgang mit dem zeitlichen Verhalten von Systemzuständen, wie die Erkennung von Eigendynamiken, Identifikation zukünftiger Entwicklungen, das Erkennen langfristiger Wirkungen und das Verstehen charakteristischer zeitlicher Muster in komplexen Systemen.

Denken in Modellen bedeutet, sich bewusst zu sein, dass Modelle vereinfachte Abbildungen der Realität sind, die mit unterschiedlichen Prämissen arbeiten. Ossimitz (2000) betont, dass verschiedene Modelle nicht grundsätzlich "richtig"

oder "falsch" sind, sondern unterschiedliche Vereinfachungen darstellen. Zudem sollte bei der Übertragung von Modellerkenntnissen auf die Realität die Reduzierung von Komplexität berücksichtigt werden. Die Fähigkeit, Modelle zu erstellen, ist ebenfalls ein Aspekt des Denkens in Modellen.

Systemgerechtes Handeln beschreibt die Fähigkeit, bewusste und reflektierte Entscheidungen zur Steuerung von Systemen oder zur Lösung komplexer Herausforderungen zu treffen. (vgl. Ossimitz, 2000, S.52)

3 Systeme im Physikunterricht am Beispiel des Klimawandels

Der Systemansatz beim Lernen führt dazu, dass die Schüler und Schülerinnen den Lernprozess aktiv gestalten, den Stoff ganzheitlicher erfassen, bessere Fragen stellen und in der Lage sind, mehr Zusammenhänge zwischen den Konzepten innerhalb eines Fachgebiets und zwischen Fachgebieten (-> fächerübergreifend) herzustellen (York, 2019).

Im Physikunterricht findet sich der Klimawandel thematisch im Lehrplan unter dem Kompetenzbereich „Wetter und Klima“ wieder. Dabei sollen mit Hilfe von Experimenten die verschiedenen Formen der thermischen Energieübertragung untersucht und ihre Bedeutung für die Klimaproblematik diskutiert werden. Weiters sollen Maßnahmen zur Einhaltung aktueller Klimaschutzziele auf persönlicher, regionaler und globaler Ebene eingeordnet werden können und die Lernenden sollen ihre Umsetzungsmöglichkeiten diskutieren. (vgl. BMBWF, 2023, S. 5)

Sucht man nun konkrete Beispiele, welche die oben genannten Voraussetzungen erfüllen und systemisches Denken erfordern, bieten sich der Treibhauseffekt und der Albedo-Effekt zur Wärmestrahlung und die Auswirkungen des Klimawandels auf die globalen Meeresströmungen zur Wärmeströmung an. In den folgenden Absätzen werden die einzelnen Effekte und ihre Zusammenhänge kurz beschrieben.

3.1 Der Treibhauseffekt

Der Treibhauseffekt beschreibt die Erwärmung der Atmosphäre. Kurzwellige Sonnenstrahlung durchdringt die Atmosphäre nahezu ungehindert bis zur Erdoberfläche, während langwellige terrestrische Strahlung z. B. von Wasserdampf- und Kohlendioxidmolekülen absorbiert und in Wärme umgewandelt wird (s. Abbildung 1). Dies führt zu einer Anhebung der globalen Mitteltemperatur in Bodennähe um 33°C auf +15°C im Vergleich zu

-18°C ohne Atmosphäre. Der natürliche Treibhauseffekt ermöglichte erst das Leben auf der Erde (Spektrum, a.D.-b).

Der anthropogene Treibhauseffekt resultiert aus der Freisetzung von klimawirksamen Treibhausgasen durch menschliche Aktivitäten, wie z. B. von Kohlenstoffdioxid bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern (Erdöl, Erdgas, Braun- und Steinkohle, ...) in Kraftwerken und Kraftfahrzeugen oder Methan in der Landwirtschaft. Weitere, durch menschliche Aktivitäten verstärkt produzierte, klimawirksame Gase sind Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), Chlorfluormethane (CFM), Distickstoffoxid (N_2O) und troposphärisches Ozon. Diese führen zu einer verstärkten Erwärmung der bodennahen Luftschichten, was unter anderem eine Zunahme von Extremwetterereignissen wie Hitzewellen, Starkniederschlägen und Dürren zur Folge hat (BMUV, 2021; Spektrum, o.D.-b).

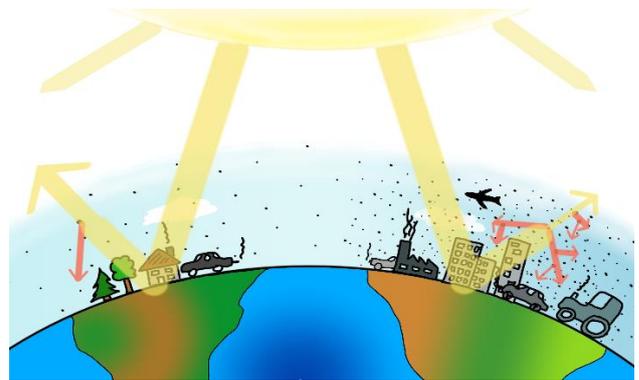


Abb. 1 Menschliche Aktivitäten verstärken den natürlichen Treibhauseffekt. Durch die verstärkte Abgabe von klimawirksamen Gasen, welche sich in der Atmosphäre anreichern, wird weniger Energie wieder an den Weltraum abgegeben. gelbe Pfeile – auftreffende/reflektierte Strahlung, rote Pfeile – Wärmestrahlung, die auf der Erde verbleibt (Eigene Abbildung, 2024)

3.2 Der Albedo Effekt

Der Begriff „Albedo“ beschreibt das Reflexionsvermögen einer Fläche, indem er den Anteil an reflektierter Strahlung bei Einwirkung auf eine Fläche angibt, die weder selbst leuchtet noch spiegelt. Die Albedo hängt von der Art und Beschaffenheit der bestrahlten Fläche sowie dem Spektralbereich der einfallenden Strahlung ab. Die Albedo von Neuschnee liegt zwischen 75-95%, was bedeutet, dass fast die gesamte Sonnenstrahlung reflektiert wird. Im Gegensatz dazu hat tiefes Wasser zeitweise (je nach Sonnenstand) nur eine Albedo von 3-10%, es nimmt also so gut wie die gesamte Strahlung auf (siehe Abb. 2) (Spektrum, o.D.-b).

Dies ist besonders relevant in Hinblick auf das Schmelzen des Eises an den Polkappen. Hier kommt es im Zuge des Klimawandels zu einer positiven Rückkopplung: Durch die Klimaerwärmung schmilzt das Eis an den Polen und dunkles Wasser und dunkler Boden werden frei gelegt. Der dunkle Untergrund nimmt nun wiederum wesentlich mehr Sonnenstrahlung auf und wandelt sie in Wärme um als zuvor der helle, schneebedeckte Untergrund. Dadurch kommt es zu einer weiteren Verschiebung des Strahlungshaushalts der Erde, was die Erwärmung vorantreibt, wodurch das Eis immer schneller schmilzt. Dies führt dort zu einer überproportionalen Erwärmung des arktischen Klimas, was einen positiven Rückkopplungseffekt auslöst (Gschnaller et al., 2016).

Ein weiterer Effekt der sinkenden Albedo im Bereich der Antarktis ist das Auftauen von Permafrostböden, wodurch große Mengen von zuvor im Boden gespeicherten Methan frei werden. Methan wiederum ist, wie unter Punkt 3.1 beschrieben, ein Treibhausgas und befeuert somit zusätzlich die Erwärmung durch den Treibhaus-effekt (Gschnaller et al., 2016).

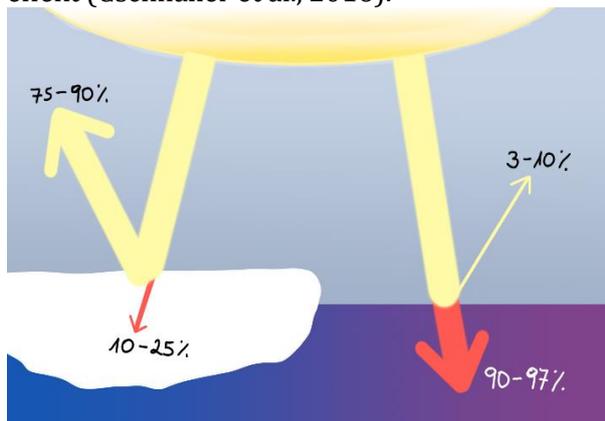


Abb. 2 Helle Oberflächen wie Schnee und Eis reflektieren den größten Teil der Strahlung, während dunkle Böden und Meeresoberflächen einen Großteil absorbieren und sich dadurch aufheizen. gelbe Pfeile – ein- und reflektierte Strahlung, rote Pfeile – absorbierte Strahlung (Eigene Abbildung, 2024)

Das Abschmelzen des arktischen Meereises wird daher als eines der »Kippelemente« der globalen Erwärmung betrachtet. Diese Elemente des Erdsystems können durch den von Menschen verursachten Ausstoß von Treibhausgasen und darauffolgende selbstverstärkende Prozesse mehr oder weniger abrupt in einen neuen, oft unumkehrbaren Zustand übergehen. Da es bereits bei einer sehr geringen Erwärmung aus dem Gleichgewicht kommt, gilt das arktische Meereis als das sensibelste Kippelement. Gleichzeitig wird

es jedoch auch als reversibel angenommen. Im Gegensatz dazu gilt die durch das Auftauen der methanspeichernden Böden ausgelöste Rückkopplung als irreversibel und ist auch ein Grund, warum sich die Weltgemeinschaft auf eine Begrenzung der Erwärmung auf 2°C geeinigt hat (Gschnaller et al., 2016).

3.3 Veränderung der globalen Meeresströmungen

Meeresströmungen wirken hauptsächlich auf zwei Arten auf das Klima ein: Zum einen sind sie ein effektives Wärmetransportmittel, das über die erwärmten Wassermassen Auswirkungen auf lokale Wetterbedingungen hat. Zum anderen sorgen sie für einen horizontalen Austausch zwischen den Wasserschichten und unterstützen so die Fähigkeit der Ozeane CO₂ zu speichern (Fahrbach, 2013).

Die Treiber dieser Strömungen sind Winde, die Erdrotation und die Wasserzirkulation aufgrund von Salz- und Temperaturunterschieden („Thermohaline Zirkulation“). Wenn Wasser abkühlt oder die Salzkonzentration steigt (z. B. durch Verdunstung oder das Erstarren von Wasser zu Eis), erhöht sich seine Dichte. Kaltes, salzreiches Wasser neigt daher dazu, aufgrund seiner höheren Dichte abzusinken. Dies führt zu einem Anstieg des Wasserdrucks in den tieferen Schichten des Ozeans im Vergleich zu den Bereichen, in denen das wärmere und weniger dichte Wasser aufsteigt.

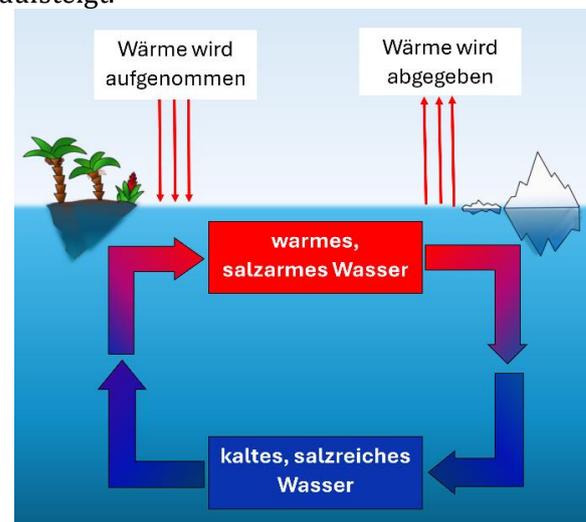


Abb. 3 Die thermohaline Zirkulation des Meerwassers ist ein Treiber der globalen Meeresströmungen. Sie wird durch Temperatur- und Salzgehaltunterschiede des Wassers angetrieben. Kaltes, salzreiches Wasser hat eine höhere Dichte als warmes, salzarmes Wasser und sinkt daher nach unten, während warmes, salzarmes Wasser aufsteigt. (Eigene Darstellung, 2023)

Das Wasser strömt nun in der Tiefe von Bereichen mit hohem Wasserdruck zu Bereichen mit niedrigem Wasserdruck. Auf seinem Weg wird es erwärmt und der Salzgehalt verringert sich, wodurch es schlussendlich wieder nach oben steigt und an der Oberfläche wieder zurück in die kälteren Bereiche fließt (s. Abbildung 3) (Fahrbach, 2013). Dieser Gradient treibt z. B. den Golfstrom an: in den nördlichen Breiten der Labrador- und der Grönlandsee sinken sehr kalte, salzreiche Wassermassen nach unten und strömen südwärts während als Ausgleichsbewegung warmes Wasser aus den Tropen über den Atlantik in Richtung Europa fließt (Franck, 2020).

Wird das Wasser nun im Bereich der Arktis durch den Klimawandel immer stärker erwärmt (s. Albedo-Effekt) und der Salzgehalt durch das Abschmelzen des zuvor in Eis gebundenen Wassers verringert, sinkt der Dichtegradient und damit auch der Antrieb für die Strömung (Franck, 2020).

4 Praxis

In diesem Kapitel werden nun Methoden aufgezeigt, mit Hilfe derer Systemdenken im Unterricht integriert werden kann. Dabei werden zuerst Concept-Maps und ihre Einsatzmöglichkeiten vorgestellt und im Anschluss drei Bewegungsspiele beschrieben, die es den Schülerinnen und Schülern ermöglichen, das Verhalten und die Analyse von Systemen hautnah zu erleben.

4.1 Concept-Maps

Eine Concept-Map besteht aus Knoten, die Konzepte repräsentieren, und beschrifteten Verbindungen.

ungen, die die Beziehungen zwischen den Konzepten darstellen. Die Benennung der Verbindungen unterscheidet sie von der Mind-Map, bei der die Beziehungen zwischen den Begriffen nicht spezifiziert werden. Außerdem baut sich die Concept-Map meist nicht um einen einzigen, zentralen Begriff auf, wie es in Mind-Maps üblich ist (siehe Abb. 4) (Stangl, 2023).

Concept-Maps können auf unterschiedliche Weisen im Unterricht eingesetzt werden. Lernende können sie z. B. mit unterschiedlich starker Unterstützung durch Scaffolding (= Hilfestellungen z. B. in Form von vorgegebenen Konzepten und Beziehungen) selbstständig erstellen, fehlerhafte Concept-Maps berichtigen bzw. unvollständige vervollständigen oder mit Hilfe von vollständig ausgearbeiteten Experten-Maps lernen (Hilbert, 2008).

Welche der oben genannten Varianten den größten Lernerfolg bringt, ist noch nicht vollständig geklärt. Chang, Sung & Chen (2001) untersuchten den Unterschied hinsichtlich des Lernerfolgs bei der vollkommen eigenständigen Erstellung einer Concept-Map und der Vervollständigung einer teilweise vorgegebenen Map. Beiden Untersuchungsgruppen wurde im Zuge der Bearbeitung Feedback zur Verfügung gestellt. Es stellte sich heraus, dass die Lernenden am meisten von der Arbeit mit der teilweise vorgegebenen Concept-Map profitierten.

Hilbert & Nückles (2008) dagegen kamen in ihrer Studie zu dem Ergebnis, dass den Lernenden nur die Arbeit mit vollständig ausgearbeiteten Concept-Maps einen merklichen Lernerfolg

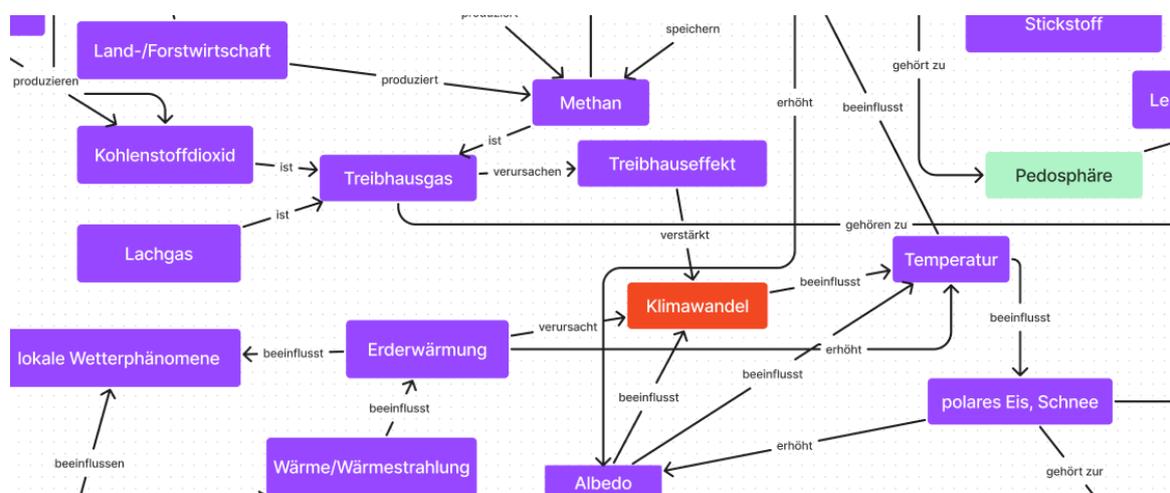


Abb. 4 Ein Ausschnitt aus einer Concept-Map zum Thema Klimawandel, die mit SchülerInnen im Unterricht erstellt wurde. Die vollständige Map kann im Anhang betrachtet werden. Man sieht hier die beschrifteten und gerichteten Verbindungen zwischen den einzelnen Konzepten/Begriffen und das Fehlen eines zentralen Begriffs. (Eigene Darstellung, erstellt auf <https://www.figma.com/>, 2024)

bringt. Sie verglichen die drei Unterstützungsstufen Erstellen, Vervollständigen und Lernen mit Hilfe einer vollständigen Concept-Map.

Die Lernenden erhielten während der Bearbeitung kein Feedback. Hilbert & Nückles (2008) argumentieren, dass die Methoden, bei denen die Lernenden selbstständig tätig sind, das Arbeitsgedächtnis derart fordern, dass keine Kapazität mehr für das tatsächliche Lernen bleibt. Sie merken jedoch auch an, dass sowohl das Vorwissen als auch die gebotene Unterstützung einen großen Unterschied machen könnten. So könnten Feedback (vgl. Chang, 2001) und ein gutes Fundament aus Fachwissen und Erfahrung im Umgang mit Concept-Maps zu verbesserten Lernerfolgen führen.

Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass für Lernende der Unterstufe das selbstständige Erstellen von Concept-Maps vermutlich noch zu schwer und damit nicht zielführend ist. Es sollte daher stattdessen hauptsächlich mit entweder teilweise oder vollständig vorgegebenen Maps gearbeitet werden, um die Lernenden nicht zu überfordern.

4.2 Bewegungsspiele

Bewegungsspiele ermöglichen es körperliche und geistige Aktivität zu verbinden und dadurch Lernprozesse zu fördern (Baader, 2013). In diesem Kapitel werden Spiele vorgestellt, welche die Entwicklung von systemischem Denken unterstützen. Es gibt jedoch noch wesentlich mehr derartige Aktivitäten, die z. B. im „The Systems Thinking Playbook“ von Sweeney und Meadows (2013) nachgelesen oder auf der Webseite von umweltbildung.at eingesehen werden können.

4.2.1 Mittendrin

Das Ziel dieses Spiels ist es ein Gefühl für Wechselwirkungen in einem System zu erhalten und zu erkennen, dass die Veränderung eines Parameters Auswirkungen auf das gesamte System haben kann. Die Lernenden erfahren dabei direkt die dynamische Natur von offenen Systemen.

Es werden dafür mindestens 10 Personen, ca. 20 Minuten Zeit, ein großer, offener Raum und Nummern zum Umhängen für die Teilnehmer und Teilnehmerinnen benötigt. Ein Teil der Beteiligten agiert als aktiver Bestandteil des Systems, der Rest fungiert als Beobachter.

Anleitung nach Frischknecht-Tobler (2010):

„1. Wähle dir zwei Personen im Kreis aus, ohne ihnen dies mitzuteilen, und merke dir ihre Nummer.“

2. Bewege dich so, dass du immer den gleichen Abstand zwischen den beiden ausgewählten Personen behältst. Das heißt nicht, dass du immer in der Mitte zwischen den beiden sein musst. (Hier sollte mit drei SchülerInnen kurz demonstriert werden, was alles mit «gleichem Abstand» gemeint sein kann.)

Auf «Los» beginnen sich die Teilnehmenden zu bewegen. Jede Bewegung löst viele weitere Bewegungen aus und das in einer aktiven, voneinander abhängigen Art.“

Nach der Bewegungsphase ist die Auswertung des Erlebten/Beobachteten wichtig. Frischknecht-Tobler schlägt als erste Phase folgende Reflexionsfragen vor:

- *„Was hast du in der Übung erfahren?“*
- *Was geschah, wenn du versucht hast, immer den gleichen Abstand von x und y zu haben?“*
- *Was hast du für eine Strategie angewendet, um den Überblick zu bewahren?“*

In einer zweiten Phase der Auswertung werden die Beziehungen im gespielten System an der Tafel sichtbar gemacht. Dies kann z. B. ein erster Schritt in Richtung der Arbeit mit Concept-Maps sein. Die Zahlen der Teilnehmenden werden um einen großen, gezeichneten Kreis an die Tafel geschrieben. Anschließend verbinden die Lernenden mit jeweils einer eigenen Farbe ihre Zahl mit Pfeilen mit den Zahlen der von ihnen gewählten Personen. Um das entstandene, komplizierte Gesamtbild zu durchdringen, werden konkrete Wechselwirkungen für einige Beispiele nachvollzogen („2 bewegte sich, wenn 10 in Bewegung kam, 10 bewegte sich, wenn 5 in Bewegung kam, ...“). Jede Schülerin und jeder Schüler soll die von ihr oder ihm ausgehende Wirkungskette nachvollziehen und den anderen aufzeigen.

Mögliche weiterführende Fragen nach Frischknecht-Tobler (2010) wären:

- *„Was fällt euch auf bei dieser Zeichnung? (z. B. je mehr Elemente (jeder Spielende ist ein Element), desto komplizierter wird alles, verschiedene Anzahl Verbindungen bei den Nummern ...)*
- *Was bedeutet es, wenn viele Pfeile von einer Zahl ausgehen? (Diese Spieler und Spielerinnen haben mehr Bewegung ausgelöst.)*
- *Was heißt es, wenn keine Pfeile von einer Zahl ausgehen? (Diese Teilnehmenden*

konnten sich bewegen, ohne andere in ihrer Bewegung zu verändern, waren aber dennoch eingebunden ins System durch die Wahl, die sie getroffen hatten.)“

Variation 1 - Systemzusammenbruch:

Es wird eine neue Regel eingeführt: Wenn die Lehrperson während des Spiels jemandem auf die Schulter tippt, spielt dieser oder diese weiter, zählt aber gleichzeitig leise und langsam bis 5. Bei 5 geht er oder sie in die Hocke und spielt nicht mehr mit. Jede Spielteilnehmerin und jeder Spielteilnehmer, die von der Person in der Hocke abhängt, muss nun ebenfalls in die Hocke gehen, bis letzten Endes niemand mehr steht. Diese Variante soll erlebbar machen, wie ein System immer rascher kollabieren kann (Frischknecht-Tobler, 2010).

Variation 2 – Rettungsaktion:

Für diese Variante muss im Vorhinein geklärt worden sein, wer mit wem in Beziehung steht. Wie bei Variation 1 zählt die angetippte Person bis 5, bevor sie in die Hocke geht. Dieses Mal zählt sie jedoch laut. Dadurch kann sie von einer der beiden Personen, von der sie abhängt, durch erneutes Antippen, „gerettet“ werden und weiterspielen (Frischknecht-Tobler, 2010).

4.2.2 Kreise in der Luft

Dieses Spiel zielt darauf ab, dass die SchülerInnen erkennen, dass es verschiedene Sichtweisen auf ein System gibt.

Das Spiel ist sehr einfach im Unterricht durchzuführen, da es wenig Platz, Material und Zeit braucht und das Ergebnis trotzdem erstaunlich ist.

Benötigt wird nur ein Stift oder ein ähnliches Objekt, das in der Hand gehalten werden kann. Mit diesem werden nun, mit einem nach oben, über den Kopf, ausgestreckten Arm, Kreise im Uhrzeigersinn gezogen (s. Abbildung 5).

Der Stift wird dann langsam vor dem Körper nach unten gebracht, während weiter Kreise gezogen werden. Der Stift bleibt dabei aufrecht. Dies wird durchgeführt, bis man auf den Stift hinunterschauen kann.

Nun wird die Richtung, in die die Kreise mit dem Stift gezogen werden, noch einmal evaluiert. Es stellt sich heraus, dass der Stift sich nun gegen den Uhrzeigersinn bewegt, ohne dass mit der Hand die Richtung gewechselt wurde (Sweeney & Meadows, 1995). Es ist wichtig, dass auf eine korrekte Durchführung geachtet wird, da ansonsten der gewünschte Effekt ausbleibt.

Erfahrungsgemäß wird bei den Durchführenden zuerst Unglauben und Verwirrung herrschen,

die durch wiederholte Durchführung bzw. Überwachung der Durchführung durch eine zweite Person in Erstaunen übergehen sollte.

Aufgrund des anregenden Charakters des Spiels eignet es sich gut als Start in eine Stunde, in der auf die verschiedenen Perspektiven (Wirtschaft, Menschen in reichen/armen Ländern, Tiere, ...) auf den Klimawandel eingegangen werden soll (hier bietet sich eine Verbindung mit z. B. Geografie und Biologie an) (Bollmann-Zuberbühler et al., 2010).

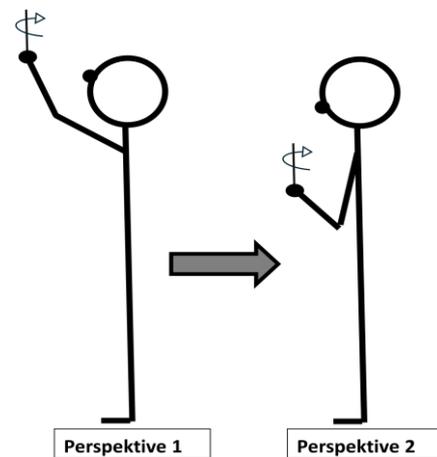


Abb. 5 Der Stift scheint von Perspektive 1 zu Perspektive 2 die Drehrichtung zu wechseln. Dies liegt daran, dass man den Stift zuerst von unten (Schaft zu Spitze) und dann von oben (Spitze zu Schaft) ansieht. (Eigene Darstellung, 2024)

4.2.3 Lawinentanz

Der „Lawinentanz“ ist ein Spiel, mit dem den SchülerInnen der Unterschied zwischen linearem und exponentiellem Wachstum vor Augen geführt werden soll. Er eignet sich daher z. B. auch als Veranschaulichung beim Thema Radioaktivität oder im Mathematikunterricht. Zusätzlich kann das Ergebnis graphisch dargestellt und interpretiert werden.

Man braucht für dieses Spiel mindestens 16 Teilnehmende, genug Platz für einen Sesselkreis, eine Möglichkeit Musik abzuspielen und, je nach Umfang der Auswertung, ca. 20 bis 40 Minuten Zeit.

Das Spiel startet damit, dass die ganze Klasse, bis auf eine Person, im Sesselkreis sitzt. Die Lehrkraft spielt Musik ab und eine Person marschiert um den Kreis herum (der oder die Tanzende). Wenn die Lehrkraft die Musik nach wenigen Takten unterbricht, holt die Person außerhalb des Kreises eine weitere Person aus dem Kreis zu sich.

Von hier an unterscheidet sich der Ablauf je nachdem, ob lineares oder exponentielles Wachstum nachgespielt werden soll:

Version 1: Lineares Wachstum

Bei jedem Musikstopp holen die Tanzenden gemeinsam **eine einzige** Person aus dem Kreis zu sich.

Version 2: Exponentielles Wachstum

Hier holt bei der Unterbrechung der Musik **jeder oder jeder** Tanzende **eine neue** Person aus dem Kreis.

Für die Auswertung ist es sinnvoll, dass die Runden, die es dauert, bis alle Sitzenden aus dem Kreis zu den Tanzenden gewechselt sind, gezählt werden. Damit können dann nämlich die beiden Versionen miteinander verglichen werden, bzw. weitergedacht werden (z. B.: Wie lange würde es jeweils dauern bis alle SchülerInnen der Schule tanzen?) und die Ergebnisse können, wie z.B. in Abbildung 6 gezeigt, graphisch aufgearbeitet werden (Bollmann-Zuberbühler et al., 2010).

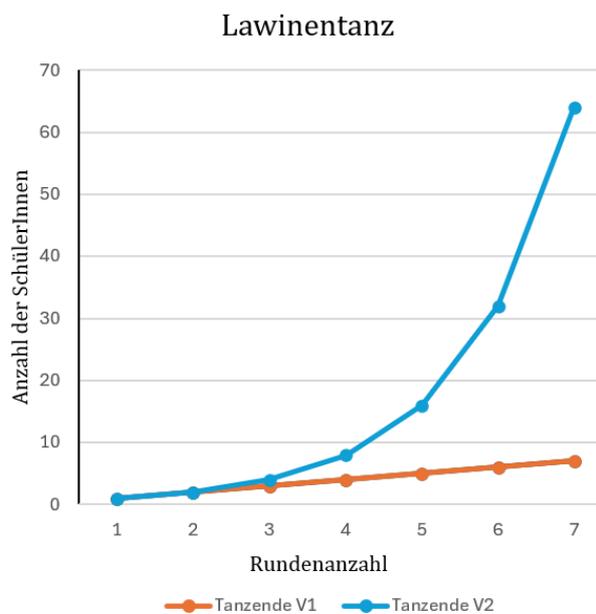


Abb. 6 Graphische Auswertung des Lawinentanzes. Bereits nach fünf Runden zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen der Variante 1 (lineares Wachstum) und Variante 2 (exponentielles Wachstum). Bei Variante 2 ist das Spiel in einer Klasse (je nach Klassengröße) spätestens nach sechs Runden zu Ende, da nicht mehr genügend sitzende Teilnehmer vorhanden sind. Die Anzahl der Tanzenden wurde daher für die siebte Runde nach dem Muster, das sich vorher ergeben hat, weitergerechnet.

(Eigene Darstellung, erstellt in Excel, 2024)

5 Fazit

Das Denken in und über Systemen ist eine wichtige Fähigkeit in der heutigen Zeit und sollte daher auch in der Schule nicht zu kurz kommen. Der Physikunterricht bietet hierfür gute Möglichkeiten, um z.B. anhand des Beispiels „Klimawandel“ systemisches Denken zu lehren, am besten in Zusammenarbeit mit anderen Fachgebieten.

Als Methode eignen sich hierfür z. B. Concept-Maps, die von den Lernenden in unterschiedlichen Schwierigkeitsstufen er- bzw. bearbeitet werden können. Es ist hierbei darauf zu achten, dass den Lernenden angemessene Unterstützung zur Verfügung gestellt wird, um Überforderung zu vermeiden. Weitere Unterrichtsmethoden sind Bewegungsspiele, die es den Lernenden ermöglichen das Verhalten von Systemen mit allen Sinnen zu erleben. Wichtig ist hier die Nachbereitung, bei der das Erlebte besprochen und systemisches Denken noch einmal konkret gefördert wird.

6 Literatur

- Arndt, H. (2017). *Systemisches Denken im Fachunterricht*. Erlangen:FAU University Press
- Baader, A., Schlesinger, I., Albert, G. (2013). *Bewegung fördert Lernprozesse*. In DGUV (Hrsg.) Lernen und Gesundheit, Bewegung im Unterricht. Universum: Wiesbaden
- Assaraf, B. & Orpaz, I. (2005). *Development of system thinking skills in the context of Earth System education*. Journal of Research in Science Teaching. DOI:10.1002/tea.20061
- BMUV (2021). *Das Klimasystem der Erde und der Klimawandel*. <https://www.umwelt-im-unterricht.de/hintergrund/das-klimasystem-der-erde-und-der-klimawandel>
- Bollmann-Zuberbühler, B., Frischknecht-Tobler, U., Kunz, P., Nagel, U., Wilhelm Hamiti, S. (2010). *Systemdenken fördern. Systemtraining und Unterrichtsreihen zum vernetzten Denken. 1.-9. Schuljahr*. Bern: Schulverl. Plus. Abgerufen von: https://www.umweltbildung.at/wp-content/uploads/2021/03/Polonaise_Lawinentanz.pdf und https://www.umweltbildung.at/wp-content/uploads/2021/03/Kreise_in_der_Luft.pdf am 27.12.2023
- Bossel, H. (2004). *Systeme, Dynamik, Simulation: Modellbildung, Analyse und Simulation komplexer Systeme*. Nordstedt.
- Chang, K.-E., Sung, Y.-T., & Chen, S.-F. (2001). *Learning through computer-based concept mapping with scaffolding aid*. Journal of Computer Assisted Learning. JCAL 17(1), 21-33. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2001.00156.x>
- Fahrbach, E. (2013). *Meeresströmungen und Wassermassen*. In: J. Lozán, G. Graßl, L. Karbe, K. Reise (Hrsg.): Warnsignal Klima: Die Meere - Änderungen & Risiken (25-31). Hamburg: Wissenschaftliche Auswertungen.
- Franck, A. (2020). *Der Golfstrom im Klimawandel*. Planet Wissen. Abgerufen von <https://www.planet-wissen.de/natur/klima/klimawandel/golfstrom-klimawandel-100.html> am 26.12.2023
- Frischknecht-Tobler, U. (2010). *Mittendrin*. In Systemdenken fördern. Systemtraining und Unterrichtsreihen zum vernetzten Denken. 1.-9. Schuljahr (1. Auflage). Bern:

- Schulverlag plus. Abgerufen von: <https://www.umweltbildung.at/wp-content/uploads/2021/03/Mittendrin.pdf>, am 02.01.2024
- Gschnaller, S., Lippelt, J., von Schickfus, M., Bohland, M. (2016). *Kurz zum Klima: Die Arktis als Getriebene und Treiberin des Klimawandels*. ifo Schnelldienst, 69(10). 65-70. ISSN 0018-974X
- Hilbert, T. & Nückles, M. (2008). *Concept Mapping for Learning from Text: Evidence for a Worked-Out-Map-Effect*. Conference for the Learning Sciences, Utrecht, Niederlande. <https://www.researchgate.net/publication/220934647>
- DWDS (o.D.). System, das. <https://www.dwds.de/wb/System>, am 26.12.2023
- Spektrum (o.D. -a) *Lexikon der Geographie: Albedo*. <https://www.spektrum.de/lexikon/geographie/albedo/241>, am 27.12.2023
- Spektrum (o.D. -b) *Lexikon der Geographie: Treibhauseffekt*. <https://www.spektrum.de/lexikon/geographie/treibhauseffekt/8245>, am 27.12.2023
- Ossimitz, G. (2000). *Entwicklung systemischen Denkens*. München: Profil
- Stangl, W. (2023). *Concept Mapping*. <https://lexikon.stangl.eu/713/concept-mapping>
- Sweeney, L., Meadows, D. (1995). *The Systems Thinking Playbook*. USA: Chelsea Green
- York, S., Lavi, R., Dori, Y., Orgill, M. (2019). *Applications of Systems Thinking in STEM Education*. Journal of Chemical Education, 96, 2742–2751. DOI: 10.1021/acs.jchemed.9b00261
- Zapf, M., Pengg, H., Bütler, T., Bach, C., Weindl, C. (2019). *Kosteneffiziente und nachhaltige Automobile – Bewertung der realen Klimabelastung und der Gesamtkosten – Heute und in der Zukunft*. Wiesbaden: Springer Vieweg