

Verstehensprozesse und Sprache im Bereich der technischen Perspektive des Sachunterrichts

Svantje Schumann

Based on considerations of the importance of language for science education processes, we will consider which concepts are of central importance in the field of technology education and need to be clarified so that understanding can be built up. Possible ways of accessing technical understanding are illustrated using examples, mainly from the field of electricity. It is deduced how a reflective use of language can support educational processes in the area of building up technical understanding, for example in the form of exciting, authentic impulse questions or through dialogical problem-solving processes. It becomes clear that technology-related teaching must use language very consciously, because conceptual precision is often decisively important for being able to build up reliable concepts.

1. Sprache und Bildungsprozesse im Sachunterricht

Im Folgenden wird zunächst versucht, sich der Rolle bzw. Bedeutung von Sprache für sachunterrichtliche Bildungsprozesse allgemein bewusst zu werden. Im Anschluss daran erfolgt eine Zusammenstellung (die nicht den Anspruch auf Vollständigkeit erhebt), bei der die Frage im Zentrum steht, welche Konzepte des technischen Bereichs (insbesondere erfolgen Beispielnennungen für den Schwerpunkt Elektrizität) von Bedeutung sind und daher geklärt werden müssen, damit hierzu Verständnis aufgebaut werden kann. Diese ist gefolgt von einer (ebenfalls nicht auf Vollständigkeit abzielenden) literaturbasierten Auflistung möglicher Zugangswege zu Verständnis bzw. Unterstützungsformen, die mit Beispielen aus dem Themenfeld Elektrizität (und teilweise ergänzend mit Beispielen aus anderen technischen Bereichen) veranschaulicht werden. Abschließend wird darüber nachgedacht, wie mögliche Zugangswege bzw. Unterstützungsformen durch den reflektierten Einsatz von Sprache gefördert werden können.

1.1 Sprache und Sachunterricht

Sprache gilt als wichtige Ressource für die schulische Entwicklung (Kempert, Edele, Rauch, Wolf, Paetsch, Darsow & Stanat 2016) und als zentrales Medium der individuellen Wissenskonstruktion (Kempert, Schalk & Saalbach 2018, 1). Sprache spielt u.a. eine Rolle als Lernmedium, Lerngegenstand und Lernvoraussetzung oder Lernhindernis (Budde & Michalak 2014; Schweiger 1996, 44). Dies konnten Studien aus dem naturwissenschaftlich-mathematischen Bereich zeigen. Fachunterricht bietet für bestimmte sprachliche Konstruktionen überhaupt erst Anwendungsgelegenheiten oder besonders motivierende Verständniserwerbssituationen (Kempert et al. 2018, 12). Sachunterricht und Sprache sind demnach untrennbar miteinander verbunden (Schmölzer-Eibinger 2013, 27; Wagenschein 1995, 133). Sprache ist im Sachunterricht als wesentliches Werkzeug erforderlich, damit Schüler*innen Objekte bzw. Phänomene benennen, beschreiben, untersuchen und deuten können. Sie dient dem „Mitteilen von Verstehensprozessen“ (Buck & Aeschlimann 2019, 64), spiegelt das Ringen um Verständnis wider (a.a.O., 67) und bestimmt insgesamt die „kommunikative Ordnung“ (Becker-Mrotzek & Vogt 2009, Becker-Mrotzek 2019). Mit Hilfe von Sprache wird versucht, in Interaktionen mit anderen Menschen bestimmte Bedeutungen herzustellen (Quehl & Trapp 2015, 9).

Im Perspektivrahmen Sachunterricht heißt es: „Sachunterricht ist eng mit Sprachbildung verknüpft. [...] Der Sachunterricht leistet so einen wesentlichen Beitrag zur sprachlichen Bildung von Schüler*innen, wenn (häufig sinnlich wahrnehmbare) ‚Sachen‘ (wie Gegenstände oder auch Prozesse) zu benennen sind, wenn Begrifflichkeiten (zur Bezeichnung gedanklicher Muster) zur präzisen Verständigung geklärt werden müssen oder wenn in Diskursen verschiedene Konzepte bzw. Ideen argumentativ darzustellen sind“ (GDSU 2013, 11). Die Kinder sollen darin unterstützt werden, „ihre Erklärungen und Begründungen angemessen zu versprachlichen, zu präsentieren und zu kommunizieren“ (GDSU 2013, 10). Auch zentrale Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen wie beispielsweise Evaluieren, Reflektieren und Kommunizieren (Perspektivrahmen der GDSU 2013; LP21 D-EDK 2016) erfordern sprachliche Fähigkeiten.

1.2 Sprache und Begreifen

Im Transformationsprozess der Versprachlichung werden nicht-sprachliche Phänomene aus Natur und Technik in Sprache übersetzt und damit ein erster Schritt hin zum Generieren oder Reproduzieren von Theorien geleistet (Schumann 2021a). Erschließungsprozesse im Sachunterricht haben eine sinnliche und eine begriffliche Erkenntnisebene (interessanterweise spricht man auf beiden Ebenen vom „Begreifen“). Charakteristisch für die sinnliche Ebene ist, dass sie sehr komplex und detailreich ist. Für die sinnlich-ästhetische Wahrnehmung eines Phänomens gilt, was Köhnlein (1998, 40) wie folgt zusammenfasst:

„Sinnliche Erfahrung erschließt dem Individuum einen Reichtum der Empfindungen von Raum, Licht, Klang, Geruch, Farbe, Form, Wärme, Bewegung und Materialbeschaffenheit. Sinnliche Wahrnehmung ist ursprünglicher als ihre Deutung, und deshalb ist es wichtig, daß sich das Denken der Kinder an sie anschließen und auf sie beziehen kann. Insofern ist die sinnliche Erfahrung ein Fundament der Erkenntnis und sollte nicht von ihr abgespalten werden“.

Die begriffliche Ebene kennzeichnet, dass es mit Hilfe von Sprache möglich ist, Dinge und Prozesse zu benennen, um so schrittweise zu abstrakteren Erkenntnissen zu gelangen; auch das Reflektieren ist angewiesen auf Sprache. Sprache ist der Weg, der von der sinnlichen Wahrnehmung zu *Scientific Literacy* (naturwissenschaftliche Grund- bzw. Allgemeinbildung) führt (Busch & Ralle 2013). Laut Quehl und Trapp (2015, 29) lassen sich Veränderungen auf dem *mode continuum* darstellen: In Transformationsprozessen kommt es, ausgehend von den Erfahrungen der Kinder, in didaktisch gestalteten Bewegungen zu einer Überführung der Vorerfahrungen in fachliches Wissen.

1.3 Sprache in Unterrichtsgesprächen und beim Erklären

Versprachlichung spielt primär im sozial-kommunikativen Kontext („Unterrichtsgespräch“) eine Rolle. Eine entsprechend große Bedeutung wird ihr daher im Sinne der Ko-Konstruktion im sozial-konstruktivistischen Unterricht beigemessen. Dialoge ermöglichen in besonderem Maße kognitive Aktivierung (Diaconu 2008; Thiel 2009), z.B. durch das Stellen von Impulsfragen, die Konfrontation mit Thesen, die Aktivierung von Vorwissen, das Einfordern von Begründungen, das Anregen von Vergleichen sowie die Anregung von kognitiven Konflikten (Appleton 2006). Gerade der dialogische Bereich ist jedoch vergleichs-

weise wenig untersucht. Relativ viel Forschung existiert hingegen im Bereich der von außen an Kinder herangetragenen Erklärungen im naturwissenschaftlich-technischen oder mathematischen Unterricht (Friedman 1974; Dagher & Cossman 1992; Renkl, Wittwer, Grosse, Hauser, Hilbert & Nückles 2007; Braaten & Windschitl 2011; Gotwals, Songer & Bullard 2012; Schopf & Zwischenbrugger 2015; Tomczyszyn & Kulgemeyer 2016; Ehras & Dittmer 2018). Bisherige Befunde zeigen, dass Erklärqualität von Schüler*innen sehr heterogen eingeschätzt wird – offenbar werden Erklärungen hoch individuell rezipiert (Döring & Bortz 2006; Leinhardt & Steele 2005). Dies macht die Messung der Lernförderlichkeit von Erklärungen sehr schwierig (Helmke 2012). Gerade in Bezug auf den Primarschulbereich ergibt sich die Frage, ob Schüler*innen in der Lage sind, valide Urteile bezüglich der Einschätzung der Erklärqualität abgeben zu können.

1.4 Anspruch des Sachunterrichts und Forschungsbedarf

Sachunterricht will ein Verständnis von bezugsdisziplinären Denk- und Arbeitsweisen herstellen: Er soll dabei zum einen „die Fragen, Interessen und Lernbedürfnisse von Kindern berücksichtigen“ und zum anderen „Anschluss suchen an das in Fachkulturen erarbeitete Wissen“ (GDSU 2013, 10). Die Bewältigung dieses „Spannungsfeldes“ (GDSU 2013, 10) gilt als zentrale Herausforderung. Um Formen geeigneter Anregung zu praktizieren, braucht es mehr Kenntnisse darüber, wie Erschließungsprozesse von Kindern beschaffen sind und wie sie sich unterstützen lassen. Ein Vorschlag hierbei ist, das performative Schülerhandeln stärker zu untersuchen (Nohl 2011) und Rekonstruktionsleistungen der Kinder vermehrt als Ausgangspunkte von Erschließungsprozessen zu nutzen (Royar & Streit 2010; Leuchter & Saalbach 2014, 118), auch umso unmittelbarer an kindlichen Interessen anzuknüpfen (Schönknecht & Maier 2012). Erst auf dieser Basis lassen sich begründet Vorgehensweisen benennen, die in der Lage sind, Kinder beim Verständnisaufbau zu unterstützen.

Becker-Mrotzek (2019) spricht über Sprache „nicht nur als Mittel der Kommunikation, sondern auch als Mittel des fachlichen Wissenserwerbs“, also über die „epistemische, wissensbildende Funktion der Sprache“ und weist auf Erkenntnisbedarf bezüglich u.a. der Fragen hin, wie fachliches und sprachliches Lernen zusammenhängen und welche Rolle Sprache in fach- und gegenstandsbezogenen Lehr-Lernprozessen spielt (Härtig, Bernholt, Prechtel & Retelsdorf 2015). Auch

zu wenig geklärt ist, wie sinnliches und begriffliches Erschließen gekoppelt sind. Forschung zum Zusammenhang von Sprache und sachunterrichtlichen Bildungsprozessen ist auch vor dem Hintergrund von Forderungen nach Erkenntnisgenerierung zur Verbesserung der Unterrichtsqualität und der Leistung von Lernenden relevant: Die Schule ist gefordert, ihre sprachlichen Verhältnisse in einer Weise zu gestalten, dass jedes Kind „seine Stimme finden“ kann, sich „anerkannt fühlt“ und Sprache als „Mittel fortlaufender Handlungs- und Weiterentwicklung“ verwenden kann (Quehl & Trapp 2015, 9). Es erscheint notwendig, tiefergehend zu erforschen, wie eine angemessene Berücksichtigung von Sprache im Sachunterricht und allen voran im technischen Bereich des Sachunterrichts realisiert werden kann. Dass es sich bei dieser Forderung um ein aktuell wichtiges Anliegen handelt, ist u.a. erkennbar darin, dass die Sachunterrichtscommunity für die 29. Jahrestagung der GDSU 2020 als Schwerpunktthema „Sache und Sprache“ wählte. Der technische Bereich wird hier häufig nicht in den Blick genommen, weshalb eine intensive Betrachtung und Analyse notwendig erscheint.

2. Verstehensprozesse im Bereich Technik ermöglichen

Im Weiteren wird, basierend auf Erfahrungen aus Technikprojekten mit Kindern (u.a. Projekt „Stummfilme“, vgl. Schumann 2018) sowie aktueller Literatur zu technischer Bildung (Müller & Schumann 2021; Landwehr, Mammes & Murmann 2021), der Versuch unternommen, Verstehenskonzepte im Bereich Technik ausfindig zu machen.

2.1 Was müssen Verstehenskonzepte im Bereich Technik beinhalten?

Jeder Mensch hat andere Bedürfnisse in Bezug auf den Verständnisaufbau und jeder Mensch hat entsprechend andere Ansprüche an das Erreichen eines bestimmten Verständnisniveaus bzw. einer bestimmten Verständnistiefe. Letztlich müssen aber zentrale Aspekte zwingend – in welcher Tiefe auch immer – geklärt werden, wenn ein Verständnis von Technik aufgebaut werden soll.

a) Die Klärung zentraler Begriffe

Im Fall von „Elektrizität“ sollten z.B. die folgenden Begriffe bzw. Konzepte wie Strom, Spannung, Widerstand geklärt werden (vgl. Lernumgebung Elektrizität, Schumann o.J.)¹:

I. Volt (V) für Spannung U

- Potentialgefälle zwischen den Polen einer Batterie
- bildlich vorstellbar als ein Druckgefälle in einem Rohr, das z.B. einen Stausee und einen untenliegenden See verbindet; je höher die Wassersäule, desto höher ist der Wasserdruck (analog das Spannungspotential)

II. Ampere (A) für Strom I

- die Menge der Elektronen, die pro Zeiteinheit fließen
- bildlich vorstellbar als die Menge Wasser, die pro Zeiteinheit durch ein Rohr fließt, das den Stausee mit dem unteren verbindet; wenn das Rohr einen großen Durchmesser hat (groß dimensioniert ist), kann das Wasser schnell abfließen und der Stausee leert sich (übersetzt bedeutet das: die Batterie ist schnell leer, das Spannungspotenzial sinkt, da viel Strom schnell zur gleichen Zeit fließt); wenn das Rohr mit einem Ventil verschlossen wird, fließt kein Wasser (dies entspricht in einem einfachen Stromkreis der Situation „Schalter geschlossen“)

III. Ohm (Ω) für Widerstand R

- alles, was den Stromfluss hindert bzw. vermindert
- bildlich vorstellbar als die Enge oder Beschaffenheit des Rohres, also der Widerstand, den das Rohr der fließenden Wassermenge entgegensetzt

b) Die Klärung des logischen Zusammenhangs zwischen den einzelnen Konzepten

Im Bereich „Elektrizität“ gilt es z.B., die Frage nach dem Zusammenhang von *Spannung* und *Stromstärke* in der Parallel- oder Reihenschaltung zu klären. Bei der Reihenschaltung müssen sich die hintereinandergeschalteten Glühlampen die fixe Spannung der Batterie, z.B. 4,5 Volt, „teilen“ – in Abhängigkeit von ihrem individuellen Widerstand. Daher leuchten z.B. zwei Glühlampen mit gleicher Bemessungsspannung (z.B. 4,5V) nur halb so hell, wie eine einzelne. Bei

¹ Den Konzepten werden anschauliche Analogien zugeordnet, wobei darauf hinzuweisen ist, dass diese hinsichtlich des zu veranschaulichenden physikalischen Zusammenhangs Grenzen aufweisen (vgl. Duit & Glynn 1995).

der Parallelschaltung teilt sich der Strom auf, und zwar abhängig vom Widerstand der beiden Glühlampen – die Spannung bleibt gleich, d.h. bei beiden Lampen liegt die gleiche Batteriespannung an.

c) Die Klärung, wie verschiedene Konzeptbausteine ineinander umgewandelt werden können.

Im Themenfeld „Elektrizität“ sollte beispielsweise das Ohm'sche Gesetz $U \sim I$ ($I=U/R$) oder die Berechnung von Leistung $P=U \cdot I$ in den Blick fachlicher Klärung rücken.

d) Die Klärung, welche Bestandteile eines Konzepts Axiome sind

Axiome sind nicht herleitbare Grundgesetzmäßigkeiten, die als (vorläufig) „wahr“ akzeptiert werden müssen. Im Fall von Elektrizität kann als Beispiel der Fluss von Elektronen vom Minus- zum Pluspol, die sog. Einheitsstromrichtung, genannt werden.

e) Die Klärung, was entscheidende empirische Evidenzen sind.

In Bezug auf das Fachgebiet „Elektrizität“ stellt z.B. die Helligkeit, mit der Glühlampen in Parallel- bzw. Reihenschaltungen leuchten, eine empirische Evidenz dar – in der Reihenschaltung leuchten (bei Beachtung der Bemessungsspannung) Glühlampen mit gleichen Werten/gleicher Bauart halb so hell, wie eine einzeln angeschlossene Glühlampe. In Parallelschaltungen leuchten die Glühlampen genauso hell wie eine einzeln angeschlossene Lampe.²

f) Die Klärung der Alltagstauglichkeit bzw. praktischen Anwendbarkeit von Konzepten

Grundsätzlich ist ein wesentliches Anliegen des Sachunterrichts die Orientierung an der Lebenswelt der Kinder (vgl. z.B. Nießeler 2015). Die Frage nach der praktischen Anwendbarkeit bzw. Anwendung in der Praxis ist wichtig, da viele Menschen auch tendenziell als Praktiker unterwegs sind bzw. ihnen wichtig ist, die Verbindung zur Praxis zu kennen.

² An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, dass beim Phänomen „Glühen“ die elektrohydraulische Analogie versagt, denn die Elektronen im Draht reiben sich aneinander, so dass Wärme entsteht. In der Wasserleistung würde lediglich der Druck vor der Verengung steigen, außerdem fließen Elektronen nicht wie Wasser durch die Leitung, sondern bewegen sich sehr langsam, geben aber Impulse mit Lichtgeschwindigkeit an ihre Nachbarn weiter.

Es lässt sich z.B. klären, wo Parallel- oder Reihenschaltungen im Alltag zur Anwendung kommen. Die Parallelschaltung findet man u.a. bei Hausnetzen – die Steckdosen im Haus und die an den Steckdosen angeschlossenen Geräte sind parallel geschaltet (gilt natürlich immer nur für die Steckdosen, die auch an einer gemeinsamen Phase angeschlossen sind); auch die an Steckerleisten angeschlossenen Geräte sind dann zueinander parallel geschaltet.

Die Reihenschaltung findet man z.B. bei Lichterketten für Weihnachtsbäume. Zudem ist es üblich, Spannungsquellen z.B. Batterien in Reihe zu schalten, was zu einer größeren Spannung führt, da sich diese bei Reihenschaltung von Batterien addieren.

2.2 Was kann den Verständnisaufbau fördern?

Jeder Mensch lernt anders und ist somit auf spezifische Zugangswege und Unterstützungsformen angewiesen. Im Folgenden werden einige Möglichkeiten dargestellt, die in Frage kommen können, um Verstehensprozesse zu unterstützen.

a) Sinnliche Wahrnehmung ermöglichen

Die sinnlich-ästhetische Wahrnehmung ist vor allem für Kinder zentrale Grundlage für Erschließungsprozesse (vgl. u.a. Köhnlein 1998, 40; Kraemer & Spinner 2002, 12; Ebmeier 2002, 12; Billmann-Mahecha & Gebhard 2004, 53). Da Kinder vor allem rekonstruktionslogisch erschließen, also ausgehend von ihren Wahrnehmungen zu Deutungen über die Welt gelangen (Schumann 2019, 49f.), stellen die „Protokolle“, die sie mit Hilfe ihrer Sinneswahrnehmungen vorliegen haben, die Basis von Bildungsprozessen dar. Kinder sind in der Regel sehr sensibel in Bezug auf ihre Sinneswahrnehmung und machen quasi automatisch Gebrauch von ihrem Sensorium. Sinnliche Wahrnehmung hängt zudem eng mit ästhetischer Bildung zusammen (vgl. Schomaker 2005), und zwar auch insofern, als dass die sinnliche Wahrnehmung immer auch Emotionen auslöst oder auslösen kann (vgl. Hänze 1998, 130). Bildungsprozesse, die auf emotionalen und kognitiven Prozessen beruhen, also in diesem Sinne „ganzheitliche“ Bildungsprozesse, gelten als besonders geeignet, um nachhaltig zu wirken und als bedeutsam empfunden zu werden (vgl. Ciompi 1997, 13).

Beispiel:

Beispielsweise ist es möglich, einen Kurzschluss sichtbar zu machen, indem man an die beiden Pole der Batterie Drähte anschließt und diese an ein Bündel

feiner Stahlwolle hält – die Stahlwolle glimmt und verbrennt (optisch wahrnehmbar), es entwickelt sich Hitze (Wärme ist spürbar). Von der Sinneserfahrung, die Zunge an eine Flachbatterie zu halten, ist abzuraten, auch wenn dabei ebenfalls etwas Unsichtbares erfahrbar gemacht und der Strom als „Bizzeln“ wahrnehmbar wird, so enthalten doch Batterien gesundheitsschädliche chemische Substanzen. Zudem sind die Wirkungen von Strom für den Körper nicht gut.



Abb. 1: Stahlwolle wird mit Hilfe einer Batterie entzündet (© Schumann)

b) Ermöglichung des Aufbaus innerer Vorstellungen

Innere Vorstellungen bzw. Bilder sind gedankliche Konstruktionen (vgl. Hrouza 2015, 12f.). Wichtig ist: Bilder und die Realität sind zwei verschiedene Ebenen. Die Bedeutung und das Potenzial innerer Vorstellungen hat Heinrich Hertz (1894) sehr eindrücklich beschrieben:

„Wir machen uns innere Scheinbilder oder Symbole der äußeren Gegenstände, und zwar machen wir sie von solcher Art, dass die denotwendigen Folgen der Bilder stets wieder Bilder seien von den naturnotwendigen Folgen der abgebildeten Gegenstände. Damit diese Forderung überhaupt erfüllbar sei, müssen gewisse Übereinstimmungen vorhanden sein zwischen der Natur und unserem Geiste. Die Erfahrung lehrt uns, dass die Forderung erfüllbar ist und dass also solche Übereinstimmungen in der Tat bestehen. Ist es uns einmal geglückt, aus der angesammelten bisherigen Erfahrung Bilder von der verlangten Beschaffenheit abzuleiten, so können wir an ihnen, wie an Modellen, in kurzer Zeit die Folgen entwickeln, welche in der äußeren Welt erst in längerer Zeit oder als Folgen unseres eigenen Eingreifens auftreten werden; wir vermögen so den Tatsachen vorauszuweichen und können nach der gewonnenen Einsicht unsere gegenwärtigen Entschlüsse richten. Die Bilder, von welchen wir reden, sind unsere Vorstellungen von den Dingen; sie haben

mit den Dingen die eine wesentliche Übereinstimmung, welche in der Erfüllung der genannten Funktion liegt, aber es ist für ihren Zweck nicht nötig, dass sie irgend eine weitere Übereinstimmung mit den Dingen haben“ (Hertz, 1894).

Innere Vorstellungen sind gemäß dieser Annahmen also dann bildungswirksam, wenn sie...

- zulässig sind, d.h. sie dürfen nicht im Widerspruch zu den Gesetzen bzw. Gewohnheiten des Denkens stehen,
- richtig sind, d.h. sie dürfen nicht im Widerspruch zur Art der äußeren Dinge und deren Sachzusammenhängen stehen,
- zweckmäßig sind, d.h. sie sollen neben den wesentlichen Zügen möglichst keine oder kaum überflüssige und leere Bedeutungen enthalten.

Beispiel:

Für das Beispiel Elektrizität lässt sich sagen, die Vorstellung, Elektronen seien kleine geladene Teilchen, die vom Minus- zum Pluspol fließen, ist eine innere, im Sinne der drei oben genannten Punkte bildungswirksame, Vorstellung.

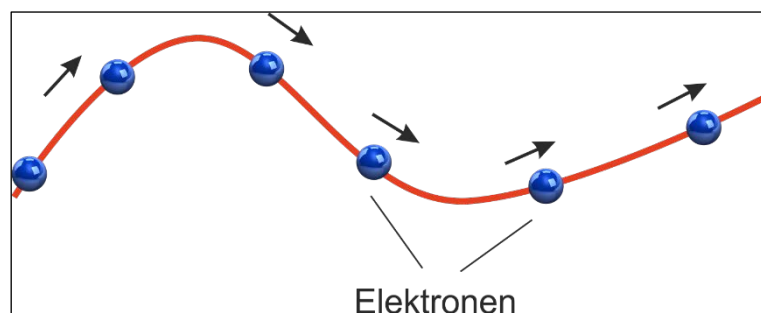


Abb. 2: Mögliche Vorstellung von Elektronen (© Schumann)

c) Ermöglichung von rekonstruktionslogischem, induktivem Erschließen

Es wird angenommen, dass Kinder von Möglichkeiten des rekonstruktionslogischen bzw. induktiven Erschließens profitieren. Auch im Sinne der Maxime, der Neugier der Kinder zu begegnen, scheint das rekonstruktionslogische Erschließen Kindern entgegenzukommen. Rekonstruktionslogisches Erschließen und sinnliche Wahrnehmung hängen eng miteinander zusammen: ausgehend von den auf sie wirkenden Sinneseindrücken kommen Kinder über die Bedeutung des Wahrgenommenen zu Vorstellungen (Schumann 2019, 49f.).

Beispiel:

Mit schwarz-bläulich verfärbten Glühlampenkolben kann rekonstruktionslogisches, induktives Erschließen initiiert werden, indem danach gefragt wird, wie dies entstanden sein könnte. Da klar ist, dass der Glaskolben ursprünglich

durchsichtig war (damit viel Licht nach außen dringt), und da sich auch nur eine begrenzte Anzahl an Teilchen im Glaskolben befindet, kann auf einen Prozess geschlossen werden, bei dem sich Stoffe irgendwo gelöst und im Innern des Glaskolbens niedergeschlagen haben.

Das soeben beschriebene Vorgehen kann zu folgender Lösung führen: Da während des Betriebs, bedingt durch die Hitze, ständig Metall vom Glühfaden abdampft, richtet sich die Größe des Kolbens im Wesentlichen nach der Sublimationsrate des Drahtmaterials. Konventionelle Glühlampen bzw. Glühlampen mit hoher Leistung benötigen einen großen Glaskolben, damit sich der Niederschlag auf einer größeren Fläche verteilen kann und die Transparenz des Glaskolbens während der Lebensdauer der Lampe nicht allzu sehr eingeschränkt wird. Im Lauf der Zeit werden Glühlampen immer dunkler (metallischer Schimmer).



Abb. 3: Metallisch angelaufene, alte Glühlampe (© Schumann)

d) Skizzieren, Zeichnen

Zeichnen oder Skizzieren sind methodische Herangehensweisen, die laut aktuellem Erkenntnisstand sich bildenden Subjekten dabei helfen können, Sachzusammenhänge schneller zu identifizieren (Sachse, Hacker & Leinert 2004). Skizzen reduzieren nicht nur den *Cognitive Load*, sondern es scheint sich auch beim Skizzieren um eine Art der Förderung einer bildungswirksamen psychomotorischen Komponente im Rahmen von Denkprozessen zu handeln, also um einen Verinnerlichungsprozess, der geprägt ist u.a. durch das Ordnen und Verallgemeinern (vgl. Zander, Hawlitschek, Seufert, Brünken & Leutner o.J., 49ff.). Beim Skizzieren muss etwas, was der Sphäre der Wirklichkeit angehört, in das Medium der Zeichensprache übersetzt werden.

Beispiel:

Im Themenfeld Elektrizität kann z.B. aus dem Zeichnen von Schaltplänen aber auch dem Zeichnen einer Glühlampe Erkenntniszuwachs entstehen.

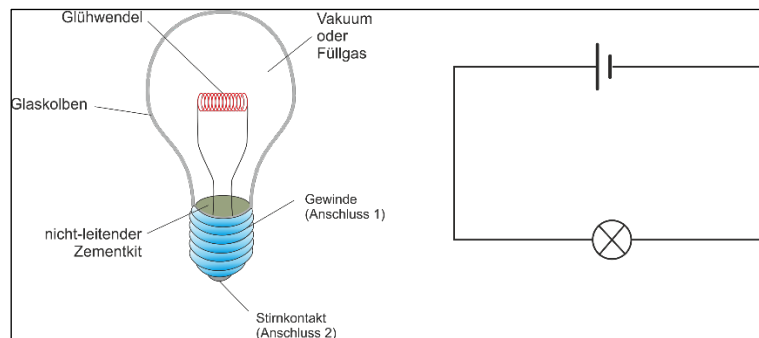


Abb. 4: Beschriftete Glühlampenzeichnung, gezeichneter Schaltplan (© Schumann)

e) Originale Begegnung

Die originale, unmittelbare Begegnung mit Objekten bzw. Phänomenen (vgl. Roth 1957, 109ff.) lässt sich durch nichts substituieren, reale Begegnungen besitzen eine einzigartige Atmosphäre (Greiss 2014; Schumann & Favre 2017). Wagenschein plädiert daher für den „Vorrang des Unmittelbaren“ (Wagenschein 1975). Im Gegensatz zu beispielsweise Begegnungen mit Dingen in Filmen lässt sich in der unmittelbaren Begegnung feststellen, ob eine Situation echt ist oder manipuliert wurde. Das Höchstmaß an Autonomie besitzt man, wenn man unmittelbarer Beobachter des realen Geschehens ist (Schumann 2015). Originale Begegnung kann hochkomplex und dynamisch sein – so liefert sie viele Bildungsimpulse und so können sich Bildungspotenziale situativ entfalten.

Beispiel:

Elektrizität: Man kann Gegenstände aus Plastik elektrostatisch aufladen und ihr Verhalten beobachten, z.B. indem man einen Luftballon an einem Wollpullover reibt und dann über Papierschnipsel hält. Diese werden vom Luftballon angezogen und bleiben an ihm kleben, oder man reibt zwei Luftballons an Wolle, bindet sie an Schnüre und kann beobachten, dass sie – an den Schnüren hängend – voneinander wegstreben. Auch die eigenen Haare eignen sich zum Ausprobieren. Generiert werden kann die Schlussfolgerung, dass durch die Reibung Elektronen polarisiert werden und sich ausrichten sowie zum anderen, dass es zwei verschiedenen Arten von Ladung gibt, dass zwischen Ladungen Anziehungs- und Abstoßungskräfte herrschen sowie, dass ungleiche Ladungen sich gegenseitig ausgleichen können.



Abbildung 5: Elektrostatische Aufladung (© Schumann)

f) Modelle, Repräsentationen

Modelle vereinfachen die Kommunikation über Phänomene und Prozesse (vgl. Böschl, Gogolin, Lange-Schubert & Hartinger 2018) und haben gleichzeitig eine zentrale epistemische Bedeutung in Erschließungsprozessen (vgl. Hillerbrand o.J.). Modelle können verschiedenes bewirken: sie vereinfachen ggf. das Aufstellen oder Testen von Hypothesen oder die Herleitung von elaborierteren Modellen. Es ist eine Kunst, ein Modell so zu gestalten, dass es das Wesentliche wiedergibt und Unwichtiges filtert sowie fachlich korrekte Inhalte vermittelt.

Forschungsstudien deuten darauf hin, dass Kinder Modelle tendenziell als Wirklichkeitsgetreue, verkleinerte (oder ggf. vergrößerte) Abbildungen der Realität interpretieren, die unterstützend eingesetzt werden, um schwierige Phänomene zu verstehen, also vor allem Anschauungsfunktion besitzen (Grosslight, Unger & Jay 1991; Ingham & Gilbert 1991; Treagust, Chittleorrough & Mamiala 2002).

Beispiel:

Im Bereich Elektrizität wird verbreitet von einem Wasserstromkreis Gebrauch gemacht, wenn man einen Stromkreis darstellen möchte (vgl. z.B. Haider 2010; Haider & Fölling-Albers 2020):

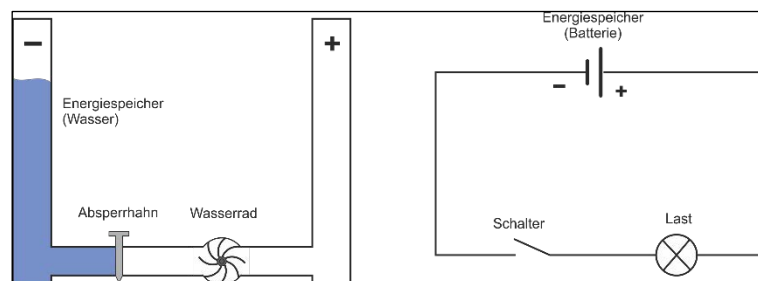


Abbildung 6: Der Wasserstromkreis und der Stromkreis (© Schumann)

g) Anknüpfung an den Alltags- bzw. Lebensweltkontext des sich bildenden Subjekts (Kontextbezug)

Es wird angenommen, dass das Anknüpfen an den Alltags- bzw. Lebensweltkontext für Schüler*innen in der Art einer Sinnstiftung, aber auch Bezugsbildung fungiert. Feststellbar ist, dass Kinder, wenn sie keine Bezüge zwischen einem didaktisch präsentierten Objekt und seinem lebensweltlichen Kontext herstellen können, keine oder weniger Fragen stellen. Kinder greifen beim Erschließen häufig auf ihnen bekannte Vorgänge oder Erfahrungen oder allgemein „Wahrnehmungsprotokolle“ zurück, um Vorgänge durchzuführen, die sie erstmalig ausüben oder um etwas zu beschreiben, das ihnen erstmalig begegnet. Schüler*innen nehmen also im Fremden das Vertraute wahr und vollziehen so Transformationsprozesse.

Beispiel:

In Bezug auf das Beispiel Elektrizität lassen sich die Wirkungen von Strom u.a. darstellen, indem an die Alltagserfahrung angeknüpft wird – insbesondere die Licht- (z.B. bei der Glühlampe) und Wärmewirkung (z.B. beim Bügeleisen) werden auf diese Weise zum „Wiedersehen mit alten Bekannten“, ggf. ist aber auch die magnetische Wirkung irgendwo als Erfahrung erinnerbar abgespeichert (z.B. bei der Mülltrennung), evtl. sogar die chemische Wirkung (z.B. Elektrolyse).

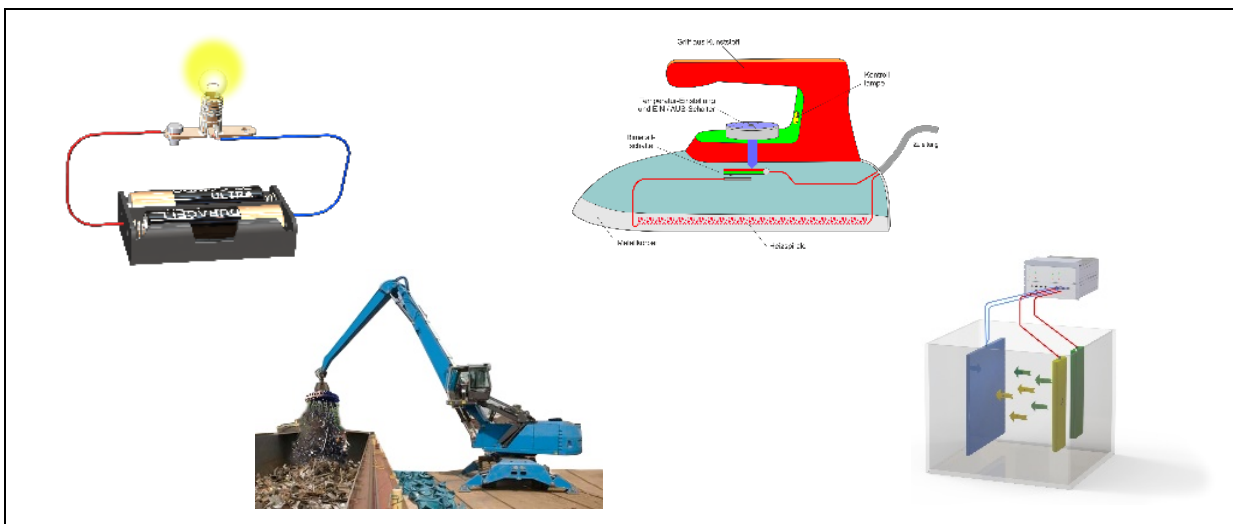


Abb. 7: Vier Wirkungen des elektrischen Stroms (© Schumann)

h) Beobachten und Beschreiben

Beim Beobachten geht es darum, Elementares und seine Merkmale zu erfassen und in seiner Funktionsweise zu verstehen (vgl. Schumann 2021b). In Bezug auf viele technische Systeme gilt z.B., dass sie sich aus Bauteilen zusammensetzen, die konstruktiv nicht weiter zerlegbar sind und deren Funktionsverständnis für den Bau komplexerer Geräte oder Systeme unabdingbar ist. Zu erkennen, wie die Wirkungszusammenhänge zwischen den einzelnen Komponenten sind, ist wichtig, um zum Verständnis vorzudringen. Um Zusammenhänge zu verstehen, kann man nach Wagenschein entweder von der Logik der Funktionsweise (z.B. beim Fernrohr überlegen, wie der Weg des Lichts durch das Fernrohr ist und diesen nachvollziehen) oder von der Logik der Herstellung ausgehen (z.B. die Reihenfolge des Zusammenbaus von Einzelteilen zum Ganzen betrachten) (Wagenschein 1923/1996, 10).

Beispiel:

In Bezug auf Elektrizität kann die Glühlampe als Beispiel fungieren. Alle Bauteile – vom Glaskolben über den Glühdraht, die Fassung bis zum Schutzgas haben bestimmte Funktionen. Für Verständnisprozesse ist es von elementarer Bedeutung, die jeweiligen Funktionen entweder über den Weg von Beobachtung und Beschreibung oder aber begrifflicher Klärung zu verstehen. Die Beobachtung und Beschreibung des Glaskolbens führt z.B. dazu, dass die birnenförmige Gestalt erkannt wird und überlegt werden kann, warum diese Form von den Konstrukteuren gewählt wurde. Oder aufgrund des Alltagsbegriffs „Glühbirne“ wird das bekannte Obst mit dem technischen Objekt in Beziehung gesetzt, woraus wiederum die Frage entstehen kann, warum die Wahl auf diese Form fiel. Beobachtung, Beschreibung und Fragetätigkeit stehen hier in enger Beziehung und enthalten viel Bildungspotential – Grundvoraussetzung ist die Verbalisierung alles Wahrgenommenen.

i) Explorieren und Experimentieren

Das Explorieren versteht sich u.a. als spielerisches Erkunden, Ausprobieren, Finden, Entdecken und Gestalten (vgl. Köster & Gonzalez 2007). Der spielerische Erfahrungserwerb ist kindgemäß. Eine zentrale Rolle nimmt dabei die Atmosphäre ein. Diese Form von Bildung benötigt zwingend ein gelungen eingerichtetes pädagogisches Arbeitsbündnis zwischen den Kindern sowie Kind und Lehrer*in, so dass ein solcher Erfahrungserwerb sich entspannt und mit entsprechend gelebter Fehlerkultur vollziehen und der Phantasie freien Lauf gelassen

werden kann, denn das Explorieren benötigt Trial and Error Prozesse und ist auf das Aussprechen auch von vagen Gedanken angewiesen. Unter dem Experimentieren wird ein stärker in Regie genommener Erfahrungserwerb verstanden, der bis hin zum Demonstrationsexperiment reichen kann, bei dem die Lehrkraft einen Versuch vorführt.

Beispiel:

Im Bereich Elektrizität kann man z.B. zur Stromleitfähigkeit explorieren: welche Stoffe leiten Strom, welche nicht? Man kann dazu in einem einfachen Stromkreis eine Unterbrechungsstelle freilassen und in diese jeweils Materialien hineinklemmen – leuchtet die Glühlampe, so leitet das Material und der Stromkreis ist geschlossen. Leuchtet sie nicht, handelt es sich um in Bezug auf Strom nicht leitfähiges Material. Zusatzbemerkung: Wasser ist z.B. auch bedingt leitfähig, würde aber in einer solchen Schaltung nicht funktionieren, da der Widerstand zu hoch für eine kleine Batteriespannung wäre. Mit einer starken Salzlösung könnte die Leitfähigkeit einer Flüssigkeit jedoch schon erlebbar gemacht werden.

Experimentieren oder Explorieren kann man auch in Bezug auf Polarität. Hier lässt sich z.B. feststellen, dass Polarität beim Anschluss einer Glühlampe keine Rolle spielt – egal, mit welchem Pol man sie an die Batteriepole hält – sie leuchtet immer. Der Glühdraht kann also beliebig von rechts nach links oder links nach rechts von Strom durchflossen werden. Anders ist es bei kleinen Elektromotoren wie sie z.B. im Bereich des Modellbaus verwendet werden: diese ändern ihre Laufrichtung, je nachdem, wie sie angeschlossen werden. Elektronische Geräte mit Halbleitern (z.B. LEDs mit Vorwiderstand) sind darauf angewiesen, dass der Strom mit der richtigen Polarität in Kontakt kommt und das Gerät richtig herum vom Strom durchflossen wird – falsch herum angeschlossene Geräte funktionieren nicht. Schließlich gibt es noch eine Gruppe an Geräten, die sehr empfindlich sind – diese können, wenn man beim Anschließen nicht auf die richtige Polarität achtet, beschädigt werden.

j) Messen

Für ältere Schüler*innen eröffnet sich auch die Möglichkeit des Messens und das zahlenmäßige bzw. mathematische Darstellen von Beziehungen und Zusammenhängen. Mit Hilfe von Messinstrumenten und -verfahren können Vorgänge u.a. Geschwindigkeiten, Stärken/Intensitäten, Bewegungsrichtungen etc. erfasst und auch miteinander verglichen werden.

Beispiel:

Beispiele für das Messen aus dem Gebiet der Elektrizität sind die Spannungsmessung, die Strommessung sowie die Widerstandsmessung. Auch eine Durchgangsprüfung ist möglich (Fragestellung z.B.: Wo fließt noch Strom und wo nicht? Wo könnte eine defekte Leitung vorliegen?).

Wichtig ist insbesondere die richtige Handhabung: Spannungsmessgeräte müssen immer parallel zu dem elektrischen Gerät (einem Verbraucher), an dem die Spannung gemessen werden soll, geschaltet werden. Strommessgeräte müssen immer in Reihe geschaltet werden, denn nur in Reihenschaltungen ist die Stromstärke überall gleich groß.

k) Konstruieren und Problemlösen

Nacherfinden bedeutet, dass man etwas Erlebtes und/oder Gezeigtes versucht zu reproduzieren (z.B. kennt man die Beleuchtung von Autos – und möchte nun auch fürs eigene Spielzeugauto eine Beleuchtungsanlage konstruieren). Dabei ergibt sich die Chance, dass Probleme oder Fragen auftreten, derer man sich vorher nicht bewusst war – und die nun geklärt werden müssen. Beim Konstruieren geht es stärker darum, Neues zu erfinden. Die Herausforderung liegt vor allem darin, dass die Konstrukteure inhaltliche Aufgaben und die sich dabei ergebenden Probleme lösen müssen (im Fall des beleuchteten Spielzeugautos z.B. die Fragen, welche Stromquelle verwendet wird und wo Leitungen gelegt werden können, so dass sie bei Fahrmanövern nicht beschädigt werden). Der Konstruktionsprozess umfasst in vollständiger Form die Phase des Planens, gefolgt von der Phase des Ausführens. Im Anschluss an den Konstruktionsprozess ist es zudem erforderlich, das Konstruierte zu prüfen und die Lösung zu beurteilen (z.B. in Hinblick auf Funktionsfähigkeit, Sicherheit, Zweckmäßigkeit) (vgl. auch den Gestaltungs- und Designprozess im LP21, D-EDK 2016).

Beispiel:

Im Bereich Elektrizität kann man z.B. einen Elektromagneten bauen, indem man um einen Eisenkern (Stahlnagel) einen isolierten Kupferdraht wickelt und die Enden des Drahts an die Pole einer Batterie anschließt. Fließt Strom durch die Spule, hat man einen Elektromagneten gebaut – gut sichtbar, weil der Nagel nun eine Kompassnadel zum Ausschlagen bringt oder Gegenstände aus Eisen anzieht.

Mittels eines Styroporschneiders, eines Drahtes (Heizdraht) und einer Batterie hat man die Möglichkeit, etwas im Bereich der Elektrizität zu konstruieren. Das

hier vorgestellte Experiment zeigt, dass elektrische Energie in Wärme umgewandelt werden kann und dass Wärme entsteht, wenn elektrischer Strom durch einen Heizdraht fließt. Die Funktionsweise von elektrischen Geräten kann hier für Kinder nachvollziehbar und anschaulich dargestellt werden.

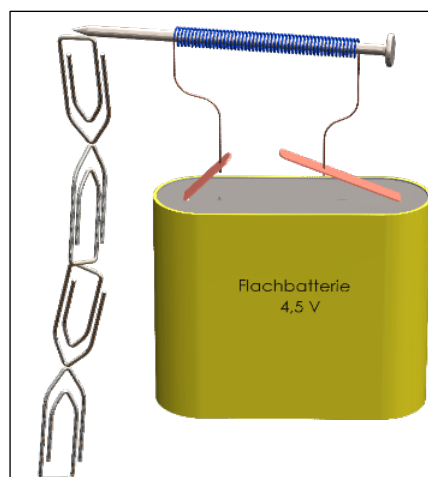


Abb. 8: Der Elektromagnet und seine Wirkung (© Schumann)

1) Demontage

Bei der Demontage eines Gerätes kann man einiges herausfinden: Ein Punkt, der hierbei beachtet werden sollte, ist die Sicherheit. Diese steht immer an erster Stelle! Folgendes Vorgehen erscheint hier sinnvoll: Netzleitung ausstecken, evtl. Leitung sogar (vorbereitend durch die Lehrkraft ausgeführt) abschneiden und das Endstück mit dem Stecker entsorgen, damit keiner das Gerät wieder einstecken kann. Zu beachten gilt: In elektrischen Geräten können Kondensatoren verbaut sein, die auch bei ausgestecktem Gerät zu hohen Spannungen führen können. Es sollten nur solche Geräte demontiert werden, die keine Sicherheitsgefahr für Menschen darstellen.

Spannend für Schüler*innen ist das Untersuchen eines Gehäuses. Folgende Fragen können hier gestellt werden: Sind Schrauben vorhanden oder handelt es sich um einen Klickverschluss über innen liegende Plastikraster, an die man gar nicht herankommt? Oder gibt es Nieten? Es gibt auch Schrauben, die kann man hineindrehen, aber nicht wieder heraus – dies dient dazu, dass Laien diese Geräte nicht öffnen oder dass diese Geräte nicht repariert werden können, sondern ersetzt werden müssen (Marktstrategie). Wichtig bei der Durchführung einer solchen Montage ist auch folgender Punkt: Wenn man beim Öffnen eines Gerätes mit Schraubendrehern hantiert und ggf. viel Kraft aufwendet, sollte man auch

hier das Verletzungsrisiko minimieren, indem man z.B. Geräte gut in einem Schraubstock festspannt und sicherstellt, dass nur sehr gut kontrollierbare Bewegungen mit den Werkzeugen ausgeführt werden.

Wenn man das Gehäuse dann geöffnet hat, kann man sich mit dem Innenleben des Gerätes auseinandersetzen. Folgende Fragen sind hier relevant: Wo sind Erdungsanschlüsse an Gehäuseteilen? Wo sind Schalter und wie sind diese installiert (austauschbar? Ersatzteile einsetzbar? Braucht man Spezialwerkzeug?)? Kann man einen offensichtlichen Defekt mit bloßem Auge erkennen? Wodurch könnte solch ein Defekt ausgelöst worden sein? Ist das Gerät vielleicht stark verschmutzt? Kann man offensichtliche Konstruktionsmängel erkennen (was hätte man hier und da besser machen können, um einen Defekt zu verhindern?). Wurden vielleicht absichtlich Schwachstellen eingebaut, um die Lebenszeit eines Produktes zu verkürzen? Kann man Aufkleber finden, die auf die Herkunft der Teile schließen lassen (z.B. „Made in China“)?

Beispiel:

Ein Beispiel ist die Demontage eines defekten Staubsaugers. Mögliche Fragestellung am Anfang ist z.B. die folgende: Warum wurde der Staubsauger aussortiert und zur Verschrottung freigegeben? Als Auskunft wird z.B. gegeben: Der Staubsauger startete nicht mehr.

Erste Erkundungen ergeben: Das Gerät riecht etwas verbrannt (Gummigeruch), wenn man an den Öffnungen riecht. Man erkennt am Zustand der Netzleitung, dass das Gerät schon sehr lange in Gebrauch ist, die Rückholfeder der Netzleitung ist ausgeleiert, die Leitung selbst sehr verschlissen und das Gummi porös. Sicherheitshinweise, die gegeben werden müssen: Das Gerät soll *nicht* wieder eingesteckt werden, um es auszuprobieren. Die Lehrkraft schneidet den Stecker ab und entsorgt ihn.

Erste Demontageschritte: Die Rohrleitungen werden abmontiert. Auf der Geräte-Unterseite sind einige Schrauben, die mit einem Kreuzschraubendreher zu öffnen sind. So muss nicht viel „Gewalt“ angewendet werden. Nach dem Entfernen der Schrauben ist die obere Gehäuseschale etwas locker, lässt sich aber noch nicht abnehmen. Das ist erst möglich, wenn der Drehschalter für die Leistungsregelung abgezogen wurde. Anschließend lässt sich der Deckel abnehmen. Falls nicht, dann hängt dieser noch mit einigen Leitungen an dem EIN-Schalter fest, der auch im Deckel sitzt.

Nachdem der Deckel entfernt wurde, kann man in das Gerät schauen und eine Bestandsaufnahme und Klärung von Bauteilen und ihren Funktionen vorneh-

men. Zu entdecken sind folgende Bestandteile: Rolle mit Netzleitung und Federgehäuse, Motoregehäuse mit Anlaufkondensator, ein großes Turbinenrad am Motor, Leistungsregler, verschiedene Filter, Temperatursensor für den Überhitzungsschutz, Netzschalter im Deckel, Anzeige für Überfüllung (mechanisch) und im Boden zwei feste Rollen und eine Lenkrolle.

Nun wird nach der Ursache des verbrannten Geruchs gesucht: Dieser kommt ganz offensichtlich aus dem Motorgehäuse. Die Abdeckung des Motors ist aus Kunststoff und schon etwas verformt, also zu heiß geworden. Die Abdeckung wird über vier Metallklammern festgehalten, die abgelöst werden können. Unter dem Deckel wird nun der Motor sichtbar. Am Motor ist ein Lüfterrad befestigt, das den Motor beim Betrieb kühlen soll. Feststellung: Das Lüfterrad lässt sich kaum drehen, der Motor steckt fest. Man kann erkennen, dass sich viele Haare in der Laufbuchse der Motorachse festgeklemmt haben. Die Achse ist blockiert und die Überlastfunktion hat den überhitzten Motor abgeschaltet.

m) Erklären mit und ohne Visualisierungen

Das Erklären ist die vielleicht am häufigsten praktizierte Form der Vermittlung in Schulen (vgl. u.a. das FALKE-Projekt der Uni Regensburg, z.B. Ehras & Dittmer 2018; Weich & Eigelsberger 2019) – trotzdem gibt es zum Erklären bisher nur relativ wenige fachdidaktische Arbeiten. Als wichtige Aspekte gelten beim Erklären u.a. die Herstellung eines Adressatenbezugs, die Klarheit und Strukturiertheit der Erklärung, die Nutzung bzw. Einbeziehung von Visualisierungen und Beispielen sowie der Umgang mit Komplexität oder Reduktion von Komplexität (Tomaczyszyn & Kulgemeyer 2016; Ehras & Dittmer a.a.O.). Bezüglich der Bildungswirksamkeit von Erklärungen liegen noch viel zu wenige Forschungsergebnisse vor. Förderlich für den Aufbau von Verständnis scheint zu sein, wenn Erklärungen mit Visualisierungen einhergehen.

Beispiel:

Im Folgenden wird ein Beispiel für einen Erklärtext für eine Heißklebepistole als elektrisch betriebenes Gerät gegeben:

Die Heißklebepistole verwendet man, um Klebstoff zu schmelzen und auf Klebestellen dosiert aufzutragen. Für die Beheizung wird Netzstrom benötigt. Die Heißklebepistole wird in der Hand gehalten wie eine Pistole (Handfeuerwaffe). Anstelle des Abzugs, mit dem der Schuss ausgelöst wird, hat die Heißklebepistole einen längeren Hebel, mit dem eine Klebstoffstange durch die Pistole vorwärts geschoben wird. Anstelle der Mündung befindet sich vorne an der Pisto-

lenmündung eine Düse, an der der geschmolzene Klebstoff austritt. Die Verklebung wird wirksam, sobald der Klebstoff erkaltet ist.

Der mechanische Vorgang in der Heißklebepistole läuft wie folgt ab: Der Klebstoff wird als verfestigte Stange mit rundem Querschnitt in die Öffnung hinten am Pistolenkörper eingesteckt. Mit der Betätigung des Hebels hakt ein Greifer an der Außenfläche der Klebstoffstange ein und schiebt sie vorwärts in Richtung Heizung bzw. Düse. Wenn der Hebel losgelassen wird, zieht eine kleine Feder den Hebel und damit auch den Greifer in die Ausgangsposition zurück, ohne dass die Klebstoffstange dabei wieder zurückgeschoben wird.

Die Klebstoffstange taucht beim Vorwärtsbewegen in eine abgedichtete Hitzekammer ein; dort wird sie durch eine sog. Widerstandsheizung aufgeschmolzen. Das aufgeschmolzene Klebstoffmaterial gelangt nach vorne in die Düse, da von hinten durch den Transport frisches (noch festes) Material nach vorne gedrückt wird. Dem aufgeschmolzenen Material bleibt also nur noch der Weg nach vorne in Richtung der Düse, wo es aber zunächst noch vom Kugelrückschlagventil aufgehalten wird. Das Kugelrückschlagventil besteht aus einer Kugel, die von einer dahinterliegenden Feder auf den Ventilsitz gedrückt wird. Erst wenn das geschmolzene (plastische) Material durch die Hebelkraft unter einem bestimmten Druck auf die Kugel wirkt, öffnet sich das Ventil, und der Klebstoff kann zur Düse vorströmen. Nimmt der Druck ab, schlägt die Kugel durch die Federkraft in den Ventilsitz zurück und verschließt den Durchgang nach vorne. Weil die Beheizung der Schmelzzone permanent eingeschaltet ist, weitet sich der geschmolzene Bereich aus und das plastische Material baut Druck auf. Durch das Rückschlagventil wird verhindert, dass Klebstoff unkontrolliert durch die Düse ausfließen kann. Das letzte Stück einer Klebstoffstange kann nur dann aufgeschmolzen werden, wenn eine weitere, neue Klebstoffstange eingeschoben wird. Diese treibt den Transportvorgang an, sobald sie vom Greifer erfasst wird.

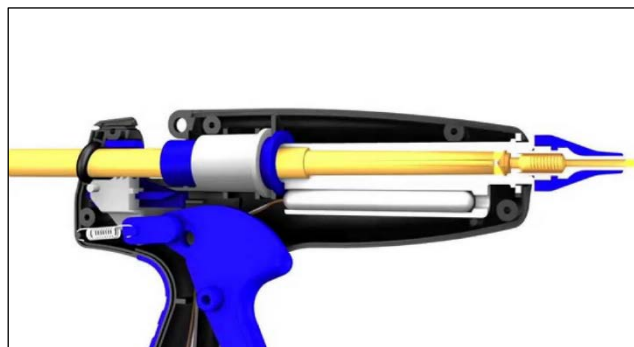


Abb. 9: Die Heißklebepistole

3. Das Gespräch als wesentliches Medium von Verständnisaufbau

Es wurde aufgezeigt, welche Konzepte im Technikbereich bedeutsam sind und der Klärung bedürfen und welche Zugangswege bzw. Unterstützungsformen den Verständnisaufbau fördern können. Vor dem Hintergrund der Annahme, dass Sprache und Verständnisprozesse in einem engen Zusammenhang stehen und Sprache einen erheblichen Einfluss darauf hat, wie und ob Verständnis aufgebaut werden kann, soll abschließend darüber nachgedacht werden, wie die skizzierten möglichen Zugangswege bzw. Unterstützungsformen in Bezug auf den Einsatz von Sprache unterstützt werden können. Dazu soll zunächst über Unterrichtsgespräche im Allgemeinen und ihr Potential für Bildungsprozesse nachgedacht werden. Anschließend erfolgt eine auf die einzelnen Zugangswege bzw. Unterstützungsformate speziell zugeschnittene Reflexion.

3.1 Allgemeines zu Unterrichtsgesprächen

Verständnis wird im Unterricht auf verschiedene Weise hergestellt, häufig steht am Anfang jedoch ein Gespräch. Im Bereich der Unterrichtsgesprächsklassifizierung existieren verschiedene Termini, wobei es teilweise divergierende Aussagen zu Definitionen und Konzept-Abgrenzungen gibt. Häufig ist vom Unterrichtsgespräch, Lehrvortrag, Lehr-Lerngespräch oder dialogischen Lehren und Lernen die Rede; auch die Begriffe gelenktes Gespräch, freies Unterrichtsgespräch, Schülergespräch, Gruppengespräch, Debatte, Streitgespräch, problemlösendes Gespräch, fragend-entwickelndes Gespräch, sokratisch-mäeutisches Gespräch oder philosophisches Gespräch werden genannt.

Die Bandbreite in Bezug auf die Realisation ist groß: Gespräche unterscheiden sich u.a. in Hinblick auf die Redeanteile von Lehrkraft und Kind/Kindern, in Hinblick auf die Konstellation der beteiligten Personen (z.B. Lehrkraft-Kind-Gespräch, Lehrkraft-Klasse-Gespräch), in Hinblick auf Rollen und Zielsetzungen (z.B. Gespräche, bei denen der Schwerpunkt auf dem Erklären durch die Lehrkraft liegt), in Hinblick auf den Entstehungsanlass bzw. -impuls (situativ-spontan entstehende Gespräche, geplante Gespräche) oder in Hinblick auf den Gegenstand des Gesprächs.

Unterrichtsgespräche können genutzt werden, um Kinder behutsam von der Ebene des sinnlichen Erschließens zur Ebene des begrifflich-mentalenen Erschließens hinzuführen. Das Gespräch ermöglicht beispielsweise Impulse zu geben, um sich etwas am Gegenstand unter einem bestimmten Aspekt genauer anzuse-

hen – im Dialog ist es sehr gut möglich, die Aufmerksamkeit zu lenken. Auch lässt sich durch das Aufstellen von Behauptungen das Denken anregen bzw. aktivieren. Solche Unterrichtsgespräche stellen hohe Anforderungen an die Fähigkeiten von Schüler*innen – es muss versucht werden, diesen möglichst gerecht zu werden, z.B. ihrem Aufmerksamkeits- und Informationsverarbeitungsvermögen sowie ihrem Vermögen, gleichzeitig zuzuhören und mitzudenken und sich ggf. Notizen zu machen.

3.2 Unterstützung von Zugängen zu Technik durch Unterrichtsgespräche

Wie können mögliche Zugangswege nun durch Sprache bzw. Unterrichtsgespräche unterstützt werden? Zur Beantwortung dieser Frage werden nun im Folgenden drei zentrale Bereiche näher in den Blick genommen, bei welchen aus der Theorie schlussgefolgert werden kann, dass diese Zugänge zu Technik ermöglichen.

a) Sinnliche Wahrnehmung von Technik bzw. technischen Phänomenen ermöglichen

Die sinnliche Wahrnehmung kann so begleitet werden, dass mit Hilfe von Unterrichtsgesprächen der Blick auf Wesentliches bzw. bedeutsame Details für das Funktionieren eines Gerätes gelenkt wird. Ein Beispiel: beim Betrachten eines Kugelschreibers kann über die Frage, warum der Kugelschreiber Kugelschreiber heißt, die Aufmerksamkeit auf die Kugel und ihre Funktionsweise gelenkt werden (Schumann 2021b). Zudem können Prozesse, die den Weg von der sinnlichen Wahrnehmung zur sprachlichen Explikation des Wahrgenommenen bahnen, gefördert werden, z.B. indem man die Kinder auffordert, sich über ihre Wahrnehmung auszutauschen (z.B. über die Aufforderung, warum und wie der Kugelschreiber mit Hilfe der Kugel schreibt). Im Rahmen dieses Prozesses können die Kinder dazu ermutigt werden, möglichst vielfältige Beschreibungen aufzustellen – die Sache quasi einem „Sprachbad“ zu unterziehen, indem man alles, was einem auffällt, in Worten auszudrücken versucht. Man kann den Kindern verschiedene Möglichkeiten zur Auswahl stellen, z.B. die Analogiebildung („das sieht aus wie...“ bzw. „das erinnert mich an...“ – im Fall des Kugelschreibers ist ein schönes Analogmodell der Deoroller, diesen gibt es auch in durchsichtiger und demontierbarer Form). Kinder können auf diese Weise (u.a. auch unterstützt mit Fragen, z.B. der Frage, wie es kommt, dass die Kugel weder aus dem Schreibgerät herausfällt noch ins Innere rutscht, vgl. Schumann 2021b)

die Erfahrung machen, wie sich ausgehend von der sinnlichen Wahrnehmung durch die Transformation in die begriffliche Darstellung erste Vermutungen, Ideen und Deutungsansätze entwickeln. Sie können erfahren, wann ein bestimmter Begriff treffend ist und wann nicht, wann eine Beschreibung prägnant ist und wann nicht sowie wann eine Definition ausreichend oder unvollständig oder unnötig überladen ist.

Folgende Fragen könnten in diesem Kontext besonders spannend und interessant für Lehrer*innen sein: Welche Phänomene erstaunen und überraschen Kinder, weil sie von den Kindern als etwas wahrgenommen werden, das gegen ihre Erwartung (und damit Vorstellung) spricht (im Sinne einer kognitiven Irritation)? Welche Phänomene sind besonders geeignet, bei den Kindern Fragen auszulösen und eine Fragetätigkeit in Gang zu setzen?

b) Ermöglichung des Aufbaus innerer Vorstellungen

Im Unterrichtsgespräch kann die Aufforderung erfolgen, sich die aufgebauten inneren Vorstellungen gegenseitig mitzuteilen (z.B. darüber, wie sich jedes Kind die Funktionsweise eines Kugelschreibers vorstellt). Es kann im Dialog versucht werden, ein Bewusstsein dafür zu schaffen, dass innere Bilder und Realität zwei unterschiedliche Ebenen darstellen. Und es kann ein Bewusstsein dafür geschaffen werden, dass erkannt wird, wann und zu welchem Zweck innere Vorstellungen hilfreich sind und wo der Gebrauch von ihnen an Grenzen stößt.

c) Ermöglichung von rekonstruktionslogischem, induktivem Erschließen

Das rekonstruktionslogische Vorgehen erfordert eine Beschränkung auf relativ wenig, aber hochrelevantes Material. In der Auseinandersetzung mit diesem lässt sich erfahren, wie wesentliche Interpretationen oder Funktionszusammenhänge generiert werden können. Rekonstruktionslogisches Erschließen kann beispielsweise durch das Stellen stimulierender Impulsfragen oder spannender Problemstellungen initiiert werden.

Rekonstruktionslogisches Erschließen bedeutet, dass man ausgehend von Sinesindrücken und dem Versuch, diese begrifflich zu fassen zu bekommen, allmählich zu Vorstellungen über Zusammenhänge, zu Fragen und zu ersten Interpretationen kommt. Im Unterrichtsgespräch muss Wert daraufgelegt werden, diesen Verlauf offenzulegen und bewusst zu machen. Das erreicht man damit, dass man jeweils offenlegt, wo im Gespräch man gerade steht. Auch der rote Faden muss immer wieder explizit aufgezeigt werden. Zudem sollte sichergestellt sein, dass keine aufgetretene Frage unbeantwortet bleibt und gleichzeitig,

dass man neue Fragen aufgreift und in kurzen Exkursen behandelt, aber dann auch wieder zurückfindet zur jeweils vorausgegangenen Überlegung. Teilweise kann es hilfreich sein, Zwischenergebnisse schriftlich festzuhalten. Auch sollte auf Fragen verwiesen werden, zu denen es noch keine Antwort gibt. Eine Möglichkeit hierbei ist, die Gedanken der Lernenden in mehr oder weniger freier Wechselrede hervorzulocken, diese zu bestätigen, zu verwerfen oder fortzusetzen.

Im Fall des Kugelschreiber-Beispiels (s.o.) kann eine stimulierende Impulsfrage beispielsweise sein, woran es liegen kann, dass ein Kugelschreiber nicht schreibt. Man kann über verschiedene Modi rekonstruktionslogischen Erschließens Vermutungen generieren, z.B. die Vermutung, dass der Kugelschreibertank leer ist, dass die Kugel eingetrocknet ist oder dass das Papier zu glatt ist.

d) Skizzieren, Zeichnen

Im Fall des Skizzierens wird im Unterrichtsgespräch das, was der Sphäre der Wirklichkeit angehört und in das Medium der Zeichensprache übersetzt wurde, sprachlich ausgedrückt. Vielen Menschen hilft es, wenn sie beim Zeigen und Erklären auf Skizzen verweisen können. Auch kann man gleichzeitig zuhören und das Gehörte skizzieren und diese Gleichzeitigkeit bewusst einsetzen und üben.

Beim Kugelschreiber kann z.B. versucht werden, die Kugel und ihre Lage im Innern des Schreibgeräts zu zeichnen und dabei darzustellen, warum die Kugel weder ins Innere des Schreibgeräts noch aus dem Schreibgerät herausfallen kann.

e) Originale Begegnung

Im Unterrichtsgespräch kann versucht werden, sich des besonderen Wertes der originalen Begegnung für Bildungsprozesse bewusst zu werden. Bittet man z.B. Kinder darum, ihr Vorwissen abzurufen, so kann man feststellen, dass die Aussagen sehr variieren – ein Beispiel aus dem Bereich der Elektrizität könnte sein, dass man fragt, ob die Lichterkette am Weihnachtsbaum weiter leuchtet, wenn man eine Glühlampe aus der Kette aus der Fassung dreht, oder ob die Lichterkette weniger hell leuchtet, wenn man drei weitere Glühlampe zusätzlich einbaut. Schaut man sich die Situation unmittelbar am originalen Objekt – einer Lichterkette – an, so erkennt man, welchen Wert ein „gutes“, „verlässliches“ Protokoll in Form der originalen Begegnung hat. Das Protokoll macht einige

Spekulationen unnötig und viele Hypothesen können in der Konfrontation mit der Realität verworfen werden.

f) Modelle, Repräsentationen

Wichtig in Gesprächen über Modelle ist, jeweils sicherzustellen, dass die Kinder einen Bezug zwischen Modell und Realität herstellen und beides nicht als zwei zusammenhanglose Inhalte betrachten (im Fall des Kugelschreibers kann man z.B. versuchen, die Drückermechanik mit Hilfe von 2-D-Modellen zu veranschaulichen, oder man vergleicht das Schreibgerät, um Verständnis in Bezug auf die Funktionsweise der eingebauten Kugel zu ermöglichen, beispielsweise mit einem Deoroller, vgl. Schumann o.J.). Vergleiche stellen hierbei ein bedeutsames didaktisches Werkzeug dar: was sieht man am Gegenstand und welche Entsprechung hat das im Modell? Wichtig ist, im Unterrichtsgespräch zu klären, wozu Modelle nützen können, z.B. zur Veranschaulichung eines zukünftigen Ereignisses, zum Erschließen von Gesetzmäßigkeiten, zur Präzisierung von Ideen oder zur Überprüfung von Proportionen und räumlichen Bedingungen.

g) Anknüpfung an den Alltag- bzw. Lebensweltkontext der sich bildenden Subjekte (Kontextbezug)

Technik ist allgegenwärtig – von Geräten in der Küche über das Fahrrad, Gartengeräte und Spielgeräte auf dem Spielplatz bis hin zu Autos und Computern. Ein Anknüpfen an den Alltags- bzw. Lebensweltkontext der Sich-bildenden lässt sich sprachlich auf viele verschiedene Weisen herstellen. So kann man die Kinder auffordern, von eigenen Erfahrungen zu erzählen oder man kann Beispiele anführen, die aus der Lebenswelt der Kinder stammen.

h) Beobachten und Beschreiben

Für die Lehrerin bzw. den Lehrer ist sehr aufschlussreich, wie Kinder Sachverhalte beschreiben. Die Lehrkraft kann daraus vieles erschließen: lassen die Kinder z.B. bestimmte Bereiche sprachlich aus oder nehmen sie kaum beobachtend wahr, so kann vermutet werden, dass sie zu diesen Bereichen keinen Anschluss an ihr lebensweltliches Wissen herstellen können, diese Bereiche für sie also zu abstrakt und theoretisch sind. Ein Beispiel: bei der Auseinandersetzung mit Schleuderschneeketten fiel auf, dass jüngere Kinder nicht auf Aspekte der Fliehkraft zu sprechen kamen; beim Handbohrgerät wurde der Übersetzung keine Aufmerksamkeit geschenkt (Schumann 2021b).

Beim Beschreiben geht es darum, Begriffe für Dinge und Vorgänge zu finden, die möglichst prägnant sind. Das müssen nicht zwingend Fachbegriffe sein. Es gibt sehr gute Möglichkeiten, auch muttersprachlich auszudrücken, was man vor sich hat oder was gerade passiert (ein Beispiel: Kinder wählten für den ihnen unbekanntem Wagenheber beim Beobachten und Beschreiben die eigenen Wortneuschöpfungen „Drehaufwagen“ sowie „Autolüpfen“ und für den Pumpenarm der Handschwengelpumpe die Bezeichnung „Hebelarm“, vgl. Schumann a.a.O.).

i) Explorieren und Experimentieren

Explorieren und Experimentieren verlangen, dass die Fragestellung präzise geklärt ist. Mit Hilfe von Unterrichtsgesprächen ist es möglich, dass Kinder erkennen, ob sie mit Hilfe eines Versuchs quasi bereits bekanntes Wissen reproduzieren oder ob sie tatsächlich ein Experiment durchführen, dessen Ausgang unbekannt ist. Im Unterrichtsgespräch können Kinder erfahren, dass sie mithilfe eines Experiments zu naturwissenschaftlich-technischer Erkenntnisgewinnung kommen können. So kann man sich beispielsweise im Fall der Heißklebepistole mit Experimenten zum Klebstoff erwärmen auseinandersetzen, z.B. abgeraspelte Stückchen der Klebstoffstange in Aluschälchen legen und über einem Teelicht erhitzen, und im Vergleich dazu andere Stoffe, wie z.B. Schokolade oder flüssiges Eiweiß oder ein Stück Kuchen erhitzen – auf diese Weise lässt sich erfahren, dass manche Dinge im kalten Zustand fest sind und durch Hitze flüssig werden, manche Dinge flüssig sind und durch Hitze fest werden und wiederum andere Dinge fest sind und durch die Hitze einer Kerze nicht verändert werden, also fest bleiben.

j) Messen

Wichtig ist, immer wieder sicherzustellen, dass die zahlenmäßig-mathematischen Beschreibungen oder Erklärungen rückübersetzt werden können in das „Reale“. Die Frage lautet also: was habe ich gemessen und was bedeutet dieser Wert (bei der oben beschriebenen Durchgangsprüfung also z.B.: wo kann ich noch Stromfluss messen und wo nicht mehr, was bedeutet das bzw. wo liegt ein Defekt an der Leitung vor?).

k) Konstruieren und Nacherfinden

Durch Unterrichtsgespräche können die Phasen des Konstruktions- bzw. Nacherfindungsprozesses bewusst gemacht werden. Z.B. kann über folgendes gesprochen werden:

- Wo kommen die Ideen für Konstruktionen her?
 - Welche Inspirations- und Informationsquellen können mir weiterhelfen?
 - Welche Schwierigkeiten können auftreten und wie kann ich Lösungen dafür entwickeln?
 - Wie kann ich beim Planen vorgehen, wie bei der Umsetzung der Planung?
 - Wie kann ich das Produkt beurteilen und wie optimieren?
 - Wie kann ich die Bau- und Funktionsweise meines Produkts dokumentieren?
- Natürlich lassen sich nicht nur fertige Geräte konstruieren, es ist auch möglich, Modelle selbst zu entwerfen oder einzelne Bauteile nachzubauen.

l) Demontage

Wichtig ist, dass man am Anfang die Fragestellung klärt: welchen Grund hat die Demontage? Als naheliegende Möglichkeit bietet sich an, herauszufinden, woran es liegt, dass ein Gerät nicht mehr funktioniert. Eine solche Fragestellung ist spannend und herausfordernd sowie authentisch zugleich. Im Unterrichtsgespräch kann man in einem ersten Schritt dazu auffordern, von den Sinnen (vor allem: Sehsinn, Geruchssinn) Gebrauch zu machen, um sich an die Ursache der Störung heranzutasten. In der Anleitung zur Demontage ist im Gespräch immer wieder auf Sicherheitsaspekte hinzuweisen. Es lässt sich dabei auch metasprachlich überlegen, was einen guten Sicherheitshinweis ausmacht. Im Gespräch können sehr gut die Begriffe Bauform, Funktionsweise und Prozesse geklärt und mit Inhalt gefüllt werden.

m) Erklären mit und ohne Visualisierungen

Beim Erklären zeigt sich besonders deutlich, dass die Art der Erklärung sehr großen Einfluss auf das Verständnis hat. Erklärungen müssen extrem nah an den Bedürfnissen der sich bildenden Subjekte sein. Schon einige wenige Irritationen genügen, dass ein Erklärtext, egal ob mündlich oder schriftlich gegeben, zu Verständnisproblemen führt. Diese Irritationen sind vielfältiger Natur, hier einige Möglichkeiten:

- Verwendung von Begriffen, die mehrdeutig sind
- Unklarheit der Ausgangslage und der dann erfolgten Veränderungen dieser Ausgangslage
- Unvollständig durch die Erklärung abgebildete Prozesse oder Zusammenhänge
- Fehlen von Beispielen oder Vergleichen
- unklare Bezüge

- Widersprüche innerhalb einer Erklärung oder Widerspruch zwischen Erklärung und zugeordneten Visualisierungen

4. Fazit: Verstehensprozesse und Sprache im Bereich Technik des Primarstufensachunterrichts

Struktur- und systemtheoretische Zugänge zur Präzisierung der Logik professionellen Handelns gehen davon aus, dass sich pädagogische Praxis nicht mittels Formen standardisierter Techniken bewältigen lässt (Helsper, Krüger & Rabe-Kleberg 2000, 6). Laut Oevermann (1996) ist gerade die Nicht-Standardisierbarkeit Kennzeichen professionalisierungsbedürftiger Berufe.

Unterrichtsgespräche bedürfen einer sehr professionellen Haltung der Lehrkräfte und stellen sehr hohe Anforderungen an Lehrer*innen, denn die Nicht-Standardisierbarkeit gilt in besonderem Maße für Dialoge. Im Unterrichtsgespräch tritt häufig die Situation ein, dass Lehrer*innen situativ-spontan auf Äußerungen von Kindern eingehen müssen – das erfordert zum einen, dass Lehrer*innen sicher in Bezug auf den fachlichen Hintergrund eines Themas bzw. sich ihres Wissens und der Grenze ihres Wissens jeweils bewusst sind und authentisch damit umgehen, und zum anderen, dass es ihnen gelingt, jeweils fall-spezifisch herauszufinden, welches Verstehensproblem für ein Kind besteht und welche Zugangswege daher für ein Kind geeignet sind. Lehrkräfte müssen im laufenden Prozess permanent Relevanz und fachliche Korrektheit von Beiträgen richtig einschätzen und adäquat reagieren. Daher sind geeignete Beispiele, exemplarische Fragestellungen und auch denkbare Antwortmöglichkeiten von Kindern essentiell und müssen mitgedacht werden.

Weil unterschiedliche technische Gegenstände bzw. Phänomene sich unterschiedlich gut für bestimmte Erschließungsmodi bzw. -formen eignen, ist es wichtig, Phänomene bewusst auszuwählen, um Kindern sinnliche Wahrnehmungen und originale Begegnung zu ermöglichen. Nachgedacht werden kann beispielsweise darüber, welche Gegenstände sich besonders gut eignen, um sie zeichnerisch darzustellen oder um sie zu demontieren. Der Gedanke des exemplarischen Lernens steht jeweils im Zentrum: Anhand welcher Phänomene, Gegenstände oder Prozesse lassen sich Gesetzmäßigkeiten, Strukturen oder Merkmale besonders eindrücklich erfahren oder herleiten?

In Bezug auf Sprache bzw. Unterrichtsgespräche gilt, dass die erwähnten Überlegungen universell gültig sind. Auch für Unterricht in anderen Themenfeldern,

z.B. den Geistes- oder Naturwissenschaften, trifft zu, dass Unterrichtsgespräche beispielsweise von spannenden, authentischen Impulsfragen oder zum Finden von Lösungen anregenden Problemstellungen Gebrauch machen und dass Dialoge genutzt werden sollten. Dadurch kann möglichst bewusst und eindrücklich erfahren werden, wie Bildungsprozesse funktionieren, also wie man ausgehend von der Konfrontation mit der Welt zu Interpretationen über die Welt gelangt. Naturwissenschafts- bzw. technikbezogener Unterricht muss sehr genau in der Sprache sein, weil die begriffliche Präzision oft entscheidend und bedeutsam für die Erschließung ist. Schon wenige unklare oder missverständliche sprachliche Formulierungen können einen Verständnisaufbau erheblich (negativ) beeinflussen oder sogar dazu führen, dass ein Kind sich eine falsche Begrifflichkeit oder Konzeptvorstellung aneignet.

Literatur

- Appleton, K. (2006): Science Pedagogical Content Knowledge and Elementary School Teachers. In: Appleton, K. (Hrsg.): Elementary Science Teacher Education. International Perspectives on Contemporary Issues and Practice. Mahwah, 31-54.
- Becker-Mrotzek, M. & Vogt, R. (2009): Unterrichtskommunikation: linguistische Analysemethoden und Forschungsergebnisse. Tübingen.
- Becker-Mrotzek, M. (2019): Keynote „Sprachsensibel unterrichten in allen Fächern“. Kongress der Schweizerischen Gesellschaft für Bildungsforschung (SGBF) und der Schweizerischen Gesellschaft für Lehrerinnen- und Lehrerbildung (SGL).
<https://www.sgbf2019.ch/keynote-prof-dr-michael-becker-mrotzek/> [10.03.2020].
- Billmann-Mahecha, E. & Gebhard, U. (2004): Wenn wir keine Blumen hätten. Empirische Vignetten zum ästhetischen Verhältnis von Kindern zur Natur. In: Journal für Psychologie, 1, 50-76.
- Braaten, M. & Windschitl, M. (2011): Working Toward a Stronger Conceptualization of Scientific Explanation for Science Education. In: Science Education, 95, 4, 639-669.
- Böschl, F., Gogolin, S., Lange-Schubert, K. & Hartinger, A. (2018): Modellverstehen von Grundschülerinnen und Grundschulern in Abhängigkeit von Kontext und Kompetenzniveaus. In: Franz, U., Heinrich-Dönges, A., Giest, H., Reinhoffer, B. & Hartinger, A. (Hrsg.): Handeln im Sachunterricht – konzeptionelle Begründungen und empirische Befunde. Bad Heilbrunn.
- Buck, P. & Aeschlimann, U. (2019): Befruchtung und Entfaltung. Dürnau.
- Budde, M. & Michalak, M. (2014): Sprachenfächer und ihr Beitrag zur fachsprachlichen Förderung. In: Michalak, M. (Hrsg.): Sprache als Lernmedium im Fachunterricht. Theorien und Modelle für das sprachbewusste Lehren und Lernen. Baltmannsweiler, 9-33.
- Busch, H. & Ralle, B. (2013): Diagnostik und Förderung fachsprachlicher Kompetenzen im Chemieunterricht. In: Becker-Mrotzek, M., Schramm, K., Thürmann, E. & Vollmer, H.J. (Hrsg.): Sprache im Fach – Sprachlichkeit und fachliches Lernen. Münster, 277-294.

- Ciampi, L. (1997): Die emotionalen Grundlagen des Denkens. Entwurf einer fraktalen Affektlogik. Göttingen.
- Dagher, Z. & Cossman, G. (1992): Verbal Explanations Given by Science Teachers: Their Nature and Implications. In: *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 4, 361-374.
- Deutscheschweizer Erziehungsdirektoren-Konferenz (LP21 D-EDK) (2016): Lehrplan 21: Fachbereichslehrplan Natur, Mensch, Gesellschaft. Luzern.
- Diaconu, M. (2008): Der Dialog als Unterrichtsmethode. In: *Neue Didaktik*, 1, 60-73.
- Döring, N. & Bortz, J. (2006): *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Heidelberg.
- Duit, R. & Glynn, S. (1995): Analogien – Brücken zum Verständnis. In: *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik*, 6, 27, 4-10.
- Ebmeier, J. (2002): Von der PISA-Studie und der Neurobiologie des Lernens. In: *PädForum*, 30, 10-13.
- Ehras, C. & Dittmer, A. (2018): Kennzeichen guten Erklärens im Biologieunterricht. Wie SchülerInnen die Erklärung komplexer biologischer Phänomene wahrnehmen. In: *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 17, 79-83.
- Friedman, M. (1974): Explanation and Scientific Understanding. In: *The Journal of Philosophy*, 71, 1, 5-19.
- Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (GDSU) (2013): *Perspektivrahmen Sachunterricht. Vollständig überarbeitete und erweiterte Ausgabe*. Bad Heilbrunn.
- Gotwals, A.W., Songer, N.B. & Bullard, L. (2012): Assessing Students' Progressing Abilities to Construct Scientific Explanations. In: Alonzo, A.C. & Gotwals, A.W. (Eds.): *Learning Progressions in Science*. Rotterdam, 183-210.
- Greiss, G.D. (2014): Aus dem ABC des Unterrichtsentwurfs. Originale Begegnung. http://www.gdgreiss.de/seminar/ABC_originaleBegegnung.html [20.12.2020].
- Grosslight, L.; Unger, C. & Jay, E. (1991): Understanding Models and their Use in Science: Conceptions of Middle and High School Students and Experts. In: *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 9, 799-822.
- Haider, M. (2010): Der Stellenwert von Analogien für den Erwerb naturwissenschaftlicher Erkenntnisse. Eine Untersuchung im Sachunterricht der Grundschule am Beispiel „Elektrischer Stromkreis“. Bad Heilbrunn.
- Haider, M. & Fölling-Albers, M. (2020): Auswirkungen von Analogiemodellen auf den Aufbau konzeptuellen Wissens im Sachunterricht der Grundschule – Beispiel Stromkreis. In *Unterrichtswissenschaft*, 48, 469-491.
- Hänze, M. (1998): *Denken und Gefühl. Wechselwirkung von Emotion und Kognition im Unterricht*. Neuwied.
- Härtig, H., Bernholt, S., Prechtel, H. & Retelsdorf, J. (2015): Unterrichtssprache im Fachunterricht – Stand der Forschung und Forschungsperspektiven am Beispiel des Textverständnisses. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 21, 55-67.
- Helmke, A. (2012): *Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität: Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts*. Seelze-Velber.

- Helsper, W., Krüger, H.-H. & Rabe-Kleberg, U. (2000): Professionstheorie, Professions- und Biographieforschung – Einführung in den Themenschwerpunkt. In: Zeitschrift für qualitative Bildungs-, Beratungs- und Sozialforschung, 1, 5-19. <https://www.budrich-journals.de/index.php/zqf/article/viewFile/4125/3462> [20.12.2020].) (bitte ausschreiben)
- Hertz, H. (1894): Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhang dargestellt. Leipzig. (Oswalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Bd. 263).
- Hillerbrand, R. (o.J.): Modell versus Theorie. Eine systematische Rekonstruktion der Semantik von Modellen in den Naturwissenschaften. University of Oxford, Faculty of Philosophy. https://www.researchgate.net/profile/Rafaela_Hillerbrand/publication/242180802_Moell_versus_Theorie_Eine_systematische_Rekonstruktion_der_Semantik_von_Modellen_in_den_Naturwissenschaften/links/02e7e529e4063a0eea000000/Modell-versus-Theorie-Eine-systematische-Rekonstruktion-der-Semantik-von-Modellen-in-den-Naturwissenschaften.pdf [20.12.2020].
- Hrouza, A. (2015): Innere Bilder – Innere Räume und das ihnen innewohnende kreative schöpferische Potential. Masterthesis an der Donau-Universität Krems. http://www.gestalttherapie.at/graduierungsarbeiten_oeffentlich/mth_angela_hrouza.pdf [20.12.2020].
- Ingham, A.M. & Gilbert, J.K. (1991): The Use of Analogue Models by Students of Chemistry at Higher Education Level. In: International Journal of Science Education, 13, 2, 193-202.
- Kempert, S., Edele, A., Rauch, D., Wolf, K.M., Paetsch, J., Darsow, A. & Stanat, P. (2016): Die Rolle der Sprache für zuwanderungsbezogene Ungleichheiten im Bildungserfolg. In: Diehl, C., Hunkler, C. & Kristen, C. (Hrsg.): Ethnische Ungleichheiten im Bildungsverlauf. Wiesbaden, 157-241.
- Kempert, S., Schalk, L. & Saalbach, H. (2018): Sprache als Werkzeug des Lernens: Ein Überblick zu den kommunikativen und kognitiven Funktionen der Sprache und deren Bedeutung für den fachlichen Wissenserwerb. <https://reinhardt-journals.de/index.php/peu/article/view/3369> [08.03.2020].
- Köhnlein, W. (1998): Grundlegende Bildung – Gestaltung und Ertrag des Sachunterrichts. In: Marquardt-Mau, B. & Schreier, H. (Hrsg.): Grundlegende Bildung im Sachunterricht. (Probleme und Perspektiven des Sachunterrichts, Bd. 8). Bad Heilbrunn, 27-46.
- Köster, H. & Gonzalez, C. (2007): Was tun Kinder, wenn man sie lässt? Freies Explorieren und Experimentieren (FFE) im Sachunterricht. In: Grundschulunterricht, 12, 12-17.
- Kraemer, R.-D. & Spinner, K.H. (2002): SynÄsthetische Bildung in der Grundschule. In: Spinner, K.H. (Hrsg.): SynÄsthetische Bildung in der Grundschule. Eine Handreichung für den Unterricht. Donauwörth, 9-15.
- Landwehr, B., Mammes, I. & Murmann, L. (2021) (Hrsg.): Technische Bildung im Elementar- und Primarbereich. (Forschungen zur Didaktik des Sachunterrichts, Bd. 11). Bad Heilbrunn.
- Leinhardt, G. & Steele, M. (2005): Seeing the Complexity of Standing to the Side: Instructional Dialogues. In: Cognition and Instruction, 23, 1, 87-163.
- Leuchter, M. & Saalbach, H. (2014): Verbale Unterstützungsmaßnahmen im Rahmen eines naturwissenschaftlichen Lernangebots in Kindergarten und Grundschule. In: Unterrichtswissenschaft, 42, 117-131.

- Müller, M. & Schumann, S. (2021): Technische Bildung. Stimmen aus Forschung, Lehre und Praxis. (Gespräche zum Sachunterricht, Bd. 1). Münster.
- Nießeler, A. (2015): Lebenswelt/Heimat als didaktische Kategorie. In: Kahlert, J., Fölling-Albers, M., Götz, M., Hartinger, A., Miller, S. & Wittkowske, S. (Hrsg.): Handbuch Didaktik des Sachunterrichts. 2. akt. und erweiterte Auflage. Bad Heilbrunn, 27-30.
- Nohl, A.-M. (2011): Ressourcen von Bildung. Empirische Rekonstruktionen zum biographisch situierten Hintergrund transformativer Lernprozesse. In: Zeitschrift für Pädagogik, 6, 911-927.
- Oevermann, U. (1996): Theoretische Skizze einer revidierten Theorie professionalisierten Handelns. In: Combe, A. & Helsper, W. (Hrsg.): Pädagogische Professionalität. Untersuchungen zum Typus pädagogischen Handelns. Frankfurt am Main, 70-182.
- Quehl, T. & Trapp, U. (2015): Wege zur Bildungssprache im Sachunterricht. Sprachbildung in der Grundschule auf der Basis von Planungsrahmen. Münster, New York.
- Renkl, A., Wittwer, J., Grosse, C., Hauser, S., Hilbert, T., Nückles, M. et al. (2007): Instruktionale Erklärungen beim Erwerb kognitiver Fertigkeiten: Sechs Thesen zu einer oft vergeblichen Bemühung. In: Hosenfeld, I. & Schrade, F.-W. (Hrsg.): Schulische Leistung – Grundlagen, Bedingungen, Perspektiven. Münster, 203-223.
- Roth, H. (1957): Pädagogische Psychologie des Lehrens und Lernens. 12. Aufl. Hannover.
- Royar, T. & Streit, C. (2010): MATHElino. Kinder begleiten auf mathematischen Entdeckungsreisen. Seelze.
- Sachse, P., Hacker, W. & Leinert, S. (2004): „Externes Denken“ beim Problemlösen – unterstützt das Skizzieren auch die Problemanalyse? In: Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie, 48, 193-202.
- Schmölzer-Eibinger, S. (2013): „Der Text war lang, sehr informativ und aufregend ... Sachtexte in der Zweitsprache verstehen und zusammenfassen“. In: Becker-Mrotzek, M. (Hrsg.): Didaktik der Sachtexte. In: Der Deutschunterricht, 6, 75-84.
- Schomaker, C. (2005): Sinnvolle Bildung im Sachunterricht. Über die didaktische Relevanz ästhetischer Zugangsweisen. In: [www.widerstreit-sachunterricht.de/Ausgabe Nr. 5/ Oktober 2005](http://www.widerstreit-sachunterricht.de/Ausgabe%20Nr.%205/Oktober%202005).
- Schönknecht, G. & Maier, P. (2012): Diagnose und Förderung im Sachunterricht. Kiel.
- Schopf, C. & Zwischenbrugger, A. (2015): Verständliche Erklärungen im Wirtschaftsunterricht: Eine Heuristik basierend auf dem Verständnis der Fachdidaktiker/innen des Wiener Lehrstuhls für Wirtschaftspädagogik. In: Zeitschrift für ökonomische Bildung, 3, 1-31.
- Schumann, S. & Favre, P. (2017): Erhebung kindlicher Präkonzepte und Analyse dialogischer Welterschließung. In: Favre, P. & Mathis, C. (Hrsg.): Naturphänomene verstehen. Zugänge aus unterschiedlichen Perspektiven in der Vorschul- und Primarstufe. Baltmannsweiler, 187-202.
- Schumann, S. (o.J.): Lernumgebungen (u.a. Elektrizität, Kugelschreiber). <https://www.fhnw.ch/plattformen/technik-stummfilme/lernumgebungen/> [22.12.2020].
- Schumann, S. (2015): Der Wert der originalen Begegnung. „Die wichtigste Voraussetzung für Bildung ist die Muße“. Interview: Jennifer Degen. In: Zoommagazin Basel, 18, 10-11.

- Schumann, S. (2018): Technik-Stummfilme. Online-Plattform für die Aus- und Weiterbildung von PädagogInnen, die Nutzung in Schulen und weitere Forschung. <https://www.fhnw.ch/plattformen/technik-stummfilme/> [25.01.2021]
- Schumann, S. (2019): Die Erforschung primärer Naturerfahrung. In: Schumann, S., Favre, P. & Mollenkopf, A. (Hrsg.): Green, Outdoor and Environmental Education. Sammelband zum ExpertInnen Workshop „Outdoor and Environmental Education“, Congressi Stefano Franscini, Monte Verità, Ascona. Aachen, 29-58.
- Schumann, S. (2021a): Technische Bildung. Die Entwicklung eines genetisch-sokratisch-exemplarischen Bildungsanlasses „Technik“ für die Primarstufe. In: Müller, M. & Schumann, S. (Hrsg.): Technische Bildung. (Gespräche zum Sachunterricht, Bd. 1). Münster, 41-68.
- Schumann, S. (2021b): Technische Ereignisse in Stummfilmen erschließen – eine Untersuchung der Bildungsprozesse von Kindern. In: Landwehr, B., Mammes, I. & Murmann, L. (Hrsg.): Technische Bildung im Elementar- und Primarbereich. Bad Heilbrunn. (Forschungen zur Didaktik des Sachunterrichts, Bd. 11).
- Schweiger, F. (1996): Die Sprache der Mathematik aus linguistischer Sicht. In: Müller, K.P. (für die GDM herausgegeben): Beiträge zum Mathematikunterricht. Hildesheim, 44-51.
- Thiel, B. (2009): Dialogisches Lernen im Unterricht. In: SPRECHEN – Zeitschrift für Sprechwissenschaft – Sprechpädagogik – Sprechtherapie – Sprechkunst, 47, 55-65.
- Tomczyszyn, E. & Kulgemeyer, C. (2016): Wie kann man eine verständliche Lehrererklärung vorbereiten? Ein Blick auf das adressatengemäße Erklären. In: Naturwissenschaften im Unterricht: Physik, 27, 152, 10-14.
- Treagust, D.F., Chittlerough, G. & Mamiala, T.L. (2002): Students' understanding of the role of scientific models in learning science. In: International Journal of Science Education 24, 4, 357-368.
- Wagenschein, M. (1923/1996): Über die Förderung der sprachlichen Ausdrucksfähigkeit durch den mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht. Hausarbeit für die Staatsprüfung für das höhere Lehramt. April 1996 herausgegeben vom Martin-Wagenschein-Archiv, Hasliberg Goldern.
- Wagenschein, M. (1975): Rettet die Phänomene! Erweiterte Fassung eines Vortrages auf der „Exempla 75“, Kongress; „Organismus und Technik“. München Ostern.
- Wagenschein, M. (1995): Die Pädagogische Dimension der Physik. 1. Neuauflage. Aachen-Hahn.
- Weich, M. & Eiglsperger, B. (2019): Das Erklären im Fokus. Zur Konzeption universitärer Lehrveranstaltungen im Rahmen des Forschungsprojekts FALKE. In: Kunz, R. & Peters, M. (Hrsg.): Der professionalisierte Blick. Forschendes Studieren in der Kunstpädagogik. München, 518-529.
- Zander, S., Hawlitschek, A., Seufert, R., Brünken, R. & Leutner, D. (o.J.): Psychologische Grundlagen des Lernens mit neuen Medien. Fernstudienlehrbrief Universität Rostock im Fernstudienengagement „Medien und Bildung“. Zentrum für Qualitätssicherung in Studium und Weiterbildung.