

Kognitive Lernvoraussetzungen – Aufmerksamkeit und Gedächtnis

Sarah Schulze, Claudia Wittich & Jan Kuhl

Ist Lernen mehr als Aufnehmen, Speichern und Abrufen von Wissen aus dem Gedächtnis? Autor:innen, die Lernen als *gute Informationsverarbeitung* auffassen, beziehen sich etwa auf das »good information processor model« von Pressley et al. (1989, S. 857), welches u.a. auf Gedächtnismodellen basiert. Allerdings gibt es nicht *das eine Gedächtnis*, sondern verschiedene Gedächtnissysteme und -prozesse, die an unterschiedlichen Stellen des Lernprozesses beteiligt sind. Kernbereiche sind das *Arbeitsgedächtnis*, das *Langzeitgedächtnis* sowie das Konstrukt der *zentralen Exekutiven*, die beim Lernen eng miteinander verknüpft sind. Letztere hat die Aufgabe, die Systeme und Prozesse zu steuern und zu koordinieren (Überblick bei Rauch, in diesem Band). Hasselhorn und Gold (2017) beschreiben Lernen in diesem Zusammenhang »als Kette von Prozessen der Informationsaufnahme, -transformation und -organisation« (S. 68). In diese Kette lässt sich auch die *Aufmerksamkeit* einordnen. In Anlehnung an Modelle der menschlichen Informationsverarbeitung (Atkinson & Shiffrin, 1968) kann diese vereinfacht so dargestellt werden wie in Abbildung 1. Im Folgenden gehen wir zunächst auf die Informationsaufnahme ein.

1 Informationsaufnahme – Aufmerksamkeit

Am Anfang der Informationsverarbeitung steht die Aufnahme von relevanten Informationen. Alle Reize, die sich in der Umwelt befinden und potentiell zu Wissen werden können, werden als *Informationen* bezeichnet (Kracke, 2021a). Möchten Lehrkräfte bei ihren Schüler:innen den Aufbau von Wissen erzielen, so konfrontieren sie diese zunächst mit Informationen, die von den Lernenden wahrgenommen werden müssen. Als physikalische Reize (z. B. akustisch) gelangen die Inhalte über die verschiedenen Sinnesmodalitäten in das sogenannte *sensorische Gedächtnis*, wo sie für wenige Millisekunden festgehalten, aber noch nicht bewusst wahrgenommen werden (Buchner & Brandt, 2017). Die Komponenten des sensorischen Gedächtnisses werden auch als sensorische Register (Abb. 1) bezeichnet. Sie sind für alle Sinnesmodalitäten spezifisch (z. B. auditiv, visuell) und können als Bindeglied zwischen Wahrnehmung und dem bewussten Verarbeiten betrachtet werden (Buchner & Brandt, 2017). Denn damit die aufgenommenen Informationen nicht verloren gehen, müssen sie weiterverarbeitet werden (Gruber, 2011). An dieser Stelle wird die sogenannte *selektive Aufmerksamkeit* wirksam, um relevante Reize auszuwählen. Der eigentliche Lernprozess beginnt erst dann, wenn die Aufmerksamkeit der Lernenden auf die relevanten Informationen gerichtet wird. Die selektierten Informationen finden auf

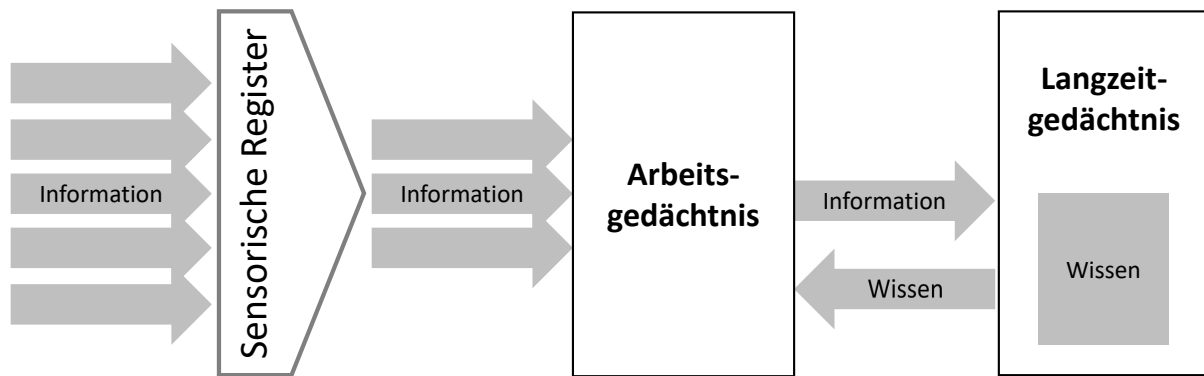


Abbildung 1: Kette der am Lernen beteiligten Prozesse in Anlehnung an Informationsverarbeitungsmodelle.

diese Weise den Weg in das Arbeitsgedächtnis, wo die weitere (bewusste) Verarbeitung stattfindet. Da die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses generell begrenzt ist, kommt der effizient gesteuerten Aufmerksamkeit eine Schlüsselrolle zu (Gold, 2018). Aufmerksamkeit beeinflusst welche Informationen in das Arbeitsgedächtnis gelangen und weiterverarbeitet werden (Abb. 1). Prinzipiell scheint das Konzept der Aufmerksamkeit schnell erfasst, allerdings ist es wichtig zwischen den Prozessen und beteiligten Komponenten zu differenzieren (Müller & Krummacker, 2012).

z. B. ginn des Informationsverarbeitungsprozesses wird durch Aufmerksamkeit ausgewählt, welche Informationen fokussiert werden, das Bewusstsein erlangen und der Handlungssteuerung zugänglich werden. Hier wird die *selektive Aufmerksamkeit* wirksam. Die anfängliche Selektion geht mit dem Ausblenden von irrelevanten Informationen einher. Wohin oder worauf die Aufmerksamkeit gerichtet wird, kann dabei zielgerichtet oder unwillkürlich erfolgen (Gold, 2018; Schmidt-Atzert, 2004). Die Auswahl von Informationen ist dabei u.a. vom individuellen Vorwissen wie auch von situativen Zielstellungen abhängig (Laut, 2014). Klassischerweise werden zwei Funktionen der selektiven Aufmerksamkeit unterschieden: *Diskrimination* und *Kapazitätzuweisung*. Die *Diskrimination* entscheidet darüber, wie relevant eine neue Information ist. Die als relevant eingeschätzte Information erhält dann die *Kapazitätzuweisung*, die dadurch ermöglicht wird, dass Relevantes fokussiert und Irrelevantes unterdrückt wird. Allerdings gelingt die Fokussierung zunächst schneller als das Unterdrücken (Gold, 2018). Neben der selektiven Aufmerksamkeit gibt es weitere Formen der Aufmerksamkeit: u.a. die *Daueraufmerksamkeit* und *Vigilanz*. Bei beiden Formen geht es vor allem um die Zeitspanne des Aufmerksamkeitsprozesses. Die Daueraufmerksamkeit bezieht sich auf einen längeren Zeitraum, was mit höherer kognitiver Beanspruchung einhergeht. Die Vigilanz beschreibt hingegen eine längerfristige Aufmerksamkeit, wobei die relevanten Reize nur sehr unregelmäßig auftreten, wie z. B. bei sehr monotonen Aufgaben. Richtet sich die Aufmerksamkeit auf mehrere Reize gleichzeitig, dann wird von *geteilter Aufmerksamkeit* gesprochen (Schmidt-Atzert et al., 2004; Heubrock & Petermann, 2001). Diese Formen kommen in unterrichtlichen (Lern-)Situationen zum Tragen. So etwa, wenn in Gruppenarbeiten die Aufmerksamkeit dauerhaft beansprucht wird, Aufmerksamkeit bei zwischenzeitlichen Arbeitsanweisungen geteilt werden muss oder wenn in bestimmten Situationen Ablenkungsreize gehemmt werden müssen (Imhof, 2004). Sowohl selektive Aufmerksamkeit als auch *Konzentration* sind Dimensionen von Aufmerksamkeit, bei denen es sich jedoch um unterschiedliche Konstrukte handelt (z. B. Berg & Imhoff, 2001). Im Gegensatz zur

Selektion bezieht sich Konzentration auf die willentlich gesteuerte Aufmerksamkeit, die zur gezielten und fokussierten Bearbeitung von Aufgaben erforderlich ist (Rollett, 2001). Sich zu konzentrieren ist mit Anstrengung und kognitiver Leistung verbunden und hängt wiederum von Rahmenbedingungen ab, wie genau oder wie schnell eine Aufgabe bearbeitet und gelöst werden kann (Schmidt-Atzert et al., 2004).

Schwierigkeiten in der Aufmerksamkeitssteuerung, z. B. bei ADHS, stehen im Zusammenhang mit diesen Prozessen der Ausblendung oder Hemmung (Inhibition) von Information, was vermuten lässt, dass bei diesen Schwierigkeiten weniger die Wahrnehmungsprozesse als mehr die Arbeitsgedächtnisprozesse beteiligt sind (Harris et al., 2008). Somit gilt die selektive Aufmerksamkeit als eines der entscheidenden individuellen kognitiven Voraussetzungen, um überhaupt (erfolgreich) lernen zu können. Sie steht in engem Zusammenhang mit Wahrnehmung und Gedächtnis (Schmidt-Atzert et al., 2004). Denn erst durch das selektive Auswählen und die Konzentration auf relevante (Lern-)Informationen können diese in das Arbeitsgedächtnis gelangen (Hasselhorn, 2011).

Wenn sich Schüler:innen mit schwachen Schulleistungen unaufmerksam zeigen, so kann schnell der Schluss gezogen werden, dass die Schwierigkeiten im Lernen eine Konsequenz der schlechten Aufmerksamkeit sind. Der Zusammenhang kann jedoch auch in die umgekehrte Richtung bestehen. So können Schüler:innen unaufmerksam sein, weil sie größere Schwierigkeiten haben inhaltlich zu folgen und ihr Vorwissen nicht nutzen können. Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge dürfen hier nicht vorschnell formuliert werden. Zudem wurde deutlich, dass die Aufmerksamkeit intraindividuell stark schwanken kann, da sie den situativen Rahmenbedingungen wie auch der individuellen Tagesform (z. B. durch Müdigkeit) unterliegt. Insbesondere bei monoton und anstrengend empfundenen Aufgabenformaten sind Aufmerksamkeit und Konzentration von der aktuellen Leistungsmotivation der Schüler:innen abhängig (Schmidt-Atzert et al., 2004). Lehrkräfte können gut sagen, wann und ob Schüler:innen in einer konkreten Unterrichtssituation aufmerksam sind. Allerdings können sie so noch keine Aussage zur Grundfähigkeit der Aufmerksamkeit machen. Dass es Lehrkräften schwer fällt, eine genaue Einschätzung von nicht-leistungsbezogenen Schüler:innenmerkmalen vorzunehmen, haben zum Beispiel Stang und Urhahne (2016) für die Konzentration gezeigt. Um Grundfähigkeiten zu messen, gibt es standardisierte diagnostische Tests.

1.1 Aufmerksamkeit messen

Tests zur Erfassung von Aufmerksamkeitsfähigkeiten sind meist standardisierte Verfahren, die sich nicht spezifisch auf eine schulische Lernaufgabe beziehen, sondern anhand allgemeiner Items zur selektiven und geteilten Aufmerksamkeit, Daueraufmerksamkeit, Aufmerksamkeitswechsel und Hemmung dominanter Reaktionen mit entsprechender Zeitkomponente gemessen werden (Schmidt-Atzert et al., 2004). Die Items sind dann z. B. im Format von Sortierungs-, Durchstreich- oder Markierungsaufgaben umgesetzt. Einige Teilkomponenten lassen sich ebenso in Tests für die zentrale Exekutive des Arbeitsgedächtnisses wiederfinden (Gold, 2018), was dadurch begründet ist, dass zentral exekutive Funktionen eng mit Aufmerksamkeit verbunden sind. Items zur Markierung sind beispielsweise im Frankfurter Aufmerksamkeitsinventar (FAIR-2, Moosbrugger & Oehlschlägel, 2011) enthalten. Es geht darum, visuell ähnliche Zeichen schnell zu erfassen (Diskrimination), während aufgabenirrelevante Informationen ausgeblendet werden sollen. Die Zeichen sind kulturunabhängig und leicht zu erfassen. Hier liegen Normierungen ab dem Alter von 9 Jahren vor. Bei dem aktuelleren d2-R (Brickenkamp et al., 2010) handelt es sich um einen Test zur Messung der konzentrierten Aufmerksamkeit, wobei auch die

Schnelligkeit und Genauigkeit bei der Unterscheidung ähnlicher visueller Reize erfasst wird. Er enthält ebenfalls Zeichen (Kleinbuchstaben mit Strichen), die durchgestrichen werden müssen. Diese Verfahren haben nur eine kurze Durchführungsdauer und können sowohl einzeln als auch in Gruppen durchgeführt werden. Die Testreihe zur Prüfung der Konzentrationsfähigkeit (TPK, Kurth & Büttner, 1999) kann bereits in den Klassenstufen 2-6 eingesetzt werden. Sie erfasst die Konzentrationsleistung anhand von unterrichtsspezifischen Aufgaben, wie Zuhören, Rechnen oder Text abschreiben und steht somit in engerer Verknüpfung an unterrichtliche Anforderungen.

Die diagnostischen Verfahren messen die Aufmerksamkeit meist über die Genauigkeit (Fehlerquote) oder über die Schnelligkeit (Anzahl der gelösten Items) bei der Aufgabenbearbeitung. Wenn die Testpersonen dazu instruiert werden, so schnell und gleichzeitig so genau wie möglich zu arbeiten, dann kann die Testsituation selbst eine zusätzliche Anforderung darstellen. Darüber hinaus muss stets beachtet werden, dass bei wiederholter Anwendung von Testverfahren, wie z. B. d2-R, Übungseffekte auftreten können (Schmidt-Atzert, 2004). Für eine umfassende Diagnostik gestörter Aufmerksamkeitsprozesse im Rahmen der ADHS-Diagnostik ist ein methodisch differenzierteres Vorgehen notwendig, wofür an der ICD und DSM orientierte Fragebögen und Diagnostiksysteme, wie z. B. DISYPS-II (Döpfner et al., 2008), KIDS 1 (Döpfner et al., 2006) oder einzelne Skalen zu Aufmerksamkeit (Connors 3, Lidzba et al., 2013) eingesetzt werden.

Verschiedene Dimensionen von Aufmerksamkeit finden sich in Tests und Diagnoseinstrumenten häufig in Kombination. Auch bei einzelnen Testaufgaben sind z.T. mehrere Anforderungen enthalten, sodass bei der Lösung etwa sowohl die selektive Aufmerksamkeit als auch die Konzentration gefordert ist (Schmidt-Atzert et al., 2004; Rollett, 2001). Neben dieser Überschneidung oder Kombination von Anforderungen, sollte bei der Auswahl von Testverfahren auch auf die Aktualität der Normierungswerte geachtet werden. Von einigen Diagnostikinstrumenten liegen bereits verbesserte Neuauflagen mit aktueller Normierung vor.

2 Speichern und Verarbeiten von Information – Arbeitsgedächtnis

Nach der Selektion von relevanten Reizen oder Informationen gelangen diese in das Arbeitsgedächtnis (*international working memory*), wo sie weiterverarbeitet werden. Dafür ist es notwendig, dass sie für eine bestimmte Zeit zwischengespeichert werden. Das Arbeitsgedächtnis ist jedoch kein passives Speichersystem, sondern kann Informationen auch verändern und mit anderen Informationen – z. B. dem Vorwissen – in Beziehung setzen (Hasselhorn & Schumann-Hengsteler, 2001). Ein zentrales Merkmal des Arbeitsgedächtnisses ist seine limitierte Kapazität, so kann zu einem Zeitpunkt nur eine bestimmte Menge von Informationen für eine begrenzte Zeit behalten werden. Diese Eigenschaft erfordert das ständige Aktualisieren von Informationen im Arbeitsgedächtnis. Alloway und Alloway (2015) sprechen auch von einer Art Merktzettel des Gehirns.

Alltagssprachlich ist auch das Konzept des *Kurzzeitgedächtnisses* bekannt. Es lässt sich allerdings insofern vom Arbeitsgedächtnis abgrenzen, als dass es im Kurzzeitgedächtnis ausschließlich um das kurzzeitige Speichern von Informationen geht – ohne Aktualisieren oder Weiterverarbeiten. Schüler:innen nutzen ihr Kurzzeitgedächtnis zum Beispiel dann, wenn sie die Aufgabe $8 + 5$ an der Tafel sehen und die Information gerade so lange erinnern, dass sie die Aufgabe in

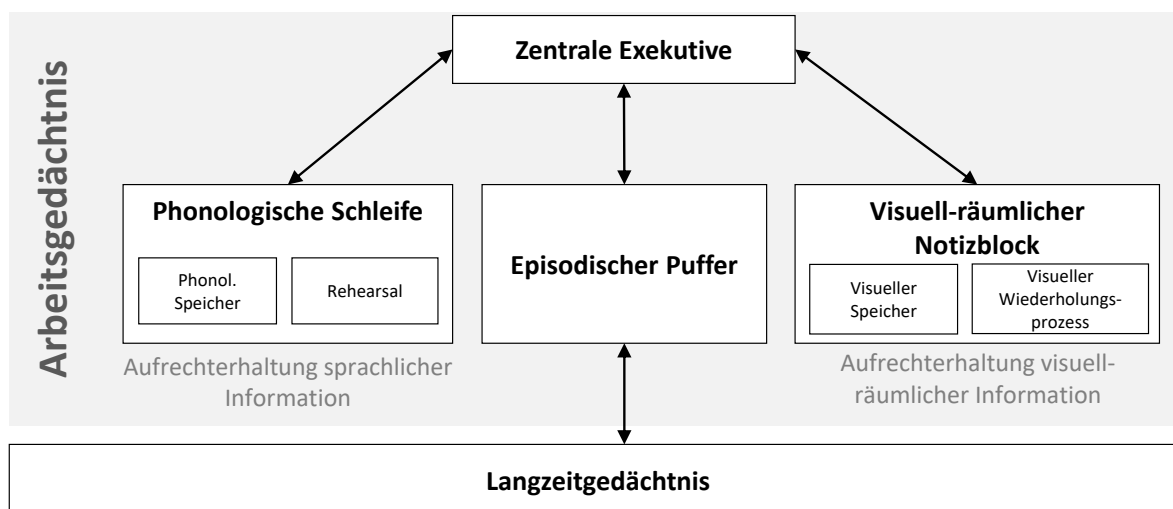


Abbildung 2: Arbeitsgedächtnismodell nach Baddeley (1986, 2000)

ihrem Arbeitsheft notieren (Alloway & Alloway, 2015). Angenommen die Aufgabe würde im Kopf mit Hilfe der Strategie *bis zum Zehner ergänzen* ausgerechnet werden, dann müssten sich die Schüler:innen Teilergebnisse merken, während sie die einzelnen Rechenschritte gedanklich vollziehen. In diesem Beispiel gehen die Anforderungen über das reine Speichern hinaus und Arbeitsgedächtnisprozesse sind erforderlich.

Das Arbeitsgedächtnis lässt sich mit seinen Funktionen und Prozessen anhand von Modellen noch detaillierter beschreiben. Dazu existieren verschiedene Vorstellungen. Im europäischen Raum ist das Modell von Baddeley (1986, 1996, 2012) etabliert. Er definiert das Arbeitsgedächtnis als komplexes System, in dem es eine Steuerzentrale (zentrale Exekutive) gibt, der zwei spezifische Subsysteme für die separate Verarbeitung visuell-räumlicher (*visuell-räumlicher Notizblock*) und sprachlich-akustischer (*phonologische Schleife*) Informationen untergeordnet sind (Abb.2).

Die phonologische Schleife besteht wiederum aus zwei Teilen: Einem phonetischen Speicher und einem subvokalen Kontrollprozess (Hasselhorn & Gold, 2017). In der Speicherkomponente kann klangliche und sprachliche Information für wenige Sekunden aufrechterhalten werden (Baddeley, 2012), wie beim Konzept des Kurzzeitgedächtnisses. Informationen, die nicht weiterverarbeitet werden, zerfallen anschließend. Durch einen subvokalen Kontrollprozess ist es möglich, die Informationen auch längere Zeit bewusst zu halten. Diese Funktion wird auch als eine Art *inneres Sprechen* beschrieben (Baddeley, 2012; Hasselhorn & Gold, 2017). Wollen wir uns etwa eine Telefonnummer merken, so können wir uns die Nummer so lange innerlich vorsprechen bis wir sie abgetippt oder notiert haben. Das visuell-räumliche Arbeitsgedächtnis – auch visuell-räumlicher Notizblock – bildet das Pendant für die Verarbeitung von visuell-räumlicher Information. Er dient der Speicherung sowie Verarbeitung von räumlichen Bewegungen und visuellen Mustern (Baddeley, 2012).

Die Steuerung und Kontrolle zwischen verschiedenen Prozessen erfolgt durch die *Zentrale Exekutive*. Da es sich hier um ein mehrdimensionales Konstrukt handelt, ist sie nicht leicht zu fassen und einige Autor:innen sprechen von zentral-exekutiven Funktionen. Auch Baddeley (1996) geht in seinem Modell von verschiedenen Funktionen aus, darunter die Koordination bei der gleichzeitigen Bearbeitung von zwei Aufgaben, die selektive Fokussierung von relevan-

ten Reizen bei gleichzeitiger Hemmung von irrelevanten Reizen und die Selektion von Wissen aus dem Langzeitgedächtnis. Hier wird wiederum die starke Verbindung zum Konstrukt der Aufmerksamkeit deutlich. Miyake et al. (2000) ist es in experimentellen Untersuchungen gelungen, drei zentral-exekutive Funktionen *Updating*, *Inhibition* und *Shifting* voneinander abzugrenzen. *Updating* bezeichnet das gleichzeitige Aufrechterhalten und das Erneuern bzw. Manipulieren von Arbeitsgedächtnisinhalten. Die Funktion ist eng verbunden mit dem Konzept des Arbeitsgedächtnisses, v.a. mit der zentralen Exekutive im Baddeley-Modell, daher wird die Funktion *Updating* bei einigen Autor:innen auch als *Arbeitsgedächtnis* bezeichnet (Schuchardt & Mähler, 2016, S. 394). Beim Kopfrechnen ist *Updating* zum Beispiel relevant, wenn Zwischenergebnisse gespeichert werden müssen. *Shifting* bezeichnet den Aufmerksamkeitswechsel zwischen verschiedenen Anforderungen und *Inhibition* die Hemmung von automatischen oder dominanten Reaktionen (Miyake et al., 2000).

In einer Weiterführung des ursprünglichen Modells fügte Baddeley (2000) eine vierte Komponente, den sogenannten *episodischen Puffer*, hinzu. Er hat wiederum eine limitierte Kapazität, die dem Bereithalten von integrierten Episoden in einem multidimensionalen Code dient (Baddeley, 2012). Zentrale Funktionen sind laut Baddeley (2012) die Brücke zu Langzeitgedächtnisinhalten und die Integration von Informationen mit unterschiedlichen Repräsentationsmodi zu einer Einheit. Damit stellt die jüngste Komponente eine Brücke zwischen Arbeitsgedächtnis, Wahrnehmung und Langzeitgedächtnis dar (Baddeley, 2012). Das Speicherpotenzial des Arbeitsgedächtnisses kann auf diese Weise optimiert werden (Hasselhorn & Gold, 2017).

Das Arbeitsgedächtnis ist an jeder bewussten mentalen Tätigkeit beteiligt und damit für sämtliche schulische Aktivitäten relevant. Für Fertigkeiten wie Lesen und Rechnen, aber auch für das Merken von Aufgaben oder Handlungsabläufen, für das Schlussfolgern oder für das Planen von Handlungsabläufen. Hierbei geht es auch immer um den Einbezug von Wissen aus dem Langzeitspeicher. Die Arbeitsgedächtniskomponenten sind mit unterschiedlichen Fähigkeiten und Fertigkeiten verbunden. So führen Alloway und Alloway (2015) einige Beispiele auf, bei denen tendenziell eher das phonologische Arbeitsgedächtnis relevant ist. Darunter nennen sie das Merken und Ausführen von längeren Anweisungen, wie z. B. *Lege deinen Stift weg und bringe dein Arbeitsblatt nach vorne, räume dann die Hinweiskarten in die Kiste, wenn du alles weggeräumt hast, komme in den Stuhlkreis*. Auch das Merken und Schreiben von Texten, Wörtern und Sätzen erfordert vor allem das phonologische Arbeitsgedächtnis. Insbesondere, wenn die Sätze eine komplexe grammatische Struktur haben.

Auf die schulischen Leistungen nimmt das Arbeitsgedächtnis auf zwei Wegen Einfluss. Zum einen ist es während der Aufgabenbewältigung oder Problemlösung aktiv, etwa während dem Lösen einer Rechenaufgabe. Zum anderen ist es für den Aufbau von Vorwissen relevant, welches wiederum einen Einfluss auf die schulische Leistung hat. Grube und Seitz-Stein (2012) sprechen im ersten Fall vom *Online-Einfluss*, dem sie den *Offline-Einfluss* gegenüberstellen.

In der schulischen Diagnostik erfolgen typischerweise keine Gedächtnistests, dennoch kann sich ein schwaches Arbeitsgedächtnis im Unterricht auf verschiedene Arten äußern. Bekommen Schüler:innen z. B. einen lange Arbeitsauftrag, der mehrere Schritte umfasst, können Lernende mit schwachem Arbeitsgedächtnis häufig nicht alle Schritte hintereinander ausführen. Gathercole und Alloway (2008) beschreiben einige typische Merkmale von Lernenden mit schwachem Arbeitsgedächtnis: Die Schüler:innen zeigen nicht unbedingt Auffälligkeiten was soziale Beziehungen in der Klasse betrifft. Finden jedoch im Unterricht Gruppenaktivitäten oder Diskussionen statt, sind sie öfter zurückhaltend, möglicherweise weil diese häufig auf vorangegangenen Aktivitäten gründen. Sie vergessen häufiger was sie sagen wollten, haben

eine kurze Aufmerksamkeitsspanne, lassen sich schnell ablenken und haben Schwierigkeiten bei komplexen Aufgaben (Gathercole & Alloway (2008). Diese Schwierigkeiten wirken sich auf das schulische Lernen aus.

Mittlerweile gibt es eine Vielzahl an Befunden, die zeigen, dass Schwierigkeiten im Lernen in großem Maße mit einem schwachen Arbeitsgedächtnis einhergehen. In der Tendenz sind je nach Lernbereich verschiedene Komponenten beeinträchtigt. Häufig gehen Schwierigkeiten in der Schriftsprache mit einem schwachen phonologischen Arbeitsgedächtnis einher (Graf Estes et al., 2007; Hasselhorn & Marx, 2000; Pickering, 2006; Schuchardt et al., 2008). Aber auch die weitere Verarbeitung mittels zentraler Exekutive ist beeinträchtigt, was möglicherweise durch die schwache phonologische Schleife zu erklären ist (Hasselhorn, 2021). Auch Schüler:innen mit Auffälligkeiten in der Sprachentwicklung zeigen in beiden Bereichen Einschränkungen (Archibald & Gathercole, 2006; Schuchardt et al., 2013). Probleme im mathematischen Lernen scheinen eher mit Schwierigkeiten beim Speichern und Verarbeiten von visuell-räumlichen Informationen verbunden zu sein (Brandenburg et al., 2021; Kleszczewski et al., 2015; Schuchardt et al., 2008; Wilson & Swanson, 2001). Hier sind die Befunde jedoch weniger konsistent, da der Lernbereich Mathematik zahlreiche Kompetenzen umfasst. So wurden Einschränkungen im Arbeitsgedächtnis bereits in allen Subsystemen nachgewiesen (Kleszczewski et al., 2018). Es gibt die Tendenz, dass Schüler:innen, die gleichzeitig in mehreren Lernbereichen Schwierigkeiten haben (Lesen/Rechtschreiben + Rechnen), auch umfassendere Einschränkungen in allen Arbeitsgedächtniskomponenten aufweisen. Die kognitiven Einschränkungen addieren sich hierbei schwierigkeitspezifisch auf (Kißler et al., 2021; Schuchardt et al., 2008). Allerdings gibt es auch konträre Befunde, was daran liegen könnte, dass in Studien unterschiedliche Aufgaben zur Messung des Arbeitsgedächtnisses eingesetzt wurden.

Um die Leistungen und Funktionen des Arbeitsgedächtnisses besser zu verstehen, zeigen wir im Folgenden durch welche Paradigmen die Funktionalität u.a. gemessen werden kann.

2.1 Arbeitsgedächtnis messen

Um die Funktionsfähigkeit des Arbeitsgedächtnisses zu erfassen, existieren verschiedene Arbeitsgedächtnistests, die auch in Testbatterien gebündelt sind. Viele Tests basieren auf sogenannten *Spannenaufgaben*, wobei den Proband:innen Reizfolgen (z. B. Zahlenfolgen, Wortfolgen etc.) präsentiert werden, die sie sich merken und reproduzieren sollen. Die Anzahl an Reizen, die erinnert werden soll, nimmt im Laufe des Tests zu. Je mehr Items eine Person wiedergeben kann, desto größer ist ihre individuelle Gedächtnisspanne und desto besser das Arbeitsgedächtnis (Hasselhorn et al., 2012). Viele der eingesetzten Arbeitsgedächtnistests basieren auf solchen Aufgaben. Darunter zum Beispiel die in Deutschland entwickelte *Arbeitsgedächtnistestbatterie für Kinder von 5 bis 12 Jahren* (AGTB 5-12, Hasselhorn et al., 2012) oder das *Automated Working Memory Assessment* (AWMA, Alloway, 2007). Die Testbatterien bestehen aus Subtests, die verschiedene Arbeitsgedächtnisfunktionen abprüfen. Ein Beispiel für eine klassische Arbeitsgedächtnisaufgabe, die auch in der AGTB 5-12 angewendet wird, ist das *Zahlen-* oder auch *Ziffernnachsprechen*. Dabei werden einstellige Ziffern im Abstand von ca. 1,5 Sekunden verbal oder akustisch dargeboten. Nach der Präsentation der Zahlenfolge müssen die Personen diese wiedergeben. Je länger die Reizfolge ist, die von der jeweiligen Person noch korrekt wiedergegeben werden kann, desto größer ist die Kapazität der phonologischen Schleife (Seitz-Stein et al., 2012). Eine Abwandlung der Aufgabe besteht im rückwärts Nachsprechen der Zahlenfolge. Sollen die Zahlen in umgekehrter Reihenfolge wiedergegeben werden, so kommt für die Person eine Anforderung hinzu. Sie muss sich die Zahlen nicht mehr bloß merken, son-

dern während des Merkens in Gedanken umdrehen. Auf diese Weise kann eine Aussage zur Funktionsfähigkeit der Zentralen Exekutive gemacht werden.

3 Langzeitgedächtnis

Wir wollen den bisherigen Informationsfluss noch einmal skizzieren: Zunächst werden die Reize aus der Umwelt über die Sinnesorgane aufgenommen und in den modalitätsspezifischen sensorischen Registern für wenige Millisekunden gehalten (Atkinson & Shiffrin, 1968). Wird den selektierten Reizen weitere Aufmerksamkeit geschenkt, gelangen sie in das Arbeitsgedächtnis, wo die Informationen kurzfristig zwischengespeichert werden. Neue Informationen werden hier auch mit dem bestehenden Wissen abgeglichen oder auf dieser Grundlage bewertet oder verändert: Kennen wir bereits etwas Ähnliches? Wie verhält sich die neue Information zum bestehenden Wissen? (Kracke, 2021b). Hier äußert sich die Verbindung zwischen Arbeitsgedächtnis und Langzeitgedächtnis.

Das Langzeitgedächtnis ist – im Gegensatz zum Arbeitsgedächtnis – eine Art dauerhaftes Speichersystem. Alloway und Alloway (2015) verwenden hier das Bild einer Bibliothek, in der sämtliches Wissen abgespeichert ist. Das kann Faktenwissen sein, wie z. B. die Aufgabe »5 + 5 = 10«, Grammatikregeln, Wissen zu geschichtlichen Ereignissen, aber auch persönliche Erlebnisse und Fertigkeiten (Hasselhorn & Gold, 2017). Für das Langzeitgedächtnis wird eine praktisch unbegrenzte Kapazität angenommen (Gruber, 2011). Das bedeutet jedoch nicht, dass das Wissen auch immer gut aus dem Gedächtnis abgerufen werden kann. Hier ist wiederum das Arbeitsgedächtnis erforderlich. Es funktioniert wie ein Bibliotheksangestellter, der das notwendige Wissen aus dem Langzeitgedächtnis hervorholt (Alloway & Alloway, 2015). Abrufschwierigkeiten können auftreten, wenn Wissen falsch eingeordnet bzw. falsch oder unzureichend verknüpft ist (Hasselhorn & Gold, 2017).

Auch das Langzeitgedächtnis kann durch verschiedene Ansätze und Modelle beschrieben werden. Typischerweise werden *systemorientierter* und *prozessorientierter* Zugang unterschieden (Buchner & Brandt, 2017). Betrachten wir die *Gedächtnissysteme*, besteht eine zentrale Unterscheidung im *deklarativen* und *non-deklarativen* Gedächtnis (Gruber, 2011). Im deklarativen System sind Wissensinhalte gespeichert, die verbalisiert werden und über die Personen leicht Auskunft geben können (Buchner & Brandt, 2017). Vor allem am Anfang von Lernprozessen ist diese Wissensform wichtig (Buchner & Brandt, 2017). Das deklarative Wissen ist komplex miteinander verknüpft und kann in verschiedenen Repräsentationsformen vorliegen. Eine häufige Unterscheidung der kognitiven Repräsentationen ist die in *Proposition*, *Schema* und *Skript*. Hasselhorn und Gold (2017) beschreiben Propositionen als »kleine Wissensseinheiten, die eine selbstständige Aussage bilden« (S. 52), womit es sich um eine Informationseinheit handelt, die eine Eigenschaft oder einen Sinn zuweist. Im Gegensatz dazu sind Schemata komplexere Repräsentationen. Die Autoren sprechen hier auch von Wissenspaketen, die »typische Zusammenhänge eines Realitätsbereiches charakterisieren« (S. 54). Als Beispiel nennen sie hier das Schema »Orchester« das wiederum Subschemata wie »Streicher«, »Bläser« etc. enthalten kann. Komplexe Schemata werden auch als *Skripte* bezeichnet. Hierzu zählen Handlungsmuster wie etwa der *Ablauf eines Geburtstages*. Die Autoren sprechen hier auch vom mentalen Drehbuch für typische Szenarien. Das deklarative Gedächtnis lässt sich weiter aufschlüsseln. Auf eine differenzierte Unterteilung gehen wir an der Stelle aber nicht ein. Das non-deklarative Gedächtnis umfasst Wissensinhalte, die nicht ohne Anstrengung versprachlicht werden können. Zu einem großen Teil sind das mechanisch erlernte motorische Fertigkeiten wie Autofahren

oder Fahrradfahren. Der Zugriff auf solche Inhalte findet implizit statt (Gruber, 2011). Im Laufe eines Lernprozesses kann deklaratives Wissen auch zu prozeduralem Wissen werden. Zum deklarativen Gedächtnis zählt darüber hinaus auch Konditionierung und Priming (für einen genaueren Einblick mehr bei Buchner & Brandt, 2017). Der Großteil der Wissensrepräsentationen im Langzeitgedächtnis ist stets inaktiv. Nur der Teil, der zum gegenwärtigen Zeitpunkt Inhalt des Arbeitsgedächtnisses ist, und dadurch im Bewusstsein ist, ist aktiv (Cowan, 2014).

Betrachtet man die *Gedächtnisprozesse*, so werden *Enkodierung*, *Retention* und *Abruf* unterschieden (Gruber, 2011). Der Prozess der Enkodierung dauert so lange an, wie ein Reiz, der erinnert werden soll, präsentiert wird (Gruber, 2011). Nach der Präsentation muss die Information zunächst im Gedächtnis gehalten werden, womit die Phase der Retention beschrieben ist. Vereinfacht gesagt geht man davon aus, dass während der Retention eine neuronale Festigung einer Gedächtnisspur abläuft (Gruber, 2011, S. 78). Während der Abrufphase muss die gespeicherte Information schließlich wieder verfügbar gemacht werden (Gruber, 2011). Konzepte wie die Verarbeitungstiefe (Informationen, die in der Lernphase tiefer verarbeitet werden, werden besser erinnert als oberflächlich verarbeitete Informationen), Kontexteffekte oder auch das Vergessen sind Kernthemen, wenn es um Gedächtnisprozesse geht. Für einen vertiefenden Einblick: z. B. Gruber (2011) oder Buchner und Brandt (2017).

Im Langzeitgedächtnis werden Informationen und Wissen überdauernd gespeichert. Zentral ist hier die Verknüpfung mit dem Vorwissen und ein gelingender Abruf. Je sicherer Vorwissen verfügbar ist, desto leichter gelingen Verknüpfungen (Hasselhorn & Gold, 2017; Krajewski & Ennemoser, 2010). Gibt es viele Anknüpfungspunkte, so muss weniger neu erlernt werden. Zum positiven Einfluss des Vorwissens auf das Weiterlernen gibt es bereits viele empirische Befunde für verschiedene Lernbereiche (z. B. Grube, 2005; Grube & Hasselhorn, 2006; Krajewski, 2003). Was das schulische Lernen und Fördern betrifft, kommt dem Aufbau von bereichsspezifischem Vorwissen daher eine besondere Relevanz zu (Ennemoser et al., 2012; Krajewski & Ennemoser, 2010). Wie genau das Vorwissen das Lernen begünstigt lässt sich allerdings nicht leicht beantworten. Hasselhorn und Gold (2017, S. 87) nehmen mindestens die folgenden Prozesse an, durch die das Vorwissen die Qualität der Informationsverarbeitung fördert:

- Vorwissen erleichtert die Entscheidung über die Relevanz von Informationen und unterstützt auf diese Weise auch die selektive Aufmerksamkeit.
- Vorwissen führt dazu, dass Konzepte schneller aktiviert und untereinander leichter verknüpft werden, wodurch das Arbeitsgedächtnis entlastet wird.
- Vorwissen steigert tendenziell auch das Interesse am Lerngegenstand und wirkt sich dadurch positiv auf die Lernbereitschaft und -motivation aus.

Diese möglichen Wirkmechanismen verdeutlichen den engen Zusammenhang der Merkmalsbereiche individueller Lernvoraussetzungen, insbesondere den Zusammenhang zwischen Arbeitsgedächtnis, Langzeitgedächtnis und Aufmerksamkeit.

3.1 Merkfähigkeit messen

Da der Zugang zu Langzeitgedächtnisinhalten nur über Arbeitsgedächtnis und/oder Aufmerksamkeit erfolgt (je nach Modell), geht es bei der Bewertung der Leistung darum, wie gut das Lernen und der Abruf von Inhalten gelingt. Hier gibt es zwei grundlegende Aufgabentypen: *Rekognitionsaufgaben* und *Reproduktionsaufgaben*. Bei der Rekognition sollen Informationen (z. B. ein Wort oder ein Bild) wiedererkannt werden. Die Informationen stammen häufig aus einer

vorangegangenen Lernphase. Es gibt verschiedene Möglichkeiten einen solchen Rekognitionstest auszugestalten, z. B. den sogenannten Ja-Nein-Rekognitionstest, bei dem bspw. Wörter aus einer Lernphase zusammen mit neuen Reizen bzw. Wörtern präsentiert werden (Buchner & Brandt, 2017). Die Testperson muss für jedes Wort entscheiden, ob dieses in der Lernphase präsentiert wurde oder nicht (Grube, 2011). Bei einer Forced-Choice-Rekognitions-Aufgabe soll hingegen aus mehreren gleichzeitig dargebotenen Reizen der (aus der Lernphase) bekannte Reiz ausgewählt werden. Ein Beispiel für freie Reproduktionsaufgaben sind schulische Prüfungen oder Tests. Häufig sollen die Inhalte der Lernphase (relativ) frei reproduziert werden. Wissen, welches weniger sicher ist, wird in freien Testsituationen weniger gut aufgedeckt (Buchner & Brandt, 2017).

Für die Lern- und Merkfähigkeit gibt es verschiedene Tests, die ihre Bedeutung jedoch eher in der klinischen Diagnostik und in der Forschung haben. So können etwa Enkodier- oder Abrufstörungen erkannt werden. In Abhängigkeit von der konkreten Leistung und Reizeigenschaft gibt es verbale oder figurale Gedächtnistests. Beim verbalen Lern- und Merkfähigkeitstest (VLMT) von Helmstaedter et al. (2001) geht es z. B. um das Lernen von Wortlisten, wobei die Wörter nach einer Lernphase frei wiedergegeben und/oder identifiziert werden sollen. Es gibt auch Tests, bei denen die zu lernenden Wörter bestimmten Kategorien angehören. Auf diese Weise kann das Nutzen von Lernstrategien geprüft werden (z. B. *California Verbal Learning Test*, deutsche Adaption von Niemann et al., 2008).

4 Konsequenzen für Diagnostik und Förderung

Werden die individuellen Gedächtnisressourcen überschritten, kommt es zu Verarbeitungs- und Speicherschwierigkeiten, die den Lernprozess oder die Bewältigung einer Aufgabe hindern. Damit sind Diagnostik und Förderung direkt angesprochen, denn jede Aufgabe stellt Anforderungen an die Informationsverarbeitung. Die Anforderungen ergeben sich zum einen aus dem Inhalt der Aufgaben und zum anderen aus der Aufgabendarstellung (Sweller, 2010). Da es kaum möglich ist, das Arbeitsgedächtnis selbst zu trainieren, sollten Aufgaben so gestaltet werden, dass die vorhandenen Ressourcen möglichst effizient genutzt werden können. Damit ist eine *ressourcenorientierte Lernförderung* angesprochen (Hecht, 2014; Krajewski & Ennemoser, 2010; Kuhl et al., 2021). Prinzipien, durch welche die kognitiven Ressourcen besser genutzt werden können, basieren auf den Annahmen der *Cognitive Load Theory* (CLT, Chandler & Sweller, 1991; Sweller, 1989, 2010), die sich mit der kognitiven Belastung beim Lernen befasst. Im Rahmen der CLT wurde u.a. geforscht wie die kognitiven Ressourcen beim Lernen genutzt werden, um Lernprozesse zu optimieren. Krajewski und Ennemoser (2010) sowie Hecht (2014) haben auf dieser Grundlage Prinzipien für die ressourcenorientierte Gestaltung von Lernmaterialien und -settings abgeleitet:

- auf das Vorwissen und die kognitiven Ressourcen abgestimmte Anforderungen
- Aufbau und Automatisierung von inhaltspezifischem Basiswissen
- sichtbares Lernziel und intuitiv erkennbare Lösungswege
- eindeutige Darstellungen (keine irrelevanten und ablenkenden Reize im Lernmaterial; keine unnötigen Wechsel von Formaten, klare Darstellung von nicht intuitiv erfassbaren Strukturen, räumlich nahe und integrierte Darstellung von zusammengehörigen Informationen)

- Beispiele mit anschließendem Transfer auf komplexe Anforderungen (Hecht, 2014, S. 52)

Die Begrenztheit der kognitiven Ressourcen wirkt sich auch auf diagnostische Aufgaben aus. Sind diese nicht ressourcenorientiert gestaltet, z. B. durch komplexe Instruktionen, bleibt möglicherweise nicht genügend Kapazität für die Auseinandersetzung mit dem Aufgabeninhalt oder die Lösung der Aufgabe übrig. Die kognitive Überlastung kann sich somit auf das Testergebnis auswirken. Die Schüler:innen brauchen dann mehr Zeit oder machen mehr Fehler, sodass der Test eine Leistung abbildet, die unter dem *wahren Wert* der Kompetenz zurückbleibt. Bei der Diagnostik und bei der Förderung sind ressourcenorientierte Aufgaben vor allem für Schüler:innen mit schwachen Lernvoraussetzungen wichtig.

Mehr zu den Prinzipien der Ressourcenorientierung findet sich im Beitrag »Evidenzbasierte Förderung bei Lernschwierigkeiten« von Kuhl et al. (2021). Umfassende Praxisleitfäden finden sich für den deutschen Sprachraum bislang noch nicht. Was den englischen Sprachraum betrifft, haben Gathercole und Alloway (2008) einen Leitfaden für Lehrer:innen entwickelt, in dem Sie eine Reihe von Grundsätzen und Strategien aufzeigen, die den Umgang mit dem limitierten Arbeitsgedächtnis betreffen. Dabei gehen Sie auch auf Anzeichen für eine Arbeitsgedächtnisüberlastung, die Reduktion von Arbeitsgedächtnisbelastung sowie Unterstützungsmaßnahmen für das Arbeitsgedächtnis im Unterricht ein.

Literatur

- Alloway, T. P. (2007). *Automated working memory assessment (AMWA)*. Pearson Assessment.
- Alloway, T. P. & Alloway, R. (2015). *Understanding working memory* (2nd edition). SAGE.
- Archibald, L. M. D. & Gathercole, S. E. (2006). Short-term and working memory in specific language impairment. *International Journal of Language and Communication Disorders*, 41, 675–693.
- Atkinson, R. C. & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: a proposed system and its control processes. In K. W. Spence & J. T. Spence (Eds.), *Psychology of Learning and Motivation. The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (Vol. 2, pp. 89–195). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60422-3](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60422-3)
- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. University Press.
- Baddeley, A. D. (1996). Exploring the Central Executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49(1), 5–28. <https://doi.org/10.1080/713755608>
- Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 11(4), 417–423.
- Baddeley, A. D. (2012). Working memory: Theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*, 63, 1–29. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100422>
- Berg, D. & Imhoff, M. (2001). Aufmerksamkeit und Konzentration. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (S. 42–49). Beltz.

- Brandenburg, J., Huschka, S. S., Visser, L. & Hasselhorn, M. (2021). Are different types of learning disorder associated with distinct cognitive functioning profiles? *Frontiers in Psychology, 12*, Artikel 725374. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.725374>
- Brickenkamp, R., Schmidt-Atzert, L. & Liepmann, D. (2010). *Test d2-Revision. Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest*. Hogrefe.
- Buchner, A. & Brandt, M. (2017). Gedächtniskonzeptionen und Wissensrepräsentationen. In J. Müsseler & M. Rieger (Hrsg.), *Allgemeine Psychologie* (3. Auflage, S. 401–434). Springer.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction, 8*(4), 293–332. https://doi.org/10.1207/s1532690xci0804_2
- Cowan, N. (2014). Working memory underpins cognitive development, learning, and education. *Educational Psychology Review, 26*(2), 197–223. <https://doi.org/10.1007/s10648-013-9246-y>
- Döpfner, M., Görtz-Dorten, A. & Lehmkuhl, G. (2008). *Diagnostik-System für psychische Störungen nach ICD-10 und DSM-IV für Kinder und Jugendliche (DISYPS-II)*. Huber.
- Döpfner, M., Lehmkuhl, G. & Steinhausen, H.-C. (2006). *Kinder-Diagnostik-System KIDS 1: Aufmerksamkeitsdefizit- und Hyperaktivitätsstörungen*. Hogrefe.
- Ennemoser, M., Marx, P., Weber, J. & Schneider, W. (2012). Spezifische Vorläuferfertigkeiten der Lesegeschwindigkeit, des Leseverständnisses und des Rechtschreibens. Evidenz aus zwei Längsschnittstudien vom Kindergarten bis zur 4. Klasse. *Zeitschrift Für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie, 44*(2), 53–64.
- Gathercole, S. E. & Alloway, T. P. (2008). *Working memory and learning: A practical guide for teachers*. SAGE.
- Graf Estes, K., Evans, J. L. & Else-Quest, N. M. (2007). Differences in the nonword repetition performance of children with and without specific language impairment: A meta-analysis. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 50*(1), 177–195. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2007/015\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2007/015))
- Grube, D. (2005). Entwicklung des Rechnens im Grundschulalter. In M. Hasselhorn, W. Schneider & H. Marx (Hrsg.), *Diagnostik von Mathematikleistungen* (S. 105–124). Hogrefe.
- Grube, D. & Hasselhorn, M. (2006). Längsschnittliche Analysen zur Lese-, Rechtschreib- und Mathematikleistung im Grundschulalter: Zur Rolle von Vorwissen, Intelligenz, phonologischem Arbeitsgedächtnis und phonologischer Bewusstheit. In I. Hosenfeld (Hrsg.), *Schulische Leistung: Grundlagen, Bedingungen, Perspektiven* (S. 87–105). Waxmann.
- Grube, D. & Seitz-Stein, K. (2012). Arbeitsgedächtnis und Rechnen. In M. Hasselhorn & C. Zoelch (Hrsg.), *Funktionsdiagnostik des Arbeitsgedächtnisses* (S. 145–157). Hogrefe.
- Gruber, T. (2011). *Gedächtnis*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-92096-2>
- Harris, K. R., Reid, R. R. & Graham, S. (2008). Selbstregulation bei Schülern mit Lernstörungen und Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung (ADHS). In B. Y. L. Wong (Hrsg.), *Lernstörungen verstehen* (S. 157–184). Spektrum.

- Hasselhorn, M. (2021). Lernstörungen: Ein unvermeidbares Schicksal? *Zeitschrift Für Pädagogische Psychologie*, Artikel 1010-0652/a000324, 1–17. <https://doi.org/10.1024/1010-0652/a000324>
- Hasselhorn, M. & Gold, A. (2017). *Pädagogische Psychologie: Erfolgreiches Lernen und Lehren* (4., aktualisierte Auflage). Kohlhammer.
- Hasselhorn, M. & Marx, H. (2000). Phonologisches Arbeitsgedächtnis und Leseleistung. In M. Hasselhorn, W. Schneider & H. Marx (Hrsg.), *Diagnostik von Leserechtschreibschwierigkeiten*. Hogrefe.
- Hasselhorn, M. & Schumann-Hengsteler, R. (2001). Arbeitsgedächtnis. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (S. 17–22). Beltz.
- Hasselhorn, M., Schumann-Hengsteler, R., Gronauer, J., Grube, D., Mähler, C., Schmid, I., Seitz-Stein, K. & Zoelch, C. (2012). *AGTB 5-12: Arbeitsgedächtnistestbatterie für Kinder von 5 bis 12 Jahren*. Hogrefe.
- Hecht, A. T. (2014). *Ressourcenorientierte Lernförderung in der Grundschule: Der Einfluss des Aufgabendesigns auf die Übungsleistungen von Zweitklässlern in Rechtschreiben und Mathematik*. Dissertation JLU Gießen. http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2014/10981/pdf/HechtAgnesTeresa_2014_07_08.pdf
- Helmstaedter, C., Lendt, M. & Lux, S. (2001). *Verbaler Lern- und Merkfähigkeitstest*. Hogrefe.
- Heubrock, D. & Petermann, F. (2001). *Aufmerksamkeitsdiagnostik. Kompendium Psychologische Diagnostik*. Hogrefe.
- Imhof, M. (2004). Diagnostik von Konzentration und Aufmerksamkeit in der Schule. In G. Büttner & L. Schmidt-Atzert (Hrsg.), *Diagnostik von Konzentration und Aufmerksamkeit* (3. Auflage, S. 233–247). Hogrefe.
- Kißler, C., Schwenk, C. & Kuhn, J. T. (2021). Zur Additivität kognitiver Defizitprofile bei komorbiden Lernstörungen. *Lernen und Lernstörungen*, 10(2), 89–101. <https://doi.org/10.1024/2235-0977/a000310>
- Kluszczewski, J., Brandenburg, J., Fischbach, A., Grube, D., Hasselhorn, M. & Büttner, G. (2015). Working memory functioning in children with poor mathematical skills. Relationships to IQ–achievement discrepancy and additional reading and spelling difficulties. *Zeitschrift Für Psychologie*, 223(2), 83–92. <https://doi.org/10.1027/2151-2604/a000206>
- Kluszczewski, J., Brandenburg, J., Fischbach, A., Schuchardt, K., Grube, D., Hasselhorn, M. & Büttner, G. (2018). Development of working memory from grade 3 to 5: Differences between children with and without mathematical learning difficulties. *International Journal of Disability, Development and Education*, 20, 1–17. <https://doi.org/10.1080/1034912X.2017.1419555>
- Kracke, B. (2021a). Die kognitive Komplexität des gemeinsamen Lerngegenstandes – Differenzierungsmatrizen aus lernpsychologischer Perspektive. In A. Sasse & U. Schulzeck (Hrsg.), *Inklusiven Unterricht planen, gestalten und reflektieren: Die Differenzierungsmatrix in Theorie und Praxis* (S. 35–50). Klinkhardt.
- Kracke, B. (2021b). Die kognitive Komplexität des gemeinsamen Lerngegenstands – Differenzierungsmatrizen aus lernpsychologischer Perspektive. In A. Sasse & U. Schulzeck (Hrsg.), *In-*

- klusiven Unterricht planen, gestalten und reflektieren: Die Differenzierungsmatrix in Theorie und Praxis* (S. 35–50). Klinkhardt.
- Krajewski, K. (2003). *Vorhersage von Rechenschwäche in der Grundschule*. Kovač.
- Krajewski, K. & Ennemoser, M. (2010). Die Berücksichtigung begrenzter Arbeitsgedächtnisressourcen in Unterricht und Lernförderung. In H.-P. Trolldenier, W. Lenhard & P. Marx (Hrsg.), *Brennpunkte der Gedächtnisforschung: Entwicklungs- und pädagogisch-psychologische Perspektiven* (S. 337–365). Hogrefe.
- Kuhl, J., Hecht, T. & Vossen, A. (2021). Evidenzbasierte Förderung bei Lernschwierigkeiten. In J. Kuhl, A. Vossen, N. Hartung & C. Wittich (Hrsg.), *Evidenzbasierte Förderung bei Lernschwierigkeiten in der Grundschule* (S. 40–49). Ernst Reinhardt.
- Kurth, E. & Büttner, G. (1999). *Testreihe zur Prüfung der Konzentrationsfähigkeit*. Hogrefe.
- Lidzba, K., Christiansen, H. & Drechsler R. (2013). *Conners Skalen zu Aufmerksamkeit und Verhalten – 3. Deutschsprachige Adaption der Conners 3rd Edition*. Huber.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A. & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex »frontal lobe« tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49–100.
- Moosbrugger, H. & Oehlschlägel, J. (2011). *FAIR-2. Frankfurter Aufmerksamkeits-Inventar*. Hogrefe.
- Müller, H. & Krummenacher, J. (2012). Funktionen und Modelle der selektiven Aufmerksamkeit. In H.-O. Karnath & P. Thier (Hrsg.), *Springer-Lehrbuch. Kognitive Neurowissenschaften* (S. 307–321). Springer.
- Niemann, H., Sturm, W., Thöne-Otto, A. I. T. & Willmes, K. (2008). *California verbal learning test. Deutsche Adaption*. Pearson.
- Pickering, S. J. (2006). Working memory in dyslexia. In T. P. Alloway & S. E. Gathercole (Eds.), *Working memory and neurodevelopmental disorders* (pp. 7–40). Psychology Press.
- Pressley, M., Borkowski, J. G. & Schneider, W. (1989). Good information processing: What it is and how education can promote it. *Journal of Educational Research*, 2, 857–867.
- Rollett, B. (2001). Die integrativen Leistungen des Gehirns und Konzentration: Theoretische Grundlagen und Interventionsprogramme. In K. J. Klauer (Hrsg.), *Handbuch kognitives Training* (2. Auflage, S. 539-557). Hogrefe.
- Schmidt-Atzert, L. (2004). Test d2: Aufmerksamkeits-Belastungs-Test. In G. Büttner & L. Schmidt-Atzert (Hrsg.), *Diagnostik von Konzentration und Aufmerksamkeit* (S. 87–101). Hogrefe.
- Schmidt-Atzert, L., Büttner, G. & Bühner, M. (2004). Theoretische Aspekte von Aufmerksamkeits-/Konzentrationsdiagnostik. In G. Büttner & L. Schmidt-Atzert (Hrsg.), *Diagnostik von Konzentration und Aufmerksamkeit* (S. 3–22). Hogrefe.
- Schuchardt, K., Bockmann, A. K., Bornemann, G. & Mähler, C. (2013). Working Memory functioning in children with learning disorders and specific language impairment. *Topics in Language Disorders*, 33(4), 298–312.

- Schuchardt, K., Mähler, C. & Hasselhorn, M. (2008). Working memory deficits in children with specific learning disorders. *Journal of Learning Disabilities, 41*(6), 514–523. <https://doi.org/10.1177/0022219408317856>
- Schuchardt, K. & Mähler, C. (2016). Exekutive Funktionen bei Kindern mit Lernstörungen. *Praxis der Kinderpsychologie und Kinderpsychiatrie, 65*, 389–405
- Seitz-Stein, K., Schumann-Hegsteler, R., Zoelch, C., Grube, D., Mähler, C. & Hasselhorn, M. (2012). Diagnostik der Funktionstüchtigkeit des Arbeitsgedächtnisses bei Kindern zwischen 5 und 12 Jahren: Die Arbeitsgedächtnisestatterie AGTB 5-12. In M. Hasselhorn & C. Zoelch (Hrsg.), *Funktionsdiagnostik des Arbeitsgedächtnisses* (S. 1–22). Hogrefe.
- Stang, J. & Urhahne, D. (2016). Wie gut schätzen Lehrkräfte Leistung, Konzentration, Arbeits- und Sozialverhalten ihrer Schülerinnen und Schüler ein? Ein Beitrag zur diagnostischen Kompetenz von Lehrkräften. *Psychologie in Erziehung und Unterricht, 63*, 204–219. <https://doi.org/10.2378/peu2016.art18d>
- Sweller, J. (1989). Cognitive technology: Some procedures for facilitating learning and problem solving in mathematics and science. *Journal of Educational Psychology, 81*, 457–466.
- Sweller, J. (2010). Cognitive Load Theory: Recent theoretical advances. In J. L. Plass, R. Moreno & R. Brünken (Eds.), *Cognitive Load Theory* (pp. 29–47). Cambridge University Press.
- Wilson, K. M. & Swanson, H. L. (2001). Are mathematics disabilities due to a domain-general or a domain-specific working memory deficit? *Journal of Learning Disabilities, 34*, 237–248.

Dr. Sarah Schulze ist wissenschaftliche Mitarbeiterin im Fachgebiet Unterrichtsentwicklungsforschung mit dem Schwerpunkt Inklusion an der Fakultät Rehabilitationswissenschaften der Technischen Universität Dortmund. Zu ihren Forschungsschwerpunkten gehören die evidenzbasierte Förderung im inklusiven Mathematikunterricht der Primarstufe, Zusammenhänge zwischen Arbeitsgedächtnis und mathematischen Kompetenzen und die Berücksichtigung schwacher Arbeitsgedächtnisressourcen bei der mathematischen Lernförderung. <https://orcid.org/0000-0001-9036-5254>

Dr. Claudia Wittich ist Lehrkraft für besondere Aufgaben am Institut für Erziehungswissenschaft in der Arbeitsgruppe Schulpädagogik - Inklusive Bildung an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster. Zu ihren Forschungsschwerpunkten gehören Diagnostik und evidenzbasierte Förderung bei mathematischen Lernschwierigkeiten sowie die Professionalisierung von Lehrkräften im inklusiven Unterricht. <https://orcid.org/0000-0002-9792-1732>

Prof. Dr. Jan Kuhl ist Professor für Unterrichtsentwicklungsforschung mit dem Schwerpunkt Inklusion an der TU Dortmund. Forschungsschwerpunkte sind die Evaluation und Implementierung von Konzepten der Diagnostik und evidenzbasierten Förderung im inklusiven Unterricht sowie professionelle Rollen und Kompetenzen von Lehrkräften in inklusiven Schulen. <https://orcid.org/0000-0002-5500-0281>

