# Entwicklung des technischen Verständnisses im Übergang von der Primar- zur Sekundarstufe I

## - untersucht anhand der Konstruktion eines Wasserkraftwerkes mit Hilfe eines Erhebungsinstrumentes basierend auf der Strukturlegetechnik

Von der Fakultät für Ingenieurwissenschaften,
Abteilung Bauwissenschaften, Technologie und Didaktik der Technik der Universität Duisburg-Essen
zum Erwerb des Doktorgrades

**Doctor philosophiae**
**(Dr. phil.)**

genehmigte Dissertation von

**DR. RER. NAT. ANJA KLEINTEICH (GEB. NIODUSCHEWSKI)**
aus Dinslaken

Erstgutachter: Prof. Dr. phil. Dipl.-Ing. Stefan Fletcher, Universität Duisburg-Essen
Zweitgutachter: Prof. Dr. phil. Dipl.-Ing. Dr. Martin Lang, Universität Duisburg-Essen
Tag der mündlichen Prüfung: 20. Dezember 2018

# Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 4
1.1 Motivation ... 4
1.2 Stand der Forschung ... 7
1.3 Theoretischer Hintergrund ... 9
2 Ziele und Forschungsfragen ... 17
3 Methoden ... 19
3.1 Erhebungsinstrument ... 19
3.1.1 Ansprüche ... 19
3.1.2 Themenbereich ... 19
3.1.3 Konkreter Gegenstand ... 21
3.1.4 Format ... 25
3.2 Datenerhebung ... 33
3.2.1 Vorbereitung ... 35
3.2.2 Durchführung ... 36
3.2.3 Auswertungsmethodik ... 38
3.2.4 Technisches Verständnis ... 41
3.2.5 Binärcodierung ... 44
3.2.6 Kategorisierung der Ergebnisse ... 45
3.2.7 Handlungsprozesse ... 46
3.3 Statistik ... 47
3.3.1 Skalenniveau ... 47
3.3.2 Datenanalyse ... 48
4 Ergebnisse ... 52
4.1 Technisches Verständnis ... 52
4.1.1 Primarstufe (F1) ... 52
4.1.2 Sekundarstufe I (F2) ... 61
4.1.3 Vergleich der Schulstufen (F3) ... 71

4.1.4 Vergleich der Geschlechter (F4) ... 79
4.2 Binärcodierung ... 91
4.3 Kategorisierung der Ergebnisse (F5) ... 93
4.3.1 Primarstufe ... 93
4.3.2 Sekundarstufe I ... 95
4.3.3 Vergleich der Schulstufen ... 98
4.3.4 Vergleich der Geschlechter ... 98
4.4 Denkoperationen im Lösungsprozess ... 104
5 Diskussion ... 106
5.1 Erhebungsinstrument und technisches Verständnis ... 106
5.2 Entwicklung des technischen Verständnisses ... 111
5.3 Geschlechterunterschiede im technischen Verständnis ... 115
6 Fazit ... 119
6.1 Beantwortung der Forschungsfragen ... 119
6.2 Zusammenfassung ... 124
6.3 Ausblick ... 126
7 Verzeichnisse ... 129
7.1 Literatur ... 129
7.2 Abbildungsverzeichnis ... 140
7.3 Tabellenverzeichnis ... 144
7.4 Abkürzungsverzeichnis ... 145
8 Anhang ... 146
8.1 Vorangegangene Versionen des Erhebungsinstrumentes ... 146
*Erhebungsinstrument Version 1* ... 146
*Erhebungsinstrument Version 2* ... 147
*Erhebungsinstrument Version 3* ... 148
*Aufgabenzettel für die Sekundarstufe I Version 1 (Pilotierung)* ... 149
8.2 Methoden-Anhang ... 150

*Aufgabenzettel für die Sekundarstufe I* ..... 150

*Geographischer Ausschnitt des Erhebungsgebietes* ..... 151

*Eye-Tracking-Brille* ..... 152

*Aufnahmen eines vorbereiteten Klassenraumes* ..... 153

*Protokoll für Erhebung* ..... 154

*Testleitermanual* ..... 155

*Online-Fragebogen zur Auswertung der Ergebnisfotos* ..... 158

8.3 Ergebnisse der Schüleraussagen ..... 161

*Ergebnisse der Schüleraussagen zu den einzelnen Teilsystemen* ..... 161

*Ergebnisse der Schüleraussagen zu ihren Gesamtsystemen* ..... 165

8.4 Daten der IDs mit Eye-Tracking-Brille ..... 171

8.5 Erhebungsinstrument in Originalgröße ..... 172

9 Danksagung ..... 179

# 1 Einleitung

*„Der, die, das. Wer, wie, was? Wieso, weshalb, warum? Wer nicht fragt bleibt dumm. Tausend tolle Sachen, die gibt es überall zu sehen, manchmal muss man fragen, um sie zu verstehen.“*

*Volker Ludwig*

## 1.1 Motivation

Wer kennt sie nicht, diese Verse aus dem Lied der Sesamstraße. Sie haben sich seit mehr als vier Jahrzehnten nicht geändert. Doch was dahintersteckt, das schon. Konnten viele Dinge damals noch relativ einfach erklärt werden und nur bei manchen wurde es kompliziert (z.B. Telefon, Fernseher), ist es heute in einer immer mehr technisierten Welt eher umgekehrt. Kinder werden Tag täglich von technischen Dingen umgeben: die Eltern am Smartphone, Telefonieren über Bluetooth Headsets, Tablet statt Tageszeitung, Autoschlüsselkarte statt Autoschlüssel, elektronische Pieper im Småland bei Ikea, Photovoltaikanlagen auf den Häuserdächern, Windkraftanlagen im Landschaftsbild usw. Und dies sind nur einige wenige Dinge, die für die jetzige Generation vollkommen normal und alltäglich sind. Doch auch wenn Technik ubiquitär und omnipräsent ist, steigt der Anteil der ausschließlichen Nutzer und Bediener zulasten der Personen, die die Herstellung, Konstruktion und die Funktionswirkungsweisen inklusive der Auswirkungen der Nutzung von Technik kennen bzw. verstehen. Wohin soll dies in Zukunft führen? Eine Gesellschaft muss technisch geprägt sein und über grundlegende Kenntnisse von Technik verfügen. Umso wichtiger ist es, Technik an Schulen zu lehren, um ein Minimum an technischer Bildung zu gewährleisten. Jedoch ist und wird Technik vielleicht den oben genannten Umständen zufolge immer mehr ein Stiefmütterchen unter den Perspektiven des Sachunterrichts in der Grundschule bleiben und hat nicht zwingend einen bedeutenden Stellenwert in der Sekundarstufe I aller Schultypen. So existiert beispielsweise kein Kernlehrplan Technik (oder Arbeitslehre) an Gymnasien in der Sekundarstufe I auf den Seiten der Qualitäts- und UnterstützungsAgentur - Landesinstitut für Schule Nordrhein-

Westfalen (2018), sondern ist erst für die gymnasiale Oberstufe zu finden. Für die Haupt- und Gesamtschulen steht der Kernlehrplan Arbeitslehre zur Verfügung, der sich aus den drei Fächern Hauswirtschaft, Technik und Wirtschaft zusammensetzt. An Realschulen hingegen ist Technik nur als Wahlpflichtfach im Kernlehrplan zu finden. Auch der Systemtheoretiker Ropohl (2001) konstatiert, dass ein reflektiertes Technikverständnis von den meisten Pädagogen und Bildungspolitikern noch immer nicht zur Allgemeinbildung gerechnet und deswegen dem Bildungskanon der Schulen weiterhin verweigert wird. Wenn technische Bildung den Kindern durch das Bildungssystem zum Teil so vorenthalten wird, wie sollen sie dann zu technisch mündigen Erwachsenen heranreifen, die wiederum die neue Generation aufziehen?

Die Frage, die dieser Studie zugrunde liegt, ist, ob Grundschulkinder schon ein technisches Verständnis haben und ob es sich weiterentwickelt. Wünschenswert wäre in diesem Zusammenhang eine Längsschnitt-Untersuchung gewesen, um eine echte Entwicklung beurteilen zu können. Der in diesem Projekt angewandte Querschnittsvergleich ermöglichte, einen Quasi-Längsschnitt innerhalb der Projektlaufzeit von drei Jahren durchzuführen.

Für diese Studie wurde ein auf der Strukturlegetechnik basiertes Erhebungsinstrument mit exemplarischem Inhalt des Wasserkraftwerks entwickelt, das maßgeblich für die Beantwortung der Frage verantwortlich ist und einen hohen Stellenwert hat. Es muss den Ansprüchen verschiedener Altersstufen bzw. Klassenstufen genügen und leicht anwendbar sein. Des Weiteren soll es für das technische Verständnis typische Denkoperationen ausführbar machen und curricular valide Inhalte haben. So haben auch Möller et al. (2013) im Zusammenhang mit einer großen Übergangsstudie angemerkt, dass an Forschung, die sich auf unterschiedliche Schul- und damit auch Altersstufen bezieht, hohe methodische Anforderungen gestellt werden.

Die vorliegende Studie ist Bestandteil des Graduiertenkollegs „SUSeI[1]“ der Universität Duisburg-Essen, was sich mit den Übergängen des Sachunterrichts in der Primar-

[1] SUSeI steht für **S**ach**U**nterricht und **Se**kundarstufe **I**

stufe zur Sekundarstufe I befasst (Rau-Patschke et al. 2018). Es soll die Transitionsproblematik vom integrativen Sachunterricht zum fachsystematischen Unterricht der Sekundarstufe I erforschen. Das Fach Sachunterricht in NRW (Nordrhein-Westfalen) beinhaltet fünf unterschiedliche fachliche Perspektiven – sozialwissenschaftliche, naturwissenschaftliche, geographische, technische und historische Perspektive –, die sich in der Sekundarstufe I in sieben einzelne Fächer – Sozialwissenschaften, Biologie, Chemie, Physik, Geographie, Technik (oder Arbeitslehre) und Geschichte – aufgliedern (vgl. Abbildung 1).

Übergeordnetes Ziel dieser Studie ist es, einen Beitrag zur wissenschaftlichen Erfassung der Übergangsproblematik aus der technischen Perspektive zu leisten. Das entwickelte Erhebungsinstrument könnte in Zukunft zur einfachen und vergleichbaren Erfassung von Schülervorstellungen beispielsweise zu Beginn einer Unterrichtseinheit und zum Ende zur Festigung des erworbenen Wissens eingesetzt werden. Es macht sichtbar, ob Zusammenhänge erkannt wurden und ist für eine unkomplizierte Darstellung von Prozessen gut geeignet. Die empirisch ermittelten Ergebnisse könnten in Zukunft zur Anschlussfähigkeit im Fach Technik und zur Steigerung der Gendersensitivität beitragen.

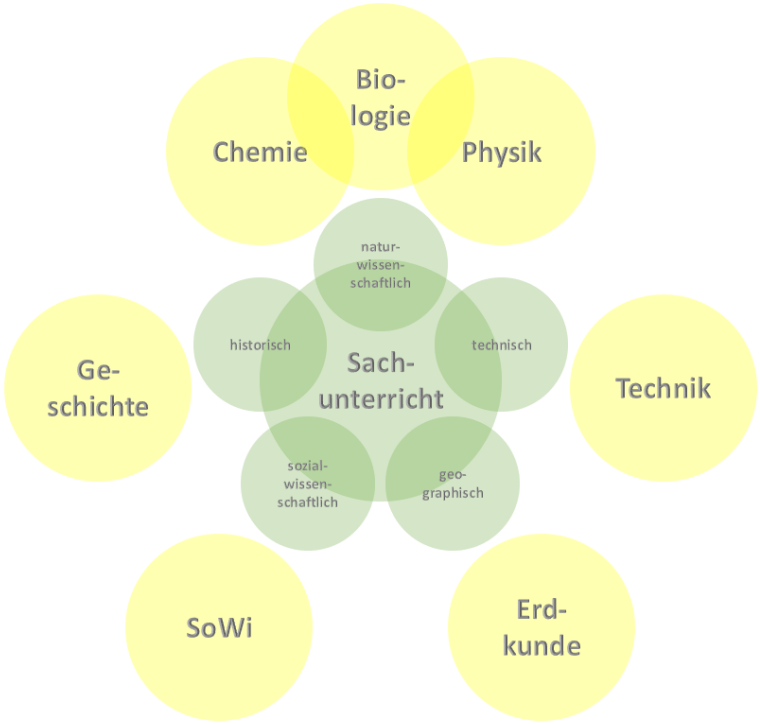



Abbildung 1: Vielperspektivischer Sachunterricht der Primarstufe (grün), Unterrichtsfächer Sekundarstufe (gelb)

Der vielperspektivische Sachunterricht soll Teil eines lebenslangen Lernprozesses sein, der an das vorschulische Lernen im Elementarbereich anschlussfähig sein muss und dessen Anschlussfähigkeit an weiterführendes Lernen berücksichtigt wird. Diese Anschlussfähigkeit ergibt sich daraus, dass die Wissensbestände, Konzepte und Methoden der Fachkulturen der Sekundarstufe im Perspektivrahmen Einfluss auf die Wahl der Themenbereiche und Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen in der Primarstufe haben. Die technische Bildung soll durch spielerisches und probierendes Handeln im Elementarbereich vorbereitet werden, durch die Auseinandersetzung mit für die Kinder bedeutsamen Inhalten in der Primarstufe eine erste Basis erhalten und durch systematischeres Lernen in der Sekundarstufe fortgeführt werden (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts 2013). Das Input technischer Bildung ist also zumindest für die Primarstufe durch den Perspektivrahmen klar formuliert und lückenlos. Wie ist jedoch ihr Output?

## 1.2 Stand der Forschung

Die Übergangsforschung ist keine neue Disziplin. Jedoch wird der zweite Übergang häufiger von der Sekundarstufe auf die Primarstufe betrachtet. Denn die Lehrkräfte der weiterführenden Schulen sind oft der Problematik der Anschlussfähigkeit ihrer Fächer an den Sachunterricht gegenübergestellt. Es können Brüche im Wissensaufbau entstehen, wenn das bisher erworbene Wissen nicht mit den neuen schulischen Anforderungen in Verbindung gebracht wird und damit getrennt voneinander abgespeichert wird (Hempel 2010). So fordert Hempel (2010, 2013), die Lerngegenstände des Sachunterrichts in die perspektivischen Sachzusammenhänge zu bringen. Sie betrachtet den Übergang aber auch zusätzlich aus der anderen Perspektive – von der Primarstufe zur Sekundarstufe – und fordert eine Auseinandersetzung der Grundschullehrkräfte mit den Kerncurricula der nachfolgenden Sachfächer, um das Fundament, das der Sachunterricht schaffen sollte, zu kennen. Es sollte demnach eine Kooperation zwischen den verschiedenen Schulstufen stattfinden. Giest (2010) hingegen kritisiert, dass Bildung das Ziel haben solle, Kinder zu befähigen, die Welt zu erschließen, und nicht zentral das Lernen in der Sekundarstufe vorzubereiten. Um keine Brüche in den Lernprozessen der Kinder zu generieren, bedarf es einer abgestimmten Gestaltung der Übergänge zwischen Elementar-, Primar- und Sekundarbereich. Wobei die Grundschule hier eine vermittelnde Position zwischen Beginn,

Grundlegung und Fortführung von Lernprozessen zwischen Elementar- und Sekundarstufe einnimmt (Giest & Marquardt-Mau 2013). Um der Anschlussfähigkeit gerecht zu werden, fordern Spreckelsen (2015) und Möller (2014) – wie es in den USA und anderen Ländern schon der Fall ist – ein einheitliches stufenübergreifendes Curriculum von Klasse eins bis dreizehn. Übergangsforschung befasst sich beispielsweise mit Unterrichtswahrnehmungen und Interessensentwicklungen beim Übergang (Möller 2014; Pollmeier et al. 2014; Tröbst et al. 2016) oder auch mit Übergangsempfehlungen und deren Abhängigkeiten (Anders et al. 2010; Ditton & Krüsken 2006; Gresch et al. 2010; Gresch & Becker 2010; Maaz & Nagy 2010; McElvany 2010) und Übergangsproblemen (Kaiser & Lange 2010; Kurtz et al. 2010; Watermann et al. 2010). In dieser Studie wird der Übergang durch die Entwicklung des technischen Verständnisses der Schüler/-innen untersucht.

In den Naturwissenschaften hat Übergangsforschung in der Physik im umfangreichen PLUS-Projekt[2] (**P**rofessionswissen von **L**ehrkräften, naturwissenschaftlicher **U**nterricht und Zielerreichung im Übergang von der Primar- zur **S**ekundarstufe) stattgefunden. Möller (2010) vermutet, dass beim Wechsel vom Primar- in den Sekundarbereich ein Bruch in der Lernkultur stattfindet. Der Unterrichtsstil im Übergang von der Primar- zur Sekundarstufe verändere sich. In der Grundschule finde vornehmlich forschend-entdeckender, problemorientierter Unterricht statt und die Eigenständigkeit der Schüler/-innen würde als Ziel herausgestellt. Hingegen überwiege an den weiterführenden Schulen noch häufig die Weitergabe von Wissen. Die Ergebnisse der PLUS-Studie beweisen, dass der Schulstufenübergang ein kritisches Ereignis in der Entwicklung der (auf den Physikunterricht bezogenen) Interessen ist. Es hat ein Rückgang in der Wahrnehmung verständnis- und interessensfördernder Merkmale vom 4. bis zum 7. Schuljahr stattgefunden.

Viele Forschungsergebnisse stammen aus den Naturwissenschaften, wobei die Physik teilweise auch technische Bereiche abdeckt. Zu erwähnen sind vor allem Duit (2004,

[2] PLUS-Querschnitt I, 2006-2009: Professionswissen von Lehrkräften, verständnisorientierter naturwissenschaftlicher Unterricht und Zielerreichung im Übergang von der Primar- zur Sekundarstufe; PLUS-Längsschnitt, 2006-2017: Entwicklung der Wahrnehmung naturwissenschaftlichen Unterrichts durch Schülerinnen und Schüler in der Übergangsphase von der Primar- in die Sekundarstufe und Zusammenhänge mit der Entwicklung motivationaler und selbstbezogener Zielbereiche (u.a. Universität Duisburg-Essen, Universität Münster)

2010, 2014, 2015) und Möller (1998, 1999, 2000, 2010), die sich mit Schülervorstellungen zu physikalischen und technischen Themen beschäftigen. Forschungen im Bereich der Technik beschäftigen sich mit dem allgemeinen Begriff „Technik“ (Matzig & Reddeck 2005) oder „Technologie“ (Jarvis & Rennie 1996; Mawson 2010; Rennie & Jarvis 1995) und seinen Assoziationen. Den Stand empirischer Forschung über technisches Handeln von Kindern stellt Binder (2014) in seiner Dissertation in Kapitel 6 (S. 257 ff) ausführlich dar. Ein Großteil der Forschung im Bereich der Technik hat sich der Genderproblematik zugewandt. Hier werden immer wieder die Interessensunterschiede zwischen Mädchen und Jungen genannt (Hallström et al. 2015; Janneck et al. 2012; Koch & Winker 2003; Turja et al. 2009) und eine gendersensitive Umsetzung im Technikunterricht (Hannover et al. 1992; Kreienbaum & Metz-Göckel 1992) gefordert.

Welche Grundlagen schafft der Sachunterricht aus der technischen Perspektive für die Anschlussfähigkeit des Faches Technik? Möller (2000, 2010) konnte mehrmals nachweisen, dass schon Grundschulkinder konstruktiv und eigenständig nach technischen Problemlösungen suchen, inhaltliche Vorstellungen aufbauen und daraus wichtige Erkenntnisse über technische Funktionsprinzipien und Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen erlangen können. Aber auch wenn Grundschüler/-innen theoretisch ein technisches Verständnis aufbauen können, dann werden technische Unterrichtsstunden nicht zwingend in die Praxis umgesetzt. Technische Themen werden im Sachunterricht der Primarstufe kaum thematisiert (Möller 2000; Möller et al. 1996) und die Realisierung von Technikunterricht liegt (vermutlich immer noch) weit unter den Lehrplanvorgaben (Möller 1999; Strunck et al. 1998). Außerdem fehlt ein schulstufenübergreifendes Konzept zur Entwicklung naturwissenschaftlicher-technischer Kompetenzen (Möller 2009). Möllers praktische Forschungen beziehen sich auf die Primarstufe, ein Vergleich der Fähigkeiten mit den Sekundarstufenschüler/-innen unter gleichen Versuchsbedingungen hat nicht stattgefunden. Dieser Bereich ist gänzlich unerforscht und bedarf einer Beantwortung.

## 1.3 Theoretischer Hintergrund

Was ist Technik und was ist ein technisches Verständnis? Zwei zunächst einfach klingende Begriffe, die aber einer weiteren Erläuterung bedürfen.

Laut Brockhaus (2018) steht **Technik** (französisch *technique*, gleichbedeutend griechisch *technikós*, zu *téchnē* Handwerk, Kunstfertigkeit) für handwerksmäßig oder

kunstfertig. „Technik bezeichnet also nicht nur die von Menschen gefertigten Gegenstände, sondern auch deren Entstehungs- und Verwendungszusammenhänge und die dafür erforderlichen besonderen Fertigkeiten. Technik ist in diesem Sinne kein isolierter, selbstständiger Bereich, sondern eng mit Wirtschaft, Gesellschaft, Politik und Kultur verflochten“ (Brockhaus 2018). So empfiehlt auch Ropohl (2001), keinen zu engen und keinen zu weiten Technikbegriff zu verwenden. Er plädiert für die Mitte, wobei menschliche Handlungszusammenhänge der Technik bei der Herstellung und Verwendung der Artefakte (Gegenstände) berücksichtigt werden sollen. Es solle aber nur das Handeln einbezogen werden, das mit künstlich gemachten Gegenständen zu tun hat. Laut VDI (Verein Deutscher Ingenieure 2000) umfasst Technik (i) die Menge der nutzorientierten, künstlichen, gegenständlichen Gebilde und (ii) die Menge menschlicher Handlungen und Einrichtungen, in denen Sachsysteme entstehen und (iii) verwendet werden. Technik ist also ubiquitär. Sie hat eine große Bedeutung für die wirtschaftliche und kulturelle Weiterentwicklung der Gesellschaft und ist ein fester Bestandteil dieser.

So sind die Kompetenzbereiche des **Faches Technik** laut den VDI Bildungsstandards von 2007, Technik zu verstehen, zu konstruieren und herzustellen, zu nutzen, zu bewerten und zu kommunizieren. Schüler/-innen, die den mittleren Schulabschluss haben, sollen demnach über die für die Bewältigung technischer Alltagsprobleme notwendigen Kenntnisse, Fähigkeiten und Einstellungen verfügen (Fislake et al. 2007). Zur Bestimmung der technischen Bildungsinhalte fasst Hüttner (2005) (S. 39) zusammen, dass Schüler/-innen mit der Inhaltsaneignung „ihr Technikverständnis weiterentwickeln, den verantwortungsbewussten Umgang mit Technik lernen und an innovatives technisches Denken und Handeln herangeführt werden [sollen]. Die Technikbildung ist auf eine Verbindung der Technik mit der Wirtschaft, mit nicht wirtschaftlichen Bereichen, mit der beruflichen Tätigkeit und mit der Umwelt auszurichten.“ In der Sekundarstufe I mit technischer Bildung zu beginnen, wäre jedoch zu spät. Laut GDSU (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts 2013) soll eine frühe technische Bildung Kindern Zugänge zu technischem Denken und Handeln ermöglichen. „Der Grundschule kommt dabei die Aufgabe zu, an sachlich gehaltvollen und für die Kinder zugänglichen Beispielen wesentliche Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen der Technik zu erarbeiten sowie grundlegende Inhaltsfelder von Technik […] zu erschließen und dabei die gesellschaftliche Dimension

der Technik einzubeziehen. Das Identifizieren und produktive Lösen technischer Probleme mit den Prozessen der Problemfindung, des praktischen Handelns, Erkundens, Konstruierens, Optimierens und Bewertens ist zentrales Element einer technischen Bildung. Technische Bildung […] umfasst auch das analysierende technische Denken als gedankliches Durchdringen technischer Prinzipien, Funktionsweisen und Prozesse wie auch das Bewerten und Kommunizieren von Technik.“ (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts 2013) (S.63). Somit ist klargestellt, welche Bildungsziele zur Umsetzung einer technischen Allgemeinbildung vorgegeben werden.

Möchte man sich dem Output technischer Bildung zuwenden, ist es nicht folgerichtig, dies durch spezifisches Sachwissen abzufragen. Vielmehr sollte das grundlegende **technische Verständnis** analysiert werden, da der Aufbau eines grundlegenden technischen Verständnisses auch Ergebnis der Bildungsbemühungen sein sollte. Hegarty et al. (1988) definieren das mechanisch-technische Verständnis (‚*mechanical ability*‘) als Fähigkeit eines Menschen zu verstehen, wie Maschinen arbeiten, aus welchen elementaren Komponenten diese aufgebaut sind und warum eine Maschine nicht richtig funktioniert. Eine Person mit technischem Verständnis muss demnach in der Lage sein, die Hauptkomponenten zu identifizieren, die relevanten Eigenschaften und ihre Funktion im System kennen und verstehen, wie diese Komponenten interagieren, um die übergeordnete Gesamtfunktion der Maschine zu erfüllen. Ein wichtiger Gegenstand, um technisches Verständnis abzufragen, ist demnach die Maschine. Eine Maschine, ein Gerät oder Apparat wird in der Technik als technisches System bezeichnet. Es hat die Funktion, Stoff, Energie oder/und Information zu wandeln, zu transportieren oder/und zu speichern (Brockhaus 2018). Czichos (2015) beschreibt ein System als ein Gebilde, das durch seine Systemgrenze von seiner Umgebung imaginär abgegrenzt werden kann und durch seine Funktion und Struktur verbunden ist. Die Systemfunktion besteht darin, operative Eingangsgrößen in funktionelle Ausgangsgrößen zu überführen. Die Systemstruktur besteht aus der Gesamtheit aller Systemelemente, ihren Eigenschaften und Wechselwirkungen. Damit fasst er die drei Systemkonzepte zusammen, die Ropohl (2009) sowohl einzeln als auch als Ganzes umschreibt: Ein technisches System kann auf dem strukturalen, funktionalen und/oder hierarchischen Systemkonzept basieren. Das dieser Studie zugrundeliegende Systemkonzept entspricht am ehesten einer Mischung dieser drei Systemkonzepte, wie auch Ropohl (2009) und Czichos (2015) sie zusammenführen (vgl. Abbildung 2). Zu

den Grundgedanken des Systemtheoretikers Ropohl (2009) liegen hier ebenso die zusätzlichen Konzepte der technischen Systemtheorie von Roth (1994) und Koller (1994) zugrunde.

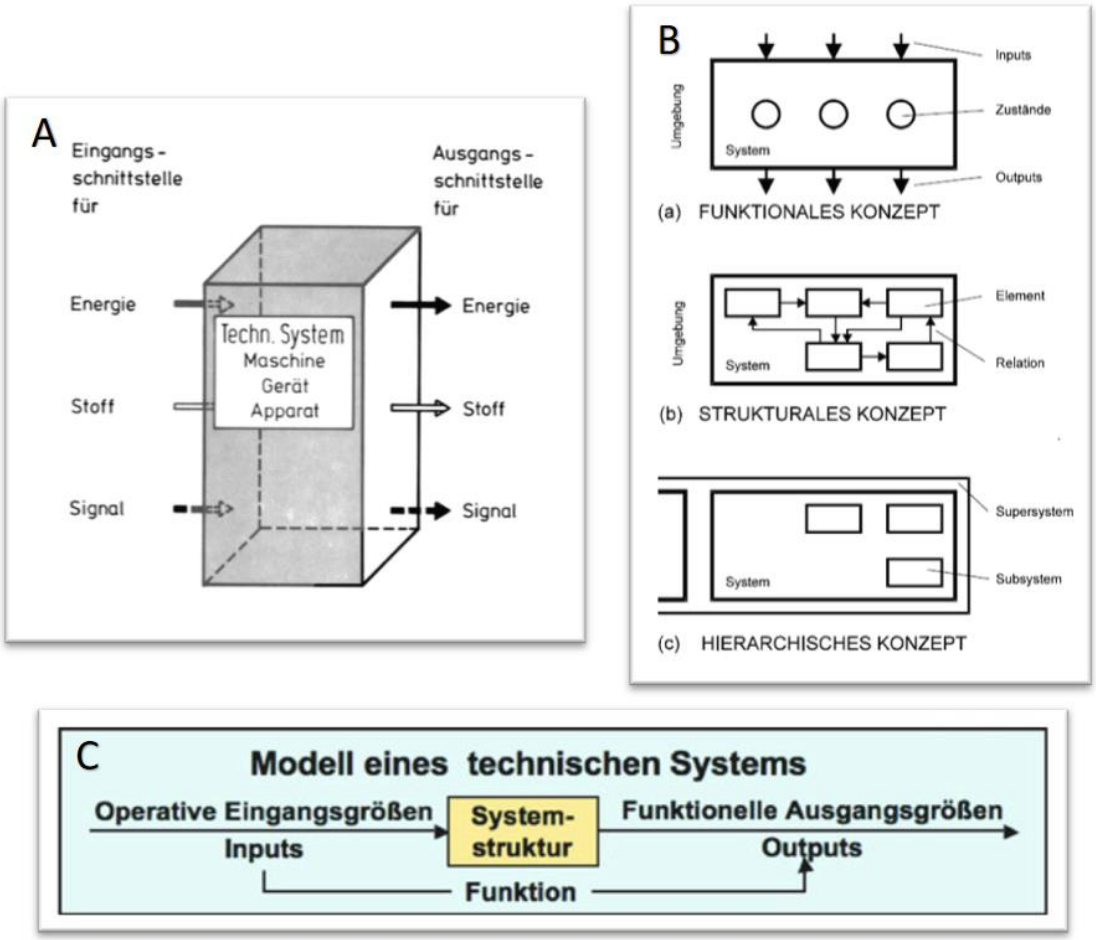



Abbildung 2: Unterschiedliche Darstellungen eines technischen Systems[3]

[3] **A** Symbolische Darstellung eines technisches Systems (Blackbox-Darstellung), dessen Ein- und Ausgangsschnittstellen sowie dessen Ein- und Ausgangsflüsse Energie, Stoff und Signale (vgl. Koller (1994), S. 27), **B** Konzepte der Systemtheorie, (a) Funktionales Konzept: System ist als Blackbox durch bestimmte Zusammenhänge zwischen seinen Eigenschaften gekennzeichnet und dadurch definiert, wie es sich als Ganzheit in seiner Umgebung verhält, (b) Strukturales Konzept: System als Ganzheit untereinander verknüpfter Elemente, wobei die Teile mit ihrer Interdependenz mit anderen Teilen innerhalb des Systems zu sehen sind, (c) Hierarchisches Konzept: System als Teil eines weiteren Systems, das wiederum Teil eines Systems sein kann. In der Hierarchie abwärts bekommt man eine detaillierte Erklärung des Systems, aufwärts ein tieferes Verständnis seiner Bedeutung (vgl. Ropohl (2009), S. 76), **C** Modell eines technischen Systems, das Eingangsgrößen in aufgabenspezifisch erforderliche Ausgangsgrößen überführt, mit Systemelementen als Blackbox (vgl. Czichos (2015), S. 15).

Ein ***technisches System*** – wie es in dieser Studie verstanden wird – ist demnach ein Modell einer abgeschlossenen technischen Einheit, die

- Beziehungen zwischen den Teilsystemen durch ***Stoff-, Energie- und Informationsflüsse*** aufweist (Abbildung 2, **A**),
- in ihrer ***Funktion Inputs*** (Eingangsgrößen) ***zu Outputs*** (Ausgangsgrößen) transformiert (Abbildung 2, **A, B** (a) und **C**),
- ausschließlich die technischen Elementarfunktionen ***Speichern, Transportieren und Wandeln*** als funktionale Einheiten hat,
- aus miteinander verknüpften Teilsystemen besteht, welche die ***Struktur*** bilden (Abbildung 2, **B** (b)),
- von ihrer Umgebung abgegrenzt wird und durch die Interaktion mit anderen Systemen wiederum ***hierarchisch*** als ein (neues) System betrachtet werden kann (**B** (c)).

Den curricular geforderten technischen Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen kann das Konzept des technischen Systems zugrundegelegt werden. Für die Primarstufe laut Perspektivrahmen der GDSU (2013) und für die Sekundarstufe I laut Bildungsstandards des VDI (Fislake et al. 2007) sind die aufgeführten Kompetenzbereiche der technischen Denk,- Arbeits- und Handlunsgweisen vergleichbar (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Technische Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen

| | **Primarstufe** (GSDU 2013) | **Sekundarstufe I** (VDI 2015) |
|---|---|---|
| | Technik… | |
| (1) | konstruieren und herstellen | konstruieren und herstellen |
| (2) | erkunden und analysieren | verstehen |
| (3) | nutzen | nutzen |
| (4) | bewerten | bewerten |
| (5) | kommunizieren | kommunizieren |
| (6) | - | kennen und anwenden |

In dieser Studie wird das Konstruieren als ein sowohl in der Primar- als auch in der Sekundarstufe I in der Technik typischer Kompetenzbereich in die Aufgabenstellung

aufgenommen. Als Konstruktionsprozess bezeichnet man den Ablauf aller Tätigkeiten unter Beachtung von Regeln, die zur Konstruktion technischer Produkte geeignet sind (Conrad 2013). Die Denk- und Handlungsweisen bei der Realisierung des gestellten Zieles spielen in der Technik eine große Rolle. Einzelne Methoden zur Realisierung technischer Systeme innerhalb des Kompetenzbereiches sind in chronologischer Abfolge das Problem zu erkennen, die Lösung zu entwerfen und/oder auszuwählen, zu konstruieren, planen, fertigen und optimieren. Basierend auf den systemtheoretischen Konzepten liegen der Entwicklung technischer Lösungen folglich vornehmlich synthetische Denkoperationen – neben der Analyse technischer Artefakte und Prozesse – zugrunde. Auf diesen Grundgedanken beruht das **Modell des Technischen Verständnisses** dieser Arbeit (vgl. Abbildung 3). Zu den analytischen Denkoperationen zählen beispielsweise die Analyse und Auswahl der Teilsysteme mit geeigneten Wirkprinzipien. Synthetische Denkoperationen sind die Anordnung der einzelnen Teilsysteme zu einem Gesamtsystem mit übergeordnetem Systemzweck und die Kombination der Teilsysteme unter Berücksichtigung der Eingangs- und Ausgangsgröße. Wie auch im Perspektivrahmen der GDSU (2013) geschrieben steht, ermöglicht „erst die Verknüpfung von Handlungs- und Verstehensprozessen […] das Erfassen von technischen Gegenständen, Prozessen und Abläufen, die Übertragung des Erfassten auf weitere technische Bereiche sowie die kritische Auseinandersetzung mit Technik“. Die hier genannten Denkoperationen mit deren Beispielhandlungen, die dem technischen Verständnis zugrundeliegen, sollen keineswegs Anspruch auf Vollständigkeit haben, sondern stellen lediglich einen Ausschnitt, der für diese Studie relevanten Denkoperationen, dar.

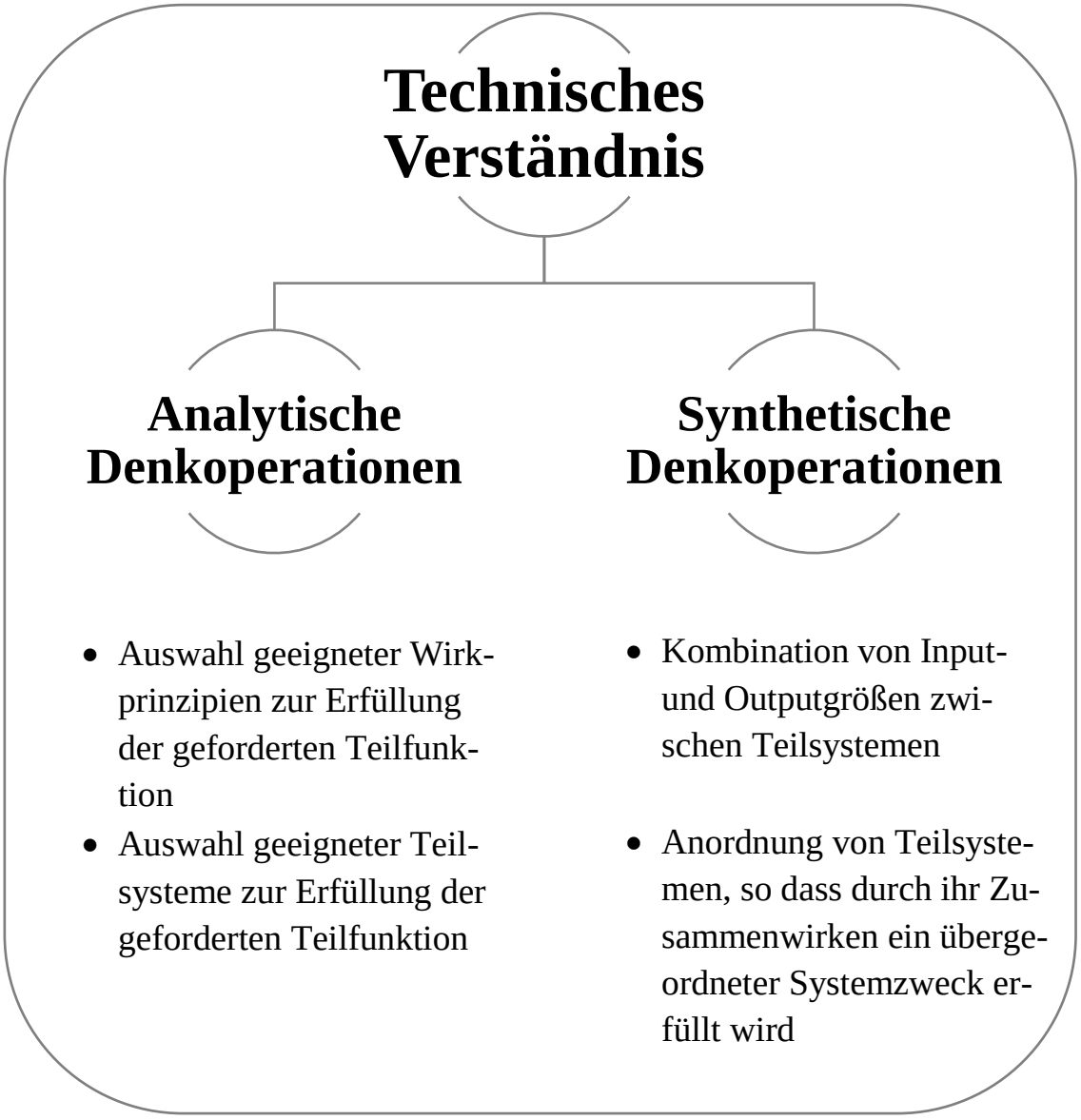



Abbildung 3: Modell des technischen Verständnisses

Wird das technische Verständnis von Schüler/-innen erhoben, spielt das Vorwissen und dadurch die bisherigen individuellen ***Alltagsvorstellungen*** maßgeblich eine Rolle. „Naturwissenschaftliche und technische Phänomene regen Kinder oft spontan zur Bildung von Erklärungen an. Viele dieser intuitiven Vorstellungen sind aber inadäquat oder unvollständig; sie widersprechen wissenschaftlichen Sichtweisen“ (Möller 2006). Grundschulkinder sollen demnach unterstützt werden, bestehende intuitive Vorstellungen zu prüfen und alternative, adäquatere Vorstellungen aufzubauen. Dann ist es möglich, mit

dem späteren Ausbau von Konzepten an den im Grundschulalter entwickelten Vorstellungen anzuknüpfen (Möller 2006). Entscheidend dafür ist das Vorwissen. Der Duden definiert Vorwissen als bereits vorhandenes Wissen. Den Wissensbegriff hier adäquat zu verwenden, soll jedoch vermieden werden. Denn das, was bei Schüler/-innen vorhanden ist, gleicht eher Vorstellungen und nicht Wissen. (Explizites) Wissen würde bedeuten, dass das Gelernte artikulierbar, transferierbar und archivierbar und nicht an ein Subjekt gebunden wäre (Schreyögg & Geiger 2001). Vorwissen soll daher in dieser Studie im weiteren Sinne verstanden werden. Es gibt zwar Gemeinsamkeiten zwischen Alltagsvorstellungen bzw. Alltagswissen (z.B. Beobachtungen dienen als Grundlage) und wissenschaftlichem Wissen, aber ebenso große Unterschiede. Die systematische Erhebung, Objektivität und methodische Kontrolle sind beispielsweise Kriterien, die dem wissenschaftlichen Wissen zugrunde liegen, nicht aber dem Alltagswissen (Bardmann 2015). Alltagsvorstellungen sind subjektive Kognitionen der Lernenden, die auf alltäglichen Erfahrungen basieren und über die Sprache kommuniziert werden können (Duit 1995; Gropengießer 2007). Die Alltagsvorstellungen jedes Einzelnen sind von unterschiedlichen Umwelteinflüssen (z.B. Schule, Familie, Medien) und Erfahrungen geprägt, dem Vorwissen. Alltagsvorstellungen sind Teil von Problemlösungsstrategien und beeinflussen das Erklären von Zusammenhängen (Duit 1995). In der Fachdidaktik versteht man unter Vorstellungen kognitive Repräsentationen von Sachverhalten, die subjektiv als wahr angesehen werden. Sie entsprechen den fachwissenschaftlichen Vorstellungen häufig nicht und erwiesen sich als sehr resistent gegenüber Belehrungen (Duit 1995). Begriffe wie Schülervorstellungen, Vorverständnisse, naive Theorien, Alltagstheorien, Prä-, Miss- und Fehlkonzepte werden in der Literatur ebenso verwendet (Heran-Dörr 2011). All diesen Begrifflichkeiten ist im Kontext von Lernprozessen gemein, dass die Lernprozesse immer auf der Grundlage bestehender Erfahrungen und damit verknüpfter Deutungen stattfinden. Prä- und Postkonzepte bezeichnen Vorstellungen, wie sie vor (Prä-) und nach (Post-) dem Unterricht vorhanden sind. Spricht man von Fehl- oder Misskonzepten, sind die Vorstellungen der Schüler/-innen aus fachwissenschaftlicher Sicht falsch oder fehlerhaft (Heran-Dörr 2011).

# 2 Ziele und Forschungsfragen

Ziel dieser Studie war es, das technische Verständnis von Grundschüler/-innen und dessen Anschlussfähigkeit in der Sekundarstufe I zu überprüfen. Da die Technik gendersensitiv betrachtet werden sollte, werden auch die Unterschiede der Geschlechter mit in den Fokus genommen. Folgende Fragestellungen (F) werden diskutiert:

**F1: Auf welchem Niveau ist das technische Verständnis über ein Wasserkraftwerk bei Schülerinnen und Schülern in der 4. Klasse?**

F1a: Ist das technische Verständnis über ein Wasserkraftwerk bei Primarstufenschüler/-innen von deren Angabe des Vorwissens abhängig?

F1b: Ist das technische Verständnis über ein Wasserkraftwerk bei Primarstufenschüler/-innen von deren Nutzung der Zusatzinformationen auf den Kartenrückseiten abhängig?

**F2: Auf welchem Niveau ist das technische Verständnis über ein Wasserkraftwerk bei Schülerinnen und Schülern in der 6./7. Klasse?**

F2a: Ist das technische Verständnis über ein Wasserkraftwerk bei Sekundarstufenschüler/-innen von deren Angabe des Vorwissens abhängig?

F2b: Ist das technische Verständnis über ein Wasserkraftwerk bei Sekundarstufenschüler/-innen von deren Nutzung der Zusatzinformationen auf den Kartenrückseiten abhängig?

**F3: Hat sich das Niveau des technischen Verständnisses über ein Wasserkraftwerk von der Primar- zur Sekundarstufe I weiterentwickelt?**

F3a: Gibt es Unterschiede in der Angabe des Vorwissens zwischen Primar- und Sekundarstufenschüler/-innen?

F3b: Gibt es Unterschiede in der Nutzung der Zusatzinformationen auf den Kartenrückseiten zwischen Primar- und Sekundarstufenschüler/-innen?

**F4: Gibt es Unterschiede im Niveau des technischen Verständnisses über ein Wasserkraftwerk zwischen den Geschlechtern unabhängig von und innerhalb der Schulstufen?**

F4a: Gibt es Unterschiede in der Angabe des Vorwissens zwischen Mädchen und Jungen?

F4b: Gibt es Unterschiede in der Nutzung der Zusatzinformationen auf den Kartenrückseiten zwischen Mädchen und Jungen?

**F5: Wie lassen sich die gefundenen Ergebnisse kategorisieren?**

F5a: Gibt es Unterschiede in der Verteilung auf die einzelnen Kategorien zwischen Primar- und Sekundarstufenschüler/-innen?

F5b: Gibt es Unterschiede in der Verteilung auf die einzelnen Kategorien zwischen Mädchen und Jungen?

# 3 Methoden

## 3.1 Erhebungsinstrument

Der Entwicklung des Erhebungsinstrumentes soll in dieser Arbeit ein bedeutender Teil zukommen, da sie maßgeblich für die Erforschung des Übergangs von der Primar- zur Sekundarstufe I war.

### 3.1.1 Ansprüche

In dieser Studie sollten Kinder unterschiedlichen Alters (zwischen 8 und 14 Jahre) untersucht werden, was bei der Entwicklung des Erhebungsinstrumentes Berücksichtigung finden musste. ***Inhaltlich*** war es wichtig, die für die Technik typischen Denkoperationen in Konstruktionsprozessen technischer Systeme erfassbar zu machen. Die Vorstellungen der Kinder sollten relativ offen erfasst werden können, so dass ein großer Lösungsspielraum gegeben sein sollte. Inhalte sollten curricular sowohl in der Primarstufe als auch in der Sekundarstufe I valide sein und einen möglichst hohen Realitätsbezug haben. Bei der ***Anwendung*** des Erhebungsinstrumentes war es Ziel, weitgehend unabhängig von der Lesekompetenz der Kinder zu sein, um keine Diskrepanzen zwischen Grundschulkindern und Kindern der weiterführenden Schule aufgrund von Unterschieden in der Lesekompetenz entstehen zu lassen. Um eine Primar- und Sekundarstufen ähnliche und relativ kurze Bearbeitungszeit zu haben, sollte das Schreiben gänzlich aus der Erhebung eliminiert werden. Die Aufgabenstellung sollte motivierend sein und einen hohen Anwendungsbezug vorweisen.

### 3.1.2 Themenbereich

Laut den **Kernlehrplänen Nordrhein-Westfalens** wird an keiner Schulform in der ***Sekundarstufe I*** Technik als alleiniges Unterrichtsfach unterrichtet (Qualitäts- und UnterstützungsAgentur - Landesinstitut für Schule Nordrhein-Westfalen 2018). Technik wird an:

- *Gesamtschulen* als Teil des *Faches Arbeitslehre*, das aus Hauswirtschaft, Technik und Wirtschaft besteht, ab Jahrgangsstufe 5, und als *Wahlpflichtfach Arbeitslehre* ab Jahrgangsstufe 6 (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen 2013a),

- *Hauptschulen* ebenfalls als Teil des *Faches Arbeitslehre* ab der Doppeljahrgangsstufe 7/8 (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen 2013c),
- *Realschulen* ausschließlich als *Wahlpflichtfach Technik* ab Jahrgangsstufe 7 (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen 2015)

unterrichtet. An *Gymnasien* gibt es laut KLP in der Sekundarstufe I weder das Fach Arbeitslehre, noch das Fach Technik. Hier findet erst ab der gymnasialen Oberstufe in der ***Sekundarstufe II*** als Grund- oder Leistungskurs Technikunterricht statt (Qualitäts- und UnterstützungsAgentur - Landesinstitut für Schule Nordrhein-Westfalen 2018).

In der ***Primarstufe*** ist Technik im Lehrplan des *Faches Sachunterricht* als einer von fünf Bereichen (Technik und Arbeitswelt) integriert (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen 2008). Die Ausführungen zu dem vielperspektivischen Fach Sachunterricht im Kernlehrplan der Grundschulen sind relativ kurzgefasst. Um einen ausführlicheren und aktuellen Leitfaden für die Unterrichtskonzeption des Sachunterrichts zu erhalten, wurde von der GDSU der **Perspektivrahmen Sachunterricht** (2013) geschrieben. Der Perspektivrahmen Sachunterricht soll „eine Grundlage für die kompetenzorientierte Planung, Durchführung und Evaluation von Sachunterricht“ bilden (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts 2013). Er beschreibt Aufgaben, Zielsetzungen und Bildungsinhalte des Sachunterrichts so, „dass dessen Relevanz für die Bildungsaufgabe der Grundschule und die Bedeutung des Sachunterrichts als wissenschaftliche Disziplin in der Lehrerbildung sichtbar wird“ (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts 2018). Eine der fünf Perspektiven des Sachunterrichts, die maßgeblich die Lebenswelterfahrung der Kinder prägen und von hoher Bildungsrelevanz sind, stellt die technische Perspektive (Technik – Arbeit) dar. Elementare technische Bildung soll ausgehend von der eigenen Erfahrung und anhand überschaubarer Beispiele von den Kindern erfahren werden. Sie lehrt / beinhaltet u.a. durch den produktiv-schöpferischen Charakter sowie die Mittel-Zweck-Bindung im technischen Handeln in eigenen Versuchen des Herstellens und Konstruierens grundlegende technische Funktions- und Handlungszusammenhänge (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts 2013).

Die am besten mit der Primarstufe vergleichbare weiterführende Schulform ist die ***Gesamtschule***, da hier ebenfalls eine gute Durchmischung der Leistungsstärken der Schüler/-innen vorliegt. Für diese Studie wurden folglich Tests an Gesamt- und Grundschulen durchgeführt. Der technische Themenbereich, der in beiden Schulformen im Kernlehrplan benannt wird, ist das Thema Energie: im Kernlehrplan der Gesamtschulen unter dem Inhaltsfeld *Energieversorgung und -einsparung* in Jahrgangsstufe 7 und in der Primarstufe unter dem Schwerpunkt *Ressourcen und Energie*.

### 3.1.3 Konkreter Gegenstand

Um den Ansprüchen an das Erhebungsinstrument gerecht zu werden, sollte ein hoher Realitätsbezug vorliegen. Das Thema Energie ist ein Schlüsselproblem mit hoher gesellschaftlicher Bedeutung und als Basis für die Auseinandersetzung mit Technik sehr gut geeignet. Die verschiedenen Formen der Energieversorgung und -gewinnung können vielperspektivisch betrachtet werden und nehmen vor allem die ökologischen Aspekte mit in den Fokus.

#### *3.1.3.1 Erneuerbare Energien*

In den ***Grundschulen*** ist die Kompetenzerwartung am Ende der vierten Klasse, dass die Schüler/-innen Beispiele für unterschiedliche Formen der Energieumwandlung (z.B. Wasser, Wind, Licht, Kohle) sammeln und dokumentieren können (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen 2008). Der Perspektivrahmen Sachunterricht geht noch genauer auf die geforderten Kompetenzen ein und umschreibt im Themenbereich *Umwandlung und Nutzung von Energie* u.a., dass die Schüler/-innen am Beispiel des elektrischen Stroms die Umwandlung von Energie in Licht, Bewegung oder Wärme/Kälte verstehen, nicht-regenerative von regenerativen Primärenergien unterscheiden und einfache Geräte mit unterschiedlichen Antrieben (z.B. Wasserkraft) konstruieren können sollen. Für die *Gesamtschüler/-innen* ist als Sachkompetenz u.a. ein Benennen verschiedener Systeme zur Energieumwandlung inklusive zu- und abgeführter Energieformen und ein Erläutern der Funktionsweise, Verwendung und Chancen und Risiken verschiedener Kraftwerkstypen zur Stromerzeugung genannt (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen 2013a). Den konkreten Gegenstand dieser Studie stellt die Energiegewinnung mit erneuerbaren Energien durch ein Wasserkraftwerk mit der Primärenergie Wasser dar.

#### 3.1.3.1.1 Wasserkraftwerk

Als erneuerbare bzw. regenerative Energie werden die Energiequellen bezeichnet, die unter menschlichen Zeithorizonten unerschöpflich sind. Die wichtigste regenerative Energieform ist die Sonnenenergie (die anderen beiden sind die Planetenenergie und geothermische Energie). Wasserkraft wird der Sonnenenergie zugeordnet, da durch die Sonneneinstrahlung das Meerwasser verdunstet. Auf dem Rückweg des Wassers durch Niederschläge ins Meer kann dessen Energie in Form von Bewegungs- und Lageenergie aus Flüssen und Seen genutzt werden. Da die Sonnenenergie im Fall der Wasserkraft demzufolge nicht als Solarstrahlung genutzt wird, spricht man von indirekter Nutzung (Quaschning 2015). Als Primärenergie wird die Energie bezeichnet, die in ihrem natürlichen und noch nicht technisch aufbereiteten Zustand vorliegt, hier das Wasser (Quaschning 2015; Schabbach & Wesselak 2012). Im Gegensatz zu den abstrakteren Primärenergien Wind in Windkraftanlagen oder Sonnenstrahlung in Photovoltaikanlagen ist Wasser als Stoff in Wasserkraftwerken für die Schüler/-innen greifbarer. So wurde trotz der Tatsache, dass das technische Potenzial der Wasserkraft heute weitestgehend ausgeschöpft ist (Umweltbundesamt 2014), diese Primärenergie exemplarisch in dieser Studie genutzt. Des Weiteren sind in einem Wasserkraftwerk alle technischen Grundfunktionen (Speicherung, Transport und Wandlung) vereint und die Vorgänge in einem Wasserkraftwerk können als Energieflusskette betrachtet werden. Der Stausee *speichert* vorhandene Energie in Form von Lageenergie (potenzielle Energie), die Lageenergie wird *gewandelt* in Bewegungsenergie (kinetische Energie) als Strömungsenergie und über Wasserleitungen zur Turbine *transportiert*. Die Turbine *wandelt* die Strömungsenergie in Rotationsenergie (mechanische Energie) für den Generator, der sie in elektrische Energie *wandelt* und so Elektrizität (Strom) erzeugt.

Wasserkraftwerke zur Stromerzeugung haben erst Ende des 19. Jahrhunderts ihre Anfänge. Jedoch lässt sich die Nutzung von Wasserkraft schon auf 300 v. Chr. datieren. Früher wurden hauptsächlich Schaufelräder eingesetzt, durch die die Strömungsenergie des Wassers in mechanische Energie für Mühlen, Hämmer o.Ä. gewandelt wurde (Geitmann 2014; Schabbach & Wesselak 2012). Die technischen Veränderungen von Wasserrädern zu Wasserturbinen lassen sich auf Mitte des 18. Jahrhunderts zurückführen. Die heute gebräuchlichen Bauformen sind auf Patente von Francis (1849), Pelton (1890) und Kaplan (1913) zurückzuführen (Schabbach & Wesselak 2012) (vgl. Abbildung 4).

*Francis-Turbinen* sind Überdruckturbinen, d.h., der Wasserdruck vor Turbineneinlass ist höher als am Auslass, und eignen sich besonders für einen großen Fallhöhenbereich. Sie sind damit vor allem für Speicherkraftwerke geeignet (Quaschning 2015). Ebenfalls zu den Überdruckturbinen zählen die *Kaplan-Turbinen*, die vornehmlich in Laufwasserkraftwerken mit geringen Fallhöhen zu finden sind und ähnlich wie eine Schiffsschraube mit senkrecht gelagerter Achse funktionieren (Geitmann 2014). Die halbschalenförmigen Schaufeln der *Pelton-Turbinen* können die Energie des Wassers, das aus sehr großen Fallhöhen über Düsen austritt und dadurch hohe Geschwindigkeiten erzeugt, gut nutzen. Diese Gleichdruckturbinen sind den früheren Schaufelrädern ähnlich und werden in Speicherkraftwerken eingebaut, die vor allem in gebirgigen Landstrichen wie der Schweiz, Norwegen oder auch Thüringen zu finden sind (Geitmann 2014; Schabbach & Wesselak 2012). Bei geringem Strombedarf wird in Speicherkraftwerken der nichtbenötigte Strom dazu genutzt, um Wasser mit Pumpen – angetrieben durch einen Motor – vom Unterbecken wieder in das höher gelegene Oberbecken zu transportieren. Seit Jahren beträgt der Anteil der Wasserkraft an der Bruttostromerzeugung in Deutschland etwa drei Prozent mit im Mittel 20 TWh (vgl. Abbildung 5)[4]. Da der Bau größerer Wasserkraftwerke immer einen massiven Eingriff in die Natur darstellt, ist aktuell nicht zu erwarten, dass der Anteil der Wasserkraft noch weiter gesteigert wird (Günther 2015; Schabbach & Wesselak 2012; Umweltbundesamt 2014).

[4] Die Windenergie leistet den größten Beitrag zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland. 2017 betrug der Gesamtanteil der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch insgesamt 36,2 % (Umweltbundesamt 2018).

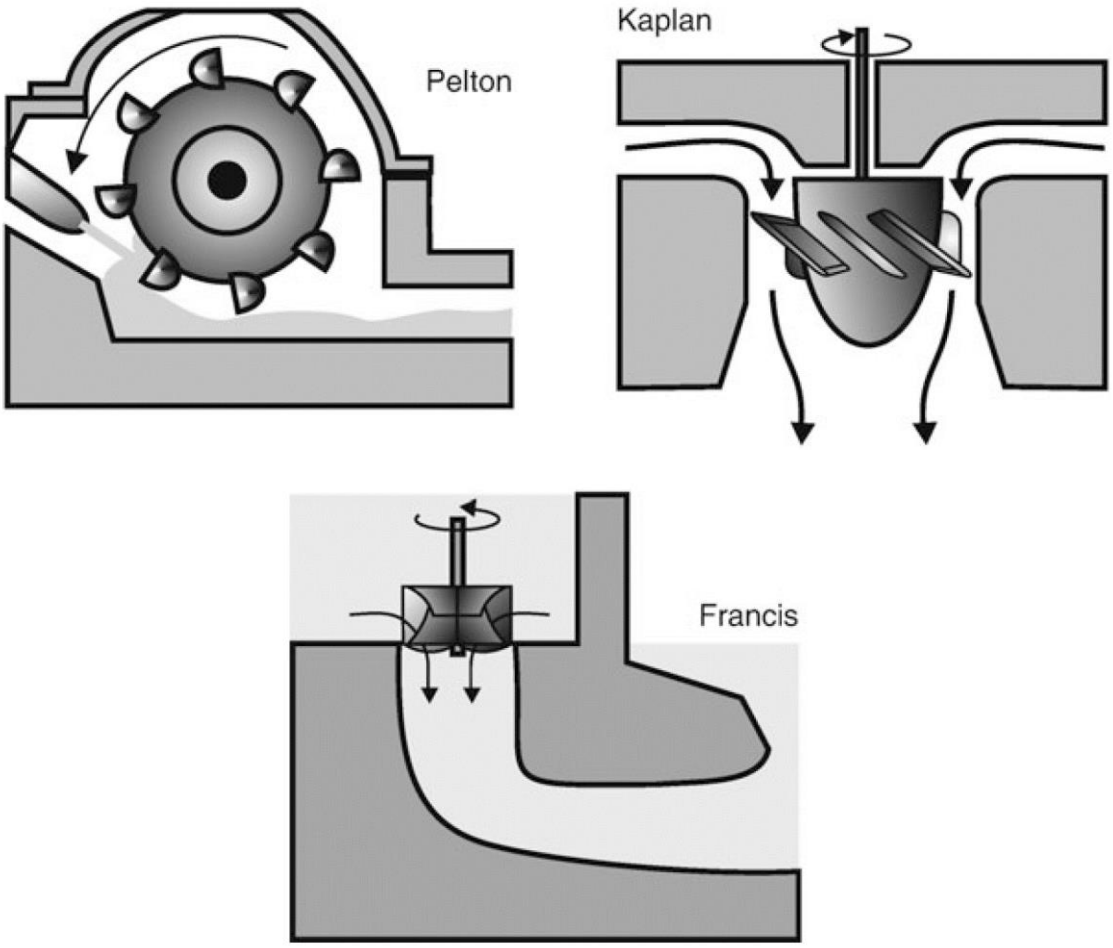



Abbildung 4: Bauarten von Wasserturbinen: Pelton, Kaplan, Francis (Abbildung aus Schabbach und Wesselak (2012), S. 99)

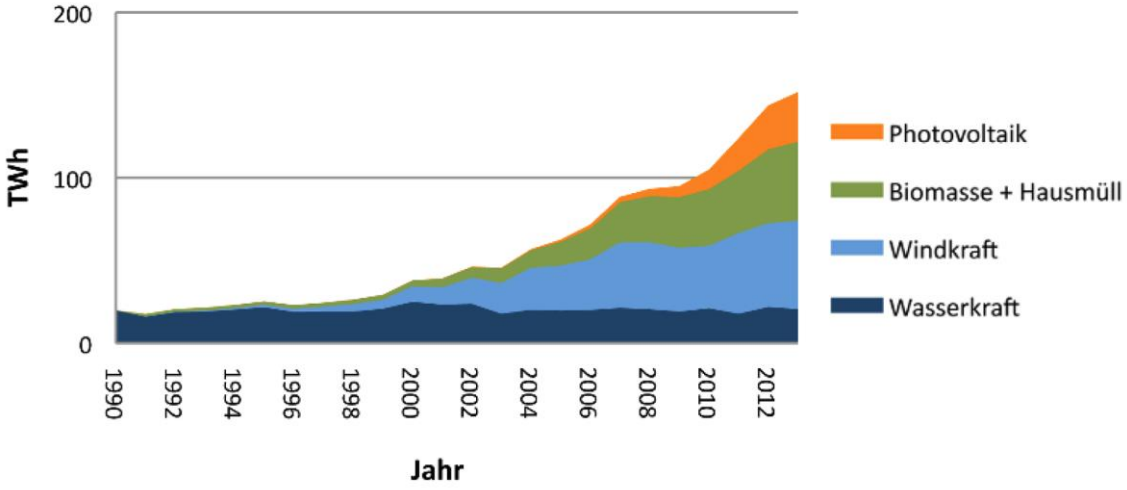



Abbildung 5: Beitrag der erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung in Deutschland (Daten: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Abbildung Günther (2015), S. 34)

Um das Arbeits- und Leistungsvermögen beispielsweise eines Speicherkraftwerks zu berechnen, benötigt man folgende Größen:

- V: Speicherinhalt
- Q: Abfluss [m³/s]
- ϱ: Dichte des Wassers (≈1.000 kg/m³)
- g: Normalfallbeschleunigung (=9,81 m/s²)
- $h_p$: potenzielle Energiehöhe
- $\eta_{RTG}$: Wirkungsgrad der Rohrleitungen, Turbinen und Generatoren bei Rückverstromung
- E: speicherbare Energiemenge (=Arbeitsvermögen)
- P: Leistungsvermögen

In den folgenden Formeln stehen diese Größen im Zusammenhang:

$E = V \cdot \varrho \cdot g \cdot h_p \cdot \eta_{RTG}$ und $P = Q \cdot \varrho \cdot g \cdot h_p \cdot \eta_{RTG}$

Das Arbeitsvermögen ist demnach proportional zum Speicherinhalt des Oberwasserbeckens und das Leistungsvermögen zum Abfluss (bei ähnlichem Pegelstand und Wirkungsgrad) (Quaschning 2015).

### 3.1.4 Format

Um das technische Verständnis mit den technischen Grundfunktionen unter Berücksichtigung typischer Denk- und Handlungsweisen wie z.B. dem Konstruieren und Planen abzufragen, haben wir die Strukturlegetechnik nach D. Wahl (2013) angewandt. Somit konnten wir auf ein Paper-Pencil-Testformat verzichten und die Anforderung erfüllen, weitgehend unabhängig von Lese- und Schreibkompetenz zu sein. Weiterhin ist ein Strukturlegeformat zeitlich besser in eine Schulunterrichtsstunde zu integrieren.

#### *3.1.4.1 Strukturlegetechnik*

Die Strukturlegetechnik von Diethelm Wahl (2013) ist eine Unterrichtsmethode, mit der gedankliche Landkarten erstellt werden sollen. Sie kann der Rekonstruktion eigener Expertenstrukturen von Lehrenden (Expertenmaps), der Unterstützung von Lernprozessen von Lernenden oder als Ausgangspunkt für eine Modifikation subjektiver Theorien dienen. Ziel ist es, dass die Lernenden nach sinnvollen Vernetzungsmöglichkeiten suchen und ihr Wissen geordnet wird. Zentrale Begriffe des Themengebietes sollen definiert oder

erklärt und Zusammenhänge zwischen Begriffen gefunden und erläutert werden können. Nach Wahl (2013) besteht das **Material** aus 20 bis 30 Kärtchen mit Begriffen, die zunächst in Einzel-, Partner- oder Gruppenarbeit in einer **Sortieraufgabe** nach Klarheit der Begriffe auf einen linken (Begriff gut verstanden) und einen rechten Stapel (Begriff unklar) sortiert werden sollen. Nach Klärung mit dem Partner, im Plenum oder selbständiger Recherche z.B. in Büchern, sollen diese Kärtchen nun durch ein **Vernetzen** in eine Struktur (Hierarchie, Reihe, Abfolge, kreisförmige Struktur) gebracht werden. Zuletzt folgt eine **Verbalisierung** der Ergebnisse durch gegenseitiges Vorstellen.

Die Einsatzmöglichkeiten der Strukturlegetechnik können zu Beginn eines Lernprozesses oder auch am Ende eines umfangreichen Lernprozesses stehen. Zu Beginn können schon behandelte Inhalte ins Gedächtnis gerufen oder bereits vorhandenes Wissen aktiviert werden. Am Ende eines Lernprozesses dient die Strukturlegetechnik als Vertiefung, Vernetzung oder Strukturierung des neu gelernten. Nach der semantischen Gedächtnistheorie sind Wissen und Bedeutungen netzwerkartig gespeichert. Das Wissen besteht aus begrifflichen Knoten und verbindenden Relationen. Es entstehen semantische Netzwerke, die durch das Visualisieren (sichtbar machen) und Verbalisieren (hörbar machen) zu einer Wissensaktivierung und -organisation führen. Dadurch erleben Lernende, wie sich ihr Wissen neu vernetzt und Inhalte zunehmend überblickt werden können. Sachverhalte können besser verstanden werden und hinzukommendes Wissen kann sinnvoller verknüpft werden wodurch es weniger anfällig für Vergessen ist. Die Folge ist eine Verbesserung von Lernerfolg und Transfer. Des Weiteren empfinden die Lernenden es als eine angenehme Abwechslung zum Schreiben, Zuhören und Lesen.

#### *3.1.4.2 Entwicklung des Erhebungsinstrumentes*

Abweichend von Wahl (2013) wurden in dieser Studie statische Bilder auf Kärtchen von einem Wasserkraftwerk bzw. dessen Teilkomponenten und Teilsysteme verwendet. Die Bilder haben einen instruktional relevanten Informationsgehalt mit mittlerer Realitätsnähe (z.T. Vereinfachungen oder Verfremdungen). Durch Bilder ist es möglich, komplexe Strukturen wie beispielsweise eine Turbine so darzustellen, dass deren Funktion leichter von den Schüler/-innen „auf einen Blick“ verstanden wird (Horz & Ulrich 2015). Die bebilderten Karten sollen dann von den Schüler/-innen miteinander vernetzt werden, so dass ein theoretisch funktionsfähiges Wasserkraftwerk konstruiert werden kann.

Das Erhebungsinstrument (**Material**) besteht aus 13 Karten mit Abbildungen der verschiedenen Teilsysteme eines Wasserkraftwerks (vgl. Abbildung 6 und Anhang 8.5 Erhebungsinstrument in Originalgröße). Jedes Teilsystem wird jeweils auf zwei Karten abgebildet. Eine Karte ist mit der funktionsfähigen, sinnvolleren oder effektiveren Version des Teilsystems versehen und auf der anderen Karte ist das sinnlose oder weniger effektive Teilsystem abgebildet. Eine Ausnahme bildet die Karte mit dem Endverbraucher, der Stadt, zu der es kein Pendant gibt. In den vorangegangenen Versionen des Materials (vgl. Anhang 8.1), gab es zunächst 15, dann 18 und zuletzt 17 Karten, was damit zusammenhängt, dass z.T. mehr als zwei Karten pro Teilsystem zur Auswahl gestellt wurden. Version 2 mit 18 Karten wurde an einzelnen Schüler/-innen in den entsprechenden Altersklassen außerhalb der Schule mit lautem Denken getestet. So konnten schon erste Feststellungen gemacht werden, wo Verbesserungen des Erhebungsinstrumentes notwendig sind. Die Version 3 mit 17 Karten wurde bei einer Pilotierung eingesetzt. Ausgehend von diesen Voruntersuchungen und dem Wissen, dass es zu viele Karten sind, wurden die letztlich verwenden Karten aus folgenden Gründen entworfen.

*Stausee*: Bis zur Endversion des Erhebungsinstrumentes hat sich das Oberbecken mit seinen verschiedenen Rohrleitungen (gerade / schräg / geschwungen, großer / kleiner Durchmesser) an unterschiedlichen Anschlussstellen (oben, Mitte oder unten) zu einem Stausee auf einem hohen Niveau (Berg) oder auf einem niedrigen Niveau (Berg) und zwei unterschiedlichen Wasserleitungen (gerade und geschwungen) entwickelt. Das ist der Geschichte geschuldet, die den Schüler/-innen bei der Durchführung der Erhebung zu Beginn erzählt wird. Der Stausee dient als erste Karte als Energiequelle des Wasserkraftwerks und das darin befindliche Wasser hat mehr (hohes Niveau) oder weniger (niedriges Niveau) potenzielle Energie. Die Aussage, die hinter einer Auswahl einer bestimmten Anlegestelle der Rohrleitung stehen konnte, war jedoch weniger relevant, wie für eine Wahl zwischen einem Wasservorrat mit mehr oder weniger potenzieller Energie, so dass darauf verzichtet wurde.

*Wasserleitungen*: Bei den Rohr- bzw. Wasserleitungen wurde auf die Auswahl verschiedener Neigungen und Leitungsdurchmesser zugunsten der Kartenanzahl verzichtet. Eine gerade Wasserleitung sollte einer geringeren mechanischen Energieentwertung unterliegen als eine geschwungene (Looping) Wasserleitung.

*Wasserturbine*: Neben der Wasserturbine mit und ohne Schaufeln standen in ersten Versionen des Instrumentes noch zusätzliche Auswahlmöglichkeiten zur Verfügung: ein oberschlächtiges Wasserrad mit Schaufeln in richtiger und falscher Richtung, ein Rad, eine Wasserschnecke und eine Windturbine. Da der Wirkungsgrad der Wandlung jedoch nicht Hauptbestandteil der Bewertung war, sondern nur eine Differenzierung möglich sein sollte, wurden nur zwei Karten behalten. Auch weniger effektiv arbeitende Teilsysteme wie z.B. das Wasserrad hätten die Energie von Strömungs- zu Rotationsenergie gewandelt. Eine schaufellose Wasserturbine sollte am sinnlosesten sein. Das Windrad wäre eventuell als Pendant zur Turbine nicht erkannt worden.

*Generator*: Problematisch gestaltete sich die Darstellung der Antriebswelle der Turbine, die mit dem Generator verbunden ist. So wurde in früheren Entwürfen noch eine Antriebswelle an die Turbine angezeichnet, was jedoch beim Legen der Karten in einer Reihe wenig Sinn machte. Also blieb die vereinzelte Darstellung der Teilsysteme. Als Pendant zum Generator diente in allen Versionen der Elektromotor. Beide Systeme wandelten Energie, die sowohl als elektrische Energie als auch als Bewegungs- bzw. Rotationsenergie vorlag. Hier war eher die Darstellung der beiden Teilsysteme eine sich verändernde Komponente. Von einer Nichtdarstellung (als graue Box mit Bezeichnung) bis hin zu physikalischen Bildern mit Magneten und Drehwellen wurde der mittlere Weg einer grauen Box mit Drehwelle gewählt. Die Kinder sollten nicht zu sehr verwirrt werden durch die physikalische Darstellung, denn es ging nicht um die genauen Abläufe innerhalb des Teilsystems, sondern um die Eingangs- und Ausgangsgröße, die auf der verwendeten Abbildung der Teilsysteme auch zu finden sind.

*Transformatoren*: Ebenso galt bei den Transformatoren die vereinfachte Darstellung als Spule mit wenigen Umwicklungen auf der einen und vielen Umwicklungen auf der anderen Seite als ausreichend. Eigentlich war es in der vorhergesehenen Lösung so aufgestellt (die Überlegung), dass beide Transformatoren, der Hochspannung- und Niederspannungstransformator, genutzt werden sollten. Da jedoch bei allen anderen Karten (außer der Stadt) je zwei Karten zur Wahl standen, würde auch beim Transformator immer eine Auswahl stattfinden. Der Transformator sollte auch eine mögliche Differenzierung darstellen. Entweder von guten und schlechten Gesamtschüler/-innen oder auch von sehr guten Grundschüler/-innen. Die Gewichtung bei der Auswertung sollte demnach nicht zu schwer sein, aber vorhanden. Das Verwenden eines Transformators sollte die

elektrische Energieentwertung verringern und den Transport über die Hochspannungsleitungen ermöglichen.

*Stromleitung*: Für ein Alternativteilsystem zur Stromleitung sollte ein nicht existenter Energietransporter zur Verfügung stehen. Dieser fiktive Lastkraftwagen sollte die Energie zum Beispiel zur *Stadt* transportieren können.

Um sicherzustellen, dass auch abstraktere Darstellungen als das, was sie zeigten, erkannt werden, wurde über alle Teilsysteme auf den Karten der Begriff geschrieben. Der grüne Hintergrund in der Endversion ist ebenso wie die Verwendung des Stausees und des Flusses anstelle des Unterwasserbeckens der Geschichte zu Beginn einer jeden Erhebung (vgl. Kapitel 3.2.2 Durchführung) geschuldet und stellt die Teilsysteme in ihrer Umgebung, der Berglandschaft, dar.

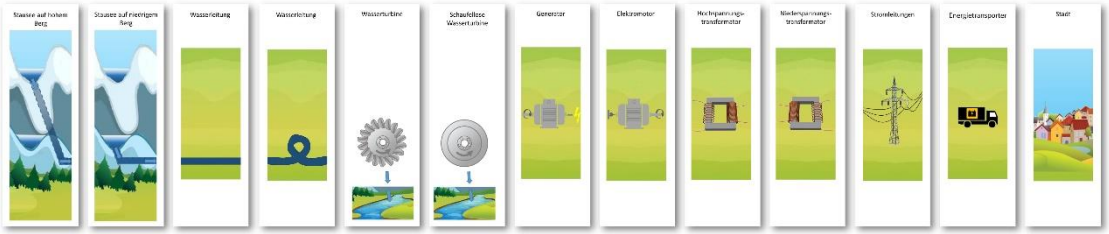



Abbildung 6: Erhebungsinstrument

Auf den Rückseiten der Karten befanden sich für den Kontext wichtige Informationen z.B. über die Eingangs- und Ausgangsgröße des Teilsystems (vgl. Tabelle 2). Es war die Absicht, dass auch ohne die Bildinformationen – nur anhand des Rückseitentextes – ein Wasserkraftwerk gelegt werden konnte. Das Lesen der Rückseiten sollte jedoch kein Muss sein.

Tabelle 2: Zusatzinformationen auf den Kartenrückseiten des Erhebungsinstrumentes

| ***Karten*** | ***Zusatzinformationen*** |
|---|---|
| | Ein Stausee speichert die Lageenergie des Wassers. |

Durch eine Wasserleitung wird das Wasser weitergeleitet.

Eine Wasserturbine wandelt die Energie des Wassers in Bewegungsenergie um.

Eine schaufellose Wasserturbine wandelt die Energie des Wassers in Bewegungsenergie um.

Ein Generator wandelt Bewegungsenergie in elektrische Energie um.

Ein Elektromotor wandelt elektrische Energie in Bewegungsenergie um.

Ein Hochspannungstransformator leitet elektrische Energie weiter und wandelt niedrige Eingangsspannung in höhere Ausgangsspannung um.

Ein Niederspannungstransformator leitet elektrische Energie weiter und wandelt hohe Eingangsspannung in niedrigere Ausgangsspannung um.

Stromleitungen leiten elektrische Energie mit hoher Spannung von einem Ort zum anderen.

Ein Energietransporter transportiert elektrische Energiequellen von einem Ort zum anderen.

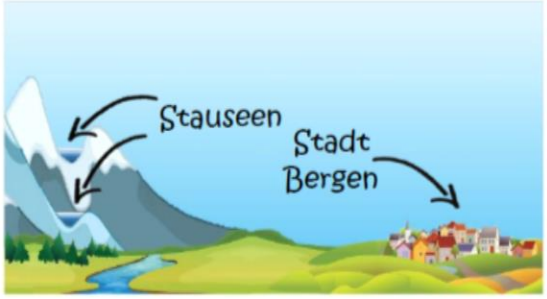
Die Stadt wird mit elektrischer Energie versorgt.

Die 13 gleichgroßen Karten sollten in eine Reihenfolge von links nach rechts gelegt werden. In älteren Versionen des Erhebungsinstrumentes war dies nicht der Fall. Die Teilsysteme waren als großes Schaubild miteinander zu kombinieren, was die Vorgehensweise verkompliziert hat. Sie hatten z.T. sogar Puzzlecharakter, von dem aber unbedingt abgewichen werden musste, um eine freie Entscheidung der Kombination der Teilsysteme zu gewährleisten.

Des Weiteren besteht das **Material** aus einem Aufgabenzettel (vgl. Abbildung 7), auf dem die personenbezogenen Daten wie die ID, das Geschlecht und das Alter angegeben werden sollen. Unter der Aufgabenstellung sollen die Schüler/-innen nach dem Lösen der Aufgabe ankreuzen, woher sie ihr Wissen zum Lösen der Aufgabe haben, wobei Mehrfachantworten möglich sind: aus der Schule, der Familie, den Medien (TV, Internet, …) oder Aufgabe ohne Vorwissen bearbeitet. Je nach Schulform kann unter dem Punkt „Schule“ zusätzlich das Fach Sachunterricht bzw. Physik-, Technikunterricht oder Arbeitslehre angekreuzt werden. Da diese Differenzierung jedoch wenig eindeutig von den Schüler/-innen angekreuzt wurde (z.T. nur Schule oder Schule und das entsprechende Fach oder nur das Fach), wurde diese Angabe für den weiteren Umgang mit den Daten zur Angabe „Schule“ zusammengefasst, unabhängig davon, ob Schule, das Fach oder beides angekreuzt wurde.

ID: Alter: _____ [ ] Mädchen [ ] Junge

## Aufgabe




*Die Stadt Bergen soll mit elektrischer Energie versorgt werden, die aus einem weit entfernten Stausee gewonnen wird. Hierfür stehen verschiedene technische Bauteile, die auf den Karten abgebildet sind, zur Verfügung.*

**Lege die Karten mit den Bauteilen in die richtige Reihenfolge.**
**Du brauchst nicht alle Karten zu verwenden!**

Folgende Bedingungen müssen erfüllt werden:

a) Verwende nur einen Stausee.
b) Es soll möglichst viel Energie in der Stadt ankommen.
c) Es sollen wenig Energieverluste entstehen.

Wenn du einen Bestandteil nicht kennst, kannst du auf der Rückseite unter dem Papier Informationen darüber finden. Entferne hierfür das aufgeklebte Papier.

---

Woher stammt dein Wissen (Mehrfachantworten möglich)?

[ ] habe die Aufgabe ohne Vorwissen bearbeitet

[ ] Schule

  [ ] Sachunterricht

[ ] Familie

[ ] Medien (TV, Internet, ...)

Abbildung 7: Aufgabenzettel (mit Ankreuzmöglichkeiten für die Primarstufe, für die Sekundarstufe I vgl. Anhang 8.2)

## 3.2 Datenerhebung

Der Vergleich von Schüler/-innen aus der 4. und der 7. Klasse würde optimalerweise durch einen Längsschnitt – also einem Vergleich derselben Schüler/-innen einmal im 4. Schuljahr und drei Jahre später im 7. Schuljahr – stattfinden. Dadurch wären durch die geringere Varianz, die die Validität beeinflusst, die Forschungsergebnisse zuverlässiger. Dies erfordert allerdings eine zeitaufwendige Längsschnittstudie mit einer Datenerhebung von mehreren Jahren und war im Rahmen dieses Projektes nicht umsetzbar. Somit wurde auf das Verfahren eines Quasi-Längsschnitts – einem querschnittlichen Vergleich mit verschiedenen Schüler/-innen der 4. und 7. Klasse – zurückgegriffen. Die Pilotierung mit Version 3 des Erhebungsinstrumentes und Version 1 des Aufgabenzettels (vgl. Anhang 8.1) wurde durch eine Testung mit 47 Proband/-innen (23 Grund- und 24 Gesamtschüler/-innen) durchgeführt. Für die Hauptstudie haben 428 Schüler/-innen aus 20 Schulklassen, zehn vierte Klassen von sechs verschiedenen Grundschulen und zehn sechste bzw. siebte Klassen von drei verschiedenen Gesamtschulen, die Aufgabe mit dem Erhebungsinstrument bearbeitet. Da die Stundenverteilung im Fach Technik (als Teilgebiet der Arbeitslehre bestehend aus Hauswirtschaft, Technik, Wirtschaft) an den Gesamtschulen NRWs unterschiedlich sein kann, zeigt die folgende Tabelle die Stundenaufteilung für das Fach Technik an den besuchten drei Gesamtschulen.

Tabelle 3: Technikunterricht an den besuchten Gesamtschulen (HJ ≙ Halbjahr)

| | **Jahrgangsstufe** | | |
|---|---|---|---|
| **Schule** | **5** | **6** | **7** |
| **A** | Unterricht im Klassenverband (2-stündig 1 HJ) | Unterricht im Wahlpflichtbereich (3-stündig 1HJ) | Unterricht im Wahlpflichtbereich (3-stündig 1HJ) |
| **B** | Unterricht im Klassenverband (2-stündig 1 HJ) | | Unterricht im Wahlpflichtbereich (3-stündig 1HJ) |
| **C** | Unterricht im Klassenverband (2-stündig 1 HJ) | | Unterricht im Wahlpflichtbereich (3-stündig 1HJ) |

Gesamtschule A unterscheidet sich von Gesamtschule B und C darin, dass sie schon in Jahrgangsstufe 6 den Unterricht im Wahlpflichtbereich beginnt. Die Erhebungen wurden deswegen an Schule A in der sechsten Klasse, an den Schulen B und C in den siebten Klassen durchgeführt. Demzufolge sollten alle Schüler/-innen einen ähnlichen Unterrichtsumfang in Technik gehabt haben. In Schule A fanden die Erhebungen aus organisatorischen Gründen im Klassenunterricht, in den Schulen B und C im Unterricht im Wahlpflichtbereich statt.

Insgesamt haben 428 Schüler/-innen teilgenommen, 218 Grundschüler/-innen und 210 Gesamtschüler/-innen. Nach Bereinigung der Daten (uneindeutige Ergebnisse, Flüchtlingskinder und Abschreiber; vgl. Kapitel 3.2.3 Auswertungsmethodik, S.38ff *Stichprobengröße*) blieben noch 386 auswertbare Ergebnisse, 206 Grundschüler/-innen und 180 Gesamtschüler/-innen. Die Gesamtmenge der Schüler/-innen weicht bei den Analysen der gelesenen Zusatzinformationen ab ($N_{Primarstufe}$ = 196, $N_{Sekundarstufe\ I}$ = 151), da in einigen Klassen aus organisatorischen Gründen keine Abdeckung der Rückseiten stattfinden konnte und somit diese Daten nicht erhoben werden konnten. Die Auswahl der Schulen in NRW verlief annähernd zufällig. Verschiedene Grund- und Gesamtschulen in den PLZ-Gebieten 45, 46 und 47 wurden angerufen und/oder angeschrieben. Diejenigen Schulen, deren Schulleiter/-innen uns eine Datenerhebung ermöglichten, wurden aufgesucht. Der Umkreis, in dem die Schulen besucht wurden, ist im Anhang 8.2 der Karte zu entnehmen. Für die Sekundarstufe I wurde die Schulform der Gesamtschule gewählt, da diese der Grundschule am ähnlichsten ist und dort eine große Leistungsdiversität der Schülerschaft vorliegt.

Jeweils eine Schülerin oder ein Schüler einer untersuchten Klasse trug eine **Eye-Tracking-Brille** (Tobii Pro Glasses 2, vgl. Anhang 8.2) beim Lösen der Aufgabe und wurde aufgefordert dabei laut zu denken. Dies sollte Aufschluss über die Handlungsprozesse von Schüler/-innen bei der Konstruktion eines Wasserkraftwerks mit der Strukturlegetechnik geben und die Gültigkeit der Durchführung verifizieren. Von den zuletzt 16 vorliegenden Eye-Tracking-Aufnahmen der Proband/-innen lagen somit im Anschluss zusätzlich die Schülervorstellungen vor.

### 3.2.1 Vorbereitung

*Unbestimmter Ort:* Zunächst wurden 60 Sätze der 13 bebilderten **Karten** (vgl. Abbildung 6 und Anhang 8.5) erstellt (gedruckt, laminiert und geschnitten). Die Beschriftungen der Rückseiten (vgl. Tabelle 2) wurden vor jeder neuen Testung mit einem undurchsichtigen Stück Papier verdeckt und mit Klebefilm fixiert, so dass der Text nicht lesbar war, ohne das Papier zu entfernen. Die Karten wurden jedes Mal auf Vollständigkeit überprüft und in einer willkürlichen Reihenfolge mit einem Gummiband zusammengebunden, jedoch war das Bild mit der Stadt immer die oberste Karte. Die **Aufgabenzettel** (vgl. Abbildung 7) wurden mit den Codierungen (ID Kombination aus Schule und Klasse) der jeweiligen Klassen versehen und je nach Anzahl der Schüler/-innen von „01“ an durchnummeriert.

*In der Klasse:* Das Poster (vgl. Abbildung 8) wurde an die Tafel gehängt; die Klassenräume für die Testung möglichst so gestaltet, dass ein Abschauen erschwert war. Dafür wurden die Tische – wenn möglich – mit Blickrichtung zur Tafel verschoben, eine Lücke zwischen jeweils benachbarten Tischen gelassen und Sichtschutzwände aufgestellt (vgl. Anhang 8.2). Die Daten wurden vor Ort wie folgt pseudonymisiert. Anhand der durchnummerierten alphabetischen Klassenliste (die in der Schule verblieb) wurden Post-its mit Nummern und Namen der Kinder beschriftet, die jeweils auf den Aufgabenzettel mit der dazugehörigen ID-Codierung geheftet wurden. Diese Post-its sollten die Kinder später entfernen und wegwerfen. Die Aufgabenzettel wurden den Nummern nach in Schlangenlinien beginnend mit Nummer XXX-01 vorne links auf den Tischen verteilt (vgl. Anhang 8.2). Auf jedem Tisch lagen das Aufgabenblatt mit dem Namens-Post-it, ein Satz Karten und ein Kugelschreiber. Danach konnten die Kinder eintreten und sich zum Aufgabenzettel mit ihrem Namens-Post-it setzen. Während der Testung wurde von der Testleiterin ein Sitzplan der IDs angefertigt und ein Protokoll (vgl. Anhang 8.2) über die Erhebung geführt.

*Eye-Tracking Aufbau:* Jeweils ein Kind pro Klasse löste die Aufgabe mit einer Eye-Tracking-Brille und lautem Denken. Dafür wurde jeweils ein Arbeitsplatz außerhalb des Klassenraumes (im Vorbereitungsraum nebenan oder auf dem Flur vor dem Klassenraum) eingerichtet. Die Auswahl des Kindes fand entweder im Vorfeld durch die Lehrkraft statt oder die Kinder durften sich melden, wenn sie die Aufgabe mit Eye-Tracking-Brille lösen wollten. Dabei fand eine Auswahl durch die Testleiterin statt.

Abbildung 8: Poster für die Geschichte der Aufgabenvorbesprechung mit den Schüler/-innen

### 3.2.2 Durchführung

*Instruktionsphase:* Nach einer Begrüßung und Vorstellung fanden die Instruktionen nach erstelltem Testleitermanual (vgl. Anhang 8.2) statt. Es wurde eine Geschichte über eine Stadt erzählt, die mit Hilfe eines Wasserkraftwerks aus einem der beiden Stauseen umweltfreundliche Energie gewinnen wolle. Die Aufgabenstellung wurde von der Testleiterin laut vorgelesen, von einer Schülerin oder einem Schüler wiederholt, Fragen durch die Testleiterin beantwortet und Tipps für die Vorgehensweise gegeben.

*Testphase:* Für die Auseinandersetzung mit den Karten und das Erstellen einer Reihenfolge hatten die Schüler/-innen 20 Minuten Bearbeitungszeit (vgl. Abbildung 9). Eine zweite Fotografie wurde von der Rückseite der Karten und dem Aufgabenzettel erstellt, um Informationen darüber zu bekommen, ob und welche Textinformationen der Rückseite entnommen wurden (vgl. Abbildung 11), also welche aufgeklebten Zettel entfernt wurden.

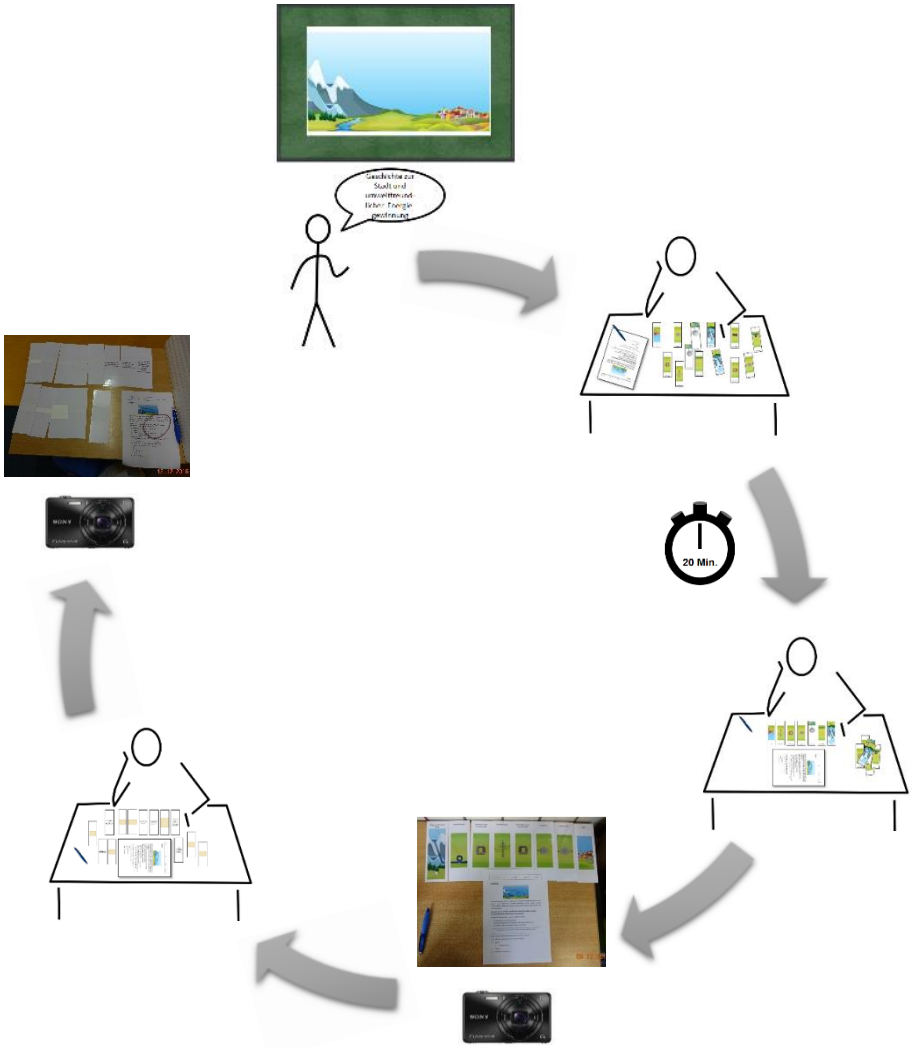



Abbildung 9: Ablauf einer Erhebung

*Eye-Tracking:* Das Kind mit der Eye-Tracking-Brille hat die Aufgabe nach gleichem Schema gelöst. Zunächst wurde die Brille kalibriert und die Aufnahme gestartet. Dann wurde es darum gebeten, beim Lösen der Aufgabe, laut zu denken. Wenn Kinder nicht viel gesprochen haben, wurden sie von der Testleiterin dazu aufgefordert, sich zu bestimmten Sachverhalten zu äußern.

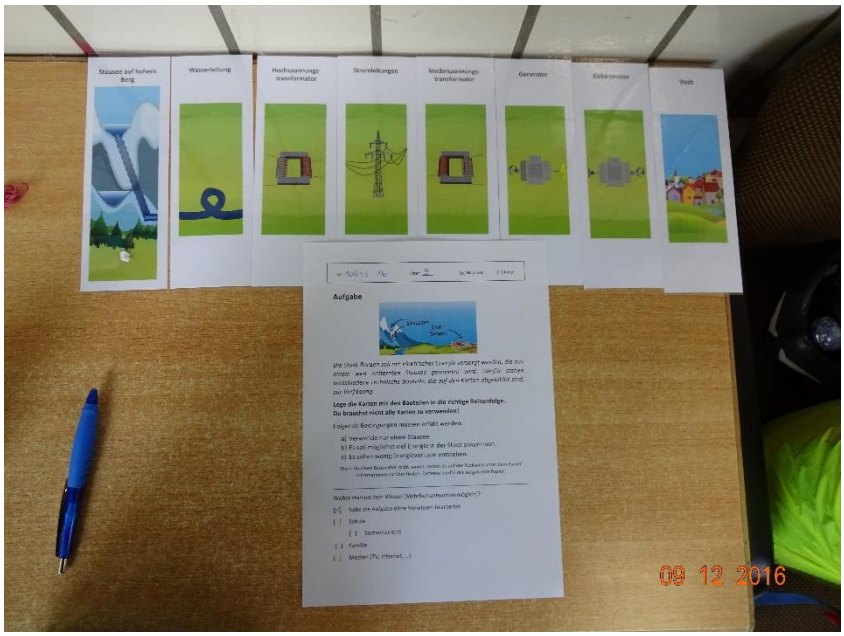



Abbildung 10: Beispiel eines Ergebnisfotos

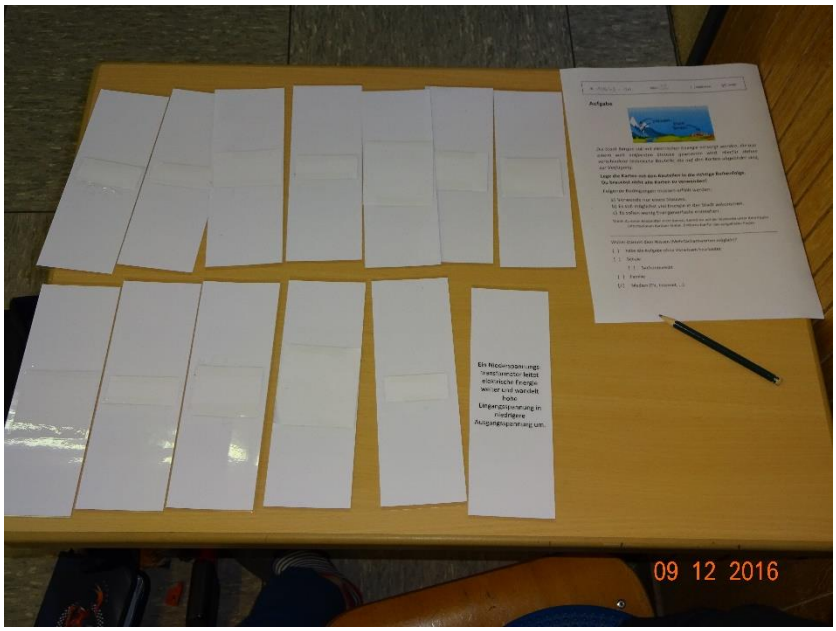



Abbildung 11: Beispiel eines Fotos der gelesenen Zusatzinformationen

### 3.2.3 Auswertungsmethodik

Mit Hilfe eines Onlinefragebogens, der auf SoSciSurvey.de erstellet wurde, konnten alle auswertenden Personen von jedem Ort zu jeder Zeit die Daten der 428 Ergebnisse einspeisen. Um die Vorgehensweise zu erläutern und Verständnisfragen der Auswerter zu beantworten, fand im Vorfeld eine Schulung statt. Jeder Datensatz wurde doppelt ausgewertet, also von zwei verschiedenen Personen eingespeist. Die Interrater-Reliabilität

(Cohens Kappa) für die Auswahl der Karten beträgt 0,874, die der Anordnung der Karten 0,779. Demnach liegt eine sehr gute Beobachterübereinstimmung bei der Auswertung der Daten vor, da Werte über 0,75 nach konventionellen Standards als sehr gut eingeordnet werden können (Döring & Bortz 2016). Bei Datensätzen, bei denen sich die auswertende Person unsicher war, konnte ein Kommentar hinterlassen werden, so dass die Projektleiterin als dritte Person auswerten konnte. Wichen die Auswertereintragungen voneinander ab, wurde der Datensatz ein drittes Mal durch die Projektleitung ausgewertet und dieses Ergebnis verwendet. Insgesamt mussten 72 Angaben im Fragebogen gemacht werden. Die erfassten Daten sind der folgenden Tabelle 4 in abgekürzter Version zu entnehmen (ungekürzte Version vgl. Anhang 8.2).

Tabelle 4: Erfasste Daten des online Fragebogens (gekürzt)

| Daten | Kategorie | Eintragung / Ankreuzen |
|---|---|---|
| **Persönliche Daten** | ID | |
| | Geschlecht | |
| | Alter | |
| | Vorwissen | Kein Vorwissen |
| | | Schule (für Primarstufe: Sachunterricht; für Sek. I: Physik, Technik, Arbeitslehre) |
| | | Familie |
| | | Medien |
| **Auswerter Informationen** | Auswerter | |
| | Dateiname | |
| | Kommentar | |
| **Reihenfolge Karten** | Karte X | Ziffer (steht für die Position) zwischen 1 und 13 |
| **Anzahl Karten** | | |
| **Verwendete Zusatzinformation/en** | Keine oder Karte X | |
| **Auswahl Karten** | Stausee auf hohem Berg (nicht auf niedrigem) | |
| | Keine oder gerade Wasserleitung | |
| | Wasserturbine (nicht schaufellos) | |
| | Generator (nicht E-Motor) | |
| | Hochspannungstransformator oder beide | |
| | Stromleitung, nicht Energietransporter | |
| | Stadt | |

| | |
|---|---|
| **Anordnung Karten** | Stausee am Anfang |
| | Stausee vor Wasserleitung oder Turbine |
| | Wasserleitung vor Turbine oder keine genutzt und Stausee vor Turbine |
| | Turbine vor Generator oder Motor |
| | Generator oder Motor vor Transformator |
| | Generator oder Motor vor Stromleitung/LKW oder Stadt |
| | Transformator vor Stromleitung/LKW |
| | Stromleitung/LKW vor Stadt |
| | Stadt am Ende |
| **Energiefluss möglich** | |
| **Fehlkonzepte** | Fehlkonzepte Auswahl |
| | Fehlkonzepte Anordnung |
| **Anzahl doppelter Karten**[5] | |

*Stichprobengröße/Bereinigung der Daten:* Durch die Vielfalt der möglichen Kartenkombinationen war ein mehrfaches Auftreten eines Ergebnisses unwahrscheinlicher. Bei identischen Ergebnissen wurde deswegen auf ein Abschauen überprüft. Dazu konnte mit Hilfe der erstellten Sitzpläne kontrolliert werden, ob die jeweiligen Kinder mit demselben Ergebnis in unmittelbarer Nähe zueinander saßen. War dies der Fall, wurde:

a. bei Übereinstimmung des Geschlechts und des Alters ein Datensatz gelöscht, der andere ging mit in die Auswertung ein.
b. bei Unterscheidung der Geschlechter oder des Alters beide Datensätze gelöscht.

Aufgrund des Abschreibens wurden 30 Datensätze aus der Datenmatrix entfernt. Es haben 22 Kinder abgeschaut; da aber in acht Fällen nicht rekonstruiert werden kann, wer von wem abgeschaut hat, wurden bei Kindern, die sich in Geschlecht und Alter unterscheiden, beide Datensätze gelöscht.

[5] Mit doppelten Karten ist gemeint, dass jeweils keine Auswahl getroffen wurde zwischen den zwei alternativen Karten.

Des Weiteren wurden insgesamt zwölf weitere Datensätze aus der Matrix entfernt. Diese beinhalteten unvollständige oder uneindeutige Angaben oder Ergebnisfotos oder die Tests wurden von Flüchtlings- oder Integrationskindern durchgeführt; in diesen Fällen konnte nicht von einem Verstehen der Aufgabenstellung ausgegangen werden und somit waren von der Gesamtheit der Klasse abweichende Grundvoraussetzungen gegeben. In Summe liegen 386 vollständig auswertbare Datensätze vor.

### 3.2.4 Technisches Verständnis

Um das technische Verständnis separat voneinander auswerten zu können, wurde die Auswahl der Karten unabhängig von deren Anordnung bewertet und umgekehrt. Im Folgenden wird auf die Auswertung der zwei verschiedenen Denkoperationen getrennt eingegangen. Eine Aussage, die unabhängig von der konkreten Teilsystemauswahl und -anordnung ist, ist das Bestehen einer durchgehenden Energieflusskette. Ist die Abfolge der Karten sinnvoll, so dass die Energie durchgängig fließen kann und auch sinnvoll mit einem Generator gewandelt wird und zur Stadt gelangen kann (direkt oder über Weiterleitungssysteme), kann von einer durchgängigen Energieflusskette gesprochen werden.

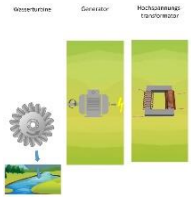
#### *3.2.4.1 Analytische Denkprozesse*

Um die analytischen Denkoperationen zu bewerten, wurde jedes fachwissenschaftlich korrekt ausgewählte Teilsystem mit einem Punkt bewertet. Somit erhalten die Schüler/-innen je einen Punkt, wenn:

- der Stausee auf hohem Berg,
- die gerade Wasserleitung oder keine Wasserleitung,
- die Wasserturbine mit Schaufeln,
- der Generator,
- der Hochspannungstransformator oder beide Transformatoren und/oder
- die Stromleitung

gewählt wurde/-n (vgl. Tabelle 5). Eine Auswahl des Teilsystems „Stadt“ wurde nicht bepunktet, da dieses Teilsystem kein alternatives Teilsystem hatte und durch die Geschichte und das Poster quasi vorgegeben war (97% der Schüler/-innen wählten das Teilsystem Stadt aus). Demnach konnten bei richtiger Auswahl aller Teilsysteme maximal sechs Punkte erzielt werden.

Tabelle 5: Bepunktung der analytischen Denkoperationen

| Analytische Denkoperation | Indikator | Punkte |
|---|---|---|
| Auswahl eines geeigneten Teilsystems zur Energie**speicherung** | | 1 |
| Auswahl eines geeigneten Teilsystems zum **Transport** von mechanischer / elektrischer Energie | | 2 |
| Auswahl eines geeigneten Teilsystems zur **Wandlung** von Energie |  | 3 |

### *3.2.4.2 Synthetische Denkprozesse*

Bei den synthetischen Denkoperationen galt es, die Teilsysteme korrekt zu kombinieren. Wichtig war, dass die Ausgangsgröße des einen Teilsystems und die Eingangsgröße des danebenliegenden Teilsystems übereinstimmen. Zum Beispiel ist die Ausgangsgröße des Stausees das Wasser bzw. die mechanische Energie und dies zugleich die Eingangsgröße der Wasserleitung. Bei einer richtigen Kombination wurde ein Punkt gegeben. Die Bewertung findet unabhängig von der Auswahl des Teilsystems und der Anordnung der restlichen Teilsysteme statt. Tabelle 6 veranschaulicht die Bepunktung. Das richtige Eingangs- (ein Stausee) und Ausgangssystem (Stadt) für das Gesamtsystem des Wasserkraftwerks wurden aus der Bepunktung herausgenommen, da diese – ähnlich wie die Auswahl der Stadt – durch die Geschichte und das Poster annähernd vorgegeben waren (90% der Schüler/-innen wählen den Stausee als Eingangssystem und 88% die Stadt als Ausgangssystem). Insgesamt führten demnach folgende fachwissenschaftlich richtigen Teilsystemkombinationen zu einem Punkt:

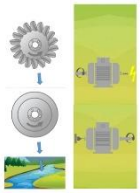
- ein Stausee (auf hohem oder niedrigem Berg) mit einer Wasserleitung (gerade oder mit Looping)

*oder*

- ein Stausee (auf hohem oder niedrigem Berg) mit einer Wasserturbine (mit oder ohne Schaufeln) unter Nichtverwendung einer Wasserleitung
- eine Wasserleitung (gerade oder mit Looping) mit einer Wasserturbine (mit oder ohne Schaufeln)
- eine Turbine (mit oder ohne Schaufeln) mit einem Wandlungssystem (Generator oder Elektromotor)
- ein Wandlungssystem (Generator oder Elektromotor) mit einem Transformator (Hoch- oder Niederspannungstransformator)
- ein Transformator (Hoch- oder Niederspannungstransformator) mit einem Stromleitungssystem (Stromleitung oder Energietransporter)
- ein Stromleitungssystem (Stromleitung oder Energietransporter) mit der Stadt

Maximal konnten auch bei den synthetischen Denkoperationen folglich insgesamt sechs Punkte erreicht werden.

Tabelle 6: Bepunktung der synthetischen Denkoperationen

| Synthetische Denkoperation | Indikator | Punkte |
|---|---|---|
| Richtige Kombination von **mechanischen** Teilsystemen | | 2 |
| Richtige Kombination von **mechanisch-elektrischem** Wandlungssystem |  | 1 |
| Richtige Kombination von **elektrischen** Teilsystemen | | 3 |

### 3.2.5 Binärcodierung

Um die Ergebnisse in vereinfachter Form darzustellen und schnell vergleichbar zu machen, wurde der binäre Code eines Ergebnisses erstellt.

Tabelle 7: Beispiel einer Binärcodierung

| **Binärcode für Beispiel** | | |
|---|---|---|
| | | |
| **100100 \| 111000011** | | |
| **Karte** | Stausee auf hohem Berg | 1 |
| | gerade Wasserleitung | 0 |
| | Wasserturbine | 0 |
| | Generator | 1 |
| | Hochspannungstransformator | 0 |
| | Stromleitung | 0 |
| | Stadt | 1 |
| **Position** | Stausee am Anfang | 1 |
| | Stausee mit Wasserleitung | 1 |
| | Wasserleitung mit Turbine | 0 |
| | Turbine mit Wandlungssystem | 0 |
| | Wandlungssystem mit Transformator | 0 |
| | Transformator mit Stromleitungssystem | 0 |
| | Stromleitungssystem mit Stadt | 1 |
| | Stadt am Ende | 1 |

Dafür wurde die korrekte Auswahl eines Teilsystems mit „1“ codiert und die fehlende oder inkorrekte Auswahl mit „0“. Wenn keine Auswahl eines Teilsystems getroffen wurde – also beide Karten genutzt wurden –, galt dies als inkorrekt. Dasselbe gilt für die

Teilsystemkombinationen, wobei hier die Auswahl der Teilsysteme irrelevant war (vgl. Aufzählung in Kapitel 3.2.4.2, S. 42f). Eine korrekt getroffene Teilsystemkombination wurde mit „1“ codiert. Für die korrekte Auswahl konnten somit sieben Positionen mit einer 1 versehen werden; für die korrekten Teilsystemkombinationen acht. Insgesamt existiert daher für jede/n Schüler/-in ein 15-stelliger binärer Code bzw. getrennt ein siebenstelliger für die Auswahl und ein achtstelliger für die Kombinationen der Teilsysteme. Wenn alles korrekt ausgewählt und gelegt wurde, bestand dieser Code aus 15 aufeinanderfolgenden Einsen. Tabelle 7 zeigt ein Beispiel einer Codierung. Der zweite Teil dieser Codes, der die Teilsystemkombinationen codiert, ist in seinen Teileinheiten Grundlage für die Kategorisierung der Ergebnisse in Tabelle 8.

### 3.2.6 Kategorisierung der Ergebnisse

Um das technische Verständnis in Bezug auf die synthetischen Denkoperationen von jedem Kind individuell zuordnen zu können, wurde ein abgestuftes Kategoriensystem entwickelt (vgl. Tabelle 8). Dafür stellen die Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems und der Energiefluss die Basis verschiedener Kategorien dar. ***Ebene I*** des Kategoriensystems umfasst vier Kategorien, wobei die erste Kategorie die schlechteste ist und die vierte die beste. Kategorie 1 umschließt ein nicht funktionsfähiges Gesamtsystem und keinen Energiefluss, da es keine zusammenhängenden Teilsysteme gibt. Kategorie 2 umschließt Ergebnisse mit mehrmals unterbrochenem Energiefluss und einem nicht funktionsfähigen Gesamtsystem wobei einzelne Teilsystemkombinationen zusammenhängend sind. In Kategorie 3 sind die Ergebnisse enthalten, in denen der Energiefluss nur einmal unterbrochen ist und das Gesamtsystem demnach nahezu funktionsfähig wäre. Kategorie 4 beinhaltet zusammenhängende Teilsysteme mit einem durchgehenden Energiefluss und dadurch ein funktionsfähiges Gesamtsystem.

***Ebene II*** untergliedert die Ergebnisse nochmals weiter in die Funktion der drei verschiedenen Hauptsysteme. (1) *Ein Hauptsystem* beinhaltet die mechanische Energieweiterleitung, die durch das aus dem Stausee gewonnene, in die Wasserleitung bis zur Wasserturbine weitergeleitete Wasser erfolgt. (2) Das *mittlere Hauptsystem* umfasst die Wandlung der mechanischen zur elektrischen Energie, wobei der Generator aus der Rotationsenergie der Wasserturbine die elektrische Energie wandelt. (3) Das *letzte Hauptsystem* umschließt die Weiterleitung der elektrischen Energie, die durch den Transformator über Stromleitungen in die Stadt gelangt. Ebene II umfasst insgesamt acht Kategorien.

Je nach Kategorie liegt ein technisches Verständnis in keinem, einem, zwei oder drei Hauptsystemen vor. In Kategorie 1 wird zusätzlich unterschieden, ob das Eingangs- und / oder Ausgangssystem kombiniert wurden. Kategorie 4.1 und 4.2 unterscheiden ergänzend, ob ein Transformator im elektrischen Hauptsystem genutzt wurde (4.2) oder nicht (4.1).

***Ebene III*** teilt die Ergebnisse der Schüler/-innen detailliert nach keiner, teilweiser oder vollständiger Funktionsfähigkeit der einzelnen drei Hauptsysteme und deren Kombinationsmöglichkeiten auf. Sie umschließt 22 Subkategorien.

Tabelle 8: Kategorientabelle der Ergebnisse

| Ebene I | Ebene II | Ebene III |
|---|---|---|
| **Gesamtsystem und Energiefluss** | **Hauptsysteme: 1) mechanische Energieweiterleitung 2) Wandlung 3) elektr. Energieweiterleitung** | **Teilsysteme (richtig kombiniert)** |
| **1.** Gesamtsystem gar nicht funktionsfähig, keinerlei Energiefluss, keine zusammenhängende Teilsystemkombination | **1.1** nichts | 1.1 kein System |
| | **1.2** nur Eingangs- oder/und Ausgangssystem | 1.2.1 Eingangssystem<br>1.2.2 Ausgangssystem<br>1.2.3 Eingangs- und Ausgangssystem |
| **2.** Gesamtsystem nicht funktionsfähig, Energiefluss mehrmals unterbrochen, einzelne zusammenhängende funktionsfähige Teilsysteme | **2.1** nur vereinzelte Teilsysteme | 2.1.1 Teile der mechanischen Energieweiterleitung<br>2.1.2 Teile der elektrischen Energieweiterleitung<br>2.1.3 Teile der mechanischen und elektrischen Energieweiterleitung |
| | **2.2** ein Hauptsystem, die anderen in Teilen oder gar nicht | 2.2.1 Mechanische Energieweiterleitung komplett<br>2.2.2 Wandlung<br>2.2.3 Elektrische Energieweiterleitung komplett<br>2.2.4 Teile der mechanischen Energieweiterleitung und Wandlung<br>2.2.5 Wandlung und Teile der elektrischen Energieweiterleitung<br>2.2.6 Teile der mechanischen und elektrische Energieweiterleitung komplett<br>2.2.7 Mechanische komplett und Teile der elektrischen Energieweiterleitung<br>2.2.8 Teile der mechanischen und elektrischen Energieweiterleitung und Wandlung |
| **3.** Gesamtsystem fast funktionsfähig, Energiefluss einmal unterbrochen, zusammenhängende funktionsfähige Teilsysteme | **3.1** zwei Hauptsysteme, das dritte gar nicht | 3.1.1 Mechanische und elektrische Energieweiterleitung komplett<br>3.1.2 Mechanische Energieweiterleitung komplett und Wandlung<br>3.1.3 Wandlung und elektrische Energieweiterleitung komplett |
| | **3.2** zwei Hauptsysteme, das dritte in Teilen | 3.2.1 Mechanische Energieweiterleitung komplett, Wandlung und Teile der elektrischen Energieweiterleitung<br>3.2.2 Teile der mechanischen Energieweiterleitung, Wandlung und elektrische Energieweiterleitung komplett |
| **4.** Gesamtsystem funktionsfähig, Energiefluss durchgehend, zusammenhängende funktionsfähige Teilsysteme | **4.1** drei Hauptsysteme, im elektrischen keine Verwendung des Transformators | 4.1 Alle drei Hauptsysteme komplett ohne Verwendung des Transformators |
| | **4.2** drei Hauptsysteme, Verwendung des Transformators | 4.2 Alle drei Hauptsysteme komplett |

### 3.2.7 Handlungsprozesse

Anhand der Eye-Tracking-Aufnahmen können die Handlungsprozesse der jeweiligen Schülerin oder des jeweiligen Schülers bei der Konstruktion des Wasserkraftwerks mit Hilfe des Erhebungsinstrumentes durch die abgewandelte Strukturlegetechnik ausgewertet werden. Dafür werden drei Kategorien erstellt:

(1) Anschauen
(2) Auswählen
(3) Anordnen.

Auf die neutrale bzw. auch undefinierbare Kategorie (1) Anschauen folgt immer eine Handlung. Der Handlung gehen immer analytische oder synthetische Denkoperationen voraus. Entweder es wird von der Schülerin oder dem Schüler ein Teilsystem ausgewählt – es fanden also analytische Denkoperationen statt – oder es wird ein Teilsystem mit einem anderen kombiniert, also angeordnet. Dieser Handlung liegen dann synthetische Denkoperationen zugrunde. Eine Anordnung kann nur nach einer Auswahl stattfinden. Die Anzahl der Wechsel zwischen analytischen und synthetischen Denkoperationen können somit quantifiziert werden. Da diese Ergebnisse jedoch nicht zur Beantwortung der Fragen benötigt werden, wird nur ein Ergebnis einer Aufnahme im Kapitel 4.4 exemplarisch dargestellt, um die weitergehenden Analysemöglichkeiten des Eye-Trackings aufzuzeigen.

Ebenfalls ist es durch die 16 Aufnahmen mit der Eye-Tracking-Brille und lautem Denken möglich, konkrete Schülervorstellungen zu nennen. Die Videos wurden transkribiert und dabei Aussagen zu einzelnen Teilsystemen und dem vermuteten Energiefluss im System notiert. Diese Ergebnisse sind dem Anhang 8.3 zugefügt.

## 3.3 Statistik

Alle Berechnungen wurden mit dem Programm IBM© SPSS© Statistics Version 24.0.0.0 (2016) durchgeführt. Für die Erstellung der binären Codes und jeglicher Umgang mit diesen wurde das Programm R Version 3.3.1 (2016-06-21) von The R Foundation for Statistical Computing genutzt.

### 3.3.1 Skalenniveau

Eine Messung des Wissens bringt typischerweise ordinalskalierte Daten hervor. Somit führt die Bepunktung der Auswahl und der Anordnung der Teilsysteme zu einer Ordinalskalierung der erhobenen Daten. Die Interpretation als Ordinalskala führt jedoch dazu, dass verschiedene statistische Verfahren mit spezifischer Informationsleistung nicht anwendbar sind (Faktorenanalysen, Varianzanalysen). Das Fehlerrisiko, das man eingeht, wenn man ordinalskalierte Variablen als intervallskaliert interpretiert, ist jedoch umso

geringer, je größer die Zahl der Ausprägungen der Variablen ist. Außerdem haben Simulationsstudien gezeigt, dass die Fehlergefahr extrem gering ist (Baur 2008). Die Stärke des Zusammenhangs ordinalskalierter Variablen und intervallskaliert interpretierter Variablen wird normalerweise unterschätzt (Schulze 2008). Die ordinalskalierten Daten dieser Arbeit werden aus diesen Gründen wie intervallskalierte Daten behandelt.

### 3.3.2 Datenanalyse

Vor der Durchführung einer Datenanalyse wurden zunächst die Bedingungen überprüft. Um die benötigte Art der Analyse zuordnen zu können, wurde das Skalenniveau und die Verteilung der abhängigen und unabhängigen Variable bestimmt (vgl. Tabelle 9). Mit dem *Chi²-Anpassungstest* und der *Rangkorrelation nach Spearman* wurden Häufigkeiten und Zusammenhänge zwischen zwei Variablen und dem *Mann-Whitney-U-Test*, der *mehrfaktoriellen Varianzanalyse* (im Folgenden ANOVA: aus dem Englischen ANalysis Of VAriance) und dem *t-Test* Unterschiede zwischen zwei unabhängigen Stichproben untersucht.

Tabelle 9: Entscheidungshilfe für den zu verwendenden Test

| | | | **Test** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Variable** | **Skalen-niveau** | **Verteilung** | Chi² | Spearman Rangkorrelation | | Mann-Whitney-U | t-Test (M)ANOVA |
| **abhängig** | nominal / ordinal | | x | | | | |
| | intervall | nicht normal | | x | x | x | |
| | | normal | | | x | | x |
| **unabhängig** | nominal / ordinal | | x | | | x | x |
| | intervall | nicht normal | | x | x | | |
| | | normal | | | x | | |

Folgende Voraussetzungen der unterschiedlichen Tests mussten gegeben sein:

Für den *Chi²-Anpassungstest* muss die Variable kategorial (also nominal- oder ordinalskaliert) sein und die erwarteten Häufigkeiten in jeder Kategorie müssen mindestens

1 betragen. Wenn bei höchstens 20% der Kategorien die erwartete Häufigkeit unter 5 liegt, folgt die Teststatistik näherungsweise einer Chi²-Verteilung.

Für die *Rangkorrelation nach Spearman* müssen die Variablen mindestens ordinalskaliert sein. Diese Korrelation findet Anwendung, wenn die Voraussetzungen (u.a. Normalverteilung der intervallskalierten Variablen) für die Pearson Korrelation oder einer linearen Regression nicht gegeben sind. Bei den Analysen der Daten dieser Studie war immer mindestens eine der Variablen auch trotz verschiedener Transformationen (vgl. Tabelle 10) nicht normalverteilt (Ergebnis des *Kolmogorov-Smirnov Tests auf Normalverteilung* signifikant bzw. explorativ mit Hilfe von *Q-Q-Plots*).

Der *Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben* ist ebenfalls ein Pendant für nicht normalverteilte Daten. Ist die abhängige Variable intervallskaliert, aber nicht normal verteilt, dann muss anstelle des *t-Tests für unabhängige Stichproben* der *Mann-Whitney-U-Test* durchgeführt werden. Eine Ordinalskalierung der abhängigen Variable ist ebenfalls erlaubt. Mit der unabhängigen Variable müssen die beiden zu vergleichenden Gruppen gebildet werden können. Auch eine Homogenität der Varianzen muss nicht gegeben sein.

Für eine *MANOVA (Multiple Varianzanalyse)*, eine *ANOVA* und einen *t-Test* muss die abhängige Variable intervallskaliert und normalverteilt in jeder der Gruppen sein. Die Gruppen müssen aus Grundgesamtheiten mit annährend identischen Varianzen der abhängigen Variable stammen, was mit dem *Levene-Test* auf Homogenität der Varianzen überprüft wird. Die unabhängige Variable (der Faktor) muss kategorial (nominal- oder ordinalskaliert) und die durch den Faktor gebildeten Gruppen unabhängig sein.

Tabelle 10: Datentransformationsmöglichkeiten bei fehlender Normalverteilung (angelehnt an Field (2013))

| **Datenbild** | **Transformation** |
|---|---|
| rechtsschief (positive Schiefe), ungleiche Varianzen | Logarithmieren (log(X)) |
| rechtsschief (positive Schiefe), ungleiche Varianzen | Quadratwurzel (√X) |
| rechtsschief (positive Schiefe), ungleiche Varianzen | Reziproke Transformation (1/X) |
| linksschief (negative Schiefe) | Reversieren der Punkte |

Bei einer Abweichung der Normalverteilung wurden trotz der Aussage, dass bei mehr als 25 Probanden pro Gruppe Verletzungen dieser Voraussetzung unproblematisch seien (Schwarz et al. 2018), die Daten – wenn möglich – transformiert. Tabelle 10 zeigt welche Transformationen bei welchem Datenbild durchgeführt bzw. untersucht wurden, um eine Annäherung an die Normalverteilung zu erlangen (angelehnt an Field (2013)). Zur visuellen Prüfung der Normalverteilung wurden *Q-Q-Plots* hinzugezogen. Lagen die Punkte annährend auf einer Geraden, wurde auch bei einem negativen Ergebnis des *Kolmogorov-Smirnov Tests auf Normalverteilung* aufgrund der großen Datenmenge eine Normalverteilung angenommen.

Tabelle 11 zeigt, wie die Signifikanzwerte in dieser Arbeit betitelt und symbolisiert wurden. Beim klassischen Nullhypothesen-Signifikanztest wird die Alternativhypothese angenommen, wenn die Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner als 5% ($p \leq 0{,}05$) ist (Döring & Bortz 2016).

Tabelle 11: Beschreibung der Signifikanzwerte

| ***p*-Wert** | **Ausdruck** | **Symbol** |
|---|---|---|
| ≤ 0,001 | hoch signifikant | *** |
| ≤ 0,01 | signifikant | ** |
| ≤ 0,05 | signifikant | * |
| < 0,1 | tendenziell signifikant | (*) |

Um signifikante Unterschiede gewichten zu können, wurde bei Mittelwertvergleichen stets die *Effektstärke d nach Cohen* berechnet. Be- und Umrechnungen der Effektstärken basieren auf Lenhard und Lenhard (2016). Die *Effektstärke d nach Cohen* ist ein Maß für die Bedeutsamkeit der signifikanten Unterschiede zwischen zwei Gruppen und wird durch Mittelwertdifferenzen unter Berücksichtigung ihrer Streuungen berechnet. Es können demnach durchaus signifikante Unterschiede vorliegen, wie stark diese jedoch durch den Faktor beeinflusst werden, gibt der *p*-Wert nicht an. Für die Beurteilung der Effektstärken wurde die Skala aus der Hattie-Studie (2009)[6] zugrunde gelegt. Hattie

[6] Für diese Arbeit wurde mit der deutschsprachigen Übersetzung von W. Beywl und K. Zierer (2013) gearbeitet.

führte basierend auf über 50.000 englischsprachigen Studien eine Analyse durch, in der er die Effektstärken (*d*) in Bezug auf die Lernleistungen (138 verschiedene Einflussfaktoren) der Schüler/-innen interpretierte. Laut seinem Barometer (vgl. Abbildung 12) liegen bei

- $d < 0{,}0$ negative,
- $d = 0{,}0\text{-}0{,}2$ geringe (was Schüler/-innen lernen können, ohne unterrichtet zu werden),
- $d = 0{,}2\text{-}0{,}4$ mittlere (typische Effekte von Lehrer/-innen auf Schüler/-innen, die innerhalb eines Schuljahres erzielt werden können)
- $d > 0{,}4$ hohe

Effekte vor. Wenn $d > 0{,}4$ ist, ist der erwünschte Effekt des Einflussfaktors auf die Lernleistung eingetreten (Hausaufgaben haben z.B. ein mittleres Effektmaß mit $d = 0{,}29$) (Hattie 2009; Steffens & Höfer 2014).

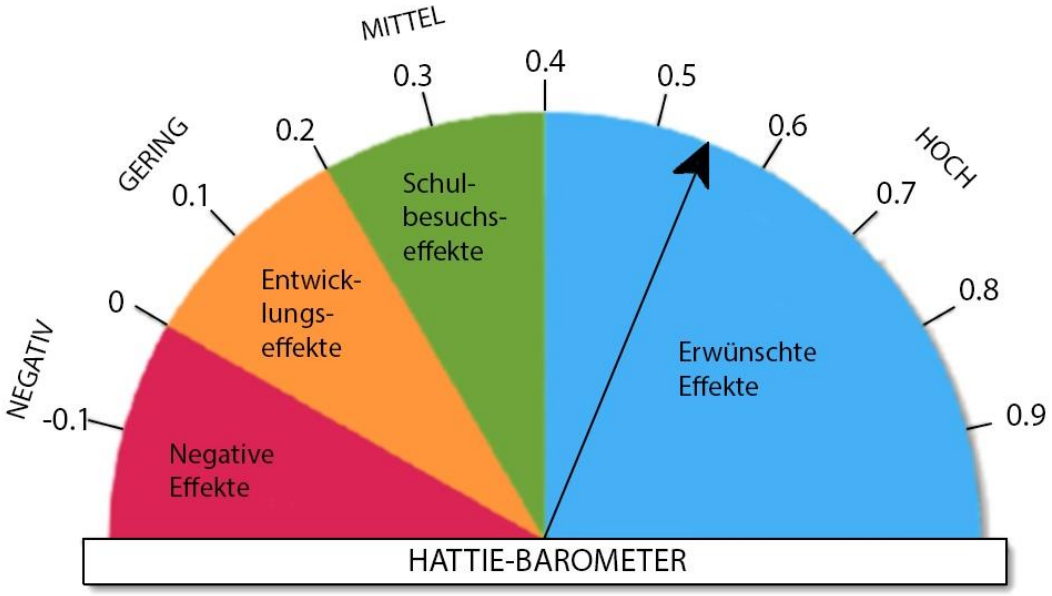



Abbildung 12: Vereinfachte Darstellung eines Hattie-Barometers: Effekt auf Lernleistungen von Schüler/-innen (Quelle: https://edkimo.com/neue-technik-neues-lernen/)

# 4 Ergebnisse

## 4.1 Technisches Verständnis

### 4.1.1 Primarstufe (F1)

Im Verlauf dieser Arbeit ist die Farbe Grün immer stellvertretend für die Primarstufe. Nach Bereinigung der Daten (vgl. Kapitel 3.2.3) konnten die Ergebnisse von insgesamt 206 Primarstufenschüler/-innen in die Datenanalyse einbezogen werden. Die Schüler/-innen waren im Durchschnitt 9,33 Jahre alt.

Die Verteilung der erreichten ***Gesamtpunktzahl*** in der Primarstufe ist leicht rechtsschief (v = 0,460). Nach Transformation der Daten durch Bildung der Quadratwurzel liegt nach visueller Prüfung der Q-Q-Plots eine Normalverteilung vor (v = 0,018). Primarstufenschüler/-innen erzielen im Mittel in etwa die Hälfte der möglichen Punktzahl (*M* = 6,22, *SD* = 2,502, *N* = 206) (vgl. Tabelle 12). Es wurden mindestens zwei Punkte (4,4%) und von sieben Schüler/-innen (3,4%) die maximale Punktzahl von 12 erreicht (vgl. Abbildung 13).

Tabelle 12: Statistiken der Verteilung der Gesamtpunktzahl X in der Primarstufe

| | | X | √X |
|---|---|---|---|
| Mittelwert | | 6,22 | 2,44 |
| Median | | 6,00 | 2,45 |
| Modus | | 6 | 2,45 |
| Standardabweichung | | 2,502 | 0,507 |
| Varianz | | 6,262 | 0,257 |
| Schiefe | | 0,460 | 0,018 |
| Kurtosis | | -0,378 | -0,536 |
| Minimum | | 2 | 1,41 |
| Maximum | | 12 | 3,46 |
| Perzentile | 25 | 4,00 | 2,00 |
| | 75 | 8,00 | 2,83 |

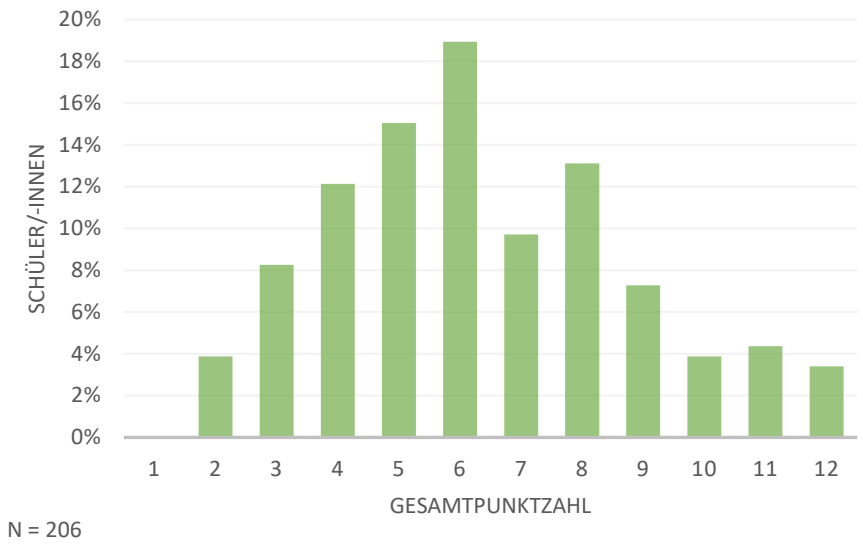



Abbildung 13: Verteilung der Gesamtpunktzahl in der Primarstufe

Tabelle 13: Statistiken der Verteilung beider Denkoperationen in der Primarstufe

| | | Denkoperation | |
|---|---|---|---|
| | | analytisch | synthetisch |
| Mittelwert | | 3,28 | 2,94 |
| Median | | 3,00 | 3,00 |
| Modus | | 4 | 2 |
| Standardabweichung | | 1,403 | 1,579 |
| Varianz | | 1,969 | 2,494 |
| Schiefe | | 0,065 | 0,509 |
| Kurtosis | | -0,721 | -0,441 |
| Minimum | | 0 | 0 |
| Maximum | | 6 | 6 |
| Perzentile | 25 | 2,00 | 2,00 |
| | 75 | 4,00 | 4,00 |

Betrachtet man die Verteilung der Punkte des technischen Verständnisses von Primarstufenschüler/-innen getrennt – als **analytische und synthetische Denkoperationen** – sind diese unterschiedlich (vgl. Tabelle 13). Während die Punkteverteilung der analytischen Denkoperationen augenscheinlich relativ normal (und deren Q-Q-Plots ebenfalls) bis leicht rechtsschief ist, ist die der synthetischen Denkoperationen eher unsymmetrisch. Mindestens ein Viertel der Primarstufenschüler/-innen erzielen vier Punkte in den analytischen und zwei Punkte in den synthetischen Denkoperationen (vgl. Abbildung 14 und

Abbildung 15). Die volle Punktzahl erreichen bei analytischen Denkoperationen 6% der Primarstufenschüler/-innen und bei synthetischen doppelt so viele (12%). Beide haben eine flachgipflige Wölbung (Kurtosis).

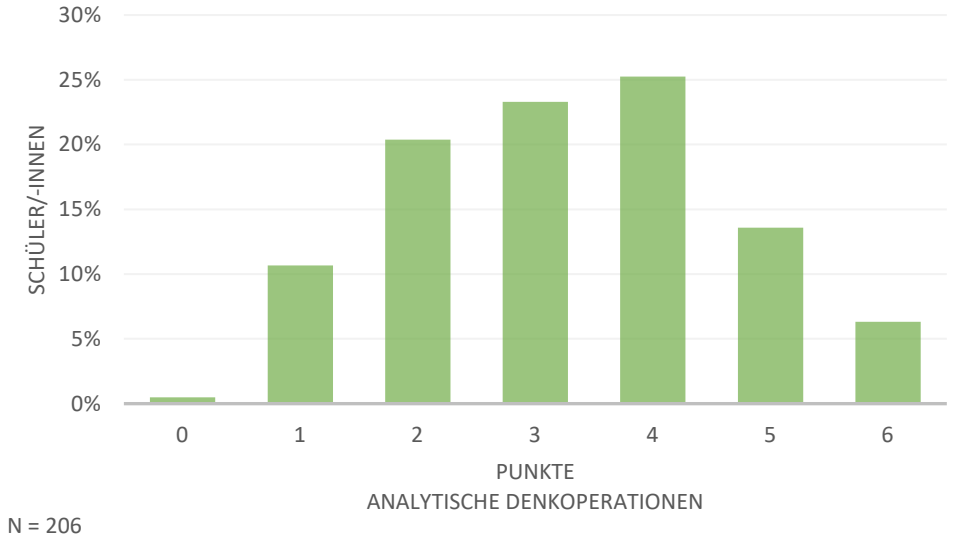



Abbildung 14: Verteilung der Punkte der analytischen Denkoperationen in der Primarstufe

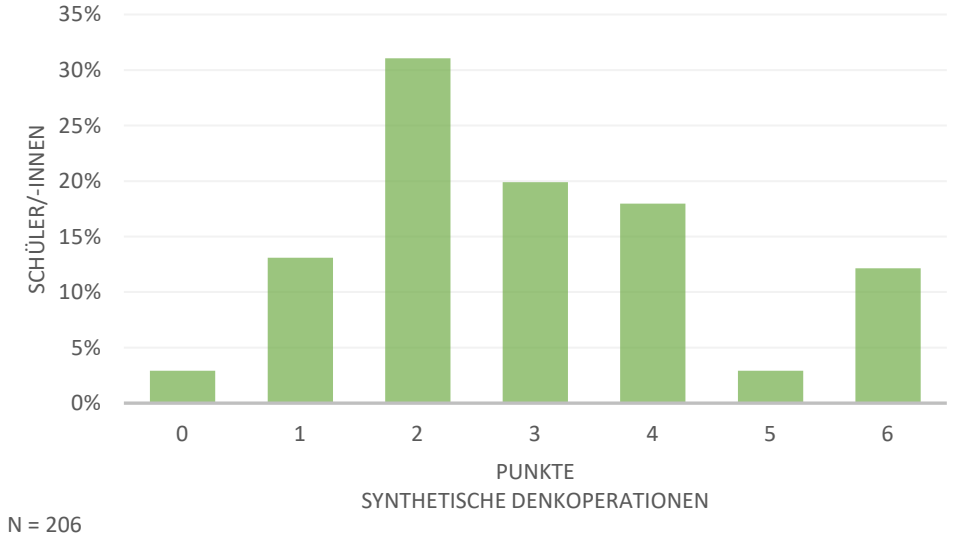



Abbildung 15: Verteilung der Punkte der synthetischen Denkoperationen in der Primarstufe

Die tatsächliche Auswahl der richtigen Teilsysteme (analytische Denkoperationen) wurde bei jedem Teilsystem von mindestens 47% (Stromleitung) und maximal 63%

(Wasserturbine mit Schaufeln) der Primastufenschüler/-innen getroffen (vgl. Abbildung 16). Im Mittel wurden die Karten zu 55% richtig gewählt.

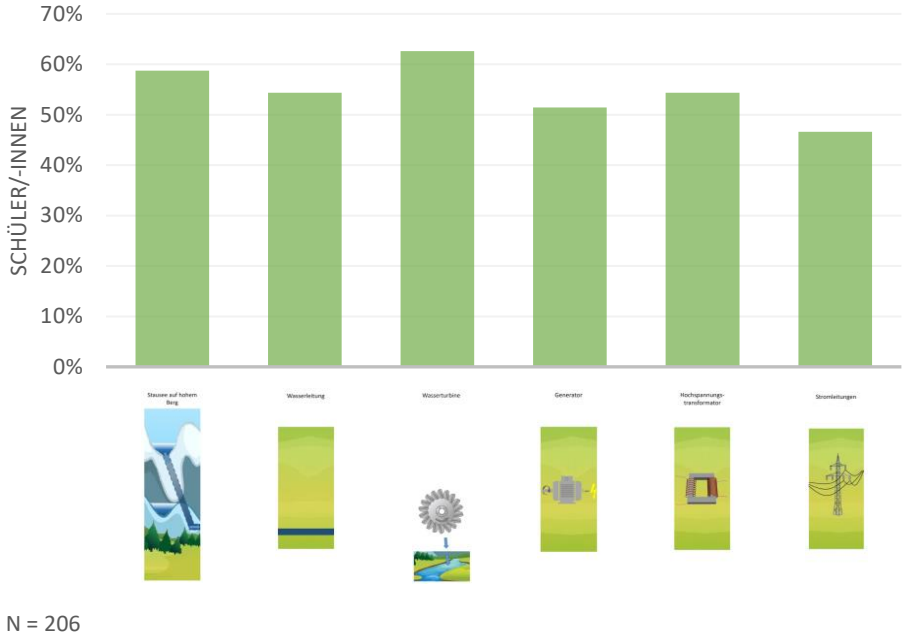



Abbildung 16: Verteilung der richtigen Auswahl in der Primarstufe

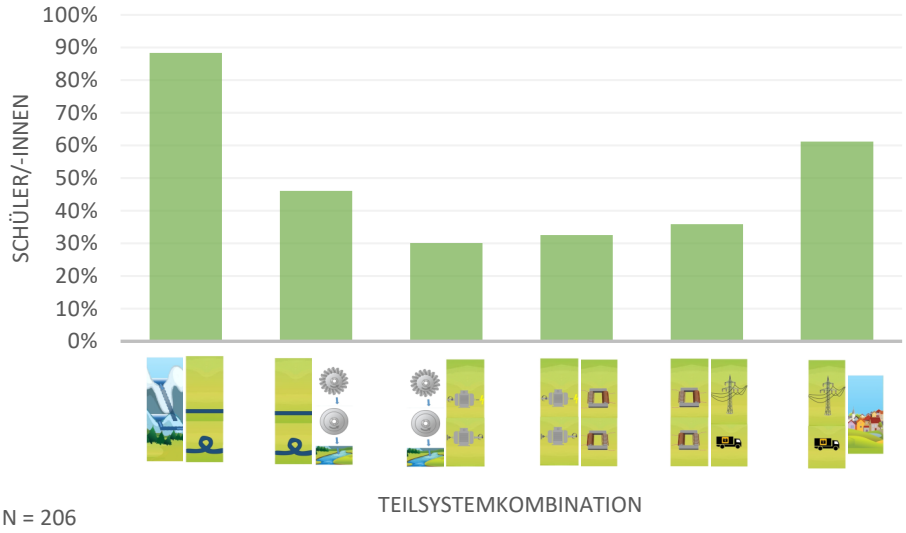



Abbildung 17: Verteilung der richtigen Teilsystemkombinationen in der Primarstufe

Abbildung 17 zeigt, dass bei den einzelnen Teilsystemkombinationen (synthetischen Denkoperationen) zu Beginn der Energieflusskette die meisten, in der Mitte – bei der Energiewandlung – die wenigsten und zum Schluss hin mit steigendem Niveau wieder mehr richtige Kombinationen angeordnet worden sind. 88% der Primarstufenschüler/-

innen haben eine Wasserleitung mit einem Stausee kombiniert, 30% eine Turbine mit einem Umwandlungssystem (Generator oder Elektromotor) und 61% ein Stromleitungssystem (Stromleitung oder Energietransporter) mit der Stadt.

Unabhängig von der konkreten Teilsystemauswahl und den -kombinationen, haben 16% der Primarstufenschüler/-innen eine durchgehende Energieflusskette gelegt, d.h., die Energie wäre in der Stadt angekommen.

Bei den Angaben des ***Vorwissens*** (kein, Schule, Familie, Medien) für die Aufgabenbearbeitung geben mehr als ein Drittel (38%) der Primarstufenschüler/-innen an, die Aufgabe ohne Vorwissen gelöst zu haben (vgl. Abbildung 18). Ob sie angeben, dass sie die Aufgabe ohne Vorwissen ($M_{VX}$ = 2,42, $SD$ = 0,535, $N$ = 78) oder mit Vorwissen ($M_{VX}$ = 2,45, $SD$ = 0,491, $N$ = 126) gelöst haben, hat keinen Einfluss auf die erreichte Gesamtpunktzahl, $t(202) = 0{,}423$, $p = 0{,}673$ (vgl. Abbildung 19). Weitere 41% der Schüler/-innen geben jeweils die Schule, Familie oder Medien als Quelle ihrer Kenntnisse an, wobei die Medien hieran den größten Anteil (18%) haben (vgl. Abbildung 18).

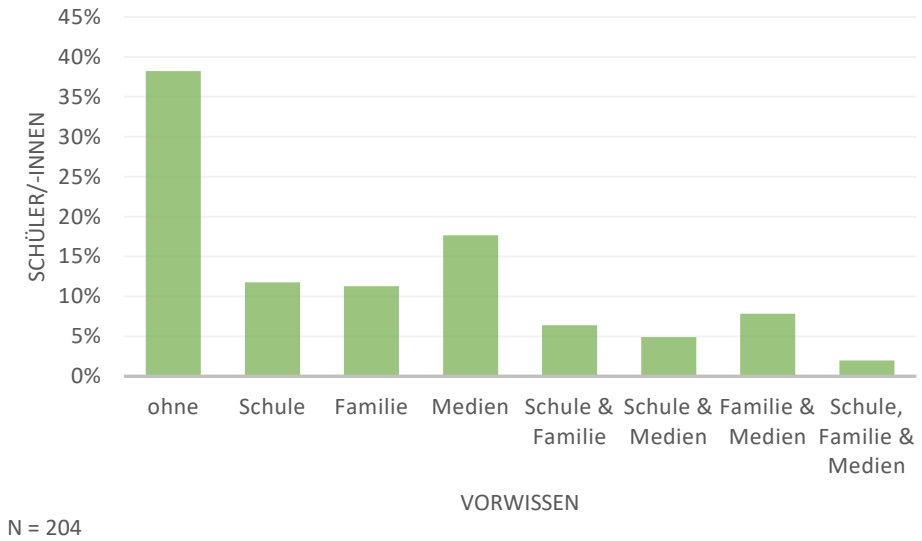



Abbildung 18: Vorwissensangaben der Primastufenschüler/-innen

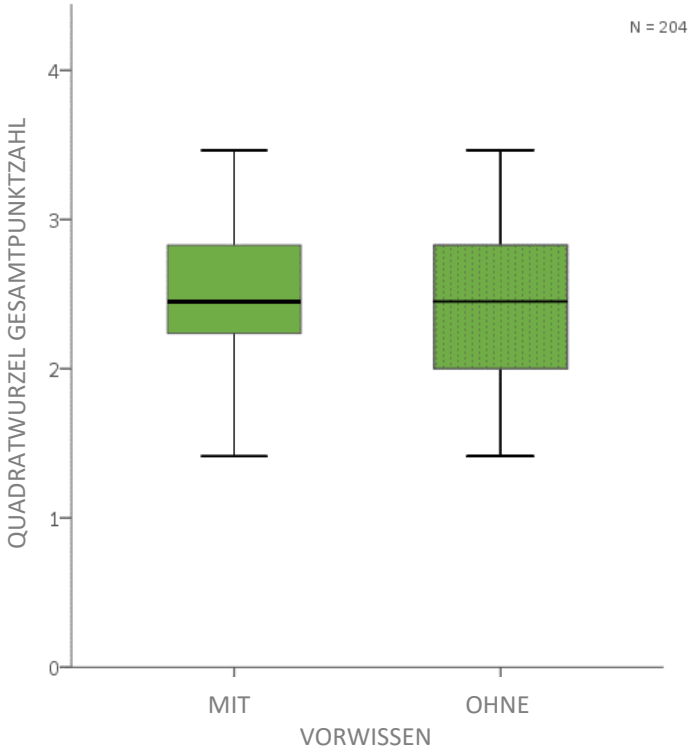



Abbildung 19: Boxplots des Effekts des Vorwissens auf die Gesamtpunktzahl in der Primarstufe

Primarstufenschüler/-innen lesen durchschnittlich in etwa von vier Karten die ***Zusatzinformationen*** ($M$ = 3,66, $SD$ = 3,233, $N$ = 196). Die erreichte Gesamtpunktzahl korreliert nicht mit der Anzahl der gelesenen Zusatzinformationen, $r_s$ = 0,021, $p$ = 0,772, $n$ = 196 (vgl. Abbildung 20). Fast ein Fünftel (19%) der Schüler/-innen lesen keinerlei Zusatzinformationen (vgl.

Abbildung 21). Ob Zusatzinformationen gelesen wurden ($M_{vX}$ = 2,47, $SD$ = 0,487, $N$ = 158) oder nicht ($M_{vX}$ = 2,38, $SD$ = 0,570, $N$ = 38), hat ebenfalls keinen Einfluss auf die erreichte Gesamtpunktzahl, $t(194)$ = 0,943, $p$ = 0,347 (vgl. Abbildung 22). Es wurden maximal elf Zusatzinformationen gelesen (von neun Schüler/-innen); es liest demnach kein/-e Grundschüler/-in alle Informationen, da 13 Karten vorlagen (vgl.

Abbildung 21).

Abbildung 20: Korrelation der Anzahl der gelesenen Zusatzinformationen mit der Gesamtpunktzahl in der Primarstufe

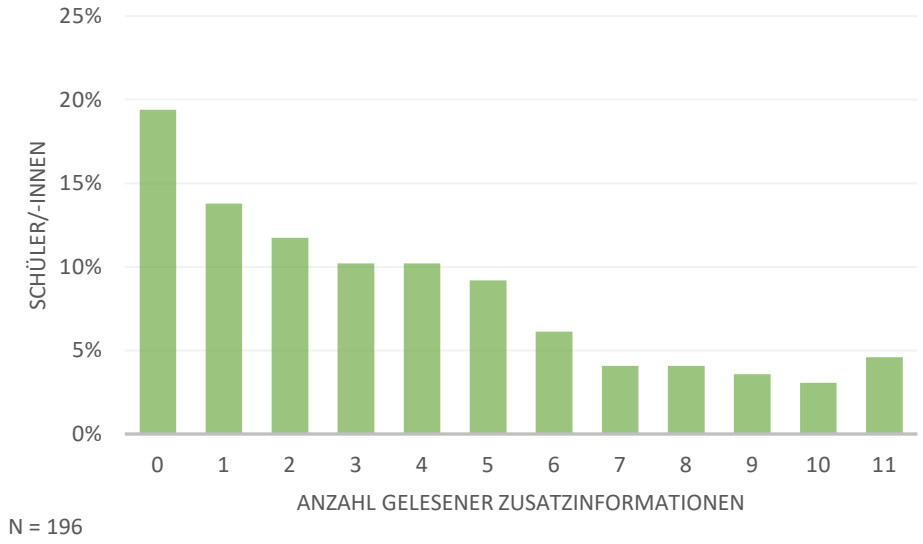



Abbildung 21: Verteilung der Häufigkeit der gelesenen Zusatzinformationen in der Primarstufe

Schaut man sich die konkreten Karten an, deren Zusatzinformationen gelesen wurden, fällt auf, dass die Informationen der typischen Teilsysteme eines Wasserkraftwerks – wie die Turbine, der Generator und die Transformatoren und deren Pendants – von fast der Hälfte aller Primarstufenschüler/-innen gelesen wurden (vgl. Abbildung 23). Auch

die Information über den fiktiven Energietransporter lesen etwa ein Drittel aller Primarstufenschüler/-innen.

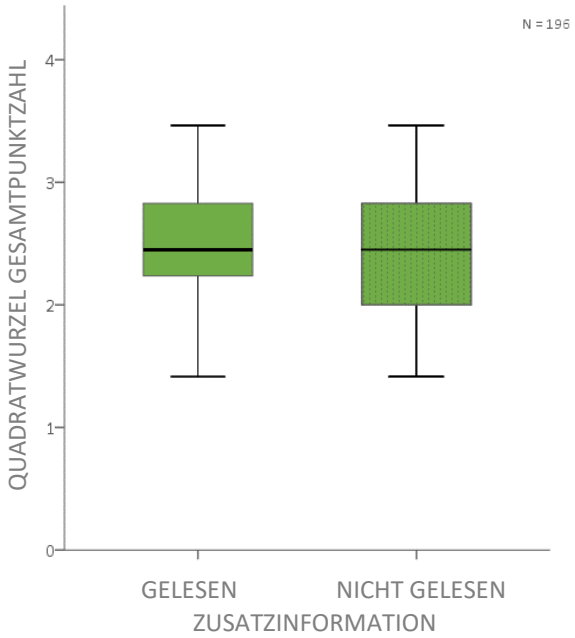



Abbildung 22: Boxplots des Effekts der Zusatzinformationen auf die Gesamtpunktzahl in der Primarstufe

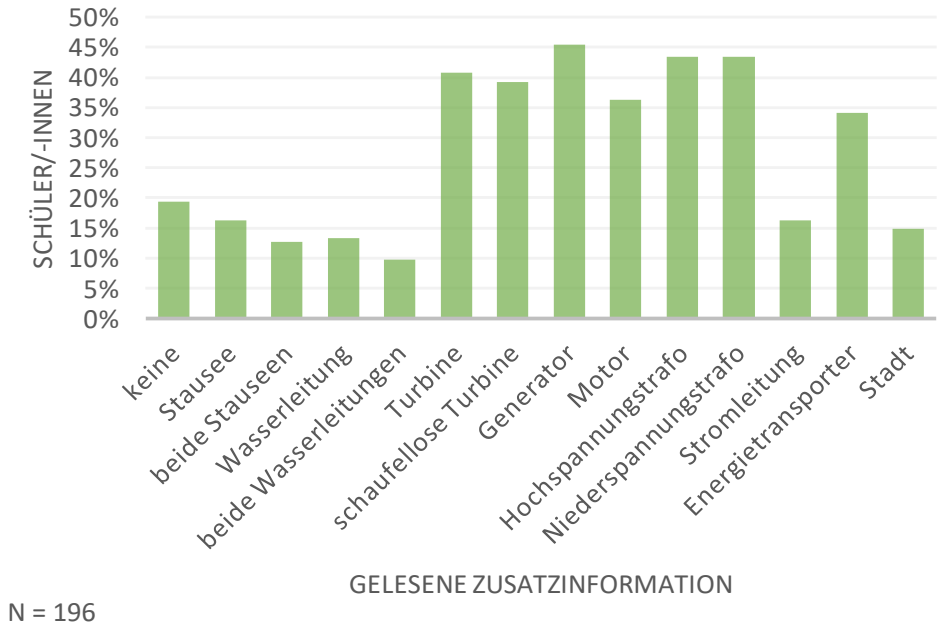



Abbildung 23: Verteilung der gelesenen Zusatzinformationen in der Primarstufe

Von der Tatsache, ob Vorwissen vorhanden waren ($M_{AD}$ = 3,33, $SD$ = 1,403, $N$ = 126; $M_{SD}$ = 2,93, $SD$ = 1,560, $N$ = 126) oder nicht ($M_{AD}$ = 3,22, $SD$ = 1,420, $N$ = 78; $M_{SD}$

= 2,94, *SD* = 1,598, *N* = 78) und ob Zusatzinformationen gelesen wurden ($M_{AD}$ = 3,28, *SD* = 1,363, *N* = 158; $M_{SD}$ = 3,06, *SD* = 1,569 *N* = 158) oder nicht ($M_{AD}$ = 3,34, *SD* = 1,475, *N* = 38; $M_{SD}$ = 3,2,66, *SD* = 1,599, *N* = 38), hängen weder die erreichte Punktzahl der analytischen noch der synthetischen Denkoperationen ab, Vorwissen: $t_{AD}(202)$ = 0,568, *p* = 0,571, $U_{SD}$ = 4.896,0, *p* = 0,964, *N* = 204, Zusatzinformationen: $t_{AD}(194)$ = -0,254 , *p* = 0,800, $U_{SD}$ = 2.615,5, *p* = 0,207, *N* = 196 (vgl. Abbildung 24).

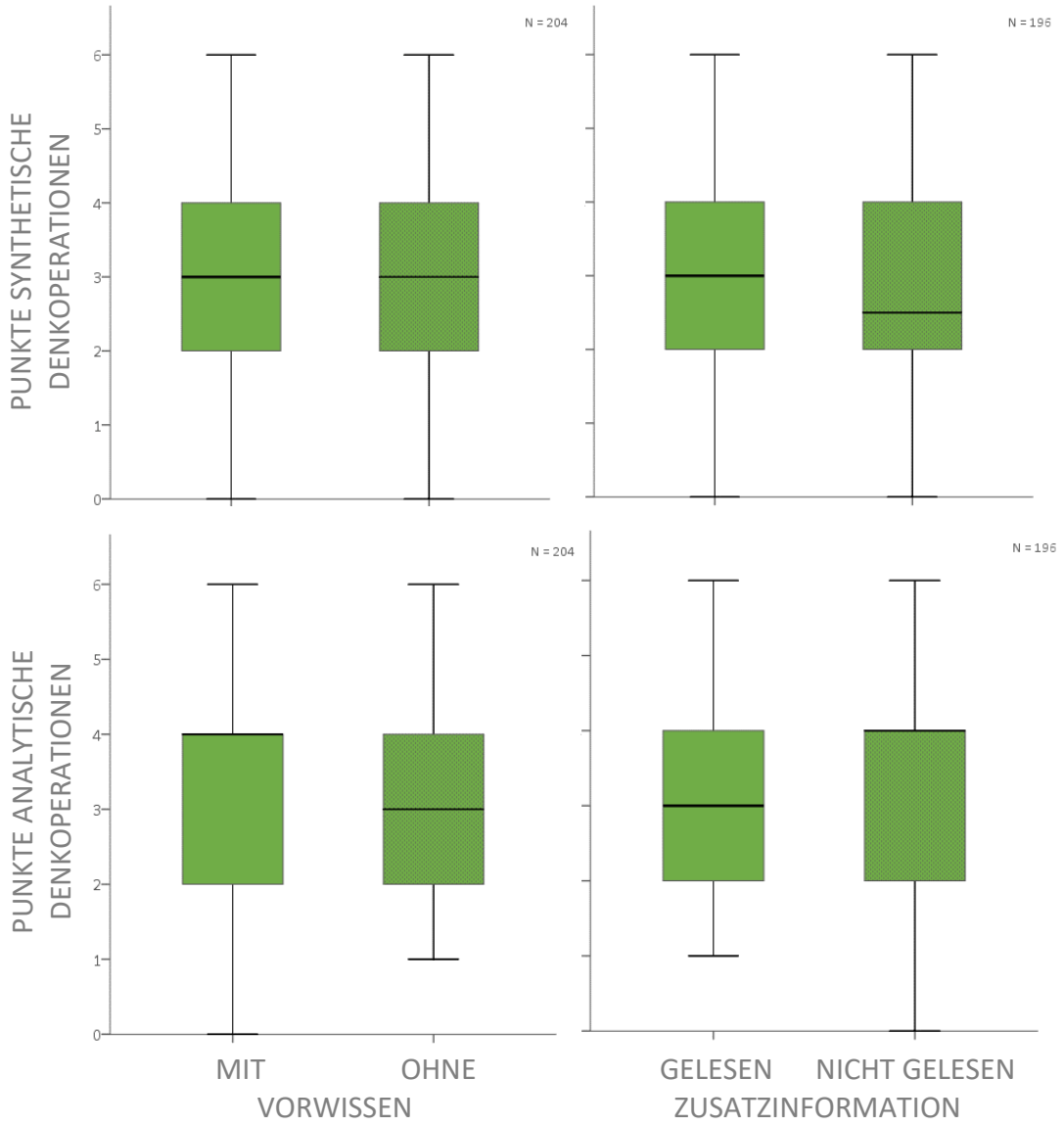



Abbildung 24: Boxplots des Effekts des Vorwissens und der Zusatzinformation auf analytische und synthetische Denkoperationen in der Primarstufe

### 4.1.2 Sekundarstufe I (F2)

Im Verlauf dieser Arbeit ist die Farbe Gelb immer stellvertretend für die Sekundarstufe I. Die Ergebnisse von 180 Sekundarstufenschüler/-innen konnten nach Bereinigung der Daten in die Analysen einbezogen werden. Die Schüler/-innen waren durchschnittlich 11,66 Jahre alt.

Die Verteilung der ***Gesamtpunktzahl*** in der Sekundarstufe I ist annähernd normal ($v$ = 0,063), was auch durch die Q-Q-Plots ohne Transformation der Daten optisch widergespiegelt wird (vgl. Tabelle 14). Sekundarstufenschüler/-innen erzielen im Mittel etwa einen Punkt mehr als die Hälfte der Gesamtpunktzahl ($M$ = 7,16, $SD$ = 2,552, $N$ = 180). Es wurden mindestens ein Punkt (1%) und von neun Schüler/-innen (5%) die maximale Punktzahl von 12 erreicht (vgl. Abbildung 25).

Tabelle 14: Statistiken der Verteilung der Gesamtpunktzahl X in der Sekundarstufe I

| | | X |
|---|---|---|
| Mittelwert | | 7,16 |
| Median | | 7,00 |
| Modus | | 6 |
| Standardabweichung | | 2,552 |
| Varianz | | 6,512 |
| Schiefe | | 0,063 |
| Kurtosis | | -0,597 |
| Minimum | | 1 |
| Maximum | | 12 |
| Perzentile | 25 | 5,00 |
| | 75 | 9,00 |

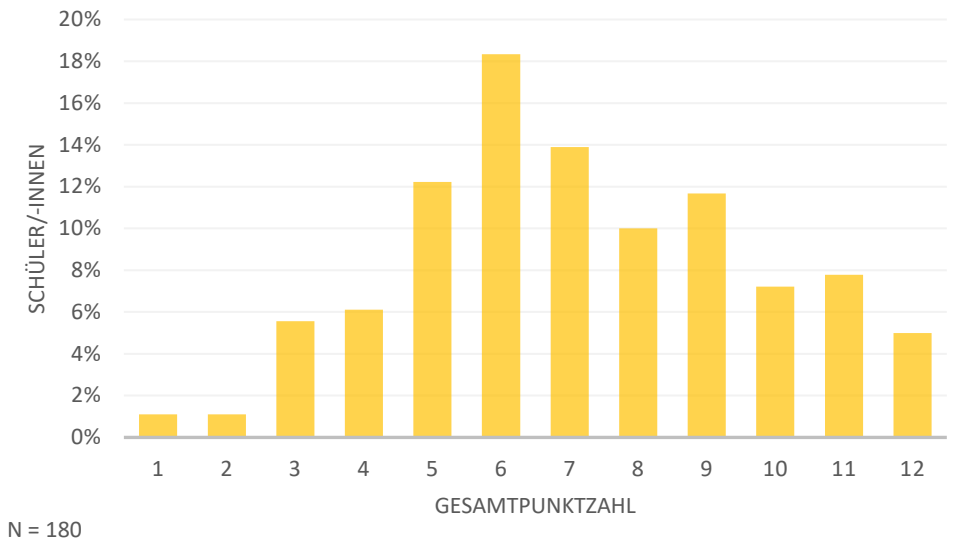



Abbildung 25: Verteilung der Gesamtpunktzahl in der Sekundarstufe I

Wird das technische Verständnis getrennt– als **analytische und synthetische Denkoperationen** – betrachtet, sind die Punkteverteilungen beider Denkoperationen unterschiedlich. Während die Punkteverteilung der analytischen Denkoperationen augenscheinlich relativ normal (und deren Q-Q-Plots ebenfalls) bis leicht linksschief ist, ist die der synthetischen Denkoperationen eher unsymmetrisch verglichen zu einer Normalverteilung (vgl. Abbildung 26 und Abbildung 27). Etwa ein Fünftel der Sekundarstufenschüler/-innen haben zwei, drei, vier oder sechs Punkte in den synthetischen Denkoperationen erzielt, das letzte Fünftel verteilt sich auf die anderen Punkte. Etwa ein Viertel der Schüler/-innen erzielt drei oder vier Punkte in den analytischen Denkoperationen. Die volle Punktzahl erreichen bei analytischen Denkoperationen 9% der Sekundarstufenschüler/-innen und bei synthetischen mehr als doppelt so viele (19%). Beide haben eine flachgipflige Wölbung, wobei die Punkteverteilung der synthetischen Denkoperationen etwas flacher ist als die der analytischen.

Tabelle 15: Statistiken der Verteilung beider Denkoperationen in der Sekundarstufe I

| | | Denkoperation | |
|---|---|---|---|
| | | analytisch | synthetisch |
| Mittelwert | | 3,63 | 3,53 |
| Median | | 4,00 | 3,00 |
| Modus | | 4 | 4 |
| Standardabweichung | | 1,418 | 1,693 |
| Varianz | | 2,012 | 2,865 |
| Schiefe | | -0,245 | -0,020 |
| Kurtosis | | -0,421 | -0,936 |
| Minimum | | 0 | 0 |
| Maximum | | 6 | 6 |
| Perzentile | 25 | 3,00 | 2,00 |
| | 75 | 5,00 | 5,00 |

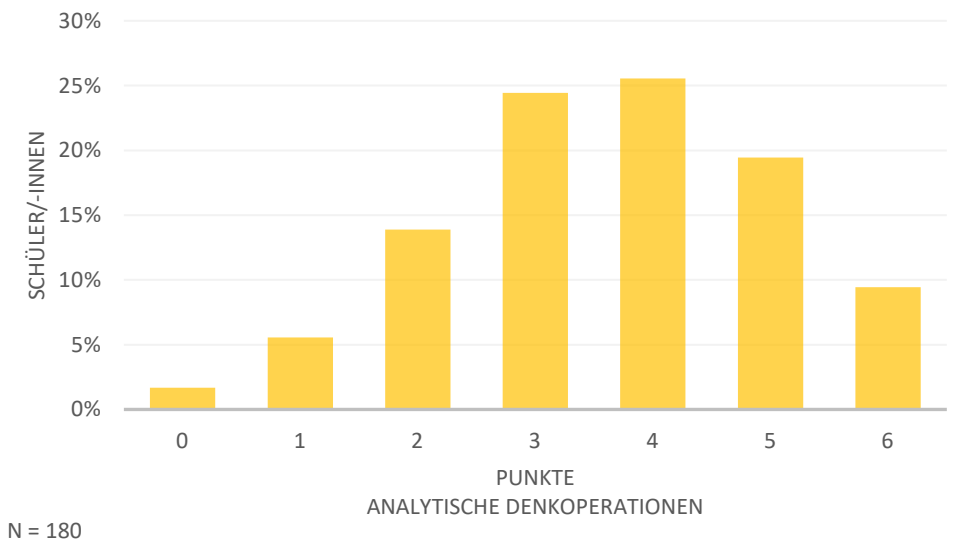



Abbildung 26: Verteilung der Punkte der analytischen Denkoperationen in der Sekundarstufe I

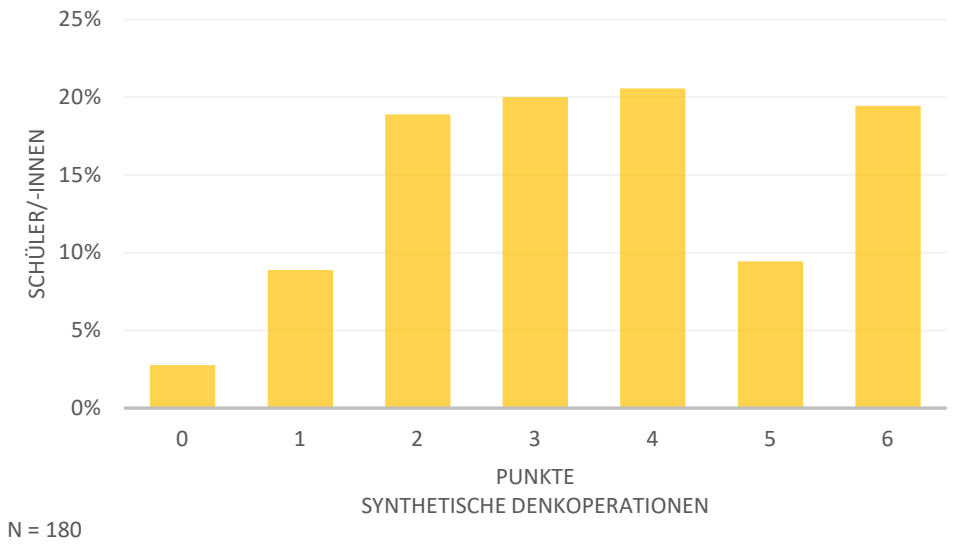



Abbildung 27: Verteilung der Punkte der synthetischen Denkoperationen in der Sekundarstufe I

Abbildung 28 zeigt, dass mindestens 52% (Stromleitung) und maximal 69% (Wasserturbine mit Schaufeln) der Sekundarstufenschüler/-innen die korrekte Auswahl der Teilsysteme (analytische Denkoperationen) getroffen haben. Durchschnittlich 59% der Schüler/-innen wählten richtig. Keines der Teilsysteme wurde besonders selten oder oft richtig gewählt.

Abbildung 28: Verteilung der richtigen Auswahl in der Sekundarstufe I

Zu Beginn der Energieflusskette sind die meisten, in der Mitte – bei der Energiewandlung – die wenigsten und zum Schluss hin mit steigendem Niveau wieder mehr richtige Teilsystemkombinationen angeordnet worden (synthetischen Denkoperationen) (vgl. Abbildung 29). 93% der Schüler/-innen haben eine Wasserleitung mit einem Stausee kombiniert, 43% eine Turbine mit einem Umwandlungssystem (Generator oder Elektromotor) und 68% ein Stromleitungssystem (Stromleitung oder Energietransporter) mit der Stadt.

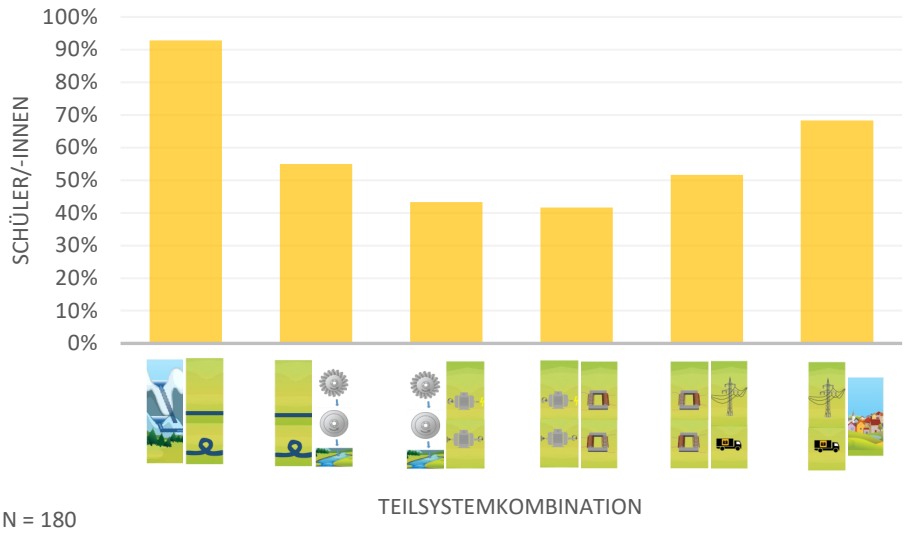



Abbildung 29: Verteilung der richtigen Teilsystemkombinationen in der Sekundarstufe I

Fast ein Fünftel der Sekundarstufenschüler/-innen (19%) haben – unabhängig von der konkreten Teilsystemauswahl und den -kombinationen – eine durchgehende Energieflusskette gelegt, die Energie wäre folglich in der Stadt angekommen.

Von den Sekundarstufenschüler/-innen geben 41% an, die Aufgabe ohne ***Vorwissen*** gelöst zu haben (vgl. Abbildung 31). Diese Angabe, ob die Aufgabe ohne Vorwissen ($M$ = 7,09, $SD$ = 2,422, $N$ = 74) oder mit ($M$ = 7,28, $SD$ = 2,625, $N$ = 103) gelöst wurde, hat keinen Einfluss auf die erreichte Gesamtpunktzahl, $t(175) = 0{,}483$, $p = 0{,}630$ (vgl.

Abbildung 30). Im Vergleich zu den Angaben Familie und Medien wird Schule von den meisten Schüler/-innen (14%) als Vorwissensquelle angekreuzt (vgl. Abbildung 31). Zwischen 5% und 10% der Sekundarstufenschüler/-innen geben die Familie oder Medien und Kombinationen aus ihnen (mit und ohne Schule) als Quelle ihrer Kenntnisse an.

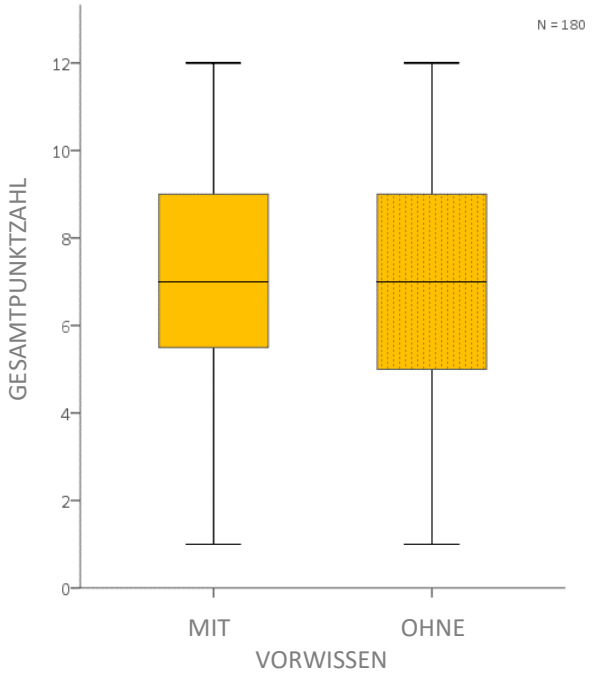



Abbildung 30: Boxplots des Effekts des Vorwissens auf die Gesamtpunktzahl in der Sekundarstufe I

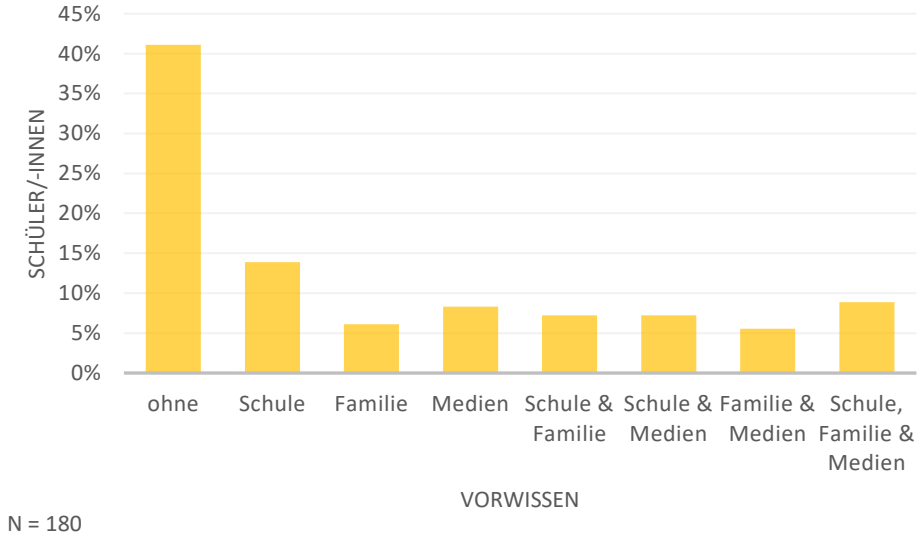



Abbildung 31: Vorwissensangaben der Sekundarstufenschüler/-innen

Schüler/-innen der Sekundarstufe I lesen im Mittel drei ***Zusatzinformationen*** ($M$ = 3,05, $SD$ = 2,908, $N$ = 151) von den insgesamt 13 Karten. Eine Spearman Korrelation zwischen der Anzahl gelesener Zusatzinformationen und der Gesamtpunktzahl ist nicht signifikant, $r_s$ = -0,085, $p$ = 0,298, $n$ = 151 (vgl. Abbildung 32). Es besteht demnach kein Zusammenhang zwischen der erreichten Gesamtpunktzahl und der Anzahl gelesener Zu-

satzinformationen. Mehr als ein Viertel (26%) der Schüler/-innen lesen keine Zusatzinformationen (vgl. Abbildung 33). Ob Zusatzinformationen gelesen wurden ($M$ = 7,29, $SD$ = 2,703, $N$ = 112) oder nicht ($M$ = 7,33, $SD$ = 2,180, $N$ = 39), hat keinen Einfluss auf die erreichte Gesamtpunktzahl, $t(149) = 0{,}081$, $p = 0{,}936$ (vgl. Abbildung 34). Maximal wurden von elf Karten die Informationen gelesen (von zwei Schüler/-innen); kein/-e Sekundarstufenschüler/-in liest alle Informationen.

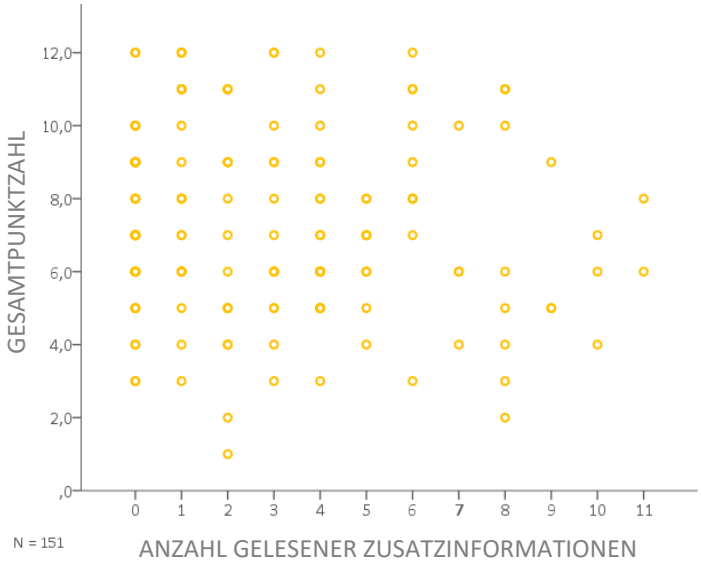



Abbildung 32: Korrelation der Anzahl der gelesenen Zusatzinformationen mit der Gesamtpunktzahl in der Sekundarstufe I

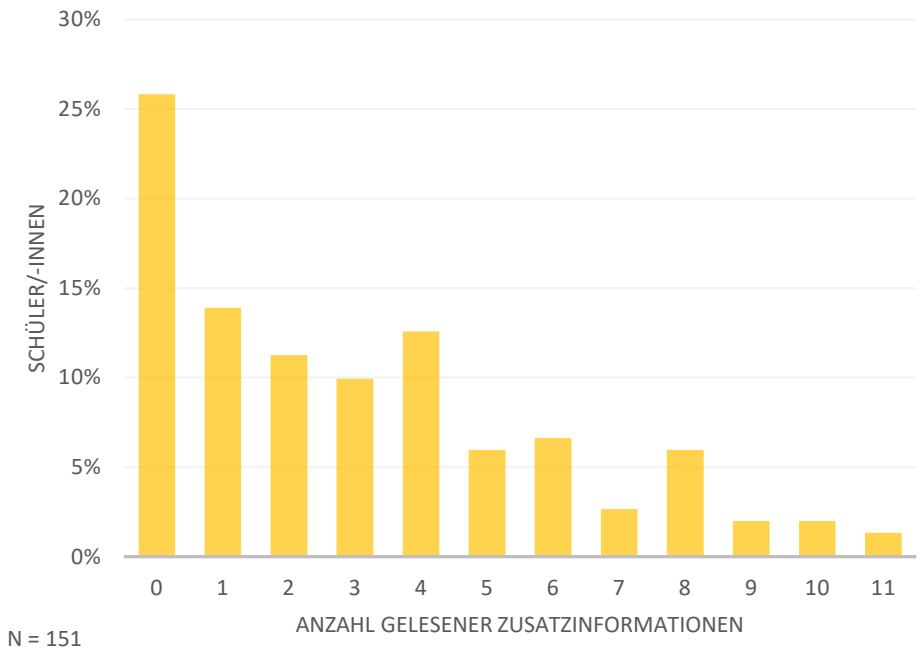



Abbildung 33: Verteilung der Häufigkeit gelesenen Zusatzinformationen in der Sekundarstufe I

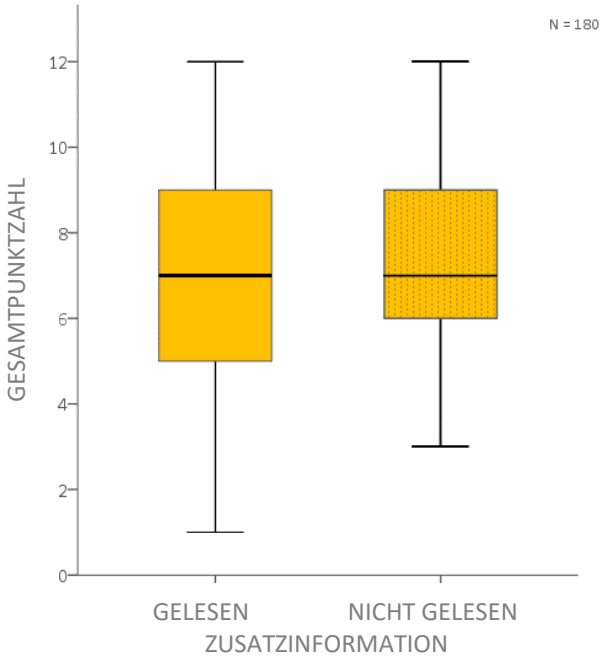



Abbildung 34: Boxplots des Effekts der Zusatzinformation auf die Gesamtpunktzahl in der Sekundarstufe

Die Zusatzinformationen der Karten, die typische Teilsysteme eines Wasserkraftwerks – wie die Turbine, den Generator und die Transformatoren und deren jeweiligen Pendantkarten – abbilden, werden von mehr als ein Viertel der Sekundarstufenschüler/-

innen (28-41%) gelesen (vgl. Abbildung 35). Teilsysteme wie der Stausee, die Wasserleitung oder die u.a. vermeintlichen Weiterleitungssysteme der elektrischen Energie (Stromleitung und Energietransporter) werden maximal von einem Fünftel (14-21%) der Schüler/-innen gelesen.

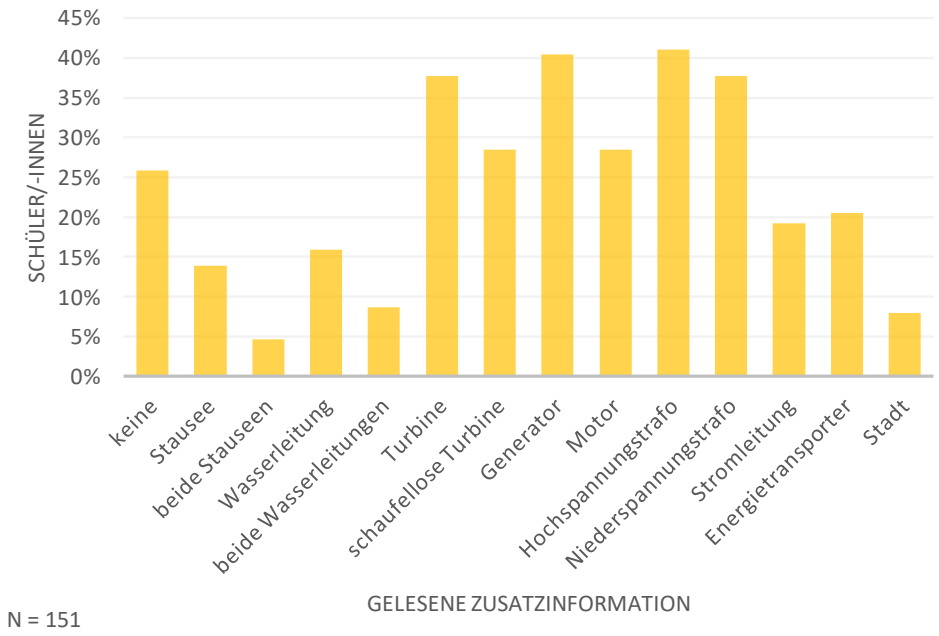



Abbildung 35: Verteilung der gelesenen Zusatzinformationen in der Sekundarstufe I

Von der Tatsache, ob Vorwissen vorhanden war ($M_{AD}$ = 3,58, $SD$ = 1,512, $N$ = 103; $M_{SD}$ = 3,70, $SD$ = 1,644, $N$ = 103) oder nicht ($M_{AD}$ = 3,72, $SD$ = 1,277, $N$ = 74; $M_{SD}$ = 3,38, $SD$ = 1,726, $N$ = 74) und ob Zusatzinformationen gelesen wurden ($M_{AD}$ = 3,63, $SD$ = 1,477, $N$ = 112; $M_{SD}$ = 3,67, $SD$ = 1,747 $N$ = 112) oder nicht ($M_{AD}$ = 3,77, $SD$ = 1,366, $N$ = 39; $M_{SD}$ = 3,56, $SD$ = 1,501, $N$ = 39), hängen weder die erreichte Punktzahl der analytischen noch der synthetischen Denkoperationen ab, Vorwissen: $t_{AD}(175) = -0{,}619$, $p = 0{,}537$, $U_{SD} = 3.422{,}0$, $p = 0{,}239$, $N = 177$, Zusatzinformationen: $t_{AD}(149) = -0{,}535$ , $p = 0{,}593$, $U_{SD} = 2.110{,}5$, $p = 0{,}751$, $N = 151$ (vgl. Abbildung 36).

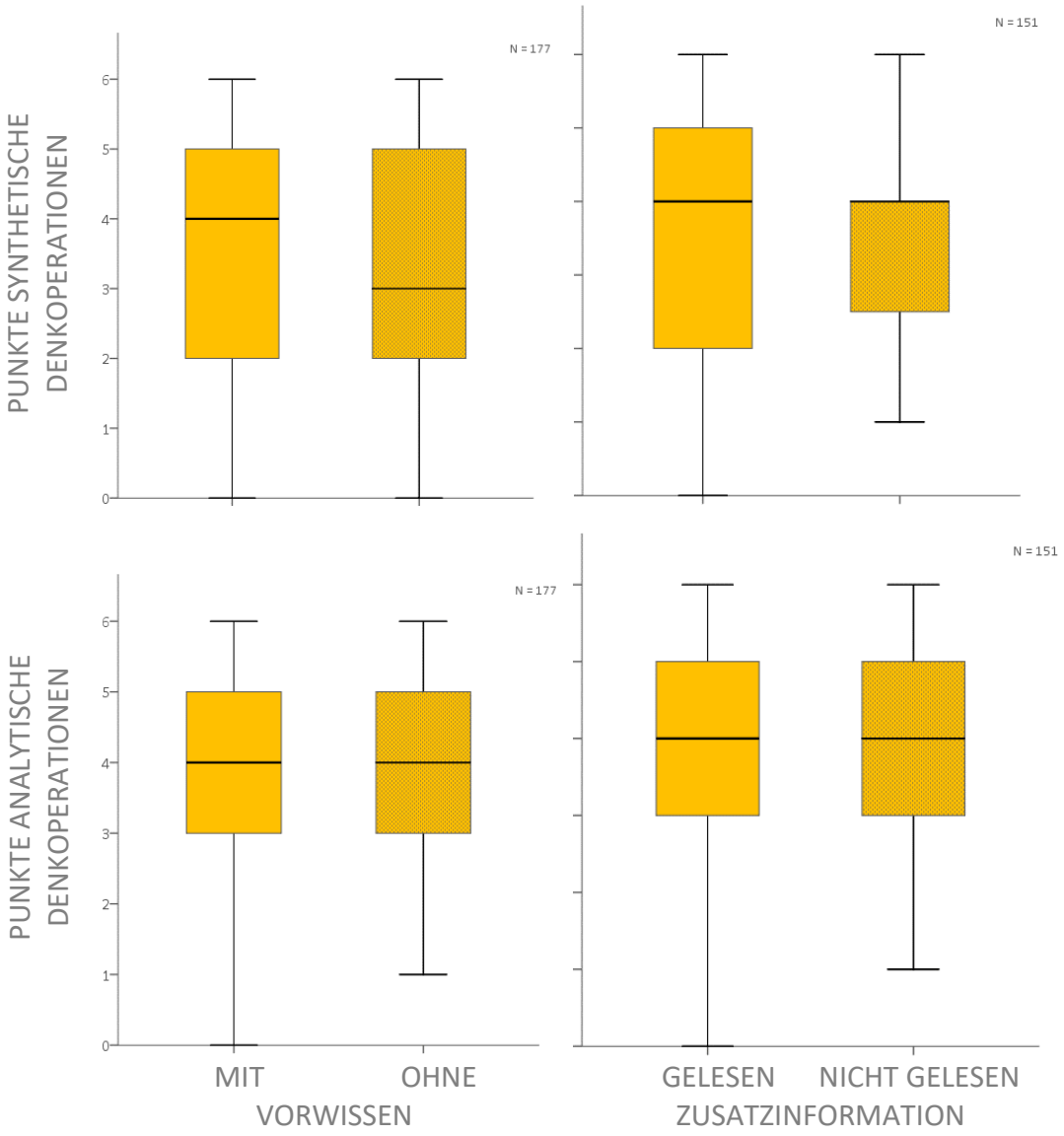



Abbildung 36: Boxplots des Effekts des Vorwissens und der Zusatzinformation auf analytische und synthetische Denkoperationen in der Sekundarstufe I

### 4.1.3 Vergleich der Schulstufen (F3)

Es zeigt sich, dass das Gesamtmodell mit den Haupteffekten Schulstufe und Geschlecht als Faktoren (unabhängige Variablen) und der ***Gesamtpunktzahl*** als abhängige Variable hoch signifikant ist ($F(3, 382) = 6{,}000$, $p = 0{,}001$, angepasstes $R^2 = 0{,}037$, $N = 386$). Beide Haupteffekte haben einen signifikanten Einfluss auf die erreichte Gesamtpunktzahl der Schüler/-innen. Die Schulstufe hat einen hoch signifikanten Einfluss ($F(1, 382) = 12{,}8183$, $p = 0{,}000$, partielles $\eta^2 = 0{,}032$). Primarstufenschüler/-innen ($M = 6{,}22$, $SD = 2{,}502$, $N = 206$) haben im Mittel etwa einen Punkt weniger als Sekundarstufenschüler/-innen ($M = 7{,}16$, $SD = 2{,}552$, $N = 180$) (vgl. Abbildung 37). Auf die Geschlechterunterschiede wird im folgenden Kapitel 4.1.4 vertieft eingegangen. Die Effektstärken der beiden Haupteffekte unterscheiden sich jedoch: mit $d_{Schulstufe} = 0{,}364$ ist der Effekt der Schulstufe als moderat bis annährend hoch einzustufen; der Effekt des Geschlechts mit $d_{Geschlecht} = 0{,}191$ ist hingegen nur gering.

Die Interaktion von Geschlecht und Schulstufe ist nicht signifikant ($F(1, 382) = 0{,}384$, $p = 0{,}536$, partielles $\eta^2 = 0{,}001$). Dies weist darauf hin, dass die beiden Faktoren Schulstufe und Geschlecht nicht zusammenwirken. Die Wirkung des einen Faktors ist unabhängig von der Ausprägung des anderen Faktors und umgekehrt.

Tabelle 16: Erreichte Gesamtpunktzahl der Mädchen und Jungen aus der Primar- und Sekundarstufe I

| | **Schulstufe** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Primarstufe** | | **Sekundarstufe I** | |
| **Geschlecht** | **Mädchen** | **Jungen** | **Mädchen** | **Jungen** |
| N | 109 | 97 | 94 | 86 |
| Mittelwert | 5,90 | 6,59 | 6,98 | 7,35 |
| Standard-abweichung | 2,305 | 2,672 | 2,427 | 2,682 |

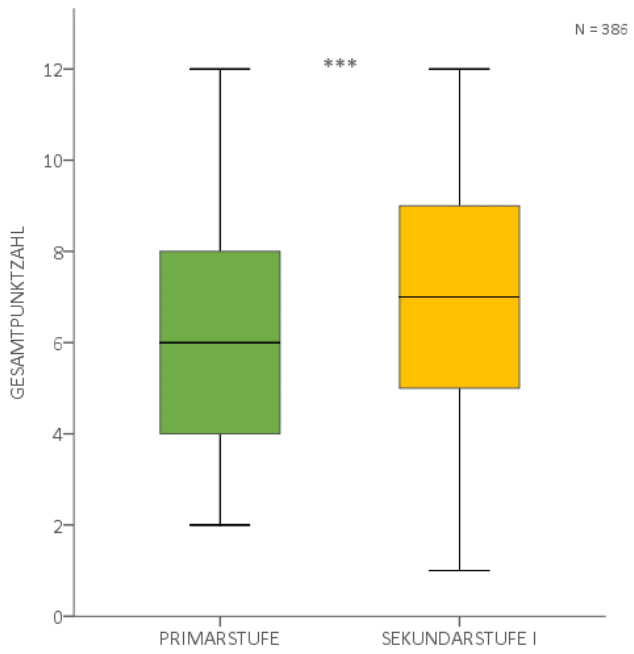



Abbildung 37: Boxplots des Effekts der Schulstufe auf die Gesamtpunktzahl

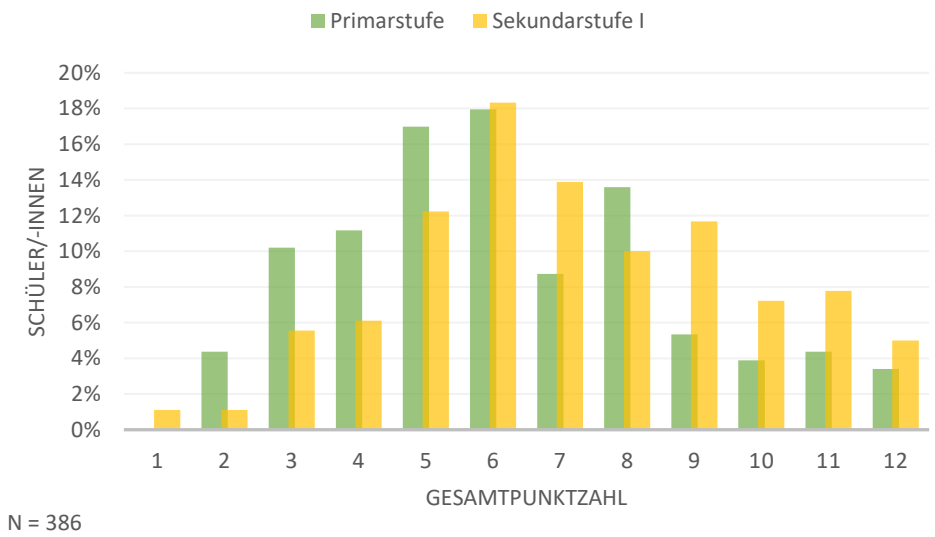



Abbildung 38: Vergleich der Verteilung der Gesamtpunktzahl in der Primar- und Sekundarstufe I

Die multivariate-zweifaktorielle Varianzanalyse (MANOVA) mit den **analytischen und synthetischen Denkoperationen** als abhängigen Variablen und den Haupteffekten Schulstufe und Geschlecht als unabhängige Variablen ist für jeden der beiden Haupteffekte hoch signifikant (Pillai-Spur $V_{Stufe}$ = 0,034, $F(2, 381) = 6{,}756$, $p = 0{,}001$;

Pillai-Spur $V_{Geschlecht}$ = 0,037, $F$(2, 381) = 7,370, $p$ = 0,001). Das Ergebnis angeschlossener separater univariater ANOVAs fällt für die Haupteffekte Schulstufe und Geschlecht für die analytischen und synthetischen Denkoperationen unterschiedlich aus. Das Gesamtmodell für die analytischen Denkoperationen insgesamt ist nicht signifikant ($F$(3, 382) = 1,981, $p$ = 0,116, angepasstes $R^2$ = 0,008, $N$ = 386); das der synthetischen Denkoperationen ist hoch signifikant ($F$(3, 382) = 8,457, $p$ = 0,000, angepasstes $R^2$ = 0,055, $N$ = 386). Die Schulstufe hat jedoch auf beide Denkoperationen einen signifikanten Einfluss: Primarstufenschüler/-innen erzielen im Durchschnitt weniger Punkte ($M_{AD}$ = 3,28, $SD$ = 1,403; $M_{SD}$ = 2,94, $SD$ = 1,579; $N$ = 206) als Sekundarstufenschüler/-innen ($M_{AD}$ = 3,63, $SD$ = 1,418; $M_{SD}$ = 3,53, $SD$ = 1,693; $N$ = 180), $F_{AD}$(1, 382) = 5,669, $p$ = 0,018, angepasstes $R^2$ = 0,008; $F_{SD}$(1, 382) = 12,273, $p$ = 0,001, angepasstes $R^2$ = 0,055, $N$ = 386 (vgl. Boxplots Abbildung 39 und Abbildung 40). Wobei die Punktedifferenz bei den synthetischen Denkoperationen deutlicher ausfällt (Ø 0,59) als bei den analytischen (Ø 0,35). Primarstufenschüler/-innen sind vor allem in den niedrigeren Punktebereichen stärker vertreten, was bei den synthetischen Denkoperationen noch deutlicher ist als bei den analytischen (vgl. Verteilungsdiagramm Abbildung 39 und Abbildung 40). Auch die Effektgrößen spiegeln dies wider. Der Effekt der Schulstufe ist für die analytischen Denkoperationen ($d$ = 0,248) geringer als der der synthetischen ($d$ = 0,360). Auf den Einfluss des Geschlechts auf die verschiedenen Denkoperationen wird im folgenden Kapitel im Detail eingegangen. Weder für die analytischen noch die synthetischen Denkoperationen liegen signifikante Interaktionen der Schulstufe und des Geschlechts vor ($F_{AD}$ (1, 382) = 0,125, $p$ = 0,724, partielles $\eta^2$ = 0,000; $F_{SD}$ (1, 382) = 0,431, $p$ = 0,512, partielles $\eta^2$ = 0,001). Beide Faktoren wirken demnach auch hier nicht zusammen; sie sind voneinander unabhängig.

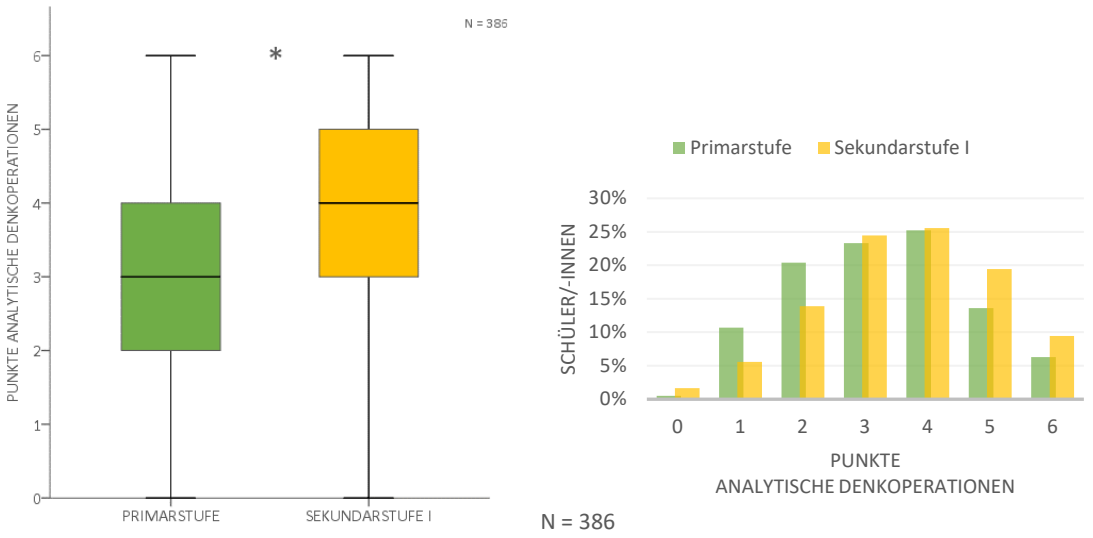



Abbildung 39: Einfluss der Schulstufe auf die erreichte Punktzahl der analytischen Denkoperationen

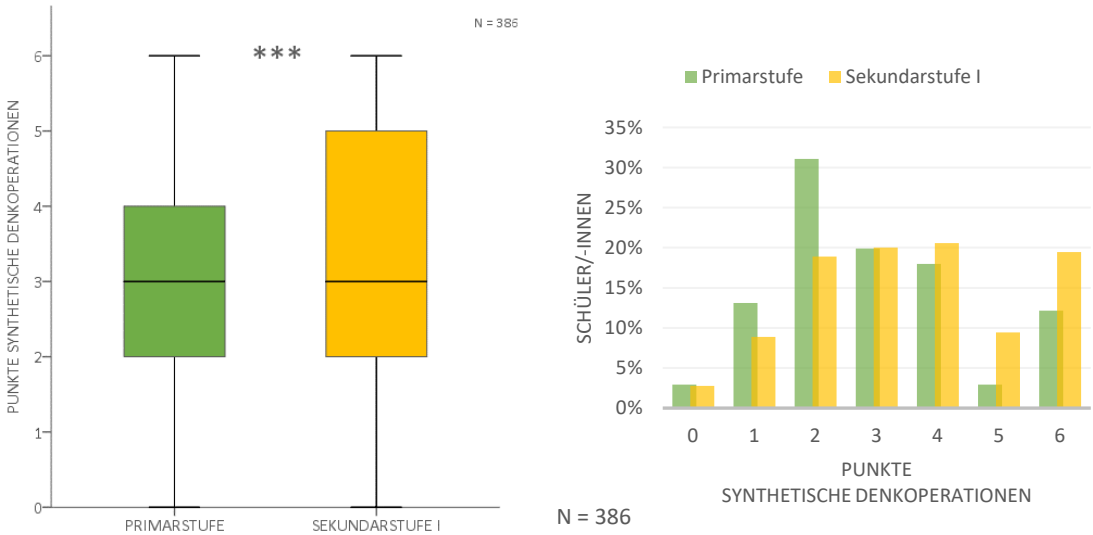



Abbildung 40: Einfluss der Schulstufe auf die erreichte Punktzahl der synthetischen Denkoperationen

Separiert man die ***analytischen Denkoperationen*** in die Elementarfunktionen Speicherung, Transport und Wandlung, liegen für die Speicherung und den Transport keine signifikanten Unterschiede zwischen den Schulstufen vor, $U_{Speicherung}$ = 17.641,0, $p$ = 0,338, $N$ = 386; $U_{Transport}$ = 16.942,0, $p$ = 0,118, $N$ = 386. Für die Wandlung erzielen die Sekundarstufenschüler/-innen mit einer moderaten Effektstärke ($d$ = 0,308) signifikant mehr Punkte (Ø 0,28) als die Primarstufenschüler/-innen, $U_{Wandlung}$ = 15.402,5, $p$ = 0,003, $N$ = 386 (vgl. Abbildung 41).

Abbildung 41: Vergleich der Verteilung der richtigen Auswahl der einzelnen Elementarfunktionen in der Primar- und Sekundarstufe I

In den ***synthetischen Denkoperationen*** können die Teilsystemkombinationen mechanischer, mechanisch-elektrischer und elektrische Art sein. In jeder Unterkategorie der Teilsystemkombinationen liegt ein signifikanter Unterschied zwischen der Primar- und der Sekundarstufe vor, $U_{mech.}$ = 16.369,5, $p$ = 0,026, $N$ = 386; $U_{mech.-elektr.}$ = 16.086,0, $p$ = 0,007, $N$ = 386; $U_{elektr.}$ = 15.579,0, $p$ = 0,004, $N$ = 386. Die Sekundarstufenschüler/-innen erzielen immer etwas mehr Punkte als die Primarstufenschüler/-innen (vgl. Abbildung 42). Die Effektstärken liegen alle im mittleren Bereich ($d_{mech.}$ = 0,228, $d_{mech.-elektr.}$ = 0,271, $d_{elektr.}$ = 0,304).

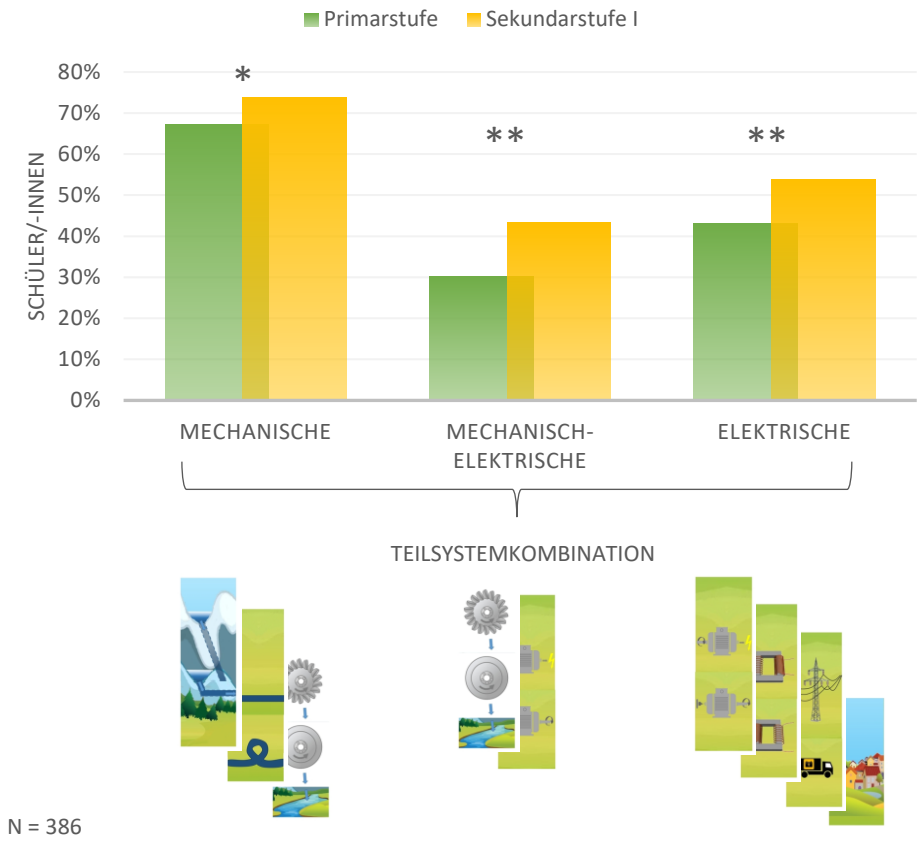



Abbildung 42: Vergleich der Verteilung der richtigen Teilsystemkombinationen in der Primar- und Sekundarstufe I

15,5% der Primarstufenschüler/-innen und 19,4% der Sekundarstufenschüler/-innen haben unabhängig von der konkreten Teilsystemauswahl und -kombinationen eine durchgehende Energieflusskette gelegt. Es liegt kein signifikanten Unterschied zwischen den Schulstufen vor, Chi-Quadrat(1, $N$ = 67) = 0,846, $p$ = 0,358.

Die Häufigkeiten der Angaben der Primar- und Sekundarstufenschüler/-innen, ob und woher (Schule, Familie, Medien) sie ***Vorwissen*** über ein Wasserkraftwerk haben, sind mit Ausnahme der Angabe, dass das Wissen aus der Schule stamme, sehr ähnlich. Sekundarstufenschüler/-innen geben signifikant häufiger als Primarstufen-schüler/-innen an, ihr Vorwissen in der Schule erworben zu haben, Chi-Quadrat(1, $N$ = 118) = 4,882, $p$ = 0,027 (vgl. Abbildung 43).

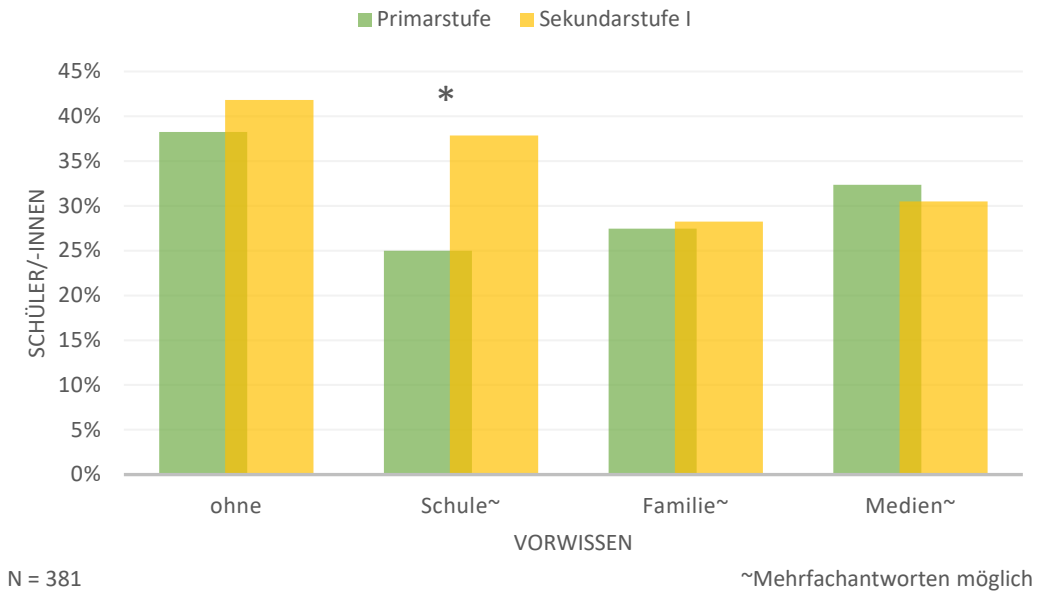



Abbildung 43: Vergleich der Verteilung der Angabe des Vorwissens in der Primar- und Sekundarstufe I

Vergleicht man die Anzahl gelesener ***Zusatzinformationen*** zwischen den Schulstufen, ist ein tendenziell signifikanter Unterschied zu messen, $U$ = 13.233,5, $p$ = 0,088, $N$ = 347 (vgl. Abbildung 44). Es ist zu vermuten, dass jede/-r zweite Primarstufenschüler/-in ($M$ = 3,66, $SD$ = 3,233, $N$ = 196) im Mittel einen Hinweis mehr liest als ein/-e Sekundarstufenschüler/-in ($M$ = 3,05, $SD$ = 2,908, $N$ = 151). Der Effekt der Schulstufe auf die Anzahl gelesener Informationen ist jedoch gering ($d$ = 0,198). Im Verhalten, gar keine Zusatzinformationen zu lesen, liegt kein signifikanter Unterschied zwischen Sekundar- und Primarstufenschüler/-innen vor, Chi-Quadrat(1, $N$ = 347) = 1,594 , $p$ = 0,207. Fast ein Viertel (23%) aller Schüler/-innen lesen keine Kartenrückseiten. Hingegen lesen Primarstufenschüler/-innen häufiger die Rückseiten des Energietransporters (Chi-Quadrat(1, $N$ = 98) = 5,630, $p$ = 0,018) und beider Stauseen (Chi-Quadrat(1, $N$ = 32) = 6,097, $p$ = 0,014) als Sekundarstufenschüler/-innen. Für die schaufellose Wasserturbine (Chi-Quadrat(1, $N$ = 120) = 2,881, $p$ = 0,090) und die Stadt (Chi-Quadrat(1, $N$ = 41) = 3,386, $p$ = 0,066) ist dieser Unterschied tendenziell ebenfalls vorhanden (vgl. Abbildung 45).

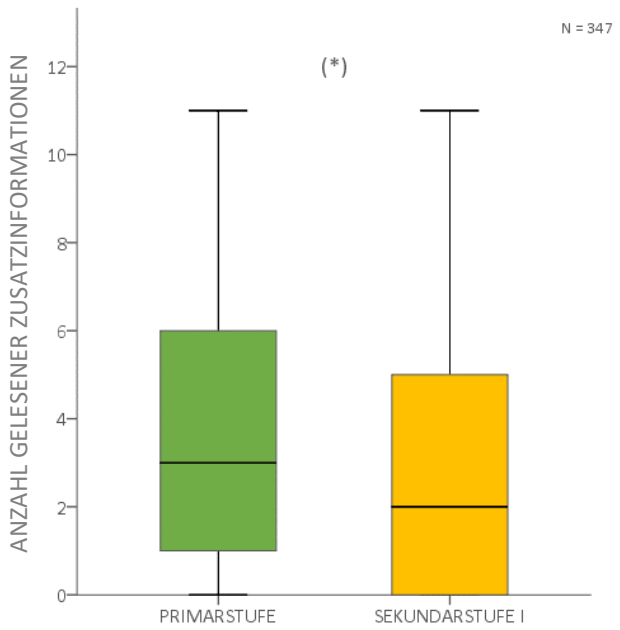



Abbildung 44: Boxplots des Effekts der Schulstufe auf die Anzahl gelesener Zusatzinformationen

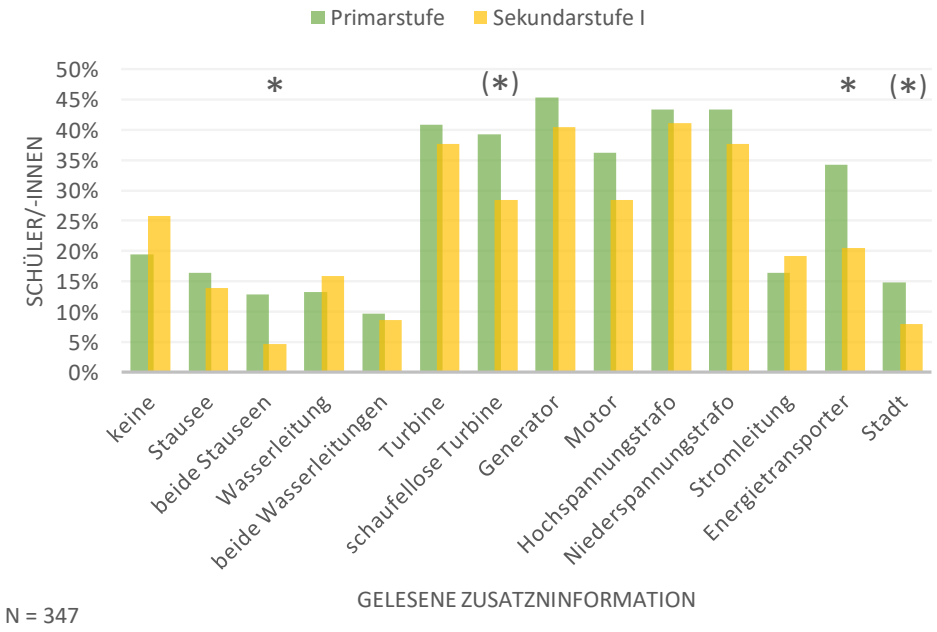



Abbildung 45: Vergleich der Verteilung der gelesenen Zusatzinformationen in der Primar- und Sekundarstufe I

### 4.1.4 Vergleich der Geschlechter (F4)

Wie bereits im vorigen Kapitel erwähnt, hat das Geschlecht einen signifikanten Einfluss auf die Gesamtpunktzahl ($F(1, 382) = 4{,}239$, $p = 0{,}040$, partielles $\eta^2 = 0{,}011$). Jungen ($M = 6{,}95$, $SD = 2{,}697$, $N = 183$) erzielen durchschnittlich einen halben Punkt mehr als Mädchen ($M = 6{,}40$, $SD = 2{,}418$, $N = 203$) (vgl. Abbildung 46). Der Effekt des Geschlechts auf die Gesamtpunktzahl ist mit $d = 0{,}191$ nur gering.

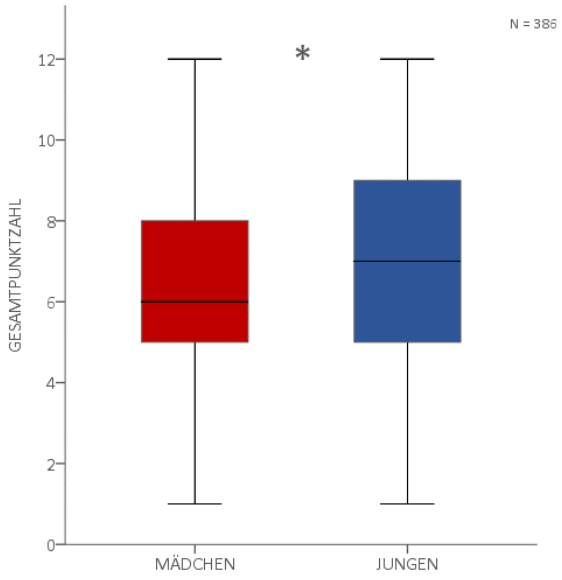



Abbildung 46: Boxplots des Effekts des Geschlechts auf die erreichte Gesamtpunktzahl

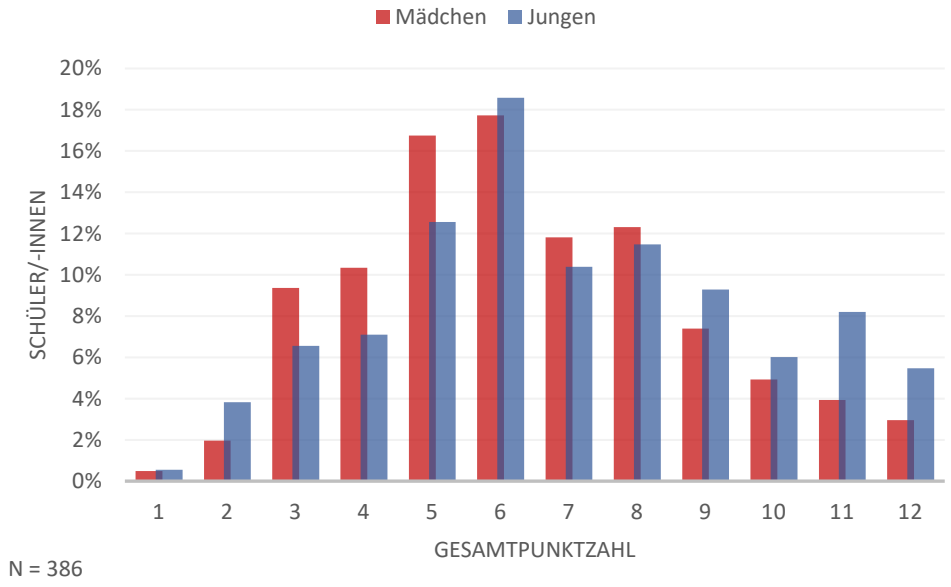



Abbildung 47: Vergleich der Verteilung der erreichten Gesamtpunktzahl der Mädchen und Jungen

Betrachtet man die **analytischen und synthetischen Denkoperationen** getrennt, beeinflusst das Geschlecht nur die synthetischen Denkoperationen signifikant, $F_{SD}(1, 382) = 11{,}870$, $p = 0{,}001$, angepasstes $R^2 = 0{,}055$, $N = 386$. Jungen ($M_{SD} = 3{,}52$, $SD = 1{,}693$; $N = 183$) erzielen im Durchschnitt etwa einen halben Punkt mehr als Mädchen ($M_{SD} = 2{,}94$, $SD = 1{,}578$; $N = 203$) (vgl. Abbildung 48). Die analytischen Denkoperationen werden von beiden Geschlechtern gleichgut gelöst, $F_{AD}(1, 382) = 0{,}068$, $p = 0{,}794$, angepasstes $R^2 = 0{,}008$ (vgl. Abbildung 49). Nach Separierung der analytischen Denkoperationen in die technischen Elementarfunktionen Speicherung, Transport und Wandlung liegen ebenfalls keine Geschlechterunterschiede in den einzelnen Funktionen vor, *U-Tests*, $p > 0{,}05$ (vgl. Abbildung 50). Der Effekt des Geschlechts auf die synthetischen Denkoperationen ist mit $d = 0{,}354$ vergleichbar (hoch) mit dem der Schulstufe.

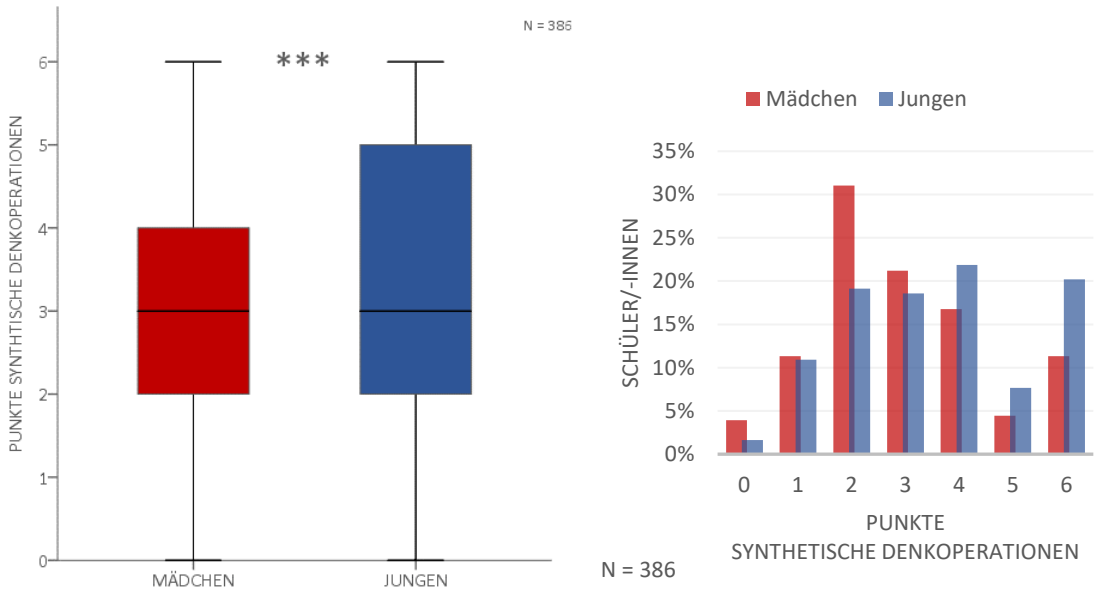



Abbildung 48: Einfluss des Geschlechts auf die erreichte Punktzahl der synthetischen Denkoperationen

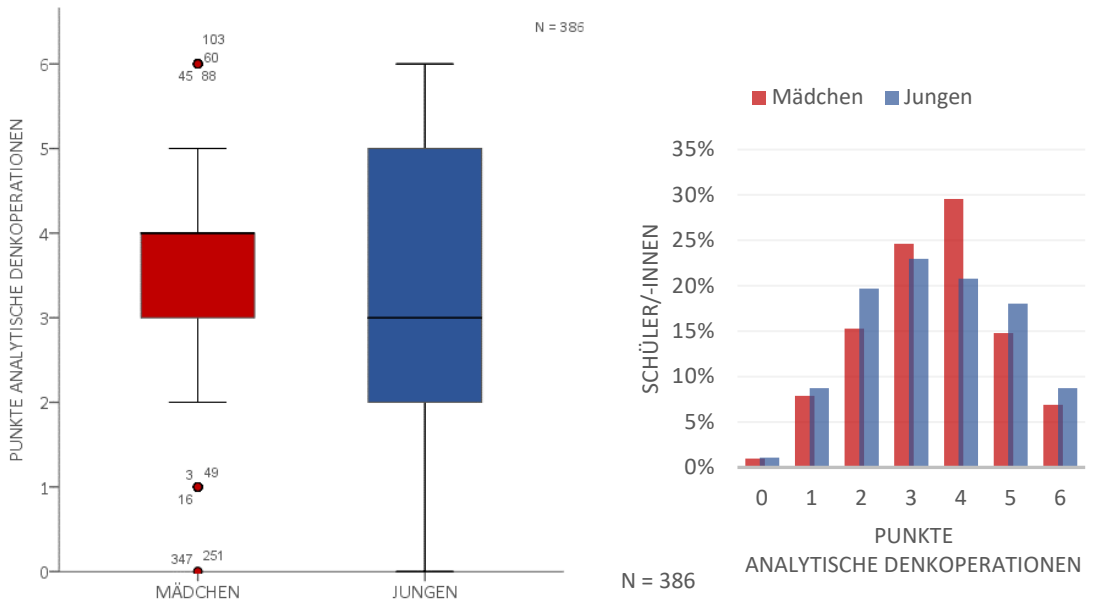



Abbildung 49: Einfluss des Geschlechts auf die erreichte Punktzahl der analytischen Denkoperationen

Abbildung 50: Vergleich der Verteilung der richtigen Auswahl der einzelnen Elementarfunktionen bei Mädchen und Jungen

Die Unterschiede der ***synthetischen Denkoperationen*** zwischen Mädchen und Jungen sind nicht in jedem Bereich gleich stark. Abbildung 51 zeigt, dass die größte Differenz zwischen Jungen und Mädchen bei der mechanisch-elektrischen Teilsystemkombination der Turbine mit dem Umwandlungssystem (Generator oder Motor) vorliegt. 16%

mehr Jungen als Mädchen haben diese Kombination richtig gewählt, $U_{mech.-elektr.}$ = 15.558,5, $p$ = 0,001, $N$ = 386; bei den mechanischen Kombinationen sind es 12% mehr Jungen, $U_{mech..}$ = 14.665,0, $p$ = 0,000, $N$ = 386. Die Effektstärken sind im höheren moderaten ($d_{mech.}$ = 0,379) bis moderaten Bereich ($d_{mech.-elektr.}$ = 0,336). Bei den elektrischen Teilsystemkombinationen hingegen konnte für den Geschlechterunterschied keine Signifikanz nachgewiesen werden, $U_{elektr.}$ = 16.928,0, $p$ = 0,113, $N$ = 386.

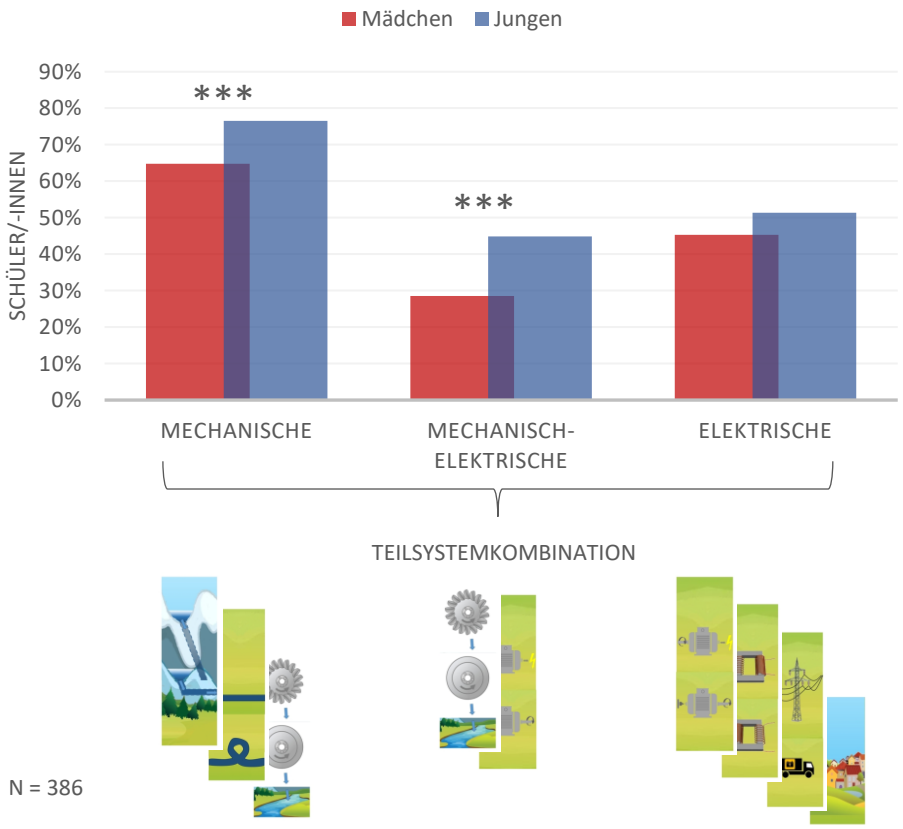



Abbildung 51: Vergleich der Verteilung der richtigen Teilsystemkombinationen bei Mädchen und Jungen

Ein Viertel der Jungen (24%) haben eine durchgehende Energieflusskette unabhängig von der konkreten Teilsystemauswahl und deren Kombinationen gelegt. Hingegen haben es nur halb so viele Mädchen (11%) geschafft, dass die Energie theoretisch in der Stadt ankommen würde, Chi-Quadrat(1, $N$ = 67) = 8,962, $p$ = 0,003.

In Bezug auf die Angabe des ***Vorwissens*** unterscheiden sich die Geschlechter in der Häufigkeit der Angabe der Medien und in der Angabe, die Aufgabe ohne Vorwissen gelöst zu haben (vgl. Abbildung 52). Es geben signifikant mehr Jungen an, ihr Vorwissen aus den Medien zu haben, als Mädchen, Chi-Quadrat(1, $N$ = 120) = 7,834 , $p$ = 0,005.

Außerdem liegt eine Tendenz vor, dass Mädchen signifikant häufiger als Jungen angeben, keinerlei Vorwissen gehabt zu haben, Chi-Quadrat(1, $N$ = 152) = 3,682 , $p$ = 0,055.

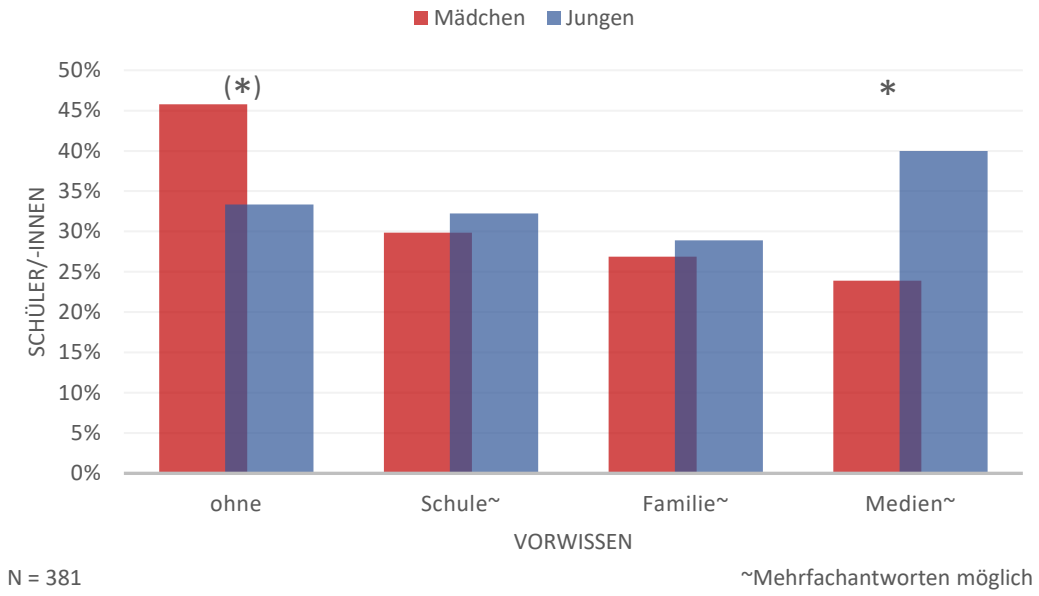



Abbildung 52: Vergleich der Verteilung der Angabe des Vorwissens bei Mädchen und Jungen

Betrachtet man das unterschiedliche Rückseitenleseverhalten der Geschlechter, ist festzustellen, dass signifikant mehr ***Zusatzinformationen*** von den Mädchen ($M$ = 3,70, $SD$ =3,150, $N$ = 183) gelesen werden als von den Jungen ($M$ = 3,04, $SD$ =3,028, $N$ = 164), $U$ = 12.958,5, $p$ = 0,027, $N$ = 347 (vgl. Abbildung 53). Die Effektstärke ist mit $d$ = 0,214 jedoch relativ gering bzw. gerade moderat. Es kommt signifikant häufiger vor, dass Jungen keine Kartenrückseiten lesen, Chi-Quadrat(1, $N$ = 77) = 7,021, $p$ = 0,008. Es lesen nur fast halb so viele Mädchen (16%) keine Rückseiten wie Jungen (29%) (vgl. Abbildung 54). In Bezug auf einzelne Karten bzw. Teilsysteme ist nur bei der Information des Energietransporters ein signifikanter Unterschied nachzuweisen, Chi-Quadrat(1, $N$ = 98) = 6,211, $p$ = 0,013. In diesem Fall lesen mehr als ein Drittel der Mädchen (35%) die Zusatzinformation auf der Rückseite, aber nur ein Fünftel der Jungen (21%).

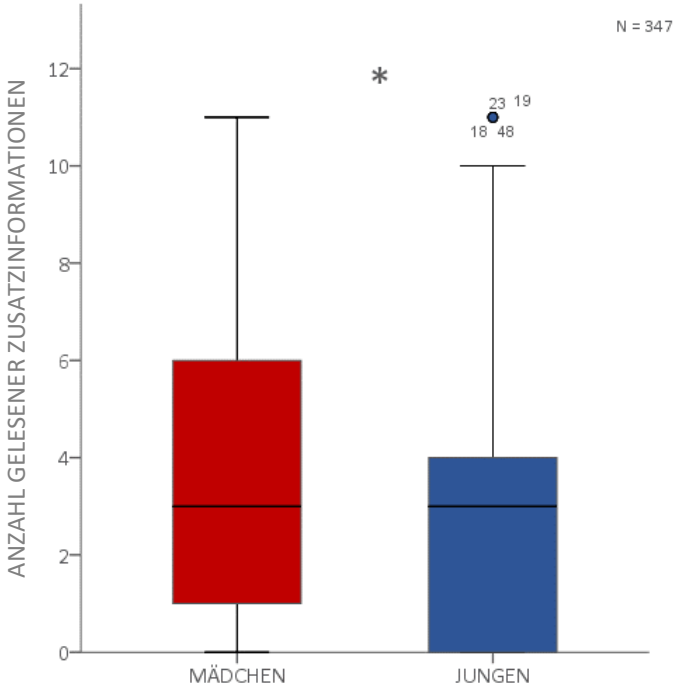



Abbildung 53: Boxplots des Effekts des Geschlechts auf die Anzahl gelesener Zusatzinformationen

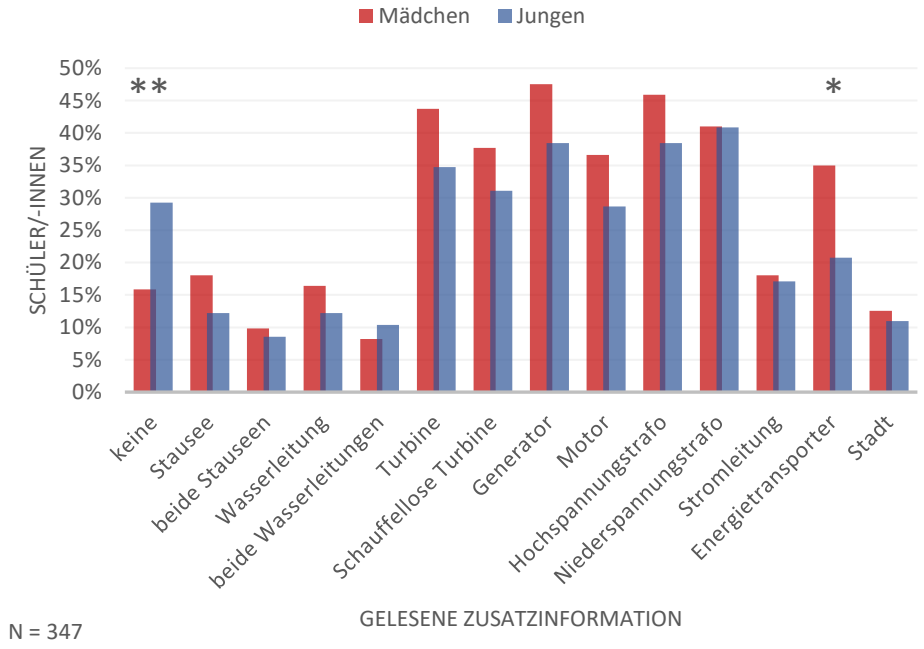



Abbildung 54: Vergleich der Verteilung der gelesenen Zusatzinformationen bei Mädchen und Jungen

**Einfluss des Geschlechts in der Primarstufe**

In der Primarstufe hatten Mädchen im Durchschnitt ein Alter von 9,3 Jahren und waren zwischen 8 und 11 Jahre alt; Jungen waren im Mittel 9,4 Jahre und 9 bis 11 Jahre alt. Die erreichte ***Gesamtpunktzahl*** wird tendenziell vom Geschlecht beeinflusst, $t(204) = -1{,}805$, $p = 0{,}072$ (vgl. Abbildung 55). In der Primarstufe erzielen Jungen ($M = 6{,}59$, $SD = 2{,}672$, $N = 97$) im Mittel tendenziell einen Punkt mehr als Mädchen ($M = 5{,}90$, $SD = 2{,}305$, $N = 109$). Die Effektstärke nach Cohen beträgt $d = 0{,}251$ und entspricht einem moderaten Effekt.

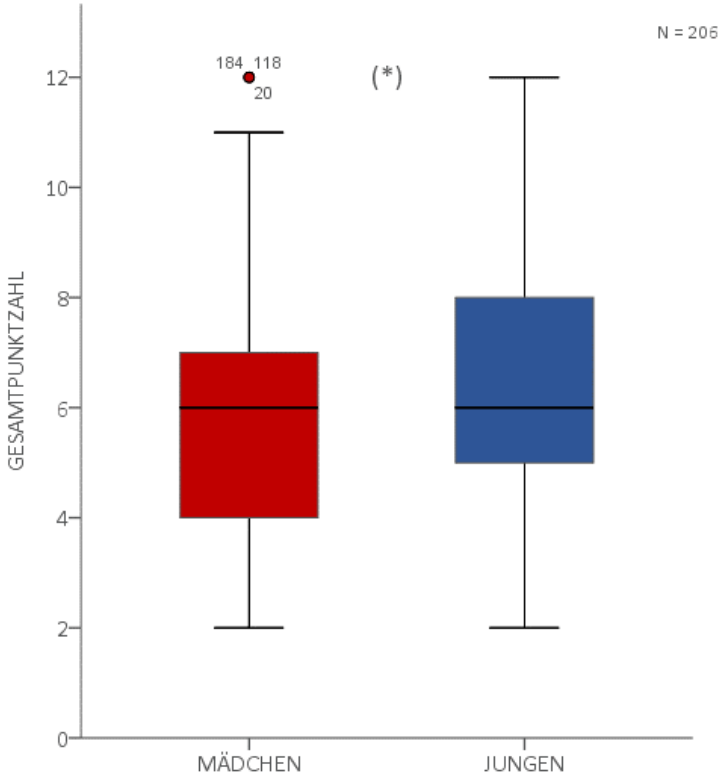



Abbildung 55: Boxplots des Effekts des Geschlechts auf die erreichte Gesamtpunktzahl in der Primarstufe

Für die Angabe der Mädchen und Jungen, die Aufgabe ohne ***Vorwissen*** gelöst zu haben, zeigt ein Chi-Quadrat-Anpassungstest, dass die beobachteten Häufigkeiten nicht signifikant von den erwarteten Häufigkeiten abweichen (Chi-Quadrat(1, $N = 78$) = 0,463, $p = 0{,}496$). Damit stellt sich heraus, dass in der Primarstufe keines der Geschlechter häufiger angibt, die Aufgabe ohne Vorwissen gelöst zu haben. Auch innerhalb der Angaben,

welches Vorwissen zum Lösen der Aufgabe zugrunde lagen, liegen zwischen den Geschlechtern keine signifikanten Unterschiede vor (Chi-Quadrat-Anpassungstests, $p > 0{,}05$) (vgl. Abbildung 56).

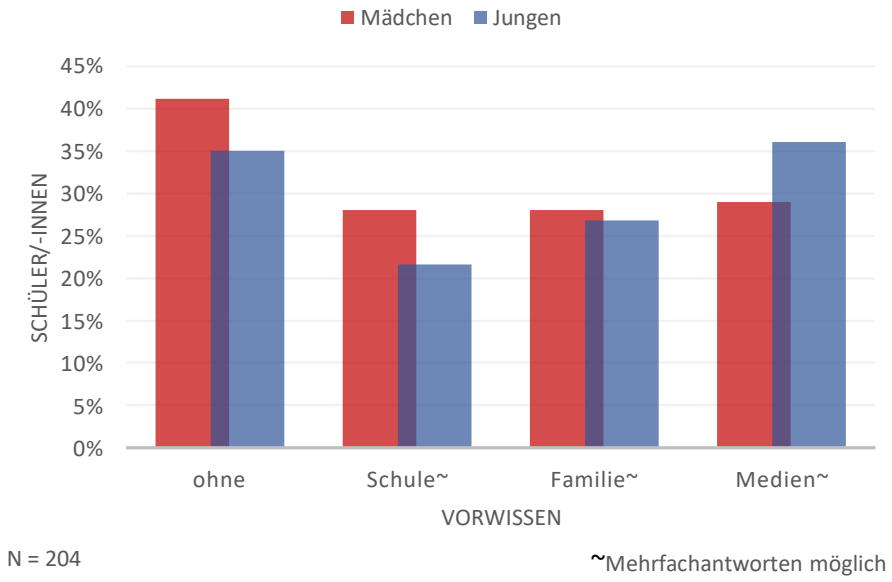



Abbildung 56: Vergleich der Verteilung der Angabe des Vorwissens bei Mädchen und Jungen in der Primarstufe

Ebenso gibt es keinen signifikanten Unterschied bei der Anzahl der gelesenen ***Zusatzinformationen*** zwischen den Geschlechtern, $U = 4346{,}5$, $p = 0{,}281$ (vgl. Abbildung 57). Primarstufenschülerinnen ($M = 3{,}87$, $SD = 3{,}278$, $N = 106$) lesen ebenso die Zusatzinformationen von etwa drei bis vier Karten wie Primarstufenschüler ($M = 3{,}41$, $SD = 3{,}180$, $N = 90$). Dieses Ergebnis bestätigt sich ebenfalls bei den einzelnen Karten: kein Teilsystem wurde von einem Geschlecht häufiger gelesen als von dem anderen (Chi-Quadrat-Anpassungstests, $p > 0{,}05$) (vgl. Abbildung 58).

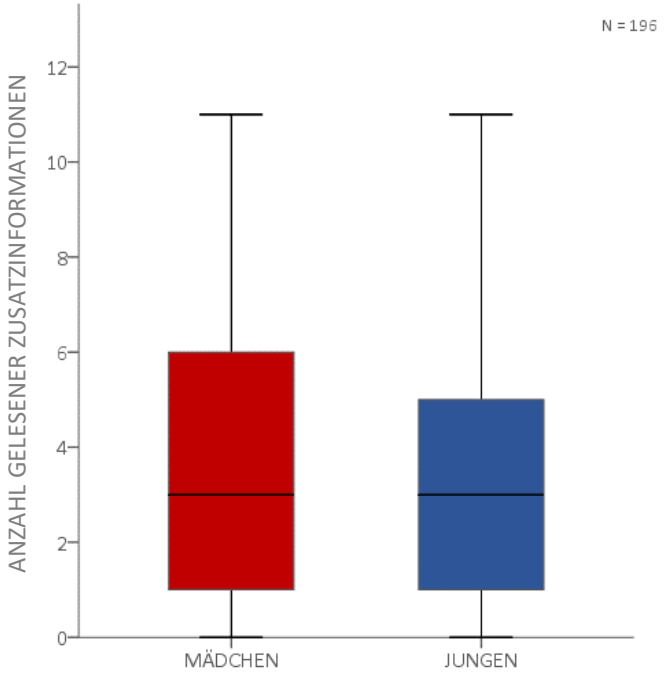



Abbildung 57: Boxplots des Effekts des Geschlechts auf die Anzahl gelesener Zusatzinformationen in der Primarstufe

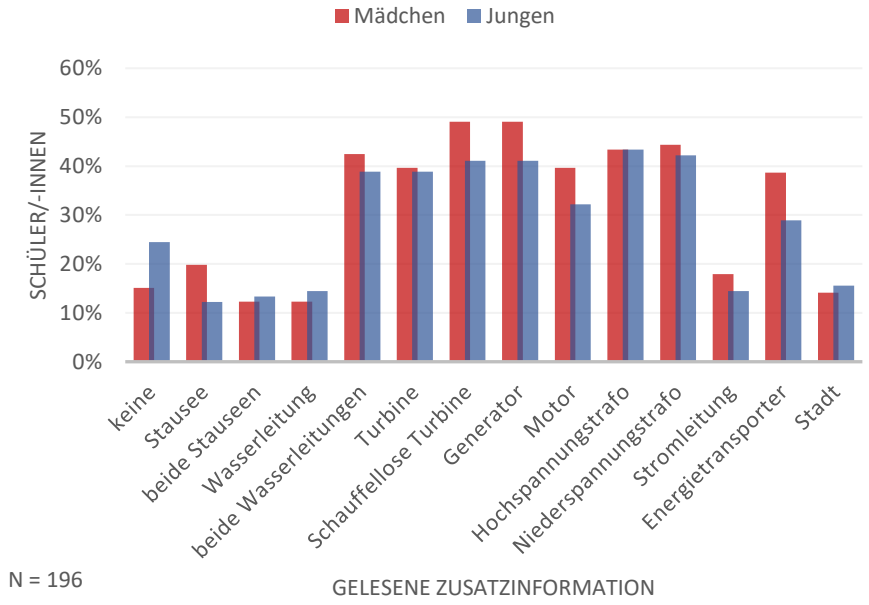



Abbildung 58: Vergleich der Verteilung der gelesenen Zusatzinformationen bei Mädchen und Jungen in der Primarstufe

**Einfluss des Geschlechts in der Sekundarstufe I**

Mädchen der Sekundarstufe I waren 11 bis 14 Jahre alt und im Mittel 11,6 Jahre, Jungen 10-14 Jahre und durchschnittlich 11,8 Jahre. In der Sekundarstufe I gibt es keinen signifikanten Unterschied zwischen der ***Gesamtpunktzahl*** der Mädchen ($M$ = 6,98, $SD$ = 2,427, $N$ = 94) und der der Jungen ($M$ = 7,35, $SD$ = 2,682, $N$ = 86), $t$ = -0,972, $p$ = 0,332 (vgl. Abbildung 59).

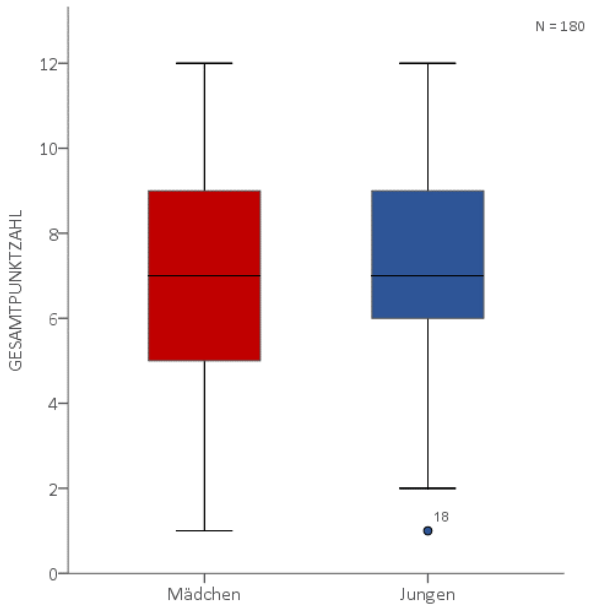



Abbildung 59: Boxplots des Effekts des Geschlechts auf die erreichte Gesamtpunktzahl in der Sekundarstufe I

Ein Chi-Quadrat-Anpassungstest zeigt jedoch, dass signifikant mehr Mädchen angeben, die Aufgabe ohne ***Vorwissen*** gelöst zu haben als Jungen (Chi-Quadrat(1, $N$ = 74) = 0,474, $p$ = 0,029). Ein weiterer signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern der Sekundarstufe I ist, dass mehr Jungen angeben, Vorwissen aus den Medien erworben zu haben (Chi-Quadrat(1, $N$ = 54) = 9,310, $p$ = 0,002) (vgl. Abbildung 60). Keinen signifikanten Unterschied gibt es im Ankreuzverhalten der Schüler/-innen beim Vorwissen aus der Schule oder der Familie (Chi-Quadrat-Anpassungstests, p > 0,05).

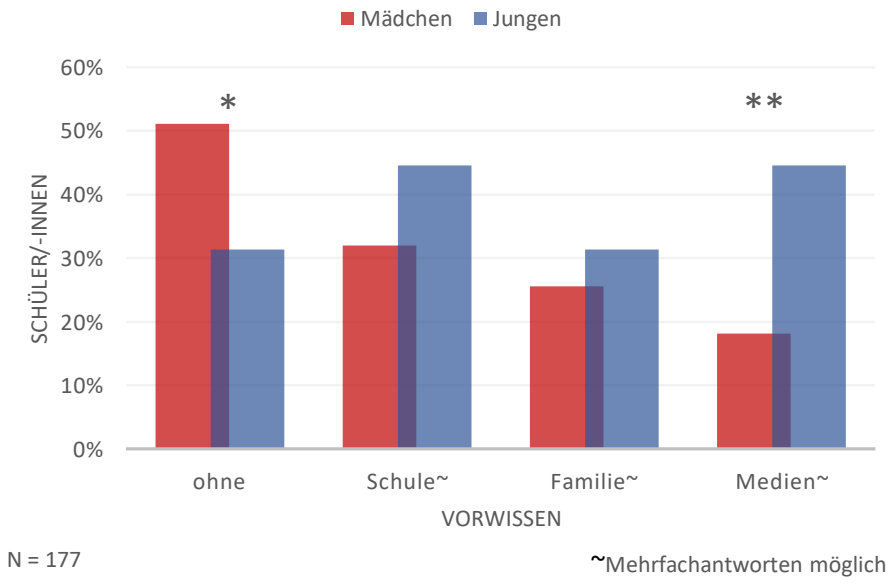



Abbildung 60: Vergleich der Verteilung der Angabe des Vorwissens bei Mädchen und Jungen in der Sekundarstufe I

Beim Lesen der ***Zusatzinformationen*** unterscheiden sich Sekundarstufenschüler und -schülerinnen ebenfalls, $U = 2295{,}500$, $p = 0{,}037$, $N = 151$. Mädchen ($M = 3{,}48$, $SD = 2{,}972$, $N = 77$) lesen im Mittel in etwa eine Kartenrückseite mehr als Jungen ($M = 2{,}59$, $SD = 2{,}789$, $N = 74$) (vgl. Abbildung 61). Die Effektstärke ist mit einem $d = 0{,}309$ moderat. Schaut man sich die einzelnen gelesenen Informationen im Detail an, gibt es bei der Information einer Wasserleitung einen tendenziell signifikanten und des Energietransporters einen signifikanten Unterschied zwischen Mädchen und Jungen der Sekundarstufe I, (Chi-Quadrat(1, $N = 24$)$_{\text{Wasserleitung}} = 3{,}780$ , $p = 0{,}052$; Chi-Quadrat(1, $N = 31$)$_{\text{Energietransporter}} = 6{,}677$ , $p = 0{,}010$). Für beide Teilsysteme gilt, dass Mädchen die Informationen häufiger gelesen haben als Jungen. Dies spiegelt auch das Ergebnis, dass signifikant mehr Jungen keine Informationen gelesen haben als Mädchen, wider (Chi-Quadrat(1, $N = 39$) $= 4{,}867$, $p = 0{,}027$) (vgl. Abbildung 62).

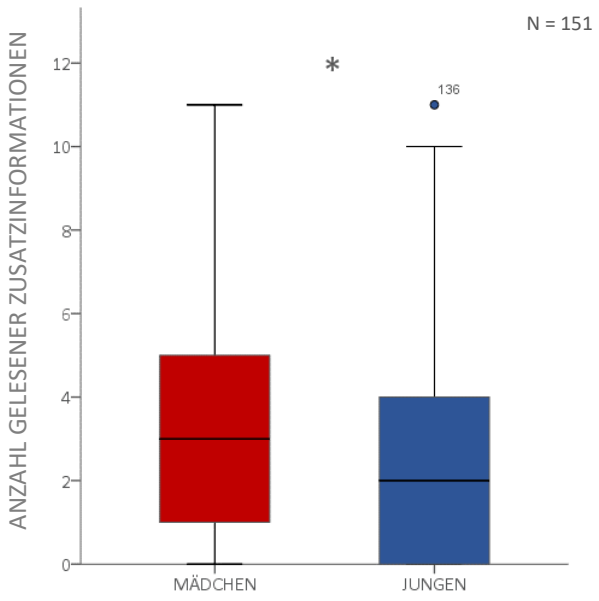



Abbildung 61: Boxplots des Effekts des Geschlechts auf die Anzahl gelesener Zusatzinformationen in der Sekundarstufe I

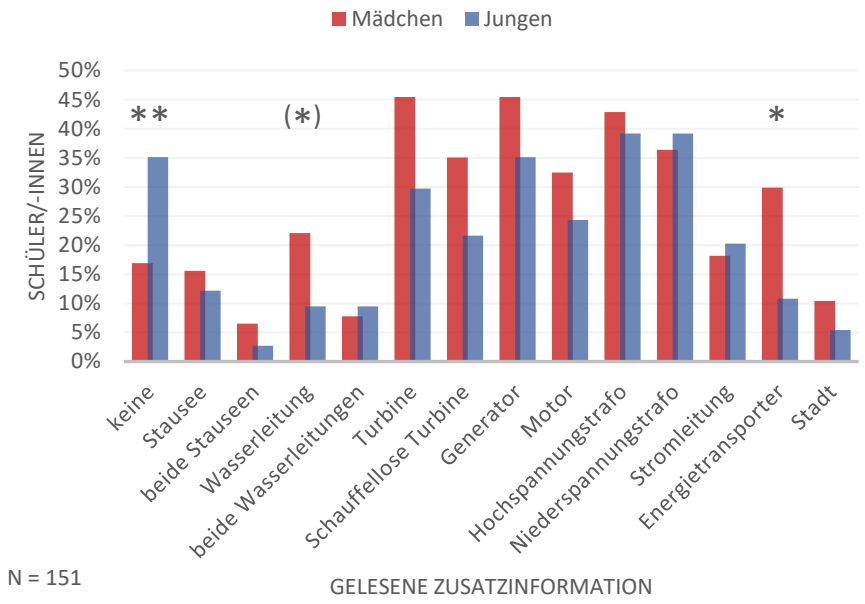



Abbildung 62: Vergleich der Verteilung der gelesenen Zusatzinformationen bei Mädchen und Jungen in der Sekundarstufe I

## 4.2 Binärcodierung

Für einen 15-stelligen Binärcode bestehen ($2^{15}$ =) 32.768 verschiedene Möglichkeiten der Ausprägung. Hätte jede Schülerin oder jeder Schüler einen völlig individuellen Code als Ergebnis gehabt, wären es (N =) 386 verschiedene Ausprägungen gewesen. Tatsächlich liegen jedoch 294 verschiedene Ausprägungen des 15stelligen Binärcodes vor. Das heißt, dass sich von 92 Schüler/-innen Codes wiederholten. Am naheliegendsten ist, dass sich das richtige Ergebnis wiederholt, was auch der Fall ist. 16 Schüler/-innen haben denselben Code, also 15 Einsen (vgl. Tabelle 17, zweite Spalte). Weitere 49 (= 2+2+2+10+33) Codes kommen doppelt bis sechsmal vor. Die Codes, die sich häufig wiederholen, also von 6 bis 4 Schüler/-innen gelegt wurden, sind meist die, die der richtigen Lösung am nächsten kommen (immer nur 2 verschiedene Codes, insgesamt also 6 = 2+2+2). 244 Schüler/-innen haben einmalig vorkommende Codeausprägungen.

Trennt man nun die Binärcodes nach Teilsystemauswahl (analytische Denkoperationen) - die ersten 7 Stellen – und Teilsystemkombinationen (synthetische Denkoperationen) – die letzten 8 Stellen –, gibt es weniger Ausprägungsmöglichkeiten. Für die analytischen Denkoperationen können ($2^7$ =) 128 verschiedene Codeausprägungen vorliegen, für die synthetischen Denkoperationen ($2^8$ =) 256.

In den analytischen Denkoperationen liegen 69 verschiedene Ausprägungen vor (von 128 möglichen), wobei 61 davon mindestens doppelt vorkommen. 27 (7%) Schüler/-innen haben alle (7) Karten richtig ausgewählt. Nur acht Binärcodes sind einmalig.

Für die synthetischen Denkoperationen liegen 76 verschiedene Binärcodes vor (von 256 möglichen). 31 Ausprägungen wiederholen sich nicht, 45 kommen doppelt bis 59-fach vor. 59 (15%) Schüler/-innen schaffen es unabhängig von der Kartenauswahl, die Teilsysteme richtig zu kombinieren.

Tabelle 17: Häufigkeiten identischer Binärcodes

| **Technisches Verständnis** | | **Analytische Denkoperationen** | | **Synthetische Denkoperationen** | |
|---|---|---|---|---|---|
| Anzahl Binär-codes, die bei N SuS vor-kommen | N (# SuS) | Anzahl Binär-codes, die bei N SuS vor-kommen | N (# SuS) | Anzahl Binär-codes, die bei N SuS vor-kommen | N (# SuS) |
| 1 | 16 | 1 | 27 | 1 | 59 |
| 2 | 6 | 1 | 16 | 1 | 42 |
| 2 | 5 | 1 | 14 | 2 | 26 |
| 2 | 4 | 2 | 12 | 1 | 25 |
| 10 | 3 | 1 | 11 | 1 | 21 |
| 33 | 2 | 5 | 10 | 1 | 12 |
| 244 | 1 | 2 | 9 | 1 | 11 |
| | | 4 | 8 | 2 | 9 |
| | | 3 | 7 | 1 | 8 |
| | | 7 | 6 | 6 | 6 |
| | | 8 | 5 | 2 | 5 |
| | | 10 | 4 | 1 | 4 |
| | | 11 | 3 | 7 | 3 |
| | | 5 | 2 | 18 | 2 |
| | | 8 | 1 | 31 | 1 |
| **Σ 294** | | **Σ 69** | | **Σ 76** | |

Um genauere Einblicke und Deutungen über die verschiedenen Kombinationen zu erlangen, werden die Ergebnisse im folgenden Kapitel kategorisiert und tabellarisch zusammengefasst.

## 4.3 Kategorisierung der Ergebnisse (F5)

### 4.3.1 Primarstufe

Tabelle 18: Verteilung der Ergebniskategorien in der Primarstufe (N = 206)

| Ebene I | | Ebene II | | Ebene III | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Gesamtsystem und Energiefluss** | **PS SuS** | **Hauptsysteme: 1) mechanische Energieweiterleitung 2) Wandlung 3) elektr. Energieweiterleitung** | **PS SuS** | **Teilsysteme (richtig kombiniert)** | **PS SuS** |
| **1.** Gesamtsystem gar nicht funktionsfähig, keinerlei Energiefluss, keine zusammenhängende Teilsystemkombination | 2,9% | **1.1** nichts | 1,9% | 1.1 kein System | 1,9% |
| | | **1.2** nur Eingangs- oder/und Ausgangssystem | 1,0% | 1.2.1 Eingangssystem | 0,5% |
| | | | | 1.2.2 Ausgangssystem | 0,5% |
| | | | | 1.2.3 Eingangs- und Ausgangssystem | 0,0% |
| **2.** Gesamtsystem nicht funktionsfähig, Energiefluss mehrmals unterbrochen, einzelne zusammenhängende funktionsfähige Teilsysteme | 65,7% | **2.1** nur vereinzelte Teilsysteme | 30,6% | 2.1.1 Teile der mechanischen Energieweiterleitung | 6,8% |
| | | | | 2.1.2 Teile der elektrischen Energieweiterleitung | 2,4% |
| | | | | 2.1.3 Teile der mechanischen und elektrischen Energieweiterleitung | 21,4% |
| | | **2.2** ein Hauptsystem, die anderen in Teilen oder gar nicht | 35,1% | 2.2.1 Mechanische Energieweiterleitung komplett | 2,4% |
| | | | | 2.2.2 Wandlung | 0,0% |
| | | | | 2.2.3 Elektrische Energieweiterleitung komplett | 1,5% |
| | | | | 2.2.4 Teile der mechanischen Energieweiterleitung und Wandlung | 1,5% |
| | | | | 2.2.5 Wandlung und Teile der elektrischen Energieweiterleitung | 1,0% |
| | | | | 2.2.6 Teile der mechanischen und elektrische Energieweiterleitung komplett | 17,0% |
| | | | | 2.2.7 Mechanische komplett und Teile der elektrischen Energieweiterleitung | 10,7% |
| | | | | 2.2.8 Teile der mechanischen und elektrischen Energieweiterleitung und Wandlung | 1,0% |
| **3.** Gesamtsystem fast funktionsfähig, Energiefluss einmal unterbrochen, zusammenhängende funktionsfähige Teilsysteme | 12,7% | **3.1** zwei Hauptsysteme, das dritte gar nicht | 4,9% | 3.1.1 Mechanische und elektrische Energieweiterleitung komplett | 4,9% |
| | | | | 3.1.2 Mechanische Energieweiterleitung komplett und Wandlung | 0,0% |
| | | | | 3.1.3 Wandlung und elektrische Energieweiterleitung komplett | 0,0% |
| | | **3.2** zwei Hauptsysteme, das dritte in Teilen | 7,8% | 3.2.1 Mechanische Energieweiterleitung komplett, Wandlung und Teile der elektrischen Energieweiterleitu | 6,3% |
| | | | | 3.2.2 Teile der mechanischen Energieweiterleitung, Wandlung und elektrische Energieweiterleitung kompl | 1,5% |
| **4.** Gesamtsystem funktionsfähig, Energiefluss durchgehend, zusammenhängende funktionsfähige Teilsysteme | 18,9% | **4.1** drei Hauptsysteme, im elektrischen keine Verwendung des Transformators | 5,8% | 4.1 Alle drei Hauptsysteme komplett ohne Verwendung des Transformators | 5,8% |
| | | **4.2** drei Hauptsysteme, Verwendung des Transformators | 13,1% | 4.2 Alle drei Hauptsysteme komplett | 13,1% |

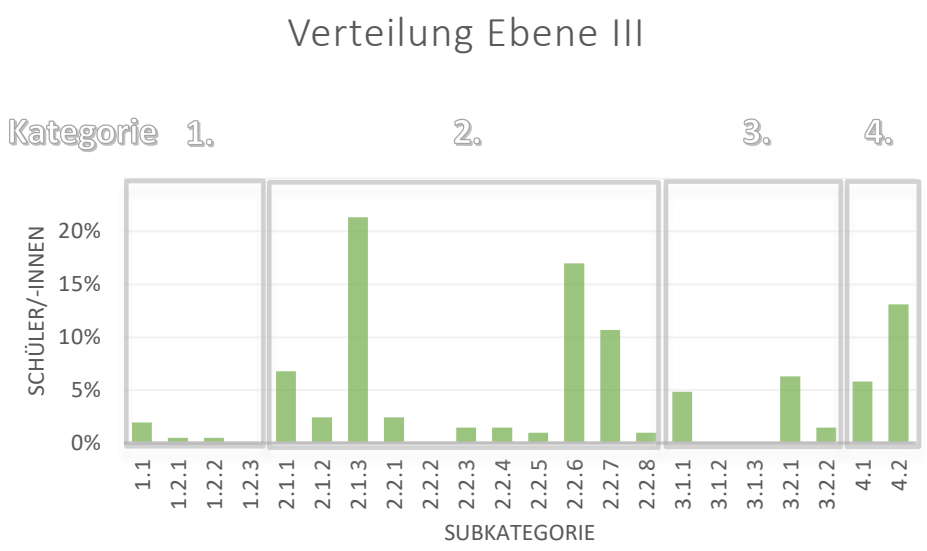



Abbildung 63: Verteilung der Ergebniskategorien auf Ebene III in der Primarstufe (N = 206)

Tabelle 18 zeigt, dass fast zwei Drittel aller Primarstufenschülerinnen und -schüler (65,7%) in der zweiten Kategorie der Ebene I liegen. Das von ihnen angeordnete Gesamtsystem wäre nicht funktionsfähig und der Energiefluss mehrmals unterbrochen. Einzelne Teilsysteme sind jedoch zusammenhängend. Schaut man in Ebene II der Kategorie 2 fällt auf, dass etwa ein Drittel aller Primarstufenschüler/-innen vereinzelte Teilsysteme kombinieren (2.1), das andere Drittel eines der Hauptsysteme komplett und die anderen in Teilen kombiniert (2.2). Ebene III gibt Aufschluss darüber, wie die Verteilung innerhalb der zweiten Kategorie im Detail ist (vgl. Abbildung 63). Die Subkategorie mit dem größten Anteil an Primarstufenschüler/-innen ist 2.1.3. Ein Fünftel aller Primarstufenschüler/-innen kombinieren demnach Teile der mechanischen und elektrischen Energieweiterleitung richtig, die Wandlung von mechanischer zu elektrischer Energie nicht.

Fast ein Fünftel aller Primarstufenschüler/-innen (18,9%) kombiniert die Karten zu einem theoretisch funktionsfähigen Gesamtsystem mit einer durchgehenden Energieflusskette (Ebene I, Kategorie 4). Etwas mehr als ein Viertel dieser Primarstufenschüler/-innen der Kategorie 4 legt die Kartenreihe ohne Verwendung des Transformators (4.1). Fast Dreiviertel der Kategorie 4 Primarstufenschüler/-innen ordnet alles inklusive Transformator korrekt an (4.2); dies entspricht 13,1% aller Primarstufenschüler/-innen.

12,7% aller Primarstufenschüler/-innen sind der Kategorie 3 der Ebene I zuzuordnen. Ihr gelegtes Gesamtsystem wäre fast funktionsfähig, Ebene II zeigt, dass eines der

drei Hauptsysteme in Teilen korrekt kombiniert ist (Kategorie 3.2; 7,8%) oder gar nicht (Kategorie 3.1; 4,9%).

In etwa jede/-r dreißigste Schüler/-in (2,9%) kombiniert die Teilsysteme ohne Sinn (Ebene I, Kategorie 1). Es wäre keinerlei Energiefluss möglich und es gibt keine zusammenhängenden Teilsystemkombinationen, Eingangs- und Ausgangssystem sind bei einem Drittel dieser Kategorie 1 Schüler/-innen vorhanden (Ebene II, 1.2).

Abbildung 63 zeigt, dass in vier Subkategorien auf Ebene III mehr als 10% der Lösungen der Primarstufenschüler/-innen einzugliedern sind. Drei dieser Subkategorien mit den meisten Primarstufenschüler/-innen sind in Kategorie 2 und haben entweder die mechanische (2.2.7) oder die elektrische (2.2.6) Energieweiterleitung komplett richtig kombiniert und die jeweils andere in Teilen oder nur Teile dieser beiden (2.1.3), wobei diese Variante am häufigsten vertreten ist. Die vierte ist die korrekte Lösung inklusive des Einbaus des Transformators (4.2). Insgesamt fällt auf, dass in den am häufigsten vertretenen Subkategorien (mit Ausnahme der richtigen Kategorie 4.2) die richtige Teilsystemkombination des Hauptsystems Wandlung fehlt.

### 4.3.2 Sekundarstufe I

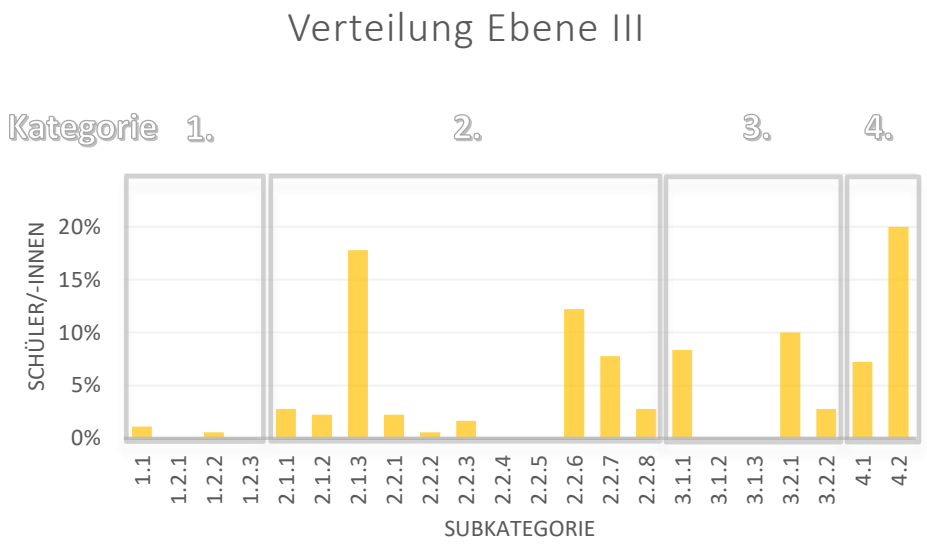



Abbildung 64: Verteilung der Ergebniskategorien auf Ebene III in der Sekundarstufe I (N = 180)

Tabelle 19: Verteilung der Ergebniskategorien in der Sekundarstufe I (N = 180)

| Ebene I | | Ebene II | | Ebene III | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Gesamtsystem und Energiefluss** | **Sek I SuS** | **Hauptsysteme: 1) mechanische Energieweiterleitung 2) Wandlung 3) elektr. Energieweiterleitung** | **Sek I SuS** | **Teilsysteme (richtig kombiniert)** | **Sek I SuS** |
| **1.** Gesamtsystem gar nicht funktionsfähig, keinerlei Energiefluss, keine zusammenhängende Teilsystemkombination | 1,7% | **1.1** nichts | 1,1% | 1.1 kein System | 1,1% |
| | | **1.2** nur Eingangs- oder/und Ausgangssystem | 0,6% | 1.2.1 Eingangssystem | 0,0% |
| | | | | 1.2.2 Ausgangssystem | 0,6% |
| | | | | 1.2.3 Eingangs- und Ausgangssystem | 0,0% |
| **2.** Gesamtsystem nicht funktionsfähig, Energiefluss mehrmals unterbrochen, einzelne zusammenhängende funktionsfähige Teilsysteme | 50,1% | **2.1** nur vereinzelte Teilsysteme | 22,8% | 2.1.1 Teile der mechanischen Energieweiterleitung | 2,8% |
| | | | | 2.1.2 Teile der elektrischen Energieweiterleitung | 2,2% |
| | | | | 2.1.3 Teile der mechanischen und elektrischen Energieweiterleitung | 17,8% |
| | | **2.2** ein Hauptsystem, die anderen in Teilen oder gar nicht | 27,3% | 2.2.1 Mechanische Energieweiterleitung komplett | 2,2% |
| | | | | 2.2.2 Wandlung | 0,6% |
| | | | | 2.2.3 Elektrische Energieweiterleitung komplett | 1,7% |
| | | | | 2.2.4 Teile der mechanischen Energieweiterleitung und Wandlung | 0,0% |
| | | | | 2.2.5 Wandlung und Teile der elektrischen Energieweiterleitung | 0,0% |
| | | | | 2.2.6 Teile der mechanischen und elektrische Energieweiterleitung komplett | 12,2% |
| | | | | 2.2.7 Mechanische komplett und Teile der elektrischen Energieweiterleitung | 7,8% |
| | | | | 2.2.8 Teile der mechanischen und elektrischen Energieweiterleitung und Wandlung | 2,8% |
| **3.** Gesamtsystem fast funktionsfähig, Energiefluss einmal unterbrochen, zusammenhängende funktionsfähige Teilsysteme | 21,1% | **3.1** zwei Hauptsysteme, das dritte gar nicht | 8,3% | 3.1.1 Mechanische und elektrische Energieweiterleitung komplett | 8,3% |
| | | | | 3.1.2 Mechanische Energieweiterleitung komplett und Wandlung | 0,0% |
| | | | | 3.1.3 Wandlung und elektrische Energieweiterleitung komplett | 0,0% |
| | | **3.2** zwei Hauptsysteme, das dritte in Teilen | 12,8% | 3.2.1 Mechanische Energieweiterleitung komplett, Wandlung und Teile der elektrischen Energieweiterleitu | 10,0% |
| | | | | 3.2.2 Teile der mechanischen Energieweiterleitung, Wandlung und elektrische Energieweiterleitung kompl | 2,8% |
| **4.** Gesamtsystem funktionsfähig, Energiefluss durchgehend, zusammenhängende funktionsfähige Teilsysteme | 27,2% | **4.1** drei Hauptsysteme, im elektrischen keine Verwendung des Transformators | 7,2% | 4.1 Alle drei Hauptsysteme komplett ohne Verwendung des Transformators | 7,2% |
| | | **4.2** drei Hauptsysteme, Verwendung des Transformators | 20,0% | 4.2 Alle drei Hauptsysteme komplett | 20,0% |

Tabelle 19 zeigt, dass die Hälfte aller Sekundarstufenschülerinnen und -schüler ein nicht funktionsfähiges Gesamtsystem kombinieren, in dem der Energiefluss mehrmals unterbrochen ist, jedoch einzelne Teilsysteme zusammenhängend sind (Ebene I, Kategorie 2). Die andere Hälfte der Sekundarstufenschüler/-innen teilt sich fast komplett auf die Kategorien 3 und 4 auf. Das bedeutet, dass mehr als ein Viertel der Sekundarstufenschüler/-innen ein funktionsfähiges Gesamtsystem mit durchgehendem Energiefluss kombinieren (Kategorie 4) und in etwa ein Fünftel der Schüler/-innen ein fast funktionsfähiges Gesamtsystem mit einmal unterbrochenem Energiefluss legen (Kategorie 3). Durch Ebene II ist ersichtlich, dass der größte Anteil der Sekundarstufenschüler/-innen (27%) eines der Hauptsysteme richtig kombiniert, die anderen beiden in Teilen oder gar nicht (Kategorie 2.2). Zwei weitere Kategorien, die eine große Anzahl der Schülerergebnisse umschließen, sind Kategorie 2.1 (23%) und Kategorie 4.2 (20%). Dies bedeutet, dass ein Fünftel aller Sekundarstufenschüler/-innen in der Lage sind, alle drei Hauptsysteme richtig zu kombinieren und die korrekte Lösung (unabhängig von der Kartenauswahl) inklusive der Verwendung eines Transformators zu legen (Kategorie 4.2). Ein weitetes Fünftel legt vereinzelte Teilsysteme ohne eines der Hauptsysteme korrekt zu kombinieren (Kategorie 2.1).

Auf Ebene III sind vier Subkategorien, in denen mehr als 10% aller Sekundarstufenschüler/-innen vertreten sind, ersichtlich: zwei Subkategorien sind aus Kategorie 2, eine aus Kategorie 3 und eine aus Kategorie 4. Die Kategorie 4.2 ist auf Ebene III der Ergebnisse die Kategorie mit den meisten Sekundarstufenschüler/-innen (vgl. Abbildung 64). Subkategorie 2.1.3 umschließt 18% der Ergebnisse mit vereinzelten korrekten Teilsystemkombinationen in der mechanischen und elektrischen Energieweiterleitung wobei die Wandlung von mechanischer zu elektrischer Energie fehlt; Kategorie 2.2.6 hingegen 12% der Ergebnisse, in der die elektrische Energieweiterleitung komplett richtig kombiniert ist und die mechanische in Teilen. Jede/-r zehnte Sekundarstufenschüler/-in kombiniert die mechanische Energieweiterleitung und die Wandlung komplett richtig und Teile der elektrischen Energieweiterleitung (Subkategorie 3.2.1). Somit ist neben der Kategorie 4 mit den korrekten Lösungen eine weitere Kategorie relativ stark vertreten, in der die Wandlung richtig kombiniert ist.

### 4.3.3 Vergleich der Schulstufen

Beim Vergleich der Primar- und Sekundarstufenschüler/-innen in den jeweiligen Kategorien auf Ebene I ist erkennbar (vgl. Abbildung 65), dass signifikant mehr Primarstufenschüler/-innen in der Kategorie 2 (Energiefluss mehrmals unterbrochen) vertreten sind, Chi-Quadrat(1, $N$ = 225) = 3,977, $p$ = 0,046. Hingegen sind in Kategorie 3 (Energiefluss einmal unterbrochen) signifikant mehr Sekundarstufenschüler/-innen, Chi-Quadrat(1, $N$ = 64) = 4,176, $p$ = 0,041. In Kategorie 4 (Energiefluss durchgehend) liegt eine Tendenz dahingehend vor, dass die Sekundarstufenschüler/-innen häufiger vertreten sind, Chi-Quadrat(1, $N$ = 88) = 2,896, $p$ = 0,089.

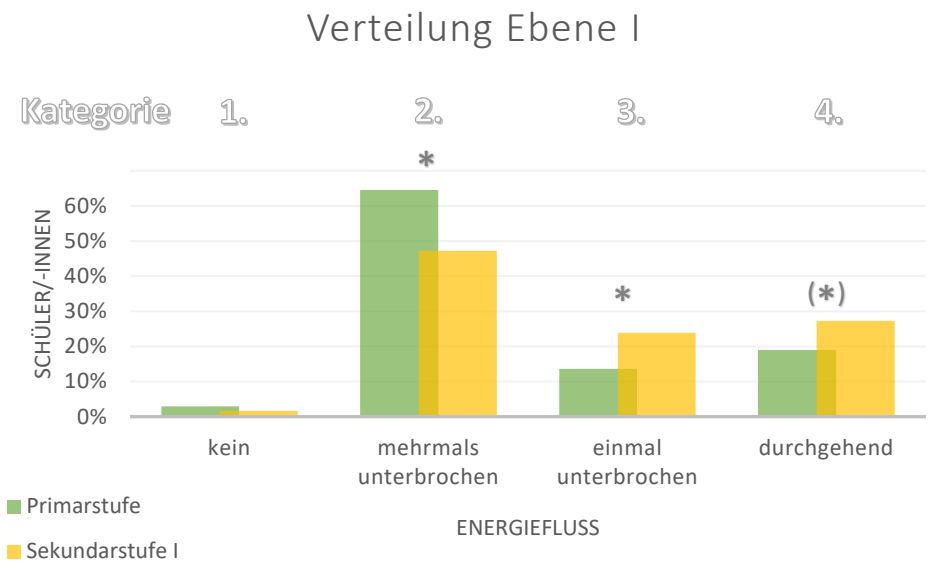



Abbildung 65: Vergleich der Verteilung der Primar- und Sekundarstufenschüler/-innen in den Kategorien der Ebene I (N = 386)

### 4.3.4 Vergleich der Geschlechter

Zwei Drittel aller ***Mädchen*** legt mit Hilfe der Karten (66%) (vgl. Tabelle 20) ein nicht funktionsfähiges Gesamtsystem mit mehrmals unterbrochenem Energiefluss und einzelnen zusammenhängenden Teilsystemen. Jeweils in etwa ein Sechstel der Mädchen legt ein fast oder ganz funktionsfähiges Gesamtsystem. Aus Ebene II der Tabelle 20 geht hervor, dass circa die Hälfte der Mädchen aus Kategorie 2 der Ebene I nur vereinzelte Teilsysteme legt und die andere Hälfte ein Hauptsystem komplett richtig kombiniert hat, die anderen in Teilen. Mädchen der Kategorie 4 der Ebene I verwenden in der elektrischen Energieweiterleitung zu zwei Dritteln die Karte des Transformators.

Tabelle 20: Verteilung der Ergebniskategorien der Mädchen (N = 203)

| Ebene I | | Ebene II | | Ebene III | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Gesamtsystem und Energiefluss** | **♀ SuS** | **Hauptsysteme: 1) mechanische Energieweiterleitung 2) Wandlung 3) elektr. Energieweiterleitung** | **♀ SuS** | **Teilsysteme (richtig kombiniert)** | **♀ SuS** |
| **1.** Gesamtsystem gar nicht funktionsfähig, keinerlei Energiefluss, keine zusammenhängende Teilsystemkombination | 3,0% | **1.1** nichts | 2,5% | 1.1 kein System | 2,5% |
| | | **1.2** nur Eingangs- oder/und Ausgangssystem | 0,5% | 1.2.1 Eingangssystem | 0,0% |
| | | | | 1.2.2 Ausgangssystem | 0,5% |
| | | | | 1.2.3 Eingangs- und Ausgangssystem | 0,0% |
| **2.** Gesamtsystem nicht funktionsfähig, Energiefluss mehrmals unterbrochen, einzelne zusammenhängende funktionsfähige Teilsysteme | 66,1% | **2.1** nur vereinzelte Teilsysteme | 31,5% | 2.1.1 Teile der mechanischen Energieweiterleitung | 4,9% |
| | | | | 2.1.2 Teile der elektrischen Energieweiterleitung | 3,0% |
| | | | | 2.1.3 Teile der mechanischen und elektrischen Energieweiterleitung | 23,6% |
| | | **2.2** ein Hauptsystem, die anderen in Teilen oder gar nicht | 34,6% | 2.2.1 Mechanische Energieweiterleitung komplett | 1,5% |
| | | | | 2.2.2 Wandlung | 0,0% |
| | | | | 2.2.3 Elektrische Energieweiterleitung komplett | 1,5% |
| | | | | 2.2.4 Teile der mechanischen Energieweiterleitung und Wandlung | 1,0% |
| | | | | 2.2.5 Wandlung und Teile der elektrischen Energieweiterleitung | 0,5% |
| | | | | 2.2.6 Teile der mechanischen und elektrische Energieweiterleitung komplett | 18,7% |
| | | | | 2.2.7 Mechanische komplett und Teile der elektrischen Energieweiterleitung | 8,9% |
| | | | | 2.2.8 Teile der mechanischen und elektrischen Energieweiterleitung und Wandlung | 2,5% |
| **3.** Gesamtsystem fast funktionsfähig, Energiefluss einmal unterbrochen, zusammenhängende funktionsfähige Teilsysteme | 14,3% | **3.1** zwei Hauptsysteme, das dritte gar nicht | 6,4% | 3.1.1 Mechanische und elektrische Energieweiterleitung komplett | 6,4% |
| | | | | 3.1.2 Mechanische Energieweiterleitung komplett und Wandlung | 0,0% |
| | | | | 3.1.3 Wandlung und elektrische Energieweiterleitung komplett | 0,0% |
| | | **3.2** zwei Hauptsysteme, das dritte in Teilen | 7,9% | 3.2.1 Mechanische Energieweiterleitung komplett, Wandlung und Teile der elektrischen Energieweiterleitu | 5,4% |
| | | | | 3.2.2 Teile der mechanischen Energieweiterleitung, Wandlung und elektrische Energieweiterleitung kompl | 2,5% |
| **4.** Gesamtsystem funktionsfähig, Energiefluss durchgehend, zusammenhängende funktionsfähige Teilsysteme | 16,7% | **4.1** drei Hauptsysteme, im elektrischen keine Verwendung des Transformators | 4,9% | 4.1 Alle drei Hauptsysteme komplett ohne Verwendung des Transformators | 4,9% |
| | | **4.2** drei Hauptsysteme, Verwendung des Transformators | 11,8% | 4.2 Alle drei Hauptsysteme komplett | 11,8% |

In Abbildung 66 ist auf Ebene III ersichtlich, dass die meisten Ergebnisse der Mädchen in Subkategorie 2.1.3 mit Teilen der mechanischen und elektrischen Energieweiterleitung in richtiger Kombination, ohne Kombination der Wandlung, sind. Eine weitere Subkategorie der Ebene III aus Kategorie 2 ist ebenfalls mit mehr als 10% der Ergebnisse der Mädchen vertreten: Subkategorie 2.2.6. (19%). Hier ist die elektrische Energieweiterleitung komplett richtig kombiniert worden, die mechanische in Teilen, die Wandlung von mechanischer zu elektrischer Energie fehlt. Die letzte Subkategorie, die mehr als 10% der Ergebnisse der Mädchen beinhaltet (12%), ist die komplett richtige Subkategorie 4.2.

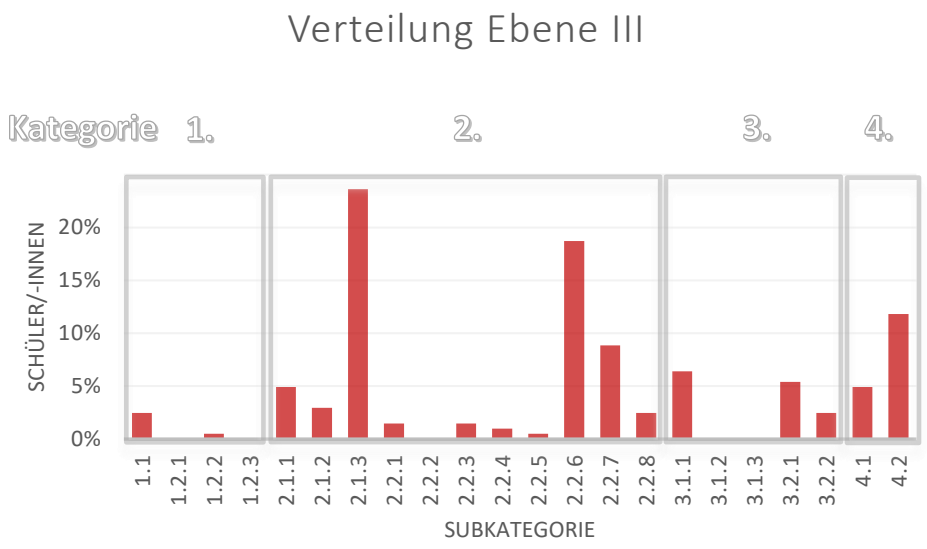



Abbildung 66: Verteilung der Ergebniskategorien auf Ebene III der Mädchen (N = 203)

Die Hälfte aller ***Jungen*** (50%) (vgl. Tabelle 21) legt die Karten als ein nicht funktionsfähiges Gesamtsystem mit mehrmals unterbrochenem Energiefluss und einzelnen zusammenhängenden Teilsystemen. Die andere Hälfte teilt sich auf die Kategorien 3 und 4 auf, wobei 30% der Jungen ein funktionsfähiges Gesamtsystem und 19% eine einmal unterbrochene Energieflusskette kombinieren (vgl. Tabelle 21). Aus Ebene II der Kategorientabelle geht hervor, dass in etwa ein Viertel der Jungen ein Hauptsystem komplett richtig kombinieren, die anderen beiden in Teilen (Kategorie 2.2) und in etwa je ein Fünftel nur vereinzelte Teilsysteme (Kategorie 2.1) oder alle drei Hauptsysteme (Kategorie 4.2) richtig kombinieren.

Tabelle 21: Verteilung der Ergebniskategorien der Jungen (N = 183)

| Ebene I | | Ebene II | | Ebene III | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Gesamtsystem und Energiefluss** | **♂ SuS** | **Hauptsysteme: 1) mechanische Energieweiterleitung 2) Wandlung 3) elektr. Energieweiterleitung** | **♂ SuS** | **Teilsysteme (richtig kombiniert)** | **♂ SuS** |
| **1.** Gesamtsystem gar nicht funktionsfähig, keinerlei Energiefluss, keine zusammenhängende Teilsystemkombination | 1,0% | **1.1** nichts | 0,5% | 1.1 kein System | 0,5% |
| | | **1.2** nur Eingangs- oder/und Ausgangssystem | 0,5% | 1.2.1 Eingangssystem | 0.5% |
| | | | | 1.2.2 Ausgangssystem | 0,5% |
| | | | | 1.2.3 Eingangs- und Ausgangssystem | 0,0% |
| **2.** Gesamtsystem nicht funktionsfähig, Energiefluss mehrmals unterbrochen, einzelne zusammenhängende funktionsfähige Teilsysteme | 49,5% | **2.1** nur vereinzelte Teilsysteme | 21,8% | 2.1.1 Teile der mechanischen Energieweiterleitung | 4,9% |
| | | | | 2.1.2 Teile der elektrischen Energieweiterleitung | 1,6% |
| | | | | 2.1.3 Teile der mechanischen und elektrischen Energieweiterleitung | 15,3% |
| | | **2.2** ein Hauptsystem, die anderen in Teilen oder gar nicht | 27,7% | 2.2.1 Mechanische Energieweiterleitung komplett | 3,3% |
| | | | | 2.2.2 Wandlung | 0,5% |
| | | | | 2.2.3 Elektrische Energieweiterleitung komplett | 1,6% |
| | | | | 2.2.4 Teile der mechanischen Energieweiterleitung und Wandlung | 0,5% |
| | | | | 2.2.5 Wandlung und Teile der elektrischen Energieweiterleitung | 0,5% |
| | | | | 2.2.6 Teile der mechanischen und elektrische Energieweiterleitung komplett | 10,4% |
| | | | | 2.2.7 Mechanische komplett und Teile der elektrischen Energieweiterleitung | 9,8% |
| | | | | 2.2.8 Teile der mechanischen und elektrischen Energieweiterleitung und Wandlung | 1,1% |
| **3.** Gesamtsystem fast funktionsfähig, Energiefluss einmal unterbrochen, zusammenhängende funktionsfähige Teilsysteme | 19,1% | **3.1** zwei Hauptsysteme, das dritte gar nicht | 6,6% | 3.1.1 Mechanische und elektrische Energieweiterleitung komplett | 6,6% |
| | | | | 3.1.2 Mechanische Energieweiterleitung komplett und Wandlung | 0,0% |
| | | | | 3.1.3 Wandlung und elektrische Energieweiterleitung komplett | 0,0% |
| | | **3.2** zwei Hauptsysteme, das dritte in Teilen | 12,5% | 3.2.1 Mechanische Energieweiterleitung komplett, Wandlung und Teile der elektrischen Energieweiterleitu | 10,9% |
| | | | | 3.2.2 Teile der mechanischen Energieweiterleitung, Wandlung und elektrische Energieweiterleitung kompl | 1,6% |
| **4.** Gesamtsystem funktionsfähig, Energiefluss durchgehend, zusammenhängende funktionsfähige Teilsysteme | 29,5% | **4.1** drei Hauptsysteme, im elektrischen keine Verwendung des Transformators | 8,2% | 4.1 Alle drei Hauptsysteme komplett ohne Verwendung des Transformators | 8,2% |
| | | **4.2** drei Hauptsysteme, Verwendung des Transformators | 21,3% | 4.2 Alle drei Hauptsysteme komplett | 21,3% |

Aus Abbildung 67 ist ersichtlich, dass die Subkategorie mit den meisten Ergebnissen der Jungen (21%) die korrekte Lösung inklusive der Nutzung eines Transformators ist. Drei bzw. fast vier weitere Subkategorien beinhalten ebenfalls mehr als 10% der Ergebnisse der Jungen: Subkategorie 2.1.3 (15%) mit vereinzelten korrekten Teilsystemkombinationen in der mechanischen und elektrischen Energieweiterleitung wobei die Wandlung fehlt, Subkategorie 2.2.6 (10%) mit komplett richtiger Kombination der elektrischen Energieweiterleitung und der mechanischen in Teilen, Subkategorie 2.2.7 (10%) mit komplett richtiger Kombination der mechanischen Energieweiterleitung und der elektrischen in Teilen und Subkategorie 4.2 (21%) als die komplett richtige Kombination der Teilsysteme inklusive Nutzung eines Transformators mit den meisten Ergebnissen der Jungen.

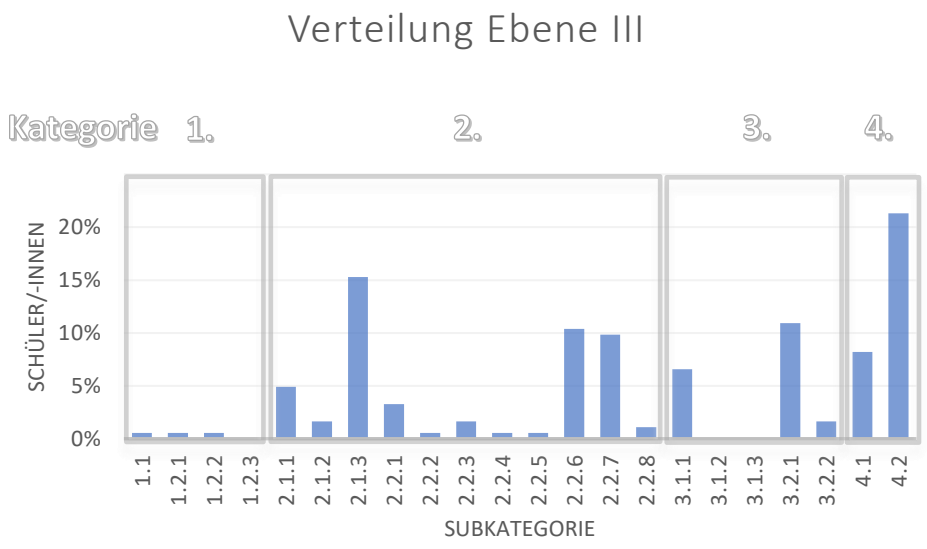



Abbildung 67: Verteilung der Ergebniskategorien auf Ebene III der Jungen (N = 183)

Für den Vergleich der ***Mädchen und Jungen*** unabhängig von der Schulstufe liegen signifikante Unterschiede in zwei Kategorien vor. Kategorie 2 mit mehrmals unterbrochenem Energiefluss wird von den Mädchen dominiert, Chi-Quadrat(1, $N$ = 225) = 4,378, $p$ = 0,036. In Kategorie 4 mit einem durchgehenden Energiefluss sind hingehen mehr Jungen, Chi-Quadrat(1, $N$ = 88) = 6,873, $p$ = 0,009.

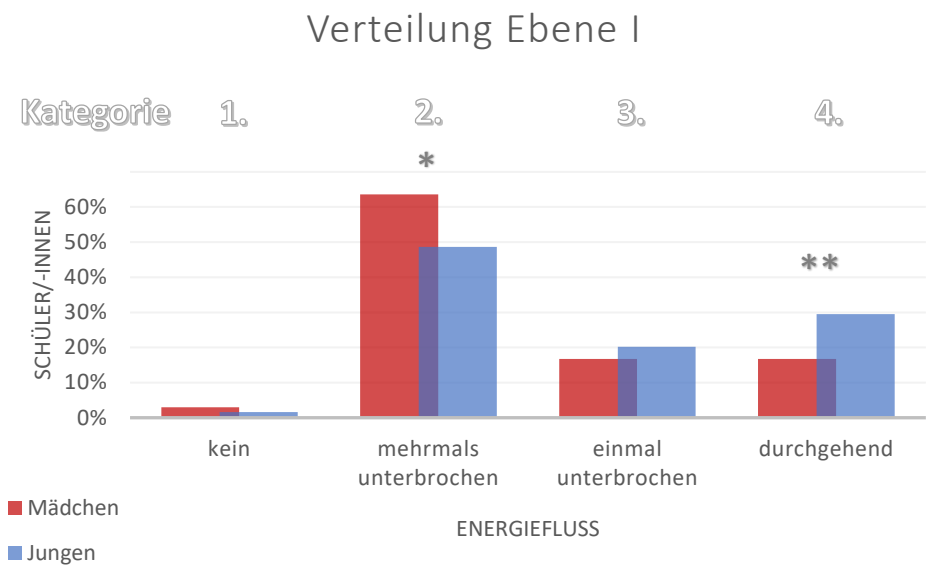



Abbildung 68: Vergleich der Verteilung der Mädchen und Jungen in den Kategorien der Ebene I (N = 386)

## 4.4 Denkoperationen im Lösungsprozess

Abbildung 69 zeigt beispielhaft den Lösungsprozess des Primarstufenschülers mit der ID 10941-10. Er war 9 Jahre alt und hat die volle Punktzahl (12) für das technische Verständnis erzielt. Auf der x-Achse des Diagramms ist die Zeit vermerkt, in der die Aufgabe gelöst wurde. Der Schüler hat insgesamt 2 Minuten 9 Sekunden zum Lösen der Aufgabe benötigt. Der Mittelwert der Dauer aller Primarstufenschüler/-innen, die die Aufgabe mit einer Eye-Tracking-Brille gelöst haben, liegt bei 10 Minuten 10 Sekunden. In der Sekundarstufe I liegt der Mittelwert der Schüler/-innen mit Eye-Tracking-Brille bei 6 Minuten 8 Sekunden. Mädchen benötigen im Mittel 11 Minuten 53 Sekunden und Jungen 6 Minuten 19 Sekunden. Der Schüler mit der ID 10941-20 ist im Vergleich zu den anderen Schüler/-innen, die die Aufgabe mit einer Eye-Tracking-Brille gelöst haben, demnach sehr schnell. Außerdem ist er der schnellste unter den Primarstufenschüler/-innen und der zweitschnellste Junge aller mit Eye-Tracking-Brille getesteten Schüler/-innen.

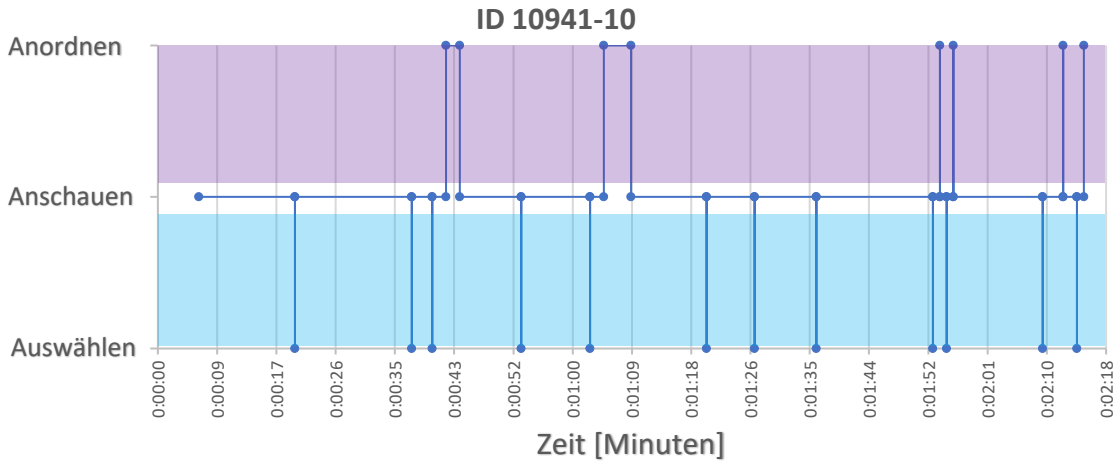



Abbildung 69: Videoauswertung eines Lösungsprozesses bei der Konstruktion eines Wasserkraftwerks mit dem Erhebungsinstrument eines Primarstufenschülers

Die undefinierbare Kategorie des Anschauens stellt die Basis einer Denkoperation und der daraus folgenden Handlung bei der Konstruktion eines Wasserkraftwerks mit der Strukturlegetechnik dar. Jeder Punkt stellt eine Handlung dar. Hellblau hinterlegte Linien bedeuten, dass an dieser Stelle analytische Denkoperationen stattfinden; lilafarben hinterlegte Linien zeigen synthetische Denkoperationen. Nach 6 Sekunden beginnt der Schüler sich die Karten anzuschauen und trifft nach 14 Sekunden die erste Auswahl. Es folgen zwei weitere Auswahlen bevor nach 36 Sekunden die ersten Anordnungen stattfinden.

Nach 1 Minute und 46 Sekunden folgt auf eine Auswahl direkt eine Anordnung, ebenso nach 2 Minuten und 3 Sekunden, welche mit der Anordnung mit der letzten Karte (in diesem Fall der Stadt) abschließt. Insgesamt finden 12 Auswahlereignisse und 6 Anordnungsereignisse statt, wobei bei den längeren Zeitspannen einer Anordnung mehrere Teilsysteme miteinander kombiniert wurden.

# 5 Diskussion

## 5.1 Erhebungsinstrument und technisches Verständnis

Auch wenn das Erhebungsinstrument keinem psychologischen Test gleichzustellen ist, soll an dieser Stelle auf die Testgütekriterien (Objektivität, Reliabilität und Validität) eingegangen werden. Ziel war es, ein motivierendes, leicht handhabbares, fast alters- und lesekompetenzunabhängiges Instrument zu erfinden, mit dem technisches Verständnis ohne konkretes Handeln am Objekt in der Primar- und Sekundarstufe untersucht werden kann. Ein Paper-Pencil-Testverfahren zum Abfragen des mechanisch-technischen Verständnisses wie es beispielsweise von Hegarty et al. (1988) verwendet wurde, wäre für diese Altersstufen nicht einsetzbar gewesen. Hegarty et al. (1988) setzten Zeichnungen und schematische Skizzen als Item[7]-Material an Studenten (‚*undergraduate students*‘, ‚*students at university*‘ und ‚*students at college*‘) ein und testeten demnach wesentlich ältere Probanden. Vergleichbare schematische Skizzen wären für die Primar- und Sekundarstufenschüler/-innen zu komplex gewesen. So entstanden für diese Studie kein Fragebogen und auch kein Test mit verschiedenen Items, sondern bebilderte Karten, die nach analytischen und synthetischen Denkoperationen in eine Reihenfolge miteinander in Verbindung gebracht werden sollten.

Der **Durchführungsobjektivität** konnte Folge geleistet werden, da ein ausführliches Instruktionsmanual der Testautorin erstellt wurde (vgl. Anhang 8.2) und diese selbst die meisten Erhebungen (18 von 20) durchgeführt hat. Um jedoch auch weitere Testleiter/-innen einsetzen zu können, wurden diese in einer Schulung in die Durchführung, das Manual und die Bedingungen detailliert eingewiesen. Somit war der Ablauf jeder durchgeführten Erhebung standardisiert. Ebenso hat für die **Auswertungsobjektivität** eine Schulung aller studentischen Hilfskräfte stattgefunden. Es wurde ein online Fragebogen erstellt (vgl. Anhang 8.2), in den alle Antworten und personenbezogenen Daten eingespeist wurden, so dass es fast mit einem Multiple-Choice-Format vergleichbar war. Alle 428 Ergebnisfotos wurden von insgesamt vier Personen zweimal eingespeist und im

[7] Items sind Fragen in Fragebögen oder Aufgaben in Tests.

zweiten Durchgang jeweils von einer anderen Person ausgewertet. Die Interrater-Reliabilität liegt mit einem Wert für Cohens Kappa von 0,827 bei einer sehr guten Übereinstimmung. Eine Messung der **Reliabilität** erweist sich durch das gegebene Erhebungsinstrument als schwierig. Dadurch, dass kein konkretes Testformat (Fragebogen oder Test) mit verschiedenen Items zugrunde liegt, konnte auch die interne Konsistenz der Items, also deren Zusammenhang, nicht gemessen werden. Verschiedene Denkoperationen in einem Prozess durch interne Korrelationen zu beurteilen widerspräche der zugrundeliegenden Logik der Erhebung. Aufgrund der realen Konstruktionshandlungen handelt es sich um verschiedene Denkoperationen, die keine interne Konsistenz aufweisen können. Die **Inhaltsvalidität** wurde durch eingehendes Studium der verschiedenen Kernlehrpläne der Fächer Sachunterricht und Arbeitslehre bzw. Technik für die Grund- und Gesamtschulen festgelegt. In beiden Schulstufen ist der Gegenstandsbereich i.w.S. curricular vorgegebener Inhalt. Sie behandeln das Thema Energie und Ressourcen u.a. am Beispiel erneuerbarer Energien. Die **Konstruktvalidität** ist theoretisch durch die Systemtheorie von Ropohl (1999) fundiert, da die zu messenden technischen Denkoperationen auf deren Basis gebildet wurden. Weiterhin konnte durch die Aufnahme der Erhebungssituation einzelner Probanden mit einer Eye-Tracking-Brille und lautem Denken die Gültigkeit der Durchführung der Erhebung belegt werden. Die Analysen der Aufnahmen zeigen eindeutig, dass die mit dem Erhebungsinstrument geplanten angewandten Denkoperationen in der Praxis sehr gut wiedergespiegelt werden.

Die Schüler/-innen der besuchten Grund- und Gesamtschulen haben ein durchschnittliches **technisches Verständnis** über die Funktionsprinzipien eines Wasserkraftwerks. Das lässt schließen, dass das Niveau der durchgeführten Erhebung moderat ist, demnach also den Ansprüchen sowohl der Primar- als auch der Sekundarstufe I entspricht und die Spannweite des technischen Verständnisses gut abdeckt. Für Schüler/-innen der Grundschule fand auch schon Möller (2010) heraus, dass sie bereits in der Lage sind, konstruktiv und eigenständig technische Problemlösungen zu suchen und daraus Erkenntnisse über technische Funktionsprinzipien gewinnen können. Auch die Ergebnisse der Kategorien deuten auf ein insgesamt moderates technisches Verständnis in Bezug auf die synthetischen Denkoperationen aller Schüler/-innen hin. Die meisten Schüler/-innen sind in der Kategorie 2, mit teilweise zusammenhängenden, funktionsfähigen Teilsystemen aber unterbrochenem Energiefluss. Fast die Hälfte aller Sekundarstufenschüler/-innen

und fast ein Drittel der Primarstufenschüler/-innen kombinieren die Teilsysteme mit nur einer (Kategorie 3) oder keiner Unterbrechung des Energieflusses (Kategorie 4). Unabhängig von den analytischen Denkoperationen ist das technische Verständnis demnach gut. Was bei den gelegten häufig unterbrochenen Energieflussketten auffällt ist, dass die Wandlung der mechanischen zur elektrischen Energie selten richtig kombiniert wird und demnach oft nicht verstanden ist. In der Primarstufe ist dieses Ergebnis etwas deutlicher als in der Sekundarstufe I. Die Schüler/-innen haben also vermutlich ein technisches Verständnis dafür, wie die mechanische Energieweiterleitung – in Form der Wasserweiterleitung – stattfindet und die elektrische Energieweiterleitung – über Transformatoren und Stromleitungen – funktioniert, haben jedoch das Hauptprinzip eines Kraftwerks – die Wandlung von mechanischer zu elektrischer Energie durch einen Generator – nicht verstanden. Die Wandlung ist ein Phänomen, dass sich nicht direkt aus der Erfahrungswelt der Kinder erschließen lässt. Sie setzt ein hohes Abstraktionsvermögen voraus, dass u.U. eher in der Sekundarstufe I vorauszusetzen ist. Auf den Vergleich bzw. die Entwicklung des technischen Verständnisses wird im folgenden Kapitel detailliert eingegangen.

Bei einer getrennten Betrachtung der **analytischen und synthetischen Denkoperationen** in Punkten fällt auf, dass die Schüler/-innen in den synthetischen Denkoperationen etwas schlechter abschneiden als in den analytischen. Dies kann daran liegen, dass die Schüler/-innen tatsächlich mehr Schwierigkeiten mit den synthetischen als mit den analytischen Denkoperationen hatten, oder aber es könnte auch am stochastischen Problem liegen, das auf der angewendeten Strukturlegetechnik beruht.

Für analytische Denkoperationen besteht eine 50-prozentige Chance das richtige Teilsystem ausgewählt zu haben. Für synthetische Denkoperationen gibt es jedoch deutlich mehr Kombinationen und eine zufällige Anordnung ist dadurch sehr viel weniger wahrscheinlich. Wenn ein Kind x Karten nutzt und eine Karte mit jeder anderen kombiniert werden kann, dann hat das Kind $x!$ (Fakultät) Möglichkeiten, sie zu kombinieren. Beispielsweise hat es insgesamt sieben Karten ausgewählt und damit 5.040 Kombinationsmöglichkeiten. Weiterhin verzerrt die Häufigkeit des Erreichens der vollen Punktzahl bei den synthetischen Denkoperationen vermutlich das Gesamtbild. Vielleicht ist es wahrscheinlicher, wenn man in der Lage ist, synthetisch zu denken, dass sich dies dann auch in der kompletten Abfolge der zu kombinierenden Teilsysteme widerspiegelt und

somit alle Punkte erzielt werden können. Wenn eine Schülerin oder ein Schüler es kann bzw. versteht, dann meist alles.

Die Auswahl hingegen ist ein Prozess für sich, der jedes Mal aufs Neue stattfindet und nicht zwingend mit den vorherigen Entscheidungen zusammenhängen muss. Weder in der Primar- noch in der Sekundarstufe I wurde ein Teilsystem deutlich häufiger richtig gewählt als ein anderes. Die Wasserturbine mit Schaufeln ist von beiden am häufigsten richtig gewählt worden, da ihr Pendant, die Wasserturbine ohne Schaufeln, vermutlich im Sinne der Schüler/-innen am unsinnigsten war. Die vergleichsweise hohe Prozentzahl von Schüler/-innen, die den Hochspannungstransformator richtig gewählt haben, ist verwunderlich, da die Transformatoren an sich die größten Unsicherheiten hervorgerufen haben (Zusatzinformationen von insgesamt 83% aller Schüler/-innen gelesen). Es könnte vielleicht daran liegen, dass der Begriff „Hochspannung“ geläufiger war als „Niederspannung“, da man im Alltag auch von Hochspannungsleitungen, -masten oder Ähnlichem spricht.

Die meisten Schüler/-innen kombinieren einen Stausee mit einer Wasserleitung richtig. Dies liegt sicherlich auch dem tatsächlichen technischen Verständnis dieser Teilsystemkombination zugrunde. Gerade diese beiden Karten haben aber auch einen Puzzlecharakter, da am Stausee bereits eine Abflussleitung eingezeichnet ist. Die sich anschließende Kombination einer Wasserleitung mit einer Wasserturbine könnte auch durch die Überschriften beeinflusst worden sein. Der Stoff, der transportiert wird, wird hier im Titel der Karte erwähnt: Wasser. Durch Alltagserfahrungen mit z.B. Wasserrädern könnte diese Teilsystemkombination aber auch logisch erscheinen. In einer erneuten Erhebung würde man demnach auf diese „Verzerrquellen“ verzichten und den Wasseraustritt oder die Richtung der Wasserleitung verändern und die Begrifflichkeiten sensibler wählen. Erst zum Ende der Abfolge steigt die Zahl der Schüler/-innen, die die Kombination richtig gelegt haben, sowohl in der Primar- als auch der Sekundarstufe I wieder: Ein System, das die elektrische Energie zur Stadt leitet, wurde am zweithäufigsten (nach der Kombination Stausee mit Wasserleitung) kombiniert. Dies basiert u.U. auch auf der Formulierung der Aufgabenstellung, nämlich dass die Stadt mit elektrischer Energie versorgt werden solle. Ein Energietransporter, der „elektrische Energiequellen von einem Ort zum anderen“ transportiert passt hier ebenso gut wie eine Stromleitung, die „elektrische Energie mit hoher Spannung von einem Ort zum anderen“ leitet. Außerdem sind den Kindern

ganz sicher die Hochspannungsleitungen bzw. Stromleitungen aus ihrer Umwelt bekannt. Sie sind in der Nähe von Städten zu finden, ebenso wie LKW. Am kryptischsten erscheint den Schüler/-innen die Teilsystemkombinationen im mittleren Bereich, was die Senke bzw. das Tal der Balken in den Diagrammen (Abbildung 17 und Abbildung 29) widerspiegelt. Auf die Deutung dieses Befundes wird im folgenden Kapitel der Entwicklungsprozesse näher eingegangen.

Die erreichte Gesamtpunktzahl (das technische Verständnis) wird weder in der Primar- noch der Sekundarstufe I von der Angabe, ob bereits ***Vorwissen*** über ein Wasserkraftwerk vorhanden war oder nicht, beeinflusst. Man würde vermuten, dass Vorwissen über Kraftwerke zu einer Erhöhung der Punktzahl führen könnte. Was die Kinder jedoch beim Ankreuzen des entsprechenden Feldes als Vorwissen bezeichnen, bleibt ungewiss und wurde mit dem hier verwendeten Frageformat nicht erfasst. Vielleicht haben sie einmal von einem Wasserkraftwerk im Fernsehen gehört oder bei einem Familienausflug sogar Wasserräder in Aktion gesehen. Das muss jedoch nicht zwingend dazu führen, dass sie die technischen Vorgänge dadurch nachvollzogen haben, diese transferieren und die Aufgabe deswegen besser bearbeiten können. Auch die Anzahl der gelesenen ***Zusatzinformationen*** hat keinen Einfluss auf die erreichte Gesamtpunktzahl der Schüler/-innen. Dies ist verwunderlich, da man annehmen würde, dass durch die Aufnahme der Zusatzinformationen die Ergebnisse hätten besser werden können. In beiden Schulstufen haben sowohl Schüler/-innen, die eine oder keine Zusatzinformation genutzt haben, als auch Schüler/-innen, die fast alle Informationen gelesen haben, die volle Punktzahl erzielt. Es ist zu vermuten, dass unterschiedliche Lösungsstrategien der einzelnen Schüler/-innen diesen erwarteten Vorteil durch das Lesen der Zusatzinformationen überdecken. Einige Schüler/-innen möchten sichergehen und lesen trotz des richtigen Ergebnisses die Zusatzinformationen. Andere sind sich sicher und lesen die Informationen deswegen nicht und haben ebenfalls alles richtig. Oder auch umgekehrt bei einem schlechten Ergebnis: einige lesen viele Informationen, können diese aber nicht anwenden/umsetzen und dadurch nicht mehr Punkte erzielen oder lesen nichts und schaffen es so erst recht nicht, vieles richtig zu machen. Inhaltlich werden vor allem (>30%) Karten des Umwandlungsprozesses und der elektrischen Energieweiterleitung gelesen. Wohingegen die Informationen der Wasserleitungen, Stauseen oder Stromleitung von weniger als 20% der Schüler/-innen gelesen werden. Dies hängt sicherlich damit zusammen, dass die Funktionen oder Erscheinungen

weniger häufig gelesener Teilsysteme (Stauseen, Wasserleitungen, Stromleitung und Stadt) den Kindern aus ihrem Alltag bekannt sind oder der Name sie verrät und sie dadurch meinen, keine weiteren Informationen beziehen zu müssen. Die Funktionen oder internen Abläufe der Wandlungsteilsysteme oder auch der Teilsysteme, die die elektrische Energie weitertransportieren, sind vermutlich eher unbekannt und kryptisch. „Was macht eine Turbine?“, „Wie funktioniert ein Generator oder was ist das?“, „Was genau macht ein Motor?“, „Was ist ein Hoch- oder Niederspannungstransformator?“ und „Was macht ein Energietransporter?“ sind Fragen, die die Kinder sich stellen könnten und die sie dazu motivieren, diese Zusatzinformationen häufiger zu lesen, als die der geläufigeren Teilsysteme. Auch beim Anschauen der Videoaufnahmen der Schüler/-innen fällt auf, dass einige Schüler/-innen Schwierigkeiten beim Lesen des Wortes „Hochspannungstransformator“ hatten, was ebenfalls die Unbekanntheit des Teilsystems suggeriert.

## 5.2 Entwicklung des technischen Verständnisses

Das technische Verständnis hat sich von der Primar- zur Sekundarstufe I weiterentwickelt. Sekundarstufenschüler/-innen erreichen mehr Punkte als Primarstufenschüler/-innen. Die Effektstärke ist im moderaten bis annähernd hohen Bereich ($d$ = 0,364). Nach Hattie (2009) liegt der Wert der Effektstärke genau in dem Bereich (0,15 bis 0,4), den er Schulbesuchseffekten zuschreibt. Dementsprechend haben die Sekundarstufenschüler/-innen den durchschnittlichen Lernzuwachs eines Schuljahres. Dies lässt zunächst annehmen, dass die Schüler/-innen von der Primarstufe zur Sekundarstufe I zu wenig dazugelernt haben, da die Daten in der 4. und 6./7. Klasse erhoben wurden und mindestens ein Schuljahr dazwischenliegt, wenn nicht sogar zwei. Aber wenn man die Stundenverteilung des Technikunterrichts an den Gesamtschulen genauer betrachtet, fällt auf, dass in den Jahrgangsstufen 5 und 6 zum Teil kein oder nur ein Halbjahr Technikunterricht stattfindet (vgl. Tabelle 3, S.33). Folglich entspricht das Ergebnis, dass der Lernzuwachs dem eines Schuljahres entspricht, genau den Erwartungen. Unser Schulsystem scheint also eo ipso zu funktionieren. Was jedoch nicht übersehen werden sollte ist, dass der Punkteunterschied im Mittel nur einen Punkt beträgt. Die Ergebnisse der Grundschüler/-innen sind also nicht so weit entfernt – nur 1/12 – von denen der Gesamtschüler/-innen. Der Technikunterricht muss jedoch nicht die einzige Variable sein, die zu dieser Entwicklung bei-

trägt. Die Reifungsprozesse, die in der großen Altersspanne (8-14 Jahre) stattfinden, führen auch zu einer Weiterentwicklung des abstrakten Denkens. Nach Piaget sind Kinder von sieben bis zwölf Jahre in ihrem konkret-operationalen Stadium (vgl. Hoppe-Graff 2014). Sie werden fähig, über konkrete Objekte und Ereignisse logisch nachzudenken. Sie verstehen beispielsweise, dass beim Umschütten von Wasser von einem in ein anderes schmaleres höheres Glas die Wassermenge unverändert bleibt. Es fällt ihnen jedoch schwer, wissenschaftliche Experimente zu entwickeln, um dies zu überprüfen und in rein abstrakten Begriffen zu denken; das systematische Denken bleibt äußerst schwierig. Kinder ab zwölf Jahren können schon in der letzten Phase der kognitiven Entwicklung, im formal-operationalen Stadium, sein, in der sie fähig werden, abstrakt und hypothetisch zu denken. Sie können dann rein hypothetische Situationen und Abstraktionen in systematisch wissenschaftlichen Experimenten durchführen und Schlüsse ziehen (Siegler et al. 2016). Neben den Entwicklungspsychologischen Gründen kann auch in der schulischen Umgebung weiter nach Ursachen für diese Weiterentwicklung des technischen Verständnisses geschaut werden. So werden die Schüler/-innen nicht nur im Technikunterricht mit systemischen Denkoperationen konfrontiert, sondern auch in den Naturwissenschaften. Im Kernlehrplan Naturwissenschaften (Biologie, Chemie, Physik) an der Gesamtschule ist das *System* als Basiskonzept im Lernbereichsunterricht Naturwissenschaften integriert: „Das Basiskonzept *System* fokussiert in den Fächern Biologie und Physik auf unterschiedliche, allerdings sich ergänzende und nicht gegensätzliche Gesichtspunkte, verdeutlicht also neben Gemeinsamkeiten auch spezifische Sichtweisen der Einzelwissenschaften“ (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen 2013b). Unter dem Basiskonzept *System* sind beispielsweise im Inhaltsfeld und Schwerpunkt *Lebensräume und Lebensbedingungen (1)* in Jahrgangsstufe 5/6 ‚Nahrungsketten‘ und im Inhaltsfeld *Stoffe und Geräte des Alltags (5)* u.a. die ‚Funktion einzelner Geräte‘ genannt. In Jahrgangsstufe 7/8 folgt das Inhaltsfeld *Ökosysteme und Ressourcen (7)* (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen 2013b). Ein Lernzuwachs des systemischen Denkens unabhängig vom Technikunterricht kann demzufolge auch und/oder zusätzlich darauf basieren. Dessen ungeachtet ist Technikunterricht wichtig, da beispielsweise gesellschaftliche und wirtschaftliche Aspekte technischer Anwendungen von reinen Naturwissenschaften nicht abgedeckt werden.

Bei einer getrennten Betrachtung der Entwicklung der ***analytischen und synthetischen Denkoperationen***, die dem technischen Verständnis zugrunde liegen, sind zunächst keine Abweichungen zum Gesamtergebnis erkennbar. Sowohl in den analytischen als auch in den synthetischen Denkoperationen haben Entwicklungsprozesse von der Primar- zur Sekundastufe I stattgefunden. Die Sekundarstufenschüler/-innen erreichen eine signifikant höhere Punktzahl als die Primarstufenschüler/-innen. Jedoch ist der Effekt der Schulstufe auf die synthetischen Denkoperationen größer als auf die analytischen Denkoperationen. Nach erneuter Aufspaltung der analytischen Denkoperationen in die technischen Elementarfunktionen Speicherung, Transport und Wandlung und die synthetischen Denkoperationen in die mechanischen, mechanisch-elektrischen und elektrischen Teilsystemkombinationen lassen sich die Signifikanzen weiter aufschlüsseln. In den analytischen Denkoperationen Speicherung und Transport haben keine signifikanten Entwicklungsprozesse der Grundschüler/-innen stattgefunden. Es sind nur signifikante Lernzuwächse im Bereich der Elementarfunktion ***Wandlung*** zu erkennen. Vermutlich wurde dieser Thematik im Unterricht von der vierten bis zur siebten Klasse das größte Augenmerk beigemessen. Die Thematik der technischen Funktion Wandlung lässt sich – im Gegensatz zur Speicherung und zum Transport – nicht direkt aus dem Erfahrungsfeld der Kinder erschließen und erfordert hohe Abstraktionsleistungen. Die meisten Grundschüler/-innen haben Schwierigkeiten, das Konzept der Wandlung einer physikalischen Größe, bei dem durch ein technisches System die Eingangsgröße zu einer anderen Ausgangsgröße gewandelt wird (zum Beispiel mechanische in elektrische Energie), zu verstehen. Womöglich ist ihnen beispielsweise das Prinzip des Dynamos eines Fahrrads bekannt, dass dieser jedoch genau dies tut, nämlich mechanische zu elektrische Energie wandelt und damit ebenfalls ein Wandlungssystem darstellt, ist ihnen fremd. Somit ist eine Übertragung des Wissens auf den Generator eines Wasserkraftwerks nicht möglich, das technische Verständnis fehlt. Ebenso stellt das Verständnis der Wandlung der elektrischen Energie mit niedriger Spannung auf eine höhere Spannung (für den verlustfreieren Transport der elektrischen Energie) und umgekehrt (für die Einspeisung in die Haushalte) durch einen Transformator ein Problem vor allem für die Grundschüler/-innen dar. Dieser Aspekt musste jedoch mit in die Erhebung aufgenommen werden, um besonders leistungsstarke Schüler/-innen – vor allem innerhalb der Sekundarstufe I – differenzieren zu können. Eindeutig ist das Ergebnis der synthetischen Denkoperationen. Hier fällt auf,

dass sich die Entwicklungsprozesse der Grundschüler/-innen auf einen deutlich größeren Inhaltsbereich beziehen, was auch die größere Effektstärke widerspiegelt. Alle Teilsystemkombinationsbereiche weisen signifikante Unterschiede auf. Der deutlichste Zuwachs hat, entsprechend dem Lernzuwachs in der Wandlung, in der mechanisch-elektrischen Teilsystemkombination stattgefunden. In der Sekundarstufe I haben 13% der Schüler/-innen mehr als in der Primastufe die Wasserturbine mit einem Wandlungssystem kombiniert. Möller (2000) betont jedoch, dass auch jüngere Kinder bereit und in der Lage seien, sich intensiv und ernsthaft auf technische Fragen und Probleme einzulassen. Orientiert an konkreten Sachverhalten gelingen Primarstufenschüler/-innen produktive und eigenständige Lösungen. Hier wäre es Aufgabe des Sachunterrichts (in der technischen Perspektive) in der Grundschule bereits grundlegende Prinzipien der Wandlung von Energie einzuführen und zum Beispiel an Alltagsgegenständen (z.B. Dynamo, Auto, Glühbirne) den Kindern zu erklären.

Betrachtet man die Angaben des ***Vorwissens*** der Schülerinnen und Schüler, fällt auf, dass Sekundarstufenschüler/-innen bei der Aussage, welches Vorwissen (ohne, Schule, Familie, Medien) zum Lösen der Aufgabe herangezogen wurden, signifikant häufiger „Schule“ angeben als Primarstufenschüler/-innen. Die Sekundarstufenschüler/-innen, die aufgepasst haben, haben anscheinend dazugelernt. Für die Angaben „Familie“ und „Medien“ liegen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Schulstufen vor. Fast ein Drittel der Schüler/-innen kreuzen Familie und/oder Medien an. Demnach haben also auch die Medien und die Familie positive Effekte auf das technische Verständnis, nicht direkt jedoch auf dessen Weiterentwicklung. Dass die Aufgabe ohne Vorwissen gelöst wurde, haben Primarstufen- und Sekundarstufenschüler/-innen gleicherweise angekreuzt (40%). Man hätte annehmen können, dass Primarstufenschüler/-innen häufiger „ohne Vorwissen“ angeben, da sie durch ihr geringeres Alter weniger Zeit hatten Vorwissen zu erlangen, aber diese Angabe ist vermutlich sehr subjektiv und individuell.

Bei der Anzahl der gelesenen ***Zusatzinformationen*** liegt eine Tendenz dahingehend vor, dass Primarstufenschüler/-innen signifikant mehr Informationen lesen als Sekundarstufenschüler/-innen. Dies kann zweierlei Gründe haben: einerseits haben sie in Schule und sozialem Umfeld weniger Zeit gehabt, Vorwissen zu beziehen und lesen deswegen mehr, andererseits sind sie verunsicherter als Sekundarstufenschüler/-innen und lesen tendenziell lieber mehr.

## 5.3 Geschlechterunterschiede im technischen Verständnis

Das Geschlecht nimmt auf den Punkteunterschied bei der Gesamtbetrachtung des technischen Verständnisses nur einen geringen Einfluss. Allein in der Primarstufe lässt sich dieser Unterschied nur mit einer Tendenz zur Signifikanz nachwiesen. Die Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I unterscheiden sich in ihrer erreichten Gesamtpunktzahl statistisch gar nicht. Jungen wird schon von Kind an nachgesagt, sich mehr für Technik zu interessieren (Hoffmann 2002; Kreienbaum & Metz-Göckel 1992). Mädchen hingegen haben nicht zwingend weniger technische Fähigkeiten, jedoch ein geringeres Selbstkonzept bzw. weniger Selbstvertrauen als Jungen (Häußler & Hoffmann 1995). Weshalb in der Primarstufe tendenziell eher ein Unterschied vorliegt als in der Sekundarstufe I ist nicht leicht zu begründen. Theoretisch sind die Geschlechterunterschiede mit geringerem Alter noch weniger groß (Baumert & Geiser 1996), was aber gegen das Ergebnis der Schulstufen spricht. Vielleicht sind dieser Aufgabentyp und das abgefragte technische Verständnis für beide Geschlechter unabhängig vom Alter die gleiche Herausforderung.

Interessant ist, dass dieser Unterschied bei separater Betrachtung der analytischen und synthetischen Denkoperationen klarer hervortritt. Schulstufenunabhängig liegt in der erreichten Punktzahl der analytischen Denkoperationen kein signifikanter Unterschied zwischen Mädchen und Jungen vor. Sie erzielen im Mittel beide etwas mehr als die Hälfte der Punktzahl. Auch bei der Trennung der technischen Elementarfunktionen des analytischen Denkens in Speicherung, Transport und Wandlung sind in keiner der Funktionen Unterschiede zwischen Mädchen und Jungen nachweisbar. Die einzelnen Vorstellungen, die bei der Auswahl eines Teilsystems zugrunde liegen, sind vermutlich sehr individuell und nicht vom Geschlecht abhängig. Bei den synthetischen Denkoperationen jedoch ist der Geschlechterunterschied hoch signifikant. Jungen haben durchschnittlich mehr als einen halben Punkt mehr als Mädchen. Der Effekt ist moderat bis annähernd hoch. Nach Hattie (2009) liegt das Effektmaß im Bereich der Schulbesuchseffekte. Man könnte demnach behaupten, dass Jungen in synthetischen Denkoperationen den Mädchen um ein Schuljahr voraus sind.

Bei der Separierung der synthetischen Denkoperationen in mechanische, mechanisch-elektrische und elektrische Teilsystemkombinationen fällt auf, dass die Jungen zwar in den mechanischen und mechanisch-elektrischen Kombinationen besser sind als

die Mädchen, in den elektrischen Teilsystemkombinationen jedoch nicht. Was der Grund hierfür ist, kann nur spekuliert werden. Vielleicht konnten die Jungen in ihrer Entwicklung mehr Erfahrungen in mechanischen Bereichen sammeln, so dass die Kombinationen eines Stausees mit der Wasserleitung und einer Wasserleitung mit einer Turbine intuitiver sind als für Mädchen. Im Alter von zwei bis drei Jahren entwickeln Mädchen und Jungen bereits ihre geschlechterspezifischen Vorlieben. Jungen spielen mit technischem Spielzeug (Bauklötze und Fahrzeuge), Mädchen häufiger mit Puppen und Stofftieren (Turja et al. 2009). Hallström et al. (2015) berichten, dass Mädchen zwar auch etwas bauen, das Gebaute aber einem spezifischen Zweck in ihrem Spiel diene, wohingegen Jungen bauen um des Bauens wegen. Vielleicht haben Jungen aus diesen Gründen häufiger mit Wasser und dessen Weiterleitung gespielt und damit mehr Verständnis für die mechanischen und mechanisch-elektrischen Abläufe des Wasserkraftwerks. Hingegen könnte Elektrizität etwas sehr Spezielles sein, das weder Mädchen noch Jungen mehr in ihrem Alltag integrieren und deren Kenntnis eher von geschlechterunspezifischen schulischen Erfahrungen abhängig ist, die beide Geschlechter gleichwohl gemacht haben. Häußler und Hoffmann (1995) konstatieren geschlechterunterschiedliche Interessen gegenüber dem Gebiet der Elektrizität, wobei Interesse nicht gleichzusetzen ist mit einem Verständnis. Jungen interessieren sich für Inhalte der Elektrizität und Energie, Technik und Chemie, Mädchen dagegen für Inhalte der Humanbiologie (Elster 2007). Somit bleibt es ungewiss und spekulativ, weshalb die elektrischen Teilsystemkombinationen geschlechtsunspezifisch gelöst werden.

Schulstufenunabhängig gibt es eine Tendenz dahingehend, dass Mädchen häufiger ankreuzen, die Aufgabe ohne ***Vorwissen*** gelöst zu haben als Jungen. In der Sekundarstufe I ist dieser Unterschied signifikant. In der Primarstufe liegt kein Unterschied vor. Jugendliche Jungen (14-17 Jahre) interessieren sich mehr für Technik und Energie als jugendliche Mädchen (Elster 2007; Häußler & Hoffmann 1995). Die Interessen der Mädchen in Bereichen der Technik sind mit steigendem Alter (vor allem vor oder während der Pubertät) geringer als die der Jungen. Koch und Winker (2003) beschreiben Technik als etwas Männliches und dadurch vor allem in der Pubertät von Mädchen Gemiedenes, in der Zeit, in der sich ihre eigene Geschlechtsidentität entwickelt. Dafür spricht auch das Ergebnis, dass Jungen (45%) der Sekundarstufe I signifikant häufiger als Mädchen (18%) ankreuzen, ihr Vorwissen aus den Medien bezogen zu haben. Jungen interessieren sich mehr für

technische Themen als Mädchen (Jakobs & Ziefle 2010; Mammes 2009) und nehmen dadurch Sachinformationen aus den Medien vermutlich bewusster auf als Mädchen oder suchen sogar gezielt danach. Sie lesen eher zielorientiert z.B. Sachbücher und empfinden Freizeitlesen von Romanen eher mädchenhaft (Müller-Walde 2005). Lampert et al. (2007) bestätigen, dass Jungen in einem Alter von 11 bis 13 Jahren mehr Zeit mit Computer/Internet verbringen als Mädchen. Fernsehen und Video schauen ist jedoch bei beiden Geschlechtern gleich populär, wobei die Inhalte außer Acht gelassen wurden. Auch die elterliche Sozialisation hat großen Einfluss auf die Vorlieben der verschiedenen Geschlechter. Mädchen werden eher künstlerisch-musisch und sprachlich gefördert und kommen weniger mit technischem Spielzeug in Berührung (Hannover et al. 1992); Jungen werden ermutigt sich mit Naturwissenschaften und Technik zu befassen (Baumert & Geiser 1996; Jakobs & Ziefle 2010; Kreienbaum & Metz-Göckel 1992).

Mädchen lesen unabhängig von der Schulstufe mehr ***Zusatzinformationen*** als Jungen. Dies könnte daran liegen, dass Mädchen in technischen Bereichen unsicherer sind – ein niedrigeres Selbstkonzept haben – als Jungen (Hoffmann et al. 1998; Jakobs & Ziefle 2010; Koch & Winker 2003). In der Primarstufe ist dieser Geschlechterunterschied noch nicht gegeben. Entsprechend fällt das Ergebnis (schulstufenunabhängig und in der Sekundarstufe I), wer häufiger keine Informationen liest, aus: Jungen. In der Primarstufe unterscheiden sich die Geschlechter möglicherweise noch nicht, weil Mädchen jüngeren Alters noch weniger skeptisch gegenüber naturwissenschaftlich-technischen Themen sind. Die Sozialisation wird mit steigendem Alter vermutlich einen wachsenden Einfluss nehmen. Sie beeinflusst die Herausbildung der Differenzen der Geschlechterkonstruktion im Bereich Naturwissenschaft und Technik (Kucklich 1994). Baumert und Geiser (1996) beschreiben ab einem Alter von zehn Jahren einen geschlechtsspezifischen Unterschied im Umgang mit technischen Objekten. Inhaltlich unterscheidet sich schulstufenunabhängig nur die Häufigkeit des Lesens der Information des Energietransporters zwischen den Geschlechtern: Mädchen lesen diese häufiger als Jungen. Alle anderen Teilsysteme werden geschlechterunspezifisch mehr oder weniger häufig gelesen. Vielleicht sind gerade bei einem „Symbol“ eines LKW die Jungen eher davon überzeugt, Inhalte zu kennen als Mädchen. Gerade Jungen werden schon von Kind an mit Fahrzeugen konfrontiert und dazu angehalten, damit zu spielen (Hoffmann et al. 1998; Wünsch 1988). In der Primarstufe gibt es keine Zusatzinformation eines Teilsystems, das von einem der Geschlechter

häufiger gelesen wird. Erst in der Sekundarstufe I lesen die Mädchen neben dem Energietransporter auch die Information einer Wasserleitung häufiger als die Jungen. Leider ist aufgrund der identischen Zusatzinformation der geraden und der geschwungenen Wasserleitung (Looping) nicht möglich zu differenzieren, welche Zusatzinformation häufiger gelesen wurde. Warum mehr als doppelt so viele Mädchen der Sekundarstufe I aber diese Informationen lesen als Jungen, ist nicht eindeutig zu klären. Vermutlich hängt auch dies wieder mit dem höheren technischen Selbstkonzept der Jungen zusammen. Mädchen schätzen ihre eigenen Kompetenzen in Bezug auf Technik oft schlechter ein als Jungen, obwohl sie vergleichbare Kenntnisse haben (Schuster et al. 2004; Walter 1998).

# 6 Fazit

## 6.1 Beantwortung der Forschungsfragen

Die in Kapitel 2 formulierten Forschungsfragen werden im Folgenden nochmals aufgeführt und beantwortet.

**F1: Auf welchem Niveau ist das technische Verständnis über ein Wasserkraftwerk bei Schülerinnen und Schülern in der 4. Klasse?**

Es zeigt sich, dass Primarstufenschüler/-innen ein durchschnittliches technisches Verständnis haben. Analytische Denkoperationen scheinen Ihnen etwas leichter zu fallen als synthetische Denkoperationen. Besonders der Vorgang der Energiewandlung scheint Primarstufenschüler/-innen Schwierigkeiten zu bereiten. Sie schaffen es, einzelne mechanische oder elektrische Teilsysteme eines Wasserkraftwerks richtig miteinander zu kombinieren, seinen Kern, den Generator, der die elektrische Energiegewinnung erst ermöglicht, haben jedoch nur wenige erschlossen.

***F1a: Ist das technische Verständnis über ein Wasserkraftwerk bei Primarstufenschüler/-innen von deren Angabe des Vorwissens abhängig?***

Die Angabe des Vorwissens der Primarstufenschüler/-innen hat keinen Einfluss auf das technische Verständnis und auch keinen auf die separaten analytischen oder synthetischen Denkoperationen.

***F1b: Ist das technische Verständnis über ein Wasserkraftwerk bei Primarstufenschüler/-innen von deren Nutzung der Zusatzinformationen auf den Kartenrückseiten abhängig?***

Primarstufenschüler/-innen, die keine Zusatzinformationen gelesen haben, haben im Mittel die gleiche Gesamtpunktzahl wie die, die welche gelesen haben. Es besteht kein Zusammenhang zwischen der Anzahl der gelesenen Zusatzinformationen und der erreichten Gesamtpunktzahl. Somit haben die Zusatzinformationen in der Primarstufe keinen Einfluss auf das technische Verständnis der Schüler/-innen. Dies trifft auch zu, wenn man analytische und synthetische Denkoperationen zum technischen Verständnis getrennt betrachtet.

**F2: Auf welchem Niveau ist das technische Verständnis über ein Wasserkraftwerk bei Schülerinnen und Schülern in der 6./7. Klasse?**

Sekundarstufenschüler/-innen haben ein moderates bis leicht über dem Durchschnitt liegendes technisches Verständnis über die Abläufe in einem Wasserkraftwerk. Sie haben in den analytischen Denkoperationen durchschnittliche Punktzahlen erreicht und im Mittel mehr als die Hälfte der Teilsysteme eines Wasserkraftwerks richtig ausgewählt. In den synthetischen Denkoperationen scheinen noch große Unterschiede zwischen den einzelnen Sekundarstufenschüler/-innen zu existieren. Die Verteilung der erzielten Punkte für die richtigen Teilsystemkombinationen ist unsymmetrisch. Unter anderem haben doppelt so viele Schüler/-innen der Sekundarstufe I die volle Punktzahl in den synthetischen Denkoperationen erreicht als in den analytischen. Die Vorstellung der elektrischen Energieweiterleitung scheint Sekundarstufenschüler/-innen schwer zu fallen; die Wandlung von mechanischer zu elektrischer Energie können sich einige erschließen.

***F2a: Ist das technische Verständnis über ein Wasserkraftwerk bei Sekundarstufenschüler/-innen von deren Angabe des Vorwissens abhängig?***

Die Angabe des Vorwissens der Schüler/-innen hat in der Sekundarstufe I keinen Einfluss auf das technische Verständnis. Viele Sekundarstufenschüler/-innen geben an, die Aufgabe ohne Vorwissen gelöst zu haben. Die Angabe des Vorwissens „Schule“ ist am häufigsten gemacht worden. Auf die erreichte Punktzahl in den separierten Denkoperationen hat die Angabe des Vorwissens ebenfalls keinen Einfluss.

***F2b: Ist das technische Verständnis über ein Wasserkraftwerk bei Sekundarstufenschüler/-innen von deren Nutzung der Zusatzinformationen auf den Kartenrückseiten abhängig?***

Die erreichte Gesamtpunktzahl für das technische Verständnis hängt nicht mit der Anzahl der gelesenen Zusatzinformationen zusammen. Ebenso beeinflussen die Informationen, ob gelesen oder nicht gelesen, das technische Verständnis von Sekundarstufenschüler/-innen nicht. Bei getrennter Betrachtung der analytischen und synthetischen Denkoperationen des technischen Verständnisses kann ebenfalls kein Einfluss durch die Nutzung der Zusatzinformationen der Schüler/-innen festgestellt werden.

**F3: Hat sich das Niveau des technischen Verständnisses über ein Wasserkraftwerk von der Primar- zur Sekundarstufe I weiterentwickelt?**

Anhand der Analysen zeigt sich, dass sich das Niveau des technischen Verständnisses über ein Wasserkraftwerk von der Primar- zur Sekundarstufe I weiterentwickelt hat. Primarstufenschüler/-innen haben im Mittel einen Punkt weniger erzielt. Die Schulstufe beeinflusst die erreichte Gesamtpunktzahl mit einem mittleren Effekt. In den synthetischen Denkoperationen ist die positive Entwicklung von der Primar- zur Sekundarstufe I deutlicher als in den analytischen Denkoperationen. Vor allem die Auswahl der Teilsysteme der Elementarfunktion der Wandlung fällt den Schüler/-innen in der Sekundarstufe I leichter als in der Primarstufe. Die mechanischen, mechanisch-elektrischen und die elektrischen Teilsystemkombinationen eines Wasserkraftwerkes bereiten in der Primarstufe mehr Schwierigkeiten als in der Sekundarstufe I.

***F3a: Gibt es Unterschiede in der Angabe des Vorwissens zwischen Primar- und Sekundarstufenschüler/-innen?***

Die Angabe des Vorwissens ist je nach Schulform nur in einer Kategorie verschieden: Sekundarstufenschüler/-innen geben häufiger an, ihr Wissen in der Schule erworben zu haben, als Primarstufenschüler/-innen. Für die Vorwissensquellen „Familie“ und „Medien“ oder die Angabe „ohne Vorwissen“ liegen keine Unterschiede zwischen den Schulstufen vor.

***F3b: Gibt es Unterschiede in der Nutzung der Zusatzinformationen auf den Kartenrückseiten zwischen Primar- und Sekundarstufenschüler/-innen?***

Tendenziell lesen Primarstufenschüler/-innen etwas mehr Zusatzinformationen als Sekundarstufenschüler/-innen. Weder mehr Sekundar- noch mehr Primarstufenschüler/-innen nutzen keine Zusatzinformationen. Die Informationen des Energietransporters und beider Stauseen werden jedoch mehr von den Primarstufenschüler/-innen gelesen. Für die schaufellose Wasserturbine und die Stadt gilt dies tendenziell.

**F4: Gibt es Unterschiede im Niveau des technischen Verständnisses über ein Wasserkraftwerk zwischen den Geschlechtern unabhängig von und innerhalb der Schulstufen?**

Unabhängig von der Schulstufe haben Jungen ein etwas besseres technisches Verständnis als Mädchen. Sie erzielen jedoch durchschnittlich nur einen halben Punkt mehr und die Effektstärke ist eher gering. Innerhalb der Schulstufen ist dieser Unterschied noch geringer: In der Primarstufe erreichen Jungen nur tendenziell mehr Gesamtpunkte als Mädchen; in der Sekundarstufe I ist dieser Unterschied statistisch nicht nachweisbar. Bei den analytischen Denkoperationen liegen unabhängig von der Schulstufe zwischen Mädchen und Jungen keine signifikanten Unterschiede in der erreichten Punktzahl vor, ebenso wenig in den einzeln aufgetrennten Elementarfunktionen Speicherung, Transport und Wandlung. In den synthetischen Denkoperationen unterscheidet sich die erreichte Punktzahl der Mädchen und Jungen. Jungen erzielen durchschnittlich einen halben Punkt mehr. In diesem Fall ist die Effektstärke im hohen moderaten Bereich. Bei der Auftrennung der synthetischen Denkoperationen auf die verschiedenen Energieflussketten liegen hohe Effektstärken bei den Unterschieden zwischen Mädchen und Jungen vor. Mädchen haben mehr Schwierigkeiten bei den mechanischen und mechanisch-elektrischen Teilsystemkombinationen als Jungen. Bei der elektrischen Energieweiterleitung unterscheiden sich die Geschlechter nicht.

***F4a: Gibt es Unterschiede in der Angabe des Vorwissens zwischen Mädchen und Jungen?***

Unabhängig von der Schulstufe geben Jungen häufiger an, ihr Vorwissen aus den Medien bezogen zu haben als Mädchen. Es liegt eine Tendenz dahingehend vor, dass Mädchen häufiger angeben, die Aufgabe ohne Vorwissen gelöst zu haben. Betrachtet man die Ergebnisse ausschließlich aus der Primarstufe, liegen zwischen den Geschlechtern keine Unterschiede vor. In der Sekundarstufe I zeigt sich, dass Jungen ihr Wissen häufiger aus den Medien zu haben meinen als Mädchen. Die Tendenz der Angabe der Mädchen, dass sie die Aufgabe ohne jegliches Vorwissen gelöst haben, wird in der Sekundarstufe I deutlicher durch einen signifikanten Unterschied zwischen den Geschlechtern.

***F4b: Gibt es Unterschiede in der Nutzung der Zusatzinformationen auf den Kartenrückseiten zwischen Mädchen und Jungen?***

Mädchen nutzen unabhängig von der Schulstufe mehr Zusatzinformationen als Jungen. Der Effekt ist jedoch eher gering. Betrachtet man dieses Verhalten in der Primar- und Sekundarstufe getrennt, lässt sich feststellen, dass in der Primarstufe dieser Unterschied nicht besteht, in der Sekundarstufe I jedoch schon. Der Effekt des Geschlechts auf die Nutzung der Zusatzinformationen ist in der Sekundarstufe I gestiegen und moderat. Für die Nutzung der Information der einzelnen Teilsysteme liegt schulstufenunabhängig ein Unterschied zwischen Mädchen und Jungen bei dem Energietransporter und der Nichtnutzung von Informationen vor. Mädchen lesen die Zusatzinformation des Energietransporters häufiger als Jungen und Jungen nutzen häufiger keine Informationen als Mädchen. Dies wird in der Sekundarstufe I wiedergespiegelt, in der Primarstufe liegen keine Unterschiede der Informationsnutzung zwischen den Geschlechtern vor.

**F5: Wie lassen sich die gefundenen Ergebnisse kategorisieren?**

Die Ergebnisse der einzelnen Schüler/-innen lassen sich mit Hilfe der Binärcodes kategorisieren. Die Kategorien basieren auf dem Auswertungsschema, das dieser Arbeit zugrunde liegt. Es wird vom Gesamtsystem und seiner Funktionsfähigkeit sowie der Energieflusskette und deren Durchgängigkeit ausgegangen. Die Abstufungen können auf drei Ebenen immer detaillierter dargestellt werden. Ebene I umschließt vier Hauptkategorien: Kategorie 1 ist die schlechteste, Kategorie 4 die beste. Auf Ebene II ist das Gesamtsystem in drei Hauptsysteme (mechanisch, mechanisch-elektrisch und elektrisch) untergliedert. Ebene III gibt Aufschluss über das Vorhandensein oder Fehlen der bestimmten Hauptsysteme.

***F5a: Gibt es Unterschiede in der Verteilung auf die einzelnen Kategorien zwischen Primar- und Sekundarstufenschüler/-innen?***

Primarstufenschüler/-innen legen häufiger mehrmals unterbrochenen Energieflussketten als Sekundarstufenschüler/-innen. Hingegen legen Sekundarstufenschüler/-innen häufiger nur einmal unterbrochene Energieflussketten als Primarstufenschüler/-innen. Eine durchgehende Energieflusskette legen Schüler/-innen der Sekundarstufe I tendenziell häufiger.

***F5b: Gibt es Unterschiede in der Verteilung auf die einzelnen Kategorien zwischen Mädchen und Jungen?***

Jungen legen häufiger durchgehende Energieflussketten und damit funktionsfähige Gesamtsysteme als Mädchen. Mädchen legen eher eine mehrmals unterbrochene Energieflusskette.

## 6.2 Zusammenfassung

Es ist unumstritten, dass Technik menschliche Lebensbedingungen nicht nur bestimmt, sondern auch Gesellschaftsformen verändert und die Lebenswirklichkeit beeinflusst. Somit muss die Gesellschaft sich mit neuen Denkansätzen und Ideen auf die neuen Umstände, die immer komplexer werden und es so noch nie gab, vorbereiten. Bildung ist eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe und wird in modernen Gesellschaften als wesentliches Element der Demokratisierung und der Emanzipation betrachtet (Allmendinger 2013). Technische Bildung soll bereits in der Elementarstufe beginnen und wird durch Curricula in der Primar- und Sekundarstufe gesichert. Sie umfasst das analysierende technische Denken als gedankliches Durchdringen technischer Funktionsweisen, Prozesse und Prinzipien (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts 2013). Um den Erfolg technischer Bildung zu evaluieren, macht es Sinn, ein grundlegendes technisches Verständnis als Ergebnis der Bildungsbemühungen abzufragen. Da der Übergang von der Primar- zur Sekundarstufe in der Bildung ein kritisches Ereignis beim Erlangen von Wissen ist (Hempel 2010), fokussiert sich diese Studie auf die Entwicklung des technischen Verständnisses von der Primar- zur Sekundarstufe I. Um etwas technisch zu verstehen, müssen analytische und synthetische Denkoperationen stattfinden. Dabei wird über die Auswahl der Wirkungsprinzipien und Teilsysteme zur Erfüllung einer Systemteilfunktion (analytisch) und die Anordnung der gewählten Teilsysteme zu einem übergeordneten Systemzweck durch die Kombination von Eingangs- und Ausgangsgrößen zwischen Teilsystemen (synthetisch) technisch gedacht. Um der Gendersensitivität im Bereich der Technik gerecht zu werden, wird der Einfluss des Geschlechts auf das technische Verständnis in dieser Studie ebenfalls berücksichtigt.

Mit Hilfe eines Quasi-Längsschnittes wurden insgesamt 428 Schüler/-innen in den Jahrgangsstufen 4 und 6/7 zu einem Messzeitpunkt im Schuljahr 2016/2017 untersucht. Das neu entwickelte Erhebungsinstrument basiert auf der Strukturlegetechnik von Wahl (2013). Mit Hilfe des Instruments sollen die für die Technik typischen Denkoperationen in Konstruktionsprozessen technischer Systeme erfassbar gemacht werden. Wichtig war, dass es in beiden Schulstufen einsetzbar ist, um Ergebnisse vergleichbar zu machen. Somit sollte es unabhängiger von der Lesekompetenz sein, eine kurze Bearbeitungszeit aufweisen und motivierend sein. Der gewählte exemplarische konkrete Gegenstand dieser

Studie, das Wasserkraftwerk, fällt unter das Thema Energie, das sowohl in der Primar- als auch in der Sekundarstufe I curricular gesichert ist.

Die Ergebnisse belegen, dass das technische Verständnis sowohl in der Primar- als auch in der Sekundarstufe I durchschnittlich ist. Es hat sich von der Primar- zur Sekundarstufe I mit einem moderaten Effekt der Schulstufe weiterentwickelt, wobei der Lernzuwachs dem eines Schuljahres entspricht. Der Lernzuwachs von nur einem Schuljahr scheint zunächst zu gering, wobei zu erwähnen ist, dass die Lehrpläne des Faches Technik bzw. Arbeitslehre keinen durchgehenden Technikunterricht ab Klasse 5 aufweisen und somit zum Testzeitpunkt in der Sekundarstufe I tatsächlich auch nur ein Schuljahr Technik stattgefunden hat. Nicht nachzuweisen ist jedoch, ob der Lernzuwachs ausschließlich durch den Technikunterricht stattgefunden hat. Vermutlich nehmen andere Fächer wie Biologie und Physik ebenfalls Einfluss auf das Ergebnis, da das Basiskonzept *System* laut Lehrplan hier ebenfalls in der Unterstufe thematisiert wird. Weitere Einflüsse neben der Schule/dem Unterricht wie beispielsweise Reifungsprozesse und Lernzuwächse aus anderen Quellen (z.B. Auseinandersetzung mit Technik im Alltag und in der Freizeit) sind ebenfalls möglich, wurden hier aber nicht explizit abgefragt. Die Schüler/-innen konnten im Rahmen der Erhebung angeben, ob Vorwissen vorhanden war oder nicht. Wenn Vorwissen vorhanden war, konnten als Quellen *Schule*, *Familie* und *Medien* angekreuzt werden. Dabei wurde von den Schüler/-innen der Sekundarstufe I signifikant häufiger *Schule* als Wissensquelle für Technik (am Beispiel des Energieflusses im Wasserkraftwerk) genannt, wobei das Thema Wasserkraft in keiner der untersuchten Klassen im Unterricht behandelt wurde.

Die größten Schwierigkeiten lagen in den synthetischen Denkoperationen sowohl in der Primar- als auch in der Sekundarstufe I bei der Wandlung von mechanischer zu elektrischer Energie vor. Allerdings haben Primarstufenschüler/-innen größere Probleme damit als Sekundarstufenschüler/-innen. Letztere schaffen es signifikant häufiger, eine Energieflusskette mit nur einer Unterbrechung zu legen.

Das Geschlecht hat einen Einfluss auf das technische Verständnis der Primar- und Sekundarstufenschüler/-innen. Jungen erzielen mehr Punkte als Mädchen, wobei der Effekt eher gering ist. Bei getrennter Betrachtung der Denkoperationen ist ersichtlich, dass der Unterschied zwischen den Geschlechtern auf synthetischen Denkoperationen – also

der Anordnung der Teilsysteme des Wasserkraftwerks im Erhebungsinstrument – basiert. Hier ist der Effekt des Geschlechts im höheren moderaten Bereich. Jungen sind demnach den Mädchen in ihren synthetischen Denkoperationen um ein Schuljahr voraus. Die Begründung könnte in den geschlechterspezifischen Vorlieben liegen, die den Kindern schon in jungen Jahren nachgesagt werden. Jungen werden z.B. durch technisches Spielzeug schon früher an technische Prinzipien herangeführt als Mädchen (Hoffmann et al. 1998). Somit könnten Jungen mehr Zeit gehabt haben, sich mit technischen Problemen auseinanderzusetzen als Mädchen und damit in den synthetischen Denkoperationen trainierter sein.

Das Bildungssystem Schule hat demnach (unter Berücksichtigung der Verteilung des Technikunterrichts in den verschiedenen Jahrgangsstufen) bei der Vermittlung des technischen Verständnisses funktioniert. Jedoch könnte technischer Unterricht noch wertvolle Vorarbeit leisten, um besonders das Interesse der Mädchen an technischen Themen zu steigern. Eine gendersensitive Auswahl des Themas wäre somit von Vorteil. Weiterhin werden abstrakte Prozesse wie die Wandlung zwischen verschiedenen Energieformen besonders von Grundschüler/-innen nicht intuitiv erfasst. Demnach besteht eine wichtige Aufgabe des technischen Unterrichts darin, Kinder frühzeitig an technische Grundprinzipen heranzuführen.

## 6.3 Ausblick

Im Rahmen dieser Studie wurde ein Erhebungsinstrument entwickelt, um technisches Verständnis von Schüler/-innen verschiedener Jahrgangsstufen abzufragen. Dieses Erhebungsinstrument kann einerseits zu weiteren Forschungen genutzt oder auch im Unterricht von Lehrkräften zum Thema Wasserkraft eingesetzt werden. Weiterhin lässt es sich mit Eye-Tracking kombinieren. Damit lassen sich die hier beschriebenen analytischen und synthetischen Denkoperationen, die dem technischen Verständnis zugrunde liegen, anhand der konkreten Vorgänge der Auswahl und Anordnung von Teilsystemen direkt aufzeigen.

Daten von Eye-Tracking-Aufnahmen enthalten interessante Informationen bezüglich der Vorstellungen der Schüler/-innen über Wasserkraftwerke, Energieflüsse und vor allem elektrische Energie. Diese aufgenommenen Informationen könnten genutzt werden, um weitere Untersuchungen bezüglich der vorhandenen Misskonzepte zu planen und

diese zu analysieren. Die Aufnahmen selbst sind für eine Darstellung von Schülervorstellungen eingeschränkter nutzbar, da das Erhebungsinstrument die Inhalte bereits vorgibt. Würden Schüler/-innen ein Kraftwerk beispielsweise zeichnen, wäre eine Darstellung ihrer Vorstellungen verlässlicher. Um Schülervorstellungen zu analysieren hat Möller (2000) z.B. Fahrräder und Handbohrer zeichnen lassen. Wie Möller (2000) bereits feststellte, legt auch in dieser Studie die sprachliche Beschreibung Ungenauigkeiten im Denken und dem Legen der Karten offen. Es war zu beobachten, dass einige der mit Eye-Tracking-Brillen getesteten Schüler/-innen beim Beschreiben der gelegten Abläufe Teilsysteme nochmals umsortiert haben.

Um das technische Verständnis von Schüler/-innen und seine Entwicklung von der Primar- zur Sekundarstufe I zu erforschen, wäre ein echter Längsschnitt mit einer erneuten Testung derselben Schüler/-innen auf verschiedenen weiterführenden Schulen nach drei Jahren theoretisch von Vorteil. Hier bestehen jedoch zwei Probleme in der praktischen Umsetzung: 1) logistisch wäre es schwierig, die Schüler/-innen nach der Primarstufe durch den Schulwechsel auf verschiedenen weiterführenden Schulen erneut zu testen und 2) Schüler/-innen der Sekundarstufe I würden den Test ein zweites Mal durchführen, womit das Ergebnis neben dem zu untersuchenden Lernzuwachs auch durch die Wiederholung beeinflusst werden würde.

Nach dem Einsatz des Instrumentes im Unterricht wäre eine weitere Behandlung des Themas Wasserkraft (und ihre Folgen) im Sachunterricht perspektivübergreifend für die naturwissenschaftliche Perspektive aus biologischer bzw. ökologischer und physikalischer bzw. energetischer Sicht vorteilhaft. An weiterführenden Schulen ermöglicht die Thematik ebenso ein fächerübergreifendes Projekt. Die Methode des Strukturlegeverfahrens – wie in dieser Studie in abgewandelter Form mit Bildern – zur Darstellung von Abläufen zu verwenden, bietet sich auch mit anderen Inhalten an. Andere Prozesse, Abläufe oder Systeme (z.B. Evolution, Kreisläufe, andere technische Systeme) könnten auf Karten dargestellt und von den Schüler/-innen miteinander vernetzt werden. Die Durchführung der Aufgabe muss keineswegs immer in Form einer Erhebung stattfinden, sondern kann auch in Partner- oder Gruppenarbeit zu Diskussionen anregen.

Um den Einfluss des Geschlechts auf das technische Verständnis unter Umständen beeinflussen zu können, könnte für eine erneute Testung ein inhaltlicher Gegenstand beispielsweise aus der Medizin bzw. Medizintechnik gewählt werden. Denn Häußler und Hoffmann (1995) konnten zeigen, dass das Interesse an Physikunterricht der verschiedenen Geschlechter im Verlauf der Sekundarstufe sehr stark vom Kontext abhängig ist. Themen mit Bezug zum menschlichen Körper steigern vor allem bei Mädchen das Interesse am Physikunterricht. Aber auch Jungen interessierten sich dafür nicht weniger als für technische Anwendungen, so dass die Voraussetzungen beider Geschlechter eventuell ähnlicher seien würden.

Für weitere Forschungen im Zusammenhang von Lernerfolgen und einer möglichen Nutzung des Erhebungsinstrumentes im Unterricht wäre eine Vergleichsstudie interessant, in der gemessen wird, ob das Instrument einen ebenso großen Lernerfolg bezüglich der Abläufe innerhalb eines Wasserkraftwerks aufweist wie eine mögliche tatsächliche Durchführung im Unterricht mit den gegenständlichen Systemen und Wasser. Wäre das Ergebnis mit dem Instrument mit dem der gegenständlichen Materialien vergleichbar, würde die unkomplizierte Methode mit Karten u.U. häufiger von den Lehrkräften im Unterricht eingesetzt werden und damit zu größeren Lernerfolgen führen. Dabei wäre zusätzlich ein Einbeziehen der Lehrkräfte und eine Evaluation des Erhebungsinstrumentes für eine Anwendung im Unterricht von Vorteil. Auch wenn Hannover et al. (1992) fordern, dass der Vermittlung praktischer Technikerfahrung mehr Platz im schulischen westdeutschen Curriculum eingeräumt werden solle, ist eine Vermittlung technischer Basiskompetenzen wie dem technischen Verständnis ebenso wichtig. Das hier entwickelte Erhebungsinstrument liefert dazu einen geeigneten Ansatz.

# 7 Verzeichnisse

## 7.1 Literatur

Allmendinger, J. (2013). Bildungsgesellschaft - Über den Zusammenhang von Bildung und gesellschaftlicher Teilhabe in der heutigen Gesellschaft. Abgerufen unter http://www.bpb.de/gesellschaft/bildung/zukunft-bildung/158109/teilhabe-durch-bildung am 13.09.2018.

Anders, Y., McElvany, N. & Baumert, J. (2010). Die Einschätzung lernrelevanter Schülermerkmale zum Zeitpunkt des Übergangs von der Grundschule auf die weiterführende Schule: Wie differenziert urteilen Lehrkräfte? In K. Maaz, J. Baumert, C. Gresch, & N. McElvany (Hrsg.), *Der Übergang von der Grundschule in die weiterführende Schule - Leistungsgerechtigkeit und regionale, soziale und ethnisch-kulturelle Disparitäten* (S. 313-330). Bonn, Berlin: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) - Referat Bildungsforschung.

Bardmann, T. M. (2015). *Die Kunst des Unterscheidens. Eine Einführung ins wissenschaftliche Denken und Arbeiten für soziale Berufe*. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Baumert, J. & Geiser, H. (1996). *Alltagserfahrungen, Fernsehverhalten, Selbstvertrauen, sachkundliches Wissen und naturwissenschaftlich-technisches Problemlösen im Grundschulalter: Bericht;[Projekt CROSSTEL]*: Inst. für die Pädagogik der Naturwiss. an der Univ. Kiel (IPN).

Baur, N. (2008). Das Ordinalskalenproblem. In N. Baur & S. Fromm (Hrsg.), *Datenanalyse mit SPSS für Fortgeschrittene: Ein Arbeitsbuch* (2., überarb. u. erw. Aufl., S. 279-289). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH.

Binder, M. (2014). *Technisches Handeln – Eine Studie zu einem zentralen Begriff Technischer Bildung.* Pädagogischen Hochschule Weingarten, Weingarten. am

Brockhaus. (2018). Technik. *Brockhaus Enzyklopädie.* Abgerufen unter https://brockhaus.de/ecs/enzy/article/technik-20 am 17.09.2018.

Conrad, K.-J. (2013). *Grundlagen der Konstruktionslehre: Methoden und Beispiele für den Maschinenbau und die Gerontik* (6., aktual. und erw. Aufl.). München: Hanser Verlag.

Czichos, H. (2015). *Mechatronik: Grundlagen und Anwendungen technischer Systeme* (3., überarb. u. erw. Aufl.). Wiesbaden: Springer Vieweg.

Ditton, H. & Krüsken, J. (2006). Der Übergang von der Grundschule in die Sekundarstufe I. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 9*(3), 348-372.

Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in dei Sozial- und Humanwissenschaften* (5. vollst. überarb., aktual. u. erw. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

Duit, R. (1995). Zur Rolle der konstruktivistischen Sichtweise in der naturwissenschaftsdidaktischen Lehr- und Lernforschung. *Zeitschrift für Pädagogik, 41*(6), 905-923.

Duit, R. (2004). Schülervorstellungen und Lernen von Physik – Stand der Dinge und Ausblick. In R. W. R. Müller, & M. Hopf (Hrsg.), *Schülervorstellungen in der Physik* (S. 267-272). Köln: Aulis Verlag.

Duit, R. (2010). Schülervorstellungen und Lernen von Physik. In R. Duit & S. Mikelskis-Seifert (Hrsg.), *Physik im Kontext – Konzepte, Ideen, Materialien für effizienten Physikunterricht* (Vol. Piko-Brief 1). Seelze: Friedrich Verlag.

Duit, R. (2014). Teaching and Learning the Physics Energy Concept. In R. F. Chen, A. Eisenkraft, D. Fortus, J. Krajcik, K. Neumann, J. Nordine, & A. Scheff (Hrsg.), *Teaching and Learning of Energy in K – 12 Education* (S. 67-85). Switzerland: Springer Publications.

Duit, R. (2015). Alltagsvorstellungen und Physik lernen. In E. Kircher, R. Girwidz, & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik* (S. 581-606). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

Elster, D. (2007). In welchen Kontexten sind naturwissenschaftliche Inhalte für Jugendliche interessant. *Plus Lucis, 3*(2007), 2-8.

Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics : and sex and drugs and rock 'n' roll* (4. Aufl.). Los Angeles [u.a.]: Sage Publications.

Fislake, M., Hartmann, E., Hüttner, A., Möllers, T., Pommeranz, H.-P., Reich, G., Schlagenhauf, W., Schlüter, H., Schulte, H., Tyrchan, G. & Willemsen, R. (2007). *Bildungsstandards Technik für den Mittleren Schulabschluss*. Düsseldorf: VDI Verein Deutscher Ingenieure.

Geitmann, S. (2014). *Erneuerbare Energien: Mit neuer Energie in die Zukunft*. Oberkrämer: Hydrogeit-Verlag.

Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts. (2013). *Perspektivrahmen Sachunterricht* (Vollst. überarb. und erw. Aufl.). Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.

Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts. (2018). Zur Entstehung des Perspektivrahmens. Abgerufen unter http://www.gdsu.de/wb/pages/perspektivrahmen-sachunterricht.php am 21.09.2018.

Giest, H. (2010). *Anschlussfähge Bildung im Sachunterricht*. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.

Giest, H. & Marquardt-Mau, B. (2013). Anschlussfähigkeit sichern – Übergänge gestalten. *Grundschulunterricht Sachunterricht, 2*, 4-7.

Gresch, C., Baumert, J. & Maaz, K. (2010). Empfehlungsstatus, Übergangsempfehlung und der Wechsel in die Sekundarstufe I: Bildungsentscheidungen und soziale Ungleichheit. In K. Maaz, J. Baumert, C. Gresch, & N. McElvany (Hrsg.), *Der Übergang von der Grundschule in die weiterführende Schule - Leistungsgerechtigkeit und regionale, soziale und ethnisch-kulturelle Disparitäten* (S. 201-228). Bonn, Berlin: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) - Referat Bildungsforschung.

Gresch, C. & Becker, M. (2010). Sozial- und leistungsbedingte Disparitäten im Übergangsverhalten bei türkischstämmigen Kindern und Kindern aus (Spät-)Aussiedlerfamilien. In K. Maaz, J. Baumert, C. Gresch, & N. McElvany (Hrsg.), *Der Übergang von der Grundschule in die weiterführende Schule - Leistungsgerechtigkeit und regionale, soziale und ethnisch-kulturelle Disparitäten* (S. 181-200). Bonn, Berlin: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) - Referat Bildungsforschung.

Gropengießer, H. (2007). Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 105-116). Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag.

Günther, M. (2015). *Energieeffizienz durch Erneuerbare Energien: Möglichkeiten, Potenziale, Systeme*. Wiesbaden: Springer Vieweg.

Hallström, J., Elvstrand, H. & Hellberg, K. (2015). Gender and technology in free play in Swedish early childhood education. *International journal of technology and design education, 25*(2), 137-149.

Hannover, B., Scholz, P. & Laabs, H.-J. (1992). Technikerfahrung und mathematisch-naturwissenschaftliche Interessen bei Mädchen und Jungen. Ein Vergleich zwischen Jugendlichen aus den alten und den neuen Bundesländern. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und pädagogische Psychologie, 24*(2), 115-128.

Hattie, J. A. C. (2009). *Visible Learning*. Oxon und New York: Routledge (Taylor & Francis).

Hattie, J. A. C. (2013). *Visible Learning - Lernen sichtbar machen* (W. Beywl & K. Zierer, Trans.). Hohengehren: Schneider Verlag.

Häußler, P. & Hoffmann, L. (1995). Physikunterricht – an den Interessen von Mädchen und Jungen orientiert. *Unterrichtswissenschaft, 23*(2), 107-126.

Hegarty, M., Just, M. A. & Morrison, I. R. (1988). Mental models of mechanical systems: Individual differences in qualitative and quantitative reasoning. *Cognitive Psychology, 20*(2), 191-236. doi:https://doi.org/10.1016/0010-0285(88)90019-9

Hempel, M. (2010). Zur Anschlussfähigkeit der Sachfächer an den Sachunterricht – eine Erkundungsstudie. In H. Giest & D. Pech (Hrsg.), *Anschlussfähige Bildung im Sachunterricht (Probleme und Perspektiven des Sachunterrichts)* (S. 75-82). Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.

Hempel, M. (2013). Anschlussfähigkeit an die Sachfächer der Sekundarstufe. Die Qualität des Sachunterrichts – eine wichtige Voraussetzung. *Grundschulunterricht Sachunterricht, 2*, 8-11.

Heran-Dörr, E. (2011). *Von Schülervorstellungen zu anschlussfähigem Wissen im Sachunterricht*. Kiel: Inst. für die Pädagogik der Naturwiss. an der Univ. Kiel (IPN).

Hoffmann, L. (2002). Promoting girls' interest and achievement in physics classes for beginners. *Learning and instruction, 12*(4), 447-465.

Hoffmann, L., Häußler, P. & Lehrke, M. (1998). *Die IPN-Interessenstudie Physik*. Kiel: Inst. für die Pädagogik der Naturwiss. an der Univ. Kiel (IPN).

Hoppe-Graff, S. (2014). Denkentwicklung aus dem Blickwinkel des strukturgenetischen Konstruktivismus. In L. Ahnert (Hrsg.), *Theorien in der Entwicklungspsychologie* (S. 148-173). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Horz, H. & Ulrich, I. (2015). Lernen mit Medien. In H. Reinders, H. Ditton, C. Gräsel, & B. Gniewosz (Hrsg.), *Empirische Bildungsforschung. Gegenstandsbereiche* (2. Aufl., S. 25-39). Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Hüttner, A. (2005). *Technik unterrichten: Methoden und Unterrichtsverfahren im Technikunterricht* (2. Aufl.). Haan-Gruiten: Verlag Europa-Lehrmittel Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG.

Jakobs, E.-M. & Ziefle, M. (2010). *Wege zur Technikfaszination: Sozialisationsverläufe und Interventionszeitpunkte*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Janneck, M., Vincent-Höper, S. & Othersen, I. (2012). Entwicklung und Validierung eines Fragebogens zum Technikbezogenen Selbstkonzept (TSK): Eine gendersensitive Studie. *Gruppendynamik und Organisationsberatung, 43*(3), 289-310.

Jarvis, T. & Rennie, L. J. (1996). Understanding technology: the development of a concept. *International Journal of Science Education, 18*(8), 977-992.

Kaiser, A. & Lange, J. (2010). Übergangsprobleme von der Grundschule in die Sekundarstufe I aus der Perspektive von Kindern. Eine empirische Fallstudie. . In H. Giest & D. Pech (Hrsg.), *Anschlussfähige Bildung aus der Perspektive des Sachunterrichts* (S. 83-89). Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.

Koch, G. & Winker, G. (2003). Genderforschung im geschlechterdifferenten Feld der Technik. *Stuttgarter Beiträge zur Medienwirtschaft, 8*, 31-40.

Koller, R. (1994). *Konstruktionslehre für den Maschinenbau : Grundlagen zur Neu- und Weiterentwicklung technischer Produkte mit Beispielen* (3., völlig neubearb. und erw. Aufl.). Berlin [u.a.]: Springer-Verlag.

Kreienbaum, M. A. & Metz-Göckel, S. (1992). *Koedukation und Technikkompetenz von Mädchen: der heimliche Lehrplan der Geschlechtererziehung und wie man ihn ändert*. Weinheim [u.a.]: Juventa-Verlag.

Kucklich, C. (1994). *Unternehmen Zukunft: Frauen erobern die Naturwissenschaft und die Technik*. Frankfurt am Main [u.a.]: Peter Lang GmbH, Internationaler Verlag der Wissenschaften.

Kurtz, T., Watermann, R., Klingebiel, F. & Szczesny, M. (2010). Das emotionale Erleben des bevorstehenden Grundschulübergangs und die Rolle der elterlichen Unterstützung. In K. Maaz, J. Baumert, C. Gresch, & N. McElvany (Hrsg.), *Der Übergang von der Grundschule in die weiterführende Schule - Leistungsgerechtigkeit und regionale, soziale und ethnisch-kulturelle Disparitäten* (S. 331-354). Bonn, Berlin: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) - Referat Bildungsforschung.

Lampert, T., Sygusch, R. & Schlack, R. (2007). Nutzung elektronischer Medien im Jugendalter. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz, 50*(5), 643-652.

Lenhard, W. & Lenhard, A. (2016). Berechnung von Effektstärken. Abgerufen unter https://www.psychometrica.de/effektstaerke.html am 24.09.2018.

Maaz, K. & Nagy, G. (2010). Der Übergang von der Grundschule in die weiterführenden Schulen des Sekundarschulsystems: Definition, Spezifikation und Quantifizierung primärer und sekundärer Herkunftseffekte. In K. Maaz, J. Baumert, C. Gresch, & N. McElvany (Hrsg.), *Der Übergang von der Grundschule in die weiterführende Schule - Leistungsgerechtigkeit und regionale, soziale und ethnisch-kulturelle Disparitäten* (S. 151-180). Bonn, Berlin: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) - Referat Bildungsforschung.

Mammes, I. (2009). Jungen als Verlierer und Mädchen als Gewinnerinnen des Bildungssystems - Zur Problematik eines Perspektivwechsels in einer polarisierten Diskussion. In T. Schweiger & T. Hascher (Hrsg.), *Geschlecht, Bildung und Kunst* (S. 155-166). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Matzig, J. & Reddeck, P. (2005). *Schülervorstellungen zu physikalischen und technischen Themen im Sachunterricht.* Universität Kassel, Kassel. Abgerufen unter http://www.uni-kassel.de/fb10/fileadmin/datas/fb10/physik/didaktik/pdf_dateien/Schuelervorstellungen/Schuelervorstellungen.pdf am 30.06.2016.

Mawson, B. (2010). Children's developing understanding of technology. *International journal of technology and design education, 20*(1), 1.

McElvany, N. (2010). Die Übergangsempfehlung von der Grundschule auf die weiterführende Schule im Erleben der Lehrkräfte. In K. Maaz, J. Baumert, C.

Gresch, & N. McElvany (Hrsg.), *Der Übergang von der Grundschule in die weiterführende Schule - Leistungsgerechtigkeit und regionale, soziale und ethnisch-kulturelle Disparitäten* (S. 295-312). Bonn, Berlin: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) - Referat Bildungsforschung.

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen. (2008). *Richtlinien und Lehrpläne für die Grundschule in Nordrhein-Westfalen* (1. Aufl.). Frechen: Ritterbach Verlag.

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen. (2013a). Kernlehrplan für die Gesamtschule - Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen *Arbeitslehre: Hauswirtschaft, Technik, Wirtschaft*. Düsseldorf: Qualitäts- und UnterstützungsAgentur - Landesinstitut für Schule.

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen. (2013b). Kernlehrplan für die Gesamtschule - Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen *Naturiwssenschaften: Biologie, Chemie, Physik*. Düsseldorf: Qualitäts- und UnterstützungsAgentur - Landesinstitut für Schule.

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen. (2013c). Kernlehrplan für die Hauptschule in Nordrhein-Westfalen *Arbeitslehre: Hauswirtschaft, Technik, Wirtschaft*. Düsseldorf: Qualitäts- und UnterstützungsAgentur - Landesinstitut für Schule NRW.

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen. (2015). Kernlehrplan für die Realschule in Nordrhein-Westfalen *Wahlpflichtfach Technik*. Düsseldorf: Qualitäts- und UnterstützungsAgentur - Landesinstitut für Schule NRW.

Möller, K. (1998). Kinder und Technik. In H. Brügelmann (Hrsg.), *Kinder lernen anders. Vor der Schule - in der Schule.* (S. 89-106). Lengwil: Libelle Verlag.

Möller, K. (1999). Konstruktivistisch orientierte Lehr-Lernprozeßforschung im naturwissenschaftlich-technischen Bereich des Sachunterrichts. In W. Köhnlein, B. Marquardt-Mau, & H. Schreier (Hrsg.), *Vielperspektivisches Denken im Sachunterricht* (S. 125-191). Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinckhardt.

Möller, K. (2000). Kinder auf dem Wege zum Verstehen von Technik - Zur Förderung technikbezogenen Denkens im Sachunterricht. In W. Hinrichs & H. F. Bauer

(Hrsg.), *Zur Konzeption des Sachunterrichts* (S. 328-348). Donauwörth: Auer Verlag.

Möller, K. (2006). Handlungsorientierung im naturwissenschaftlichen Sachunterricht mit dem Ziel, den Aufbau von Wissen zu unterstützen. In A. Fritz, R. Klupsch-Sahlmann, & G. Ricken (Hrsg.), *Handbuch Kindheit und Schule. Neue Kindheit, neues Lernen - anderer Unterricht.* (S. 273-282). Weinheim, Basel: Beltz Verlag.

Möller, K. (2009). Was lernen Kinder über Naturwissenschaften im Elementar- und Primarbereich? - Einige kritische Bemerkungen. In R. Lauterbach, H. Giest, & B. Marquardt-Mau (Hrsg.), *Lernen und kindliche Entwicklung. Elementarbildung und Sachunterricht (Probleme und Perspektiven des Sachunterrichts)* (S. 165-172). Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinckhardt.

Möller, K. (2010). Naturwissenschaftliche und technische Bildung in der Grundschule und im Übergang. In A. a Campo & G. Graube (Hrsg.), *Report 40. Übergänge gestalten. Naturwissenschaftliche und technische Bildung am Übergang von der Primarstufe zur Sekundarstufe* (S. 15-35). Düsseldorf: VDI Beruf und Gesellschaft.

Möller, K. (2014). Vom naturwissenschaftlichen Sachunterricht zum Fachunterricht – Der Übergang von der Grundschule in die weiterführende Schule. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 20*(1), 33-43.

Möller, K., Kleickmann, T. & Lange, K. (2013). Naturwissenschaftliches Lernen im Übergang von der Grundschule zur Sekundarstufe. In H. Fischer & E. Sumfleth (Hrsg.), *nwu-essen - 10 Jahre Essener Forschung zum naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 57-120). Berlin: Logos-Verlag.

Möller, K., Tenberge, C. & Ziemann, U. (1996). *Technische Bildung im Sachunterricht. Eine quantitative Studie zur Situation an nordrhein-westfälischen Grundschulen*. Münster: Selbstverlag.

Müller-Walde, K. (2005). *Warum Jungen nicht mehr lesen*. Frankfurt. New York: Campus-Verlag.

Pollmeier, K., Walper, L. M., Lange, K., Kleickmann, T. & Möller, K. (2014). Vom Sachunterricht zum Fachunterricht - Physikbezogener Unterricht und Interessen im Übergang von der Primar- zur Sekundarstufe. *Zeitschrift für Grundschulforschung, 7*(2), 129-145.

Qualitäts- und UnterstützungsAgentur - Landesinstitut für Schule Nordrhein-Westfalen. (2018). Lehrplannavigator. Abgerufen unter https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplannavigator-s-i/ am 11.09.2018.

Quaschning, V. (2015). *Regenerative Energiesysteme: Technologie - Berechnung - Simulation* (9., aktual. u. erw. Aufl.). München: Hanser Verlag.

Rau-Patschke, S., Gryl, I., Rumann, S., Bernhard, M., Ebers, M., Fletcher, S., Holzapfel, M., Kania, T. M., Kleinteich, A., Mambrey, S., Manzel, S., Ohlenforst, S., Roll, H., Schmiemann, P., Schreiber, N., Sowinski, M., Stachelscheid, K., Theyßen, H., Rasmus, V. & Walpuski, M. (2018). Methodische Herangehensweisen für die Erforschung des Übergangs vom Sachunterricht in den Fachunterricht der Sekundarstufe I. *GDSU-Journal, 8*, 110-134.

Rennie, L. J. & Jarvis, T. (1995). Three approaches to measuring children's perceptions about technology. *International Journal of Science Education, 17*(6), 755-774.

Ropohl, G. (1999). *Allgemeine Technologie: eine Systemtheorie der Technik* (2. Aufl.). München [u.a.]: Hanser Verlag.

Ropohl, G. (2001). Das neue Technikverständnis. In G. Ropohl (Hrsg.), *Erträge der Interdisziplinären Technikforschung. Eine Bilanz nach 20 Jahren* (S. 11-30): Erich Schmidt Verlag GmbH & Co KG.

Ropohl, G. (2009). *Allgemeine Technologie - Eine Systemtheorie der Technik* (3. Aufl.). Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe.

Roth, K. (1994). *Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. 1. Konstruktionslehre* (2., wesentl. erw. und neu gestaltete Aufl.). Berlin [u.a.]: Springer-Verlag.

Schabbach, T. & Wesselak, V. (2012). *Energie: Die Zukunft wird erneuerbar*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Schreyögg, G. & Geiger, D. (2001). Kann implizites Wissen Wissen sein? - Vorschläge zur Neuorientierung von Wissensmanagement. In R. Bresser, G. Krell, & G. Schreyögg (Hrsg.), *Diskussionsbeiträge des Instituts für Managment*. Berlin: Freie Universität Berlin.

Schulze, G. (2008). *Die Interpretation von Ordinalskalen*. Daten und Theorie II. Hauptseminar SS 2008. Otto-Friedrich-Universität Bamberg. Bamberg.

Schuster, M., Sülzle, A., Winker, G. & Wolffram, A. (2004). *Neue Wege in Technik und Naturwissenschaften – Zum Berufswahlverhalten von Mädchen und jungen Frauen*. Baden-Württemberg: Wirtschaftsministerium.

Schwarz, J., Enzler, H. B., Keller, M., Simoni, C. D., Seidmann, S. & Westphalen, A. (2018). Methodenberatung. Abgerufen unter https://www.methodenberatung.uzh.ch/de.html am 21.09.2018.

Siegler, R., Eisenberg, N., de Loache, J. & Saffran, J. (2016). *Entwicklungspsychologie im Kindes- und Jugendalter*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Spreckelsen, K. (2015). Anschlussfähiges Wissen und Können grundlegen. In Joachim Kahlert, Maria Fölling-Albers, Margarete Götz, A. Hartinger, S. Miller, & S. Wittkowske (Hrsg.), *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts* (2. aktual. u. erw. Aufl., S. 118-121). Stuttgart: utb GmbH.

Steffens, U. & Höfer, D. (2014). *Die Hattie-Studie*. Wiesbaden: Institut für Qualitätsentwicklung.

Strunck, U., Lück, G. & Demuth, R. (1998). Der naturwissenschaftliche Sachunterricht in Lehrplänen, Unterrichtsmaterialien und Schulpraxis - Eine quantitative Analyse der Entwicklung in den letzten 25 Jahren. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 4*(1), 69-80.

Tröbst, S., Kleickmann, T., Lange-Schubert, K., Rothkopf, A. & Möller, K. (2016). Instruction and Students' Declining Interest in Science: An Analysis of German Fourth- and Sixth-Grade Classrooms. *American Educational Research Journal, 53*(1), 162-193.

Turja, L., Endepohls-Ulpe, M. & Chatoney, M. (2009). A conceptual framework for developing the curriculum and delivery of technology education in early childhood. *International journal of technology and design education, 19*(4), 353.

Umweltbundesamt. (2014). Energie aus Wasserkraft. Abgerufen unter https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/energie-aus-wasserkraft am 18.04.2018.

Umweltbundesamt. (2018). Erneuerbare Energien in Zahlen. Abgerufen unter https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen am 18.04.2018.

Verein Deutscher Ingenieure. (2000). Technikbewertung - Begriffe und Grundlage *VDI-Richtlinien. VDI 3780.*

Wahl, D. (2013). *Lernumgebungen erfolgreich gestalten: vom trägen Wissen zum kompetenten Handeln* (3. Aufl.). Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.

Walter, C. (1998). *Technik, Studium und Geschlecht: Was verändert sich im Technik- und Selbstkonzept der Geschlechter?* Opladen: Leske + Budrich.

Watermann, R., Klingebiel, F. & Kurtz, T. (2010). Die motivationale Bewältigung des Grundschulübergangs aus Schüler- und Elternsicht. In K. Maaz, J. Baumert, C. Gresch, & N. McElvany (Hrsg.), *Der Übergang von der Grundschule in die weiterführende Schule - Leistungsgerechtigkeit und regionale, soziale und ethnisch-kulturelle Disparitäten* (S. 355-384). Bonn, Berlin: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) - Referat Bildungsforschung.

Wünsch, I. (1988). *Spielinteressen, Spielzeugbesitz und Berufswünsche bei Jungen und Mädchen im Vorschulalter: Forschungsbericht. T. 1.* Zentralinstitut für Jugendforschung (ZIJ), Leipzig. Abgerufen unter https://www.ssoar.info/ssoar/handle/document/40139 am 11.06.2018.

## 7.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vielperspektivischer Sachunterricht der Primarstufe (grün), Unterrichtsfächer Sekundarstufe (gelb) ... 6
Abbildung 2: Unterschiedliche Darstellungen eines technischen Systems ... 12
Abbildung 3: Modell des technischen Verständnisses ... 15
Abbildung 4: Bauarten von Wasserturbinen: Pelton, Kaplan, Francis (Abbildung aus Schabbach und Wesselak (2012), S. 99) ... 24
Abbildung 5: Beitrag der erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung in Deutschland (Daten: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Abbildung Günther (2015), S. 34)24
Abbildung 6: Erhebungsinstrument ... 29
Abbildung 7: Aufgabenzettel (mit Ankreuzmöglichkeiten für die Primarstufe, für die Sekundarstufe I vgl. Anhang 8.2) ... 32
Abbildung 8: Poster für die Geschichte der Aufgabenvorbesprechung mit den Schüler/-innen ... 36
Abbildung 9: Ablauf einer Erhebung ... 37
Abbildung 10: Beispiel eines Ergebnisfotos ... 38
Abbildung 11: Beispiel eines Fotos der gelesenen Zusatzinformationen ... 38
Abbildung 12: Vereinfachte Darstellung eines Hattie-Barometers: Effekt auf Lernleistungen von Schüler/-innen (Quelle: https://edkimo.com/neue-technik-neues-lernen/) ... 51
Abbildung 13: Verteilung der Gesamtpunktzahl in der Primarstufe ... 53
Abbildung 14: Verteilung der Punkte der analytischen Denkoperationen in der Primarstufe ... 54
Abbildung 15: Verteilung der Punkte der synthetischen Denkoperationen in der Primarstufe ... 54
Abbildung 16: Verteilung der richtigen Auswahl in der Primarstufe ... 55
Abbildung 17: Verteilung der richtigen Teilsystemkombinationen in der Primarstufe . 55
Abbildung 18: Vorwissensangaben der Primastufenschüler/-innen ... 56
Abbildung 19: Boxplots des Effekts des Vorwissens auf die Gesamtpunktzahl in der Primarstufe ... 57
Abbildung 20: Korrelation der Anzahl der gelesenen Zusatzinformationen mit der Gesamtpunktzahl in der Primarstufe ... 58

Abbildung 21: Verteilung der Häufigkeit der gelesenen Zusatzinformationen in der Primarstufe ..... 58
Abbildung 22: Boxplots des Effekts der Zusatzinformationen auf die Gesamtpunktzahl in der Primarstufe ..... 59
Abbildung 23: Verteilung der gelesenen Zusatzinformationen in der Primarstufe ..... 59
Abbildung 24: Boxplots des Effekts des Vorwissens und der Zusatzinformation auf analytische und synthetische Denkoperationen in der Primarstufe ..... 60
Abbildung 25: Verteilung der Gesamtpunktzahl in der Sekundarstufe I ..... 62
Abbildung 26: Verteilung der Punkte der analytischen Denkoperationen in der Sekundarstufe I ..... 63
Abbildung 27: Verteilung der Punkte der synthetischen Denkoperationen in der Sekundarstufe I ..... 64
Abbildung 28: Verteilung der richtigen Auswahl in der Sekundarstufe I ..... 64
Abbildung 29: Verteilung der richtigen Teilsystemkombinationen in der Sekundarstufe I ..... 65
Abbildung 30: Boxplots des Effekts des Vorwissens auf die Gesamtpunktzahl in der Sekundarstufe I ..... 66
Abbildung 31: Vorwissensangaben der Sekundarstufenschüler/-innen ..... 66
Abbildung 32: Korrelation der Anzahl der gelesenen Zusatzinformationen mit der Gesamtpunktzahl in der Sekundarstufe I ..... 67
Abbildung 33: Verteilung der Häufigkeit gelesenen Zusatzinformationen in der Sekundarstufe I ..... 68
Abbildung 34: Boxplots des Effekts der Zusatzinformation auf die Gesamtpunktzahl in der Sekundarstufe ..... 68
Abbildung 35: Verteilung der gelesenen Zusatzinformationen in der Sekundarstufe I . 69
Abbildung 36: Boxplots des Effekts des Vorwissens und der Zusatzinformation auf analytische und synthetische Denkoperationen in der Sekundarstufe I ..... 70
Abbildung 37: Boxplots des Effekts der Schulstufe auf die Gesamtpunktzahl ..... 72
Abbildung 38: Vergleich der Verteilung der Gesamtpunktzahl in der Primar- und Sekundarstufe I ..... 72
Abbildung 39: Einfluss der Schulstufe auf die erreichte Punktzahl der analytischen Denkoperationen ..... 74

Abbildung 40: Einfluss der Schulstufe auf die erreichte Punktzahl der synthetischen Denkoperationen ..... 74
Abbildung 41: Vergleich der Verteilung der richtigen Auswahl der einzelnen Elementarfunktionen in der Primar- und Sekundarstufe I ..... 75
Abbildung 42: Vergleich der Verteilung der richtigen Teilsystemkombinationen in der Primar- und Sekundarstufe I ..... 76
Abbildung 43: Vergleich der Verteilung der Angabe des Vorwissens in der Primar- und Sekundarstufe I ..... 77
Abbildung 44: Boxplots des Effekts der Schulstufe auf die Anzahl gelesener Zusatzinformationen ..... 78
Abbildung 45: Vergleich der Verteilung der gelesenen Zusatzinformationen in der Primar- und Sekundarstufe I ..... 78
Abbildung 46: Boxplots des Effekts des Geschlechts auf die erreichte Gesamtpunktzahl ..... 79
Abbildung 47: Vergleich der Verteilung der erreichten Gesamtpunktzahl der Mädchen und Jungen ..... 79
Abbildung 48: Einfluss des Geschlechts auf die erreichte Punktzahl der synthetischen Denkoperationen ..... 80
Abbildung 49: Einfluss des Geschlechts auf die erreichte Punktzahl der analytischen Denkoperationen ..... 81
Abbildung 50: Vergleich der Verteilung der richtigen Auswahl der einzelnen Elementarfunktionen bei Mädchen und Jungen ..... 81
Abbildung 51: Vergleich der Verteilung der richtigen Teilsystemkombinationen bei Mädchen und Jungen ..... 82
Abbildung 52: Vergleich der Verteilung der Angabe des Vorwissens bei Mädchen und Jungen ..... 83
Abbildung 53: Boxplots des Effekts des Geschlechts auf die Anzahl gelesener Zusatzinformationen ..... 84
Abbildung 54: Vergleich der Verteilung der gelesenen Zusatzinformationen bei Mädchen und Jungen ..... 84
Abbildung 55: Boxplots des Effekts des Geschlechts auf die erreichte Gesamtpunktzahl in der Primarstufe ..... 85

Abbildung 56: Vergleich der Verteilung der Angabe des Vorwissens bei Mädchen und Jungen in der Primarstufe ..... 86
Abbildung 57: Boxplots des Effekts des Geschlechts auf die Anzahl gelesener Zusatzinformationen in der Primarstufe ..... 87
Abbildung 58: Vergleich der Verteilung der gelesenen Zusatzinformationen bei Mädchen und Jungen in der Primarstufe ..... 87
Abbildung 59: Boxplots des Effekts des Geschlechts auf die erreichte Gesamtpunktzahl in der Sekundarstufe I ..... 88
Abbildung 60: Vergleich der Verteilung der Angabe des Vorwissens bei Mädchen und Jungen in der Sekundarstufe I ..... 89
Abbildung 61: Boxplots des Effekts des Geschlechts auf die Anzahl gelesener Zusatzinformationen in der Sekundarstufe I ..... 90
Abbildung 62: Vergleich der Verteilung der gelesenen Zusatzinformationen bei Mädchen und Jungen in der Sekundarstufe I ..... 90
Abbildung 63: Verteilung der Ergebniskategorien auf Ebene III in der Primarstufe (N = 206) ..... 94
Abbildung 64: Verteilung der Ergebniskategorien auf Ebene III in der Sekundarstufe I (N = 180) ..... 95
Abbildung 65: Vergleich der Verteilung der Primar- und Sekundarstufenschüler/-innen in den Kategorien der Ebene I (N = 386) ..... 98
Abbildung 66: Verteilung der Ergebniskategorien auf Ebene III der Mädchen (N = 203) ..... 100
Abbildung 67: Verteilung der Ergebniskategorien auf Ebene III der Jungen (N = 183) ..... 102
Abbildung 68: Vergleich der Verteilung der Mädchen und Jungen in den Kategorien der Ebene I (N = 386) ..... 103
Abbildung 69: Videoauswertung eines Lösungsprozesses bei der Konstruktion eines Wasserkraftwerks mit dem Erhebungsinstrument eines Primarstufenschülers .... 104

## 7.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Technische Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen ..... 13
Tabelle 2: Zusatzinformationen auf den Kartenrückseiten des Erhebungsinstrumentes 29
Tabelle 3: Technikunterricht an den besuchten Gesamtschulen (HJ ≙ Halbjahr) ..... 33
Tabelle 4: Erfasste Daten des online Fragebogens (gekürzt) ..... 39
Tabelle 5: Bepunktung der analytischen Denkoperationen ..... 42
Tabelle 6: Bepunktung der synthetischen Denkoperationen ..... 43
Tabelle 7: Beispiel einer Binärcodierung ..... 44
Tabelle 8: Kategorientabelle der Ergebnisse ..... 46
Tabelle 9: Entscheidungshilfe für den zu verwendenden Test ..... 48
Tabelle 10: Datentransformationsmöglichkeiten bei fehlender Normalverteilung (angelehnt an Field (2013)) ..... 49
Tabelle 11: Beschreibung der Signifikanzwerte ..... 50
Tabelle 12: Statistiken der Verteilung der Gesamtpunktzahl X in der Primarstufe ..... 52
Tabelle 13: Statistiken der Verteilung beider Denkoperationen in der Primarstufe..... 53
Tabelle 14: Statistiken der Verteilung der Gesamtpunktzahl X in der Sekundarstufe I. 61
Tabelle 15: Statistiken der Verteilung beider Denkoperationen in der Sekundarstufe I 63
Tabelle 16: Erreichte Gesamtpunktzahl der Mädchen und Jungen aus der Primar- und Sekundarstufe I ..... 71
Tabelle 17: Häufigkeiten identischer Binärcodes ..... 92
Tabelle 18: Verteilung der Ergebniskategorien in der Primarstufe (N = 206) ..... 93
Tabelle 19: Verteilung der Ergebniskategorien in der Sekundarstufe I (N = 180)..... 96
Tabelle 20: Verteilung der Ergebniskategorien der Mädchen (N = 203) ..... 99
Tabelle 21: Verteilung der Ergebniskategorien der Jungen (N = 183) ..... 101
Tabelle 22: Informationen über die mit Eye-Tracking-Brille getesteten Schüler/-innen ..... 171

## 7.4 Abkürzungsverzeichnis

AD ……..……...……. Analytische Denkoperationen

ANOVA ……Analysis of Variance ≙ Varianzanalyse

elektr. …… elektrisch

F ……Fragestellung

f …… folio ≙ auf der nächsten Seite

ff …… Plural von "f" ≙ auf den nächsten Seiten

GDSU …… Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts

HJ …… Halbjahr

MANOVA ……Multivariate Analysis of variance ≙ Multivariate Varianzanalyse

mech. ……mechanisch

NRW …… Nordrhein-Westfalen

PLUS …… Professionswissen von Lehrkräften, naturwissenschaftlicher Unterricht und Zielerreichung im Übergang von der Primar- zur Sekundarstufe

PLZ …… Postleitzahl

SD ……..……...…… Synthetische Denkoperationen

SuS …… Schülerinnen und Schüler

SUSeI …… Sachunterricht und Sekundarstufe I

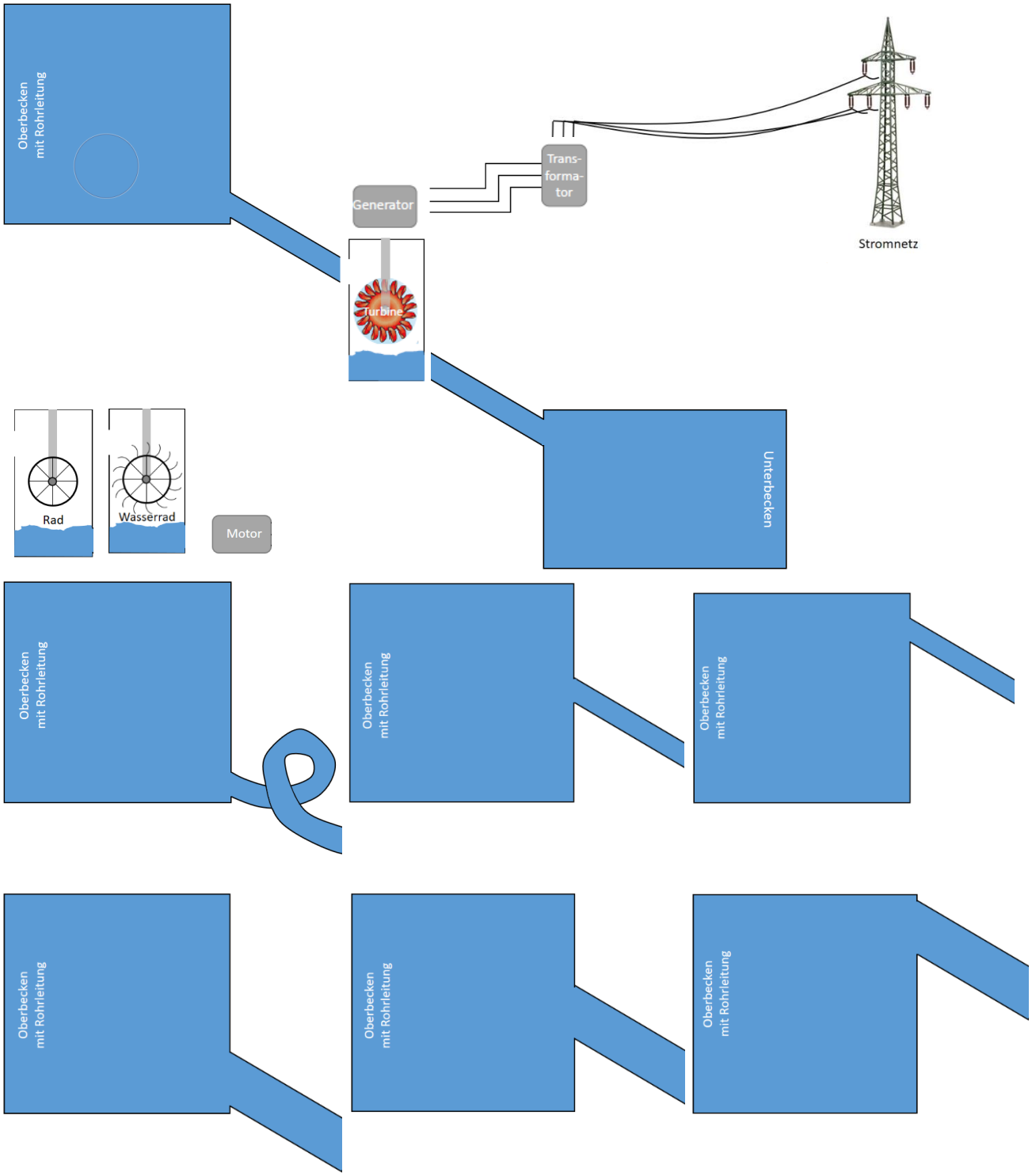
TV ……Technisches Verständnis

VDI ……Verein Deutscher Ingenieure

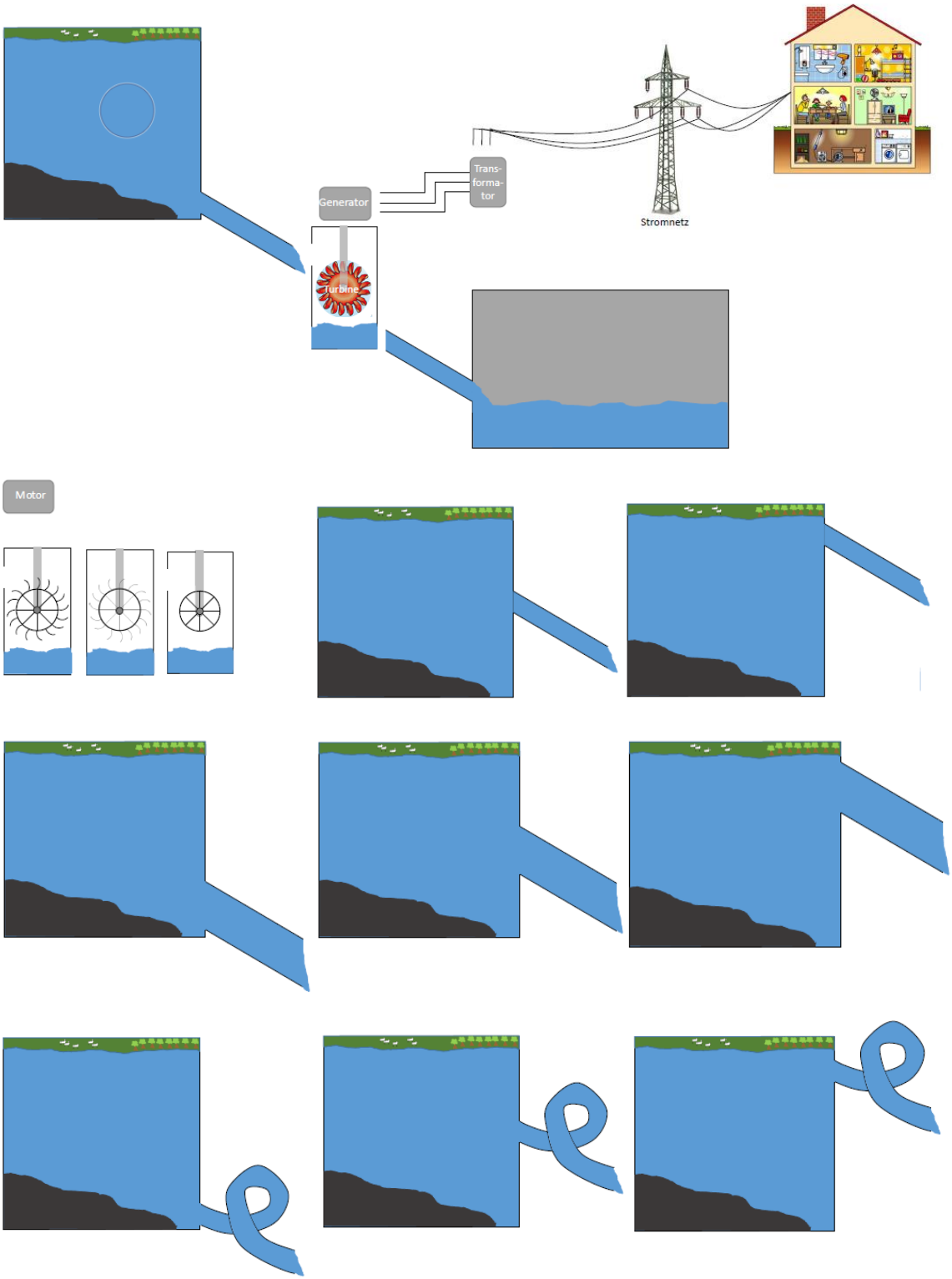
# 8 Anhang

## 8.1 Vorangegangene Versionen des Erhebungsinstrumentes

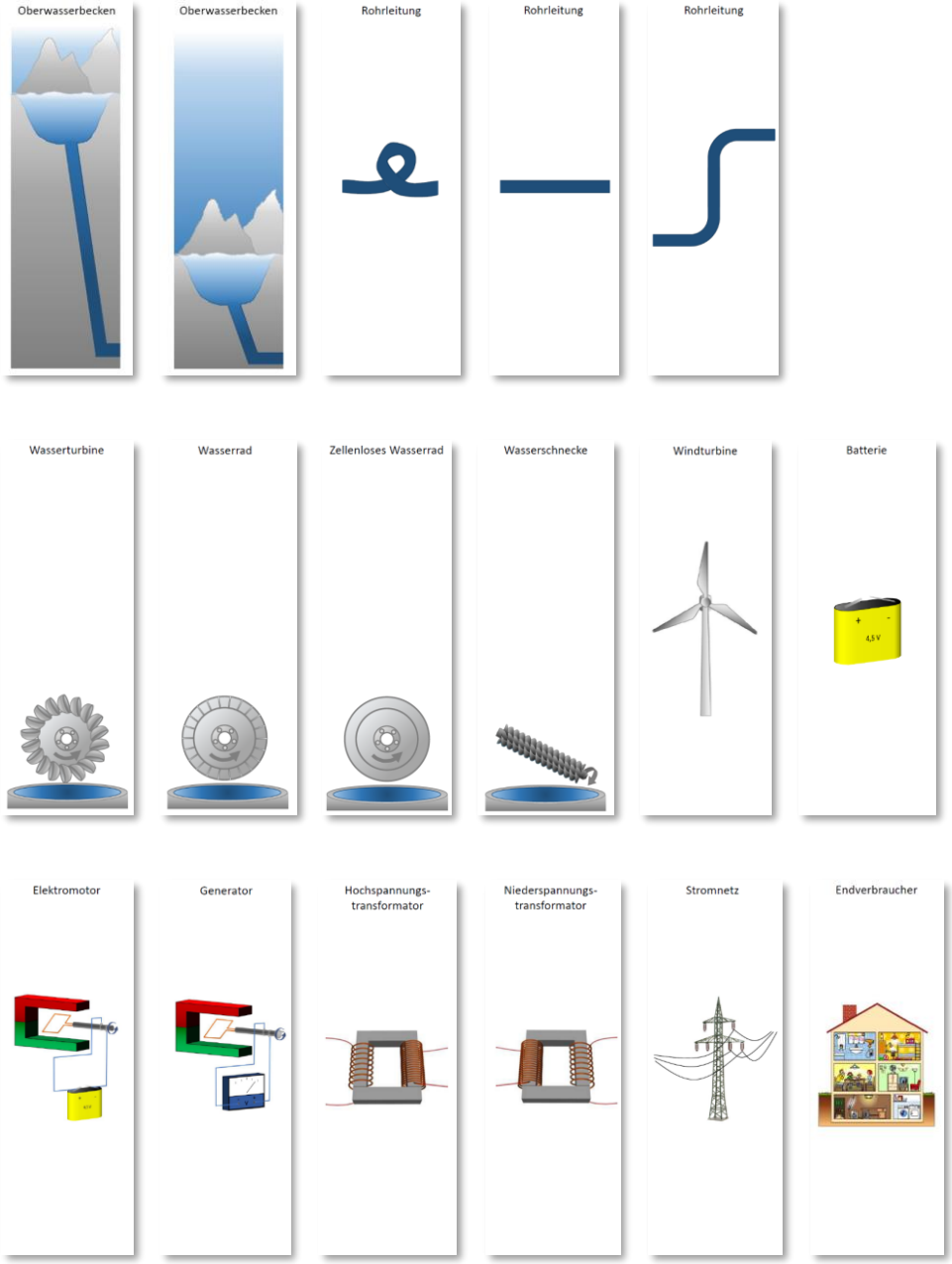
*Erhebungsinstrument Version 1*



*Erhebungsinstrument Version 2*



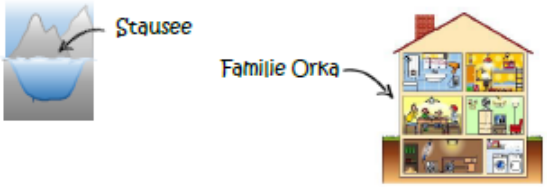
*Erhebungsinstrument Version 3*



*Aufgabenzettel für die Sekundarstufe I Version 1 (Pilotierung)*

ID: Alter: _____ [ ] Mädchen [ ] Junge

## Aufgabe




Familie Orka benötigt sehr viel elektrische Energie. Sie kann Energie aus dem Wasser eines entfernten Stausees beziehen, indem sie die Lageenergie des Wassers nutzt. Erstelle ein Wasserkraftwerk mit Hilfe der Karten, das diese Lageenergie **möglichst gut ausnutzt**. Lege dafür die Bestandteile auf den Karten in die richtige **Reihenfolge**.

**!!!Einige Bestandteile sind ähnlich, aber nicht gleich. Du brauchst nicht alle Karten zu verwenden!!!**

Wenn du einen Bestandteil nicht kennst, kannst du auf der Rückseite der Karte Informationen darüber finden.

---

Woher stammt das Wissen, auf das du zum Lösen der Aufgabe zugegriffen hast (Mehrfachantworten möglich)?

[ ] Schule

- [ ] Physikunterricht
- [ ] Technikunterricht
- [ ] Arbeitslehre

[ ] Familie

[ ] Medien (TV, Internet, ...)

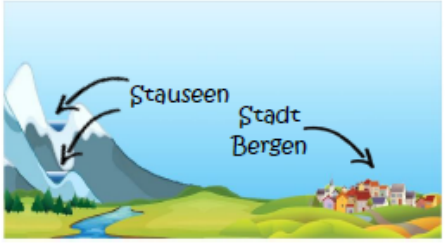
[ ] habe die Aufgabe ohne Vorwissen bearbeitet

## 8.2 Methoden-Anhang

*Aufgabenzettel für die Sekundarstufe I*

ID: Alter: _____ [ ] Mädchen [ ] Junge

**Aufgabe**




*Die Stadt Bergen soll mit elektrischer Energie versorgt werden, die aus einem weit entfernten Stausee gewonnen wird. Hierfür stehen verschiedene technische Bauteile, die auf den Karten abgebildet sind, zur Verfügung.*

**Lege die Karten mit den Bauteilen in die richtige Reihenfolge.**
**Du brauchst nicht alle Karten zu verwenden!**

Folgende Bedingungen müssen erfüllt werden:

a) Verwende nur einen Stausee.
b) Es soll möglichst viel Energie in der Stadt ankommen.
c) Es sollen wenig Energieverluste entstehen.

Wenn du einen Bestandteil nicht kennst, kannst du auf der Rückseite unter dem Papier Informationen darüber finden. Entferne hierfür das aufgeklebte Papier.

---

Woher stammt dein Wissen (Mehrfachantworten möglich)?

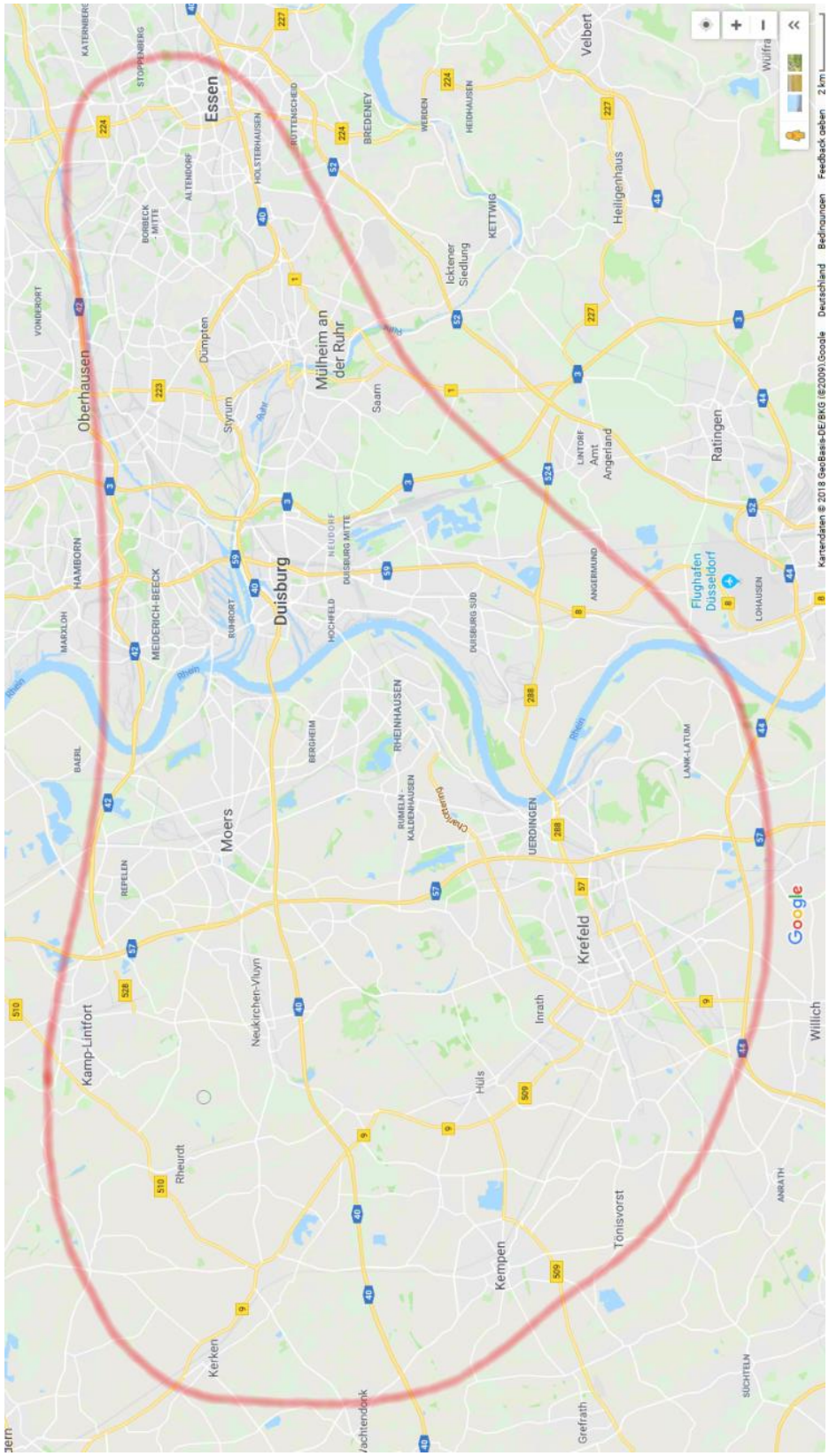
[ ] habe die Aufgabe ohne Vorwissen bearbeitet

[ ] Schule
  [ ] Physik
  [ ] Technik
  [ ] Arbeitslehre

[ ] Familie

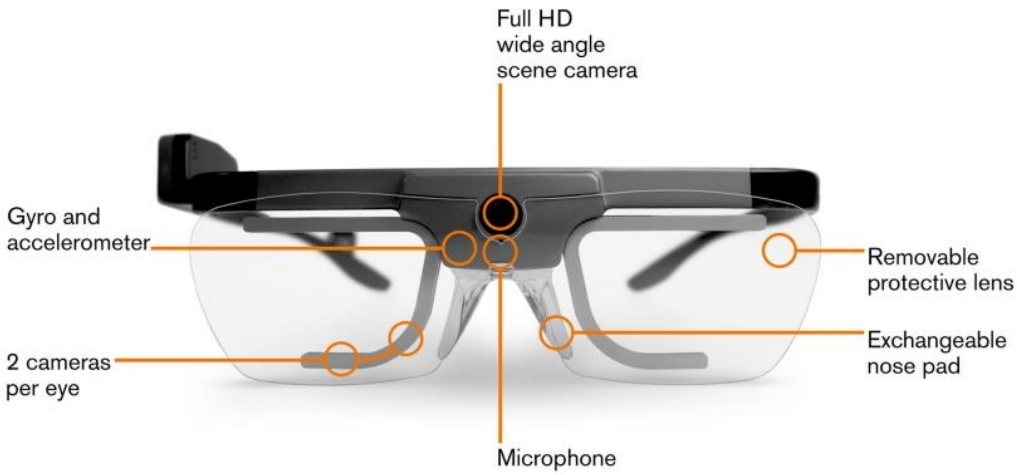
[ ] Medien (TV, Internet, ...)

*Geographischer Ausschnitt des Erhebungsgebietes*




(Quelle: www.google.de/maps)

*Eye-Tracking-Brille*

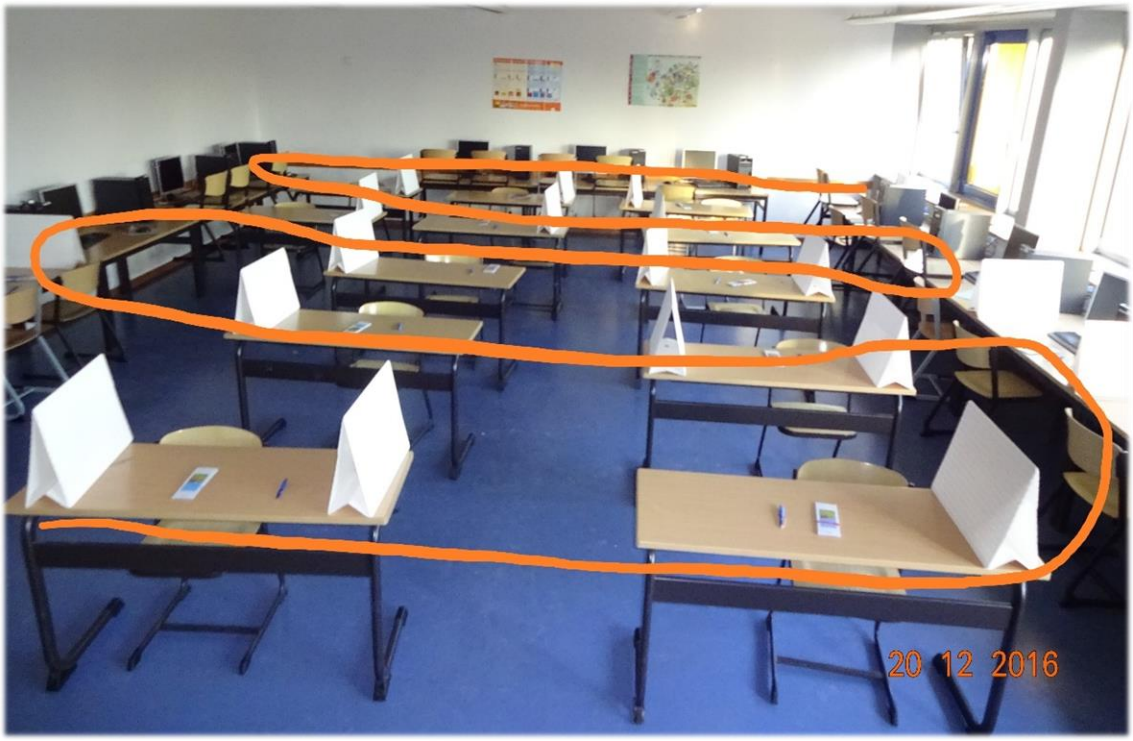



„Tobii Pro Glasses 2“ Eyetracking-Brille mit einer Abtastrate von 50 Hz, binokulares 4-Kamera-Eyetracking, weitwinkliger HD-Szenenkamera, die Blickverhalten sowie peripheres Sehen aufzeichnet (Quelle: https://www.tobiipro.com/de/produkte/tobii-pro-glasses-2/.

*Aufnahmen eines vorbereiteten Klassenraumes*

Primarstufe

Sekundarstufe I (orange Linie entspricht der Art des Verteilens der IDs)



*Protokoll für Erhebung*

## Protokoll

Schul-ID: _____

Klasse: _____

Datum: _____

Testleitung: _____

Uhrzeiten

Stundenanfang: _____ Stundenende: _____

Start Anweisungen: _____ Ende Anweisungen: _____

Start 20 Minuten: _____

Anzahl Schüler/innen: _____

Fehlende Schüler/innen (IDs): _____

ID mit Eye-Tracking-Brille: _____

Besonderheiten, Anmerkungen:

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

*Testleitermanual*

## Anweisungen zur Testung Wasserkraftwerk – Strukturlegeverfahren

### Vorbereitung

Anhand der Klassenliste werden Post-its mit Namen in alphabetischer Reihenfolge beschriftet. Diese werden auf die Aufgabenzettel mit aufeinanderfolgenden IDs geklebt (Nachname mit A ist ID 01). Auf jedem Tisch befindet sich ein mit einem Gummiband fixierter Satz Karten à 13 Stück, die Aufgabenzettel mit Namens-Post-its und ein Stift. Jedem Schüler sollte ausreichend Platz zur Verfügung stehen – ein Tisch pro Schüler wäre optimal. Um ein Abschauen zu verhindern, werden die Sichtschutzpappen zwischen den Schülern aufgestellt. Die Schüler setzen sich auf den Platz, wo sie den Aufgabenzettel mit ihrem Namen finden.

### Durchführung

Nach einer Begrüßung und Vorstellung wird den Schülern folgendes gesagt:

*„Ich habe euch heute ein Bilderrätsel aus diesen Karten mitgebracht* (Karten hochhalten). *Dieses habt ihr auch auf euerm Tisch liegen. Bitte lasst es noch zusammengebunden liegen, bis ich euch sage, dass ihr die Karten auseinandermachen dürft. Das wird nach meiner Einführung sein. Die Karten sind nicht sortiert, sondern zufällig aufeinandergelegt.*

*Wie ihr hier seht, geht es um diese Stadt Bergen. Sie möchte gerne einen der beiden Stauseen in den Bergen nutzen, um elektrische Energie zu gewinnen. Hat jemand eine Idee, wie man aus einem Stausee elektrische Energie gewinnen kann?*

...

*Die Stadt benötigt ein Wasserkraftwerk. Auf den Karten, die ich euch ausgeteilt habe, sind verschiedene technische Bauteile abgebildet. Einige davon könnt ihr gebrauchen, um der Stadt zu helfen, die Energie umzuwandeln und zu bekommen. Lesen wir nun zusammen die Aufgabenstellung* (Testleiter liest vor, Kinder sollen mitlesen).

*Die Stadt Bergen soll mit elektrischer Energie versorgt werden, die aus einem weit entfernten Stausee gewonnen wird. Hierfür stehen verschiedene technische Bauteile, die auf den Karten abgebildet sind, zur Verfügung.*

**Lege die Karten mit den Bauteilen in die richtige Reihenfolge.**
**Du brauchst nicht alle Karten zu verwenden!**

Folgende Bedingungen müssen erfüllt werden:

a) Verwende nur einen Stausee.
b) Es soll möglichst viel Energie in der Stadt ankommen.
c) Es sollen wenig Energieverluste entstehen.

Wenn du einen Bestandteil nicht kennst, kannst du auf der Rückseite unter dem Papier Informationen darüber finden. Entferne hierfür das Papier.

*Kann nochmal jemand wiederholen, was gleich eure Aufgabe ist?*

*Danke. Genau* (wenn richtig, ansonsten korrigieren).

*Geht dabei am besten so vor:*

- *Schaut euch erst einmal die einzelnen Karten an. Ihr habt genug Zeit.*

1

- *Dann könnt ihr sie sortieren, denn es gibt ähnliche Karten, aber keine gleichen.*
- *Vielleicht könnt ihr dann schon welche aussortieren?*
- *Danach überlegt ihr euch, in welcher Reihenfolge die Karten **nebeneinanderliegen** müssen, damit aus dem Stausee am Ende möglichst viel elektrische Energie gewonnen werden kann. Wählt dafür das Bauteil aus, das am besten funktionieren würde.*
- *Lest euch auch ruhig die Informationen auf der Rückseite der Karten durch, wenn ihr nicht weiterwisst. Dafür könnt ihr die **festgeklebten Zettel kaputt** machen. Ich weiß, dass ihr vermutlich nicht alle Bauteile kennen werdet. Also macht ruhig den Zettel ab.*

*Versucht es einfach. Wenn ihr euch nicht sicher seid, ist das nicht schlimm. Ich freue mich über jeden Versuch. Ihr bekommt keine Noten.*

*Wenn ihr fertig mit der Reihenfolge seid, beantwortet bitte noch die Frage auf dem Aufgabenzettel unter der Aufgabenstellung und meldet euch dann, damit ich ein Foto von eurer Lösung machen kann. **ALSO BITTE DIE KARTEN LIEGENLASSEN!***

*Ist das soweit alles verständlich oder gibt es noch Fragen?*

*Tragt bitte **jetzt** euer Alter und euer Geschlecht oben auf dem Zettel ein.*

*Gibt es jemanden, der bereit wäre, das Bilderrätsel zu lösen, dabei diese Brille zu tragen* (Eye-Tracking-Brille hochhalten) *und laut zu denken?* (Eventuell Brille kurz beschreiben: nimmt auf wohin man schaut...)

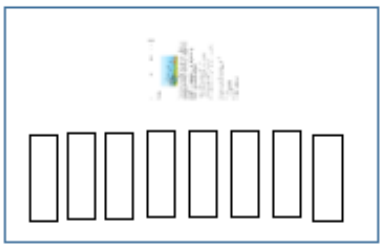
*(Jemand meldet sich.) Gut, dann darfst du mit meiner Kollegin vor die Türe gehen. Sie wird mit dir nochmals die Details besprechen.*

*Dann dürft ihr jetzt anfangen und habt 20 Minuten Zeit. Viel Spaß!*

Stoppuhr starten: **20 Minuten**!

Bei Fragen der Schüler keine Tipps geben, sondern sie ermutigen, es nach eigenem Wissen oder den eigenen Vorstellungen zu legen und eventuell nochmals die Information auf der Rückseite zu lesen.

Wenn ein Schüler fertig ist und sich meldet, **ein** Foto von den in die Reihenfolge gebrachten Karten UND dem Aufgabenblatt mit den Informationen des Schülers (ohne Namen!) machen (ein Foto pro Schüler). **UND** ein **2. Foto** von der Rückseite der Karten machen, nachdem sie umgedreht wurden.



Nach 20 Minuten die Schüler bitten, alles so liegen zu lassen, wieweit sie gekommen sind und von allen Lösungen inklusive Aufgabenzetteln Fotos machen.

2

[Gegebenenfalls die Lösung an die Tafel bringen und einmal kurz erläutern, je nach übrig gebliebener Zeit und Wunsch der Lehrkraft.]

### Nachbereitung

Karten stapeln, mit dem Gummiband fixieren und mit dem Aufgabenzettel einsammeln. Post-its mit Namen in der Schule entsorgen. Protokoll (vgl. Anhang) ausfüllen. Vor der nächsten Verwendung der Karten, diese nochmals kontrollieren, zählen (13 Karten), neu bekleben und die Stadt als oberste Karte sortieren.

3

## *Online-Fragebogen zur Auswertung der Ergebnisfotos*

**1. Wer wertet diesen Fragebogen aus?**

- ◯ Fletcher
- ◯ Förster
- ◯ Heveling
- ◯ Kelm
- ◯ Kleinteich
- ◯ Schramm
- ◯ Taskin

**2. Geben Sie den Dateinamen und den Ordner an.**

| | |
|---|---|
| Bild Vorderseite | |
| Bild Rückseite | |

**3. Geben Sie die ID des Probanden an.**

**4. Geben Sie das Alter des Probanden an.**

**5. Geben Sie das Geschlecht des Probanden an.**

- ◯ Mädchen
- ◯ Junge

**6. Was hat der Proband als Quelle des Vorwissens angegeben?**

- ☐ Kein Vorwissen
- ☐ Schule
- ☐ Sachunterricht
- ☐ Physikunterricht
- ☐ Technikunterricht
- ☐ Arbeitslehre
- ☐ Familie
- ☐ Medien

**7. Geben Sie die Reihenfolge der Karten der Schülerlösung an.**

| | |
|---|---|
| Stausee hoher Berg | – |
| Stausee niedriger Berg | – |
| Schauffellose Turbine | – |
| Wasserturbine | – |
| Wasserleitung | – |
| Wasserleitung mit Looping | – |
| Generator | – |
| Elektromotor | – |
| Hochspannungstransformator | – |
| Niederspannungstransformator | – |
| Stromleitung | – |
| Energietransporter | – |
| Stadt | – |

**8. Wie viele Karten wurden genutzt?**

**9. Geben Sie an, welche Karten richtig gewählt wurden.**

Es darf nur eine Karte pro System gewählt sein, wenn beide gewählt --> Keine Auswahl getroffen

- ☐ Stausee auf hohem Berg
- ☐ Keine oder gerade Wasserleitung
- ☐ Wasserturbine
- ☐ Generator
- ☐ Hochspannungstransformator oder beide
- ☐ Stromleitung
- ☐ Stadt

**10. Geben Sie an, ob die gewählten Karten richtig angeordnet liegen.**

Egal ob die richtige oder falsche Karte in dem System gewählt wurden. Auch möglich sind beide Karten, sofern sie nebeneinander liegen!

- ☐ Stausee am Anfang
- ☐ Stausee vor Wasserleitung oder Turbine
- ☐ Wasserleitung vor Turbine oder keine genutzt und Stausee vor Turbine
- ☐ Turbine vor Generator oder Motor
- ☐ Generator oder Motor vor Trafo, Stromleitung/LKW oder Stadt
- ☐ Transformator vor Stromleitung/LKW
- ☐ Stromleitung/LKW vor Stadt (oder Trafo)
- ☐ Stadt am Ende

**11. Ist der Energiefluss durchgängig? Würde Energie in der Stadt ankommen?**

Auch möglich, wenn ein System doppelt nebeneinader genutzt wurde. Nicht möglich, wenn der Motor genutzt wurde.

- ○ Ja
- ○ Nein

**12. Geben Sie an, welche der folgenden Fehler gemacht wurden:**

- ☐ Stausee auf niedrigem Berg oder beide Stauseen
- ☐ Wasserleitung mit Looping oder beide
- ☐ Schaufellose Turbine oder beide
- ☐ E-Motor oder E-Motor und Generator
- ☐ Energietransporter oder Energietransporter und Stromleitung
- ☐ Keinen Trafo oder falschen Trafo
- ☐ Keine Turbine
- ☐ Keinen Generator oder E-Motor
- ☐ Keinen Energietransporter oder Stromleitung

**13. Geben Sie an, welche der folgenden Fehler gemacht wurden:**

- ☐ Stausee nicht am Anfang
- ☐ Wasserleitung taucht nach / rechts von Turbine wieder auf
- ☐ Generator vorm / links neben E-Motor
- ☐ Stadt nicht am Ende

**14. Wie viele Syteme wurden doppelt gelegt?**

Beispielsweise würden beide Turbinen als Eingabe 1 bedeuten.

Beide Turbinen und beide Stauseen würde 2 ergeben.

**15. Geben Sie an, welche Hinweise vom Probanden benutzt wurden (Papier abgerissen)**

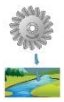
- ☐ Keine Hinweise genutzt
- ☐ Einen Stausee
- ☐ Beide Stauseen
- ☐ Schauffellose Turbine
- ☐ Wasserturbine
- ☐ Eine Wasserleitung
- ☐ Beide Wasserleitungen
- ☐ Generator
- ☐ Elektromotor
- ☐ Hochspannungstransformator
- ☐ Niederspannungstransformator
- ☐ Stromleitungen
- ☐ Energietransporter
- ☐ Stadt

**16. Anmerkungen / Kommentare / Auffälligkeiten zum Lernenden oder der Lösung.**
**Bitte auf dem Aufgabenblatt nach Bemerkungen gucken.**

## 8.3 Ergebnisse der Schüleraussagen

### *Ergebnisse der Schüleraussagen zu den einzelnen Teilsystemen*

| *Karte* | *Alter* | *Aussage* |
|---|---|---|
| | 9 ♀ | Verstehe den Unterschied nicht; versteh‘ das mit Lageenergie nicht. |
| | 9 ♂ | Besser geeignet [als niedrig], ich glaube aus dem Hohen kann man mehr Wasser gewinnen als aus dem Tiefen. |
| | 9 ♂ | Da kommt man mit dem Wasser weiter. |
| | 9 ♂ | Weit oben geht das ja so schnell runter. |
| | 11 ♀ | Hier ist der Weg halt länger und dann verbraucht das glaube ich mehr Energie – also, weil der Weg ja länger ist, weil das ja höher ist, glaube ich, dass es vielleicht mehr Energie verbraucht. |
| | 11 ♀ | Umso kälter das Wasser ist, umso mehr Energie bekommt man doch, weil bei dem Wind ist das doch auch so.<br>Umso höher etwas ist, umso kälter ist das doch. |
| | 12 ♂ | … dann hast du halt auch wieder mehr Energie, und dann… desto mehr Energie verbrauchst du dann auch. |
| | 12 ♂ | Weil das Wasser mit mehr Druck nach unten geht und somit dann mehr Energie aus der Turbine… also mehr Umdrehungen… deshalb wird’s mehr Energie geben. |
| | 12 ♂ | … da das Wasser auf mehr Druck kommt. |
| | 8 ♂ | Dann brauchen die ja nicht hier oben [über dem niedrigen Stausee] so`n Tunnel zu graben. |
| | 9 ♀ | Beim Kleinen [Niedrigem] kommt’s doch schneller an, oder? |
| | 9 ♂ | Die haben da Löcher unten reingemacht und so kann das Wasser abfließen. |
| | 9 ♂ | Der ist halt so niedrig und ich … weil beim Hohen fließt der länger, also kommt das Wasser auch weiter, also das muss dann nicht direkt daneben sein. |
| | 9 ♂ | Weil hier sieht das aus, als wenn da [niedriger Stausee] mehr drin ist, als da [hoher Stausee] und da kommt dann ja mehr Energie. |
| | 11 ♀ | Hier ist der Weg ja kürzer, weil es nicht so hoch ist und da verbraucht es vielleicht weniger Energie |

| *Karte* | *Alter* | *Aussage* |
|---|---|---|
| | 9 ♀ | Sehen relativ gleich aus [Wasserleitungen], nur dass da [Looping] `ne Schleife drin ist… nehme ich lieber das [gerade]. |
| | 9 ♂ | Das fließt es ab dabei. |
| | 10 ♂ | Hier wird das `n Bisschen abgebremst. |
| | 8 ♂ | Da muss man dann ja so richtig viel graben, um diesen Looping zu machen. |
| | 9 ♀ | Aber `ne Wasserleitung, die sowas hat, da kann das doch auch direkt so fließen [zeigt gerade] – macht doch keinen Sinn. |
| | 9 ♀ | Besser [als gerade], weil hier der Kringel ist und da kann dann mehr Wasser durch. |
| | 9 ♂ | Da muss man dann ja so richtig viel graben, um diesen Looping zu machen. |
| | 10 ♂ | … hier vielleicht ein bisschen Wasser abgebremst wird, weil das sonst zu schnell geht. |
| | 10 ♂ | … geht das sehr schnell runter und hat hier eine Beschleunigung. |
| | 11 ♀ | Ich glaube, dass da viel schneller ein Knoten reinkommen kann als hier [gerade Wasserleitung]. |
| | 12 ♂ | Warum ist die Wasserleitung… [zeigt geschwungen], ich glaub´ das braucht man nicht [lacht]. |
|  | 9 ♂ | Die Turbine leitet das Wasser… äh… zu Strom. |
| | 9 ♂ | Besser [als schaufellose], weil die Schaufeln hat. |
| | 9 ♂ | Die mit Schaufeln ist die bessere. |
| | 9 ♂ | Mit Schaufeln ist die besser oder so. |
| | 12 ♂ | Durch die Wasserturbine wird dann der Strom rausgezogen/holt aus dem Wasser die Energie raus. |
| | 9 ♀ | Was bringt mir eine schaufellose Wasserturbine? |
| | 9 ♂ | Sieht eher aus wie ein Autorad. |
| | 10 ♂ | Diese Wasserturbine hat ja nicht solche Schaufeln, ich überlege gerade, wie durch die Schaufeln das darein geworfen wird, weil hier wird das ja so geworfen und hier geht das denke ich nicht so wild. |
| | 10 ♂ | Geht das Wasser nicht so wild. |
| | 12 ♂ | Fällt raus, weil um das Wasser zu gewinnen, braucht man eine Wasserturbine mit Schaufeln. |
| | 12 ♂ | Treibt doch… gibt doch gar keine Energie, das macht keinen Sinn. |

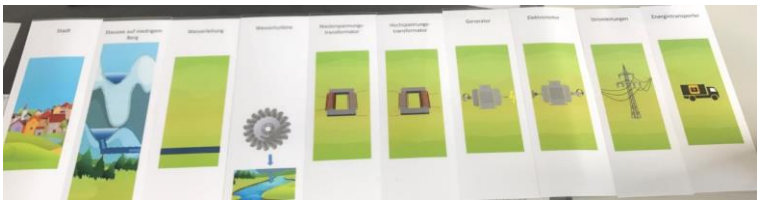
| *Karte* | *Alter* | *Aussage* |
|---|---|---|
| Generator | 9 ♀ | Den sollte ich eigentlich kennen. |
| | 9 ♀ | Das verstehe ich jetzt [nach Lesen], dass die zusammen gehören die beiden [Turbine und Generator]. |
| | 11 ♀ | Der Generator das Wasser in Strom umwandelt. |
| | 12 ♂ | Betreibt dann damit [Strom] dann die Stadt an. |
| Elektromotor | 9 ♀ | Bewegungsenergie ist ja gut, brauch´ ich bestimmt noch gleich. |
| | 11 ♀ | Damit das Wasser auch erstmal vielleicht weitergeleitet wird in eine Wasserleitung. |
| | 12 ♂ | … und den Elektromotor verbrauchst du wieder Elektrizität. |
| Hochspannungstransformator | 9 ♀ | Braucht man die überhaupt? Aber wofür dann beide? |
| | 9 ♀ | Leitet die Energie zu höherer Energie um/macht mehr Energie daraus. |
| | 9 ♂ | Und das hier macht es [das Wasser] zu Strom. |
| | 9 ♂ | Besser als Niederspannungstransformator. |
| Niederspannungstransformator | 10 ♂ | Wird das zu `n Bisschen – nicht zu viel, zu starker Energie umgewandelt, sondern zu leichter Energie. |
| | 11 ♀ | Das ist dann halt besser irgendwie leiten kann und dass der Strom halt nicht – also, dass die Energie nicht so stark ist, dass was kaputt gehen könnte oder so. |
| | 11 ♂ | Damit wird das Wasser nochmal angetrieben, weil hier [Spule links] geht das halt so rein und dann wird`s breiter irgendwie [Spule rechts]. |
| | 12 ♂ | … und wenn du die Stromleitung hast, brauchst du `ne höhere Spannung. |
| | 12 ♂ | …, so dass das in weniger Strom umgewandelt wird. |
| | 12 ♂ | Damit der Strom halt nicht zu stark ist für die Stadt. |
| Stromleitungen | 9 ♀ | Was ist `ne Ausgangsspannung? Stromleitung weiß ich was das ist, aber die braucht man doch um Häuser zu verbinden. |
| | 9 ♀ | Die verteilt das [Energie] `n Bisschen. |
| | 9 ♂ | Falls das noch weit weg ist bis zur Stadt, dann könnte man mit denen die elektrische Energie bis zu Stadt befördern. |
| | 11 ♀ | Die übertragen das [Strom/Energie] auf die Stadt. |

| *Karte* | *Alter* | *Aussage* |
|---|---|---|
| Energietransporter | 10 ♂ | Ich bau ja schon Sachen, die weitergeleitet werden, deswegen denke ich, dass der auch nicht gebraucht wird. |
| | 9 ♀ | Da tu‘ ich ja direkt was Umweltfeindliches mit dem Auto. |
| | 9 ♀ | … kann das in andere Städte bringen. |
| | 9 ♂ | Transportiert Energie für den Generator. |
| | 11 ♀ | Leitet dann den Strom oder eher gesagt die Energie in die Stromleitungen |
| | 11 ♀ | Da ist eine Stadt und sowas [Stromleitung] ist dann bestimmt auch in der Stadt dort und dann braucht man diesen Energietransporter eigentlich gar nicht mehr, weil hier ja auch Strom ist und Strom ist ja Energie |
| | 11 ♀ | … transportiert die Energie zur Stadt. |
| | 11 ♀ | … kommt dann halt so zu sagen und holt die Energie ab. |
| Stadt | 9 ♂ | Kann ich nicht gebrauchen für ein Energiekraftwerk |

*Ergebnisse der Schüleraussagen zu ihren Gesamtsystemen*

# ID 10641-16

**9 ♀**

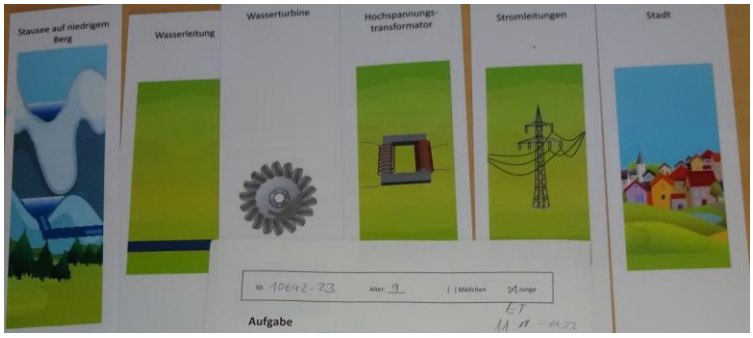


„Eine Stadt, dann der Stausee... häh, die Wasserleitung [baut um, Wasserleitung nach Turbine], die Wasserturbine kommt in den Fluss vom Stausee, dann führt eine Wasserleitung… ähm, dann kommen wir zum elektrischen [Transformator], hier kommt Niederspannung – obwohl [legt Niederspannungstransformator weg] – Hochspannungstransformator, der leitet die Energie in höhere Energie um, gibt´s eigentlich keinen Verlust, und der Generator, der produziert, Elektromotor, der braucht Elektrizität vom Generator, die Stromleitungen kriegen vom Elektromotor und vom Generator, der Energietransporter auch, also der kriegt die beiden da und er kann es dann überall hin transportieren.

… bei dem hier [Motor] bin ich mir nicht so sicher… aber für den [Generator] braucht man ja Strom, aber der Elektromotor… ja… [Definition Generator gelesen] ja, also muss sich jemand dafür bewegen, also dann muss das hier [Wasserturbine] sich bewegen, das [Turbine] führt dann das ganze Wasser in die Wasserleitungen rein, mmh… [liest Transformator und legt ihn nach den Generator] der Generator – es muss sich jemand bewegen und es [Wasserturbine] bewegt sich und dann muss das hier [Turbine] mit dem hier [Generator] verbunden sein, weil das [Turbine] bewegt sich, dann kriegen die Wasserleitungen Wasser unter der Erde, der Hochspannungs. macht mehr Energie daraus, der Elektromotor, mit dem… ja, mit dem kann man dann da… ähm… hääähh… mit dem Elektromotor kann man dann sich wieder bewegen also… ähm… Energie wieder in Bewegungsenergie, also wieder was Umweltfreundliches, dann die Stromleitung, die verteilt auch `n bisschen, der Energietransporter kann das in andere Städte bringen, ja… ich glaube so ist das gut.“

# ID 10642-23

**9 ♂**




„Das Wasser fließt dadurch [Stausee], dann dadurch [Wasserleitung], die Turbine macht das zu Strom, dann… äh… hier [Transformator] wird das dann zu Strom gemacht und dann kann das abgeleitet werden [Stromleitung] ins Dorf.“

# ID 10941-10

**9 ♂**

„Ich nehm‘ den höheren Berg, also den hohen Stausee, weil da kommt man mit dem Wasser weiter, dann… kommen nämlich die Wasserleitungen… ja, die bringen dann halt das Wasser zur Wasserturbine, (, da hab‘ ich nicht die schaufellose genommen, weil ich glaub‘ die mit Schaufeln ist die besser oder so… ähm) dann hab‘ ich den Hochspannungstransformator – oder… ich glaub‘ ich tausche das [legt Generator vor Transformator], so… jetzt kommt der Generator, der… die Turbine dreht sich, das wird irgendwie über… darauf [Generator] übertragen und der Generator macht das dann zum Strom, der kommt auf den Hochspannungstransformator, der bringt das dann auf die Stromleitungen in die Luft, die... und die bringt das halt dann in die Stadt.“

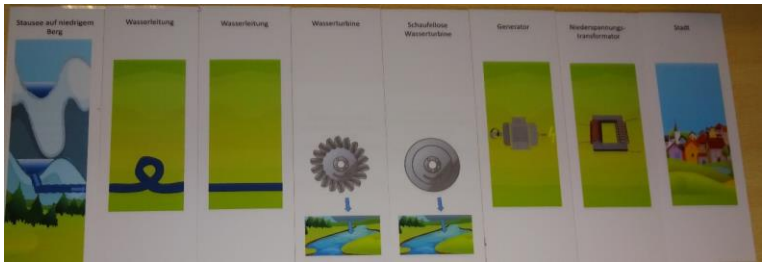
# ID 11141-09

**9 ♂**

„Ich hab‘ das so gemacht, weil hier [hoher Stausee] … weil oben geht das ja so… ähm… schnell runter, da kommt hier [Looping] so `ne Leitung, dass das dann so von da oben [obere Schlaufe Looping] nochmal so runter geht und dann wird das hier [Generator] halt durch die Bewegung zu Strom verarbeitet, da [LKW] wird der Strom rüber transportiert in die Stadt.“

# ID 10541-20

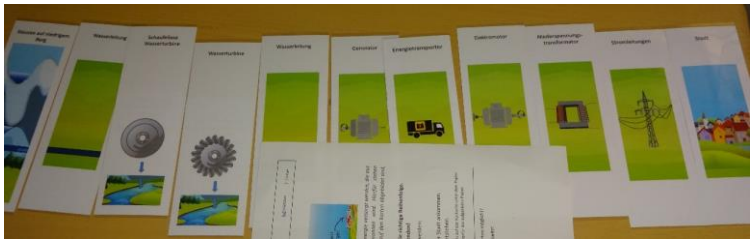
**10 ♂**




„Hier [Stausee] wird das Wasser, wo ich denke, dass das mehr ist, weitergeleitet und ich finde hier geht das sehr schnell runter und hat hier eine Beschleunigung [Looping] und hier [gerade Wasserleitung] wird das `n bisschen abgebremst und hier geht das wieder schneller [Wasserturbine] und hier [schaufellose Wasserturbine] geht das Wasser nicht so wild wie hier [Wasserturbine] durch und… wird das hier [Generator] zu Energie umgewandelt und hier [Transformator] wird das zu `n bisschen – nicht zu viel… zu starker Energie umgewandelt, sondern zu leichter Energie, dann kommt es zur Stadt.“

# ID 20865-07

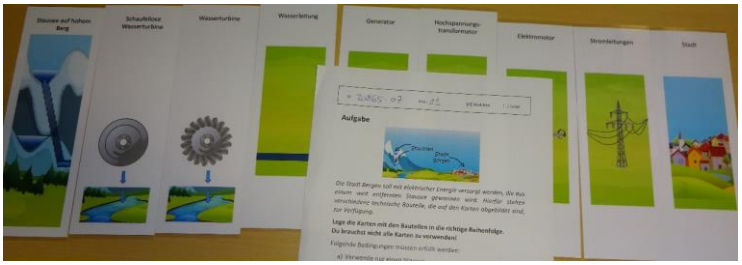
**11 ♀**



„Hier [Stausee] wird`s hierhin [schaufellose Wasserturbine] geleitet und... [einige Veränderungen]… dann wird das halt mehr… so zu sagen weiter weggeschoben [Turbinen] da kommen die erstmal keine Wasserleitung – halt in den Fluss so zu sagen geleitet, dann wird das in diese Wasserleitung [Looping], die geht dann hier zu diesem Generator, der verwandelt das halt in Energie um, der Energietransporter kommt dann halt so zu sagen und holt die Energie ab, der Elektromotor… ähm… macht das ja in Bewegungsenergie und so wird das dann halt hier [Transformator] hingeleitet und von den Stromleitungen in die Stadt.“

# ID 20864-24

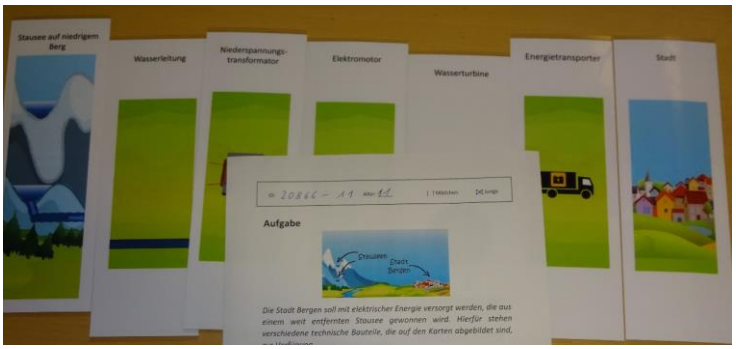
**11 ♀**



„Das ist der Stausee und da mit diesem Ding [schaufellose Turbine] da ähm… das macht dann das Wasser… also… das verwandelt [liest Rückseite] das dann in Bewegungsenergie um und diese Wasserturbine macht das dann in Bewegungsenergie [hat gelesen] und mit der Wasserleitung kommt das zum Elektromotor [liest] und dann macht das diese Wasserleitung… Moment, da muss das hier [Generator und Motor] getauscht werden, dann wandelt das [Generator] das in elektrische Energie um [liest] und dieses Ding [Hochspannungstransformator] glaube ich dann ist das dann damit ähm… dass diese Sachen was hier ist, dass das dann nochmal festhaltet und dass das dann diesen Elektromotor nochmal noch stärker wird und dass diese Stromleitung, wo das dann alles reingeht, dann die Stadt ähm Energie gibt, elektrische.“

# ID 20866-11

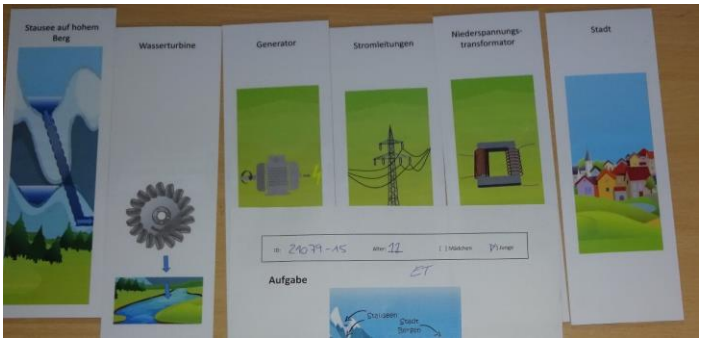
**11 ♂**




„Also ich glaube, dass dann das Wasser hier halt… dass da `n Loch ist [unterm Stausee] und dann wird das über die Wasserleitung hier so reingeflossen und dann wird das Wasser… kriegt das… wird das halt noch schneller oder halt breiter und dadurch wird dann das Schaufelrad angetrieben und durch den Elektromotor dreht sich das [Turbine] halt und… warte, da muss irgendwie noch… Energietrans… ja, Energietransporter hier [legt die Karte vor die Stadt], der transportiert dann die Energie zur Stadt.“

# ID 21079-15

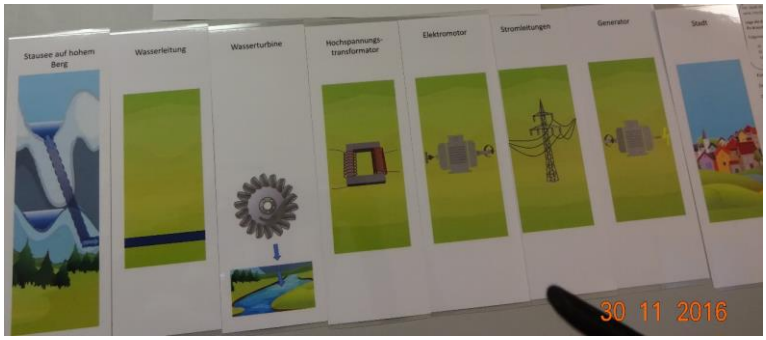
**12 ♂**




„Ich nehm´ die obere Quelle, da das Wasser auf mehr Druck kommt, somit wird die Turbine schneller angetrieben, die Turbine hängt am Motor [meint Generator], der Motor... äh… der Generator dreht sich dann und erzeugt Strom, der Strom geht in die Stromleitungen, dann… das [gerade Wasserleitung] kommt daraus, die Stromleitung führt in den Transformator, damit der Strom halt nicht zu stark ist für die Stadt, und dann geht der in die Stadt und dann hat die Stadt den Strom.“

# ID 20379-16

**12** ♂

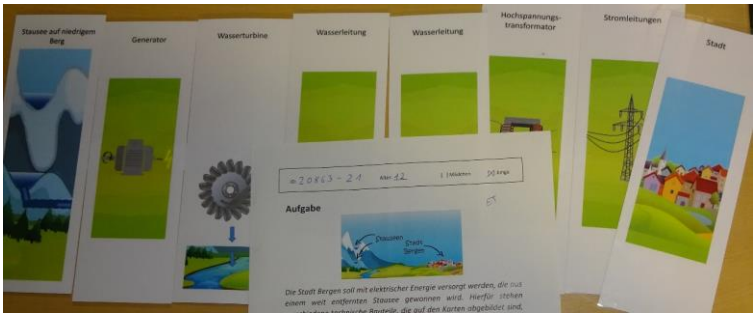



*Versuch 1* „Aus dem hohen Berg fließt das Wasser dann in den Fluss und dann durch die Wasserturbine wird dann der Strom rausgezogen und dann durch… in den Niederspannungstransformator, so dass das in weniger Strom umgewandelt wird, um den Elektromotor zu betreiben, der dann wiederum den Strom durch die Stromleitung zum Generator bet…. Eh …. Kommt und der Generator betreibt dann damit dann die Stadt an.“

*Versuch 2* „Beim Stausee wird das Wasser durch die Wasserleitung in den Fluss geleitete, wo die Wasserturbine aus dem Wasser die Energie rausholt und dann in einen Hochspannungstransformator, der dann die höhere Ausgangsspannung in die Stromleitungen… ja, dann fließt das in die Stromleitungen, die bringt das zum Generator, der Generator bringt das dann zum Elektromotor – oder nee, andersrum.“

# ID 20863-21

**12** ♂




„Also das Wasser wird durch die Wasserturbine und den Generator aufgepumpt, durch die Wasserleitung in den Hochspannungstransformator, dann in die Stromleitung und so schließlich in die Stadt herein.“

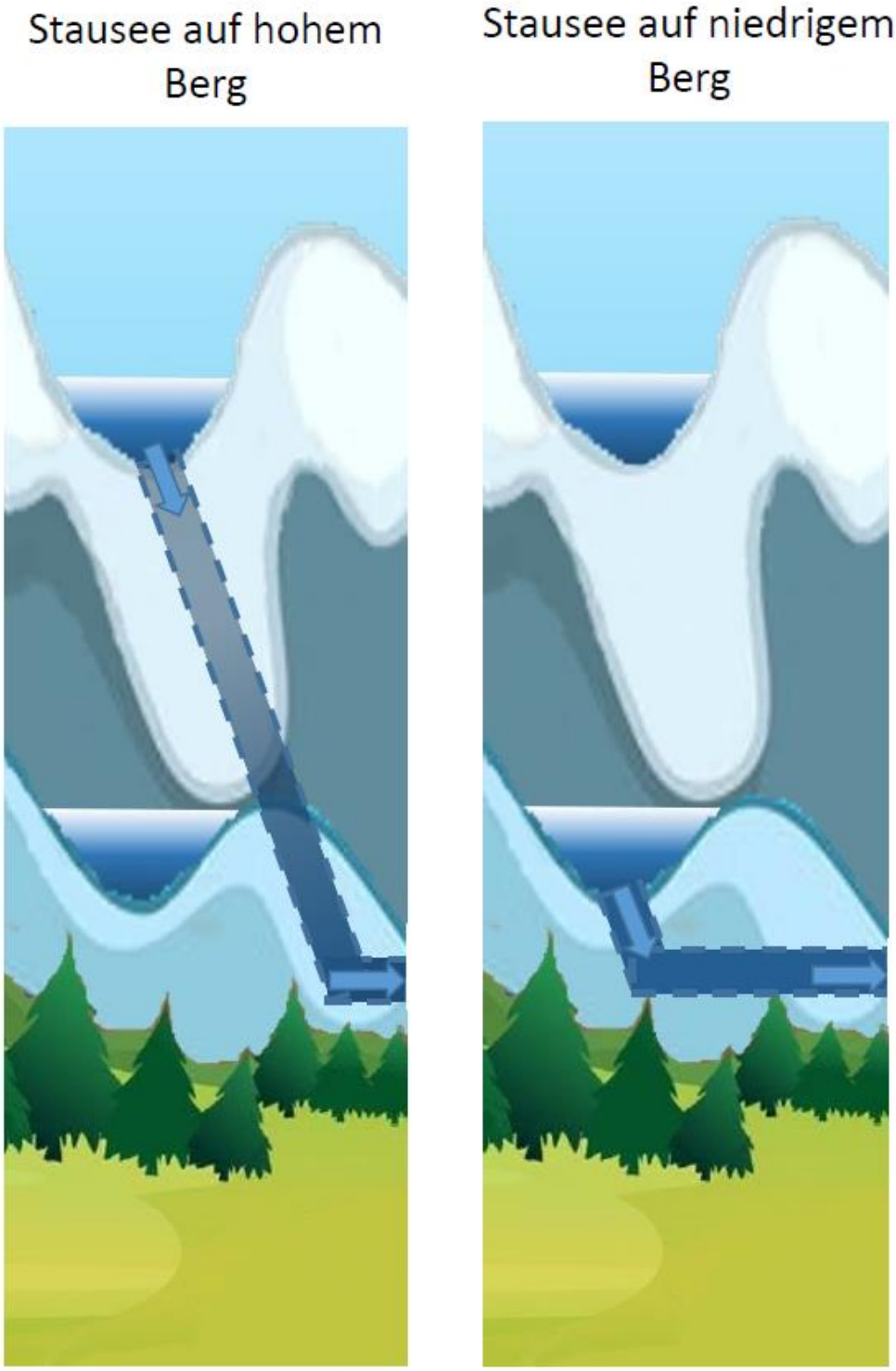
## 8.4 Daten der IDs mit Eye-Tracking-Brille

Tabelle 22: Informationen über die mit Eye-Tracking-Brille getesteten Schüler/-innen[8]

| *ID* | *Geschlecht* | *Alter* | *Klasse* | *Pkt. AD* | *Pkt. SD* | *Pkt. TV* | *Angabe Vorwissen* | *Bearbeitungsdauer [h:m:s]* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *10541-20* | ♂ | 10 | 4 | 1 | 4 | 5 | ohne | 0:07:39 |
| *10641-16* | ♀ | 9 | 4 | 3 | 2 | 5 | ohne | 0:12:28 |
| *10642-23* | ♂ | 9 | 4 | 4 | 4 | 8 | Schule | 0:02:28 |
| *10643-16* | ♀ | 9 | 4 | 3 | 2 | 5 | ohne | 0:18:44 |
| *10741-20* | ♂ | 9 | 4 | 6 | 5 | 11 | ohne | 0:13:36 |
| *10742-11* | ♂ | 8 | 4 | 1 | 5 | 6 | Schule | 0:14:08 |
| *10941-10* | ♂ | 9 | 4 | 6 | 6 | 12 | Familie | 0:02:08 |
| *11141-09* | ♂ | 9 | 4 | 2 | 2 | 4 | Medien | 0:05:29 |
| *11242-20* | ♀ | 9 | 4 | 3 | 6 | 9 | - | 0:14:52 |
| *20379-16* | ♂ | 12 | 7 | 5 | 2 | 7 | ohne | 0:11:03 |
| *20479-06* | ♀ | 12 | 7 | 4 | 0 | 4 | ohne | 0:03:15 |
| *20863-21* | ♂ | 12 | 6 | 4 | 2 | 6 | Familie, Meiden | 0:01:35 |
| *20864-24* | ♀ | 11 | 6 | 0 | 5 | 5 | Schule | 0:14:18 |
| *20865-07* | ♀ | 11 | 6 | 4 | 3 | 7 | ohne | 0:07:44 |
| *20866-11* | ♂ | 11 | 6 | 2 | 2 | 4 | ohne | 0:02:38 |
| *21079-15* | ♂ | 12 | 7 | 5 | 4 | 9 | Schule, Familie, Medien | 0:02:24 |

[8] Pkt. ≙ Punkte; AD ≙ analytische Denkoperationen; SD ≙ synthetische Denkoperationen; TV ≙ technisches Verständnis

## 8.5 Erhebungsinstrument in Originalgröße

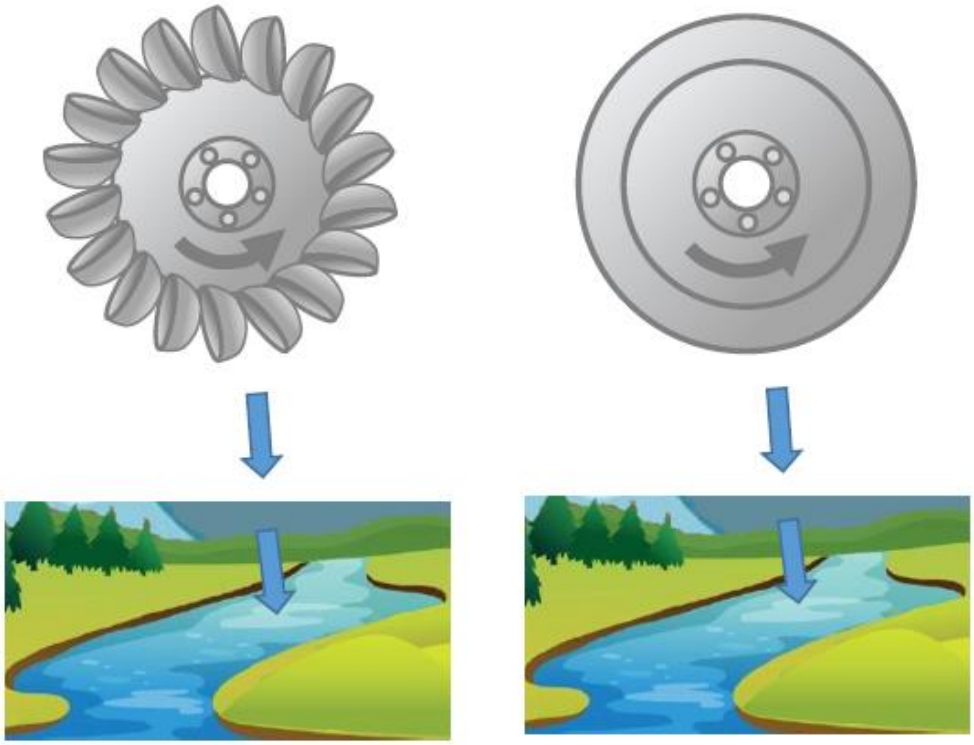


Wasserleitung

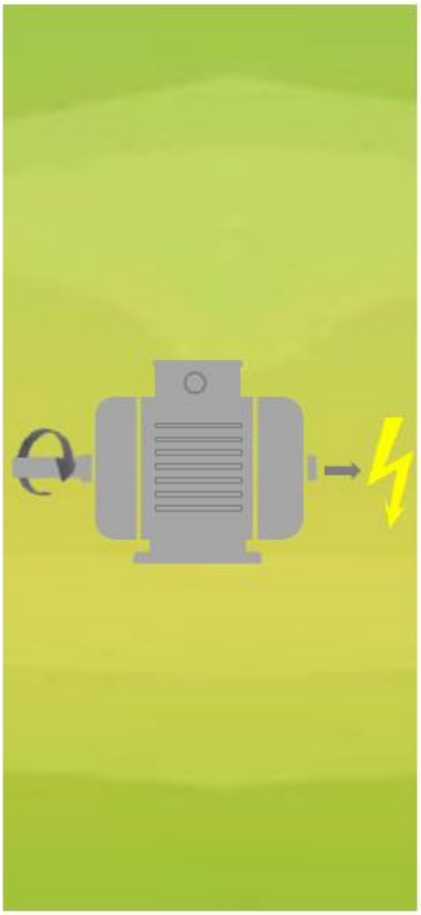
Wasserleitung

Wasserturbine

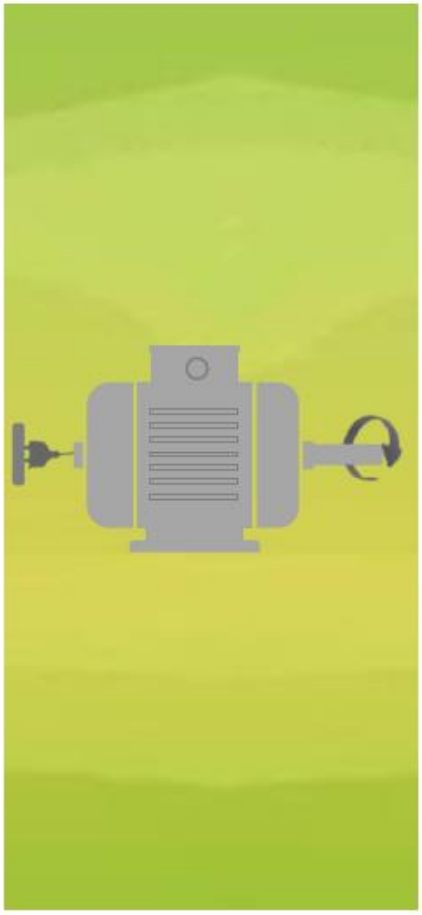
Schaufellose Wasserturbine



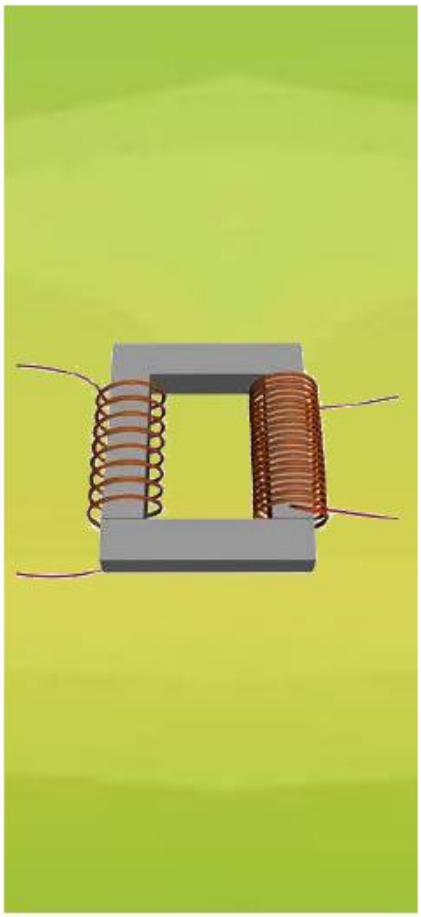
Generator



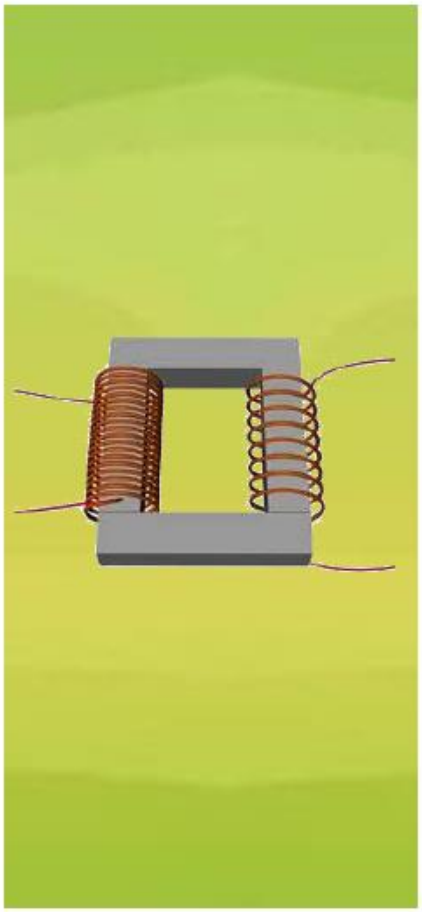
Elektromotor



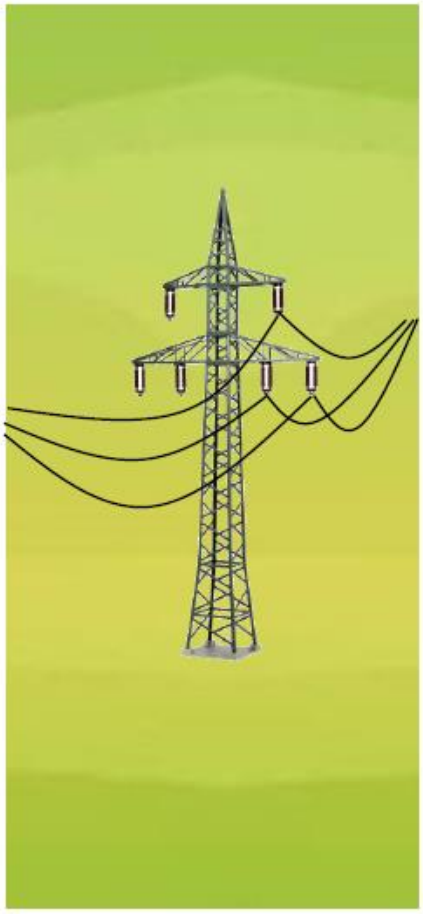
Hochspannungs-
transformator



Niederspannungs-
transformator



Stromleitungen



Energietransporter

Stadt

# 9 Danksagung

Prof. Dr. Stefan Fletcher gilt mein besonderer Dank dafür, dass er mich in die Welt der Technik entführt hat, bei Fragen und Problemen jeglicher Art jederzeit für mich da war, immer hinter mir stand und mir den Rücken freigehalten hat, um auch mit einer Familie mit zwei Kindern eine zweite Dissertation verfassen zu können.

Den Mitarbeiter/-innen der AG Fletcher Johannes Deutsch und Tatiana Esau danke ich für die vielen Stunden, die sie mit Herrn Fletcher und mir in Sitzungen über Problematiken diskutiert haben und für ihre konstruktiven Kommentare. Johannes Deutsch hatte auch für statistische Themen immer ein offenes Ohr und hat mir mit der ein oder anderen Analyse ausgeholfen, vielen Dank. Tatiana Esau danke ich auch für alle Cafeten-Gänge und den regen Austausch über jegliche Belange, die lustigen Geschichten, die sie in ihrem Leben erlebt hat, und die gemeinsamen unterhaltsamen Dienstreisen. Den Mitarbeiter/-innen der AG Lang Dr. Christian Karl, Dr. Jennifer Stemmann, Marcel Pelz und Dr. Melanie Letzner sowie Tatiana Esau danke ich für die fröhlichen Mensarunden, offene Ohren für interne Ärgernisse und Hilfe bei organisatorischen Problemen.

Meinem Exilnachbarn Dr. Christian Karl danke ich dafür, dass er einfach immer da war, wir immer einen sehr guten und produktiven Austausch hatten und er auch bei Problemen sozialer oder persönlicher Art immer einen Rat hatte. Durch ihn und seine Familie habe ich auch meinen Weg gefunden. Schön, dass ich dich kennen gelernt habe.

Ebenfalls gilt mein Dank den Doktoranden des Graduiertenkollegs SUSeI Sophia Mambrey, Marisa Holzapfel, Marcel Ebers, Thomas Kania, Simon Ohlenforst, Rasmus Viefers und Matthias Sowinski für noch mehr amüsante gemeinsame Stunden auf Tagungen, im Englischkurs und bei anderen Zusammentreffen. Wir hätten noch mehr Stunden miteinander verbringen können.

Dass ich die Erhebungen in diesem kurzen Zeitrahmen mit vielen Testungen pro Woche an unterschiedlichen Schulen und Standorten bewältigen konnte, habe ich meinen studentische Hilfskräften Nanni Heveling, Laura Kelm, René Förster, Merve Taskin und Thilo Schramm zu verdanken. Sie haben sehr engagiert mitgewirkt und waren auch bereit in frühen Morgenstunden mitzuhelfen und an Wochenenden zu arbeiten.

Ein ganz besonders großer Dank gilt meiner Mutter Gisela Kopmann, ohne die ich diese Zeit nicht so unbeschwert und angenehm hätte schaffen können. Sie ist neben ihren regelmäßigen Tagen immer auch spontan eingesprungen, wenn Not am Mann bzw. an „Oma“ war (Krankheitsfälle der Kinder, Ferien) und hat oft ihre eigenen Interessen hinter denen unserer gestellt. Ich konnte mir immer sicher sein, dass es unseren Kindern gut geht, sie mit Herz betreut werden, das gesunde Essen auf dem Tisch steht, sie an die frische Luft kommen oder sie sonstige schöne Sachen unternehmen. Und zusätzlich war sogar auch oft noch mein Haushalt erledigt. Vielen Dank, Mama!

Mein Mann Dr. Thomas Kleinteich hat nun schon die zweite Dissertation mit mir durchgestanden. Ihm bin ich für unsere abendlichen Diskussionen und seine wertvollen Vorschläge sehr dankbar, dass er sich mit der Didaktik auseinandergesetzt hat, mir mit R geholfen hat, sich um die Kinder gekümmert hat, wenn ich mal Zeit zum Arbeiten brauchte, und immer hinter mir steht. Du bist und bleibst das Beste, was mir je passiert ist!