

## Special Issue

# Professionalisierung von Lehrpersonen für die Umsetzung von Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE)

## Research-Based Report of Practice

# Systemdenken in Natur und Technik fördern – SystemMINT

Karin Güdel<sup>1</sup>, Swaantje Brinkmann<sup>1</sup>

Received: May 2023 / Accepted: September 2023

### Structured Abstract

**Hintergrund:** Für eine Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE) bildet das Systemdenken eine wichtige Grundlage, da Nachhaltigkeitsthemen meist mehrperspektivisch und komplex sind. Das Systemdenken bietet Konzepte und Werkzeuge im Umgang mit Komplexität und ist in verschiedenen Disziplinen verwurzelt. Praxisbeispiele zur Förderung von Systemdenken auf Sekundarstufe I finden sich für verschiedene Fachbereiche, jedoch oft nicht mit einem expliziten Fokus auf die Ziele einer BNE. Vor allem in der naturwissenschaftlich-technischen Bildung werden selten qualitative Modellierungsansätze verwendet, um Systeme zu beschreiben, Prognosen zu treffen und Handlungsmöglichkeiten zu beurteilen. Die Naturwissenschaftler:innen sind mit den quantitativen Modellierungsansätzen vertrauter, stossen auf der Zielstufe (Sekundarstufe I) aber an ihre Grenzen, insbesondere wenn der Mensch als Teil des Systems einbezogen werden soll.

**Ziel:** Das Ziel des in diesem Beitrag vorgestellten Projektes «SystemMINT» war es, die Systemkompetenzen von angehenden Lehrpersonen der Sekundarstufe I zu fördern und sie gleichzeitig dazu zu befähigen, Systemkompetenzen der Lernenden in Natur und Technik (NT) zu fördern, zu begleiten und zu evaluieren. Anhand von drei Durchführungen und Evaluationen einer stetig weiterentwickelten Lehreinheit in der Ausbildung von Lehrpersonen wurde vier Fragen nachgegangen:

- Welche Vorstellungen von Systemdenken haben angehende Sekundarlehrpersonen vor und nach einer Lehreinheit zu einem Mensch-Umwelt-Technik-System?
- Wie stark ist das Interesse und die Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf das Systemdenken ausgeprägt und wie verändern sich die beiden Grössen durch die Lehreinheit?
- Wie wird die Lehreinheit in Bezug auf Interessantheit, Lernzuwachs, Praxisnutzen eingeschätzt?
- Und wie wird der persönliche Lernfortschritt in Bezug auf die Systemkompetenzen eingeschätzt?

**Rahmen:** Ein interdisziplinäres Team der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) hat während der letzten fünf Jahre im Rahmen des PGB Netzwerkes MINT-Bildung Schweiz den Ansatz des Systemdenkens in der Ausbildung von Sekundarstufe I-Lehrpersonen erprobt und evaluiert. In der Ausbildung der Sekundarlehrpersonen erfolgte dies zusammen mit Fachexpert:innen anderer Hochschulen anhand von drei konkreten Themen «Plastikmüll», «Energie im Gebäude» und «Mikroverunreinigungen im Gewässer» mit insgesamt 92 Studierenden. Während den ersten drei Jahren (2018-2020) wurden in einer Vor- und Nachbefragung unter anderem Vorstellungen zum Systemdenken, das Interesse am Systemdenken, die Selbstwirksamkeitserwartung im Zusammenhang mit wichtigen Konzepten des Systemdenkens und die Einschätzung der Relevanz von Systemdenken in der Praxis erhoben. Die Ergebnisse der Befragungen dienten der Optimierung der Lehreinheit.

**Keywords:** *Systemdenken, Systemkompetenzen, BNE, Natur und Technik (NT)*

---

<sup>1</sup>Pädagogische Hochschule Fachhochschule Nordwestschweiz PH FHNW  
✉ karin.guedel@fhnw.ch

# Promoting Systems Thinking in Science and Technology - SystemMINT

## Structured Abstract

**Background:** Systems thinking is a crucial foundation for Education for Sustainable Development (ESD) as sustainability issues often involve multiperspectival and complex considerations. Systems thinking provides concepts and tools for dealing with complexity and is rooted in various disciplines. While practical examples for promoting systems thinking at the secondary level (Sekundarstufe I) can be found across different subject areas, they often lack an explicit focus on ESD goals. Particularly within the domain of science and technology education, qualitative modeling approaches to describe systems, make predictions, and assess potential actions are seldom employed. Natural scientists are more accustomed to quantitative modeling approaches, but they encounter limitations, especially when trying to incorporate the human element into the system.

**Objective:** The aim of the project "SystemMINT" (MINT stands for STEM in English), presented in this paper, was to enhance the systems thinking competencies of prospective secondary-level teachers while simultaneously equipping them to promote, guide, and assess students' systems thinking abilities in the context of science and technology. Through three implementations and evaluations of a continually evolving teaching unit within teacher education, four questions were explored:

- What conceptions of systems thinking do prospective secondary-level teachers hold before and after a teaching unit on a human-environment-technology system?
- To what extent is interest and self-efficacy in relation to systems thinking developed, and how do these factors change as a result of the teaching unit?
- How is the teaching unit perceived in terms of interest, learning gains, and practical utility?
- How is personal progress in developing systems competencies assessed?

**Framework:** An interdisciplinary team from the University of Applied Sciences Northwestern Switzerland (FHNW), as part of the PgB Network STEM Education Switzerland, has tested and evaluated the intervention with systems thinking in the training of secondary-level teachers over the past five years. This was conducted in collaboration with subject matter experts from other universities and involved 92 students. The training addressed three specific topics: "Plastic Waste," "Energy in Buildings," and "Micropollutants in Water." During the initial three years (2018-2020), pre- and post-surveys were conducted, assessing conceptions of systems thinking, interest in systems thinking, self-efficacy expectations related to key concepts of systems thinking, and perceptions of the practical relevance of systems thinking. The survey results were used to optimize the teaching unit.

**Keywords:** *Systems thinking, Systems competencies, ESD, Science and Technology.*

## 1 Einleitung

Im interdisziplinären Fachbereich «Natur und Technik – mit Biologie, Chemie und Physik» (NT) der Sekundarstufe I der Schweiz stehen die Anliegen und Ziele einer Bildung für Nachhaltige Entwicklung nicht an oberster Stelle, obwohl der Lehrplan 21 (D-EDK) anspruchsvolle Ziele im Zusammenhang mit Nachhaltigkeit setzt, unter anderem in den Kompetenzbereichen NT 1.3, 3.3, 9.3. Eine Ursache dafür sehen die Autorinnen in der Diskrepanz zwischen den Zielsetzungen und Arbeitsweisen der Naturwissenschaften und Technik und einer BNE. Imboden (2008) schreibt in seinem Buch «Um [die] Welt beschreiben und analysieren zu können, haben [Naturwissenschaftler:innen] im Laufe der Jahrhunderte eine unglaubliche Fertigkeit darin erlangt, das System «Welt» in immer kleinere Stücke zu unterteilen [...]. 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 Reduktionismus hilft kleine Teile der Welt besser zu verstehen und mit diesem Wissen immer effizientere und auch nachhaltigere Technologien zu entwickeln. Er zielt aber nicht darauf ab, die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Teilen zu analysieren und verstehen. Dazu sind andere Zugänge als die der Naturwissenschaften und Technik notwendig. Die These der Autorinnen ist es, dass das Systemdenken (Arndt, 2017; Bollmann-Zuberbühler, 2010; Meadows, 2008) ein verbindender Ansatz zwischen Naturwissenschaften und BNE sein kann. Mit dem Ansatz des Systemdenkens können unterschiedliche Systeme analysiert werden, die für den naturwissenschaftlich-technischen Unterricht relevant sind:

- Naturwissenschaftliche und technische Systeme, die Schüler:innen von aussen betrachten, verstehen und allenfalls in einer vereinfachten Form (Modell) nachbilden sollen. Beispiele hierfür: Elektromotor, Blutkreislauf, Zelle etc.

- 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: Klimawandel, Ressourcennutzung, Umweltverschmutzung, Energiesystem etc.

Im klassischen, disziplinären Naturwissenschaftsunterricht (Physik, Chemie und Biologie) wurden in den vergangenen Jahrzehnten mehrheitlich naturwissenschaftliche und technische Teilsysteme abgekoppelt voneinander vermittelt. Damit im interdisziplinären Fachbereich «Natur und Technik» auch Kompetenzen einer BNE gefördert werden können, müssen die Systemgrenzen erweitert und Mensch-Umwelt-Technik-Systeme thematisiert werden, in denen der Mensch als Teil des Systems berücksichtigt wird und somit neben den ökologischen auch die sozialen und wirtschaftlichen Aspekte einfließen. Mit solchen Mensch-Umwelt-Technik Systemen können Systemkompetenzen im Sinne von Bollmann-Zuberbühler et al. (2010) gefördert werden. Bollmann-Zuberbühler et al. (2010) definieren Systemkompetenz als 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. Im vorliegenden Artikel wird diese Definition von Systemkompetenz und das Kompetenzmodell von Bollmann-Zuberbühler et al. (2010) als Grundlage verwendet.

## 2 Hintergrund

### 2.1 Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE)

Während der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wuchs das Bewusstsein für Umweltprobleme. Ein Bericht, der dies aufgreift, ist unter anderem die «Agenda 21» der UN-Konferenz 1992 in Rio de Janeiro, in der die Förderung einer Bildung für nachhaltige Entwicklung eigens beschrieben wird (Agenda 21, Kap. 36, S. 329). Erneut bekräftigt wird diese Forderung für die Jahre 2005 – 2014 im Rahmen der Weltdekade «Bildung für nachhaltige Entwicklung» durch die UN. Mit dem anschliessenden von der UNESCO unterstützten fünfjährigen Weltaktionsprogramm (WAP) «Bildung für nachhaltige Entwicklung» wird schliesslich eine noch stärkere Umsetzung vereinbarter Massnahmen für eine BNE in der Praxis verfolgt. Eingeschlossen werden dabei die von den Vereinten Nationen verabschiedeten 17 Ziele einer nachhaltigen Entwicklung (engl. *17 Sustainable Development Goals (SDGs)*), welchen somit eine wichtige Bedeutung zukommen. Auf das WAP baut nun das Programm *Bildung für nachhaltige Entwicklung: die globalen Nachhaltigkeitsziele verwirklichen* (BNE 2030) auf.

Gemäss der UNESCO soll BNE «Lernende durch die Vermittlung von Wissen, Fähigkeiten, Werten und Haltungen in die Lage [versetzen], fundierte Entscheidungen zu treffen und verantwortungsbewusst zum Schutz der Umwelt zu handeln sowie für Wirtschaftlichkeit und eine gerechte Gesellschaft einzustehen, die Menschen aller Geschlechteridentitäten sowie heutiger und zukünftiger Generationen stärkt und gleichzeitig ihre kulturelle Vielfalt respektiert» (UNESCO, 2021, S. 8). Dies macht deutlich, dass eine BNE sich nicht allein auf die Wissensvermittlung einzelner aktueller Themen beschränkt (ebd.). Vielmehr verfolgt sie insbesondere das Ziel die nötigen Kompetenzen zu fördern, welche nachhaltiges Handeln jedes Einzelnen in der Gesellschaft bewirkt. Für diese lebenslange individuelle Aufgabe kann die Volksschule einen Grundstein mit legen.

Im Lehrplan 21 (D-EDK), dem ersten gemeinsamen Lehrplan der Volksschule in 21 Kantonen der Deutschschweiz, sind mit der überfachlichen Leitidee «Bildung für Nachhaltige Entwicklung» verbindliche Ziele für die Volksschule gesetzt worden. Bezogen auf den Fachbereich «Natur und Technik», auf welchen in diesem Artikel fokussiert wird, gibt es im Lehrplan 21 (ebd.) im Wesentlichen drei Schwerpunkte mit explizitem Bezug zur nachhaltigen Entwicklung und damit auch zu einer Bildung für Nachhaltige Entwicklung:

- Die Bedeutung, Folgen und Nachhaltigkeit naturwissenschaftlich-technischer Anwendungen einschätzen können (NT 1.3)
- Stoffe als globale Ressource erkennen und nachhaltig damit umgehen (NT 3.3)
- Ökosysteme erkunden und die Einflüsse des Menschen auf die Natur einschätzen und über nachhaltige Entwicklung nachdenken (NT 9)

Schüler:innen der Volksschule sollen die Endlichkeit genutzter Ressourcen kennen und sich mit dem Einfluss des Menschen auf die Umwelt auf lokaler und globaler Ebene auseinandersetzen. Daraus resultierend werden sie in die Lage versetzt sowohl persönliche als auch gesellschaftliche Handlungs- und Verhaltensweisen im Sinne einer Zukunftsfähigkeit für die Umwelt und nachkommenden Generationen wahrnehmen und reflektieren zu können (ebd.; Gräsel, 2020, S. 23).

Damit Schüler:innen sich hierfür benötigte Inhalte aneignen und Kompetenzen aufbauen können, setzt dies eine angemessene Professionalisierung der Lehrpersonen voraus (Hellberg-Rode & Schrüfer, 2020). Dies bedeutet, dass Lehrpersonen über BNE-spezifisches Professionswissen verfügen müssen. Im Rahmen ihrer Studie konnten Hellberg-Rode & Schrüfer (2016) basierend auf den Kompetenzmodellen von Shulmann (1986) und Baumert & Kunter (2006) Kenntnisse und Fähigkeiten elaborieren, über welche Lehrpersonen zur Umsetzung von BNE verfügen sollten. Neben besonderen personalen und sozialen Kompetenzen konnten sie auch spezielle Kenntnisse und Kompetenzen für die

drei Dimensionen Fachwissen (*content knowledge*, CK), fachdidaktisches Wissen (*pedagogical content knowledge*, PCK) und pädagogisches Wissen (*pedagogical knowledge*, PK) ableiten (Hellberg-Rode & Schrüfer, 2016, 2020). Im Weiteren zeigte sich anhand der Studie, dass der Kompetenz des Systemischen Denkens eine grosse Bedeutung zugesprochen wird, sich diese jedoch nicht eindeutig einer der drei Dimensionen zuordnen lässt, sondern vielmehr als eine zusätzliche Metakompetenz erachtet wird (ebd.). Passend hierzu beschreibt auch das dynamische *Competencies for ESD Teachers* (CSCT)-Modell das Systemdenken neben Wissen, Handlung, Werte & Ethik und Emotionen als eine von insgesamt fünf grundlegenden Kompetenzen (Sleurs, 2008).

Basierend auf den Arbeiten von Hellberg-Rode & Schrüfer (2016, 2020) wurde von Reinke (2021) das BNE-spezifische Professionswissen, über welches BNE-Akteur:innen verfügen, untersucht. Als Grundlage diente das Modell der professionellen Handlungskompetenz von BNE-Akteur:innen nach Kunter et al. (2011), in dem die Kompetenzen in kognitive und nicht-kognitive BNE-bezogene Aspekte aufgeteilt werden. Bezüglich der Lehrpersonen zeigte sich, dass die Förderung der verschiedenen Handlungskompetenzen im Rahmen der Professionalisierung zur Integration und Umsetzung von BNE-Themen im Unterricht insbesondere bezüglich der kognitiven Aspekte (Fachwissen sowie fachdidaktisches und pädagogisches Wissen) intensiviert werden muss (Reinke, 2021).

Mit der Forderung zur Förderung nachhaltiger Entwicklung durch die Integration von BNE in den schulischen Unterricht kann das Drei-Kreis-Modell der Nachhaltigen Entwicklung, welches Nachhaltigkeit anhand der Verhältnisse von Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt zueinander darstellt (Wilhelm, 2010), in den Blick gerückt werden. Das Modell verdeutlicht das Dilemma zwischen einem gesellschaftlichen bzw. wirtschaftlichen Entwicklungsoptimum bei gleichzeitigem Einhaltenwollen eines Minimums an negativen Umwelteinflüssen. Um nun als Individuum eine solche komplexe Problematik verstehen und damit umgehen zu können, muss die Person über verschiedene Kompetenzen verfügen (ebd.). Es genügt nicht mehr das Problem mit Kenntnissen und Fähigkeiten aus nur einer Disziplin händeln zu wollen, vielmehr setzt es ein Verbinden von Inhalten und Kompetenzen aus verschiedenen Disziplinen voraus (Kalsics & Wilhelm, 2022). Durch die Interdisziplinarität des Natur und Technik (NT)-Unterrichts (ebd.) kann die im Rahmen einer BNE benötigte Multiperspektivität gefördert werden (Wilhelm, 2021), denn durch eine solche «multiperspektivische BNE» (ebd., S. 33) werden in Abhängigkeit der jeweiligen Problemstellung verschiedene Disziplinen miteinander verknüpft (Kiesling, 2022). Dadurch ergibt sich gemäss Wilhelm (2010) die Möglichkeit die Grundkompetenzen Emanzipationsfähigkeit (erkennen können und erkennen wollen), Transferfähigkeit (exemplarisches verstehen lernen), Bewertungsfähigkeit (beurteilen können) sowie Motivation und Volition (handeln wollen) (vgl. auch de Haan, 2008 mit zehn beschriebenen Teilkompetenzen) und gemäss Kiesling (2022) das vernetzte bzw. systemische Denken zu fördern.

## 2.2 Systemdenken allgemein

### 2.2.1 Systemdenken in der Wissenschaft

Durch das Wachstum an Wissen entwickelte sich besonders in der Biologie zu Beginn des 20. Jahrhunderts eine organismische Sichtweise als Grundlage einer allgemeinen Systemtheorie (Verhoeff et al., 2018). Diese geht davon aus, dass ein lebendes System ein Komplex ist, der aus einzelnen Elementen besteht, die miteinander wechselwirken und somit in Beziehung zueinanderstehen (von Bertalanffy, 1968). Durch diese Beziehung ergibt sich eine dynamische Struktur und hierarchische Ordnung. Hinzukommt, dass ein System stets auch gleichzeitig Teil eines grösseren Gesamtsystems ist (Riess, 2013). Aufgrund dieser grossen Komplexität und der Dynamik von Systemen können Prozesse innerhalb eines lebenden Systems nicht isoliert von den übrigen Elementen des (Gesamt-) Systems betrachtet werden (von Bertalanffy, 1968). Zu der Zeit als dieses Verständnis der Systemtheorie aufkam, fehlten jedoch noch die technischen und mathematischen Möglichkeiten solche komplexen Modelle als Systeme beschreiben und insbesondere modellieren zu können. Dies änderte sich jedoch in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts mit der (Weiter-) Entwicklung und dem Einsatz von computertechnischer Hard- und Software (Verhoeff et al., 2018). Dadurch bildete sich die dynamische Systemtheorie aus, welche nun die Beschreibung und Modellierung nichtlinearer Kausalitäten innerhalb eines Systems und in Wechselwirkung mit seiner Umwelt ermöglichte. Etwa zeitgleich kommt die Kybernetik auf (ebd.), welche zur Erkenntnis von Parallelen zwischen biologischen Systemen und Systemen aus anderweitigen Disziplinen und Themengebieten führt (von Bertalanffy, 1968). Dies betrifft die formale Beschreibung bestehender Dynamiken in dem jeweiligen System, z. B. Informationstransfer, Regulation von Feedback. So lässt sich das Konzept der Systemtheorie von der Biologie auch auf andere naturwissenschaftliche Disziplinen und weitere (wissenschaftliche) Fachbereiche übertragen (ebd.). Doch trotz dieser wichtigen Entwicklungen hin zu einer systemischen Sichtweise, nimmt auch die analytische, reduktionistische Sichtweise und Erforschung linearer kausaler Beziehungen weiterhin eine berechnete Rolle ein. Schliesslich kann durch letzteres, Details zu einzelnen Fakten von Subsystemen erforschen und zunehmend vertiefend verstehen, wiederum ein besseres Verständnis komplexer und globaler Zusammenhänge aufgebaut werden (Güthler, 2021).

### 2.2.2 Systemdenken vermitteln

In unserem Alltag lassen sich verschiedene Systeme, die auf vielfältige Art miteinander verwoben sind, identifizieren (Bollmann-Zuberbühler et al., 2010). Dazu zählen neben der Gesundheit z. B. auch die Politik, Wissenschaft und

Technik. All diese Systeme setzen sich aus einer Vielzahl einzelner Elemente zusammen. Gleichzeitig stellt jedes dieser Systeme aber auch selbst ein Element eines grösseren und hierarchisch höherstehenden Systems dar. Um nun die Funktionsweise der einzelnen (Sub-) Systeme und die Zusammenhänge zwischen ihnen auf höherer Ebene verstehen und in bzw. mit ihnen handeln zu können, muss das Individuum verschiedene Fähigkeiten besitzen (ebd.). In diesem Zusammenhang spricht de Haan (2008) auch von heuristischem Wissen, welches das Individuum befähigen soll sich nötiges Wissen anzueignen und handlungsfähig zu sein bzw. sich in seinen Handlungen korrigieren zu können, um im Rahmen einer nachhaltigen Entwicklung an den unterschiedlichen Diskursen teilhaben zu können.

Mit dem Begriff *Systemdenken* wird versucht die nötigen Fähigkeiten zu umfassen und zu beschreiben (Ben Zvi Assaraf & Knippels, 2022). Als Synonym zum Systemdenken wird in der Literatur auch der Begriff *systemisches Denken* verwendet (Riess, 2013). Das Fähigkeitsbündel wird von Ossimitz (2000, in Arndt, 2017, S. 16) in vier Dimensionen beschrieben:

- **Vernetztes Denken:** ist sowohl die Fähigkeit direkte und indirekte (z. B. Feedback-Loops) Wirkungen erkennen als auch Wirkungsbeziehungen von Elementen eines Systems (z. B. als Wirkungsdiagramm) verstehen und erstellen zu können.
- **Dynamisches Denken:** ist die Fähigkeit zeitliche Veränderungen eines Systems wahrnehmen, beschreiben und darstellen zu können.
- **Denken in Modellen:** ist die Fähigkeit ein Bewusstsein über den Sinn und Nutzen von Modellen aufbauen und selbst Modelle entwickeln zu können.
- **Systemgerechtes Denken:** ist die Fähigkeit bewusst und reflektiert Entscheidungen fällen zu können, welche zur Steuerung des Systems oder zu einer Problemlösung innerhalb des Systems beitragen.

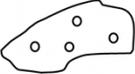
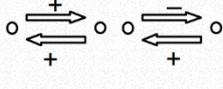
Bollmann-Zuberbühler et al. (2010) beschreiben mit ihrem Kompetenzmodell bestehend aus zwei Kompetenzkomplexen mit jeweils zwei Kompetenzbereichen einen mehrschrittigen Kompetenzaufbau:

- **Kompetenzkomplex A: Systemkonstruktion**
  - Kompetenzbereich 1: *Modelle beschreiben*  
Das zu untersuchende System wird beschrieben und von Nichtsystemen abgegrenzt. Es wird darauf eingegangen welche Wechselwirkungen und/oder Rückkopplungen auftreten.
  - Kompetenzbereich 2: *Dynamik erfassen*  
Die Dynamik(en) und damit einhergehende (zeitabhängige) Veränderungen werden beobachtet und beurteilt. Eine Herausforderung können dabei die vielfach nichtlinearen und/oder verzögerten Veränderungen sein.
- **Kompetenzkomplex B: Systemmodellnutzung**
  - Kompetenzbereich 3: *Prognosen treffen*  
Auf Basis des Kompetenzkomplexes A werden Strategien entwickelt, um mögliche Fragen wie «Was ist?», «Was passiert?» und/oder «Was verändert sich?» beantworten und daraus Voraussagen treffen zu können. Es dient als Vorbereitung für die Entwicklung von Handlungstätigkeiten.
  - Kompetenzbereich 4: *Handlungsentwürfe beurteilen*  
Es werden Handlungsmöglichkeiten erarbeitet.

Mithilfe des Systemdenkens sollen Lernende einfache Systeme verstehen und beurteilen können und sich dadurch eine Grundlage für ihre (zukünftige) reflektierte Handlungsteilnahme erschaffen können (ebd.). Auch wenn die Förderung der hierfür benötigten Kompetenzen in der Volksschule auf einfache Systeme beschränkt bleibt, so setzt es doch Kenntnisse über im Systemdenken verwendete Systemkonzepte sowie Werkzeuge und Darstellungsweisen voraus (ebd.).

Mit den Systemkonzepten werden grundlegende Merkmale, welche sich in allen Systemen wiederfinden lassen, beschrieben. Sie stellen somit Konzepte dar, mit denen die Strukturen und Eigenschaften des Systems dargestellt werden können. In der folgenden Tabelle sind die für die Volksschule wichtigen und fächerübergreifenden Systemkonzepte dargestellt.

Tab. 1. Überblick über die Konzepte zum Systemdenken (Bollmann-Zuberbühler et al., 2010, S. 12f)

	<i>Wichtige Konzepte zum Systemdenken</i>
	<b>Systemelemente</b> Jedes System setzt sich zusammen aus verschiedenen Bestandteilen, den Systemelementen.
	<b>Systemgrenze</b> Systeme lassen sich voneinander abgrenzen, sie verfügen über Systemgrenzen. Diese sind vom Interesse und der Fragestellung der Betrachtenden abhängig, denn in der Regel ist jedes System im Austausch mit anderen Systemen und so gesehen offen.
	<b>System</b> Ein System besteht aus seinen Elementen, die untereinander in Beziehung stehen und Systemgrenzen, durch welche sich das System von der Umgebung abhebt.
	<b>Wirkungsbeziehung</b> Systemelemente stehen untereinander in Beziehung, sie wirken aufeinander ein.
	<b>Wirkungskette</b> Mehrere Wirkungsbeziehungen hintereinander können lange Wirkungsketten bilden. Dadurch kann ein Systemelement ein anderes, scheinbar davon unabhängiges Element indirekt beeinflussen.
	<b>Kreislauf</b> Ein Systemelement kann über eine Wirkungskette wieder auf sich selbst zurückwirken.
	<b>Rückkoppelungen:</b> Ausgleichende und verstärkende Rückkoppelung. In Kreisläufen können sich die Wirkungen <ul style="list-style-type: none"> <li>- ausgleichen. Es entsteht ein Fließgleichgewicht (ausgleichende Rückkopplung).</li> <li>- auf- oder abschaukeln. Es entsteht ein Verstärkungskreis (verstärkende Rückkopplung).</li> </ul>
	<b>Lineare Veränderung</b> Veränderungen können gleichmässig, also linear zu- oder abnehmen.
	<b>Exponentielle Veränderung</b> Veränderungen können aber auch immer rascher, also exponentiell zu- oder abnehmen.
	<b>Verzögerung</b> Je nach Art der Wirkungsbeziehungen, die zwischen verschiedenen Systemelementen vorhanden sind, können zum Teil sehr lange Zeitverzögerungen eintreten, bis ein Effekt erfolgt.

Eine Herausforderung stellt die Beschreibung, Darstellung und Modellierung eines Systems dar. Unabhängig vom gewählten System müssen immer die gleichen Aspekte geklärt werden, welche auf den Systemkonzepten in Tabelle 1 beruhen:

- Wie werden die Systemgrenzen und -elemente definiert?
- Welche Wirkungsbeziehungen, -ketten und -kreisläufe und Rückkopplungen bestehen?
- Wie ist die zeitliche Entwicklung der Systemelemente?

Wie die Klärung dieser Aspekte erfolgt, ist von der Zielgruppe und vom Ziel der Systembetrachtung abhängig. In einem ersten Schritt muss der Zweck der Modellierung definiert werden. Erst dann können passende Modellierungsansätze und Darstellungsformen gewählt werden. Während qualitative Modellierungsansätze (Concept Map, Vernetzungskreis, Wirkungsdiagramm, DPSIR-Modell) den Fokus auf die Systemrepräsentation legen (Verhoeff, 2008), liegt der Fokus von quantitativen Modellierungsansätzen (Wertetabelle, Verlaufs-, Kuchen-, Flussdiagramm) hingegen auf der (mathematischen) Vorhersage von Systemveränderungen (Wilensky & Reisman, 2006). Beispiele und kurze Beschreibungen der verschiedenen Modellierungsansätze, welche überwiegend mit visuellen Darstellungsformen arbeiten, können dem Anhang 1 entnommen werden. Gemäss Arndt (2017) sollen qualitative und quantitative Visualisierungen zu einem vertieften Verständnis bei den Lernenden führen. Zudem unterstützen sie das Verständnis über nichtlineare Vernetzungen einzelner Elemente des Systems, da die gesprochene und geschriebene Sprache Zusammenhänge hingegen nur in einer sequenziellen Reihenfolge wiedergeben kann.

### 2.3 Systemdenken in der Didaktik von «Natur und Technik»-Unterricht

Im Unterricht des Fachbereichs «Natur und Technik – mit Biologie, Chemie und Physik» (NT) werden mehrheitlich naturwissenschaftliche und technische Systeme im Sinne von linearen Ursache-Wirkungs-Beziehungen abgekoppelt voneinander vermittelt. Wenn jedoch Mensch-Umwelt-Technik-Systeme im Sinne des Systemdenkens vermittelt werden, müssen ökologische, soziale und wirtschaftliche Systemelemente, wie im Drei-Kreis-Modell der Nachhaltigen Entwicklung (Wilhelm, 2010) symbolisiert, miteinander in Beziehung gebracht werden (z. B. Treibhauseffekt, Eisbär, Eisschollen, Mensch oder Konsum, Abfall, Recycling). Und es werden dabei auch nicht-naturwissenschaftliche Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge analysiert.

Der Aufbau von Systemkompetenzen kann einen Beitrag dazu leisten, dass Lernende nicht nur einfache Ursache-Wirkungs-Beziehungen bzw. Einzelfakten und somit nur «einen kleinen Ausschnitt» (Güthler, 2021, S. 9) eines Problems wahrnehmen. Vielmehr lernen sie «das Ganze statt [nur] Details» (ebd.) zu verstehen und können dadurch wiederum auch Auswirkungen und (zeitabhängige) Wechselwirkungen z. B. zwischen Natur – Kultur – Technologie oder Ökologie – Wirtschaft – Gesellschaft erkennen und reflektieren. Dies ist zum einen im Sinne des «multiperspektivischen BNE-Verständnisses» (Wilhelm, 2021, S. 33), bei welchem die Lernenden sowohl durch eine kritisch emanzipatorische als auch ethische und fachliche Bildung in die Lage versetzt werden komplexe Problemstellungen zu verstehen und handlungsfähig zu sein (ebd.). Zum anderen entspricht dies auch dem Verständnis der nachhaltigen Entwicklung, denn nur wenn Lernende gemeinsam mit anderen Gruppen der Gesellschaft einen erweiterten Blick auf aktuelle Probleme erhalten, gelangen langfristige Entwicklungen ins Bewusstsein, was Voraussetzung für die Gestaltung einer zukunftsfähigen Welt ist (Güthler, 2021).

Um Lernenden diese interdisziplinären Zusammenhänge verständlich vermitteln zu können, müssen Lehrpersonen selbst in der Lage sein, Vernetzungen zu verstehen (Güthler, 2021). Doch zeigen Studienergebnisse von Reinke (2021) auf, dass z. B. beim aktuellen Thema Klimawandel Zusammenhänge von Lehrpersonen nicht vollends verstanden werden. Daraus leitet die Autorin im Weiteren die Begründung für fehlendes fachdidaktisches Wissen ab. Um die Professionalisierung von Lehrpersonen unter anderem in ihrer Fähigkeit Wissen aus verschiedenen Bereichen besser verknüpfen zu können und ein globaleres Verständnis von Inhalten zu erlangen, kann die Vermittlung und das Trainieren der Kompetenz des Systemdenkens möglicherweise beitragen (Sleurs, 2008). Schliesslich kann die Lehrperson in der Lage sein, Schüler:innen in ihrer systemischen Denkweise fördern zu können.

Wie das Systemdenken im NT-Unterricht auf Sekundarstufe I geübt und gefördert werden kann und die Lernenden zu einem grundlegenden Systemverständnis gelangen, kann in drei ausgewählten Praxisbeispielen im Anhang 2 nachgelesen werden. Es werden Möglichkeiten vorgestellt, wie Systemkonzepte unter Anwendung unterschiedlicher Modellierungsansätze (vgl. Anhang 1) erarbeitet werden können. Sie beschränken sich dabei nicht zwingend auf das Unterrichtsfach Natur & Technik, sondern können auch in anderen Schulfächern behandelt werden.

## 3 Praxisbeispiel: Systemdenken fördern in der Ausbildung von NT-Lehrpersonen

Ein interdisziplinäres Team der Fachhochschule Nordwestschweiz hat während der letzten fünf Jahre den Ansatz des Systemdenkens, wie er in Kapitel 2 beschrieben wird, in der Lehrpersonenausbildung der Sekundarstufe I an drei konkreten Themen «Mikroverunreinigungen im Gewässer», «Plastikmüll» und «Energie im Gebäude» gefördert und evaluiert. Das Ziel des Gesamtprojektes war es, angehende Lehrpersonen zu befähigen, mittels Mensch-Umwelt-Technik-Systemen Systemkompetenzen der Lernenden im NT-Unterricht zu fördern, zu begleiten und zu evaluieren. Im vorliegenden Artikel werden Ergebnisse zu folgenden vier Teilfragestellungen präsentiert:

- Welche Vorstellungen von Systemdenken haben angehende Sekundarlehrpersonen vor und nach einer Lehrinheit zu einem Mensch-Umwelt-Technik-System?
- Wie stark ist das Interesse und die Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf das Systemdenken ausgeprägt und wie verändern sich die beiden Grössen durch die Lehrinheit?
- Wie wird die Lehrinheit in Bezug auf Interessantheit, Lernzuwachs, Praxisnutzen eingeschätzt?
- Wie wird der persönliche Lernfortschritt in Bezug auf die Systemkompetenzen eingeschätzt?

### 3.1 Zielgruppe

Die Zielgruppe des Projektes waren angehende Sekundarlehrpersonen, in der Regel im 2. oder 3. Studienjahr an der Pädagogischen Hochschule FHNW (PH FHNW). Die Module, in denen das Systemdenken thematisiert wurde, sind Pflichtmodule für Bachelorstudierende. Mit den angehenden Sekundarlehrpersonen wurden in den Jahren 2018-2020 systematisch Evaluationen durchgeführt, bei denen insgesamt 92 Studierende teilgenommen haben. Die Studierenden konnten zur Vertiefung zwischen den drei Themen «Mikroverunreinigungen im Gewässer», «Plastikmüll» und «Energie im Gebäude» wählen (vgl. Tab. 2).

In den Jahren 2019-2021 mussten die Lehrinheit und die Leistungsnachweise wegen COVID-19 an den Fernunterricht angepasst werden. Da das Systemdenken ein eher theoretischer Ansatz der BNE ist, war diese Umstellung nicht mit allzu viel Aufwand verbunden. Die Ergebnisse müssen dennoch unter diesem Vorzeichen angeschaut und interpretiert werden.

In den Jahren 2021-2023 wurden bei den Sekundarstudierenden keine Befragungen mehr gemacht, das Systemdenken ist aber weiterhin fester Bestandteil der Ausbildung (vgl. Kap. 5.3). Gleichzeitig wurde ab FS21 das Systemdenken in der Ausbildung von Primarlehrpersonen im Fachbereich «Natur, Mensch, Gesellschaft» umgesetzt. Diese Daten werden in einem eigenen Beitrag publiziert.

**Tab. 2.** Angaben zu den Studierendengruppen und ihre Wahl der Themen

Semester, Jahr	Stufe	Anzahl Studierende			
		Thema Mikroverunreinigungen im Gewässer	Thema Plastikmüll	Thema Energie im Gebäude	Total je Thema Sek I
FS18	Sek I	7 <sup>1</sup> / 7 <sup>2</sup>	16 <sup>1</sup> / 16 <sup>2</sup>	17 <sup>1</sup> / 17 <sup>2</sup>	40 <sup>1</sup> / 40 <sup>2</sup>
FS19	Sek I	5 <sup>1</sup> / 5 <sup>2</sup>	7 <sup>1</sup> / 7 <sup>2</sup>	13 <sup>1</sup> / 13 <sup>2</sup>	25 <sup>1</sup> / 25 <sup>2</sup>
FS20	Sek I	12 <sup>1</sup> / 11 <sup>2</sup>	11 <sup>1</sup> / 10 <sup>2</sup>	4 <sup>1</sup> / 2 <sup>2</sup>	27 <sup>1</sup> / 23 <sup>2</sup>
<b>Total</b>		<b>24<sup>1</sup> / 23<sup>2</sup></b>	<b>34<sup>1</sup> / 33<sup>2</sup></b>	<b>34<sup>1</sup> / 32<sup>2</sup></b>	<b>92<sup>1</sup> / 88<sup>2</sup></b>

<sup>1</sup>Teilnahme an Vorbefragung, <sup>2</sup>Teilnahme an Nachbefragung

### 3.2 Vor- und Nachbefragung zum Systemdenken

Die Evaluation der Lehrinheit erfolgte unter anderem mit einem online Fragebogen. Das Ziel des Fragebogens war es, ausfindig zu machen, welche Wirkung die Lehrinheit zum Systemdenken bei den Studierenden hatte. Und zwar in Bezug auf Vorstellungen zum Systemdenken, Interesse an Systemdenken und Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf die Kompetenzbereiche des Systemdenkens. In der Nachbefragung interessierte neben der Einschätzung der gesamten Lehrinheit, die subjektive Einschätzung des eigenen Lernfortschrittes.

**Tab. 3.** Fragebogen-Items zur Erhebung von Interesse und Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf Systemdenken

Items mit Likert-Skalen von 1 (gar nicht) bis 4 (sehr) in Vor- und Nachbefragung
<b>Interesse</b>
Ich finde es sinnvoll, dass wir Systemdenken üben.
Ich will so wenig wie möglich mit Systemdenken zu tun haben. <sup>rc</sup>
Ich beschäftige mich gerne mit Systemdenken.
Mir bringt Systemdenken nicht viel. <sup>rc</sup>
<b>Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf Systemdenken allgemein</b>
Ich kann komplexe Wirklichkeitsbereiche gut beschreiben, rekonstruieren und modellieren.
In Systemen zu denken und Handlungsmöglichkeiten zu entwerfen, fällt mir leicht.
Wenn ich mich mit Systemen beschäftige, kann ich richtig versunken sein.
Ich glaube, dass mich andere im Systemdenken für gut halten.
Kein Mensch kann alles. Für Systemdenken habe ich einfach keine Begabung. <sup>rc</sup>

<b>Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf Mensch-Umwelt-Technik-Systeme</b>
Das Verstehen komplexer Mensch-Umwelt-Technik-Systeme gelingt mir immer, wenn ich mich darum bemühe.
Wenn ich Mensch-Umwelt-Technik-Systeme erklären soll, habe ich immer Ideen, wie ich die Komplexität reduzieren und das System allgemein verständlich beschreiben kann.
Auch unter Zeitdruck kann ich Mensch-Umwelt-Technik-Systeme und ihre Dynamik beschreiben.
Ich habe grosse Mühe, in der Beschreibung eines Mensch-Umwelt-Technik-Systems die wichtigen von den unwichtigen Informationen zu trennen. <sup>re</sup>
Wenn ich Handlungsmöglichkeiten verschiedener Akteure innerhalb eines Mensch-Umwelt-Technik-Systems erklären soll, fällt mir das sehr schwer. <sup>re</sup>
In Gesprächen über Mensch-Umwelt-Technik-Systeme habe ich überhaupt keine Hemmungen, meine Meinung zu äussern.
<i>Offene Frage in Vor- und Nachbefragung</i>
Ein/e Studienkolleg/in, der/die nicht Natur & Technik studiert, möchte von Dir wissen, was Du unter Systemdenken verstehst. Welche Antwort gibst Du?
<i>Offene und geschlossene Fragen in Nachbefragung</i>
Wie interessant fandest Du die Lehreinheit zum Systemdenken auf einer Skala von 1 bis 10?
Wie viel hast Du in der Sequenz zum Systemdenken gelernt?
Wie nützlich ist das Gelernte für deine künftige Unterrichtspraxis?
Wie schätzt Du deinen Lernfortschritt in den folgenden Bereichen ein (Likert-Skala 1-4)
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Auswirkungen des eigenen Handelns auf das System erkennen</li> <li>– Problem des Mensch-Umwelt-Technik-Systems erkennen und beschreiben</li> <li>– Systeme und Systemelemente erkennen und Systemgrenzen definieren</li> <li>– Wirkungsbeziehungen in einem System beschreiben</li> <li>– Wirkungsdiagramme zeichnen und Rückkoppelungen (Wechselwirkungen) erkennen</li> <li>– Zeitliche Verzögerungen erkennen</li> <li>– Prognosen treffen, Visionen entwickeln</li> <li>– Massnahmen beschreiben und beurteilen</li> </ul>

<sup>re</sup> Diese Items wurden für die Auswertung umgepolt.

Die Items zum Interesse und zur Selbstwirksamkeitserwartung im Zusammenhang mit dem Systemdenken wurden aus gängigen Skalen zu Interesse (Krapp, 1999) und Selbstwirksamkeitserwartung (Bandura, 1977; Schwarzer & Jerusalem, 2002) abgeleitet und mit den Kompetenzbereichen des Systemdenkens (vgl. Kap. 2.2.2) verknüpft. Die gewählten Formulierungen und die Nutzung der Items finden sich in Tabelle 3.

Die offenen Antworten angehender Sekundarlehrpersonen zu den Vorstellungen von Systemdenken wurden mittels qualitativer Inhaltsanalyse nach Mayring (2010) ausgewertet. Es wurde eine Mischung aus induktiver und deduktiver Kategorienanwendung umgesetzt. Zunächst wurden die Antworten der beiden Zeitpunkte aufgrund der vier Kompetenzbereiche des Systemdenkens (vgl. Kap. 2.2.2) «Modelle beschreiben», «Dynamik erfassen», «Prognosen treffen» und «Handlungsentwürfe beurteilen» codiert. In einem zweiten Schritt wurden explorativ, während des Codierens, zusätzliche Kategorien definiert. Insgesamt sind dabei zehn verschiedene Kategorien entstanden (vgl. Abb.2).

In der Nachbefragung wurden drei Einschätzungsfragen zum Interesse, Lerngewinn und dem Praxisnutzen ergänzt und es wurde nach einer Selbsteinschätzung des Lernfortschrittes in Bezug auf die Kompetenzbereiche des Systemdenkens gefragt. Diese Grössen wurden mit je einem Item erfragt.

### 3.3 Inhalte und Struktur Lehreinheit

#### 3.3.1 Professionelle Handlungskompetenz in Bezug auf Systemdenken fördern

Zur Beschreibung der verschiedenen Aspekte professioneller Handlungskompetenz in Bezug auf das Systemdenken, wurde das BNE-spezifische Modell von Reinke (2021), das sich am allgemeinen Modell von Kunter et al. (2011) anlehnt, verwendet. Gemäss Modell sind für professionelles Handeln sowohl kognitive wie auch motivationale und volitionale Aspekte wichtig. Wie diesem Modell bzw. den fünf Aspekten der professionellen Handlungskompetenz in der Ausbildung der angehenden Sekundarlehrpersonen in Bezug auf das Systemdenken an der PH FHNW Rechnung getragen wurde, ist in Tabelle 4 zusammengestellt. Aus der ungefähren Dauer der acht Einheiten kann die Priorität der jeweiligen Aspekte der professionellen Handlungskompetenz abgeleitet werden. In der Reihenfolge der Priorität, werden die fünf Bereiche kurz beschrieben:

- Dem **Fachwissen** in Bezug auf ein spezifisches System wurde viel Bedeutung beigemessen. Das interdisziplinäre Projektteam war der Meinung, dass der NT-Unterricht seine Stärke im Bereitstellen von fundiertem Fachwissen zur Analyse von Systemen hat. Deshalb haben Fachexpert:innen aus der Forschung der jeweiligen Fachgebiete beim Erarbeiten der Lehrmaterialien und beim Durchführen der Lehrveranstaltung einen wesentlichen Beitrag geleistet (vgl. Abschnitt 4-6, 8 in Tab. 4).

- Auch dem **fachdidaktischen Wissen** wurde eine grosse Bedeutung beigemessen. Die Konzepte des Systemdenkens (vgl. Kap. 2.2.2) werden als didaktische Elemente verstanden, welche auf unterschiedliche Systeme des naturwissenschaftlich-technischen Unterrichts angewendet werden können (vgl. Abschnitt 2-3, 8 in Tab. 4).
- Die **Selbstwirksamkeit** wurde einerseits durch Übungen und Lernaufgaben zum Systemdenken allgemein und zum spezifischen System und andererseits durch den Transfer für die Zielstufe gestärkt. Die Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf das Systemdenken wurde in der Vor- und Nachbefragung erhoben (vgl. Abschnitt 8 in Tab. 4).
- Das Ziel der Lehreinheit war es, dass die **Motivation** der Studierenden durch die Wahlmöglichkeit und die Begegnung mit Fachexpert:innen gesteigert werden kann. Die Studierenden konnten aus zwei oder drei Themen das auswählen, das sie am meisten interessiert. Das Interesse am Systemdenken allgemein und am konkreten System wurde in der Vor- und Nachbefragung erhoben.
- Explizit wurde kein **pädagogisches Wissen** vermittelt, beim Transfer des Gelernten für die Zielstufe wurde pädagogisches Wissen, welches in anderen Lehrveranstaltungen erworben wurde, angewendet.

**Tab. 4.** Struktur der Lehreinheit in der Ausbildung von angehenden NT-Lehrpersonen

Abschnitt	Inhalt, Aktivität	Bereich prof. Handlungskompetenz	Ungefähre Dauer
1	Vorbefragung: Präkonzepte BNE, Systeme & Systemdenken, Interesse, Selbstwirksamkeit	Fachdidaktisches Wissen, Motivation, Selbstwirksamkeit	15 min
2	Einordnung Systemdenken in BNE und erste Übungen zum Systemdenken	Fachdidaktisches Wissen, Selbstwirksamkeit	45 min
3	Selbststudium: Lektüre und Aufgaben zum Skript Systemdenken	Fachdidaktisches Wissen	60 min
4	Teil A: Das exemplarische System und ich	Fachwissen zu spez. System, Selbstwirksamkeit	90 min
5	Teil B: Das System und das damit verbundene Problem beschreiben, Zusammenhänge verstehen	Fachwissen zu spez. System, Selbstwirksamkeit	90 min
6	Teil C: Massnahmen kennenlernen und Visionen entwickeln (u. a. in Form eines Rollenspiels)	Fachwissen zu spez. System, Selbstwirksamkeit	90-180 min
7	Nachbefragung: Selbsteinschätzung Praxisnutzen, Interesse, Lerngewinn spezifisches System; Interesse und Selbstwirksamkeit in Bezug auf Systemdenken allgemein	Fachdidaktisches Wissen, Motivation, Selbstwirksamkeit	20 min
8	Transfer für Zielstufe: Lernaufgabe, Erklärvideo, Spiel	Fachdidaktisches Wissen, Fachwissen, Pädagogisches Wissen, Motivation, Selbstwirksamkeit	6-10 h

### 3.3.2 Vier Lernschritte des Systemdenkens im NT-Unterricht

Die neun Lernschritte des Systemdenkens von Bollmann-Zuberbühler et al. (2010) und das in Kapitel 2.2.2 vorgestellte Kompetenzmodell wurden spezifisch für den NT-Unterricht und für die Behandlung von Mensch-Umwelt-Technik-Systemen zu vier Lernschritten zusammengefasst und etwas anders strukturiert. Im Skript von Güdel (2022) sind die vier Lernschritte ausführlich beschrieben, unter anderem auch mit «Wie kann das konkret umgesetzt werden?». Im Folgenden sind die Zielsetzungen der Lernschritte kurz zusammengefasst.

#### 1. Das System und ich

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

#### 2. Problem erkennen und beschreiben

In diesem Lernschritt wird das Problem identifiziert: Weshalb behandeln wir dieses Mensch-Umwelt-Technik-System im NT-Unterricht? Weshalb ist es relevant? Die Studierenden erkennen beim Beantworten dieser Fragen, dass das System für den Menschen und/oder für die Umwelt einerseits wichtig (geworden) ist und andererseits langfristig für den Menschen und/oder die Umwelt negative oder noch unbekannte Auswirkungen hat und damit kaum *nachhaltig*

sein kann. Falls die Begriffe *Nachhaltigkeit* oder *Nachhaltige Entwicklung* in der Klasse noch nicht eingeführt wurden, kann das an dieser Stelle gemacht werden.

### 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 geeignete Darstellungsformen oder ein geeignetes Modell für das konkrete Mensch-Umwelt-Technik-System gewählt werden. Gewisse Darstellungsformen und Modelle können von den Lernenden selbstständig entwickelt werden, andere müssen teilweise von der Lehrperson vorbereitet werden und andere wiederum werden den Lernenden in finalisierter Form präsentiert und anschliessend mit geeigneten Fragestellungen gemeinsam analysiert. Grundsätzlich ist eine schrittweise Erarbeitung des Modells zusammen mit den Lernenden zu empfehlen.

In Anhang 1 sowie im Anhang des Skripts von Güdel (2022) werden verschiedene Modellierungsansätze und Darstellungsformen beschrieben, die sich für Mensch-Umwelt-Technik-Systeme eignen und die auch miteinander kombiniert werden können.

### 4. Handlungsmöglichkeiten beschreiben und Visionen entwickeln

Im letzten Schritt geht es darum, Ideen zu entwickeln und beurteilen, wie das System in Zukunft optimiert und nachhaltiger gestaltet werden kann. Bei Mensch-Umwelt-Technik-Systemen können zwei Arten von Handlungsmöglichkeiten 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.
- Die **Massnahmen der Anpassung** an das Problem (engl. *adaptation*): Bei diesen Massnahmen wird davon ausgegangen, 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; z. B. eine neue Reinigungsstufe in der Kläranlage. Auch nicht-technische Massnahmen der Anpassung sind möglich; z. B., 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.

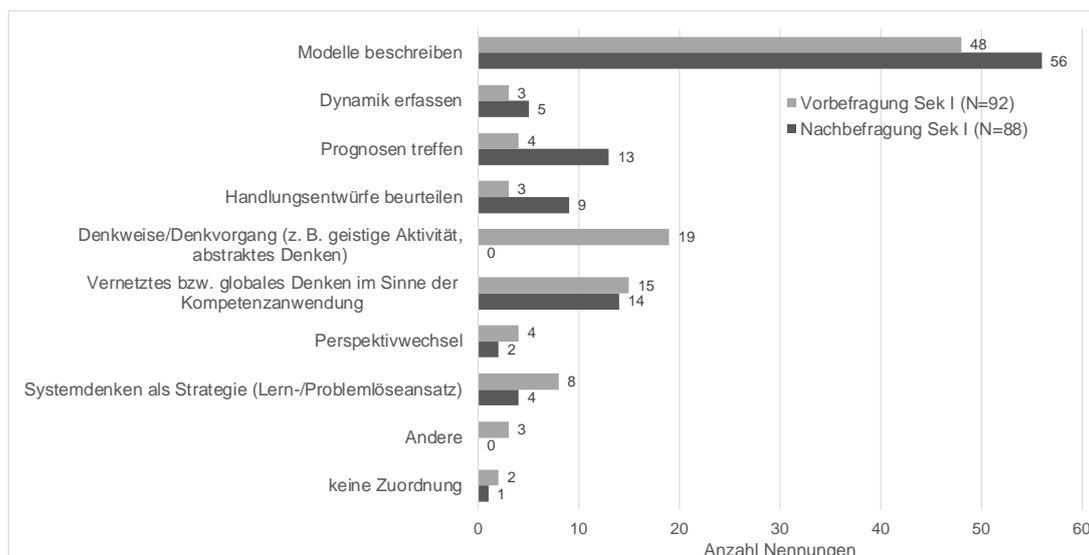
Die Studierenden konnten aus den drei der im Anhang 3 näher beschriebenen Systemen «Mikroverunreinigungen im Gewässer», «Plastikmüll» und «Energie im Gebäude» eines auswählen und durchliefen anschliessend die Lernschritte des Systemdenkens auf einem für sie angemessenen Niveau. Den Transfer des Systemdenkens für die Zielstufe mussten sie im Rahmen eines Leistungsnachweises selbstständig bewältigen. Sie erhielten fachliche und fachdidaktische Materialien und lernten Werkzeuge kennen, die ihnen dabei halfen (vgl. ebd.).

## 4 Ergebnisse und Diskussion

Im Folgenden werden ausgewählte Ergebnisse aus der Vor- und Nachbefragung zusammengetragen. Aus Zeit- und Platzgründen konnten die Studierendenarbeiten, die während der Lehreinheit entstanden sind, nicht systematisch ausgewertet und hier dargelegt werden. Der Fokus liegt daher auf den vier Teilfragestellungen, welche zu Beginn von Kapitel 3 dargelegt worden sind.

### 4.1 Prä- und Postkonzepte zum Systemdenken angehender Sekundarlehrpersonen

Insgesamt haben 92 NT-Studierende an der Vorbefragung und 88 NT-Studierende an der Nachbefragung teilgenommen. Die Codierung der offenen Antworten auf die Frage «*Ein/e Studienkolleg/in, die nicht Natur & Technik studiert, möchte von Dir wissen, was Du unter Systemdenken verstehst. Welche Antwort gibst Du?*» hat zehn Kategorien ergeben (vgl. Kategoriensystem in Anhang 4). Vier davon sind theoretisch hergeleitet und entsprechen den vier Kompetenzbereichen des Systemdenkens (Kap. 2.2.2). Es zeigt sich, dass von den vier Kompetenzbereichen vor allem der Kompetenzbereich 1 «*Modelle beschreiben*» von den Studierenden genannt wird (Abb. 1). Insbesondere in der Vorbefragung wurden viele andere, eher allgemeinere Umschreibungen von Systemdenken gewählt.



**Abb. 1.** Anzahl Nennungen innerhalb der zehn Kategorien in Vor- und Nachbefragung; Mehrfachnennungen sind möglich

Wie sich anhand der Abbildung 1 erkennen lässt, führte die Lehreinheit (vgl. Tab. 4) zu einer gewissen Veränderung des Verständnisses von Systemdenken. Bereits vor der Lehreinheit erkennen einige Studierende wesentliche Aspekte des Systemdenkens, diese werden jedoch teils noch isoliert voneinander angesehen. So gibt ein Teil der Studierenden an, dass ein System aus verschiedenen Elementen besteht, welche aufgrund ihrer gegenseitigen Abhängigkeit miteinander in Wechselwirkung stehen. Der zweite Teil der Studierenden erkennt ebenfalls, dass ein System aus einzelnen Elementen besteht, doch stellen sie deren gegenseitigen Wechselwirkungen nicht explizit dar. So beschreiben sie Systemdenken vielmehr als eine Denkweise bzw. ein Denkvorgang, welcher ihnen erlaubt strukturiert denken oder andere Perspektiven einnehmen zu können. Auch bewerten sie es als eine «geistige Aktivität», die ihnen ein «abstraktes Denken» erlaubt. Im Weiteren setzten sie Systemdenken gleich mit vernetztem Denken, führen jedoch nicht weiter aus, was dies für sie explizit umfasst. Es wird deutlich, dass sie dies als Möglichkeit erachten, um «das Ganze» sehen zu können. Nicht zuletzt erachten einzelne Studierende das Systemdenken als einen «Lern- oder Problemlöseansatz» bzw. als eine «Strategie». Mit letzterer meinen sie ein Vorgehen, um Probleme strukturiert und systematisch angehen, das gegebene System analysieren und darüber reflektieren zu können, um so «Gesamtprozesse zu optimieren».

Auch in den Postkonzepten lässt sich das Verständnis von Systemdenken als «Strategie» finden. Doch beschreiben die Studierenden die «Strategie» nun vielmehr als ein Vorgehen, um Systeme «möglichst umfassend analysieren, bewerten und vergleichen zu können», um daraus Erkenntnisse zu gewinnen und diese wiederum anwenden zu können. Deutlich erkennbar wird ebenso, dass die Studierenden nach der Lehreinheit ein grösseres Bewusstsein bzw. ein stärkeres Verständnis darüber haben, dass Systeme aus einzelnen Elementen bestehen und diese miteinander in Wechselwirkung treten und voneinander abhängig sind. Darüber hinaus geben sie nun auch vermehrt an, dass diese gegenseitige Beeinflussung zu Problemen führen kann, welche es zu identifizieren gilt und im Einzelfall auch entsprechende Handlungen benötigt.

#### 4.1.1 Diskussion Prä- und Postkonzepte zum Systemdenken angehender Sekundarlehrpersonen

In den Präkonzepten beschreibt fast ein Viertel der Sekundarstudierenden das Systemdenken sehr allgemein als eine Denkweise oder einen Denkvorgang. Hierbei handelt es sich vermutlich um Studierende, die keine Vorstellung davon haben, was unter Systemdenken zu verstehen ist und deshalb vor allem den Begriff «Denken» beschreiben. Diese sehr vagen Vorstellungen gibt es in der Nachbefragung nicht mehr. Das deutet darauf hin, dass in der Lehreinheit geklärt werden konnte, dass es beim Systemdenken um eine spezifische Form der geistigen Aktivität und des Denkens geht. In der Nachbefragung werden deutlich mehr Aspekte der vier Kompetenzbereiche «Modelle beschreiben», «Dynamik erfassen», «Prognosen treffen» und «Handlungsentwürfe beurteilen» genannt als in der Vorbefragung, obwohl das Kompetenzmodell nicht explizit mit den Studierenden besprochen wurde. Diese Nennungen deuten darauf hin, dass ein Teil der Studierenden die verschiedenen Aspekte des Systemdenkens erfasst hat. Erstaunlicherweise wird in der Nachbefragung genauso wie in der Vorbefragung vor allem der Aspekt des «Modelle beschreiben» aufgeführt. Das scheint für die Studierenden mit Abstand das wichtigste Element des Systemdenkens zu sein, was aus Sicht der Autorinnen nicht falsch ist. Es stellt die Grundlage der anderen Kompetenzbereiche des Systemdenkens dar (vgl. Kap. 2.2.2). Ohne Modell kann kein System im Sinne des Systemdenkens beschrieben und analysiert werden. Dennoch wäre es gerade im Zusammenhang mit dem Systemdenken im Sinne einer BNE wichtig, dass das Systemdenken auch in

einen Zusammenhang gebracht würde mit der Multiperspektivität und dem Dilemma gesellschaftlichen bzw. wirtschaftlichen Entwicklungsoptimums (Wilhelm, 2010) und nicht ‘nur’ mit der Vereinfachung der Realität in einem Modell. Die Grenzen der Modelle und die Schwierigkeit der Reduktion der Komplexität sind genauso zentral wie die Modelle selbst.

Ausserdem fällt auf, dass die Haltungen von Systemdenkenden, die in der Lehreinheit thematisiert wurden (Perspektivenwechsel, Blick aufs Ganze, Handeln optimieren etc.) in den Postkonzepten der Studierenden kaum erwähnt werden. Nach Kunter (2006) sind Überzeugungen und Werthaltungen ein wichtiger und eigenständiger Aspekt der professionellen Handlungskompetenz und gerade im Rahmen einer BNE spielen Werthaltungen eine wichtige Rolle. Lehmann et al. (2017, S. 19) sagen gar: «Ohne ethisch-moralische Urteilsbildung ist BNE nicht mehr BNE. In diesem Sinne ist [die ethisch-moralische Urteilsfähigkeit als Bildungsziel] unverzichtbar.»

#### 4.2 Interesse und Selbstwirksamkeitserwartungen in Bezug auf Systemdenken

Die Erhebung des Interesses in Bezug auf Systemdenken bei angehenden Sekundarlehrpersonen erfolgte anhand von vier Items (vgl. Kap. 3.2, Tab. 3). Die Anzahl Testpersonen (N) ist hier mit rund 60 deutlich kleiner, weil die Zusammenführung der Vor-/Nachbefragung mit einem anonymen Code bei vielen Personen nicht möglich war. Alle Vor- und Nachbefragungen, die nicht eindeutig zusammengeführt werden konnten, wurden in den Gruppenvergleichen nicht berücksichtigt. Die interne Konsistenz der vier Interessensitems ist mit  $\alpha = .86$  (Vorbefragung, N = 63) bzw.  $\alpha = .84$  (Nachbefragung, N = 63) hoch (vgl. Tab. 5).

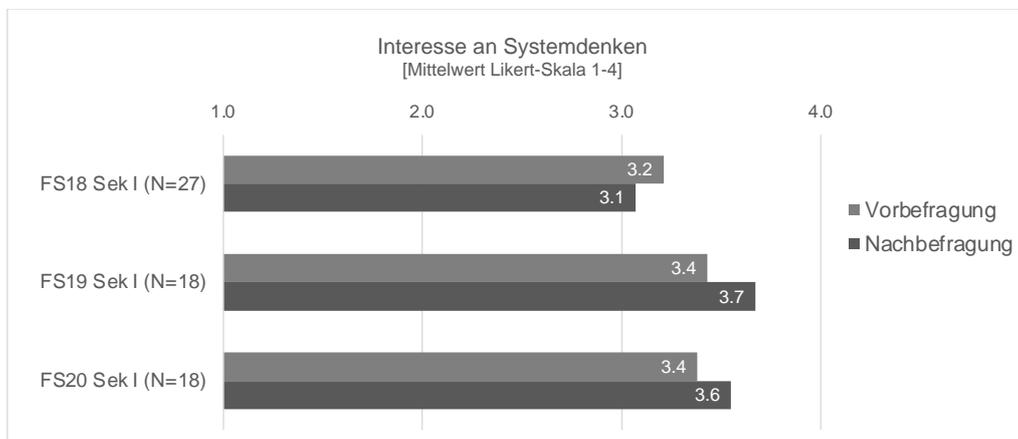
Die Selbstwirksamkeitserwartung der Studierenden bezogen auf Systemdenken und Mensch-Umwelt-Technik-Systeme wurde anhand von vier bzw. sechs Items untersucht (vgl. Kap. 3.2, Tab. 3). Mit  $\alpha = .75$  (Vorbefragung, N = 62) bzw.  $\alpha = .80$  (Nachbefragung, N = 60) ist die interne Konsistenz zur Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf Systemdenken akzeptabel bis gut. Eine etwas höhere interne Konsistenz zeigt sich für die Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf Mensch-Umwelt-Technik-Systeme mit  $\alpha = .79$  (Vorbefragung, N = 63) bzw.  $\alpha = .78$  (Nachbefragung, N = 63, vgl. Tab. 5).

**Tab. 5.** Skalen der Vor-/Nachbefragung zu Interesse und Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf Systemdenken

Fragebogenskalen	Interesse an Systemdenken (4 Items)		SWE in Bezug auf Systemdenken allgemein (4 Items)		SWE in Bezug auf Mensch-Umwelt-Technik-Systeme (6 Items)	
	Vor (63)	Nach (62)	Vor (62)	Nach (60)	Vor (63)	Nach (63)
Cronbach Alpha	.86	.75	.75	.80	.80	.78
Mittelwert	3.32	3.38	2.78	3.05	2.79	3.04
Standardabweichung	.52	.58	.49	.50	.50	.43

Die Unterschiede zwischen der Vor- und Nachbefragung wurden mittels abhängigen und unabhängigen t-Tests auf ihre Signifikanz überprüft. Bei signifikanten Unterschieden wurde ausserdem die Effektstärke nach Cohen’s d berechnet. Die detaillierten Ergebnisse der Analysen finden sich in Anhang 5. Im Folgenden werden die wichtigsten Erkenntnisse zusammengefasst und in einfachen Abbildungen visualisiert.

Die Auswertungen zeigen, dass alle drei Studierendengruppen sowohl vor als auch nach der Lehreinheit ein relativ hohes Interesse an Systemdenken aufweisen (Abb. 2). Die Unterschiede zwischen Vor- und Nachbefragung sind jedoch nicht signifikant ( $t(62) = -.803, p > .05, n = 63$ ), auch wenn der erste Jahrgang, bei dem die Lehreinheit noch nicht optimal auf die Zielgruppe abgestimmt war, in der Berechnung der Signifikanz weggelassen wird.



**Abb. 2.** Interesse an Systemdenken vor und nach der Lehreinheit von drei Studierendengruppen

Ein statistisch signifikanter Unterschied zeigt sich jedoch für die Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf das Systemdenken (SD) und Mensch-Umwelt-Technik-Systeme (MUT). Nach der Lehreinheit ( $M_{SD} = 3.05$ ,  $SD_{SD} = .50$ ,  $M_{MUT} = 3.04$ ,  $SD_{MUT} = .43$ ) weisen die Studierenden eine höhere Selbstwirksamkeitserwartung auf als vor der Lehreinheit ( $M_{SD} = 2.78$ ,  $SD_{SD} = .49$ ,  $M_{MUT} = 2.79$ ,  $SD_{MUT} = .50$ ). Mit  $d_{SD} = .641$  bzw.  $d_{MUT} = .508$  entspricht die Effektstärke nach Cohen einem mittleren Effekt.

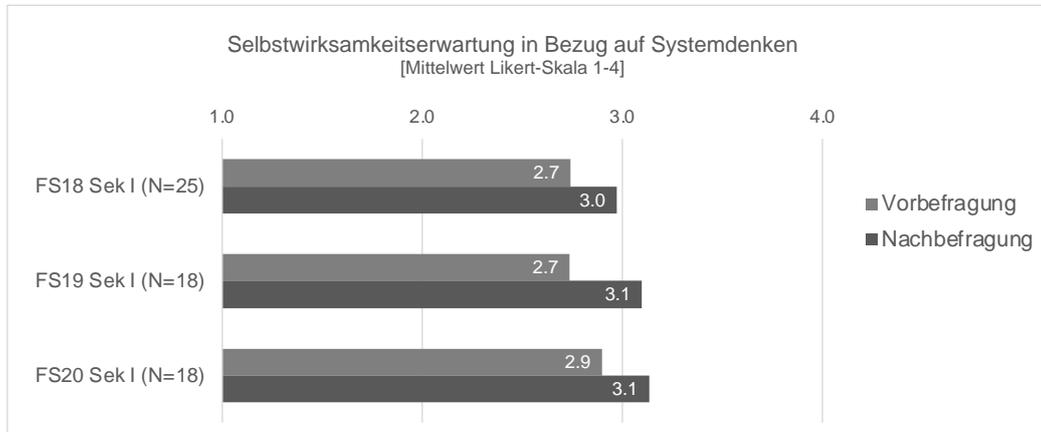


Abb. 3. Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf Systemdenken vor und nach Lehreinheit

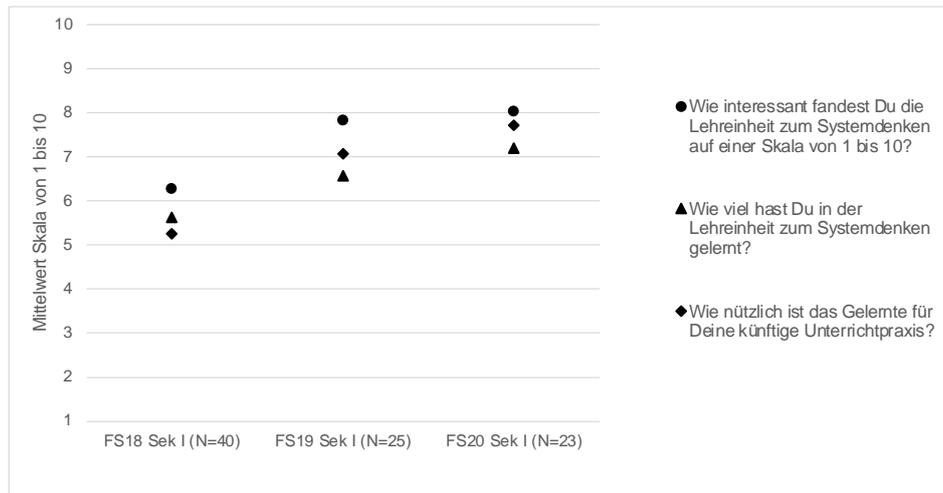
#### 4.2.1 Diskussion Interesse und Selbstwirksamkeitserwartungen in Bezug auf Systemdenken

Der Vergleich der Vor- und Nachbefragung zum Interesse an Systemdenken und der Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf das Systemdenken zeigt, dass sich das Interesse im Gegensatz zur Selbstwirksamkeitserwartung nicht signifikant verändert hat. Die Autor:innen erklären sich diesen Befund folgendermassen:

- In der ersten Durchführung der Lehreinheit im FS18 war das Teamteaching zwischen Fachexpert:innen und PH-Dozierenden noch nicht gut eingespielt und die Grundlagen des Systemdenkens noch nicht von allen verinnerlicht. Das zeigt sich insbesondere in den Ergebnissen zum Interesse am Systemdenken. Die Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf das Systemdenken hat im FS18 zwischen Vor- und Nachbefragung trotzdem zugenommen, was darauf hindeutet, dass trotz tiefer Motivation das Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten im Systemdenken gestärkt wurde.
- Der Einbezug von Fachexpert:innen hat bei vielen Sekundarstudierenden zwar das Interesse am Thema geweckt, aber nicht das Interesse am Systemdenken. Hinweise dazu gab es in mündlichen Rückmeldungen zu den Lehreinheiten. Die Studierenden schätzten den Kontakt mit den Fachexpert:innen sehr, aber insbesondere, weil sie mit ihnen fachliche, disziplinäre Details diskutieren konnten. Die Fachexpert:innen sind selber Expert:innen in ihrem eigenen Fachbereich und nicht Expert:innen für Systemdenken. Ausgenommen davon sind die Umweltingenieur:innen, die in ihrem Fachbereich auch systemisch arbeiten.

#### 4.3 Einschätzung der Lehreinheit und des Lernfortschrittes durch Studierende

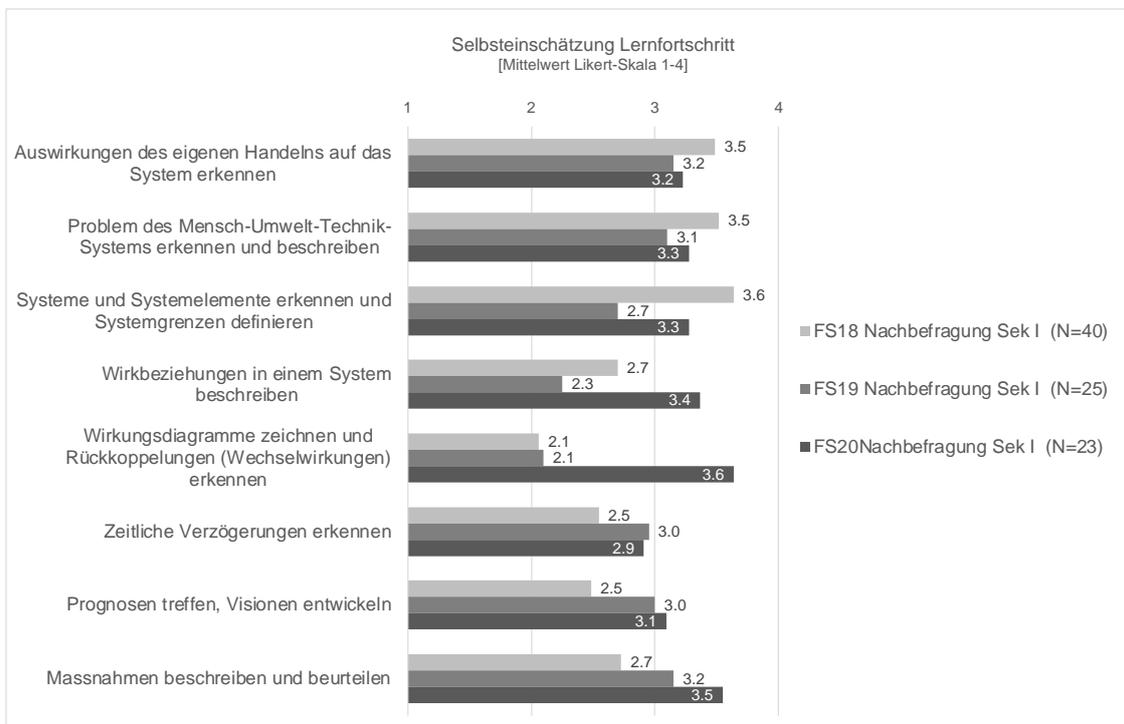
In der Nachbefragung konnten alle Studierenden die Lehreinheit in Bezug auf Interessantheit, Lernzuwachs und Praxisnutzen auf einer Skala von 1 bis 10 einschätzen. Es zeigt sich, dass die Lehreinheit in der ersten Durchführung in Bezug auf Interessantheit ( $M = 6.3$ ), Lernzuwachs ( $M = 5.6$ ) und Praxisnutzen ( $M = 5.3$ ) deutlich kritischer beurteilt wurde als in den folgenden zwei Durchführungen (Abb. 4). Dort lagen die Einschätzungen im Mittel über 7, in den letzten beiden Durchführungen gar über 8.



**Abb. 4.** Einschätzung Interessantheit, Lernzuwachs und Praxisnutzen der Lehreinheit Systemdenken von drei Studierendengruppen

Bei der Einschätzung des Lernfortschrittes zeigen sich markante Unterschiede zwischen den drei Durchführungen (Abb. 5). Insbesondere fallen folgende Einschätzungen auf:

- Nach der ersten Durchführung (FS18) schätzen die Studierenden ihren Lernfortschritt insbesondere im Zusammenhang mit «Systeme und Systemelemente erkennen und Systemgrenzen definieren» hoch ein.
- Nach der letzten Durchführung (FS20) ist die Einschätzung der Studierenden insbesondere im Zusammenhang mit «Wirkbeziehungen in einem System beschreiben» und «Wirkungsdiagramme zeichnen und Rückkoppelungen (Wechselwirkungen) erkennen» hoch.
- Besonders wenig Lernfortschritt wird in den ersten beiden Durchführungen im Zusammenhang mit «Wirkungsdiagramme zeichnen und Rückkoppelungen (Wechselwirkungen) erkennen» angegeben.



**Abb. 5.** Selbsteinschätzung des Lernfortschrittes in Bezug auf die Konzepte des Systemdenkens

### 4.3.1 Diskussion Einschätzung der Lehreinheit und des Lernfortschrittes durch Studierende

Die Einschätzung der Lehreinheit durch die Studierenden widerspiegelt einmal mehr den nicht optimalen Start im FS18 und dadurch relativ grosse Unterschiede zwischen den drei Durchführungen, mit einer positiven zeitlichen Entwicklung. Aufgrund der Analyse der Selbsteinschätzung des Lernfortschrittes (Abb. 5) wurden Optimierungen für die Folgejahre definiert:

- In der ersten Durchführung (FS18) wurde der Fokus in der Lehreinheit auf «Systeme beschreiben» gelegt. Die Studierenden haben diverse Aufgaben zur Systemabgrenzung und Systembeschreibung selbst gelöst (Systemelemente benennen, Vernetzungskreis & Wirkungsdiagramm zeichnen etc). Das Interesse daran war jedoch nicht besonders hoch (Abb. 2 & 4).
- Im FS19 wurde mit der Einführung eines Rollenspiels am Ende der Lehreinheit der Fokus von «System beschreiben» zu «Prognosen treffen, Visionen entwickeln» und «Massnahmen beschreiben und beurteilen» verschoben. Dies zeigt sich in den Einschätzungen, mit dem Effekt, dass der Lernfortschritt der anderen Aspekte weniger positiv eingeschätzt wurde als im Vorjahr.
- Im FS20 wurde den Aspekten «Wirkungsdiagramme zeichnen und Rückkoppelungen erkennen» und «Massnahmen beschreiben und beurteilen» besonderes Gewicht gegeben. Diese Änderung spiegelt sich in den Einschätzungen wider. Ob diese beiden Aspekte des Systemdenkens korrelieren, kann mit den vorliegenden Daten nicht beantwortet werden und bleibt somit Gegenstand einer weiteren Untersuchung. Doch stellt sich die Frage, ob die vertiefende Auseinandersetzung mit möglichen Rückkopplungen innerhalb des untersuchten Systems zu einem besseren Verständnis dessen geführt hat und es den Studierenden somit auch leichter fiel mögliche Massnahmen beschreiben und beurteilen zu können. Im FS20 wurden die acht Kompetenzbereiche des Systemdenkens insgesamt am positivsten eingeschätzt.

Die insgesamt positive Entwicklung in den drei Jahren, zeigte sich insbesondere auch in den Ergebnissen der Transferaufgaben für die Zielstufe. Die waren im FS20 qualitativ deutlich besser als im FS18 und FS19. Die Form des Leistungsnachweises wurde in den drei Jahren auch angepasst und optimiert.

## 5 Schlussfolgerungen

Die Förderung des Systemdenkens bei Schülerinnen und Schülern stellt einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung von BNE an den Schulen dar. Damit Lernende an den Schulen Systemkompetenzen erwerben können, müssen Lehrpersonen über die dazu notwendige professionelle Handlungskompetenz verfügen. Ob mit dem vorliegenden Projekt ein Beitrag zur Professionalisierung von Lehrpersonen im Systemdenken im Sinne einer BNE geleistet worden ist, kann nicht abschliessend beantwortet werden. Doch konnte die Lehreinheit zur Förderung dieser Kompetenz über drei Jahre hinweg erfolgreich weiterentwickelt werden. Auf drei Aspekte, die im Zusammenhang mit der Professionalisierung von Lehrpersonen wichtig sind, soll im Folgenden noch vertiefend eingegangen werden:

### 5.1 Verortung des Systemdenkens in der Lehrpersonenausbildung

Die Ergebnisse und ihre Diskussion (vgl. Kap. 4) zeigen, dass die Wahl von komplexen Mensch-Umwelt-Technik-Systemen und der Einbezug von Fach- und Expertenwissen womöglich eine Schwierigkeit darstellt für den Aufbau von Systemkompetenz in der Ausbildung von Lehrpersonen. Insbesondere wenn davon ausgegangen wird, dass es neben Fachwissen, fachdidaktischem und pädagogischen Wissen eine Metakompetenz «Systemisches Denken» gibt (Hellberg-Rode & Schürfer, 2016, 2020). Es stellt sich also die Frage, an welcher Stelle in der Ausbildung von Lehrpersonen das Systemdenken vermittelt werden sollte. Macht es Sinn, dass dies allein im Rahmen der Fachausbildung passiert, oder wären erziehungswissenschaftliche Lehrveranstaltungen, die alle Studierenden besuchen, dazu besser geeignet?

Ideal wäre eine Kombination von beidem: Die Grundlagen des Systemdenkens, wie sie bspw. im Praxisbeispiel in Anhang A2.1 aufgezeigt werden, könnten in allgemeinen, erziehungswissenschaftlichen Lehrveranstaltungen vermittelt werden. Für die fachspezifischen Besonderheiten (Kap. 2.3) bedarf es Fachdozierende. Dass zusätzlich Fachexpertinnen beigezogen werden, scheint aufgrund der Erfahrungen im vorliegenden Projekt nicht nötig zu sein. Interessanter wäre womöglich ein Teamteaching zwischen Erziehungswissenschaftler:innen mit Erfahrung und Interesse an BNE und Fachdozierenden, die sich für Systemdenken interessieren. Weiter wäre es wünschenswert, wenn das Systemdenken auch in der Ausbildung der Primarlehrpersonen gefördert würde, um so, wie auch von Reinke (2021) gefordert, eine kontinuierliche Wissens- und Kompetenzförderung während der Ausbildungszeit zu ermöglichen. Erste Untersuchungen der Autorinnen zeigen, dass sich der äusserst interdisziplinäre Fachbereich NMG auf der Primarschulstufe dazu besonders gut eignet (unpublizierte Daten).

## 5.2 Besondere Herausforderungen in Natur und Technik

Obwohl der Fachbereich NT auf Sekundarstufe I alle drei Naturwissenschaften und Technik umfasst, und dadurch ein interdisziplinäres «Etikett» hat, fokussieren die Lehrmittel und auch der Lehrplan 21 (D-EDK) stark auf disziplinäre, fachliche Grundlagen, die isoliert voneinander vermittelt werden. Die in einer BNE geforderte Multiperspektivität, die im interdisziplinären Fachbereich NT möglich wäre, wird in der Realität kaum umgesetzt. In der Fachausbildung an der PH FHNW zeigt sich dies folgendermassen: Die Bachelor-Fachwissensprüfung besteht zu 5/6, die Masterprüfung fast ausschliesslich aus Fragestellungen aus den einzelnen naturwissenschaftlichen Disziplinen Biologie, Chemie und Physik. Auch fördert die Ausbildung bislang primär das Denken in einfachen Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen, welches gemäss Güthler (2021, S. 8) «über Jahrtausende der Menschheitsgeschichte gut funktioniert [hat] und [...] daher noch immer in uns verankert [ist], obwohl es in unserer komplexen, vernetzten Welt längst an seine Grenzen stösst.» Für viele Studierende ist aufgrund ihres lückenhaften Fachwissens und trotz des Fokus auf die disziplinäre Fachwissensvermittlung das Verstehen grundlegender disziplinärer Konzepte und Inhalte des Sekundarschulstoffs und das Verknüpfen verschiedener Subsysteme (z. B. aquatisches Ökosystem, Abwasser- und Trinkwasserreinigung) eine Überforderung. Das hat unter anderem mit dem grossen Stoffumfang und der geringen Ausbildungszeit zu tun, was auch Reinke (2021) am Beispiel des Klimawandels zeigen konnte.

Dazu kommt, dass die Motivation der Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand bei den Studierenden oftmals klein ist, wenn Erkenntnisse aus Wissenschaft und Forschung noch uneindeutig oder unklar sind, wie dies in vielen Ursache-Wirkungsbeziehungen in Mensch-Umwelt-Technik-Systemen der Fall ist. Der Umgang mit solchen Unsicherheiten und das Aufzeigen verschiedener Szenarien und Prognosen ist somit ein wichtiger Bestandteil von Systemdenken im Sinne einer BNE. Um dies üben zu können, müsste deutlich mehr Zeit in der Fachdidaktik- und Fachwissenschafts-Ausbildung zur Verfügung stehen. Denn wie auch Reinke (2021, S.119) feststellte, hat fehlendes Fachwissen auch Auswirkungen auf das fachdidaktische Wissen. Wenn dann auch noch davon ausgegangen wird, dass das systemische Denken eine zusätzliche Metakompetenz ist (Hellberg-Rode & Schürfer, 2016, 2020), bedarf es neben dem Fachwissen und fachdidaktischen Wissen auch noch dieser Metakompetenz. Und das ist im Rahmen der Ausbildung in nur einem Fachbereich nicht zu leisten.

## 5.3 Weiterführende Arbeiten

Aus obengenannten Gründen und den Ergebnissen der Evaluationen der Lehrinheit wurden in den letzten beiden Jahren (2021, 2022) die Lehrinheit an der PH FHNW ohne Fachexpert:innen durchgeführt, einfachere naturwissenschaftlich-technische Systeme für den Einstieg ins Systemdenken gewählt (z. B. Räuber-Beute Beziehung) und die Haltungen der Systemdenkenden und Werthaltungen im Zusammenhang mit BNE stärker thematisiert. Diese Änderungen hatten aus subjektiver Sicht der Dozierenden insgesamt einen positiven Einfluss auf die Professionalisierung der Lehrpersonen. Darüber, ob dies eine Wirkung auf die Umsetzung des Systemdenkens auf der Zielstufe hat, können jedoch keine empirisch gesicherten Aussagen gemacht werden. Es gibt einzelne Rückmeldungen von Studierenden, dass sie ihren Leistungsnachweis (Erklärvideo, Lernaufgabe) oder ein Modell, das in der Lehrinheit genutzt wurde, an der Schule einsetzen. Und vermehrt wählen Studierende Fragestellungen zu komplexen BNE-Themen (Klimawandel, Gendersensibilisierung etc.) für ihre Masterarbeiten.

Da das Projektteam bislang wenig Erfahrung mit Systemdenken auf der Zielstufe (Sekundarstufe I) hat, werden seit 2021 Materialien und Tools für die Vermittlung von Systemdenken auf der Zielstufe entwickelt und an Schulen evaluiert. Diese Materialien und Evaluationsergebnisse werden neu auch in der Ausbildung der Lehrpersonen genutzt, was sich als sehr gewinnbringend herausstellt. So können die Systemkonzepte an selbst entwickelten und nicht aus Lehrmitteln übernommenen Beispielen im NT-Unterricht vermittelt werden. Sobald die Materialien und Tools fertiggestellt sind, werden sie öffentlich zugänglich gemacht oder können bei den Autor:innen erfragt werden. Eine Idee des Projektteams ist es, in einem Folgeprojekt den Kompetenzerwerb im Zusammenhang mit Systemdenken mit den neu entwickelten Materialien und Tools in einer grösseren, wissenschaftlichen Studie zu untersuchen und hierbei unter anderem die Haltungen der Systemdenkenden in den Fokus zu nehmen. Denn gemäss Güthler (2021, S. 47), können angehende Lehrpersonen systemisches Denken bei ihren Schüler:innen nur fördern, «wenn Sie diese Haltung selbst verinnerlicht haben und in Ihrer pädagogischen Arbeit anwenden. Denn Lernen geschieht immer in Beziehung, und nur, wenn Sie authentisch sind und selbst anwenden, was Sie vermitteln, sind sie auch glaubwürdig. Aus systemischer Sicht gibt es keinen aussenstehenden [Beobachtenden]. Die Leitung ist stets Teil des Systems Gruppe - und beeinflusst so mit ihrem Verhalten und ihren Werten die Gruppe weit mehr als mit den Inhalten, die sie vermittelt.» Somit sollten Werthaltungen und Überzeugungen im Zusammenhang mit einer nachhaltigen Entwicklung in der Ausbildung von Lehrpersonen einen besonderen Stellenwert erhalten.

## Danksagung

Ein besonderer Dank geht an die Studierenden der PH FHNW, die uns bei der Durchführung der Studie und der Datenerhebung unterstützt haben. Ohne ihre Mitarbeit wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen. Ebenfalls bedanken

möchten wir uns bei unseren Kolleg:innen im Team. Ein grosser Dank gebührt dem PgB Netzwerk für MINT Bildung Schweiz und éducation21, der Stiftung für Bildung für Nachhaltige Entwicklung, für ihre finanzielle Unterstützung und die Möglichkeit, die Ergebnisse unserer Studie zu präsentieren. Nicht zuletzt möchten wir uns bei den Fachexpert:innen der MINT-Hochschulen bedanken, die uns mit ihrem Fachwissen unterstützt und wertvolle Einblicke in ihre Arbeit gegeben haben. Besonders hervorheben möchten wir an dieser Stelle auch Brigitte Bollmann und Patrick Kunz, die uns zu Beginn des Projektes mit ihrer Expertise im Systemdenken und ihren Anregungen wertvolle Impulse gegeben haben. Wir sind dankbar für die Unterstützung und die Zusammenarbeit und hoffen, dass unsere Arbeit zu einem besseren Verständnis und zur Verbesserung des Systemdenkens in der naturwissenschaftlich-technischen Bildung beitragen kann.

## Literatur

- Agenda 21 (1992). Agenda 21: Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung (S. 329–336). Abgerufen von <http://www.agenda21-treffpunkt.de/archiv/ag21dok/kap36.htm#36>
- Arndt, H. (2017). Systemisches Denken im Fachunterricht. Abgerufen von [https://opus4.kobv.de/opus4-fau/files/8006/HolgerArndt\\_Systemisches+Denken\\_OPUS.pdf](https://opus4.kobv.de/opus4-fau/files/8006/HolgerArndt_Systemisches+Denken_OPUS.pdf)
- Bandura, A. (1977). *Self-Efficacy: Toward a Unifying Theory of Behavioral Change*. In: Psychological Review. Band 84, (2), 191–215.
- Baumert, J. & Kunter M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 9(4), 469–520.
- Ben Zvi Assaraf, O. & Knippels, M.-C. P. J. (2022). *Fostering Understanding of Complex Systems in Biology Education*. Springer Nature Switzerland AG.
- Bollmann-Zuberbühler, B., Frischknecht-Tobler, U., & Kunz, P. (2013). *Systemdenken in der BNE*. In Didaktische Grundlagen zur Bildung für Nachhaltige Entwicklung in der Lehrerinnen- und Lehrerbildung, 113–116. Zürich/Fribourg: BNE-Konsortium COHEP. Abgerufen von [https://www.education21.ch/sites/default/files/uploads/pdf-d/campus/cohep/131031\\_d\\_Gesamtdokument.pdf](https://www.education21.ch/sites/default/files/uploads/pdf-d/campus/cohep/131031_d_Gesamtdokument.pdf)
- Bollmann-Zuberbühler, B., Frischknecht-Tobler, U., Kunz, P., Nagel, U., & Wilhelm Hamiti, S. (2010). *Systemdenken fördern. Systemtraining und Unterrichtsreihen zum vernetzten Denken*. Schulverlag plus AG.
- Deutscheschweizer Erziehungsdirektoren-Konferenz (D-EDK), 2015. Lehrplan 21. Fachbereich Natur und Technik: <https://v-fe.lehrplan.ch/index.php?code=b|6|2>; Leitidee Bildung für Nachhaltige Entwicklung: <https://v-fe.lehrplan.ch/index.php?code=e|200|4>
- Gräsel, C. (2020). *Bildung für nachhaltige Entwicklung – Wie implementiert man dieses Konzept in die Lehrerbildung?* In Keil, A., Kuckuck, M. & Fassbender M. (Hrsg.), BNE-Strukturen gemeinsam gestalten. Fachdidaktische Perspektiven und Forschungen zu Bildung für nachhaltige Entwicklung in der Lehrkräftebildung. Erziehung und Weltgesellschaft (Band 13), 23–31. Münster & New York: Waxmann.
- Güdel, K. (2022). Skript Systemdenken in Natur und Technik Sek I. Vorlesungsskript mit Beispielen aus dem Projekt PgB-Projekt «Systemdenken in MINT fördern». Abgerufen unter: [https://www.naturwissenschaftsdidaktik.ch/wp-content/uploads/sites/124/Skript\\_Systemdenken\\_in\\_NT\\_FS22.pdf](https://www.naturwissenschaftsdidaktik.ch/wp-content/uploads/sites/124/Skript_Systemdenken_in_NT_FS22.pdf)
- Gupta, J., Scholtens, J., Perch, L. et al. (2019). Re-imagining the driver–pressure–state–impact–response framework from an equity and inclusive development perspective. *Sustainability Science* 15, 503–520. Abgerufen von <https://doi.org/10.1007/s11625-019-00708-6>
- Güthler, A. (2021). *Einfach komplex! Systemisch denken lernen für eine nachhaltige Welt*. Ökotopia Verlag.
- Haan de, G. (2008). Gestaltungskompetenz als Kompetenzkonzept für Bildung für nachhaltige Entwicklung. In Bormann, I. & Haan de, G. (Hrsg.), Kompetenzen der Bildung für nachhaltige Entwicklung. Operationalisierung, Messung, Rahmenbedingungen, Befunde., 23–44, Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften/GWV Fachverlage GmbH.
- Hellberg-Rode, G. & Schrüfer G. (2016). Welche spezifischen professionellen Handlungskompetenzen benötigen Lehrkräfte für die Umsetzung von Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE)? Ergebnisse einer explorativen Studie. *Biologie Lehren und Lernen – Zeitschrift für Didaktik der Biologie*, 20, 1–29.
- Hellberg-Rode, G. & Schrüfer, G. (2020). *Professionalisierung für BNE in der Lehrkräftebildung*. In Keil, A., Kuckuck, M. & Fassbender, M. (Hrsg.), BNE-Strukturen gemeinsam gestalten. Fachdidaktische Perspektiven und Forschungen zu Bildung für nachhaltige Entwicklung in der Lehrkräftebildung. Erziehung und Weltgesellschaft (Band 13), 217–233. Münster & New York: Waxmann.
- Kalcsics, K. & Wilhelm, M. (2022). Bedeutung einer «wissenschaftlichen» Fachdidaktik im Hinblick auf die Professionskompetenz von Lehrpersonen zum interdisziplinären Fachbereich «Natur, Mensch, Gesellschaft». *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 40(1), 58–71.
- Kiesling, E., Venzlaff, J. & Bohrmann-Linde C. (2022). BNE im Chemieunterricht – von der Leitlinie BNE NRW zur exemplarischen Unterrichtseinbindung. *CHEMKON*, 29(S1), 239–245.
- Krapp, A. (1999). Intrinsische Lernmotivation und Interesse. *Forschungsansätze und konzeptuelle Überlegungen. Zeitschrift für Pädagogik*, 45(3), 387–406.
- Kunter, M., Baumert, J., Blum, W., Klusmann, U., Krauss, S., & Neubrand, M. (Hrsg.) (2011). *Professionelle Kompetenzen von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV*. Münster: Waxmann.

- Lehmann, M., Künzli D. Ch. & Bertschy, F. (2017). Professionelle Handlungskompetenz von Lehrpersonen für die Entwicklung, Durchführung und Evaluation von BNE Unterrichtsangeboten in Kindergarten und Primarschule. Zur Verfügung gestellt unter: <https://education21.ch/de/didaktische-ressourcen-lehrerbildung>
- Mayring, P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. Beltz.
- Meadows, D. H. (2008). *Thinking in Systems*. Vermont: Chelsea Green Publishing.
- Ossimitz, G. (2000). *Entwicklung systemischen Denkens. Theoretische Konzepte und empirische Untersuchungen*. Profil Verlag.
- Reinke, V. (2021). Unterscheidet sich die professionelle Handlungskompetenz von Geographielehrkräften und außerschulischen BNE-Multiplikatorinnen und -Multiplikatoren? – Ergebnisse einer empirischen Studie., *Zeitschrift für Geographiedidaktik*, 49(3), 106–127. doi: 10.18452/23389
- Riess, W. (2013). Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) und Förderung systemischen Denkens. *Anliegen Natur*, 35, 55–64.
- Schwarzer, R. & Jerusalem, M. (2002). Das Konzept der Selbstwirksamkeit. In: *Zeitschrift für Pädagogik*. Band 44, Beiheft: Selbstwirksamkeit und Motivationsprozesse in Bildungsinstitutionen, 28–53.
- Shulmann, L. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4–14.
- Sleurs, W. (Hrsg) (2008). Competencies for ESD (Education for Sustainable Development) teachers – A framework to integrate ESD in the curriculum of teacher training institutes. Comenius 2.1 projekt. Abgerufen unter: [https://unece.org/fileadmin/DAM/env/esd/inf.meeting.docs/EGonInd/8mtg/CSCCT%20Handbook\\_Extract.pdf](https://unece.org/fileadmin/DAM/env/esd/inf.meeting.docs/EGonInd/8mtg/CSCCT%20Handbook_Extract.pdf)
- UNESCO. (2014). Roadmap zur Umsetzung des Weltaktionsprogramms «Bildung für nachhaltige Entwicklung».
- UNESCO. (2021). Bildung für nachhaltige Entwicklung. Eine Roadmap. BNE2030.
- Verhoeff, R. P., Knippels, M. C. P. J., Gilissen, M. G. R., & Boersma, K. T. (2018). The Theoretical Nature of Systems Thinking. Perspectives on Systems Thinking in Biology Education. *Frontiers in Education*, 3(6), 1–11. Abgerufen von <https://doi.org/10.3389/feduc.2018.00040>
- Verhoeff, R. P., Waarlo, A. J. & Boersma, K. T. (2008). Systems modelling and the development of coherent understanding of cell biology. *International Journal of Science Education*, 30(4), 543–568. Abgerufen von <https://doi.org/10.1080/09500690701237780>
- von Bertalanffy, L. (1968). The Meaning of General System Theory. In *General System Theory. Foundations, Development, Applications*. New York: George Braziller. Abgerufen von <https://doi.org/10.4324/9781351310000-6>
- Wilensky, U. & Reisman, K. (2006). Thinking like a wolf, a sheep, or a firefly: Learning biology through constructing and testing computational theories - An embodied modeling approach, cognition and instruction. *Cognition and Instruction*, 24 (2), 171–209. Abgerufen von [https://doi.org/10.1207/s1532690xci2402\\_1](https://doi.org/10.1207/s1532690xci2402_1)
- Wilhelm, M., Rehm, M. & Reinhardt, V. (2010). Urteilen in Dilemmasituationen – Nature of Science und Bildung für Nachhaltige Entwicklung, *Unterricht Chemie* 21 (118/119), 89–93.
- Wilhelm, M. (2021). Bildung in Nachhaltiger Entwicklung am Reallabor – Wer ist Landwirtschaft?, *Progress in Science Education*, 4(3), 28–35.

## Anhang

### Anhang 1: Modellierungsansätze

#### A1.1 Qualitative Modellierungsansätze

Mit einer **Concept Map** lassen sich Beziehungen zwischen Systemelementen und Wirkungszusammenhänge, vor allem Wirkungsketten und -kreisläufe, darstellen. Zur Erstellung einer Concept Map genügt ein Fachtext, in der die Problematik bzw. das System aufgezeigt wird. Dies ist somit eine Möglichkeit Systemzusammenhänge vereinfacht visuell darstellen und zusammenfassen zu können.

In einem **Vernetzungskreis** (vgl. Anhang 2, Abb. 1) werden Beziehungen zwischen Systemelementen sichtbar. Damit lässt sich auch erkennen, welches Element eine Wirkung auf ein anderes Element ausübt und an welcher Stelle Rückkopplungen auftreten. Um diese Ursache-Wirkungszusammenhänge visuell deutlich zu machen, werden die Systemelemente auf einem Kreis notiert und ihre Wechselwirkungen durch Pfeile angedeutet. Die Pfeile gehen dabei stets vom Element aus, das eine Wirkung verursacht.

Das **Wirkungsdiagramm** (vgl. Anhang 2, Abb. 3 und 5) stellt eine Weiterentwicklung des Vernetzungskreises dar und ermöglicht es eine Momentaufnahme des Systems aufzuzeigen (Bollmann-Zuberbühler et al., 2013). Kausale Zusammenhänge werden dafür ebenfalls mit Hilfe von Verbindungslinien und Pfeilen zwischen den Systemelementen veranschaulicht. Zusätzlich werden die Pfeile nun mit einem *Plus* (gleichgerichtet, verstärkend) oder *Minus* (entgegengerichtet, ausgleichend) gekennzeichnet, sodass sich verstärkende und ausgleichende Kreisläufe bzw. positive/negative Rückkopplungen darstellen und erkennen lassen (Arndt, 2017). Auch können die zentralen Elemente anhand ihrer Verbindungen mit vielen weiteren Elementen identifiziert werden (Bollmann-Zuberbühler et al., 2013).

Umweltingenieur:innen nutzen für die Systemanalyse und das Entwickeln von Handlungsmöglichkeiten das **DPSIR-Modell**. DPSIR steht für *Driving forces, Pressures, States, Impacts and Responses*. Und diese Grössen stehen für Folgendes (wikipedia DPSIR, 2022):

- **Driving forces** (Treibende Kräfte): sind Bereiche öffentlichen Lebens, deren Prozesse Druck auf die Umwelt ausüben können (z. B. Wirtschaftssektoren, Konsum privater und öffentlicher Haushalte).
- **Pressures** (Belastungen): sind die resultierenden Umweltbelastungen, bspw. durch Emissionen in Luft und Wasser oder Flächenversiegelung.
- **State** (Zustand): ist der Zustand eines Umweltkompartiments, das den Belastungen ausgesetzt ist, bspw. Veränderungen der Erdatmosphäre oder des Bodens.
- **Impacts** (Auswirkung): ist die spezifische Wirkung durch die Umweltbelastung, bspw. Treibhauseffekt oder Bodenversauerung.
- **Responses** (Reaktion): ist die gesellschaftliche Reaktion auf Umweltbelastung, bspw. Umweltforschung, umweltliche Verbesserung von Produktionsprozessen, Verhaltensänderungen oder Umweltgesetzgebung.

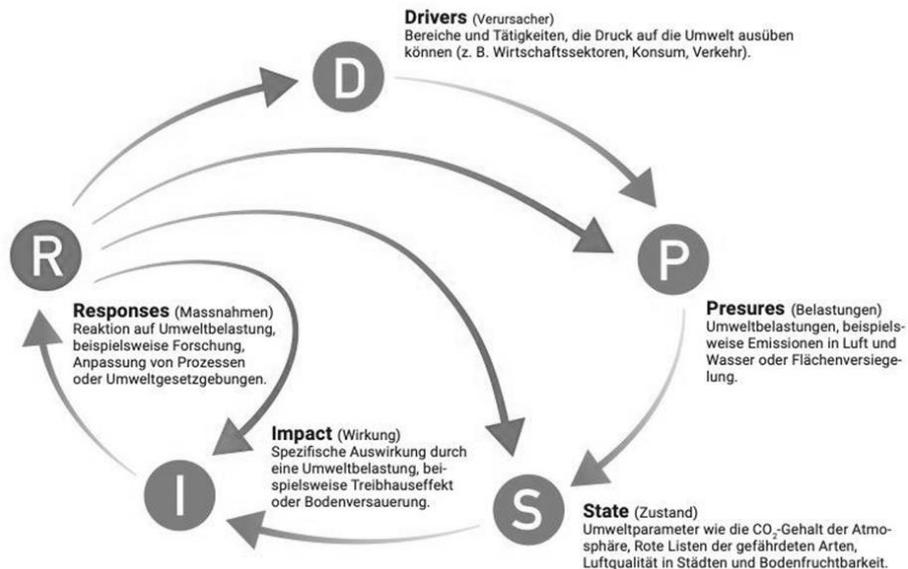


Abb. 1. DPSIR-Modell zur Analyse von Mensch-Umwelt-Technik-Systemen (nach Güdel, 2022)

Das DPSIR-Modell unterstützt die Lernenden durch die vorgegebene Wirkungskette von *Driver* zu *Pressure* zu *State* zu *Impact*, ist dadurch aber auch inhaltlich beschränkt und kann nicht alle Zusammenhänge aufzeigen. Mit den gängigen Modellierungsansätzen wie Vernetzungskreise und Wirkungsdiagrammen, in denen es keine Einschränkungen gibt, hat das Projektteam weniger gute Erfahrungen gemacht. Die Resultate wurden zum Teil beliebig und Diskussionen darüber, welcher Strich oder welcher Pfeil was bedeutet, ufernten aus. Den Fachdidaktiker:innen und Expert:innen in Systemdenken hat das Modell dennoch aus einem anderen Grund gut gefallen: Es zeigt auf, dass auf allen Ebenen (*Drivers*, *Pressures*, *State* und *Impact*) Handlungsmöglichkeiten für unterschiedliche Akteur:innen im System bestehen, auch für sie selbst. Und es visualisiert ausserdem sehr schön, dass Massnahmen an der Quelle (am nächsten bei den *Drivers*), am wirkungsvollsten sind. Aus diesen Gründen wird die Verwendung des Modells (ev. in leicht vereinfachter Form) sehr empfohlen. Die Studierenden haben sich der kognitiven Herausforderung der Analyse 'ihres' Systems angenommen und ca. ein Drittel der Studierenden hat im Leistungsnachweis auch auf das Modell zurückgegriffen und es zur Strukturierung des Systems verwendet.

### A1.2 Quantitative Modellierungsansätze sind:

In einer **Wertetabelle** lässt sich die zeitliche Veränderung eines oder mehrerer Systemelemente beschreiben. Diese tabellarische Erfassung der Dynamik innerhalb des Systems bildet die Grundlage für die Erstellung eines Verlaufsdigramms.

Das **Verlaufsdigramm** (vgl. Anhang 2, Abb. 5) erlaubt die Beschreibung einer Grössenveränderung in Abhängigkeit der Zeit (Bollmann-Zuberbühler et al., 2013). Somit lässt sich die zeitliche Dynamik eines Systems (linear, nicht-linear, exponentiell, Verzögerungen, Wachstumsgrenzen) erfassen. Sind die Achsen des Diagramms skaliert, lassen sich die Veränderungen quantifizieren. Dadurch können Beiträge einzelner Systemelemente zu einer bestimmten Grösse (z. B. Anteile der CO<sub>2</sub>-Emission gemessen an der Gesamtemission) berechnet und anschliessend in einem **Kuchendiagramm** visualisiert oder in eine Wertetabelle überführt werden (ebd., Güdel, 2022).

Das **Flussdiagramm**, auch *Stock-and-Flow*-Modell genannt, kann als Vertiefung des Wirkungsdiagramms dienen (Güdel, 2022). Hierbei werden wie im Wirkungsdiagramm Beziehungen zwischen Systemelementen dargestellt. Allerdings werden die Systemelemente im Flussdiagramm zusätzlich in verschiedene Größen eingeteilt, um die Dynamik des Systems beschreiben zu können (Arndt, 2017). Während die Bestandgröße (*stock*, z. B. Kontostand) zu einzelnen Zeitpunkten jeweils einen bestimmten Wert annimmt, beschreibt die Flussgröße (*flow*, z. B. Ein-/Auszahlung) die Veränderung der Bestandgröße pro gemessene Zeiteinheit. Hilfsgrößen beschreiben dabei zusätzliche Größen, welche die Flussgröße beeinflussen können. Bei den Hilfsgrößen handelt es sich um Variablen, die Teil des Systems sind (z. B. Zinsertrag) oder ausserhalb des Systems festgelegt werden (z. B. Zinssatz) (ebd.). Somit legen Flussdiagramme weniger einen Fokus auf die Veranschaulichung von Zusammenhängen einzelner Systemelemente, als vielmehr darauf Größenverhältnisse von Energie- und Stoffflüssen (Input, Verlust, Output, Recycling) zu veranschaulichen und erkennbar zu machen (Güdel, 2022). Aufgrund der hierbei gegebenen Komplexität empfiehlt Arndt (2017) für diesen Modellierungsansatz den Einsatz Computer-gestützter Simulationen (z. B. System-Dynamics-Modelle).

## Anhang 2: Praxisbeispiele für Systemdenken an Sekundarschulen

### A2.1 Praxisbeispiel 1: «Systemtraining» (qualitative Modellierungsansätze)

Dieses Praxisbeispiel stellt eine Unterrichtseinheit mit einem Umfang von etwa 20 Lektionen dar (Bollmann-Zuberbühler et al., 2010). Die einzelnen Lektionen sind für die Sekundarstufe I in acht Sequenzen zusammengefasst. Ziel ist es, den Schüler:innen ein grundlegendes Systemwissen zu vermitteln. Dabei lernen die Schüler:innen die Systemkonzepte sowohl durch spielerische Aktivitäten als auch mithilfe verschiedener Modellierungsansätze (vgl. folgende Abb. 1 – 4) kennen. Hierfür liegt der Fokus während den ersten sechs Sequenzen auf den beiden Kompetenzbereichen 1 und 2 «Modelle beschreiben» und «Dynamik erfassen» (vgl. Kap. 2.2.2, Abb. 1). In zwei weiteren Sequenzen werden die erarbeiteten Kenntnisse genutzt, um auch die Kompetenzbereiche 3 und 4 «Prognosen treffen» und «Handlungsentwürfe beurteilen» zu vertiefen.

In **Sequenz 1** lernen die Schüler:innen die Grundlagen der Systemorganisation kennen. Auf spielerische Art erfahren sie, dass sich ein System aus Elementen zusammensetzt, wobei sich einzelne Elemente verändern können (z. B. durch Ortswechsel) und dies als Ursache eine bestimmte Wirkung auf das System ausüben kann. Anhand weiterer praktischer Beispiele wird der Unterschied System/Nichtsystem erarbeitet. Zusätzlich wird dabei vermittelt, dass ein System variable Grenzen hat, die sich je nach Betrachtungsweise enger oder weiter fassen lassen, und ein System dadurch auch Subsysteme umfassen kann.

Die **Sequenz 2** greift Wirkungsbeziehungen auf, um Zusammenhänge zwischen den Elementen deutlicher werden zu lassen. Dabei wird der Vernetzungskreis als Werkzeug zur graphischen Darstellung von (komplexen) Beziehungen zwischen Systemelementen eingeführt. Dies kann zunächst anhand von Geschichten erfolgen (z. B. «Der Weltuntergang» von Franz Hohler), um den allgemeinen Aufbau eines Vernetzungskreises anhand einfacher Beispiele einzuführen. Diese Möglichkeit, Wirkungen mit Hilfe von Pfeilen darzustellen, wird im Anschluss auf naturwissenschaftliche Themen übertragen (Abb. 1).

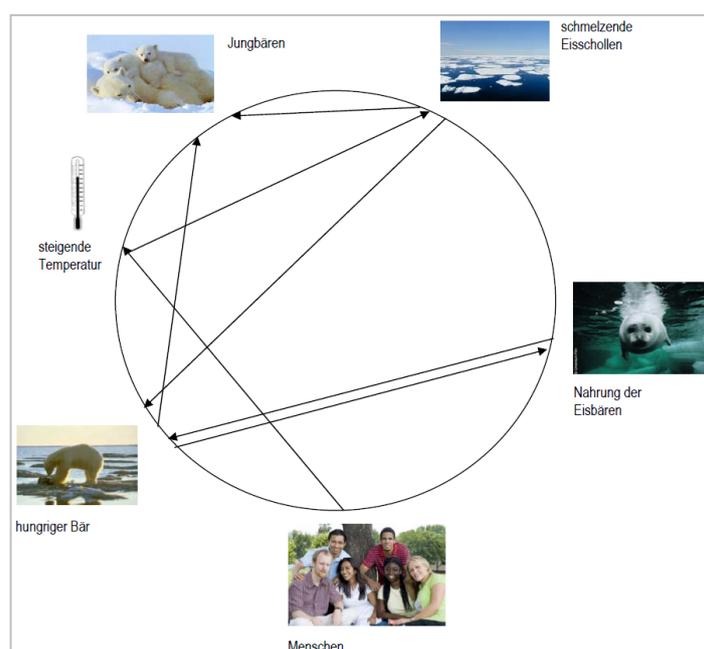


Abb. 1. Beispiel eines Vernetzungskreis zum Thema Eisbär (aus Bollmann-Zuberbühler et al., 2010)

Es folgt hierbei eine Vertiefung, um Ursache-Wirkungs-Beziehungen aufzugreifen und das Wirkungsdiagramm als ein weiteres Werkzeug einzuführen. Dafür können z. B. graphische Darstellungen von Nahrungsketten in einem Räuber-Beute-System genutzt werden (Abb. 2). Durch die graphische Ergänzung von Wirkungspfeilen werden kausale Zusammenhänge visuell hervorgehoben und einzelne Wirkungsketten zu einem Kreislauf verbunden.

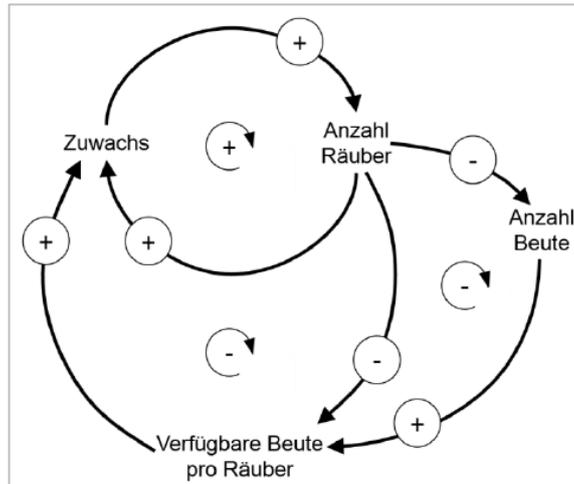


Abb. 2. Räuber-Beute-System (aus Arndt, 2017, S. 102)

In Sequenz 3 liegt der Fokus nun auf der verstärkenden und ausgleichenden Rückkopplung. Anhand von spielerischen Übungen lernen die Schüler:innen Rückwirkungen als Antwort auf eine vorhergehende Wirkung zu erkennen. Im Weiteren verstehen sie, dass Rückwirkungen wechselseitig und dabei entweder ausgleichend oder verstärkend sein können. Das Verständnis über Rückkopplungen kann z. B. mit Hilfe von Wirkungsdiagrammen zu dynamischen Gleichgewichten im menschlichen Körper vermittelt werden. Eine Möglichkeit präsentiert die folgende Grafik als Regelkreis der Körpertemperatur (Abb. 3).

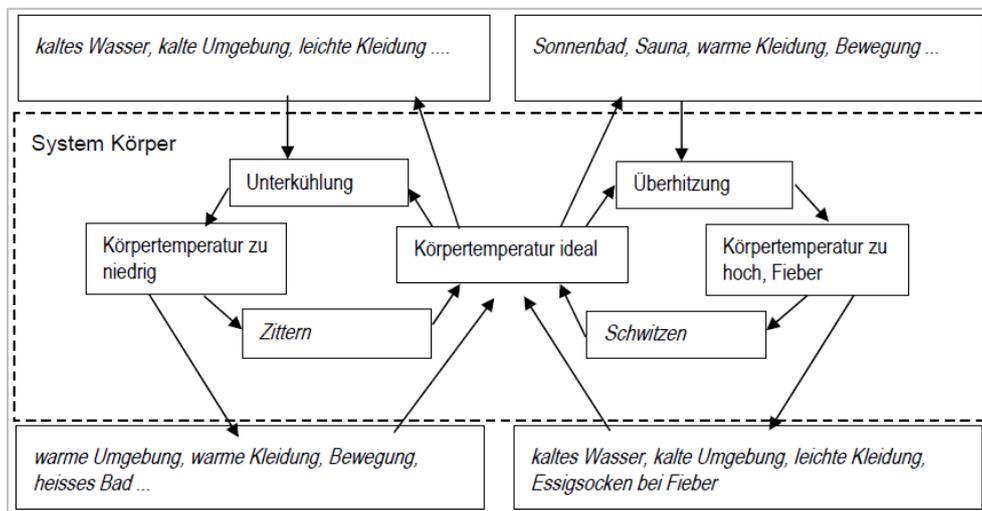


Abb. 3. Regelkreis der Körpertemperatur (aus Bollmann-Zuberbühler et al., 2010)

Sequenz 4 stellt den Einstieg in das Erkennen und Darstellen von Dynamiken innerhalb eines Systems dar. Dabei werden auch die verschiedenen Systemkonzepte, welche die Dynamiken beschreiben, eingeführt. Die Veränderung von Größen über die Zeit wird identifiziert, untersucht und graphisch dargestellt. Zeitdiagramme werden interpretiert und lineares bzw. nicht-lineares Wachstum wird mit Hilfe von Grafiken oder Animationen eingeführt. Durch diese Aufgaben rückt das Arbeiten mit Grafiken in den Vordergrund.

In Sequenz 5 erarbeiten die Schüler:innen die Grundlagen zu Gleichgewichtszuständen in Systemen und lernen die zeitliche Verzögerung als ein weiteres Systemkonzept kennen. Die Bewirtschaftung einer Waldfläche dient als thematische Grundlage. Um die Dynamik des Waldbestands anschaulich zu machen, erfolgt der Einsatz von animierten Simulationen.



Mit Hilfe des Simulationsprogramms lassen sich einzelne Variablen verändern und die Auswirkungen davon beobachten. So können die Schüler:innen z. B. durch Veränderung der eingegebenen Zuwachsrate der Beutetiere die Auswirkungen auf die Räuberpopulation simulieren. Wie die verschiedenen Größen in das Softwareprogramm *Insight Maker* eingegeben sind und im Anschluss verändert werden können, um Simulationen durchzuführen, ist mit einer Schritt-für-Schritt-Anleitung im Buch «Systemisches Denken im Fachunterricht» (Arndt, 2017) erklärt. Hier lassen sich auch weitere einfache Beispiele finden, die zuvor als Übung und Einführung in das Arbeiten mit dem Programm eingesetzt werden können.

### A2.3 Praxisbeispiel 3: «Fischspiel» (qualitativ und quantitativ verknüpft)

Das Fischspiel ist ein Spiel, bei dem BNE mit Systemdenken verknüpft wird und im Unterricht eingesetzt werden kann. Bei dem Spiel geht es darum, dass die Schüler:innen ein Verständnis über gemeinschaftlich genutzte Güter erhalten und daraus Handlungsoptionen zu einer nachhaltigen Nutzung der Güter entwickeln (Bollmann-Zuberbühler et al., 2013). Spielerisch erfolgt dies, in dem die Schüler:innen Fischer:innen sind, die jeweils zweimal pro Jahr eine selbst gewählte Anzahl an Fischen aus einem Teich fangen können. In Abhängigkeit der am Ende des Jahres noch vorhandenen Fische, vermehrt sich deren Zahl mehr oder weniger vor Beginn des nächsten Jahres. Das Spiel kann dabei in verschiedenen Gruppen gespielt werden, wobei sich in einer Gruppe die Fischer:innen nicht über ihr individuelles Vorgehen austauschen. In einer weiteren Gruppe tauschen sich die Fischer:innen aus und können so ihr Vorgehen beim Fischen nachhaltig gestalten. Nach drei Jahren, also nach drei Spielrunden, werden die Fischbestände verglichen. Auf diese Weise soll anschaulich vermittelt werden, dass eine kurzfristige Maximierung der Fischbestände zu einer Überfischung führt. Folglich kann die verstärkende Rückkopplung als Grund für die zeitlich verzögerte Abnahme der Fischbestände und die Entwicklung von Handlungsoptionen mit Hilfe von Verlaufs- und Wirkungsdiagrammen diskutiert werden (Abb. 5). Ziel hierbei ist es, dass die Schüler:innen sich ihre persönlichen Wertvorstellungen vor Augen führen und dabei erkennen, dass diese ihre eigenen Handlungen beeinflussen. Im Weiteren lernen sie, dass ein Austausch innerhalb der Gemeinschaft einen Beitrag zur Problemlösung leisten kann.

Für das Spiel benötigte Unterlagen können dem Lehrmittel «Systemdenken fördern» (Bollmann-Zuberbühler et al., 2010) entnommen werden.

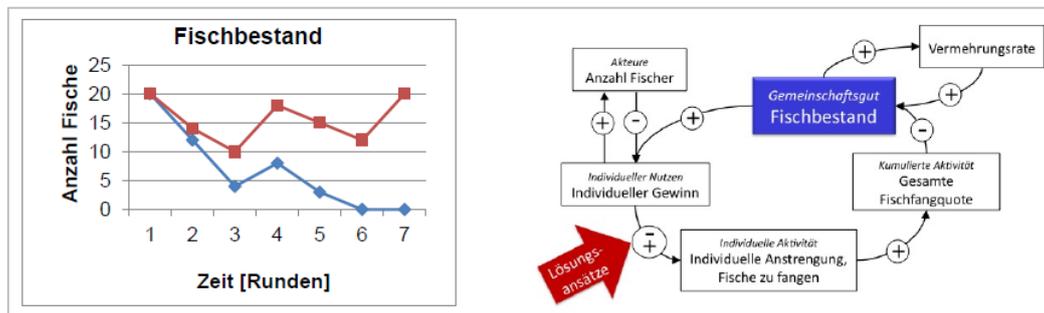


Abb. 5. Verlaufsdiagramm (links) und Wirkungsdiagramm (rechts) zum Fischbestand (aus Bollmann-Zuberbühler et al., 2013)

## Anhang 3: Praxisbeispiele Systemdenken in Ausbildung Sekundarstufe I

### A3.1 Mikroverunreinigungen im Gewässer

Relevanz des Themas: Mikroverunreinigungen 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 selbst zu verstehen, um es anschliessend Schüler:innen 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

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 dem Experten/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](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](https://www.education21.ch/sites/default/files/uploads/pdf-d/bne-kit/BNE-Kit_Wasser_Zyklus2_DE_DEF.pdf)

## **A3.2 Energie im Gebäude**

### Relevanz des Themas

Rund die Hälfte der schweizerischen Energienutzung ist Gebäuden zuzuordnen. Energieeffizienzmassnahmen im Gebäudereich 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 bspw. Raumtemperatur, Warmwassertemperatur, 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 1 zeigt die verschiedenen Faktoren (Systemelemente) die bei einer Bilanzierung berücksichtigt werden.



**Abb. 1.** Faktoren Energieverluste, Energienutzung und Energiequellen

Übergeordnetes Ziel der Lehrinheit: Das Ziel der Lehrinheit ist es, die Energieflüsse im Gebäude einerseits qualitativ und andererseits an exemplarischen Beispielen quantitativ zu erfassen, um sie anschliessend Schüler:innen der Sekundarstufe I vermitteln zu können.

Struktur und Inhalt der Lehrinheit: Die Lehrinheit 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?

Materialien für das Selbststudium: Die Lehrinheit 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 dem Experten/der Expertin geplant.

Die Lehrinheit 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](https://www.ufu.de/wp-content/uploads/2017/06/LED-Lehrmaterial_low.pdf)
- srf MySchool: diverse Beiträge zum Thema Energie, bspw.
- <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

### A3.3 Plastikmüll

Relevanz des Systems: Das System «Plastikmüll» eignet sich ebenfalls sehr gut für die Erarbeitung des Systemdenkens auf Ebene der 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 (vgl. Kap. 3.1) 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 selbst 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 selbst zu verstehen, um es anschliessend Schüler:innen 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:

1. Im ersten Teil werden nebst dem Vorstellen der verschiedenen Kunststoffklassen vor allem die Herstellungsverfahren mit Fokus auf die Problematik des Abfallwesens erklärt (Abb. 1). 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 herangeführt werden: Probleme erkennen und beschreiben.

Zahlreiche Eigenschaften → Klassifizierung			
	Thermoplaste	Duroplaste	Elastomere
Modell			
Bsp.			
T ↑	Erweichen	Zersetzen	Erweichen
E @ RT (Plastigkeit)	-	++	- bis + (abh. Vernetzung)
Sekundärbindungen	Definiert für Eigenschaften	Kette 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

Abb. 1. Klassifizierung und Herstellung verschiedener Kunststoffe

2. Im zweiten Teil wird vermehrt mit den Konzepten des Systemdenkens gearbeitet, 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. Die Verschmutzung der Weltmeere durch Plastikmüll kann dabei sehr gut mittels Ursache-Wirkungs-Beziehungen 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/wlAe1UMFg1SjK9Q> (Abb. 2).

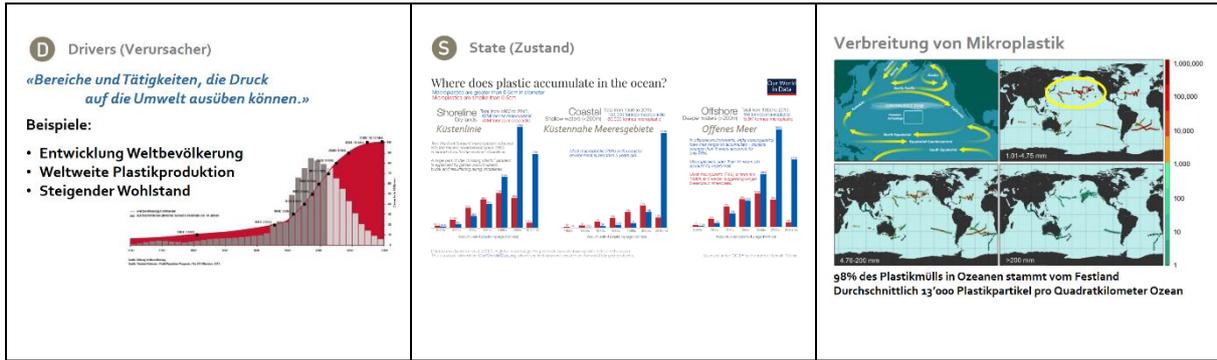


Abb. 2. Umsetzung des DPSIR-Modells für das System "Plastikmüll" - Teil 1

3. Im dritten Teil wird das vorgestellte DPSIR-Modell für das System «Plastikmüll» mit den Massnahmen (*Responses*) vervollständigt (Abb. 3). Hierbei sollen die Studierenden allein 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 (z. B. «Das Märchen vom Plastik-Recycling») berücksichtigen.

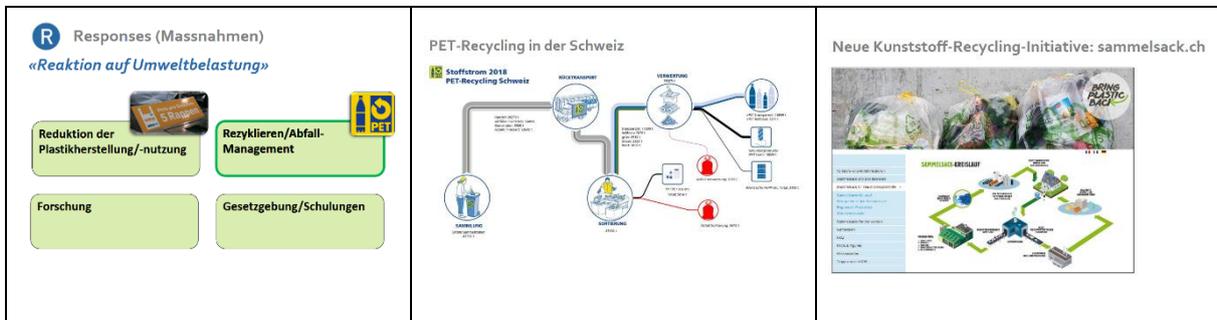


Abb. 3. Umsetzung des DPSIR-Modells für das System "Plastikmüll" - Teil 2

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/der Expertin geplant.

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

**Anhang 4: Kategoriensystem zu Vorstellungen von Systemdenken**

Kategorie (1-4 aus Bollmann-Zuberbühler et al., 2010; 7-9 explorativ ermittelt)		Nennung [in %]	
		Vor	Nach
1	<b>Modelle beschreiben</b> Das zu untersuchende System wird beschrieben und von Nichtsystemen abgegrenzt. Es wird darauf eingegangen welche Wechselwirkungen und/oder Rückkopplungen auftreten.	44	53.8
2	<b>Dynamik erfassen</b> Die Dynamik(en) und damit einhergehende (zeitabhängige) Veränderungen werden beobachtet und beurteilt. Eine Herausforderung können dabei die vielfach nichtlinearen und/oder verzögerten Veränderungen sein.	2.8	4.8
3	<b>Prognosen treffen</b> Auf Basis des Kompetenzkomplexes A werden Strategien entwickelt, um mögliche Fragen wie «Was ist?», «Was passiert?» und/oder «Was verändert sich?» beantworten und daraus Voraussagen treffen zu können. Es dient als Vorbereitung für die Entwicklung von Handlungstätigkeiten.	3.7	12.5
4	<b>Handlungsentwürfe beurteilen</b> Es werden Handlungsmöglichkeiten erarbeitet.	2.8	8.7
5	<b>Denkweise/Denkvorgang</b>	17.4	0.0

	Systemdenken wird als ein abstraktes, strukturiertes bzw. systematisches Denken verstanden. Diese Denkweise erlaubt es, Gedanken ordnen, logische Zusammenhänge und Dynamiken erkennen und Verknüpfungen herstellen zu können.		
6	<b>Kompetenz anwenden</b> Die Kompetenz des vernetzten Denkens ermöglicht es, einzelne Bestandteile des Systems betrachten und so ihre Beziehungen untereinander identifizieren zu können. Dies ermöglicht es wiederum neue Verknüpfungen herstellen zu können, um so das fächerübergreifende bzw. globale Denken zu fördern.	13.8	13.5
7	<b>Perspektivwechsel</b> Ein System wird von verschiedenen Perspektiven aus betrachtet. Dabei werden alle Akteure und/oder Aspekte des Systems berücksichtigt, wodurch dem Betrachter/der Betrachterin auch der Einfluss von Veränderungen bewusst werden kann.	3.7	1.9
8	<b>Strategie</b> Systemdenken wird als ein Lern-/Problemlöseansatz bzw. eine Strategie im Sinne einer Herangehensweise verstanden, um ein Problem bzw. ein System systematisch und möglichst unter Einbezug aller Systemelemente analysieren zu können. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse sollen das Bewerten, Vergleichen und Reflektieren über das System im Weiteren ermöglichen.	7.3	3.8
9	<b>Andere</b> Systemdenken bedeutet einzelne Systeme genau zu untersuchen und die aus Handlungssträngen hervorgehenden Folgen zu betrachten.	2.8	0.0
10	<b>Keine</b>	1.8	1.0

## Anhang 5: Signifikanztests zwischen Vor- und Nachbefragung

### A5.1 Abhängige T-Tests zur Befragung der Sekundarstudierenden

<i>t-Test (2018 – 2020)</i>					
<i>Interesse</i>		<i>SWE</i>			
		<i>In Bezug auf Systemdenken</i>		<i>In Bezug auf Mensch-Umwelt-Technik-Systeme</i>	
N = 63		N = 60		N = 63	
Pre MW = 3.3214 SD = .521	Post MW = 3.3810 SD = .580	Pre MW = 2.7833 SD = .488	Post MW = 3.0542 SD = .500	Pre MW = 2.7908 SD = .499	Post MW = 3.0397 SD = .431
MW = -.05952 SD = .58839 T = -.803 df = 62 Sig. = .425		MW = -.27083 SD = .42259 T = -4.964 df = 59 Sig. = .000		MW = -.24889 SD = .48958 T = -4.035 df = 62 Sig. = .000	
		d <sub>z</sub> = .641 (berechnet mit T und df)		d <sub>z</sub> = .508 (berechnet mit T und df)	

<i>t-Test (2019 – 2020)</i>					
<i>Interesse</i>		<i>SWE</i>			
		<i>In Bezug auf Systemdenken</i>		<i>In Bezug auf Mensch-Umwelt-Technik-Systeme</i>	
N = 36		N = 35		N = 36	
Pre MW = 3.4028 SD = .487	Post MW = 3.6111 SD = .412	Pre MW = 2.8143 SD = .404	Post MW = 3.1143 SD = .455	Pre MW = 2.8286 SD = .513	Post MW = 3.0836 SD = .412

Systemdenken in Natur und Technik

MW = -.20833 SD = .53951 T = -2.317 df = 35 Sig. = .026	MW = -.30000 SD = .40584 T = -4.373 df = 34 Sig. = .000	MW = -.25500 SD = .55051 T = -2.779 df = 35 Sig. = .009
	d <sub>z</sub> = .739 (berechnet mit T und df)	d <sub>z</sub> = .463 (berechnet mit T und df)

<i>t-Test (2018)</i>					
<i>Interesse</i>		<i>SWE</i>			
		<i>In Bezug auf Systemdenken</i>		<i>In Bezug auf Mensch-Umwelt-Technik-Systeme</i>	
N = 27		N = 25		N = 27	
Pre MW = 3.2130 SD = .553	Post MW = 3.0741 SD = .635	Pre MW = 2.7400 SD = .593	Post MW = 2.9700 SD = .556	Pre MW = 2.7404 SD = .485	Post MW = 2.9811 SD = .456
MW = .13889 SD = .60181 T = 1.199 df = 26 Sig. = .241		MW = -.23000 SD = .45023 T = -2.554 df = 24 Sig. = .017		MW = -.24074 SD = .40430 T = -3.094 df = 26 Sig. = .005	
				d <sub>z</sub> = .545 (berechnet mit T und df)	

<i>t-Test (2019)</i>					
<i>Interesse</i>		<i>SWE</i>			
		<i>In Bezug auf Systemdenken</i>		<i>In Bezug auf Mensch-Umwelt-Technik-Systeme</i>	
N = 18		N = 18		N = 18	
Pre MW = 3.4306 SD = .476	Post MW = 3.6667 SD = .364	Pre MW = 2.7361 SD = .358	Post MW = 3.0972 SD = .494	Pre MW = 2.8428 SD = .494	Post MW = 3.0378 SD = .371
MW = -.23611 SD = .40649 T = -2.464 df = 17 Sig. = .025		MW = -.36111 SD = .43910 T = -3.489 df = 17 Sig. = .003		MW = -.19500 SD = .56339 T = -1.468 df = 17 Sig. = .160	
		d <sub>z</sub> = .822 (berechnet mit T und df)			

<i>t-Test (2020)</i>					
<i>Interesse</i>		<i>SWE</i>			
		<i>In Bezug auf Systemdenken</i>		<i>In Bezug auf Mensch-Umwelt-Technik-Systeme</i>	
N = 18		N = 17		N = 18	
Pre MW = 3.3750 SD = .509	Post MW = 3.5556 SD = .458	Pre MW = 2.8971 SD = .442	Post MW = 3.1324 SD = .425	Pre MW = SD = 2.8144 .545	Post MW = 3.1294 SD = .455
MW = -.18056 SD = .65757 T = -1.165 df = 17 Sig. = .260		MW = -.23529 SD = .36944 T = -2.626 df = 16 Sig. = .018		MW = -.31500 SD = .54675 T = -2.444 df = 17 Sig. = .026	