

Perspektiven einer die Schulsprachdidaktik und die Naturwissenschaftsdidaktik verknüpfenden Lehr- und Lernforschung – ein theoriebildender Essay

Christoph Gut

Zusammenfassung Naturwissenschaftliches Verständnis entsteht immer dann, wenn ein naturwissenschaftliches Konzept mit einem Phänomen der Natur kognitiv verknüpft wird. Ausgehend von dieser Definition des naturwissenschaftlichen Lerngegenstands werden im Beitrag die Rollen der verbalen Sprache im naturwissenschaftlichen Lehr- und Lernprozess als Medium der Vermittlung, als eigenständiger Lerngegenstand und als Indikator für Diagnosen analysiert. Auf der Basis dieser Analyse werden abschliessend Perspektiven für eine die Schulsprachdidaktik und die Naturwissenschaftsdidaktik verknüpfende Lehr- und Lernforschung skizziert.

Schlagwörter Naturwissenschaftsdidaktik – Schulsprachdidaktik – interdisziplinäre Fachdidaktik – Lehr- und Lernforschung

Perspectives for interdisciplinary research linking school-language education and science education

Abstract Scientific understanding arises when a scientific concept is cognitively linked to a phenomenon of nature. Based on this definition, the article analyses the roles of verbal language in science teaching and learning as a means of conveying and acquiring knowledge, as an independent learning object, and as an indicator for diagnoses. Finally, on the basis of this analysis, perspectives for interdisciplinary research that links school-language education and science education are outlined.

Keywords science education – school-language education – interdisciplinary subject-specific education

1 Vorbemerkung

Der vorliegende Beitrag ist die schriftliche Ausarbeitung eines Vortrags, der an der Sommertagung 2022 des Forschungsnetzwerks «Schulsprachdidaktik | nets21» gehalten wurde. Die Tagung hatte zum Ziel, im Rahmen des Netzwerks in Zusammenarbeit mit anderen Fachdidaktiken interdisziplinär-fachdidaktische Forschungsperspektiven zu entwickeln. Im Folgenden sollen ausgehend von der nicht selten referierten Idee, dass das Lernen der Naturwissenschaften mit dem Erlernen einer disziplinären Fachsprache verbunden sei, Perspektiven der forschungsbasierten Zusammenarbeit zwischen der Schulsprachdidaktik und der Naturwissenschaftsdidaktik skizziert werden. Dies erfolgt

in Form eines theoriebildenden Essays aus der Sicht der Naturwissenschaftsdidaktik in der Hoffnung, den Diskurs mit der Schulsprachdidaktik gewinnbringend anzuregen. Zuerst wird auf Möglichkeiten eingegangen, die aufzeigen, wie Fachdidaktiken als forschende Disziplinen zusammenarbeiten können. Dabei soll der Rahmen abgesteckt werden, in welchem die Suche nach Forschungsperspektiven stattfindet. Der zweite Teil stellt den naturwissenschaftlichen Lehr- und Lernprozess ins Zentrum. Das Wesen des naturwissenschaftlichen Lehr- und Lernprozesses wird charakterisiert und die Bedeutung der verbalen Sprache für diese Prozesse diskutiert. Die Darlegungen werden im abschliessenden Teil als Forschungsperspektiven für die Zusammenarbeit zwischen der Schulsprachdidaktik und der Naturwissenschaftsdidaktik zusammengefasst.

2 Interdisziplinäre Fachdidaktik: Ziele und Arten der Zusammenarbeit

Die Zusammenarbeit zweier Forschungsdisziplinen lässt sich unter verschiedenen Perspektiven kategorisieren (Huutoniemi, Thompson Klein, Bruun & Hukkinen, 2010). Eine für die Zwecke des Essays fruchtbare Analyse orientiert sich am Grad der Synthese, die durch die Zusammenarbeit zweier Forschungsdisziplinen erreicht wird (Heckhausen, 1972). Die Synthesegrade von Heckhausen (1972) werden in Tabelle 1 zu drei Stufen der Zusammenarbeit zusammengefasst.

Tabelle 1: Arten der interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen den Fachdidaktiken Schulsprache und Naturwissenschaften (vgl. Heckhausen, 1972)

	Zweck und Ausprägung	Beispiel
Disziplinenübergreifende Zusammenarbeit (vgl. «pseudo-interdisciplinarity» oder «auxiliary interdisciplinarity», Heckhausen, 1972)	Die Zusammenarbeit bezweckt, den Fachunterricht aus der Perspektive einer fachfremden Fachdidaktik zu erforschen. Dies erfolgt mit der Begrifflichkeit, den Theorien und den Methoden der fachfremden Fachdidaktik.	Messungen von Sprachkompetenzen im Naturwissenschaftsunterricht
Disziplinenverbindende Zusammenarbeit (vgl. «composite interdisciplinarity», Heckhausen, 1972)	Die Zusammenarbeit bezweckt, den Fachunterricht aus den Perspektiven verschiedener Fachdidaktiken zu erforschen. Dies erfolgt mit einer möglichst kohärenten Begriffs- und Theoriebildung zu gemeinsamen Forschungsgegenständen und/oder mit einer vergleichbaren Forschungsmethodik.	Interdisziplinärer Vergleich fachdidaktischer Konzepte
Disziplinenverknüpfende Zusammenarbeit (vgl. «unifying interdisciplinarity», Heckhausen, 1972)	Die Zusammenarbeit bezweckt, zu disziplinären Forschungsgegenständen durch die Integration disziplin-fremder theoretischer und methodischer Perspektiven innovative oder neuartige Forschungsansätze zu entwickeln und umzusetzen.	Untersuchungen zur Rolle der verbalen Sprache im naturwissenschaftlichen Lehr- und Lernprozess (vgl. Abschnitt 3)

Bei der disziplinenübergreifenden Zusammenarbeit wird ein Forschungsgegenstand aus den disziplinären Perspektiven verschiedener Fachdidaktiken untersucht, wobei die Ergebnisse der Untersuchungen in Bezug gesetzt werden. Zu dieser Art der Zusammenarbeit gehören beispielsweise Analysen des Textverständnisses im Naturwissenschaftsunterricht und von dessen Abhängigkeiten von allgemeinen Sprachkompetenzen und dem naturwissenschaftlichen Vorwissen (z.B. Cromley, Snyder-Hogan & Luciw-Dubas, 2010). Bei solchen Untersuchungen werden verschiedene Konstrukte gemessen, für die jeweils die isolierte Expertise entweder der Schulsprachdidaktik oder der Naturwissenschaftsdidaktik benötigt wird. Eine Integration der Expertise aus verschiedenen Fachdidaktiken ist grundsätzlich nicht notwendig. Die Zusammenarbeit zeichnet sich daher durch eine geringe Integration der Disziplinen aus.

Einen höheren Grad der Integration erfordert die disziplinenverbindende Zusammenarbeit, bei der verschiedene disziplinäre Perspektiven auf einen Forschungsgegenstand eingenommen werden. Eine kohärente Begriffs- und Theoriebildung oder eine gemeinsame standardisierte Forschungsmethodik wird dadurch unerlässlich. Diese Art der Zusammenarbeit kann in gegenüberstellender Weise (exemplarisch zum Thema «Argumentieren in den Fächern»: Budke, Kuckuck, Meyer, Schäbitz, Schlüter & Weiss, 2015), in vergleichender Weise (exemplarisch zum Thema «Unterrichtsqualität in den Fachdidaktiken»: Praetorius, Herrmann, Gerlach, Zülsdorf-Kersting, Heinitz & Nehring, 2020; Wilhelm, Rehm & Reinhardt, 2018) oder in integrierender Weise (exemplarisch zum kompetenzorientierten praktischen Unterricht in Biologie-, Chemie-, Physik- und Technikdidaktik: Gut & Tardent, 2023) erfolgen.

In der integrierenden Weise entsteht aus disziplinenverbindender Zusammenarbeit eine die Disziplinen verknüpfende Zusammenarbeit, aus der neuartige, innovative Ansätze zur Erforschung eines Forschungsgegenstands hervorgehen können. Für einen solchen innovativen Transfer ist das Forschungsmodell der Didaktischen Rekonstruktion beispielhaft, das in der Naturwissenschaftsdidaktik entwickelt (Kattmann, Duit, Gropengießer & Komorek, 1997) und von anderen Fachdidaktiken übernommen und adaptiert wurde (z.B. in der Geschichtsdidaktik: Mathis, 2015; in der Deutschdidaktik: Schmidt & Moschner, 2016). Die disziplinenverbindende und die disziplinenverknüpfende Zusammenarbeit bilden die zwei Pfeiler einer interdisziplinären Fachdidaktik, deren Ziel es ist, einerseits eine kohärente Lehre und eine kohärente Interpretation von fachdidaktischer Lehr- und Lernforschung zu entwickeln (Bayrhuber, 2017; Rothgangel, 2017) und andererseits gemeinsame Standards in der fachdidaktischen Forschung zu etablieren (z.B. im Bereich der Validierungspraxis von fachdidaktischen Messinstrumenten: Schreiber & Gut, 2020). Die Entwicklung der Fachdidaktiken zu eigenständigen akademischen Lehr- und Forschungsdisziplinen bringt immer differenziertere Modelle und Erkenntnisse zu Wirkweisen im Fachunterricht hervor. Mit der Spezialisierung gewinnt die Lehrpersonenbildung zwar an Prägnanz, verliert aber auch an Kohärenz (Reusser, 2018). Eine kohärente Lehrpersonenausbildung ist jedoch wichtig, damit sie

von den Lehrpersonen, die wie in der Schweiz üblich als Allrounderinnen und Allrounder mehrere Fächer unterrichten, auch angenommen wird.

In der Absicht, interdisziplinäre Forschungsperspektiven für die Schulsprach- und die Naturwissenschaftsdidaktik aufzuzeigen, fokussiert die Suche auf den Bereich der disziplinenverknüpfenden Zusammenarbeit. Die nachfolgenden Überlegungen beginnen mit einer Charakterisierung des naturwissenschaftlichen Verständnisses, das den zentralen Lerninhalt darstellt, und analysieren dann die Rollen der verbalen Sprache als Medium, Indikator und Gegenstand im naturwissenschaftlichen Lehr- und Lernprozess.

3 Überlegungen zum naturwissenschaftlichen Lehr- und Lernprozess

Naturwissenschaftliches Verständnis entsteht immer dann, wenn ein naturwissenschaftliches Konzept mit einem Phänomen der Natur kognitiv verknüpft wird (vgl. Evagorou & Osborne, 2010; Tiberghien, 2000). Eine Verknüpfung kann einerseits darin bestehen, dass das Phänomen mit dem Konzept beschrieben, eingeordnet, analysiert, vorhergesagt oder erklärt wird. Die Verknüpfung erfolgt dann als eine Art der «theory articulation»¹ (Ohlsson, 1992), bei der das Konzept im Sinne des Gegebenen Ausgangspunkt einer Argumentation ist (vgl. Gut & Tardent, 2021). Andererseits kann die Verknüpfung auch bedeuten, dass das Konzept mit dem Phänomen illustriert, exemplifiziert, plausibilisiert, begründet oder gerechtfertigt wird. In diesem Fall ist das Phänomen als das Gegebene Ausgangspunkt einer Argumentation. Ist die Verknüpfung fachlich adäquat, ist auch das Verständnis fachlich adäquat. Die kognitive Verknüpfung selbst ist Ausdruck eines mentalen Modells des Konzepts, das heisst einer kognitiven Struktur, die das Konzept mit verschiedenen Phänomenen verknüpft und es über diese Verknüpfungen intermediär mit anderen Konzepten verlinkt.

Naturwissenschaftliche Konzepte zeichnen sich durch die Eigenschaft aus, dass sie zwar einen verallgemeinernden, in der Linguistik als «generisch» bezeichneten Charakter haben, jedoch meist nur auf einen begrenzten Ausschnitt der Natur angewendet werden können. Die Anwendung auf die Phänomene dieses Naturausschnitts bedingt zudem eine Idealisierung der Phänomene. Sofern das Konzept die Qualität einer wissenschaftlichen Theorie besitzt, orientieren sich die kognitiven Verknüpfungen von Konzept und Phänomen an der Logik der Erkenntnisgewinnung, die Inhalte unterschiedlicher Qualitäten in Bezug auf Verallgemeinerung und empirische Überprüfbarkeit bewertet (vgl. epistemische Inhaltsebenen in Gut & Tardent, 2021).

Phänomen, Konzept und die Verknüpfung von beidem bilden den unteilbaren Nukleus eines verständnisorientierten Lerninhalts. Für den dazugehörigen Lehr- und Lernpro-

¹ Der Begriff «theory articulation» bezieht sich auf die kognitive Anforderung für Lernende, die sich stellt, wenn eine naturwissenschaftliche Theorie, die in Form von Konzepten, Gesetzen und Annahmen vorliegt, auf eine konkrete Situation in der Natur (Phänomen) angewandt werden soll.

zess ist die verbale Sprache unabdingbar: einerseits als *Medium der Vermittlung und Wissensaneignung*, andererseits als *Lerngegenstand* und *Indikator des Lernprozesses* (vgl. die vier Dimensionen der Sprache im naturwissenschaftlichen Unterricht in Schroeter-Brauss, Wecker & Henrici, 2018: Sprache als Mittel der Lern- und Arbeitsorganisation, als Mittel zur Darstellung von Wissen, als Mittel zur Wissensaneignung und als Lernziel). Auf die drei «Rollen» der verbalen Sprache wird in den folgenden Abschnitten separat eingegangen.

3.1 Verbale Sprache als Medium des Lehr- und Lernprozesses

Ein lernwirksamer Naturwissenschaftsunterricht soll kognitiv aktivieren (z.B. Brovelli, 2018). Hierzu ist es notwendig, dass alle drei Elemente eines Lerngegenstands explizit zur «Sprache» kommen. Im Naturwissenschaftsunterricht bedient man sich dafür vielfältiger Repräsentationsformen (Tabelle 2; vgl. Leisen, 2015). Für die Äusserung phänomenartiger Inhalte werden vor allem gegenständliche, bildliche und verbale Repräsentationsformen verwendet. Als Ergänzung dazu können auch symbolische und mathematische Darstellungen (z.B. symbolische Bezeichnungen wie Pfeile, Zahlen etc.) hinzugezogen werden. Die Äusserungen konzeptartiger Inhalte wiederum sind verbaler, symbolischer oder mathematischer Natur. Die Verknüpfung von Konzept und Phänomen selbst wird vorwiegend verbal geäussert, wobei auch hier symbolische und mathematische Darstellungsformen (z.B. Anwendungen von Schemata, Berechnungen) hinzugezogen werden können.

Tabelle 2: Repräsentationsformen und ihre Zwecke im naturwissenschaftlichen Lehr- und Lernprozess (vgl. Leisen, 2015)

		Repräsentationsformen von Wissensinhalten				
		gegenständlich	bildlich	verbal	symbolisch	mathematisch
Zweck: Repräsentationen als ..	Medium des Lehr- und Lernprozesses	z.B. Demonstrationsexperiment	z.B. Skizze als Homologmodell	z.B. Beschreibungen und Erklärungen eines Phänomens	z.B. Konstruktmodell zu einem Konzept	z.B. mathematische Anwendung eines Gesetzes
	Gegenstand des Lehr- und Lernprozesses	z.B. technische Konstruktion	z.B. wissenschaftliche Skizze	z.B. Fachsprache	z.B. elektrischer Schaltplan	z.B. Berechnung
	Indikator des Lehr- und Lernprozesses	z.B. Funktionalität eines experimentellen Aufbaus	z.B. Adäquatheit einer wissenschaftlichen Skizze	z.B. Adäquatheit einer Erklärung eines Phänomens	z.B. Korrektheit eines elektrischen Schaltplans	z.B. Korrektheit einer Berechnung

Um ein Phänomen und ein Konzept sachlogisch zu verknüpfen, sind im Unterricht verschiedene Kommunikationsprozesse erforderlich (vgl. Abbildung 1). Werden für die Beschreibungen der Phänomene und Konzepte beispielsweise nicht verbale Darstellungsformen genutzt, sollten zuerst die intendierten phänomenartigen und konzeptartigen Inhalte in den Darstellungen identifiziert (Schritt A1 und Schritt A2: Hardy, Jonen, Möller & Stern, 2004) und in die verbale Sprache übersetzt werden (Schritt B1 und Schritt B2). Erst dann können die Inhalte verknüpft werden (Schritt C). Die Schritte A1 und A2 sind wichtig, weil aus nicht verbalen Darstellungen der intendierte Inhalt selten offensichtlich und eindeutig hervorgeht. Inhalt eines dazu passenden Kommunikationsprozesses könnten beispielsweise die Subjektivität der menschlichen Wahrnehmungen (u.a. Millar, 1998), die Idealisierung des Phänomens oder konzeptseitig eine Modellkritik (u.a. Gut, Pflirter & Tardent, 2016) sein. Mit Schritt B sollten des Weiteren zwischen der Lehrperson und den Lernenden ein gemeinsames Vokabular und dazugehörige Bedeutungen für phänomenartige Inhalte (Schritt B1) und konzeptartige Inhalte (Schritt B2) etabliert werden. Erst dann ist die Verknüpfung mit Schritt C vermittelbar.

Die Schritte A bis C entsprechen einem transmissiven Lehr- und Lernprozess. In einem konstruktivistischen Lernverständnis ist ein vierter Schritt D erforderlich, um alternative Konzepte und Verknüpfungen, die die Lernenden mit in den Unterricht bringen oder im Unterricht ad hoc entwickeln, den von der Lehrperson angestrebten Zielkonzepten und Verknüpfungen gegenüberzustellen. Dieser Schritt stellt eine wesentliche Voraussetzung dar, damit «conceptual changes» (Vosniadou, 2013) stattfinden können.

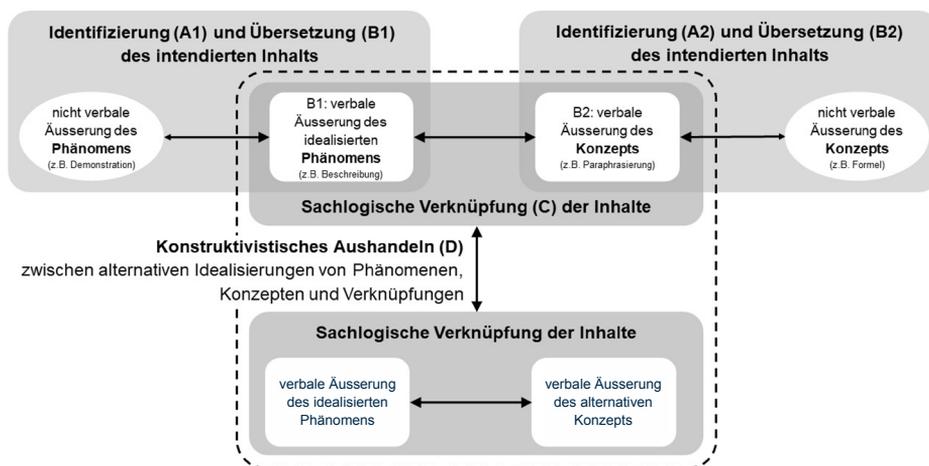


Abbildung 1: Mediale Funktionen der verbalen Sprache im naturwissenschaftlichen Lehr- und Lernprozess.

Es ist anzunehmen, dass die vier Kommunikationsprozesse für die Erfüllung ihrer medialen Funktionen spezifische sprachliche Anforderungen auf Wort-, Satz- und Textebene stellen (vgl. Sprachprobleme im sprachsensiblen Unterricht in Leisen, 2015). Die Be- und Umschreibung von Phänomenen (Schritt B1) erfolgt in erster Linie alltagssprachlich, wobei für die Idealisierung der Phänomene auf bildungssprachliche Begriffe oder eine ausgeschärfte, präzisierte Alltagssprache (Wagenschein, 1988) zurückgegriffen wird. Die Benennung von Konzepten (Schritt B2) erfordert darüber hinaus fachsprachliche Begriffe (u.a. Härtig, Bernholt, Prechtl & Retelsdorf, 2015; Pfäfflin & Schalk, 2020). Für die Übersetzung zwischen verschiedenen Darstellungsformen (Schritt B1 und Schritt B2), die Verknüpfung der naturwissenschaftlichen Gegenstände (Schritt C) sowie die Gegenüberstellung alternativer Verknüpfungen (Schritt D) werden zusätzliche bildungssprachliche Strukturen auf Satz- und Textebene benötigt, um argumentative, logische oder epistemologische Verknüpfungen sowie epistemische Bewertungen ausdrücken zu können (u.a. Gut & Tardent, 2021; Härtig et al., 2015; Wodzinski & Heinicke, 2018).

Die Identifizierung der Funktionen verbaler Sprache in unterrichtlichen verständnisbezogenen Kommunikationsprozessen ist nicht trivial, insofern verbale Äusserungen mehrere Funktionen gleichzeitig erfüllen können. Zudem können gleiche Wörter (Nomen, Verben, Adjektive) im Unterricht mit jeweils unterschiedlicher Bedeutung verwendet werden, beispielsweise indem mit einem Wort sowohl ein Phänomenbezug als auch ein Konzeptbezug hergestellt wird. Im folgenden Abschnitt soll diese «doppelte» Referenz an einem konkreten Beispiel illustriert werden.

3.2 Zur Semantik der Verben «fallen» und «sinken» im Physikunterricht

Ein elementares Phänomen ist der Prozess des Fallens. Im Kanon des Physikunterrichts kommt dieses Phänomen im Zusammenhang mit den zwei Verben «fallen» und «sinken» vor, wobei im Unterricht selbst beide Verben sowohl mit phänomenartiger als auch mit konzeptartiger Bedeutung verwendet werden. Dabei kann es je nach Gestaltung des Unterrichts in beiderlei Hinsicht Variationen in den Bedeutungen geben. Um die phänomenartige Bedeutung eines Begriffs zu klären, muss eruiert werden, mit welchen Phänomenen und mit welchen Oberflächenmerkmalen der Phänomene der Begriff im Unterricht in Bezug gesetzt wird. Beide Verben referieren im Physikunterricht auf Fallprozesse, das heisst auf Körper, die sich ohne festen Halt Richtung Erdoberfläche bewegen (vgl. Tabelle 3). Aus der bildungssprachlichen Perspektive besteht zwischen den Verben eine Hierarchie, die sich in den Definitionen gemäss Duden wie folgt ausdrückt: Das Sinken als «sich langsam senkrecht nach unten bewegen» (Dudenredaktion, 2003, S. 1456) ist in der eingeschränkten Situation des Physikunterrichts ein Spezialfall des Fallens, das als «durch seine Schwere aus einer bestimmten Höhe ... abwärts bewegt werden» (Dudenredaktion, 2003, S. 516) operationalisiert wird. Diese Hierarchie besteht unabhängig vom Umstand, dass sich die beiden Definitionen auf unterschiedliche Oberflächenmerkmale beziehen. Während der Duden das Fallen mit der Schwere des Körpers in Beziehung setzt, wird das Sinken mit Eigenschaften der

Bewegung verknüpft.² Die Äusserungen in Tabelle 3 entsprechen in diesem Sinne dem bildungssprachlichen Verständnis der beiden Verben nach Duden, wobei grundsätzlich in allen Äusserungen das Verb «sinken» durch das Verb «fallen» ersetzt werden könnte, ohne dass damit eine falsche Bedeutung entstünde. Umgekehrt ginge das nicht.

Tabelle 3: Phänomene zu den Verben «fallen» und «sinken» und deren Oberflächenmerkmale

		Oberflächenmerkmale des Phänomens				
		Körper erscheint	Medium	Bewegung erscheint		
Phänomenartige Äusserungen	«Ein Apfel fällt vom Baum.»	klein, leicht	Luft (gasförmig)	vertikal	beschleunigt	schnell $v_{max} = 35-40$ m/s
	«Wie schnell fällt ein Mensch vom Himmel?»	gross, schwer	Luft (gasförmig)	vertikal	gleichförmig	schnell $v_{max} = 55-140$ m/s
	«Wie schnell fällt man mit Fallschirm?»	gross, schwer	Luft (gasförmig)	vertikal	gleichförmig	langsam $v_{max} = 3-4$ m/s
	«Ein Stein sinkt auf den Grund des Sees.»	klein, leicht	Luft (gasförmig)	vertikal	gleichförmig	langsam $v_{max} = 1-3$ m/s
	«Ein Heissluftballon sinkt zu Boden.»	gross, leicht	Wasser (flüssig)	vertikal	gleichförmig	langsam $v_{max} = 1-2$ m/s
	«Ein Flugzeug sinkt auf eine tiefere Flughöhe.»	gross, schwer	Luft (gasförmig)	nicht vertikal	gleichförmig	schnell $v_{max} = 55-85$ m/s vertikal: langsam $v_{max} = 2-3$ m/s

Im Gegensatz zu den bildungssprachlichen Bedeutungen sind die Bezüge zu den Oberflächenmerkmalen aus der Sicht der Physik weder trivial noch eindeutig. Alle Beispiele in Tabelle 3 beziehen sich auf Körper, die in einem Medium fallen. Allen Bewegungen ist gemein, dass der Körper selbst zuerst eine Beschleunigungsphase durchläuft, während deren sich seine Geschwindigkeit der maximalen Fallgeschwindigkeit annähert. Wenn diese Fallgeschwindigkeit erreicht wird, verbleibt der Körper in einer gleichförmigen Bewegung, sofern sich weder am Medium noch am Körper etwas verändert. Das Verb «sinken» könnte demnach für spezielle Fallprozesse mit kleinen maximalen Fallgeschwindigkeiten verwendet werden. Jedoch ist in dieser Beziehung weder der

² Wegen der Passivkonstruktion erhält die Duden-Definition von «fallen» einen erklärenden Charakter. Mit der Schwere wird auf die Erdanziehung referiert, die den Fall verursacht. Die Duden-Definition als naturwissenschaftliche Äusserung ist daher eher konzept- als phänomenartig.

Sprachgebrauch im Alltag noch der Sprachgebrauch in der Bildungssprache (Lehrmittel) eindeutig. Obwohl die Fallschirmspringerin und der Fallschirmspringer in Luft, der Stein in Wasser und der Ballon und das Flugzeug im Sinkflug in vertikaler Richtung vergleichbar schnell fallen, werden die Bewegungen unterschiedlich qualifiziert. Dass eine Fallschirmspringerin oder ein Fallschirmspringer vorwiegend fällt und ein Stein in Wasser vor allem sinkt, wird letztlich auch durch das Curriculum gefestigt. Das Verb «sinken» kommt beim Themenkreis «Schwimmen und Sinken» explizit vor (u.a. Hardy et al., 2004), in anderen curricularen Kontexten des Physikunterrichts wird es jedoch selten verwendet. Das Verb «fallen» hingegen wird vor allem für die Beschreibung von Fallprozessen in Luft oder im Vakuum benutzt. Aufgrund des Curriculums werden die Verben «fallen» und «sinken» vor allem mit dem Medium in Bezug gebracht, wodurch disjunkte statt hierarchisch geordnete phänomenartige Bedeutungen der beiden Verben vermittelt werden. Die Korrektur dieser Bedeutungszuweisung wäre dann nur mit einem sprachsensiblen Unterricht möglich.

Ziel des Physikunterrichts ist es nun, dass die Lernenden die Verben «fallen» und «sinken» nicht nur in beschreibender Weise mit Oberflächenmerkmalen von Phänomenen in Beziehung setzen, sondern auch mit Konzepten, die auf die Phänomene angewendet werden. Durch den Konzeptbezug werden die beiden Verben Träger zusätzlicher Bedeutungen, die im Weiteren als konzeptartig bezeichnet werden. Um diesen Schritt im Einführungsunterricht zu erleichtern, wird empfohlen, Fachwörter oder Wortneuschöpfungen (didaktisierte Begriffe) zu nutzen, die in der Alltags- und Bildungssprache noch kaum prägnante oder ambivalente Bedeutungen haben (z.B. «Gepresstsein» statt «Druck»: Wodzinski, 2000), und sie mit konzeptartigen Bedeutungen zu besetzen. Gleichzeitig sollte die Begriffsvielfalt klein gehalten werden. Eine Möglichkeit bestünde deshalb darin, auf das Verb «sinken» im Physikunterricht als konzeptartigen Begriff zu verzichten und es höchstens als Begriff der Alltags- und Bildungssprache mit phänomenartiger Bedeutung zu besprechen (sprachsensibler Unterricht). *For the sake of argument* soll hier der andere Weg gegangen und die Frage gestellt werden, welche Bedeutung dem Verb «sinken» als Fachbegriff in Abgrenzung zu einem allgemeineren Fachbegriff «fallen» zukommen könnte. Um diese Frage beantworten zu können, ist eine fachliche Analyse der bisher diskutierten Phänomene erforderlich (vgl. Tabelle 4).

Tabelle 4: Phänomene zu den Verben «fallen» und «sinken» und deren physikalisch-konzeptionelle Eigenschaften

		Den Fall beschleunigende Kraft	Den Fall verzögernde Kräfte			Kraftsituation	Resultierende Kraft
			Strömungswiderstand	Statischer Auftrieb	Dynamischer Auftrieb		
Konzeptartige Äusserungen	«Ein Apfel fällt vom Baum.»	Erdanziehung	relevant	vernachlässigbar	nicht vorhanden	1-dimensional (vertikal)	Ungleichgewicht (Gleichgewicht)
	«Wie schnell kann ein Mensch vom Himmel fallen ?»	Erdanziehung	relevant	vernachlässigbar	nicht vorhanden	1-dimensional (vertikal)	Gleichgewicht
	«Wie schnell fällt man mit Fallschirm?»	Erdanziehung	relevant	vernachlässigbar	nicht vorhanden	1-dimensional (vertikal)	Gleichgewicht
	«Ein Stein sinkt auf den Grund des Sees.»	Erdanziehung	relevant	vernachlässigbar	nicht vorhanden	1-dimensional (vertikal)	Ungleichgewicht und Gleichgewicht
	«Ein Heissluftballon sinkt zu Boden.»	Erdanziehung	vernachlässigbar	relevant	nicht vorhanden	1-dimensional (vertikal)	(Ungleichgewicht) Gleichgewicht
	«Ein Flugzeug sinkt auf eine tiefere Flughöhe.»	Erdanziehung	relevant	vernachlässigbar	relevant	2-dimensional	(Ungleichgewicht) Gleichgewicht

In allen Beispielen, die in Tabelle 4 aufgeführt sind, ist die Erdanziehung die einzige Kraft, die den Fall antreibt. Dieser Kraft stehen maximal drei den Fall hemmende Kräfte entgegen: der statische Auftrieb, der von der Fallgeschwindigkeit unabhängig ist, sowie der dynamische Auftrieb und der Strömungswiderstand, die beide mit steigender Fallgeschwindigkeit zunehmen. In der Beschleunigungsphase des Falls sind die hemmenden Kräfte in der Summe kleiner als die antreibende Erdanziehungskraft. Der Körper befindet sich dynamisch im Ungleichgewicht. In der zweiten Phase des Falls, in der sich der Körper gleichförmig mit maximaler Fallgeschwindigkeit bewegt, halten sich die antreibende Kraft und die hemmenden Kräfte die Waage. Der Körper ist dynamisch im Gleichgewicht. Die maximale Fallgeschwindigkeit wiederum hängt von der Dichte des Mediums sowie von der Masse, der Grösse und der aerodynamischen Form des Körpers ab. Einen Spezialfall stellt das Flugzeug im Sinkflug dar, weil bei ihm nicht alle Kräfte vertikal ausgerichtet sind.

Das Verb «fallen» könnte nun im Unterricht als Fachbegriff verwendet werden, der auf die vollständige Fachanalyse in Tabelle 4 referiert. Es versteht sich aber von selbst, dass im Physikunterricht die konzeptartige Bedeutung des Begriffs zuerst einfach gehalten wird. Zum Beispiel könnte «fallen» in der Primarschule (Jahrgangsstufen 1 bis 6) zuerst dahingehend konzeptualisiert werden, dass es sich um Bewegungen handelt, deren Ursache die Erdanziehung ist. Auf der Sekundarstufe I (Jahrgangsstufen 7 bis 9) würde dann der Strömungswiderstand als Ursache für die gleichförmige Fallbewegung in der zweiten Phase des Falls thematisiert. Auf der Sekundarstufe II (Jahrgangsstufen 10 bis 12) könnten der statische und der dynamische Auftrieb im Kontext von Fallbewegungen miteinander berechnet werden. Das Verb «fallen» würde so im Verlauf des Physikunterrichts mit immer mehr Spalten von Tabelle 4 (von links nach rechts) in Bezug gesetzt, wodurch sich seine konzeptartige Bedeutung wandelte und erweiterte.

Für das Verb «sinken» bleibt neben dem breiten Bedeutungsfeld, dass das Verb «fallen» im Physikunterricht einnimmt, wenig Raum für eine eigenständige konzeptartige Bedeutung. In bestimmten fachlichen Situationen wird die gleichförmige Bewegungsphase des Fallprozesses als Sinken identifiziert. Zum Beispiel spricht man von der Sinkgeschwindigkeit und meint damit die maximale Fallgeschwindigkeit. Der Bezug zu einer langsamen Bewegung, wie dies die bildungssprachliche Bedeutung vorgibt, ist physikalisch-konzeptionell jedoch schwierig herzustellen. Die Ursache für eine geringe maximale Fallgeschwindigkeit ist je nach Beispiel eine andere: Der Stein sinkt in Wasser langsam, weil er eine geringe Masse hat und das Wasser eine grosse Dichte besitzt. Die Fallschirmspringerin oder der Fallschirmspringer sinkt langsam, weil der Fallschirm gross ist und eine aerodynamisch ungünstige Form einnimmt. Der Heissluftballon sinkt langsam, weil er einen grossen statischen Auftrieb hat, der der Erdanziehung entgegenwirkt. Die den Fall antreibende resultierende Kraft ist daher von Anfang an klein. Das Flugzeug schliesslich sinkt langsam, weil es einen grossen aerodynamischen Auftrieb erzeugt.

3.3 Verbale Sprache als Gegenstand des Lehr- und Lernprozesses

In den Naturwissenschaften bedingt das Fachlernen ein Sprachlernen (vgl. u.a. Leisen, 2015). Damit ein naturwissenschaftliches Verständnis aufgebaut werden kann, müssen Lernende den verschiedenen Kommunikationsprozessen des Interpretierens von nicht verbalen Darstellungen, des Beschreibens idealisierter Phänomene, des Fassens von Konzepten, des Verknüpfens von Phänomen und Konzept sowie des Gegenüberstellens verschiedener Verknüpfungen rezeptiv folgen können (vgl. Abschnitt 3.1). Dabei sind die Lernenden selbst Trägerinnen und Träger alternativer Bedeutungen von Begriffen und konzeptartigen Vorstellungen, weil sie Darstellungen individuell anders interpretieren, Demonstrationen individuell anders wahrnehmen oder zum Beispiel zwischen den verschiedenen Bedeutungen der Verben «fallen» und «sinken» nicht unterscheiden können. Deshalb müssen sie auch dazu befähigt werden, die genannten Kommunikationsprozesse produktiv mitzugestalten (vgl. die Sprachsituationen in Leisen, 2015).

Damit die Sprachaneignung gelingt, müssen die für diese Kommunikationsprozesse erforderlichen Sprachstrukturen auf Wort-, Satz- und Textebene vor dem Unterricht geklärt und mitgeplant werden. Schlüsselbegriffe sind, wie in der Fallanalyse in Abschnitt 3.2 exemplarisch dargelegt, zu identifiziert und deren phänomenartige und konzeptartige Bedeutungen sind im Rahmen einer Didaktischen Rekonstruktion zu klären (z.B. Rincke, 2010). Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass sich die Bedeutungen der Begriffe mit dem Unterricht weiterentwickeln. In diesem Sinne erfordert die Vermittlung von naturwissenschaftlichem Verständnis die Planung einer doppelten «learning progression», in der nicht nur die Entwicklung des Verständnisses der Lernenden im Sinne von Phänomen-Konzept-Verknüpfungen in Abhängigkeit von Unterrichtsinterventionen geplant wird (Shavelson & Kurpius, 2012), sondern auch die Sprachaneignung durch die Lernenden in Bezug auf Begriffe mit phänomenartigen und konzeptartigen Bedeutungen und weitergehende Sprachstrukturen mitgedacht wird.

3.4 Verbale Sprache als Indikator des Lehr- und Lernprozesses

Um den mentalen Modellen von Lernenden auf die Spur zu kommen, muss man herausfinden, wie die Lernenden Phänomene und Konzepte verknüpfen. Während der Phänomenbezug prinzipiell durch Zeigen in gegenständlicher oder bildlicher Form vermittelt werden kann (Wittgenstein, 1953), wird für die Erfassung des Konzeptbezugs und die Verknüpfung sowohl in der Schulpraxis als auch in der Forschung vorwiegend die verbale Sprache verwendet (Leisen, 2015). Alternativen bieten spezielle «performance assessments», wobei nicht verbale Repräsentationsformen als Indikatoren verwendet werden. Von der Qualität der in nicht verbaler Repräsentationsform vorliegenden Aufgabelösung wird dann auf die Adäquatheit der für die Lösung als ursächlich interpretierten mentalen Modelle geschlossen. Um in der Forschung die Zuverlässigkeit solcher Interpretationen abzuschätzen, werden die Assessments hingegen einer kognitiven Validierung unterzogen, für die wiederum verbale Kommunikation genutzt wird (Schreiber & Gut, 2022).

Das Gelernte kann somit nur insoweit diagnostiziert werden, als die Lernenden auch instande sind, es verbalsprachlich wiederzugeben. Sie tun dies in der Sprache des Unterrichts, sofern der Unterricht effektiv war. Es können daher prinzipiell nur Aussagen über die Effektivität eines Unterrichts gemacht werden, wenn die Bedeutungen, die die Lernenden den Begriffen zuschreiben, und die Phänomen-Konzept-Verknüpfungen, die die Lernenden vornehmen, mit den Bedeutungen und Verknüpfungen abgeglichen werden, wie sie im Unterricht vermittelt wurden. Aussagekräftige Wirksamkeitsforschung erfordert daher Tests, die ähnlich funktionieren wie der Test, den Alan Turing (1950) beschrieb, um feststellen zu können, ob das Denkvermögen einer künstlichen Intelligenz dem menschlichen Denkvermögen gleichwertig ist. Beim Test von Turing stellt eine Testperson über einen maschinellen Kanal ohne Sicht- und Hörkontakt einer künstlichen Intelligenz und einem Menschen Fragen, wobei sie über denselben maschinellen Kanal Antworten von beiden erhält. Kann die Testperson nach intensiver Befragung nicht sagen, welcher von den beiden Gesprächspartnern der Mensch ist, hat

die künstliche Intelligenz den Test bestanden. Beim fachdidaktischen Pendant werden in analoger Weise einer Lernenden oder einem Lernenden und der Lehrperson im begrenzten Themenbereich des zu untersuchenden Unterrichts Fragen gestellt, wobei die Lehrperson angehalten wird, die Fragen so zu beantworten, wie sie es von einer guten Lernenden oder einem guten Lernenden erwarten würde. Kann die Testperson nach intensiver Befragung aufgrund semantischer Analysen nicht sagen, wer von den Gesprächspartnerinnen und Gesprächspartnern die Lehrperson ist, hat die Lernende oder der Lernende den fachdidaktischen Turing-Test bestanden.

4 Perspektiven für eine die Disziplinen verknüpfende Lehr- und Lernforschung

Um ein besseres Verständnis der Ausprägungen und Bedingungen erfolgreicher und nicht erfolgreicher naturwissenschaftlicher Lehr- und Lernprozesse zu erhalten, sind Analysen und Untersuchungen erforderlich, die stoffdidaktische und sprachdidaktische Ansätze vereinen. Eine Perspektive einer solchen Zusammenarbeit besteht darin, Kommunikationsprozesse in Bezug auf ihre mediale Funktion zu differenzieren und Bedeutungswandlungen und Sprachaneignungen der Lernenden gemeinsam zu analysieren (vgl. Abschnitt 3.1). Idealerweise wird dies an thematisch sehr eng begrenzten, wiederholbaren Unterrichtsminiaturen mit wenigen Lernenden umgesetzt. Dabei sollen als zweite Perspektive Bedeutungs- und Sprachentwicklungen unterrichtsseitig den Bedeutungszuschreibungen und der Sprachaneignung lernendenseitig im Sinne einer doppelten «learning progression» gegenübergestellt werden. Die dritte Perspektive betont schliesslich den Gedanken, dass die Wirksamkeit von Unterricht nicht nur am naturwissenschaftlichen Verständnis, sondern auch an der Sprachaneignung der Lernenden gemessen werden soll. Beides sollte als Abgleich zur tatsächlichen stoffdidaktisch-sprachlichen Umsetzung des Unterrichts geschehen, die entweder durch Analysen der Kommunikationsprozesse oder in Form der Erwartungen der Lehrperson bestimmt werden könnte. Die kriteriale Fragen der Wirksamkeitsforschung könnte somit im Sinne des fachdidaktischen Turing-Tests lauten: Schafft es der Unterricht, dass die Lernenden nach dem Unterricht die Sprache des Unterrichts sprechen?

Literatur

- Bayrhuber, H.** (2017). Allgemeine Fachdidaktik im Spannungsfeld von Fachwissenschaft und Fachdidaktik als Modellierungswissenschaft. In H. Bayrhuber, U. Abraham, V. Frederking, W. Jank, M. Rothgangel & H. J. Vollmer (Hrsg.), *Auf dem Weg zu einer Allgemeinen Fachdidaktik* (S. 161–178). Münster: Waxmann.
- Brovelli, D.** (Hrsg.). (2018). *Wirksamer Physikunterricht*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Budke, A., Kuckuck, M., Meyer, M., Schäbitz, F., Schlüter, K. & Weiss, G.** (Hrsg.). (2015). *Fachlich argumentieren lernen: Didaktische Forschungen zur Argumentation in den Unterrichtsfächern*. Münster: Waxmann.

- Cromley, J. G., Snyder-Hogan, L. E. & Luciw-Dubas, U.A.** (2010). Reading comprehension of scientific text: A domain-specific test of the direct and inferential mediation model of reading comprehension. *Journal of Educational Psychology*, 102 (3), 687–700.
- Dudenredaktion.** (2003). *Duden. Deutsches Universalwörterbuch* (5. Auflage). Mannheim: Dudenverlag.
- Evagorou, E. & Osborne, J.** (2010). The role of language in the learning and teaching of science. In J. Osborne & J. Dillon (Hrsg.), *Good practice in science teaching* (S. 135–157). Maidenhead: Open University Press.
- Gut, C., Pflirter, H.A. & Tardent, J.** (2016). Modellkompetenz im Naturwissenschaftsunterricht – Förderung und Diagnose. In M. Naas (Hrsg.), *Kompetenzorientierter Unterricht auf der Sekundarstufe I* (S. 227–255). Bern: hep.
- Gut, C. & Tardent, J.** (2021). Argumentieren im Naturwissenschaftsunterricht – Förderung und Beurteilung einer Basiskompetenz für die Erkenntnisgewinnung. In H. Löttscher, M. Naas & M. Roos (Hrsg.), *Kompetenzorientiert beurteilen* (S. 324–355). Bern: hep.
- Gut, C. & Tardent, J.** (Hrsg.). (2023). *Naturwissenschaftlich-Technisches Handeln. Kompetenzmodell und praktische Lernaufgaben für die Sekundarstufe I*. Bern: hep.
- Hardy, I., Jonen, A., Möller, K. & Stern, E.** (2004). Die Integration von Repräsentationsformen in den Sachunterricht der Grundschule. In J. Doll & M. Prenzel (Hrsg.), *Bildungsqualität von Schule. Lehrerprofessionalisierung, Unterrichtsentwicklung und Schülerförderung als Strategien der Qualitätsverbesserung* (S. 267–283). Münster: Waxmann.
- Härtig, H., Bernholt, S., Precht, H. & Retelsdorf, J.** (2015). Unterrichtssprache im Fachunterricht – Stand der Forschung und Forschungsperspektiven am Beispiel des Textverständnisses. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 21, 55–67.
- Heckhausen, H.** (1972). Discipline and interdisciplinarity. In OECD (Hrsg.), *Interdisciplinarity: Problems of teaching and research in universities* (S. 83–89). Paris: OECD.
- Huotoniemi, K., Thompson Klein, J., Bruun, H. & Hukkinen, J.** (2010). Analyzing interdisciplinarity: Typology and indicators. *Research Policy*, 39 (1), 79–88.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H. & Komorek, M.** (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3 (3), 3–18.
- Leisen, J.** (2015). Fachlernen und Sprachlernen! Bringt zusammen, was zusammengehört! *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 68 (3), 132–137.
- Mathis, C.** (2015). *Irgendwie ist doch da mal jemand geköpft worden. Didaktische Rekonstruktion der Französischen Revolution und der historischen Kategorie Wandel*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Millar, R.** (1998). Rhetoric and reality: What practical work in science education is really for. In J. Wellington (Hrsg.), *Practical work in school science. Which way now?* (S. 16–31). London: Routledge.
- Ohlsson, S.** (1992). The cognitive skill of theory articulation: A neglected aspect of science education? *Science & Education*, 1 (2), 181–192.
- Pfäfflin, A. & Schalk, L.** (2022). Physikschulbücher unter der Lupe: Eine automatisierte Auswertung von Lehrtexten zum Thema Energie unter Einbezug von Expert*innenurteilen. In SUPSI (Hrsg.), *Die Entwicklung der Fachdidaktiken als wissenschaftliche Disziplinen in der Schweiz: Bilanz und Perspektiven. Tagungsband der 5. Tagung Fachdidaktiken* (S. 466–472). Bern: swissuniversities.
- Praetorius, A.-K., Herrmann, C., Gerlach, E., Zülsdorf-Kersting, M., Heinitz, B. & Nehring, A.** (2020). Unterrichtsqualität in den Fachdidaktiken im deutschsprachigen Raum – zwischen Generik und Fachspezifik. *Unterrichtswissenschaft*, 48 (3), 409–446.
- Reusser, K.** (2018). Allgemeine Didaktik – Quo vadis? *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 36 (3), 311–328.
- Rincke, K.** (2010). Alltagssprache, Fachsprache und ihre besonderen Bedeutungen für das Lernen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 235–260.
- Rothgangel, M.** (2017). Allgemeine Fachdidaktik im Spannungsfeld von Fachdidaktiken und Allgemeiner Didaktik. In H. Bayrhuber, U. Abraham, V. Frederking, W. Jank, M. Rothgangel & H.J. Vollmer (Hrsg.), *Auf dem Weg zu einer Allgemeinen Fachdidaktik* (S. 161–178). Münster: Waxmann.

- Schmidt, F. & Moschner, B.** (2016). «Fremde Schwestern» und «kritische Freundinnen» – Lehren und Lernen in einem interdisziplinären Promotionsprogramm in der Lehrerbildung. In I. Winkler & F. Schmidt (Hrsg.), *Interdisziplinäre Forschung in der Deutschdidaktik. «Fremde Schwestern» im Dialog* (S. 201–223). Berlin: Peter Lang.
- Schreiber, N. & Gut, C.** (2022). Die Validierungspraxis bei hands-on Experimentiertests in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Ein Review auf Basis eines allgemeinen Ordnungssystems für Validierungsstudien. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 28, Artikel 8, 1–22.
- Schroeter-Brauss, S., Wecker, V. & Henrici, L.** (2018). *Sprache im naturwissenschaftlichen Unterricht. Eine Einführung*. Münster: Waxmann.
- Shavelson, R. J. & Kurpius, A.** (2012). Reflections on learning progressions. In A. C. Alonzo & A. Wenk Gotwals (Hrsg.), *Learning progressions in science: Current challenges and future directions* (S. 13–26). Rotterdam: Sense.
- Tiberghien, A.** (2000). Designing teaching situations in the secondary school. In R. Millar, J. Leach & J. Osborne (Hrsg.), *Improving science education: The contribution of research* (S. 27–47). Buckingham: Open University Press.
- Turing, A. M.** (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, 59 (236), 433–460.
- Vosniadou, S.** (2013). *International handbook of research on conceptual change* (2. Auflage). New York: Routledge.
- Wagenschein, M.** (1988). *Naturphänomene sehen und verstehen*. Stuttgart: Klett.
- Wilhelm, M., Rehm, M. & Reinhardt, V.** (2018). Das Transversale und das Spezifische von wirksamem Fachunterricht – Ansätze einer Allgemeinen Fachdidaktik. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 36 (3), 329–343.
- Wittgenstein, L.** (1953). *Philosophical investigations*. New York: Macmillan.
- Wodzinski, R.** (2000). Zustandsgrösse Druck. Zur Einführung des Druckbegriffs in der Sekundarstufe I. *Naturwissenschaften im Unterricht: Physik*, 11 (57), 32–34.
- Wodzinski, R. & Heinicke, S.** (2018). Sprachbildung im Physikunterricht. Unterricht gestalten zwischen Fachsprache, Bildungssprache und Sprachförderung. *Naturwissenschaften im Unterricht: Physik*, 29 (165/166), 4–11.

Autor

Christoph Gut, Prof. Dr., Pädagogische Hochschule Zürich, christoph.gut@phzh.ch