

RALF ERLEBACH (Bergische Universität Wuppertal)

CAROLIN FRANK (Bergische Universität Wuppertal)

**Fachdidaktische Modellierung Technischen Wissens als Grundlage
zur Analyse technischer Repräsentationen**

Herausgeber

BERND ZINN

RALF TENBERG

DANIEL PITTICH

Journal of Technical Education (JOTED)

ISSN 2198-0306

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

RALF ERLEBACH / CAROLIN FRANK

Fachdidaktische Modellierung Technischen Wissens als Grundlage zur Analyse technischer Repräsentationen

ZUSAMMENFASSUNG: Innerhalb der gewerblich-technischen Berufsbildung werden an die Auszubildenden erhöhte Anforderungen im Umgang mit technischen Repräsentationen, d.h. Darstellungen und Beschreibungsmitteln, gestellt. Empirische Befunde legen nahe, dass eine solche Repräsentationskompetenz (Kozma & Russell, 1997; Rau, 2016) nicht vorausgesetzt werden kann: Lernende sind nicht in der Lage, Fach-Inhalte aus externalen Repräsentationen erfolgreich zu entnehmen. Zur Klärung dieses Problems sind auf der inhaltlichen Ebene das eingebettete (technische) Expertenwissen sowie die jeweiligen kognitiven Strukturen aus lernpsychologisch-didaktischer Sicht zu identifizieren. Auf Basis eines umfassenden Literaturreviews wird ein Analyseraster entwickelt, mit dem sich das notwendige Vorwissen zum Verständnis der Tiefenstruktur gegebener Repräsentationen beschreiben lässt.

Schlüsselwörter: Technisches Wissen, Technische Repräsentationen, Wissensmodell, Sach- und Handlungswissen

Didactic model of technical knowledge as an analysis grid for technical representations

ABSTRACT: Within commercial and technical vocational training, the trainees are faced with increased demands when it comes to dealing with technical representations. Empirical evidence suggests that such representational competence (Kozma & Russell, 1997; Rau, 2016) cannot be assumed: learners are unable to successfully extract subject content from external representations. To clarify this problem, the embedded (technical) expert knowledge as well as the respective cognitive structures must be identified from each, the perspective of learning psychology and didactics. On foundation of an extensive literature review, an analysis grid is developed to describe the previous knowledge necessary to understand the deep structure of the representations.

Keywords: Knowledge in Technology, Technological Representations, Model of Knowledge, Factual and Behavioural Knowledge

1 Einleitung

Die Entnahme relevanter Informationen aus Wissensquellen, wie z.B. Diagnose-Assistenzsystemen, bei der Ausübung gewerblich-technischer Tätigkeiten stellt für einen Großteil von Auszubildenden eine entscheidende Herausforderung dar. So berichten beispielsweise Nickolaus, Abele, Gschwendtner et. al. (2012, S. 251ff), dass über 50 Prozent der getesteten Auszubildenden des 3. Lehrjahres im Berufsbild KFZ-Mechatroniker nicht hinreichend Informationen aus den typischerweise bei der Fehlerdiagnose genutzten Darstellungsformen entnehmen können. Konkret wird als Ursache in diesem Fall ein Unvermögen bei der Rezeption von elektrischen Schaltplänen vermutet. Auch der Umgang mit dem Tabellenbuch ist hinsichtlich der inhaltsbezogenen „aufgaben-spezifischen Verweisqualitäten“ (Behrendt et al., 2017, S. 52) sowohl von Geißel (2008) als auch Gschwendtner (2008) als schwierigkeitsbedeutsam identifiziert worden.

Diese Schwierigkeiten erstrecken sich über den Bereich der Diagnosetätigkeiten und damit über das Lesen von beispielsweise Einbaulageplänen oder Darstellungen von Komponenten hinaus auch auf andere technische Handlungsfelder und Repräsentationen. Unter dem Begriff „(externe) Repräsentation“ werden Darstellungsformen verstanden, die einen Sachverhalt wiedergeben (Rau, 2016). Dies kann nach Bruner (1971) symbolisch durch Zeichen (z.B. Text oder mathematische Formeln), ikonisch durch eine bildliche Darstellung (z.B. Foto, Zeichnung, Diagramm, Schaltbild) oder enaktiv mittels Handlung (z.B. an realen Modellen oder Simulationen) geschehen.¹

Besonders im gewerblich-technischen Handeln sind Repräsentationen von zentraler Bedeutung für die Kommunikation technischer Inhalte und das erfolgreiche Lösen technischer Probleme. Aus der empirischen Forschung ist bekannt, dass es Lernenden schwerfällt, die einer Repräsentation zu entnehmenden Inhalte mit ihrem Vorwissen in einen kohärenten Zusammenhang zu bringen (Seufert, 2003). Dies ist umso folgenschwerer, da der technische Problemlöseprozess durch ein aktives Arbeiten an grafischen Repräsentationen (Juhl & Lindegaard, 2013) sowie ein Wechseln von Repräsentationen (Moore et al., 2013) maßgeblich kognitiv unterstützt wird.

Auf das Problem im Verstehensprozess technischer Repräsentationen soll anhand zweier grafischer Beispiele (Lindemann, 2010) näher eingegangen werden:

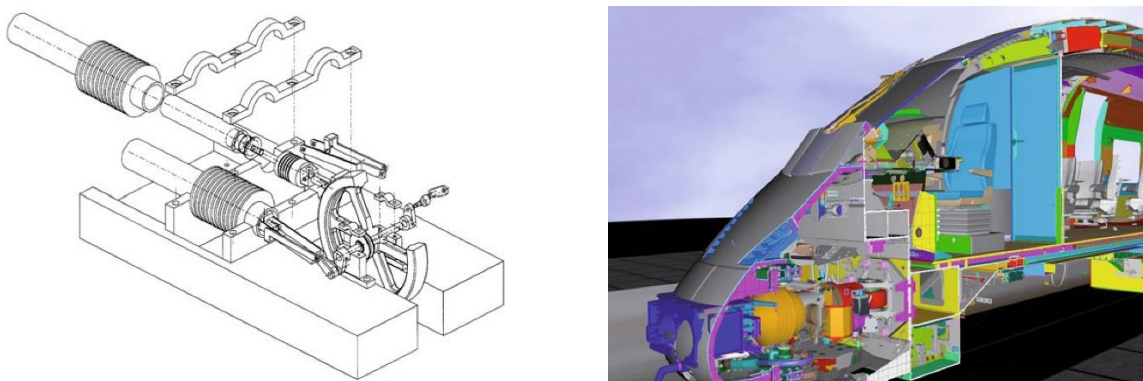


Abb. 1: Zwei Beispiele technischer Repräsentationen aus Lindemann (2010, S. 14 & 17) zur technischen Kommunikation (Quelle: links: TU München, rechts: Siemens AG)

¹ Internale Repräsentationen beziehen sich dagegen auf Vorstellungen. In diesem Beitrag werden ausschließlich externe Repräsentationen unter dem verkürzten Begriff „Repräsentation“ verstanden.

In Abb. 1 finden sich zwei grafische Repräsentationen, die beide den Aufbau eines technischen Systems darstellen. Beide können zur gleichen Repräsentationsform, realistisch-bildliche Darstellung, gezählt werden. Jedoch stellen sie bzgl. des Vorwissens sehr unterschiedliche kognitive Ansprüche an den Betrachter.

Während allein durch Alltagswissen die Frontpartie und der Führerstand eines Hochgeschwindigkeitszuges von einem Betrachter erkannt werden dürfte, benötigt es einiges an technischem Vorwissen, die linke Darstellung als Doppelkolben-Stirling-Motor zu identifizieren.

Gänzlich anders verhält es sich jedoch bei der Frage, was in diesen Repräsentationen im Einzelnen abgebildet ist. Im Fall des Stirling-Motors kann man auch mit einem allgemeinen Technikwissen Bezeichnung und die Funktion der einzelnen Elemente, beispielsweise Antriebsrad oder Zylinder, erkennen und benennen. Es bedarf dagegen im Falle der ICE-Frontpartie vertieften Expertenwissens, um in der Repräsentation Informationen über die Fertigung in Differenzialbauweise oder die sicherheitsrelevante Umsetzung eines Kollisionskonzeptes mit Stauchrohr, Verformungselementen und abgetrennten Arbeitsbereich des Triebfahrzeugführers zu entnehmen.

Beide Beispiele verdeutlichen, dass Expertinnen und Experten in einer Repräsentation mehr und vor allem fachlich bedeutsamere Zusammenhänge erkennen als Novizinnen und Novizen: Technische Laien können weniger Zusammenhänge als Maschinenbauer und -bauerinnen erkennen und diese wiederum weniger als versierte Waggonbauer und -bauerinnen. Dies ist in erster Linie auf das jeweils verfügbare Vorwissen der Personengruppen zurückzuführen. In der Expertise-Forschung stellen Chi, Feltovich und Glaser (1981) sowie Anzai (1991) heraus, dass Expertinnen und Experten bei der Lösung von Problemen generell zielgerichtet auf ein stabiles kognitives System aus abstrakten Prinzipien und Lösungsschemata zurückgreifen. Diese Prinzipien leiten dabei den Lösungsprozess auf einer tiefenstrukturellen Ebene an, wodurch Expertinnen und Experten in der Lage sind, Probleme von der Ausgangslage zum Ziel hin zu denken (Means-End-Prozesse). Novizinnen und Novizen sind hingegen auf ein System instabiler Vorstellungen, fragmentierten Wissens und einer Orientierung an situationsspezifischen Oberflächenmerkmalen angewiesen (Chi et al., 1981). Allerdings ist Expertinnen und Experten der Umstand oftmals nicht bewusst (Anzai, 1991), was die Kommunikation über den Problemlöseprozess mit Unerfahrenen schwierig gestaltet.

Das Experten-Novizen-Dilemma tritt jedoch nicht nur bei allgemeinen Problemlöseprozessen auf, sondern auch generell im Rahmen von Lernprozessen, wenn Wissen nicht in einer ausdrücklichen Form kommuniziert wird. Das ist beispielsweise dann der Fall, wenn Informationen nicht aus einem Text (deskriptional), sondern aus einer grafischen Repräsentation zu entnehmen sind (depiktional). Bereits frühe Untersuchungen auf diesem Gebiet u.a. von Schnotz (1994) zeigen: Im Gegensatz zu schwachen Lernenden zeichnen sich erfolgreiche dadurch aus, dass sie in der Lage sind, gezielt die relevanten Informationen in gegebenen Repräsentationen zu identifizieren und zu entnehmen.

Auch im Bereich der Technik hängen Kompetenzerwerb und Rezeptionsfähigkeit von Repräsentationen voneinander ab, besonders in Teilbereichen wie des Designs oder der Problemlösung, in denen eine aktive Arbeit mit Repräsentationen notwendige Voraussetzung für eine erfolgreiche Aufgabenbewältigung darstellt. Daher besteht eine mögliche Lösung des Repräsentationsdilemmas darin, Expertinnen und Experten darin zu unterstützen, das in Repräsentationen eingebettete Wissen systematisch zu analysieren und zu identifizieren, um dies gezielt vermitteln zu können.

Die beiden Beispiele aus Abb. 1 verdeutlichen zudem, dass Einzelaussagen nicht ausschließlich auf direktem Wege herausgelesen werden. Die Rezeption grafischer Repräsentationen stellt beispielsweise eine andere Kulturtechnik dar als das Lesen linearer aufgebauter

Schrifttexte (Schnotz, 2001). Statt eines sequenziellen Abarbeitens sind grafische Repräsentationen zunächst im Ganzen zu erfassen, deren abgebildete Einzelelemente zu identifizieren und deren Zusammenspiel in ihrer Tiefenstruktur zu analysieren. Erst dann können aus dem so gewonnenen mentalen Modell einzelne Aussagen verbalisiert werden (Schnotz, 2014). Technische Repräsentationen sind also keinesfalls als selbsterklärend zu betrachten.

Lernende stehen somit vor der Schwierigkeit, Wissen aus Repräsentationen zu entnehmen, deren Struktur und Funktion sie nicht durchschauen, besonders dann, wenn Teile des enthaltenen Wissens Voraussetzung für das Verständnis der Repräsentationen sind (Rau, 2016). Um das repräsentationale Dilemma lösen zu können, ist das zum Verständnis technischer Repräsentationen notwendige Vorwissen zu beschreiben, um dieses dann gezielt vermitteln zu können.

Es stellt sich somit als Gesamtproblem folgende Frage: Welches Vorwissen hinsichtlich der Oberflächen- bzw. der Tiefenstruktur einer Repräsentation ist zur Rezeption bedeutsam und notwendig?

Bislang wird in der Beforschung von Repräsentationsarbeit vor allem die kognitive Verarbeitung in den Fokus gerückt. Diese wird in gegenwärtigen kognitionspsychologischen Modellen (Schnotz, 2014; Schnotz & Bannert, 2003; ebenso: Hegarty, 2014; Mayer, 2014; Park et al., 2014; Moreno, 2006) als ein mehrstufiger Prozess beschrieben, welcher sich in die Verarbeitung von Oberflächen- und Tiefenstrukturen aufgliedert.²

Oberflächenstrukturen einer Repräsentation beschränken sich dabei auf die Frage der Form, wie das Wissen wiedergegeben wird, z.B. die konkrete Wortwahl, der Verlauf eines Graphens oder die Farbe und Höhe eines Balkens in einem Balkendiagramm. Ohne die Einordnung in einen Kontext stellen auch einzelne Daten und Fakten, wie z.B. Zahlenwerte, Formelzeichen, Fachbegriffe oder Bauteilbezeichnungen, zunächst Oberflächenstrukturen dar. Da technische Sachverhalte Teil des alltäglichen Lebens sind, da sich die Technik in ihren Inhalten und Repräsentationen auf die aus der Schulbildung bekannten Bezugswissenschaften stützt und nicht zuletzt da innerhalb der Technik eine hohe Anzahl von Überschneidungen in der Nutzung von Repräsentationen unter den verschiedenen Disziplinen und Berufsrichtungen besteht, lässt sich das zur Identifikation und Interpretation der Oberflächenstruktur notwendige Vorwissen in der Technik oft fachübergreifend beschreiben. Dem gegenüber steht die tiefenstrukturelle Verarbeitung, in welcher sich die Bedeutung der identifizierten Oberflächenstrukturen erschließt (Schnotz, 2001, 2002). Dieses tiefenstrukturelle Verständnis stellt dabei eine wesentlich anspruchsvollere Herausforderung im Lernprozess dar. Das für die Identifikation und Interpretation der Tiefenstruktur hilfreiche Vorwissen ist spezifisch und kann in der Regel nur auf die jeweilige Fachdisziplin bezogen beschrieben werden.

Im Besonderen treffen die kognitiven Verarbeitungsmodelle keine Aussagen über die konkreten, verarbeiteten Inhalte. Hierfür ist eine Analyse des für die Rezeption der Repräsentation relevanten Vorwissens notwendig, um zu einer Aufstellung der sowohl für das oberflächen- als auch tiefenstrukturelle Verständnis konkreten, notwendigen Fachinhalte zu gelangen.

Ziel des Beitrages ist daher, technisches Wissen unter fachdidaktischen Gesichtspunkten zu modellieren, um die Rezeption von Repräsentationen fachinhaltsbezogen analysieren zu können. Für den hier betrachteten Bereich der gewerblich-technischen Ausbildungsberufe bedeutet dies, dass zunächst zu klären ist, was technisches Wissen ist und wie dies modellhaft beschrieben bzw. kategorisiert werden kann.

² Zu einer ausführlichen Darstellung der Bedeutsamkeit verschiedenen Vorwissens für die oberflächen- und tiefenstrukturelle Verarbeitung anhand des Integrierten Modells des Bild-Text-Verstehens (Schnotz 2014) ist ein eigenständiger Artikel in Vorbereitung (Erlebach & Frank, in Vorbereitung).

Die bisherige empirische Beforschung des gewerblich-technischen Kompetenzerwerbs (vgl. Nickolaus, 2011, S. 334) und die darin eingesetzten Operationalisierungen und den diesen zugrundeliegenden Konzeptualisierungen technischen Wissens sind sehr stark tätigkeitsspezifisch ausgerichtet und lassen sich nicht auf andere technische Ausbildungsberufe übertragen.

Zugleich liegt ein breiter theoretischer Diskurs zur Struktur technischen Wissens vor. Dieser beschreibt technisches Wissen berufsübergreifend, klärt jedoch nicht das Verhältnis zu den Bezugswissenschaften (Physik, Chemie, Wirtschaftswissenschaften, Informatik etc.) auf. Ein solcher Bezug ist allerdings relevant, da die Relevanz von bezugswissenschaftlichem Vorwissen für den Kompetenzerwerb in der gewerblich-technischen Berufsausbildung wiederum empirisch nachgewiesen ist (Frank et al., 2017; Gschwendtner, 2008; Gschwendtner et al., 2010).

Den bislang bestehenden Ansätzen zur Beschreibung technischen Wissens gelingt es somit nicht, übergeordnet auf jedes technische Gewerk anwendbar zu sein und gleichzeitig auf fachspezifischer Ebene die Wissensstrukturen, die mit dem Verständnis technischer Repräsentationen verknüpft sind, zu beschreiben. Ein solches Modell müsste dabei im Besonderen klären, was technisches Wissen ist und wie es sich zu Wissen aus den anderen Domänen der Bezugswissenschaften abgrenzt. Die Klärung dieser Frage geschieht in Abschnitt 3.

Neben einer Beschreibung technischen Wissens bedarf es ebenso lernpsychologischer Informationen über das Vorwissen, um dieses gezielt vermitteln zu können. Die Bedeutsamkeit der lernpsychologischen Aspekte des Vorwissens (Art des Wissens, Grad der Vernetztheit sowie Anforderungsniveau) ist allgemein empirisch belegt und ebenso für technikdidaktische Kontexte naheliegend (Behrendt et al., 2017; Gschwendtner et al., 2010; Gschwendtner, 2008). Daher sollten die bei der Modellierung entstehenden Kategorien anschlussfähig an lernpsychologisch begründete Wissensmodelle aus der allgemeinen Didaktik sein. Die in der Technikdidaktik vorgenommenen Operationalisierungen als auch die theoretischen Modelle technischen Wissens spiegeln bislang allerdings kognitions- und lernpsychologische Aspekte nur unzureichend wider. Abschnitt 4 wird daher diese Aspekte aufgreifen und aufbereiten.

Anschließend wird daraus im Abschnitt 5 ein Modell technischen Wissens abgeleitet, welches die fachinhaltsbezogene Analyse technischer Repräsentationen ermöglicht. Das Modell wird in Abschnitt 6 am Beispiel des Stirling-Motors aus Abb. 1 angewendet und daraufhin diskutiert, welches Vorwissen sich damit strukturiert erfassen und einordnen lässt. Eine abschließende Diskussion einschließlich eines Ausblicks auf weitere Anwendungsmöglichkeiten findet in Abschnitt 7 statt. Zunächst werden im nächsten Abschnitt die zur Klärung der Fragen notwendigen Begriffsdefinitionen eingeführt und besprochen.

2 Definition „Technik“ und „technisches Wissen“

In diesem Abschnitt werden die für diese Arbeit zentralen Begriffe „Technik“ und „technisches Wissen“ geklärt. Im Gegensatz zu den klassischen (Wissenschafts-) Disziplinen wie Physik, Mathematik oder Biologie verfügt das Fachgebiet „Technik“³ nicht über einen inhaltlich abgegrenzten Handlungs- und Wissensbereich, sondern greift vielmehr als Transdisziplin (Ropohl, 2010) auf Wissen und Konzepte aus den Bezugswissenschaften zurück und nutzt bzw. interpretiert diese im eigenen Sinne. Die Folge ist, dass eine Zuordnung ohne ein definiertes Kriterium nicht möglich ist. Daher ist zunächst der Begriff der Technik so zu definieren, dass das Verhältnis zu

³ Die Unterscheidung zwischen „technisch“ im Sinne praktischer und „technologisch“ im Sinne ingenieurwissenschaftlicher Inhalte (Ropohl, 1997, S. 65) wird in diesem Rahmen nicht weiterverfolgt. Gemeint ist in diesem Artikel unter dem Begriff „Technik“ stets beides.

bezugswissenschaftlichen Bereichen geklärt wird. Die von den Autoren zugrunde gelegte Definition von „Technik“ lautet folgendermaßen:

Kernbereich der Technik sind Fragen zum Aufbau und der Wirkweise von Artefakten als auch zu menschlichen Handlungen, die an oder mit jenen Artefakten durchgeführt werden (z.B. der Erstellung, Nutzung, Umnutzung, Modifikation oder Entsorgung) und die dabei Naturgesetze und -prinzipien zur Erreichung eines angestrebten Zielzustandes ausnutzen.

Die Definition geht in Anlehnung an den engen Technik-Begriff bei Arthur (2009) und de Vries (2006) von einer zentralen Stellung von Artefakten aus. Als künstlich geschaffene Gegenstände, also als Werkzeug, Halbzeug oder Produkt, unterliegen sie einer Zweck-Mittel-Relation (de Vries, 2003; Hoffman, 1998). Diese Beziehung wird durch ein intendiertes Handeln sichtbar, welches darauf hin ausgerichtet ist, unter Ausnutzung eines naturwissenschaftlichen Prinzips ein bestehendes Bedürfnis zu befriedigen (Arthur, 2009; vgl. auch Wolffgramm, 2012, S. 31).

Der Bezug zu Artefakten und das intendierte Ausnutzen naturwissenschaftlicher Prinzipien sind dabei Voraussetzungen, die gleichzeitig erfüllt sein müssen. Die Einschränkung ist keineswegs selbstverständlich. So formuliert beispielsweise Wolffgramm (2012) Technik zunächst als „die Gesamtheit der vom Menschen geschaffenen künstlichen Mittel und Verfahren menschlicher Tätigkeit“ (Wolffgramm, 2012, S. 30). Künstliche Mittel, deren Verwendung jedoch kein naturwissenschaftliches Prinzip zugrunde liegt, werden nach der in diesem Artikel getroffenen Definition nicht in den Bereich der Technik gezählt. Beispiele hierfür sind Münz- oder Papiergeld als Tauschmittel oder Kunstwerke, welche ästhetischen Prinzipien folgen. Dies gilt umso mehr, wenn es sich lediglich um „vom Menschen geschaffene ... Verfahren“ (Wolffgramm, 2012) handelt, in die Fragen der Verwaltung, Bürokratie und Gesetzgebung, aber auch jede Form gesellschaftlicher Konventionen und Kulturtechniken wie Gesprächsführung fallen.

Ebenso sind naturwissenschaftliche Prinzipien ohne unmittelbaren Bezug zu einem Artefakt nicht von der o.g. Definition abgedeckt, auch wenn hierbei eine Zweckerfüllung vorliegt. Beispielsweise soll es sich bei der Ausnutzung natürlicher Ausbreitung von Pflanzen oder Tieren zur gezielten Veränderung oder Korrektur eines Ökosystems nicht um einen technischen Akt handeln, denn Pflanzen und Tiere sind keine Artefakte. An der Stelle muss betont werden, dass auch das (ggf. ausgenutzte) naturwissenschaftliche Prinzip allein keinen Teilbereich der Technik darstellt. So stehen physikalische Konzepte wie z.B. Masse, Trägheit oder Drehmoment ebenso außerhalb der vorgelegten Definition wie das chemische Teilchenmodell, das Periodensystem oder die Berechnung der Reaktionsgeschwindigkeit von zwei Stoffen – für sich als Beschreibung der Natur genommen – nicht für den Bereich der Technik. Auch fallen mathematische Berechnungen, sofern sich diese nicht auf konkrete Artefakte beziehen, nicht unter die vorliegende Definition.

Die Definition, nach der „technische Handlungen Naturgesetze und -prinzipien zur Erreichung eines angestrebten Zielzustandes ausnutzen“, beschreibt somit explizit das Verhältnis von Technik zu den Naturwissenschaften: Der Bereich der Technik emanzipiert sich gegenüber denen der Bezugswissenschaften, indem durch dieses zweckgebundene Ausnutzen naturwissenschaftlicher Prinzipien ein eigenständiger Wissensbereich eröffnet wird (Mitcham, 1994, S. 192ff). Für die Eigenständigkeit dieses Wissensbereichs bedarf es ebenso einer definitorischen Grundlage, durch welche geklärt wird, was „technisches Wissen“ ist und wie es sich von den Wissensbereichen anderer Bezugswissenschaften abgrenzt.

Zu dieser Frage liegen in der Literatur bislang keine zufriedenstellenden Ansätze vor: Ropohl (1997, S. 65) beispielsweise definiert „technisches Wissen“ mehrdeutig als Wissen, welches sich auf Technik bezieht. Etwas spezifischer beschreibt Gaycken „technisches Wissen“ als jenes „Wissen um technische Verfahren und Gegenstände, deren Ursachen und Folgen auf ihre Umgebung“ (Gaycken, 2005, S. 5). Problematisch sind diese Definitionen, da sie sich jeweils auf

einen unklaren Technikbegriff stützen. Zudem bauen beide Definitionen auf dem Begriff des „Wissens“ auf. Dies ist insofern schwierig, da der Wissensbegriff im Bereich der Technik etliche Spezifika aufweist (Meijers & de Vries, 2009; vgl. auch Mitcham, 1994, S. 194; de Vries, 2003; Poser, 2016, S. 120ff), die nicht mit der aus der Philosophie üblichen Auffassung aus der *Klassischen Analyse des Wissens* (Ichikawa & Steup, 2018) vereinbar sind.

Für eine Definition für technisches Wissen sind beide Punkte zu berücksichtigen: Zum einen sollte sie auf psychologisch fundierter Ebene auf „kognitiven Strukturen“ (Anderson, 2007) anstatt auf einem philosophisch besetzten Begriff des „Wissens“ aufbauen. Zum anderen sollte sie explizit das zugrunde liegende Verständnis des „Technikbegriffs“ klären. In Rückbezug auf die obige Arbeitsdefinition wird daher der Begriff des „technischen Wissens“ wie folgt definiert:

Unter „technischem Wissen“ werden in diesem Beitrag kognitive Strukturen verstanden, welche für technisches Handeln bedeutsam sind und einen inhaltlichen Bezug zu Artefakten aufweisen.

Die vorliegenden Definitionen klären grundsätzlich, was unter technischem Wissen verstanden werden soll und geben somit eine erste, vorläufige Antwort hinsichtlich der Teilproblematik, was technisches Wissen sei. Unbeantwortet bleibt bislang jedoch, womit sich technisches Wissen inhaltlich beschäftigt und in welchen Arten von (technischen) Handlungen es notwendig wird, was im nächsten Abschnitt näher beleuchtet wird.

3 Inhaltsbereiche technischen Wissens

In diesem Abschnitt wird ein Überblick über die in der Literatur bereits vorliegenden Taxonomien erarbeitet, welche technisches Wissen hinsichtlich dessen Inhaltsbereiche kategorisieren. Dazu wurde eine systematische Literaturrecherche in deutscher sowie englischer Sprache zu den Stichpunkten „technisches Wissen“ bzw. „Technological Knowledge“ sowohl in auf wissenschaftliche Fachaufsätze spezialisierten Suchmaschinen⁴ als auch in einschlägigen Fachzeitschriften und den Publikationen der Technikphilosophie durchgeführt. Aus dem Textkorpus wurden alle Artikel ausgewählt, die technisches Wissen kategorial beschreiben und sich dabei nicht nur auf Einzelaspekte konzentrieren. Ferner wurden nur Arbeiten berücksichtigt, die den Fokus auf den inhaltlichen Aspekt technischen Wissens als beschreibendes Merkmal legen. Die entsprechenden Arbeiten entstammen technik-philosophischen, empirischen oder didaktischen Forschungsparadigmen.

Tab. 1 stellt die untersuchten Arbeiten sowie die darin herausgearbeiteten Kategorien überblicksartig dar. Im Kopf der Tabelle finden sich neben Autor und Veröffentlichungsjahr ebenso das jeweilige Forschungsparadigma sowie die angewandte Methodik, aus deren Ergebnissen die jeweiligen Kategorien abgeleitet und entwickelt wurden. Kategorien mit vergleichbaren Inhalten werden dabei in der Übersicht in derselben Zeile aufgeführt. In wenigen Fällen, in denen sich eine Kategorie mehreren vergleichbaren Kategorien anderer Modelle zuordnen lässt, erscheint diese mehrfach in der Übersicht. Findet sich im jeweiligen Kategorialmodell keine vergleichbare Entsprechung zu anderen Modellen, so ist dieser Bereich mit einem grauen Freifeld gekennzeichnet.

⁴ Genutzt wurden Google Scholar, die Suchmaske der FIS-Datenbank, BASE sowie die Wissenschaftssparte von MetaGer.

Der inhaltliche Vergleich der verschiedenen Kategorialmodelle zeigt dabei, dass eine Unterteilung in theoretisches und praxisorientiertes Wissen (Schmayl 2013) den Konsens darstellt. Dabei untergliedert sich praxisorientiertes Wissen weiter in einen System-, einen Nutzungs- und einen Exekutivaspekt. Weniger Konsens besteht hinsichtlich des technischen Meta-Wissens, welches das theoretische und praxisorientierte Wissen ergänzt. Abb. 2 verbildlicht diese Systematisierung, welche im Folgenden detailliert dargestellt wird.

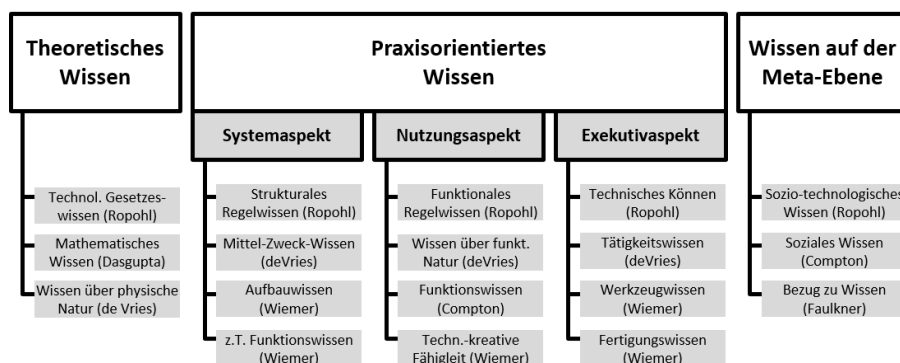


Abb. 2: Systematisierende Zusammenfassung der Kategorien technischen Wissens mit beispielhaft zugeordneten Kategorien aus Tab. 1 sowie den dazugehörigen Autoren.

Theoretisches Wissen umfasst nach Vincenti (1990, 1992) jede Form von theoretischen Hilfsmitteln (*theoretical tools*)⁵ mit Bezug zur naturalen Welt (*relate to natural world*) (Faulkner, 1998) – und zwar sowohl in Form von mathematischem Wissen (*mathematical knowledge*) als auch das von Grundlagenwissenschaften (*basic science*) (Dasgupta, 1996). In neueren Kategorialmodellen ist der Bereich des theoretischen Wissens der Bezugswissenschaften deutlich eingeschränkter ausgeprägt. Im Fall der Untersuchung von Wiemer (2018) liegt die Ursache für die Unterrepräsentierung theoretischen Wissens in der untersuchten Probandengruppe (Grundschülerinnen und -schüler) begründet, welche über ein solches noch nicht verfügen. Für die Modelle von de Vries (2003) und Compton (2004) ist hingegen zu vermuten, dass durch eine engere Technikdefinition versucht wurde, Überschneidungen mit Bezugswissenschaften zu vermeiden.

Auf der Seite des praxisorientierten Wissens mit Bezug zum praktizierten Design (*relate to design practice*), zu Forschung und Entwicklung (*relate to R&D*) und zum endgültigen Produkt (*relate to final product*) (Faulkner, 1998) hingegen ergibt sich ein wesentlich heterogeneres Bild.

Weitgehende Übereinstimmungen unter den verschiedenen Autoren lassen sich in einer Aufteilung des praxisorientierten Wissens zwischen einem System- und einem Nutzungsaspekt ausmachen (Ropohl, 2009; de Vries, 2003). Der Systemaspekt wird nach Ropohl (2009) in Form strukturellen Regelwissens beschrieben: Dieses umfasst den „Aufbau des Sachsystems aus Subsystemen und deren Zusammenwirken“ (Ropohl, 1998, S. 93) und stellt die konkreten Zusammenhänge zwischen der physischen und der funktionellen Natur dieses Sachsystems her (Lawson, 2008; Kroes & Meijers, 2002). Sowohl Ropohl als auch de Vries sehen in dem Wissen die Grundlage für Techniker, Systeme zu warten und zu reparieren, und für Ingenieure, „neuartige Realitäten zu schaffen“ (Ropohl, 1998, S. 93). Dazu greifen beide Berufsgruppen nach de Vries (2003) auf Kenntnisse und erfahrungsbasierten Heuristiken zurück, welche das Erreichen eines

⁵ Auf eine eingehende Beschreibung der einzelnen Kategorien soll an dieser Stelle verzichtet und auf die Originalarbeiten verwiesen werden.

angestrebten Endzustandes mit den zur Verfügung stehenden Lösungswegen in Zusammenhang bringt. Dieses Zweck-Mittel-Wissen (*means-ends-knowledge*) ist daher nicht nur an der Beurteilung des Lösungsansatzes, sondern ebenso an der Identifizierung des Problems beteiligt (de Vries, 2003). Wiemer (2018) unterscheidet diesbezüglich empirisch ermittelt in Kenntnisse über den Aufbau eines Systems, Kenntnisse über die Funktion eines Subsystems sowie Verständnis über die Funktionsweise desselben. Zusätzlich ist der Kategorie die Fähigkeit zuzuordnen, technische Lösungen zu bewerten (Wiemer, 2018).

Dem vertieften Wissen um die strukturellen Zusammenhänge eines Systems (Systemaspekt) steht Wissen gegenüber, auf welches ein Nutzer zurückgreift (Nutzenaspekt). Dieses wird von Compton (2004) als „Funktionswissen“ (*function knowledge*), von Ropohl (1997, 1998, 2009) als „funktionales Regelwissen“ und von de Vries (2003) als „Wissen über die funktionelle Natur“ (*functional nature knowledge*) bezeichnet. Auch Wiemer (2018) verwendet den Begriff „Funktionswissen“, differenziert diesen aber weiter aus, wobei unter den so erhaltenen vier Subkategorien lediglich die von Wiemer als „Wenn-Dann-Wissen“ bezeichneten Kenntnisse einem Nutzungswissen entsprechen. Diese Kenntnisse umfassen nach Wiemer kausale Zusammenhänge zwischen Eingabe und erwarteter Ausgabe eines gegebenen Artefaktes (Wiemer, 2018, S. 152 f). Diese Form des Wissens wird jedoch nicht nur bei der Nutzung, sondern auch während des Design-Prozesses bedeutsam, indem dieses Wissen nach Vincenti (1990) entsprechenden Einfluss auf die praktischen Überlegungen (*practical considerations*) nimmt.

Bisher beschränken sich die Wissenskategorien des praktischen Wissens auf rein-kognitive Vorgänge oder Wissen über Handlungen – also auf das „Kennen“. Ausführende technische Tätigkeiten bedürfen hingegen oftmals kognitiver Strukturen, die motorische Fähigkeiten umfassen, welche beispielsweise bei der handwerklichen Fertigung von Bauteilen notwendig werden. Dieser Exekutivaspekt stellt eine weitere Unterkategorie praxisorientierten Wissens dar und wird bei Compton als „technisches Know-How“ (*technical know-how*) bezeichnet. Wiemer (2018) unterscheidet bei „Fertigungswissen“ zwischen einem explizit-deklarativen Anteil, dem „Werkzeugwissen“, und einem „Prozesswissen“. Letzteres umfasst speziell die impliziten, sensomotorischen Handgriffe, die ebenso bei Ropohl (1997, 1998, 2009) als „technisches Können“ und vergleichbar bei de Vries (2003) als „Tätigkeitswissen“ (*action knowledge*) beschrieben werden. Diese Form von Wissen wird i.d.R. kollektiv geteilt und weitergegeben, und welche im konkreten Einzelfall eine „meist habitualisierte Verhaltensroutine darstellt, die unterhalb der Bewusstseinschwelle abläuft“ (Ropohl, 2009, S. 210).

Neben dem theoretischen Wissen und den praxisorientierten Wissensbeständen mit System-, Nutzens- und Exekutivaspekt wird von einigen Autoren Wissen beschrieben, welches sich übergeordnet auf einer Metaebene mit Aspekten der Technik beschäftigt. Bezüglich dieser Art von Wissen besteht bislang kein Konsens im Diskurs, jedoch beziehen sich diese Wissensbestände auf berufs- und gesellschaftsrelevante Themenbereiche wie der Verteilung von Ressourcen und Wissen sowie der Technikfolgenabschätzung. So erfasst Ropohl (1997) mit der Kategorie des sozio-technologischen Wissens die gesellschaftlichen und ökologischen Voraussetzungen und Auswirkungen technischen Handelns. Speziell in dieser Kategorie werden die normativen Qualitäten technischen Wissens wichtig. Schmayl (2013) sieht in dieser philosophischen Dimension technischen Wissens die Voraussetzung, Einsichten über das Wesen und die sozialen Zusammenhänge der Technik zu erlangen und moralische Werturteile in Bezug auf technisches Handeln zu reflektieren. Ein gesellschafts- und werteorientiertes Technikverständnis findet dabei speziell in schulischen Kontexten besondere Beachtung (Schmayl, 2013, S. 56ff). Wohl auch aus diesem Grund tritt es in den Kategoriemodellen mit schulischem Erhebungshintergrund bei

Compton (2004) als soziales Wissen (*social knowledge*) sowie bei Wiemer (2018) als metatechnisches Wissen in Erscheinung.

Einen weiteren Aspekt des technischen Meta-Wissens bringt Faulkner (1998) in den Diskurs ein, der in der Wissensklasse „Bezug zu Wissen“ (*related to knowledge*) nicht nur Kenntnisse über verfügbare, materielle Ressourcen, sondern auch über die Verteilung technischen Wissens auf (menschliche sowie dingliche) Wissensträger im Arbeitsumfeld erfasst. Dieser Gedanke wird von Compton (2004) ebenso im „Ressourcen-Wissen“ (*resource knowledge*) sowie von Wiemer (2018) als weiterer Aspekt des metatechnischen Wissens aufgegriffen.

Zusammenfassend lässt sich somit feststellen, dass sich technisches Wissen in einen theoretischen, einen praxisorientierten sowie einen Bereich der Meta-Ebene aufgliedern lässt, wobei sich der praxisorientierte Bereich in einen System-, Handlungs- und Exekutivaspekt untergliedert. Somit konnte aus der Kombination der verschiedenen Kategorialmodelle ein umfangreiches als auch ausdifferenziertes Verständnis von Wissen herausgearbeitet werden, welches bei oder für technisches Handeln bedeutsam wird.

Die Frage, was unter technischem Wissen zu verstehen ist und wie dieses sich inhaltlich aufgliedert, ist damit grundlegend beantwortet. Allerdings bleibt – speziell in Hinblick auf die Praxis des Lehrens – problematisch, dass die erhaltenen Kategorien auch zwangsläufig Wissen miterfassen, welches sich nicht unmittelbar auf Handlungen mit Artefakten bezieht und somit nicht der getroffenen Definition technischen Wissens (siehe Abschnitt 2) entspricht. Beispielsweise sind im sozio-technischen Wissen in erheblichem Maße Kenntnisse über rein gesellschaftliche Zusammenhänge enthalten. Ebenso lassen sich innerhalb des Wissens um theoretische Grundlagen maßgebliche Bestandteile ausmachen, welche den naturwissenschaftlichen Bezugswissenschaften Mathematik, Physik, Chemie anstelle der Technik zuzuschreiben sind (Ropohl, 1998, S. 91). Nichtsdestotrotz ist dieses Bezugs- oder Hintergrundwissen zum Verständnis technischen Handelns hilfreich. Für den Kontext gewerblich-technischen Unterrichts sind derartige Kenntnisse für eine Aktivierung vorhandenen Schulwissens der Sekundarstufe oder Vorerfahrungen aus dem privaten sowie beruflichen Alltag von erheblicher Relevanz, um neues Wissen anknüpfungsfähig zu vermitteln. Um ein Bewusstsein bei den vermittelnden Expertinnen und Experten für dieses benötigte Hintergrundwissen zu fördern, ist es daher nicht nur notwendig, dieses Wissen in das zu erarbeitende Modell aufzunehmen, sondern auch explizit von technischen Inhalten im engeren Sinne abzugrenzen. Speziell für Fragen der (expertenseitigen) Vermittlung und damit einhergehend der (novizenseitigen) Rezeption von Repräsentationen sind ebenso lernpsychologische Aspekte des Wissens aufzunehmen: zum Beispiel, ob es sich bei dem Wissen um zu vermittelnde Sachverhalte oder um durch Übung zu festigende Routinen handelt, bzw. ob das Wissen grundsätzlich allen Lernenden oder nur individuell zugänglich ist.

Bezüglich dieser inhaltlichen Zuordnung und des Anknüpfens an die Lernpsychologie liefern die bisherigen Modelle technischen Wissens nur unzufriedenstellende Orientierungshilfen, ganz besonders da sie beide Punkte nicht gleichzeitig adressieren. Aus diesem Grund soll sich im folgenden Abschnitt zunächst mit der Frage der lernpsychologischen Aspekte von Wissen eingehend auseinandergesetzt werden, um daraus im übernächsten Abschnitt technisches Wissen fachdidaktisch zu modellieren. Diese Modellierung wird ebenso eine Unterscheidung zwischen technischem Wissen im engeren Sinne und Hintergrundwissen explizit berücksichtigen.

4 Wissen aus lernpsychologischer Sicht

Aus Sicht der Vermittlung stellt sich die Frage nach lernpsychologischen Aspekten des Wissens. Nicht zuletzt deshalb, weil aus diesen Hinweisen geeignete Lehrmethoden und die notwendige Verarbeitungstiefe im Umgang mit Repräsentationen abgeleitet werden können. So versprechen gezielte Unterstützungsmaßnahmen eine Auflösung oder zumindest Milderung des in der Einleitung dargestellten repräsentationalen Dilemmas (Rau, 2016). An dieser Stelle sei noch einmal in Erinnerung gerufen, dass ein kompetenter Umgang mit externalen Repräsentationen Grundvoraussetzung für das erfolgreiche Lösen technischer Problemstellungen ist (Alabi et al., 2013; Juhl & Lindegaard, 2013; Moore et al., 2013). Daher ist als Anforderung an das zu erarbeitende Modell zu stellen, dass es Wissen im Prozess des Problemlösens beschreibt auf Grundlage struktureller Merkmale (vgl. Rothe & Schindler, 1996, S. 38 ff),⁶ welche sich auch im Lehr-Lern-Kontext bereits erfolgreich etabliert haben. Im Folgenden wird aus diesem Grund auf das Wissensmodell aus der Komplexitäts- und Problemlöseforschung von Wittmann, Süß und Oberauer (1996) zurückgegriffen. Für die Berufsbildung liegen zudem bereits ähnliche Erkenntnisse (Kaiser 2014) vor, mit denen das Modell illustriert wird. Anschließend wird das Modell den Erfordernissen entsprechend erweitert.

	Sachwissen	Handlungswissen
deklaratives Wissen	deklaratives Sachwissen	deklaratives Handlungswissen
prozedurales Wissen	prozedurales Sachwissen	prozedurales Handlungswissen

Abb. 3: Modell nach Wittmann, Süß und Oberauer (1996, eigene Darstellung)

Abb. 3 stellt das Modell von Wittmann, Süß und Oberauer (1996) dar. Eine wesentliche Besonderheit dieses Modells besteht darin, dass es sowohl lernpsychologische (Welcher Art ist das Wissen?) als auch inhaltliche begründete Aspekte (Worauf bezieht sich das Wissen?) erfasst, ohne diese beiden Fragen zu konfundieren. Dazu unterscheidet es inhaltlich zwischen „Sachwissen“ und „Handlungswissen“.

Handlungswissen umfasst dabei alle Wissensbestände, welche für adäquate „Handlungen bzw. kognitive Operationen in einer Situation im Hinblick auf ein Ziel“ (Süß, 1996, S. 64) Bedeutsamkeit haben. Es ist also Wissen, welches in einem engen Bezug zum eigenen Handlungsfeld steht und ist damit direkt „handlungsleitend“.

⁶ Nach Rothe und Schindler (1996) lässt sich Wissen nach formalen, semantischen und strukturellen Merkmalen kategorisieren. Kategorien nach formalen Merkmalen, z.B. Explizitheit/Implizitheit von Wissen, laufen dabei Gefahr, personenabhängig zu sein (vgl. Experten-Novizen-Dilemma). Semantische Merkmale, z.B. handlungsspezifische Kategorienbildungen, wie diese in einigen der Kategoriensysteme technischen Wissens zu finden sind, haben potenziell den Nachteil, nicht immer trennscharf zu sein. Zudem eignen sie sich weniger für eine von der Repräsentation (und nicht dem Handlungsfeld etc.) ausgehende Analyse als Kategorien nach strukturellen Wissensmerkmalen, die kognitions- bzw. lernpsychologisch fundiert sind.

Sachwissen bezeichnet hingegen Wissen, das Sachverhalte bezogen auf einen Ausschnitt der Wirklichkeit repräsentiert (Süß, 1996). Es handelt sich also um Wissen über die Welt als solche. Die Unterscheidung zwischen Sach- und Handlungswissen ermöglicht es, psychologisch das sogenannte Transfer-Problem aufzuklären: Trotz eines sehr guten („theoretischen“) Sachwissens fällt es Lernenden oftmals schwer, dieses in einer konkreten Handlungssituation einzusetzen, um ein Problem zu lösen. Ebenso ist es für Praktikerinnen und Praktiker häufig herausfordernd, ihr Vorgehen und ihren Lösungsweg sachorientiert zu begründen und die Hintergründe zu erläutern. Der Einsatz theoretischen Sachwissens in einer konkreten Situation bedarf zunächst einer Transformation in Handlungswissen und umgekehrt, welche mit einem erheblichen, kognitiven Aufwand einhergeht (Süß, 1996, 2008).

Auf lernpsychologischer Ebene differenziert das Modell Sach- als auch Handlungswissen in Anlehnung an Andersen und Lebiere (1998) in deklaratives und prozedurales Wissen.

Unter *prozeduralem Wissen* werden ausführende, kognitive Operationen verstanden, welche mithilfe von Produktionsregeln die Überführung von Sinnesreizen sowie bestehendem Wissen in andere kognitive Zustände steuern. Diese Regeln werden aufgerufen, wenn der Abgleich mit den vorliegenden Informationen dies notwendig macht. Prozedurales Wissen stellt die dazu benötigten kognitiven Schemata bereit, wobei die damit verbundenen Verarbeitungsprozesse grundsätzlich unbewusst ablaufen (Anderson et al., 1997, S. 441). Die jeweiligen Vorgänge (z.B. das Ziehen logischer Schlussfolgerungen) können somit auch nicht direkt verbalisiert werden (vgl. Schoppek, 2003)

Als *deklaratives Wissen* werden dem hingegen formalisierte Fakten bezeichnet, die direkt verbalisierbar sind. Dieses Wissen ist netzwerkartig im Gedächtnis gespeichert und in sogenannten *Chunks*⁷ gruppiert. Für den Moment der Bearbeitung stellen diese Wissensbestände feststehende Tatsachen dar, welche durch kognitive Prozesse auf der inhaltlichen Ebene geändert bzw. erweitert werden (Anderson & Lebiere, 1998). Deklaratives Wissen lässt sich ad hoc abrufen, da es über explizite, semantische Verknüpfungen verfügt und nicht erst produziert werden muss.⁸

	Sachwissen	Handlungswissen
deklaratives Wissen	<p>deklarativer Wissenstyp (Fakten, Definitionen, ...)</p>	<p>situativer Wissenstyp (Erlebnisse, Erfahrungen, ...)</p>
prozedurales Wissen	<p>prozeduraler Wissenstyp (kognitive Operationen, ...)</p>	<p>sensorischer Wissenstyp (Handlungen, Tätigkeiten, ...)</p>

Abb. 4: Wissenstypen des Integrierten Modell des Lernens (IML) nach Kaiser (2014) in das Wittmann/Süß/Oberauer-Modell eingeordnet (eigene Darstellung)

An dieser Stelle ist noch einmal festzuhalten, dass prozedurales Wissen nicht identisch mit Handlungswissen ist, ebenso wenig entspricht deklaratives Wissen dem Sachwissen: Deklarative Fakten können sowohl im Sach- als auch im Handlungswissen, Prozeduren sowohl bei

⁷ Schoppek (2003) weist ausdrücklich darauf hin, dass sich bei Andersen und Lebiere (1998) der Begriff des Chunks wesentlich von dem üblicherweise gebrauchten unterscheidet.

⁸ Für eine fachdidaktisch motivierte, ausführliche Gegenüberstellung deklarativen und prozeduralen Wissens siehe Fortmüller (1996, S. 383).

Handlungen als auch bei Sachverhalten bedeutsam werden. Es ergeben sich in dem Modell damit die vier Felder deklaratives und prozedurales Sach- sowie deklaratives und prozedurales Handlungswissen.

Wie jedoch lassen sich diese vier psychologisch-theoretischen Felder für Lehrkräfte in die Welt des Lehrens und Lernens übersetzen? Eine Antwort darauf liefert das Integrierte Modell des Lernens (IML) nach Kaiser (2005, 2014) mit seinen vier grundlegenden Wissenstypen:

- dem deklarativen Wissenstyp,
- dem situativen Wissenstyp,
- dem prozeduralen Wissenstyp sowie
- dem sensomotorischen Wissenstyp.

Diese Wissenstypen lassen sich, wie in Abb. 4 dargestellt, den Feldern des oben vorgestellten Modells nach Wittmann, Süß und Oberauer (1996) zuordnen. Daher werden die einzelnen Wissenstypen des IML im Folgenden zur näheren Illustration herangezogen.

Der deklarative Wissenstyp umfasst sowohl begriffliche Vorstellungen, z.B. Definitionen und Regeln, als auch die Beziehungen zwischen diesen einzelnen Sachverhalten (Kaiser, 2005, S. 125). Es handelt sich damit um Wissen über die Welt und ist somit von zumeist genereller Gültigkeit, ergo: *deklaratives Sachwissen*.

Ferner ist der situative Wissenstyp nach Kaiser (2005, S. 177ff) von deklarativer Natur. Dieser umfasst jedoch episodisches Wissen, welches sich auf konkrete, erlebte Situationen bezieht und situationsindiziert abgerufen wird. Das bedeutet, dass ein Abruf dieses Wissenstyps umso einfacher erfolgt, wenn Ähnlichkeiten zu diesen Situationen in ihrer Oberfläche (z.B. der Ort, die Form eines Gegenstandes, die Thematik eines Arbeitsauftrages) oder in ihrer Tiefenstruktur (z.B. vorgegebene Rahmenbedingungen, prinzipielle Art der Problemstellung, zugewiesene Bedeutung) wahrgenommen werden.⁹ Das abgerufene Wissen dieses situativen Wissenstyps besteht dabei aus Faktenwissen über die in dieser Situation vollführten Handlungen bzw. Handlungsoptionen. Es handelt sich somit um *deklaratives Handlungswissen* im Sinne des Wissensmodells nach Wittmann, Süß und Oberauer (1996).

An dieser Stelle wird ebenso deutlich, wieso die Unterscheidung des deklarativen Wissens in Sach- und Handlungswissen sowohl aus lernpsychologischer als auch didaktischer Sicht notwendig ist: Während das deklarative Sachwissen in der Regel als generalisiertes, interindividuelles Wissen vorliegt und stets bewusstseinspflichtig ist, ist deklaratives Handlungswissen hochgradig subjekt-spezifisch und liegt kontextspezifisch vor. Daher bildet dieses Wissen erst durch eine Aktivierung sämtlicher, an entsprechende Situationen gebundener Erfahrungen eine Heuristik aus (de Jong & Ferguson-Hessler, 1996), die sich zudem durch einen hohen Grad an Unbestimmtheit auszeichnet (Neuweg, 2020, S. 17). Diese Form von Wissen ist stark individuell geprägt und bewusstseinsfähig, aber nicht bewusstseinspflichtig (vgl. Hacker & Sachse, 2014, S. 165ff.). Wissen dieses Typs tritt somit in impliziter Form auf, und dessen Existenz ist dem Wissensträger außerhalb entsprechender Situationen zunächst auch häufig nicht bewusst (Kaiser, 2005, S. 181).

Noch fundamentaler sind die Unterschiede auf der prozeduralen Ebene des Sach- und Handlungswissens. Dies illustrieren die entsprechenden Wissenstypen nach Kaiser (2005, 2014): der prozedurale sowie sensomotorische Wissenstyp.

Der prozedurale Wissenstyp korrespondiert dabei mit *prozeduralem Sachwissen*. Dieses umfasst nach Kaiser (2005) kognitive Produktionsregeln, welche immer dann abgerufen werden,

⁹ Unter den Schlagworten „semantisches“ bzw. „episodisches“ Gedächtnis (Anderson, 2007, S. 285) finden sich ähnliche Konstrukte in der lernpsychologischen Grundlagenliteratur.

wenn der vorliegende Problemlösungsraum deren Voraussetzungen erfüllt. Diese Produktionsregeln führen eine schrittweise und routinierte Lösung der einzelnen Teilprobleme auf der kognitiven Ebene durch (Kaiser, 2005, S. 125f, sowie 2014). Kognitive Prozesse des Verstehens, Nachvollziehens sowie des Antizipierens, wie beispielsweise das logische Schlussfolgern und der schlüssige Aufbau von Argumentationsketten, greifen dabei genauso auf prozedurales Sachwissen zurück wie das Lösen und Berechnen mathematischer Gleichungen.

Im Gegensatz dazu wird bei der Ausführung und Steuerung routinierter Körperbewegungen, also *prozeduralem Handlungswissen*, auf den sensomotorischen Wissenstyp zurückgegriffen (Kaiser, 2005, S. 173ff). Kognitive Prozesse sind hierbei bestenfalls für die Planung und Handlungsvorbereitung bedeutsam, direkte Eingriffsmöglichkeiten in die Umwelt bieten sich dem Menschen über dessen Motorik. Dies schließt dabei im Besonderen ausführende Handlungen mit und an technischen Systemen ein.

Auch aus psychologischer Sicht ist ebenso von Unterschieden zwischen prozeduralem Handlungs- und Sachwissen auszugehen: Während sensomotorische Vorgänge über regelkreisgesteuerte Prozesse realisiert werden, finden Operationen des prozeduralen Wissenstyps nach Kaiser in einem repräsentationsbasierten Wissenssystem statt (Kaiser, 2005). Beide prozedurale Wissensarten haben als gemeinsames Merkmal, dass diese nur eingeschränkt bewusstseinsfähig und generalisierbar sind (Rittle-Johnson et al., 2001), zum Teil sind diese sogar vollständig impliziter Natur. In diesem Fall sind die Tätigkeiten automatisiert, werden somit unbewusst ausgeführt und sind daher häufig nicht verbalisier- oder gar formalisierbar (Neuweg, 2005; vgl. auch Hacker & Sachse, 2014, S. 165ff.).¹⁰

Das Modell von Oberauer, Süß und Wittmann (1996) leistet somit eine lernpsychologisch sinnvolle Unterscheidung von Wissensarten und informiert ebenso über die Rahmenbedingungen und Möglichkeiten bzgl. der grundsätzlichen Verbalisier- und Vermittelbarkeit dieser.

Allerdings ist aus allgemein- und fachdidaktischer Sicht die theoriebasiert abgeleitete Dichotomie von deklarativem und prozeduralem Wissen in dem Modell insofern problematisch, da aus der Befundlage der empirischen Bildungsforschung auf der deklarativen Ebene zwischen Einzelfakten und Konzepten zu unterscheiden ist. Es besteht Konsens darüber, dass nicht das deklarative Wissen von Einzelfakten, sondern in Konzepten organisiertes Wissen einen starken Prädiktor für den schulischen Erfolg in naturwissenschaftlichen Fächern darstellt (Schiepe-Tiska et al., 2016; Viering et al., 2010; Baumert et al., 2009). Konzepte bestehen aus inhaltlichen Verknüpfungen von einzelnen Fakten und stellen als Kompilierungen dieses miteinanderverknüpften Wissens gleichzeitig eine sich entwickelnde Ordnungsstruktur dar (De Jong & Ferguson-Hessler, 1996). Im allgemeindidaktischen und im technikdidaktischen Diskurs finden sich daher Vorstellungen von *konzeptuellem Wissen* wieder (Renkl, 1996; vgl. auch Tenberg, 2018, S. 139). Namentlich verweisen McCormick (1997) sowie Compton (2004) darauf, dass zwischen dem reinen Aufzählen von Fakten und einem für die Ausbildung von Konzepten notwendigen relationalen Wissen bedeutsame Unterschiede bestehen.

Auch für die prozedurale Ebene existieren ähnliche Überlegungen: Konzeptuelles und prozedurales Wissen sind ebenso eng miteinander verbunden und maßgeblich an Problemlöseprozessen beteiligt (Renkl, 2009, S. 5). Schließlich umfasst es Kontroll- und Steuerungsstrategien (Hiebert & Lefevre, 1986; Rittle-Johnson et al., 2001) und ermöglicht die Flexibilisierung und den Transfer von Lösungsverfahren (Blöte et al., 2001).¹¹ Konzeptuelles Wissen bildet somit einen vermittelnden Überlappungsbereich zwischen deklarativem und

¹⁰ Zur Vermittelbarkeit von nicht-bewusstseinsfähigem und impliziten Wissens im berufsbildenden Kontext siehe Chan (2020).

¹¹ Die häufig angeführte Problemlösefähigkeit ist als spezielle Fähigkeit für das Lösen komplexer Probleme nicht empirisch zu belegen (Süß, 2008, S. 263), während Vorwissen und Intelligenz sich nachweisbar als Prädiktoren bestätigen ließen.

prozeduralem Wissen.¹² Während das konzeptuell-deklarative Wissen z.B. kausale Verknüpfungen von Einzelfakten beinhaltet, verbindet konzeptuell-prozedurales Wissen Handlungsschritte und Prozeduren mit deklarativem Wissen über Zielvorstellungen, Rahmenbedingungen und einzusetzende Ressourcen zu einer sinnhaften Abfolge im Sinne einer strategischen Handlungssteuerung.

		Sachwissen	Handlungswissen
prozedurales Wissen	deklaratives Wissen		
	konzeptuelles Wissen		

Abb. 5: Das um konzeptuelles Wissen erweiterte Modell

Im Modell wird daher zwischen rein-deklarativem und konzeptuell-deklarativem als auch konzeptuell-prozeduralem und rein-prozeduralem Wissen differenziert. Somit lassen sich sowohl Faktenwissen als auch Zusammenhangs- und Begründungswissen und ebenso benötigtes Wissen zu strategischen Entscheidungen oder zur reinen Ausführung explizit abbilden.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass sich entsprechend den jeweiligen Diskursen Wissen aus lernpsychologischer als auch allgemeindidaktischer Sicht im erweiterten Modell (Abb. 5) beschreiben lässt. Jedoch leistet das Modell in der bisherigen Form auf inhaltlicher Ebene noch nicht die benötigte Abgrenzung zwischen technischem Wissen im engeren Sinne und bezugswissenschaftlichem bzw. berufsfeldrelevantem Wissen. Dazu wird das Modell im folgenden Abschnitt entsprechend zu erweitern sein. Zudem hat die vorangegangene Auseinandersetzung in Abschnitt 3 eine Unterteilung des technischen Wissens in einen System- und Nutzensaspekt sowie theoretisches Wissen, Wissen zur handwerklichen Ausführung als auch meta-technisches Wissen ergeben. Dieser Unterscheidung ist daher ebenso Rechnung zu tragen.

5 Fachdidaktische Modellierung technischen Wissens

Nachdem in den vorangegangenen Abschnitten die Teilfragen nach technischem Wissen und den Wissensarten aus lernpsychologischer Perspektive geklärt wurden, wird sich der folgende Abschnitt der übergeordneten Fragestellung des Beitrages annehmen: Welches Wissen ist in technischen Repräsentationen eingebettet bzw. als Vorwissen zu aktivieren? Dazu wird das vorläufige Modell auf der horizontalen Achse in einen artefakt-bezogenen und artefakt-fernen Anteil unterteilt, um zu dessen endgültiger Form zu gelangen.

Bislang unterscheidet das vorläufige Modell auf inhaltlicher Ebene in einen Sach- und einen Handlungsaspekt des Wissens. Diese Unterscheidung korrespondiert grundsätzlich mit dem in Abschnitt 3 herausgearbeiteten System- und Nutzensaspekt des technischen Wissens, z.B. im

¹² In der Lernpsychologie wird dieses Wissenskonzept auch als „Schema“ bezeichnet (vgl. Renkl, 2009, S. 6; Anderson, 2007, S. 186ff).

Sinne des strukturalen und funktionalen Regelwissens nach Ropohl (1997, 1998, 2009). Diese Aufteilung in einen Sach- und Handlungsaspekt wird zudem durch empirische Befunde der Berufspädagogik (Nickolaus, 2011) gestützt, welche u.a. Wissensstrukturen in Fachwissen und handlungsorientierte Teilkompetenzen unterteilen. Das diskutierte Wissen bezieht sich dabei vorwiegend auf Bauteile, Baugruppen, komplette Produkte oder Werkzeuge, d.h. durch menschliches Tun erstellte, künstliche Gegenstände (Artefakte), die in technischen Handlungsrahmen genutzt werden. Somit stellt das Wissen im Sinne der Arbeitsdefinition technisches Wissen dar.

Dieses technische Wissen spielt in der gewerblich-technischen Bildung eine wichtige Rolle, stellt jedoch angesichts aller zu vermittelnden Kenntnissen und Fertigkeiten lediglich eine Unter- menge des gesamten Sach- bzw. Handlungswissens dar. Hierzu wird erneut an Hintergrundwissen mit naturwissenschaftlichem oder wirtschaftlichem Bezug erinnert.

Aus diesem Grund wird das Sach- als auch Handlungswissen fortan jeweils in artefakt- bezogenes und artefakt-fernes Wissen unterteilt. Bei artefakt-bezogenem Wissen handelt es sich um technisches Wissen im engen Sinne der Arbeitsdefinition, also Wissen um die Planung, Erstellung, Aufbau und Nutzung eines Artefakts bzw. einer Klasse von Artefakten. Artefakt-fernes Wissen reicht hingegen über den Artefaktaspekt hinaus und beschäftigt sich mit generalisierten Fragen, z.B. naturwissenschaftlichen oder gesellschaftlichen Aspekten. Es ergibt sich somit das in Abb. 6 dargestellte fachdidaktische Modell technischen Wissens in seiner endgültigen Form. Dieses gliedert sich auf der horizontalen Achse von links nach rechts verlaufend in artefakt-fernes und artefakt-bezogenes Sachwissen sowie artefakt-bezogenes und artefakt-fernes Handlungs- wissen. Jede dieser Spalten umfasst dabei rein-deklarativ und konzeptuell-deklaratives sowie konzeptuell-prozedural und rein-prozedurales Wissen. Insgesamt ergeben sich damit 16 verschiedene Arten des Wissens, welche im Folgenden eingehend diskutiert und anschließend anhand eines Beispiels illustriert werden.

		Sachwissen		Handlungswissen	
		(techn.) Artefaktwissen			
prozedurales Wissen	konzeptuelles Wissen				
	deklaratives Wissen				

Abb. 6: Das vollständige, um Artefaktwissen erweiterte fachdidaktische Modell technischen Wissens

Die linke Spalte des Modells enthält artefakt-fernes Sachwissen. Beispiele aus der technischen Bildung wären dabei Naturgesetze und -prinzipien. Dies schließt auch die Mathematik als Beschreibungsmittel und den Umgang mit mathematischen Gleichungen mit ein. In der Diskussion um technisches Wissen wären hierbei das Technologische Gesetzeswissen nach Ropohl (1997, 1998, 2009) bzw. Wissen über die physische Natur nach de Vries (2003) zu nennen. Ebenso findet sich hierin Wissen um gesellschaftliche und politische Zusammenhänge wieder, sofern dies keinen handlungsanweisenden Charakter aufweist. Vor diesem Hintergrund stellen beispielsweise Natur-

konstanten oder Formelzeichen rein-deklaratives Wissen dar, während der quantitative markt-theoretische Zusammenhang von Angebot, Nachfrage und Preisgestaltung zum konzeptuell-deklarativen Wissen zu zählen wäre. Konzeptuell-prozedurales Wissen hingegen umfasst die Auswahl von Lösungswegen zur Berechnung, einschließlich Aufstellen, Ableiten, Einsetzen und Umstellen von Formeln. Es handelt sich um Wissen, welches die kognitive Ausführung vorstrukturiert und die dafür notwendigen Fakten bereitstellt. Das reine Ausführen, hier also die Berechnung, ist als rein-prozedurales, artefakt-fernes Sachwissen in der letzten Zeile der ersten Spalte wiederzufinden.

Im Speziellen bedeutet dies für artefakt-bezogenes Sachwissen, dass beispielsweise Bauteile und -gruppen sowie deren Bezeichnungen, konkrete Anordnungen und möglichen Zustände, Materialparameter oder artefakt-spezifische Sicherheitstoleranzwerte rein-deklarative Wissensanteile darstellen. Konzeptuell-deklaratives, artefakt-bezogenes Sachwissen wären Funktionsgefüge, in denen die Einzelkomponenten involviert sind, oder die darauf aufbauende mentale Organisation der Bauteile zu Baugruppen. Wissen, dass die Beurteilung der Funktionstüchtigkeit und Fehlerdiagnose unter Einbezug der oben genannten deklarativen Fakten und Konzepte ermöglicht, stellt konzeptionell-prozedurales Wissen dar; das Ziehen der tatsächlichen Schlussfolgerung und Beurteilung ist rein-prozedurales artefakt-bezogenes Sachwissen.

Im Gegensatz zum artefakt-bezogenen Sachwissen beschreibt artefakt-bezogenes Handlungswissen den Handlungsvollzug mit oder am Artefakt. Das bedeutet, dass das Wissen um Nutzungsmöglichkeiten, Eingabeparameter und Bedienungsabläufe rein-deklaratives Wissen darstellt, variable Begründungszusammenhänge vor dem jeweiligen Nutzungskontext jedoch konzeptuell-deklaratives Handlungswissen sind. Die Fertigkeit, Handlungsabläufe beispielsweise für die Fertigung eines Bauteils zu planen und aus den möglichen Handlungsoptionen kompetent auszuwählen, zählt zum konzeptuell-prozeduralen Wissen; die Ausführung dieser Fertigung, z.B. das handwerklich-fachmännische Feilen, sind dann wiederum rein-prozedurale Fertigkeiten.

In der 4. Spalte, dem artefakt-fernen Handlungswissen, finden sich handlungsanleitende Wissensbestände, die auf keinerlei spezifisches Artefakt verweisen. Nichtsdestotrotz sind diese in Form gesetzlicher Rahmenbedingungen einschließlich allgemeiner Regelungen zur Arbeitssicherheit und Umweltschutz oder Maßnahmen zum Leisten von Erster Hilfe maßgebliche Inhalte in der Berufsausbildung. Im Diskurs um technisches Wissen finden sich diese u. a. als sozio-ökologisches Wissen (Ropohl, 1997, 1998, 2009), Metatechnisches Wissen (Wiemer, 2018) bzw. Comptons (2004) Soziales Wissen wieder (vgl. Tab 3). Die Kenntnisse von Gesetzesgrundlagen und Arbeitssicherheitsregeln sind dabei rein-deklarativer Natur; Begründungszusammenhänge wie z.B. Pausen- und Ruhezeiten in Bezug auf die Gewährleistung allgemeiner Arbeitssicherheit sind wiederum Beispiele konzeptionell-deklarativen Wissens. Beispiele konzeptionell-prozedurale Wissens sind Strategien in Gesprächsführung mit Kollegen und Kunden. Ebenso zählen Entscheidungen aus dem Bereich der Arbeitssicherheit über einzuleitende Erste-Hilfe-Maßnahmen dazu, während die Durchführung einer Beatmung oder Herz-Druck-Massage ein Beispiel rein-prozeduralen, artefakt-fernen Handlungswissens darstellt.

Die allgemeine Darstellung der einzelnen Felder des erarbeiteten Modells wird im nächsten Abschnitt am Beispiel des Doppelkolben-Stirling-Motors aus Abb. 1 konkretisiert.

6 Beispielhafte Anwendung des Modells an einer Repräsentation

An dieser Stelle sei erneut in Erinnerung gerufen, dass die Frage, welches Wissen zur Rezeption einer Repräsentation benötigt ist, ein Vorgehen erfordert, das sich auf die Repräsentation und nicht

auf eine spezifische Tätigkeit bezieht. Im Besonderen geht es also nicht darum, was ein Experte oder eine Expertin in einer bestimmten Handlungssituation (z.B. der Montage eines Systems) in einer Repräsentation sieht, sondern welches technische Wissen vom Lernenden bereitgestellt werden muss, um die Repräsentation vollständig zu verstehen und eigenständig die für sich benötigten Informationen entnehmen zu können.

6.1. Analyse des Vorwissens

Dazu wurde Abbildung 1 bewusst als Beispiel gewählt, das diese in ihrer Art Metall- oder Maschinenbauerinnen und Maschinenbauern vertraut sein dürfte. Als dreidimensionale Explosionszeichnung kann diese sowohl als Darstellung der Einzelteile, deren Lokalisierung als auch als Hinweis zur Reihenfolge einer Montage gelesen werden. Unabhängig von der kommunikativen Absicht lassen sich mit entsprechendem Vorwissen eine ganze Reihe an Aussagen aus der Abbildung entnehmen. Zur Analyse und Herausarbeitung eben jenes Vorwissens wird das fachdidaktische Modell technischen Wissens genutzt.

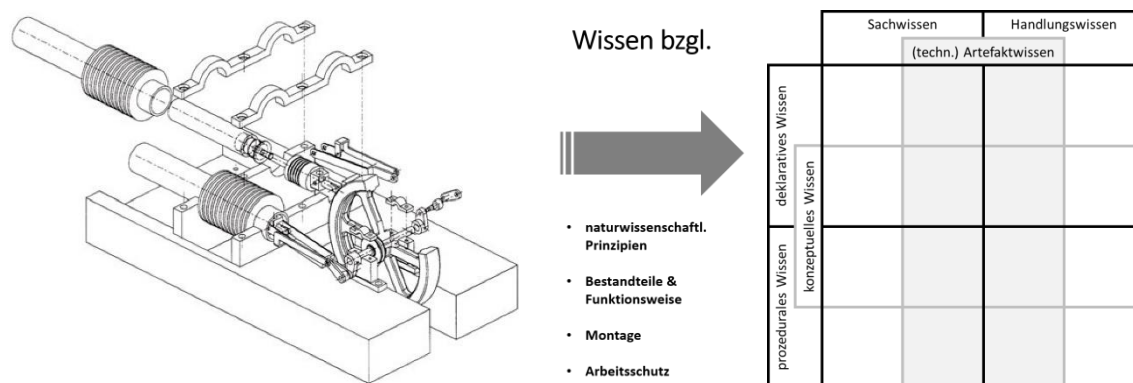


Abb. 7 links: Doppelkolben-Stirling-Motor aus Abb. 1 (Lindemann, 2010, S. 14), rechts: Modell des Technikdidaktischen Wissens aus Abb. 6

Zunächst wird die Seite des Sachwissens näher betrachtet, beginnend mit artefakt-bezogenem Wissen. Dass es sich bei dieser Maschine um einen Motor handelt, der Wärme in mechanische Arbeit umwandelt, wobei eine lineare Bewegung in eine Kreisbewegung überführt wird, muss dabei als eine erste Stufe konzeptionell-deklarativen Vorwissens angesehen werden. Damit davon ausgehend ein tieferes Verständnis entwickelt werden kann, müssen zunächst die abgebildeten Bauteile und Baugruppen identifiziert werden, welche spezifische Bezeichnungen, Funktionsprinzipien und entsprechende Eigenschaften aufweisen. Als Einzelfakten handelt es sich um rein-deklaratives artefakt-bezogenes Sachwissen. Aus der Oberflächenstruktur der Repräsentation zu erkennen und zu benennen sind:

- Zylinder mit Wärme- und Kühlkammer
- Arbeits- und Verdrängungskolben
- Doppel-Pleuel
- Schwung- und Antriebsrad
- Aufnahme, Halterung und Wellenlager

Zum Verständnis bezüglich des Zusammenspiels der Einzelkomponenten des Systems ist eine ausgeprägte Vorstellung der mechanischen Bewegungen und übertragenen Kräfte notwendig und

somit eine komplexere kognitive Struktur: konzeptionell-deklaratives Sachwissen. Dieses Wissen greift dabei nicht nur auf die oben genannten artefakt-bezogenen Fakten zurück, sondern auch auf naturwissenschaftliche Konzepte, die sich hinter dem Stirling-Prozess verbergen.

Die naturwissenschaftlichen Konzepte liegen dabei als artefakt-fernes konzeptuell-deklaratives Wissen vor: isochore und isotherme Zustandsänderungen eines idealen Gases bzw. des realen Arbeitsgases, also wie die Gasparameter Volumen und Druck mit der Temperatur in einem pVT-System miteinander zusammenhängen. Ebenso werden die Hauptsätze der Thermodynamik und der Energieerhaltungssatz als konzeptionell-deklaratives artefakt-fernes Sachwissen bedeutsam. Diese naturwissenschaftlichen Konzepte greifen dabei wiederum explizit artefakt-fernes, rein-deklaratives Wissen auf, also Wissen um die Größen Temperatur, Druck und Volumen sowie den dazugehörigen Einheiten.

Tab. 2: Das in der Zeichnung des Stirling-Motors (Abb. 7) enthaltene Vorwissen

		Sachwissen	Handlungswissen		
		Artefakt-Wissen			
deklarativ		Temperatur, Volumen, Wärme, Arbeit und Leistung	Bezeichnung der Bauteile	Werkzeuge, einzelne Arbeitsschritte der Montage	Sicherheitsregeln
	konzeptuell	Stirling-Prozess (isochor, isotherm), pVT-System	Funktionsbeziehungen der Bauteile in der Maschine	Begründung der Montage-Reihenfolge	Begründung von Arbeitsschutz-Maßnahmen bei Montage & Betrieb
prozedural		Methodik der Arbeitssicherheit		Arbeitsplanung, Werkzeugauswahl	Einbezug von Maßnahmen zur Arbeitssicherheit in die Arbeitsplanung
	konzeptuell				

Bezüglich des Handlungsaspektes thematisiert die Abbildung des Stirling-Motors (Abb. 7) implizit situationsspezifisches Wissen, einerseits zur Montage, andererseits aber auch zum Betrieb des Motors. Erfahrungen, wie ein Stirling-Motor in der Regel betrieben wird, können als rein-deklaratives Handlungswissen mit Artefakt-Bezug durchweg zum Verständnis der Funktionsweise beitragen. Ebenso kann ein „Andocken“ an bekannte Fertigungsverfahren ein Verständnis um die Form der einzelnen Bauteile vertiefen und ergänzen. Somit wird durch die Repräsentation handlungsanleitendes Wissen zu Fragen der Montage der Einzelteile aktiviert.

Hierzu ist die konzeptuell-prozedurale Fertigkeit notwendig, eine Handlungsreihenfolge der vorzunehmenden Arbeitsschritte im Sinne einer Arbeitsplanung zu erstellen. Dabei ist festzuhalten, dass unterschiedliche Vorgehensweisen und Handlungsschritte bei der Arbeitsplanung natürlich möglich sind oder die Aufgaben gar eine situative Variabilität erfordern. Zur Festlegung und Begründung des konkreten Vorgehens werden konzeptuell-deklarative Begründungszusammenhänge benötigt, z.B. wieso die Montage in der Arbeitsplanung festgelegten Reihenfolge zu erfolgen hat. Diese können einer bereits routinierten Handlungsheuristik entstammen oder aus einem rein-deklarativen Wissen um einzelne Handlungsschritte und einzusetzende Werkzeuge situationsspezifisch abgeleitet werden.

Das artefakt-bezogene Handlungswissen sollte dabei stets von Wissen zur Methodik der Arbeitssicherheit begleitet sein. Dabei können auch artefakt-bezogene Wissensbestände bedeutsam sein, z.B. der fachgerechte Umgang mit eingesetzten Werkzeugen, hier aber sind vielmehr der Einbezug allgemeiner Sicherheitsregeln in die Arbeitsplanung sowie ein sicherheitsbewusstes Handeln am Arbeitsplatz mitenthalten.

6.2. Anwendungsmöglichkeiten der Vorwissensanalyse

Das in Tab. 2 zusammengetragene Wissen, welches in der Darstellung des Stirling-Motors (Abb. 7) enthalten ist, lässt erkennen, dass diese Wissensbestände aus unterschiedlichsten Lebenswelterfahrungen, aus der schulischen Vorbildung sowie aus beruflichen Kontexten entstammen können. Dies hängt u.a. damit zusammen, dass die Repräsentation mehrere unterschiedliche Lesarten zur Verfügung stellt: eine zur Beschreibung der Funktionsweise (Sachwissen) und eine zur Montagereihenfolge (Handlungswissen). Das Analyseergebnis in der Tabelle bietet somit Hinweise auf konkrete Inhalte, welche Vorwissensbestände zu einem vertieften Verständnis notwendig oder hilfreich sind. Diese sollten, um den Schülerinnen und Schülern ein tiefenstrukturelles Verständnis zu ermöglichen, entweder als Vorwissen aktiviert oder als neues Wissen aufgebaut werden. Im Folgenden wird dies für den Fall homogener und den Fall heterogener Klassenzusammensetzung kurz skizziert.

Für Klassen mit weitgehend homogener Zusammensetzung in Bezug auf die Lebensweltlichkeit der Schülerinnen und Schüler bietet es sich an, zunächst mit einer „vertrauten Lesart der Repräsentation“ zu beginnen und anschließend geeignete Lernmaterialien oder -aufgaben zur Verfügung zu stellen, welche fehlende Vorwissensbestände ausgleichen. In Klassen, in denen Schülerinnen und Schüler mit höherem Schulabschluss ohne bzw. mit nur geringen berufsweltpraktischen Erfahrungen versammelt sind, können ausgehend vom Schulwissen die Funktionsweise und so die Bauteile erschlossen werden. Im Anschluss kann z.B. durch Rechercheaufträge wie Arbeitsplatzerkundungen und Befragungen von Berufstätigen das benötigte Handlungswissen aufgebaut und an das zuvor erworbene Wissen zum Aufbau des Systems angeknüpft werden. Klassen mit durchgehend geringer Schulvorbildung, aber bereits vorliegenden berufspraktischen Erfahrungen können hingegen aus der praktischen Erfahrung kommend über die Montage ein grundlegendes Verständnis über die einzelnen Bauteile und den Aufbau des Systems erlangen. Ausgehend vom Aufbau kann die Funktionsweise erarbeitet werden, in dem die Schülerinnen und Schüler auf bereitzustellende Unterstützungsmaterialien zu den naturwissenschaftlichen Themen zurückgreifen und dieses Wissen anbinden. Mittels anleitender Fragen in einem Leittext können die beiden skizzierten Lernwege unterstützt und gestaltet werden.

Für heterogen zusammengesetzte Klassen bieten die Analyseergebnisse zumindest Anhaltspunkte, welche kognitiven Ressourcen im Klassenraum vorhanden sein und durch eine geeignete Methodenwahl aktiviert werden könnten. Eine mögliche Methode, die diese Heterogenität als Ressource nutzbar macht, ist die Arbeit in heterogenen Teams oder Partnergruppen, wobei einzelne Mitglieder entweder auf eine höhere schulische Vorbildung oder auf bereits vorhandene berufspraktische Erfahrungen zurückgreifen können. Bei einem solchen Vorgehen ist darauf zu achten, dass ein tatsächlicher Wissenstransfer zustande kommt. Besonders bei implizitem Wissen – dieses findet sich in den unteren Zeilen des Modells wieder – empfiehlt es sich daher, dieses Wissen explizit in Schriftform festzuhalten und zu dokumentieren. Hierbei wäre die Erstellung eines Arbeitsplanes zur Montage einschließlich der Werkzeugauswahl eines der einzufordernden Lernprodukte.

An dieser Stelle soll noch einmal betont werden, dass das Ziel des Beitrags darin besteht, die theoriebasierte Herleitung eines Analyseinstruments darzustellen, nicht dessen Anwendung. Daher soll es an der Stelle bei einer beispielhaften Darstellung belassen werden. Nichtsdestotrotz bietet die Analyse mithilfe der vorgestellten Modellierung systematische Einsicht in die unterliegende (Vor-) Wissensstruktur und damit verbunden die Möglichkeit, den Leseprozess dem Adressatenkreis gerecht zu gestalten. Weitere, über die Arbeit mit Repräsentationen hinausgehende Anwendungsmöglichkeiten werden im folgenden Abschnitt abschließend kurz skizziert.

7 Diskussion und Fazit

In diesem Artikel wurde von der Problemstellung ausgegangen, dass die Bearbeitung technischer Repräsentationen für Lernende ein bedeutsames Hindernis im Lernprozess darstellt, welches durch das repräsentationale Dilemma bedingt ist: Lernende sollen aus Repräsentationen lernen, deren Bedeutung und Nutzen sie selbst nicht vollständig verstehen. Im Kontext der Vermittlung wird diese Schwierigkeit zusätzlich durch das sog. Experten-Novizen-Dilemma verschärft. Für Expertinnen und Experten ist die Bedeutung und Rolle einer Repräsentation im jeweiligen Kontext oftmals intuitiv klar, während dies bei ihren Schülerinnen und Schülern u. U. nicht der Fall ist. Unter dieser Voraussetzung laufen Vermittlungsversuche Gefahr, dass zum Verständnis wesentliche inhaltliche Zusammenhänge unausgesprochen bleiben und die durch die jeweilige Repräsentation gebotenen Lerngelegenheiten nur unzureichend genutzt werden können.

Daher lautet die Zielstellung des Artikels, technisches Wissen fachdidaktisch zu modellieren, sodass berufs- und tätigkeitsübergreifend das in technischen Repräsentationen eingebettete Wissen beschrieben werden kann. Das entwickelte fachdidaktische Modell technischen Wissens basiert sowohl auf Erkenntnissen der Psychologie des Problemlösens und des Lernens als auch auf Erkenntnissen aus dem Diskurs zu technischem Wissen. Es schließt an Befunde und vorliegende Kategorialmodelle technischen Wissens als auch der Lernpsychologie an und ist somit geeignet, didaktische Fragestellungen der Technik zu beantworten.

Zum einen beantwortet das Modell Fragen für die Arbeit mit technischen Repräsentationen: Durch eine systematische, explizite Beschreibung der inhaltlichen Aspekte technischer Repräsentationen können diese Inhalte gezielt adressiert und vermittelt werden. Dies gilt nicht nur für die zu kommunizierenden Wissensinhalte, sondern vor allem für das dazu benötigte Vorwissen. Dazu liefert das Modell ein Analyse-Raster, um zunächst unüberschaubare Wissenskomplexe in elementare lern- und arbeitskontextspezifische Wissenseinheiten zu zerlegen. Im Rahmen dieser Zerlegung ist der Anwender in der Lage, technische Inhalte von denen der Bezugswissenschaften potenziell abzugrenzen. Diese Abgrenzung zwischen einem technischen Kernbereich und Rand- bzw. Überlappbereichen mit Bezugswissenschaften orientiert sich dabei am Vorliegen eines Bezugs des Wissensinhaltes zu einem Artefakt.

An dieser Stelle ist noch einmal festzuhalten, dass die vorliegende Modellierung unabhängig von spezifischen Eigenschaften, die durch eine bestimmte Repräsentationsform vorgegeben werden, vorgenommen wurde. Vielmehr bildet das Modell aufgrund seiner Herleitung aus dem technikphilosophischen Diskurs das gesamte, bekannte Spektrum technischen Wissens ab und lässt sich damit auch auf den Inhalt sowohl symbolischer, ikonischer als auch enaktiver technischer Repräsentationen anwenden, da technische Repräsentationen lediglich Darstellungsformen technischen Wissens sind.

Exemplarisch wurde das Vorgehen an einer grafischen Repräsentation (vgl. Abb. 7 und Tab. 2) demonstriert. In diesem Zusammenhang konnte angedeutet werden, wie das Modell erfahrene Praktikerinnen und Praktiker dabei unterstützen kann, die als Hintergrundwissen bereitzustellenden kognitiven Strukturen zu identifizieren und den Rezeptionsprozess für den Adressatenkreis passfähig zu gestalten. Insofern stellt ein derartiges Vorgehen auch für den Anwendungsfall auf nur eine einzelne Repräsentation einen Ansatz dar, das Experten-Novizen-Dilemma sowie das Repräsentationsdilemma zu lösen.

Zum anderen beantwortet das Modell Fragen zur Unterrichtsvorbereitung in Bezug auf Vorwissen. Es löst dafür im Besonderen das Problem, dass sich das Vorwissen für das Verständnis von technischen Inhalten wie Zusammenhängen, Handlungen oder Prozessen häufig nicht eindeutig und durch einfache Formulierungen festlegen lässt. Dies ist zum einen dadurch bedingt, dass Lernende sehr individuelle Wissensbestände transferieren und für die Problemstellung nutzbar machen können und zum anderen komplexe technische Lernsituationen oftmals durch ein hohes Maß an Multiperspektivität sehr unterschiedliche Anknüpfungs- und Einstiegspunkte anbieten.

Für diese unterschiedlichen Anknüpfungspunkte liefert eine Aufgabenanalyse auf Grundlage des vorliegenden fachdidaktischen Modells des technischen Wissens einem Lehrenden unterschiedliche Zugangswege zu den zu vermittelnden Inhalten. Somit kann dieses Modell, wie Erlebach, Leske und Frank darstellen (2020), als Instrument für die Gestaltung binnendifferenzierenden und adaptiven Unterrichts dienen, für den sich auf Grundlage der Analyse adressatengerechte Unterstützungsangebote und kooperative Vermittlungsansätze gezielt gestalten lassen. Nicht zuletzt ist davon auszugehen, dass Wissen aus benachbarten Feldern in dem Modell von Lernenden transferiert werden kann und auf diese Weise fehlendes Wissen zu Teilen zu kompensieren vermag.

Vor diesem Hintergrund bietet das Modell auch einen möglichen Erklärungsansatz für die vorliegenden empirischen Befunde an, welche die Bedeutsamkeit von Vorwissen aus den nicht-technischen Schulfächern der Sekundarstufe I auf die Erfolgsaussichten in der dualen beruflichen Ausbildung nachweisen (Frank et al., 2017): Eine gute schulische Vorbildung ermöglicht speziell in den ersten Ausbildungsjahren eine signifikante Chance auf einen Erfolg der Berufsausbildung. In dem Modell lässt sich eine derartige Vorbildung als reichhaltiger Wissensstand in der linken Spalte verorten, d.h. artefakt-fernes Sachwissen (vgl. Abb. 6), welches nicht nur das Verständnis von in technischen Repräsentationen dargestellten Zusammenhängen erleichtert, sondern allgemein einen inhaltlichen Vorsprung im theoretischen Bereich der Grundstufen bereitstellt.

Zugleich unterstützt dieses Modell auch die Argumentation für eine duale Ausbildung, in der berufsfeldspezifisches Vorwissen aus der praktischen Tätigkeit oder Erfahrungen aus Praktika dazu genutzt wird, um Zugänge zu schulischem Wissen zu schaffen. Diese Art von Vorwissen findet sich entsprechend des Modells in den rechten Spalten als Handlungswissen wieder und kann sowohl bereits erworbenes artefakt-bezogenes als auch artefakt-fernes Wissen beinhalten. Unterschiedliche Zielgruppen können mittels einer Vorwissensanalyse auf Grundlage des Modells bereits in der Unterrichtsvorbereitung eingebunden werden (Erlebach et al., 2020).

Schließlich kann eine Anwendung des Modells zumindest Hinweise auf Antworten zu unterrichtsmethodischen Fragen liefern. Ganz besonders dann, wenn anstelle der kognitiven Voraussetzungen das Modell zur Analyse des zu vermittelnden Wissens angewendet wird. Da das Modell eine sehr genaue Zuordnung der einzelnen elementaren Wissensbestandteile in die einzelnen Felder einfordert, unterstützt es die Formulierung beabsichtigter Feilernziele.

So kann beispielsweise aus einer Lernsituation „Ölwechsel ausführen“ eine differenzierte Lernzielformulierung abgeleitet werden wie:

Die Schülerinnen und Schüler kennen verschiedene Motorölypen marktüblicher Anbieter und können diese den passenden Motoren zuordnen. Sie wissen, wie ein Ölwechsel am Kraftfahrzeug durchgeführt wird, können die zugehörigen Arbeitsschritte aufzählen und ebenso ausführen. Ferner kennen sie die einschlägigen Vorschriften zur Entsorgung von Altöl und zur Verhinderung von Kontamination der Umwelt und sind in der Lage, diese praktisch umzusetzen.

Die vorgestellte fachdidaktische Modellierung technischen Wissens scheint zudem dazu eignet, Unterrichtsmethoden hinsichtlich der kognitiven Unterrichtsziele zu kategorisieren. Dazu ergeben sich aus dem Modell Hinweise auf spezifische Eigenschaften technischen Wissens wie beispielsweise der Grad an Bewusstseinsfähigkeit oder Individualität des zu aktivierenden Wissens. Nimmt man dies als Ausgangspunkt für Überlegungen, für welche Wissensfelder die einzelnen in der gewerblich-technischen Ausbildung üblichen Unterrichtsmethoden geeignet erscheinen, erhält man eine Kategorisierung, welche eine direkte Ableitung und Begründung der gewählten Unterrichtsmethode aus den Feinlernzielen zulässt. Es soll an dieser Stelle noch einmal betont werden, dass die soeben geschilderten Einsatzmöglichkeiten des Modells über das Ziel des Beitrages hinausgehen und somit gesonderter und eingehender Auseinandersetzung bedürfen.

Zugleich sind dem Modell in Anwendung und Theorie Grenzen gesetzt. So liefert das Modell keine Hinweise auf schwierigkeiterzeugende Merkmale, die rein fachlicher Natur sind. Ebenso werden in dem Modell keine repräsentationsspezifischen Fertigkeiten oder Wissensinhalte berücksichtigt, welche sich auf die Arbeit mit Repräsentationen beschränken wie z.B. Wissen um benötigte Konventionen, räumliches Vorstellungsvermögen oder die zur händischen Anfertigung technischer Zeichnungen benötigten sensomotorischen Fähigkeiten. An dieser Stelle beschränkt sich die Modellierung auf eine rein deskriptive Aufnahme technischen Wissens.

Daher bleiben ebenso Teilgebiete der Metakognition (Artelt & Moschner, 2005; A. Kaiser, 2003) unberührt. Zwar stellt dies möglicherweise für die Arbeit mit Repräsentationen keine wesentliche Einschränkung dar, vernachlässigt jedoch maßgebliche Schlüsselqualifikationen zum eigenständigen Lernen und bietet somit oberflächlich nur wenige Anknüpfungspunkte zu neueren, darauf gründenden didaktischen Ansätzen wie von Kaiser und Kaiser (2018) an. Zumindest kann argumentiert werden, dass auf der Ebene der Ausführung mit dem konzeptuell-prozeduralen Wissen explizit auf das Aktivieren und Ausbilden von Handlungsstrategien hingewirkt werden kann, womit zumindest ein Teilbereich der Metakognition bedient wird.

Im Besonderen thematisiert die metakognitive Didaktik von Kaiser & Kaiser (2018) zusätzlich Wissen, welches sich auf die Bearbeitung von Repräsentationen selbst bezieht: Neben Strategien der Bearbeitung und Aufmerksamkeitssteuerung beinhaltet dies auch Kenntnisse über Funktion und Grenzen der jeweiligen Repräsentationsform. Ein solches Wissen ist, da sich das Modell ausschließlich auf inhaltliche Aspekte technischen Wissens bezieht, daher in Vermittlungskontexten gesondert zu bedenken.

Zusammenfassend bietet das Modell für den Aspekt der Arbeit mit Repräsentationen sowie zur lernerzentrierten Analyse ganzer Lernaufgaben hinaus das Potential, zur Planung kognitiv aktivierenden Unterrichts beizutragen (vgl. Erlebach et al., 2020). Im Rahmen dieses Beitrages wurde es als Instrument für die Beforschung von Bearbeitungsvorgängen technischer Repräsentationen vorgestellt. Eine Validierung wie beispielsweise durch eine Expertenbefragung bezüglich der durch die Anwendung des Modells erzielten Ergebnisse, steht momentan noch aus.

Literatur

- Alabi, O. O., Magana, A. J., & Garcia, R. E. (2013). Exploring student representational approaches in solving rechargeable battery design problems. *2013 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 1685–1687.
- Anderson, J. R. (2007). *Kognitive Psychologie* (J. Funke, Hrsg.; 6. Auflage). Spektrum, Akademie Verlag.
- Anderson, J. R., & Lebiere, C. J. (1998). *The Atomic Components of Thought*. Psychology Press.
- Anderson, J. R., Matessa, M., & Lebiere, C. J. (1997). ACT-R: A theory of higher level cognition and its relation to visual attention. *Human-Computer Interaction*, 12(4), 439–462.
- Anzai, Y. (1991). Learning and use of representations for physics expertise. In K. A. Ericsson & J. Smith (Hrsg.) *Towards a general theory of expertise* (S. 64–92). Cambridge University Press.
- Artelt, C., & Moschner, B. (2005). *Lernstrategien und Metakognition: Implikationen für Forschung und Praxis*. Waxmann.
- Arthur, W. B. (2009). *The nature of technology: What it is and how it evolves*. Free Press.
- Baumert, J., Blum, W., Brunner, M., Dubberke, T., Jordan, A., Klusmann, U., Krauss, S., Kunter, M., Löwen, K., Neubrand, M., & Tsai, Y.-M. (2009). *COACTIV. Professionswissen von Lehrkräften, kognitiv aktivierender Mathematikunterricht und die Entwicklung von mathematischer Kompetenz*. Max-Planck-Institut für Bildungsforschung.
- Behrendt, S., Abele, S., & Nickolaus, R. (2017). Struktur und Niveaus des Fachwissens von Kfz-Mechatronikern gegen Ende der formalen Ausbildung. *Journal of Technical Education*, 5(1), 47–75.
- Blöte, A. W., Van der Burg, E., & Klein, A. S. (2001). Students' flexibility in solving two-digit addition and subtraction problems. Instruction effects. *Journal of Educational Psychology*, 93(3), 627–638.
- Bruner, J. (1971). Kapitel 1. Über kognitive Entwicklung. In *Studien zur kognitiven Entwicklung* (S. 21–55). Klett.
- Chan, S. (2020). Learning the tacit dimensions of craft and industrial trades work through apprenticeship. In R. Hermkes, G. H. Neuweg, & Tim Bonowski (Hrsg.) *Implizites Wissen. Berufs- und wirtschaftspädagogische Annäherungen* (S. 175–194). wbv.
- Chi, M. T., Feltovich, P. J., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive science*, 5(2), 121–152.
- Compton, V. J. (2004). Technological Knowledge. A developing framework for technology education in New Zealand. Briefing Paper prepared for the New Zealand Ministry of Education Curriculum Project. *TKI. NZ Curriculum Marautanga Project*, o.A.
- Dasgupta, S. (1996). The Nature of Technological Knowledge. In S. Dasgupta, *Technology and Creativity* (S. 150–179). Oxford University Press.
- de Jong, T., & Ferguson-Hessler, M. G. (1996). Types and qualities of knowledge. *Educational psychologist*, 31(2), 105–113.
- de Vries, M. J. (2003). The nature of technological knowledge: Extending empirically informed studies into what engineers know. *Techné: Research in philosophy and technology*, 6(3), 117–130.
- de Vries, M. J. (2006). Technological knowledge and artifacts. An analytical view. In J. R. Dakers (Hrsg.) *Defining Technological Literacy* (S. 17–30). Palgrave Macmillan UK.
- Erlebach, R., & Frank, C. (in Vorbereitung). Rolle des Vorwissens beim Lernen mit externalen Repräsentationen. Theoriegeleitete Ableitung und systematisches Literaturreview. *Unterrichtswissenschaft*.
- Erlebach, R., Leske, P., & Frank, C. (2020). Ein Analyseraster Technischer Wissensinhalte als Grundlage für eine lebenswelt- und ressourcenorientierte Unterrichtsplanung. *bwp@ Berufs- und Wirtschaftspädagogik*, 38.
- Faulkner, W. (1998). Knowledge Flows in Innovation. In R. Williams, W. Faulkner, & J. Fleck (Hrsg.) *Exploring Expertise* (S. 173–195). Palgrave Macmillan UK. https://doi.org/10.1007/978-1-349-13693-3_8
- Fortmüller, R. (1996). Wissenschaftsorientierung und Praxisbezug als komplementäre Prinzipien lernpsychologisch fundierter Lehr-Lern-Arrangements. In R. Fortmüller & W. Schneider (Hrsg.) *Wissenschaftsorientierung und Praxisbezug in der Didaktik der Ökonomie: Festschrift für Wilfried Schneider zum 60. Geburtstag und 25jährigen Dienstjubiläum als Ordinarius der Abteilung für Wirtschaftspädagogik* (S. 372–400). Manz-Verl. Schulbuch.
- Frank, C., Härtig, H., & Neumann, K. (2017). Schulisch erworbene Kompetenzen als Voraussetzung für berufliches Wissen gewerblich-technischer Auszubildender. *Unterrichtswissenschaft*, 1, 22–35.
- Gaycken, S. (2005). Was ist technisches Wissen? Philosophische Grundlagen technischer Wissenschaften. In Chaos Computer Club e.V. (CCC) (Hrsg.) *22C3: Private Investigations*. https://events.ccc.de/congress/2005/fahrplan/attachments/575-paper_technischesWissen.pdf (abgerufen am 03.05.2020)

- Geißel, B. (2008). Ein Kompetenzmodell für die elektrotechnische Grundbildung. Kriteriumsorientierte Interpretation von Leistungsdaten. In R. Nickolaus & H. Schanz (Hrsg.) *Didaktik der gewerblich-technischen Berufsbildung: Konzeptionelle Entwürfe und empirische Befunde* (S. 121–142). Schneider Verlag Hohengehren.
- Gschwendtner, T. (2008). Ein Kompetenzmodell für die kraftfahrzeugtechnische Grundbildung. In R. Nickolaus & H. Schanz (Hrsg.) *Didaktik der gewerblich-technischen Berufsbildung: Konzeptionelle Entwürfe und empirische Befunde* (S. 103–120). Schneider Verlag Hohengehren.
- Gschwendtner, T., Geißel, B., & Nickolaus, R. (2010). Modellierung beruflicher Fachkompetenz in der gewerblich-technischen Grundbildung. Projekt Berufspädagogik. In E. Klieme, D. Leutner, & M. Kenk (Hrsg.) *Kompetenzmodellierung. Zwischenbilanz des DFG-Schwerpunktprogramms und Perspektiven des Forschungsansatzes* (Bd. 56, S. 258–269). Beltz.
- Hacker, W., & Sachse, P. (2014). *Allgemeine Arbeitspsychologie. Psychische Regulation von Tätigkeiten* (3. vollständig überarbeitete Auflage). Hogrefe.
- Hegarty, M. (2014). Multimedia Learning and the Development of Mental Models. In R. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2. Aufl., S. 673–702). Cambridge University Press.
- Hiebert, J., & Lefevre, P. (1986). Conceptual and procedural knowledge in mathematics. An introductory analysis. In J. Hiebert (Hrsg.) *Conceptual and procedural knowledge: The case of mathematics* (S. 1–27). Routledge.
- Hoffman, R. R. (1998). How can expertise be defined? Implications of research from cognitive psychology. In R. Williams, W. Faulkner, & J. Fleck (Hrsg.) *Exploring expertise* (S. 81–100). Palgrave Macmillan UK.
- Ichikawa, J. J., & Steup, M. (2018). The Analysis of Knowledge. In E. N. Zalta (Hrsg.) *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Summer 2018). Metaphysics Research Lab, Stanford University.
<https://plato.stanford.edu/archives/sum2018/entries/knowledge-analysis/> (abgerufen am 01.04.2020)
- Juhl, J., & Lindegaard, H. (2013). Representations and visual synthesis in engineering design. *Journal of Engineering Education*, 102(1), 20–50. <https://doi.org/10.1002/jee.20001>
- Kaiser, A. (Hrsg.). (2003). *Selbstlernkompetenz: Metakognitive Grundlagen selbstregulierten Lernens und ihre praktische Umsetzung*. Luchterhand.
- Kaiser, A., & Kaiser, R. (2018). Bildverstehen. In A. Kaiser, A. Lambert, R. Kaiser, & K. Hohenstein (Hrsg.) *Metakognition—Die Neue Didaktik. Metakognitiv fundiertes Lehren und Lernen ist Grundbildung* (S. 165–220). Vandenhoeck & Ruprecht.
- Kaiser, H. (2005). *Wirksames Wissen aufbauen* (1. Aufl.). hep.
- Kaiser, H. (2014). Die vier Wissenssysteme [Blog]. *Lernen und Lehren*.
<http://hrkll.ch/WordPress/iml2/wissenssysteme/> (abgerufen am 08.05.2020)
- Kozma, R. B., & Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of research in science teaching*, 34(9), 949–968.
- Kroes, P., & Meijers, A. (2002). The dual nature of technical artifacts. Presentation of a new research programme. *Techné: Research in Philosophy and Technology*, 6(2), 4–8.
- Lawson, C. (2008). An ontology of technology. Artefacts, relations and functions. *Techné: Research in Philosophy and Technology*, 12(1), 48–64.
- Lindemann, U. (2010). Wie kann man Technik darstellen? Wie werden Technikdarstellungen verstanden? In K. Kornwachs (Hrsg.) *Technologisches Wissen. Entstehung, Methoden, Strukturen* (S. 81–104). Springer.
- Mayer, R. E. (2014). Cognitive theory of multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (Second edition, Bde. 43–71). Cambridge University Press.
- McCormick, R. (1997). Conceptual and Procedural Knowledge. *International Journal of Technology and Design Education*, 7(1), 141–159.
- Meijers, A. W. M., & de Vries, M. J. (2009). Technological Knowledge. In J. K. B. O. Friis, S. A. Pedersen, & V. F. Hendricks (Hrsg.) *A companion to the philosophy of technology* (S. 70–74). Wiley-Blackwell.
- Mitcham, C. (1994). *Thinking through technology: The path between engineering and philosophy*. University of Chicago Press.
- Moore, T. J., Miller, R. L., Lesh, R. A., Stohlmann, M. S., & Kim, Y. R. (2013). Modeling in engineering: The role of representational fluency in students' conceptual understanding. *Journal of Engineering Education*, 102(1), 141–178.
- Moreno, R. (2006). Does the modality principle hold for different media? A test of the method-affects-learning hypothesis: Modality principle. *Journal of Computer Assisted Learning*, 22(3), 149–158.
- Neuweg, G. H. (2005). Implizites Wissen als Forschungsgegenstand. In F. Rauner (Hrsg.) *Handbuch der Berufsbildungsforschung* (S. 581–588).

- Neuweg, G. H. (2020). Etwas können. Ein Beitrag zu einer Phänomenologie der Könnerschaft. In R. Hermkes, G. H. Neuweg, & Tim Bonowski (Hrsg.) *Implizites Wissen. Berufs- und wirtschaftspädagogische Annäherungen* (S. 13–36). wbv.
- Nickolaus, R. (2011). Die Erfassung fachlicher Kompetenzen und ihrer Entwicklungen in der beruflichen Bildung. Forschungsstand und Perspektiven. In O. Zlatkin-Troitschanskaia (Hrsg.) *Stationen Empirischer Bildungsforschung: Traditionslinien und Perspektiven* (S. 331–351). VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Nickolaus, R., Abele, S., Gschwendtner, T., Nitzschke, A., & Greiff, S. (2012). Fachspezifische Problemlösefähigkeit in der gewerblich-technischen Ausbildungsberufen—Modellierung, erreichte Niveaus und relevante Einflussfaktoren. *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik*, 108(2), 243–272.
- Park, B., Plass, J. L., & Brünken, R. (2014). Cognitive and affective processes in multimedia learning. *Learning and Instruction*, 29, 125–127.
- Poser, H. (2016). *Homo Creator. Technik als philosophische Herausforderung*. Springer VS.
- Rau, M. A. (2016). Conditions for the Effectiveness of Multiple Visual Representations in Enhancing STEM Learning. *Educational Psychology Review*, 1–45.
- Renkl, A. (1996). Träges Wissen. Wenn Erlerntes nicht genutzt wird. *Psychologische Rundschau*, 47(2), 78–92.
- Renkl, A. (2009). Wissenserwerb. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.) *Pädagogische Psychologie* (S. 3–26). Springer Berlin Heidelberg.
- Rittle-Johnson, B., Siegler, R. S., & Alibali, M. W. (2001). Developing conceptual understanding and procedural skill in mathematics. An iterative process. *Journal of Educational Psychology*, 93(2), 346–362.
- Rothe, H.-J., & Schindler, M. (1996). Expertise und Wissen. In H. Gruber & A. Ziegler (Hrsg.), *Expertiseforschung* (S. 35–57). VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Ropohl, G. (1997). Knowledge types in technology. *International Journal of technology and design education*, 7(1–2), 65–72.
- Ropohl, G. (1998). Technisches Wissen. In G. Ropohl (Hrsg.) *Wie die Technik zur Vernunft kommt. Beiträge zum Paradigmenwechsel in den Technikwissenschaften* (S. 88–96). G-und-B-Verlag Fakultas.
- Ropohl, G. (2009). *Allgemeine Technologie: Eine Systemtheorie der Technik*. Universitätsverlag Karlsruhe.
- Ropohl, G. (2010). Jenseits der Disziplinen—Transdisziplinarität als neues Paradigma. *LIFIS-ONLINE*. http://www.leibniz-institut.de/archiv/ropohl_21_03_10.pdf (abgerufen am 13.05.2020)
- Schiepe-Tiska, A., Rönnebeck, S., Schöps, K., Neumann, K., Schmidtner, S., Parchmann, I., & Prenzel, M. (2016). Naturwissenschaftliche Kompetenz in PISA 2015 – Ergebnisse des internationalen Vergleichs mit einem modifizierten Testansatz. In K. Reiss, C. Sälzer, A. Schiepe-Tiska, E. Klieme, & O. Köller (Hrsg.) *PISA 2015: Eine Studie zwischen Kontinuität und Innovation* (S. 45–98). Waxmann.
- Schmayl, W. (2013). Identität. Technikphilosophische Basis. In *Didaktik allgemeinbildenden Technikunterrichts* (2., durchges. Auflage, S. 52–78). Schneider-Verl. Hohengehren.
- Schnotz, W. (1994). Wissenserwerb mit logischen Bildern. In B. Weidenmann (Hrsg.) *Wissenserwerb mit Bildern* (S. 95–148). Huber.
- Schnotz, W. (2001). Wissenserwerb mit Multimedia. *Unterrichtswissenschaft*, 29(4), 292–318.
- Schnotz, W. (2002). Wissenserwerb mit Texten, Bildern und Diagrammen. In L. Issing & P. Klimsa (Hrsg.) *Information und Lernen mit Multimedia und Internet* (3. vollständig überarbeitete Auflage). Beltz.
- Schnotz, W. (2014). An integrated model of text and picture comprehension. In R. E. Mayer (Hrsg.) *The Cambridge handbook of multimedia learning* (Second Edition, S. 72–103). Cambridge University Press.
- Schnotz, W., & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and instruction*, 13(2), 141–156.
- Schoppek, W. (2003). *Kopfrechnen aus der Sicht der ACT-R Theorie*.
- Seufert, T. (2003). Supporting coherence formation in learning from multiple representations. *Learning and instruction*, 13(2), 227–237.
- Süß, H.-M. (1996). *Intelligenz, Wissen und Problemlösen. Kognitive Voraussetzungen für erfolgreiches Handeln bei computersimulierten Problemen*. Hogrefe.
- Süß, H.-M. (2008). Die Rolle von Intelligenz und Wissen für erfolgreiches Handeln in komplexen Problemsituationen. In G. Franke (Hrsg.) *Komplexität und Kompetenz. Ausgewählte Fragen der Kompetenzforschung* (S. 249–275). Bertelsmann.
- Tenberg, R. (2018). Die technische Unterweisung aus Kompetenzperspektive. Eine Methoden-Analyse. In B. Zinn, R. Tenberg, & D. Pittich (Hrsg.) *Technikdidaktik: Eine interdisziplinäre Bestandsaufnahme* (S. 123–146). Franz Steiner Verlag.

- Viering, T., Fischer, H. E., & Neumann, K. (2010). Die Entwicklung physikalischer Kompetenz in der Sekundarstufe I. Projekt Physikalische Kompetenz. In E. Klieme, D. Leutner, & M. Kenk (Hrsg.) *Kompetenzmodellierung. Zwischenbilanz des DFG-Schwerpunktprogramms und Perspektiven des Forschungsansatzes* (S. 92–103). Beltz.
- Vincenti, W. G. (1990). *What Engineers Know and How They Know it. Analytical Studies from Aeronautical History*. The John Hopkins University Press.
- Vincenti, W. G. (1992). Engineering knowledge, type of design, and level of hierarchy. Further thoughts about what engineers know.... In P. Kroes & M. Bakker (Hrsg.) *Technological development and science in the industrial age* (S. 17–34). Springer.
- Wiemer, T. (2018). *Technisches Wissen. Kategorienbildung für die allgemeine technische Bildung*. Carl von Ossietzky Universität Oldenburg.
- Wittmann, W. W., Süß, H.-M., & Oberauer, K. (1996). Determinanten komplexen Problemlösens. *Berichte des Lehrstuhls Psychologie II der Universität Mannheim*, 9, 1–25.
- Wolffgramm, H. (2012). *Allgemeine Techniklehre. Elemente, Strukturen und Gesetzmäßigkeiten* (Neu strukturierte, ergänzte, erweiterte und aktualisierte Fassung).
<https://dgtb.de/wp-content/uploads/2018/11/Wolffgramm-Allgemeine-Techniktheorie-klein.pdf> (abgerufen am 03.04.2020)

DIPL.-PHYS. RALF ERLEBACH

Bergische Universität Wuppertal, Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik, Didaktik der Technik
Gaußstraße 20, 42119 Wuppertal
ralf.erlebach@uni-wuppertal.de

PROF. DR. CAROLIN FRANK

Bergische Universität Wuppertal, Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik, Didaktik der Technik
Gaußstraße 20, 42119 Wuppertal
cfrank@uni-wuppertal.de

Zitieren dieses Beitrags:

Erlebach, R. & Frank, C. (2021). Fachdidaktische Modellierung Technischen Wissens als Grundlage zur Analyse technischer Repräsentationen. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 9(2), 59–86.