

HANNES HELMUT NEPPER (Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd)
TOBIAS GSCHWENDTNER (Pädagogische Hochschule Ludwigsburg)

**Schüler- und Lehrervorstellungen zu ausgewählten technischen
Grundlagen der Mechanik und Energieversorgung**

Herausgeber

BERND ZINN

RALF TENBERG

DANIEL PITTICH

Journal of Technical Education (JOTED)

ISSN 2198-0306

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

HANNES HELMUT NEPPER / TOBIAS GSCHWENDTNER

Schüler- und Lehrervorstellungen zu ausgewählten technischen Grundlagen der Mechanik und Energieversorgung¹

ZUSAMMENFASSUNG: Die Identifizierung von prominenten Schülervorstellungen und Vorstellungen von Techniklehrenden der Sekundarstufe 1 ist in der allgemeinbildenden technickdidaktischen Forschung bisher weitgehend vernachlässigt worden, wenngleich deren Beachtung für eine wirksame Unterrichtspraxis generell als wichtig erkannt wird. Vor diesem Hintergrund wurden für diesen Beitrag in einem ersten Zugriff auf Grundlage einer vorangegangenen Delphi-Studie zu bedeutsamen physikalischen Grundlagen für den Technikunterricht bei $n = 60$ Schüler/-innen und Lehrer/-innen Vorstellungen zu ausgewählten Grundlagen der Mechanik und Energieversorgung erhoben sowie Gemeinsamkeiten und Unterschiede analysiert.

Schlüsselwörter: Schülervorstellungen, Lehrervorstellungen, physikalische Grundlagen, Technikunterricht

Student and teacher perceptions on selected technical basics of mechanics and energy supply

ABSTRACT: The identification of prominent student perceptions and perceptions of technology teachers for secondary level 1 has so far been largely neglected in technical didactic research, although their relevance to effective teaching practice is generally recognized. Against this background, in a first approach based on a previous Delphi study on important physical fundamentals for technology education, the perceptions of 60 pupils and teachers of selected fundamentals of mechanics and energy-supply were compiled and similarities and differences were analysed.

Keywords: student perceptions, teacher perceptions, physical fundamentals, technology education

¹ Diese Veröffentlichung geht aus dem Verbundprojekt "Lehrerbildung PLUS – Professionsorientierte Weiterentwicklung der Lehrerbildung in der Region Stuttgart – Aufbau einer Professional School of Education (PSE)" hervor, das im Zuge der gemeinsamen "Qualitätsoffensive Lehrerbildung" von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert wird (Förderkennzeichen: 01JA1607B).

1 Ausgangslage

1.1 Schüler- und Lehrervorstellungen – eine Auswahl an theoretischen und empirischen Bezugspunkten

Technikunterricht soll Schüler/-innen befähigen, unterschiedlichste Orientierungs-, Handlungs- und Bewertungsfähigkeiten im Umgang mit Technik zu entwickeln (Schlagenhauf & Wiesmüller, 2018, S. 12). Das dazu notwendig werdende Lehren und Lernen bspw. von Strukturen, Prozessen, Funktionen, Gesetzmäßigkeiten und Mensch-Umwelt-Beziehungen von technischen Artefakten und Systemen gelingt wahrscheinlich in wünschenswerter Qualität am ehesten, wenn jene Vorerfahrungen und Vorstellungen, die sowohl Schüler/-innen als auch Lehrer/-innen in den Technikunterricht mit einbringen, didaktisch explizit Berücksichtigung finden (Ausubel, 1968, S. VI; Wilhelm, Rehm & Reinhardt, 2018, S. 16).² Diese individuell geprägten Vorerfahrungen und Vorstellungen³ der Schüler, welche sich möglicherweise in den bisherigen Alltagswelten sowie im vorangegangenen Unterricht „bewährt“ haben, stehen nicht selten fachwissenschaftlichen Aussagesystemen konträr gegenüber und können – da sie faktisch Verstehensbarrieren darstellen – den Wissenserwerb und -transfer in den weiteren Lehr-Lernprozessen negativ beeinflussen (Jung, 1986, S. 3; Wiesner, Schecker & Hopf, 2013, S. 34; Feige, Rutsch, Dörfler & Rehm, 2017, S. 158). Werden solche Vorstellungen identifiziert und im pädagogischen Prozess bewusst gehalten, kann es helfen, im weiteren Technikunterricht „Verständnisprobleme zu erkennen, mögliche Reaktionen abzuwägen, zu erproben und zu überdenken“ (Schecker & Duit, 2018a, S. 7). Der Anspruch ist letztlich, dass es Lehrer/-innen möglich sein sollte, „[...] aus den Divergenzen zwischen Schülervorstellungen und Expertenansichten einen Unterricht zu gestalten, der zu adäquaten Ansichten führt“ (Zinn, 2013, S. 74f.). Dies erschwerend wirkt sicherlich, dass vorhandene Schülervorstellungen sich als relativ stabil gegenüber Unterricht erweisen. Unter bestimmten Umständen sind diese dennoch erfahrungsbasiert veränderbar (Reusser & Pauli, 2014, S. 642ff.): Als didaktische Bezugspunkte zur Veränderung von Schülervorstellungen bieten sich bspw. die Ansätze des *Conceptual Change* (Posner, Strike, Hewson & Gertzog, 1982; Hopf & Wilhelm, 2018), der *didaktischen Rekonstruktion* (Kattmann, Duit, Gropengießer & Komorek, 1997; Gropengießer & Kattmann, 2009) und der *Phänomenographie* (Murmann, 2009) an.

Zentrale Veränderungs- und Gestaltungsbedingung ist allerdings, dass empirische Evidenzen über themenspezifische Vorstellungen als Grundlage für fachdidaktische Entscheidungen in der Planung, Durchführung und Reflexion von Technikunterricht überhaupt verfügbar sind. Für den Technikunterricht fehlen solcherlei Erkenntnisse leider weitgehend; dies betrifft ebenso Forschungsleistungen zu Vorstellungen von Techniklehrkräften.⁴ Anders sieht es in den verwandten MINT-beteiligten Schulfächern aus; dort existieren für viele Themenbereiche bereits umfangreiche empirische Befunde zu vorunterrichtlichen Vorstellungen, die jedoch auf Grund der fachdidaktischen Spezifika der einzelnen Fächer/Fachwissenschaften nur begrenzt auf den Technikun-

2 Dass Vorstellungen von Lernenden bei der Unterrichtsplanung und -durchführung grundlegend zu beachten sind, ist keine vollständig neue Erkenntnis der gegenwärtigen Bildungsforschung. So vertrat bereits Mitte des 19. Jahrhunderts der deutsche Pädagoge Diesterweg die Auffassung, dass „[...] ohne die Kenntnis des Standpunkts des Schülers [...] keine ordentliche Belehrung desselben möglich [sei]“ (Diesterweg, 1835 zitiert nach Duit, 2008, S. 2).

3 Im fachdidaktischen Diskurs werden für die hier angesprochenen Vorerfahrungen und Vorstellungen auch synonym die Begriffe Schülervorstellungen, Alltagsvorstellungen, alternative Frameworks, Präkonzepte, naive Theorien und vorunterrichtliche Vorstellungen verwendet.

4 Den Autoren sind lediglich einzelne Erhebungen zu technischen Themen aus dem Sachunterricht der Primarstufe bekannt (u.a. Feest, Gans & Heyroth, 1993; Jarvis & Reenie, 1995; 1996).

terricht direkt anwendbar erscheinen.⁵ Für die allgemeinbildende technikkdidaktische Forschung stellt die Identifizierung von prominenten Schüler- und Lehrervorstellungen somit ein Desiderat dar, das einer eingehenderen Beschäftigung lohnt (Gschwendtner & Geißel, 2018, S. 198).

Die Autoren dieses Beitrags begegneten diesem Umstand zunächst – in chronologischer Reihenfolge – mit (1) einer Delphistudie zur Priorisierung und Selektion für den Technikunterricht bedeutsamer Konzepte/Inhalte⁶ und (2) einer ersten Pilotstudie zur Erfassung von auf einen Teil dieser Konzepte/Inhalte bezogenen Schüler- und Lehrervorstellungen (Nepper & Gschwendtner, 2020) sowie einer umfangreicheren Hauptstudie, aus der dann weiter unten ausführlich berichtet wird.

In der Delphi-Studie sowie ergänzenden Analysen des aktuellen Bildungsplans (KM, 2016) wurden zunächst jene physikalisch-technischen Grundlagen identifiziert, welche aus Professionsicht für das spätere wirksame Unterrichten von Technik erfolgskritische Zugänge darstellen (Nepper & Gschwendtner, 2020). Dabei kristallisierten sich u.a. die physikalisch-technischen Grundlagen der *Mechanik* und der *Energie* als besonders bedeutsam heraus.⁷ Anknüpfend daran spezifizierten die Autoren auf Grundlage der konkreten Expertenantworten in der Delphistudie sowie weiteren fachdidaktischen Überlegungen (ebd.) zwei konkrete technische Systeme, das Fahrradgetriebe als Vertreter des Mechanikkonzepts (Kap. 1.2.1) und das Kohlekraftwerk als Vertreter des Energiekonzepts (Kap. 1.2.2), zu denen individuelle Vorstellungen eruierten wurden. Neben der Identifizierung prominenter Vorstellungen standen außerdem Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Lehrer/-innen und Schüler/-innen im Fokus.

In der Pilotstudie wurden in einem mehrstufigen, leitfragengestützten Videointerview $n = 22$ Probanden ($n = 7$ Techniklehrer/-innen [$M = 35.83$ Jahre; $SD = 5.94$] mit mehrjähriger Berufserfahrung; $n = 15$ Schüler/-innen des Technikunterrichts [$M = 14.53$ Jahre; $SD = .63$]) zum Aufbau und Funktionsprinzip eines Fahrradgetriebes befragt. Teilweise dienten Bildmaterialien zur Veranschaulichung der Fragen und dem Unterstützen eines bildbasierten Argumentierens der Probanden (bspw. „*Hier sehen Sie ein Bild eines Radrennfahrers und dessen Schaltung. Wenn Sie nun möglichst schnell mit dem Fahrrad unterwegs sein wollen, in welchem Gang würden Sie fahren? Begründen Sie Ihre Entscheidung fachlich möglichst vollständig!*“). Die Probanden durften ihre verbalen Ausführungen zusätzlich zeichnerisch fundieren (bspw. „*Bitte zeichnen Sie einmal all die notwendigen Bauteile und deren Zusammenwirken hier auf ein Papier. Sagen Sie bitte laut, was Sie gerade zeichnen.*“). Im Anschluss an das jeweilige Videointerview hatten die befragten Schüler/-innen und Lehrer/-innen zudem die Möglichkeit, Korrekturen und Ergänzungen zu ihren Aussagen vorzunehmen, indem sie das videografierte Interview nochmals ansa-

5 Dennoch sei auf diesen Forschungsstrang hier kurz Bezug genommen. Bereits seit den 1960er Jahren gibt es bspw. für den Physikunterricht zahlreiche Studien zu den unterschiedlichsten Themenbereichen. Eine Bibliographie, zusammengestellt von der Forschungsgruppe um Reinders Duit, findet sich hierzu auf dem Server des IPN Kiel (archiv.ipn.uni-kiel.de/stcse/). Die Forschungsgruppe verweist interessanterweise darauf, dass Alltagsvorstellungen von Lehrkräften zu physikalischen Inhalten oftmals denen ihrer Schüler/-innen ähneln (Duit, 2002, S. 8). Schecker & Wilhelm (2018) berichten in ihrem Überblicksartikel zu Schülervorstellungen in der Mechanik davon, dass Schüler/-innen die Gleichung $F=m \cdot a$ als Teil der Newtonschen Axiome zwar rechnerisch korrekt anwenden können, in ihren Aussagen allerdings eine ineinander verwobene Vorstellung von Kraft besitzen (Clusterkonzept „Kraft/ Energie/ Wucht/ Schwung“) (ebd., S. 71). Kraft wird von Schüler/-innen tendenziell „mit der Fähigkeit verbunden, auf etwas einwirken zu können, und nicht mit dem Einwirken selbst“ (ebd., S. 64). So kommt es bspw. zu folgender Aussage: „Beim Stoß überträgt die rollende Kugel einen Teil ihrer Kraft auf die Ruhende“ (ebd., S. 70). Die Autoren entwickelten auf Basis der identifizierten Vorstellungen ein Unterrichtskonzept mit dem Fokus auf der Unterscheidung zwischen Wechselwirkungsgesetz und Kräftegleichgewicht sowie eine Bewegungslehre mit expliziter Behandlung von Tempo und Richtung (Wiesner, Wilhelm, Rachel, Waltner, Tobias & Hopf, 2011; Wilhelm, Wiesner, Hopf & Rachel, 2013; Wilhelm & Hopf, 2014). Bezüglich des Energiekonzepts ist vielen Schüler/-innen der Energieerhaltungssatz zwar bekannt, allerdings kann bspw. selten expliziert werden, wo die Bewegungsenergie herkommt, wenn ein Dachziegel vom Dach fällt, und wo die Energie nach dem Auftreffen auf dem Boden verbleibt (Duit, 2002, S.21).

6 Im Fokus standen ausschließlich physikalisch-technische Konzepte/Inhalte.

7 Als weniger bedeutsam wurden von den Expert/-innen bspw. die physikalisch-technischen Grundlagen Struktur der Materie, Optik und Akustik und Wellen und Schwingungen bewertet.

hen. Ausgewertet wurden die Daten in Anlehnung an die qualitative Inhaltsanalyse (Mayring, 2015). Im Ergebnis (ausführlich in Nepper & Gschwendtner, 2020) fiel es den meisten der befragten Schüler/-innen – allerdings auch vielen Lehrer/-innen – schwer, die jeweiligen physikalisch-technischen Funktionszusammenhänge am Fahrradgetriebe fachwissenschaftlich richtig zu verbalisieren. So kam es oftmals zu einem diffusen Gebrauch der technikbezogenen Alltagssprache und einem von den eigentlichen Inhalten losgelösten „Namedropping“ von Fachbegriffen. Insgesamt können die Daten in der Weise interpretiert werden, dass das (Fahrrad-)Getriebe für beide Probandengruppen ein kaum verstandenes System zu sein scheint. Diese im ersten Moment durchaus besorgniserregenden Ergebnisse waren gleichzeitig, etwas abmildernd, von der Frage begleitet, ob das mangelnde und inkorrekte Explizieren der Funktionszusammenhänge bspw. auch methodisch (mit)bedingt oder ein Stichprobeneffekt sein könnte.

Daher wurde im Rahmen einer darauffolgenden Hauptstudie (1) der Stichprobenumfang deutlich ausgeweitet, (2) die sprachlich-bildhaft vermittelten Problemsituationen nun in reale Problemsituationen mit aktiv-aufforderndem Charakter übersetzt, (3) elaborierte Erklärungen sukzessive von den Probanden eingefordert und (4) wurde bei widersprüchlichen Aussagen/ Problemlösungsansätzen der Probanden selbige explizit mit den Widersprüchen zusammen mit der Bitte um Erklärung konfrontiert. Diese Hauptstudie ist nun Gegenstand des weiteren Beitrags.

Als Referenz zur Analyse der Schüler- und Lehrervorstellungen zu den erhobenen technischen Systemen in der Hauptstudie werden zunächst im Folgenden entsprechende fachwissenschaftliche Hintergründe skizziert.

1.2 Fachwissenschaftlicher Hintergrund

1.2.1 Das Fahrradgetriebe als Vertreter des Mechanikkonzepts

Der Prototyp heutiger Fahrräder geht auf eine Erfindung des englischen Konstrukteurs John Starley zurück. Sein Sicherheitsniederrad „Rover III“ hatte bereits einen Trapezrahmen, Luftbereifung und ein Kettengetriebe, um die Muskelkraft der Beine beim Treten in die Pedale wirksam auf das Antriebsrad (das Hinterrad) zu übertragen (Schray, 2016, S. 37). Heutige Fahrräder verfügen zusätzlich über eine Gangschaltung, um die Getriebeübersetzung in Abhängigkeit der Fahrsituation an die entsprechenden Fahrbedürfnisse anzupassen, bspw. um das Bergauffahren zu erleichtern oder einen Zugewinn an Geschwindigkeit bei Fahrten in der Ebene zu realisieren. Das Fahrradgetriebe kann als ein formschlüssiges Zugmittelgetriebe aufgefasst werden, das sich – im klassischen Aufbau – aus Pedalen, Kurbeln, Fahrradachse, Tretlager, Kette, Fahrradachse, Antriebsrad, Ritzel und einem Kettenblatt oder mehreren Kettenblättern zusammensetzt (vgl. Abb. 1). Das Zugmittelgetriebe überträgt sowohl Drehmomente als auch Drehzahlen zwischen den beiden Fahrradachsen (strenggenommen müsste von Wellen gesprochen werden) mithilfe einer Kette (Zugmittel) (Kerle, Pittschellis & Corves, 2007, S. 14). Zur Beschreibung und Erklärung des Funktionsprinzips kann analytisch unterschieden werden zwischen (1) einem Bewegungskonzept (beim Fahrrad werden sowohl Rotations- als auch Translationsbewegungen relevant; im Fahrradgetriebe interessieren neben der translatorischen Bewegung der Kette primär rotierende Komponenten, deren Verstehen (bspw. das Verhältnis von Drehzahlen zwischen der Getriebeeingangs- und Getriebeausgangsseite) im Rahmen eines Drehzahlkonzepts gedacht wer-

den kann) und (2) einem Kraftkonzept (Hebelgesetz: Kraft, Hebelarm, Drehmoment; Verhältnis von Drehmomenten; Kräftegleichgewicht).

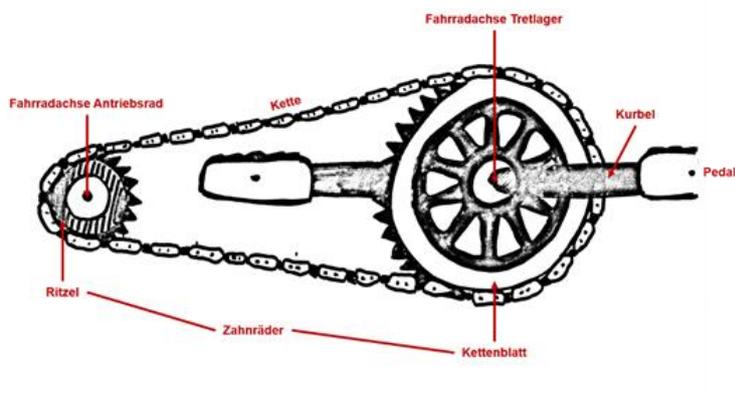


Abb. 1: Aufbau eines Fahrradkettengetriebes (eigene Darstellung)

Tritt ein Fahrradfahrer in die Pedale, wird mechanische Arbeit verrichtet ($W = F \cdot s$; Arbeit = Kraft mal Weg); genauer wird über die eigene Muskelkraft F , die am Pedal (Hebelarm ist der Kurbelradius r) ansetzt, ein Drehmoment M an der Fahrradachse Tretlager (Hebelgesetz: $M = F \cdot l$) bereitgestellt, welches via Kettenblatt an der Kette als Quotient aus Drehmoment an der Fahrradachse und Kettenblattradius in Form einer Kettenkraft wirksam wird (vgl. Hebelgesetz). Über die Kette, die mit Kettenblatt und Ritzel verbunden ist, kommt es zur Übertragung des Drehmoments auf die Fahrradachse am Antriebsrad, wobei gilt, dass das Drehmoment der Fahrradachse Antriebsrad gleich der Kettenkraft multipliziert mit dem Ritzelradius ist. Da das Ritzel und das Antriebsrad ein starres System bilden, wirkt das Drehmoment am Antriebsradumfang als Vortriebskraft (Quotient aus Drehmoment an der Fahrradachse und Antriebsradradius). Sind weitere Bedingungen erfüllt, kommt es zur Bewegung der Räder und des Fahrrades. Zur Realisierung einer mehrstufigen Übersetzung bzw. mehrerer Gänge, besitzen die meisten Fahrradkettengetriebe sowohl mehrere Kettenblätter als auch mehrere Ritzel, jeweils mit unterschiedlichen Radien. Das Verhältnis zwischen Kettenblatt und Ritzel wird als Übersetzung i bezeichnet ($i =$ Zähnezahl bzw. wirksamer Durchmesser des Kettenblatts im Verhältnis zur Zähnezahl bzw. wirksamer Durchmesser des Ritzels).

Auf konkrete Fahrsituationen angewendet, können nun folgende Zusammenhänge formuliert werden: Einem Fahrradfahrer wird es dann am ehesten (weil kraftschonend bzw. kraftverstärkend) gelingen, einen steilen Berg hochzufahren, wenn (1) der Hebelarm am Ritzel groß ist (möglichst großer Ritzeldurchmesser) und (2) eine große Kettenkraft wirkt, die sich wiederum durch einen kleinen Hebelarm am Kettenblatt ergibt. Für eine möglichst hohe theoretische Endgeschwindigkeit, bspw. in der Ebene, muss der Fahrradfahrer die Drehzahl des Antriebsrades erhöhen. Dies wird am günstigsten durch einen großen Kettenblattdurchmesser und einen kleinen Ritzeldurchmesser realisiert, da in dieser Stellung beim Bewegen der Fahrradkurbel um 360° ein möglichst durchmessergrößen Kettenblatt einen entsprechend großen Kettenweg verursacht, der beim durchmesserkleinen Ritzel (und damit gleichzeitig auch am Antriebsrad) zu einem komparativ Vielfachen an Umdrehungen führt.

1.2.2 Das Kohlekraftwerk als Vertreter des Energiekonzepts

Energie wird im klassischen Sinne als Arbeitsvermögen physikalischer Systeme definiert (Greulich & Kilian, 1999, S. 230). Schecker und Duit (2018b) sprechen von einer abstrakten rechnerischen Größe, „die den Zustand eines Systems kennzeichnet und deren Wert sich bei Vorgängen innerhalb des Systems nicht ändert“ (S. 165). Je nach physikalischem System wird bspw. zwischen chemischer, elektrischer, magnetischer, mechanischer, thermischer, Kern- oder Lichtenergie unterschieden. Generell gilt, dass (1) die jeweiligen Energieformen durch physikalische, technische, chemische oder biologische Prozesse (nahezu komplett) ineinander umwandelbar sind und (2) die Gesamtenergiebilanz der Umwandlungsprozesse in einem abgeschlossenen System konstant bleibt (Greulich & Kilian, 1999, S. 230).

In der „Technik“ dient u.a. das Kohlekraftwerk (Abb. 2) dazu, uns Menschen durch spezifische Prozesse elektrische Energie, gewandelt aus anderen Energieformen, bereitzustellen. In groben Zügen geschildert, wird dabei ein Energieträger (Kohle; *chemische Energie*) verbrannt, wobei Wärme (*thermische Energie*), Wasserdampf und weitere Rauchgase freigesetzt werden. Es wird versucht, in der Rauchgasreinigung die Rauchgase weitgehend zu reinigen, bevor sie den Schornstein passieren. Die freigesetzte Wärme wird dazu genutzt, in einem wassergefüllten Kessel/Dampferzeuger (Primärkreislauf) das Betriebswasser zum Sieden zu bringen. Der Wasserdampf (*kinetische Energie der Gase*) treibt dann über ein entsprechendes Rohrleitungssystem eine oder mehrere Turbine(n) (*kinetische Energie des Turbinenrades bzw. der Turbinenräder*) an, die an einen Generator gekoppelt ist (sind). Der Generator wandelt die Bewegungsenergie in elektrische Spannung bzw. Strom (*elektrische Energie*). Mittels Transformatoren wird die Generatorspannung „hochgespannt“, d.h. erhöht, und damit für den Ferntransport über Hochspannungsleitungen bereitgestellt (Henrichs, 2016, S. 25-26). Der Wasserdampf im Primärkreislauf muss allerdings wieder verflüssigt werden, damit er im Kreislauf anschließend wieder verdampfen kann. Hierfür werden Kondensatoren verwendet, die durch einen daran angeschlossenen Kühlkreislauf samt Kühlturm angeschlossen werden.

Die Energiewandlungsprozesse in einem Kohlekraftwerk finden sich prinzipiell auch ähnlich in anderen Wärmekraftwerken, bspw. im Gasturbinenkraftwerk oder im Kernkraftwerk. Die Technikfolgen der Kohlekraft sind hinreichend medial präsent und primär geprägt durch die CO₂-Debatte; dennoch verbleibt auch weiterhin die optimierbare Rauchgasentgiftung (bspw. Feinstaubbelastung) als kritischer Faktor solcher Kraftwerke.

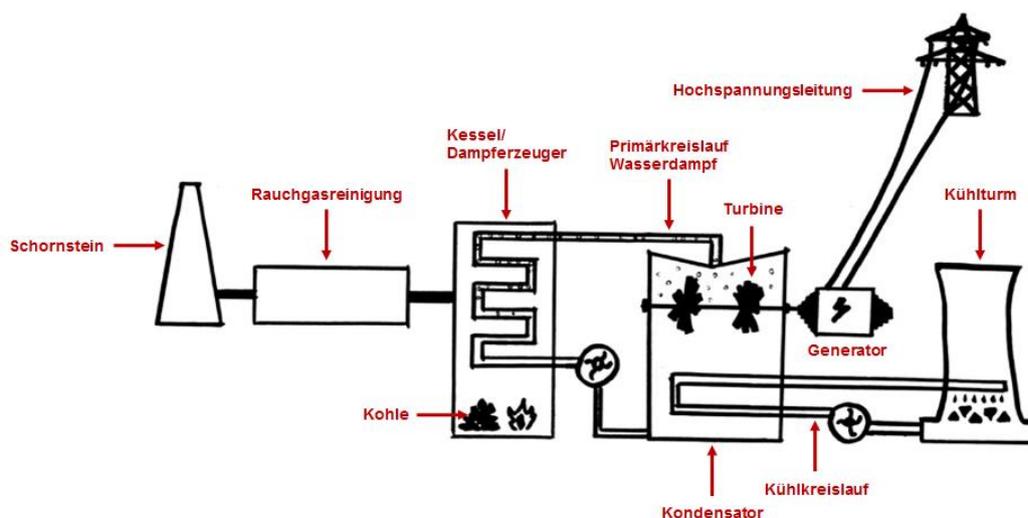


Abb. 2: Aufbau eines Kohlekraftwerks (eigene Darstellung in Anlehnung an Henrichs, 2016, S. 25)

2 Fragestellung

Die vorliegende Arbeit zielt auf die Erfassung von Schüler- und Lehrervorstellungen zu ausgewählten technischen Grundlagen der Mechanik und Energie. Darüber hinaus sollen Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den beiden Probandengruppen aufgezeigt werden. Die Spezifizierung zweier Themenbereiche geht auf eine Relevanzeinschätzung verschiedener Experten aus allen Phasen der Lehramtsausbildung im Fach Technik mittels einer Delphi-Studie zurück (Nepper & Gschwendtner, 2020) - befragt wurden in einer iterativen Befragung $n = 35$ Fachdidaktiker/-innen von Pädagogischen Hochschulen, Ausbilder/-innen an den Seminaren der Lehraus- und -weiterbildung sowie Lehrkräfte mit mehrjähriger Berufserfahrung. U.a. in Anlehnung an das aktuelle Curriculum für den Technikunterricht wird von den Autoren das Fahrradgetriebe als typischer Vertreter der Mechanik und das Kohlekraftwerk als typischer Vertreter der Energie(versorgung) gewählt (KM, 2016). Die Untersuchung wird konkret von folgenden vier Forschungsfragen geleitet:

- F₁: Über welche Vorstellungen zum Fahrradgetriebe verfügen Schüler/-innen und Lehrer/-innen des Technikunterrichts an Realschulen?
- F₂: Welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede lassen sich zwischen den Vorstellungen von Schüler/-innen und Lehrer/-innen zum Fahrradgetriebe feststellen?
- F₃: Über welche Vorstellungen zum Kohlekraftwerk verfügen Schüler/-innen und Lehrer/-innen des Technikunterrichts an Realschulen?
- F₄: Welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede lassen sich zwischen den Vorstellungen von Schüler/-innen und Lehrer/-innen zum Kohlekraftwerk feststellen?

3 Forschungsdesign

Die vorliegende Untersuchung ist als qualitatives, audiographiertes Leitfrageninterview im Querschnitt angelegt (Gläser & Laudel, 2010, S. 11ff.). Die Interviews wurden von den Autoren

selbst sowie von zwei weiteren studentischen Hilfskräften durchgeführt. Für die Realisierung einer gleichbleibenden Interviewqualität wurde im Vorfeld der Studie ein Methodenworkshop durchgeführt, bei dem der Interviewleitfaden besprochen sowie verschiedene Befragungssequenzen untereinander simuliert wurden. An der Studie nahmen insgesamt $N = 60$ Probanden aus $n = 6$ Realschulen der Region Stuttgart-Ludwigsburg sowie Heilbronn-Franken teil, wobei die Lehrer/-innen sowohl zum Fahrradgetriebe als auch zum Kohlekraftwerk befragt wurden ($n = 18$ Lehrer/-innen, $n = 21$ Schüler/-innen „Fahrradgetriebe“, $n = 21$ Schüler/-innen „Kohlekraftwerk“; Tab. 1). Die befragten Lehrer/-innen studierten überwiegend grundständig Technik an einer lehrerbildenden Hochschule ($n = 16$ Werkreal- oder Realschullehrer/-innen, $n = 2$ Fachlehrer/-innen) und hatten im Mittel 10.70 Jahre ($SD = 8.88$) schulpraktische Berufserfahrung.

Tab. 1: Stichprobenzusammensetzung

		Lehrer/-innen	Schüler/-innen „Fahrradgetriebe“	Schüler/-innen „Kohlekraftwerk“
Stichproben- umfang		$n = 18$	$n = 21$	$n = 21$
Alter		$M = 40.62$ ($SD = 8.71$)	$M = 15.04$ ($SD = .86$)	$M = 14.80$ ($SD = .92$)
Geschlecht	m	$n = 13$	$n = 20$	$n = 18$
	w	$n = 4$	$n = 1$	$n = 2$
	k.A	$n = 1$	-	$n = 1$

Die erfassten Vorstellungen zu den beiden technischen Systemen wurden im Anschluss an Rohpol (2009) auf folgende inhaltliche Dimensionen eingengt: (1) den Aufbau, (2) die äußeren und inneren Funktionsprinzipien, (3) die weiteren technischen Manifestationen des zugrundeliegenden Funktionsprinzips und (4) (nur bezogen auf das Kohlekraftwerk) die Technikfolgenabschätzung.

Um sowohl den Schüler/-innen als auch den Lehrer/-innen das Verbalisieren von Funktionszusammenhängen zu erleichtern, beinhaltete das Leitfrageninterview Elemente (1) zum freien Erzählen, (2) zur zeichnerischen Fundierung des Gesagten, (3) zum vertieften Nachfragen und (4) zum Argumentieren am Realmodell (zum Funktionsprinzip des Fahrradgetriebes) bzw. zum bildbasierten Argumentieren (zum Funktionsprinzip des Kohlekraftwerks) (Tab. 2).

Tab. 2: Auszüge aus dem Interviewleitfaden zum Aufbau und Funktionsprinzip des Fahrradgetriebes und des Kohlekraftwerks

Fahrradgetriebe	Kohlekraftwerk
(1) <u>Freies Erzählen des Aufbaus</u> : u.a. „ <i>Schildern Sie eingangs einmal, wie es vom Treten des Fahrradpedals zur Bewegung der Räder eines Fahrrads genau kommt.</i> “	(1) <u>Freies Erzählen des Aufbaus</u> : u.a. „ <i>Haben Sie eine Vorstellung, wie ein Kohlekraftwerk genau aufgebaut ist?</i> “
(2) <u>Zeichnerische Fundierung des Aufbaus</u> : u.a. „ <i>Bitte zeichnen Sie einmal all die notwendigen Bauteile und deren Zusammenwirken hier auf das Papier. Sagen Sie bitte laut dabei, was Sie gerade zeichnen.</i> “	(2) <u>Zeichnerische Fundierung des Aufbaus</u> : u.a. „ <i>[...] Fertigen Sie dazu auch eine Skizze an. Sagen Sie bitte laut dabei, was Sie gerade zeichnen.</i> “
(3) <u>Erste Annäherung an die Funktionszusammenhänge</u> : u.a. „ <i>Ein Fahrrad besitzt meist nicht nur einen Gang, sondern mehrere Gänge. Wissen Sie, warum das so ist?</i> “	(3) <u>Erste Annäherung an die Funktionszusammenhänge</u> : u.a. „ <i>Ein Kohlekraftwerk liefert uns Menschen elektrische Energie, die wir bspw. im Haushalt nutzen können. Im Kraftwerk selbst finden dazu spezifische Prozesse statt, die uns die elektrische Energie aus anderen Energien bereitstellt. Haben Sie eine Vorstellung, welche Prozesse das sind?</i> “
(4) <u>Argumentieren am Realmodell zu den Funktionszusammenhängen</u> : u.a. „ <i>Wenn Sie auf der Ebene möglichst schnell fahren wollen, in welchem Gang würden Sie fahren bzw. wie müsste die Kette geschaltet/aufgelegt werden? Legen Sie die Kette am Fahrrad auf die entsprechenden Zahnräder und begründen Sie Ihre Entscheidung!</i> “	(4) <u>Bildbasiertes Argumentieren zu den Funktionszusammenhängen</u> : u.a. „ <i>Wie laufen die Prozesse zur Gewinnung elektrischer Energie im Kohlekraftwerk nun genau ab? Sie können dazu auch dieses Bild eines Kohlekraftwerks zur Erklärung nutzen!</i> “

Für die Auswertung der Daten wurden die Audioaufnahmen der Interviews in textbasierte Skripte übertragen und anhand eines eigens entwickelten Kodierleitfadens ausgewertet⁸. Um die Reliabilität der Untersuchung zu prüfen, wurde in Anlehnung an Lombard, Snyder-Duch und Bracken (2002) 10% des Datenmaterials von einer zweiten Person der Forschergruppe erneut kodiert und die Ergebnisse verglichen. Der berechnete Holsti-Index von $rH = .93$ liefert dabei eine sehr gute inhaltsanalytische Übereinstimmung.

8 Bei der Erstellung der Transkripte wurden die Autoren von den studentischen Hilfskräften Hanna Littmann, Matthias Peukert und Martin Müller unterstützt. Ihnen sei auch an dieser Stelle herzlich dafür gedankt.

4 Befunde zum Fahrradgetriebe als Vertreter des Mechanikkonzepts

4.1 Vorstellungen der Lehrer/-innen zum Fahrradgetriebe

Die 18 Lehrkräfte (L1-18) scheinen den Aufbau eines Fahrradgetriebes (relevante Bauteile und deren struktureller Aufbau) mindestens teilweise benennen und zeichnen zu können. Während lediglich 33.3% der befragten Lehrpersonen alle Bauteile und Bauteilgruppen des Fahrradgetriebes verbal vollständig benennen können (L2, 5, 12, 13, 16, 18), sind es in der zeichnerischen Fundierung des strukturellen Aufbaus immerhin 61.1% (L2, 3, 8, 9, 11, 12, 15-18) (Abb. 3).

Abweichend von den korrekten Fachtermini, wird die Kurbel als *Hebel* bezeichnet (L5, 7, 12) und das Kettenblatt („vorne“) als *Antriebszahnrad* (L13), *Getriebe* (L4), *Kettenkranz* (L7, 18), *Zahnkranz* (L10) oder *Zahnrad* (L3, 8, 9, 12, 15, 16) sowie das Ritzel („hinten“) als *Getriebe* (L4, 5), *Nabe* (L6), *Zahnkranz* (L10) oder *Zahnrad* (L3, 8, 9, 13-18).

Der Kraftfluss (*Fuß – Pedal – (Achse) – Kettenblatt – Kette – Ritzel – (Achse) – Antriebsrad*) wird von 72.2% der befragten Lehrer/-innen weitgehend vollständig richtig erläutert (L1, 3, 5, 7-10, 12-16, 18; bspw. „Also gut. Ich führe mit meinen Füßen eine Kraftbewegung auf die Pedale aus, also eine runde Bewegung. Die treibt das vordere Ritzel an. Die Kraft wird übertragen durch die Kette auf das hintere Ritzelrad und den Umlenker. Und somit dreht sich das hintere Rad. Je nachdem, welches Ritzel ich hinten und vorne eingestellt habe, habe ich eine große oder eine kleine Kraftübertragung, kann ich also z.B. den Berg hochfahren oder auf der Ebene beschleunigen.“ (L1)). Bei vier Lehrer/-innen wird bei der Erläuterung zum Kraftfluss das *Pedal* (L2, 4), das *Kettenblatt* („vorne“) (L2), das *Ritzel* („hinten“) (L2) oder das *Antriebsrad* (L11, 17) vernachlässigt. Lehrperson L6 erläutert den Kraftfluss nur lapidar („Ja, über den Kettenantrieb. Also Übersetzung ins Schnelle, ist ja klar.“ (L6)).

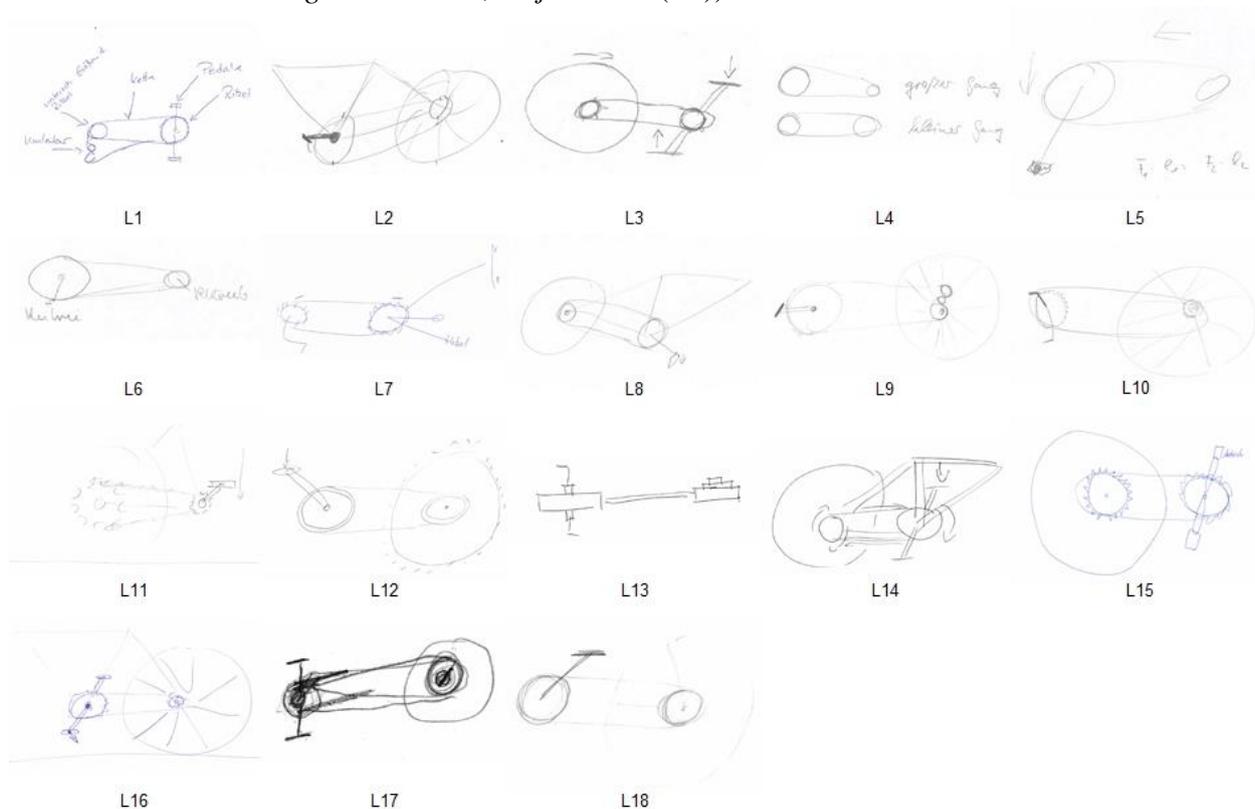


Abb. 3: Skizzen zum Aufbau eines Fahrradgetriebes bei den befragten Lehrer/-innen

Einen Zugewinn an Geschwindigkeit bei Fahrten in der Ebene assoziieren die meisten Lehrer/-innen mit dem Schalten in einen „*hohen Gang*“ (L3, 4, 6, 8, 9, 15) oder synonym in einen „*größeren Gang*“ (bspw. „*Größer. Vorne halt immer größer.*“ (L1)). Am Realmodell legen dreizehn Lehrpersonen (72.2%) die Kette richtig auf das große Kettenblatt („*vorne*“) und das kleine Ritzel („*hinten*“) auf (L2-5, 7, 9-14, 16, 17). Drei Lehrer/-innen (16.7%) legen die Kette auf das große Kettenblatt („*vorne*“) und das große Ritzel („*hinten*“) (L1, 8, 15) und zwei (11.1%) auf das kleine Kettenblatt („*vorne*“) und das große Ritzel („*hinten*“) (L6, 18). Eine ausführliche (fachwissenschaftliche) Begründung ist 61.1% der befragten Lehrpersonen – auch auf Rückfrage – nicht möglich (L2-6, 8, 9, 12, 15, 17, 18). Lediglich die Lehrpersonen L1 und L7 begründen Ihre Gangwahl mit dem größten Kettenraddurchmesser als Basis, um mit jeder Kettenradumdrehung die größte Kettenstrecke zurückzulegen (bspw. „*Weil man dann eine [...] man hat mit einer Umdrehung vorne, ich weiß das Verhältnis nicht auswendig, vielleicht zwei bis drei hinten und muss dafür dann natürlich mehr Kraft aufwenden, aber hat dann, wenn man schon auch in Bewegung ist, ist man effektiver unterwegs.*“ (L7)). Die Lehrer/-innen L10, L13, L14 und L16 führen als Begründung jeweils die große Kettenstrecke an, um mit einem möglichst kleinen Ritzeldurchmesser (entsprechend mit einer geringen Kreisbogenlänge) eine größtmögliche Drehzahl zu erreichen (bspw. „*Genau, das heißt, ich möchte eigentlich eine Umdrehung machen und das Andere soll sich zehnmal drehen oder so. Dann bräuchte ich wahrscheinlich vorne das Große und hinten das Kleine.*“ (L10)).

Für ein möglichst „*kraftschonendes*“ Bergauffahren mit den größten Zugkraftreserven sprechen Lehrer/-innen oftmals vom Schalten in einen „*niedrigen Gang*“ (L1, 3, 8, 15) oder synonym in einen „*kleinen Gang*“ (L2, 4, 9). Am Realmodell legen dreizehn Lehrpersonen (72.2%) (die gleichen Lehrkräfte wie oben) die Kette richtig auf das kleine Kettenblatt („*vorne*“) und das große Ritzel („*hinten*“) auf (L2-5, 7, 9-14, 16, 17). Drei Lehrer/-innen (16.7%) legen die Kette auf ein kleines Kettenblatt („*vorne*“) und ein kleines Ritzel („*hinten*“) (L1, 6, 15) und zwei (11.1%) auf ein großes Kettenblatt („*vorne*“) und ein kleines Kettenblatt („*hinten*“) (L8, 18). Eine ausführliche (fachwissenschaftliche) Begründung ist 94.4% der befragten Lehrpersonen nicht möglich. Lediglich Lehrperson L10 begründet ein möglichst „*kraftschonendes*“ Bergauffahren mit einem möglichst kleinen Kettenblattdurchmesser, der eine möglichst große Kettenkraft ermöglicht (Kräftegleichgewicht am Tretlager) (bspw. „*Weil wenn ich das Kleine einmal drehe, dreht sich das Große nur eine Viertel Umdrehung, dafür mit deutlich mehr Kraft [...] das Drehmoment ist größer [...] na weil ich weniger Weg zurücklege, dafür eben mit mehr Kraft.*“ (L10)).

Um zu verstehen, ob Lehrkräfte das Hebelgesetz dann eher erkennen bzw. aus ihren Alltagserfahrungen eher herleiten und anwenden können, wenn der Problemraum im Vergleich zum Fahrradgetriebe „*eingengt*“ bzw. die technische Komplexität des Fahrradgetriebes reduziert wird, wurden die Lehrenden mit einer Zeichnung einer einfachen Spielplatzwippe konfrontiert und unterschiedliche Konstellationen von Personen auf der Wippe „*durchgespielt*“. Interessanterweise können dann – anders als beim Fahrradgetriebe oben – immerhin vierzehn Lehrer/-innen (77.8%) das Hebelgesetz vollständig richtig erläutern (L1, 2, 4-7, 11-18, bspw. „*Kommt drauf an, wer wo sich hinsetzt. Derjenige, der sich weiter nach außen setzt, der [...]. Also wenn jetzt hier jetzt die Klara ganz nach innen rutscht und er jetzt z.B. ganz nach außen, dann kann er die Wippe bewegen, weil die Hebelwirkung sich verändert*“ (L1). Lehrer/-in L3 und L8-10 argumentieren teilweise richtig (bspw. „*Durch die Schwerkraft auf beiden Seiten würde dann sozusagen das Gleichgewicht behalten und wenn jetzt ein Gewicht auf einer Seite höher ist als auf der anderen Seite, wird das ja stärker von der Schwerkraft angezogen und dadurch geht diese Seite dann nach unten.*“ (L3)).

Das zugrundeliegende Funktionsprinzip des Fahrradgetriebes sehen die befragten Lehrer/-innen – in einer sehr reichhaltigen Schilderung – auch in Fahrzeugen (*Auto* (L1, 2, 5, 6, 9, 10, 11, 15, 17, 18), *Kettcar* (L5), *Moped*, *Mofa* oder *Motorrad* (L2, 3, 15)), Maschinen (*Akkuschrauber* (L17), *Bohrmaschine* (L1, 6, 9, 11, 12, 17, 18), *Haushaltsmaschinen* (L11), *Kaffeemaschine* (L2), *Kettensäge* (L16), *Küchenmaschine* (L1, 6, 10, 17), *Nähmaschine* (L1), *Stichsäge* (L6), *Uhr* (L2) und *Wasserpumpe* (L12)) und sonstigen technischen Artefakten (*Antriebe aller Art* (L3), *Flaschenzüge* (L3, 16), *Fortbewegungsmittel* (L8), *Fördertechnik* (L7), *Getriebe* (L16, 18), *Motoren* (L3, 4, 7, 12) und *Wasserkraftwerke* (L12)).

Für nahezu alle Lehrpersonen ist das Fahrradgetriebe auch in der heutigen Zeit noch relevant (L2, 4-13, 15-18). Lehrer/-in L1 sieht allerdings in der Digitaltechnik keine Verwendung für das klassische Getriebe mehr (bspw. „*Also ich glaube, dass wir in vielen Bereichen brauchen wir einfach noch diese Art und Weise der Kraftübertragung nach wie vor. Wenn man jetzt in die digitalen Bereiche hineingeht, dann ist es natürlich nicht mehr relevant [...].*“ (L1)) und Lehrperson L3 sieht gegenwärtig keine Relevanz, ohne dies jedoch weiter zu begründen (bspw. „*Kaum glaube ich. Eher weniger.*“ (L3)).

Mehr als die Hälfte aller Lehrer/-innen (61.1%) behandeln das Fahrradgetriebe im eigenen Unterricht (8. Jahrgangsstufe: *Arbeiten mit Bausätzen* (L17), *Arbeiten mit Fischertechnik* (L1), *Funktionsmodelle* (L13), *Getriebeübertragung* (L11, 12), *Vergleich verschiedener Getriebearten* (L1)); keine Jahrgangsstufe genannt: *Arbeiten mit Fischertechnik* (L5), *Fahrrad im Alltag* (L7), *Theoriestunden* (L10), *Stichsäge wird demontiert* (L6), *Vergleich verschiedener Getriebearten* (L3, 4, 8, 9, 16)).

4.2 Vorstellungen der Schüler/-innen zum Fahrradgetriebe

Die einundzwanzig Schüler/-innen scheinen den Aufbau eines Fahrradgetriebes (relevante Bauteile und deren struktureller Aufbau) mindestens teilweise benennen und zeichnen zu können (S1.1-1.18). Während keine/-r der befragten Schüler/-innen (0.0%) alle Bauteile und Bauteilgruppen des Fahrradgetriebes vollständig benennen kann (nicht genannt werden: *Pedal* (S1.13), *Kurbel* (S1.1-1.21), *Fahrradachse* (S1.1-1.4, 1.6-1.10, 1.12-1.21), *Kettenblatt* („*vorne*“) (S1.3, 1.9, 1.10, 1.15, 1.18), *Ritzel* („*hinten*“) (S1.3, 1.9, 1.10, 1.13, 1.15, 1.18, 1.20)), sind es in der zeichnerischen Fundierung des strukturellen Aufbaus 33.3% (S1.8, 1.11, 1.16, 1.19) (Abb. 4).

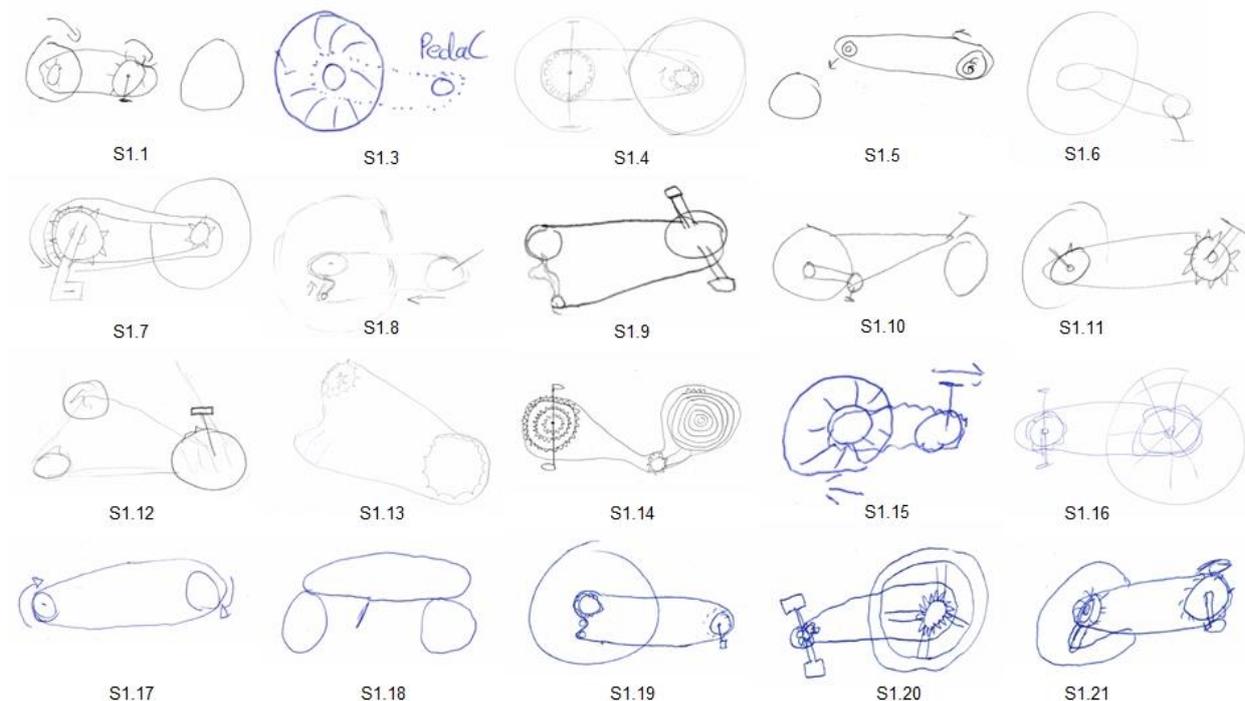


Abb. 4: Skizzen zum Aufbau eines Fahrradgetriebes bei den befragten Schüler/-innen⁹

Inkorrekte Bauteilbezeichnungen zeigen sich ebenso in der Schülerstichprobe, so wird das Kettenblatt („vorne“) sowie das Ritzel („hinten“) als *Getriebe* (S1.5), *Plättchen* (S1.14), *Speiche* (S1.2) und *Zahnrad/Zahnräder* (S1.1, 1.4, 1.6-1.8, 1.11, 1.12, 1.16, 1.17, 1.19, 1.21) bezeichnet.

Der Kraftfluss (*Fuß – Pedal – (Achse) – Kettenblatt – Kette – Ritzel – (Achse) – Antriebsrad*) wird von 47.6% der befragten Schüler/-innen vollständig richtig erläutert (S1.1, 1.2, 1.4-1.8, 1.11, 1.12, 1.16; bspw. „Also ich würde so sagen, dass durch die Drehung am Pedal wird auch das Zahnrad unten, welches mit der Kette verbunden ist, in Gang gesetzt, welches sich meines Erachtens nach aus dieser Sicht im Uhrzeigersinn drehen müsste und demzufolge nach dreht sich auch hinten das zweite Zahnrad und demzufolge nach auch das Rad.“ (S1.2)). Bei sechs Schüler/-innen wird bei der Erläuterung zum Kraftfluss das *Kettenblatt* („vorne“) (S1.3, 1.9, 1.10, 1.15, 1.18), das *Ritzel* („hinten“) (S1.3, 1.9, 1.10, 1.15, 1.18) oder das *Antriebsrad* (S1.14) vernachlässigt (bspw. „Na, ich trete in die Pedale, die Kette beginnt sich im Kreis zu drehen und dadurch wird das Hinterrad beschleunigt.“ (S1.3)). Die Schüler/-innen S1.13 und S1.17 erläutern den Kraftfluss sehr oberflächlich (bspw. „Also die Kette wird halt so [...] in Bewegung gesetzt. Und die ist halt so am Rad auch befestigt und dann bewegt sich halt das Rad hinten.“ (S.1.13)).

Einen Zugewinn an Geschwindigkeit bei Fahrten in der Ebene assoziieren die meisten Schüler/-innen mit dem Schalten in einen „hohen Gang“ (S1.2-1.5, 1.7, 1.9, 1.10, 1.11, 1.12, 1.17, 1.18-1.20) oder synonym in einen „größeren Gang“ (S1.6) bzw. „schwereren Gang“ (S1.16). Am Realmodell legen sieben Lernende (33.3%) die Kette richtig auf das große Kettenblatt („vorne“) und das kleine Ritzel („hinten“) auf (S1.1, 1.4-1.6, 1.12, 1.19, 1.21). Acht Schüler/-innen (38.1%) legen die Kette auf das große Kettenblatt („vorne“) und das große Ritzel („hinten“) (S1.3, 1.7, 1.9- 1.11, 1.15, 1.16, 1.18) und vier (19.1%) auf das mittlere Kettenblatt („vor-

⁹ Schüler/-in S1.2 hat die Skizze zum Aufbau eines Fahrradgetriebes nach der Befragung aus Versehen mit den Schulsachen in den Rucksack eingepackt; daher ist für die Auswertung nur das Transkript der Audioaufnahme verfügbar.

ne“) und das große Ritzel („hinten“) (S1.8, 1.13, 1.14, 1.20). Eine ausführliche (fachwissenschaftliche) Begründung ist 90.5% der befragten Schüler/-innen nicht möglich (S1.1-1.4, 1.6-1.11, 1.13-1.21; bspw. „[...] Okay warum? Oh Gott. Weiß ich nicht. [Interviewer: Und wie kommst du drauf, dass du es dann so stellst?] Weil ich viel Fahrrad fahre.“ (S1.21)). Schüler/-in S1.12 liefert eine alltagsnahe Erklärung für das „schnelle Fahren“ in der Ebene mit dem größten Kettenblattdurchmesser als Basis, um mit jeder Kettenradumdrehung die größte Kettenstrecke zurückzulegen: „Weil vorne, dann kann man, dann muss man halt ein paar Mal richtig kräftig reintreten, um weit zu kommen aber dann hat man auch richtig viel Geschwindigkeit. Und hinten, damit es nicht so lange braucht, um zu ziehen [...]. Also dass es auf das Kleinere, dass die Kette halt auf das kleinere Zahnrad geht.“ (S1.12). Schüler/-in S1.5 verbalisiert ein ähnliches alltagsnahes Drehzahlkonzept: „Das ist dann von der Übersetzung anders, heißt wenn du einen großen Antrieb als Zahnrad hast, dreht sich das hintere schneller.“ (S1.5).

Für ein möglichst „kraftschonendes“ Bergauffahren mit den größten Zugkraftreserven sprechen Schüler/-innen oftmals vom Schalten in einen „niedrigen Gang“ (S1.2, 1.4, 1.8-1.10, 1.18, 1.20) oder synonym in einen „ersten Gang“ (S1.15), „kleinen Gang“ (S1.6) oder „leichten Gang“ (S1.8, 1.12, 1.14). Am Realmodell legen acht Schüler/-innen (38.1%) die Kette richtig auf das kleine Kettenblatt („vorne“) und das große Ritzel („hinten“) auf (S1.1, 1.3-1.6, 1.9, 1.20, 1.21). Ebenfalls acht Schüler/-innen (38.1%) legen die Kette auf ein kleines Kettenblatt („vorne“) und ein kleines Ritzel („hinten“) (S1.10, 1.11-1.16, 1.18) auf, zwei auf ein mittleres Kettenblatt („vorne“) und ein großes Ritzel („hinten“) (S1.8, 1.19) und ein/-e Schüler/-in auf ein großes Kettenblatt („vorne“) und ein großes Ritzel („hinten“) (S1.7). Eine ausführliche (fachwissenschaftliche) Begründung ist 95.2% der befragten Schüler/-innen – auch auf Nachfrage und weitere Aufforderung durch die Interviewer – nicht möglich (S1.1-1.11, 1.13-1.21; bspw. „Ja, dafür habe ich jetzt keine Antwort eigentlich. Ich habe jetzt erstmal so vom Gefühl gesagt, was jetzt vielleicht besser wäre.“ (S1.20)). Argumente werden überwiegend aus der eigenen Erfahrungswelt generiert: Die Kette hat einen kleineren Weg, dadurch geht es einfacher und man kann schneller treten (S1.9, 1.13, 1.14, 1.19); die Kette wird verlängert, da sie näher an den Pedalen ist, dadurch wird es leichter zu treten, da weniger Schwung benötigt wird (S1.10, 1.11); die Zahnräder müssen durch das kleine Kettenblatt einen kürzeren Weg zurücklegen und drehen sich dadurch schneller (S1.1, 1.16, 1.17). Lediglich Schüler/-in S1.12 unternimmt einen substantielleren Begründungsversuch („[...] ja, dann muss ich bei beiden nicht so viel Kraft aufwenden [...] weil der ja, der Zugweg oder der Weg der Kette über die Zahnräder halt nicht so lange ist“ (S1.12)). Auch die Schülerstichprobe wurde – wie bereits bei der Lehrerstichprobe weiter oben beschrieben – mit der Spielplatzwippe konfrontiert. Dabei kann das Hebelgesetz von mehr als der Hälfte der befragten Schüler/-innen (57.1%) vollständig richtig erläutert werden (S1.1, 1.4-1.8, 1.12, 1.17, 1.19-1.21). Die Schüler/-innen S1.2, S1.10, S1.11 und S1.14-1.16 (zusammen 28.6%) argumentieren teilweise richtig (bspw. „Die Wippe ist ja hier in der Mitte befestigt. Wenn ein Kind auf der gleichen Höhe hier und hier sitzt, dann ist das Gewicht genau an der gleichen Stelle und dann verlagert sich das Gewicht in der Mitte so in der Art und dann bleibt es halt gerade.“ (S1.11)).

Das zugrundeliegende Funktionsprinzip des Fahrradgetriebes erkennen die befragten Schüler/-innen (wenngleich nicht durchgängig plausibel) auch in Fahrzeugen (*Auto* (S1.2, 1.5, 1.7, 1.11-1.14, 1.17, 1.21), *Moped*, *Mofa* oder *Motorrad* (S1.1, 1.5, 1.7, 1.8, 1.12, 1.13, 1.19), *Tretboot* (S1.10)), Maschinen (*Kettensäge* (S1.9, 1.16), *Schleifmaschine* (S1.1)) und sonstigen technischen Artefakten (*Antriebe aller Art* (S1.20), *Crosstrainer* (S1.10), *Dynamo* (S1.20), *Getriebe* (S1.2, 1.5), *Wasserkraftwerk* (bspw. „Weil das Wasser, also ein Fluss oder das Wasser läuft ja ohne Ende in Strömen. Und das Rad dreht sich dabei ohne Ende, durch die Wasserströmung. So

würde ich es halt erklären. Und [...] hier ist das ja genauso. Wenn man die Kraft einsetzt, dann dreht sich das Rad auch ohne Ende.“ (S1.20)) und Windrad (S1.6).

Für neun Schüler/-innen ist das Fahrradgetriebe auch in der heutigen Zeit noch relevant (S1.2, 1.3, 1.5, 1.7, 1.10, 1.12, 1.13, 1.19, 1.20; bspw. „Also [...] es ist leicht gemachte Energie, also durch eigene Kraft. Also eigentlich relativ hoch würde ich das einschätzen eigentlich.“ (S1.20)). Fünf Schüler/-innen schätzen das Fahrradgetriebe als teilweise relevant ein (S1.1, 1.14, 1.15, 1.18, 1.21; bspw. „Schon [...] warum genau kann ich gerade nicht sagen [...] also wenn man mit dem Fahrrad fährt, kommt man ja überall hin und zu anstrengend ist es auch nicht, also.“ (S1.18)) und drei als nicht relevant (S1.4, 1.8, 1.16).

4.3 Zusammenfassung der Befunde sowie Gemeinsamkeiten und Unterschiede in den Vorstellungen von Lehrer/-innen und Schüler/-innen zum Fahrradgetriebe

Es kann davon ausgegangen werden, dass das Fahrradgetriebe sowohl Lehrer/-innen als auch Schüler/-innen aus dem Alltag vertraut ist, zumindest wird es im Alltag nicht selten dazu genutzt, sich fortzubewegen. Dies bedeutet selbstverständlich nicht, dass bspw. der Aufbau oder die Funktionsweise desselbigen auch benannt werden kann bzw. verstanden wurde. Vermutet wurde dennoch, dass Techniklehrer/-innen qua ihrer langjährigen, technikspezifischen Professionalisierung und Schüler/-innen qua ihrer bisherigen schulischen und außerschulischen Erfahrungen sowie ihrer spezifischen Fachwahl über weitgehend fachwissenschaftlich adäquate physikalisch-technische Vorstellungen über den technischen Gegenstand verfügen. Die empirischen Daten zeigen nun jedoch, ähnlich der Befundlage in der Pilotstudie, dass davon überwiegend nicht ausgegangen werden kann.

So fällt die Verbalisierung des Aufbaus der einzelnen Bauteile und Bauteilgruppen beiden Probandengruppen relativ schwer. Während mehr als die Hälfte aller Lehrpersonen (61.1%) alle Bauteile und Bauteilgruppen richtig skizzieren können, ist es in der korrekten Benennung nur noch ein Drittel. Bei den befragten Schüler/-innen ist das Ergebnis noch gravierender: Während ein Drittel den Aufbau eines Fahrradgetriebes richtig skizzieren, kann keiner der Schüler/-innen alle Bauteile und Bauteilgruppen richtig benennen. In beiden Probandengruppen sind Erklärungen sehr alltagsnah und es kommt zu deutlichen Abweichungen von den korrekten Fachtermini; bspw. wird gruppenübergreifend das Kettenblatt („vorne“) oder das Ritzel („hinten“) als Getriebe bezeichnet.

Der physikalisch-technische Kraftfluss vom „Treten der Pedale hin zur Bewegung der Räder“ ist für knapp drei Viertel der befragten Lehrer/-innen (72.2%) und knapp der Hälfte der Schüler/-innen (47.6%) aus dem Alltag rekonstruierbar und wird von ihnen auch – mit Einschränkungen bei der Fachsprache – vollständig richtig erläutert.

Das Funktionsprinzip des Fahrradgetriebes für (a) einen Geschwindigkeitszugewinn bei Fahrten in der Ebene (verstehen und anwenden können des Drehzahlkonzepts) sowie für (b) ein „kraftschonendes“ Bergauffahren bzw. ein Bergauffahren mit maximalen Zugkraftreserven (verstehen und anwenden können des Kraftkonzepts mit den Komponenten Kräftegleichgewicht und Hebelgesetz) kann in beiden Probandengruppen (1) teilweise überhaupt nicht expliziert, (2) teilweise nur angedeutet und (3) selten bis nie vollständig richtig erklärt werden. So können zwar noch immerhin knapp drei Viertel der befragten Lehrer/-innen (72.2%) für die Anforderung (a) (vgl. oben) die Kette an einem Realmodell richtig auf das große Kettenblatt („vorne“) und das kleine Ritzel („hinten“) auflegen, eine fachwissenschaftlich vollständige Erklärung dazu können allerdings nur 11.1% abgeben. Bei den untersuchten Schüler/-innen legt hingegen nur ein Drittel

die Kette richtig am Realmodell auf und kein/-e Schüler/-in kann dazu eine fachwissenschaftlich vollständige Begründung abgeben. Erklärungsversuche werden, wenn überhaupt, alltagsnah aus den Erfahrungen mit dem eigenen Fahrrad rekonstruiert. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei den Ergebnissen zu der Anforderung (b) (vgl. oben): Während knapp drei Viertel der befragten Lehrer/-innen (72.2%) die Kette an einem Realmodell richtig auf das kleine Kettenblatt („vorne“) und das große Ritzel („hinten“) auflegen, können nur 5.6% eine fachwissenschaftlich weitgehend korrekte Erklärung dazu abgeben. Bei den untersuchten Schüler/-innen legt hingegen nur knapp über ein Drittel (38.1%) die Kette richtig am Realmodell auf und nur 4.8% der Schüler/-innen können dazu eine fachwissenschaftlich weitgehend richtige Begründung abgeben. Jedoch, sobald die Probanden mit einem Problem konfrontiert werden, das lediglich eine isolierte Anwendung des Hebelgesetzes oder des Kräftegleichgewichts (und nicht mehr eine Kombination aus Hebelgesetz und Kräftegleichgewicht, welche zur Lösung des Problems der maximalen Zugkraft bei Bergauffahrten gleichzeitig betrachtet werden muss) notwendig macht, fallen die Befunde deutlich günstiger aus: Das an einer Spielplatzwippe kontextualisierte Hebelgesetz können dann immerhin etwas mehr als drei Viertel der befragten Lehrer/-innen (77.8%) und etwas mehr als die Hälfte der Schüler/-innen (57.1%) richtig erläutern.

Das zugrundeliegende Funktionsprinzip des Fahrradgetriebes wird gruppenübergreifend in vielen Verwendungformen des Alltags erkannt, so auch in Fahrzeugen, Maschinen und sonstigen technischen Artefakten und oftmals sowohl von den befragten Lehrer/-innen als auch den Schüler/-innen als noch relevant in der heutigen Zeit angesehen.

5 Befunde zum Kohlekraftwerk als Vertreter des Energiekonzepts

5.1 Vorstellungen der Lehrer/-innen zum Kohlekraftwerk

Den Aufbau eines Kohlekraftwerkes können zwei Lehrer/-innen (11.1%) vollständig skizzieren und verbal präzisieren (L11, 15; bspw. Abb. 5). Bei 77.8% fehlt mind. ein Aspekt (am häufigsten nicht beachtet werden der *Rauchgaskanal* (L1-3, 5, 8-10, 12-14, 16, 17), die *Rauchgasreinigungsvorrichtung* (L1-3, 5, 8-10, 12-14, 16, 17), der *Kondensator* (L2, 3, 6, 9, 13, 17), der *Kühlkreislauf mit Kühlpumpe* und „*Kühlmöglichkeiten*“ wie *Kühlturm* (L1, 3, 6, 8, 9, 13), der *Primärkreislauf im Kessel* (L3, 6, 9, 18) und der *Generator* (L2, 6)). Zwei Lehrpersonen (11.1%) ist eine Skizzierung und verbale Präzisierung zum Aufbau des Kohlekraftwerks nicht möglich (L4, 7; bspw. „[...] hier ist der Kohlehaufen, der wird reingeschaufelt in den Ofen. Das ist die Kohle, die kommt hier mit der Schippe rein, da ist das Kohletürchen, [...] ja hier ist der Kamin. Also jetzt brennt hier ein Feuer. Und dann [...] ich muss ja die Hitze irgendwie daraus kriegen, dass ich da irgendwie den Strom rausbekomme, aber [...] nee, weiß ich jetzt grad nicht.“ (L4; Abb. 6)).

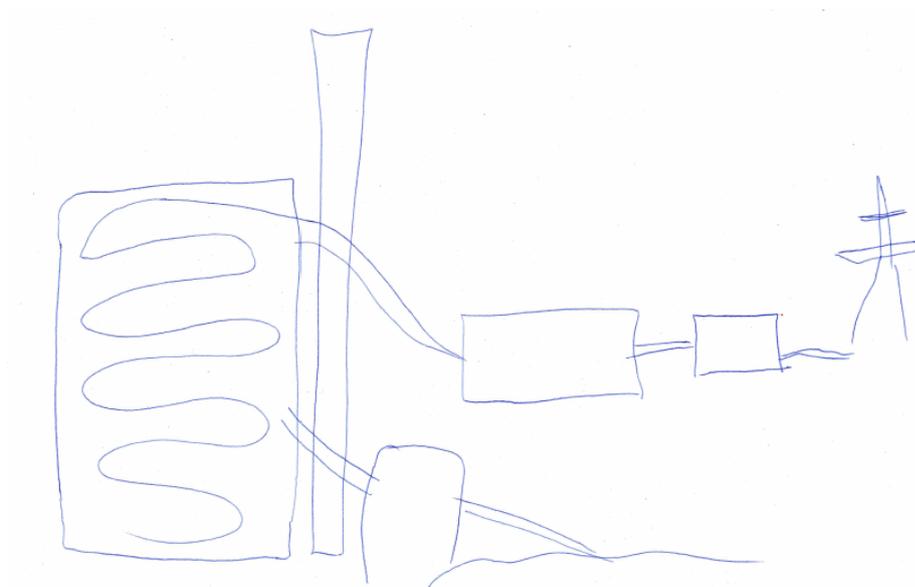


Abb. 5: Beispielhafte zeichnerische Fundierung zum Aufbau eines Kohlekraftwerks (Lehrperson L15)

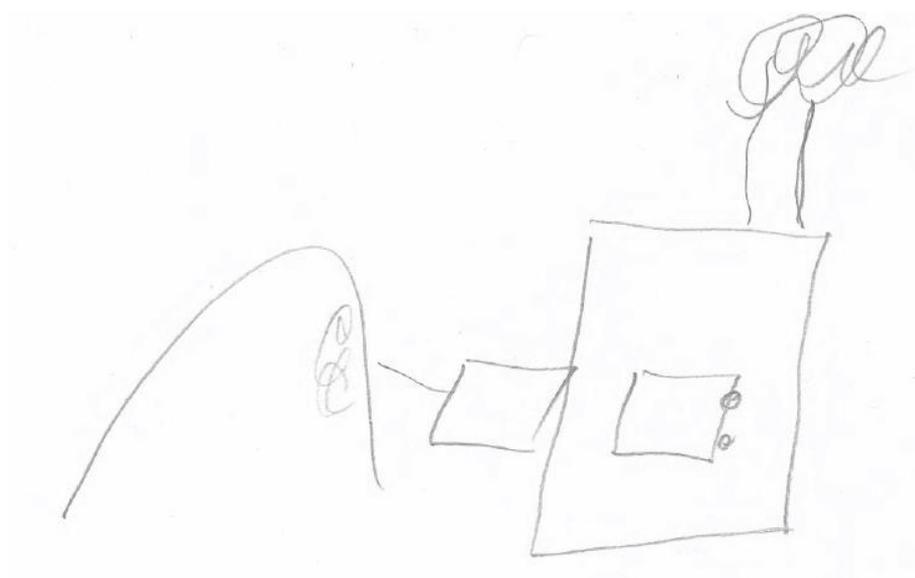


Abb. 6: Beispielhafte zeichnerische Fundierung zum Aufbau eines Kohlekraftwerks (Lehrperson L4)

Die Energieumwandlungsprozesse im Kraftwerk (*chemische Energie (Kohle) – thermische (Wärme) Energie – kinetische Energie der Gase – kinetische Energie Turbine – elektrische Energie*) werden von 11.1% der Lehrpersonen vollständig richtig beschrieben (L5, 10; bspw. „Kohle enthält chemische Energie; dadurch, dass die verbrannt wird, wird Wärmeenergie - also im Prinzip aus chemischer Energie wird Wärmeenergie - die Wärmeenergie erhitzt Wasser. [...] Also der Dampf, der ja durch das geschlossene System geleitet wird, haben wir Bewegungsenergie; die Bewegungsenergie des Dampfes treibt die Turbine an, das ist immer noch Bewegungsenergie in der Turbine, an die Achse, an die Welle der Turbine ist ein Generator angeschlossen, welcher dann über elektromagnetische Induktion Spannung induziert.“ (L5)). Mit 72.2% kann der überwiegende Teil der befragten Lehrer/-innen die jeweiligen Energieumwandlungsprozesse mind. teilweise benennen (L2-4, 8, 9, 11-18). Dabei unterscheiden die meisten Lehrpersonen in-

nerhalb der kinetischen Energie nicht mehr weiter (L2-4, 8, 11, 13-17) bzw. nennen die kinetische Energie der Gase und der Turbine nicht (L9, 12) oder vernachlässigen in ihrer Erklärung die chemische Energie (Kohle) (L3, 4, 8, 9).

Ähnliche Energieumwandlungsprozesse sehen 77.8% der Lehrer/-innen auch in anderen Kraftwerkstypen (häufigste Nennungen: *Kernkraftwerk* (L1-3, 5, 10, 12, 14-18), *Photovoltaikanlage* (L2-5, 10-12, 14, 16, 18), *Windkraftanlage* (L3-5, 9-12, 15, 16, 18), *Wasserkraftwerk* (L2-5, 12, 16, 17), *Biomassekraftwerk* (L11, 15-17), *Wasserstoffkraftwerk* (L11, 14, 15, 18), *Geothermiekraftwerk* (L11, 15, 16), *Gaskraftwerk* (L1, 16)). Allerdings werden die jeweiligen Umwandlungsprozesse nur von L10, L12 und L15 auch weiter präzisiert (bspw. *„Das heißt, ob ich jetzt Windkraft habe, habe ich eine Drehbewegung, oder Wasserkraft, habe ich normalerweise irgendeine Form der Drehbewegung. Beim Kernkraftwerk ist es genauso, da habe ich halt Wärme, die wird anders erzeugt, nicht durch Verbrennung, sondern durch Kernstäbe, aber auch da habe ich nachher Dampf und eine Turbine und einen Generator. Ausnahme stellt hier für mich die Solarzelle dar. Weil hier ich keinen Generator habe, sondern durch die Siliziumkristalle und so die Elektrizität direkt hergestellt wird. Aber ansonsten geht im Prinzip eigentlich egal welche, wie ich die Drehbewegung habe - Generator, Strom.“* (L10)).

Als Technikfolgen bei der Nutzung von Kohlekraftwerken beschreiben 66.7% die *Umweltbelastung durch CO₂ (und andere Schadstoffe)* (L1-6, 8, 10, 11, 14, 16, 17; bspw. *„Ja, das Problem eben mit dem Schwefeldioxid hat man ja weitgehend im Griff; Problem ist das CO₂, da kann man wahrscheinlich auch keine Lösung finden, wie man das irgendwie umwandelt, das ist ja immer ein Reaktionsendprodukt; ah gibt es ja Diskussion, dass man es irgendwo bindet und in Bergwerke rein, glaube ich ist erstens nicht machbar, zweitens wird das auch wieder eine Zeitbombe geben für die nachfolgende Generation und dann eben das Problem Feinstaub, das sind so die zwei Hauptprobleme, denke ich, die man wahrscheinlich nicht in Griff kriegen kann, deshalb sollte man generell von fossilen Brennstoffen dann weg.“* (L11)). Wobei Lehrperson L2 von einem mediengemachten Problem spricht und die Problematiken relativiert (*„Ich bin mir nicht sicher, ob das mit der Klimakatastrophe in Anführungszeichen wirklich so schlimm ist, weil jeder verteuftelt CO₂. Dann müsste jeder Mensch eigentlich sofort das Atmen einstellen. Ich denke, wir werden von den Medien ein Stück weit auch ganz schön ver..... Aber definitiv müssen wir schauen, dass wir vielleicht ein bisschen weniger Kohle verheizen.“*). Drei Lehrer/-innen sprechen die *Endlichkeit der Rohstoffe* an (L1, 14, 17) sowie Lehrperson L1 *Umsiedlungen* für den Braunkohleabbau (*„Vor allem den Braunkohleabbau, da müssen ganze Dörfer umgesiedelt werden, das ist natürlich auch eine Riesenproblematik.“*).

In der gegenwärtigen gesellschaftlichen Debatte über die Problematik zur „Energieversorgung“ positionieren sich 55.6% der befragten Lehrpersonen für eine zukünftige Energiebereitstellung durch regenerative Energien (L1, 2, 4, 5, 8, 12, 14, 16, 19, 20). Lehrer/-in L14 fordert bspw. einen radikalen Kohle- und Atomausstieg (*„Also ich denke, dass man wirklich schnell Mittel finden müsste, um aus der Kohle- und der Kernenergie auszusteigen und sozusagen mit regenerativen Energien die Stromversorgung sicherstellen müsste.“*). Sieben Lehrpersonen (38.9%) sehen die Debatte als schwierig an (L2, 3, 10, 12, 13, 16, 19). Lehrperson L2 hält die aktuellen Diskussionen für übertrieben (*„Ich bin da ein bisschen kritisch. Also ich bin froh, dass ich meine Photovoltaikanlage auf dem Dach habe. Aber mir ist auch dessen bewusst, dass das aus Südkorea kommt und dass da Menschen daran gearbeitet haben, die nicht unter unseren Bedingungen arbeiten. Aber da geht es mit den Klamotten schon weiter.“*) und für Lehrperson L6 kommt sie vierzig Jahre zu spät.

5.2 Vorstellungen der Schüler/-innen zum Kohlekraftwerk

Den Aufbau eines Kohlekraftwerkes aus technischer Sicht kann kein/keine Schüler/-in vollständig skizzieren und verbal präzisieren. Bei 47.6% fehlt mind. ein Aspekt (am häufigsten nicht beachtet: *Rauchgasreinigungsvorrichtung* (S2.1-2.3, 2.6, 2.12, 2.16, 2.17, 2.19-2.21), *Kühlkreislauf mit Kühlpumpe und „Kühlmöglichkeiten“ wie Kühlturm* (S2.1-2.3, 2.16, 2.19, 2.21), *Rauchgaskanal* (S2.6, 2.12, 2.16, 2.17), *Primärkreislauf im Kessel* (S2.1, 2.3, 2.20; bspw. Abb. 7), *Kondensator* (2.1-2.3), *Generator* (S2.3), *Brennkammer mit Brenner* (S2.3)). Elf Schüler/-innen (52.4%) ist eine Skizzierung und verbale Präzisierung zum Aufbau des Kohlekraftwerks nicht möglich (S2.4, 2.5, 2.7-2.11, 2.13-2.15, 2.18; bspw. Abb. 8).



Abb. 7: Beispielhafte zeichnerische Fundierung zum Aufbau eines Kohlekraftwerks (Schüler/-in S2.3)



Abb. 8: Beispielhafte zeichnerische Fundierung zum Aufbau eines Kohlekraftwerks (Schüler/-in S2.4)

Das Kohlekraftwerk als technischer Vertreter zur Bereitstellung von elektrischer Energie ist allen befragten Schüler/-innen bekannt (100.0%). Die Energieumwandlungsprozesse im Kraftwerk (*chemische Energie (Kohle) – thermische (Wärme) Energie – kinetische Energie der Gase – kinetische Energie Turbine – elektrische Energie*) werden von keinem/keiner Schüler/-innen vollständig richtig beschrieben. Mit 66.7% kann allerdings der überwiegende Teil der Befragten die

jeweiligen Energieumwandlungsprozesse benennen (S2.1, 2.6, 2.8, 2.9, 2.11-2.14, 2.17, 2.18, 2.20, 2.21). Dabei vernachlässigen die meisten Schüler/-innen in ihrer Erklärung die *chemische Energie (Kohle)* (S2.1-2.3, 2.6, 2.8, 2.9, 2.12-2.14, 2.18, 2.20, 2.21) oder die *kinetische Energie der Gase* (S2.1, 2.9, 2.11, 2.13, 2.14, 2.17, 2.18, 2.21) bzw. die *kinetische Energie Turbine* (S2.9, 2.11, 2.13, 2.14, 2.18). Fünf Schüler/-innen nehmen keine Unterscheidung innerhalb der *kinetischen Energie* vor (S2.2, 2.3, 2.8, 2.12, 2.20; bspw. „*Es wird eben Kohle verbrannt und das wird dann eben in Wärmeenergie umgewandelt. Und von dem, durch die Turbinen, die dort angetrieben werden, wird dann mechanische Energie erzeugt und dadurch wird dann Strom gewonnen eben.*“ (S2.3)).

Ähnliche Energieumwandlungsprozesse sehen 90.5% der Schüler/-innen auch in anderen Kraftwerkstypen (häufigste Nennungen: *Windkraftanlage* (S2.1-2.3, 2.7, 2.8, 2.10-2.13, 2.16-2.18, 2.20), *Wasserkraftwerk* (S2.1-2.3, 2.7, 2.10-2.12, 2.14, 2.16-2.18, 2.20), *Kernkraftwerk* (S2.2-2.4, 2.7, 2.10-2.12, 2.14, 2.17, 2.18, 2.20), *Photovoltaikanlage* (S2.4, 2.8, 2.11, 2.13, 2.16, 2.17, 2.20), *Dynamo* (S2.4, 2.9), *Geothermiekraftwerk* (S2.14)). Allerdings werden die jeweiligen Umwandlungsprozesse nur von S2.1, S2.2, S2.9, S2.11 und S2.12 auch weiter präzisiert.

Als Technikfolgen bei der Nutzung von Kohlekraftwerken beschreiben 71.4% die *Umweltbelastung durch CO₂ (und andere Schadstoffe)* (S2.1, 2.2, 2.5-2.13, 2.16-2.18, 2.21; bspw. „*Also beim Kohleverbrennen entsteht ja ziemlich viel CO₂, was ja für die Atmosphäre ziemlich schlecht ist, weil die Treibhausgase ja die Atmosphäre schädigen und dann die Atmosphäre uns nicht mehr vor den Strahlen schützen kann. Und gleichzeitig erwärmt sich dann die Erde, halt in der Atmosphäre, was dann dazu führt, dass zum Beispiel Eis am Nord- und Südpol schmilzt und der Meeresspiegel ansteigt. Oder zum Beispiel auch, dass immer mehr Unwetter oder so passieren.*“ (S2.1)). Zwei Schüler/-innen sprechen mögliche *Hitzeentwicklung (Brandgefahr)* an (S2.8, 2.15; bspw. „*Vielleicht wenn da halt irgendwie halt was da kaputt und es gelangt alles halt nach draußen, dass sich das Strom irgendwie leiten kann auf die Bäume oder so. Und dass dann da ein Brand entsteht.*“ (S2.15)) und weitere zwei Schüler/-innen machen auf die *Endlichkeit der Rohstoffe* aufmerksam (S2.12, 2.14). Schüler/-in S2.17 sieht das *Fischsterben an Flüssen* in der Nähe von Kohlekraftwerken als Problem („*Da Kohlekraftwerke immer in der Nähe von Flüssen gebaut werden und das Wasser vom Fluss halt benutzt wird zum Abkühlen, wird das Wasser, wenn es später wieder raus gelassen wird, sehr warm und das kann halt irgendwie den Fischen schaden, weil das Wasser für sie zu warm ist und sie können dadurch auch sterben*“ (S2.17)).

In der gegenwärtigen gesellschaftlichen Debatte über die Problematik zur „Energieversorgung“ positionieren sich 42.9% der befragten Schüler/-innen für eine zukünftige Energiebereitstellung durch regenerative Energien (S2.1, 2.6, 2.8, 2.10-2.12, 2.14, 2.18, 2.19). Allerdings auch mit Einschränkungen: „*Ich denke, dass die erneuerbaren Energien noch nicht in der Lage sind, den kompletten Stromverbrauch zu decken, sondern dass wir halt immer noch zum Beispiel Kohlekraftwerke oder Atomkraftwerke dazu brauchen, weil es sonst noch zu wenig. Zum Beispiel Windparks, weil es davon noch zu wenig gibt.*“ (S2.1). Vier Schüler/-innen setzten auf bewährte Techniken (S2.2, 2.3, 2.17, 2.21).

5.3 Zusammenfassung der Befunde sowie Gemeinsamkeiten und Unterschiede in den Vorstellungen von Lehrer/-innen und Schüler/-innen zum Kohlekraftwerk

Das Kohlekraftwerk als technischer Vertreter zur Bereitstellung von elektrischer Energie ist sowohl allen befragten Lehrer/-innen als auch allen Schüler/-innen bekannt. Eine vollständige Beschreibung der Energieumwandlungsprozesse im Kohlekraftwerk gestaltet sich gruppenübergrei-

find als äußerst schwierig. Während bei den befragten Lehrer/-innen lediglich 11.1% alle vorkommenden Umwandlungsprozesse beschreiben können, sind es bei den Schüler/-innen 0.0%. Probleme in den Erklärungen bereitet in beiden Probandengruppen vor allem die Unterscheidung innerhalb der kinetischen Energie (kinetische Energie der Gase – kinetische Energie des Turbinenrads) und bei den Schüler/-innen die chemische Energie der Kohle, die durch Verbrennung in thermische Energie umgewandelt wird. Sowohl die befragten Lehrer/-innen, als auch die Schüler/-innen nennen oftmals das Kernkraftwerk und Windkraftanlagen als Kraftwerkstypen, in denen ähnliche Energieumwandlungsprozesse ablaufen. Allerdings können auch hier die Umwandlungsprozesse nicht näher beschrieben werden.

Auch in der Verbalisierung und Skizzierung des technischen Aufbaus eines Kohlekraftwerks zeigen sich ähnliche Probleme: Selten sind in beiden Probandengruppen die jeweiligen Erklärungen und Skizzen vollständig. Während bei den befragten Lehrer/-innen lediglich 11.1% den Aufbau eines Kohlekraftwerkes vollständig verbalisieren und zeichnerisch fundieren können, so sind es bei den Schüler/-innen 0.0%. In beiden Probandengruppen wird oftmals der Umgang mit dem Rauchgas vernachlässigt (Rauchgasreinigungsverfahren, Rauchgaskanal).

Sowohl die befragten Lehrer/-innen als auch die Schüler/-innen sehen als Folgen der Nutzung von Kohlekraftwerke primär die Umweltbelastung durch CO₂ (und andere Schadstoffe) aber auch die Endlichkeit der Braun- bzw. Steinkohle. In der gesellschaftlichen Debatte zur Problematik der „Energieversorgung“ positionieren sich in beiden Probandengruppen knapp die Hälfte aller Befragten für eine zukünftige Energiebereitstellung durch regenerative Energien, allerdings sehen sie die Diskussion oftmals auch als komplex an.

6 Diskussion, Grenzen der Arbeit und weitere Forschungsperspektiven

Die vorliegende Arbeit konnte für die Technikdidaktik vorhandene Schüler- und Lehrervorstellungen im Bereich der Mechanik und Energie identifizieren. Es zeigte sich inhaltsunspezifisch, dass die verbalisierten Beschreibungen und Erklärungen sowohl bei den Schüler/-innen als auch bei den Lehrer/-innen sehr alltagsnah sind und mitunter deutliche Abweichungen von den entsprechenden Fachtermini vorliegen. Das Funktionsprinzip des Fahrradgetriebes sowie die jeweiligen Energieumwandlungsprozesse im Kohlekraftwerk scheinen oftmals wenig verstanden zu sein. Lehrer/-innen weisen (wenn auch in abgemilderter Form) ähnliche fachwissenschaftlich unvollständige bis falsche Vorstellungen wie ihre Schüler/-innen auf; interessanterweise berichtet auch Duit (2002, S. 8) für das Fach Physik von einer ähnlichen Befundlage.

Da physikalische Rahmenkonzepte für das Verständnis technischer Systeme ein unabdingbares Verstehensfundament darstellen, erscheint es wünschenswert, den vermeintlich basalen physikalisch-technischen Grundlagen sowohl im Lehramtsstudium Technik als auch im Technikunterricht noch mehr Lerngelegenheiten – und dies ggf. in anderen als den bisherigen Lernformen – einzuräumen (Nepper & Gschwendtner, 2020). Wie nun genau geeignete Reaktionsmodi in der pädagogischen und fachdidaktischen Arbeit aussehen könnten und wie diese auf die vorhandenen Vorstellungen der Schüler/-innen angewandt werden sollten, verbleibt eine offene Frage, der in zukünftigen Arbeiten nachgegangen werden müsste. Möglicherweise können einige Aspekte der didaktischen Ansätze zum Conceptual Change, der didaktischen Rekonstruktion und der Phänomenographie (Kap. 1.3) mit dem technikspezifischen Methodenrepertoire (Binder, 2017, S. 17) fruchtbar kombiniert werden.

Die in dieser Arbeit identifizierten Vorstellungen sind zwar im Feld, allerdings nicht im realen Unterricht erhoben worden. Zukünftig wäre es daher wichtig zu erfahren, (1) ob Lehrer/-

innen (anders als in einer unvorbereiteten Erhebungssituation) in der Lage sind, technische Artefakte und Prozesse dann hinreichend zu durchdringen, wenn sie sich auf ihren unterrichtlichen Einsatz entsprechend vorbereitet haben, (2) wie die jeweiligen Inhaltsbereiche im „klassischen“ Unterricht kontextualisiert und instruiert werden, (3) welche (auch der bisher identifizierten) Schülervorstellungen sich im realen Unterricht tatsächlich manifestieren, (4) wie Lehrer/-innen auf in Interaktionsprozessen zum Vorschein kommende Schülervorstellungen reagieren und (5) inwiefern es Lehrer/-innen gelingt, die Lernprozesse ihrer Schüler/-innen konstruktiv zu unterstützen?

Literatur

- Ausubel, D. P. (1968). *Educational Psychology: A Cognitive View*. New York: Holt Rinehart and Winston.
- Binder, M. (2017). *Methoden und Medien des Technikunterrichts*. Weingarten. Zugriff am 21.08.2017. Verfügbar unter http://www.ph-weingarten.de/technik/downloads/Methoden_Skript.pdf.
- Duit, R. (2002). Alltagsvorstellungen und Physiklernen. In E. Kircher & W. Schneider (Hrsg.), *Physikdidaktik in der Praxis* (1-26). Berlin: Springer.
- Duit, R. (2008). Zur Rolle von Schülervorstellungen im Unterricht. *Geographie heute*, 30 (265), 2-6.
- Feige, E.-M., Rutsch, J., Dörfler, T. & Rehm, M. (2017). Von der Alltagsvorstellung zum fachwissenschaftlichen Konzept. Schülervorstellungen diagnostizieren und weiterentwickeln. *Unterricht Chemie* (159), 2-8.
- Feest, J., Gans, U. & Heyroth, I. (1993). Phänomene aus Natur und Technik. Erklärungen von Kindern im Alter von 5 bis 11 Jahren. In Westfälische Wilhelms-Universität Münster (Hrsg.), *Berichte des Institutes für Didaktik der Biologie der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster* (Bd. 2, 49-61). Münster: IDB.
- Gläser, J. & Laudel, G. (2010). *Experteninterviews und Qualitative Inhaltsanalyse*. Wiesbaden: VS.
- Greulich, W. & Kilian, U. (1999). *Lexikon der Physik in sechs Bänden. Zweiter Band*. Heidelberg: Spektrum.
- Gropengießer, H. & Kattmann, U. (2009). Didaktische Rekonstruktion – Schritte auf dem Weg zu gutem Unterricht. In B. Moschner, R. Hinz & V. Wendt (Hrsg.), *Unterrichten professionalisieren: Schulentwicklung in der Praxis* (159-164). Berlin: Cornelson Scriptor.
- Gschwendtner, T. & Geißel, B. (2018). Wirksamer Technikunterricht – Der Versuch einer Zusammenschau. In B. Geißel & T. Gschwendtner (Hrsg.), *Wirksamer Technikunterricht* (182-200). Baltmannsweiler: Schneider.
- Henrichs, B. (2016). *Wärmeleistungswerke*. Bonn: wvgw.
- Hopf, M. & Wilhelm, T. (2018). Conceptual Change – Entwicklung physikalischer Vorstellungen. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht* (23-37). Berlin: Springer Spektrum.
- Jarvis, T. & Rennie, L. J. (1995). Three approaches to measure children's perceptions about technology. *International Journal of Science Education*, 17 (6), 755-774.
- Jarvis, T. & Rennie, L. J. (1996). Understanding technology: the development of a concept. *International Journal of Science Education*, 18 (8), 977-992.
- Jung, W. (1986). Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik, Chemie*, 34 (13), 2-6.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H. & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3 (3), 3-18.
- Kerle, H., Pittschellis, R. & Corves, B. J. (2007). *Einführung in die Getriebelehre. Analyse und Synthese ungleichmäßig übersetzender Getriebe*. Wiesbaden: Teubner.
- KM (Ministerium für Kultus, Jugend und Sport) (2016) (Hrsg.). *Bildungsplan 2016. Technik Wahlpflichtfach*. Stuttgart: KM.
- Lombard, M., Snyder-Duch, J., & Bracken, C. C. (2002). Content analysis in mass communication: Assessment and reporting of intercoder reliability. *Human Communication Research*, 28, 587-604.
- Murmann, L. (2009). Phänomenographie und Didaktik. In M. A. Meyer, M. Prenzel & S. Hellekamps (Hrsg.), *Perspektiven der Didaktik* (187-199). Wiesbaden: VS.
- Nepper, H. H. & Gschwendtner, T. (2020): „Vom Treten der Pedale zur Bewegung der Räder“ – Pilotstudie zur Identifizierung von Schüler- und Lehrervorstellungen zum Aufbau und zur Funktionsweise eines

- Fahrradgetriebes. In: Geißel, B. & Gschwendtner, T. (Hrsg.): Einblicke in aktuelle Forschungsarbeiten der Technikdidaktik (Beiträge zur Technikdidaktik, Bd. 6, 91-107). Berlin: Logos.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66 (2), 211-227.
- Ropohl, G. (2009). *Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik* (3. Aufl.). Karlsruhe: KIT Scientific Publishing.
- Reusser, K. & Pauli, C. (2014). Berufsbezogene Überzeugungen von Lehrerinnen und Lehrern. In E. Terhart, H. Bennewitz & M. Rothland (Hrsg.), *Handbuch der Forschung zum Lehrerberuf* (2., überarb. und erw. Aufl., 642-661). Münster: Waxmann.
- Schlagenhauf, W. & Wiesmüller, C. (2018). *Anliegen und Grundzüge Allgemeiner Technischer Bildung. Grundsatzpapier 1*. Berlin: DGTB.
- Schecker, H. & Duit, R. (2018a). Schülervorstellungen und Physiklernen. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht* (1-21). Berlin: Springer Spektrum.
- Schecker, H. & Duit, R. (2018b). Schülervorstellungen zu Energie und Wärmekraftmaschinen. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht* (163-183). Berlin: Springer Spektrum.
- Schecker, H. & Wilhelm, T. (2018). Schülervorstellungen in der Mechanik. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht* (S. 63-88). Berlin: Springer Spektrum.
- Schray, H. (2016). Herstellung eines Holz-Carbon-Fahrradrahmens im Technikunterricht. *tu – Zeitschrift für Technik im Unterricht*, 41 (159), 37-44.
- Wiesner, H., Schecker, H. & Hopf, M. (2013). *Physikdidaktik kompakt*. Hallbergmoos: Aulis.
- Wiesner, H., Wilhelm, T., Rachel, A., Waltner, C., Tobias, V. & Hopf, M. (2011). *Mechanik I: Kraft und Geschwindigkeitsänderung*. Köln: Aulis.
- Wilhelm, M., Rehm, M. & Reinhardt, V. (2018). Qualitätsvoller Fachunterricht. In B. Geißel & T. Gschwendtner (Hrsg.), *Wirksamer Technikunterricht* (11-18). Baltmannsweiler: Schneider.
- Wilhelm, T. & Hopf, M. (2014). Design-Forschung. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftlichen Forschung* (31-42). Berlin: Springer.
- Wilhelm, T., Wiesner, H., Hopf, M. & Rachel, A. (2013). *Mechanik II: Dynamik, Erhaltungssätze, Kinematik*. Köln: Aulis.
- Zinn, B. (2013). Überzeugungen zu Wissen und Wissenserwerb von Auszubildenden – Empirische Untersuchungen zu den epistemologischen Überzeugungen von Lernenden (Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie, Bd. 86). Münster: Waxmann.

DR. HANNES HELMUT NEPPER
 Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd
 Institut für Bildung, Beruf und Technik
 Abteilung Technik
 Oberbettringer Straße 200, D-73525 Schwäbisch Gmünd
 hannes.nepper@ph-gmuend.de

PROF. DR. TOBIAS GSCHWENDTNER
 Pädagogische Hochschule Ludwigsburg
 Institut für Naturwissenschaften und Technik,
 Abteilung Technik
 Reuteallee 46, D-71634 Ludwigsburg
 gschwendtner@ph-ludwigsburg.de

Zitieren dieses Beitrags:

Nepper, H. H. & Gschwendtner, T. (2020). Schüler- und Lehrervorstellungen zu ausgewählten technischen Grundlagen der Mechanik und Energieversorgung. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 8(1), 76-98.