

SIMONE LACHMAYER, CLAUDIA NERDEL, HELMUT PRECHTL

Modellierung kognitiver Fähigkeiten beim Umgang mit Diagrammen im naturwissenschaftlichen Unterricht

Modelling of cognitive abilities regarding the handling of graphs in science education

Zusammenfassung

Diagramme stellen eine im naturwissenschaftlichen Unterricht häufig eingesetzte Informationsquelle dar. Ihnen wird eine lernförderliche Wirkung unterstellt, besonders wenn Lernende sie zur Darstellung eines Sachverhalts selbst konstruieren. Bei der Nutzung von Diagrammen ist aber mit den in der Literatur vielfach beschriebenen Schwierigkeiten zu rechnen, die sich beim Lernen mit Text- und Bildmaterial grundsätzlich ergeben. Dieser Beitrag beschäftigt sich mit den Fähigkeiten, über die Lernende verfügen müssen, um Achsendiagramme erfolgreich nutzen zu können, sodass sie daraus Vorteile für ihren Lernprozess ziehen. Auf der Basis der aktuellen Literatur zum Umgang mit Diagrammen wird ein Modell vorgeschlagen, das als Grundlage für die Diagnose der genannten Fähigkeiten im Unterricht dienen kann und gleichzeitig Ansatzpunkte für deren Förderung bietet. Diese Fähigkeiten werden vor dem Hintergrund der Bildungsstandards in den naturwissenschaftlichen Fächern als Teil der Kommunikationskompetenz verstanden.

Schlüsselwörter: Lernen mit Diagrammen – naturwissenschaftlicher Unterricht – Kompetenzstrukturmodell

Abstract

Diagrams are frequently used in science classes as an information source. They are supposed to improve learning, especially if learners develop them for their own in order to present data or facts. However, learners may not take advantage of using diagrams due to difficulties in using visual and verbal learning material as shown in many studies about learning with multiple representations. Therefore, the article aims at the abilities students should have, when they are expected to use diagrams successfully for their learning. Based on the literature about the use and construction of diagrams a model of cognitive abilities is proposed that is meant as a basis for diagnosing and fostering the above-named abilities in science education. According to the national educational standards these abilities are looked upon as part of the competencies that enable students to communicate in science classes.

Keywords: learning with graphs – science education – structural competency model

1 Einleitung

Diagramme werden im naturwissenschaftlichen Unterricht vielfach als Lehrmittel eingesetzt, weil sie das Potential besitzen, textgebundene Informationsvermittlung zu unterstützen (Ainsworth, 1999). Sie erlauben im Vergleich zur linearen Darstellungsweise in Texten eine simultane Darbietung und Verarbeitung größerer Informationsmengen, zudem erleichtern sie das Schlussfolgern (Larkin & Simon, 1987). Insbesondere der eigenständigen, aktiven Konstruktion von Diagrammen durch die Lernenden wird eine lernförderliche Wirkung zugeschrieben (Cox, 1999; Stern, Aprea & Ebner, 2003). Allerdings verweisen die Ergebnisse verschiedener

Studien auf spezifische Probleme von Lernenden bei der Nutzung von Texten und Abbildungen für den Wissens- und Verständniswerb. Insbesondere die Forschung zum Multimedialernen hat deutlich gemacht, dass der Einsatz von bildhaftem Material wie z. B. illustrierenden Abbildungen und Diagrammen das Lernen nicht in jedem Falle unterstützt. Vielfach zeigen Lernende Schwierigkeiten, sich mithilfe von Text-Bild-Kombinationen Wissen über komplexe Prozesse anzueignen, u.a. weil es ihnen schwerfällt, Informationen aus bildhaftem Material zu entnehmen oder den Informationsgehalt von Text und Bild aufeinander zu beziehen (Salomon, 1984; Weidenmann, 1988; Chandler & Swel-

ler, 1991; Lewalter, 1997; Ainsworth, 1999; Nerdel, Prechtl & Bayrhuber, 2003; Kramer, Prechtl & Bayrhuber, 2005). Die Folge dieser Probleme ist vor allem ein geringer Verständnisszuwachs. Damit sich ein lernförderlicher Effekt einstellt, müssen Lernende indes in der Lage sein, zwischen den vorliegenden Repräsentationen zu wechseln, die verbindenden Elemente aufzuspüren und zu verknüpfen (Seufert, 2003; Ainsworth, Bibby, & Wood, 2002). Genau dabei zeigen sich allerdings immer wieder Schwierigkeiten (z.B. Bodemer, Ploetzner, Feuerlein & Spada, 2004). Es wird berichtet, dass Novizen verschiedene Repräsentationen lediglich über deren Oberflächenmerkmale aufeinander beziehen, während Experten über die dahinterliegenden Konzepte Bezüge herstellen (Kozma & Russell, 1997). Diese Befunde deuten darauf hin, dass das Verstehen und die Handhabung von Diagrammen als spezifische Kulturtechnik aufzufassen ist, welche erlernt werden muss (vgl. Schnotz, 1993). So liefert auch die Studie von Stern und Kollegen (2003) Hinweise dafür, dass eine höhere Vertrautheit mit der Darstellungsform „Diagramm“ erforderlich ist, damit die o.g. Erwartungen an lernförderliche Effekte beim eigenständigen Konstruieren von Diagrammen erfüllt werden; diese Effekte stellen sich keineswegs automatisch ein (vgl. Aprea & Ebner, 2003).

Es stellt sich zum einen die Frage, welche Kenntnisse über die Darstellungsform für einen erfolgreichen Umgang mit Diagrammen notwendig sind, und zum zweiten, in welchem Maße dazu auch Fähigkeiten zur eigenständigen Konstruktion vorhanden sein sollten. Damit verbunden ist die Frage nach dem Zusammenhang von eigenständigem Konstruieren und inhaltlichem Verstehen.

Die genannten Fragestellungen sind von besonderem Interesse für die Fachdidaktiken der naturwissenschaftlichen Fächer, in denen Diagramme häufig im Unterricht eingesetzt werden. Insbesondere für die Lehrenden dieser Fächer ist es wichtig, die Lernenden zu einer lernförderlichen Nutzung von Diagrammen zu befähigen. Dafür müs-

sen Lehrkräfte die notwendigen Fähigkeiten diagnostizieren und fördern können.

Im vorliegenden Artikel wird ein Modell vorgeschlagen, das die Grundlage dafür bietet, die Fähigkeiten von Lernenden beim Gebrauch von Diagrammen strukturiert zu erfassen und eventuell vorhandene Defizite aufzudecken. Dazu werden die für die Entwicklung des Modells relevanten theoretischen Ansätze zum Diagrammverstehen sowie empirische Befunde zu Schwierigkeiten der Lernenden beim Umgang mit Diagrammen vorgestellt. Abschließend werden die Ausführungen vor dem Hintergrund von Bildungsstandards und Kompetenzorientierung beleuchtet.

2 Begriffsklärung: Diagramme

Zur Abgrenzung der Diagramme von Texten und Bildern wird eine Unterscheidung nach dem Grad der Ähnlichkeit zwischen dem realen Objekt und seiner externen Darstellung vorgeschlagen. Texte sind verschieden von dem, was sie beschreiben: sie bestehen aus willkürlich festgelegten Zeichen, Buchstaben, Wörtern und Zahlen, die selbst keinerlei Ähnlichkeit mit dem realen Objekt haben, sondern mit ihm nur durch eine Konvention verknüpft sind. Das Wort „Katze“ hat beispielsweise keine Ähnlichkeit mit dem realen Tier. Man bezeichnet Darstellungen dieser Art als *deskriptionale Repräsentationen* (Schnotz, 2001). Unter *Texten* werden damit Sätze aus deskriptionalen Repräsentationen nicht festgelegter Anzahl verstanden. Im Gegensatz zu Texten zählen bildliche Darstellungen zu den *depiktionalen Repräsentationen* (Schnotz, 2001). Bei diesen besteht eine Ähnlichkeit zwischen dem realen Objekt und seiner Darstellung. Diese kann offensichtlich sein wie im Falle der realistischen Bilder (z. B. Gemälden, Fotografien oder Strichzeichnungen). Im Unterschied dazu besitzen *Diagramme* keine *sichtbare* Ähnlichkeit mit dem dargestellten Sachverhalt, sie stimmen jedoch mit ihm in einer gewissen Hinsicht überein: die (logischen) Relationen zwischen den Merkmalen sind innerhalb des Diagramms und innerhalb des

abgebildeten Sachverhalts gleich (Schnotz, 2001). Damit zählen Diagramme zu den depiktionalen Repräsentationen, wobei die Ähnlichkeit zwischen der Darstellung und dem dargestellten Sachverhalt in diesem Falle anders als bei realistischen Bildern nicht augenscheinlich sondern durch Konvention bestimmt ist.

Diagramme repräsentieren Beziehungen zwischen Variablen. Zur Visualisierung *qualitativer Zusammenhänge* zwischen Variablen werden Fluss-, Pfeil- und Baumdiagramme gebraucht, in denen einzelne Elemente (z. B. Worte, Symbole) durch Linien oder Pfeile miteinander verbunden sind. Diese Pfeile repräsentieren Relationen zwischen den Elementen und müssen dabei überwiegend inhaltlich interpretiert werden (Schnotz, 1993). Im Gegensatz dazu ist in Achsendiagrammen wie Linien-, Balken-, Säulen-, und Streudiagrammen mindestens eine der Variablen kontinuierlich, d.h. diese Diagrammtypen dienen der Visualisierung von *quantitativen Zusammenhängen* zwischen Variablen (Schnotz, 1993). Auf den Skalen sind dabei die jeweiligen Ausprägungen, die eine Variable annehmen kann, angegeben. Dadurch kann ein Element, d.h. ein Datenpunkt oder eine Säule, eindeutig durch seine relative Lage zu den Achsen beschrieben werden. Somit werden beschriftete Pfeile zwischen den einzelnen Datenpunkten überflüssig, denn die Beziehungen zwischen den Elementen ergeben sich ebenfalls durch die Lage der einzelnen Elemente zu den Achsen (Winn, 1987).

Während es für die Pfeil- und Baumdiagramme keine kontextunabhängigen Festsetzungen zur Interpretation gibt, die auf verschiedene Inhaltsbereiche übertragen werden könnten, besitzen die Achsendiagramme wie Linien-, Balken-, Säulen-, und Streudiagramme eine durch Konvention festgelegte Form, so dass sie nach bestimmten Regeln interpretiert und konstruiert werden müssen. Aus diesem Grund sind es vor allem diese Achsendiagramme, auf die in diesem Artikel Bezug genommen wird. Um Missverständnissen vorzubeugen, sei darauf

hingewiesen, dass im englischen Sprachgebrauch die Achsendiagramme unter dem Begriff *graphs* zusammengefasst werden, während Fluss- und Pfeildiagramme als *diagrams* bezeichnet werden (Winn, 1987).

3 Theoretische Ansätze und empirische Befunde zum Lernen mit Diagrammen

Das Lernen mit Diagrammen kann je nach Aufgabenstellung und Kontext auf zwei Weisen erfolgen:

- 1) Lernende nutzen ein dargebotenes Diagramm, um sich einen Sachverhalt inhaltlich zu erschließen,
- 2) Lernende visualisieren den Zusammenhang gegebener oder selbst erhobener Daten in Form eines Diagramms.

Beide Aspekte erfordern unterschiedliche kognitive Fähigkeiten, die im Folgenden durch theoretische Modelle zur Informationsentnahme aus Diagrammen sowie durch empirische Belege zur Diagrammkonstruktion charakterisiert werden sollen. Auf dieser Basis werden die Strukturen von Fähigkeiten zum Umgang mit Diagrammen hergeleitet und in einem gemeinsamen Modell (in tabellarischer Übersicht siehe Kapitel 3.4) geordnet dargestellt.

3.1 Informationsentnahme

In Anlehnung an Bertin (1974) wird die Informationsentnahme in die zwei Bereiche *Identifizierung* und *Ablesen* unterteilt.

Identifizierung

Das Verstehen eines Diagramms beginnt nach Bertin (1974) mit der *Identifizierung*, einer Betrachtung des Rahmens, durch die sich ein Diagrammleser einen Überblick darüber verschafft, worum es in dem Diagramm geht. Er vergegenwärtigt sich die aufgeführten Variablen, ordnet sie den graphischen Strukturen zu (Bertin, 1974), erkennt, welche Variable auf welcher Achse eingetragen ist, und erhält Hinweise darauf, welches die unabhängige und welches die abhängige Variable ist. In Liniendiagrammen kann bereits die Achsenbelegung einen Hinweis auf die Abhängigkeit geben, da es Konvention ist, die abhängige

Variable auf der Ordinate einzutragen. Darüber hinaus muss der Diagrammler beim Vorliegen mehrerer abhängiger Variablen durch die Betrachtung der Beschriftung an den einzelnen Linien, Säulen etc. oder der Legende zuordnen, welches Symbol, welche Farbe oder welche Linie welche Variable repräsentiert.

Durch die Identifizierungsprozesse ist es dem Betrachter möglich, ohne Beachtung der Datenpunkte bereits eine Aussage über den im Diagramm dargestellten Sachverhalt zu treffen. So kann für das Diagramm in Abbildung 1 gesagt werden: „Das vorliegende Diagramm zeigt die Individuenzahlen von Schildläusen und Marienkäfern über einen bestimmten Zeitraum hinweg.“

Wenn auch von Bertin (1974) nicht aufgeführt, so kann die Beachtung der Skalierung der Identifizierung zugerechnet werden. Bezieht man die Skalenreichweite der unabhängigen Variable mit ein, wird die oben genannte Aussage präziser: „Das vorliegende Diagramm zeigt die Individuenzahlen von Schildläusen und Marienkäfern über einen Zeitraum von 100 Monaten hinweg.“ Neben der Präzisierung der Informationsentnahme kann das Einbeziehen der Skalierung insbesondere dann von Nutzen sein, wenn verschiedene Diagramme miteinander verglichen werden müssen. Eine entsprechende Aufgabe in der Studie von Kerslake (1981), bei der Schüler¹ erkennen mussten, dass zwei Graphen, die unterschiedliche Steigungen haben, gleich sind, bzw. dass solche, die von der Steigung der Linie her gleich aussehen, aufgrund verschiedener Skalierungen nicht gleich sind, konnte von 63,4% der Vierzehnjährigen und 68,5% der Fünfzehnjährigen richtig beantwortet werden.

Auch Schnotz (1993) greift die Identifizierung in seiner Analyse des Diagrammlerens auf, indem er vom Diagrammler benötigte Vorkenntnisse über die Darstellungsform beschreibt, beispielsweise das Wissen über die Konventionen zum Aufbau eines Liniendi-

agramms aus Abszisse, Ordinate, Skalen und Graph. Eine Wissensstruktur, die Kenntnisse darüber einschließt, was die graphischen Elemente in einem Diagramm bedeuten, z. B. dass die Achsen für die einzelnen Variablen stehen oder dass die Skalen die jeweiligen Ausprägungen dieser Variablen angeben, konnte zudem in Studien von Novick (2004) identifiziert werden.

Hinweise auf die Bedeutsamkeit der Identifizierung für das eigentliche Ablesen von Informationen aus einem Diagramm liefert die Studie von Maichle (1994). Sie stellte Schülern die Aufgabe, gegebene Aussagen zu einem Diagramm anhand des Diagramms auf ihre Richtigkeit hin zu überprüfen. Ohne explizite Aufforderung dazu vertieften sich einige Probanden zuerst in das Diagramm, benannten beispielsweise die Achsen, identifizierten die Einheiten und die Reichweite der Skalen, bevor sie sich der eigentlichen Überprüfung der Aussagen zuwandten. Die Personen, die ohne vorherige Identifizierungsprozesse sofort mit der Überprüfung der Aussagen begannen, benötigten für die dazu nötigen Ableseprozesse deutlich mehr Zeit.

Im Modell von Carpenter und Shah (1998) wird die Identifizierung nicht vollständig den Ableseprozessen vorangestellt. Die Autoren gehen davon aus, dass das Diagrammverstehen mit der Wahrnehmung einer bestimmten graphischen Struktur (z. B. einer ansteigenden Linie) im Diagramm beginnt. Basierend auf dieser Wahrnehmung werden die Identifikationsprozesse vollzogen, die für das Verstehen jener einzelnen graphischen Struktur relevant sind. Dabei wird z. B. die visuelle Information „ansteigende Linie“ übersetzt in die konzeptuelle Information „je mehr, desto mehr“ und dann diese Information mit der Benennung der Variablen verknüpft („je mehr Zeit vergeht, desto mehr Schildläuse gibt es“). Beim Verstehen des gesamten Diagramms laufen den Autoren zufolge diese Schritte iterativ ab, bis alle graphischen Komponenten verarbeitet sind (Carpenter & Shah, 1998).

¹ In den vorliegenden Ausführungen sollen unter dem Begriff Schüler sowohl Schüler als auch Schülerinnen verstanden werden

AbleSEN

Nach Bertin (1974) ist die Identifizierung Voraussetzung für das Ablesen der inhaltlichen Informationen über die Beziehung der dargestellten Variablen zueinander. Dieses Ablesen bezieht sich auf die Datenpunkte, die in einem Diagramm als Punkte einer Linie oder in Form einer Säule eingetragen sind, und wird von Bertin in drei Stufen eingeteilt, welche durch die Art der Fragestellung charakterisiert werden.

Die erste „elementare“ Stufe des Ablesens bezieht sich auf ein *einzelnes Element* einer Variable, ist also z. B. die Antwort auf die Frage „Wie viele Schildläuse wurden an *einem bestimmten Tag* gezählt?“ gemäß der Abbildung 1. Bertin (1974) beschreibt als zweite „mittlere“ Stufe des Ablesens das Beantworten von Fragen, die sich aus *einer*

Gruppe von Elementen ergeben, beispielsweise der Frage „Wie veränderte sich die Anzahl der Schildläuse *in den ersten fünf Monaten?*“. Die obere Stufe des Ablesens ist nach Bertin die Antwort auf die Frage, die sich auf *alle Elemente einer Variable* bezieht (z. B. „Wie änderte sich die Anzahl der Schildläuse *über den gesamten Zeitraum hinweg?*“). Diese Stufung Bertins wird von Wainer (1992) aufgegriffen und durch eine Beschreibung der auf jeder Ablesensstufe vorzunehmenden Handlung präzisiert (z. B. durch das Erkennen eines Trends in den Daten auf der zweiten Stufe und dem Vergleichen verschiedener Trends bzw. dem Auffinden von Gruppierungen auf der oberen Stufe). Er deutet damit an, dass das Ablesen von Informationen mit zunehmender Stufung komplexer wird.

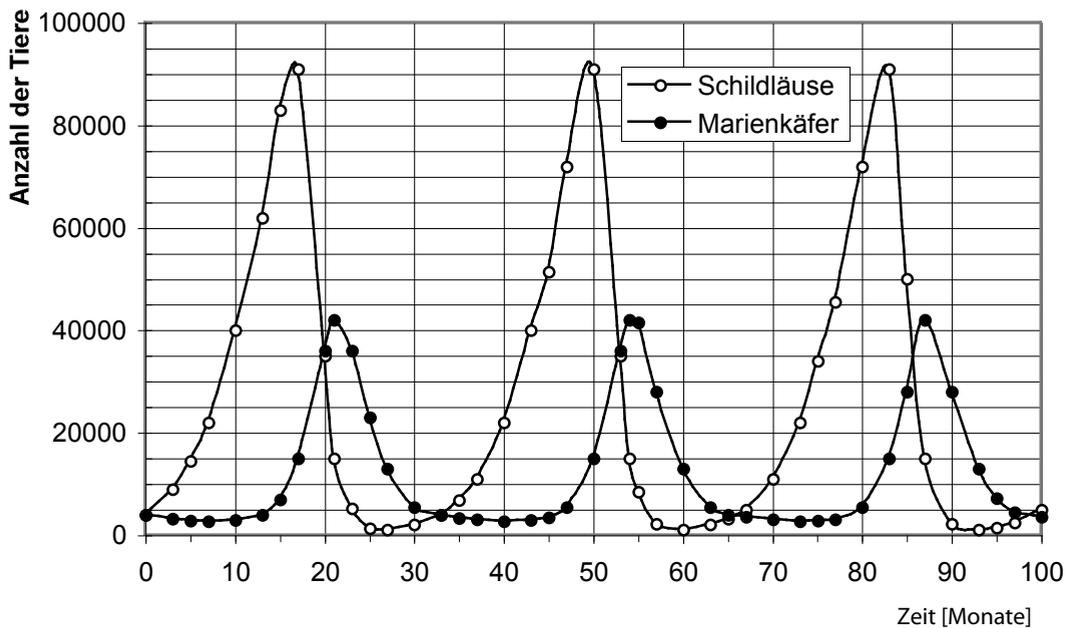


Abb. 1: Liniendiagramm zur Populationsentwicklung von Schildläusen und Marienkäfern in einem Räuber-Beute-System.

Populationsentwicklung

Zeit [Monate]	Marienkäfer	Schildläuse
0	4000	4000
3	3300	9000
5	2900	14500
7	2800	22000
10	3000	40000
13	4000	62000
15	7000	83000
17	15000	91000
20	36000	35000
21	42000	15000
23	36000	5200
25	23000	1400
27	13000	1100
30	5500	2100
33	4000	4000
35	3400	6900
37	3100	11000
40	2800	22000
43	3000	40000
45	3500	51500
47	5500	72000
50	15000	91000
53	36000	35000
54	42000	15000
55	41500	8500
57	28000	2200
60	13000	1100
63	5500	2100
65	4050	3200
67	3600	5000
70	3100	11000
73	2800	22000
75	2900	34000
77	3100	45500
80	5500	72000
83	15000	91000
85	28000	50000
87	42000	15000
90	28000	2200
93	13000	1100
95	7300	1500
97	4550	2550
100	3600	5000

(Zu Abb. 1)

Schnotz (1993) lehnt sich in seiner Beschreibung der drei Ablesestufen an die Kategorisierung Bertins und Wainers an und erweitert sie um eine detailliertere Betrachtung der Komplexität der Informationsentnahme auf der jeweiligen Stufe. Unter einem *Ablese erster Ordnung* versteht Schnotz (1993) ein Ablese, bei dem Attribute lediglich einer einzelnen graphischen Komponente bestimmt werden müssen. Im Falle eines Liniendiagramms bedeutet es, zu einem vorgegebenen Wert der unabhängigen Variable die passende Koordinate der abhängigen Variable, den „Funktionswert“, abzulesen („Wie viele Marienkäfer wurden im 25. Monat gezählt?“, vgl. Abb. 1). Im Falle des Säulendiagramms bezieht es sich darauf, die Höhe einer Säule einer bestimmten Kategorie zu benennen.

Eine Aufgabe aus der TIMS-Studie, bei der die Schüler aus vier Alternativen die richtigen Koordinaten zu einem in ein Koordinatenkreuz gezeichneten Punkt auswählen sollten, wurde von den Achtklässlern zu 59% richtig gelöst (Baumert et al., 1998a). In einer Studie von Kerlake (1981) gelang Fünfzehnjährigen das Ablese der Koordinaten eines Punktes zu 73,6% bzw. 95,2%.

Mit dem *Ablese zweiter Ordnung* bezeichnet Schnotz ebenso wie Bertin (1974) den Vergleich einzelner Werte. Ein solcher Vergleich kann dabei im Längsschnitt und im Querschnitt vorgenommen werden. Ein Längsschnittvergleich charakterisiert den Vergleich von Werten einer Datenreihe (z. B. „Die Individuenzahl der Schildläuse stieg in den ersten zehn Monaten an.“, vgl. Abb. 1). Im Gegensatz dazu ist ein Vergleich der Populationsgrößen von Marienkäfern und Schildläusen (also ein Vergleich zwischen den Datenreihen) zu einem bestimmten Zeitpunkt ein Querschnittvergleich. Im Säulendiagramm bezeichnet ein Ablese zweiter Ordnung im Längsschnitt das Vergleichen einzelner Säulenhöhen über die gegebenen Kategorien hinweg. Wenn mehrere Datenreihen vorhanden sind, können analog zum Querschnitt oben die Säulenhöhen der verschiedenen Reihen in einer bestimmten Kategorie verglichen werden.

In Liniendiagrammen kann zusätzlich zwischen dem *Vergleich zweier Werte* und dem *Ablezen eines Trends* unterschieden werden (Maichle, 1994). Zur Benennung eines Trends müssen mindestens drei Werte einbezogen werden. So beinhaltet: „Die Anzahl der Schildläuse stieg vom ersten bis zum vierten Monat an.“, eine relationale Aussage über die Werte im zweiten und dritten Monat, während durch den Vergleich zweier Einzelwerte („Im vierten Monat gab es mehr Schildläuse als im ersten.“) keine solche Aussage getroffen wird. Bezogen auf zwei Punktwerte differenziert Maichle zudem nach qualitativen Vergleichen („Die Anzahl der Schildläuse lag höher.“) und quantitativen Vergleichen („Die Anzahl lag um 5000 höher.“). Dabei werden für einen quantitativen Vergleich explizit Rechenfähigkeiten benötigt. Pereira-Mendoza und Mellor (1991) berichten davon, dass Schwierigkeiten von Schülern beim Vergleich zweier Werte häufig auf Probleme beim Vollziehen der notwendigen Rechenoperationen zurückgeführt werden können.

Unter einem *Ablezen dritter Ordnung* versteht Schnotz das Vergleichen mehrerer Trends bzw. das Vergleichen der Unterschiede zwischen jeweils zwei Werten (wie insbesondere im Säulendiagramm). Wie beim Ablezen zweiter Ordnung entspricht der Trendvergleich im Längsschnitt dem Vergleich innerhalb einer Datenreihe („Die Anzahl der Marienkäfer nahm erst ab und stieg dann wieder an.“) und im Querschnitt dem Vergleich zwischen zwei Datenreihen („Nachdem die Anzahl der Schildläuse zugenommen hat, beginnt die Anzahl der Marienkäfer zu steigen.“).

Auch in der Terminologie Curcios (1987) finden sich drei Ablesestufen. Im Unterschied zu Bertin und Schnotz beschreibt Curcio die Identifizierung nicht als einen dem Ablezen vorangehenden Prozess, sondern integriert zumindest Teile der Identifizierungsprozesse, beispielsweise das Ablezen der Achsenbeschriftungen, in ihre erste Ablesestufe, dem *Lesen der Daten*. Abgesehen von diesem Identifizierungsanteil entspricht Cur-

cios erste Stufe dem Ablezen erster Ordnung nach Schnotz. Curcios zweite Stufe, das *Lesen zwischen den Daten*, umfasst das Erkennen von Trends sowie deren Vergleiche und differenziert damit nicht zwischen dem Ablezen zweiter und dritter Ordnung. Demnach kann die Kategorisierung nach Schnotz als feinere Graduierung von Curcios erster und zweiter Stufe des Ablezens aufgefasst werden: Teile der Identifizierung und Ablezen erster Ordnung werden bei Curcio als Lesen der Daten bezeichnet, Ablezen zweiter und dritter Ordnung als Lesen zwischen den Daten. Curcio bezieht indes das *Lesen über die Daten hinaus* als höchste Kategorie in ihre Betrachtungen ein. Die Beantwortung von Aufgaben dieses Typs (bzgl. der Abb. 1 z. B. „Wie entwickeln sich beide Populationen nach den 100 im Diagramm dargestellten Monaten weiter?“) erfordert vom Diagrammleser, Schlussfolgerungen zu ziehen oder Vorhersagen basierend auf den gegebenen Daten zu machen. Eine entsprechende Aufgabe der TIMS-Studie, bei der zum Vorhersagen eines Wertes eine Gerade verlängert werden musste, wurde von den Schülern der 8. Klasse in Deutschland zu 84% richtig beantwortet (Baumert et al., 1998b). Die Lösungshäufigkeit einer ähnlichen Aufgabe, bei der eine Kurve verlängert werden musste, lag hingegen bei 59% (Baumert et al., 1998a). Nach Pereira-Mendoza und Mellor (1991) äußerten Probanden bezüglich solcher Extrapolationen häufig, die Aufgabe nicht lösen zu können, da die betreffenden Werte im Diagramm nicht dargestellt seien. In ihrer Studie konnte eine Aufgabe zum Lesen über die Daten hinaus nur von 18% der teilnehmenden Sechstklässler richtig gelöst werden, während das Lesen der Daten 98% und das Lesen zwischen den Daten 78% der Probanden gelang. Dieser empirische Beleg der von Curcio postulierten Stufung der Ableseanforderungen deutet darauf hin, dass ein Lesen über die Daten hinaus bzw. ein Lesen zwischen den Daten eine höhere Fähigkeit darstellt als das Lesen der Daten. Insbesondere wenn man die feinere Unterteilung des Ablezens zweiter und dritter Ordnung in quan-

titative und qualitative Vergleiche (Maichle, 1994) einbezieht, so weist der folgende Befund dennoch auf die Notwendigkeit für die empirische Überprüfung der von Schnotz beschriebenen Ablesestufen hin: In einer Studie von Gillan und Lewis (1994) verglichen die Probanden beim qualitativen Vergleichen zweier Punktwerte lediglich die Punkthöhen, ohne die absoluten Werte zu bestimmen. Während für den quantitativen Vergleich zweier Werte und damit zum Ablesen zweiter Ordnung die Fähigkeit zum Ablesen erster Ordnung explizit benötigt wird, konnten die Schüler in der obigen Studie eine Aufgabe zum Ablesen zweiter Ordnung bewältigen, ohne dass sichergestellt wäre, dass sie die Fähigkeit zum Ablesen erster Ordnung besaßen.

3.2 Konstruktion

Während sich zahlreiche Forschungsarbeiten mit der Informationsentnahme aus Diagrammen beschäftigen (siehe Kapitel 3.1), nehmen weitaus weniger deren aktive, eigenständige Konstruktion in den Blick. Einige davon rücken die Konstruktion als Lernhandlung in den Mittelpunkt und vergleichen den Wissenserwerb bei selbstständiger Konstruktion mit dem bei Rezeption vorgefertigter Diagramme. Es zeigt sich, dass das eigenständige Konstruieren einen förderlichen Einfluss auf das Lernen haben kann (Stern et al., 2003), aber nicht muss (Aprea & Ebner, 2003). Diese Befunde unterstreichen die Bedeutung der Fähigkeit zum eigenständigen Konstruieren beim Lernen sowie die Notwendigkeit, sie genauer zu betrachten.

Dass es für Schüler schwierig ist, nur aufgrund vorgegebener Daten völlig frei ein Diagramm zu erstellen, betonen Baker, Corbett und Koedinger (2001). Von 39 Schülern der 8. und 9. Klasse war niemand in der Lage, ein vollständig richtiges Histogramm oder Streudiagramm zu zeichnen. Ein Beispiel aus der TIMS-Studie verdeutlicht, dass Schwierigkeiten beim freien Konstruieren auch noch in der gymnasialen Oberstufe

aufzutreten: Die Lösungswahrscheinlichkeit einer Aufgabe, bei der ein Liniendiagramm angefertigt werden sollte, das die Beziehung zwischen der Körpergröße einer Person und ihrem Alter von der Geburt bis zu einem Alter von 30 Jahren zeigt, lag bei 41% (Baumert et al., 1999). Um zu diagnostizieren, welches die Ursachen dieser Schwierigkeiten sind, gilt es, differenzierte Befunde zu Teilaspekten des Konstruktionsprozesses heranzuziehen. Bereits die Wahl des Diagrammtyps, der gegebenen Daten bzw. einem gegebenen Sachverhalt angemessen wäre, ist in der Regel als schwierig einzustufen. Aufgaben, bei denen Schüler der 8. und 9. Klasse aus vier vorgegebenen Alternativen das passende Diagramm auswählen mussten, wurden in einer Studie von Baker, Corbett und Koedinger (2001) mit einer Wahrscheinlichkeit von weniger als 25% richtig gelöst.

Zusätzlich scheint die Wahl der passenden Skalierung Schülern Schwierigkeiten zu bereiten. Bei der Erstellung eines Liniendiagramms muss per Konvention für die unabhängige Variable eine metrische Skala gezeichnet werden. Verschiedene Autoren (Wavering, 1989, für Liniendiagramme; Baker et al., 2001, für Streudiagramme) berichten davon, dass Versuchspersonen vorgegebene (ungeordnete) Werte so auf der Skala anordnen, als wären sie kategorial, also z. B. 4 1 3 5, statt sie in der metrischen Reihenfolge aufzuführen. Ein weiterer typischer Fehler in der Studie von Wavering (1989) war das Eintragen der gegebenen Werte zwar in der richtigen Reihenfolge, aber in immer gleichen Abständen, unabhängig vom eigentlichen Wert, z. B. 1 3 4 5, so dass eine unregelmäßige und somit nicht-metrische Skala entstand. Auch Kerlake (1981) weist auf die Schwierigkeiten von Schülern hin, die Größe der Intervalle zwischen den beschrifteten Teilstrichen einer Achse auszuwählen. Befunde zu vergleichbaren Schwierigkeiten hinsichtlich der Skalierung einer kategorialen Variable, beispielsweise dem Eintragen der Kategoriennamen in Säulendiagrammen, liegen nicht vor.

Neben der Konstruktion des Diagrammrahmens, also des Achsenkreuzes mit Skalierung, lassen sich Schwierigkeiten beim Eintragen der konkreten Datenpunkte feststellen, das einem Ablesen erster Ordnung entspricht. Die Studie von Kerslake (1981) zeigt, dass Dreizehn- bis Fünfzehnjährige das Eintragen von Punkten in ein Koordinatensystem zu 89% bis knapp 95% korrekt ausführen konnten, wenn die angegebenen Werte ausschließlich ganzzahlig waren. Beim Eintragen des Punktes ($1\frac{1}{2}, 4$) zeigten sich geringere Lösungshäufigkeiten von knapp 77% bis 80%.

Das Eintragen eines Einzelwertes in einem Säulendiagramm unterscheidet sich von dem in einem Liniendiagramm dadurch, dass zusätzlich zur Festlegung der Säulenhöhe durch einen Punkt das Zeichnen der zweidimensionalen Säule erforderlich ist. Die Säulenstruktur per se liefert keine zusätzliche Information, sondern dient der besseren Lesbarkeit des Diagramms. Unveröffentlichte Befunde unserer Arbeitsgruppe weisen darauf hin, dass Schüler dazu neigen, Säulen ohne waagerechten Begrenzungsstrich zu zeichnen und damit keine exakte Höhenmessung der Säulen zulassen, obwohl einer der senkrechten Begrenzungsstriche der Säule auf der richtigen Höhe endet.

Eine weitere Konstruktionsleistung kann mit „Skizzierung“ betitelt werden; sie bezieht sich auf Liniendiagramme. Mit Skizzierung ist generell das Zeichnen von Kurvenverläufen gemeint, bei vorgegebenen Punkten beispielsweise das Zeichnen einer Verbindungslinie zwischen den Punkten. Kerslake (1981) berichtet davon, dass Schüler die Verbindungslinie zwischen zwei Punkten nicht als Interpolation auffassen und nicht davon ausgehen, dass auf dieser Linie weitere, sogar unendlich viele Punkte liegen. 46% der fünfzehnjährigen Probanden begründeten die Verbindung von Punkten mit „weil man die Punkte immer verbindet“ oder „weil es dann ordentlicher aussieht“ (Kerslake, 1981, S. 124). Tatsächlich wird im Schulunterricht (wie auch in der Wissenschaft) die Linie als direkte Verbindung zwischen Punkten häu-

fig lediglich als Hilfsmittel zur leichteren Lesbarkeit aufgefasst. Dabei werden insbesondere Punkte über Kategorien hinweg verbunden, was als Erklärung dafür dienen könnte, weshalb Schülern der Interpolationscharakter einer Linie im Liniendiagramm nicht bewusst ist. Kattmann (2006) empfiehlt diesbezüglich, die durch eine Interpolationslinie induzierte Interpretation mit den Lernenden zu diskutieren respektive das Zeichnen von Verbindungslinien zwischen Punkten zu vermeiden, wenn kategoriale Daten gegeben sind. Diese Empfehlung wird durch Befunde von Zacks und Tversky (1999) unterstützt, nach denen einige Studenten aufgrund einer „fälschlichen“ Verwendung von Linien Tendaussagen über kategoriale Daten aus einem Diagramm ableiten. Bezogen auf ein Diagramm, in dem die Blütendurchmesser verschiedener Pflanzenarten durch mit einer Linie verbundene Punkte (anstelle einzelner Säulen) dargestellt sind, wäre eine entsprechende Aussage „Je mehr Seerose, desto größer der Blütendurchmesser.“ Diese Befunde unterstreichen die Notwendigkeit, zwischen einer Punktverbindung aus Gründen der besseren Lesbarkeit und einer Punktverbindung als Interpolation unterscheiden zu können.

Sind keine zu verbindenden Punkte vorgegeben, so ist die Skizzierung die direkte Übersetzung einer Information wie „Die Anzahl der Marienkäfer nimmt zu.“ in die Form einer ansteigenden Linie im Diagramm. In diesem Fall beschreibt Skizzierung somit das freie, nicht punktgebundene Zeichnen einer Trendlinie und entspricht damit einem Ablesen zweiter Ordnung auf der Seite der Informationsentnahme. Sind die gegebenen Informationen komplexer, wie z. B. „Die Anzahl der Käfer nimmt erst schwach, dann stark zu.“, so entspricht die geforderte Skizzierung einem Vergleich zweier Trends und damit einem Ablesen dritter Ordnung.

Aufgaben zur direkten Übersetzung dieser Art bearbeiteten Achtklässler in einer Studie von Mevarech und Kramarsky (1997). Dabei hatten einige Schüler Schwierigkeiten, eine „je mehr, desto mehr“-Aussage in Form

einer ansteigenden Linie darzustellen. Stattdessen zeichneten sie ein Diagramm, das genau einen einzelnen Punkt (in Form einer Säule) enthielt.

Die oben aufgeführten Befunde beschreiben einzelne Anforderungen beim Konstruieren von Achsendiagrammen. Da es in der Literatur an Modellen zur systematischen Beschreibung von Schülerfähigkeiten hinsichtlich des Konstruierens fehlt, sollen diese Einzelbefunde herangezogen werden, um die Fähigkeiten von Schülern in Bezug auf die Konstruktion von Diagrammen zu modellieren. Ergänzend können einige Strukturen der Konstruktion aus den Strukturen abgeleitet werden, die bei der Informationsentnahme als bedeutsam herausgearbeitet wurden. So kann gemäß der Unterkategorien der Identifizierung davon ausgegangen werden, dass es speziell bei der Belegung der Achsen (also der Festlegung, welche Variable auf welcher Achse eingetragen wird) und dadurch auch bei der Festsetzung der unabhängigen und abhängigen Variable sowie der vollständigen Beschriftung der Achsen zu Schwierigkeiten kommen kann. Enthält ein Diagramm mehrere Datenreihen, kann das Zeichnen einer Legende als Fehlerquelle eingestuft werden. Bezüglich dieser Strukturen sind allerdings keine empirischen Befunde bekannt.

3.3 Zusammenhänge zwischen Informationsentnahme und Konstruktion: Integration

Beim Einsatz von Diagrammen im Unterricht müssen Schüler einerseits mit Diagrammen als alleiniger Informationsquelle umgehen und aus einem gegebenen Diagramm *Informationen entnehmen* können. Andererseits müssen sie Diagramme bei der experimentellen Datenauswertung, zur Datenpräsentation oder auf der Basis textlicher Aussagen *eigenständig konstruieren* können. Häufig stellen Lernmaterialien Information in beiden Formen, Text und Diagramm, bereit, da zahlreiche Studien den Nutzen verschiedener Darstellungsformen bei der Wissensvermittlung belegt haben: Schüler erwerben unter

bestimmten Voraussetzungen mehr konzeptuelles Wissen, wenn sie im Vergleich zum reinen Text mit Graphiken und Text arbeiten (Mayer, 2001). In diesem Fall müssen die Informationen aus einem Diagramm mit denen in zusätzlichen Textquellen in Beziehung gesetzt und damit die *Informationen* aus beiden Darstellungsformen *integriert* werden. Die Bedeutung der Fähigkeit zur Integration für den naturwissenschaftlichen Unterricht wird durch die explizite Formulierung des Standards „Schülerinnen und Schüler werten Informationen zu biologischen Fragestellungen aus verschiedenen Quellen zielgerichtet aus [...]“ in den Bildungsstandards für die Biologie (KMK, 2005a) und entsprechenden Standards in Physik und Chemie unterstrichen. Informationsentnahme und Diagrammkonstruktion setzen den Umgang mit Symbolsystemen unterschiedlicher Struktur voraus, die Schnotz (2001; Schnotz & Bannert, 2003) im *integrativen Modell des Verstehens von Texten und Diagrammen* beschreibt. Die Verarbeitung von Diagrammen (z. B. bei der *Informationsentnahme*) und Texten (z. B. bei der *Diagrammkonstruktion*) erfolgt zunächst getrennt nach ihrer bildlichen bzw. textlichen Zeichenstruktur. Bei der Verarbeitung und beim Verstehen des Diagramms als bildlicher Repräsentation entsteht ein mentales Modell, in dem die räumlichen Relationen des Diagramms analog abgebildet sind (Schnotz, 2001). Texte werden beim Verstehen mental über propositionale Repräsentationen erfasst (Schnotz, 2001). Letztere bestehen aus Gedächtniseinheiten, den Propositionen, die textbasierte Informationen ähnlich den Sätzen der gesprochenen Sprache speichern. Bei der Verarbeitung des gegebenen Textes wird beispielsweise die Information „je höher die Umgebungstemperatur, desto höher die Herzschlagfrequenz“ mental als Proposition repräsentiert.

Mentales Modell und propositionale Repräsentation stehen nach dem integrativen Modell von Schnotz in Wechselwirkung und sind ineinander überführbar. Werden z. B. bei der Informationsentnahme aus einem Diagramm anhand eines mentalen Modells

Propositionen generiert, spricht Schnotz von *Modellinspektion*. Diese propositionalen Repräsentationen können ihrerseits in sprachliche Äußerungen umgesetzt werden (Schnotz, 2001). Dabei werden kognitive Schemata aktiviert, die anleiten, wie dem Modell und damit dem Diagramm eine bestimmte Information entnommen werden muss. Bei dem umgekehrten Prozess, der *Modellkonstruktion*, wird basierend auf der propositionalen Repräsentation ein mentales Modell aufgebaut (Schnotz & Bannert, 2003).

Bei der gleichzeitigen Verarbeitung von Diagramm und Text dienen die Prozesse Modellinspektion und Modellkonstruktion dem Abgleich und der Zusammenführung von Informationen aus den beiden Quellen. Propositionale Repräsentationen, die aus der Modellinspektion des mentalen Modells des Diagramms resultieren, werden zu denen in Beziehung gesetzt, die bei der Verarbeitung des Textes generiert wurden. Gleichfalls erfolgt auch ein Abgleich der mentalen Modelle: über die Modellkonstruktion können propositionale Informationen, die bei der Verarbeitung des Textes generiert wurden, in das mentale Modell des Diagramms integriert werden. Wird beispielsweise zu einem Liniendiagramm, das die Individuenzahlen einer Bakterienpopulation über zwei Wochen hinweg zeigt, ein Text gelesen, der die Individuenzahlen einer zweiten Bakterienart in Relation zur ersten beschreibt, so ist anzunehmen, dass der Verlauf der zweiten Linie in das mentale Modell, das bei der Verarbeitung des Diagramms gebildet wurde, eingefügt wird. Die Integration umfasst somit anteilig Modellinspektions- und -konstruktionsprozesse.

Die besondere Anforderung beim Integrieren von Information besteht dabei zum einen darin, dass ein Lernender selbst erkennen muss, welche Informationen aus dem Diagramm abzulesen bzw. in ein Diagramm einzutragen sind. Dies wird deutlich anhand der Studien von Seufert (2003), in denen es ihr durch direkte Hinweise

darauf, welche Strukturen in verschiedenen Repräsentationen aufeinander zu beziehen waren, gelang, die Integrationsleistung von Studenten zu erhöhen. Zum anderen müssen Ablese- und Konstruktionsprozesse kombiniert werden, um erfolgreich zu integrieren, so dass insgesamt die Fähigkeiten zur Integration als hoch korreliert mit den Fähigkeiten zur Informationsentnahme und zur Konstruktion angenommen werden. Die vorgeschlagene Kategorisierung der Fähigkeiten in diesen Bereichen soll deshalb genutzt werden, um die Fähigkeiten zur Integration zu klassifizieren und um bei der empirischen Überprüfung Hinweise darauf zu erhalten, wo die Ursachen für eine mangelnde Fähigkeit, Informationen aus verschiedenen Quellen zu integrieren, liegen können.

3.4 Vorschlag eines Strukturmodells der kognitiven Fähigkeiten zum Umgang mit Diagrammen

Ausgehend vom integrativen Modell zum Text- und Diagrammverstehen von Schnotz (2001) bzw. Schnotz und Bannert (2003; siehe Kap. 3.3) lassen sich die kognitiven Fähigkeiten für den Umgang mit Diagrammen den drei Bereichen *Informationsentnahme*, *Konstruktion* und *Integration* zuordnen. In den vorangegangenen Kapiteln wurden literaturbasiert feinere Strukturierungen dieser drei Bereiche entwickelt. Sie werden nachfolgend erneut aufgegriffen und zueinander in Beziehung gesetzt.

Informationsentnahme

Die Fähigkeiten zur Informationsentnahme gliedern sich in zwei Felder: *Identifizierung* und *Ablesen*. Unter der *Identifizierung* lassen sich folgende Prozesse zusammenfassen: das Erkennen der dargestellten Relation, die Zuordnung der dargestellten Variablen zur jeweiligen Achse, (beim Vorhandensein mehrerer abhängiger Datenreihen) die Zuordnung der einzelnen Reihen zu den Symbolen sowie die Beachtung der Skalenreichweiten. Diese sind im unten stehenden Modell (Tabelle 1) untereinander eingetragen, wodurch allerdings keinerlei Stufung suggeriert werden soll.

Hinsichtlich des *AbleSENS* von Informationen scheint eine Kategorisierung anhand einer vorgegebenen Fragestellung nach Bertin (1974) unserer Auffassung nach problematisch, da der Anforderungsgrad des AbleSENS stark durch die Datenpunkte eines Diagramms und damit durch den Verlauf eines Graphen oder die Unterschiede in den Säulenhöhen bestimmt wird und somit durch die Fragestellung nicht immer eindeutig festgelegt werden kann. Aus diesem Grund erscheint es für die Modellierung der Fähigkeiten sinnvoll, die Komponenten durch die Charakteristika der kognitiven Operationen zu definieren, so wie es die Kategorisierungen von Curcio (1987) und Schnotz (1993) bzw. Maichle (1994) vorsehen. Diese werden deshalb in dem hier vorgeschlagenen Fähigkeitsmodell aufgegriffen. Im Kapitel 3.1 ist dargestellt

worden, dass sich die dreistufigen Einteilungen der Ableseprozesse von Schnotz und Curcio überschneiden. Hinsichtlich der ersten Kategorie stimmen sie weitgehend überein: Curcios Lesen der Daten entspricht (mit Ausnahme der Identifizierungsanteile) dem AbleSEN erster Ordnung nach Schnotz. Die Schnotzsche Differenzierung in AbleSEN zweiter und dritter Ordnung wird bei Curcio unter dem Lesen zwischen den Daten zusammengefasst. Das Lesen über die Daten hinaus ist bei Schnotz nicht explizit berücksichtigt.

Für das vorliegende Modell wird die Terminologie von Schnotz verwendet und um das Extrapolieren und Vorhersagen, dem Lesen über die Daten hinaus, erweitert. Die sich ergebenden Komponenten des AbleSENS sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tab.1: Strukturmodell der Fähigkeiten beim Diagrammgebrauch. Durch * gekennzeichnete Operationen beziehen sich nur auf Liniendiagramme.

Informationsentnahme		Konstruktion		
Identifizierung	Erkennen der dargestellten Relation		Wahl des passenden Diagrammtyps	Aufbau des Rahmens
	Zuordnung der Variablen zu den Achsen		Zuordnung der Variablen zu ihren Achsen	
	Zuordnung der Datenreihen zu den Symbolen („Legende“)		Beschriftung der Achsen	
	Beachten der Skalenreichweite		Zeichnen einer Legende	
AbleSEN	1. Ordnung	AbleSEN eines „Funktionswertes“	Zeichnen der Skalen	Eintragen der Daten
	2. Ordnung	Vergleich zweier Werte oder Erkennen eines Trends (qualitativ/quantitativ)	Eintragen der Punktwerte	
	3. Ordnung	Vergleich mehrerer Werte oder Vergleichen von Trends (qualitativ/quantitativ)	Skizzierung einer Verbindungslinie zwischen Punkten* oder freie Skizzierung einer Trendlinie	
		Extrapolieren/Vorhersagen	freie Skizzierung mehrerer Trends*	
Integration				

Konstruktion

Wie in Kapitel 3.2 angedeutet, lassen sich die Strukturen hinsichtlich der Konstruktion den Fähigkeiten bezüglich der Informationsentnahme zuordnen. So lassen sich vergleichbar den beiden Teilaspekten *Identifizierung* und *AbleSEN* bei der Informationsentnahme die Facetten *Aufbau des Rahmens* und *Eintragen der Daten* differenzieren, wie in Tabelle 1 entsprechend aufgeführt. Man beachte in diesem Zusammenhang, dass damit keine Stufung der Fähigkeiten postuliert werden soll. Es bedarf vielmehr empirischer Forschung, die Relationen und Stufungen der einzelnen Fähigkeiten offen zu legen und Hinweise darauf zu geben, inwieweit sie als voneinander unabhängig angesehen werden können.

Integration

Wie im Kapitel 3.3 ausgeführt, kann angenommen werden, dass die Fähigkeiten zum Integrieren hoch mit den Fähigkeiten zur Informationsentnahme und zur Konstruktion korreliert sind. Daher ist die Integration in der tabellarischen Übersicht (Tab. 1) als quer liegend zu den genannten Komponenten eingetragen. Wie dargelegt, können Aufgaben zur Integration danach charakterisiert werden, welche Anforderungen aus den beiden anderen Bereichen kombiniert werden müssen. Eine detaillierte Beschreibung einzelner Komponenten der Integration ist zum jetzigen Zeitpunkt allerdings nicht möglich.

3.5 Einfluss des Fachwissens

Der Einfluss des inhaltlichen Vorwissens auf die Nutzungseffizienz von bildhaften Darstellungen in Verbindung mit Text ist vielfach beschrieben worden (Schnotz, Zink & Pfeiffer, 1996; Schnotz & Bannert, 2003; Lewalter, 1997; Mayer & Gallini, 1990). Dabei zeigte sich, dass besonders Lernende mit geringem Vorwissen vom Einsatz von Bildern profitierten. Auch speziell für Diagramme ist das Vorwissen als bedeutsamer Einflussfaktor für das Verstehen eines Diagramms identifiziert worden (Friel, Curcio & Bright, 2001; Curcio, 1987). In den Stu-

dien von Shah wurde deutlich, dass Versuchspersonen, die mit bestimmten inhaltlichen Vorstellungen („je mehr betrunkene Fahrer, desto mehr Unfälle“) ein Diagramm betrachteten, vorrangig Trends ablesen, die mit diesen Vorstellungen konform gingen, selbst wenn die Daten nicht konsistent mit diesem generellen Trend waren (Shah, 2001). Dieser Befund deckt sich mit dem *Confirmation Bias*, der aus der Literatur zum Inquiry Learning bekannt ist: Lernende ignorieren, interpretieren um oder verwerfen Daten, die zum Zurückweisen der aufgestellten Hypothese führen, und bevorzugen dagegen solche Ergebnisse, die ihre Hypothese bestätigen (Klahr & Dunbar, 1988; de Jong & van Joolingen, 1998).

Diese Befunde legen es nahe, das Vorwissen der Lernenden bei der Nutzung von Diagrammen besonders zu berücksichtigen. Es muss kontrolliert werden, ob ein korrektes/inkorrektes AbleSEN von bestimmten Inhalten gar nicht auf höhere (geringere) Fähigkeiten zum Umgang mit Diagrammen zurückzuführen ist, sondern auf ein höheres (niedrigeres) Vorwissen oder darauf, dass sich die Vorstellungen und Erwartungen von Lernenden mehr oder minder mit den im Diagramm dargestellten Informationen decken.

4 Bedeutung der Fähigkeiten zum Diagrammgebrauch vor dem Hintergrund von Bildungsstandards und Kompetenzorientierung

Mit der Einführung der Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss (KMK, 2005a) erfährt der Unterricht an allgemeinbildenden Schulen eine Neuorientierung an Kompetenzen, die die Schüler bis zum Ende der Mittelstufe erworben haben sollen. Hierzu wurden von den Expertenkommissionen für die jeweiligen Fächer Kompetenzen in unterschiedlichen Bereichen beschrieben und Standards formuliert, die dazu dienen, den *Outcome* zu konkretisieren, seine Erreichung einer Überprüfung zugänglich zu machen (KMK, 2005b) sowie Ansätze zur gezielten Förderung im Unterricht zu liefern. Für die

naturwissenschaftlichen Fächer Biologie, Chemie und Physik wurden Standards in vier Kompetenzbereichen – Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung – ausgearbeitet. Im Kompetenzbereich Kommunikation wird für alle drei naturwissenschaftlichen Disziplinen festgelegt, dass Schüler in der Lage sein sollen, sich Wissen aus unterschiedlichen Quellen zu erschließen und anzueignen sowie dieses Wissen adressaten- und situationsgerecht darzustellen, mitzuteilen und zu diskutieren. Dazu gehören insbesondere die Fähigkeiten, den Informationsgehalt unterschiedlicher Informationsquellen wie Texten, Bildern, Graphiken und Tabellen zu erfassen und aufeinander zu beziehen. Diese Fähigkeiten werden als „wesentlicher Bestandteil einer erweiterten Lese- bzw. Verstehenskompetenz“ (KMK, 2005a, S. 11) aufgefasst. Das vorgeschlagene Modell klärt die dafür notwendigen kognitiven Fähigkeiten zum Umgang mit Diagrammen. Darüber hinaus wurde im Rahmen eines Forschungsprojekts bereits begonnen, die postulierten Strukturen empirisch abzusichern (für erste Ergebnisse vgl. Lachmayer, Nerdel & Prechtl, 2007).

Die im vorliegenden Artikel beschriebenen Fähigkeiten zum Diagrammgebrauch stellen die kognitiven Anteile einer Diagrammkompetenz dar, wie sie sich nach Hartig und Klieme (2006) definieren ließe. Die Autoren sehen Kompetenzen als „kontextspezifische kognitive Leistungsdispositionen, die sich funktional auf bestimmte Klassen von Situationen und Anforderungen beziehen“ (Hartig & Klieme, 2006, S. 128). Die den Bildungsstandards zugrunde liegende Definition von Kompetenz nach Weinert (2001) geht noch darüber hinaus: Danach handelt es sich bei Kompetenzen nicht nur um kognitive Leistungsdispositionen, sondern auch um die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften, entsprechende Fähigkeiten und Fertigkeiten in verschiedenen Situationen einzusetzen. Kompetenz ist damit nicht als ein abstraktes psychologisches Konstrukt aufzufassen, sondern als

kontextualisierte Fähigkeit zu verstehen. In der derzeitigen Forschung zur Entwicklung von Kompetenzmodellen besteht Konsens darüber, dass kognitive und motivationale Faktoren in empirischen Untersuchungen getrennt erfasst werden sollten, nicht zuletzt um ihre Beziehungen aufklären zu können (Klieme & Leutner, 2006). In diesem Sinne leistet das vorgeschlagene Modell einen Beitrag zur Klärung einer Facette im Rahmen der Kommunikationskompetenz. Es wurde damit begonnen, die kognitiven Komponenten der Schülerfähigkeiten zum Diagrammgebrauch theoretisch abzuleiten und in einem Forschungsprojekt empirisch zu überprüfen. Es wird Aufgabe der weiteren Forschung sein, auch die Einflüsse motivationaler Faktoren zu berücksichtigen.

Literatur

- Ainsworth, S. E. (1999). A functional taxonomy of multiple representations. *Computers and Education*, 33, 131-152.
- Aprea, C. & Ebner, H. G. (2003). Generierung von Diagrammen als Lernhandlung: Effekte eines Kurzzeitrainings zur Förderung der Text-Graphik-Transformation. In F. Achtenhagen & E. G. John (Eds.), *Meilensteine der beruflichen Bildung* (Vol 1) (pp. 117-138). Bielefeld: Bertelsmann.
- Baker, R. S., Corbett, A. T. & Koedinger, K. R. (2001). Toward a model of learning data representations. In J. D. Moore & K. Stenning (Eds.), *Proceedings of the Twenty-Third Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 45-50). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Baumert, J., Lehmann, R., Lehrke, M., Clausen, M., Hosenfeld, I., Neubrand, J., et al. (Eds.). (1998a). *Testaufgaben Mathematik TIMSS 7/8. Klasse (Population 2)*. Berlin: Max-Planck-Institut für Bildungsforschung.
- Baumert, J., Lehmann, R., Lehrke, M., Clausen, M., Hosenfeld, I., Neubrand, J., et al. (Eds.). (1998b). *Testaufgaben Naturwissenschaften TIMSS 7/8. Klasse (Population 2)*. Berlin: Max-Planck-Institut für Bildungsforschung.
- Baumert, J., Bos, W., Klieme, E., Lehmann, R., Lehrke, M., Hosenfeld, I., et al. (Eds.). (1999). *Testaufgaben zu TIMSS/III Mathematisch-naturwissenschaftliche Grundbildung und voruniversitäre Mathematik und Physik der Abschlussklassen der Sekundarstufe II (Population 3)*. Berlin: Max-Planck-Institut für Bildungsforschung.
- Bertin, J. (1974). *Graphische Semiologie: Diagramme, Netze, Karten* (G. Jensch, D. Schade & W. Scharfe, Trans.). Berlin: de Gruyter.
- Bodemer, D., Ploetzner, R., Feuerlein, I. & Spada, H. (2004). The active integration of information during learning with dynamic and interactive visualisations. *Learning and Instruction*, 14, 325-341.
- Carpenter, P. A. & Shah, P. (1998). A model of the perceptual and conceptual processes in graph comprehension. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 4, 75-100.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8, 293-332.
- Cox, R. (1999). Representation construction, externalised cognition and individual differences. *Learning and Instruction*, 9, 343-363.
- Curcio, F. R. (1987). Comprehension of the mathematical relationships expressed in graphs. *Journal for Research in Mathematics Education*, 18, 382-393.
- Friel, S. N., Curcio, F. R. & Bright, G. W. (2001). Making sense of graphs: Critical factors influencing comprehension and instructional implications. *Journal for Research in Mathematics Education*, 32, 124-158.
- Gillan, D. J. & Lewis, R. (1994). A componential model of human interaction with graphs: 1. Linear regression modeling. *Human Factors*, 36, 419-440.
- Hartig, J. & Klieme, E. (2006). Kompetenz und Kompetenzdiagnostik. In K. Schweizer (Ed.), *Leistung und Leistungsdiagnostik* (pp. 127-143). Heidelberg: Springer Medizin.
- de Jong, T. & van Joolingen, W. R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68, 179-201.
- Kattmann, U. (2006). Diagramme. In H. Gropengießer & U. Kattmann (Eds.), *Fachdidaktik Biologie. Die Biologiedidaktik begründet von Dieter Eschenhagen, Ulrich Kattmann und Dieter Rodi* (pp. 340-356). Köln: Aulis.
- Kerslake, D. (1981). Graphs. In K. Hart, D. Kerslake, M. L. Brown, et al. (Eds.), *Children's Understanding of Mathematics: 11-16* (pp. 120-136). New York: John Murray.
- Klahr, D. & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 12, 1-48.
- Klieme, E. & Leutner, D. (2006). Kompetenzmodelle zur Erfassung individueller Lernergebnisse und zur Bilanzierung von Bildungsprozessen. Überarbeitete Fassung des Antrags an die DFG auf Einrichtung eines Schwerpunktprogramms. Verfügbar unter <http://www.kompetenzdiagnostik.de> [November, 9, 2007].
- KMK. (2005a). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss: Beschluss vom 16.12.2004*. München: Wolters Kluwer.
- KMK. (2005b). *Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz. Erläuterungen zur Konzeption und Entwicklung*. München: Wolters Kluwer.
- Kramer, B., Prechtel, H. & Bayrhuber, H. (2005). Text- und Bildverarbeitungsstrategien bei der Nutzung einer multimedialen Lernumgebung. In R. Klee, A. Sandmann & H. Vogt (Eds.), *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik (Bd. 2)* (pp. 165-179). Innsbruck: Studienverlag.
- Lachmayer, S., Nerdel, C. & Prechtel, H. (2007). Diagrammkompetenz im Biologieunterricht. In H. Bayrhuber, F. X. Bogner, D. Graf, et al. (Eds.), *Ausbildung und Professionalisierung von Lehrkräften. Abstracts. Internationale Tagung der Fachgruppe Biologiedidaktik im VBIO - Verband Biologie, Biowissenschaften & Biomedizin. 16.09. bis 20.09.2007 in Essen* (pp. 179-182). Kassel: Universität Kassel.

- Larkin, J. & Simon, H. (1987). Why a diagram is (sometimes) worth ten thousands words. *Cognitive Science*, 11, 65-99.
- Lewalter, D. (1997). *Lernen mit Bildern und Animationen: Studie zum Einfluss von Lernermerkmalen auf die Effektivität von Illustrationen*. Münster: Waxmann.
- Maichle, U. (1994). Cognitive processes in understanding line graphs. In W. Schnotz & R. W. Kulhavy (Eds.), *Comprehension of Graphics* (pp. 207-226). Amsterdam: North-Holland.
- Mayer, R. E. & Gallini, J. K. (1990). When is an illustration worth ten thousand words? *Journal of Educational Psychology*, 82, 715-726.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia Learning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mevarech, Z. R. & Kramarsky, B. (1997). From verbal descriptions to graphic representations: Stability and change in students' alternative conceptions. *Educational Studies in Mathematics*, 32, 229-263.
- Nerdel, C., Prechtl, H. & Bayrhuber, H. (2003). Interactive animations and understanding of biological processes: An empirical investigation on the effectiveness of computer-assisted learning environments in biology instruction. In J. Lewis, A. Margo & L. Simonneaux (Eds.), *Biology Education For The Real World: Student – Teacher – Citizen* (pp. 45-58). Toulouse, France: Ecole Nationale de Formation Agronomique (ENFA).
- Novick, L. R. (2004). Diagram literacy in preservice math teachers, computer science majors, and typical undergraduates: The case of matrices, networks, and hierarchies. *Mathematical Thinking and Learning*, 6, 307-342.
- Pereira-Mendoza, L. & Mellor, J. (1991). Students' concepts of bar graphs: Some preliminary findings. In D. Vere-Jones (Ed.), *Proceedings of the Third International Conference on Teaching Statistics* (Vol 1) (pp. 150-157). Voorburg: International Statistical Institute.
- Salomon, G. (1984). Television is "easy" and print is "tough": The differential investment of mental effort in learning as a function of perceptions and attributions. *Journal of Educational Psychology*, 76, 647-658.
- Schnotz, W. (1993). Wissenserwerb mit logischen Bildern. In B. Weidenmann (Ed.), *Wissenserwerb mit Bildern: Instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen* (pp. 95-147). Bern: Hans Huber.
- Schnotz, W., Zink, T. & Pfeiffer, M. (1996). Visualisierung im Lehr-Lern-Prozess. *Zeitschrift für Pädagogik*, 42, 193-213.
- Schnotz, W. (2001). Wissenserwerb mit Multimedia. *Unterrichtswissenschaft*, 29, 292-318.
- Schnotz, W. & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction*, 13, 141-156.
- Shah, P. (2001). Graph comprehension: The role of format, content, and individual differences. In M. Anderson, B. Meyer & P. Olivier (Eds.), *Diagrammatic Representation and Reasoning* (pp. 173-185). Berlin: Springer.
- Stern, E., Aprea, C. & Ebner, H. G. (2003). Improving cross-content transfer in text processing by means of active graphical representation. *Learning and Instruction*, 13, 191-203.
- Wainer, H. (1992). Understanding graphs and tables. *Educational Researcher*, 21, 14-23.
- Wavering, M. J. (1989). Logical reasoning necessary to make line graphs. *Journal of Research in Science Teaching*, 26, 373-379.
- Weidenmann, B. (1988). *Psychische Prozesse beim Verstehen von Bildern*. Bern: Huber.
- Weinert, F. E. (2001). Vergleichende Leistungsmessung in Schulen – eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In F. E. Weinert (Ed.), *Leistungsmessung in Schulen* (pp. 17-31). Weinheim: Beltz.
- Winn, B. (1987). Charts, graphs, and diagrams in educational materials. In H. A. Houghton & D. M. Willows (Eds.), *The Psychology of Illustration* (Vol 1) (pp. 152-198). New York: Springer.
- Zacks, J. & Tversky, B. (1999). Bars and lines: A study of graphic communication. *Memory & Cognition*, 27, 1073-1079.

Kontakt

IPN - Leibniz-Institut für die Pädagogik
der Naturwissenschaften
Olshausenstr. 62
24098 Kiel
lachmayer@ipn.uni-kiel.de

Autoreninformation

Simone Lachmayer ist Doktorandin in der Abteilung Biologiedidaktik am Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN).
Claudia Nerdel ist Juniorprofessorin für Chemiedidaktik am IPN.
Helmut Prechtl ist Professor für Biologiedidaktik am IPN.