

## 2 Erfolgreiches Lernen als gute Informationsverarbeitung

Welche der in Kapitel 1 dargestellten Auffassungen vom Lernen man auch bevorzugt, sie implizieren, dass Lernen ein ubiquitäres Phänomen ist: Wir alle lernen vom Beginn unseres Lebens an; ein Leben ohne Lernen ist schlichtweg nicht möglich. Denken wir allerdings an das Lernen in Schule, Aus- und Weiterbildung, so interessiert weniger die Tatsache, dass dort Lernen stattfindet, sondern eher die Frage, wie bzw. unter welchen Bedingungen dieses Lernen erfolgreich verläuft. Der Begriff des erfolgreichen Lernens weckt unmittelbar die Vorstellung, dass sich lernende Personen in ihren Lernaktivitäten und im Erfolg dieser Aktivitäten voneinander unterscheiden (interindividuelle Differenzen). Hinzu kommt, dass einzelne Personen nicht immer gleich erfolgreich in ihren Lernbemühungen sind (intraindividuelle Schwankungen). Es ist daher nicht verwunderlich, dass das Thema »erfolgreiches Lernen« im Folgenden aus einer differenziellen Perspektive bearbeitet wird. In der differenziellen Psychologie geht es um die Beantwortung der Frage, warum es zwischen Personen systematische interindividuelle Unterschiede gibt und warum einzelne Personen von Situation zu Situation in ihren Verhaltensweisen mehr oder weniger stark variieren. Im Unterschied zu einer allgemeinspsychologischen Betrachtung von Lernen (vgl. Kapitel 1), bei der die Frage im Vordergrund steht, was Lernen im Allgemeinen ist und wie es prinzipiell funktioniert, wechseln wir in diesem Kapitel also von einer allgemeinen zu einer differenziellen

Perspektive. Trotz oder vielleicht gerade wegen der häufig geäußerten Unzufriedenheit mit dem schulischen Lernen, die durch die Ergebnisse der internationalen Schulleistungsvergleiche in jüngerer Zeit neue Nahrung erhielt, sind wir davon überzeugt, aufgrund der Theorien und Befunde der pädagogisch-psychologischen Lehr-Lern-Forschung ein hoffnungsvolles Bild vom Lernen skizzieren zu können. Es gibt durchaus Grund zum Optimismus. Wir wissen nämlich mittlerweile recht viel – wenn auch bei weitem noch nicht alles – darüber, wie erfolgreiches Lernen möglich wird. Die Frage nach den Prinzipien erfolgreichen Lernens lässt sich in der Pädagogischen Psychologie grundsätzlich aus zwei verschiedenen Perspektiven heraus beantworten: aus der des Lehrenden und aus der des Lernenden. Die Perspektive des Lehrenden führt zu Instruktionsansätzen und zu Lehrprinzipien, die besonders günstig für ein zielorientiertes Lernen sind. Solche Konzepte und Prinzipien werden im zweiten Teil dieses Lehrbuches (insbesondere im sechsten Kapitel) vorgestellt. Im vorliegenden Kapitel wird die Frage nach dem erfolgreichen Lernen aus der Perspektive des Lernenden beantwortet. Hierzu ist es zunächst hilfreich, die wichtigsten *individuellen Voraussetzungen* darzulegen, die zum erfolgreichen Lernen gehören.

Als Ausgangspunkt bietet sich ein Ende der 1980er-Jahre von Pressley, Borkowski und Schneider (1989) skizziertes Modell der »guten Informationsverarbeitung«

an, das so genannte GIV-Modell. Auf der Basis der Informationsverarbeitungsmodelle des menschlichen Gedächtnisses (vgl. Kapitel 1.3) haben die Autoren das strategische und reflexive Verhalten der Lernenden als Grundlage allen erfolgreichen Lernens bezeichnet. Sie sind der Überzeugung, dass ein planvolles und selbstgesteuertes und damit selbstreguliertes Lernverhalten Voraussetzung für das Erlernen aller bedeutungshaltigen Inhalte ist.

*Das Modell der guten Informationsverarbeitung.* Beim GIV-Modell handelt es sich um eine Art Merkmals- oder Checkliste erfolgreich Lernender. Mit dieser Liste wird ein integrativer Rahmen bereitgestellt, der die unterschiedlichen Befunde aus der kognitiven und der motivationalen Forschungstradition bündelt, in Form einer Beschreibung kompetenten Lernverhaltens. Pressley et al. (1989) schreiben den »guten Informationsverarbeitern« die folgenden Merkmale zu:

- sie sind reflexiv,
- sie planen ihr Lernverhalten,
- sie nutzen effiziente Lernstrategien,
- sie wissen, wie, wann und warum solche Strategien einzusetzen sind,
- sie sind motiviert, diese Strategien einzusetzen,
- sie nutzen Lernstrategien zunehmend automatisch,
- sie überwachen ihre Lern- und Leistungsfortschritte,
- sie verfügen über ein Kurzzeitgedächtnis mit hoher Kapazität,
- sie verfügen über ein reichhaltiges Weltwissen,
- sie vertrauen ihren Lernfähigkeiten,
- sie sind davon überzeugt, dass sie sich stets weiter verbessern können und halten dies auch für wünschenswert,
- sie stellen sich immer wieder neue(n) Anforderungen.

Die aufgelisteten Vorzüge der GIVs bringen weitere Vorteile mit sich. Pressley et al. (1989) sprechen davon, dass die »guten Informationsverarbeiter« häufiger die Gelegenheit bekommen, sich in »günstigen« Lernumgebungen zu bewähren.

Besondere Bildungsressourcen, wie sie z. B. Eliteschulen bieten, werden vornehmlich jenen zugewiesen, von denen man erwartet, dass sie am meisten davon profitieren. Auch haben Studierende, die ihr Examen mit einer Auszeichnung bestehen, weitaus größere Chancen, nachfolgend eine Stelle in Forschungsprojekten der Fakultät angeboten zu bekommen, als Studierende mit einem durchschnittlichen Examen. Es gibt aber noch subtilere Selektionsmechanismen. Erfolgreiche Personen werden bevorzugt von anderen erfolgreichen Personen als Mitarbeiter ausgewählt. So kommt es dann dazu, dass GIVs mehr Gelegenheit zur Kooperation mit anderen GIVs erhalten, was zusätzlich ihren intellektuellen Fortschritt stimuliert. (Pressley et al., 1989, S. 862)

Die im GIV-Modell aufgelisteten Charakteristika erfolgreich Lernender lassen sich im Wesentlichen vier Bereichen individueller Voraussetzungen des Lernens zuordnen: den *Aufmerksamkeits- und Arbeitsgedächtnisfunktionen* bei der Aufnahme und Verarbeitung von Informationen, dem Umfang und der Qualität des im Langzeitgedächtnis verfügbaren *Vorwissens*, der Nutzung und metakognitiven Regulation von *Lernstrategien* sowie den *motivationalen Dispositionen und Selbstkonzepten* mit ihren spezifischen Auswirkungen auf die Intensität und Aufrechterhaltung von Lernprozessen. In enger Anlehnung an das GIV-Modell werden im Folgenden diese vier Bereiche individueller Voraussetzungen erfolgreichen Lernens näher dargestellt.

Das Lernen des GIVs ist zwar in der Regel erfolgreicher als das Lernen von Lernenden mit weniger guten individuellen Voraussetzungen. Aber es gibt durchaus auch bei den GIVs intraindividuelle

Schwankungen in der Qualität guten Lernens, für deren angemessene Erklärung die vier im GIV-Modell angesprochenen Merkmalsbereiche nicht ausreichen. Deshalb erweitern wir unsere Darstellung der wichtigsten individuellen Voraussetzungen für erfolgreiches Lernen um die Bereiche der *Willensbildung* (Volition) und die den Lernprozess begleitenden *Emotionen*. Grundlage unserer Ausführungen in diesem Kapitel ist daher ein heuristisches Modell, das die fünf Merkmalsbereiche individueller Voraussetzungen erfolgreichen Lernens miteinander verzahnt. Wir nennen es das INVO-Modell (INdividuelle VOoraussetzungen) erfolgreichen Lernens (vgl. Abb. 2.1).

Die individuellen Voraussetzungen erfolgreichen Lernens unterliegen zum Teil deutlichen Entwicklungsveränderungen und bisweilen kommt es in dem einen oder anderen Bereich auch zu massiven Störungen, die die Lernmöglichkeiten des Einzelnen gravierend einschränken können. Auf diese Entwicklungsabhängigkeiten und individuellen Besonderheiten des Lernens gehen wir in diesem Kapitel nicht ein. Sie sind aber für das Verstehen und Optimieren des Lernens im pädagogischen Alltag von solch großer Bedeutung, dass ihnen ein eigenes Kapitel gewidmet ist (Kapitel 4).

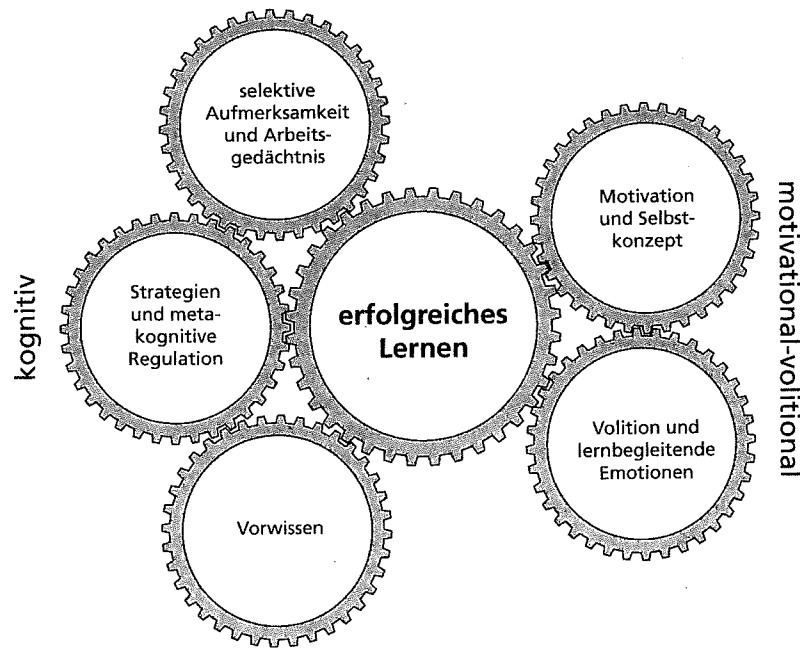


Abb. 2.1: Modell der kognitiven und motivational-volitionalen individuellen Voraussetzungen erfolgreichen Lernens (INVO-Modell)

### Orientierungsfragen

- Welche Funktionen der Aufmerksamkeit und des Arbeitsgedächtnisses sind Voraussetzungen für den Erfolg von Lernen?
- Welche Rolle spielt das Vorwissen für erfolgreiches Lernen?
- Was sind Strategien und wie wird ihre effektive Nutzung durch Metakognitionen reguliert?
- Welches sind die für Lern- und Leistungssituationen relevanten motivationalen Prozesse und wie werden sie durch die individuelle Ausprägung des Selbstkonzepts kanalisiert?
- Inwiefern hängt individuelles Lernen von der Willensbildung und von begleitenden Emotionen ab?

## 2.1 Aufmerksamkeit und Arbeitsgedächtnis

Die Beschreibung erfolgreichen Lernens als »gute Informationsverarbeitung« legt es nahe, das bereits vorgestellte modale Grundmodell der Informationsverarbeitung (vgl. Abb. 1.2) zum Ausgangspunkt der weiterführenden Überlegungen zu den individuellen Voraussetzungen des Lernens zu wählen. Lernen wird dabei als Kette von Prozessen der Informationsaufnahme, -transformation und -organisation beschrieben. Beim absichtlichen und gezielten Lernen wird der Lernende in systematischer Weise mit Reizinformationen konfrontiert. Diese werden in modalitätsspezifischen *sensorischen Registern* für wenige Millisekunden festgehalten, aber noch nicht bewusst wahrgenommen. Folgt man beispielsweise einem Vortrag oder liest einen Text, dann wird die gehörte oder die gelesene Sprache zunächst einmal sensorisch-analog im Sinne einer Repräsentation ihrer physikalischen Merkmale enkodiert. Erst im weiteren Verlauf der Informationsverarbeitung erfolgen sinngebende Interpretationen, welche aus den sensorischen Registrierung *Informationen* für den Lernenden werden lassen. Funktional intakte sensorische Register sind mithin die

notwendige Voraussetzung dafür, dass sinnstiftendes inhaltsbezogenes Lernen überhaupt stattfinden kann.

Der Lernprozess im engeren Sinne beginnt erst dann, wenn der Lernende einer Auswahl der in den sensorischen Registern »festgehaltenen« Reizinformationen seine Aufmerksamkeit zuwendet. Diese Aufmerksamkeitszuwendung kann gezielt oder auch unwillkürlich erfolgen. Entscheidend für die weitere Verarbeitung ist jedoch, dass nur die mit Aufmerksamkeit bedachten Informationselemente in das *Kurzzeitgedächtnis* gelangen, das wegen seiner zentralen Funktionen für die komplexen Lernprozesse in vielen Modellierungen auch *Arbeitsgedächtnis* genannt wird. Das Arbeitsgedächtnis hat in Bezug auf die Informationsmenge und hinsichtlich der Möglichkeit ihrer zeitüberdauernden Aufbewahrung allerdings nur eine begrenzte Kapazität. Weil aber neue Informationen permanent in das Arbeitsgedächtnis »nachdrängen«, besteht für die im Arbeitsgedächtnis befindliche Information beständig die Gefahr, wieder verloren zu gehen.

Vor dem Hintergrund dieser allgemeinen – auf die bekannten Mehrspeicher- bzw. Arbeitsgedächtnismodelle zurückgehenden – Vorstellungen zum Informationsfluss wird die Auffassung verständlich,

dass die Qualität der dem Lernen zugrunde liegenden Informationsverarbeitung zuallererst von der Steuerung und Qualität der Aufmerksamkeitsprozesse und von der Funktionstüchtigkeit des Arbeitsgedächtnisses abhängig ist. Tatsächlich haben Forschungsarbeiten gezeigt, dass spezifische Funktionen der Aufmerksamkeitszuwendung und des Arbeitsgedächtnisses bei verschiedenen Personen durchaus unterschiedlich gut ausgebildet sind und damit der Effektivität individueller Lernprozesse mehr oder weniger enge Grenzen setzen. Mit anderen Worten: Es gibt systematische *interindividuelle Differenzen*.

Insbesondere bei den Aufmerksamkeitsfunktionen sind aber zudem starke situative Variabilitäten zu beobachten. Ein und derselbe Lernende ist das eine Mal wach und aufnahmebereit, so dass er etwa im Unterricht einem Großteil der dargebotenen Stoffinhalte seine Aufmerksamkeit zuwendet, und ein anderes Mal ist er weniger lernbereit, so dass auch entsprechend wenig lehrstoffbezogene Information im Arbeitsgedächtnis ankommt. Solche situativen Schwankungen werden auch als *intraindividuelle Variabilität* bezeichnet. Im Folgenden werden einige der für die Erklärung interindividueller Differenzen und intraindividuelle Variabilität des Lernerfolgs relevanten Facetten der Aufmerksamkeit und des Arbeitsgedächtnisses näher betrachtet.

### Selektive Aufmerksamkeit

Der Brite Donald Broadbent hat sich bereits früh mit der Frage beschäftigt, wie unser Informationsverarbeitungssystem die ständige Überflutung durch sensorisch registrierte Informationsmerkmale bewältigt. Dabei inspirierte ihn ein Problem der für die Radarüberwachung zuständigen Soldaten im Zweiten Weltkrieg. Diese mussten nämlich häufig mit

verschiedenen Piloten gleichzeitig kommunizieren, deren Stimmen über einen Lautsprecher zu hören waren. Auf der Basis zahlreicher Experimente formulierte Broadbent (1958) die so genannte Filtertheorie der Aufmerksamkeit, die von einer grundsätzlich beschränkten Informationsverarbeitungskapazität des Menschen ausgeht. Danach reguliert die Aufmerksamkeit den Informationsfluss von den sensorischen Registern zum Arbeitsgedächtnis. Die Aufmerksamkeit bzw. die Aufmerksamkeitszuwendung hat die Funktion eines Filters und wirkt wie ein Flaschenhals, der im Ergebnis dafür verantwortlich ist, dass nur einige wenige Informationen im kognitiven System weitergeleitet werden.

Broadbents *Filtertheorie der Aufmerksamkeit* besagt nun, dass die Auswahl der weiterzuverarbeitenden Informationen bereits sehr früh im Prozess der Informationsverarbeitung stattfindet. Die Frage, wann genau die Selektion von Informationsmerkmalen geschieht und welche ihrer Bestandteile in welchem Umfang »voranalysiert« werden, hat zu zahlreichen experimentellen Analysen und theoretischen Auseinandersetzungen geführt (vgl. Pashler, 1998; Yantis, 2000). Dabei hat sich herausgestellt, dass es wohl unterschiedliche Filter gibt, die für den Flaschenhalseffekt verantwortlich sind. Ihre Funktionsweise wird sowohl von den Zielen und dem Vorwissen der die Informationen verarbeitenden Person (»top-down«) als auch von den Informationsmerkmalen selbst (»bottom-up«) beeinflusst.

Eine hilfreiche Klassifikation der für die Aufmerksamkeitszuwendung beim absichtlichen Lernen relevanten Prozesse stammt von Neisser (1967). In seiner Zwei-Prozess-Theorie der selektiven Aufmerksamkeit unterscheidet Neisser zwischen einem *Diskriminationsprozess*, in dessen Verlauf die in den sensorischen

### Beispiel: Das Cocktailpartyphänomen

Stellen Sie sich vor, Sie befinden sich auf einer Party. Der Geräuschpegel ist relativ hoch und überall im Raum stehen kleine Grüppchen beisammen, die sich lautstark unterhalten. Auch Sie sind in ein solches Gespräch einbezogen. Plötzlich hören Sie, dass in einer der anderen Gesprächsgruppen Ihr Name fällt und schon wandert Ihre Aufmerksamkeit zu dem Gespräch der anderen Gruppe, das sie vorher gar nicht wahrgenommen haben.

Diese Veränderung der Aufmerksamkeitsfokussierung ist als Cocktailpartyphänomen bekannt geworden (Cherry, 1953). Wood und Cowan (1995) haben es in einer experimentellen Untersuchung etwas genauer unter die Lupe genommen. Die Teilnehmer an ihrem Experiment bekamen einen Kopfhörer aufgesetzt, der das so genannte dichotische Hören ermöglicht: d. h., sie hörten auf jedem Ohr eine andere Stimme. Beide Stimmen lasen einsilbige Wörter vor. Die Aufgabe der Versuchsteilnehmer bestand nun darin, nur auf das rechte Ohr zu achten und so genau wie möglich die über das rechte Ohr gehörten Wörter nachzusprechen (man nennt das »beschatten«). Irgendwann nannte die Stimme auf dem eigentlich nicht zu beachtenden linken Ohr den Namen des Versuchsteilnehmers. Etwa ein Drittel der Teilnehmer hörte dies – andere Namen als der eigene wurden hingegen nicht wahrgenommen. Die Leistung in der Beschattungsaufgabe war währenddessen kurzzeitig beeinträchtigt.

Registern festgehaltenen Informationsmerkmale danach beurteilt werden, ob sie relevant sind oder nicht, und einem *Prozess der Zuweisung* der vorhandenen (und begrenzten) Aufmerksamkeitskapazität auf die als relevant erkannten Informationsmerkmale (Fokussierung). Die Effizienz beider Prozesse hinterlässt deutliche Spuren schon bei einfachen Lernanforderungen, wie am Beispiel des Cocktailpartyphänomens und seiner Wirkungen deutlich wird.

Die Befunde der Untersuchung von Wood und Cowan (1995) zum Cocktailpartyphänomen zeigen, dass die Diskrimination von relevanter und irrelevanter Information und die Fokussierung der relevanten Information entscheidend sind für die Leistung bei einer recht einfachen kognitiven Anforderung. Sie zeigen aber auch, dass sich Personen sehr wohl darin unterscheiden, ob und wie leicht sie sich von aufgabenirrelevanten Informationen ablenken lassen. Etwa ein Drittel der un-

tersuchten Personen ließ sich durch das Hören des eigenen Namens von der vorher vereinbarten Aufgabe ablenken. Man kann sich leicht vorstellen, dass auch für das schulische Lernen interindividuelle Unterschiede im Bereich der Aufmerksamkeit von großer Bedeutsamkeit sind. Die bekannten Aufmerksamkeits- und Konzentrationsschwierigkeiten von Schülerinnen und Schülern (vgl. Berg & Imhof, 2001) und die mit ihnen häufig einhergehenden Verhaltensauffälligkeiten (Döpfner, 2000) sind vielfach auf Probleme bei der Diskrimination und Fokussierung der Aufmerksamkeit zurückzuführen.

Die Prozesse der selektiven Aufmerksamkeit sind jedoch nicht nur eine wichtige Voraussetzung erfolgreichen Lernens. Sie sind gleichzeitig die Folge gelungenen Lernens. Wie in Abschnitt 2.2 noch ausführlicher dargestellt wird, ist die Effizienz, mit der relevante von irrelevanter Information unterschieden wird, in er-

heblicher Weise von den einschlägigen Vorkenntnissen des Lernenden abhängig. Inhaltliche Experten in einem Lernbereich sind im Vergleich zu Laien oder Nichtexperten nämlich sehr viel besser in der Lage, innerhalb von Sekundenbruchteilen zwischen relevanten und weniger relevanten Informationsmerkmalen zu unterscheiden (vgl. Bransford, Brown & Cocking, 2000).

Überhaupt stellt sich die Frage, ob interindividuelle Unterschiede in der Effizienz selektiver Aufmerksamkeit unabhängig von den »hierarchiehöheren« Voraussetzungen erfolgreichen Lernens auftreten. Unterschiede in der Ablenkungsanfälligkeit des Aufmerksamkeitsfokus durch aufgabenirrelevante Informationen lassen sich nämlich durchaus auch über Unterschiede in der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses erklären (Bleckley, Durso, Crutchfield, Engle & Khanna, 2003). Bei einer Wiederholung der oben beschriebenen Untersuchung zum Cocktailpartyphänomen wurden die Untersuchungsteilnehmer im Nachhinein danach unterteilt, ob sie – ausweislich eines entsprechenden Testverfahrens – über eine überdurchschnittliche oder über eine unterdurchschnittliche Arbeitsgedächtniskapazität verfügten. Es zeigte sich, dass lediglich eine von fünf Personen mit hoher Arbeitsgedächtniskapazität ablenkbar war, aber fast jeder dritte Versuchsteilnehmer mit einer eher niedrigen Gedächtniskapazität hörte seinen eigenen Namen auf dem eigentlich nicht zu beachtenden Ohr (Conway, Cowan & Bunting, 2001). Dies führt uns zu der Frage, was es mit dem

Arbeitsgedächtnis auf sich hat und inwiefern seine Merkmale und Besonderheiten wichtige individuelle Voraussetzungen erfolgreichen Lernens sind.

### Was versteht man unter Arbeitsgedächtnis?

In den frühen Modellen der Informationsverarbeitung ging man davon aus, dass die mit Aufmerksamkeit bedachte Information in eine Art Kurzzeitspeicher gelangt, der von begrenzter Kapazität ist und der die Information für kurze Zeit im »Bewusstseinsstrom« des Lernenden hält (Atkinson & Shiffrin, 1968). Die Kapazitätsbegrenzung wurde lange Zeit mit Verweis auf die klassische Abhandlung von Miller (1956) auf sieben plus/minus zwei Einheiten geschätzt. Bereits im 19. Jahrhundert wurde von Jacobs (1887) der Grundtyp einer Methode zur Bestimmung der individuellen Kapazitätsgrenze vorgelegt, die bis heute weit verbreitet ist und auch in vielen Intelligenztests Verwendung findet: die Prüfung der Gedächtnisspanne.

Atkinson und Shiffrin (1968) haben darauf hingewiesen, dass der Kurzzeitspeicher beim Bearbeiten von Informationen die Funktion eines Arbeitsgedächtnisses übernimmt. Typische Arbeitsgedächtnisfunktionen bestehen etwa in der Nutzung von Strategien und Kontrollprozessen, um den Lernfortschritt zu optimieren und den späteren Abruf von Informationen aus dem Gedächtnis zu erleichtern. In Übereinstimmung damit verstehen Hasselhorn und Schumann-Hengsteler

(2001) unter Arbeitsgedächtnis (engl. »working memory«) ein internes kognitives System, das es ermöglicht, mehrere Informationen vorübergehend bewusst zu halten und miteinander in Beziehung zu setzen. Die klassische Vorstellung eines Speichers mit fünf bis neun Speicherplätzen ist deshalb zu statisch, um ein solch multi-funktionales System wie das Arbeitsgedächtnis angemessen zu beschreiben.

Interindividuelle Unterschiede in der oben beschriebenen Gedächtnisspanne hängen auch von der *Geschwindigkeit* ab, mit der die dargebotenen Informationseinheiten identifiziert bzw. innerlich nachgesprochen werden können (Dempster, 1981; Hasselhorn, 1988). Dies weist darauf hin, dass nicht nur strukturelle, sondern auch prozessuale Kapazitätsaspekte von Bedeutung sind. Man spricht daher heute vielfach auch von der funktionalen bzw. funktional verfügbaren Kapazität des Arbeitsgedächtnisses.

Die in diesem Bereich derzeit diskutierten theoretischen Modelle sind zahlreich und durchaus recht verschieden (vgl. Miyake & Shah, 1999). Neben Vorstellungen vom Arbeitsgedächtnis als einer einheitlichen Ressource, die flexibel und adaptiv unterschiedlichen Anforderungen zugeteilt werden kann (z. B. Case, 1995; Daneman & Carpenter, 1980), dominiert in der amerikanischen Literatur vor allem die Vorstellung, dass Aufmerksamkeit, Kurzzeitgedächtnis und Langzeitgedächtnis sehr eng miteinander verknüpft seien. Cowan (1995, 2001) hat diese Auffassung sehr pointiert formuliert: Das Arbeitsgedächtnis sei jene Teilmenge des Langzeitgedächtnisses, die durch Aufmerksamkeitsfokussierung temporär aktiviert wird.

Für die Beschreibung und Erklärung der Funktionen des Arbeitsgedächtnisses beim intentionalen Lernen komplexer Inhalte hat sich in der europäischen Tradition

on eine mehrsystemige Modellvorstellung durchgesetzt, die seit Anfang der 1970er-Jahre von der britischen Arbeitsgruppe um Alan Baddeley immer weiter ausgearbeitet wurde. Frühe experimentelle Arbeiten führten Baddeley und Hitch (1974) zu der Einsicht, dass die damals verbreitete Annahme eines eindimensionalen Arbeitsgedächtnisses unangemessen sei. Bei der gleichzeitigen Bearbeitung von Anforderungen unterschiedlicher Modalitäten (z. B. Hören und Sehen) zeigten die Untersuchungsteilnehmer zwar Leistungseinbußen; diese fielen aber weit geringer aus, als man es bei einer generell begrenzten Arbeitsgedächtnisressource erwarten sollte.

Baddeley (1986) beschrieb daher das Arbeitsgedächtnis als komplexes Systemgefüge, in welchem einer Leitzentrale (der *zentralen Exekutive*) spezifische Hilfsysteme für die separate Verarbeitung visuell-räumlicher bzw. sprachlich-akustischer Informationen untergeordnet sind (Abb. 2.2). Auch postulierte Baddeley (2000) einen Verbindungsmechanismus (den *episodischen Puffer*) zwischen den Hilfsystemen, der Leitzentrale und dem Langzeitgedächtnis. Dieser Mechanismus hat aber wiederum nur eine begrenzte Kapazität. Seine Aufgabe besteht darin, die funktionale Kapazität des Arbeitsgedächtnisses zu optimieren, und zwar durch die Integration der Informationen aus den Hilfsystemen und aus dem Langzeitgedächtnis.

Mit Gedächtnisspannenaufgaben der oben beschriebenen Art (serielle Ziffern- oder Wortlisten) lässt sich die Funktionsfähigkeit des für die Verarbeitung von sprachlich-akustischer Information zuständigen Hilfsystems erfassen. Das Arbeitsgedächtnis als Gesamtsystem ist aber nicht nur für das Speichern und Abrufen von Reihenfolgeinformationen zuständig, sondern auch für die darüber hinausgehenden Transformationsprozesse. Des-

#### Definition: Gedächtnisspanne

Unter Gedächtnisspanne versteht man die maximale Anzahl von Items (meist Ziffern oder Wörter), die im Anschluss an eine einmalige Darbietung (meist akustisch im Sekundenrhythmus) in der vorgegebenen Reihenfolge wiedergegeben werden kann.

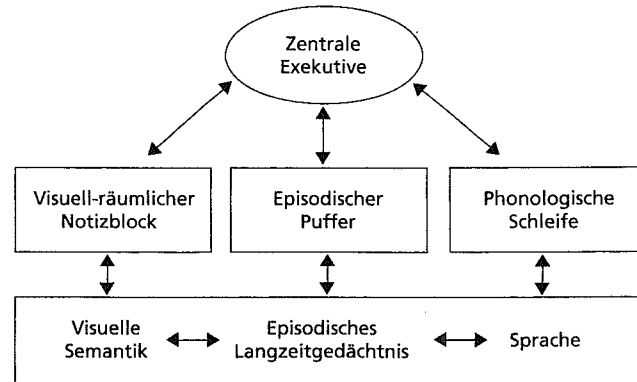


Abb. 2.2: Modell des Arbeitsgedächtnisses nach Baddeley (1986, 2000)

halb werden heute komplexere Aufgaben verwendet, um die Funktionstüchtigkeit des gesamten Arbeitsgedächtnisses festzustellen. Die einfachste Form einer komplexen Anforderung an das Arbeitsgedächtnis ist die Erfassung der so genannten »Rückwärtsspanne«. Wie bei der traditionellen Erfassung der »Gedächtnisspanne vorwärts« werden Sequenzen von Items dargeboten. Die Aufgabe besteht allerdings darin, die dargebotenen Sequenzen in der umgekehrten Reihenfolge zu reproduzieren. Verbreitet ist die Aufgabe »Ziffernnachsprechen, rückwärts«, wobei

die Ziffern im Sekundenrhythmus dargeboten werden (z. B. 6 – 4 – 2 – 5) und anschließend in umgekehrter Reihenfolge wiederzugeben sind (5 – 2 – 4 – 6). Die auf Teilsystemen fußende Grundkonzeption des Arbeitsgedächtnisses nach Baddeley (1986, 2000) eröffnet Möglichkeiten für eine sehr anschauliche Beschreibung der Funktionsweise des Arbeitsgedächtnisses beim Bearbeiten komplexer Lernanforderungen. Aber auch neuropsychologische Befunde stützen die Annahme getrennter und damit partiell unabhängiger Teilsysteme für die Verar-

#### Fokus: Arbeitsgedächtnisspanne

Komplexe Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis beinhalten vielfältige Speicher- und Transformationsprozesse. Beispielsweise werden Personen aufgefordert, ein Set unzusammenhängender Sätze zu lesen und den Wahrheitsgehalt jedes Satzes zu bewerten (z. B. »der März ist der erste Monat im Jahr, der 30 Tage hat« oder »die Sprachen Englisch und Deutsch gehen auf die gleichen Wurzeln zurück« oder »der Mensch gehört zu den Primaten, weil er aufrecht geht«). Anschließend müssen die jeweils letzten Wörter dieser Sätze in der Reihenfolge der Satzdarbietung wiedergegeben werden (also »hat – zurück – geht«). Bei einer anderen Aufgabe müssen einfache Rechenaufgaben auf ihre Richtigkeit geprüft werden (z. B. » $(2 \times 3) - 2 = 4$ « oder » $(6/3) + 2 = 8$ « oder » $(4 \times 2) - 5 = 3$ «). Anschließend sind die Lösungen in der richtigen Reihenfolge wiederzugeben (also »4 – 8 – 3«).

beitung verbaler und visuell-räumlicher Informationsmerkmale (Jonides et al., 1996).

#### Visuell-räumliches Arbeitsgedächtnis

In der neuropsychologischen Literatur finden sich nicht nur Evidenzen für die Annahme, dass die Verarbeitung sprachlicher und visuell-räumlicher Informationen in partiell unabhängigen Teilsystemen erfolgt. Auch das Generieren visueller Vorstellungen und das kurzfristige Behalten visuell-räumlicher Informationen haben sich nach Erkenntnissen aus Studien an Patienten mit Kopfverletzungen als voneinander unabhängige Funktionen erwiesen (vgl. Morton & Morris, 1995). Während spezifische Schädigungen in der linken Hirnhälfte mit Defiziten beim Generieren von und Operieren mit anschaulichen Vorstellungsbildern einherzugehen scheinen (Farah, 1984), findet man bei Repräsentations- und Behaltensproblemen für visuell-räumliche Informationen eher Zusammenhänge mit Schädigungen im rechten posterioren parietalen Cortex (Beschinn, Cocchini, Della Salla & Logie, 1997). Und selbst die Verarbeitung visueller und räumlicher Informationsmerkmale scheint durch unterschiedliche Bereiche des Cortex geleistet zu werden (Courtney, Ungerleider, Keil & Haxby, 1996). Experimentelle Analysen zum visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnis basieren im

Wesentlichen auf zwei Typen von Anforderungen: dem Behalten räumlicher Bewegungen und dem Behalten visueller Muster. Typische Varianten dieser unterschiedlichen Anforderungen sind die *Corsi-Block-Aufgabe* für räumliche Bewegungen und die so genannte *Musterrekonstruktionsaufgabe*. Bei der Corsi-Block-Aufgabe handelt es sich um eine Gedächtnisspannaufgabe für räumlich-sequentielle Information. Vorgegeben wird in der Standardversion ein graues Brett, auf dem neun Blöcke in einer unregelmäßigen Anordnung positioniert sind (Abb. 2.3). Die Blöcke unterscheiden sich nicht voneinander. Der Untersuchsleiter tippt einzelne Blöcke in einer bestimmten Reihenfolge im Sekundenrhythmus an. Die Versuchsteilnehmer müssen die vorgegebene Sequenz unmittelbar nachtippen. Die Anzahl der in einer Sequenz enthaltenen Blöcke wird sukzessive gesteigert, bis eine fehlerfreie Wiedergabe nicht mehr gelingt. Erwachsene kommen im Durchschnitt auf Sequenzen von etwa sechs bis sieben Blöcken.

Bei der Musterrekonstruktionsaufgabe werden in der Regel quadratische Matrizenanordnungen dargeboten, deren Felder in unterschiedlichem Ausmaß schwarz eingefärbt sind, so dass sich ein Muster ergibt. Häufig wird dabei auch die Komplexität der Muster variiert (Abb. 2.4). Die Muster werden im »fertigen Zustand« dargeboten, wobei die Darbietungszeit mit der Anzahl der eingefärbten

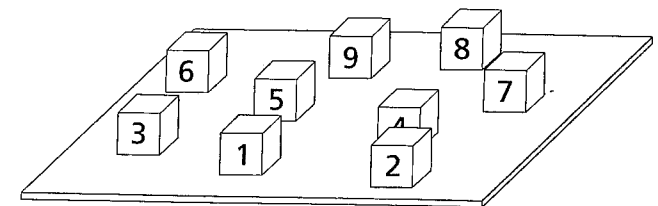
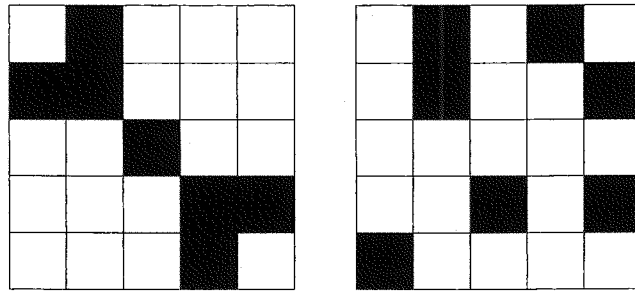


Abb. 2.3: Standardversion der Corsi-Block-Aufgabe





**Abb. 2.4:** Beispiel für die Vorlage eines einfachen (links) und komplexen Musters (rechts) bei der Musterrekonstruktionsaufgabe

Felder linear ansteigt. Unmittelbar nach der Musterpräsentation muss auf einer Matrizenvorlage mit ausschließlich weißen Feldern gezeigt werden, welche Felder bei der zuvor gezeigten Musteranordnung eingefärbt waren. Analog zum Vorgehen bei der Corsi-Block-Aufgabe wird die Anzahl der eingefärbten Felder so lange gesteigert, bis das Muster nicht mehr korrekt wiedergegeben werden kann. Die durchschnittliche Leistung junger Erwachsener liegt bei Mustern mit neun eingefärbten Feldern.

Experimentelle Analysen der Leistungen bei Corsi-Block- und Musterrekonstruktionsaufgaben haben die Entwicklung der Modellvorstellungen über das visuell-räumliche Hilfssystem nachhaltig beeinflusst. Es zeigte sich nämlich, dass die Kapazität für das Behalten visueller Muster und die Kapazität für das Behalten von Bewegungssequenzen im Raum relativ unabhängig voneinander belastbar sind. Versucht man etwa, die Leistungen bei Aufgaben dieser Art zu beeinträchtigen, indem man zeitgleich eine zweite Aufgabe bearbeiten lässt, so findet sich ein interessanter Unterschied: Besteht die Zweitaufgabe z.B. im Ausführen einer Armbewegung, dann werden dadurch die dynamischen visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisleistungen, wie sie bei den Cor-

si-Blocks zu erbringen sind, gestört, jedoch nicht die Leistungen bei der Standardvariante der Musterrekonstruktionsaufgabe, die eher Anforderungen an eine statische Repräsentation im Arbeitsgedächtnis stellt (z.B. Logie, Zucco & Baddeley, 1990). Umgekehrt wird das Behalten visueller Muster, nicht aber das von räumlichen Sequenzen, durch irrelevante visuelle Zusatzinformationen (z.B. Wechsel in der Farbgestaltung der Mustervorlagen) beeinträchtigt (z.B. Logie, 1986).

Logie (1995) unterscheidet daher zwischen zwei Komponenten des visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisses: einem visuellen Speicher (»visual cache«) und einem Mechanismus für die Aufnahme räumlicher Bewegungssequenzen, den er über die Metapher eines innerlichen Schreibprozesses (»inner scribe«) beschreibt. Im visuellen Speicher werden vor allem Merkmale der Form und der Farbe repräsentiert – sein Repräsentationsformat ist statisch. Der räumliche Mechanismus besitzt hingegen ein dynamisches Repräsentationsformat und ist auch dafür zuständig, Informationen des visuellen Speichers durch eine Art mentalen Abschreibens zu wiederholen und damit längerfristig verfügbar zu halten.

## Phonologisches Arbeitsgedächtnis

Wiederum unabhängig von der Verarbeitung visuell-räumlicher Informationen werden sprachliche und akustische Informationen verarbeitet. Das hierfür zuständige Hilfssystem des Arbeitsgedächtnisses wird *phonologisches Arbeitsgedächtnis* genannt. Baddeley (1986) hat dieses System als eine »phonologische Schleife« bezeichnet. Ähnlich wie beim visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnis besteht die Schleife aus zwei Komponenten, einem phonetischen Speicher (»phonological store«) und einem subvokalen Kontrollprozess (»subvocal rehearsal«). Über die Mechanismen, mit denen das phonologische Arbeitsgedächtnis operiert, weiß man bereits sehr viel genauer Bescheid als über die Mechanismen des visuell-räumlichen Systems.

Der phonetische Speicher kann klangliche und sprachliche Informationsmerkmale für etwa eineinhalb bis zwei Sekunden repräsentieren. Die entscheidende Kapazitätsdimension ist weniger die Anzahl verarbeiteter Informationen – wie in Anlehnung an Millers (1956) Ausführungen

zur »magischen Sieben« lange Zeit angenommen wurde – als vielmehr die Zeitdauer, für die eine gespeicherte Information verfügbar ist. Man kann sich den phonetischen Speicher wie eine Tonband-Endlosschleife mit sehr kurzer Aufnahmekapazität vorstellen. Die Schleife ist im aufmerksamen Zustand permanent auf Empfang geschaltet. Informationen, die nicht in weiterführende Verarbeitungsprozesse eingebunden sind, werden allerdings nach etwa zwei Sekunden wieder »überschrieben« und damit endgültig dem Zugriff für weiterführende Verarbeitungen entzogen. Für viele Sätze unserer gesprochenen Sprache ist dies ein sehr knappes Zeitfenster – umso problematischer, wenn es nicht effizient genutzt wird. Um vor allem beim Hören längerer Sätze am Ende eines Satzes noch zu wissen, wovon am Anfang des Satzes die Rede war, müssen wir wichtige Informationen länger verfügbar halten als nur für zwei Sekunden.

Dies leistet der subvokale Kontrollprozess. Durch eine Art »inneres Sprechen« bzw. »inneres Wiederholen« wird die Repräsentation im phonetischen Speicher immer wieder neu aufgefrischt, so dass

### Fokus: Wortlängeneffekt und Artikulationsdauer

Baddeley, Thomson und Buchanan (1975) untersuchten den Effekt der Wortlänge auf die Leistung bei der Gedächtnisspannenaufgabe. Mit ansteigender Silbenzahl der verwendeten Wörter sank die Gedächtnisspannenleistung der untersuchten jungen Erwachsenen. Der Befund tritt auf, wenn die Wortsequenzen akustisch präsentiert werden, er zeigt sich aber auch bei einer Darbietung von Abbildungen der durch die Wörter bezeichneten Objekte. Als entscheidend für den Effekt erwies sich die zur Aussprache der Begriffe benötigte Zeit. Es zeigte sich nämlich, dass selbst bei konstant gehaltener Silben- und Phonemzahl die Gedächtnisspanne für Wörter mit kürzerer Artikulationsdauer höher liegt als für Wörter mit längerer Aussprachedauer.

In einem weiteren Experiment fanden die Autoren, dass die Gedächtnisspanne in etwa der Anzahl von Items entspricht, die eine Person in 1.87 Sekunden aussprechen kann. Zu ähnlichen Schätzwerten der Kapazität des phonetischen Speichers kommen auch Schweickert und Boruff (1986) sowie Hasselhorn (1988).

wichtige Informationen durchaus über einen längeren Zeitraum für die weitere Verarbeitung präsent bleiben. Als Beleg dafür, dass es sich bei diesem Kontrollprozess um ein artikulationsähnliches »inneres Sprechen« handelt, gilt das Phänomen des *Wortlängeneffektes*: Die Leistung bei der oben beschriebenen einfachen Gedächtnisspannenaufgabe fällt bei der Darbietung von Sequenzen kurzer Wörter besser aus als bei Sequenzen langer Wörter.

Der hier beschriebene subvokale artikulationsbasierte Kontrollprozess erfolgt schon im frühen Schulalter automatisch. Er dient dem »Auffrischen« von Informationen, die in den phonetischen Speicher gelangt sind, erfüllt jedoch noch weitere Funktionen. So dient er der Übersetzung von bildlicher Information in sprachliche durch das phonetische Umkodieren des visuell dargebotenen Materials. Dies gilt nicht nur für bedeutungshaltige Bilder (vgl. Baddeley et al., 1975), sondern auch für das Dekodieren von Graphemen beim leisen Lesen (Daneman & Stainton, 1991). Insgesamt bieten die Mechanismen des phonologischen Arbeitsgedächtnisses eine hervorragende Basis für die Verarbeitung von Reihenfolgeinformation. Und zwar nicht nur für verbales Material, sondern auch für die Verarbeitung zeitlicher Muster, wie es sich etwa beim Reproduzieren akustisch dargebotener Zeitintervalle im Sekundenbereich zeigt (Grube, 1996).

Die bereits mehrfach erwähnte Gedächtnisspanne kann auch als Indikator für die funktional verfügbare Gesamtkapazität des phonologischen Arbeitsgedächtnisses herangezogen werden. Für die indirekte Abschätzung der Geschwindigkeit des in der Regel automatisch einsetzenden subvokalen Kontrollprozesses wird häufig die Artikulationsdauer bzw. die *Sprechrate* für das in der jeweiligen Gedächtnisspannenaufgabe verwendete Itemmaterial

benutzt. Eine verbreitete Methode zur Erfassung der Sprechrate wurde von Hulme, Thomson, Muir und Lawrence (1984) eingeführt. Die Autoren schlugen vor, einfache Wort-Tripel (z. B. »Fisch – Ball – Stern«) vorzugeben und diese dann zehnmal hintereinander so schnell wie möglich nachsprechen zu lassen. Aus der dafür benötigten Zeit lässt sich dann die für das Artikulieren eines Wortes im Durchschnitt benötigte Zeit ermitteln.

Die Funktionstüchtigkeit des phonetischen Speichers lässt sich nach Ansicht von Gathercole und Baddeley (1993) anhand eines weiteren, seit langem bekannten Phänomens erkennen, dem so genannten *akustischen Ähnlichkeitseffekt*: Gibt man bei einer Gedächtnisspannenaufgabe klangähnliche Items vor (z. B. »Schwan, Krahn, Bahn, Zahn«), anstelle der im Standardverfahren üblichen klang-unähnlichen (z. B. »Topf, Schuh, Baum, Zahn«), so fällt die Gedächtnisspannenaufgabe schlechter aus. Anders als der auf subvokales inneres Sprechen zurückgeführte Wortlängeneffekt, bleibt der Effekt der akustischen Ähnlichkeit durch eine belanglose sprachliche Zweitanforderung (z. B. während der Itemdarbietung permanent den Laut »bla« zu wiederholen) unbeeinflusst (Baddeley, 1986).

Zur Messung der individuellen Kapazität des phonetischen Speichers haben Gathercole, Willis, Baddeley und Emslie (1994) das Nachsprechen von Kunstwörtern (»nonword repetition«) vorgeschlagen. Beim *Kunstwörternachsprechen* handelt es sich um eine Aufgabenanforderung, bei der eine akustisch dargebotene Lautfolge nachzusprechen ist, die zwar Ähnlichkeiten zu »richtigen« Wörtern aufweist, jedoch ohne sinnhafte muttersprachliche Bedeutung ist (z. B. »wuralten«, »kalibritzen«). Das Grundprinzip solcher Aufgaben wurde bereits in den 50er-Jahren des letzten Jahrhunderts von der Schweizer Logopädin Greta Mottier

### Fokus: Das phonologische Arbeitsgedächtnis

Die folgenden Merkmale beschreiben die Funktionsweise des phonologischen Arbeitsgedächtnisses:

- sprachbasiert,
  - funktionale Gesamtkapazität ist begrenzt,
  - phonetischer Speicher ist zeitlich begrenzt (strukturelle Kapazität),
  - subvokaler artikulatorischer Kontrollprozess ist geschwindigkeitsbegrenzt (prozessuale Kapazität),
  - Speicherformat ist akustisch-phonetisch,
  - Sprache hat unmittelbaren Speicherzugang,
  - unabhängige simultane Speicherinhalte stören sich (interferieren),
  - vokale Artikulation (Sprechen) behindert die subvokale artikulatorische Kontrolle.
- (nach Grube, 1999)

(1951) verwendet, um die »akustische Differenzierungsfähigkeit« von Kindern zu erfassen. Die Kapazität des phonetischen Speichers lässt sich, unbeeinflusst vom »semantischen Lexikon« einer Person, über die Länge der Kunstwörter erschließen, bei denen das Nachsprechen noch weitgehend fehlerfrei gelingt. Das von Baddeley (1986) skizzierte Zweikomponenten-Modell des phonologischen Arbeitsgedächtnisses ist empirisch gut abgesichert. Dennoch lassen sich bisweilen Dissoziationen empirischer Phänomene beobachten, die eigentlich der gleichen Komponente des phonologischen Arbeitsgedächtnisses zugeschrieben werden

(vgl. Hasselhorn, Grube & Mähler, 2000). Durch eine Ausdifferenzierung verschiedener Funktionsaspekte der Speicherkomponente sowie der Komponente des subvokalen Kontrollprozesses lassen sich auch solche Dissoziationen erklären. Hasselhorn et al. (2000) schlagen vor, beim phonetischen Speicher zwischen der *Größe* (so macht es einen Unterschied, ob die zeitliche Begrenzung 150 oder 200 Millisekunden beträgt) und der *Verarbeitungspräzision* (wie »klar« ist das phonetische Sprachmuster repräsentiert?) zu unterscheiden. Bei dem subvokalen Kontrollprozess des inneren Sprechens ist es sinnvoll, zwischen der *Geschwindigkeit* des

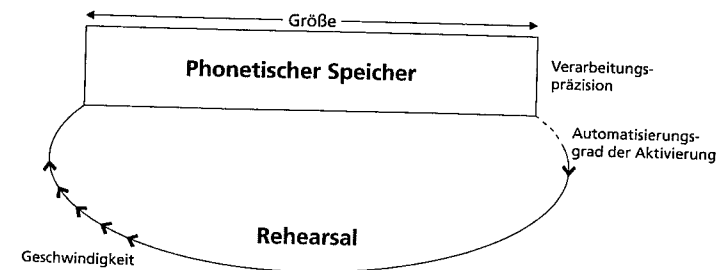


Abb. 2.5: Zwei-Komponenten-Modell des phonologischen Arbeitsgedächtnisses (nach Hasselhorn, Grube & Mähler, 2000)

Prozesses (erfassbar über die Artikulations- bzw. Sprechrates, s.o.) und dem *Automatisierungsgrad* seiner Aktivierung zu unterscheiden. Der bereits erwähnte Wortlängeneffekt kann nämlich mit der automatischen Aktivierung des subvokalen Kontrollprozesses erklärt werden. Tritt er nicht auf, was bei Kindern im Vorschulalter (Gathercole & Hitch, 1993) und bei lernbehinderten Grundschulkindern (Mähler & Hasselhorn, 2003) durchaus der Fall ist, dann ist dies ein wichtiger Hinweis darauf, dass dieser Prozess noch nicht automatisiert verfügbar ist (Abb. 2.5).

### Zentral-exekutive Funktionen

Die beschriebenen Hilfssysteme des Arbeitsgedächtnisses ermöglichen eine differenzierte modalitätsspezifische Verarbeitung von Informationen. Sie bilden damit eine notwendige Voraussetzung für »gute Informationsverarbeitung«. Erfolgreiches Lernen erfordert jedoch auch eine intelligente Nutzung dieser Hilfssysteme und ihrer Verarbeitungsmöglichkeiten. Dazu ist eine Überwachung und Kontrolle der Inhalte und Verfügungskapazitäten des gesamten Arbeitsgedächtnisses ebenso erforderlich wie die Anpassung und Steuerung der darin ablaufenden Verarbeitungsprozesse. Im Modell des Arbeitsgedächtnisses von Baddeley (1986, 2000) werden diese Funktionen einer *zentralen Exekutive* zugeschrieben. Die neuroanatomisch der Region des Frontallappens zugeordnete zentrale Exekutive wird dabei als ein Supervisions- und Kontrollsystem der eigenen Aufmerksamkeit angesehen. Sie überwacht die in den Hilfssystemen aktivierten Inhalte und verantwortet, welche Informationen bewusst gemacht oder in irgendeiner Form zur Verarbeitung transformiert werden sollen. Verarbeitungs- und Handlungspläne werden hier entworfen, umgesetzt, überwacht und modifiziert. Dazu koordiniert

die zentrale Exekutive Informationen aus verschiedenen Quellen, stellt ausgewählte Informationen gezielt in den Fokus der Aufmerksamkeit, aktiviert Wissen aus dem Langzeitgedächtnis und sorgt während des Lernprozesses dafür, dass sich aufdrängende aufgabenirrelevante Handlungsimpulse unterdrückt werden (vgl. Baddeley, 1996).

Die funktionelle Spezifizierung eines übergeordneten Kontrollsystems des Arbeitsgedächtnisses gestaltete sich lange Zeit problematisch. Einem Vorschlag von Baddeley (1996) zu Folge sollten wenigstens vier verschiedene zentral-exekutive Funktionen voneinander abgegrenzt werden. Neben der *Koordinationskapazität* bei der gleichzeitigen Bearbeitung zweier Anforderungen sind das drei weitere Teilfunktionen: die *Flexibilität beim Wechsel von Abrufstrategien*, die *selektive Fokussierung* relevanter bei Ausblendung irrelevanter Informationen und die *selektive Aktivierung von Wissensinhalten* aus dem Langzeitgedächtnis. Diese Funktionen weisen eine enge Verwandtschaft mit den oben beschriebenen Mechanismen der selektiven Aufmerksamkeit auf.

Die Vorstellung, eine überschaubare Anzahl kognitiver Mechanismen zu identifizieren, um damit ein brauchbares und empirisch abgesichertes Modell für die Funktionsweise der zentralen Exekutive zu erhalten, hat etwas Faszinierendes. Die bisherigen Forschungsbemühungen hierzu sind jedoch eher ernüchternd. So lässt sich kaum absehen, ob die mit dem Konstrukt der zentralen Exekutive verknüpften Hoffnungen berechtigt sind oder ob nicht eher die theoretische Vorstellung angemessener ist, dass es sich bei den zentralen Funktionen um eine große Anzahl unzusammenhängender, hochspezialisierter Mechanismen handelt (vgl. Towse & Houston-Price, 2001). Versuche, die unterschiedlichen Funktionen der zentralen Exekutive empirisch

fassbar zu machen, um so im Einzelfall feststellen zu können, was dies im Hinblick auf die individuellen Lernvoraussetzungen bedeutet, stehen vor einer vergleichbaren Problemlage: Die bereits erwähnten komplexen Gedächtnisspannenmaße zur Abschätzung der funktionalen Gesamtkapazität des Arbeitsgedächtnisses weisen nämlich nur geringe Zusammenhänge zu den Leistungen bei verschiedenen Aufgaben zur Erfassung der Aufmerksamkeitsfunktionen auf (z. B. Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, Howerter & Wager, 2000), wohl aber hohe zu den Leistungen bei herkömmlichen Tests der allgemeinen Intelligenz (Oberauer, Süß, Wilhelm & Wittmann, 2003). Zwar sind wir noch weit davon entfernt, die Funktionsmechanismen der zentralen Exekutive so zu verstehen, dass sich ein funktionales Modell hiervon skizzieren ließe. Dennoch scheint unstrittig, dass erfolgreiches Lernen die Folge »guter« und »intelligenter« Informationsverarbeitung ist und dass der Nutzung der exekutiven Funktionen zur Überwachung und Kontrolle der Informationsverarbeitung hierbei entscheidende Bedeutung zukommt. Diesem Gedanken werden wir im Zusammenhang mit den in Abschnitt 2.3 vorgestellten metakognitiven Regulationsmechanismen des Lernens erneut begegnen.

### 2.2 Vorwissen

Die Vorstellung vom Lernen als Wissenserwerb bzw. als Konstruktion von Wissen ist zentral für die modernen Lerntheorien. In Abschnitt 1.3 wurde dargelegt, wie Wissen erworben und wie es repräsentiert (also im Langzeitgedächtnis aufbewahrt) wird, was den Erwerb von Wissen erleichtert und was den Zugriff auf erworbenes Wissen beeinträchtigen, aber auch befördern kann. Wissen ist das *Ziel* von Ler-

nen. Das Wissen, über welches wir bereits verfügen, ist aber nicht lediglich zum Repräsentationsinhalt unseres Langzeitgedächtnisses geworden – es ist zugleich eine der wesentlichen individuellen Voraussetzungen bzw. Bedingungen für weiteres Lernen. Was Sie schon heute über Lernen und Gedächtnis wissen, beeinflusst in entscheidender Weise die Qualität und Schnelligkeit Ihrer Informationsaufnahme und -verarbeitung beim Lesen dieser Zeilen. Bereits verfügbares Wissen dieser Zeilen. Bereits verfügbares Wissen bezeichnen wir als Vorwissen. In der Regel sind wir beim Lernen umso erfolgreicher, je mehr relevantes, d. h. inhaltsbezogenes Vorwissen zur Verfügung steht.

Das Ausmaß und die Qualität inhaltsbezogenen Vorwissens ist für einen großen Anteil der interindividuellen Unterschiede des sichtbaren Lernerfolgs verantwortlich. Für Schulpädagogen ist dies eine Binsenweisheit, denn schulisches Lernen geht mit fortschreitender Schulzeit immer stärker mit der Anforderung einher, neue Informationen mit bereits Bekanntem zu verknüpfen. Da dies demjenigen besser gelingt, dem bereits zu Beginn eines Lernprozesses mehr bekannt ist, ist der systematische Aufbau von Vorwissen zu Recht eines der zentralen Anliegen schulischen Unterrichtens. Erfolgreiches Lernen ist der Aufbau einer inhaltlichen Expertise im Hinblick auf einen Lerngegenstand (Gruber, 2001). In diesem Abschnitt wird die besondere Rolle des Vorwissens für erfolgreiches Lernen in vier Schritten erläutert. Zunächst wird anhand der Ergebnisse der so genannten Expertiseforschung und am Beispiel der Frage, ob denn Vorwissen bei hoher Intelligenz nicht eigentlich entbehrlich sei, illustriert, dass Vorwissen von zentraler Bedeutung für erfolgreiches Lernen ist. Anschließend werden Antworten auf die Fragen gegeben, *wann* Vorwissen das Lernen besonders begünstigt, und *wie* genau es das Lernen beeinflusst.