

CHRISTOPH KULGEMEYER UND HORST SCHECKER

## Kommunikationskompetenz in der Physik: Zur Entwicklung eines domänenspezifischen Kommunikationsbegriffs

Physics Communication Competence:  
on the development of a domain-specific concept of communication

### Zusammenfassung

Das in den deutschen Bildungsstandards verwendete Konzept von „Kommunikation“ – einer der vier Kompetenzbereiche aller Naturwissenschaften – ist unscharf und theoretisch nicht fundiert. Es fehlt bisher eine theoretische Grundlage als Voraussetzung für empirische Untersuchungen zur Kommunikationskompetenz. Auf Grundlage eines konstruktivistischen und eines psycholinguistischen Kommunikationsmodells entwickeln wir ein Kompetenzmodell für physikalische Kommunikationskompetenz, das den Anforderungen an einen domänenspezifischen Kompetenzbegriff gerecht wird. Es enthält zwei Dimensionen (Perspektive, Aspekt), welche die Breite des Sachverhalts abbilden und eine Dimension (kognitiver Beiwert), die eine Kompetenzstufe beschreiben kann. In einer Pilotstudie konnte mit diesem Wert die Lösungshäufigkeit von Testaufgaben befriedigend aufgeklärt werden. Im vorliegenden Aufsatz liegt der Fokus auf den theoretischen Grundlagen. Die Bezugnahme auf Anlage und Ergebnisse explorativer Pilotstudien dient zur Veranschaulichung der Umsetzung des empirischen Forschungsansatzes. Schlüsselwort: Bildungsstandards, Kompetenz, Kommunikation, Kommunikationskompetenz

### Abstract

The Germany Educational Standards comprise “communication” as one of the four areas of scientific competence. However, “communication” in or about science has neither been established theoretically as a domain-specific construct nor has it been operationalized for empirical investigations. This paper introduces a model of communication competence for physics. It starts from constructivist and psycholinguistic models of communication. The competence model contains two dimensions describing the features of communication competence (perspective, aspect) and one dimension describing the competence level (cognitive coefficient). In pilot studies, this dimension was successfully applied to describe the difficulty of test items. Keywords: Educational Standards, Competence, Communication, Communication Competence

## 1 Einleitung

Sowohl in den Bildungsstandards als auch in den einheitlichen Prüfungsanforderungen für das Abitur wird ein Kompetenzbereich „Kommunikation“ formuliert. Als wesentliche Kompetenz wird aufgefasst „Informationen sach- und fachbezogen zu erschließen und auszutauschen“ (Leisen, 2005). Die Formulierung des Begriffs „Kommunikation“ aus Sicht der Physikdidaktik ist – zumindest bezogen auf

die Kommunikation von Schülern über Physik – bislang ein theoretisches Desiderat. Es ist weder eine klare Definition vorgenommen worden, noch ist der Anschluss an andere Wissenschaften, die sich mit unterschiedlichen Facetten von Kommunikation beschäftigen, gelungen. Die zunächst geplante Ausklammerung des Kompetenzbereichs Kommunikation bei der Evaluation der Bildungsstandards

für die Naturwissenschaften im Jahr 2012 verweist auf die ungeklärte Frage der Operationalisierung.

Im vorliegenden Aufsatz wird eine theoretische Fundierung des Konstrukts und daraus folgend eine Umsetzung in empirischen Studien vorgeschlagen. Bezugspunkte sind ein konstruktivistisches Kommunikationsmodell und Ergebnisse zu kognitiven Prozessen bei der Sprachproduktion. Dazu werden kommunikationswissenschaftliche und psychologische Überlegungen herangezogen. Wir zeigen, wie sich Kommunikation in ein Modell physikalischer Kompetenz – hier das Bremen-Oldenburger Kompetenzmodell – integrieren lassen. Aus den allgemeinen Kommunikationsmodellen wird sukzessive ein domänenspezifisch-physikalischer Kommunikationsbegriff entwickelt. Es soll gezeigt werden, dass physikalische Kommunikationskompetenz nicht nur die Kommunikation über physikalische Themen umfasst, sondern auch spezifisch physikalische Weisen zu kommunizieren existieren. Die Resultate werden mit konkreten Testaufgaben verdeutlicht, die in einer empirischen Untersuchung zur Exploration der Graduierung dieses Kompetenzbereichs zum Einsatz kommen. Der Aufsatz hat also den wesentlichen Anspruch, ein empirisch umsetzbares und theoretisch fundiertes Modell domänenspezifisch-physikalischer Kommunikationskompetenz vorzuschlagen. Dazu gehören zwei wesentliche Punkte:

1. Die ausführliche Darstellung der theoretischen Grundlagen des Modells
2. Die Vorstellung des Modells selbst sowie seiner Bezüge zu allgemeinen Theorien.

## 2 Zum Kommunikationsbegriff

„Kommunikation“ ist ein sowohl in der Alltagssprache als auch in der Wissenschaft häufig verwendeter Begriff. Merten (1977) listet 160 verschiedene Definitionen auf, die

sich zum Teil gravierend unterscheiden und es kann davon ausgegangen werden, dass seitdem einige dazu gekommen sind. Zwei unterschiedliche Faktoren von Kommunikation wurden besonders intensiv behandelt: zum einen Kommunikation als soziales Phänomen (*zweiseitig*, d. h. *mehrere Individuen betreffend*) und zum anderen die Frage, was einen Menschen dazu befähigt, sich mitzuteilen und Information auszutauschen (*einseitig*, d. h. *nur ein Individuum betreffend*) (Merten, 1977, 41). Habermas vertritt die zweiseitige Komponente beispielsweise in seinem Hauptwerk „Theorie des kommunikativen Handelns“ und versteht die Sprache bzw. die zwischenmenschliche Kommunikation als Fundament einer Gemeinschaft und die Verständigung als Mittel, um eine ideale, herrschaftsfreie und gleiche Gesellschaft zu erreichen (Habermas, 1995). Er führte den Begriff *kommunikative Kompetenz* ein (Habermas, 1971) und beschrieb sie als „die Fähigkeit eines (verständigungsbe-reiten) Sprechers [...] einen wohlgeformten (d. h. grammatischen Regelsystemen entsprechenden Satz) in Realitätsgefüge einzubetten“ (Burkart, 2002). Den anderen Pol repräsentiert Shannon, der die nachrichtentechnisch bedeutsame Frage untersuchte, wie viel Rauschen eine kodierte Nachricht maximal verzerren darf, um sie wieder re-kodieren zu können. Shannon verknüpft damit den Entropiebegriff und den Informationsbegriff (Shannon, 1948). Sein Sender-Empfänger-Modell der Kommunikation wird zum Teil heute noch verwendet und auf den Informationsaustausch von Menschen bezogen. Während es Habermas um das Verständnis geht, nimmt Shannon Bezug auf bloße, berechenbare Information, deren Bedeutungsinhalt er wissentlich ignoriert: „These semantic aspects of communication are irrelevant to the engineering problem“ (Shannon, 1948, 379).

Zwischen diesen beiden Polen liegen einige Modelle von Kommunikation, die auf dem Verständnis sprachlicher Zeichen beruhen (z. B. Schaff, 1968), kognitive Vorgänge der Sprachproduktion betrachten (z. B. Dietrich,

2007) oder die systemtheoretische Formulierung der Ausbildung sozialer Systeme darstellen (Luhmann, 1972). Dazu kommt das in der Literaturwissenschaft einflussreiche Modell von Jakobson (1970) oder auch die fünf Axiome der Kommunikation im Modell von Watzlawick et al. (1972). Bei diesen Modellen steht die Bedeutung der Nachricht im Vordergrund. Vor diesem Hintergrund sind sie von grundlegend anderem Charakter als das Modell von Shannon.

Dieser kurze Abriss kann selbstverständlich bei weitem nicht alle Aspekte des Verständnisses von Kommunikation abdecken. Es zeigt sich jedoch bereits in dieser Übersicht, dass die Physikdidaktik – und die Naturwissenschaftsdidaktik allgemein – im Kontext der Bildungsstandards mit dem Kommunikationsbegriff bislang zu oberflächlich umgeht und die vielfältige Verwendung des Begriffs in anderen Disziplinen nicht beachtet. Im nächsten Abschnitt legen wir die Verwendung des Kommunikationsbegriffs in den nationalen Bildungsstandards Physik dar. Zur genaueren Beschreibung des Konstrukts werden im Anschluss zwei Ansätze aus Kommunikationswissenschaft und Psychologie vorgestellt, die zur Entwicklung eines domänenspezifisch-physikalischen Kommunikationsbegriffs geeignet sind. Das resultierende Kommunikationsmodell ist dabei als eines unter vielen möglichen zu verstehen, wird jedoch durch seine Leistungsfähigkeit gerechtfertigt.

## 2.1 Der Kommunikationsbegriff der Bildungsstandards

In der Physikdidaktik hat der Begriff „Kommunikation“ durchaus Tradition. Er wird häufig im Zusammenhang mit sozialen Lernformen im Physikunterricht verwendet und als Argument für deren Sinn angeführt. Der theoretische Rahmen des sozial-kommunikativen Konstruktivismus ist hier ein wichtiger Bezugspunkt (Labudde, 2000). Geprägt ist die Verwendung der Terminus „Kommunikation“ also von einem vorrangig

sozialen Verständnis – teilweise vermengt mit dem Begriff „Kooperation“ – oder im Zusammenhang mit dem Erlernen bzw. der Verwendung von Fachsprache (Rincke, 2007). Der Kommunikation über fachbezogene Sachverhalte wird im Lernprozess eine hohe Bedeutung zugemessen. Als ein weiterer Aspekt wird die Fähigkeit erforscht, physikalisch *argumentieren* zu können (z. B. Kraus & von Aufschnaiter, 2005; Driver, Newton & Osborne, 2000; Bricker & Bell, 2008; Zeidler, Osborne, Erduran, Simon & Monk, 2003); Argumentation kann teilweise auch unter kommunikativen Gesichtspunkten betrachtet werden.

Die Bildungsstandards (KMK, 2005) führen konsequenterweise „Kommunikation“ als einen der vier Kompetenzbereiche auf. Dabei verbinden sie – anders als beispielsweise die einheitlichen Prüfungsanforderungen für das Abitur (EPA) (KMK, 2004) – sowohl den aktiven Prozess des Austauschs über physikalische Fragen als auch die Informationsentnahme aus verschiedenen fachbezogenen Quellen. Die EPA und in Übereinstimmung damit das Bremen-Oldenburger Kompetenzmodell berücksichtigen nur die aktive Komponente der Kommunikation (Theyßen, Schmidt, Einhaus & Schecker, 2007). In den Bildungsstandards wird der Kompetenzbereich in drei qualitativ unterschiedliche Anforderungsbereiche zergliedert, die man in erster Näherung als Kompetenzstufen auffassen könnte.

Dazu beschreiben die Bildungsstandards sieben Regelstandards, die nach mit dem mittleren Bildungsabschluss erreicht worden sein sollen: „Die Schülerinnen und Schüler ...

K1 tauschen sich über physikalische Erkenntnisse und deren Anwendungen unter angemessener Verwendung der Fachsprache und fachtypischer Darstellungen aus,

K2 unterscheiden zwischen alltagssprachlicher und fachsprachlicher Beschreibung von Phänomenen,

K3 recherchieren in unterschiedlichen Quellen,

- K4 beschreiben den Aufbau einfacher technischer Geräte und deren Wirkungsweise,  
 K5 dokumentieren die Ergebnisse ihrer Arbeit,  
 K6 präsentieren die Ergebnisse ihrer Arbeit adressatengerecht,  
 K7 diskutieren Arbeitsergebnisse und Sachverhalte unter physikalischen Gesichtspunkten.“ (KMK, 2005, 12)

Diese geforderten Regelstandards sind jedoch – wie auch die anderen Kompetenzbereiche der Bildungsstandards – nicht empirisch abgesichert, sondern Teil eines normativen Kompetenzmodells (Schecker & Parchmann, 2006). Im Bereich der Kommunikation kommt dazu noch eine mangelnde theoretische Absicherung, da an keiner Stelle Erkenntnisse über Kommunikation aus anderen Wissenschaften herangezogen werden – es werden keine Quellen genannt, aus denen sich die Relevanz der Standards belegen lässt. Die spezifische Bedeutung des Kompetenzbereichs für *fachbezogenes* Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften wird nicht hinreichend deutlich. Mit anderen Worten: Es lässt sich nicht ohne Weiteres erkennen, warum Kommunikation wirklich eine domänenspezifische Kompetenz darstellt, die typisch physikalische Aspekte hat, und warum es sich nicht um eine fachunabhängige Schlüsselqualifikation handelt.

In der Biologiedidaktik befassen sich Nerdel und Precht mit dem Kompetenzbereich (Bayrhuber, 2007). Sie schlagen ein von Bromme abgewandeltes Kommunikationsmodell im Sinne von Clark vor (Bromme & Jucks, 2001; Bromme, Jucks & Rambow, 2004). Danach sei Kommunikation eine Abstimmung von Einzelaktionen mindestens zweier Kommunikationspartner (Clark, 1996), die nur im Rahmen eines geteilten Bezugsrahmens (*common ground*) erfolgreich sein könne (Bromme & Jucks, 2001). Bei der Kommunikation zwischen Experten und Laien ist dieser gemeinsame Bezugsrahmen naturgemäß klein, sodass hier Probleme zu erwarten sind. Für die Physik-

didaktik ist dieser Ansatz noch nicht ausgearbeitet. Er integriert kognitive Prozesse bei der Kommunikation eines der Kommunikationspartner und die zur erfolgreichen Kommunikation notwendigen Bedingungen, beschreibt jedoch bislang nicht die Besonderheit naturwissenschaftlicher, also *domänenspezifischer*, Kommunikation. Das Fachbezogene der Kommunikation könnte auch ausschließlich darin bestehen, den *common ground* – und damit das geteilte fachliche Wissen – möglichst groß zu halten. Die eigentliche Kommunikationsfähigkeit könnte dann auf dieser Basis allgemein und fachunabhängig zum Tragen kommen.

Um die Kompetenzen eines Individuums im Bereich „Kommunikation“ beschreiben zu können, müssen sowohl die individuellen, kognitiven Prozesse des aktiv Kommunizierenden als auch die zum Erfolg notwendigen Bedingungen mit den Besonderheiten domänenspezifischer Kommunikation vereinbart werden. Dazu werden im folgenden Abschnitt zwei Modelle vorgestellt, die beide Bereiche abdecken. Daraus wird dann ein domänenspezifischer Kommunikationsbegriff entwickelt.

## 2.2 Aspekte des Kommunikationsbegriffs in Psychologie und Kommunikationswissenschaft

### 2.2.1 Ein konstruktivistisches Kommunikationsmodell

Wir ziehen konstruktivistische Kommunikationsmodelle (Rusch, 1999) heran, da der Konstruktivismus eine wichtige erkenntnistheoretische Basis aktueller didaktischer Forschung darstellt. Er spielt aber auch in der Kommunikationswissenschaft selbst eine bedeutende Rolle (Großmann, 1999). Dieser Ansatz ist hilfreich, um den *Prozess* der Kommunikation zu analysieren. Darauf aufbauend können Testformate entwickelt werden (z. B. Rollenspielsituationen, die physikalische Kommunikation nachbilden).

Rusch (1999) stellt ein gängiges Kommunikationsmodell vor, das auf konstruktivistischen Annahmen beruht. Dabei stehen nicht die kognitiven Prozesse, die das Individuum vornehmen muss, im Fokus des Interesses, sondern die für den Informationsaustausch zwischen Individuen notwendigen Bedingungen. Bei einem behavioristischen Modell wie z. B. von Shannon (1948) sind Sender, Empfänger und Kanal die konstitutiven Bestandteile. Im konstruktivistischen Modell sind Sender und Empfänger nur noch voneinander weitgehend unabhängige *Kommunikatoren* und *Beobachter*. Der direkte Kanal zwischen beiden fällt weg. Rusch (1999) fasst den Begriff der Kommunikation in Anlehnung an Maturanas Theorie sprachlichen Verhaltens als „Orientierungsaktion“ (Rusch, 1999, 166) auf, die der Kommunikator dem Beobachter gegenüber zu erbringen habe – er müsse ihn innerhalb dessen kognitiven Bereichs auf Interaktion hin orientieren. Kommunikation sei also das Handeln von Kommunikatoren (Rusch, 1999, 170), die mehr oder weniger spezifische Angebote in Form von *Kommunikaten* schaffen.

Der Gesamtprozess zerfällt somit in zwei Teilprozesse: Das Handeln des Kommunikators und das Handeln des Beobachters. Beide sind dabei eigenständige Akteure, die unter ihren eigenen präpositiven Faktoren (Wissen, soziales Umfeld...) bezogen auf den anderen handeln. Kommunikatoren machen spezifische Angebote, die sie mit Kommunikateigenschaften ausstatten (thematische, referentielle und stilistische Eigenschaften; dies entspricht dem Inhalt). Sie produzieren dazu Kommunikatbasen (Bilder, Schrift, gesprochene Sprache). Beide zusammen, Kommunikatbasis und Inhalt, bilden ein *Kommunikat*. Es bleibt bei dem Prozess unklar, ob und wie das als Angebot wahrgenommene Kommunikat angenommen wird. Wesentlich ist, dass der Beobachter aufmerksam sein muss, damit die Kommunikation gelingt – bei klassischen Sender-Empfänger-Modellen ist das Handeln des Empfängers noch unerheblich. In

diesem Modell wird erst durch das Handeln des Beobachters eine aktive Kopplung hergestellt. Ob er zum Rezipienten wird, hängt vor allem von der Attraktivität des Angebots, sozialen Erfahrungen und Wissensstrukturen ab. In diesem Ansatz kommt der konstruktivistische Grundgedanke, Informationen könnten nicht direkt übertragen werden, klar zum Ausdruck. Erfolgreiche Kommunikation ist nach Rusch (1999, 173) immer dann gegeben, wenn der Kommunikator dem Kommunikationspartner Verstehen zuschreiben kann. Dabei ist Verstehen die für den Kommunikator befriedigende Orientierung des Kommunikationspartners auf die Intention des Kommunikators hin (Rusch, 1999, 167-173).

### 2.2.2 Kognitive Prozesse bei der Sprachproduktion

In dem im Folgenden vorgestellten Modell werden die kognitiven Voraussetzungen eines Individuums für erfolgreiche Kommunikation mit Mitteln der Psychologie beschrieben. Dieser Ansatz führt zu einer systematischen Beschreibung der kognitiven Prozesse, die der Kommunikator vornehmen muss, um ein geeignetes Kommunikationsangebot zu schaffen. Die Interaktion zwischen Kommunikator und Adressat im Prozess der Kommunikation bleibt hingegen – anders als im konstruktivistischen Modell – ausgeblendet. Deshalb ist dieser Ansatz hilfreich für die Konstruktion schriftlicher Testaufgaben zur Messung der Kommunikationskompetenz eines Kommunikators.

In der Psycholinguistik wurden aufgrund theoretischer Überlegungen und empirischer Befunde (z. B. zu Sprachfehlern und Versprechern) Erkenntnisse zu den kognitiven Schritten gesammelt, die zur Sprachproduktion notwendigerweise durchlaufen werden müssen. Dietrich (2007) gruppiert diese Schritte nach ihrer Funktion im Kommunikationsprozess. Er unterscheidet dabei zwischen den Äußerungen der einzelnen

Kommunikationsteilnehmer als *Turns* in einem Diskurs und somit streng zwischen Rezeption und Produktion. Aus psycholinguistischer Sicht ist die Vermengung von Informationsentnahme und aktiver Kommunikation, wie sie im Kompetenzmodell der Bildungsstandards vorgenommen wird, nicht ohne weiteres haltbar. Es ist Gegenstand aktueller Forschungsbemühungen, inwieweit sich die beiden Systeme überlappen – doch es lässt sich zeigen, dass zumindest weite Teile separat beschrieben werden müssen (Dietrich, 2007, 212 ff.). Dietrich (2007, 143) nennt folgende Gruppen von Prozessen bei der Sprachproduktion, die hier nur überblicksartig beschrieben werden können:

1. *Kommunikatives Planungssystem*. Ergebnis dieses Verarbeitungsinhalts ist eine Verbindung von Absicht der Kommunikation (z. B. erklären) und grobem Sachinhalt (Stutterheim, 1997).
2. *Konzeptualisierung*. Hier wird der Sachverhalt zunächst grob gegliedert. Dabei wird er in die Längen verbaler Äußerungen zerlegt (segmentiert) und in eine Reihenfolge gebracht (linearisiert). Das Resultat ist die *Repräsentation* des Sachverhalts. Anschließend wird der Sachverhalt nach Bedeutungseinheiten strukturiert und in sprachlich äusserbare Einheiten abgebildet (Levelt, 1989). Das Resultat dieses Vorgangs ist die begriffliche Repräsentation des Sachverhalts.
3. *Formulatorprozess*. Hier wird die begriffliche Repräsentation des Sachverhalts syntaktisch und in Lautäußerungen kodiert. Daran schließt sich direkte die Artikulation an.

Es zeigt sich, dass vor und während jeder Kommunikation sehr komplexe kognitive Prozesse zu durchlaufen sind. In Kapitel 3.4 soll gezeigt werden, wie sie sich auf domänenbezogen-physikalische Kommunikationskompetenz anwenden und als zur Lösung einer Testaufgabe notwendige Prozesse identifizieren lassen.

### 3 Ein Kommunikationsmodell für die Physikdidaktik

Für die Physiker ist Kommunikationsfähigkeit u.a. wesentlich, um physikalisches Wissen in Bewertungs- und Entscheidungsfindungsprozesse einbringen zu können. Zur Rechtfertigung eines eigenständigen Kompetenzbereichs „Kommunikation“ in Bildungsstandards der Physik kann also neben bildungstheoretischen Überlegungen auch eine kommunikationstheoretische Rechtfertigung herangezogen werden. Auch in der Kommunikationswissenschaft wird nämlich die Notwendigkeit erkannt, dass Wissenschaftler, in der Lage sein sollten, ihre Theorien der Gesellschaft zu vermitteln und ihr gegenüber zu vertreten (Großmann, 1999, 40).

Um physikalische Kommunikationskompetenz testen zu können, muss zunächst eine theoretische Grundlage des Konstrukts formuliert werden. Ein solches Kommunikationsmodell sollte sich aus einem allgemeinen Modell als Spezialfall ableiten lassen. Neben der Breite des Sachverhalts, also den Kernaspekten physikalischer Kommunikationskompetenz, sollte ein solches Modell auch eine Erklärung für die Schwierigkeit eines Kommunikationsvorgangs liefern und somit letztendlich die (relativen) Lösungshäufigkeiten von Testaufgaben vorhersagen können. Das Modell hätte dann – wie von Klieme et al. (2003) gefordert – eine hierarchisch gestufte Dimension. Die zugehörige Skala sollte von mindestens ordinaler Qualität sein.

Der Kommunikationsbegriff als solcher sollte darüber hinaus für die Modellierung physikalischer Kompetenz gewissen Beschränkungen unterworfen sein. Eine zu weitläufige Interpretation ergibt notwendigerweise Unschärfen. Außerdem ist der Anspruch auf Domänenbezug zu berücksichtigen, wie er den Bildungsstandards durch den Kompetenzbegriff Weinerts (Weinert, 2001) zugrunde liegt. Allgemeine Kompetenzen und somit auch allgemeine Regeln des sozialen Umgangs haben für ein Konstrukt spezifisch *physikalischer* Kommunikationskompetenz



keine Bedeutung. Aus diesen Überlegungen ergibt sich eine sehr pragmatische Auffassung physikalischer Kommunikationskompetenz, die sich am Erfolg der Kommunikation – also dem gegenseitigen Verstehen – misst: Physikalische Kommunikationskompetenz umfasst Fähigkeiten und Fertigkeiten, die notwendig sind, um physikalische Sachverhalte zu erklären. Dabei setzt *erklären* immer auch den Willen voraus, einem Kommunikationspartner Information näher bringen zu wollen. In dieser Definition ist also nicht nur der kognitive Aspekt („Fähigkeiten und Fertigkeiten“) des Weinertschen Kompetenzbegriffs enthalten, sondern auch der volitionale. Physikalische Kommunikationskompetenz drückt sich zum einen in der Fähigkeit aus, geeignete Kommunikate entwickeln und zum anderen in einem physikalischen Erklärungsprozess mit dem Adressaten interagieren zu können. Explizierbares Metawissen über die Bedingungen erfolgreicher Kommunikation ist aus unserer Sicht nachrangig. Wie das in Testsituationen abgebildet werden kann – insbesondere ob schriftliche Tests dies leisten können – ist eine anspruchsvolle Frage für die empirische fachdidaktische Forschung, der wir nachgehen werden (Kulgemeyer & Schecker, 2009). Die Fähigkeit zur Informationsentnahme wird bewusst ausgeklammert. Dieser Schritt steht in Übereinstimmung mit dem Bremen-Oldenburger Kompetenzmodell und dessen Unterscheidung zwischen den aktiven Komponenten von Kommunikation und der Informationsentnahme als Zusatzkodierung (Theyßen et. al, 2007). Ebenso folgt die Trennung konsequent dem psycholinguistischen Modell, dem zufolge Informationsentnahme und Sprachproduktion zumindest zu Teilen auf unterschiedlichen kognitive Prozesse beruhen.

In der Folge wird ein Modell domänenspezifischer Kommunikation für die Physik vorgestellt, das den formulierten Anforderungen genügt. Selbstverständlich sind andere Modelle denkbar. Das hier vorgestellte Modell zeichnet sich jedoch durch seine besondere theoretische Vernetzung und Operationali-

sierbarkeit aus. Auf Basis des Modells wurden im Rahmen eines größeren Projekts zur Testentwicklung bereits explorative Pilotuntersuchungen durchgeführt.

### 3.1 Theoretische Einführung in ein Modell domänenspezifischer Kommunikation für die Physik

Vor dem Hintergrund des unter Punkt 2.2.1 beschriebenen konstruktivistischen Kommunikationsmodells lässt sich erklären, welche Faktoren Einfluss darauf haben, ob ein Kommunikationsvorgang zum gegenseitigen Verständnis führen kann oder nicht. In Abbildung 1 ist ein Kommunikationsvorgang beispielhaft dargestellt. Der *Kommunikator* nimmt vor dem Hintergrund seines Vorwissens und seiner Einstellungen einen Sachinhalt wahr. Dieser Sachinhalt soll vor dem Hintergrund domänenspezifischer Kompetenz speziell physikalischer Natur sein. Dass er diesen Sachinhalt vor dem Hintergrund seiner Vorerfahrungen und Einstellungen wahrnimmt, heißt jedoch, dass er schon eine Interpretation des Sachverhalts vornimmt und eine Vorstellung von der Beschaffenheit des Sachverhalts hat. Ebenso hat er eine Vorstellung von den Bedürfnissen des Adressaten seiner Kommunikationsbemühungen. Hat er nun den Willen, über den Sachverhalt zu kommunizieren, so muss er zunächst die Aufmerksamkeit des Adressaten auf sich lenken. Dieser Adressat verhält sich wie ein Beobachter, der die Kommunikationsbemühungen des Kommunikators – wenn dieser seine Aufmerksamkeit erregt hat – zunächst betrachtet und zu jedem Zeitpunkt frei ist, sich dazu zu entscheiden, die Kommunikation abubrechen (was nach Watzlawick et al., 1972, natürlich auch eine Botschaft in sich trägt). Der Kommunikator kann sich in der Regel nur über einen speziellen Aspekt des Sachinhalts mitteilen. Nach konstruktivistischer Vorstellung gelingt es ihm nun nicht, diesen Aspekt (wie es beispielsweise bei Shannons Sender-Empfänger-Modell möglich wäre) direkt zu transportieren. Er

ist lediglich in der Lage ein *Kommunikat* zu schaffen, das aus der Verbindung des aspekthaften Sachinhalts mit einer Darstellungsform (z. B. einem bestimmten Diagramm) oder einem Medium besteht. Der Beobachter nimmt das Kommunikat nun als *Angebot* einer Mitteilung wahr und ist weiterhin frei in seiner Entscheidung, dieses Angebot abzulehnen. Der Kommunikator muss also ein Kommunikat schaffen, dessen Angebot attraktiv genug ist, um vom Adressaten angenommen zu werden. Die Attraktivität wird jedoch nicht nur durch das Kommunikat selbst bestimmt, sondern auch durch dessen Kontext sowie dessen Codierung. Je nachdem wie die Sprache – und damit der Code – gehalten ist, erscheint das Angebot des Kommunikats unterschiedlich attraktiv. Gerade die semantische Verschlüsselung spielt in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle, da hier die Eigenheiten von Wissenschaftssprache zum Ausdruck kommen (Burkart, 2002, 128). Wichtig ist hier die Fähigkeit des Kommunikators, die Interessen des Adressaten zu erkennen bzw.

einzuschätzen. Die Attraktivität des Angebots ist aus Sicht des Adressaten der situationaler Ausdruck seines Interesses.

Ist der Beobachter nicht in der Lage die Codierung zu entschlüsseln, weil er beispielsweise die Sprache nicht spricht oder wissenschaftliche Wendungen vor seinem Erfahrungshintergrund andere Bedeutungen haben als die vom Kommunikator implizierten, so erscheint ihm das Angebot unattraktiv und die Kommunikation hat wenig Aussicht auf Erfolg. Ebenso spielt der Kontext eine wichtige Rolle. Erscheint das Kommunikat durch den Kontext von Relevanz, beispielsweise durch Lebensweltbezug, so erscheint auch das Angebot attraktiv. Zusammenfassend lassen sich vier Aspekte feststellen, die die Attraktivität eines Angebots ausmachen und somit den Erfolg eines Kommunikationsvorgangs wesentlich bestimmen:

1. Der gewählte Sachaspekt (z. B. Dispersion)
2. Der Kontext, in den das Kommunikat „gehüllt“ ist (z. B. ein Regenbogen)

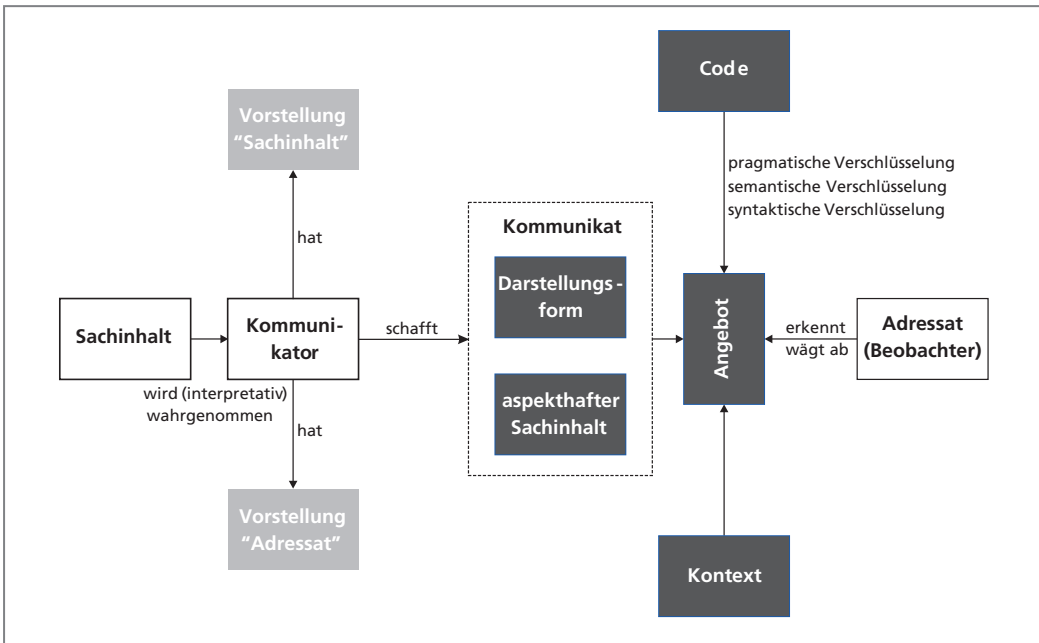


Abb. 1: Das verwendete konstruktivistische Kommunikationsmodell



3. Der Code, mit dem das Kommunikat verschlüsselt wurde (z. B. Fachsprache)
4. Die eventuell verwendete illustrierende graphische Darstellungsform (z. B. ein Strahlengang)

Für die genannten vier Kernaspekte soll gezeigt werden, wie sie sich als domänenspezifisch verstehen lassen (Kapitel 3.3).

Es ergibt sich direkt aus dem Kommunikationsmodell, dass der Kommunikator in einem Spannungsverhältnis zwischen seinen Vorstellungen den Sachinhalt und den Adressaten betreffend stehen kann. Die Auswahl der Sachaspekte im Kommunikat kann beispielsweise nach einer der Sache inhärenten Logik erfolgen oder auf das (vermutete) Interesse des Adressaten eingehen und somit die Attraktivität des Angebots erhöhen. Kommunikation um ihrer selbst willen – also rein am Aufrechterhalten der Kommunikationssituation interessiert – läuft jedoch Gefahr, inhaltsleer zu werden oder die Sachinhalte unter dem Primat der Attraktivität des Kommunikats sogar zu verfremden. Bezogen auf physikalische Sachinhalte kann beispielsweise nicht immer auf Mittel der Mathematik in der Darstellung verzichtet werden, obwohl der Adressat vielleicht an einer rein qualitativen Deutung interessiert ist. Es zeigt sich also, dass in dem skizzierten Kommunikationsmodell neben den Bedingungen für die Attraktivität eines Angebots zwei Perspektiven enthalten sind: zum einen eine im Wesentlichen am Sachinhalt orientierte Konstruktion des Kommunikats (*sachgerecht*) und zum anderen eine im Wesentlichen am Adressaten orientierte Konstruktion (*adressatengemäß*). Diese Perspektiven können in einem Spannungsverhältnis zu einander stehen, müssen es aber nicht. Die Differenzierung zwischen Sachgerechtigkeit und Adressatengemäßheit lässt sich sowohl in den Bildungsstandards als auch im Bremen-Oldenburger Kompetenzmodell wieder finden.

### 3.2 Zur Differenzierung der Kommunikationshaltungen „adressatengemäß“ und „sachgerecht“

Von dem verwendeten Kommunikationsmodell ausgehend können nun Definitionen vorgenommen werden, um einige zentrale Begriffe zu explizieren, die bei der Erfassung von Kommunikationskompetenz im Sinne der Bildungsstandards für die Naturwissenschaften zentral sind. Zunächst soll der Bereich der adressatengemäßen Kommunikation definiert werden.

1. „Adressatengemäßes“ Kommunizieren ist die Fähigkeit zur Konstruktion eines Kommunikats als ein Angebot, das attraktiv genug ist, um von dem Adressaten angenommen zu werden.

Zur näheren Ausgestaltung können aus dem Kommunikationsmodell vier Faktoren abgeleitet werden, die die Attraktivität eines angebotenen Kommunikats wesentlich beeinflussen.

Die Attraktivität eines angebotenen Kommunikats wird wesentlich beeinflusst durch:

- a. die Wahl eines Kontexts, der das Vorwissen und das Interesse des Beobachters berücksichtigt
- b. die Wahl eines für den Beobachter entschlüsselbaren Codes (insbesondere durch die angemessene Verwendung von Wissenschaftssprache)
- c. die Wahl einer Darstellungsform, die für den Beobachter entschlüsselbar ist, indem sie sein Vorwissen berücksichtigt
- d. die Wahl von zu kommunizierenden Aspekten des Sachinhalts, die das Vorwissen und das Interesse des Beobachters berücksichtigt

Für den Bereich der sachgerechten Kommunikation kann ebenfalls eine Definition dem Kommunikationsmodell folgend gesetzt werden.

2. „Sachgerechtes“ Kommunizieren ist die Fähigkeit, Sachinhalte fachlich adäquat, korrekt und konsistent sowie unter Berücksichtigung von fachlichen Konventionen in ein Kommunikat zu überführen.

Für sachgerechte Kommunikation können drei Faktoren gefunden werden, die wesentlich sind:

Ob die Konstruktion eines Kommunikats sachgerecht ist, wird wesentlich beeinflusst durch:

- a. die Wahl eines Codes, der fachlich adäquat, korrekt und konsistent ist sowie fachliche Konventionen berücksichtigt
- b. die Wahl einer Darstellungsform, die fachlich adäquat, korrekt und konsistent ist sowie fachliche Konventionen berücksichtigt
- c. die logische und fachlich angemessene Wahl von Sachaspekten als Argumenten

Diese Definitionen enthalten den Kommunikationsbegriff des an die Bildungsstandards anschließenden Bremen-Oldenburger Kompetenzmodells. Auf dieser Grundlage können für die oben genannten vier Aspekte, die Kommunikation wesentlich bestimmen (Kontext, Code, Darstellungsform, Sachaspekt), Testaufgaben für die sachgerechte und die adressatengemäße Kommunikationsperspektive entwickelt werden.

Es ist zu betonen, dass dieses Verständnis von physikalischer Kommunikationskompetenz prinzipiell für alle kommunizierenden Individuen anwendbar ist – insbesondere aber für Schülerinnen bzw. Schüler und natürlich ebenso auch für Lehrkräfte. Beide Gruppen unterscheiden sich insbesondere im Grad der

erwarteten Expertise. In Zusammenhang mit Bildungsstandards beziehen wir uns jedoch auf Schülerinnen und Schüler.

### 3.3 Vier Aspekte physikalischer Kommunikationskompetenz

Im Folgenden wird dargestellt, wie sich die vier Aspekte physikalischer Kommunikationskompetenz (Kontext, Code, Darstellungsform, Sachaspekt) als domänen-spezifische Kompetenz verstehen und mit den beiden Kommunikationsperspektiven (adressatengemäß, sachgerecht) zusammenführen lassen. Dazu wird jeder Aspekt mit einer Testaufgabe illustriert, um eine Vorstellung von der empirischen Umsetzung zu vermitteln. Diese Testaufgaben sind bereits in explorativen Pilotstudien verwendet worden und zielen auf Schülerinnen und Schüler am Ende der 10. Klasse. Für das Kompetenzmodell ist jede Kombination von Aspekt und Kommunikationshaltung durch Indikatoren formuliert worden, die es möglich machen, eine Testaufgabe zur physikalischen Kommunikationskompetenz dieser speziellen Kombination zuzuweisen. Dies geschieht in Anlehnung an das Verfahren nach Theyßen u.a. (2007). Sie konnten zeigen, dass es mithilfe eines indikatorenbasierten Einordnungsschemas möglich ist, bei Expertenbefragungen über Aufgabenmerkmale zufrieden stellende Einigkeit herzustellen.

#### 3.2.1 Kontext

Jeglicher Kontext, in den ein physikalischer Sachverhalt gestellt werden kann, muss not-



Abb. 2: Indikator für Testaufgaben, die den Kommunikationsaspekt „Kontext“ thematisieren

wendigerweise auch den Sachverhalt enthalten. Es bedarf daher keines gesonderten Indikators für die Zuordnung der Aufgabe im Hinblick auf Sachgerechtigkeit.

Wesentlich für den Aspekt „Kontext“ ist die Perspektive „adressatengerecht“. Ein Kontext muss – um ein Kommunikat als attraktives Angebot erscheinen zu lassen – den Interessen und dem Vorwissen des Beobachters entgegen kommen. Unterrichtsentwicklungsprojekte wie „Physik im Kontext (piko)“ (Duit et al., 2007) bauen auf ähnlichen Überlegungen auf. Eine Testaufgabe für diesen Bereich kann z. B. einen festen physikalischen Sachverhalt ohne Veränderung des Fachinhalts in verschiedene Kontexte stellen und dem Probanden die Wahl des Kontextes für einen speziellen Adressaten überlassen. Abbildung 3 zeigt eine Beispielaufgabe, die in diesem Zusammenhang pilotiert wurde. Als Adressatengruppen werden hier wie in allen folgenden Aufgaben zur adressatengemäßen Kommunikation Experten (hier: Maschinenbauingenieur), Laien (hier: 12-jährige Schwester) und – nach Krippendorffs oben erwähnter Forderung (Großmann, 1999) – die Öffentlichkeit (hier: Tageszeitungsartikel) verwendet.

### 3.2.2 Code / Text

Für den Kommunikationsaspekt „Code / Text“ ist wesentlich, dass die Wahl des sprachlichen Codes für kontinuierliche Texte, also Fließtexte wie Erzählungen oder Beschreibungen, erfolgt. Als domänenspezifische Kompetenz ist hier vor allem die Frage der semantischen Codierung von Interesse, also die Verwendung von Wissenschaftssprache in verschiedenen Formen. Alltags- und Wissenschaftssprache verwenden oftmals dieselben Vokabeln in unterschiedlichen begrifflichen Bedeutungen (bspw. „Kraft“). Es erfordert eine hohe Kommunikationskompetenz, um zu entscheiden, vor welchem Bedeutungshintergrund welche Vokabel wie gewählt werden muss, damit der Beobachter in der Lage ist, die Information des Kommunikats zu entschlüsseln. Um überhaupt Fachbegriffe von Alltagsbegriffen inhaltlich abgrenzen zu können, bedarf es natürlich auch des Fachwissens. Wenn es sich um die Entscheidung über die Verwendung physikalischer Fachvokabeln, erläuterter physikalischer Fachvokabeln oder Alltagssprache handelt, benötigt die Entscheidung *physikalische*

Im Internet suchst Du Texte, die die verschiedenen Arten der Wärmeausbreitung verdeutlichen. Du findest drei Texte, die fachlich richtig sind und sachkundig erstellt wurden.

**Text 1:** Dieser Text erläutert die Wärmeausbreitung anhand eines neuartigen Verbrennungsmotors. Dabei wird unter anderem beschrieben, wie der Motor gekühlt werden muss, damit er nicht überhitzt und die teure Neuentwicklung zerstört wird.

**Text 2:** Dieser Text erläutert die Wärmeausbreitung, indem er den Wärmehaushalt des menschlichen Körpers betrachtet. Dabei wird unter anderem beschrieben, warum eine Jacke physikalisch gesehen warm hält.

**Text 3:** Dieser Text erläutert die Wärmeausbreitung anhand der Dämmung von Neubauten. Dabei wird unter anderem beschrieben, welche Dämmstoffe den neuen Energieverordnungen entsprechen, die Hausbauer erfüllen müssen.

**Wähle jeweils einen Text aus, um Wärmeausbreitung zu erklären....**

	Text 1	Text 2	Text 3
1. ...für Nachhilfe bei Deiner 12-jährigen Schwester.	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
2. ...für einen Artikel in einer Tageszeitung.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
3. ...für einen Vortrag vor Maschinenbauingenieuren.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Abb. 3: Musteraufgabe (inkl. Lösung) für den Kommunikationsaspekt „Kontext“

Kommunikationskompetenz. In diesem Fall ist die notwendige Perspektive „adressatengemäß“.

Wissenschaftssprache ist stark konventionalisiert, daraus wird in der Kommunikation ein Nutzen gezogen: U.a. wird eine große Bedeutungsvielfalt sinnvoll komprimiert und die Kommunikation unter Experten effektiv gehalten (Burkart, 2002, 128-130)). Deshalb betrifft die sachgerechte Kommunikationshaltung in diesem Aspekt vor allem den korrekten Umgang mit Fachsprache. Es ist offensichtlich, dass die Vereinbarkeit von sachgerechter und adressatengemäßer Perspektive im Falle der Wissenschaftssprache nur in der Kommunikation mit einem Experten als Adressaten problemlos gegeben ist. Die adressatengemäße Komponente der Kommunikationskompetenz ist in diesem Fall die Wahl eines wissenschaftlich adäquaten, konventionalisierten Codes, da erwartet

werden kann, dass der Experte in der Lage ist, diesen zu entschlüsseln.

Die sachgerechte Komponente liegt in der Fähigkeit, erkennen zu können, welche Worte Fachvokabeln sind und wie diese einzusetzen sind, damit sie physikalische Konzepte adäquat, korrekt und konventionalisiert abbilden.

Als Beispiel soll hier eine Testaufgabe gegeben werden, deren Schwierigkeit darin besteht, zu entscheiden, ob ein Satz der Fachsprache entstammt oder nicht. Nach der oben getroffenen Unterscheidung ist dies also die geringste denkbare Anforderung an sachgerechte Kommunikation im Aspekt „Code / Text“. Selbstverständlich fallen auch Textproduktionsaufgaben in diesen Aspekt, wenn sie sich mit der sprachlichen Beschreibung von Phänomenen fachlich auseinandersetzen. Es zeigt sich, dass es nicht möglich ist, Kommunikationskompetenz und

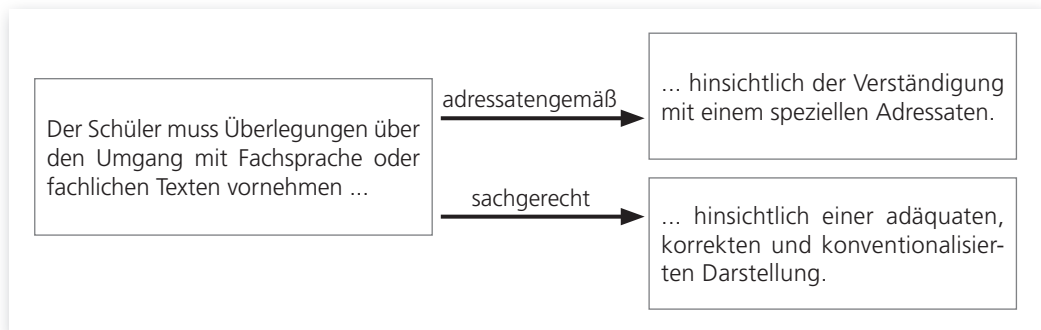


Abb. 4: Indikatoren für Aufgaben, die den Kommunikationsaspekt „Code / Text“ thematisieren

In der Tabelle findest Du drei Aussagen, die ein Physiker getroffen hat. Wenn er mit seinen Fachkollegen spricht, dann formuliert er allerdings anders als wenn er mit seiner Familie redet. Mit seinen Fachkollegen spricht er Fachsprache, mit seiner Familie Alltagssprache. **Entscheide, welche dieser Aussagen in Alltagssprache und welche in Fachsprache formuliert sind!**

	Alltags-sprache	Fach-sprache
Um den Energieverbrauch zu verringern, muss jeder für sich Anstrengungen unternehmen.	⊗	○
Körper gleicher Masse können mehr Energie speichern, wenn sie eine höhere spezifische Wärmekapazität haben.	○	⊗
Energie bleibt erhalten, sie kann nur von einer Energieform in die andere umgewandelt werden.	○	⊗

Abb. 5: Musteraufgabe (inkl. Lösung) für den Kommunikationsaspekt „Code / Text“

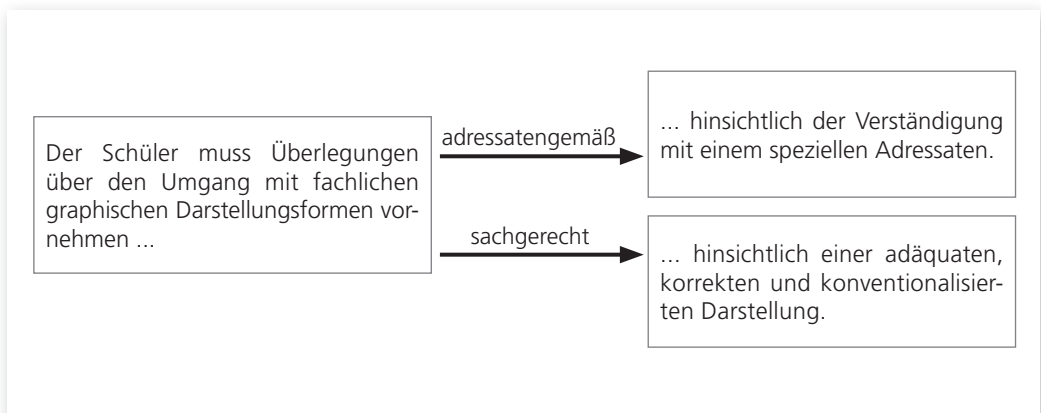


Abb. 6: Indikatoren für Aufgaben, die den Kommunikationsaspekt „Darstellungsform“ thematisieren

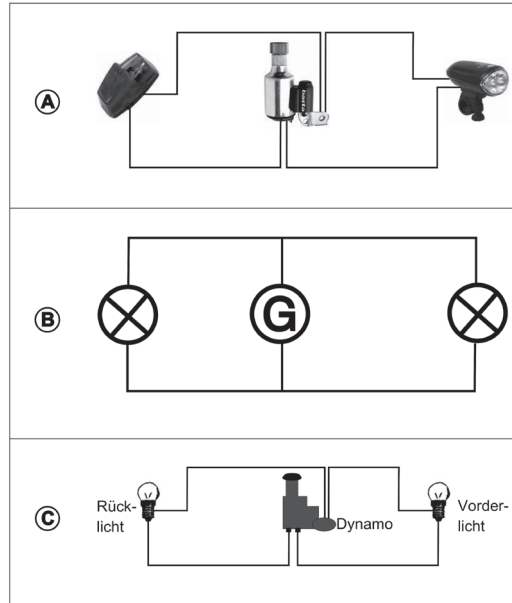
die Fähigkeit zur Nutzung von Fachwissen voneinander trennscharf zu unterscheiden. Unter dem Gesichtspunkt einer *domänenspezifischen* Kommunikationskompetenz wäre eine hohe Trennschärfe jedoch auch überraschend.

### 3.2.3 Darstellungsform

Bei dem Kommunikationsaspekt „Darstellungsform“ zeigt sich die Domänenspezifität von Kommunikationskompetenz besonders deutlich. Der Kern des Aspekts besteht im Umgang mit fachlichen graphischen Darstellungsformen, sowohl hinsichtlich der Kommunikation mit einem bestimmten Adressaten als auch hinsichtlich einer sachgerechten Kommunikation (Abb. 6). Um herauszufinden, ob innerhalb der Physik eine besondere Art und Weise existiert, wie mittels graphischer Darstellungsformen miteinander kommuniziert wird, wurde untersucht, ob bestimmte fachliche Sachinhalte mit einer bestimmten Art von graphischer Darstellungsform kommuniziert werden, d.h. ob eine konventionalisierter Modus der Kommunikation vorliegt (Kulgemeyer & Schecker, 2009).

Dabei wurden exemplarisch sehr verbreitete und auflagenstarke Hochschullehrbücher der Physik (Tipler & Mosca, 2004; Ger-

thsen, 2002) und Fachartikel des Jahrgangs 2007 aus dem „Physik Journal“ hinsichtlich ihrer graphischen Darstellungsformen analysiert und mit aktuellen und ebenfalls verbreiteten Lehrbüchern anderer Disziplinen (Wirtschaftswissenschaften: Behrens & Kirspel, 2003; Mathematik: Kregel, 2005) verglichen. Es zeigt sich dabei, dass physikalische Kommunikationskompetenz im Aspekt Darstellungsform deutlich über „Diagrammkompetenz“ (z. B. Lachmayer, 2007) hinausgeht, die sich im Wesentlichen mit den notwendigen Fähigkeiten zur Erstellung und Interpretation von x-y-Diagrammen beschäftigt. In der Physik gibt es jedoch eine Vielzahl anderer Darstellungsformen, die oftmals einen direkt funktionalen Zusammenhang zum jeweils dargestellten Gebiet aufweisen und somit im unmittelbaren Sinne domänenspezifische Kommunikationsmittel sind. In Zusammenhang mit elektrischen Schaltungen werden beispielsweise stark konventionalisierte Schaltbilder verwendet; es ist unter Experten nicht effektiv, die Schaltsymbole durch Fotos der Bauteile zu ersetzen oder gar ein Foto einer Schaltung, z. B. einer Platine, abzudrucken. Es erfordert physikalische Kommunikationskompetenz in sachgerechter Perspektive, um zu erkennen, welche Art der Darstellung von Schaltungen konventionalisiert, fachlich adäquat



Die drei oben stehenden Abbildungen stellen alle dasselbe dar: die elektrische Schaltung einer Fahrradbeleuchtung. Trotzdem sind die Abbildungen in einigen Details sehr verschieden. Alle Abbildungen sind fachlich korrekt und sachkundig erstellt worden.

**Gib an, welche der unten stehenden Personen Deiner Meinung nach welche der oberen Abbildungen verstehen müsste.**

		Abb. A	Abb. B	Abb. C
1	Ein 12-jähriger Junge versteht...	⊗ ja ○ nein	○ ja ⊗ nein	⊗ ja ○ nein
2	Die meisten Leser einer Tageszeitung verstehen...	⊗ ja ○ nein	○ ja ⊗ nein	⊗ ja ○ nein
3	Ein 49-jähriger Elektrotechniker versteht...	⊗ ja ○ nein	⊗ ja ○ nein	⊗ ja ○ nein

Abb. 7: Musteraufgabe (inkl. Lösung) für den Kommunikationsaspekt „Darstellungsform“

und korrekt ist. Dass dennoch die Version mit den Fotos beispielsweise bei der Kommunikation mit einem Laien sinnvoller verwendet werden kann, erfordert physikalische Kommunikationskompetenz der Perspektive „adressatengemäß“.  
Eine Testaufgabe zu diesem Kommunikationsaspekt kann sich beispielsweise mit der „Übersetzung“ von unterschiedlich abstrakten Darstellungsformen ineinander befassen (ähnlich Leisen 1998a, 1998b) oder verschiedene gleichermaßen korrekte Darstellungsformen nach Adressatenbezug auswählen lassen (Abb. 7).

### 3.2.4 Sachaspekt

Der „Sachaspekt“ einer Kommunikation beschreibt die Auswahl von bestimmten Aspekten des zu kommunizierenden Sachverhalts auf Grundlage sachgerechter und adressatengemäßer Überlegungen (Abb. 8). Diese Auswahl ist wichtig, wenn Sachaspekte entweder dem logischen Sachzusammenhang folgend oder als Reaktion auf Fragen bzw. die Diagnose von Verständnisproblemen des Kommunikationspartners eingesetzt werden. In der Fähigkeit, physikalische Diskurse bestreiten zu können, wird oft ein Kern phy-



sikalischer Kommunikationskompetenz gesehen. Naturwissenschaftliche Argumente wurden z. B. von Kraus und von Aufschnaiter (2005), Driver, Newton und Osborne (2000), Bricker und Bell (2008) oder Zeidler et al. (2003) untersucht. Im letztgenannten Beitrag findet man ein Stufenmodell von Argumentqualitäten. Die Forschung in diesem Bereich ist jedoch nicht auf Kommunikationssituationen fokussiert. Sie baut auf philosophischen Überlegungen auf (Logik). Argumentationsfähigkeit ist als ebenso bedeutend für die Kompetenzbereiche „Bewerten“ oder „Erkenntnisgewinnung“ einzuschätzen – sie kann in

das Schema der Kompetenzbereichen der Bildungsstandards nicht eindeutig eingefügt werden, ohne sie unzulässig zu reduzieren. Argumentationsfähigkeit liegt „quer“ zu den Kompetenzbereichen.

In dem von uns vorgeschlagenen Modell der domänenspezifischen Kommunikation ist die Diskursfähigkeit durch die Auswahl der Sachaspekte vertreten und auf die Fähigkeiten eingegrenzt, dabei die Fragen und Verständnisprobleme des Kommunikationspartners zu erkennen (adressatengerechte Komponente) sowie die fachlichen Aspekte sachgerecht auszuwählen. Argumentation

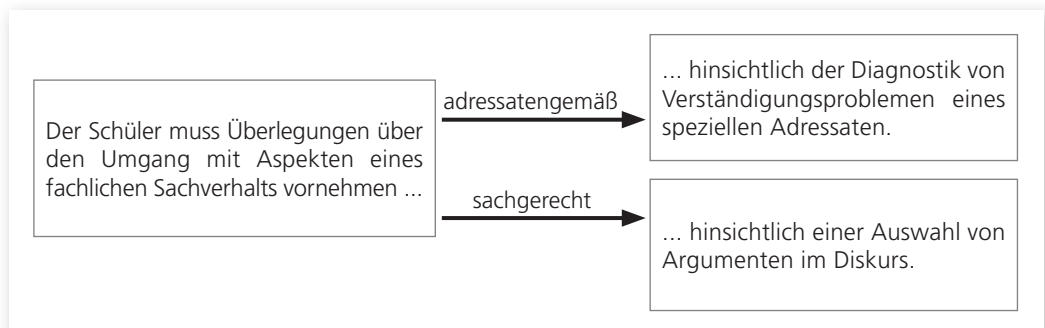


Abb. 8: Indikatoren für Aufgaben, die den Kommunikationsaspekt „Sachaspekt“ thematisieren

Du hörst folgenden Wortwechsel:

**Jan:** „Also, hier im Buch steht: ‚Wärme kann durch Wärmemitführung, Wärmestrahlung und Wärmeleitung transportiert werden‘. Unsere Heizung erwärmt die Luft und die führt die Wärme dann mit sich. Das muss also Wärmemitführung sein, warum der Raum warm wird.“

**Thomas:** „Das verstehe ich. Aber Wärmestrahlung, tritt die denn bei der Heizung gar nicht auf?“

**Jan:** „Es könnte doch sein, dass Wärmestrahlung nur bei einer Glühlampe vorkommt. Licht ist doch Strahlung.“

**Thomas:** „Also ich weiß nicht. Unter Strahlung stelle ich mir eher Radioaktivität vor.“

Die beiden scheinen sich bei einigen Dingen nicht sicher zu sein. **Kreuze an, wer in dem Wortwechsel erkennen lässt, dass er einen der unten stehenden Sachverhalte nicht versteht oder Fragen dazu hat.** Es kann auch sein, dass beiden oder keinem ein Sachverhalt unklar ist.

Sachverhalt	Fragen oder Verständnisprobleme hat / haben...			
	...nur Jan	...nur Thomas	...beide	...keiner
Ein Raum wird durch Wärmemitführung geheizt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Wärmestrahlung tritt auch bei der Heizungen auf.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Licht ist Strahlung.	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wärme kann transportiert werden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

Abb. 9: Musteraufgabe (inkl. Lösung) für den Kommunikationsaspekt „Sachaspekt“

wird damit nicht so fein aufgelöst wie im Stufenmodell von Zeidler et al. (2003). In unserem Modell wird schließlich nur ein sehr begrenzter Bereich von Argumentationsfähigkeit berücksichtigt, da diese eben nicht auf einen rein kommunikativen Charakter reduziert werden kann.

### 3.4 Zur Schwierigkeitsbestimmung bei Testaufgaben für den Kompetenzbereich Kommunikation: Der kognitive Beiwert

Klieme et al. (2003) fordern, dass Kompetenzmodelle eine Dimension enthalten sollen, die hierarchisch gegliedert ist und somit mindestens eine ordinale Skala bildet (z. B. in Form von Kompetenzstufen). Mithilfe einer solchen Dimension sollen Unterschiede in der Kompetenzausprägung beschrieben werden. Von großem Wert wäre es, wenn allein anhand von Merkmalen einer Testaufgabe (d. h. vor einer Pilotierung) geschätzt werden kann, welche Kompetenzstufe notwendig ist, um die Aufgabe zu lösen. Für den Kompetenzbereich „Fachwissen“ hat Kauertz (2007) mit der *Komplexität* eine solche Dimension vorgeschlagen, die bei Fachwissenaufgaben zu zufriedenstellenden Ergebnissen führt. Die Komplexität einer Testaufgabe ergibt sich aus den notwendigen Gedankenschritten bei der Lösung. Sie wird durch die Qualität einerseits (Fakt, Zusammenhang, übergeordnetes Konzept) und die Quantität andererseits (ein Fakt – mehrere Fakten etc.) (Neumann, Kauertz, Lau, Notarp & Fischer, 2007) bestimmt. Die Komplexität bildet damit über physikalische Sachstrukturen die Aufgabenschwierigkeit ab. Ein Modell, das konsequent kognitionspsychologische Überlegungen umsetzt, um Qualität chemischer Fachkompetenz zu beschreiben, findet sich bei Bernhold und Parchmann (2009). Dieses Modell verfolgt einen ähnlichen Stufungsansatz wie das oben beschriebene und erreicht eine hohe Varianzaufklärung bei den Aufgabenschwierigkeiten.

Bei Testaufgaben zum Kompetenzbereich „Kommunikation“ kann eine Schwierigkeitsbestimmung anhand physikalischer Sachstrukturen kein Maß für eine Schätzung der tatsächlichen Aufgabenschwierigkeit sein. Bei einer abstrakten Übertragung der Stufung „Fakt“ bis „übergeordnetes Konzept“ würde beim Konzept der adressatengerechten Kommunikation die Diskriminierung der Komplexitätsgrade verloren gehen: Wenn man adressatengerechte Kommunikation als ein „übergeordnetes Konzept“ einordnet, befände sich jede Aufgabe, die diese Kommunikationshaltung anspricht, auf dem höchsten Komplexitätsniveau und somit auf dem höchsten Schwierigkeitsgrad.

Für eine Graduierung von Kommunikationskompetenz müssen kognitive Strukturen berücksichtigt werden. Der von uns zur Quantifizierung von Kommunikationsfähigkeit konstruierte „kognitive Beiwert“ ist eine Maßzahl für die Aufgabenschwierigkeit, die sich allein aus der Summe der zu bearbeitenden kognitiven Schritte berechnet. Dem liegt folgende Annahme zugrunde: *Eine Aufgaben ist umso schwieriger zu lösen, je mehr kognitive Vorgänge bearbeitet werden müssen.* Dabei bleibt die Qualität der Vorgänge zunächst unberücksichtigt, nur die Quantität spielt eine Rolle. Die Begründung dafür ist pragmatischer Natur: In der Psycholinguistik sind die einzelnen kognitiven Prozesse der Sprachproduktion in Grundzügen erforscht, während bislang über die Qualität der Vorgänge wenig bekannt ist. Dabei muss vorausgesetzt werden, dass die schriftliche und die mündliche Sprachproduktion dieselben kognitiven Vorläuferprozesse aufweisen. Das erscheint jedoch plausibel. Ansonsten werden die Prozesse, die sprachnah sind und nicht Lexeme und Konzepte (d. h. z. B. Fachsprache) betreffen, bei uns vernachlässigt, da sie domänenspezifische Aufgaben nicht differenzieren können. Dies betrifft zum Beispiel Prozesse, die die Lautbildung betreffen oder auch für nicht bedeutungstragende Sprachausformungen wichtig sind. Von den 21 bei Dietrich (2007) beschriebenen Prozessen (siehe

Kapitel 2.2.2) bleiben so sieben übrig, die den drei Phasen kognitiver Sprachproduktion zugeordnet sind:

### 1. *Kommunikationsplanung*

- a. Wahrnehmung des Kommunikationsrahmens
- b. Bestimmung des Kommunikationsziels
- c. Adressatenrückkopplung

### 2. *Konzeptualisierung*

- a. Linearisierung
- b. Sachaspektauswahl
- c. lexikalischer Zugriff (Konzepte)

### 3. *Formulatorprozess*

- a. Lexikalischer Zugriff (Lexeme)

Bei der Charakterisierung einer Aufgabe muss entschieden werden, welche Prozesse zur Lösung vertieft bearbeitet werden müssen. Grundsätzlich erfordert jedes Kommunikationssitem alle Bearbeitungsprozesse, aber durch Vorgaben im Aufgabenstamm können einige Prozesse so vorgegeben gegeben werden, dass die Verarbeitung nicht vertieft erfolgen muss. Durch diese Vorgaben können also Schwerpunkte auf bestimmte Prozesse gelegt werden. Das Aufgabenrating erfolgt auf Basis einer Zuordnungsvorschrift, in der die einzelnen kognitiven Prozesse als Fragen formuliert sind (Abb. 10). Kann eine Frage mit „ja“ beantwortet werden, so wird der Prozess mit „1“ eingestuft. Die Anzahl der mit „1“ eingestuften Prozesse ergibt den kognitiven Beiwert der jeweiligen Testaufgabe. In einzelnen Prozessen wird zwischen der Produktion einer graphischen Darstellungsform beziehungsweise eines kontinuierlichen Texts unterschieden. Dies betrifft Prozesse der Linearisierung, der Selektion und des lexikalischen Zugriffs. An dieser Stelle kann ein hierarchischer Charakter der Prozesse beschrieben werden: Wenn z. B. die Bedeutung einer Fachvokabel bekannt sein muss, dann muss die Vokabel selbst auch bekannt sein – umgekehrt jedoch nicht.

Wenn in einer Aufgabe sowohl Text als auch Graphik produziert werden müssen, kann der kognitive Beiwert maximal 11 betragen.

## 3.5 Ergebnisse explorativer Anwendungen des kognitiven Beiwerts

Für eine erste empirische Überprüfungen des kognitiven Beiwerts als Prädiktor für die Aufgabenschwierigkeit wurde eine Reanalyse der von Schmidt (2008) erhobenen Daten zur Überprüfung des Bremen-Oldenburger Kompetenzmodells durchgeführt. Schmidt hat in ihrer Studie Aufgaben aus allen vier Kompetenzbereichen (Fachwissen nutzen, Erkenntnisse gewinnen, Kommunizieren, Bewerten) eingesetzt. Elf der Items testen nach den oben genannten Kriterien physikalische Kommunikationskompetenz. Diesen Items wurde ein kognitiver Beiwert nach dem oben genannten Verfahren zugeordnet. Bei drei Ratern mit fachdidaktischem Hintergrund und Modellkenntnis zeigt der signifikante Kendall-Konkordanzkoeffizient  $W$  eine hohe Übereinstimmung beim resultierenden kognitiven Beiwert (Abb. 10).

Schmidt (2008) hat mit einem Rotationsdesign pro Item mindestens 248 Probanden – Schülerinnen und Schüler von 9. bis 11. Klasse – erreichen können. Dies ist zwar keine ausreichende Stichprobe um generalisierende Aussagen treffen zu können, aber genügend, um statistische Berechnungen durchzuführen. In einem ersten Schritt wurde nun die Lösungshäufigkeit (LSH) der Items mit deren kognitiven Beiwert korreliert (Spearman-Rangkorrelation). Zu erwarten ist hier eine negative Korrelation, da ein höherer kognitiver Beiwert einer geringeren Lösungswahrscheinlichkeit entsprechen sollte.

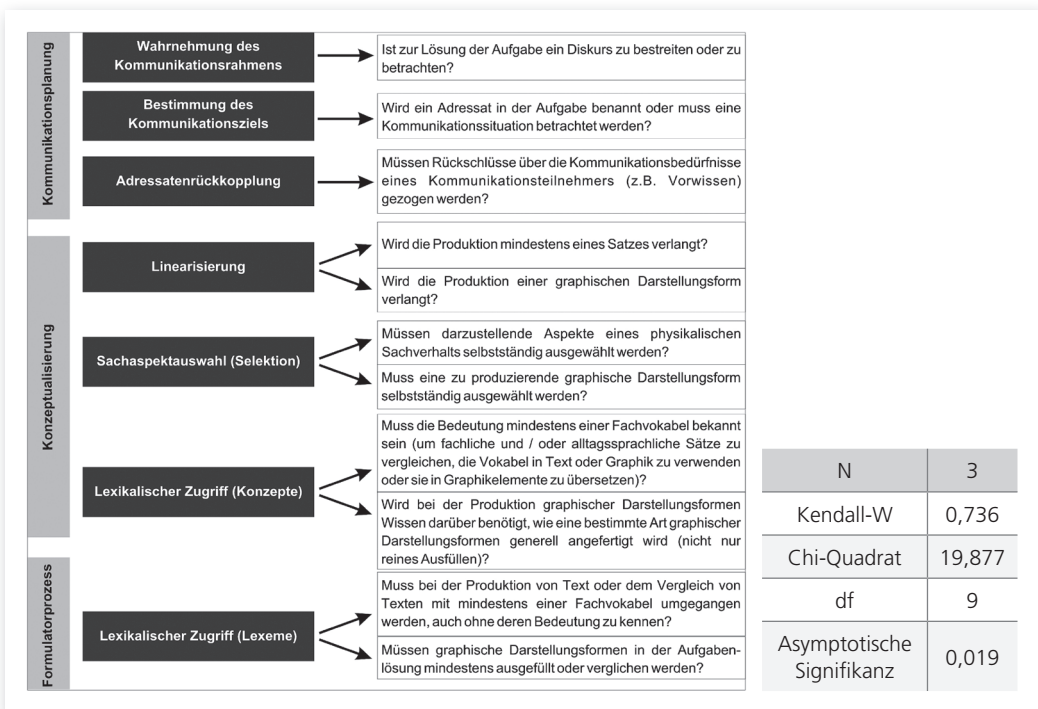


Abb. 10: Indikatoren für die Zuordnung eines kognitiven Beiwerts zu Testaufgaben, Statistik für Beurteiler-Übereinstimmung (Kendalls Konkordanzkoeffizient W) zur Einstufung von Testaufgaben mithilfe dieses Verfahrens

Außerdem wurde die mittlere Lösungshäufigkeit pro kognitivem Beiwert errechnet, um eine Stufung darstellen zu können. Als letzter Schritt wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse (UniANOVA) mit der Lösungshäufigkeit als abhängiger Variablen und dem kognitiven Beiwert als festem Faktor durchgeführt. Alle Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Annahme, der kognitive Beiwert sei ein Prädiktor für die Lösungshäufigkeit, für diese Stichprobe haltbar ist. Die Korrelation ist auf dem Niveau 0.05 signifikant, der Korrelationskoeffizient liegt bei  $-0.660^*$ . Nach einfaktorieller Varianzanalyse kann mit dem kognitiven Beiwert 80 % der Varianz der Lösungshäufigkeit erklärt werden.

Für eine explorative Pilotstudie wurden modellbasiert 17 neue Items entwickelt, dazu gehören auch die in diesem Beitrag gezeigten Beispiele. Diese Items wurden von Schülerinnen und Schülern von 9. bis 11. Klasse sowie von Erstsemesterstudentinnen

des Sachunterrichts bearbeitet. Die Items konnten so an einer Stichprobe von 94 Probandinnen und Probanden pilotiert werden. Zur statistischen Auswertung wurden drei Kategorien gebildet. Dazu wurden die Items der kognitiven Beiwerte 1 bis 3 zu einer Kategorie zusammengefasst und die Items des kognitiven Beiwerts 4 bildeten ebenso eine Kategorie wie die Items der kognitiven Beiwerte 5 und 7 (6 trat nicht auf). Es sind also die Items mit niedrigem, mittlerem und hohem kognitivem Beiwert jeweils zu Kategorien zusammengefasst worden. Diese Kategorisierung rechtfertigt sich einerseits aus der Besetzung aller zu testenden Stufen mit mehr als 2 Items, damit die statistische Auswertung sinnvoll durchgeführt werden kann. Andererseits ist diese Kategorisierung diejenige, welche die geringste Standardabweichung der Lösungshäufigkeit innerhalb einer Kategorie zur Folge hat. Die nun folgenden Ergebnisse konnten jedoch auch mit

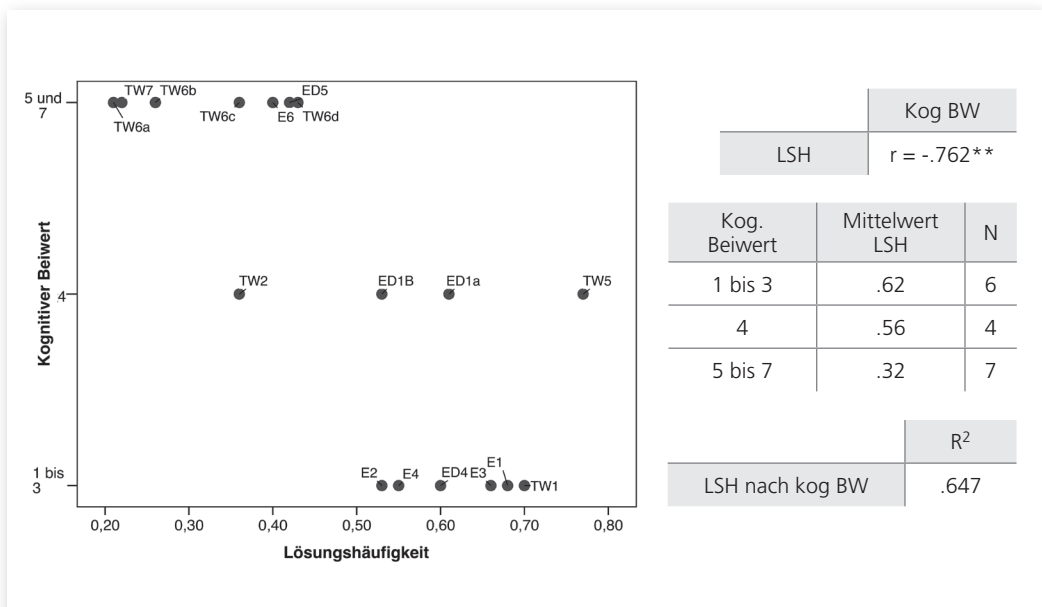


Abb. 11: Ergebnisse der Analysen zum kognitiven Beiwert.

Links: Streudiagramm Lösungshäufigkeit gegen Kategorie des kognitiven Beiwerts.

Rechts oben: Spearman-Rangkorrelation Lösungshäufigkeit gegen Kategorie des kognitiven Beiwerts (signifikant auf dem Niveau 0,01 (zweiseitig)).

Rechts Mitte: Mittelwert der Lösungshäufigkeit pro Kategorie des kognitiven Beiwerts, Anzahl der Items.

Rechts unten: R<sup>2</sup> der einfaktoriellen Varianzaufklärung (UniANOVA) von Lösungshäufigkeit nach Kategorie des kognitiven Beiwerts

den unkategorisierten kognitiven Beiwerten bestätigt werden, lediglich die Varianzaufklärung ist dann nicht berechenbar. In Abbildung 11 sind die Ergebnisse der Analysen zu sehen.

Es zeigt sich, dass für diese Stichprobe etwa 65% der Varianz der Lösungshäufigkeit durch die gebildeten Kategorien des kognitiven Beiwerts erklärt werden können. Darüber hinaus findet sich eine auf dem Niveau 0,01 signifikante Korrelation zwischen diesen beiden Skalen. Im Streudiagramm kann die erwartete Stufung abgebildet werden, es ergeben sich jedoch Überschneidungen der Kategorien. Die Mittelwerte der Kategorien bilden die erwarteten Stufen ab.

Es zeigen sich also in der Reanalyse der Daten aus von Schmidt (2008) und der explorativen Pilotstudie vergleichbare Ergebnisse. Insbesondere die hohen Varianzaufklärungen geben Anlass zur Hoffnung, bei

einer größeren Stichprobe diese Ergebnisse bestätigen zu können.

Es ist jedoch zu betonen, dass die hier vorgestellten Ergebnisse aufgrund der beschränkten Stichprobe nur explorativen Charakter haben können.

## 4 Zusammenfassung

In diesem Aufsatz wird gezeigt, wie ein domänenspezifischer Kommunikationsbegriff für die Physikdidaktik theoretisch fundiert gebildet werden kann. Damit wird eine Lücke geschlossen, die das normative Kompetenzmodell der Bildungsstandards gelassen hat. Die theoretische Klärung ist Grundlage für empirische Untersuchungen dieses Bereichs physikalischer Kompetenz. Aus der Vielzahl übergeordneter Modelle für Kommunikation verwenden wir ein konstruk-

tivistisches Modell, das beschreibt, welche Aspekte den Erfolg einer Kommunikation ausmachen, und ein psycholinguistisches Modell, das beschreibt, welche kognitiven Prozesse das kommunizierende Individuum dazu vornehmen muss. Dabei beziehen wir uns ausschließlich auf den „aktiven“ Teil der Kommunikation. Ähnlich wie die Psycholinguistik sehen wir die kognitiven Prozesse von Sprachproduktion und Sprachrezeption als zu unterschiedlich an, um daraus ein gemeinsames Konstrukt formen zu können. Aus dem konstruktivistischen Kommunikationsmodell leiten wir zunächst zwei *Kommunikationsperspektiven* ab, die das kommunizierende Individuum einnehmen kann: *sachgerecht* und *adressatengemäß*. Beide können im Widerstreit miteinander stehen. Die Verwendung von Fachsprache ist z. B. sachgerecht, kann aber bei einem Laien auf Unverständnis stoßen und somit nicht adressatengemäß sein. Des Weiteren identifizieren wir vier wesentliche *Aspekte*, die den Erfolg einer Kommunikation beeinflussen. Ihre Wahl entscheidet, ob der Adressat das Angebot zur Kommunikation annimmt.

1. Der verwendete *Kontext*
2. Der sprachliche *Code*, der zur Verschlüsselung verwendet wird (z. B. Fachsprache oder Alltagssprache)
3. Die eventuell verwendete illustrierende graphische *Darstellungsform*
4. Der gewählte *Sachaspekt* selbst

Das psycholinguistische Kommunikationsmodell verwenden wir zur Konstruktion einer Dimension, die unterschiedliche Kompetenzstufen beschreiben soll. Dabei wird die Anzahl der kognitiven Prozesse, deren vertiefte Bearbeitung zur Lösung einer Testaufgabe notwendig sind, als Prädiktor für die Schwierigkeit der Aufgabe und damit für die notwendige Kompetenzstufe verwendet. Dieser Wert wird als der „kognitive Beiwert“ einer Testaufgabe definiert. In Form von Leitfragen werden Indikatoren für die Prozesse bei der Lösung einer Testaufgabe formuliert. In einer ersten explorativen Untersuchung wurde der kognitive Beiwert den Erwartungen als schwierigkeitsbestimmendes Merkmal gerecht (Varianzaufklärung der Lösungshäufigkeit nach dem kognitiven Beiwert:  $R^2 = .647$ ).

Für das Modell physikalischer Kommunikationskompetenz ergeben sich somit drei Dimensionen (Abb. 12). Die beiden ersten (Perspektive, Aspekte) spannen die Breite der Kommunikationsanforderung auf. Als dritte Dimension bildet der kognitive Beiwert Kompetenzstufen ab. Das Modell bezieht die einzelnen Aspekte und Perspektiven von Kommunikation auf die Physik und wird damit der Forderung Weinerts (2001) gerecht, Kompetenz habe domänenspezifisch dargestellt zu werden.

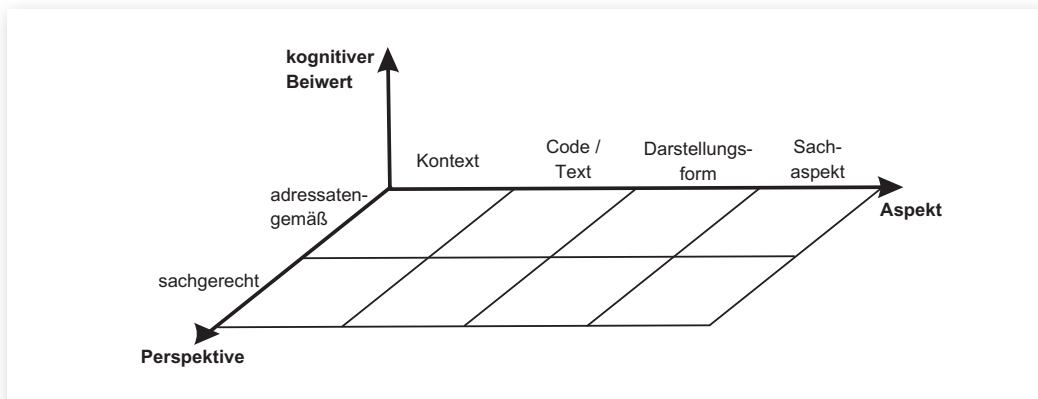


Abb. 12: Kompetenzmodell für physikalische Kommunikationskompetenz



## Literatur

- Bayrhuber, H. (2007). Entwicklung von Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss in der Sekundarstufe I – Biologie, Chemie, Physik. In H. Bayrhuber, D. Elster, D. Krüger & H. Vollmer (Eds.), *Kompetenzentwicklung und Assessment*, (pp. 69 – 80). Innsbruck: Studienverlag.
- Behrens, C. & Kirspel, M (2003). *Grundlagen der Volkswirtschaftslehre*. München: Oldenbourg.
- Bernhold, S. & Parchmann, I. (2009). Die Untersuchung und Entwicklung von Kompetenz in der Chemie. In D. Höttecke (Ed.), *Chemie- und Physikdidaktik für die Lehramtsausbildung*. Münster: Lit. 134-136
- Bricker, L.A. & Bell, P. (2008). Conceptualizations of Argumentation from Learning Science Studies and the Learning Sciences and their Implications for the Practives of Science Education. *Science Education*, 92, 437-498.
- Bromme, R. & Jucks, R. (2001). Wissensdivergenz und Kommunikation: Lernen zwischen Experten und Laien im Netz. In F. Hesse & H. Friedrich (Eds.), *Partizipation und Interaktion im virtuellen Seminar*, (pp. 81 – 103). Münster: Waxmann.
- Bromme, R., Jucks, R. & Rambow, R. (2004). Experten-Laien-Kommunikation im Wissensmanagement. In G. Reinmann & H. Mandl (Eds.), *Der Mensch im Wissensmanagement: Psychologische Konzepte zum besseren Verständnis und Umgang mit Wissens*, (pp. 176 – 188). Göttingen: Hogrefe.
- Bühler, K. (1934). *Sprachtheorie. Die Darstellungsfunktion der Sprache*. Jena: Fischer.
- Burkart, R. (2002). *Kommunikationswissenschaft*. Wien: Böhlau.
- Clark, H (1996). *Using Language*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Dietrich, R. (2007). *Psycholinguistik*. Stuttgart: Metzler.
- Driver, R., Newton, P. & Osborne, J. (2000). Establishing the Norms of Scientific Argumentation in Classroom. *Science Education*, 84 (3), 287-312.
- Duit, R., Mikelskis-Seifert, S. & Wodzinski, C.T. (2007). Physics in Context – A program for improving physics instruction in Germany. In R. Pinto & D. Couso (Eds), Contributions from science education research. Selected Papers from the 5th European Science Education Research Association conference 2005 in Barcelona, Spain. Dordrecht: Springer, 599-629.
- Fodor, J. (1983). *The Modularity of Mind. An Essay on the Faculty Psychology*. Cambridge: The MIT Press.
- Gerthsen, C. (2002). *Gerthsen Physik*. 21. Auflage. Berlin: Springer.
- Großmann, B. (1999). Der Einfluss des Konstruktivismus auf die Kommunikationswissenschaft. In G. Rusch & S. Schmidt (Eds.), *Konstruktivismus in der Medien- und Kommunikationswissenschaft*, (pp. 14-51) Frankfurt a. M.: Suhrkamp.
- Habermas, J. (1971). Vorbereitende Bemerkungen zu einer Theorie der kommunikativen Kompetenz. In J. Habermas & N. Luhmann (Eds.), *Theorie der Gesellschaft oder Sozialtechnologie – Was leistet die Systemforschung?*, (pp. 101 – 141) Frankfurt a. M.: Suhrkamp.
- Habermas, J. (1995). *Theorie des kommunikativen Handelns*. Frankfurt a. M.: Suhrkamp.
- Jablko, L. (1992). Kommunikation und Kooperation. Unerlässliches Element für die Entwicklung von Kreativität. *Physik in der Schule*, 30/1, 23-25.
- Jakobson, R. (1970). *Aufsätze zur Linguistik und Poetik*. München: Nymphenburger.
- Kauertz, A. (2007). *Schwierigkeitserzeugende Merkmale physikalischer Leistungstestaufgaben*. Dissertation Universität Duisburg-Essen.
- Kulgemeyer, C. & Schecker, H. (2009). Physikalische Darstellungsformen. Ein Beitrag zur Klärung von „Kommunikationskompetenz“. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 62(6), 328-331.
- Kulgemeyer, C. & Schecker, H. (2009). Modellierung physikalischer Kommunikationskompetenz. In D. Höttecke (Ed.), *Chemie- und Physikdidaktik für die Lehramtsausbildung*. Münster: Lit. 140-142
- Klieme, E., Avenarius, H., Blum, W., Döbrich, P., Gruber, H., Prenzel, M., Reiss, K., Riquarts, K., Rost, J., Tenorth, H.-E. & Vollmer, H. (2003). *Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards – Expertise*. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).
- Kraus, M. & von Aufschnaiter, C. (2005). Physikalisch argumentieren lernen. Methoden zur Förderung der diskursiven Kompetenz. *Unterricht Physik*, 87/16, 32-37.
- Krengel, U. (2005). *Einführung in die Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
- Merten, K. (1977). *Kommunikation. Eine Begriffs- und Prozessanalyse*. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Labudde, P. (2000). *Konstruktivismus im Physikunterricht der Sekundarstufe II*. Bern; Stuttgart; Wien: Haupt.

- Lachmayer, S., Nerdel, C. & Prechtel, H. (2007). Modellierung kognitiver Fähigkeiten beim Umgang mit Diagrammen im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 13, 145-160.
- Leisen, J. (2004). Einheitliche Prüfungsanforderungen Physik. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 57/3, 155-159.
- Leisen, J. (1998a). Förderung des Sprachlernens durch den Wechsel von Symbolisierungsformen im Physikunterricht. *Praxis der Naturwissenschaften – Physik*, 47/2, 9-13.
- Leisen, J. (1998b). Physikalische Begriffe und Sachverhalte. Repräsentationen auf verschiedenen Ebenen. *Praxis der Naturwissenschaften – Physik*, 47/2, 14-18.
- Leisen, J. (2005). Bildungsstandards Physik: der Kompetenzbereich „Kommunikation“. *Unterricht Physik*, 87/16, 16-20.
- Levelt, W. (1989). *Speaking. From Intention to Articulation*. Cambridge: The MIT Press.
- Luhmann, N. (1964). *Funktionen und Folgen formaler Organisation*. Berlin: Duncker & Humblot.
- Merten, K. (1995). Konstruktivismus als Theorie für die Kommunikationswissenschaft. *Medien-Journal*, 4, 3-21.
- Neumann, K., Kauertz, A., Lau, A., Notarp, H. & Fischer, H. (2007). Die Modellierung physikalischer Kompetenz und ihrer Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 13, 103-123
- Osborne, J., Erduran, S. & Simon, S. (2004). Enhancing the Quality of Argumentation in School Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41 (10), 994-1020.
- Rincke, K. (2007). *Sprachentwicklung und Fachlernen im Mechanikunterricht. Sprache und Kommunikation bei der Einführung in den Kraftbegriff*. Berlin: Logos.
- Rusch, G. (1999). Eine Kommunikationstheorie für kognitive Systeme. In G. Rusch & S. Schmidt (Eds.), *Konstruktivismus in der Medien- und Kommunikationswissenschaft*, (pp. 150 – 184). Frankfurt a. M.: Suhrkamp.
- Schaff, A. (1968). Über die Eigenart des sprachlichen Zeichens. In A. Schaff (Ed.), *Essays über die Philosophie der Sprache*, (pp. 26 – 45). Frankfurt a. M.: Europäische Verlagsanstalt.
- Schecker, H. & Parchmann, I. (2006). Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, 45-66.
- Schecker, H. & Theyßen, H. (2007). „Kommunikation“ in den Bildungsstandards Physik. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 18 (1), 20-28.
- Schmidt, M (2007). *Kompetenzmodellierung und –diagnostik im Themengebiet Energie der Sekundarstufe I. Entwicklung und Erprobung eines Testinventars*. Berlin: Logos.
- Seel, N. (1990). Wissen, Lernen und Kommunikation. In K. Böhme-Dürr, J. Emig & N. Seel (Eds.), *Wissensveränderung durch Medien. Theoretische Grundlagen und empirische Analysen*, (pp. 263 – 286). München: Saur.
- Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland [KMK] (2004). *Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Physik*. München: Luchterhand.
- Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland [KMK] (2005). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss*. München: Luchterhand.
- Shannon, C. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*, 27, 379-423, 623-656.
- Stutterheim, C. (1997). *Einige Prinzipien des Textaufbaus: Empirische Untersuchungen zur Produktion mündlicher Texte*. Tübingen: Niemeyer.
- Tipler, P. & Mosca, G. (2004). *Physik für Wissenschaftler und Ingenieure*. 2. Auflage. München: Spektrum.
- Watzlawick, P., Beavin, J. & Jackson, D. (1972). *Menschliche Kommunikation: Formen, Störungen, Paradoxien*. Bern: Huber.
- Weinert, F. (2001). Vergleichende Leistungsmessung in Schulen – eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In E. Weinert (Hrsg.), *Leistungsmessung in Schulen* (S. 17-31). Weinheim: Beltz.
- Zeidler, D.L., Osborne, J., Erduran, S., Simon, S. & Monk, M. (2003). The Role of Argument During Discourse about Socioscientific Issues. In D.L. Zeidler (Ed.), *The Role of Moral Reasoning on Socioscientific Issues and Discourse in Science Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

### **Kontakt**

Christoph Kulgemeyer  
Universität Bremen, Institut für Didaktik  
der Naturwissenschaften, Abt. Physikdidaktik  
Fachbereich 1 Physik/Elektrotechnik  
Postfach 330440  
D-28334 Bremen  
*kulgemeyer@physik.uni-bremen.de*

### **Autoreninformation**

Christoph Kulgemeyer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe von Horst Schecker. Er hat in Bremen Physik und Germanistik für das Lehramt an Gymnasien studiert und promoviert über die Modellierung physikalischer Kommunikationskompetenz.

Horst Schecker arbeitet zurzeit an der Modellierung physikalischer Kompetenzstrukturen bei Schülern sowie daran orientierten Lernaufgaben und Leistungstests. Ein weiterer aktueller Arbeitsbereich ist die Reform der Physiklehrerausbildung. Langfristige Forschungsgebiete sind Schülervorstellungen und Lernprozesse im Physikunterricht sowie Studien zur Lernwirksamkeit virtueller Lehr- und Lernmedien. Horst Schecker ist Sprecher des Vorstands der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDChP).