

Neumann, Knut; Vollstedt, Maike; Lindmeier, Anke; Bernholt, Sascha; Eckhardt, Marc; Harms, Ute; Härtig, Hendrik; Heinze, Aiso; Parchmann, Ilka

## **Strukturmodelle allgemeiner Kompetenz in Mathematik und den Naturwissenschaften und Implikationen für die Kompetenzentwicklung im Rahmen der beruflichen Ausbildung in ausgewählten kaufmännischen und gewerblich-technischen Berufen**

*formal überarbeitete Version der Originalveröffentlichung in:*

*formally revised edition of the original source in:*

*Nickolaus, Reinhold [Hrsg.]: Mathematisch-naturwissenschaftliche Kompetenzen in der beruflichen Erstausbildung. Stand der Forschung und Desiderata. Stuttgart : Steiner 2013, S. 113-137. - (Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik. Beiheft; 26)*



Bitte verwenden Sie beim Zitieren folgende URN /  
Please use the following URN for citation:  
urn:nbn:de:0111-pedocs-109950

### **Nutzungsbedingungen**

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

### **Terms of use**

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.

This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

### **Kontakt / Contact:**

peDOCS  
Deutsches Institut für Internationale Pädagogische Forschung (DIPF)  
Informationszentrum (IZ) Bildung  
E-Mail: [pedocs@dipf.de](mailto:pedocs@dipf.de)  
Internet: [www.pedocs.de](http://www.pedocs.de)

Mitglied der

  
Leibniz-Gemeinschaft

Neumann, K., Vollstedt, M., Lindmeier, A., Bernholt, S., Eckhardt, M., Harms, U., Härtig, H., Heinze, A. & Parchmann, I. (2013). Strukturmodelle allgemeiner Kompetenz in Mathematik und den Naturwissenschaften und Implikationen für die Kompetenzentwicklung im Rahmen der beruflichen Ausbildung in ausgewählten kaufmännischen und gewerblich-technischen Berufen. In R. Nickolaus, J. Retelsdorf, E. Winther & O. Köller (Hrsg.), *Mathematisch-naturwissenschaftliche Kompetenzen in der beruflichen Erstausbildung. Stand der Forschung und Desiderata (Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik, Beiheft 26)* (S. 113–138). Stuttgart: Franz Steiner.

Strukturmodelle allgemeiner Kompetenz in Mathematik und den  
Naturwissenschaften und Implikationen für die Kompetenzentwicklung im Rahmen  
der beruflichen Ausbildung in ausgewählten kaufmännischen und gewerblich-  
technischen Berufen

Knut Neumann, Maike Vollstedt, Anke Lindmeier, Sascha Bernholt, Marc  
Eckhardt, Ute Harms, Hendrik Härtig, Aiso Heinze & Ilka Parchmann

### **Kurzfassung**

Die Berufsausbildung soll Auszubildende mit den für die Ausübung ihres Berufes notwendigen Kompetenzen ausstatten. In ähnlicher Weise soll die allgemeinbildende Schule Schülerinnen und Schülern grundlegende Kompetenzen für weiteres Lernen z.B. im Rahmen der Berufsausbildung vermitteln. Dass der allgemeinbildenden Schule dies im Bereich mathematischer und naturwissenschaftlicher Kompetenzen gelingt, wird gerade auch auf Basis der Befunde nationaler und internationaler Vergleichsstudien wie TIMSS oder PISA bezweifelt. Allerdings liegen bisher keine empirischen Untersuchungen vor, die detaillierte Erkenntnisse über die Entwicklung beruflicher Kompetenzen auf der Grundlage schulisch erworbener mathematischer und naturwissenschaftlicher Kompetenzen bieten. Ausgehend von einer Gegenüberstellung der im Bereich der schulischen und beruflichen Bildung verwendeten Kompetenzdefinitionen werden in diesem Beitrag aktuelle Erkenntnisse zur Struktur mathematischer und naturwissenschaftlicher Kompetenzen im allgemeinbildenden Bereich und entsprechenden Berufsausbildungen zusammengetragen. Darauf aufbauend ein Rahmenmodell für die Untersuchung der Entwicklung allgemeiner Kompetenz in Mathematik und den Naturwissenschaften sowie beruflicher Kompetenz im Verlauf der beruflichen Ausbildung begründet.

### **Abstract**

In scope of vocational training trainees are expected to obtain the professional competences required in the respective vocation. Similarly, in school students are expected to obtain the competences required for further learning, for example in vocational training. Based on findings from large scale assessments such as TIMSS or PISA it has been questioned whether schools can actually meet this goal – in particular for mathematical and scientific competences. However, up to now, little is known about

students' progression in developing the required professional competences based on mathematical and scientific competences they have obtained at school. Based on a discussion of the different notions of competences utilized in professional education and general education research, this article discusses recent developments in the field of the structure of mathematical, scientific and professional competences. Finally, a theoretical framework for investigating the development of mathematical and scientific as well as professional competences in scope of vocational training is derived.

Strukturmodelle Allgemeiner Kompetenz in Mathematik und den Naturwissenschaften  
und Implikationen für die Kompetenzentwicklung im Rahmen der Beruflichen  
Ausbildung in Ausgewählten Kaufmännischen und Gewerblich-Technischen Berufen

### **Einleitung**

Ziel der Berufsausbildung ist es, die Auszubildenden auf die vielfältigen, veränderbaren Anforderungen des Berufslebens vorzubereiten (§1 BBiG). Dazu sollen die Auszubildenden berufliche Handlungskompetenz erwerben (Nickolaus 2011). Die Grundlage für den Erwerb beruflicher Handlungskompetenz im Rahmen der Ausbildung soll die allgemeinbildende Schule schaffen: Sie soll die Schülerinnen und Schüler zu einer Ausbildungsreife führen (vgl. §4(3) SchG SH). Dass dies gelingt, wurde in Folge der Befunde internationaler Leistungsvergleichsstudien angezweifelt (Baumert u. a. 2001). Zur Sicherung der Qualität der schulischen Bildung u. a. als Voraussetzung für den Eintritt in die berufliche Ausbildung hat die Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder der Bundesrepublik Deutschland daher im Jahr 2003 die Einführung von Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss beschlossen (Sekretariat der Ständigen Kultusministerkonferenz der Länder der Bundesrepublik Deutschland [KMK] 2003). Diese benennen für das jeweilige Fach, für das sie formuliert sind, die Kompetenzen, die Schülerinnen und Schüler mit dem Erreichen des Mittleren Schulabschlusses in der Regel erworben haben sollen. Der Erwerb dieser allgemeinen Kompetenzen in der Schule soll die Schülerinnen und Schüler für die weitere schulische und berufliche Ausbildung befähigen und damit den Grundstein für lebenslanges Lernen legen (ebd.).

Die bisherige Forschung zur Kompetenzentwicklung in der beruflichen

Bildung zeigt, dass sich die Entwicklung beruflicher Kompetenzen neben allgemeinen kognitiven Dispositionen wie Intelligenz auch durch Kompetenzen vorhersagen lässt, die in der allgemeinbildenden Schule erworben werden, wie z. B. mathematische Kompetenz (u. a. Lehmann & Seeber 2007; Gschwendtner 2011; Nickolaus, Geißel, Abele & Nitzschke 2011; s. auch Geißel, Nickolaus, Ștefănică, Neumann & Härtig in diesem Heft). Als Maße wurden dabei überwiegend globale Maße wie die Abschlussnote im entsprechenden Fach oder die Leistungen in einem spezifisch für die jeweilige Domäne – vornehmlich Mathematik – entwickelten Leistungstest zu Beginn der Berufsausbildung herangezogen. Eine differenzierte Erfassung der Kompetenz in einer Domäne findet sich eher selten (in Ansätzen z. B. bei Lehmann & Seeber 2007). Arbeiten, die die Entwicklung allgemeiner Kompetenzen im Verlauf der Berufsausbildung oder sogar den Zusammenhang zwischen der Entwicklung allgemeiner Kompetenzen und der Entwicklung beruflicher Kompetenzen untersuchen, liegen bisher nicht vor. Mit eben dieser Frage, wie sich allgemeine Kompetenzen in Mathematik und den Naturwissenschaften beim Übergang von der Schule in die berufliche Ausbildung verändern und wie diese Veränderung mit der Entwicklung berufsfachlicher Kompetenzen zusammenhängt, beschäftigt sich der vorliegende Beitrag.

Den Rahmen dafür bildet die Gegenüberstellung der unterschiedlichen Konzeptualisierungen des Begriffs *Kompetenz* im Bereich der allgemeinen und im Bereich der beruflichen Bildung. Ausgehend von der Auffassung, dass es sich bei der im Kontext allgemeiner Bildung verwendeten Konzeptualisierung im Prinzip um ein engeres Verständnis der in der beruflichen Bildung vorherrschenden Konzeptualisierung handelt, werden anschließend bestehende Modellierungen von Kompetenzstrukturen zusammengefasst: die Struktur allgemeiner Kompetenz in Mathematik und den

Naturwissenschaften auf der einen Seite, sowie auf der anderen Seite die Struktur beruflicher Kompetenz für ausgewählte Berufe, für die sich mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenz als relevant erwiesen hat oder als relevant angenommen wird. Anschließend wird ein Rahmenmodell für die Untersuchung der Entwicklung allgemeiner Kompetenz in Mathematik und den Naturwissenschaften sowie beruflicher Kompetenz im Verlauf der beruflichen Ausbildung entwickelt.

### **Kompetenz in der allgemeinen und der beruflichen Bildung**

Das Konzept der *Kompetenz* ist im Bereich der beruflichen Bildung fest etabliert. Konstituierend ist dabei die Fähigkeit zu erfolgreichem Handeln in komplexen beruflichen Anforderungssituationen (Seeber & Nickolaus 2010). Bereits McClelland (1973) betont, dass klassische Maße wie z. B. Wissenstests nicht ausreichen, um erfolgreiches Handeln im Beruf vorherzusagen (vgl. Spencer, McClelland & Spencer 1994). Im Kontext der zunehmenden Bedeutung einer Handlungsorientierung in der beruflichen Bildung in den 90er Jahren etablierte sich in Deutschland der Begriff der Handlungskompetenz (Nickolaus 2011). Das diesem Begriff zugrundeliegende Verständnis geht auf Heinrich Roth zurück (Franke 2005). Roth (1971) versteht Kompetenz als die Fähigkeit zu verantwortlichem Handeln. In diesem Sinne bezeichnet Kompetenz zunächst das Vorhandensein solcher Dispositionen, von denen angenommen wird, dass sie zur Bewältigung variabler Anforderungssituationen benötigt werden, oder die es zumindest erlauben, sich die zur Bewältigung notwendigen Dispositionen anzueignen (Seeber & Nickolaus 2010). Das schließt neben kognitiven Dispositionen auch affektiv-motivationale Aspekte einer umfassenden Handlungsfähigkeit ein (Nickolaus & Seeber im Druck). Charakteristisch für die Konzeptualisierung von Kompetenz in der beruflichen Bildung ist zudem die damit verbundene

Selbstständigkeit des Individuums (Erpenbeck 2009). Erpenbeck (1997) betont, dass Kompetenz „im Unterschied zu anderen Konstrukten wie Können, Fertigkeiten, Fähigkeiten, Qualifikation usw. die als Disposition vorhandene Selbstorganisationsfähigkeit des konkreten Individuums auf den Begriff“ (S. 312) bringt. Damit werden auch die mit der beruflichen Bildung verbundenen Ansprüche an die individuelle Entwicklung berücksichtigt, „bezogen auf berufliche Handlungsfelder häufig auch verbunden mit der Vorstellung der Entwicklung beruflicher und berufsübergreifender Gestaltungskompetenzen als Ausdruck beruflicher Mündigkeit.“ (Nickolaus & Seeber, im Druck, S. 4). Insgesamt werden unter dem Begriff der Handlungskompetenz also diejenigen Kompetenzen subsummiert, die zur erfolgreichen Bewältigung beruflicher Anforderungssituationen benötigt werden (vgl. Franke 2005). Welche Kompetenzen in spezifischen Anforderungssituationen benötigt werden, wird dabei üblicherweise ausgehend von der Performanz bestimmt (Erpenbeck 2009). Das heißt, prototypische Anforderungssituationen eines Berufs werden auf Performanzerfordernisse (d. h. die erforderlichen Fähigkeiten und Fertigkeiten) und Performanzkriterien (d. h. in welchem Maße die erforderlichen Fähigkeiten und Fertigkeiten angewandt werden müssen) analysiert (Franke 2005). Die Diagnose beruflicher Handlungskompetenzen erfolgt schließlich als Rückschluss von der Performanz in (idealerweise einer Vielzahl) verschiedener Anforderungssituationen auf die jeweilige Kompetenz. Mit Referenz auf Chomsky (1969) wird deshalb Kompetenz in Abgrenzung zur Performanz auch als „Tiefenstruktur des menschlichen Handelns“ bezeichnet (Gillen, 2004).

Im Kontext des deutschen Allgemeinbildungssystems findet der Begriff *Kompetenz* erstmalig Erwähnung in einem Gutachten des Deutschen Bildungsrats (1974) zur Neuordnung der Sekundarstufe II. Interessanterweise sollte gerade durch



dieses Gutachten eine Trennung zwischen allgemeiner und beruflicher Bildung überwunden werden. Relevanz erhielt das Konzept der Kompetenz in der allgemeinen Bildung jedoch erst gut 25 Jahre später im Zuge der Einführung von Bildungsstandards zur Sicherung einer Grundbildung durch die allgemeinbildende Schule. Das den Bildungsstandards zugrundeliegende Verständnis geht zurück auf eine Definition von Weinert (2001), nach der Kompetenzen „die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können“ (S. 27), sind. Derart konzeptualisiert drückt sich Kompetenz also vor allem in einer erfolgreichen Bearbeitung von Problemen in spezifischen Anforderungssituationen aus. Aus der Zusammenfassung spezifischer Anforderungssituationen zu einer Domäne ergibt sich, dass Kompetenz domänenspezifisch zu verstehen ist (Klieme u. a. 2003).

In Folge der zunehmenden Bedeutung des Kompetenzbegriffs für die allgemeine Bildung stand in der empirischen Bildungsforschung vermehrt die Frage im Vordergrund, welche Fähigkeiten und Fertigkeiten innerhalb einer Domäne Kompetenz konstituieren. Dabei werden häufig Einschränkungen vorgenommen, die das komplexe Konstrukt Kompetenz einer empirischen Erfassung zugänglich machen sollen (vgl. Nickolaus & Seeber im Druck). Zum Beispiel schränken Klieme und Leutner (2006) den Kompetenzbegriff nach Weinert (2001) auf „kontextspezifische kognitive Leistungsdispositionen, die sich funktional auf Situationen und Anforderungen in bestimmten Domänen beziehen“ (S. 879), ein. Dadurch werden insbesondere die von Weinert (2001) explizit betonten motivationalen, volitionalen und sozialen Dispositionen ausgeschlossen. Klieme und Leutner (2006) zufolge ist diese

Einschränkung jedoch eher pragmatischer Natur und dient der inhaltlichen Fokussierung des von den Autoren vertretenen Forschungsprogramms. Und obwohl diese Einschränkung auch in der Operationalisierung der Bildungsstandards zum Zweck ihrer Evaluation Anwendung findet (vgl. Kauertz u. a. 2010), ist sie eben genau das: Eine Einschränkung mit dem Ziel einfacherer Operationalisierbarkeit und keinesfalls eine Einschränkung des Kompetenzbegriffs wie er der Formulierung der Ziele allgemeiner Bildung zugrunde liegt. Erpenbeck (2009) kontrastiert beide Konzeptualisierungen. Die Konzeptualisierung, die sich in der beruflichen Bildung entwickelt hat, bezeichnet er als Performanzrichtung, die, die sich im Bereich der schulischen Bildung etabliert hat, bezeichnet er als Kognitionsrichtung. Während Erpenbeck (2009) in der Performanzrichtung die Idee der Menschenbildung realisiert sieht, geht es ihm zufolge in der Kognitionsrichtung im Wesentlichen um Wissensbildung. Er betont als charakteristisches Element der Performanzrichtung, dass die Modellierung ausgehend von der Situation (und der Bestimmung welche Kompetenzen notwendig sind, um die jeweilige Situation erfolgreich zu bewältigen) erfolgt, während in der Kognitionsrichtung Kompetenzen als kontextspezifische kognitive Dispositionen verstanden werden, die strikt funktional auf die Bewältigung domänenspezifischer Situationen und Anforderungen bezogen sind (Erpenbeck 2009, S. 18). In der Performanzrichtung erkennt Erpenbeck (2009) eine Integration von Wissen, Qualifikationen und Handeln: „Die kognitiven Voraussetzungen von Kompetenzen werden für die Performanzrichtung erst dann und dort interessant, wo sie in personale, aktivitätsbezogene, sozialkommunikative oder auch fachlich-methodische Kompetenzen einfließen.“ (Erpenbeck 2009, S. 21). Ihm zufolge steht im Zentrum der Performanzrichtung die Frage, „ob und inwieweit solche Kompetenzen von einer Domäne zur anderen übertragbar sind, also eben nicht nur domänen- und

kontextspezifisch zum Einsatz kommen.“ (Erpenbeck 2009, S. 18). Im Versuch, zugunsten der Performanzrichtung vor allem die Unterschiede zur Kognitionsrichtung herauszuarbeiten, unterlässt es Erpenbeck (2009), Gemeinsamkeiten oder zumindest eine Anschlussfähigkeit der unterschiedlichen Konzeptualisierungen zu diskutieren. Die jeweiligen Konzeptualisierungen haben sich schließlich in den jeweiligen Bereichen aus gutem Grund durchgesetzt: So kommt es im Beruf vor allem auf die Bewältigung spezifischer Anforderungssituationen an. Darauf muss die Berufsbildung vorbereiten. Es ist hier von besonderer Wichtigkeit, dass verschiedene Fähigkeiten und Fertigkeiten zur erfolgreichen Bewältigung zusammengebracht werden können. Fehlende Fähigkeiten und Fertigkeiten müssen sich von den einzelnen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern im Idealfall selbstständig und eigenverantwortlich angeeignet werden (vgl. Erpenbeck 2009). Demgegenüber steht in der allgemeinen Bildung der Auftrag, im Wesentlichen Kompetenzen zu vermitteln, die ein lebenslanges Lernen ermöglichen. Das sind zunächst grundlegende Fähigkeiten und Fertigkeiten innerhalb einer Domäne, die es den Schülerinnen und Schülern erlauben, sich weitere Fähigkeiten und Fertigkeiten, z. B. neues Wissen, innerhalb der Domäne und angrenzender Domänen, zu erschließen. In diesem Sinne ist Kompetenzentwicklung nicht nur innerhalb der Domänen sondern über die Domänen hinweg dadurch gekennzeichnet, dass die Lernenden über eine zunehmende Zahl von Situationen hinweg in der Lage sind, die ihnen verfügbaren Fähigkeiten und Fertigkeiten zur erfolgreichen Bewältigung von Problemen zu bündeln. Die von Erpenbeck (2009) als Charakteristikum beruflicher Kompetenz erkannte Domänenunabhängigkeit ist damit vielmehr ein zunehmend erkennbares Merkmal einer Kompetenzentwicklung über die Lebensspanne (vgl. Neumann, Kauertz, Lau, Notarp & Fischer 2007). Selbstbestimmtes, eigenverantwortliches Lernen ist dabei in allen Stadien der Kompetenzentwicklung

wünschenswert, aber auch für sich genommen eine Fähigkeit, die sich im Verlauf der Lebensspanne entwickelt. In diesem Sinne sind die Konzeptualisierungen von Kompetenz in der allgemeinen und beruflichen Bildung anschlussfähig zueinander, wobei Kompetenzen, wie sie in der allgemeinen Schule erworben werden, im Idealfall die Grundlage für die Entwicklung beruflicher Kompetenz bilden. Dabei könnte sich die allgemeinbildende Schule zunächst auf die Vermittlung spezifischer Fähigkeiten und Fertigkeiten, z. B. Wissen, beschränken und die Anwendbarkeit außen vor lassen. Diese Form des Lernens auf Vorrat scheint sich gerade nicht bewährt zu haben. Wie wäre sonst zu erklären, dass die Ausbildungsfähigkeit von Schülerinnen und Schülern trotz spezifischer Stärken im Bereich des Faktenwissens (vgl. Baumert u. a. 2001) häufig in Frage gestellt wird. Der wesentliche Unterschied scheint – durchaus in Kongruenz mit Erpenbecks (2009) Sichtweise – in der Domänenspezifität zu liegen. Demnach wäre die Kompetenz der Schülerinnen und Schüler beim Verlassen der allgemeinen Schule schlicht und ergreifend auf weniger Situationen beschränkt. Im Übergang sollten sie ihre Kompetenz auf neue Situationen ausdehnen und selbstverständlich auch neue Kompetenzen hinzugewinnen. Für die Untersuchung der Entwicklung beruflicher Kompetenz ist damit gleichermaßen die Frage interessant, in welcher Weise sich die bereits in der allgemeinbildenden Schule erworbenen Kompetenzen weiterentwickeln, als auch welche Kompetenzen hinzukommen.

### **Strukturen allgemeiner Kompetenz in Mathematik und den Naturwissenschaften**

Welche Fähigkeiten und Fertigkeiten Kompetenz in einer Domäne konstituieren, soll nach Klieme u. a. (2003) durch Kompetenzmodelle konkretisiert werden. Diese sollen die Kompetenzen in Kompetenzbereiche gliedern und darauf bezogen Ausprägungen von Kompetenz beschreiben (vgl. Schecker & Parchmann 2006). Damit

definieren diese Modelle die Struktur der Kompetenz in einer Domäne; sie werden entsprechend auch häufig als Kompetenzstrukturmodelle bezeichnet.

Im Gegensatz zum Bereich der beruflichen Bildung lassen sich im Bereich der allgemeinen Bildung die Fähigkeiten und Fertigkeiten, die Kompetenz konstituieren, nicht aus (späteren) Anforderungssituationen ableiten. Stattdessen werden Kompetenzstrukturmodelle in diesem Bereich üblicherweise normativ aus der Didaktik des jeweiligen Faches begründet und anschließend empirisch geprüft. Den Ausgangspunkt dafür bildeten die internationalen Leistungsvergleichsstudien, in deren Folge sich verstärkt mit der Frage der Bildungsziele, deren Operationalisierbarkeit und damit verbunden auch mit Kompetenzstrukturen in Mathematik und den Naturwissenschaften beschäftigt wurde. Ein Teil dieser Arbeiten floss in die Formulierung von Bildungsstandards ein, ein Teil entstand erst in Folge der Bildungsstandards. Die wesentlichen Konzeptionen und Erkenntnisse zu Kompetenzstrukturen in Mathematik und den Naturwissenschaften werden im Folgenden kurz dargestellt.

### **Mathematik**

Bezugnehmend auf eine theoretische Fundierung u. a. in den Arbeiten von Freudenthal (1983) und Winter (1995) bzw. auf die in den USA entwickelten Mathematikstandards des National Council of Teachers of Mathematics (2000) werden mathematische Kompetenzen üblicherweise in eine inhaltsbezogene Dimension und eine Dimension mathematikbezogener kognitiver Prozesse unterteilt. Je nach Konzeption beziehen sich die Modelle dabei unterschiedlich stark auf das schulische Curriculum bzw. auf eine Bewältigung von mathematikhaltigen Situationen im Alltag. Letztgenanntes steht insbesondere bei den Kompetenzmodellen im Vordergrund, die

PISA (Organisation for Economic Cooperation and Development [OECD] 2003), den Bildungsstandards Mathematik (KMK 2004b) und dem Nationalen Bildungspanel NEPS zu Grunde liegen (Weinert, Artelt, Prenzel, Senkbeil, Ehmke & Carstensen 2011). Die verschiedenen Kompetenzmodelle zeigen dementsprechend eine große Überschneidung in ihrer jeweiligen Struktur. Im Folgenden werden daher zunächst die unterschiedlichen Kompetenzmodelle vorgestellt und anschließend die inhärenten Ähnlichkeiten aufgezeigt. Empirisch validierte Kompetenzstrukturmodelle für die Sekundarstufe liegen (im Gegensatz zur Primarstufe, vgl. u. a. Grüßing 2002; Reiss 2004; Reiss & Winkelmann 2009; Ufer, Reiss & Heinze 2009; Walther, Geiser, Langeheine & Lobemeier 2004) in der Mathematik bisher lediglich zu einzelnen Facetten der Kompetenzmodelle vor.

Den PISA-Studien liegt das Konzept der *Mathematical Literacy* zugrunde, das die Fähigkeit einer Person beschreibt, die Rolle der Mathematik in der Welt zu erkennen und zu verstehen und auf dieser Basis fundierte mathematische Urteile abzugeben. Darüber hinaus charakterisiert *Mathematical Literacy* die Fähigkeit, Mathematik als konstruktive, engagierte und reflektierte Bürgerinnen und Bürger im Leben anzuwenden (Blum, Neubrand, Ehmke, Senkbeil, Jordan, Ulfig & Carstensen 2004; OECD 2003). Dabei wird in der Mathematik bei der Lösung von Problemen unterschieden zwischen (1) den *Kontexten oder Situationen*, in denen die Probleme lokalisiert sind, (2) den *mathematischen Inhalten*, die genutzt werden, um die Probleme zu lösen, und (3) den *Kompetenzen* (kognitiven Prozessen), die aktiviert werden müssen, um die reale Welt zur Lösung der Probleme mit der Mathematik zu verknüpfen (OECD 2003). Auch die Bildungsstandards Mathematik für den Mittleren Schulabschluss (KMK 2004b) beschreiben mathematische Leitideen als inhaltsbezogene mathematische Kompetenzen sowie allgemeine mathematische Kompetenzen als mathematikbezogene

kognitive Prozesse. Diese Kompetenzen sollen es den Schülerinnen und Schülern ermöglichen, die Welt mit mathematischen Augen zu sehen, also mathematische Grunderfahrungen wie die Wahrnehmung der sozialen und kulturellen Bedeutung von Mathematik sowie allgemeine Problemlösefähigkeit zu erwerben (ebd., vgl. auch Winter 1995). Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass die Rahmenkonzeptionen Mathematik in PISA und den Bildungsstandards Mathematik für den Mittleren Schulabschluss sehr ähnlich aufgebaut sind. In einer Untersuchung mit  $N = 9577$  Schülerinnen und Schülern der 9. Klassenstufe konnten Hartig und Frey (2012) auch empirisch einen sehr hohen Zusammenhang zwischen der in PISA und der in den Bildungsstandards gemessenen mathematischen Kompetenz ( $r = .94$ ) von Schülerinnen und Schülern nachweisen.

Eine weitere Konzeption mathematischer Kompetenz wurde für das Nationale Bildungspanel NEPS entwickelt. Das Nationale Bildungspanel wurde mit dem Ziel gestartet, den Kompetenzerwerb über die Lebensspanne zu untersuchen, sowie Bildungsverläufe nachzuzeichnen. Dabei werden verschiedene Alterskohorten längsschnittlich untersucht (Blossfeld, von Maurice & Schneider 2011). Anders als bei PISA oder den Bildungsstandards dient das NEPS-Kompetenzmodell für Mathematik daher nicht der Entwicklung von Maßen für eine punktuelle, summative Kompetenzmessung, sondern es ist Grundlage für die Untersuchung der lebenslangen Entwicklung mathematischer Kompetenz. Um dennoch punktuell eine Anschlussfähigkeit mit den Bildungsstandards und PISA zu erreichen, schließt sich auch die Rahmenkonzeption von NEPS an die Untergliederung in inhaltliche und prozessbezogene Komponenten mathematischer Kompetenz an und vereint die Modelle von PISA und den Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss in einer eigenen Rahmenkonzeption (vgl. Neumann, Duchhardt, Ehmke, Grüßing, Heinze & Knopp

eingereicht). Dementsprechend werden die inhaltlichen Bereiche unterteilt in *Quantität, Veränderung und Beziehung, Raum und Form* sowie *Daten und Zufall*. Die prozessbezogenen Komponenten untergliedern sich in *Mathematisch kommunizieren, Mathematisch argumentieren, Modellieren, Darstellungen verwenden, Probleme mathematisch lösen* sowie *Technische Fähigkeiten und Fertigkeiten*. Auch wenn es eine deutliche Übereinstimmung mit den Kompetenzmodellen aus PISA und den Bildungsstandards gibt, so fokussiert die Operationalisierung für die verschiedenen Altersstufen auf die Entwicklung von Kompetenzen (ebd.). Insgesamt ist bei der Konstruktion des Kompetenzmodells Mathematik von NEPS eine Berücksichtigung lebenslangen, also über die Schule hinausgehenden Lernens intendiert, wobei jedoch auch eine curriculare Anschlussfähigkeit sichergestellt werden soll.

Die empirische Prüfung der normativ angenommenen Strukturmodelle mathematischer Kompetenz steht aufgrund der Komplexität dieser Modelle erst am Anfang. Als diesbezüglich erste Schritte können Analysen zur empirischen Trennung verschiedener Komponenten angesehen werden. So wurden etwa im Rahmen von PISA korrelative Analysen von Subskalen durchgeführt, die jeweils Korrelation von .80 bis .95 zwischen unterschiedlichen inhaltsbezogenen Komponenten aufzeigten (z. B. Klieme, Neubrand & Lüdtke 2001; Blum u. a. 2004). Winkelmann und Robitzsch (2009) konnten für die Bildungsstandards Mathematik der Primarstufe zeigen, dass – vergleicht man die Güte verschiedener Modelle – sowohl für die inhaltsbezogenen Leitideen als auch für die allgemeinen mathematischen Kompetenzen Mehrdimensionalität angenommen werden kann. In einer Folgestudie verglichen Winkelmann, Robitzsch, Stanat und Köller (2012) auf Basis von umfangreichen IQB-Datensätzen für die Primarstufe ein eindimensionales Modell mathematischer Kompetenz mit zwei mehrdimensionalen Modellen, die nach den fünf Leitideen bzw.



nach den sechs allgemeinen mathematischen Kompetenzen strukturiert waren. Dabei stellte sich heraus, dass das Modell auf Basis der inhaltlichen Leitideen den anderen beiden Modellen überlegen war. Für die Schätzung eines elfdimensionalen Modells auf Basis von fünf inhaltsbezogenen und sechs allgemeinen mathematischen Kompetenzen konnte keine Konvergenz erreicht werden (ebd.).

Ähnliche Ergebnisse zeigten sich auch für die Sekundarstufe. So wies Brunner (2006) in einer vertiefenden Analyse der Daten von PISA-E 2000 nach, dass ein vierdimensionales Modell nach mathematischen Stoffgebieten (hier: Algebra, Arithmetik, Geometrie und Stochastik) die vorliegenden Daten deutlich besser modelliert als ein dreidimensionales Modell nach mathematischen Fertigkeiten und Fähigkeiten (technische Fertigkeiten, rechnerisches Modellieren und begriffliches Modellieren) bzw. ein übergreifendes eindimensionales Modell. Die Untersuchung komplexerer Modelle – etwa im Sinne der Bildungsstandards für die Sekundarstufe – steht noch aus. Von Interesse ist dabei vor allem die empirisch zu prüfende Frage, ob eine Modellierung unter Berücksichtigung der mathematikbezogenen kognitiven Prozesse eine bessere Modellpassung aufweist als eine Strukturierung nur auf Basis der mathematischen Inhaltsbereiche. Dies ist insbesondere für die Betrachtung mathematischer Kompetenzen im beruflichen Bereich relevant, da es hier um eine Anwendung mathematischen Wissens in außermathematischen Kontexten geht, innermathematische Strukturen also ein weniger wichtiges Charakteristikum von Problemen sein dürften.

## Naturwissenschaften

Erste Ansätze zur Modellierung der Struktur naturwissenschaftlicher Kompetenz entstammen, ähnlich wie in der Mathematik, den großen internationalen Vergleichsstudien wie z. B. PISA. Dort wurde naturwissenschaftliche Kompetenz in Anlehnung an die Konzeption der *Scientific Literacy* nach Bybee (1997) in die Dimensionen *naturwissenschaftliche Prozesse*, *naturwissenschaftliche Konzepte* und *Anwendungsbereiche* gegliedert (Prenzel u. a. 2001). Bezogen auf eine Differenzierung der Dimension *naturwissenschaftliche Prozesse* durch vier prototypische naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen wurden jeweils getrennt fünf Kompetenzstufen beschrieben. Bei der Skalierung wurde naturwissenschaftliche Kompetenz jedoch als eindimensionales Konstrukt aufgefasst. Zudem erlaubte die geringe Zahl von Aufgaben im internationalen Test keine belastbare Zuordnung von Testleistungen zu den post hoc bestimmten Kompetenzstufen (ebd.). Im Rahmen der nationalen Ergänzungsstudie zu PISA 2000 wurde ein a priori entwickeltes Kompetenzmodell verwendet, das die Dimensionen Fach (Biologie, Chemie, Physik) und kognitive Anforderungen (Faktenwissen anwenden, Konvergentes Denken, Umgang mit Graphen, Umgang mit mentalen Modellen, Sachverhalte verbalisieren) unterscheidet (Senkbeil u. a. 2005). Die Untersuchung der Kompetenzstruktur auf Basis der Daten aus der nationalen Ergänzung ergab Korrelationen von  $r = .87$  bis  $r = .90$  zwischen den fachbezogenen Teilkompetenzen. Die Interkorrelationen zwischen den fachbezogenen Teilkompetenzen fallen damit höher aus, als die Korrelationen naturwissenschaftlicher Kompetenz mit mathematischer und Lesekompetenz. Für die Korrelationen zwischen den kognitiven Anforderungen ergaben sich Werte zwischen  $.65$  und  $.87$ . Inwieweit eine Unterscheidung fachspezifischer Kompetenzbereiche angemessen ist, lässt sich damit nicht eindeutig feststellen (vgl. Prenzel u. a. 2001),

insbesondere da sich im Vergleich unterschiedlicher Strukturmodelle die beste Passung auf die Daten für dasjenige Modell ergeben hat, das lediglich zwischen kognitiven Anforderungen im Sinne von Teilkompetenzen unterschied (Senkbeil u. a. 2005). Auf eine inhaltliche Beschreibung von Kompetenzstufen wurde in den Analysen der nationalen Ergänzung verzichtet.

Aus fachdidaktischer Sicht sind Kompetenzstufen jedoch ein wesentliches Element bei der Beschreibung von Kompetenzstrukturen. Sie erlauben eine inhaltliche Charakterisierung dessen was Schülerinnen und Schüler bereits können und was sie noch lernen müssen (vgl. Neumann u. a. 2007). In der Folge wurde daher im Bereich der naturwissenschaftlichen Fachdidaktiken vermehrt an der Beschreibung von Stufen naturwissenschaftlicher Kompetenz gearbeitet. Den Rahmen für diese Arbeiten bildeten die 2005 veröffentlichten Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss in den naturwissenschaftlichen Fächern (KMK 2005a, 2005b, 2005c). Diese differenzieren jeweils die vier Kompetenzbereiche: *Fachwissen*, *Erkenntnisgewinnung*, *Kommunikation* und *Bewertung*. Der Bereich *Fachwissen* bezieht sich dabei auf die Verfügbarkeit eines strukturierten Fachwissens auf der Grundlage fachspezifischer Basiskonzepte. Basiskonzepte sind zentrale Konzepte des jeweiligen Fachs, die den für die Sekundarstufe I relevanten Inhaltsbereich im Sinne von Leitideen strukturieren (vgl. Neumann, Fischer & Sumfleth 2008), und die es Schülerinnen und Schülern erlauben sollen, sich diesen Inhaltsbereich systematisch zu erschließen (vgl. Parchmann 2007). Der Kompetenzbereich *Erkenntnisgewinnung* umfasst Kompetenzen wie z. B. die Planung, Durchführung und Auswertungen von Untersuchungen. In den Kompetenzbereich *Kommunikation* fällt beispielsweise der sach- bzw. adressatengerechte Austausch von Informationen. Der Bereich *Bewertung* umfasst das „Bewerten und Einordnen von Aussagen, Beobachtungen, Erkenntnissen und

Entscheidungsprozessen“ (Parchmann u. a. 2006, S. 126). Die Bildungsstandards verzichten auf eine explizite Beschreibung von Kompetenzstufen mit Verweis darauf, dass noch keine abgesicherten Erkenntnisse vorliegen, die eine Beschreibung von Kompetenzstufen erlauben würden (KMK 2005c). Stattdessen werden, bezogen auf die vier Kompetenzbereiche, jeweils drei Anforderungsbereiche beschrieben, wobei betont wird, dass es sich dabei nicht um Ausprägungen oder Stufen von Kompetenz handelt (ebd., S. 15).

Ein erstes, ausgehend von den Bildungsstandards formuliertes Kompetenzstrukturmodell naturwissenschaftlicher Kompetenz wurde von Schecker und Parchmann (2006) vorgeschlagen. Die empirische Prüfung des Modells hat jedoch zentrale Annahmen des Modells nicht bestätigen können (vgl. Einhaus 2007; Schmidt 2008). Kauertz (2007) entwickelte parallel ein Strukturmodell für das Fachwissen in Physik. Dieses Modell unterscheidet die Dimensionen *Leitidee*, *Kognitive Aktivität* und *Komplexität*. Die Dimension *Leitidee* umfasst die in den Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss im Fach Physik benannten Basiskonzepte *Energie*, *Wechselwirkung*, *System* und *Materie*. Die Dimension *Kognitive Aktivität* besteht aus drei kognitiven Verarbeitungsstrategien beim Umgang mit Fachwissen: *Erinnern*, *Strukturieren* und *Explorieren*. Die Dimension *Komplexität* unterscheidet sechs hierarchisch geordnete Stufen der Komplexität des Fachwissens im Sinne von Kompetenzstufen: *Ein Fakt*, *Mehrere Fakten*, *Ein Zusammenhang*, *Mehrere unverbundene Zusammenhänge*, *Mehrere verbundene Zusammenhänge*, *Übergeordnetes Konzept*. Die empirische Untersuchung des Modells ergab unter anderem Korrelationen zwischen den Fähigkeiten der Personen in Bezug auf die Leitideen zwischen  $r = .18$  und  $r = .37$ . Für die Korrelation zwischen Komplexität und Schwierigkeit der Aufgaben ergab sich ein Wert von  $\rho = .36$ . Entsprechend lässt sich der Umgang mit

Fachwissen unter den gegebenen Leitideen als Teilkompetenzen und die Komplexitätsniveaus als Kompetenzstufen interpretieren (vgl. Kauertz 2007). Für die Chemie wurde ein ähnliches Modell von Bernholt, Parchmann und Commons (2009) vorgeschlagen. Dieses unterscheidet fünf hierarchisch geordnete Stufen der Komplexität des Fachwissens im Bereich: *Unreflektiertes Erfahrungswissen*, *Faktenwissen*, *Prozessbeschreibungen*, *Lineare Kausalität* und *Multivariate Interdependenz*. Bernholt u. a. (2009) gelang es für verschiedene Teilbereiche der Chemie zu zeigen, dass sich die Schwierigkeit der Aufgaben durch die ihnen theoretisch zugeschriebene Komplexität vorhersagen lässt, wobei je nach Inhaltsbereich (z. B. Verbrennungen oder Säuren und Basen) eine Varianzaufklärung bezüglich der Aufgabenschwierigkeit zwischen  $R^2 = .54$  und  $R^2 = .57$  erreicht werden konnte (vgl. Bernholt & Parchmann 2011).

Weitere Arbeiten haben sich den Kompetenzbereichen Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung gewidmet. Mayer (2007) begründet ausgehend von den Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss in Biologie ein Rahmenmodell für den Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung mit den drei Dimensionen *Wissenschaftliche Arbeitstechniken* (practical work), *Wissenschaftliche Untersuchungen* (scientific inquiry) und *Charakteristika der Naturwissenschaften* (nature of science). Er interpretiert diese Dimensionen als eigenständige Kompetenzen und bezeichnet sie in Anlehnung an kognitionspsychologische Konstrukte als *Manuelle Fertigkeiten* (practical skills), *Wissenschaftliches Denken* (scientific reasoning) und *Wissenschaftsverständnis* (epistemological views) (vgl. Kremer 2010). Für die Kompetenz *Wissenschaftliches Denken* entwickelt Mayer (2007) ein Strukturmodell mit den Teilkompetenzen *Naturwissenschaftliche Fragen formulieren*, *Hypothesen generieren*, *Experimente planen* sowie *Daten analysieren/Schlussfolgerungen*. Diese konnten empirisch als

eigenständige Teilkompetenzen einer übergeordneten Kompetenz bestätigt werden (Grube, Möller & Mayer 2007). Mayer u. a. (2008) erweitern das Modell schließlich um die Beschreibung von Kompetenzstufen. Analog zu Kauertz (2007) werden die Kompetenzstufen über die Komplexität sowohl im Hinblick auf die Zahl der Variablen einer wissenschaftlichen Untersuchung wie auch die Beziehungen zwischen den Variablen beschrieben: *Untersuchung eines Faktors, Untersuchung von Zusammenhängen, Kontrollierte Untersuchung auf Basis von Konzeptverständnis, Elaborierte Untersuchung allgemeiner Zusammenhänge und Selbständiges Lösen von offenen Problemen*. Die empirische Prüfung dieses erweiterten Modells bestätigt sowohl die Teilkompetenzen wie eingeschränkt auch die Graduierung der Teilkompetenzen durch die postulierten Kompetenzstufen (Mayer u. a. 2008).

Ein Strukturmodell für den Bereich *Kommunizieren* wurde von Kulgemeyer und Schecker (2012) theoretisch begründet und empirisch fundiert (vgl. auch Kulgemeyer & Schecker 2009; Kulgemeyer 2010). Das Modell umfasst drei Dimensionen: *Perspektive, Aspekt* und *kognitiver Beiwert*. Die Dimension *Perspektive* bezieht sich darauf, ob ein Kommunikator bei der Kommunikation eher eine sach- oder eine adressatengerechte Perspektive bezüglich des zu kommunizierenden Inhalts einnimmt. Die Dimension *Aspekt* umfasst vier Aspekte der Kommunikation (Inhalt, Kontext, Form und Kode). Die Dimension *Kognitiver Beiwert* beschreibt bezogen auf die beiden anderen Dimensionen eine Graduierung von Kompetenz im Sinne von Kompetenzstufen (vgl. Kulgemeyer & Schecker 2010). Die empirische Validierung des Modells bestätigt klar die Unterscheidbarkeit der beiden Perspektiven im Sinne von Teilkompetenzen. Die Aspekte ließen sich nicht durchgehend voneinander unterscheiden und können dementsprechend zunächst nicht als Teilkompetenzen aufgefasst werden. Der kognitive Beiwert konnte als schwierigkeitsgenerierendes Merkmal der verwendeten Aufgaben

identifiziert werden. Der dreistufige kognitive Beiwert kann zur Definition von Kompetenzstufen herangezogen werden.

Für den Bereich der Bewertungskompetenz wurde ein Strukturmodell von Eggert und Bögeholz (2006) erarbeitet. Dieses umfasst vier Teilkompetenzen: *Kennen und Verstehen nachhaltiger Entwicklung, Kennen und Verstehen von Werten und Normen, Generieren und Reflektieren von Sachinformation* und *Bewerten, Entscheiden und Reflektieren*. Eggert und Bögeholz (ebd.) beschreiben bezogen auf diese Teilkompetenzen jeweils vier Kompetenzstufen von einem eher intuitiven Vorgehen unter Berücksichtigung einzelner Kriterien hin zu einem systematischen Vorgehen bei Berücksichtigung und unter Herstellen von Bezügen zwischen verschiedenen Kriterien. Auf Basis eines zur Operationalisierung der Teilkompetenz *Bewerten, Entscheiden und Reflektieren* und der darauf bezogenen Kompetenzstufen entwickelten Instruments gelang es Eggert und Bögeholz (2010) die postulierten Kompetenzstufen für die Teilkompetenz *Bewerten, Entscheiden und Reflektieren* empirisch zu bestätigen.

Die beschriebenen Arbeiten flossen ausnahmslos in die Entwicklung und empirische Prüfung eines Strukturmodells naturwissenschaftlicher Kompetenz zur Normierung der Bildungsstandards im Rahmen des Projekts „Evaluation der Standards in den Naturwissenschaften für die Sekundarstufe I“ (ESNaS) ein.

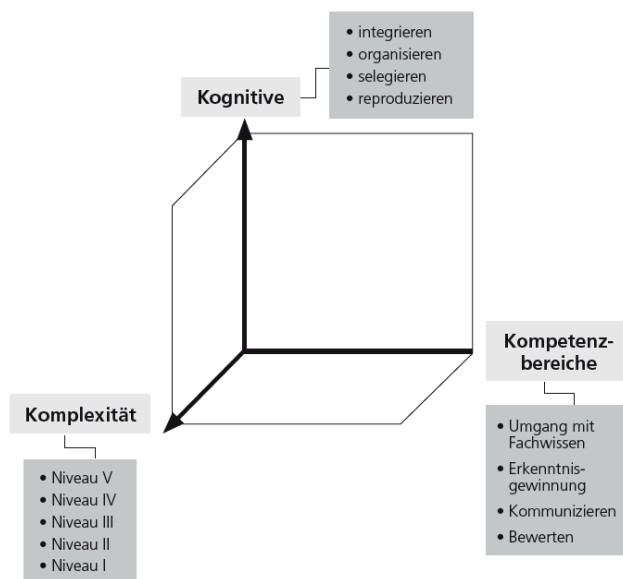


Abb. 1: Rahmenmodell naturwissenschaftlicher Kompetenz (Kauertz u. a. 2010).

Dieses Modell (vgl. Abbildung 1) unterscheidet die vier in den Bildungsstandards beschriebenen Kompetenzbereiche. In Anlehnung an die Arbeiten von Kauertz (2007) wurde eine Dimension *Komplexität* zur Beschreibung von Stufen naturwissenschaftlicher Kompetenz aufgenommen. 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, wurde die Stufe *Mehrere Fakten* durch die Stufe *Zwei Fakten* ersetzt und die Stufe *Mehrere unverbundene Zusammenhänge* und *Mehrere verbundene Zusammenhänge* zu einer Stufe *Zwei Zusammenhänge* zusammengefasst. Zudem wurde ebenfalls in Anlehnung an Kauertz (2007) eine Dimension *Kognitive Prozesse* mit in das Modell aufgenommen, für die ebenfalls angenommen wird, dass sie sich zur Graduierung von Kompetenzen eignet (vgl. Kauertz u. a. 2010). Da sich die Dimension *Kognitive Aktivitäten* bei Kauertz (2007) als nicht schwierigkeiterzeugend herausgestellt hat, wurde die Dimension *Kognitive Prozesse* theoretisch neu begründet. Diese kognitiven Prozesse werden im ESNaS-Modell in Anlehnung an gängige Informationsverarbeitungsstrategien als *Reproduzieren*, *Selegieren*, *Organisieren* und



*Integrieren* bezeichnet. Damit wird im Wesentlichen das in den Bildungsstandards formulierte Modell abgebildet, wobei die Anforderungsbereiche aufgrund der vorliegenden empirischen Befunde sowie fachdidaktischer und kognitionspsychologischer Theorien in die beiden Dimensionen *Komplexität* und *Kognitive Prozesse* aufgespalten werden (Kauertz u. a. 2010; vgl. auch die Revision der Lernzieltaxonomie von Bloom 1965 nach Andersson u.a. 2001). Bestehende Arbeiten fanden vor allem Eingang in Form einer Ausdifferenzierung der Kompetenzbereiche. So wird der Kompetenzbereich *Fachwissen* (im ESNaS-Modell als *Umgang mit Fachwissen* bezeichnet, um den Kompetenzcharakter zu betonen) durch Basiskonzepte fachspezifisch strukturiert. Der Kompetenzbereich *Erkenntnisgewinnung* wird in Anlehnung an Mayer (2007) in die Teilbereiche *Naturwissenschaftliche Untersuchungen*, *Naturwissenschaftliche Modellbildung* und *Wissenschaftstheoretische Reflexion* gegliedert (vgl. Kauertz u. a. 2010). Die in den beschriebenen Arbeiten teilweise unterschiedlich ausgeführten Kompetenzstufen wurden auf die Dimensionen *Kognitive Prozesse* und *Komplexität* zurückgeführt. Erste Pilotierungen bestätigen die angenommene Struktur für den Kompetenzbereich *Umgang mit Fachwissen* (Kauertz u. a. 2010) und *Erkenntnisgewinnung* (Wellnitz u. a. im Druck). Inzwischen wurden auch die Kompetenzbereiche *Bewerten* und *Kommunikation* ausgehend von den beschriebenen Arbeiten ausdifferenziert (u. a. Hostenbach, Fischer, Kauertz, Mayer, Sumfleth & Walpuski 2011). Empirische Befunde zu diesen Kompetenzbereichen stehen noch aus.

### **Kompetenzstrukturen in der beruflichen Bildung**

In Anlehnung an die Konzeption von Kompetenz nach Roth (1971) wird berufliche Handlungskompetenz in der beruflichen Bildung häufig in die Teilkompetenzen Sachkompetenz, Sozialkompetenz und Selbstkompetenz gegliedert (Nickolaus 2011). In den letzten Jahren hat sich ausgehend von der Handreichung der Kultusministerkonferenz zur Erarbeitung von Rahmenlehrplänen für den berufsbezogenen Unterricht in der Berufsschule und ihre Abstimmung mit den Ausbildungsordnungen (KMK 2000) zunehmend auch die Gliederung in die Dimensionen Fach-, Personal-, und Sozialkompetenz durchgesetzt (Nickolaus 2011). Andere Konzeptionen sehen zusätzlich einen Bereich Methodenkompetenz vor (Reetz 1989; Baethge u. a. 2006; vgl. Nickolaus 2011).

Kompetenz in den genannten Bereichen soll Auszubildende zur möglichst selbständigen und eigenverantwortlichen Bewältigung beruflicher Anforderungssituationen befähigen. Diese Anforderungssituationen und damit auch die Kompetenzen, die zur Bewältigung dieser Anforderungssituationen erforderlich sind, sind hochgradig vom jeweiligen Beruf abhängig. Dies gilt insbesondere für den Bereich der Fachkompetenz. Entsprechend erfolgt die Modellierung der Strukturen beruflicher Kompetenz häufig zunächst bezogen auf die Fachkompetenz für spezifische Berufe oder Berufsgruppen (Nickolaus 2011). Im Folgenden werden daher bestehende Erkenntnisse zur Kompetenzstruktur für solche Berufsgruppen zusammengefasst, für die sich mathematische und/oder naturwissenschaftliche Kompetenzen als besonders prädiktiv erwiesen haben oder als besonders prädiktiv gelten können. Für die Mathematik sind dies Berufe im kaufmännischen Bereich, für die Biologie und Chemie der Bereich der Biologie- und Chemielaboranten und für die Physik der gesamte Bereich der gewerblich-technischen Berufe.

Für die kaufmännische Bildung schlägt Winther (2010; vgl. auch Winther & Achtenhagen 2008, 2009) ein Strukturmodell für kaufmännische Kompetenz vor. Dieses Modell differenziert eine Inhalts- und eine Zugriffsebene (Winther & Achtenhagen 2009). Auf der

Inhaltsebene wird zwischen den domänenverbundenen Kompetenzbereichen *Economic Literacy* (Verständnis von Texten und Bildern sowie quantitativen Werten und Verhältnissen in wirtschaftlichen Alltagskontexten) und *Economic Numeracy* (grundlegende mathematische Fähigkeiten und Fertigkeiten im Kontext konkreter Unternehmensprozesse) sowie einem domänenspezifischen Kompetenzbereich unterschieden. Letzterer ergibt sich aus konkreten Geschäftsvorfällen, d. h. beruflichen Anforderungssituationen, für die sich arbeitsplatzspezifische Anforderungen, Handlungsspielräume und intendierte Zielsetzungen charakterisieren lassen (ebd.; vgl. Winther 2010). In Anlehnung an die kognitiven Prozesse, wie sie bei der Bearbeitung von Inhaltsbereichen vorrangig auftreten, werden auf der Zugriffsebene die folgenden Kompetenzen unterschieden (vgl. Winther & Achtenhagen 2009): Zunächst ist die konkrete Anforderungssituation in ein berufliches Problem zu übersetzen (*interpretative competence*). In einem zweiten Schritt muss das Problem durch die Aktivierung deklarativer (*conceptual competence*) und prozeduraler (*procedural competence*) Wissensbestände und kognitive Strukturen gelöst werden. *Conceptual competence* wird dabei als verstehensbasierte, *procedural competence* als handlungsbasierte Komponenten der beruflichen Handlungskompetenz aufgefasst. Es gelingt Winther und Achtenhagen (2009) diese Dimensionen beruflicher Kompetenz im kaufmännischen Bereich empirisch nachzuweisen. Eine weitere Ausdifferenzierung der Dimensionen wird nicht berichtet.

Im Bereich der gewerblich-technischen Berufe liegen vor allem Erkenntnisse zur Struktur der Fachkompetenz von KFZ-Mechatronikerinnen und -Mechatronikern und im Bereich der Elektrotechnik – speziell für Elektronikerinnen und Elektroniker für Energie- und Gebäudetechnik – vor. Ein Rahmenmodell für die Fachkompetenz von KFZ-Mechatronikerinnen und -Mechatronikern beschreibt Gschwendtner (2010). Er unterscheidet zwischen der *Psychologischen Dimension*, dem *Tätigkeitsbereich*, *Technologischen Gegenständen* und *Arbeitsmitteln*. Die sich aus der Kombination dieser vier Dimensionen ergebende Kompetenzstruktur deckt die üblichen Anforderungssituationen, wie sie im

Berufsal- tag der KFZ-Mechatronikerinnen und -Mechatroniker vorkommen, ab. Die *psychologische Dimension* umfasst dabei das *berufsfachliche Wissen*, *fachspezifische Problemlösefähigkeit*, und *Motorische Fähigkeiten*. Die Tätigkeitsbereiche sind in Anlehnung an Becker (2009) entsprechend den typischen Tätigkeitsbereichen von KFZ-Mechatronikerinnen und -Mechatronikern als *Standardservice*, *Diagnose*, *Reparatur* und *Zusatzinstallation* bezeichnet. Die Dimension *Technologische Gegenstände* umfasst typische Komponenten eines Fahrzeugs wie z. B. den Motor. *Arbeitsmittel* entsprechen den gängigen Arbeitsmitteln wie etwa elektronischen Prüfmitteln. Gschwendtner, Geißel und Nickolaus (2010) berichten, dass sich zu Beginn der Ausbildung eine zweidimensionale Struktur des berufsfachlichen Wissens zeigt, die eine Dimension zur Fahrzeugelektrik und eine Dimension zur Fahrzeugmechanik aufweist. Im Verlauf des ersten Ausbildungsjahres scheinen diese Teilkompetenzen jedoch zu einer zu verschmelzen (Gschwendtner 2010). Den Befunden von Gschwendtner (2010) zufolge scheint sich das berufsfachliche Wissen über die Zeit wieder auszudifferenzieren und zwar entsprechend den Gegenstandsbereichen, wobei die genaue Zahl der Dimensionen nicht ganz eindeutig zu bestimmen ist. Hinsichtlich der Vorhersage der Entwicklung des berufsfachlichen Wissens scheint vor allem das ausbildungsspezifische Vorwissen für die Entwicklung prädiktiv zu sein (Nickolaus 2010). Die fachspezifische Problemlösefähigkeit ließ sich in der zugrundeliegenden Untersuchung vom beruflichen Fachwissen empirisch unterscheiden (Nickolaus, Gschwendtner & Geißel 2008). Die Struktur der Problemlösefähigkeit wurde dabei aber nicht weiter aufgelöst.

Die Struktur der Fachkompetenz von Elektronikerinnen und Elektronikern für Energie- und Gebäudetechnik analysieren Nickolaus, Geißel, Abele und Nitzschke (2010). Ausgehend von älteren Arbeiten, die für Elektronikerinnen und Elektroniker für Energie- und Gebäudetechnik eine ebenfalls zweidimensionale Struktur mit den Dimensionen *Berufliches Fachwissen* und *Fachspezifische Problemlösefähigkeit* gezeigt haben, setzen sich Nickolaus

u. a. (2010) mit der Struktur des Fachwissens auseinander. Dabei lässt sich zunächst erneut die erwähnte zweidimensionale Struktur bestätigen. Analog zu den KFZ-Mechatronikerinnen und -Mechatronikern können Nickolaus u. a. (2010) zudem zeigen, dass sich das Fachwissen über die Ausbildung hinweg ausdifferenziert. Es ergeben sich zum Ende der Ausbildungszeit drei Teildimensionen: *Traditionelle Installationstechnik*, *Elektrotechnische Grundlagen* und *Steuerungs-/ Moderne Installationstechnik*. Auch hier erweist sich das berufsspezifische Fachwissen als wesentlicher Prädiktor (vgl. Nickolaus u. a. 2010).

Beim Vergleich der verschiedenen Berufsgruppen kommt Nickolaus (2011) zu dem Schluss, dass sich Fachkompetenz berufsübergreifend in die Subdimensionen Fachwissen (für Industriekaufleute: Verstehensbasierte Kompetenzen) und die Fähigkeit, das Fachwissen in variablen Problemsituationen anwenden zu können (für Industriekaufleute: Handlungsorientierte Kompetenzen), unterscheiden lässt (Tabelle 1, vgl. Nickolaus 2011). Im gewerblich-technischen Bereich wird Nickolaus (2011) zufolge häufig noch eine weitere Dimension angenommen, die manuelle Fähigkeiten repräsentiert. Diese hat sich aber empirisch bisher nicht absichern lassen (ebd.). Wie beschrieben ergeben sich für die Berufe im gewerblich-technischen Bereich zudem im Verlauf der Ausbildung Ausdifferenzierungs- und Verschmelzungsprozesse hinsichtlich der Dimensionen des Fachwissens (Nickolaus u. a. 2010; Gschwendtner 2010; vgl. Nickolaus 2011). Inwieweit damit entsprechende Ausdifferenzierungsprozesse im Bereich der Fähigkeit, das entsprechende Fachwissen anzuwenden, einhergehen, ist offen (Nickolaus 2011).

Beruf	Dimensionen der Fachkompetenz am Ende der Ausbildung				
Elektroniker und Elektronikerinnen für Energie- und Gebäudetechnik	Fachwissen				Fachspezifische Problemlösefähigkeit
	Traditionelle Installationstechnik	Elektrotechnische Grundlagen	Steuerungstechnik/ Moderne Installationstechnik		
KFZ-Mechatronikerinnen und -Mechatroniker	Fachwissen				Fachspezifische Problemlösefähigkeit
	Service	Motor	Motormanagement/ Beleuchtung	Kraftübertragung	Fahrwerk
Industriekaufleute	Verstehensorientierte Kompetenzen				Handlungsorientierte Kompetenzen

Tab. 1: Struktur der Fachkompetenz für verschiedene Ausbildungsberufe nach Nickolaus (2011)

Während für die berufliche Ausbildung im kaufmännischen und gewerblich-technischen Bereich bereits erste Erkenntnisse zu beruflichen Kompetenzstrukturen und teilweise sogar zu deren Entwicklung vorliegen, ist dies für biologie- bzw. chemiebezogene Berufe bisher nicht der Fall. Die für die berufliche Erstausbildung als Biologie- bzw. Chemielaborantin bzw. -laborant bedeutsame respektive erwartbare Struktur der Fachkompetenz lässt sich gegenwärtig allenfalls auf Basis der jeweiligen curricularen Vorgaben skizzieren. Die Rahmenlehrpläne für die berufliche Erstausbildung von Biologie- und Chemielaborantinnen bzw. -laboranten zeigen, dass neben der epistemologischen Bedeutung des Experiments (*epistemological views*) und dem wissenschaftlichen Denken (*scientific reasoning*), vor allem auch die manuellen Fertigkeiten (*practical skills*, vgl. Mayer 2007) eine wichtige Rolle spielen. Hier stehen also primär methodische Kompetenzen im Vordergrund. Allerdings basieren diese Kompetenzen in Teilen stark auf der Verfügbarkeit entsprechenden Fachwissens im Bereich der Biologie bzw. Chemie. So erfordert die Kompetenz, Blutbestandteile sowie tierisches und pflanzliches Gewebe zu identifizieren und den entsprechenden Organen zuordnen zu können, entsprechendes Fachwissen in der Biologie. Und die fotometrische und chromatografische Analyse von Stoffen setzt

entsprechende fachliche Kenntnisse in der Chemie voraus (vgl. Harms, Eckardt & Bernholt in diesem Band). Entsprechend ließe sich auch für diese Berufe eine Gliederung der Fachkompetenz nach verstehens- und handlungsorientierte Kompetenzen annehmen.

Aufgrund der engen Verbundenheit der dargestellten Berufe mit Mathematik bzw. den Naturwissenschaften lässt sich vermuten, dass mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen prädiktiv für die Entwicklung der Kompetenz

– insbesondere der Fach- und tlw. auch der Methodenkompetenz – in den jeweiligen Berufen sind. Im Bereich der gewerblich-technischen Berufe scheint insbesondere das berufs- bzw. ausbildungsspezifische Vorwissen relevant zu sein. Hier deutet sich an, dass nicht unbedingt mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenz an sich sondern, abhängig vom jeweiligen Beruf, spezifische (Teil-) Kompetenzen bis hin zu einzelnen Fähigkeiten und Fertigkeiten für die Entwicklung beruflicher Kompetenzen von Bedeutung sind. Gleichzeitig kann vermutet werden, dass berufliche Lerngelegenheiten umgekehrt auch einen Einfluss auf die Entwicklung von bestimmten Fähigkeiten und Fertigkeiten aus dem Bereich allgemeiner Kompetenz in Mathematik und den Naturwissenschaften haben. Im Folgenden letzten Abschnitt dieses Beitrags soll daher auf Basis der bisherigen Erkenntnisse ein Rahmenmodell für die Untersuchung der Kompetenzentwicklung im Verlauf der beruflichen Erstausbildung formuliert werden.

### **Implikationen für die Kompetenzentwicklung in der beruflichen Ausbildung**

Bisherige Arbeiten zur Struktur der Kompetenz in Mathematik und den Naturwissenschaften deuten darauf hin, dass sich Fähigkeiten und Fertigkeiten in diesen Fächern domänenspezifisch zu einer übergeordneten Kompetenz zusammenfassen und gegen Kompetenz in anderen Domänen abgrenzen lassen. Wie oben gezeigt, weisen die Arbeiten gleichzeitig darauf hin, dass sich innerhalb einer Domäne auch Fähigkeiten und Fertigkeiten im Sinne von Teilkompetenzen gruppieren lassen. Die bisherigen Erkenntnisse

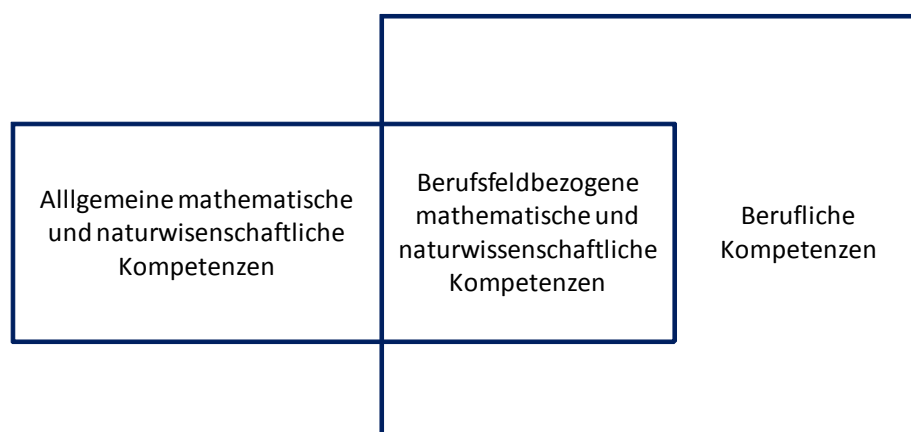
zu Kompetenzstrukturen im Bereich solcher Berufe, für die mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen als besonders prädiktiv angenommen werden können, lassen vermuten, dass sich im Bereich der berufs- bzw. ausbildungsspezifischen Fachkompetenz grundsätzlich zwischen berufsspezifischem Fachwissen (bzw. einer verstehensorientierten Kompetenz) und der Fähigkeit, dieses Fachwissen auch anwenden zu können (bzw. handlungsorientierten Kompetenzen), unterscheiden lässt. Für den gewerblich-technischen Bereich haben sich bereits Ausdifferenzierungs- und Verschmelzungsprozesse im Verlauf der Berufsausbildung beobachten lassen. Für den Bereich der KFZ-Mechatronik hat sich z. B. gezeigt, dass der zu Beginn der Ausbildung vorhandene Unterschied zwischen Wissen im Bereich der KFZ-Elektrik und -Mechanik am Ende des ersten Ausbildungsjahres nicht mehr nachweisbar ist. Dies kann, wie von Gschwendtner (2010) vermutet wird, in der Organisation der Ausbildung in Lernfelder begründet sein. Es bleibt jedoch die Frage offen, woraus sich die Trennung zu Beginn der Ausbildung ergibt. Eine Möglichkeit wäre hier, dass die Auszubildenden unterschiedliches Vorwissen in diesen Bereichen aus der Schule mitbringen, und dass diese Unterschiede im Verlauf des ersten Ausbildungsjahres durch die Berufsausbildung kompensiert werden. Für die Berufe in denen Kompetenzen im Bereich Biologie und Chemie eine besondere Rolle spielen, zeigen sich deutliche Übereinstimmungen zwischen den Rahmenlehrplänen und den Bildungsstandards für die Fächer Biologie und Chemie – insbesondere für den Kompetenzbereich *Erkenntnisgewinnung*. Die für diese Berufe wesentlichen Fertigkeiten wie beispielsweise der sichere Umgang mit biologisch-chemischen Stoffen oder der sachgemäße Umgang mit Laborgeräten und -materialien bauen auf Fertigkeiten auf, die bereits in der Schule erworben wurden. Ähnliches trifft auch für das Fachwissen in Biologie (zentrale biologische Systemebenen, Entwicklungsprozesse etc.) und Chemie (präparative und analytische Stoffkenntnisse, Stoff-Teilchen-Konzept) zu (vgl. Harms, Eckardt & Bernholt in diesem Band). Eine weitere offene Frage ist bisher, inwieweit die berufliche Ausbildung



umgekehrt zu einer Entwicklung allgemeinbildender mathematischer und naturwissenschaftlicher Kompetenzen beiträgt. So wäre denkbar, dass durch die Ausbildung zur KFZ-Mechatronikerin/zum KFZ-Mechatroniker nicht nur das berufsspezifische Fachwissen kompensiert wird, sondern auch allgemeines Wissen im Bereich Mechanik oder Elektrizitätslehre bzw. zumindest Wissen erworben wird, das es den Auszubildenden erlauben würde, auch in Situationen, die nicht für ihren Beruf spezifisch sind, Probleme aus den Bereichen Mechanik bzw. Elektrizitätslehre zu lösen.

Darüber hinaus kann angenommen werden, dass sich die Weiterentwicklung allgemeinbildender mathematischer und naturwissenschaftlicher Kompetenzen in Folge der beruflichen Ausbildung nicht nur darin ausdrückt, dass die Auszubildenden Aufgaben aus dem Bereich ihres Berufs oder allgemein aus dem Alltag mit höherer Wahrscheinlichkeit bewältigen, sondern auch darin, dass sie ihre allgemeinbildenden mathematischen und naturwissenschaftlichen Kompetenzen zunehmend zur erfolgreichen Bewältigung von Anforderungssituationen in beruflichen Kontexten für die kein berufsspezifisches Wissen notwendig ist, nutzen können. So hat etwa Sträßer (1996) basierend auf Ergebnissen qualitativer Studien mit technischen Zeichnerinnen und Zeichnern herausgearbeitet, dass je nach beruflicher Anforderungssituation mathematische Begriffe und Verfahren mit Konzepten aus anderen Domänen kognitiv zu einem neuen Konzept „verschmelzen“ können (sog. „problemorientierte Konzeptintegration“, Sträßer 1996). Die mathematischen Aspekte der beruflichen Kompetenzen werden dabei subjektiv möglicherweise gar nicht mehr als mathematisch wahrgenommen. Ausgehend von Zielen der beruflichen Ausbildung lassen sich drei Klassen von Anforderungssituationen unterscheiden: (1) berufsfeldspezifische Anforderungssituationen, die die Anwendung beruflicher Kompetenzen erfordern, (2) berufsfeldspezifische Anforderungssituationen, die (ausschließlich) mit allgemeinbildenden mathematischen oder naturwissenschaftlichen Kompetenzen zu bewältigen sind und (3) Anforderungssituationen mit starker Ähnlichkeit zu Anforderungssituationen aus dem Alltag

oder aus dem mathematischen bzw. naturwissenschaftlichen Unterricht, die mit Hilfe allgemeinbildender mathematischer oder naturwissenschaftlicher Kompetenzen zu lösen sind. Für die Untersuchung der Kompetenzentwicklung in der beruflichen Ausbildung lassen sich entsprechend drei übergeordnete Kompetenzdimensionen unterscheiden (vgl. Abbildung 2): (1) allgemeine mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen, (2) berufsfeldbezogene mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen und (3) berufliche Kompetenzen.



*Abb. 2:* Zusammenhang zwischen den verschiedenen, für die Kompetenzentwicklung in der beruflichen Ausbildung relevanten Kompetenzdimensionen

Sollen Kompetenzentwicklungen in der beruflichen Ausbildung untersucht werden, so müssen die Kompetenzen von Auszubildenden in diesen Bereichen zu verschiedenen Zeitpunkten der Ausbildung getrennt erfasst werden. Damit kann sowohl untersucht werden, inwieweit sich allgemeinbildende von berufsfeldbezogenen Kompetenzen unterscheiden lassen, als auch, ob diese in beruflichen Kompetenzen aufgehen oder empirisch trennbar bleiben. Für die empirische Untersuchung der Kompetenzentwicklung in der beruflichen Ausbildung stellt sich die Frage nach der Erfassung der schulischen bzw. beruflichen

Kompetenzen. Vorliegende Instrumente zur Erfassung schulisch erworbener mathematischer und naturwissenschaftlicher Kompetenzen sind auf die Erfassung von Kompetenz in Alltags- und Lebensweltsituationen geprägt. Sie lassen kaum einen Rückschluss auf ausbildungsrelevantes aber dem Bereich der Allgemeinbildung zuzuweisendes Wissen zu. Instrumente zur Erfassung beruflicher Kompetenzen sind stark auf die Bewältigung beruflicher Handlungssituationen ausgerichtet. Sie erfordern fast durchgehend berufsspezifisches Fachwissen. Insofern lassen sie keine Diagnose berufsfeldspezifischer allgemeiner Kompetenz zu. Eine ausführlichere Diskussion dieser Problematik findet sich im Beitrag von Lindmeier u. a. (in diesem Heft).

**LITERATUR**

- Anderson, L. W., Krathwohl, D. R., Airasian, P. W., Cruikshank, K. A., Mayer, R. E. & Pintrich, P. R. u. a. (2001): A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives. New York: Longman.
- Baumert, J., Klieme, E., Neubrand, M., Prenzel, M., Schiefele, U. & Schneider, W. u.a. (2001): PISA 2000: Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich. Opladen: Leske+Budrich.
- Becker, M. (2009): Kompetenzmodell zur Erfassung beruflicher Kompetenz im Berufsfeld Fahrzeugtechnik. In C. Fenzl, G. Spöttl, F. Howe & M. Becker (Hrsg.): Berufsarbeit von morgen in gewerblich-technischen Domänen. Bielefeld: Bertelsmann
- Bernholt, S., Commons, M. L. & Parchmann, I. (2009): Kompetenzmodellierung zwischen Forschung und Unterrichtspraxis. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 15, 219–245.
- Bernholt, S. & Parchmann, I. (2011): Assessing the complexity of students' knowledge in chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 12, 167–173.
- Blossfeld, H.-P., Maurice, J. & Schneider, T. (2011): The National Educational Panel Study: Need, main features, and research potential. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 14(S2), 5–17.
- Bloom, B. S. (1965): *Taxonomy of educational objectives I: cognitive domain*. New York: Longman Green.
- Blum, W., Neubrand, M., Ehmke, T., Senkbeil, M., Jordan, A., Ulfig, F. & Carstensen, C. H. (2004): Mathematische Kompetenz. In PISA-Konsortium Deutschland (Hrsg.):

- PISA 2003. Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland. Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs (S. 47–92). Münster: Waxmann.
- Brunner, M. (2006): Mathematische Schülerleistung. Struktur, Schulformunterschiede und Validität (Dissertation). Humboldt-Universität, Berlin.
- Bybee, R. W. (1997): Toward an understanding of scientific literacy. In Gräber, W. & Bolte, C. (Hrsg.): IPN-Schriftenreihe. Scientific literacy. An international symposium. Kiel: IPN.
- Deutscher Bildungsrat. (1974): Zur Neuordnung der Sekundarstufe II. Konzept für eine Verbindung von allgemeinem und beruflichem Lernen. Bonn: Author.
- Eggert, S. & Bögeholz, S. (2006): Göttinger Modell der Bewertungskompetenz – Teilkompetenz "Bewerten, Entscheiden und Reflektieren" für Gestaltungsaufgaben Nachhaltiger Entwicklung. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 12, 177–197.
- Eggert, S. (2008): Bewertungskompetenz für den Biologieunterricht -Vom Modell zur empirischen Überprüfung. Dissertation, Georg-August-Universität, Göttingen.
- Eggert, S. & Bögeholz, S. (2010): Students' Use of Decision Making Strategies with regard to Socioscientific Issues – An Application of the Rasch Partial Credit Model. Science Education, 94, 230–258.
- Einhaus, E. (2007): Schülerkompetenzen im Bereich Wärmelehre: Entwicklung eines Testinstruments zur Überprüfung und Weiterentwicklung eines normativen Modells fachbezogener Kompetenzen. Berlin: Logos.
- Erpenbeck, J. (1997): Selbstgesteuertes, selbstorganisiertes Lernen. In: Arbeitsgemeinschaft Qualifikations-, Entwicklungsmanagement Berlin. (Hrsg.): Kompetenzentwicklung 97: Berufliche Weiterbildung in der Transformation – Fakten und Visionen (S. 310–316). Münster: Herausgeber.
- Erpenbeck, J. (2009): Kompetente Kompetenzerfassung in Beruf und Betrieb. In D.

- Münk & E. Severing (Hrsg.): Theorie und Praxis der Kompetenzfeststellung im Betrieb – Status quo und Entwicklungsbedarf. Bielefeld: Bertelsmann.
- Franke, G. (2005): Facetten der Kompetenzentwicklung. Bielefeld: Bertelsmann.
- Freudenthal, H. (1983): Didactical phenomenology of mathematical structures. Mathematics education library. Dordrecht: D. Reidel.
- Gelman, R., & Greeno, J. G. (1989): On the Nature of Competence: Principles for Understanding in a Domain. In L. B. Resnick (Hrsg.): Knowing, Learning and Instruction. Essays in Honor of Robert Glaser (S. 125-186). Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum.
- Gillen, J. (2004): Kompetenzanalysen in der betrieblichen Bildung - betriebspädagogische Bezüge und Gestaltungsaspekte. In: P. Dehnbostel & G. Pätzold (Hrsg.): Innovationen und Tendenzen der betrieblichen Berufsbildung. Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik. Beiheft Nr. 18, S. 76-85.
- Grube, C., Möller, A. & Mayer, J. (2007). Dimensionen eines Kompetenzstrukturmodells zum Experimentieren. In H. Bayrhuber, F. X. Bogner, D. Graf, H. Gropengieße, M. Hammann & U. Harms et al. (Hrsg.). Ausbildung und Professionalisierung von Lehrkräften. Internationale Tagung der Fachgruppe Biologiedidaktik im VBIO in Essen. Kassel: IPN.
- Grüßing, M. (2002). Entwicklung mathematischer Kompetenzen im Grundschulalter. In W. Peschek (Hrsg.): Beiträge zum Mathematikunterricht. Vorträge auf der 36. Tagung für Didaktik der Mathematik (S. 199–202). Hildesheim: Franzbecker.
- Gschwendtner, T. (2011): Die Ausbildung zum Kraftfahrzeugmechatroniker im Längsschnitt. Analysen zur Struktur von Fachkompetenz am Ende der Ausbildung und Erklärung von Fachkompetenzentwicklungen über die Ausbildungszeit. In R. Nickolaus & G. Pätzold (Hrsg.): Lehr-Lern-Forschung in der gewerblich-

technischen Berufsbildung -Ergebnisse und Gestaltungsaufgaben. Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik, Beiheft 24, S. 55-76

- Gschwendtner, T., Geißel, B. & Nickolaus, R. (2010): Modellierung beruflicher Fachkompetenz in der gewerblich-technischen Grundbildung. In E. Klieme, D. Leutner & M. Kenk (Hrsg.): Kompetenzmodellierung. Zwischenbilanz des DFG-Schwerpunktprogramms und Perspektiven des Forschungsansatzes. 56. Beiheft der Zeitschrift für Pädagogik, Weinheim: Beltz, S. 258-269.
- Hartig, J. & Frey, A. (2012): Validität des Tests zur Überprüfung des Erreichens der Bildungsstandards in Mathematik: Zusammenhänge mit den bei PISA gemessenen Kompetenzen und Varianz zwischen Schulen und Schulformen. Diagnostica, 58(1), 3–14.
- Hostenbach, J., Fischer, H.E., Kauertz, A., Mayer, J., Sumfleth, E. & Walpuski, M. (2011). Modellierung der Bewertungskompetenz in den Naturwissenschaften zur Evaluation der Nationalen Bildungsstandards. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 17, 261–288.
- Kauertz, A. (2007): Schwierigkeitserzeugende Merkmale physikalischer Leistungstestaufgaben (Dissertation). Universität Duisburg-Essen, Essen.
- 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, 132–153.
- Klieme, E. & Leutner, D. (2006): Kompetenzmodell zur Erfassung individueller Lernergebnisse und zur Bilanzierung von Bildungsprozessen. Beschreibung eines neu eingerichteten Schwerpunktprogramms der DFG. Zeitschrift für Pädagogik, 52.
- Klieme, E., Neubrand, M. & Lüdtke, O. (2001): Mathematische Grundbildung: Testkonzeption und Ergebnisse. In J. Baumert, E. Klieme, M. Neubrand, M.

- Prenzel, U. Schiefele & W. Schneider, u. a. (Hrsg.): PISA 2000. Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich (S. 139–190). Opladen: Leske+Budrich.
- Klieme, E., Avenarius, H., Blum, W., Döbrich, P., Gruber, H., Prenzel, M. u. a. (2003). Expertise zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards. Berlin: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).
- Kremer, K. (2010): Die Natur der Naturwissenschaften verstehen – Untersuchungen zur Struktur und Entwicklung von Kompetenzen in der Sekundarstufe I (Dissertation). Universität Kassel, Kassel.
- Kulgemeyer, C. & Schecker, H. (2009): Kommunikationskompetenz in der Physik: Zur Entwicklung eines domänenspezifischen Kommunikationsbegriffs. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 15, 131–153 .
- Kulgemeyer, C. (2010): Physikalische Kommunikationskompetenz. Modellierung und Diagnostik, Berlin: Logos.
- Kulgemeyer, C. & Schecker, H. (2012): Physikalische Kommunikationskompetenz – Empirische Validierung eines normativen Modells. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 18, 29–54.
- Lehmann, R. & Seeber, S. (2007): ULME III: Untersuchungen von Leistungen, Motivation und Einstellungen der Schülerinnen und Schüler in den Abschlussklassen der Berufsschlussklassen der Berufsschulen. Hamburg: Behörde für Bildung und Sport.
- Lindmeier, A., Neumann, K., Bernholt, S., Eckhardt, M., Harms, U., Härtig, H., Heinze, A. & Parchmann, I. (in diesem Heft). Diagnostische Instrumente für die Erfassung mathematischer und naturwissenschaftlicher Kompetenzen und deren Adaption für die Analyse der Zusammenhänge zwischen allgemeinen und beruflichen



- Kompetenzen. *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik*, Beiheft 26, 161–181.
- Mayer, J. (2007): Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 177–186). Heidelberg: Springer.
- Mayer, J., Grube, C. & Möller, A. (2008). Kompetenzmodell naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung. In U. Harms & A. Sandmann (Hrsg.): *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik – Ausbildung und Professionalisierung von Lehrkräften* (3. Band) (S. 63–79). Innsbruck: Studienverlag.
- McClelland, D. C. (1973): Testing for competence rather than for “intelligence”. *American Psychologist*, 28 (1), 1–14.
- National Council of Teachers of Mathematics (NCTM). (2000): *Principles and standards for school mathematics*. Reston, VA: National Council of Teachers of Mathematics (NCTM). Neumann, I., Duchhardt, C., Ehmke, T., Grüßing, M., Heinze, A. & Knopp, E. (eingereicht): *Modeling and assessing of mathematical competence over the lifespan*.
- 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, 103–123.
- Neumann, K., Fischer, H. E. & Sumfleth, E. (2008): Vertikale Vernetzung und kumulatives Lernen im Chemie- und Physikunterricht. In E.-M. Lankes (Hrsg.): *Pädagogische Professionalität als Gegenstand empirischer Forschung* (S. 141–151). Münster: Waxmann.
- Nickolaus, R. (2011): Kompetenzmessung und Prüfungen in der beruflichen Bildung. *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik*, 107(2), 161-173.

- Nickolaus, R., Gschwendtner, T. & Geißel, B. (2008): Entwicklung und Modellierung beruflicher Kompetenz in der gewerblich-technischen Grundbildung. Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik, H1, S. 48-73.
- Nickolaus, R., Geißel, B., Abele, S. & Nitschke, A. (2011). Fachkompetenzmodellierung und Fachkompetenzentwicklung bei Elektronikern für Energie- und Gebäudetechnik im Verlauf der Ausbildung – Ausgewählte Ergebnisse einer Längsschnittstudie. In R. Nickolaus & G. Pätzold (Hrsg.): Lehr-Lern-Forschung in der gewerblich-technischen Berufsbildung -Ergebnisse und Gestaltungsaufgaben. Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik, Beiheft 24, S. 55-76.
- Nickolaus, R. & Seeber, S. (im Druck): Berufliche Kompetenzen: Modellierungen und diagnostische Verfahren. In A. Frey, U. Lissmann & B. Schwarz (Hrsg.): Handbuch berufspädagogischer Diagnostik. Weinheim: Beltz.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2003): The PISA 2003 assessment framework: Mathematics, reading, science and problem solving knowledge and skills. Paris: OECD.
- Parchmann, I., Bündler, W., Demuth, R., Freienberg, J., Klüter, R. & Ralle, B. (2006): Lernlinien zur Verknüpfung von Kontextlernen und Kompetenzentwicklung. Chemkon, 13(3), 124–131. Parchmann, I. (2007): Basiskonzepte – Ein geeignetes Strukturierungselement für den Chemieunterricht? In: NiU Chemie 100+101/18, 6–10.
- Prenzel, M., Rost, J., Senkbeil, M., Häußler, P. & Klopp, A. (2001): Naturwissenschaftliche Grundbildung: Testkonzeption und Ergebnisse. In J. Baumert, E. Klieme, M. Neubrand, M. Prenzel, U. Schiefele, W. Schneider, u. a. (Hrsg.): PISA 2000. Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich (S. 191–248). Opladen: Leske+Budrich.

- Reiss, K. (2004); Bildungsstandards und die Rolle der Fachdidaktik am Beispiel der Mathematik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 50(5), 635–649.
- Reiss, K. & Winkelmann, H. (2009): Kompetenzstufenmodelle für das Fach Mathematik im Primarbereich. In D. Granzer, O. Köller & A. Bremerich-Vos (Hrsg.): *Bildungsstandards Deutsch und Mathematik. Leistungsmessung in der Grundschule* (S. 120–141). Weinheim: Beltz.
- Roth H. (1971). *Pädagogische Anthropologie. Band II: Entwicklung und Erziehung*. Hannover: Schroedel.
- Schecker, H. & Parchmann, I. (2006): Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, 45–66.
- Schmidt, M. (2008): Kompetenzmodellierung und -diagnostik im Themengebiet Energie der Sekundarstufe I: Entwicklung und Erprobung eines Testinventars. *Studien zum Physik- und Chemielernen: Vol. 87*. Berlin: Logos.
- Seeber, S. & Nickolaus, R. (2010). Kompetenz, Kompetenzmodelle und Kompetenzentwicklung in der beruflichen Bildung. In R. Nickolaus, G. Pätzold, H. Reinisch & T. Tramm (Hrsg.), *Handbuch Berufs- und Wirtschaftspädagogik*. Stuttgart: Julius Klinkhardt.
- Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (KMK). (2004a). *Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz Erläuterungen zur Konzeption und Entwicklung*. München: Luchterhand.
- Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (KMK). (2004b). *Bildungsstandards im Fach Mathematik für den Mittleren Schulabschluss: Beschluss vom 4.12.2003*. *Beschlüsse der Kultusministerkonferenz. Veröffentlichungen der*

Kultusministerkonferenz. München: Luchterhand.

Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der

Bundesrepublik Deutschland (KMK). (2005a). Bildungsstandards im Fach

Biologie für den Mittleren Schulabschluss: Beschluss vom 16.12.2004.

Beschlüsse der Kultusministerkonferenz. Veröffentlichungen der

Kultusministerkonferenz. München: Luchterhand.

Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der

Bundesrepublik Deutschland (KMK). (2005b). Bildungsstandards im Fach

Chemie für den Mittleren Schulabschluss: Beschluss vom 16.12.2004.

Beschlüsse der Kultusministerkonferenz. Veröffentlichungen der

Kultusministerkonferenz. München: Luchterhand.

Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der

Bundesrepublik Deutschland (KMK). (2005c). Bildungsstandards im Fach

Physik für den Mittleren Schulabschluss: Beschluss vom 16.12.2004. Beschlüsse  
der Kultusministerkonferenz. Veröffentlichungen der Kultusministerkonferenz.

München: Luchterhand.

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.

Spencer, L.M., McClelland, D.C. & Spencer, S.M. (1994): *Competency Assessment  
Methods. History and State of the Art*. London: Hay/ McBer Research Press.

Sträßer, R. (1996): Professionelles Rechnen? Zum mathematischen Unterricht in  
Berufsschulen. *mathematica didactica*, 19 (1), 67-92.

Ufer, S., Reiss, K. & Heinze, A. (2009): BIGMATH: Ergebnisse zur Entwicklung

- mathematischer Kompetenz in der Primarstufe. In A. Heinze & M. Grüßing (Hrsg.): *Mathematiklernen vom Kindergarten bis zum Studium. Kontinuität und Kohärenz als Herausforderung für den Mathematikunterricht* (S. 61–85). Münster: Waxmann.
- Walther, G., Geiser, H., Langeheine, R. & Lobemeier, K. (2004): *Mathematische Kompetenzen am Ende der vierten Jahrgangsstufe in einigen Ländern der Bundesrepublik Deutschland*. In W. Bos, E.-M. Lankes, M. Prenzel, K. Schwippert, R. Valtin & G. Walther (Hrsg.): *IGLU. Einige Länder der Bundesrepublik Deutschland im nationalen und internationalen Vergleich* (S. 117–140). Münster: Waxmann Verlag.
- 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, S., Artelt, C., Prenzel, M., Senkbeil, M., Ehmke, T. & Carstensen, C. H. (2011): *Development of competencies across the life span*. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 14(S2), 67–86.
- Winkelmann, H. & Robitzsch, A. (2009): *Modelle mathematischer Kompetenzen: Empirische Befunde zur Dimensionalität*. In D. Granzer, O. Köller & A. Bremerich-Vos (Hrsg.): *Bildungsstandards Deutsch und Mathematik. Leistungsmessung in der Grundschule* (S. 169–196). Weinheim: Beltz.
- Winkelmann, H., Robitzsch, A., Stanat, P. & Köller, O. (2012): *Mathematische Kompetenzen in der Grundschule: Struktur, Validierung und Zusammenspiel mit allgemeinen kognitiven Fähigkeiten*. *Diagnostica*, 58(1), 15–30.
- Winter, H. (1995): *Mathematikunterricht und Allgemeinbildung*. In M. Neubrand (Hrsg.): *Mitteilungen der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik* (No. 61, S. 37–46).

Flensburg: Gesellschaft für Didaktik der Mathematik.

Winther, E. (2010): Kompetenzmessung in der beruflichen Bildung. Bielefeld:  
Bertelsmann.

Winther, E. & Achtenhagen, F. (2008): Kompetenzstrukturmodell für die  
kaufmännische Bildung. Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik,  
104(4), 511–53.