

KNUT NEUMANN, TOBIAS VIERING UND HANS FISCHER

Die Entwicklung physikalischer Kompetenz am Beispiel des Energiekonzepts

Physics competence development at the example of the energy concept

Zusammenfassung

Die Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss im Fach Physik benennen Basiskonzepte bezüglich derer Schülerinnen und Schüler ein strukturiertes Fachwissen erwerben sollen. Entsprechende Kompetenzstrukturmodelle beschreiben bezogen auf die Basiskonzepte Kompetenzniveaus zwischen der Kenntnis isolierter Fakten und einem konzeptuellen Verständnis. Die Forschung zu Schülervorstellungen zeigt, dass Schülerinnen und Schüler über unterschiedlich belastbare Vorstellungen zu einem physikalischen Konzept verfügen und neuerdings auch, dass sich diese im Verlauf der Schulzeit in einer definierten Reihenfolge entwickeln lassen. Die Entwicklung physikalischer Kompetenz im Kompetenzbereich Fachwissen sollte also über die Entwicklung des Verständnisses der Basiskonzepte beschrieben werden können. Im Rahmen des in diesem Beitrag vorgestellten Projekts wird ein entsprechendes Entwicklungsmodell physikalischer Kompetenz zunächst für das Basiskonzept Energie empirisch geprüft. Die Pilotierung von 32 ausgewählten Aufgaben mit $N=395$ Schülerinnen und Schülern aus den Jahrgangsstufen 7 bis 11 bestätigt die grundsätzliche Annahme, dass sich die Entwicklung des Basiskonzepts Energie mit a priori definierten Stufen beschreiben lässt.

Schlüsselwörter: Physikalische Kompetenz, Kompetenzentwicklung, Energiekonzept, Schülervorstellungen, Basiskonzept

Abstract

The German National Education Standards for physics are based on four core concepts, of which students are expected to develop an in-depth understanding. Recently, researcher have suggested that students' understanding of the core concepts can be described the complexity of their knowledge base. Conceptual change research on the other hand has provided evidence that students develop an understanding of a concept along a sequence of distinct conceptions of the respective concept. This suggests that both, the complexity of students knowledge base as well as their conception of a particular concept, need to be taken into account when describing students understanding of a core concept. In scope of this paper, we develop a respective model to describe students understanding of the energy concept. We also present the results of a study with $N=395$ students of grades 7 to 11 to take a first step in providing evidence for the validity of the model.

Keywords: physics, competence, core concepts, energy concept, conceptual change, learning progression

Die Entwicklung physikalischer Kompetenz am Beispiel des Energiekonzepts

Einleitung

Die Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss formulieren die Bildungs-

ziele eines jeweiligen Faches für das Ende der Sekundarstufe I (für Physik s. Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland [KMK], 2005c). Den Zusammenhang zwischen diesen Bildungszielen und Unterrichts- oder Testsituationen sollen Kompetenzmodelle herstellen (Klieme et al.,

2003). Schecker und Parchmann (2006) unterscheiden zwei Arten von Kompetenzmodellen: Kompetenzstrukturmodelle gliedern Kompetenzen in Dimensionen. Kompetenzentwicklungsmodelle beschreiben wie sich Kompetenzstrukturen in Folge von Lernprozessen idealerweise verändern. Sie erlauben nicht nur die Einschätzung des Kompetenzstands der einzelnen Schülerinnen und Schüler, sondern welche Fähigkeit(en) die Schülerin bzw. der Schüler als nächstes erwerben sollte. Dadurch kann Unterricht gezielt auf den Kompetenzstand der Schülerinnen und Schüler abgestimmt und im Hinblick auf die Entwicklung der in den Bildungsstandards formulierten Kompetenzen gestaltet werden. Ein Kompetenzentwicklungsmodell bildet damit die Grundlage für einen systematisch auf Kompetenzerwerb ausgerichteten Unterricht.

Ziel des in diesem Beitrag vorgestellten Projekts ist die theoretische Beschreibung und empirische Validierung eines Entwicklungsmodells physikalischer Kompetenz für den Kompetenzbereich Fachwissen, am Beispiel des Basiskonzepts Energie. Voraussetzung für die Beschreibung eines Kompetenzentwicklungsmodells ist jedoch zunächst ein empirisch validiertes Kompetenzstrukturmodell.

Struktur physikalischer Kompetenz

Die bisher für das Fach Physik diskutierten Kompetenzstrukturmodelle beruhen im Wesentlichen auf Bybees (1997) Konkretisierung des Konzepts *Scientific Literacy* durch vier aufeinander aufbauende Ebenen der Scientific Literacy. Auf dieser Grundlage wurden verschiedene Versuche unternommen, post hoc zu einer kriterienorientierten Beschreibung von Kompetenzniveaus naturwissenschaftlicher Kompetenz zu gelangen (z. B. Klieme, Baumert, Köller & Bos, 2000; Baumert et al., 2001). Dabei zeigte sich jedoch entweder eine mangelnde Verlässlichkeit bei der Bestätigung der Zuordnung von Aufgaben (Klieme, 2000) oder schon bei der Zuordnung von Aufgaben zu den Kompe-

tenzniveaus (Prenzel, Rost, Senkbeil, Häußler & Klopp, 2001).

Für a priori entwickelte Strukturmodelle naturwissenschaftlicher Kompetenz (Prenzel et al., 2001, S. 225 ff; Senkbeil, Rost, Carstensen & Walter, 2005) gelang zwar eine zufriedenstellende Unterscheidung von Dimensionen, allerdings wurde auf eine kriterienorientierte Beschreibung von Kompetenzniveaus verzichtet. Eine auf übergeordnete, theoretisch fundierte Kriterien bezogene Beschreibung von Kompetenzniveaus ist jedoch Voraussetzung dafür, Entwicklungsstand und -potential von Schülerinnen und Schüler im Hinblick auf die Vorgaben der nationalen Bildungsstandards inhaltlich beschreiben zu können (Klieme et al., 2000). Ein Kompetenzstrukturmodell, das als Grundlage für die Beschreibung eines Kompetenzentwicklungsmodells dienen soll, muss daher Kompetenzniveaus beschreiben, die aus einem konsistenten logischen Konstrukt stammen und systematisch aufeinander aufbauen (Neumann, Kauertz, Lau, Notarp & Fischer, 2007).

Als ein solches Modell kann das von Kauertz (2007; s. auch Kauertz, 2008) zur Erklärung der Schwierigkeit von Physikaufgaben entwickelte Inhaltsstrukturmodell interpretiert werden. Ausgehend von einem Modell der Vernetzung von Fachinhalten (Fischer et al., 2006; Sumfleth et al., 2006) unterscheidet dieses Modell die drei Dimensionen *Leitidee*, *Kognitive Aktivität* und *Komplexität*. Die Dimension *Leitidee* umfasst die in den Bildungsstandards (KMK, 2005c) benannten Basiskonzepte *Energie*, *Wechselwirkung*, *System* und *Materie*, ergänzt um *Naturwissenschaftliche Arbeitsweisen* und *Formalismus*. Dabei geht Kauertz (2007) davon aus, dass die Leitideen dazu geeignet sind, den gesamten, für die Schule relevanten Inhaltsbereich der Physik und damit Situationen in dieser Domäne (wie sie in Aufgaben vorliegen) im Sinne von Weinert (2001) zu strukturieren. Die Dimension *Kognitive Aktivität* beschreibt diesbezüglich „inhaltliche Teilmengen“ (Kauertz, 2007, S. 34), die in Anlehnung an kognitive Verarbeitungs-

strategien (s. Wild, Hofer & Pekrun, 2001, S. 248 ff, Mielke, 2001; Gläser-Zikuda, 2001) als *Erinnern*, *Strukturieren* oder *Explorieren* bezeichnet werden (s. a. Fischer et al., 2006). Die Dimension *Komplexität* charakterisiert die Komplexität der Struktur der inhaltlichen Teilmengen, wie sie aus der Kombination von Leitidee und inhaltlicher Teilmenge entstehen. Dabei werden in Anlehnung an bestehende hierarchische Modellierungen von Komplexität (Aebli, 1980; Wunsch, 1985; Fischer 1994) sechs hierarchisch geordnete Niveaus unterschieden: *Ein Fakt* (1), *Mehrere Fakten* (2), *Ein Zusammenhang* (3), *Mehrere unverbundene Zusammenhänge* (4), *Mehrere verbundene Zusammenhänge* (5), *Übergeordnetes Konzept* (6). Das Niveau Übergeordnetes Konzept bezeichnet die komplexeste Form einer Inhaltsstruktur. Es entspricht der Abstraktion von einzelnen konkreten Inhaltselementen (Fakten) und deren Relationen zueinander (Zusammenhängen). Die entsprechende Inhaltsstruktur besitzt eine andere, umfassendere Bedeutung als die Bedeutung der einzelnen Wissenselemente und deren Beziehungen untereinander zusammengenommen. Das Ganze ist also mehr als die Summe seiner Teile. Kauertz (2007) nutzt dieses Modell, um die Schwierigkeit von Physikaufgaben zu erklären. In einer Untersuchung mit N=594 Schülerinnen und Schülern der Jahrgangsstufe 10 an nordrhein-westfälischen Gymnasien gelang es ihm die theoretisch angenommene Struktur des Modells grundsätzlich empirisch zu bestätigen und zu zeigen, dass vor allem die Komplexität der zur erfolgreichen Bearbeitung einer Aufgabe notwendigen Inhaltsstruktur schwierigkeits-erzeugend ist. Interpretiert man das Modell nach Kauertz (2007) als Kompetenzstrukturmodell, entspricht Kompetenz der Fähigkeit, die für die erfolgreiche Bearbeitung einer Situation (eines Problems) im Hinblick auf eine Leitidee, eine kognitive Aktivität und die jeweilige Komplexität erforderliche Inhaltsstruktur zu generieren.

Als bis dato einziges Modell, mit dem es gelang, die Schwierigkeit von Aufgaben

durch kriterienbezogen, a priori definierte Niveaus zu erklären, wurde das Modell von Kauertz (2007) als Grundlage für die Normierung der Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss herangezogen. Dabei wurde es wie folgt weiterentwickelt: Die Dimension *Kognitive Aktivität* wurde in *Kognitive Prozesse* umbenannt und auf vier Informationsverarbeitungsstrategien erweitert: *Reproduzieren*, *Selektieren*, *Organisieren* und *Integrieren*. Da sich bei Kauertz (2007) für die Kompetenzstufen *Mehrere Fakten* (2) und *Mehrere unverbundene Zusammenhänge* (4) eine hohe Streuung bei der Schwierigkeit der jeweiligen Aufgaben zeigte, weil die Zahl der Fakten bzw. unverbundenen Zusammenhänge auf diesen Stufen nicht begrenzt war, werden diese Stufen durch *Zwei Fakten* bzw. *Zwei Zusammenhänge* ersetzt und die Stufen *Mehrere unverbundene Zusammenhänge* und *Mehrere verbundene Zusammenhänge* zusammengefasst. Die Dimension *Leitidee* wurde erweitert und wird jetzt *Kompetenzbereich* genannt. Sie unterscheidet die Kompetenzbereiche wie sie in den Bildungsstandards für die naturwissenschaftlichen Fächer (KMK, 2005a, 2005b, 2005c) benannt sind. Für Physik sind die Kompetenzbereiche *Fachwissen*, *Erkenntnisgewinnung*, *Bewertung* und *Kommunikation* ausgewiesen (vgl. KMK, 2005c). Die einzelnen Kompetenzbereiche sind weiter gegliedert, der Kompetenzbereich *Fachwissen* z. B. in vier Basiskonzepte *Energie*, *System*, *Materie* und *Wechselwirkung* (vgl. Walpuski et al., 2008 oder Kauertz, Fischer, Mayer, Sumfleth & Walpuski, 2010). Erste Pilotierungen der im Rahmen des Projekts „Evaluation der Standards in den naturwissenschaftlichen Fächern der Sekundarstufe I“ (ESNaS) bestätigen prinzipiell die Annahmen dieses modifizierten Modells (Kauertz et al., 2010).

Entwicklung physikalischer Kompetenz

Kompetenzentwicklung bezeichnet die Veränderung von Kompetenzstrukturen in

Folge unterrichtlicher Lehr-Lern-Prozesse. In den frühen Modellen naturwissenschaftlicher Kompetenz werden die Kompetenzniveaus kriterienbezogen unterschieden (Bybee, 1997; Klieme et al., 2000; Prenzel et al., 2001) und Kompetenzentwicklung als sukzessives Fortschreiten entlang der angenommenen Kompetenzniveaus verstanden (Hammann, 2004). Da sich aber bereits bei der empirischen Prüfung der Einteilung in Niveaus Schwierigkeiten ergeben haben, wurden ausführliche Untersuchungen zur Kompetenzentwicklung nicht mehr vorgenommen. In den normorientierten Modellen (Prenzel et al., 2001, S. 225 ff; Senkbeil et al., 2005) wird Kompetenzentwicklung als Fortschreiten auf einer numerischen Skala beschrieben (vgl. Prenzel, 2006; Carstensen, Prenzel & Baumert, 2008). Gegen eine normorientierte Modellierung spricht jedoch, dass eine inhaltliche Anbindung fehlt. Eine gezielte, systematische Entwicklung von Kompetenz z. B. im Rahmen des Physikunterrichts ist dadurch nicht möglich.

Auch von Kauertz (2007) wird nicht diskutiert, wie sich Kompetenz auf der Basis des von ihm vorgeschlagenen Modells entwickelt. Es erscheint naheliegend in Anlehnung an die obigen Arbeiten, Kompetenzentwicklung ebenfalls als ein Fortschreiten von einem Kompetenzniveau zum nächsten aufzufassen. Nach Fischer (1994) sollte die Entwicklung von Bedeutungen aber nicht nur qualitativ von einer Stufe zur nächsten in einer Hierarchie von Stufen, sondern auch quantitativ auf jeder Stufe stattfinden. Auch Bybee (1997) vermutet sowohl eine vertikale Entwicklung von einer Ebene der Scientific Literacy zur nächsten als auch eine horizontale Entwicklung auf einer Ebene. Im Strukturmodell physikalischer Kompetenz nach Kauertz (2007) und damit auch in der weiter entwickelten Fassung nach Walpuski et al. (2008) entspricht eine vertikale Entwicklung einer stärkeren Vernetzung der Wissensbasis, eine horizontale Entwicklung einer größer werdenden Zahl von Fakten und Zusammenhängen. In diesem Sinn entwickeln Schülerinnen und Schüler mit zu-

nehmender Kompetenz eine umfangreichere und ausdifferenziertere Wissensbasis bezüglich eines Basiskonzepts, ihr Verständnis des Basiskonzepts verändert sich.

Konzeptentwicklung

Das Verständnis naturwissenschaftlicher Konzepte wurde in den naturwissenschaftlichen Fachdidaktiken im Rahmen der Forschung zu Schülervorstellungen umfassend untersucht (vgl. Carmichael et al., 1990; Duit, 2009): So sind Schülervorstellungen für zahlreiche Inhaltsbereiche der Physik, wie der Elektrizität (z. B. von Rhöneck, 1986; Shipstone et al., 1988), der Mechanik (z. B. Schecker, 1985; Camp & Clement, 1994) oder der Optik (z. B. Wiesner, 1986, 1994; Galili & Hazan, 2000) untersucht worden. Außerdem wurden Schülervorstellungen zu zentralen Konzepten, wie dem Kraft- (z. B. Schecker, 1985; Hestenes, Wells & Swachhammer, 1992) oder dem Materiekonzept (z. B. Andersson, 1990; Krnel et al., 2003), in spezifischen Altersgruppen untersucht. Ein Schwerpunkt lag dabei auf dem Energiekonzept (für Überblick siehe z. B. Duit, 1986 oder Vosniadou, 2008). Dabei zeigt die Forschung vor allem, dass Schülerinnen und Schüler bereits zu Beginn ihrer Schulzeit über eine Vorstellung von Energie verfügen, wobei diese im Wesentlichen durch Alltagserfahrungen und -sprache geprägt sind. Solomon (1983) fasst die Alltagsvorstellungen von Schülerinnen und Schülern in vier Kategorien zusammen: Energie wird 1) zum Leben, 2) für Bewegung, 3) von Maschinen zum Arbeiten und 4) als gesellschaftliche Resource benötigt. Weitere Klassifikationen finden sich z. B. bei Watts (1983) oder Trumper (1990). Die Forschung zu Schülervorstellungen zeigt zudem, dass Schülerinnen und Schüler Schwierigkeiten mit wissenschaftlichen Konzeptualisierungen des Energiekonzepts haben. So zeigen sich z. B. Schwierigkeiten beim Verständnis der Energieerhaltung (z. B. Kesidou & Duit, 1993) oder dem Verständnis der Energieerhaltung

(Driver & Warrington, 1985). Insbesondere zeigt sich, dass Schülerinnen und Schüler zwar in der Lage sind das Prinzip der Energieerhaltung korrekt wiederzugeben, ein tiefergehendes Verständnis aber fehlt (Boyes & Stanisstreet, 1990). Ausgehend von diesen Befunden wurden verschiedene Ansätze zur Einführung und Entwicklung des Energiebegriffs vorgeschlagen. So schlägt Duit bereits 1981 vor, dass Schülerinnen und Schüler Energie mit Energie als quantitativer Größe vertraut gemacht werden sollten, um anschließend eine Vorstellung vom Transport, der Umwandlung und schließlich der Erhaltung von Energie zu entwickeln. Driver, Squires, Rusworth und Wood-Robinson (1994) führen eine ähnliche Vorgehensweise aus: Da Schülerinnen und Schüler häufig davon ausgehen, dass sie selber dann über Energie verfügen, wenn sie sich besonders aktiv fühlen, sollte die Entwicklung dieses Verständnisses zunächst auf eine Vorstellung erweitert werden, die Alltagskontexte und die eigenen Körpererfahrung einschließt. Über die Wahrnehmung, dass sich auch nicht-lebende Objekte bewegen können, kann dann die Vorstellung entwickelt werden, dass auch nicht-lebende Objekte Energie besitzen können. Schließlich soll Schülerinnen und Schülern bewusst gemacht werden, dass Energie in elastischen Materialien gespeichert sein kann und dass Objekte im Gravitationsfeld der Erde Energie besitzen. Darauf aufbauend sollen Schülerinnen und Schüler lernen, Ereignisse mit Hilfe von Energie zu beschreiben, dabei das Prinzip der Energieerhaltung anzuwenden und die Entwertung von Energie zu berücksichtigen (vgl. Driver et al., 1994).

Ausgehend von der vorliegenden Forschung zu Schülervorstellungen und der Entwicklung von Schülervorstellungen begründen Liu and McKeough (2005) mit Hilfe der neopiategischen Theorie von Case (1982) eine Sequenz von Konzeptualisierungen entlang derer sich ihrer Ansicht nach, das Verständnis von Energie entwickelt: Die Wahrnehmung von Energie als Aktivität oder Fähigkeit Arbeit zu verrichten (Aktivität/Arbeit),

die Fähigkeit zur Identifikation verschiedener Formen oder Quellen von Energie (Formen/Quellen), ein Verständnis für die Natur und den Prozess von Energiumwandlung und -transfer (Umwandlung/Transfer), ein Verständnis für die Entwertung von Energie bei Umwandlungsprozessen (Entwertung) und die Erkenntnis, dass Energie in der Summe immer erhalten bleibt (Erhaltung). Basierend auf einer Zuordnung von TIMSS Items zu diesen Konzeptualisierungen und einer anschließenden Rasch-Analyse der TIMSS Daten zeigten Liu und McKeough (2005), dass sich diese Konzeptualisierungen in eine der obigen Reihenfolge entsprechenden hierarchische Ordnung bringen lassen, die mit der Jahrgangsstufe der Population der verwendeten Aufgaben korrespondiert. Liu und McKeough (2005) nehmen entsprechend an, dass sich das Energiekonzept mit zunehmender Beschulung entlang dieser Stufen entwickelt (vgl. Liu & Ruiz, 2008).

In einer weiteren Studie gelingt es Liu und Lesniak (2006) eine parallele Entwicklung des Verständnisses von vier Konzeptualisierungen des Materiekonzepts nachzuweisen. Dies lässt den Schluss zu, dass bei der Beschreibung der Entwicklung des Verständnisses der Basiskonzepte, und damit der Entwicklung physikalischer Kompetenz im Kompetenzbereich Fachwissen, neben der Komplexität der Wissensbasis der Schülerinnen und Schüler zusätzlich auch die Konzeptualisierung des jeweiligen Basiskonzepts berücksichtigt werden. Dabei sollten die Schülerinnen und Schüler zu Beginn ihrer Schulzeit zunächst parallel zu ihren Alltagsvorstellungen, einfaches Faktenwissen erwerben. Durch die Etablierung von Zusammenhängen im Physikunterricht sollten sie aus ihren Alltagsvorstellungen heraus zunächst ein Verständnis einfacher (wissenschaftlicher) Konzeptualisierungen entwickeln, das dann im Verlauf der Schulzeit ausgebaut werden kann. Daraus ergibt sich ein gegenüber dem im Rahmen des Projekts ESNaS (vgl. Walpuski et al., 2008; Kauertz et al., 2010) eingesetzten Strukturmodells um die Dimension *Konzeptualisierung* erwei-

tertes Entwicklungsmodell physikalischer Kompetenz (vgl. Abbildung 1).

Untersuchung

Ziel des in diesem Beitrag vorgestellten Projekts ist, das beschriebene Modell der Entwicklung physikalischer Kompetenz (Abbildung 1) zunächst am Beispiel des Basiskonzepts Energie empirisch zu prüfen. Dazu muss das Modell durch Aufgaben operationalisiert werden. Zu diesem Zweck wurden für jede mögliche Kombination aus Konzeptualisierung und Komplexität Aufgaben entwickelt. Dabei wurden vier aufeinander aufbauende Konzeptualisierungen des Energiekonzepts angenommen: Quellen und Formen (1), Transfer und Umwandlung (2), Entwertung (3), Erhaltung (4). Die Komplexität der Aufgaben wurde in vier Stufen über unterschiedlich komplexe Informationen im Aufgabentext variiert: Da das Verständnis der einzelnen Konzeptualisierungen erfasst werden sollte, ist die Komplexität der erforderlichen Lösung auf Übergeordnetes Konzept festgelegt. Durch zusätzliche Informationen im Aufgabentext kann die Komplexität der Aufgabe reduziert werden. Je umfangreicher und vernetzter die im Aufgabentext gegebenen Informationen, d. h. je höher die Komplexität des Aufgabentexts gestaltet ist (z. B. *Ein Zusammenhang*), desto leichter sollte es dem Schüler fallen, die Komplexität der Aufgabenlösung (z. B. Übergeordnetes Konzept) zu erreichen. Eine Aufgabe setzt sich demnach aus einem Aufgabentext und einer Aufgabenlösung zusammen, denen jeweils eine spezifische Komplexität zugeordnet werden kann (vgl. Fischer et al., 2006). Die Aufgabenkomplexität kann als Differenz von Lösungskomplexität und Textkomplexität definiert werden. Da die Lösungskomplexität auf das Niveau eines übergeordneten Konzepts festgelegt ist, kann die Textkomplexität sinnvoll zwischen *Ein Fakt* und *Zwei Zusammenhängen* variiert werden (bei einer Textkomplexität auf dem Niveau Übergeordnetes Konzept wäre die erforderliche Lösung bereits im Aufgabentext vorgege-

derlichen Lösung auf Übergeordnetes Konzept festgelegt. Durch zusätzliche Informationen im Aufgabentext kann die Komplexität der Aufgabe reduziert werden. Je umfangreicher und vernetzter die im Aufgabentext gegebenen Informationen, d. h. je höher die Komplexität des Aufgabentexts gestaltet ist (z. B. *Ein Zusammenhang*), desto leichter sollte es dem Schüler fallen, die Komplexität der Aufgabenlösung (z. B. Übergeordnetes Konzept) zu erreichen. Eine Aufgabe setzt sich demnach aus einem Aufgabentext und einer Aufgabenlösung zusammen, denen jeweils eine spezifische Komplexität zugeordnet werden kann (vgl. Fischer et al., 2006). Die Aufgabenkomplexität kann als Differenz von Lösungskomplexität und Textkomplexität definiert werden. Da die Lösungskomplexität auf das Niveau eines übergeordneten Konzepts festgelegt ist, kann die Textkomplexität sinnvoll zwischen *Ein Fakt* und *Zwei Zusammenhängen* variiert werden (bei einer Textkomplexität auf dem Niveau Übergeordnetes Konzept wäre die erforderliche Lösung bereits im Aufgabentext vorgege-

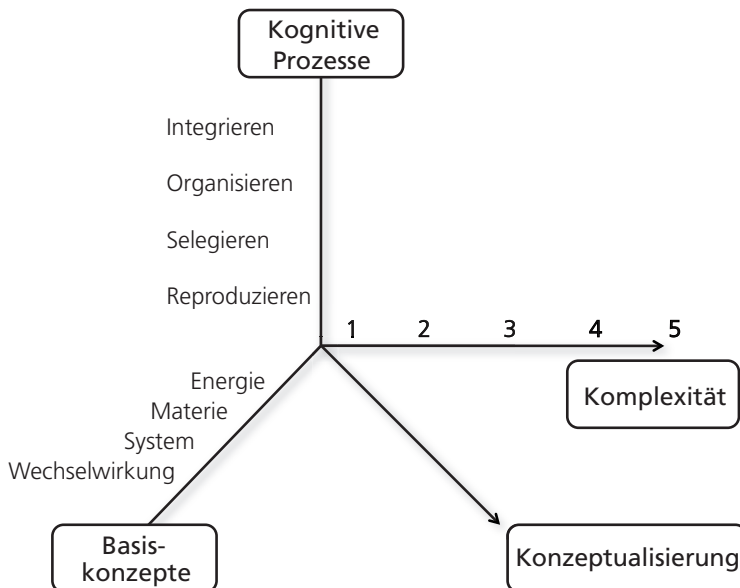


Abb. 1: Entwicklungsmodell physikalischer Kompetenz.

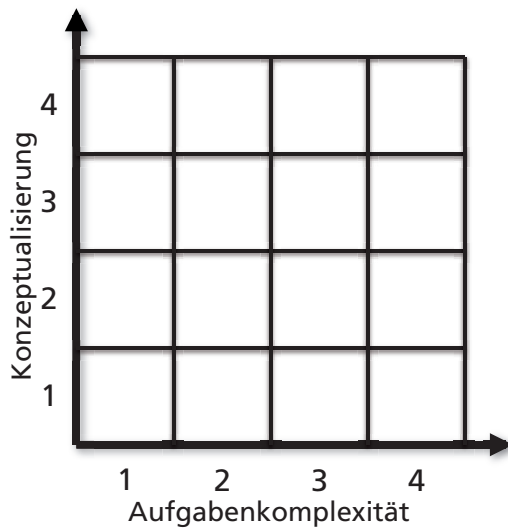


Abb. 2: Matrix als Grundlage für die Aufgabenentwicklung.

ben). Damit ergeben sich vier mögliche Abstufungen der Aufgabenkomplexität.

Da bisher kein eindeutiger Einfluss der kognitiven Prozesse auf die Schwierigkeit von Aufgaben festgestellt werden konnte (vgl. Kauertz et al., 2010, Ropohl, 2010), werden die Unterschiede zwischen den kognitiven Aktivitäten bei der Beschreibung der Entwicklung physikalischer Kompetenz vernachlässigt. Die Aufgabenentwicklung beschränkt sich deshalb auf den kognitiven Prozess *Integrieren*. Für das Basiskonzept Energie ergibt sich eine 4 x 4-Matrix mit den Dimensionen Konzeptualisierung und Aufgabenkomplexität als Grundlage für die Aufgabenentwicklung (vgl. Abbildung 2).

Die empirischen Prüfung des Modells ist zunächst als Normierung der entwickelten Aufgaben in einer Querschnittsuntersuchung von Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I geplant. Dabei wird unter Berücksichtigung des Einflusses kognitiver Fähigkeiten sowie der Lesefähigkeit angenommen, dass

- Schülerinnen und Schüler höherer Jahrgangsstufen Aufgaben mit einer höheren Schwierigkeit, d.h. Aufgaben einer hö-

heren Konzeptualisierung und Aufgabenkomplexität, lösen und

- Schülerinnen und Schüler höherer Jahrgangsstufen Aufgaben der gleichen Schwierigkeit, d.h. Aufgaben der gleichen Konzeptualisierung und Aufgabenkomplexität, mit einer höheren Wahrscheinlichkeit lösen.

Im Anschluss an die Querschnittsuntersuchung soll ein Längsschnitt zur Erfassung der individuellen Kompetenzentwicklung durchgeführt werden. Unter der Kontrolle des Einflusses der Entwicklung kognitiver Fähigkeiten sowie der Lesefähigkeit, werden folgende Ergebnisse erwartet:

- Dieselbe Schülerin bzw. derselbe Schüler löst in einer höheren Jahrgangsstufe Aufgaben mit einer höheren Schwierigkeit, d.h. Aufgaben einer höheren Konzeptualisierung und Aufgabenkomplexität.
- Dieselbe Schülerin bzw. derselbe Schüler löst in einer höheren Jahrgangsstufe Aufgaben der gleichen Schwierigkeit, d.h. Aufgaben der gleichen Konzeptualisierung und Aufgabenkomplexität, mit einer höheren Wahrscheinlichkeit.

Im Rahmen der hier vorgestellten Studie wurden zunächst ausgewählte Aufgaben mit Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I pilotiert. Ziel war zu prüfen, inwieweit die entwickelten Aufgaben das Modell angemessen operationalisieren.

Methode

Für die Konstruktion der Aufgaben wurde zunächst die theoretische Beschreibung der Konzeptualisierungen des Energiekonzepts weiter ausgearbeitet:

- **Energieformen und Energiequellen**
Schülerinnen und Schülern sollen in einer gegebenen Situation Energieformen und/oder -quellen korrekt zuordnen können. Es wird erwartet, dass Schülerinnen und

Schüler der 5. und 6. Jahrgangsstufe über diese Konzeptualisierung verfügen können. Von den Schülerinnen und Schülern wird erwartet, dass sie verstanden haben, dass Objekten aufgrund spezifischer Charakteristika Energie zugeordnet werden kann und dass diese Energie in verschiedenen Formen auftritt. Sie sollen insbesondere verstanden haben, dass es Quellen für diese Energieformen gibt. Beispiele sind: Bewegungsenergie, Lageenergie, Thermische Energie, Innere Energie, Elektrische Energie, Chemische Energie, Verformungsenergie, Strahlungsenergie.

- **Energietransport und Energieumwandlung**

Schülerinnen und Schüler sollen in einer gegebenen Situation den Prozess von Energietransport und Energieumwandlung korrekt charakterisieren können, d. h. dass Energie von einem Ort zum anderen weitergeleitet (Energietransport) oder von einer Form in eine andere umgewandelt wird (Energieumwandlung). Es wird erwartet, dass Schülerinnen und Schüler spätestens der 7. oder 8. Jahrgangsstufe über diese Konzeptualisierung verfügen können. Sie sollen verstanden haben, dass verschiedene Energieformen ineinander überführt werden können. Insbesondere wird erwartet, dass sie den Ablauf der Umwandlungsprozesse beschreiben können. Zum Beispiel, dass die Lageenergie eines Skateboardfahrers nach dem Drop-in in die Half-pipe sukzessive in Bewegungsenergie und danach wieder in Lageenergie umgewandelt wird.

- **Energieentwertung**

Schülerinnen und Schüler sollen in einer gegebenen Situation erkennen, dass bei den vorliegenden Transport- und Umwandlungsprozessen immer auch Energieentwertung stattfindet, die zu einer Änderung der inneren Energie eines Systems führt. Es wird erwartet, dass Schülerinnen und Schüler der 8. und 9. Jahrgangsstufe über diese Konzeptualisierung verfügen können. Sie sollten verstanden haben, dass

sich Energieformen ineinander umwandeln lassen und verschiedene Energieformen auf verschiedene Weisen nutzbar sind (z. B. Strahlungsenergie, um elektrische Energie zu erzeugen, mit der Maschinen betrieben werden können). Insbesondere sollen die Schülerinnen und Schüler verstanden haben, dass Energieentwertung den Verlust nutzbarer Energie durch Umwandlung in innere Energie darstellt und dass dieser Vorgang nicht reversibel ist. Zum Beispiel, dass bei der Umwandlung von Bewegungsenergie in elektrische Energie immer auch ein Anteil der Bewegungsenergie in innere Energie umgewandelt wird.

- **Energieerhaltung**

Schülerinnen und Schüler sollen in einer gegebenen Situation die Gesamtenergie als Bilanzierungsgröße nutzen. Es wird erwartet, dass Schülerinnen und Schülern am Ende der Sekundarstufe I über diese Konzeptualisierung verfügen können. Sie sollen verstanden haben, dass die Gesamtenergie eines (geschlossenen) Systems trotz Energieentwertung erhalten bleibt. Es wird insbesondere erwartet, dass sie in der Lage sind die Energieentwertung gedanklich auszublenden, um Phänomene idealisiert und damit einfacher quantitativ beschreiben zu können (zum Beispiel beim Zusammenhang zwischen maximaler Geschwindigkeit eines Pendels und der maximalen Auslenkung).

Auf Basis dieser Beschreibung der Konzeptualisierungen wurden für jede Zelle der oben beschriebenen Matrix Aufgaben entwickelt. Dabei wurde eine schriftliche Anleitung eingesetzt, durch die eine höhere Reliabilität bei der Zuordnung von Aufgaben zu den Modellzellen der Matrix erreicht werden kann (vgl. Kauertz, 2007). In der Anleitung werden zunächst die formalen Kriterien beschrieben, die alle Aufgaben zu erfüllen haben. Die Anleitung führt schrittweise durch die Aufgabenkonstruktion: Zunächst wird ein Kontext gewählt (z. B. „Bogen“, siehe Abbildung 3). Zu diesem Kontext

werden zunächst auf Grundlage der obigen Beschreibung Aufgaben für jede Konzeptualisierung konstruiert. Im Anschluss werden die Aufgabentexte für die einzelnen Konzeptualisierung eines bestimmten Kontextes erstellt. Beginnend mit der höchsten Aufgabenkomplexität werden sie durch Hinzufügen von Fakten bzw. Zusammenhängen in ihrer Komplexität verringert. Alle vier Aufgaben zu einem bestimmten Kontext und einer bestimmten Konzeptualisierung haben daher den gleichen Inhalt, sie unterscheiden sich nur in der Komplexität des Aufgabenstamms. Als Aufgaben wurden

ausschließlich geschlossene Aufgaben verwendet. Dadurch wird zum Einen die Untersuchung einer vergleichsweise großen Zahl von Schülerinnen und Schülern und zum Anderen eine hohe Systematik bei der Aufgabenkonstruktion möglich.

Entsprechend der beschriebenen Vorgehensweise wurden für 17 Kontexte jeweils 16 Aufgaben entwickelt. Aus diesen wurden zunächst 32 Aufgaben, zwei für jede Zelle der Aufgabenmatrix, ausgewählt und auf zwei Testhefte zu je 20 Aufgaben verteilt; acht Aufgaben fungierten als Ankeraufgaben (vgl. Adams, Wu & Mascaskill, 1997).

Beispielaufgabe – Kontext „Bogen“

Energieformen und Energiequellen

Aufgabenkomplexität 4

Ein Pfeil ist mit einem Bogen in die Luft geschossen worden.

Welche Energie würde ein Physiker dem Pfeil zuschreiben?

Aufgabenkomplexität 3

Ein Pfeil ist mit einem Bogen in die Luft geschossen worden. Der fliegende Pfeil besitzt Energie.

Welche Energie würde ein Physiker dem Pfeil zuschreiben?

Aufgabenkomplexität 2

Ein Pfeil ist mit einem Bogen in die Luft geschossen worden. Der fliegende Pfeil besitzt Energie. Weil der Pfeil sich bewegt, kann man ihm eine bestimmte Energieform zuschreiben.

Welche Energie würde ein Physiker dem Pfeil zuschreiben?

Aufgabenkomplexität 1

Ein Pfeil ist mit einem Bogen in die Luft geschossen worden. Der fliegende Pfeil besitzt Energie. Weil der Pfeil sich bewegt, kann man ihm eine bestimmte Energieform zuschreiben. Diese Energie des Pfeils hängt dabei von seiner Geschwindigkeit ab.

Welche Energie würde ein Physiker dem Pfeil zuschreiben?

- Ein Physiker würde dem fliegenden Pfeil Bewegungsenergie zuschreiben, weil der Pfeil eine Geschwindigkeit hat.
- Ein Physiker würde dem fliegenden Pfeil Lageenergie zuschreiben, weil der Pfeil eine Geschwindigkeit hat.
- Ein Physiker würde dem fliegenden Pfeil keine Energie zuschreiben, weil der Pfeil keinen eigenen Antrieb hat.
- Ein Physiker würde dem fliegenden Pfeil Bewegungsenergie zuschreiben, weil der Bogenschütze sich anstrengen musste.

Abb. 3: Beispielaufgaben zu den vier Aufgabenkomplexitäten einer Konzeptualisierung bei einem speziellen Kontext.

Stichprobe

Im Rahmen dieser Studie wurden insgesamt $N=395$ Schülerinnen und Schüler aus 15 Klassen der Jahrgänge 7 bis 11 an Gymnasien in Nordrhein-Westfalen getestet. Dabei wurden nur solche Klassen ausgewählt, die im vorhergehenden Schuljahr in Physik unterrichtet wurden. Die Klassen verteilen sich wie folgt auf die Jahrgänge: vier Klassen des 7. Jahrgangs, zwei Klassen des 8. Jahrgangs, vier Klassen des 9. Jahrgangs, zwei Klassen des 10. Jahrgangs und drei Klassen des 11. Jahrgangs. In jeder Klasse wurden beide Testhefte zu ungefähr gleichen Teilen eingesetzt. Jedes der beiden Testhefte wurde also von ungefähr 200 Schülerinnen und Schülern aller ausgewählten Klassen bearbeitet.

Auswertung

Die Auswertung der erhobenen Daten erfolgte auf der Basis des dichtomen Raschmodells. Dabei wurden Aufgaben mit schlechter Anpassung an das Raschmodell nach folgenden Kriterien in der entsprechenden Reihenfolge ausgeschlossen: Aufgaben, die nicht mindestens eine Lösungshäufigkeit von 15 Prozent oder eine Lösungshäufigkeit von mehr als 85 Prozent aufwiesen¹; Aufgaben, für die der Fit-Wert des gewichteten quadratischen Mittels (WMNSQ) kleiner als 0,8 oder größer als 1,2 war, und Aufgaben, für die der T-Wert größer als 2,0 war (vgl. Bond & Fox, 2001). Gemäß dieser Kriterien wurden drei Aufgaben wegen zu niedriger bzw. zu hoher Lösungshäufigkeit und eine Aufgabe wegen eines zu hohen T-Werts ausgeschlossen.

Für die verbleibenden 28 Aufgaben wurde zunächst der Einfluss der Konzeptualisierung auf die Aufgabenschwierigkeit analysiert (vgl. Abbildung 4). Dabei zeigte sich

zunächst kein statistisch bedeutsamer Einfluss der Konzeptualisierung auf die Aufgabenschwierigkeit. Abbildung 4 lässt sich entnehmen, dass dies vor allem darin begründet scheint, dass Aufgaben zu *Energiequellen und -formen* (1) eine systematisch zu hohe Schwierigkeit aufweisen. Für die Konzeptualisierungen *Energieumwandlung und -transport* (2), *Energieentwertung* (3) und *Energieerhaltung* (4) scheint die Aufgabenschwierigkeit erwartungskonform anzusteigen. Dies lässt sich statistisch bestätigen: Unter Ausschluss der Aufgaben zu *Energieformen und -quellen* ergibt sich ein statistisch bedeutsamer Zusammenhang zwischen der Konzeptualisierung und der Aufgabenschwierigkeit (Kendalls $\tau = .522$, $p < .01$). Eine Varianzanalyse ergibt, dass die Konzeptualisierung 48% der Varianz in der Aufgabenschwierigkeit erklärt, $F(2,17) = 7.89$; $p < .01$.

Anschließend wurde der Einfluss der Aufgabenkomplexität auf die Aufgabenschwierigkeit untersucht. Ein statistisch bedeutsamer Einfluss der Aufgabenkomplexität konnte dabei jedoch nicht festgestellt werden.

Zuletzt wurde der Einfluss der Beschulung, gemessen an der Jahrgangstufe der Schülerinnen und Schüler, auf die Personenfähigkeit untersucht (vgl. Abbildung 5). Dabei ergab sich ein statistisch bedeutsamer Zusammenhang zwischen Jahrgangsstufe und Personenfähigkeit (Kendalls $\tau = .223$, $p < .01$). Die durch die Jahrgangsstufe aufgeklärte Varianz in der Fähigkeit der Schülerinnen und Schüler beträgt 13%, $F(4,390) = 15.14$, $p < .01$. Grundsätzlich kann also eine Abhängigkeit der Personenfähigkeit mit der Schulzeit konstatiert werden. Offensichtlich hängt die Personenfähigkeit aber noch von weiteren Faktoren ab. Nach Weinert und Helmke (1995) wäre hier zum Beispiel ein Einfluss kognitiver Fähigkeiten zu erwarten.

¹ Wegen der insgesamt geringen Zahl von Aufgaben wurde die üblichen Grenzen von 20 und 80 Prozent für den Ausschluss von Aufgaben aufgrund von zu niedriger oder zu hoher Lösungswahrscheinlichkeit geringfügig erweitert.

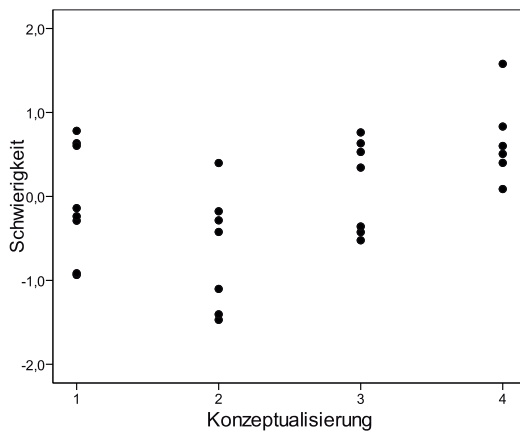


Abb. 4: Aufgabenschwierigkeit (in Logits) in Abhängigkeit von der Konzeptualisierung.

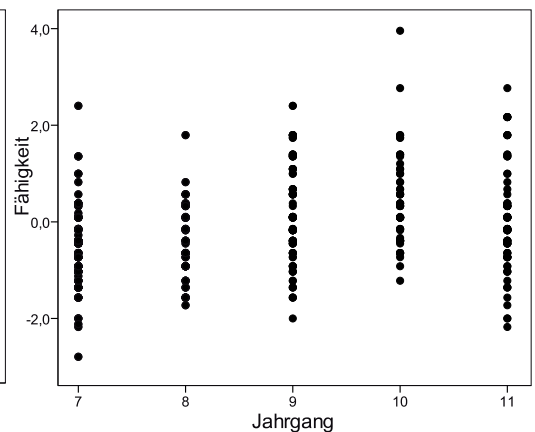


Abb. 5: Personenfähigkeit (in Logits) in Abhängigkeit von der Jahrgangsstufe.

Diskussion

Die Ergebnisse der Untersuchung bestätigen weitgehend die Annahmen des Modells: Die Aufgaben werden mit zunehmender Konzeptualisierung schwieriger, gleichzeitig wächst die Personenfähigkeit in Abhängigkeit von der Jahrgangsstufe. Das deutet darauf hin, dass sich das Verständnis des Energiekonzepts wie angenommen mit zunehmender Beschulung entwickelt. Allerdings zeigt sich, dass die Aufgaben der niedrigsten Entwicklungsstufe des Energiekonzepts, *Energiequellen und -formen* (1), systematisch zu schwer sind. In diesen Aufgaben werden die folgenden Fragen gestellt:

1. Welche Energieform lässt sich einem fliegenden Pfeil zuschreiben?
2. Welche Energieform ist in einem durchgebogenen Stab gespeichert?
3. Welche Energieform lässt sich einem höher gelegenen See zuordnen?
4. Welche Energieform kann einem angehobenen Pendel zugeschrieben werden?
5. Was ist die Quelle der Energie, die man zum Fahrradfahren benötigt?
6. Was ist die Quelle der Energie des elektrischen Stroms?

In den entsprechenden Aufgaben wird also nach der charakteristischen Energieform einer bestimmten Situation gefragt (1-4) oder nach der Quelle einer bestimmten Energieform (5-6), die einem bestimmten Zweck dient (z. B. dem Fahrradfahren). Ein Vergleich der Aufgaben zu Energieformen mit denen zu Energiequellen zeigt, dass die Aufgaben mit zu hoher Schwierigkeit ausschließlich Aufgaben zu Energiequellen sind. Tatsächlich lassen sich in diesen Aufgaben aber auch implizite Aspekte der Energieumwandlung finden. So erfordert die Frage nach Quelle der Energie, die man zum Fahrradfahren benötigt, zur erfolgreichen Bearbeitung (Lösung: In der Nahrung gespeicherte chemische Energie) die Konstruktion einer Energieumwandlung von chemischer Energie, über die Verbrennung in den Muskeln zu Bewegungsenergie der Muskeln. Identisches lässt sich bei der Frage nach der Quelle der Energie des elektrischen Stroms finden. Entsprechend ist eine Überprüfung und ggf. eine Überarbeitung aller zu Energiequellen entwickelten Aufgaben notwendig.

Ein Einfluss der Aufgabenkomplexität auf die Aufgabenschwierigkeit konnte nicht nachgewiesen werden. Das kann darin begründet liegen, dass der Einfluss der Auf-

gabenkomplexität zu gering ist um mit der verhältnismäßig kleinen Zahl von Aufgaben pro Stufe der Aufgabenkomplexität nachgewiesen werden zu können. Hier gilt es die Ergebnisse aus der geplanten Querschnittsuntersuchung abzuwarten. Ziel dieser Untersuchung ist zum Einen die umfassendere Prüfung des Modells und zum Anderen Kennwerte für ca. 120 entwickelte Aufgaben zu erhalten, auf deren Grundlage dann im Rahmen einer längsschnittlichen Untersuchung die individuelle Entwicklung physikalische Kompetenz erfasst werden soll.

Danksagung

Diese Veröffentlichung wurde ermöglicht durch eine Sachbeihilfe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (Kennz.: NE 1368/2-1 und 2-2) im Schwerpunktprogramm „Kompetenzmodelle zur Erfassung individueller Lernergebnisse und zur Bilanzierung von Bildungsprozessen“ (SPP 1293).

Literatur

- Aebli, H. (1980). *Denken – das Ordnen des Tuns: Bd. 1. Kognitive Aspekte der Handlungstheorie*. Stuttgart: Klett.
- Adams, R.J., Wu, M.L., Macaskill, G. (1997). Scaling methodology and procedures for the mathematics and science scales. In M. O. Martin & D. L. Kelly (Hrsg.), *Third International Mathematical and Science Study. Technical report. Vol. 2: Implementation and analysis. Primary and middle school years* (S. 111–146). Cestnut Hill, MA: Boston College.
- Andersson, B. R. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12–16). In P. L. Lijnse, P. Licht, W. de Vos, A. J. Waarlo (Hrsg.), *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles: A central problem in secondary Science Education* (S. 12–35). Utrecht: CD-ß Press.
- Baumert, J., Klieme, E., Neubrand, M., Prenzel, M., Schiefele, U., Schneider, W., Stanat, P., Tillmann, K.-J. & Weiß, M. (Hrsg.). (2001). *PISA 2000: Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen V ergleich*. Opladen: Leske + Budrich.
- Bond, T. G., & Fox, C. M. (2006). *Applying the Rasch Model: Fundamental Measurement in the Human Sciences*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Boyes, E., Stanistreet, M. (1990). Misunderstandings of “law” and “conservation”: a study of pupils' meanings for these terms. *School Science Review*, 72(258), 51–57.
- Bybee, R. W. (1997). Toward an understanding of scientific literacy. In W. Gräber & C. Bolte (Hrsg.), *Scientific literacy, an international Symposium* (S. 37–68). Kiel: IPN.
- Camp, C. & Clement, J. (1994). *Preconceptions in Mechanics: Lessons dealing with students' conceptual difficulties*. Dubuque, IO: Kendall/Hunt.
- Carmichael, P., Driver, R., Holding, B., Phillips, I., Twigger, D. & Watts, M. (1990). *Research on students' conceptions in science: a bibliography*. Leeds: University of Leeds.
- Carstensen, C.H., Prenzel, M. & Baumert, J. (2008). Trendanalysen: Wie haben sich die Kompetenzen in Deutschland zwischen PISA 2000 und PISA 2006 entwickelt? *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, Sonderheft 10*, 11–34.
- Case, R. (1992). Neo-Pagetian theories of intellectual development. In H. Beilin & P. B. Pufall (Hrsg.), *Piaget's theory: Prospects and possibilities* (S. 61–104). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Driver, R., & Warrington, L. (1985). Students' use of the principle of energy conservation in problem situations. *Physics Education*, 20, 171–176.
- Driver, R., Squires, D., Rushworth, P., & Wood-Robinson, V. (1994). *Making sense of secondary science: Supporting materials for teachers*. London: Routledge.
- Duit, R. (1981). Students' notions about the energy concept – before and after physics instruction. In W. Jung, Pfundt, H. & Rhoeneck, C. von (Hrsg.), *Proceedings of the international workshop on “Problems Concerning Students' Representation of Physics and Chemistry Knowledge”* (S. 268–319). Ludwigsburg: Paedagogische Hochschule.
- Duit, R. (1986). *Der Energiebegriff im Physikunterricht*. Kiel: IPN.
- Duit, R. (2009). *Bibliographie: Schülervorstellungen und naturwissenschaftlicher Unterricht*. Kiel: IPN.
- Fischer, H.E. (1994). *Physiklernen: Eine Herausforderung für Unterrichtsforschung*. Frankfurt: Lang.
- Fischer, H.E., Glemnitz, I., Kauertz, A. & Sumfleth, E. (2006). Auf Wissen aufbauen – kumulatives Lernen in Chemie und Physik. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis*. Heidelberg: Springer.

- Galili, I. & Hazan, A. (2000). Learners' knowledge in optics: Interpretations, structure and analysis. *International Journal of Science Education*, 22(1), 57–88.
- Gläser-Zikuda, M. (2001). *Emotionen und Lernstrategien in der Schule. Eine Empirische Studie mit qualitativer Inhaltsanalyse*. Weinheim: Beltz Deutscher Studien Verlag.
- Hammann, M. (2004). Kompetenzentwicklungsmodelle: Merkmale und ihre Bedeutung – dargestellt anhand von Kompetenzen beim Experimentieren. *Mathematischer und Naturwissenschaftlicher Unterricht*, 57(4), 196–203.
- Hestenes, D., Wells, M., Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141–166.
- Kauertz, A. (2007). Schwierigkeitserzeugende Merkmale physikalischer Testaufgaben. Dissertation am Fachbereich Physik, Universität Duisburg-Essen.
- Kauertz (2008). Schwierigkeitserzeugende Merkmale physikalischer Testaufgaben. Berlin: Logos.
- Kauertz, A., Fischer, H.E., Mayer, J., Sumfleth, E. & Walpuski, M. (2010) Standardbezogene Kompetenzmodellierung in den Naturwissenschaften der Sekundarstufe I. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 135–153.
- Kesidou, S., & Duit, R. (1993). Students' conceptions of the second law of thermodynamics – an interpretive study. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(1), 85–106.
- Klieme, E., Avenarius, H., Blum, W., Döbrich, P., Gruber, H., Prenzel, M., Reiss, K., Riquarts, K., Rost, J., Tenorth, H.-E. & Vollmer, H. J. (2003). *Expertise zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards*. Berlin: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).
- Klieme, E. (2000). Fachleistungen und naturwissenschaftlichen Mathematik- und Physikunterricht: Theoretische Grundlagen, Kompetenzstufen und Unterrichtsschwerpunkt. In J. Baumert, W. Bos & R. Lehmann (Hrsg.), *TIMSS/III Band 2* (S. 57–128). Opladen: Leske + Budrich.
- Klieme, E., Baumert, J., Köller, O. & Bos, W. (2000). Mathematische und naturwissenschaftliche Grundbildung: Konzeptuelle Grundlagen und die Erfassung und Skalierung von Kompetenzen. In J. Baumert, W. Bos & R. Lehmann (Hrsg.), *Dritte Internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie. Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn. Bd. 1. Mathematische und naturwissenschaftliche Grundbildung am Ende der Pflichtschulzeit* (S. 85–133). Opladen: Leske + Budrich.
- Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland [KMK]. (2005a). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss*. München: Luchterhand.
- Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland [KMK]. (2005b). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss*. 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.
- Krnel, D., Glazar, S. & Watson, R. (2003). The development of the concept of "matter": a cross-age study of how children classify materials. *Science Education*, 87, 621–638.
- Liu, X. & McKeough, A. (2005). Developmental growth in students' concept of energy: Analysis from selected items from the TIMSS database. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(5), 493–517.
- Liu, X. & Lesniak (2006). Progression in children's understanding of the matter concept from elementary to high school. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(3), 320–347.
- Liu, X. & Ruiz, M.E. (2008). Using Data Mining to Predict K–12 Students' Performance on Large-Scale Assessment Items Related to Energy. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(5), 554–573.
- Mielke, R. (2001). *Psychologie Des Lernens. Eine Einführung*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Neumann, K., Kauertz, A., Lau, A., Notarp, H. & Fischer, H. E. (2007). Die Modellierung physikalischer Kompetenz und ihrer Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 13, 125–143.
- Prenzel, M., Rost, J., Senkbeil, M., Häußler, P. & Klopp, A. (2001). Naturwissenschaftliche Grundbildung: Testkonzeption und Ergebnisse. In J. Baumert et al. (Hrsg.), *PISA 2000 – Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich* (S. 191–248). Opladen: Leske + Budrich.
- Prenzel, M. (2006). Untersuchungen zur Kompetenzentwicklung im Verlauf eines Schuljahres: Die Ergebnisse von PISA-I-Plus im Überblick. In M. Prenzel, J. Baumert, W. Blum, R. Lehmann, D. Leutner, M. Neubrand, R. Pekrun, J. Rost & U. Schiefele (Hrsg.), *PISA 2003. Untersuchungen zur Kompetenzentwicklung im Verlauf eines Schuljahres* (S. 15–28). Münster: Waxmann.
- Rhöneck, C. von (1986). *Schülervorstellungen im Bereich der Elektrizitätslehre als kognitive Strukturen*. Kiel: IPN.

- Ropohl, M. (2010). *Modellierung von Schülerkompetenzen im Basiskonzept Chemische Reaktion. Entwicklung und Analyse von Testaufgaben*. Berlin: Logos.
- Schecker, H. (1985). *Das Schülerverständnis zur Mechanik*. Bremen: Universität Bremen.
- Schecker, H. & Parchmann, I. (2006). Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, 45–66.
- Senkbeil, M., Rost, J., Carstensen, C.H. & Walter, O. (2005). Der nationale Naturwissenschaftstest PISA 2003: Entwicklung und empirische Überprüfung eines zweidimensionalen Facettendesigns. *Empirische Pädagogik*, 19(2), 166–189.
- Shipstone, D. M., Rhoeneck, C. von, Jung, W., Kaerquist, C., Dupin, J. J., Johsua, S., Licht, P. (1988). A study of students' understanding of electricity in five European countries. *International Journal of Science Education*, 10(3), 303–316.
- Solomon, J. (1983). Messy, contradictory and obstinately persistent: A study of children's out-of-school ideas about energy. *School Science Review*, 65(231), 225–230.
- Sumfleth, E., Fischer, H. E., Glemnitz, I. & Kauertz, A. (2006). Ein Modell vertikaler Vernetzung im naturwissenschaftlichen Unterricht. In A. Pitton (Hrsg.), *Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik: Lehren und Lernen mit neuen Medien*. Münster: Lit.
- Trumper, R. (1990). Being constructive: An alternative approach to the teaching of the energy concept – part one. *International Journal of Science Education*, 12, 343–354.
- Walpuski, M., Kampa, N., Kauertz, A. & Wellnitz, N. (2008). Evaluation der Bildungsstandards in den Naturwissenschaften. *Mathematisch und Naturwissenschaftlicher Unterricht*, 61(6), 223–226.
- Watts, M. (1983). A study of schoolchildren's alternative frameworks of the concept of force. *European Journal of Science Education*, 5(2), 217–230.
- Weinert, F. E. (2001). Vergleichende Leistungsmessung in Schulen – eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Leistungsmessungen in Schulen* (S. 17–31). Weinheim: Beltz Verlag.
- Weinert, F. E. & Helmke, A. (1995). Interclassroom Differences in Instructional Quality and Interindividual Differences in Cognitive Development. *Educational Psychologist*, 30(1), 15–20.
- Wiesner, H. (1986). Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten im Bereich der Optik. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik/Chemie*, 34(13), 25–29.
- Wiesner, H. (1994). Ein neuer Optikkurs für die Sekundarstufe I, der sich an Lernschwierigkeiten und Schülervorstellungen orientiert. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik*, 42(22), 7–15.
- Wild, E., Hofer, M. & Pekrun, R. (2001). Psychologie des Lernalers. In A. Krapp & B. Weidemann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie*. Weinheim: Beltz Psychologie Verlag Union.
- Wunsch, G. (1985). *Geschichte der Systemtheorie: dynamische Systeme und Prozesse*. München: Oldenbourg.

Kontakt

Prof. Dr. Knut Neumann
Leibniz-Institut für die Pädagogik
der Naturwissenschaften und Mathematik
an der Universität Kiel (IPN)
Olshausenstraße 62
24098 Kiel
neumann@ipn.uni-kiel.de

Autoreninformationen

Dr. paed. Knut Neumann ist Professor für Didaktik der Physik am Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik (IPN) Kiel. Seine Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich der Kompetenzdiagnostik und Kompetenzentwicklung sowie der Untersuchung und Verbesserung der Unterrichtsqualität in Physik.

Tobias Viering ist Studienreferendar für das Lehramt an Gymnasien in Hessen. Als ehemals wissenschaftlicher Mitarbeiter der DFG-Forschergruppe naturwissenschaftlicher Unterricht und des Leibniz-Instituts für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik promoviert er zum Thema Kompetenzmodelle und Kompetenzentwicklung.

Dr. rer. nat. Hans Ernst Fischer ist Professor für Didaktik der Physik in der Fakultät für Physik der Universität Duisburg-Essen und Sprecher der DFG-Forschergruppe naturwissenschaftlicher Unterricht. Seine Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich der fachspezifischen Unterrichtsforschung, der fachspezifischen Analysen zur Lehrerprofessionalisierung unter Berücksichtigung von Lernvoraussetzungen und Lernergebnissen.