

STEFAN FLETCHER (Universität Duisburg-Essen)

ANJA KLEINTEICH (Universität Duisburg-Essen)

**Die Entwicklung des technischen Systemdenkens im Übergang von  
der Primar- zur Sekundarstufe**

**Herausgeber**

BERND ZINN

RALF TENBERG

DANIEL PITTICH

**Journal of Technical Education (JOTED)**

ISSN 2198-0306

Online unter: <http://www.journal-of-technical-education.de>



STEFAN FLETCHER / ANJA KLEINTEICH

## **Die Entwicklung des technischen Systemdenkens im Übergang von der Primar- zur Sekundarstufe**

**ZUSAMMENFASSUNG:** Welche grundlegenden technischen Denkweisen im Sachunterricht erlernt werden und wie sich diese in der Sekundarstufe weiterentwickeln, ist bisher weitgehend unerforscht. Am exemplarischen technischen System Wasserkraftwerk wird in einem querschnittlichen Vergleich untersucht, wie sich das technische Systemdenken von Schüler/-innen am Ende der Primarstufe in Klasse 7 der Gesamtschule weiterentwickelt. Zur Erfassung wird in Anlehnung an die Strukturlegetechnik von D. Wahl (2013) ein neuartiges Erhebungsinstrument entwickelt. Im Ergebnis zeigt sich ein moderater Zuwachs des technischen Systemdenkens, der dem Lernzuwachs eines Schuljahres entspricht. Bei der Entwicklung des Systemdenkens im Detail zeigen sich deutliche Unterschiede bei der Anwendung in unterschiedlichen Teilgebieten und der Art der Denkprozesse.

*Schlüsselwörter:* Technisches Systemdenken, Entwicklung, Sachunterricht

## **The Development of Technical System Thinking in the Transition of Elementary to Secondary School**

**ABSTRACT:** Which technical way of thinking pupils basically learn in elementary schools and how this thinking develops in secondary schools are widely unresearched until now. With this in mind, we investigated pupils' way of thinking about the technical system hydropower plant in a cross-sectional comparison of pupils at the end of elementary school in grade 4 and grade 7 in secondary school. Therefore, we develop a new test instrument based on the structure formation technique of D. Wahl (2013) to gather pupils' way of thinking. The results show a moderate increase in pupils' technical way of thinking comparable with the increase in knowledge of one school year. However, in detail there are significant differences in the development of system thinking for the application in different subcategories and the way of thinking.

*Keywords:* Technical system thinking, development, general studies (Sachunterricht)

## 1 Einleitung und Forschungskontext

Der folgende Beitrag bezieht sich auf Forschungsarbeiten, die im Kontext des Graduiertenkollegs, SUSE I – Übergänge vom Sachunterricht in die Sekundarstufe I an der Universität Duisburg-Essen, geleistet wurden. Ziel des Graduiertenkollegs ist die Erforschung der Transitionsproblematik vom integrativen Sachunterricht zum fachsystematischen Unterricht der Sekundarstufe I.

Der Sachunterricht in Nordrhein-Westfalen ist als integratives Fach angelegt, welches die folgenden fünf unterschiedlichen fachlichen Perspektiven verknüpft:

- sozialwissenschaftliche Perspektive;
- geographische Perspektive;
- naturwissenschaftliche Perspektive;
- technische Perspektive;
- historische Perspektive.

Er hat das Ziel, aufbauend auf den alltäglichen Lebenserfahrungen und alltagssprachlichen Vorerfahrungen der Schüler/-innen, bedeutende Phänomene der Lebensumwelt bildungswirksam zu erschließen. Dabei soll eine fachliche wie auch fachsprachliche Grundbildung der Schüler/-innen erfolgen, um sie damit auf das Lernen an der weiterführenden Schule vorzubereiten (GDSU 2013). Im weiterführenden Unterricht in der Sekundarstufe erfolgt dann ein stark fachstrukturierter Unterricht, der die einzelnen Phänomene isoliert aus der jeweiligen Fachkultur und den damit verbundenen Denkstrukturen betrachtet.

Im Rahmen des Graduiertenkollegs SUSE I wird aus unterschiedlichen Perspektiven erforscht, welche Herausforderungen, Problematiken und Strategien der Übergang vom integrativen Fach des Sachunterrichts hin zu einem Unterricht in seinen Bezugsfächern in der Sekundarstufe mit sich bringt. An dem Forschungsprojekt sind die acht Fachdidaktiken der Bezugsdisziplinen in der Lehramtsausbildung des Lernbereichs Sachunterrichts an der Universität Duisburg-Essen beteiligt. Die nachfolgend dargestellte Studie bezieht sich auf Forschungsarbeiten zur Untersuchung dieses Übergangs aus der technischen Perspektive. Hier wird der Frage nachgegangen, inwieweit es gelingt, das technische Systemdenken – als elementares Konzept zum Verständnis von Technik – im Übergang von der Primar- zur Sekundarstufe zu entwickeln.

## 2 Technisches Systemdenken als Grundlage für die Entwicklung eines Technikverständnisses

Technik ist ein bedeutender Bestandteil der Lebensumwelt und von extrem hoher Bedeutung für die kulturelle und wirtschaftliche Weiterentwicklung der Gesellschaft. Fast alle Lösungen für die zentralen gesellschaftlichen Herausforderungen, wie zum Beispiel die Energiewende, der Umweltschutz, die Sicherheit und der medizinische Fortschritt, sind auf technologische Weiterentwicklungen angewiesen. Technik birgt aber immer auch Risiken und Gefahrenpotenziale, die erkannt und eingeschätzt werden müssen.

Der Umgang mit Technik erfolgt heute fast ausschließlich auf der Ebene der Nutzung und erfordert im besten Falle nur das damit verbundenen Bedienungswissen. Hingegen bleiben die Funktionswirkungsweisen, die Herstellung und Konstruktion von technischen Gegenständen als auch die Auswirkungen der Nutzung von Technik vollkommen unbekannt. Um eine humane und zukunftsfähige technisch geprägte Gesellschaft mitverantworten und mitgestalten zu können, braucht aber jeder Mensch grundlegende Kenntnisse von Technik. Entsprechend ist es von hoher

gesellschaftlicher Relevanz, dass Schule auch die Verantwortung für eine technische Bildung wahrnimmt. Lernen über Technik sollte schon in der Primarstufe beginnen und in den verschiedenen Schulformen der Sekundarstufe I weitergeführt werden.

Erfreulicherweise ist dementsprechend im Perspektivrahmen für den Sachunterricht die technische Perspektive als eine von fünf Perspektiven, die maßgeblich die Lebenswelterfahrung der Kinder prägen und von hoher Bildungsrelevanz sind, eingeflossen. Im Perspektivrahmen wird als ein bedeutendes Ziel der technischen Bildung gefordert, dass Grundschulkindern sich nicht nur als Reagierende und Bedienende erleben, sondern anhand überschaubarer, exemplarischer und für sie bedeutsamer Beispiele grundlegende technische Funktions- und Handlungszusammenhänge verstehen (vgl. GDSU 2013, S. 8).

Für die Ausgestaltung des Faches Technik in der Sekundarstufe I liegen als verbindliche Vorgaben die Bildungsstandards der KMK<sup>1</sup> für den Fächerkomplex Arbeit, Technik, Wirtschaft in der Sekundarstufe I vor. Darüber hinaus wurde von den Fachverbänden DGTB<sup>2</sup> und dem VDI<sup>3</sup> ein Positionspapier mit konkreten Angaben über technische Kompetenzen als Grundlage für eine technische Bildung für den mittleren Schulabschluss in Anlehnung an die Struktur der KMK erarbeitet (vgl. VDI 2007). Blickt man auf die geforderten Bildungsstandards für das Fach Technik in der Sekundarstufe I, so findet man hier durchaus anschlussfähige Bildungsziele an den Sachunterricht im Sinne eines Spiralcurriculums. So wird zum Beispiel für die Sekundarstufe I als übergreifendes Ziel zum Verständnis von Technik die Kenntnis von Ordnungskriterien genannt, die dazu dienen, bisher nicht bekannte technische Sachsysteme und Prozesse zu verstehen, einzuordnen und zu bewerten (vgl. VDI 2007, S. 8). Im Lehrplan für die Gesamtschule in NRW werden zum Beispiel als Basis für eine technische Grundbildung Kompetenzen für die Auswahl und Anwendung technischer Verfahren und das Analysieren technischer Systeme gefordert (Kernlehrplan für die Gesamtschule – Sekundarstufe I in NRW 2013).

Aus gesellschaftlicher und bildungspolitischer Perspektive bestehen somit sowohl eindeutige Vorgaben und konkrete Bildungsziele zur Umsetzung einer technischen Allgemeinbildung in der Primarstufe als auch in der Sekundarstufe im Sinne einer Input-Steuerung schulischer Bildungsprozesse. Hingegen sind die Lernergebnisse, also der Output der Bildungsbemühungen im Bereich der Technik insbesondere mit Blick auf die Primarstufe, bisher kaum erforscht und evaluiert worden. Will man die vorhandene Ausprägung grundlegender technischer Kompetenzen von Schüler/innen der Primarstufe und ihre Entwicklung näher erforschen, so macht es wenig Sinn, dies an spezifischen technischen Sachkenntnissen festzumachen. Hier stellt sich die Frage, welche grundlegenden technischen Denkweisen zentral für die Entwicklung eines technischen Verständnisses der Umwelt sind und somit generalisierbare Denkmuster, die in höchst unterschiedlichen Situationen und in Bezug auf unterschiedliche technische Artefakte angewandt werden können, bilden.

Was prägt in besonderer Weise das technische Denken und Handeln im Kern? Auf diese Frage, wird es vermutlich je nach technikdidaktischer Ausrichtung und Philosophie unterschiedliche Antworten geben. Folgt man den Grundsätzen bzw. dem Grundgedanken der allgemeinen Technologie – als allgemein anerkannte wissenschaftliche Grundlage für die didaktische Auseinandersetzung einer technologischen Bildung in NRW – nach dem Systemtheoretiker Günter Ropohl 1999, so ist die Antwort einfach: das systemorientierte Denken ist ein wesentlicher Bestandteil zur Erschließung der technischen Umwelt. Das systemorientierte Denken wird nicht nur im Rahmen von Bildungsprozessen erfolgreich angewandt, sondern ist auch Grundlage ingenieurwissenschaftlich orientierter Zugänge zur Technik beispielsweise im Rahmen von Konstruktionsprozessen (Koller

1 KMK: Die Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland.

2 DGTB: Deutsche Gesellschaft für Technische Bildung e.V..

3 VDI: Verein Deutscher Ingenieure.

1985, Roth 1994 usw.). Ein systemorientierter Zugang erlaubt ordnungstiftende Einsichten in das Verhalten und den Aufbau technischer Gebilde, ohne dass man immer gleich die verwirrende Vielfalt technischer Ausführungsdetails und technikwissenschaftliche Theorien berücksichtigen müsste (vgl. Ropohl 1999, S. 49-57).

Wichtige Ausgangspunkte eines systemorientierten technischen Denkens in Anlehnung an Ropohl (1999), Roth (1984) und Koller (1985) bilden die folgenden Konzepte einer technischen Systemtheorie:

- Ein **technisches System** ist eine **abgeschlossene technische Einheit**, die mit ihrer Umwelt in Verbindung steht.
- Technische Systeme und deren Elemente sind durch **Stoff-, Energie- und Informationsflüsse** miteinander verbunden.
- Die Transformation von **Input zu Output** wird als **Funktion des Systems** bezeichnet.
- Alle technischen Funktionen lassen sich auf die **Elementarfunktionen: Speichern, Leiten, Wandeln und Verknüpfen** zurückführen.
- Die **Struktur** eines technischen Systems wird durch die Anordnung seiner Elemente gebildet.
- Die Interaktion eines Systems mit anderen Systemen kann wiederum als ein System betrachtet werden. Auf diese Weise entstehen unterschiedliche **Hierarchiestufen** von Systemen.

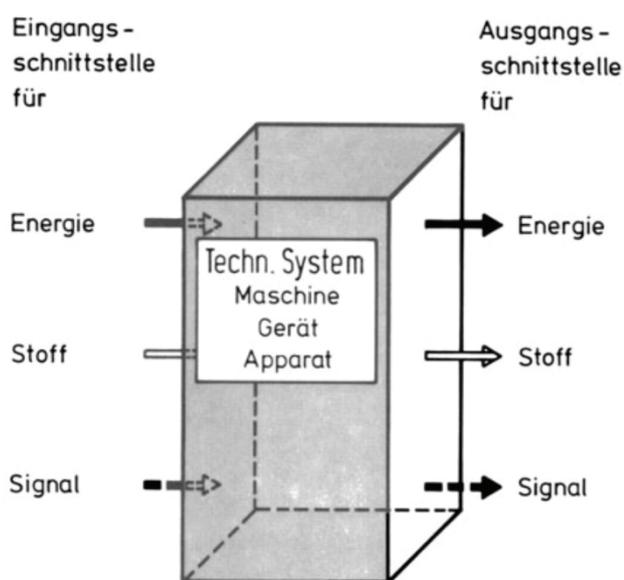


Abb. 1: Technisches System (vgl. Koller 1985, S. 26).

Dabei kann der Systemansatz nicht nur ausschließlich auf die Analyse technischer Artefakte bezogen werden, sondern erlaubt es auch ein Verständnis für die Beziehung zwischen Mensch und Technik zu entwickeln. Ropohl spricht hier von soziotechnischen Systemen, mit denen auch die vielfältigen Zusammenhänge der Interaktion zwischen Mensch und technischen Artefakten erklärt und untersucht werden können. Dieser Aspekt bleibt in Bezug auf das hier dargestellte Forschungsprojekt allerdings unberücksichtigt.

Diese grundsätzlichen, zunächst sehr abstrakt erscheinenden, systemtheoretischen Konzepte können im Kontext unterschiedlicher technischer Handlungs- und Arbeitsweisen zur Lösung von technischen Aufgaben und Problemstellungen angewandt werden. Zur Entwicklung von techni-

schen Lösungen und Produkten sind insbesondere die Anwendung systemtheoretischer Betrachtungsweisen hervorzuheben, womit im Wesentlichen synthetische Denkprozesse verbunden sind, sowie die Analyse bestehender technischer Gegenstände und Prozesse, die im Schwerpunkt ein analytisches Denken erfordert. Im Kontext technischer Handlung und Arbeitsprozesse erfolgen oft synthetische und analytische Denkprozesse in einem Wechsel (vgl. Hüttner 2005, S. 101). Zum Beispiel wird im Rahmen der Entwicklung von Lösungen für technische Produkte oft der Lösungsraum systematisch durch synthetische Schritte stark erweitert, um möglichst vielfältige Lösungsansätze zu finden. Darauf folgt zumeist eine analytische Phase, in der die am besten geeignete Teillösung durch eine Kriterien geleitete Analyse herausgefunden werden soll.

Diese Überlegungen bilden den Ausgangspunkt für den ersten Ansatz einer Bestimmung, was im Rahmen dieser Studie und den Begriff des technischen Systemdenkens verstanden wird. Dabei wird von der folgenden Annahme ausgegangen: technisches Systemdenken lässt sich grundsätzlich auf analytische und synthetische Denkprozesse zurückführen. Sowohl analytische als auch synthetische Denkprozesse basieren auf typischen systemtechnischen Denkoperationen, die auf den dargestellten systemtechnischen Konzepten basieren. Die nachstehende Abbildung (Abb. 2) veranschaulicht diese Zusammenhänge im Überblick. Es sei angemerkt, dass mit dieser Darstellung kein Anspruch auf Vollständigkeit verfolgt wird und hier nur ein Ausschnitt möglicher Denkoperationen, die das technische Systemdenken prägen, aufgezeigt ist.

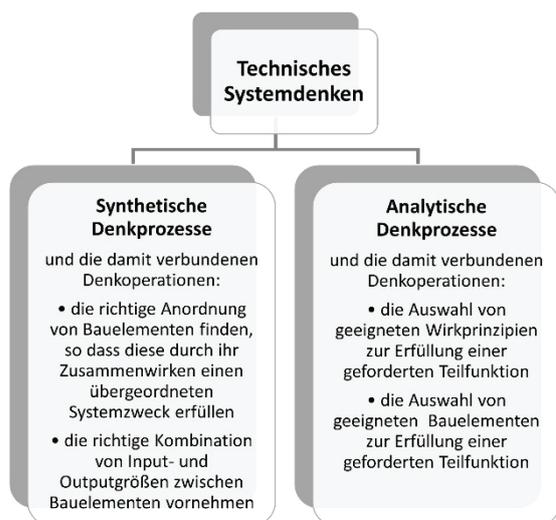


Abb. 2: Technisches Systemdenken und Beispiele für die damit verbundenen Denkoperationen (eigene Darstellung).

### 3 Anlage der Studie

#### *Forschungsfragen*

Im Sachunterricht werden Schüler/-innen erstmals mit systemorientiertem Denken konfrontiert. Studien belegen, dass schon Primarstufenschüler/-innen in der Lage sind, grundlegende systemische Denkweisen zu erlernen (vgl. Sommer 2005, Fraune 2013). Dies ist nicht nur auf die technische Perspektive in der Auseinandersetzung mit technischen Systemen beschränkt, sondern auch bei der Erschließung von natürlichen oder politischen Systemen. Das systemorientierte Denken ist ein übergreifendes Konzept, das sowohl in der Grundschule als auch in der Sekundarstufe

von großer Bedeutung für die Entwicklung methodischer Kompetenzen ist (vgl. GDSU 2013; KMK 2005). Grundsätzlich ist das systemische Denken als anspruchsvolles Konzept einzustufen, das auch bei Schüler/-innen höherer Jahrgangsstufen als sehr herausfordernd wahrgenommen wird (vgl. Eilam 2002).

Obwohl das technische Systemdenken für die Erschließung technischer Systeme und Prozesse sowohl von Grundschüler/-innen als auch von Sekundarschüler/-innen von großer Bedeutung ist, ist es bisher so gut wie unerforscht. Daraus leiten sich die dem Forschungsvorhaben zugrundeliegenden zentralen Forschungsfragen ab:

- Auf welchem Niveau ist das technische Systemdenken über ein Wasserkraftwerk bei Schülerinnen und Schülern der Primar- und Sekundarstufe I entwickelt?
- Zeigen sich Unterschiede in der Ausprägung des technischen Systemdenkens in Bezug auf die Merkmale Geschlecht und Art der Denkprozesse (analytisch/synthetisch)?
- Wie entwickelt sich das technische Systemdenken über das Wasserkraftwerk von der Primarstufe zur Sekundarstufe I weiter?

### *Entwicklung eines Erhebungsinstrumentes*

Da das technische Systemdenken von Grundschüler/-innen und dessen Entwicklung noch weitgehend unerforscht ist, liegen bisher noch keine geeigneten Erhebungsinstrumente vor, um dieses zu untersuchen. Damit war die Herausforderung verbunden, zunächst ein neues Erhebungsinstrument zu entwickeln, das sowohl den Entwicklungsstand des technischen Systemdenkens erfassen als auch in der Primar- und in der Sekundarstufe I eingesetzt werden kann. Zunächst galt es bei der Entwicklung des Erhebungsinstrumentes eine beispielhafte technikbezogene Aufgabenstellung zu finden, die in besonderem Maße die Anwendung sowohl analytischer als auch synthetischer technischer Systemdenkprozesse erfordert. Weiterhin galt es darauf bezogen einen exemplarischen Inhaltsbereich zu finden, der einerseits klare Bezüge zum Perspektivrahmen Sachunterricht (GDSU 2013) aufweist und andererseits auch eine hohe Relevanz in Bezug auf die technischen Lerninhalte der Sekundarstufe I besitzt. Hier fiel die Wahl auf das Schlüsselthema erneuerbare Energien am Beispiel der Wasserkraft als exemplarische Technologie für die Nutzung regenerativer Primärenergie.

Als Aufgabenkontext wurde die Konstruktion eines Wasserkraftwerks gewählt, das über eine elektrische Hochleitung eine Kleinstadt mit Energie versorgen soll. Hierbei handelt es sich um ein relativ komplexes technisches System, das aus einer Reihe von sehr unterschiedlichen, klar abgrenzbaren Teilsystemen aufgebaut ist. Die Teilsysteme betreffen rein mechanische Bauelemente, im einfachsten Fall eine einfache Rohrleitung, anspruchsvollere mechanische Systeme, wie eine Wasserturbine, aber auch elektrische Bauelemente, wie einen Generator und einen Transformator. Das Gesamtsystem umfasst beispielhaft den vollständigen Prozess einer Energieflusskette, beginnend von der Energiequelle im Stausee bis hin zur Energienutzung (Entwertung) in der Kleinstadt. Des Weiteren bildet das System die drei technischen elementaren Grundfunktionen: Speicherung, Transport und Wandlung in unterschiedlichen Facetten ab.

Auch aus curricularer Sicht bietet sich das Thema Wasserkraft besonders an. Das technische System Wasserkraftwerk kann unter dem verbindlichen Schwerpunktthema der erneuerbaren Energien sowohl im Sachunterricht der Grundschulen als auch an weiterführenden Schulen im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht bearbeitet werden. Im Perspektivrahmen ist es nicht nur in technischen, sondern auch in naturwissenschaftlichen Themenbereichen verortet und wird dementsprechend auch dem Anspruch der Vielperspektivität des Sachunterrichtes gerecht.

Im weiteren Verlauf der Entwicklung wurden die folgenden Ansprüche an das Erhebungsinstrument festgelegt:

- eine weitgehende Unabhängigkeit von der Lesekompetenz,
- eine motivierende Aufgabenstellung mit hohem Anwendungsbezug,
- die Erfassung typischer analytischer und synthetischer technischer Denkweisen,
- ein möglichst großer Lösungsraum,
- eine relativ kurze Bearbeitungszeit.

Im Ergebnis fiel die Wahl auf ein Aufgabenformat, dass sich an der Strukturlegetechnik von D. Wahl (2013) orientiert. Dieses Verfahren beruht im Grunde darauf, Karten mit Begriffen zu sortieren und in sinnstiftende Strukturen zu legen. Das von uns entwickelte Erhebungsinstrument basiert hingegen auf Karten mit Bildern technischer Teilsysteme eines Wasserkraftwerks. Um den Lösungsraum einzugrenzen, wurden 13 Karten vorgegeben. Sieben Karten zeigen Bilder von sinnstiftenden und funktionellen Teilsystemen eines Wasserkraftwerks, sechs Karten weisen Bilder mit sinnlosen Teilsystemen auf (vgl. Abb. 3).

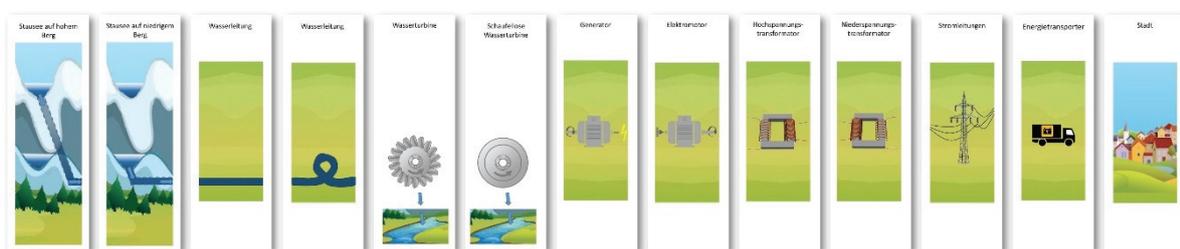


Abb. 3: Erhebungsinstrument – 13 Karten mit Teilsystemen (eigene Darstellung).

Im Zuge der Datenerhebung werden die Schüler/-innen zunächst mit einer Ausgangssituation konfrontiert. Die kleine Stadt „Bergen“ will die Wasserenergie eines in der Nähe befindlichen Bergsees nutzen und dabei eine möglichst hohe Energiemenge für die Stadt gewinnen. Hierzu sollen die Schüler/-innen Vorstellungen über eine mögliche technische Lösung entwickeln. Dafür stehen ihnen die entsprechenden Karten mit den Abbildungen verschiedener technischer Teilsysteme (vgl. Abb. 3) zur Verfügung, die ausgewählt und in der richtigen Reihenfolge angeordnet werden müssen. Die Schüler/-innen sollen die Karten zunächst in Bezug auf ihr Verständnis der Teilsysteme sortieren. Fehlen Informationen, können diese auf der Rückseite der Karte nachgelesen werden. Im Anschluss müssen die Schüler/-innen entscheiden, welche der Teilsysteme sinnstiftend für die Lösung der Aufgabe sind und diese dann in der richtigen Reihenfolge anordnen. Theoretisch bestehen mindestens 32.678 Möglichkeiten die Karten auszuwählen und anzuordnen, so dass trotz der Vorstrukturiertheit durch die begrenzte Anzahl an Karten ein möglichst großer Lösungsraum erhalten geblieben ist.

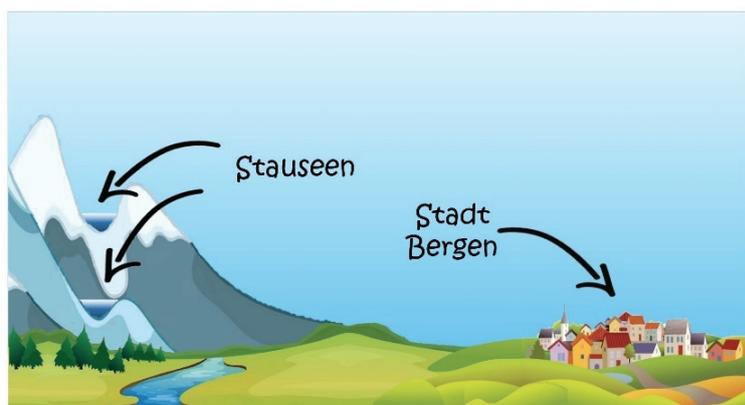


Abb. 4: Darstellung der Ausgangssituation für die Testaufgabe (eigene Darstellung).

### Testdesign

Das Forschungsdesign basiert auf einem querschnittlichen Vergleich des technischen Systemdenkens von Schüler/-innen am Ende der Primarstufe in Klasse 4 mit dem der Sekundarstufe in Klasse 7 der Gesamtschule. Die siebte Jahrgangsstufe wurde gewählt, da bis zu dieser Jahrgangsstufe sichergestellt ist, dass die Schüler/-innen zumindest ein Jahr Technikunterricht bzw. Unterricht im Fach Arbeitslehre erhalten haben. Der querschnittliche Vergleich im Sinne eines Quasi-Längsschnittes wurde aus pragmatischen Gründen gewählt, da eine längsschnittige Untersuchung im Zeitrahmen des Projektes nicht zu realisieren ist.



Abb. 5: Testdesign (eigene Darstellung).

Zur Erfassung des technischen Systemdenkens wird das vorstehend beschriebene neu entwickelte Erhebungsinstrument auf Basis der Strukturlegetechnik in beiden Jahrgangsstufen unverändert eingesetzt. Die Auswertung der gewonnenen Daten erfolgt auf Basis quantitativer Methoden der empirischen Sozialforschung. Diese umfassen einerseits die deskriptive Auswertung der Daten in Bezug auf die untersuchten Schulstufen und andererseits Zusammenhangsanalysen über Signifikanztest in Bezug auf die Einflussgrößen: Schulstufe, Geschlecht, Inhaltsbereich und Art der Denkprozesse über t-Tests und Varianzanalysen.

### Datenerhebung

Die Datenerhebung erfolgt nach einem standardisierten Ablauf, um jeweils exakt reproduzierbare Rahmenbedingungen bei jeder untersuchten Klasse unabhängig von den jeweiligen Teststrukturen zu gewährleisten. Hierzu wurde ein Testmanual erstellt, an das sich alle Testleiter strikt halten müssen. Der Testablauf an den einzelnen Schulen gliedert sich in drei Phasen.

Die erste Phase ist die Instruktionsphase, diese nimmt in etwa 15 Minuten Zeit ein. In der Instruktionsphase werden die Schüler/-innen in den situativen Kontext der Aufgabenstellung eingeführt. Der Testleiter erzählt eine kleine Geschichte, die zum Inhalt hat, dass die Kleinstadt "Bergen", die in einem Tal liegt, mit umweltfreundlicher Energie aus einem der nahegelegenen Bergseen versorgt werden sollte. Die Geschichte wird zusätzlich visualisiert mit einem Poster, auf dem die genannten Rahmenbedingungen bildhaft dargestellt sind (vgl. Abb. 4). Danach erfolgt die Erläuterung der Aufgabenstellung und die Arbeitsanweisung: „Lege die Karten mit den Bauteilen in die richtige Reihenfolge. Du brauchst nicht alle Karten zu verwenden“.

Hieran schließt sich die eigentliche Testphase an, bei der nun die Schüler/-innen eine Auswahl aus den 13 Karten in eine für sie geeignete Reihenfolge anordnen sollen, so dass die übergeordnete Funktion, die Kleinstadt „Bergen“ mit Energie aus dem Stausee zu versorgen, realisiert wird. Auf den Rückseiten der Karten stehen jeweils kurze Erläuterungen zu den dargestellten Teilsystemen, die allerdings über Klebestreifen abgedeckt sind. Falls eine Schülerin oder ein Schüler eine Erklärung zu den Abbildungen benötigt, kann sie oder er auf der Rückseite die Klebestreifen entfernen und die entsprechenden kurzen Erläuterungen lesen. Hierdurch kann in der Auswertung des Tests festgestellt werden, welche Schüler/-innen die zusätzlichen Textinformationen genutzt haben. Jeweils ein/e Schüler/-in pro Klasse wird beim Lösen der Aufgabe mit einer Eye-Trackingbrille ausgestattet und zum lauten Denken aufgefordert, um zusätzlich empirische Daten zu gewinnen, welche Denkprozesse beim Lösen der Aufgabe von den Schüler/-innen vollzogen werden. Für diese Phase haben die Schüler/-innen 20 Minuten Bearbeitungszeit.

Die dritte Phase in der Testdurchführung ist die Dokumentation der erzielten Ergebnisse der Schüler/-innen. Dies erfolgt über die Aufnahme mit einer Digitalkamera, mit der sowohl die Ergebnisse der Lösung der Schüler/-innen erfasst werden als auch die Aufgabenzettel mit einer Kodierung. Dann erfolgt die Fotografie der Rückseiten der Karten, um festzuhalten, welche Schüler/-innen die zusätzlichen Textinformationen genutzt haben.

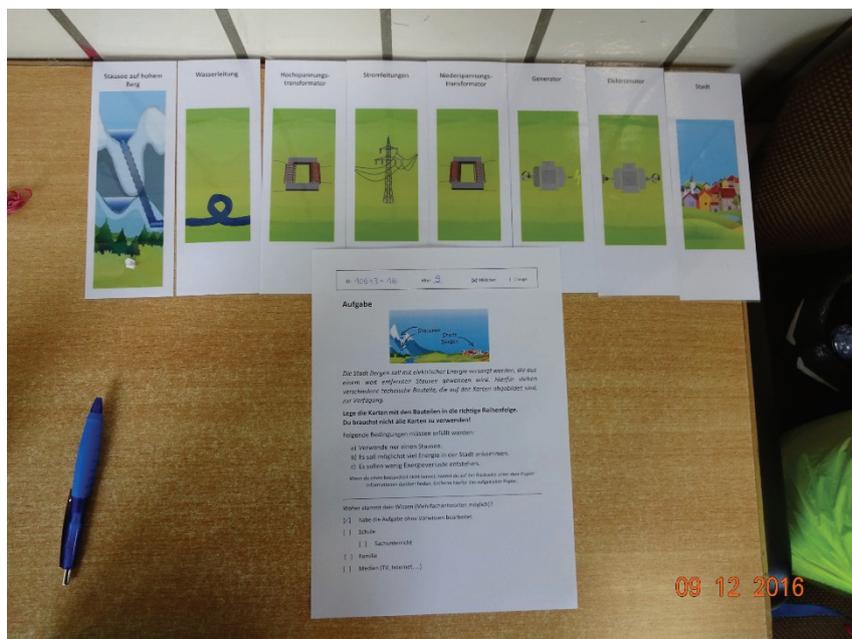


Abb. 6: Beispiel für die Dokumentation einer Schülerlösung (eigene Darstellung).

## 4 Auswertung und Ergebnisse

### Die Stichprobe

An dem Testverfahren haben insgesamt zehn Grundschulklassen der Jahrgangsstufe vier und zehn Klassen von Gesamtschulen der Jahrgangsstufe sechs/sieben teilgenommen. Die Durchführung der Tests fand entweder im Rahmen des Sachunterrichts an den Grundschulen oder im Technikunterricht (bzw. Arbeitslehreunterricht) oder Physikunterricht an den Gesamtschulen statt. Die Stichprobe umfasste insgesamt 428 Schüler/-innen, wovon 386 Schüler/-innen (206 Grundschüler/-innen und 180 Gesamtschüler/-innen) aus zehn unterschiedlichen Schulen in Nordrhein-Westfalen auswertbare Daten lieferten. Die Verteilung nach Geschlechtern war ungefähr homogen (183

Jungen, 203 Mädchen). Das durchschnittliche Alter der Grundschul Kinder betrug 9,4 Jahre, das der Gesamtschüler/-innen 11,7 Jahre. Die Auswahl der Schulen erfolgte nach dem Zufallsprinzip. Jeweils acht Schüler/-innen an der Grundschule und an der Gesamtschule wurden beim Lösen der Aufgabe mit einer Eye-Trackingbrille ausgestattet und zum lauten Denken aufgefordert.

#### *Die Auswertungsmethodik*

Die Auswertung der Ergebnisse der Schüler/-innen erfolgt quantitativ über ein Punktesystem, mit dem versucht wird, die Qualität der Denkprozesse zu bewerten. Die grundsätzliche Auswertungsstrategie beruht darauf, dass insgesamt vier typische Denkoperationen für das analytische Denken bestimmt worden sind und fünf Denkoperationen für das synthetisch-technische Denken. Jeder Denkoperation sind eindeutige Indikatoren zugeordnet, die sich aus der Auswahl und der Kombination der gewählten Teilkarten ergeben, die ein/e Proband/-in in ihrer/seiner Lösung gewählt hat. Ein typischer Lösungsindikator im Bereich der analytischen Denkprozesse ist zum Beispiel, ob ein/e Proband/-in als Energiequelle (Speicherung von Energie) ein hierfür sinnvolles Teilsystem ausgewählt hat. Als ideale Lösung hierzu wurde die Auswahl eines Stausees auf hohem Lageniveau gesehen, der dann mit einem Punkt bewertet wird. Ein typischer Lösungsindikator im Bereich der synthetischen Denkprozesse ist zum Beispiel, ob es der/dem Probanden/-in gelungen ist, im Bereich der mechanischen Teilsysteme eine Wasserleitung richtig mit einer Wasserturbine zu kombinieren. Hiermit ist die systemtechnische Denkoperation verbunden, dass die Ausgangsgröße eines Systems identisch sein muss mit der Eingangsgröße des daran angeschlossenen Systems. Die maximal erreichbare Punktzahl beträgt 15 Punkte, wenn sowohl alle synthetischen als auch analytischen Denkoperationen korrekt ausgeführt worden sind.

Um Signifikanztests (t-test bzw. Varianzanalysen) durchzuführen zu können, wurde zunächst überprüft, ob die Stichproben normal verteilt sind. Hierzu wurde der Shapiro-Wilk-Test genutzt bzw. die Varianzhomogenität mit dem Levene-Test überprüft. Zur Überprüfung, ob signifikant unterschiedliche Ausprägungen der Denkprozesse in Bezug auf das Geschlecht oder die Schulstufe vorliegen, wurde der t-Test angewandt. Bei der gleichzeitigen Einbeziehung mehrerer Abhängigkeiten, wie zum Beispiel Schulstufe und Geschlecht bzw. Art der Denkprozesse wurde je nach Fall zur Auswertung die univariate Kovarianzanalyse, die multivariate Varianzanalyse oder die multivariate Kovarianzanalyse genutzt. In den folgenden Abbildungen stehen die Sternchen für folgende p-Werte:  $p \leq 0,001$  = \*\*\*,  $p \leq 0,01$  = \*\*,  $p \leq 0,05$  = \*,  $p \leq 0,1$  = (\*) und „ns“ bedeutet *nicht signifikant*.

#### *Querschnittliche Befunde*

In den nun folgenden Darstellungen der erzielten Ergebnisse wurde zur besseren Übersicht und Vergleichbarkeit die von den Schüler/-innen erzielten Punktwerte in Bezug auf die Denkprozesse auf eine 100 % Skala normiert.

Die **Primarstufenschüler/-innen** erzielten einen Mittelwert von 62 % bei einer Standardabweichung von 18,16. Mehrere Schüler/-innen erreichten die maximale Punktzahl, der minimal erzielte Wert beträgt 13 %. Diese Werte deuten darauf hin, dass, obwohl es sich um eine relativ komplexe Aufgabenstellung handelt, der Schwierigkeitsgrad der Aufgabenstellung für Primarstufenschüler/-innen der vierten Klasse angemessen ist. Unterscheidet man in der Ergebnisanalyse synthetische Denkprozesse von analytischen als auch Mädchen und Jungen, so zeigen sich interessante Tendenzen. Insgesamt über alle Denkprozesse haben die Jungen geringfügig besser abgeschnitten, statistisch betrachtet zeigte sich ein Signifikanzniveau von  $p = 0,059$  mit einer Effektstärke von  $d = 0,275$ . Die differenzierten Analysen zeigten aber, dass die Jungen nur bei den synthetischen Denkprozessen deutlich überlegen sind, hier sogar auf dem Signifikanzniveau von

$p = 0,007$  mit einer Effektstärke von  $d = 0,365$ . In Bezug auf die analytischen Denkprozesse ist kein statistisch signifikanter Unterschied nachzuweisen.

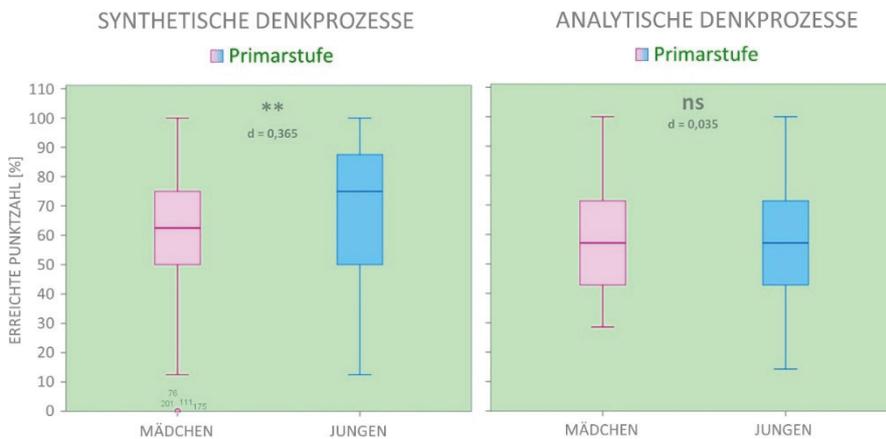


Abb. 7: Die Ausprägung des technischen Systemdenkens in der Primarstufe ( $p < 0,01^{**}$ , ns=nicht signifikant) (eigene Berechnung und Darstellung).

Die erzielte Gesamtleistung der **Sekundarschüler/-innen** ist erwartungsgemäß besser. Diese erreichten einen Mittelwert in Bezug auf alle Denkprozesse von 69 % bei einer Standardabweichung von 17,89. Hier schafften neun Schüler/-innen die volle Punktzahl zu erreichen (in der Grundschule sieben), das schlechteste Ergebnis lag bei 20 % (in der Grundschule bei ca. 13 %). Die Varianz der Leistung zwischen Jungen und Mädchen ist hier noch geringer als in der Primarstufe. Es zeigten sich zwar Unterschiede in der Gesamtbetrachtung der Leistung, dieser ist aber statistisch nicht signifikant ( $p = 0,197$ ). Die Tendenz, dass die synthetischen Denkprozesse besser von den Jungen geleistet wurden, spiegelt sich auch in der Sekundarstufe I wieder, aber auf einem deutlich geringeren Signifikanzniveau von  $p = 0,037$  mit einer Effektstärke von  $d = 0,3149$ .

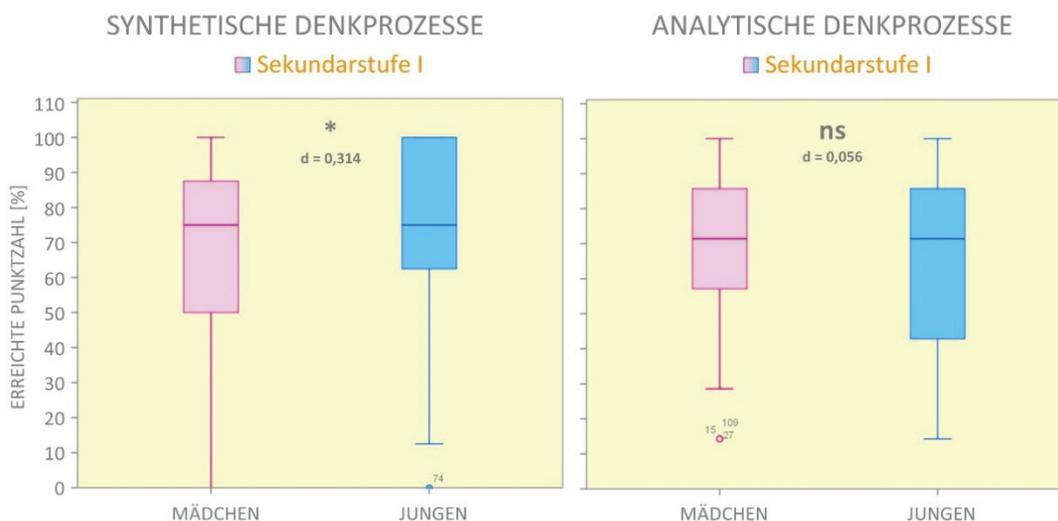


Abb. 8: Die Ausprägung des technischen Systemdenkens in der Sekundarstufe ( $p < 0,05^{*}$ , ns=nicht signifikant) (eigene Berechnung und Darstellung).

Wenn man bei der Beurteilung der Unterschiede zwischen dem synthetischen und analytischen Denken bei den Jungen nicht nur die Mittelwerte oder Mediane berücksichtigt, sondern auch die

Verteilung der Daten, ist auffällig, dass diese eine deutliche Schiefe aufweisen. Diese ist bei den analytischen Denkprozessen nach unten orientiert, hingegen zeigt sich bei den synthetischen Denkprozessen eine deutliche Schiefe zum oberen Bereich. Auffällig ist auch, dass die Ergebnisse der Jungen fast immer eine größere Streubreite aufweisen. Die Werte deuten insgesamt darauf hin, dass auch für die Sekundarschüler/-innen der Test noch anspruchsvoll genug ist und in der Lage ist, unterschiedliche Ausprägungsstufen des systemtechnischen Denkens gut zu differenzieren.

*Befunde in Bezug auf die Entwicklungsprozesse*

Ein wesentliches Ziel des Forschungsprojektes ist es zu untersuchen, wie sich das technische Systemdenken im Übergang von der Primarstufe zur Sekundarstufe weiterentwickelt. Hierzu wurden die Ergebnisse der Primarstufenschüler/-innen mit denen der Sekundarstufe über statistische Verfahren ins Verhältnis gesetzt und das Signifikanzniveau als auch die Effektstärke Cohens d berechnet. Betrachtet man zunächst die Gesamtergebnisse ohne Berücksichtigung von Geschlecht und Art des Denkprozesses, zeigt sich erwartungsgemäß ein statistisch signifikanter Unterschied ( $p = 0,013$ ). Entscheidend für die Beurteilung der Entwicklungsprozesse ist hier die Interpretation der Effektstärke, die mit  $d = 0,388$  bestimmt wurde.

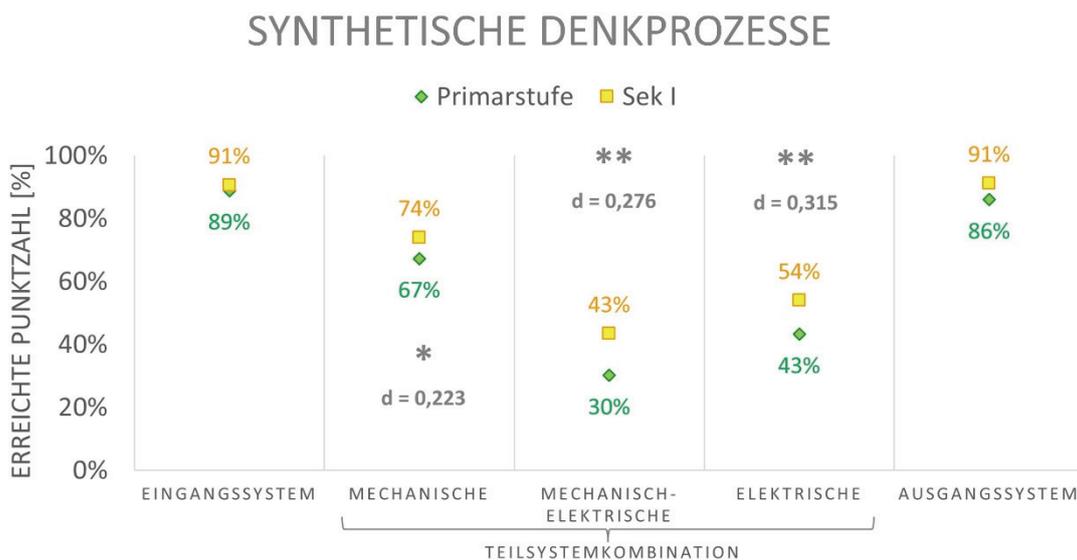


Abb. 9: Die Entwicklung synthetischer Denkprozesse in Bezug auf die unterschiedlichen Teilsysteme ( $p \leq 0,01^{**}$ ,  $p \leq 0,05^{*}$ ) (eigene Berechnung und Darstellung).

Um genau festzustellen, in welchen Bereichen des Denkens und in Bezug auf welche Inhaltsbereiche die Entwicklungsprozesse von den Schüler/-innen vollzogen wurden, ist das Datenmaterial mit der Hilfe der multivariaten Varianzanalyse und der multivariate Kovarianzanalyse ausgewertet worden (s. Abb. 9 und 10). Schaut man zunächst auf die Entwicklung der analytischen Denkprozesse wird verständlich, dass im Grunde nur deutliche Lernzuwächse im Bereich des technischen Konzeptes Wandlung stattgefunden haben ( $d = 0,307$ ;  $p = 0,009$ ). Hier galt es von den Schüler/-innen geeignete Systeme der Energiewandlung richtig auszuwählen (zum Beispiel eine Wasserturbine, die kinetische Energie des Wassers in mechanische Rotationsenergie wandelt). Bei der Auswahl von Systemen zur Speicherung, Entwertung und Transport von Energie zeigen sich nur sehr

geringe, statistisch nicht signifikante, Zuwächse. Es ist anzunehmen, dass diese Bereiche im Unterricht der Sekundarstufe I weniger stark thematisiert werden.

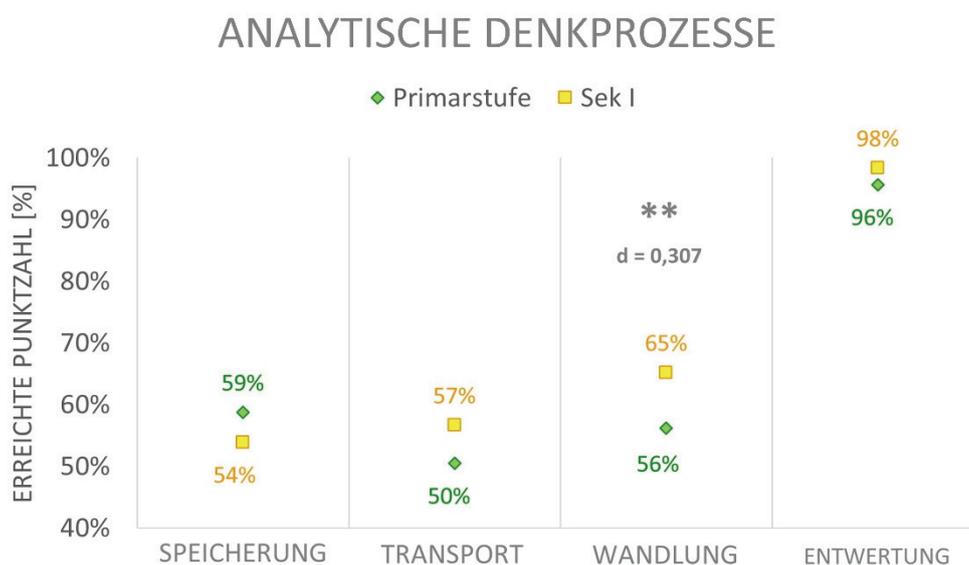


Abb. 10: Die Entwicklung analytischer Denkprozesse in Bezug auf die unterschiedlichen Elementarfunktionen ( $p \leq 0,01^{**}$ ) (eigene Berechnung und Darstellung).

Die Betrachtung der Entwicklung der synthetischen Denkprozesse (vgl. Abb. 9) macht deutlich, dass sich die Entwicklungsprozesse auf einen deutlich größeren Inhaltsbereich beziehen. Vernachlässigt man die richtige Anordnung des Eingangs- und des Ausgangssystems, so sind signifikante Zuwächse in allen Bereichen zu erkennen. Die ermittelte Effektstärke (Cohens  $d$ ) schwankt hier von  $d = 0,223$  in Bezug auf die mechanischen Teilsysteme bis hin zu  $d = 0,315$  für die richtige Kombination elektrischer Teilsysteme bei einem Signifikanzniveau von  $p = 0,013$ .

## 5 Diskussion

### *Erhebungsinstrument*

Nach erster Einschätzung wird das neu entwickelte Testwerkzeug den gestellten Anforderungen an ein praktikables und wissenschaftlichen Ansprüchen genügendes Erhebungsinstrument zur Erfassung des technischen Systemdenkens gerecht. Die Durchführungsobjektivität konnte durch ein Instruktionsmanual und die Schulung der Testleiter sichergestellt werden. Bei der Auswertung der Ergebnisse durch verschiedene Personen zeigte sich eine hohe Auswertobjektivität. Die interne Interrater-Reliabilität wurde mit einem Wert von 0,874 für Cohens Kappa bestimmt. Die Beurteilung der Reliabilität des neu entwickelten Testwerkzeugs erwies sich als schwierig. Typische Methoden wie Cronbachs Alpha bei Item basierten Tests zur Bestimmung der Reliabilität sind nicht direkt auf das spezifische Testformat zu übertragen. Die diesem Verfahren zugrundeliegende Logik der internen Korrelation von Items widerspricht dem hier angewandten Verfahren, die unterschiedlichen Denkopoperation in einem Prozess zu beurteilen. Aufgrund der realen Konstruktionssituation handelt es sich um höchst unterschiedliche Denkopoperationen, die keine interne Konsistenz aufweisen können. Die Einschätzung der Validität eines Testinstruments ist immer schwierig. Bei

der Entwicklung des Testinstruments wurde darauf geachtet, dass zumindest aus theoretischer Perspektive sowohl eine Inhaltsvalidität als auch eine Konstruktvalidität gegeben ist. Die Inhaltsvalidität wird zum einen dadurch sichergestellt, dass der bestimmte Gegenstandsbereich, auf den sich die Testaufgabe bezieht (Wasserkraftwerk), curricular vorgegebener Inhalt für beide Schulstufen ist. Zum anderen wurden die zu messenden technischen Denkoperationen direkt aus dem Konstrukt einer theoretischen Definition des technischen Systemdenkens auf Basis der Systemtheorie nach Ropohl (1999) abgeleitet. Die Validität der Testergebnisse (im Sinne einer Durchführungsvalidität) wurde des Weiteren dadurch abgesichert, indem von einigen Proband/-innen beim Lösen der Aufgabenstellung über die Methode des lauten Denkens die angewandten Denkprozesse mitverfolgt und analysiert worden sind. In den Analysen zeigte sich eindeutig, dass sich die mit dem Testverfahren intendierten Denkprozesse sehr gut in der Praxis wiedergespiegelt haben. Ein nicht zu unterschätzender Aspekt eines Testinstruments ist auch dessen unkomplizierte Handhabung in der Praxis. Hier überzeugte das Testinstrument durch eine sehr kurze Testdauer (die Durchführung der eigentlichen Legeaufgabe benötigt weniger als 20 Minuten), eine schnell und intuitiv zu erfassende Aufgabenstellung, eine weitgehende Unabhängigkeit von der Lesekompetenz sowie eine hohe Motivation der Schüler/-innen durch das Aufgabenformat sich mit den Inhalten auseinanderzusetzen.

### *Deskriptive Befunde*

Erfreulicherweise belegen die Ergebnisse der Studie, dass auch schon Grundschüler/-innen zum Ende der vierten Klasse über grundlegende Kompetenzen zum technischen Systemdenken verfügen. Immerhin sieben von den 206 getesteten Grundschüler/-innen waren in der Lage eine perfekte Konstruktion eines Wasserkraftwerks einschließlich der Komponenten zur Weiterleitung der Energie aus den vorgegebenen Teilsystemen zu erstellen. Im Durchschnitt wurden systemtechnische Denkoperationen zu 62 % erfolgreich angewandt, wobei die Jungen erfolgreicher waren. Interessanterweise zeigte sich bei näherer Analyse, dass die Überlegenheit der Jungen nur in Bezug auf die synthetischen Denkprozesse nachzuweisen ist. Welche Ursachen hierfür verantwortlich sind, lässt sich nur vermuten. Eventuell könnte dieser Effekt darauf zurückzuführen sein, dass Jungen ihre Erfahrung im Umgang mit technischem Spielzeug zum Beispiel Baukästen oder Ähnliches hier einbringen konnten. Schaut man auf die Inhaltsbereiche, die den Grundschüler/-innen besonders schwergefallen sind, so ist das die technische Funktion Wandlung und Teilsysteme mit elektrischen Komponenten. Dies sind typische Bereiche, die sich nicht mehr direkt aus der Erfahrungswelt erschließen lassen und hohe Abstraktionsleistungen voraussetzen. Das Konzept, dass ein technisches Teilsystem eine physikalische Größe (zum Beispiel mechanische Energie) in eine andere physikalische Größe (zum Beispiel elektrische Energie) wandelt, wurde von den meisten Primarstufenschüler/-innen nicht richtig verstanden. Grundsätzlich ist vermutlich den meisten Schüler/-innen das Dynamo-Prinzip vom Fahrrad bekannt. Eine Transformation auf ein Wasserkraftwerk gelingt vermutlich dennoch nicht, da der Systemgedanke noch nicht verstanden ist. Entsprechend hat sich das Denkkonzept über die grundsätzliche Funktion des Dynamos, als ein technisches System, das eine Eingangs- in eine andere Ausgangsgröße wandeln kann, nicht ausgeprägt. Auch von sehr leistungsstarken Grundschüler/-innen konnte nicht erwartet werden, dass sie verstehen, warum idealerweise die Transformation der Spannung auf ein höheres Niveau erfolgt, bevor die Energie zum Verbraucher weitergeleitet wird. Hierzu mussten die Schüler/-innen an der richtigen Stelle einen Transformator im elektrischen Energiefluss platzieren. Dieser Teilaspekt wurde in den Test aufgenommen, um besonders leistungsstarke Schüler/-innen der Sekundarstufe über den Test differenzieren zu können. Betrachtet man die Ergebnisse der Grundschüler/-innen in der Gesamtheit, so kann man konstatieren, dass das technische Systemdenken in Bezug auf die

Anwendung auf einfache, der Lebenswelt nahe technische Systeme gut ausgeprägt ist und eine gute Ausgangsbasis für die Entwicklung eines grundlegenden Verständnisses von Technik bietet. Eine Beurteilung, ob damit die in den Lehrplänen und curricularen Empfehlungen geforderten technischen Kompetenzen in Teilaspekten erzielt werden, kann auf Basis dieser Studie nicht erfolgen und war auch nicht der zielführende Gedanke.

*Entwicklungsprozesse*

Es stellt sich die Frage, wie sich dieses grundlegende Systemdenken bis zur siebten Klasse der Gesamtschule weiterentwickelt. Auf statistischer Basis wurde hierzu die Effektstärke von  $d = 0,388$  ermittelt. In der Literatur werden Effektstärken zwischen 0,5 und 0,3 als moderat und Effektstärken von 0,3 bis 0,1 als klein eingestuft (vgl. Bortz & Döring 2006, S. 606). Folgt man dieser Klassifizierung, so hat sich das technische Systemdenken von der vierten Grundschulklasse bis hin zur siebten Klasse in der Sekundarstufe nur moderat weiterentwickelt. Nun gilt es zu beurteilen, ob unter den gegebenen Rahmenbedingungen (die Schüler/-innen haben ca. drei Jahrgangsstufen durchlaufen, wobei im Durchschnitt ein Jahr Technikunterricht erfolgte) dieser Effekt erwartungsgemäß ist oder deutlich zu klein ausfällt. Hierzu macht es Sinn, die Effektstärken in Large Assessment Studien oder Metastudien zur Interpretation zu nutzen. Ein sehr hilfreicher Ansatz ist die von Hattie (vgl. Hattie 2013, S. 22) erstellte Skala zur Interpretation von Cohens d mit Bezug auf Lernleistungen von Schüler/-innen.

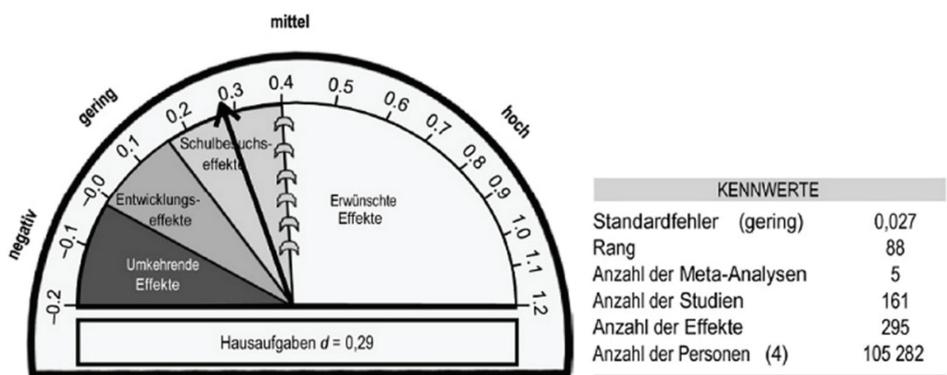


Abb. 11: Beurteilung von Effektstärken nach Hattie (vgl. Hattie 2013, S. 22).

Typische Effekte für die Verbesserung der Lernleistung innerhalb eines Schuljahres sind Werte zwischen  $d = 0,15$  und  $d = 0,4$ . Vor dem Hintergrund dieser Werte lässt sich konstatieren, dass die gemessene Gesamtweiterentwicklung des technischen Systemdenkens der eines Schuljahres entspricht. Bedenkt man, dass zwischen den beiden Testzeitpunkten quasi drei Schuljahre liegen, so entspricht diese Entwicklung zunächst nicht den Erwartungen. Welche Gründe hierfür verantwortlich sind, lässt sich nur schwer einschätzen. Es muss allerdings zunächst als wichtiges Faktum berücksichtigt werden, dass die Schüler/-innen in der Sekundarstufe in den Klassenstufen 5 bis 7 durchschnittlich nur ein Jahr Technikunterricht gehabt haben. Allerdings könnte man erwarten, dass neben dem Technikunterricht noch weitere Einflussgrößen zu einer positiven Entwicklung beitragen könnten. Das sind zum einen grundsätzliche Reifungsprozesse und die damit verbundene Weiterentwicklung von abstrakten Denkprozessen und zum anderen könnte man annehmen, dass auch im Rahmen von Biologie- oder Physikunterricht systemisches Denken gefördert wird. Eventuell ist auch anzunehmen, dass sowohl durch den ständigen Kontakt mit technischen Systemen in der eigenen Umwelt als auch durch die Berichterstattung in den Medien positive Effekte auf die

Weiterentwicklung des technischen Systemdenkens erfolgen. Positiv gedeutet lassen sich die Ergebnisse auch so beurteilen, dass der gemessene Zuwachs am technischen Systemdenken auf den nur einjährigen Technikunterricht zurückzuführen ist. Dies unterstreicht die Bedeutung des Technikunterrichts als eigenständiges Fach, welches unverzichtbar ist, damit Heranwachsende in einer immer komplexeren technisierten Welt grundlegende technische Funktions- und Handlungszusammenhänge verstehen lernen.

## Literatur

- Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 4. Auflage.
- Eilam, B. (2002). Strata of comprehending ecology: Looking through the prism of feeding relations. *Science Education*, 86, 645–671.
- Fraune, K. (2013). *Modeling system thinking – assessment, structure validation and development*. Kiel: Dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Hattie, J. A. C. (2013). *Lernen sichtbar machen*. Überarbeitete deutschsprachige Ausgabe von "Visible Learning", besorgt von Wolfgang Beywl und Klaus Zierer. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Hüttner, A. (2005). *Technik unterrichten. Methoden und Unterrichtsverfahren im Technikunterricht*. Haan-Gruiten: Europa-Lehrmittel, 2. Auflage.
- Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (GDSU) (2013). *Perspektivrahmen Sachunterricht*. Vollst. überarb. und erw. Aufl. Bad Heilbrunn.
- KMK (2005). Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.), *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss*. Darmstadt: Luchterhand.
- KMK (2015). *Übersicht Lehrpläne: Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland*.
- Koller, R. (1985). *Konstruktionslehre für den Maschinenbau. Grundlagen, Arbeitsschritte, Prinziplösungen*. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer-Verlag, 2. Auflage.
- Ropohl, G. (1999). *Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik*. München, Wien: Carl Hansen Verlag.
- Roth, K. (1994). *Konstruieren mit Konstruktionskatalogen*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
- Sommer, C. (2005). *Untersuchung der Systemkompetenz von Grundschulern im Bereich Biologie*. Kiel: Dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- VDI (2007). *Bildungsstandards Technik für den mittleren Bildungsabschluss*. Düsseldorf: VDI.
- Wahl, D. (2013). *Lernumgebungen erfolgreich gestalten: Vom trägen Wissen zum kompetenten Handeln*. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt KG, 3. Auflage.

PROF. DR. STEFAN FLETCHER

Universität Duisburg-Essen, Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Technologie und Didaktik der Technik  
Universitätsstr. 15, 45141 Essen  
stefan.fletcher@uni-due.de

DR. ANJA KLEINTEICH

Universität Duisburg-Essen, Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Technologie und Didaktik der Technik  
Universitätsstr. 15, 45141 Essen  
anja.kleinteich@uni-due.de

---

Zitieren dieses Beitrags:

Fletcher, S. & Kleinteich, A. (2018). Die Entwicklung des technischen Systemdenkens im Übergang von der Primar- zur Sekundarstufe. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 6(1), 85–100.