Der Zusammenhang zwischen Arbeitsgedächtnisleistungen bei Kindern und Jugendlichen mit Lernschwierigkeiten und der Oberflächengestaltungen von digitalen Kommunikationshilfen

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors

der Philosophie (Dr. phil.)

der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg

vorgelegt von Nina Römer

aus Landau in der Pfalz

Stuttgart

2024

Erstgutachter: Prof. Dr. Markus Scholz

Zweitgutachter: Prof. Dr. Josef Strasser

Drittgutachter: Prof. Dr. Wolfgang Rauch

Datum des Abschlusses der mündlichen Prüfung: 13.12.2024

Danksagung

Zuallererst möchte ich meinem Erstbetreuer Prof. Dr. Markus Scholz ein herzliches Dankeschön aussprechen. Danke Markus, dass du mir stets ausführlich und hilfreich Rückmeldung zu meinen Arbeiten gegebenen hast. Du hast mich stets motivierend unterstützt und mir dabei unter anderem aufgezeigt, wie wichtig es ist *eine Geschichte zu erzählen*. Der wertschätzende Austausch mit dir hat dafür gesorgt, dass ich sowohl fachlich als auch persönlich viel lernen konnte. Danke hierfür!

Ebenfalls danken möchte ich Prof. Dr. Josef Strasser und Prof. Dr. Wolfang Rauch, die die Zweit- bzw. Drittbegutachtung meiner Dissertation übernommen haben sowie den Kommissionsmitgliedern der Disputation Prof. Dr. Michael Wagner und Prof. Dr. David Scheer.

Besonders hervorheben möchte ich zudem die studienteilnehmenden Kinder, Jugendliche, Lehrkräfte und Studierende. Dank diesen wurde meine Arbeit erst ermöglicht.

Auch gilt mein Dank den studentischen Hilfskräften, die eine stets verlässliche und große Unterstützung sowohl bei der Durchführung der Erhebungen als auch bei der Aufbereitung der Daten dargestellt haben.

Dem Team der Abteilung Geistige Entwicklung möchte ich ebenfalls meinen Dank aussprechen. Stephan, Ursula, Katja und Philipp, ihr seid ein super verlässliches Team gewesen, mit dem die Zusammenarbeit stets Spaß gemacht hat.

Auch den Doktorandinnen und Doktoranden der Fakultät für Teilhabewissenschaften gilt mein Dank. Der Austausch mit euch hat dafür gesorgt, dass ich mich mit den alltäglichen Herausforderungen, die eine Promotion so mit sich bringt, nicht allein fühlte.

Ebenso danke ich der Forschungsförderungsstelle, durch deren finanzielle Förderung der Abschluss meines letzten Forschungsartikels sichergestellt wurde.

Und zuletzt möchte ich ein von Herzen kommendes Dankeschön an meine Familie und Freunde schicken. Danke, dass ihr immer an mich glaubt, mich bei all meinen Ideen und Wegen unterstützt, ihr immer ein offenes Ohr für mich habt und mich mit der ein oder anderen Party den Dissertationsstress habt vergessen lassen. Mit euch fühlen sich auch schwierige Zeiten leichter an!

Publikationsliste

Dissertationsartikel

Römer, N. (2024). *Working memory and aided AAC display design options for students with intellectual disabilities* [Manuskript eingereicht[1]]. Fakultät für Teilhabewissenschaften. Pädagogische Hochschule Ludwigsburg.

*[2]Römer, N. (2024). Background colors as orientation cues for different grid sizes on aided AAC displays - A pilot eye tracking study. *Empirische Sonderpädagogik*. *16*(2), 122-136. https://doi.org/10.2440/003-0024

*Römer, N., Scholz, M. & Kehl, S. (2022). Systematisches Literaturreview zur Gestaltung von Kommunikationsoberflächen in der Unterstützten Kommunikation. *Zeitschrift für Heilpädagogik*, *73*(10), 492–509.

Weitere Forschungsartikel

Kehl, S. & Römer, N. (2024). *Associations of executive functions, adaptive behaviour and fluid intelligence in students with intellectual disability* [Manuskript in Vorbereitung]. Fakultät für Teilhabewissenschaften. Pädagogische Hochschule Ludwigsburg.

Kehl, S. & Römer, N. (2024). *Performance-based executive functions predict internalising but not externalising maladaptive behaviour in students with ID* [Manuskript eingereicht]. Fakultät für Teilhabewissenschaften. Pädagogische Hochschule Ludwigsburg.

Römer[3], N., Schmidt, M., Scholz, M. & Tempel, T. (2024). *Effects of background color cues in gaze-based symbol selections* [Manuskript eingereicht]. Fakultät für Teilhabewissenschaften. Pädagogische Hochschule Ludwigsburg.

Kehl, S., Römer, N. & Scholz, M. (2024). A comparison of working memory abilities between children with intellectual disability of non-specific aetiology and children with Down Syndrome in schools for intellectual development in Germany. *International*

[1] Das Manuskript wurde bei der Zeitschrift *Augmentative and Alternative Communication* für ein Peer-Review-Verfahren eingereicht.
[2] Studien, die mit einem Asterisk (*) gekennzeichneten sind, haben ein Peer-Review-Verfahren durchlaufen
[3] Geteilte Erstautorschaft von Römer, N. und Schmidt, M.

Journal of Developmental Disabilities, 1–10. https://doi.org/10.1080/20473869.2024.2421056

Römer, N. & Scholz, M. (2024). Gestaltung von digitalen Sprachausgabegeräten – Erkenntnisse aus der Forschung**.** *Unterstützte Kommunikation*, (1), 12-15.

Scholz, M., Kehl, S. & Römer, N. (2024). Arbeitsgedächtnisleistungen und fluide Intelligenz bei Schülerinnen und Schülern im Schwerpunkt geistige Entwicklung. Eine Erhebung an Schulen in Baden-Württemberg. *Zeitschrift für Heilpädagogik*, *75*(5), 219-230.

*Römer, N., Steinheber, H. & Scholz, M. (2022). Hintergrundfarben als Orientierungshilfen bei digitalen Kommunikationshilfen – Eine explorative Eye-Tracking Studie zur Effektivität in der Rekonstruktion auditiver Aussagen mit METACOM-Symbolen. *UK & Forschung*, *12*, 4-21.

Zusammenfassung

Kinder und Jugendliche mit Lernschwierigkeiten und komplexen Kommunikationsbedürfnissen können von digitalen Kommunikationshilfen profitieren, da diese unter anderem zur Teilhabe beitragen (Drager et al., 2010). Zum Einsatz kommen häufig sogenannte Rasteroberflächen. Wie diese allerdings gestaltet sein müssen, damit sie von Kindern und Jugendlichen mit Lernschwierigkeiten erfolgreich genutzt werden können, ist bislang nicht eindeutig geklärt. Deutlich wird jedoch, dass eine erfolgreiche Nutzung eng mit den kognitiven Fähigkeiten, insbesondere dem Arbeitsgedächtnis, verknüpft ist (u. a. Robillard et al., 2013). Die kumulative Dissertation widmet sich dieser Forschungslücke und geht der Frage nach, wie Oberflächen von Rasterdisplays in Bezug auf die jeweiligen Arbeitsgedächtnisprofile von Kindern und Jugendlichen mit Lernschwierigkeiten konzipiert sein müssen, sodass sich die Symbolauswahl als effektiv und effizient erweist.

Vorgestellt werden drei Forschungsartikel mit unterschiedlichen Teilaspekten, die zur Beantwortung der Fragestellung beitragen. Ersterer befasst sich im Rahmen eines systematischen Literaturreviews mit dem aktuellen Forschungsstand zur Oberflächengestaltung von Rasterdisplays (Römer et al., 2022a). Zweiterer untersucht die Auswirkungen von Hintergrundfarben in zwei verschiedenen Rastergrößen bei erwachsenen Personen ohne Lernschwierigkeiten (Römer, im Druck). Der letzte Artikel beschreibt den Zusammenhang zwischen den Arbeitsgedächtnisprofilen bei Kindern und Jugendlichen mit Lernschwierigkeiten und der Oberflächengestaltung von Rasterdisplays (Römer, 2024).

Zusammenfassend kann aufgezeigt werden, dass sich konstant geordnete Symbolpräsentationen in Bezug auf das schnelle Auffinden und Auswählen der Zielsymbole universell als hilfreich erweisen. Hintergrundfarben wirken bei Erwachsenen ohne Lernschwierigkeiten erst in größeren Rastern als Orientierungsreiz. Bei Kindern und Jugendlichen mit Lernschwierigkeiten muss hinsichtlich des Arbeitsgedächtnisses zwischen einem High- und Low-Performance-Profil unterschieden werden, um valide Aussagen über eine effiziente Oberflächengestaltung treffen zu können. Kinder und Jugendliche mit niedrigeren Spannenwerten scheinen von Symbolrahmungen zu profitieren, während größere Abstände zwischen einzelnen Symbolen bei der Suche nach dem Zielitem eher ablenkend wirken. Liegen höhere Arbeitsgedächtniswerte vor, lassen sich keine globalen Aussagen treffen. Die Entscheidung muss sich individuell an der spezifischen Leistung in den Subkomponenten orientieren.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis ... 11
1 Einleitung ... 13
2 Theoretischer Rahmen ... 15
2.1 Externe Kommunikationshilfen ... 15
2.1.1 Gestaltungsmöglichkeiten von Rasterdisplays ... 16
2.1.2 Aktueller Forschungsstand zur Gestaltung von Rasterdisplays ... 17
2.2 Arbeitsgedächtnis ... 19
2.2.1 Aktueller Forschungsstand zu Arbeitsgedächtnisprofilen bei Kindern und Jugendlichen mit Lernschwierigkeiten ... 20
2.2.2 Arbeitsgedächtnis im Kontext der Anwendung externer Kommunikationshilfen ... 23
2.3 Übergeordnete Fragestellungen ... 25
3 Kontext, Methodik und Ergebnisse der Forschungsartikel ... 28
3.1 Forschungsartikel 1 ... 28
3.1.1 Kontext und Methodik ... 28
3.1.2 Ergebnisse ... 28
3.2 Forschungsartikel 2 ... 30
3.2.1 Kontext und Methodik ... 30
3.2.2 Ergebnisse ... 31
3.3 Forschungsartikel 3 ... 31
3.3.1 Kontext und Methodik ... 31
3.3.2 Ergebnisse ... 33
4 Beantwortung der übergeordneten Fragestellungen ... 38
5 Diskussion ... 40
5.1 Kritische Auseinandersetzung mit den Ergebnissen ... 40
5.2 Limitationen und Implikationen ... 41
Literaturverzeichnis ... 47
Anhang ... 63
Forschungsartikel 1 ... 63
Forschungsartikel 2 ... 103
Forschungsartikel 3 ... 127
Erklärung über die individuellen Leistungsbeiträge ... 157

Abkürzungsverzeichnis

AAIDD = American Association on Intellectual and Developmental Disabilities

CHC-Modell = Cattell-Horn-Carroll-Modell

Gf = Intelligenzfaktor fluides Schlussfolgern

Gwm = Intelligenzfaktor Arbeitsgedächtnis

ICD = International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems

ICF-CY = International Classification of Functioning, Disability and Health, Children and Youth Version

PCS = Picture-Communication-Symbols

SBBZ = Sonderpädagogisches Bildungs- und Beratungszentrum

SGD = Speech-Generating-Device

VSD = Visual-Scene-Display

1 Einleitung

Kinder und Jugendliche mit Lernschwierigkeiten[4] weisen oftmals komplexe Kommunikationsbedürfnisse auf (Snell et al., 2010). Der Begriff *komplexe Kommunikationsbedürfnisse* beruht auf der englischsprachigen Bezeichnung *complex communication needs* und sagt aus, dass die Verbalsprache für eine vorübergehende oder dauerhafte Zeitspanne nur eingeschränkt oder auch gar nicht zur Kommunikation genutzt werden kann. Um diesen Kommunikationsbedürfnissen gerecht zu werden, kann auf alternative und unterstützende Kommunikationsformen zurückgegriffen werden (Beukelman & Light, 2020). Mögliche Hilfsmittel stellen hierbei externe Kommunikationshilfen dar. Diese bieten einerseits die Chance einer verbesserten Teilhabe, indem sie beispielsweise die funktionalen Kommunikationsfähigkeiten und die Sprachentwicklung fördern (Drager & McNaughton, 2010), andererseits ergeben sich aus ihrem Nutzen auch Herausforderungen. So erweist sich im Vergleich zur Verbalsprache beispielsweise der Kommunikationsprozess als verlangsamt (Künzel, 1997; Smith et al., 2006; Wang, 2021). Von den nutzenden Personen und deren Familien wird dies häufig als Barriere empfunden (Baxter et al., 2012).

Darüber hinaus werden besondere kognitive Anforderungen, vor allem solche an das Arbeitsgedächtnis, sowohl übergreifend in der Kommunikation (Baddeley, 2003; Navarro, 2020) als auch bei der Nutzung einer externen Kommunikationshilfe unter Bezugnahme auf die Cognitive-Load-Theorie (Paas & Sweller, 2014) gestellt. Die Cognitive-Load-Theorie besagt, dass die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses begrenzt ist. Die Menge an Inhalten, die aufgenommen werden kann, wird dabei durch intrinsische (*intrinsic*; Komplexität des Lernmaterials in Abhängigkeit von Vorwissen), extrinsische (*extraneous*; Design und Darstellung des Lernmaterials bzw. Lernvorgaben) und zusätzliche nicht-lernbezogene (g*ermane*; resultierend aus dem Zusammenspiel von intrinsischer und extrinsischer Belastung) kognitive Belastungen beeinflusst (Sweller et al., 2011). Externe Kommunikationshilfen können als intrinsische und extrinsische Belastung verstanden werden. Aufgrund der besonderen kognitiven Ausgangsbedingungen von Personen mit Lernschwierigkeiten kann sich die Nutzung einer externen

[4] Aus mehreren Gründen wird der Begriff „Lernschwierigkeiten“ statt „Geistige Behinderung“ verwendet. Zum einen stützt er sich auf die begriffliche Selbstbestimmung (Netzwerk People First e.V., o. J.) und zum anderen umfasst er sowohl die medizinische Diagnose einer Intelligenzminderung nach der International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems, 10. Revision bzw. 11. Revision (ICD-10/11; World Health Organization, 2022) als auch die Schülerschaft von Förderschulen mit dem Schwerpunkt Geistige Entwicklung, bei welcher keine medizinische Diagnose einer Intelligenzminderung Voraussetzung für die Beschulung darstellt, sondern sich die Definition der geistigen Behinderung an der International Classification of Functioning, Disability and Health, Children and Youth Version (ICF-CY; World Health Organization, 2007) orientiert und eine individuelle pädagogisch-diagnostische Begutachtung vorgenommen wurde (Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg; 2022).

Kommunikationshilfe somit als herausfordernd darstellen. Folglich ist es von Bedeutung, dass die Kommunikationshilfe den spezifischen Bedürfnissen angepasst wird (Light et al., 2019). Zum Einsatz kommen zunehmend Speech-Generating-Devices (SGD; Crowe et al., 2022). Diese Hightech-Anwendungen können beispielsweise Rasterdisplays abbilden. Anhand der bisherigen Forschungslage haben sich allerdings noch keine eindeutigen Aussagen zum Nutzen spezifischer Designoptionen innerhalb dieser Rasteroberflächen treffen lassen. Dass bislang hauptsächlich Erwachsene ohne Lernschwierigkeiten sowie Kinder und Jugendliche mit durchschnittlicher Entwicklung als Stichprobe herangezogen wurden, ist dabei nur einer der Gründe.

Folglich ist es das Ziel der kumulativen Dissertation, einerseits den aktuellen Forschungsstand zur Gestaltung von Rasteroberflächen systematisch zu analysieren und andererseits anhand dieser Erkenntnisse mögliche hilfreiche Gestaltungsoptionen für Kinder und Jugendliche mit Lernschwierigkeiten abzuleiten und empirisch zu untersuchen. Kapitel 2 bietet hierbei einen in die Thematik einführenden theoretisch-kontextuellen Rahmen. Es werden gleichwohl theoretische als auch empirische Erkenntnisse zu externen Kommunikationshilfen, deren Gestaltungsoptionen, zum Arbeitsgedächtnis und dem Zusammenhang beider Konstrukte erläutert. Die methodische Vorgehensweise und die Kerninhalte der drei Forschungsartikel werden in Kapitel 3 dargelegt. Eine Synthese der Ergebnisse folgt in Kapitel 4. Abschließend werden die gewonnenen Erkenntnisse in Kapitel 5 diskutiert und es werden Limitationen und Implikationen für eine weitere Forschung sowie für die Praxis aufgezeigt.

2 Theoretischer Rahmen

Nachfolgend werden sowohl theoretische Konzepte zu externen Kommunikationshilfen, im Spezifischen zu Rasteroberflächen, als auch zum Arbeitsgedächtnis mit dem Schwerpunkt auf Kinder und Jugendliche mit Lernschwierigkeiten dargelegt. Daran anknüpfend wird über Erkenntnisse aus der Forschung berichtet und diese werden in einen forschungslogischen Zusammenhang gebracht.

2.1 Externe Kommunikationshilfen

Wie bereits einleitend dargelegt, gibt es verschiedene Formen der Unterstützten Kommunikation. Unterschieden wird dabei zwischen körpernahen Kommunikationshilfen (z. B. Gesten) sowie körperexternen Lowtech- (z. B. Kommunikationstafeln) und Hightech- (z. B. digitale Sprachausgabegeräte, SGD) Kommunikationshilfen (Beukelman & Light, 2020). Bei den Hightech-Geräten kann das Vokabular entweder in visuellen Szenen, sogenannten Visual-Scene-Displays (VSD), oder in Zeilen und Spalten, sogenannten Rasterdisplays, abgebildet werden. Bei den VSD wird das Vokabular in einen bildlichen bzw. fotografischen Kontext eingebettet (z. B. Bild eines Gartens für das Wort „Blume“, Wilkinson et al., 2012). In Rasteroberflächen werden im Gegensatz dazu Bilder/Symbole, Wörter oder die Kombination von mehreren Elementen in einzelnen Spalten und Zeilen, also in mehreren Zellen abgebildet (u. a. Drager et al., 2004). Zudem kann das Vokabular statisch auf nur einer einzelnen Seite oder dynamisch nacheinander auf mehreren Seiten bzw. zugleich auch hybrid präsentiert werden (Beukelman & Light, 2020). Im deutschen Sprachraum finden bei Rasteroberflächen überwiegend die Picture-Communication-Symbols (PCS, Mayer-Johnson LLC, 2011) sowie die METACOM-Symbolsammlung (Kitzinger, 2022) Verwendung. Im direkten Vergleich beider Darstellungsformen erweisen sich VSD eher für jüngere Kinder unter drei Jahren als hilfreich (Drager et al., 2003). Bei Kindern, die dem Autismus-Spektrum zugeordnet werden, hat sich gezeigt, dass individuelle Entscheidungen hinsichtlich des Formats getroffen werden müssen (Gevarter et al., 2017; Gevarter et al., 2020b). Als nachteilig zeigt sich bei der Verwendung von VSD, dass die Symbolbedeutungen an den jeweiligen Kontext gebunden sind. Demnach lassen sich Homonyme, also formgleiche Wörter mit unterschiedlichen Bedeutungen (z. B. „Note“, „Kiefer“), sowie beispielsweise Funktionswörter eindeutiger bzw. besser in Rasterdisplays darstellen (Scholz & Stegkemper, 2022). Schlussfolgernd muss die Entscheidung für ein spezifisches Format somit individuell getroffen werden.

Die Ansteuerung von digitalen Kommunikationshilfen kann über verschiedene Modi erfolgen. Beispielsweise können die Zielitems per Mausklick, Joystick, mittels Berührung eines

Touchscreens oder auch über Blickbewegungen via Eyetracking angesteuert werden. Die Auswahl der Symbole kann direkt oder via Scanning erfolgen (Beukelman & Light, 2020). Eine Ansteuerung mittels Eyetracking ermöglicht vor allem Personen mit motorischen Schwierigkeiten den Zugang zur digitalen Kommunikationshilfe (Fager et al., 2011; Fager et al., 2019). Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass differente Ansteuerungsmöglichkeiten mit unterschiedlichen Vor- und Nachteilen einhergehen (Elsahar et al., 2019).

2.1.1 Gestaltungsmöglichkeiten von Rasterdisplays

Das Ziel einer hilfreichen externen Kommunikationshilfe sollte es sein, den Kommunikationsprozess anzuregen sowie ihn effektiv und effizient zu gestalten. Ersteres bezieht sich auf die Kommunikationsrate bzw. intentionale Nutzung, während die *Effektivität* auf die Genauigkeit, mit welcher intentionale Inhalte auf der Oberfläche ausgewählt und ausgegeben werden, abzielt. Daneben wird *Effizienz* als die Zeit definiert, die benötigt wird, um ein Zielitem zu fixieren oder eine Nachricht zu erstellen. Beeinflusst werden können die Effektivität und Effizienz durch die Oberflächengestaltung (Light et al., 2019). Zudem hängt die erfolgreiche Nutzung von visuellen und kognitiven Faktoren ab. In Anlehnung an kognitionswissenschaftliche Theorien führen Wilkinson und Jagaroo (2004) folgende relevante Gestaltungsparameter an: die Symbolfarbe, die Darstellung in Rastern oder visuellen Szenen, die axiale Orientierung und die Symmetrie, die Symbolanordnung (z. B. Anordnung nach syntaktischen, semantischen, farblichen Aspekten), die Symbolfarbe sowie der Symbolkontrast. Des Weiteren können Hintergrundfarben, Rahmenfarben (Light et al., 2019) und die Anzahl der Symbole (u. a. Petroi et al., 2014) modifiziert werden.

Hinweisreize, die mit Farben oder bestimmten Platzierungen verbunden sind, lassen sich auf Überlegungen aus dem Bereich der Wahrnehmungs- und Gestaltpsychologie zurückführen. Die Suche nach spezifischen Objekten sowie deren Einprägen können durch den bewussten Einsatz von Farben, Formen und räumlichen Merkmalen erleichtert werden (Gegenfurtner & Rieger, 2000). Gemäß dem Prinzip der gemeinsamen Region werden Elemente, die nahe beieinander liegen, als zusammengehörig wahrgenommen. Beispielsweise werden somit durch räumliche Abstände oder auch Farben einzelne Regionen voneinander abgegrenzt (Palmer, 1992). Besteht eine farbliche Übereinstimmung, besagt das Prinzip der Ähnlichkeit, dass die Objekte auch bei unterschiedlichen Formen als Einheit angesehen werden und umgekehrt (Koffka, 1935; Palmer, 1992).

2.1.2 Aktueller Forschungsstand zur Gestaltung von Rasterdisplays

Innerhalb eines im US-amerikanischen Raum durchgeführten Surveys wurden Sprachtherapeuten (*speech-language pathologists*) zu ihren Entscheidungen bezüglich der Auswahl des Designs von externen Kommunikationshilfen befragt. Dabei zeigte sich, dass die Mehrheit der Befragten Rasterdisplays bevorzugt. Hintergrundfarben kommen bei allen Befragten unregelmäßig und bei einem Großteil der Sprachtherapeuten regelmäßig zum Einsatz sowie auch Symbole mit Vordergrundfarben. Des Weiteren wurde ersichtlich, dass über ein Viertel der Befragten auf die Verwendung einer konstanten Präsentation des Vokabulars auf der Oberfläche achtet (Thistle & Wilkinson, 2015). Auch in einem von Tönsing et al. (2022) durchgeführten Scoping-Review wurde unter anderem festgestellt, dass in sieben von 28 erfassten Studien, die sich mit dem Design- oder Entwicklungsprozess von digitalen Rasteroberflächen befassen, Hintergrundfarben verwendet wurden.

Empirische Aussagen zu den Auswirkungen der Gestaltung von Rasteroberflächen auf die Kommunikationsrate konnten bisher nicht getroffen werden. Studien haben sich bisher vornehmlich auf den Vergleich zwischen VSD und Rasterdisplays (u. a. Barton-Hulsey et al., 2017) oder die Auswirkungen auf die expressive Sprachproduktion beschränkt (u. a. Schlosser & Wendt, 2008). Neuere Forschungsansätze ziehen als weitere Untersuchungsvariable die Erfassung der Blickbewegungen zum Beispiel unter dem Aspekt der Auffindegeschwindigkeit einzelner Items auf einer Oberfläche heran (u. a. Wilkinson & Madel, 2019). Wilkinson und Mitchell (2014) beschreiben die Vorteile (u. a. Verbindung der Erfassung visueller und kognitiver Prozesse, von Motorik unabhängige Erhebung, Erkennen von Suchmustern), aber auch die Herausforderungen (u. a. besondere Anforderungen und Voraussetzungen an Teilnehmende, z. B. ruhig sitzen, keine visuellen Beeinträchtigungen), die mit Eyetracking-unterstützten Untersuchungen von Kommunikationsoberflächen einhergehen. Obgleich sich durch die neuen Forschungsmöglichkeiten vielversprechende Perspektiven eröffnen, konnten bislang keine eindeutigen Schlussfolgerungen zur Effektivität und Effizienz einzelner Hinweisreize gezogen werden. Zwar liegen empirische Betrachtungen unterschiedlicher Formen von Hinweisreizen vor, doch fehlt es an systematischen Ableitungen.

Allgemein betrachtet fallen die Ergebnisse je nach Stichproben-Population und Untersuchungsdesign unterschiedlich aus. Beispielsweise wählen erwachsene Personen bei einem 60-Symbol-Raster mit Hintergrundfarben die Zielsymbole signifikant schneller aus als bei einem Raster ohne farbigen Hintergrund oder farblich markierte Symbolrahmungen (Thistle, 2019). Auch bei einer Stichprobe von 10 Jugendlichen und Erwachsenen mit Down-Syndrom wurden bei einem

16-Symbol-Raster mit Hintergrundfarben signifikant schnellere Auswahlzeiten und bei größeren Symbolabständen signifikant weniger Fixationen auf Distraktoren und auf Symbole innerhalb einer grammatikalischen Klasse gemessen (Wilkinson et al., 2022). Hingegen zeigen sich bei Kindern und Jugendlichen mit durchschnittlicher Entwicklung zum Teil keine positiven oder sogar gegensätzliche Effekte bezüglich des Nutzens von Hintergrundfarben (u. a. Thistle & Wilkinson, 2009; Wilkinson & Snell, 2011). Im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen wurden zudem unterschiedliche Anordnungsmöglichkeiten, die duale Präsentation von Symbolen und Text sowie variierende Lokalisierungsebenen und Rastergrößen als weitere Hinweisreize untersucht. Da sich der erste Forschungsartikel der vorliegenden Dissertation der systematischen Aufarbeitung dieses Forschungsstands widmet, können detaillierte Erkenntnisse zu dieser Thematik in Kapitel 3.1 eingesehen werden.

Ein weiterer Aspekt, der die Interpretation der Ergebnisse erschwert, ist der Umstand, dass in nur wenigen Studien Personen mit Lernschwierigkeiten (Wilkinson et al., 2008; Wilkinson & Madel, 2019; Wilkinson & McIlvane, 2013) und in den meisten Erhebungen Personen ohne Einschränkungen als Stichprobe herangezogen wurden (Alant et al., 2010; Dukhovny & Zhou, 2016; Mizuko et al., 1994; Patel et al., 2006; Thistle, 2019; Thistle et al., 2018; Thistle & Wilkinson, 2009; Thistle & Wilkinson, 2017; Wilkinson et al., 2006; Wilkinson et al., 2015; Wilkinson et al., 2022; Wilkinson et al., 2014; Wilkinson & Snell, 2011). Da letztere Personengruppe andere kognitive Ausgangsbedingungen aufweist als Kinder und Jugendliche mit Lernschwierigkeiten, lassen sich die Ergebnisse nicht ohne Einschränkungen auf diese übertragen. Aktuelle Studien belegen, dass verschiedene kognitive Funktionen, insbesondere das Arbeitsgedächtnis, bei der Auswahl von Symbolen auf einer Rasteroberfläche involviert sind (Robillard et al., 2013; Shin & Park, 2022). Untersuchungen zur Verbalsprache zeigen zudem, dass Arbeitsgedächtnisdefizite die Kommunikation beeinträchtigen und Fehler in der Sprachproduktion zunehmen, wenn der Cognitive Load hoch ist (Navarro et al., 2020). Zusammenfassend kann somit angenommen werden, dass die externe Kommunikationshilfe einen zusätzlichen Cognitive Load erzeugt. Kommt in einem Kommunikationsprozess eine externe Kommunikationshilfe zum Einsatz, so müssen neben den Inhalten der Kommunikation, auch Positionen der einzelnen Elemente auf der Oberfläche gemerkt und erinnert werden. Gleiches gilt sowohl hinsichtlich der intendierten Nachricht der kommunizierenden Person als auch in Bezug auf mögliche Informationen und Kommunikationsinhalte der interagierenden Person (Thistle & Wilkinson, 2013).

Demnach ist es unerlässlich, die kognitiven Profile, vornehmlich das Arbeitsgedächtnis, von Kindern und Jugendlichen mit Lernschwierigkeiten zu erfassen. Nur so ist eine Anpassung des Oberflächendesigns an die Bedürfnisse der unterstützt-kommunizierenden Person möglich. Relevante empirische Ergebnisse der Arbeitsgedächtnisforschung werden in den nachfolgenden Kapiteln dargestellt.

2.2 Arbeitsgedächtnis

Das verbreitetste Modell im Rahmen der Arbeitsgedächtnisforschung stellt das Mehr-Komponenten-Modell nach Baddeley (Baddeley, 2000) bzw. ursprünglich Baddeley und Hitch (1974) dar. Hierbei wird das Arbeitsgedächtnis als temporäres, in seiner Kapazität limitiertes Speichersystem verstanden. Dieses gliedert sich in vier Subsysteme: 1. die Phonologische Schleife, 2. den Visuell-räumlichen Notizblock, 3. den Episodischen Puffer und 4. die Zentrale Exekutive.

1. Aufgabe der Phonologischen Schleife ist die kurzzeitige Speicherung von verbalen bzw. auditiven Informationen. Unterteilt wird sie in einen artikulatorischen Kontrollprozess (Rehearsal) und den phonologischen Speicher. Innerhalb des artikulatorischen Kontrollprozesses werden die Inhalte zur Aufrechterhaltung aktiv durch inneres Sprechen wiederholt und visuelle Inhalte rekodiert. Zur kurzzeitigen Speicherung des phonologischen Inhaltes trägt der phonologische Speicher bei (Baddeley, 2003).

2. Auch der Visuell-räumliche Notizblock weist zwei Subkomponenten auf. Dynamisch-räumliche sowie mit großer Wahrscheinlichkeit kinästhetische Informationen werden im Inneren Schreiber gespeichert, während sich die Speicherung von visuell-statischen Informationen im Visuellen Puffer vollzieht (Allen et al., 2014; Logie, 2011).

3. Als Schnittstelle zwischen dem Langzeitgedächtnis und den weiteren Komponenten des Arbeitsgedächtnisses agiert der Episodische Puffer. Er bündelt die Informationen der Subsysteme und verknüpft diese mit Langzeitgedächtnis-Inhalten (Baddeley, 2012).

4. Zuständig für die Steuerung von Aufmerksamkeitsprozessen ist die Zentrale Exekutive. Hierbei kommt insbesondere dem Exekutiv-aufgeladenen Gedächtnis innerhalb der Arbeitsgedächtnisfunktionen eine tragende Rolle zu (Henry, 2012). Dessen Aufgabe ist es, Informationen zeitgleich zu speichern und zu verarbeiten (Bayliss et al. 2003; Brankaer et al. 2013). Allerdings sind der spezifische Aufbau und damit auch die Anzahl sowie die konkreten Funktionen, deren Bezeichnungen und die Entwicklung über die Lebensspanne der einzelnen Subkomponenten der Zentralen Exekutive nicht eindeutig geklärt (Baddeley, 2012; Morra et al., 2018). Nicht unumstritten ist auch, ob die Arbeitsgedächtniskapazität bei visuellen Aufgaben von

Aufmerksamkeitsprozessen, die der Zentralen Exekutive zugeschrieben werden, weitestgehend ab- oder unabhängig sind (Kane et al., 2006; Tay & McDonald, 2022).

Gemessen werden die Leistungen des Arbeitsgedächtnisses üblicherweise in Spannen. Diese entsprechen der maximalen Anzahl an Informationseinheiten, die erinnert werden können (Conway et al., 2005). Die Funktionsweise des Arbeitsgedächtnisses scheint bei durchschnittlich entwickelten Kindern ab einem Lebensalter von vier Jahren zu greifen (Alloway et al., 2006), der genaue Entwicklungsprozess ist jedoch nicht manifest erforscht. Gathercole et al. (2004) sprechen von einem Fortschritt bis ins Jugendalter hinein, während Simmering und Perone (2012) einen dynamischen Prozess beschreiben, der von mehreren Variablen (u. a. untersuchte Subkomponente, spezifische Arbeitsgedächtnisaufgabe) beeinflusst wird.

2.2.1 Aktueller Forschungsstand zu Arbeitsgedächtnisprofilen bei Kindern und Jugendlichen mit Lernschwierigkeiten

Für das nachfolgende Kapitel muss bedacht werden, dass sich einerseits die internationalen Kriterien und Definitionen für Lernschwierigkeiten (z. B. American Association on Intellectual and Developmental Disabilities, AAIDD; Schalock et al., 2021) zu jenen in Deutschland unterscheiden (Kehl & Scholz, 2021) und andererseits in Deutschland keine medizinische Diagnose einer Intelligenzminderung nach ICD-10/11 für die Beschulung in einer Schule mit dem Förderschwerpunkt Geistige Entwicklung vorliegen muss (Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg, 2022). Demnach umfasst der dargelegte Forschungsstand auch Studien, die sich auf Personen mit einem Intelligenzquotienten zwischen 70 und 85 Wert-Punkten beziehen. Zudem ist von Relevanz, dass eine Lernschwierigkeit mit einem spezifischen Syndrom einhergehen, aber auch eine unbekannte Ätiologie aufweisen kann (Chelly et al., 2006). Je nach Syndrom zeigen sich oftmals spezifische Arbeitsgedächtnisprofile, wie nachfolgend dargelegt wird.

Der Forschungsstand zu Arbeitsgedächtnisprofilen bei Kindern und Jugendlichen mit Lernschwierigkeiten zeigt sich als äußerst heterogen. Spezifische Stärken und Schwächen innerhalb des Arbeitsgedächtnisses sind sowohl von der Vergleichsgruppe als auch von der jeweiligen Aufgabe abhängig. Lifshitz et al. (2016) bezeichnen dies als aufgaben- und versuchspersonenbezogene Unterschiede. Erwähnenswert sei an dieser Stelle, dass die fluide Intelligenz (Gf) mit der Arbeitsgedächtnisleistung korreliert (Oberauer et al., 2005; Saeed & Tahir, 2016). Übereinstimmend mit diesem Befund wurde aufgezeigt, dass unterschiedliche Grade von Lernschwierigkeiten auch mit unterschiedlichen Leistungen innerhalb des Arbeitsgedächtnisses einhergehen. Demnach wurden bei Kindern mit mittelgradigen im Vergleich zu Kindern mit leichten

Lernschwierigkeiten bei komplexeren Aufgaben, die das Exekutiv-aufgeladene Arbeitsgedächtnis betreffen, signifikant schlechtere Leistungen erhoben (Henry, 2001).

In der Gesamtschau ergeben sich bei Personen mit Lernschwierigkeiten im Vergleich zu Gruppen mit dem gleichen mentalen Alter ohne kognitive Einschränkungen ähnliche Ergebnisse und bei einem Matching anhand der fluiden Intelligenz sogar gleiche Leistungen (Kehl & Scholz, 2021; Lifshitz et al., 2016). Wird eine Vergleichsgruppe anhand des chronologischen Alters gebildet, fallen die Ergebnisse der Personen mit Lernschwierigkeiten in allen Bereichen (Visuell-räumlicher Notizblock > Exekutiv-aufgeladenes Arbeitsgedächtnis > Phonologische Schleife; Lifshitz et al., 2016) bzw. im Visuell-räumlichen Notizblock und dem Exekutiv-aufgeladenen Arbeitsgedächtnis signifikant schlechter aus (Kehl & Scholz, 2021). Darüber hinaus ist bei Jugendlichen mit Down-Syndrom und Autismus-Spektrum-Störungen die Arbeitsgedächtnisleistung bei allen Teilkomponenten schlechter als bei einer Gruppe mit unspezifischer Ätiologie (Trezise et al., 2014). Eine deskriptive Betrachtung der Arbeitsgedächtnisleistung bei Schülerinnen und Schülern mit unterschiedlichen Syndromen bzw. mit unspezifischer Ätiologie aus Baden-Württemberg kommt zu dem Ergebnis, dass im Durchschnitt drei Items erinnert werden, es jedoch insgesamt eine große Spannbreite (von null bis sechs Items) gibt. Anknüpfend an den aktuellen Forschungsstand zeigen sich auch bei der Auswertung nach Ätiologie der Lernschwierigkeit Unterschiede zwischen einzelnen Gruppen. Die niedrigsten Werte werden von Kindern und Jugendlichen mit Down-Syndrom und die höchsten Werte von Kindern und Jugendlichen mit unbekannter Ätiologie der Lernschwierigkeit erzielt. Da es sich hierbei allerdings lediglich um eine deskriptive Auswertung handelt, können keine signifikanten korrelativen Schlüsse gezogen werden (Scholz et al., 2024).

Bei Betrachtung der einzelnen Subkomponenten des Arbeitsgedächtnisses können die Performanzen unterschiedlicher Vergleichsgruppen differenzierter betrachtet werden. Die Phonologische Schleife scheint eine relative Schwäche bei Kindern und Jugendlichen mit Down-Syndrom darzustellen. Dies zeigt sich sowohl im Vergleich mit Personen, die eine andere Ätiologie der Lernschwierigkeiten vorweisen (Conners et al., 2011; Godfrey & Lee, 2018; Kehl et al., 2024) als auch im Vergleich zu Gruppen, die dem gleichen mentalen und dem chronologischen Alter zugeordnet wurden (Conners, 2011; Godfrey & Lee, 2018; Tungate & Conners, 2021). Ähnliche schlechte Leistungen im Vergleich zu Personen ohne Einschränkungen und dem gleichen chronologischen Alter zeigen sich bei Personen mit Prader-Willi-Syndrom (Jauregi et al., 2007). Ferner konnten in Relation zu Personen mit dem gleichen mentalen Alter bei Kindern

und Jugendlichen mit Zerebralparese und komplexen Kommunikationsbedürfnissen ebenfalls niedrigere Spannenwerte gemessen werden (Larsson & Sandberg, 2008).

Auch über die Leistung bei visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisaufgaben lassen sich keine eindeutigen Aussagen treffen, denn diese sind ebenfalls von Personen- und Vergleichsgruppen abhängig. Es gibt jedoch Hinweise darauf, dass beim Vergleich von Kindern und Jugendlichen mit Down-Syndrom mit Personen mit Fragilem X-Syndrom, Williams-Syndrom und unspezifischer Ätiologie der Lernschwierigkeit in Bezug auf den Visuell-räumlichen Notizblock ähnliche oder sogar bessere Leistungen bei ersterer Personengruppe erreicht werden (Conners et al., 2011). Auch bei Kehl et al. (2024) können keine signifikanten Leistungsunterschiede zwischen Kindern und Jugendlichen mit Down-Syndrom und unspezifischer Ätiologie festgestellt werden. Andererseits wurden signifikant geringere Spannen im Vergleich zu durchschnittlich entwickelten Kindern und Jugendlichen gemessen (Tungate & Conners, 2021). Auch Personen mit Prader-Willi-Syndrom zeigen signifikant niedrigere Werte als eine dem chronologischen Alter nach zugeordnete Vergleichsgruppe (Walley & Donaldson, 2005). Bei Kindern mit Zerebralparese und komplexen Kommunikationsbedürfnissen wird im Vergleich zu einer Gruppe von Kindern mit durchschnittlicher Entwicklung und gleichem mentalen Alter ebenfalls von einer schlechteren Leistung berichtet (Larsson & Sandberg, 2008).

Die Schwierigkeiten, die Personen mit Down-Syndrom bei der Phonologischen Schleife aufweisen, zeigen sich auch bei verbal-basierten Aufgaben des Exekutiv-aufgeladenen Arbeitsgedächtnisses (Godfrey & Lee, 2018). Wie auch beim Visuell-räumlichen Notizblock kann allerdings im Vergleich zu Kindern und Jugendlichen mit unspezifischer Ätiologie kein Unterschied in der Leistung festgestellt werden (Kehl et al., 2024). Bei Personen mit Prader-Willi-Syndrom liegen keine signifikanten Unterschiede zu einer Kontrollgruppe mit vergleichbarem chronologischem Alter und gleichen verbalen Fähigkeiten vor (Walley & Donaldson, 2005). Bessere Leistungen als eine Kontrollgruppe (durchschnittliche Entwicklung; Matching nach mentalem Alter) erreichen Kinder mit Zerebralparese und komplexen Kommunikationsbedürfnissen (Larsson & Sandberg, 2008).

Die Befundlage bezüglich der Leistung des Episodischen Puffers ist weniger umfangreich als diejenige zu den übrigen Komponenten. Henry (2010) kommt in ihrer Studie zu dem Ergebnis, dass Kinder mit Lernschwierigkeiten schlechtere Leistungen erbringen als durchschnittlich entwickelte Kinder mit gleichem chronologischem Alter. Allerdings kann trotz dieser Ergebnisse kein einheitliches Bild bezüglich der Leistung des Episodischen Puffers bei Personen mit Lernschwierigkeiten wiedergegeben werden (Henry, 2012).

Übergreifend lässt sich festhalten, dass insbesondere die Ergebnisse beim Vergleich von Kindern und Jugendlichen mit Lernschwierigkeiten mit durchschnittlich entwickelten Kindern und gleichem mentalen Alter nicht eindeutig ausfallen. Im Vergleich zu Gruppen, die dem chronologischen Alter nach zugeordnet wurden, deutet die Mehrheit der Studien auf schwächere Leistungen bei Kindern und Jugendlichen mit Lernschwierigkeiten hin. Darüber hinaus zeigen Personen mit Down-Syndrom innerhalb der Gruppe der Personen mit Lernschwierigkeiten eine relative Schwäche der Phonologischen Schleife. Und auch insgesamt können im Vergleich von verschiedenen Syndromen unterschiedliche Arbeitsgedächtnisprofile festgestellt werden, sodass keine globalen Aussagen getroffen werden können.

2.2.2 Arbeitsgedächtnis im Kontext der Anwendung externer Kommunikationshilfen

Bei der Nutzung einer digitalen Kommunikationshilfe spielen eine Vielzahl von intrapersonalen Variablen eine Rolle (Dukhovny & Gahl, 2014; Light et al., 2019; Wilkinson & Jagaroo, 2004), die mit dem Cattell-Horn-Carroll-Modell der Intelligenz (CHC-Modell; Schneider & McGrew, 2018) verknüpft werden können und einen Einfluss auf den Cognitive Load haben. Die wichtigsten Variablen sind hierbei das Arbeitsgedächtnis (Gwm), das Langzeitgedächtnis (Gl), die visuelle Wahrnehmung und Verarbeitung (Gv), die auditive Verarbeitung (Ga), die (Vor-)Erfahrung mit der Kommunikationshilfe, die allgemeinen kommunikativen Fähigkeiten sowie weitere kognitive Faktoren wie die kristalline Intelligenz (Gc) oder die Reaktions- und Entscheidungsgeschwindigkeit (Gt) (Abbildung 1). Ein Großteil dieser Komponenten steht miteinander in Verbindung bzw. es lassen sich Wechselwirkungen ausmachen. Insbesondere dem Arbeitsgedächtnis kommt bei der Anwendung und somit auch bei der Modifizierung der Oberfläche eine tragende Rolle zu (Thistle & Wilkinson, 2013).

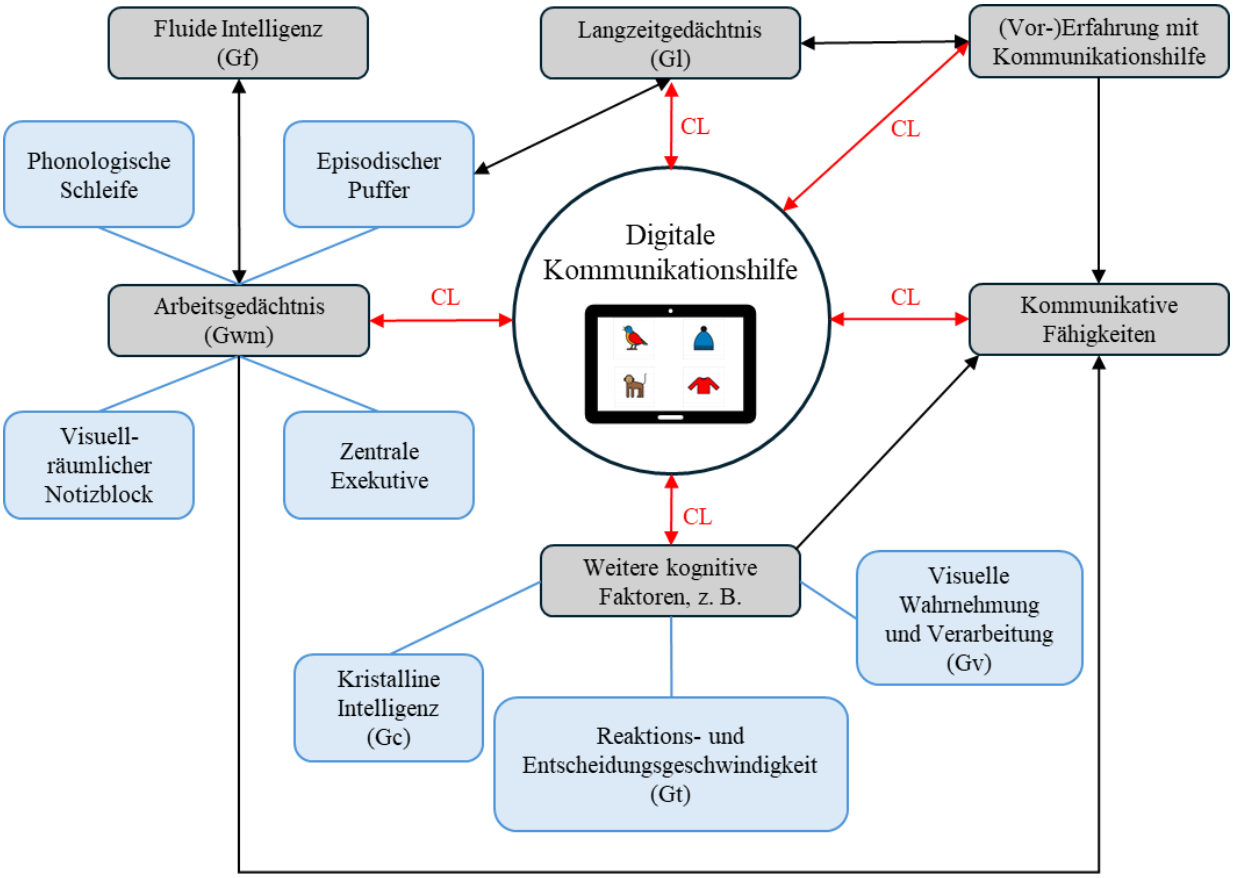
Anhand der Auswahl eines Zielobjekts aus verschiedenen Seiten/Kategorien konnten Robillard et al. (2018) nachweisen, dass zwischen der Navigationsleistung und dem visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnis sowie dem verbalen Arbeitsgedächtnis bei Kindern und Jugendlichen mit Autismus-Spektrum-Störung und komplexen Kommunikationsbedürfnissen eine positive Korrelation besteht. Hinsichtlich weiterer kognitiver Fähigkeiten werden die Dauer-Aufmerksamkeit, das kategoriale Denken, die kognitive Flexibilität sowie das fluide Schlussfolgern als korrelierende Variablen definiert. Auch Shin und Park (2018) kommen zu dem Ergebnis, dass bei Erwachsenen ohne Lernschwierigkeiten eine bessere Leistung des Visuell-räumlichen Notizblocks zu schnelleren Reaktionszeiten führt. Dabei erzielen Personen mit hohen Werten des nonverbalen Gedächtnisses signifikant höhere Reaktionsgeschwindigkeiten als eine Vergleichsgruppe mit niedrigeren Werten (Shin & Park, 2022). Ferner wurde auch auf

neuropsychologischer Ebene mittels fMRI nachgewiesen, dass spezifische Hirnregionen, die mit dem Gedächtnis und Lernprozessen in Verbindung gebracht werden, bei der visuellen Suche nach Zielitems auf einer Rasteroberfläche beteiligt sind (Wilkinson et al., 2015).

Da nicht alle der relevanten Variablen in ihrer Leistung verändert werden können (z. B. die Vorerfahrung mit der Kommunikationshilfe) bzw. eine Veränderung eines spezifischen Trainings bedürfte, ist es vielmehr von Bedeutung, die Kommunikationshilfe in ihrer Oberflächengestaltung an die individuellen Ausgangsbedingungen anzupassen. Erste Hinweise auf den positiven Nutzen einer individualisierten Gestaltung zeigen sich bei Untersuchungen von VSD (McKelvey et al., 2010). In der aktuellen Forschungsliteratur finden sich jedoch keine Studien, die sich konkret mit dem Vergleich verschiedener Oberflächendesigns von Rasterdisplays auseinandersetzen.

Abbildung 1

Zentrale intrapersonale Variablen bei der Nutzung und Gestaltung einer digitalen Kommunikationshilfe



Anmerkung. CL = Cognitive Load (kann je nach Bedingung sowohl ab- als auch zunehmen); METACOM-Symbole aus der METACOM-Symbolsammlung der 8. Version (Kitzinger, 2018)

2.3 Übergeordnete Fragestellungen

Wie in Kapitel 2.1.1 dargelegt, bestehen verschiedene Möglichkeiten, die Oberfläche eines digitalen Rasterdisplays zu gestalten. Das Ziel ist dabei stets, die Effizienz und/oder Effektivität der Itemauswahl zu steigern. Die Effizienz korreliert dabei gemäß dem aktuellen Forschungsstand unter anderem mit kognitiven Faktoren, insbesondere mit dem Arbeitsgedächtnis (u. a. Shin & Park, 2022). Die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der spezifischen Oberflächengestaltung und dem Arbeitsgedächtnis hinsichtlich des effektiven und effizienten Auffindens und Auswählens der Zielitems setzt einen systematischen Überblick über bisherige Erkenntnisse zu verschiedenen Hinweisreizen in Bezug auf die Auffinde- und

Auswahlgeschwindigkeit voraus. Diesem Desiderat widmet sich der erste Forschungsartikel der kumulativen Dissertation. Im Fokus steht dabei folgende Fragestellung:

1. Welche Erkenntnisse liefert ein systematisches Literaturreview zur effizienten (Auffinde- und Auswahlgeschwindigkeit) und effektiven (Auswahlgenauigkeit) Oberflächengestaltung von Rasterdisplays? (Forschungsartikel 1)?

Bisher konnten keine eindeutigen Aussagen über hilfreiche Gestaltungsmöglichkeiten getroffen werden. Dies ist darin begründet, dass sich einerseits die Ergebnisse zu den Auswirkungen einzelner Hinweisreize (z. B. Hintergrundfarben) auf die Effizienz unterscheiden und andererseits die Vergleichbarkeit der Studien durch differente Stichproben-Populationen, unterschiedliche Stimuli, Rastergrößen sowie Ansteuerungsoptionen erschwert wird. Sowohl eine kategoriale Anordnung als auch Hintergrundfarben stellen die am häufigsten untersuchten Hinweisreize dar (Römer et al., 2022a). Anknüpfend an die Studie von Thistle (2019) zur effizienten Wirkung von Hintergrundfarben in größeren Rastern bei Erwachsenen ohne Lernschwierigkeiten und auf Basis der Ergebnisse des systematischen Literaturreviews sowie einer Vorstudie mit geringerem Stichprobenumfang (Römer et al., 2022b) wurde folglich eine Pilotstudie geplant, welche Hintergrundfarben in verschiedenen Rastergrößen mit kategorisiert-angeordneten META-COM-Symbolen (Kitzinger, 2022) bei erwachsenen Personen ohne Lernschwierigkeiten untersucht. Beantwortet werden soll folgende Forschungsfrage:

2. Führen Hintergrundfarben bei Rasteroberflächen mit größerer Symbolanzahl zu einer höheren Auffinde- und Auswahlgeschwindigkeit? (Forschungsartikel 2)

Zwar konnte im vorangehenden Kapitel dargelegt werden, dass für die Nutzung einer digitalen Kommunikationshilfe verschiedene intrapersonale Variablen, vornehmlich das Arbeitsgedächtnis, von Bedeutung sind, allerdings liefert der Forschungskontext zum spezifischen Zusammenhang zwischen dem Arbeitsgedächtnis bei Kindern und Jugendlichen mit Lernschwierigkeiten und der effizienten Oberflächengestaltung von Rasterdisplays keine hinreichenden Erkenntnisse. Folglich wird sich im dritten Forschungsartikel dieser Forschungslücke zugewandt. Basierend auf dem Forschungsstand, den Ergebnissen des systematischen Literaturreviews sowie der Pilotstudie ist es von Relevanz zu analysieren, ob die Leistung des Arbeitsgedächtnisses bei Kindern und Jugendlichen als Prädiktor hinsichtlich der Nützlichkeit von spezifischen Hinweisreizen innerhalb der Rasteroberfläche dient. Demnach wird unter der Synthese der vorangehenden Ergebnisse im Rahmen des dritten Forschungsartikels die folgende Frage beantwortet:

3. Gibt es spezifische Rasteroberflächendesigns, die in Abhängigkeit von den Arbeitsgedächtnisprofilen von Kindern und Jugendlichen mit Lernschwierigkeiten zu einer höheren Auffinde- und/oder Auswahlgeschwindigkeit der Zielitems führen? (Forschungsartikel 3)

3 Kontext, Methodik und Ergebnisse der Forschungsartikel

Die folgenden Unterkapitel bieten einen zusammenfassenden Überblick über die Inhalte der Forschungsartikel, die der kumulativen Dissertation zugrunde liegen. Alle drei Artikel sind Bestandteil des Forschungsprojektes *Kommunikation, Lernen, Arbeitsgedächtnis – klar.*, welches unter der Projektleitung von Prof. Markus Scholz durchgeführt wurde. Nach einem kurzen kontextuellen Einstieg werden die jeweiligen methodischen Vorgehensweisen und anknüpfend die Ergebnisse der Artikel berichtet.

3.1 Forschungsartikel 1

Römer, N., Scholz, M. & Kehl, S. (2022a). Systematisches Literaturreview zur Gestaltung von Kommunikationsoberflächen in der Unterstützten Kommunikation. *Zeitschrift für Heilpädagogik, 73*(10), 492–509.

3.1.1 Kontext und Methodik

Im Rahmen eines systematischen Literaturreviews wurde der aktuelle Forschungsstand zur Oberflächengestaltung von Rasterdisplays aufgearbeitet. Es erfolgte eine systematische sensitive Recherche in ausgewählten elektronischen Datenbanken mittels zuvor festgelegter deutscher und englischer Suchbegriffe. In der internationalen Zeitschrift *Augmentative and Alternative Communication* wurde eine zusätzliche manuelle Recherche durchgeführt. Im Anschluss wurden die Titel und nachfolgend die Abstracts anhand spezifischer Kriterien zunächst gesichtet (Publikationsart, Forschungsdesign, untersuchte Variablen, Zielgruppe) und anschließend ausgewählt (Stichprobengröße und -alter, Entwicklungseinschränkung und Art der Messung, Anzahl der Raster und Symbolanzahl, Displaygröße, Stimulus und Auswahlsymbole, Art der Ansteuerung, unabhängige Variable, abhängige Variable und Ergebnisse). Auf Basis der Studieninhalte wurden die Ergebnisse spezifischen Ergebnisdimensionen (farbbezogene Hinweisreize, linguistische Hinweisreize, sonstige Hinweisreize sowie Ergebnisse mit Bezug zu Eyetracking) zugeordnet.

3.1.2 Ergebnisse

Im Hinblick auf die Kategorie der farbbezogenen Hinweisreize führen konstante Präsentationen, geordnet nach der internen Symbolfarbe, zu signifikant höheren Auswahl- (u. a. Wilkinson et al., 2008; Wilkinson & Madel, 2019; Wilkinson & McIlvan, 2013) und Auffindegeschwindigkeiten (Zeit bis zur ersten Fixation des Zielsymbols; Wilkinson & Madel, 2019) sowie zu weniger Fixationen auf Zielsymbol-irrelevante Items (Wilkinson & Madel, 2019; Wilkinson et al., 2014). Das Ergebnis zur Auswahlgeschwindigkeit zeigt sich unabhängig von der verwendeten Symbolart (Alant et al., 2010). Hintergrundfarben führen hingegen nur innerhalb von

größeren Rastern/einer höheren Symbolanzahl nachweisbar zu kürzeren Reaktionszeiten (16 vs. 60 Symbole, Thistle, 2019). Alle weiteren untersuchten Studien können keinen signifikanten Vorteil durch die Präsentation eines farbigen Hintergrunds (Thistle & Wilkinson, 2009; Thistle & Wilkinson, 2017; Wilkinson & Snell, 2011) oder von Rahmenfarben feststellen (Thistle, 2019).

Bezüglich der grammatischen und semantischen Hinweisreize kann festgehalten werden, dass höhere Auswahlgeschwindigkeiten bei einer konstanten Symbolanordnung nach Wortarten sowie Symbolbedeutung beobachtet wurden (Thistle et al., 2018; Wilkinson et al. 2015). Beim Vergleich einer syntaktischen mit einer semantischen Anordnung kann keine eindeutige Aussage zur Reaktionszeit getroffen werden (Patel et al., 2006).

Die Kategorie der sonstigen Hinweisreize legt dar, dass die alleinige Darstellung von Symbolen im Vergleich zu einer kombinierten Präsentation von Symbolen und Text zu einer signifikant höheren Auswahl- und Auffindegeschwindigkeit führt (Brown et al., 2015). Eine Untersuchung der Auswirkungen verschiedener Designs in der Erlernphase einer neuen Rasteroberfläche zeigt ebenfalls auf, dass die Auswahl bei einer konstanten Platzierung mit gleicher Symbolgröße im Vergleich zu der später genutzten Oberfläche schneller erfolgt (Dukhovny & Zhou, 2016). Gleiches gilt für eine geringere Symbolanzahl (4 vs. 8, 12 und 16 Symbole; Petroi et al., 2014) und Ähnliches zeigt sich auch bei der Verwendung von Scanning (30 vs. 40 Symbole), wenn sich das Zielsymbol an zweiter Position befindet (Mizuko et al., 1994).

Hinsichtlich der Auswahlgenauigkeit kann überwiegend kein signifikanter Vorteil eines spezifischen Designs festgestellt werden. Darüber hinaus befasst sich keine der inkludierten Studien mit der eigeninitiierten Kommunikation.

Die Auswertung ergab zudem, dass die Forschung vornehmlich im englischsprachigen Raum mit durchschnittlich entwickelten Kindern und Jugendlichen bzw. Erwachsenen ohne Lernschwierigkeiten stattfand. Zur Anwendung kamen überwiegend PCS (Mayer-Johnson LLC, 2011), kleinere Rasteroberflächen mit einer geringen Anzahl an Symbolen und getestet wurden mehrheitlich Ein-Symbol-Nachrichten.

Folglich ergab sich für die weitere Forschung die Aufgabe, den Einfluss von spezifischen Hinweisreizen mit METACOM-Symbolen (Kitzinger, 2022) auf die Auswahl- und Auffindegeschwindigkeit in größeren Rasteroberflächen bei Mehr-Symbol-Nachrichten (Forschungsartikel 2) bzw. unter Einbezug von Kindern und Jugendlichen mit Lernschwierigkeiten als Stichprobe (Forschungsartikel 3) zu untersuchen.

3.2 Forschungsartikel 2

Römer, N. (im Druck). Background colors as orientation cues for different grid sizes on aided AAC displays - A pilot eye tracking study. *Empirische Sonderpädagogik*.

3.2.1 Kontext und Methodik

Die aus dem durchgeführten systematischen Literaturreview gewonnenen Erkenntnisse dienten als Grundlage zur Entwicklung einer Vorstudie im Between-Subject-Design, welche den Einfluss von Hintergrundfarben in einem 4x8-Raster mit 32 Symbolen anhand einer Stichprobe mit 16 Universitätsstudierenden untersuchte. Hierbei konnte aufgezeigt werden, dass sowohl hinsichtlich der Auswahl als auch in Bezug auf die Auffindegeschwindigkeit bei der Erstellung von Drei-Symbol-Nachrichten keine signifikanten Unterschiede zwischen einem farbigen und einem weißen Hintergrund vorliegen. Deskriptiv-statistisch wurde festgestellt, dass die Symbole in der farbigen Bedingung langsamer fixiert werden. Überdies ergab eine Analyse der Blickbewegungen, dass bei der Präsentation von Hintergrundfarben die Oberfläche unsystematischer nach den Zielsymbolen abgesucht wird (Römer et al., 2022b). Basierend auf diesen Ergebnissen sowie den Erkenntnissen aus der Studie von Thistle (2019) wurde der Versuchsaufbau entsprechend modifiziert und im Rahmen einer Pilotstudie mit einer größeren Gelegenheitsstichprobe untersucht.

Folglich wurde innerhalb eines Within-Subject-Designs mit 58 Universitätsstudierenden als Teilnehmende erprobt, ob bei der Rekonstruktion von Drei-Symbol Nachrichten die Zielsymbole auf einem großen Raster mit Hintergrundfarben schneller ausgewählt werden als in einem gleich großen Raster mit weißem Hintergrund sowie im Vergleich eines kleinen Rasters mit und ohne Hintergrundfarben. In Anlehnung an die Ergebnisse der Voruntersuchung wurde auch in dieser Studie die Entscheidung getroffen, neben der Auswahlzeit auch die Auffindegeschwindigkeit als abhängige Variable in die Untersuchung aufzunehmen. Dies begründet sich in den Chancen, die sich durch die Verwendung von Eyetracking bei der Analyse von Kommunikationsoberflächen ergeben (siehe hierzu auch Wilkinson & Mitchell, 2014). Es wurden vier verschiedene Rasteroberflächen mit METACOM-Symbolen (Kitzinger, 2018), welche nach syntaktisch-semantischen Aspekten angeordnet waren, entwickelt. Zum Einsatz kamen sowohl eine 4x8-Rasteroberfläche (32 Symbole), jeweils mit weißem und farbigem Hintergrund, als auch ein 5x10-Raster (50 Symbole), ebenfalls jeweils in einer farbigen und weißen Bedingung. Nach den Pretests zum Farbsehen und dem Verständnis der Symbole sowie des Testablaufs mussten 40 Drei-Symbol-Nachrichten durch Antippen eines Touchscreens rekonstruiert werden.

Übergeordnet wurde angenommen, dass gemäß den Ergebnissen von Thistle (2019), die Symbole im größeren Raster mit farbigem Hintergrund signifikant schneller ausgewählt und zusätzlich auch schneller fixiert werden.

3.2.2 Ergebnisse

Mittels der Berechnung mehrerer MANOVA mit Messwiederholung und anschließender ANOVA konnte mit einer großen Effektstärke ($r = .41$) die Annahme bestätigt werden, dass die Hintergrundfarben in einem größeren Raster (50 Symbole) als Hinweisreiz bezüglich des schnellen Auswählens von Nutzen sind. Zugleich erwies sich die Differenz zwischen der Auswahl- und Auffindegeschwindigkeit als signifikant geringer im Vergleich zum großen Raster mit weißem Hintergrund. Insgesamt betrachtet konnte zudem ein Lerneffekt im Vergleich der beiden Untersuchungshälften (erste 20 Nachrichten vs. letzte 20 Nachrichten) festgestellt werden. Beim spezifischen Vergleich der ersten Untersuchungshälfte zeigte sich, dass innerhalb dieser die Symbole im kleinen weißen Raster im Vergleich zum kleinen farbigen Raster schneller ausgewählt wurden. Ferner nahmen sowohl im großen Raster mit weißem Hintergrund als auch im kleinen Raster mit farbigem Hintergrund die Reaktionszeiten zwischen den beiden Untersuchungshälften signifikant ab. Keine signifikanten Unterschiede wurden in Bezug auf die Auffindegeschwindigkeit gemessen.

3.3 Forschungsartikel 3

Römer, N. (2024). *Working memory and aided AAC display design options for students with intellectual disabilities* [Manuskript eingereicht]. Fakultät für Teilhabewissenschaften. Pädagogische Hochschule Ludwigsburg.

3.3.1 Kontext und Methodik

Als letzter Schritt im Forschungsprozess sollten die gewonnenen Erkenntnisse genutzt werden, um ein Untersuchungsdesign zu entwickeln, welches den Nutzen von Hinweisreizen bezüglich der Auffinde- und Auswahlgeschwindigkeit innerhalb einer Rasteroberfläche in Abhängigkeit von der Arbeitsgedächtnisleistung von Kindern und Jugendlichen mit Lernschwierigkeiten eines Sonderpädagogischen Bildung- und Beratungszentrums (SBBZ) mit dem Förderschwerpunkt Geistige Entwicklung untersucht. Demnach war nicht der Intelligenzquotient das entscheidende Kriterium für die Aufnahme in die Stichprobe, sondern die Beschulung an einem SBBZ. Hinsichtlich der Ausgestaltung der Rasteroberflächen wurde auf die Ergebnisse des systematischen Literaturreviews, der Voruntersuchung sowie der Pilotstudie Bezug genommen.

Obgleich in Studien mit Ausnahme von Wilkinson et al. (2022) übereinstimmend berichtet wurde, dass Hintergrundfarben insbesondere bei Kindern und Jugendlichen keinen signifikanten Nutzen hinsichtlich der Symbol-Auswahl- und Auffindegeschwindigkeit bieten, wurde dieser Hinweisreiz dennoch in die Untersuchung aufgenommen. Zum einen erhielten die Teilnehmenden in den bisherigen Studien keine Erklärung zur Bedeutung und somit dem eigentlichen Nutzen der Hintergrundfarben. Zum anderen kamen, wie im systematischen Literaturreview aufgezeigt wurde, vornehmlich kleinere Raster und PCS (Mayer-Johnson LLC, 2011) zum Einsatz. Demnach war von Interesse, ob die bisherigen Erkenntnisse in einer größeren Rasteroberfläche mit METACOM-Symbolen (Kitzinger, 2022) widerlegt bzw. die Ergebnisse von Wilkinson et al. (2022) auch bei Kindern bestätigt werden können. Zugrunde gelegt wurde die Annahme, dass ähnlich wie bei den Erhebungen mit erwachsenen Teilnehmenden Hintergrundfarben erst bei einer größeren Anzahl von Symbolen einen positiven Nutzen bringen. Die einführend dargelegte Theorie des Cognitive Load (Sweller et al., 2019) bildete die Basis dieser Überlegungen. Hintergrundfarben könnten zunächst eine zusätzliche kognitive Belastung darstellen, also den Cognitive Load erhöhen (Paas & Sweller, 2014), insbesondere wenn sie nicht der internen Symbolfarbe entsprechen. Gemäß der Load Theory of Selective Attention (Theorie der Belastung durch selektive Aufmerksamkeit) haben sie vielmehr eine ablenkende statt hilfreiche Wirkung (Lavie et al., 2004). Um eine Überselektivität des Stimulus (*Stimulus Overselectivity*) zu vermeiden, muss mittels Inhibition die Hintergrund- von der Vordergrundfarbe differenziert werden (Dube & Wilkinson, 2014). Es ist denkbar, dass dieser extrinsische Cognitive Load erst in Relation zu einer erhöhten Symbolanzahl abnimmt. Ziel sollte es somit für eine weitere Design-Option sein, den Cognitive Load möglichst gering zu halten. Bei der Konzeption des Rasters wurde darauf geachtet, dass die Anzahl der Symbole über derjenigen der bisherigen Studien liegt, jedoch nicht zu groß ist, um eine Überforderung der Kinder und Jugendlichen zu vermeiden. Zusätzlich wurden Hintergrundrahmungen verwendet, die form- statt farblichbasiert sind. Durch den Verzicht auf Farbe bei den Hintergrundrahmungen sollte der Cognitive Load geringer gehalten werden, da keine zusätzliche Differenzierung zur Symbolfarbe vorgenommen werden muss. In einer neueren Studie von Wilkinson et al. (2022) wurde zudem festgestellt, dass größere Symbolabstände einen nützlichen Hinweisreiz darstellen können. Diese Erkenntnis wurde bei der Untersuchung berücksichtigt.

Als Pretest wurde eine interaktive Symbolgewöhnung durchgeführt. Darauffolgend mussten die Kinder und Jugendlichen (N = 80) ein auditiv (digitale Sprachausgabe) vorgegebenes Zielsymbol (einsilbiges Nomen) in einem 4x6-Raster (24 Symbole) mit METACOM-Symbolen, die in vier Kategorien unterteilt (sechs Symbole pro Kategorie) präsentiert wurden, auffinden und

antippen. Die Kategorien wurden den Kindern zuvor erklärt. Die Zuweisung eines spezifischen Rasterdesigns (Hintergrundfarben, Formen, größerer Abstand zwischen Symbolen) erfolgte zufällig für jede Person. Dieses wurde nach jeweils fünf Symbolen mit dem Standard-Raster (kein spezifischer Hinweisreiz) abwechselnd dargeboten.

Zusätzlich wurden die Arbeitsgedächtnisprofile anhand selbst entwickelter Arbeitsgedächtnistests erhoben. Zwar existiert eine deutschsprachige Arbeitsgedächtnistest-Batterie für Kinder (AGTB 5–12, Hasselhorn et al., 2012), allerdings wären die Zugangsvoraussetzungen für Kinder und Jugendliche mit Lernschwierigkeiten zu hoch und die Wahrscheinlichkeit für Testabbrüche erhöht gewesen. Alle entwickelten Arbeitsgedächtnisaufgaben basieren auf dem Mehr-Komponenten-Modell nach Baddeley (2000) und auf etablierten und hinreichend empirisch untersuchten Verfahren (u. a. Alloway et al., 2004; Della Salla et al., 1999; Henry & MacLean, 2002; Van der Molen et al., 2014). Somit wurden auch für die Subkomponenten der Phonologischen Schleife (Phonologischer Speicher = Kunstwörter, Artikulatorischer Kontrollprozess + Phonologischer Speicher = Bilderspanne) sowie des Visuell-räumlichen Notizblocks (Innerer Schreiber = Corsi Block, Visueller Puffer = Musterspanne) jeweils zwei unterschiedliche Aufgaben entwickelt. Bei der Konzeption der einzelnen Tests wurde darauf geachtet, dass auch Kinder und Jugendliche ohne aktive Lautsprache die Aufgaben absolvieren können (Ausnahme Kunstwörter-Test). Zudem sollten die Abbruchkriterien nicht zu spät greifen, damit die Teilnehmenden im Verlauf nicht frustriert oder demotiviert werden, aber auch nicht zu früh, um die eigentliche Leistung noch erfassen zu können. Aus selbigem Grund beginnen alle Tests mit einer Spanne von eins. Zusätzlich wurde sich hierbei, wie auch bei der Anzahl der Listen mit derselben Länge, der Definition der längsten Listenlänge sowie der Darbietungszeit der einzelnen Stimuli (betrifft Bilderspanne, Corsi Block, Musterspanne, Odd one out) an den zuvor angeführten Studien orientiert. Einen Überblick über die verwendeten Arbeitsgedächtnisaufgaben bietet Tabelle 1.

Neben diesen beiden Komponenten wurde der Faktor Gf (nach dem CHC-Modell der Intelligenz; Schneider & McGrew, 2018) als moderierende Variable mittels der Untertests *Geschichten ergänzen* und *Muster ergänzen* der Kaufman Assessment Battery for Children Second Edition (Kaufman & Kaufman, 2016) erfasst.

3.3.2 Ergebnisse

Berechnet wurden ein gemischtes lineares Modell mit darauf aufbauender ANOVA und Interaktionsanalysen. Inferenzstatistisch konnte kein übergeordneter Zusammenhang zwischen der Leistung im Arbeitsgedächtnis und der Auswahlgeschwindigkeit auf der Rasteroberfläche

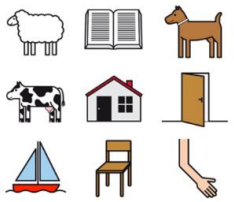
gemessen werden. Allerdings zeigten sich unter der Differenzierung von zwei Performance-Gruppen (Median-Split der Leistungen der einzelnen Arbeitsgedächtniskomponenten; Higher-Performance-Gruppe = obere 50 %, Lower-Performance-Gruppe = untere 50 %) signifikante Unterschiede hinsichtlich der Effizienz der spezifischen Designs. Innerhalb der Gruppe der oberen 50 % der Corsi-Block-Aufgabe konnte eine Abnahme der Reaktionsgeschwindigkeit im Verlauf der Testung (erste 10 Symbole vs. letzte 10 Symbole) beobachtet werden. Demgegenüber erzielte die Higher-Performance-Gruppe des Kunstwörter-Tests unter der Hintergrundfarben-Bedingung in beiden Versuchshälften bessere Leistungen als die Lower-Performance-Gruppe. Bei der Rasteroberfläche mit größeren Symbolabständen zeigte sich dies auch für die oberen 50 % der Corsi-Block-Aufgabe innerhalb der ersten 10 Versuche. Unabhängig von der Arbeitsgedächtnisleistung ließen sich insgesamt signifikant niedrigere Auswahlgeschwindigkeiten bei weiten Symbolabständen im Vergleich zum Standardgitter messen.

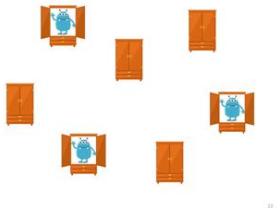
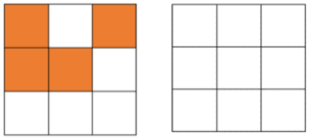
Bei der Betrachtung der deskriptiven Statistik wurde ersichtlich, dass die Lower-Performance-Gruppen aller Arbeitsgedächtnistests die Symbole mit Hintergrundrahmungen am schnellsten und bei größeren Abständen am langsamsten auswählten. Kein konsistentes Muster zeichnete sich bei den oberen 50 % ab.

Aufgrund mangelhafter Qualität und Quantität der Eyetracking-Daten war es nicht möglich, diese in die Auswertung aufzunehmen, weshalb hierzu keine Ergebnisse berichtet werden konnten.

Tabelle 1

Überblick über die verwendeten Verfahren zur Erhebung der Arbeitsgedächtnisprofile

Arbeitsgedächtnistest	Aufgabe	Spanne der Listenlänge	Abbruchkriterium / Definition längste Listenlänge	Testbeispiel
Phonologische Schleife				
Bilderspanne	Symbole mussten in der richtigen Reihenfolge innerhalb einer 3x3-Matrix verbal benannt oder angetippt werden; bei mindestens zwei korrekten Lösungen erhöhte sich nach jeweils vier Durchgängen die Listenlänge um ein Item	Ein bis neun Symbole	Wurde keine oder nur eine Aufgabe einer Listenlänge korrekt gelöst, wurde der Test beendet / Längste Liste, bei der mindestens zwei Listen korrekt erinnert werden konnten	
Kunstwörter	Kunstwörter wurden nacheinander vorgesprochen und mussten korrekt nachgesprochen werden; bei mindestens zwei von vier korrekt nachgesprochenen Wörtern erhöhte sich die Silbenlänge nach jeweils vier Wörtern um eine Silbe	Eine bis sechs Silben	Wurden nur zwei oder weniger Wörter einer Listenlänge korrekt nachgesprochen, wurde der Test beendet / Längste Liste, bei der mindestens drei Wörter richtig ausgesprochen wurden	Items Silbenlänge 4 1. sulibritzen 2. kudilabit 3. verkrabaten 4. pukawore

Arbeitsgedächtnistest	Aufgabe	Spanne der Listenlänge	Abbruchkriterium	Testbeispiel
			Definition längste Listenlänge	
Visuell-räumlicher Notizblock				
Corsi Block	Nacheinander versteckte sich eine Cartoon-Figur in sieben zufällig angeordneten Schränken; die Schränke mussten in der richtigen Reihenfolge angetippt werden; bei mindestens zwei von drei korrekt gelösten Aufgaben einer Listenlänge wurde nach drei Aufgaben zur nächsten Listenlänge übergangen	Ein bis sechs Schränke	Wurde keine oder nur eine Aufgabe einer Listenlänge korrekt gelöst, wurde der Test beendet Längste Liste mit mindestens zwei korrekten Durchgängen	
Musterspanne	Orange-markierte Felder in einer 2x2-, 3x3- oder 4x4-Matrix mussten gemerkt und in einer leeren Matrix korrekt nachgetippt werden; bei mindesten zwei von drei korrekt gelösten Aufgaben wurde nach jeweils drei Aufgaben zur nächsten Listenlänge übergegangen	Ein bis sechs Felder	Wurde keine oder nur eine Aufgabe einer Matrix-Listenlänge korrekt gelöst, wurde die Matrix-Listenlänge beendet und zur nächstgrößeren Matrix mit Listenlänge eins gewechselt bzw. bei letzter Matrix der Test beendet Längste Liste mit mindestens zwei korrekten Antworten bei jeder Matrixgröße	

Arbeitsgedächtnistest	Aufgabe	Spanne der Listenlänge	Abbruchkriterium	Testbeispiel
			Definition längste Listenlänge	
Exekutiv-aufgeladenes Arbeitsgedächtnis				
Odd one out	Präsentation einer Reihe mit drei Spalten, innerhalb der zwei Cartoon-Figuren und ein Mensch abgebildet waren; Position des Menschen musste gemerkt und in leerer Reihe korrekt angetippt werden; bei mindestens drei von fünf korrekt gelösten Aufgaben wurde nach jeweils fünf Aufgaben zur nächsten Listenlänge übergegangen	Ein bis vier Reihen	Wurden nur zwei oder weniger Aufgaben einer Listenlänge korrekt gelöst, wurde der Test beendet	
			Längste Liste mit mindestens drei korrekten Antworten	

Anmerkung. Bei der Abbildung zur Bilderspanne handelt es sich um Symbole aus der 8. Version der METACOM-Symbolsammlung (Kitzinger, 2018).

4 Beantwortung der übergeordneten Fragestellungen

1. Welche Erkenntnisse liefert ein systematisches Literaturreview zur effizienten (Auffinde- und Auswahlgeschwindigkeit) und effektiven (Auswahlgenauigkeit) Oberflächengestaltung von Rasterdisplays? (Forschungsartikel 1)?

Hinsichtlich der Auswahl- und Auffindegeschwindigkeit erweisen sich Rasteroberflächen mit einer konstanten und geordneten Symbolpräsentation nach interner Symbolfarbe, Wortarten sowie Symbolbedeutung als hilfreich. Gleiches gilt für die alleinige Darstellung von Symbolen im Vergleich zu einer kombinierten Darstellung von Symbolen mit Text. Hingegen führen Hintergrundfarben bei Erwachsenen erst ab einer größeren Symbolanzahl zu einer verbesserten Auswahlgeschwindigkeit. Auch die Präsentation einer geringeren Symbolanzahl kann die Auswahlgeschwindigkeit erhöhen. Rahmenfarben bieten bei Personen ohne Lernschwierigkeiten keinen signifikanten Vorteil. Ferner sollten die Symbolgröße und -position im Verlauf der Nutzung der Rasteroberfläche nicht verändert werden. Die Auswahlgenauigkeit ist über alle Oberflächendesigns gleich hoch.

2. Führen Hintergrundfarben bei Rasteroberflächen mit größerer Symbolanzahl zu einer höheren Auffinde- und Auswahlgeschwindigkeit? (Forschungsartikel 2)

Bei Erwachsenen ohne Lernschwierigkeiten wirken Hintergrundfarben ab einer höheren Anzahl von Symbolen (50 Symbole) als hilfreicher Reiz, der zu einer schnelleren Auswahl der Zielitems führt. Zudem dienen sie als Orientierungshilfe, um nach der erstmaligen Fixation des Zielsymbols dieses schneller auszuwählen. Darüber hinaus kann in kleineren Rastern ein farbiger Hintergrund den Erlernprozess der Oberfläche unterstützen bzw. beschleunigen.

3. Gibt es spezifische Rasteroberflächendesigns, die in Abhängigkeit von den Arbeitsgedächtnisprofilen von Kindern und Jugendlichen mit Lernschwierigkeiten zu einer höheren Auffinde- und/oder Auswahlgeschwindigkeit der Zielitems führen? (Forschungsartikel 3)

Die effiziente Wirkung von spezifischen Hinweisreizen bei Rasteroberflächen muss unter dem Aspekt der Zuordnung zu einer High- oder Low-Performance Gruppe bezüglich der Leistung einzelner Arbeitsgedächtniskomponenten betrachtet werden. Bei Kindern und Jugendlichen mit besseren Leistungen im Passiven Speicher der Phonologischen Schleife führen Hintergrundfarben zu einer schnelleren Auswahl der Zielsymbole als bei Kindern mit niedrigeren Spannenwerten. Weitere Symbolabstände führen unter Ausschluss der Arbeitsgedächtnisleistung insgesamt zu niedrigen Auswahlgeschwindigkeiten. Dies scheint aber insbesondere für Kinder und

Jugendliche mit schlechteren Leistungen über alle Arbeitsgedächtniskomponenten hinweg zu gelten.

Zudem gibt es Hinweise darauf, dass sich bei einer schlechteren Gesamtleistung des Arbeitsgedächtnisses Hintergrundrahmungen als hilfreicher Reiz erweisen, während sich bei einer besseren Leistung kein übergreifend nützliches Design feststellen lässt.

Aussagen zur Auffindegeschwindigkeit können mangels fehlender Datenlage nicht getroffen werden.

5 Diskussion

Die nachfolgenden Kapitel liefern einen kritischen Überblick über die gewonnenen Erkenntnisse der kumulativen Dissertation. Auf eine Einordnung und Diskussion der Ergebnisse folgt eine kritische Reflexion der Forschungsmethodik(en) unter Betrachtung von Limitationen. Abschließend werden Implikationen für die Praxis sowie für die weitere Forschung aufgezeigt.

5.1 Kritische Auseinandersetzung mit den Ergebnissen

Das Ziel der kumulativen Dissertation ist es, Gestaltungsoptionen von Rasterdisplays, die bei der Nutzung durch Kinder und Jugendliche mit Lernschwierigkeiten zu einer effizienteren und effektiveren Nutzung führen, zu ermitteln. Zusammenfassend können keine universell gültigen Aussagen getroffen werden. Stattdessen rücken vielmehr differenzierte Arbeitsgedächtnisprofile in den Blickpunkt. Alleinig über die konstante Anordnung von Symbolen herrscht empirisch Einigkeit (Forschungsartikel 1). Demnach unterscheidet sich der Nutzen eines spezifischen Designs von der Differenzierung in eine höhere oder niedrigere Gesamtleistung des Arbeitsgedächtnisses. Bei besseren Leistungen sind insbesondere die einzelnen Arbeitsgedächtniskomponenten bezüglich der Entscheidungsfindung für ein bestimmtes Design von Relevanz. Bei schlechteren Leistungen sollten größere Symbolabstände vermieden werden. Stattdessen scheinen Hintergrundrahmungen von Vorteil zu sein. Dieses Ergebnis könnte die Annahme bestätigen, dass die Rahmungen einen geringeren Cognitive Load erzeugen als es bei einem farblichen Hintergrund der Fall ist. Im Gegensatz zu diesem muss keine Hintergrundfarbe von der internen Symbolfarbe differenziert werden und die Gefahr der Überselektivität (*Stimulus Overselectivity*; Dube & Wilkinson, 2014) bzw. der ablenkenden Wirkung in Anlehnung an die Load Theory of Selective Attention (Lavie et al., 2004) verringert sich. Hierbei muss jedoch bedacht werden, dass dies lediglich auf deskriptiver Ebene gemessen werden konnte. Möglicherweise hat zu diesem Ergebnis beigetragen, dass innerhalb der Low-Performance-Gruppe eine größere Varianz bei einigen der gemessenen Subkomponenten vorlag, und auch die Auswahlgeschwindigkeiten der Personen mit besseren Leistungen innerhalb der Low-Performance-Gruppe könnten eher denjenigen der High-Performance-Gruppe entsprechen (Forschungsartikel 3). Eine schärfere Trennung der Gruppen, das heißt in eine niedrige, mittlere und höhere Leistungsgruppe innerhalb der Arbeitsgedächtnisleistungen, würde eventuell zu aussagekräftigeren Ergebnissen führen.

Die höhere Auswahlgeschwindigkeit bei Hintergrundfarben, welche von Erwachsenen im größeren Raster erzielt wurde (Forschungsartikel 2), was die Ergebnisse von Thistle (2019) bestätigt, konnte nur von Kindern mit einer besseren Performanz im Passiven Speicher der

Phonologischen Schleife erreicht werden (Forschungsartikel 3). Dass vornehmlich die Phonologische Schleife und der Visuell-räumliche Notizblock mit der Auswahlgeschwindigkeit in Verbindung stehen, ist kein überraschendes Ergebnis, sondern stimmt mit bisherigen Forschungsergebnissen überein (Robillard et al., 2018; Shin & Park, 2018). Allerdings steht dieses Ergebnis im Kontrast zu den Erkenntnissen von Wilkinson et al. (2022). Zwar wurde auch in dieser Studie eine höhere Auswahlgeschwindigkeit bei einem Design mit Hintergrundfarben gemessen, doch setzte sich die Stichprobe aus Personen mit Down Syndrom zusammen. Wie in Kapitel 2.2.1 dargelegt wurde, stellt vornehmlich die Phonologische Schleife eine relative Schwäche dieser Personengruppe dar. Bedacht werden muss jedoch, dass bei Wilkinson et al. (2022) der Stimulus sowohl auditiv als auch visuell mittels einer fotografischen Abbildung präsentiert wurde. Eventuell konnten die Teilnehmenden somit auf die Leistung des Visuell-räumlichen Notizblocks zurückgreifen, um die Schwäche der Phonologischen Schleife auszugleichen. Zusätzlich wurden nicht nur Subjekte, sondern auch Objekte, Verben und Adjektive als Symbole aufgenommen und entsprechend mit Hintergrundfarben kategorisiert. Dies machte den Einsatz metalinguistischer Kompetenzen erforderlich, welche die Jugendlichen und Erwachsenen aufgrund ihres rezeptiven Wortschatz-Alters, mit großer Wahrscheinlichkeit vorwiesen, wie die Forschenden selbst diskutieren (Wilkinson et al., 2022). Folglich könnten die metalinguistischen Kompetenzen bei der Suche des Zielitems von Nutzen gewesen sein.

Insgesamt bestätigen die gewonnenen Erkenntnisse die Annahme, dass Ergebnisse von Studien, welche durchschnittlich entwickelte Kinder und Jugendliche oder Erwachsene untersuchten, nicht ohne Weiteres auf Personen mit Lernschwierigkeiten übertragen werden können.

5.2 Limitationen und Implikationen

Unter dem Aspekt der Forschungsmethodik ergeben sich mehrere Limitationen, die nachfolgend angeführt und diskutiert werden.

Wird der Fokus auf die Gestaltung der Kommunikationsoberflächen-Testungen gelegt, lassen sich gleich mehrere limitierende Faktoren anführen. Zum einen mussten im dritten Forschungsartikel lediglich Ein-Wort-Nachrichten symbolisch reproduziert werden. Da es für eine ausführlichere Kommunikation die Auswahl von mehreren Symbolen innerhalb einer Nachricht bedarf, sind jedoch Multi-Symbol-Nachrichten vor allem unter dem Aspekt verschiedener Satzkonstruktionen/unter syntaktischem Aspekt von Interesse. Hierbei spielen insbesondere nationale Untersuchungen eine Rolle, da sich beispielsweise der Satzbau im Englischen zu dem im Deutschen unterscheidet (Kortmann, 2020). Zudem konnten Römer & Schmidt et al. (2024)

aufzeigen, dass sich die Auswahlgeschwindigkeit via Augensteuerung auch zwischen den Positionen des Symbols im Zielsatz unterscheidet. In diesem Zusammenhang wäre auch eine Replikation der Untersuchung des dritten Forschungsartikels mit einer anderen Symbolsammlung oder mit einem Symbolsystem sowie allgemein mit abstrakteren Symbolen von Interesse. Bei Symbolsammlungen handelt es sich um grafische Vokabularsammlungen, innerhalb welcher jedem Item, meist Piktogramme, eine spezifische Bedeutung zugeschrieben wird. Bei Symbolsystemen erfolgt die Repräsentation einer Bedeutung hingegen durch die Kombination mehrerer Items (Scholz & Stegkemper, 2022). Weiterhin kann bei der Gestaltung von Symbolen zwischen verschiedenen Abstraktionsgraden unterschieden werden. Je ähnlicher das Symbol der eigentlichen Bedeutung ist (z. B. Piktogramm eines Autos steht für das Wort „Auto“), desto weniger abstrakt ist dieses. Es kann als transparent oder ikonisch bezeichnet werden (Detheridge & Detheridge, 2002; Scholz & Stegkemper, 2022). Der Versuchsaufbau des dritten Forschungsartikels enthielt ausnahmslos transparente Symbole, da die Bedeutung der Symbole während der Erhebung für jede teilnehmende Person eindeutig verständlich sein sollte. Hierdurch sollte vermieden werden, dass es zu einer Verzerrung der Auswahlgeschwindigkeit aufgrund von Unklarheiten bezüglich der Symbolbedeutung kommt. Für den alltäglichen Einsatz sind jedoch auch abstraktere und somit weniger intuitiv verständliche Symbole vonnöten, zum Beispiel beim Gebrauch von Verben oder Adjektiven (Potschaske & Scholz, 2019; Scholz & Stegkemper, 2022). Dies knüpft an die vorherige Überlegung an, dass auch syntaktische Aspekte bei der Anordnung der Symbole und somit auch bei der Nutzung von Hinweisreizen bedacht werden müssen. Weiterhin erhielten die Teilnehmenden keine Rückmeldung (Forschungsartikel 2 und 3), ob ihre Item-Auswahl korrekt war. Dies könnte einerseits dazu geführt haben, dass irrtümlich ein falsches Symbol ausgewählt wurde. Andererseits erforderte die Testung womöglich eine bewusst höhere Konzentrations- und Aufmerksamkeitsleistung als in einem natürlichen Kommunikationssetting, da es sich nicht um eine intentionale Nutzung handelte und auch die Abfolge der auszuwählenden Symbole in keinem Zusammenhang stand. Unter dem Aspekt des Einbezugs der Exekutiven Funktionen muss dies kritisch betrachtet werden. Studien zu Inhibitionsaufgaben zeigen, dass Kinder bessere Inhibitionskontrollleistungen erbringen, wenn sie ein positives Feedback zu ihrer Antwort erhalten (Burton et al., 2021). Übertragen auf den natürlichen Kommunikationsprozess mit Rasteroberflächen bedeutet dies, dass durch die Sprachausgabe oder visuelle Markierung des ausgewählten Items ein direktes Feedback erfolgt, ob das korrekte Item ausgewählt wurde. In einem dem Alltag entsprechenden Setting kann bei korrekter und effizienter Item-Auswahl zudem die Reaktion oder die Antwort, die auf die initiierte Nachricht folgt, als Feedback verstanden werden. Folglich sollte, basierend

auf den Studien zur Inhibitionskontrolle, das Ausblenden von Distraktoren besser gelingen. Zusätzlich sei an dieser Stelle erwähnt, dass insbesondere Kinder und Jugendliche mit Lernschwierigkeiten Defizite hinsichtlich ihrer Konzentrations- und Aufmerksamkeitsfähigkeit aufweisen (Buckley et al., 2020), in Forschungsartikel 3 jedoch mit Ausnahme einer Autismus-Spektrum-Störung keine klinisch-psychiatrische Diagnose erfasst wurde. Dies ist deshalb von Relevanz, da einzelne psychische Störungen, beispielsweise eine Einfache Aktivitäts- und Aufmerksamkeitsstörung (Kasper et al., 2012; Ramos et al., 2020) oder eine depressive Episode (Chen et al., 2023; Nikolin et al., 2021), einen Einfluss auf die Leistung des Arbeitsgedächtnisses haben können. Anknüpfend hieran impliziert sich für zukünftige Forschungsvorhaben neben der Erfassung des Arbeitsgedächtnisses die Erhebung der Exekutiven Funktionen sowie die Diagnose einer psychischen Störung. Zum anderen war es den Teilnehmenden nicht möglich, ihre Antworten (angetippte Symbole) zu überprüfen. Der Versuchsaufbau sah sowohl im zweiten als auch im dritten Forschungsartikel keine Markierung oder Anzeige des angetippten Symbols vor. Dies steht entgegen den in der Praxis häufig eingesetzten digitalen Kommunikationshilfen (z. B. TD Snap; Tobii Dynavox AB [Publ], 2024). Zusammenfassend fanden folglich in beiden Studien kommunikative und soziale Aspekte, wie sie im natürlichen, alltäglichen Setting vorherrschen, keine Berücksichtigung. Die ökologische Validität wird somit eingeschränkt. Aufgabe für die weitere Forschung wird es sein, Gestaltungsoptionen und deren Auswirkungen auf die Anwendung in natürlicheren Kommunikationssituationen zu überprüfen.

Bei Betrachtung der Stichprobe des dritten Forschungsartikels kann festgestellt werden, dass diese lediglich ein Kind mit komplexen Kommunikationsbedürfnissen umfasst. Der bisher geringe Umfang an Forschungsarbeiten zum Arbeitsgedächtnis bei Kindern und Jugendlichen mit komplexen Kommunikationsbedürfnissen deutet jedoch darauf hin, dass diese Besonderheiten in der Arbeitsgedächtnisleistung aufweisen. Beim Vergleich von Kindern mit durchschnittlichen Kommunikationsfähigkeiten mit Kindern mit komplexen Kommunikationsbedürfnissen und Zerebralparese zeigen sich bezüglich des Visuell-räumlichen Notizblocks keine einheitlichen Ergebnisse. Während Dahlgren Sandberg (2001) keine Unterschiede bei der Corsi-Block-Aufgabe, dafür aber bei der Musterspanne messen konnten, zeigt die Gruppe von Kindern mit Zerebralparese bei Critten et al. (2018) beim Corsi-Block-Test signifikant schlechtere Leistungen. Zudem liegen bei der Gruppe von Kindern mit komplexen Kommunikationsbedürfnissen Defizite hinsichtlich der phonologischen Komponente vor (Dahlgren Sandberg, 2001; Larsson & Sandberg, 2008;). Hingegen konnten beim Exekutiv-aufgeladenen Arbeitsgedächtnis bessere Leistungen als bei der Kontrollgruppe gemessen werden (Larsson & Sandberg, 2008). Es ist anzunehmen, dass dies ebenso auf Kinder und Jugendliche mit Lernschwierigkeiten und

komplexen Kommunikationsbedürfnissen zutrifft. Demnach ist es von Bedeutung, Untersuchungen hinsichtlich des Zusammenhangs von deren kognitiver Leistung und der Gestaltung von Rasteroberflächen durchzuführen.

Die zur Erfassung des Arbeitsgedächtnisses eingesetzten Instrumente wurden im Rahmen des Projektes *Kommunikation, Lernen, Arbeitsgedächtnis - klar*. entwickelt und bislang keiner Reliabilitätsanalyse unterzogen. In der Auswertung der Arbeitsgedächtnistests konnten zudem bei der Musterspanne- und der Odd-one-out-Aufgabe Deckeneffekte festgestellt werden. Nachbilder, die auf die markierten Matrixfolien folgten, könnten diesen Effekt bei der Musterspanne erklären. Der Deckeneffekt der Odd-one-out-Aufgabe entspricht hingegen womöglich eher der tatsächlichen Leistung. Basierend auf der Studienlage scheinen zwischen Kindern und Jugendlichen mit Lernschwierigkeiten und Personen mit durchschnittlicher Entwicklung geringere bis keine Differenzen bezüglich der Leistung des Exekutiv-aufgeladenen Arbeitsgedächtnisses zu bestehen (u. a. Walley & Donaldson, 2005). Betrachtet man zudem das Arbeitsgedächtnis als Gesamtmodell, muss angemerkt werden, dass der Episodische Puffer nicht erfasst wurde. Dies liegt daran, dass es sich hierbei um eine bisweilen weitestgehend wenig erforschte Komponente handelt und keine validen Aufgaben zur Messung dieser vorliegen (Nobre et al., 2013).

Als weitere Limitation ist zu nennen, dass die Intelligenz im dritten Forschungsartikel neben dem Arbeitsgedächtnis (Gwm) lediglich über den Gf-Faktor erfasst wurde. Wie Robillard et al. (2018) jedoch aufzeigen, nehmen weitere kognitive Faktoren ebenso eine entscheidende Rolle bei der Nutzung einer externen Kommunikationshilfe ein. Zusätzlich muss bedacht werden, dass die Arbeitsgedächtnisleistung mit dem Gf-Faktor korreliert und die Messung der Auswahlgeschwindigkeit nicht allein auf die Leistung des Arbeitsgedächtnisses zurückgeführt werden kann (Oberauer et al., 2005; Saeed & Tahir, 2016).

Da keine verwertbaren Daten zur Auffindegeschwindigkeit bei Kindern und Jugendlichen mit Lernschwierigkeiten vorliegen, sollte diese Variable in zukünftigen Studien zusätzlich erfasst werden. Mittels der Analyse von Blickpfaden und Fixationslatenzen könnte besser nachvollzogen werden, weshalb größere Abstände zwischen den Symbolen bei Kindern und Jugendlichen mit schlechteren Leistungen des Arbeitsgedächtnisses eher von Nachteil waren. Zudem konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Auffinde- und der Auswahlgeschwindigkeit im Rahmen der Untersuchung eines VSD mit Kindern und Jugendlichen mit Down-Syndrom und Autismus-Spektrum-Störung durch Wilkinson et al. (2024) bestätigt werden. Dies bekräftigt die Relevanz von Eyetracking-gestützten Studien.

Ferner sollten auch die langfristigen Effekte bei der Nutzung einer Rasteroberfläche in den Blickpunkt gerückt werden. Begründend kann hierfür eine Untersuchung von Kindern und Jugendlichen mit schweren Sprachstörungen (*severe speech impairment*) angeführt werden. Diese verbesserten ihre Genauigkeit der Zielsymbolauswahl mittels Blicksteuerung nach circa 15–20 Monaten, während sich die Auswahlgeschwindigkeit nach fünf Monaten erhöhte (Borgestig et al., 2016). Damit einhergehend eröffnet sich die Frage nach der Bedeutung des Langzeitgedächtnisses bei der Anwendung einer externen Kommunikationshilfe. Icht et al. (2020) konnten messen, dass Wörter durch die Anwendung einer digitalen Kommunikationshilfe besser behalten werden konnten. Es bleibt jedoch die Frage offen, ob auch die Oberflächengestaltung einen positiven Einfluss auf die langfristige Erinnerungsleistung bei der effektiven und effizienten Auswahl von Zielsymbolen nimmt. Ebenso ist zu untersuchen, ob die Leistung des Langzeitgedächtnisses als Prädiktor für die hilfreiche Gestaltung der Oberfläche dient.

Des Weiteren ist zu beachten, dass die Ergebnisse der drei Forschungsartikel nur für statische Rasterdisplays und statische Symbole Gültigkeit besitzen. In den vergangenen Jahren rückte jedoch auch die Funktion der Animation von Symbolen in den Fokus wissenschaftlicher Forschung. Durch deren Einsatz – sowohl in Rasteroberflächen- als auch in VSD – lassen sich etwaige Elemente hervorheben oder deren Bedeutung verdeutlichen (Jagaroo & Wilkinson, 2008). Animierte Symbole werden präziser bezeichnet und die Verständlichkeit von Verben und Präpositionen erhöht sich (Schlosser et al., 2022). Zudem sollten sich zukünftige Studien auch mit der Gestaltung und den Zusammenhängen von kognitiven Funktionen mit dynamischen Rasteroberflächen befassen. Da diese mehrere Vokabularseiten/Lokalisierungsebenen aufweisen, sind bei der Nutzung der Oberfläche höhere Navigationsleistungen notwendig (Thistle & Wilkinson, 2013). Erste Einblicke zur effektiven Gestaltung solcher Displays liefern unter anderem Drager et al. (2004), Gevarter et al. (2020a) sowie Wallace und Hux (2014).

Für den praktischen Einsatz von digitalen Kommunikationshilfen bedeuten die Ergebnisse, dass eine konstant kategorisierte Anordnung von Symbolen zu einer schnelleren Auffindbarkeit und Auswahl führt. Dies impliziert, dass die Oberfläche im Laufe der Nutzung so wenig wie möglich verändert werden sollte. Zu diesem Zweck empfiehlt es sich, größere Raster mit mehreren Zeilen und Spalten einzusetzen, die im Laufe der Anwendung mit Symbolen besetzt werden können. Obgleich Studien aufzeigen, dass eine geringere Symbolanzahl zu einer schnelleren Auswahl führt, kann dieses Ergebnis nicht auf die Praxis übertragen werden. Der nutzenden Person sollten ausreichend Symbole innerhalb des Rasters zur Verfügung stehen, um einen ständigen Wechsel zwischen mehreren Seiten zu vermeiden. Mit Blick auf die Ergebnisse zum

Zusammenhang zwischen spezifischen Hinweisreizen und dem Arbeitsgedächtnisprofil bietet sich vor der Auswahl eines spezifischen Designs eine Diagnostik der Arbeitsgedächtnisleistung an. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass spezifische Hinweisreize, die für Kinder initial nicht hilfreich erscheinen, im Rahmen des Modellings eine Unterstützung für die modelnde Person darstellen können. Beim Modelling demonstriert der Kommunikationspartner oder die Kommunikationspartnerin die Nutzung der Kommunikationshilfe sowie die Auswahl der Symbole. Dies unterstützt die unterstützt kommunizierende Person beim Erlernen des Umgangs mit der Kommunikationsoberfläche (Binger & Light, 2007). Es konnte nachgewiesen werden, dass das Modelling eine nützliche Strategie für Kinder und Jugendliche darstellt (O'Neill et al., 2018), folglich muss das Display auch für die modelnde Person effizient gestaltet sein, um eine erfolgreiche Nutzung durch die Person mit komplexen Kommunikationsbedürfnissen zu gewährleisten.

Alles in allem liefert diese Arbeit somit einen wichtigen Beitrag zur Grundlagenforschung im Bereich der Unterstützten Kommunikation. Darüber hinaus bietet sie Anknüpfungspunkte sowohl für die weitere Forschung als auch für die praktische Anwendung externer Kommunikationshilfen. Die Erkenntnisse können dazu beitragen, Kindern und Jugendlichen mit Lernschwierigkeiten Teilhabe zu ermöglichen und sie mittelbar in ihrer individuellen Entwicklung zu fördern.

Literaturverzeichnis

Alant, E., Kolatsis, A. & Lilienfeld, M. (2010). The effect of sequential exposure of color conditions on time and accuracy of graphic symbol location. *Augmentative and Alternative Communication*, *26*(1), 41–47. https://doi.org/10.3109/07434610903585422

Allen, R. J., Baddeley, A. D. & Hitch, G. J. (2014). Evidence for two attentional components in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, *40*(6), 1499–1509. https://doi.org/10.1037/xlm0000002

Alloway, T. P., Gathercole, S. E., Willis, C. & Adams, A.-M. (2004). A structural analysis of working memory and related cognitive skills in young children. *Journal of Experimental Child Psychology*, *87*(2), 85–106. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2003.10.002

Alloway, T. P., Gathercole, S. E & Pickering, S. J. (2006). Verbal and visuospatial short-term and working memory in children: are they separable? *Child Development*, *77*(6), 1698–1716. https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2006.00968.x

Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, *4*(11), 417–423. https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01538-2

Baddeley, A. (2003). Working memory and language: an overview. *Journal of Communication Disorders*, *36*(3), 189–208. https://doi.org/10.1016/s0021-9924(03)00019-4

Baddeley, A. (2012). Working memory: theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*, *63*, 1–29. https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100422

Baddeley, A. D. & Hitch, G. (1974). Working memory. *Psychology of Learning and Motivation*, *8*, 47–89. https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1

Barton-Hulsey, A., Wegner, J., Brady, N. C., Bunce, B. H. & Sevcik, R. A. (2017). Comparing the effects of speech-generating device display organization on symbol comprehension and use by three children with developmental delays. *American Journal of Speech-Language Pathology*, *26*(2), 227–240. https://doi.org/10.1044/2016_AJSLP-15-0166

Baxter, S., Enderby, P., Evans, P. & Judge, S. (2012). Barriers and facilitators to the use of high-technology augmentative and alternative communication devices: a systematic review and qualitative synthesis. *International Journal of Language & Communication Disorders*, *47*(2), 115–129. https://doi.org/10.1111/j.1460-6984.2011.00090.x

Bayliss, D. M., Jarrold, C., Gunn, D. M. & Baddeley, A. D. (2003). The complexities of complex span: explaining individual differences in working memory in children and adults. *Journal of Experimental Psychology. General*, *132*(1), 71–92. https://doi.org/10.1037/0096-3445.132.1.71

Beukelman, D. R. & Light, J. C. (2020). *Augmentative & alternative communication: Supporting children and adults with complex communication needs* (5. Aufl.). Paul H. Brookes Publishing Co.

Binger, C. & Light, J. (2007). The effect of aided AAC modeling on the expression of multi-symbol messages by preschoolers who use AAC. *Augmentative and Alternative Communication*, *23*(1), 30–43. https://doi.org/10.1080/07434610600807470

Borgestig, M., Sandqvist, J., Parsons, R., Falkmer, T. & Hemmingsson, H. (2016). Eye gaze performance for children with severe physical impairments using gaze-based assistive technology-A longitudinal study. *Assistive Technology*, *28*(2), 93–102. https://doi.org/10.1080/10400435.2015.1092182

Brankaer, C., Ghesquière, P. & Smedt, B. de (2013). The development of numerical magnitude processing and its association with working memory in children with mild intellectual disabilities. *Research in Developmental Disabilities*, *34*(10), 3361–3371. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2013.07.001

Brown, J., Thiessen, A., Beukelman, D. & Hux, K. (2015). Noun representation in AAC grid displays: Visual attention patterns of people with traumatic brain injury. *Augmentative and Alternative Communication*, *31*(1), 15–26. https://doi.org/10.3109/07434618.2014.995224

Buckley, N., Glasson, E. J., Chen, W., Epstein, A., Leonard, H., Skoss, R., Jacoby, P., Blackmore, A. M., Srinivasjois, R., Bourke, J., Sanders, R. J. & Downs, J. (2020). Prevalence estimates of mental health problems in children and adolescents with intellectual disability: A systematic review and meta-analysis. *The Australian and New Zealand Journal of Psychiatry*, *54*(10), 970–984. https://doi.org/10.1177/0004867420924101

Burton, S., Knibb, G. & Jones, A. (2021). A meta-analytic investigation of the role of reward on inhibitory control. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *74*(10), 1818–1828. https://doi.org/10.1177/17470218211008895

Chelly, J., Khelfaoui, M., Francis, F., Chérif, B. & Bienvenu, T. (2006). Genetics and pathophysiology of mental retardation. *European Journal of Human Genetics*, *14*(6), 701–713. https://doi.org/10.1038/sj.ejhg.5201595

Chen, L., Wang, Q. & Xu, T. (2023). Working memory function in patients with major depression disorder: A narrative review. *Clinical Psychology & Psychotherapy*, *30*(2), 281–293. https://doi.org/10.1002/cpp.2811

Conners, F. A., Moore, M. S., Loveall, S. J. & Merrill, E. C. (2011). Memory profiles of Down, Williams, and fragile X syndromes: implications for reading development. *Journal of Developmental and Behavioral Pediatrics*, *32*(5), 405–417. https://doi.org/10.1097/DBP.0b013e3182168f95

Conway, A. R. A., Kane, M. J., Bunting, M. F., Hambrick, D. Z., Wilhelm, O. & Engle, R. W. (2005). Working memory span tasks: A methodological review and user's guide. *Psychonomic Bulletin & Review*, *12*(5), 769–786. https://doi.org/10.3758/bf03196772

Critten, V., Campbell, E., Farran, E. & Messer, D. (2018). Visual perception, visual-spatial cognition and mathematics: Associations and predictions in children with cerebral palsy. *Research in Developmental Disabilities*, *80*, 180–191. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2018.06.007

Crowe, B., Machalicek, W., Wei, Q., Drew, C. & Ganz, J. (2022). Augmentative and Alternative Communication for children with intellectual and developmental disability: A mega-review of the literature. *Journal of Developmental and Physical Disabilities*, *34*(1), 1–42. https://doi.org/10.1007/s10882-021-09790-0

Dahlgren Sandberg, A. (2001). Reading and spelling, phonological awareness, and working memory in children with severe speech impairments: A longitudinal study. *Augmentative and Alternative Communication*, *17*(1), 11–26. https://doi.org/10.1080/aac.17.1.11.26

Della Sala, S., Gray, C., Baddeley, A., Allamano, N., & Wilson, L. (1999). Pattern span: a tool for unwelding visuo-spatial memory. *Neuropsychologia*, *37*(10), 1189–1199.

Detheridge, T. & Detheridge, M. (2002). *Literacy Through Symbols*. David Fulton Publishers. https://doi.org/10.4324/9781315069708

Drager, K., Light, J. & McNaughton, D. (2010). Effects of AAC interventions on communication and language for young children with complex communication needs. *Journal of*

Pediatric Rehabilitation Medicine, *3*(4), 303–310. https://doi.org/10.3233/PRM-2010-0141

Drager, K. D. R., Light, J. C., Speltz, J. C., Fallon, K. A. & Jeffries, L. Z. (2003). The performance of typically developing 21/2-year-olds on dynamic display AAC technologies with different system layouts and language organizations. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *46*(2), 298–312. https://doi.org/10.1044/1092-4388(2003/024)

Drager, K. D., Light, J. C., Carlson, R., D'Silva, K., Larsson, B., Pitkin, L. & Stopper, G. (2004). Learning of Dynamic Display AAC Technologies by Typically Developing 3-Year-Olds: Effect of Different Layouts and Menu Approaches. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *47*(5), 1133.

Dube, W. V. & Wilkinson, K. M. (2014). The potential influence of stimulus overselectivity in AAC: information from eye tracking and behavioral studies of attention with individuals with intellectual disabilities. *Augmentative and Alternative Communication*, *30*(2), 172–185. https://doi.org/10.3109/07434618.2014.904924.

Dukhovny, E. & Gahl, S. (2014). Manual motor-plan similarity affects lexical recall on a speech-generating device: implications for AAC users. *Journal of Communication Disorders*, *48*, 52–60. https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2014.02.004

Dukhovny, E. & Zhou, Y. (2016). Effects of icon size and location on speed and accuracy of SGD access. *Augmentative and Alternative Communication*, *32*(4), 241–248. https://doi.org/10.1080/07434618.2016.1236835

Elsahar, Y., Hu, S., Bouazza-Marouf, K., Kerr, D. & Mansor, A. (2019). Augmentative and Alternative Communication (AAC) Advances: A Review of Configurations for Individuals with a Speech Disability. *Sensors*, *19*(8). https://doi.org/10.3390/s19081911

Fager, S., Beukelman, D. R., Fried-Oken, M., Jakobs, T. & Baker, J. (2011). Access interface strategies. *Assistive Technology*, *24*(1), 25–33. https://doi.org/10.1080/10400435.2011.648712

Fager, S., Fried-Oken, M., Jakobs, T. & Beukelman, D. R. (2019). New and emerging access technologies for adults with complex communication needs and severe motor impairments: State of the science. *Augmentative and Alternative Communication*, *35*(1), 13–25. https://doi.org/10.1080/07434618.2018.1556730.

Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B. & Wearing, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental Psychology*, *40*(2), 177–190. https://doi.org/10.1037/0012-1649.40.2.177

Gegenfurtner, K. R. & Rieger, J. (2000). Sensory and cognitive contributions of color to the recognition of natural scenes. *Current Biology*, *10*(13), 805–808. https://doi.org/10.1016/S0960-9822(00)00563-7

Gevarter, C., Groll, M. & Stone, E. (2020a). Dynamic assessment of augmentative and alternative communication application grid formats and communicative targets for children with autism spectrum disorder. *Augmentative and Alternative Communication*, *36*(4), 226–237. https://doi.org/10.1080/07434618.2020.1845236

Gevarter, C., Horan, K. & Sigafoos, J. (2020b). Teaching Preschoolers with Autism to Use Different Speech-Generating Device Display Formats during Play: Intervention and Secondary Factors. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, *51*(3), 821–838.

Gevarter, C., O'Reilly, M. F., Kuhn, M., Watkins, L., Ferguson, R., Sammarco, N., Rojeski, L. & Sigafoos, J. (2017). Assessing the acquisition of requesting a variety of preferred items using different speech generating device formats for children with autism spectrum disorder. *Assistive Technology*, *29*(3), 153–160. https://doi.org/10.1080/10400435.2016.1143411

Godfrey, M. & Lee, N. R. (2018). Memory profiles in Down syndrome across development: a review of memory abilities through the lifespan. *Journal of Neurodevelopmental Disorders*, *10*(1), 5. https://doi.org/10.1186/s11689-017-9220-y

Hasselhorn, M., Schumann-Hengsteler, R., Gronauer, J., Grube, D., Mähler, C., Schmid, I., Seitz-Stein, K. & Zoelch, C. (2012). *Arbeitsgedächtnistestbatterie für Kinder von 5 bis 12 Jahren: Manual*. Hogrefe.

Henry, L. A. (2012). *The Development of Working Memory in Children*. Sage Publications Ltd. https://doi.org/10.4135/9781446251348

Henry, L. A. (2001). How does the severity of a learning disability affect working memory performance? *Memory*, *9*(4-6), 233–247. https://doi.org/10.1080/09658210042000085

Henry, L. A. (2010). The episodic buffer in children with intellectual disabilities: an exploratory study. *Research in Developmental Disabilities*, *31*(6), 1609–1614. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2010.04.025

Henry, L. A. & MacLean, M. (2002). Working memory performance in children with and without tntellectual disabilities. *American Journal on Mental Retardation*, *107*(6), 421. https://doi.org/10.1352/0895-8017(2002)107<0421:WMPICW>2.0.CO;2

Icht, M., Levine-Sternberg, Y. & Mama, Y. (2020). Visual and auditory verbal long-term memory in individuals who rely on augmentative and alternative communication. *Augmentative and Alternative Communication*, *36*(4), 238–248. https://doi.org/10.1080/07434618.2020.1852443

Jagaroo, V. & Wilkinson, K. (2008). Further considerations of visual cognitive neuroscience in aided AAC: the potential role of motion perception systems in maximizing design display. *Augmentative and Alternative Communication*, *24*(1), 29–42. https://doi.org/10.1080/07434610701390673

Jauregi, J., Arias, C., Vegas, O., Alén, F., Martinez, S., Copet, P. & Thuilleaux, D. (2007). A neuropsychological assessment of frontal cognitive functions in Prader-Willi syndrome. *Journal of Intellectual Disability Research*, *51*(5), 350–365. https://doi.org/10.1111/j.1365-2788.2006.00883.x.

Kane, M. J., Poole, B. J., Tuholski, S. W. & Engle, R. W. (2006). Working memory capacity and the top-down control of visual search: Exploring the boundaries of "executive attention". *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, *32*(4), 749–777. https://doi.org/10.1037/0278-7393.32.4.749

Kasper, L. J., Alderson, R. M. & Hudec, K. L. (2012). Moderators of working memory deficits in children with attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD): a meta-analytic review. *Clinical Psychology Review*, *32*(7), 605–617. https://doi.org/10.1016/j.cpr.2012.07.001

Kaufman, A. S. & Kaufman, N. L. (2016). *KABC-II: KABC-II: Kaufman assessment battery for children – Second Edition. German Version by Peter & Martin Melchers*. Pearson.

Kehl, S., Römer, N. & Scholz, M. (2024). *A comparison of working memory abilities between children with intellectual disability of non-specific aetiology and children with Down Syndrome in schools for intellectual development in Germany* [Manuskript

eingereicht]. Fakultät für Teilhabewissenschaften. Pädagogische Hochschule Ludwigsburg.

Kehl, S. & Scholz, M. (2021). Systematisches Literaturreview der Arbeitsgedächtnisbesonderheiten bei Personen mit sogenannter geistiger Behinderung unspezifischer Ätiologie. *Empirische Sonderpädagogik*, *13*(2), 110–132.

Kitzinger, A. (2018). *METACOM 8. Symbolsystem zur Unterstützten Kommunikation.*

Kitzinger, A. (2022). *METACOM 9. Symbolsystem zur Unterstützten Kommunikation.*

Koffka, K. (1935). *Principles of Gestalt Psychology*. Harcourt Brace & Co.

Kortmann, B. (2020). *English Linguistics*. J.B. Metzler. https://doi.org/10.1007/978-3-476-05678-8

Künzel, H. J. (1997). Some general phonetic and forensic aspects of speaking tempo. *International Journal of Speech, Language and the Law*, *4*(1), 48–83. https://doi.org/10.1558/ijsll.v4i1.48

Larsson, M. & Sandberg, A. D. (2008). Memory ability of children with complex communication needs. *Augmentative and Alternative Communication*, *24*(2), 139–148. https://doi.org/10.1080/07434610801897239

Lavie, N., Hirst, A., Fockert, J. W. de & Viding, E. (2004). Load theory of selective attention and cognitive control. *Journal of Experimental Psychology. General*, *133*(3), 339–354. https://doi.org/10.1037/0096-3445.133.3.339

Lifshitz, H., Kilberg, E. & Vakil, E. (2016). Working memory studies among individuals with intellectual disability: An integrative research review. *Research in Developmental Disabilities*, *59*, 147–165. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2016.08.001

Light, J., Wilkinson, K. M., Thiessen, A., Beukelman, D. R. & Fager, S. K. (2019). Designing effective AAC displays for individuals with developmental or acquired disabilities: State of the science and future research directions. *Augmentative and Alternative Communication*, *35*(1), 42–55. https://doi.org/10.1080/07434618.2018.1558283

Logie, R. H. (2011). The functional organization and capacity limits of working memory. *Current Directions in Psychological Science*, *20*(4), 240–245. https://doi.org/10.1177/0963721411415340

Mayer-Johnson LLC. (2011). *Picture Communication Symbols [Computer software]*. Boardmarker.

McKelvey, M. L., Hux, K., Dietz, A. & Beukelman, D. R. (2010). Impact of personal relevance and contextualization on word-picture matching by people with aphasia. *American Journal of Speech-Language Pathology*, *19*(1), 22–33. https://doi.org/10.1044/1058-0360(2009/08-0021)

Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg. (2022). *Bildungsplan für Schülerinnen und Schüler mit Anspruch auf ein sonderpädagogisches Bildungsangebot im Förderschwerpunkt Geistige Entwicklung 2022: Einführung in den Bildungsplan.* https://www.bildungsplaene-bw.de/,Lde/LS/BP2022BW/SOP/GENT/TEIL-A/EINF

Mizuko, M., Reichle, J., Ratcliff, A. & Esser, J. (1994). Effects of selection techniques and array sizes on short-term visual memory. *Augmentative and Alternative Communication*, *10*(4), 237–244. https://doi.org/10.1080/07434619412331276940

Morra, S., Panesi, S., Traverso, L. & Usai, M. C. (2018). Which tasks measure what? Reflections on executive function development and a commentary on Podjarny, Kamawar, and Andrews (2017). *Journal of Experimental Child Psychology*, *167*, 246–258. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2017.11.004.

Navarro, E., Macnamara, B. N., Glucksberg, S. & Conway, A. R. A. (2020). What Influences Successful Communication? An Examination of Cognitive Load and Individual Differences. *Discourse Processes*, *57*(10), 880–899. https://doi.org/10.1080/0163853X.2020.1829936

Netzwerk People First Deutschland e.V. (o. J.). *Kampf gegen den Begriff geistig behindert.* https://www.menschzuerst.de/pages/startseite/was-tun-wir/kampf-gegen-den-begriff-geistig-behindert.php

Nikolin, S., Tan, Y. Y., Schwaab, A., Moffa, A., Loo, C. K. & Martin, D. (2021). An investigation of working memory deficits in depression using the n-back task: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Affective Disorders*, *284*, 1–8. https://doi.org/10.1016/j.jad.2021.01.084

Nobre, A. d. P., Rodrigues, J. d. C., Sbicigo, J. B., Da Piccolo, L. R., Zortea, M., Junior, S. D. & Salles, J. F. de (2013). Tasks for assessment of the episodic buffer: a systematic

review. *Psychology & Neuroscience*, *6*(3), 331–343. https://doi.org/10.3922/j.psns.2013.3.10

Oberauer, K., Schulze, R., Wilhelm, O. & Süss, H.-M. (2005). Working memory and intelligence--their correlation and their relation: comment on Ackerman, Beier, and Boyle (2005). *Psychological Bulletin*, *131*(1), 61-5. https://doi.org/10.1037/0033-2909.131.1.61

O'Neill, T., Light, J. & Pope, L. (2018). Effects of interventions that include aided augmentative and alternative communication input on the communication of individuals with complex communication needs: A meta-analysis. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *61*(7), 1743–1765. https://doi.org/10.1044/2018_JSLHR-L-17-0132

Paas, F., & Sweller, J. (2014). Implications of cognitive load theory for multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 27–42). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.004

Palmer, S. E. (1992). Common region: a new principle of perceptual grouping. *Cognitive Psychology*, *24*(3), 436–447. https://doi.org/10.1016/0010-0285(92)90014-S

Patel, R., Schooley, K. & Radhakrishnan, R. (2006). Comparison of Semantic versus Syntactic Message Formulation: A Pilot Study. *Assistive Technology Outcomes and Benefits*, *3*(1), 96–109.

Petroi, D., Koul, R. K. & Corwin, M. (2014). Effect of number of graphic symbols, levels, and listening conditions on symbol identification and latency in persons with aphasia. *Augmentative and Alternative Communication*, *30*(1), 40–54. https://doi.org/10.3109/07434618.2014.882984

Potschaske, J. & Scholz, M. (2019). Spontanes Verständnis von Piktogrammen aus Symbolsammlungen. Eine Pilotstudie zum Vergleich zwischen METACOM Symbolen und Picture-Communication-Symbols bei Studierenden und SchülerInnen aus dem Förderschwerpunkt geistige Entwicklung. *UK & Forschung*, 9, 30–37.

Ramos, A. A., Hamdan, A. C. & Machado, L. (2020). A meta-analysis on verbal working memory in children and adolescents with ADHD. *The Clinical Neuropsychologist*, *34*(5), 873–898. https://doi.org/10.1080/13854046.2019.1604998

Robillard, M., Mayer-Crittenden, C., Roy-Charland, A., Minor-Corriveau, M. & Bélanger, R. (2013). Exploring the impact of cognition on young children's ability to navigate a speech-generating device. *Augmentative and Alternative Communication*, *29*(4), 347–359. https://doi.org/10.3109/07434618.2013.849754

Robillard, M., Roy-Charland, A. & Cazabon, S. (2018). The role of cognition on navigational skills of children and adolescents with Autism Spectrum Disorders. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *61*(7), 1579–1590. https://doi.org/10.1044/2018_JSLHR-S-17-0206

Römer, N. (2024). *Working memory and aided AAC display design options for students with intellectual disabilities* [Manuskript eingereicht]. Fakultät für Teilhabewissenschaften. Pädagogische Hochschule Ludwigsburg.

Römer, N. (im Druck). Background colors as orientation cues for different grid sizes on aided AAC displays - A pilot eye tracking study. *Empirische Sonderpädagogik*.

Römer, N., Schmidt, M., Scholz, M. & Tempel, T. (2024). *Effects of background color cues in gaze-based symbol selections* [Manuskript in Vorbereitung]. Fakultät für Teilhabewissenschaften. Pädagogische Hochschule Ludwigsburg.

Römer, N., Scholz, M. & Kehl, S. (2022a). Systematisches Literaturreview zur Gestaltung von Kommunikationsoberflächen in der Unterstützten Kommunikation. *Zeitschrift für Heilpädagogik*, *73*, 492–509.

Römer, N., Steinheber, H. & Scholz, M. (2022b). Hintergrundfarben als Orientierungshilfen bei digitalen Kommunikationshilfen – Eine Eye-Tracking Studie zu Auffindegeschwindigkeit und Blickpfaden bei der Rekonstruktion auditiver Aussagen mit METACOM-Symbolen. *UK & Forschung*, *12*, 4–21.

Saeed, T. & Tahir, S. (2016). Working memory in children with intellectuality disability (ID). *Journal of Psychology & Clinical Psychiatry*, *6*(4). https://doi.org/10.15406/jpcpy.2016.06.00366

Schalock, R. L., Luckasson, R., & Tassé, M. J. (2021). *Intellectual Disability: Definition, diagnosis, classification, and systems of supports* (12. Aufl.). AAIIDD.

Schlosser, R. W., Choe, N., Koul, R., Shane, H. C., Yu, C. & Wu, M. (2022). Roles of animation in augmentative and alternative communication: A scoping review. *Current*

Developmental Disorders Reports, *9*(4), 187–203. https://doi.org/10.1007/s40474-022-00255-3

Schlosser, R. W. & Wendt, O. (2008). Effects of augmentative and alternative communication intervention on speech production in children with autism: a systematic review. *American Journal of Speech-Language Pathology*, *17*(3), 212–230. https://doi.org/10.1044/1058-0360(2008/021)

Schneider, W. J. & McGrew, K. S. (2018). The Cattell–Horn–Carroll theory of cognitive abilities. In D. P. Flanagan, E. M. McDonough & A. S. Kaufman (Hrsg.), *Contemporary Intellectual Assessment, Fourth Edition: Theories, Tests, and Issues* (4. Aufl., S. 73–163). Guilford Publications.

Scholz, M., Kehl, S. & Römer, N. (2024). Arbeitsgedächtnisleistungen und fluide Intelligenz bei Schülerinnen und Schülern im Schwerpunkt Geistige Entwicklung: Eine Erhebung an Schulen in Baden-Württemberg. *Zeitschrift für Heilpädagogik*, *75*(5), 219–230.

Scholz, M. & Stegkemper, J. M. (2022). *Unterstützte Kommunikation: Grundfragen und Strategien*. UTB; Ernst Reinhardt.

Shin, S. & Park, H (2018). Effect of working memory and exposure to the symbols on sentence construction using AAC Graphic Symbols. *Communication Sciences & Disorders*, *23*(2), 392–403. https://doi.org/10.12963/csd.18496

Shin, S. & Park, H (2022). The effect of non-verbal working memory on graphic symbol selection. *Augmentative and Alternative Communication*, *38*(2), 82–90. https://doi.org/10.1080/07434618.2022.2086909

Simmering, V. R. & Perone, S. (2012). Working memory capacity as a dynamic process. *Frontiers in Psychology*, *3*, 567. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00567

Smith, L. E., Higginbotham, D. J., Lesher, G. W., Moulton, B. & Mathy, P. (2006). The development of an automated method for analyzing communication rate in augmentative and alternative communication. *Assistive Technology*, *18*(1), 107–121. https://doi.org/10.1080/10400435.2006.10131910

Snell, M. E., Brady, N., McLean, L., Ogletree, B. T., Siegel, E., Sylvester, L., Mineo, B., Paul, D., Romski, M. A. & Sevcik, R. (2010). Twenty years of communication intervention research with individuals who have severe intellectual and developmental

disabilities. *American Journal on Intellectual and Developmental Disabilities*, *115*(5), 364–380. https://doi.org/10.1352/1944-7558-115-5.364.

Sweller, J. (2011). Cognitive Load Theory. In *Psychology of Learning and Motivation* (Bd. 55, S. 37–76). Elsevier. https://doi.org/10.10

Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G. & Paas, F. (2019). Cognitive architecture and instructional design: 20 years later. *Educational Psychology Review*, *31*(2), 261–292. https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5

Tay, D. & McDonald, J. J. (2022). Attentional enhancement predicts individual differences in visual working memory under go/no-go search conditions. *PLoS Biology*, *20*(11), e3001917. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001917

Thistle, J. J. (2019). The effect of symbol background color on the speed of locating targets by adults without disabilities: Implications for augmentative and alternative communication display design. *Perspectives of the ASHA Special Interest Groups*, *4*(6), 1482–1488. https://doi.org/10.1044/2019_PERSP-19-00017

Thistle, J. J., Holmes, S. A., Horn, M. M. & Reum, A. M. (2018). Consistent symbol location affects motor learning in preschoolers without disabilities: Implications for designing augmentative and alternative communication displays. *American Journal of Speech-Language Pathology*, *27*(3), 1010–1017. https://doi.org/10.1044/2018_AJSLP-17-0129

Thistle, J. J. & Wilkinson, K. (2009). The effects of color cues on typically developing preschoolers' speed of locating a target line drawing: Implications for augmentative and alternative communication display design. *American Journal of Speech-Language Pathology*, *18*(3), 231–240. https://doi.org/10.1044/1058-0360(2009/08-0029)

Thistle, J. J. & Wilkinson, K. (2017). Effects of background color and symbol arrangement cues on construction of multi-symbol messages by young children without disabilities: Implications for aided AAC design. *Augmentative and Alternative Communication*, *33*(3), 160–169. https://doi.org/10.1080/07434618.2017.1336571

Thistle, J. J. & Wilkinson, K. M. (2013). Working memory demands of aided augmentative and alternative communication for individuals with developmental disabilities. *Augmentative and Alternative Communication*, *29*(3), 235–245. https://doi.org/10.3109/07434618.2013.815800

Thistle, J. J. & Wilkinson, K. M. (2015). Building Evidence-based Practice in AAC Display Design for Young Children: Current Practices and Future Directions. *Augmentative and Alternative Communication*, *31*(2), 124–136. https://doi.org/10.3109/07434618.2015.1035798

Tobii Dynavox AB (Publ) (2024). *TDSnap* [Software]. https://de.tobiidynavox.com/pages/td-snap

Tönsing, K. M., Bartram, J., Morwane, R. E. & Waller, A. (2022). Designing electronic graphic symbol-based AAC systems: a scoping review. Part 1: system description. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 1–13. https://doi.org/10.1080/17483107.2022.2147228

Trezise, K. L., Gray, K. M., Taffe, J. & Sheppard, D. M. (2014). Working memory in adolescent males with Down syndrome and males with autism and intellectual disability: Implications for the classroom. *Journal of Intellectual & Developmental Disability*, *39*(1), 24–34. https://doi.org/10.3109/13668250.2013.874550

Tungate, A. S. & Conners, F. A. (2021). Executive function in Down syndrome: A meta-analysis. *Research in Developmental Disabilities*, *108*, 103802. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2020.103802.

van der Molen, M. J., Henry, L. A & van Luit, J. E. H. (2014). Working memory development in children with mild to borderline intellectual disabilities. *Journal of Intellectual Disability Research*, *58*(7), 637–650. https://doi.org/10.1111/jir.12061

Wallace, S. E. & Hux, K. (2014). Effect of two layouts on high technology AAC navigation and content location by people with aphasia. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, *9*(2), 173–182. https://doi.org/10.3109/17483107.2013.799237

Walley, R. M. & Donaldson, M. D. C. (2005). An investigation of executive function abilities in adults with Prader-Willi syndrome. *Journal of Intellectual Disability Research*, *49*(Pt 8), 613–625. https://doi.org/10.1111/j.1365-2788.2005.00717.x

Wang, L. (2021). British English-Speaking Speed 2020. *Academic Journal of Humanities & Social Sciences*, *4*(5). https://doi.org/10.25236/AJHSS.2021.040517

Wilkinson, K. M., Brittlebank, S., Barwise, A., Zimmerman, T. O. & Light, J. (2024). Visual fixation patterns to AAC displays are significantly correlated with motor selection for individuals with Down syndrome or individuals on the autism spectrum. *Augmentative*

and Alternative Communication, 1–13. https://doi.org/10.1080/07434618.2024.2325065

Wilkinson, K. M., Carlin, M. & Thistle, J. (2008). The role of color cues in facilitating accurate and rapid location of aided symbols by children with and without Down syndrome. *American Journal of Speech-Language Pathology*, *17*(2), 179–193. https://doi.org/10.1044/1058-0360(2008/018)

Wilkinson, K. M., Carlin, M. & Jagaroo, V. (2006). Preschoolers' speed of locating a target symbol under different color conditions. *Augmentative and Alternative Communication*, *22*(2), 123–133. https://doi.org/10.1080/07434610500483620

Wilkinson, K. M., Dennis, N. A., Webb, C. E., Therrien, M., Stradtman, M., Farmer, J., Leach, R., Warrenfeltz, M. & Zeuner, C. (2015). Neural activity associated with visual search for line drawings on AAC displays: An exploration of the use of fMRI. *Augmentative and Alternative Communication*, *31*(4), 310–324.

Wilkinson, K. M., Gilmore, R. & Qian, Y. (2022). Judicious arrangement of symbols on a simulated augmentative and alternative communication display optimizes visual attention by individuals with down syndrome. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *65*(2), 710–726. https://doi.org/10.1044/2021_JSLHR-21-00278

Wilkinson, K. M. & Jagaroo, V. (2004). Contributions of principles of visual cognitive science to AAC system display design. *Augmentative and Alternative Communication*, *20*(3), 123–136. https://doi.org/10.1080/07434610410001699717

Wilkinson, K. M., Light, J. & Drager, K. (2012). Considerations for the composition of visual scene displays: potential contributions of information from visual and cognitive sciences. *Augmentative and Alternative Communication*, *28*(3), 137–147. https://doi.org/10.3109/07434618.2012.704522

Wilkinson, K. M. & Madel, M. (2019). Eye tracking measures reveal how changes in the design of displays for augmentative and alternative communication influence visual search in individuals with Down syndrome or autism spectrum disorder. *American Journal of Speech-Language Pathology*, *28*(4), 1649–1658. https://doi.org/10.1044/2019_AJSLP-19-0006

Wilkinson, K. M. & McIlvane, W. J. (2013). Perceptual factors influence visual search for meaningful symbols in individuals with intellectual disabilities and Down syndrome or

autism spectrum disorders. *American Journal on Intellectual and Developmental Disabilities*, *118*(5), 353–364. https://doi.org/10.1352/1944-7558-118.5.353

Wilkinson, K. M. & Mitchell, T. (2014). Eye tracking research to answer questions about augmentative and alternative communication assessment and intervention. *Augmentative and Alternative Communication*, *30*(2), 106–119. https://doi.org/10.3109/07434618.2014.904435

Wilkinson, K. M., O'Neill, T. & McIlvane, W. J. (2014). Eye-tracking measures reveal how changes in the design of aided AAC displays influence the efficiency of locating symbols by school-age children without disabilities. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *57*(2), 455–466. https://doi.org/10.1044/2013_JSLHR-L-12-0159

Wilkinson, K. M. & Snell, J. (2011). Facilitating children's ability to distinguish symbols for emotions: The effects of background color cues and spatial arrangement of symbols on accuracy and speed of search. *American Journal of Speech-Language Pathology*, *20*(4), 288–301. https://doi.org/10.1044/1058-0360(2011/10-0065)

World Health Organization. (2007). *ICF-CY: International Classification of Functioning, Disability and Health: Children & Youth Version*. https://iris.who.int/handle/10665/43737

World Health Organization. (2022). *ICD-11: International classification of diseases* (11. Revision). https://icd.who.int/

Anhang

Forschungsartikel 1

Römer, N., Scholz, M. & Kehl, S. (2022). Systematisches Literaturreview zur Gestaltung von Kommunikationsoberflächen in der Unterstützten Kommunikation. *Zeitschrift für Heilpädagogik*, *73*(10), 492–509. [peer-reviewed]

Systematisches Literaturreview zur Gestaltung von Kommunikationsoberflächen in der Unterstützten Kommunikation

Nina Römer, Markus Scholz, Stephan Kehl

Pädagogische Hochschule Ludwigsburg

Zusammenfassung

Die Gestaltung von externen Kommunikationshilfen (z. B. Symbolanordnung) bei Personen mit komplexen Kommunikationsbedürfnissen spielt für deren effiziente Nutzung eine entscheidende Rolle. Das systematische Literaturreview widmet sich der Fragestellung, wie Rasterdisplays bei Kommunikationshilfen in Bezug auf ihre Wahrnehmung und Ansteuerung effektiver gestaltet werden können. Die Ergebnisse der ausgewählten 17 Studien zeigen auf, dass vor allem farbliche und geordnete Symbole sowie wenige gleichzeitig präsentierte Reize im Hinblick auf eine schnelle Symbolauswahl vorteilhaft erscheinen. Es lassen sich keine Konsequenzen für Oberflächengestaltungen ableiten, die für alle Personen gleichermaßen Gültigkeit besitzen. Offen bleibt auch die Frage, welche Auswirkungen die verschiedenen Oberflächengestaltungen auf die eigeninitiierte kommunikative Nutzung haben. Dennoch sind die vorliegenden empirischen Erkenntnisse zur individualisierten Ausgestaltung von Kommunikationsoberflächen in der Praxis nutzbar.

Schlüsselwörter: Unterstützte Kommunikation, systematisches Literaturreview, externe Kommunikationshilfen, Oberflächengestaltung, Eyetracking

Abstract

The design of augmentative and alternative communication systems (e. g. symbol arrangement) for individuals with complex communication needs plays an important role for their efficient use. This systematic literature review examines how grid displays can be designed more effectively in terms of perception and handling. The results of the 17 studies meeting the inclusion criteria indicate that especially colored and arranged symbols, as well as few simultaneously present stimuli, facilitated the target location speed. However, no interface designs with benefits for all individuals can be derived. Further research is needed to determine the effects of different display designs on self-initiated communication. Practitioners can use the empirical findings for constructing individualized communication systems.

*Keywords:*augmentative and alternative communication (AAC), systematic literature review, augmentative and alternative communication systems, display design, eye tracking

Ziele der Unterstützten Kommunikation stellen die Partizipation und Verbesserung der Kommunikation im Alltag dar (Wilken, 2018). Personen, die in ihrem expressiven Sprachgebrauch eingeschränkt sind, können auf unterschiedliche Formen von Kommunikationshilfen zurückgreifen. Die Verwendung von alternativen Kommunikationsmöglichkeiten kann bei Schülerinnen und Schülern aller Schularten notwendig sein. Größere Anteile finden sich an Schulen mit den sonderpädagogischen Schwerpunkten geistige Entwicklung oder körperliche und motorische Entwicklung. Aktuelle Daten aus dem sonderpädagogischen Schwerpunkt geistige Entwicklung in Bayern zeigen, dass sich ca. 18,2% der Schülerinnen und Schüler nicht lautsprachlich ausdrücken können (Baumann, 2021). Eine Studie aus Rheinland-Pfalz an Schulen mit dem sonderpädagogischen Schwerpunkt körperliche und motorische Entwicklung gibt den Anteil nichtsprechender Schülerinnen und Schüler mit 35,8% an. Hinzu kommt ein Sechstel der Schülerschaft, das sich zwar lautsprachlich mitteilt, dessen Aussagen aber von fremden Personen nicht verstanden werden können (Scholz, Wagner & Negwer, 2018). Eine mögliche Form von Unterstützung stellen externe Kommunikationshilfen dar. Diese können als elektronisches Kommunikationsgerät, aber auch als analoge Tafeln, Bücher oder Mappen vorliegen (vgl. Hüning-Meier & Bollmeyer, 2015). Als Basis für die Erstellung einer Nachricht, also als Träger der Informationen, die eine Person übermitteln möchte, dienen dabei zweidimensionale Abbildungen (z. B. Fotos, Piktogramme).

Häufig kommen in dem Kontext sogenannte Symbolsammlungen wie METACOM (Kitzinger, 2018) oder Picture-Communication-Symbols (PCS) (Mayer-Johnson LLC, 2011) zum Einsatz. Die Sammlungen bestehen aus einer Anzahl definierter Piktogramme, die stellvertretend für einzelne Worte oder kurze Aussagen stehen. Der so zur Verfügung stehende Wortschatz ist im Umfang durch die Möglichkeiten der Kommunikationshilfe, aber auch durch die Sammlungen begrenzt. Nutzende stellen Nachrichten in Kommunikationsprozessen durch Zeigen oder Klicken auf die entsprechenden Piktogramme zusammen. Die Nachrichten werden bei elektronischen Hilfen dann lautsprachlich oder schriftlich ausgegeben. Bei Tafeln muss die empfangende Person die Produktion der Nachricht beobachten, um die Aussage verstehen zu können.

Eine tatsächliche Verbesserung von Interaktion, Teilhabe und Partizipation kann nur erfolgen, wenn die Kommunikationshilfe auf die Bedürfnisse der nutzenden Person abgestimmt ist. Ein Kriterium dafür ist beispielsweise die für die Nachrichtenerstellung benötigte Zeit, die insbesondere durch die Oberflächengestaltung beeinflusst ist (Baxter, Enderby, Evans & Judge, 2012). Dies wiederum steht in engem Zusammenhang mit Forschungsergebnissen aus der visuellen Kognitionswissenschaft. Auf deren Grundlage benannten Wilkinson und Jagaroo (2004) verschiedene Faktoren, die die Interaktion mit der Kommunikationsoberfläche beeinflussen können. Zu diesen zählen die Symbolfarbe, der Symbolkontrast, die Darstellung in Rastern oder in visuellen Szenen, die axiale Orientierung und die Symmetrie sowie die Symbolanordnung. Zusätzlich kann auch die Symbolanzahl eine entscheidende Variable darstellen (u. a. Petroi, Koul & Corwin, 2014).

In Bezug auf das Layout, also die Anordnung der Symbole bzw. Piktogramme, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Es kann in Form eines Rasters mit Zeilen und Spalten erfolgen oder in sogenannten visuellen Szenen bzw. Visual Scene Displays (VSD). Rasteroberflächen bilden das Vokabular isoliert voneinander in einzelnen Spalten und Zeilen ab, wobei es verschiedene Unterformen wie statisch, sequentiell und mehrseitig-simultan gibt (Hüning-Meier & Bollmeyer, 2015). Bei VSDs handelt es sich um szenenhafte (Foto-) Darstellungen, die das Vokabular in den Szenen als zusammenhängend präsentieren (Wilkinson, Light & Drager, 2012). So könnte z. B. das Vokabular aus dem Bereich Kochen im Bild einer Küche hinterlegt sein. Der direkte Vergleich der beiden Darstellungsformate zeigt bei sehr jungen durchschnittlich entwickelten Kindern (2;6-3;11 Jahre) eine signifikant bessere Leistung innerhalb des Szenenformats (Drager, Light, Speltz, Fallon & Jeffries, 2003; Drager, Light, Carlson, D'Silva, Larsson, Pitkin, & Stopper, 2004). Wilkinson, Light und Drager (2012) stützen diese Annahme. Sie analysierten Forschungsarbeiten aus der visuell-kognitiven Neurowissenschaft und setzten diese in Bezug

zu den Gestaltungsmöglichkeiten von VSDs. Dabei kamen sie zu dem Ergebnis, dass die kognitive Belastung durch visuelle Szenen gesenkt werden kann. Dies sei insbesondere dann der Fall, wenn sozial bedeutsame Szenen, die Personen abbilden, präsentiert werden. Der Vorteil von VSDs scheint allerdings nur bei sehr jungen Kindern evident zu sein. Bei vier- und fünfjährigen Kindern fallen die Unterschiede zwischen den Layouts (Rasterdarstellung vs. VSD) deutlich geringer aus, sodass keine signifikanten Unterschiede mehr zutage treten (Light, Drager, McCarthy et al. 2004). Ein Nachteil der Organisation mit visuellen Szenen ist zudem, dass der Wortschatz immer gebunden an einen bestimmten Kontext dargestellt wird. Mehrdeutige Wörter bzw. Wörter, die in unterschiedlichen Kontexten verschiedene Bedeutungen haben können (z. B. umfahren, überlegen, Bank, Erde) oder kontextübergreifend nutzbar sind (z. B. Funktionswörter, Adjektive), sind in einem reinen VSD deutlich schwerer zu verorten. In der Praxis findet man daher häufiger Rasteranordnungen, zumal sich diese auch leichter auf analoge Formate übertragen lassen.

Es bleibt die Frage, wie Rasterdisplays in Bezug auf ihre Wahrnehmung und Ansteuerung effektiver gestaltet werden können. Hierfür werden verschiedene Strategien eingesetzt (z. B. Sortierung nach Symbolfarben, Hintergrundfarben zur Erleichterung der Orientierung, Sortierung nach Bedeutung, Nutzung von räumlichen Hinweisen, Kombination von Text und Symbolen, Variation der Symbolanzahl und des Lokalisierungslevels) (Light, Wilkinson, Thiessen, Beukelman & Koch Fager, 2019). Als Maße für die Effektivität spielen dabei die Geschwindigkeit und Genauigkeit der Symbolidentifikation eine wichtige Rolle. Im Sinne der Stärkung von Teilhabe sind aber auch Auswirkungen der Gestaltung auf die Quantität der eigeninitiierten Kommunikation bedeutsam. Zwar gibt es einzelne Artikel, die sich anhand ausgewählter Studien mit der Thematik beschäftigen (z. B. Scholz & Stegkemper, 2018), es fehlt jedoch eine komplette systematische Aufarbeitung des Forschungsstands. Dies soll innerhalb dieses systematischen Reviews anhand folgender Fragen geschehen:

- Welche Auswirkungen haben ausgewählte Strategien (Sortierung nach Symbolfarben und/ oder Hintergrundfarben, Sortierung nach Bedeutung, Nutzung von räumlichen Hinweisen, Kombination von Text und Symbolen, Variation der Symbolanzahl und/ oder des Lokalisierungslevels) zur Oberflächengestaltung auf die Genauigkeit und Geschwindigkeit der Symbolauswahl?

- Welche Auswirkungen haben ausgewählte Strategien (Sortierung nach Symbolfarben und/ oder Hintergrundfarben, Sortierung nach Bedeutung, Nutzung von räumlichen Hinweisen, Kombination von Text und Symbolen, Variation der Symbolanzahl

und/ oder des Lokalisierungslevels) zur Oberflächengestaltung auf die Quantität der eigeninitiierten Kommunikation?

- Welche zusätzlichen Ergebnisse liefern Publikationen, die die Nützlichkeit der vorherig genannten Strategien mithilfe der Erfassung von Blickbewegungen untersuchten?

Überdies soll aufgezeigt werden, welche Konsequenzen für die weitere Forschung und den Einsatz von Kommunikationshilfen im Alltag abgeleitet werden können.

Methodik

Das Vorgehen des Literaturreviews orientiert sich weitgehend an gängigen beschriebenen Abläufen (u. a. Boland, Cherry & Dickson, 2017; Gough, Oliver & Thomas, 2017).

Suche und Auswahl der Studien

Um die benannte Forschungslücke zu schließen, wurden anhand festgelegter deutscher und englischer Suchbegriffe die elektronischen Datenbanken ERIC, PSYNDEX, PsycINFO über EBSCOhost und FIS-Bildung zwischen dem 27.02.2021 und 07.04.2021 systematisch durchsucht. Folgende Kriterien waren für die Auswahl der Datenbanken maßgebend: (a) Ein übergreifender inhaltlicher Fokus der Datenbank (keine Beschränkung auf einzelne Unterrichtsfächer bzw. Schulstatistik). (b) Die Datenbank ist als Top-Datenbank im Bereich ‚Pädagogik' im Datenbank-Infosystem (DBIS) der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg gelistet. (c) Ein uneingeschränkter Zugriff aus dem Hochschulnetz ist möglich. Zusätzlich wurden relevante Studien der Zeitschrift *Augmentative and Alternative* recherchiert. Dabei konzentrierte sich die Suche auf die Titel und Abstracts und bei FIS Bildung auf den Freitext. Die Suchbegriffe (Tab. 1), die sich aus Bezeichnungen der Unterstützten Kommunikation und aus Oberflächenvariablen zusammensetzten, wurden mit dem Booleschen Operater UND / AND miteinander verbunden. Dabei wurde sowohl die Singular- als auch die Pluralform beachtet.

Tabelle 1

Suchbegriffe für ERIC, PSYNDEX, PsycINFO und FIS-Bildung

Deutscher Suchbegriff 1	„Augmentative und Alternative Kommunikation“, AAC, „Augmentative Kommunikation“, „Alternative Kommunikation“, „Unterstütze Kommunikation“, Kommunikationstafel[a], Kommunikationshilfe[a], Kommunikationsgerät[a], Sprachausgabegerät[a]
Deutscher Suchbegriff 2	Oberfläche*, Kommunikationsoberfläche[a], Design[a], Display*, Gestaltung[a], VSD, Symbol*, Farbe[a], Farbreiz[a], Hintergrundfarbe[a], Anordnung[a], visu*, Reiz[a], Hinweisreiz[a], Stimul*, Bild*, Piktogramm[a], Icon[a]
Englischer Suchbegriff 1	“Augmentative and Alternative Communication”, AAC, “Augmentative Communication”, “Alternative Communication”, “aided communication”, “picture communication”, “dynamic assessment”, “assistive technology”, “speech generating device”, “voice output communication aid”
Englischer Suchbegriff 2	layout[a], design[a], display[a], VSD, symbol[a], colo#r[b], colo#rs[b], color[c], colors[c], colour[c], colours[c], arrangement[a], organization, visu*, cue*, stimul*, picture[a], image[a], pictogram[a], icon[a]

Anmerkungen. [a] Bei diesen Wörtern wurde bei der Suche in der Datenbank FIS-Bildung zusätzlich der Plural verwendet. [b] Diese Wörter wurden ausschließlich für die Suche über EBSCOhost in den Datenbanken ERIC, PSYNDEX und PsycINFO verwendet. [c] Diese Wörter wurden ausschließlich für die Suche in der Datenbank FIS-Bildung verwendet.

Bezüglich der Auswahl der Suchbegriffe wurde sich an den bei Light et al. (2019) genannten Begrifflichkeiten sowie weiteren thematisch passenden Artikeln orientiert. Das Rechercheprinzip wurde bewusst sensitiv gewählt und erst in der Phase der Literatursichtung kamen die spezifischen Auswahlkriterien zum Tragen (siehe auch Brunton, Stansfield, Caird & Thomas, 2017). In einem zweistufigen Verfahren wurden zuerst die Titel und Abstracts und anschließend die Gesamttexte anhand der folgenden Kriterien durchleuchtet:

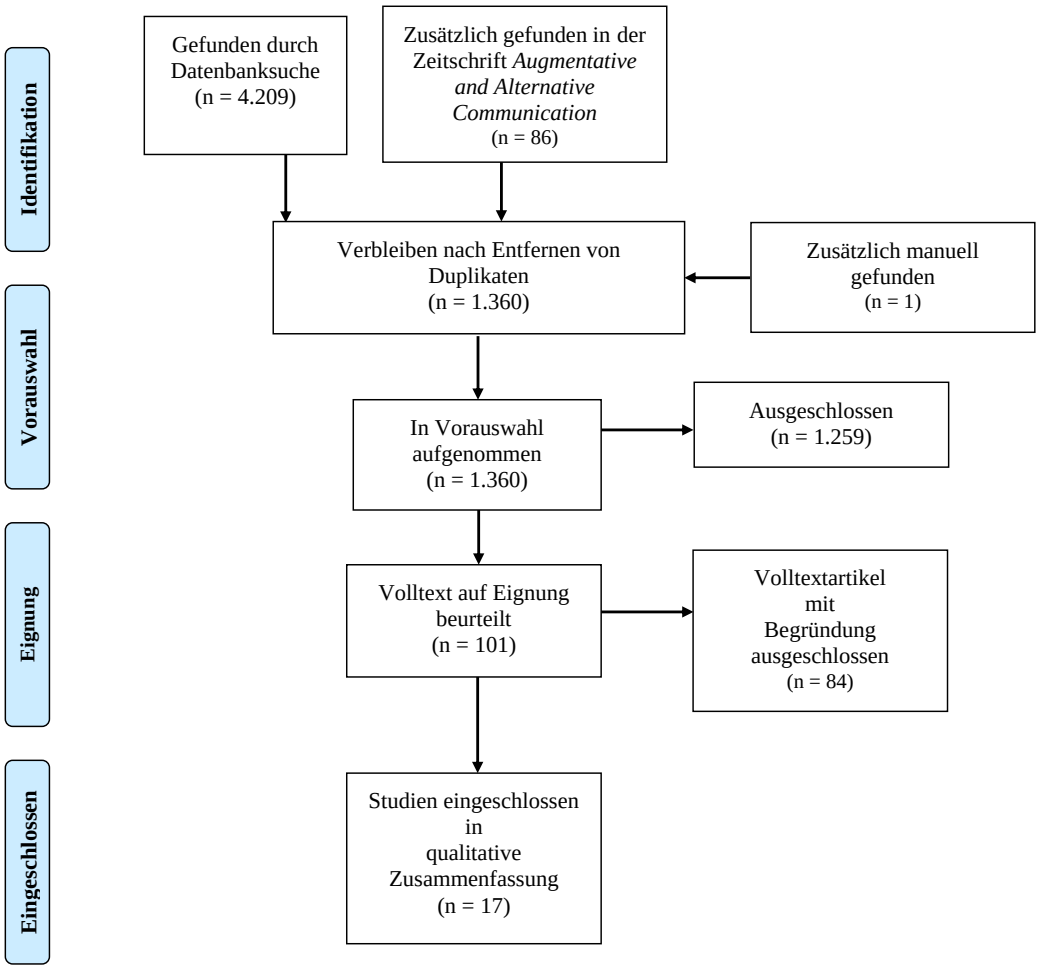
- *Publikationsart*: In das systematische Review wurden alle englisch- oder deutschsprachigen Originalstudien aus Sammelwerken oder Zeitschriften aufgenommen, die erfolgreich ein Peer-Review-Verfahren durchlaufen haben. Ausgeschlossen wurden dagegen Artikel, die der grauen Literatur zuzuordnen sind, sowie Monographien. Bezüglich des Publikationsjahrs gab es keine Einschränkungen.

- *Forschungsdesign*: Die Studien mussten ein (quasi-)experimentelles Forschungsdesign aufweisen oder eine quantitative Einzelfallanalyse darstellen. Somit wurden Reviews, Metaanalysen und Theorieartikel exkludiert.
- *Untersuchte Variablen*: Schwerpunktmäßig sollten sich die Studien mit dem Einfluss der Raster-Displaygestaltung (digital und auch analog) auf die Genauigkeit und/ oder Geschwindigkeit der Symbolidentifikation und/ oder auf die eigeninitiierte Kommunikation befassen. Ausgeschlossen wurden Studien, die sich thematisch mit VSDs, der Symbol-Ikonizität oder mit dem Vergleich von Rasterdisplays und VSDs befassten. Die Nutzung der Oberflächen musste eigenständig durch die Personen erfolgen. Demnach wurden Artikel, bei denen die Auswahl über die umstrittene Methode der Gestützten Kommunikation erfolgte, nicht in das Review aufgenommen.
- *Zielgruppe*: In Bezug auf die Zielgruppe wurden explizit keine Exklusionskriterien angewendet.

Insgesamt konnten 4.209 Publikationen über die elektronischen Datenbanken sowie 86 Publikationen in der Zeitschrift *Augmentative and Alternative* identifiziert und in Citavi exportiert werden. Zudem wurde ein Artikel (Thistle, 2019) manuell ergänzt. Nach einer automatisierten Dubletten-Prüfung wurden 1.360 Artikel durch die Erstautorin und eine studentische Hilfskraft einer Titel- und Abstract-Sichtung unterzogen. Daraufhin wurden die Volltexte von 101 Artikeln, die den Inklusionskriterien entsprachen, gesichtet. Hiervon konnten 17 Studien als passend identifiziert und in das Review aufgenommen werden (Abb.1).

Abbildung 1

Überblick Artikelauswahl



Analyse der ausgewählten Studien

Die Analyse der ausgewählten Artikel orientierte sich an den Kriterien Stichprobengröße und -alter, Entwicklungseinschränkung und Art der Messung, Anzahl der Raster und Symbolanzahl, Displaygröße, Stimulus und Auswahlsymbole, Art der Ansteuerung, unabhängige Variable, abhängige Variable und Ergebnisse. Da es sich bei allen angeführten Kommunikationshilfen um elektronische handelte, wurde dies nicht zusätzlich in die Auswertung aufgenommen. Eine übergeordnete Zuordnung der einzelnen Studienergebnisse fand anhand der Ergebnisdimensionen farbbezogene Hinweisreize, linguistische Hinweisreize, sonstige Hinweisreize sowie Ergebnisse mit Bezug zu Eyetracking statt. Die passenden Textstellen der Studien wurden von

den Autoren und der Autorin unabhängig voneinander mithilfe der Software MAXQDA 2020 codiert und in einer Datenextraktionstabelle festgehalten. Dabei wurden lediglich die Informationen, die für die Beantwortung der Fragestellung relevant sind, tabellarisch übertragen. Es handelt sich dabei um Variablen, die für die Kommunikation von besonderer Bedeutung sind. Konkret bedeutet dies, dass all jene Aspekte der Studien, die die visuelle Gestaltung und das Layout in Hinblick auf eine korrekte und schnelle Symbolauswahl widerspiegelten, aufgenommen wurden. In einem abschließenden Arbeitsschritt wurden die Textstellen von den Autoren und der Autorin auf Übereinstimmung geprüft.

Ergebnisse

Alle inkludierten Studien weisen ein (quasi-) experimentelles Forschungsdesign auf. Keine der 17 Studien befasste sich mit eigeninitiierter Kommunikation. Folglich kann die zweite Forschungsfrage, welche Auswirkungen die im Theorieteil benannten Strategien zur Oberflächengestaltung auf die Quantität der eigeninitiierten Kommunikation haben, mit diesem Review nicht beantwortet werden. Die nachfolgende Ergebnisdarstellung gliedert sich in die ausgewählten Ergebnisdimensionen farbbezogene Hinweisreize, grammatische und semantische Hinweisreize, sonstige Hinweisreize sowie Ergebnisse mit Bezug zu Eyetracking. Eine Zusammenfassung der allgemeinen Auswertungskriterien kann Tabelle 2 entnommen werden.

Tabelle 2

Aufgenommene Studien und Auswertungskriterien

Autoren	Stichprobe		Anzahl Raster (Symbolanzahl) Displaygröße	Stimulus / Auswahlsymbole	Art der Ansteuerung	Unabhängige Variable / Abhängige Variable
Alant, Kolatsis & Lilienfeld (2010)	Ø 5;10 J. (5;1-6;11) *n*=60 /		2x4 /	ARB forms (geometrische Formen) PCS (Obst)	Maus	Symbolart (PCS vs. ARB forms) Symbolfarbe (1 Farbe vs. 2 Farben vs. unterschiedliche Farben)
				ARB forms (geometrische Formen) PCS (Obst)		Auswahlgeschwindigkeit d. Zielitems Auswahlgenauigkeit d. Zielitems
Brown, Thiessen, Beukelmann & Hux (2015)	Gruppe 1: Ø 41;11 J. (28-60) *n*=9 Schädel-Hirn-Trauma	Gruppe 2: Ø 40;11 J. (23-60) *n*=9 /	5x5 (24 Symbole) /	Audioaufnahme	Augenbewegung	Symbolrepräsentation (Icons vs. Text vs. Icons + Text)
				PCS (Nomen mit 7-9 Buchstaben)		Zeit bis zur ersten Fixation Anzahl d. Fixationen bis zur Zielitemauswahl
Dukhovny & Zhou (2016)	Ø / (20-47 J.) *n*=20 /		2x3/5x8 /	Audioaufnahme	Antippen des Bildschirms	Trainingsmethode (location-centered vs. size-centered)
				SymbolStix		Auswahlgeschwindigkeit d. Zielitems Auswahlgenauigkeit d. Zielitems

Autoren	Stichprobe		Anzahl Raster (Symbolanzahl) Displaygröße	Stimulus / Auswahlsymbole	Art der Ansteuerung	Unabhängige Variable / Abhängige Variable
Mizuko, Reichle, Ratcliff & Esser (1994)	Ø 4;7 J. (/) *n*=22 /		/ /	Karteikarten mit Picsyms	Antippen des Bildschirms bzw. Rocker level switch	Symbolanzahl (10 vs. 20 vs. 30 vs. 40) Ansteuerungstechnik (Scanning vs. direkte Auswahl) Serielle Symbolposition (Position 1 oder Position 2)
				Picsyms		Auswahlgenauigkeit der Zielitems
Patel, Schooley & Radhakrishnan (2006)	Ø 8;5 J. (7-10) *n*=8 /		7x9 (61 Symbole) /	Cartoon-Bilder mit Alltagsaktivitäten	Eingabestift (Touchscreen)	Modus d. Message-Konstruktion (syntaktisch vs. semantisch)
				/		Konstruktionszeit pro linguistischer Einheit Auswahlgenauigkeit d. Zielitems
Petroi, Rajinder & Corwin (2014)	Gruppe 1: Ø 57;05 J. (46-68) *n*=10 Aphasie	Gruppe 2: Ø 57;42 J. (/) *n*=10 /	/ /	DynaVox' Picture Communication Symbols und Audioaufnahmen	Antippen des Bildschirms	Symbolanzahl (4 vs. 8 vs. 12 vs. 16)
				DynaVox' Picture Communication Symbols		Auswahlgeschwindigkeit d. Zielitems Auswahlgenauigkeit d. Zielitems

Autoren	Stichprobe		Anzahl Raster (Symbolanzahl) Displaygröße	Stimulus / Auswahlsymbole	Art der Ansteuerung	Unabhängige Variable / Abhängige Variable
Thistle (2019)	Studie 1 (kleines Raster): Ø 21 J. (18-29) *n*=30 /	Studie 2 (großes Raster): Ø 20 J. (18-34) *n*=30 /	4x4 (16 Symbole)/ 5x12 (60 Symbole) 25.5 cm	Ringbuch mit ausgeschriebenen Sätzen	Antippen des Bildschirms	Hintergrund- und Rahmenfarbe (farbig geordnet vs. weiß geordnet)
				PCS (Personen, Verben, Nomen, Adjektive)		Auswahlgeschwindigkeit d. Zielitems Auswahlgenauigkeit d. Zielitems
Thistle, Holmes, Horn & Reum (2018)	Gruppe 1 (konstant): Ø 4;2 J. (3;1-5;5 J.) *n*=12 /	Gruppe 2 (variabel): Ø 4;4 J. (3;0-5;4) *n*=12 /	4x10 29,2 cm	PCS	Antippen des Bildschirms	Symbolanordnung (konstant vs. variabel)
				PCS		Auswahlgeschwindigkeit d. Zielitems
Thistle & Wilkinson (2009)	Gruppe 1 (jünger): Ø 3;6 J. (2;10-3;11) *n*=15 /	Gruppe 2 (älter): Ø 4;7 J. (4;2-5;4) *n*=15 /	2x6 /	Audioaufnahme	Maus	Symbol- und Hintergrundfarbe (farbig/weiß vs. weiß/relevant farbig vs. weiß/irrelevant farbig vs. farbig/irrelevant farbig)
				PCS (Obst)		Auswahlgeschwindigkeit d. Zielitems Auswahlgenauigkeit d. Zielitems

Autoren	Stichprobe			Anzahl Raster (Symbolanzahl) Displaygröße	Stimulus / Auswahlsymbole	Art der Ansteuerung	Unabhängige Variable / Abhängige Variable
Thistle & Wilkinson (2017)	Gruppe 1 (jünger): Ø 4;5 J. (3;7-4;11) *n*=20 /	Gruppe 2 (älter): Ø 5;11 J. (5;0-7;5) *n*=32 /		4x4 10.2cm x 10.2cm	Audioaufnahme	Antippen des Bildschirms	Hintergrundfarbe und Symbolanordnung (weiß/ungeordnet vs. weiß/geordnet vs. farbig/ungeordnet vs. farbig/geordnet)
					PCS		Auswahlgeschwindigkeit d. Zielitems Auswahlgenauigkeit d. Zielitems
Wilkinson, Carlin & Jagaroo (2006)	Ø 4;10 J. (4;4-5;9 J.) *n*=16 /			2x4 /	ARB forms (geometrische Formen) PCS (Obst)	Maus oder Antippen des Bildschirms	Symbolfarbe (1 Farbe vs. 2 Farben vs. unterschiedliche Farben) Symbolart (PCS vs. ARB forms)
					ARB forms (geometrische Formen) PCS (Obst)		Auswahlgeschwindigkeit d. Zielitems Auswahlgenauigkeit d. Zielitems
Wilkinson, Carlin & Thistle (2008)	Gruppe 1 (jünger): Ø 3;7 J. (3;4-3;10) *n*=8 /	Gruppe 2 (älter): Ø 4;5 J. (4;0-4;9) *n*=8 /	Gruppe 3: Ø 11;9 J. (8;10-16;9) *n*=10 T21	2x6 /	Audioaufnahme und PCS (Obst/Gemüse, Kleidung, Freizeitaktivitäten)	Maus	Symbolanordnung (farbig geordnet vs. farbig ungeordnet)
					PCS (Obst/Gemüse, Kleidung, Freizeitaktivitäten)		Auswahlgeschwindigkeit d. Zielitems Auswahlgenauigkeit d. Zielitems

Autoren	Stichprobe		Anzahl Raster (Symbolanzahl) Displaygröße	Stimulus / Auswahlsymbole	Art der Ansteuerung	Unabhängige Variable / Abhängige Variable
Wilkinson, Dennis, Webb, Therrien, Stradtman, Farmer, Leach, Warrenfeltz & Zeuner (2015)	Ø 25,4 J. (20-35 J.) *n*=18 /		3x7 (20 Symbole) /	Fotografien (Tiere) PCS (Tiere)	Joystick	Symbolanordnung (konstant vs. variabel) Auswahlgeschwindigkeit d. Zielitems
Wilkinson & Madel (2019)	Gruppe 1: Ø 19;3 (16;8-21;0 J.) *n*=6 T21	Gruppe 2: Ø 16;11 (14;8-19;4 J.) *n*=6 ASS	4x4 /	PCS (Kleidung) PCS (Kleidung)	Maus	Symbolanordnung (farbig geordnet vs. farbig ungeordnet) Auswahlgenauigkeit d. Zielitems Zeit bis zur Fixation d. Zielitems Zeit bis zur Auswahl d. Zielitems Anzahl d. Fixationen (Zielitem, farbige Distraktoren, verschiedenfarbige Distraktoren)

Autoren	Stichprobe		Anzahl Raster (Symbolanzahl) Displaygröße	Stimulus / Auswahlsymbole	Art der Ansteuerung	Unabhängige Variable / Abhängige Variable
Wilkinson & McIlvane (2013)	Gruppe 1: Ø 13;11 (7;0-18;2 J.) *n*=12 T21	Gruppe 2: Ø 16;8 J. (13;0-22;2 J.) *n*=12 ASS	4x4 /	PCS (Kleidung)	Maus	Symbolanordnung (farbig geordnet vs. farbig ungeordnet)
				PCS (Kleidung)		Auswahlgeschwindigkeit d. Zielitems Auswahlgenauigkeit d. Zielitems
Wilkinson, O'Neill & McIlvane (2014)	Gruppe 1 (ISCAN): Ø / (7-9 J.) *n*=7 /	Gruppe 2 (TOBii): Ø / (7-12 J.) *n*=7 /	4x4 /	PCS (Kleidung)	Maus	Symbolanordnung (farbig geordnet vs. farbig ungeordnet)
				PCS (Kleidung)		Auswahlgeschwindigkeit d. Zielitems Auswahlgenauigkeit d. Zielitems Geschwindigkeit d. Fixationen (Zielitem, farbige Distraktoren, verschiedenfarbige Distraktoren) Anzahl d. Fixationen (Zielitem, farbige Distraktoren, verschiedenfarbige Distraktoren)

Autoren	Stichprobe			Anzahl Raster (Symbolanzahl) Displaygröße	Stimulus / Auswahlsymbole	Art der Ansteuerung	Unabhängige Variable / Abhängige Variable
Wilkinson & Snell (2011)	Gruppe 1: (Original) Ø 4,6 J. (/) *n*=10 /	Gruppe 2: (Replikation) Ø 4,10 J. (/) *n*=11 /	Gruppe 3: (Replikation) Ø 4,11 J. (/) *n*=9 /	4x4 (8 Symbole) /	Fotografie (Emotionen)	Maus	Hintergrundfarbe oder Rahmenfarbe (farbig ungeordnet vs. weiß ungeordnet) Symbolanordnung (weiß geordnet vs. weiß ungeordnet) Hintergrundfarbe oder Rahmenfarbe + Symbolanordnung (weiß/ungeordnet vs. farbig/geordnet)
					PCS (Emotionen)		Auswahlgeschwindigkeit d. Zielitems Auswahlgenauigkeit d. Zielitems

Anmerkungen. ARB forms = arbitrary forms; PCS = Picture Communication Symbols; T21 = Trisomie 21; ASS = Autismus-Spektrum-Störung.

Farbbezogene Hinweisreize

Der Ergebnisdimension farbbezogene Hinweisreize lassen sich 11 der 17 Studien zuordnen (vgl. Tab. 3). Innerhalb dieser Dimension können fünf verschiedene Untersuchungsbedingungen (Symbolfarbe und Symbolart, Symbol- und Hintergrundfarbe, Hintergrundfarbe/ Rahmenfarbe, Hintergrundfarbe und Symbolanordnung, Symbolanordnung) berichtet werden.

Tabelle 3

Ergebnisse farbbezogene Hinweisreize

Autoren	Stichprobe	Bedingungen	Ergebnisse	
			Auswahlgeschwindigkeit	Auswahlgenauigkeit
Alant, Kolatsis & Lilienfeld (2010)	Ø 5;10 J. (5;1-6;11) *n*=60 /	Symbolfarbe (1 Farbe vs. 2 Farben vs. unterschiedliche Farben) und Symbolart (PCS vs. ARB forms)	ARB forms werden signifikant schneller aufgefunden, wenn sie in zwei oder mehr Farben dargeboten werden. Bei einem von zwei Sets gilt dies auch für PCS.	Beide Symbolarten werden signifikant genauer ausgewählt, wenn alle Symbole eine einheitliche Farbe oder alle Symbole eine individuelle Farbe vorweisen (nur bei einem von zwei Sets).
Wilkinson, Carlin & Jagaroo (2006)	Ø 4;10 J. (4;4-5;9 J.) *n*=16 /	Symbolfarbe (1 Farbe vs. 2 Farben vs. unterschiedliche Farben) und Symbolart (PCS vs. ARB forms)	Sowohl ARB forms als auch PCS weisen signifikant längere Reaktionszeiten bei gleichfarbigen Symbolen auf.	Beide Symbolarten werden signifikant genauer ausgewählt, wenn jedes Symbol eine individuelle Farbe aufweist.

Autoren	Stichprobe		Bedingungen	Ergebnisse	
				Auswahlgeschwindigkeit	Auswahlgenauigkeit
Thistle & Wilkinson (2009)	Gruppe 1 (jünger): Ø 3;6 J. (2;10-3;11) *n*=15 /	Gruppe 2 (älter): Ø 4;7 J. (4;2-5;4) *n*=15 /	Symbol- und Hintergrundfarbe (farbig/weiß vs. weiß/relevant farbig vs. weiß/irrelevant farbig vs. farbig/irrelevant farbig)	Für die älteren Kinder bieten lediglich farbige-Symbole mit einem weißen Hintergrund einen signifikanten Vorteil im Vergleich zu weißen Symbolen mit irrelevanten Hintergrundfarben. Bei den jüngeren Kindern ist alleinig die Symbolfarbe entscheidend. Bei diesen führen Symbolanordnungen nach Symbolfarben zu signifikant kürzeren Reaktionszeiten im Vergleich zu Symbolanordnungen nach relevanten oder irrelevanten Hintergrundfarben.	Es gibt bei beiden Altersgruppen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bedingungen.
Thistle (2019)	Studie 1 (kleines Raster): Ø 21 J. (18-29) *n*=30 /	Studie 2 (großes Raster): Ø 20 J. (18-34) *n*=30 /	Hintergrundfarbe/ Rahmenfarbe (farbig geordnet vs. weiß geordnet)	Bei der kleinen Rastergröße (16 Felder) gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bedingungen. Bei der großen Rastergröße (60 Felder) wurden die Symbole mit Hintergrundfarben signifikant schneller ausgewählt als in den anderen beiden Bedingungen.	Es gibt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bedingungen.

Autoren	Stichprobe			Bedingungen	Ergebnisse	
					Auswahlgeschwindigkeit	Auswahlgenauigkeit
Wilkinson & Snell (2011)	Gruppe 1: Ø 4,6 J. (/) *n*=10 /	Gruppe 2: Ø 4,10 J. (/) *n*=11 /	Gruppe 3: Ø 4,11 J. (/) *n*=9 /	Hintergrundfarbe/Rahmenfarbe (farbig ungeordnet vs. weiß ungeordnet)	Es gibt in keiner der Gruppen signifikante Unterschiede zwischen den Bedingungen.	Es gibt in keiner der Gruppen signifikante Unterschiede zwischen den Bedingungen.
				Hintergrundfarbe und Symbolanordnung (weiß/ungeordnet vs. farbig/geordnet)	Es gibt in keiner der Gruppen signifikante Unterschiede zwischen den Bedingungen.	Es gibt in keiner der Gruppen signifikante Unterschiede zwischen den Bedingungen.
Thistle & Wilkinson (2017)	Gruppe 1 (jünger): Ø 4;5 J. (3;7-4;11) *n*=20 /	Gruppe 2 (älter): Ø 5;11 J. (5;0-7;5) *n*=32 /		Hintergrundfarbe und Symbolanordnung (weiß/ungeordnet vs. weiß/geordnet vs. farbig/ungeordnet vs. farbig/geordnet)	Die jüngeren Kinder wählen Symbole in der geordneten Bedingung signifikant schneller aus als in der ungeordneten Bedingung. Dabei ist es irrelevant, ob der Hintergrund farbig oder weiß ist. Bei der Gruppe der älteren Kinder gibt es keine signifikanten Effekte zwischen den Bedingungen.	Es gibt bei beiden Altersgruppen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bedingungen.
Wilkinson, Carlin & Thistle (2008)	Gruppe 1 (jünger): Ø 3;7 J. (3;4-3;10) *n*=8 /	Gruppe 2 (älter): Ø 4;5 J. (4;0-4;9) *n*=8 /	Gruppe 3: Ø 11;9 J. (8;10-16;9) *n*=10 T21	Symbolanordnung (farbig geordnet vs. farbig ungeordnet)	Alle drei Gruppen wählen unter der geordneten Bedingung die Symbole signifikant schneller aus.	Bei Personen mit DS zeigt sich eine signifikant genauere Symbolauswahl in der geordneten Bedingung.

Autoren	Stichprobe			Bedingungen	Ergebnisse	
					Auswahlgeschwindigkeit	Auswahlgenauigkeit
Wilkinson & Madel (2019)	Gruppe 1: Ø 19;3 (16;8-21;0 J.) *n*=6 T21	Gruppe 2: Ø 16;11 (14;8-19;4 J.) *n*=6 ASS		Symbolanordnung (farbig geordnet vs. farbig ungeordnet)	Bei Jugendlichen und Erwachsenen mit DS und bei Personen mit ASS ist in der geordneten Bedingung die Click-Zeit signifikant kürzer als in der ungeordneten Bedingung.	/
Wilkinson & McIlvane (2013)	Gruppe 1: Ø 13;11 (7;0-18;2 J.) *n*=12 T21	Gruppe 2: Ø 16;8 J. (13;0-22;2 J.) *n*=12 ASS		Symbolanordnung (farbig geordnet vs. farbig ungeordnet)	Die Reaktionszeit in der geordneten Bedingung ist signifikant kürzer als in der ungeordneten Bedingung. Dies gilt sowohl für Kinder und Jugendliche mit DS wie auch mit ASS	Es gibt bei beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bedingungen.
Wilkinson, O'Neill & McIlvane (2014)	Gruppe 1 (ISCAN): Ø / (7-9 J.) *n*=7 /	Gruppe 2 (TOBii): Ø / (7-12 J.) *n*=7 /		Symbolanordnung (farbig geordnet vs. farbig ungeordnet)	In beiden Gruppen werden die Symbole in der geordneten Bedingung signifikant schneller ausgewählt als in der ungeordneten Bedingung.	/
Wilkinson & Snell (2011)	Gruppe 1: (Original) Ø 4,6 J. (/) *n*=10 /	Gruppe 2: (Replikation) Ø 4,10 J. (/) *n*=11 /	Gruppe 3: (Replikation) Ø 4,11 J. (/) *n*=9 /	Symbolanordnung (weiß geordnet vs. weiß ungeordnet)	Bei 2 von 3 Gruppen werden in der geordneten Bedingung die Symbole signifikant schneller ausgewählt.	Es gibt in keiner der Gruppen signifikante Unterschiede zwischen den Bedingungen.

Anmerkungen. ARB forms = arbitrary forms; PCS = Picture Communication Symbols; T21 = Trisomie 21; ASS = Autismus-Spektrum-Störung.

Die Ergebnisse bei der Bedingung Symbolfarbe und Symbolart (n=2) in Bezug auf die Auswahlgeschwindigkeit zeigen sich einheitlich. Die Reaktionszeit ist sowohl bei geometrischen Formen (ARB forms) als auch bei PCS langsamer, wenn alle Symbole die gleiche Farbe aufweisen. Bei der Auswahlgenauigkeit kann festgehalten werden, dass beide Symbolarten genauer ausgewählt werden, wenn jedes Symbol eine individuelle Farbe aufweist (Alant, Kolatsis & Lilienfeld, 2010; Wilkinson, Carlin & Jagaroo, 2006). Zusätzlich wird bei der Replikation der Studie von Wilkinson, Carlin und Jagaroo (2006) eine höhere Präzision bei gleichfarbigen Symbolen als bei zwei unterschiedlichen Symbolfarben nachgewiesen (Alant, Kolatsis & Lilienfeld, 2010).

Die Untersuchungsbedingung Symbol- und Hintergrundfarbe wird einzig von Thistle und Wilkinson (2009) betrachtet. Die Ergebnisse bezüglich der Auswahlgeschwindigkeit fallen bei den älteren Kindern zugunsten farbiger Symbole in Kombination mit einem weißen Hintergrund aus. Bei den jüngeren Kindern scheinen farbige Symbole unabhängig von einer vorhandenen Hintergrundfarbe ein entscheidender Faktor zu sein (Thistle & Wilkinson, 2009). Bei der Auswahlgenauigkeit zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bedingungen.

Ferner werden auch unter den Bedingungen Hintergrundfarbe bzw. Rahmenfarbe (n=2) sowie Hintergrundfarbe und Symbolanordnung bezüglich der Auswahlgenauigkeit keine signifikanten Unterschiede zwischen einem farbigen und einem weißen Hintergrund unabhängig von der Symbolanordnung berichtet (Thistle, 2019; Thistle & Wilkinson, 2017; Wilkinson & Snell, 2011). In Bezug auf die Auswahlgeschwindigkeit erweisen sich Hintergrundfarben in einem größeren Raster mit 60 Feldern als vorteilhaft. Hingegen zeigt sich in einem Raster mit 16 Feldern kein Unterschied (Thistle, 2019).

Im Kontext der Auswahlgeschwindigkeit unterscheiden sich auch die Ergebnisse von Thistle und Wilkinson (2017) und Wilkinson und Snell (2011). Letztere können keinen signifikanten Unterschied zwischen den Bedingungen nachweisen. Thistle und Wilkinson (2017) kommen jedoch zu dem Ergebnis, dass die jüngeren Kinder unabhängig von der Hintergrundfarbe die Symbole in den geordneten Bedingungen signifikant schneller auswählen. Bei der Gruppe der älteren Kinder ist dieser Effekt nicht nachzuweisen.

Die letzte Bedingung stellt die Symbolanordnung (n=4) dar. Werden lediglich die Ergebnisse zur Auswahlgeschwindigkeit betrachtet, zeigt sich ein homogenes Bild. Bei allen vier Studien bietet die geordnete Bedingung einen signifikanten Vorteil im Vergleich zur ungeordneten Bedingung (Wilkinson, Carlin & Thistle, 2008; Wilkinson & Madel, 2019; Wilkinson &

McIlvane, 2013; Wilkinson, O'Neill & McIlvane, 2014; Wilkinson & Snell, 2011). Mit Blick auf die Ergebnisse bezüglich der Auswahlgenauigkeit können Wilkinson, Carlin und Thistle (2008) aufzeigen, dass Kinder mit Trisomie 21 bei einer geordneten Symbolanordnung signifikant besser abschneiden als bei ungeordneten Symbolen. Obwohl Wilkinson und McIlvane (2013) ebenfalls Kinder und Jugendliche mit Trisomie 21 untersuchen, können diese keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bedingungen feststellen. Zu dem gleichen Ergebnis kommen Wilkinson und Snell (2011), die ihre Untersuchung an Kindern mit durchschnittlicher Entwicklung durchführten. Werden die Ergebnisse unter Einbezug der Versuchsgestaltung verglichen, muss angemerkt werden, dass Wilkinson, Carlin und Thistle (2008) neben visuellen Stimuli auch auditive Stimuli darbieten. Dies ist bei den zwei anderen Studien nicht der Fall. Hier werden lediglich visuelle Stimuli präsentiert. Darüber hinaus ist die Rasteranzahl bei Wilkinson und McIlvane (2013) und Wilkinson und Snell (2011) geringer als bei Wilkinson, Carlin und Thistle (2008).

Grammatische und semantische Hinweisreize

Neben Studien, die sich mit farbigen Hinweisreizen befassen, existieren Untersuchungen, die sich mit Anordnungen nach grammatischen und semantischen Hinweisen auseinandersetzen. Innerhalb der Dimension der grammatischen und semantischen Hinweisreizen kann zwischen der Bedingung Symbolanordnung nach grammatischen Strukturen (n=1), Symbolanordnung nach Wortarten (n=1) und Symbolanordnung nach Symbolbedeutung (n=1) unterschieden werden (vgl. Tab. 4).

Tabelle 4

Ergebnisse grammatische und semantische Hinweisreize

Autoren	Stichprobe		Bedingung	Ergebnisse	
				Auswahlgeschwindigkeit	Auswahlgenauigkeit
Patel, Schooley & Radhakrishnan (2006)	Ø 8;5 J. (7-10) *n*=8 /		Symbolanordnung nach grammatischen Strukturen (syntaktisch vs. semantisch)	Bei der Konstruktionszeit je linguistischer Einheit gibt es keine Unterschiede zwischen der syntaktischen und der semantischen Anordnung. Lediglich bei der Zeit je Buttonklick ist die Auswahlgeschwindigkeit signifikant höher, wenn das syntaktische Layout genutzt wird.	Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Bedingungen.
Thistle, Holmes, Horn & Reum (2018)	Gruppe 1 (konstant): Ø 4;2 J. (3;1-5;5 J.) *n*=12 /	Gruppe 2 (variabel): Ø 4;4 J. (3;0-5;4) *n*=12 /	Symbolanordnung nach Wortarten (konstant vs. variabel)	Bei konstant angeordneten Symbolen ist die Geschwindigkeit des Auffindens in der 5. Sitzung signifikant höher als in der 1. Sitzung.	/
Wilkinson, Dennis, Webb, Therrien, Stradtman, Farmer, Leach, Warrenfeltz & Zeuner (2015)	Ø 25,4 J. (20-35 J.) *n*=18 /		Symbolanordnung nach Symbolbedeutung (konstant vs. variabel)	Bei konstant angeordneten Symbolen sind signifikant kürzere Reaktionszeiten festzustellen.	/

Sowohl bei einer Symbolanordnung nach Wortarten als auch bei einer Anordnung nach Symbolbedeutung werden schnellere Reaktionszeiten bei einer konstanten Symbolanordnung im Unterschied zu einer variablen Anordnung berichtet (Thistle, Holmes, Horn & Reum, 2018; Wilkinson, Dennis, Webb, Therrien, Stradtman, Farmer, Leach, Warrenfeltz & Zeuner, 2015). Patel, Schooley und Radhakrishnan (2006), die die Symbolanordnung nach grammatischen Strukturen untersuchen, nutzen die Konstruktionszeit für jede linguistische Einheit und die Zeit pro Buttonklick für die Berechnung der Auswahlgeschwindigkeit. Dies lässt sich somit nur eingeschränkt mit der Symbolauswahlgeschwindigkeit aller anderen Studien vergleichen. Dennoch muss festgehalten werden, dass die Auswahlgeschwindigkeit unter Einbezug der Buttonklickzeit signifikant höher ist, wenn das syntaktische Layout genutzt wird. Gleichzeitig wird berichtet, dass kein signifikanter Unterschied zwischen den Bedingungen in Bezug auf die Auswahlgenauigkeit vorliegt (Patel, Schooley & Radhakrishnan, 2006).

Sonstige Hinweisreize

Unter der Ergebnisdimension sonstige Hinweisreize finden sich all diejenigen Studien, die nicht den anderen Dimensionen zuzuordnen sind und individuelle Versuchsbedingungen aufweisen (vgl. Tab. 5).

Tabelle 5

Ergebnisse sonstige Hinweisreize

Autoren	Stichprobe		Bedingung	Ergebnisse	
				Auswahlgeschwindigkeit	Auswahlgenauigkeit
Brown, Thiessen, Beukelmann & Hux (2015)	Gruppe 1: Ø 41;11 J. (28-60) *n*=9 Schädel-HirnTrauma	Gruppe 2: Ø 40;11 J. (23-60) *n*=9 /	Symbolrepräsentation (Icons vs. Text vs. Icons + Text)	Unter der Bedingung, dass nur Icons dargeboten werden, werden die Items signifikant schneller ausgewählt. Dies gilt für beide Gruppen.	/
Dukhovny & Zhou (2016)	Ø / (20-47 J.) *n*=20 /		Trainingsmethode (location-centered vs. size-centered)	In der location-centered Bedingung werden die Symbole signifikant schneller ausgewählt.	In der location-centered Bedingung werden die Symbole signifikant genauer ausgewählt.
Mizuko, Reichle, Ratcliff & Esser (1994)	Ø 4;7 J. (/) *n*=22 /		Symbolanzahl (10 vs. 20 vs. 30 vs. 40)	/	Unter der Bedingung, dass die Symbole durch Scanning ausgewählt werden, führen 30 Symbole im Vergleich zu 40 Symbolen zu einer signifikant genaueren Symbolauswahl (nur bei serieller Position 2).
Petroi, Rajinder & Corwin (2014)	Gruppe 1: Ø 57;05 J. (57.05) (46-68) *n*=10 Aphasie	Gruppe 2: Ø 57;42 J. (57.42) (/) *n*=10 /	Symbolanzahl (4 vs. 8 vs. 12 vs. 16)	/	Von beiden Gruppen werden die Symbole signifikant genauer ausgewählt, wenn nur 4 Symbole statt 8, 12 oder 16 zur Auswahl stehen.

Brown, Thiessen, Beukelmann und Hux (2015), die die Symbolrepräsentation anhand der Unterschiede zwischen reiner Symbolpräsentation, reiner Textpräsentation oder der Kombination von beidem untersuchen, kommen zu dem Ergebnis, dass bei einer alleinigen Darstellung von Symbolen die Auswahlgeschwindigkeit signifikant höher ist. Ebenfalls kürzere Reaktionszeiten können gemessen werden, wenn in der Gewöhnungsphase an das Layout die Symbole die gleiche Größe und Position auf der Oberfläche einnehmen wie es auch bei der späteren Nutzung der Fall sein wird (Dukhovny & Zhou, 2016). Dukhovny und Zhou (2016) bezeichnen dies als location-centered Trainigsmethode. Dieser steht die size-centered Methode gegenüber, bei der sich die Größe und Position der Symbole zwischen Gewöhnungsphase und Testphase unterscheiden. Darüber hinaus zeigt sich bei ersterer Methode eine signifikant genauere Symbolauswahl (ebd.). Eine weitere Studie befasst sich unter anderem mit den Auswirkungen der Symbolanzahl und unterscheidet dabei zusätzlich zwischen Scanning und direkter Ansteuerung. Die Ergebnisse zur Auswahlgenauigkeit sind nicht eindeutig. Zwar wird festgestellt, dass unter der Scanning-Bedingung 30 Symbole im Vergleich zu 40 Symbolen zu einer signifikant genaueren Symbolauswahl führen, dies gilt jedoch nur für Symbole, die an zweiter Position stehen (Mizuko, Reichle, Ratcliff & Esser, 1994). Ebenfalls einen Vorteil bei einer geringen Symbolanzahl unter Bezug der Auswahlgenauigkeit können Petroi, Rajinder und Corwin (2014) nachweisen. Die Versuchspersonen wählen die Zielitems unter vier Symbolen signifikant schneller aus als unter acht, zwölf oder sechzehn Symbolen.

Eyetracking

Die Ergebnisdimension Eyetracking stellt die spezifischen Ergebnisse zur Fixationsanzahl und der Fixationsgeschwindigkeit im Einzelnen näher dar (vgl. Tabelle 6).

Tabelle 6

Ergebnisse Eyetracking

Autoren	Stichprobe		Bedingungen	Ergebnisse	
				Fixationsanzahl	Fixationsgeschwindigkeit
Brown, Thiessen, Beukelman & Hux (2015)	Gruppe 1: Ø 41;11 J. (28-60) *n*=9 Schädel-Hirn-Trauma	Gruppe 2: Ø 40;11 J. (23-60) *n*=9 /	Symbolrepräsentation (Icons vs. Text vs. Icons + Text)	Bei beiden Gruppen gibt es signifikant weniger Fixationen bis zum Zielreiz, wenn nur Icons dargeboten werden.	Bei beiden Gruppen ist die Zeit bis zur ersten Fixation des Zielreizes signifikant kürzer, wenn nur Icons dargeboten werden.
Wilkinson & Madel (2019)	Gruppe 1: Ø 19;3 (16;8-21;0 J.) *n*=6 T21	Gruppe 2: Ø 16;11 (14;8-19;4 J.) *n*=6 ASS	Symbolanordnung (farbig geordnet vs. farbig ungeordnet)	Bei beiden Gruppen wird in der ungeordneten Bedingung signifikant häufiger auf Distraktoren geschaut.	In der geordneten Bedingung ist die Zeit bis zur ersten Fixation signifikant kürzer als in der ungeordneten Bedingung. Dies gilt für beide Gruppen.
Wilkinson, O'Neill & McIlvane (2014)	Gruppe 1 (ISCAN): Ø / (7-9 J.) *n*=7 /	Gruppe 2 (TOBii): Ø / (7-12 J.) *n*=7 /	Symbolanordnung (farbig geordnet vs. farbig ungeordnet)	Es ist bei beiden Gruppen eine signifikant höhere Anzahl der Fixationen auf irrelevante Distraktoren beim ungeordneten Design festzustellen. Außerdem werden bei der ISCAN-Gruppe farbähnliche Distraktoren im ungeordneten Design signifikant weniger häufig fixiert. Bei der Anzahl der Fixationen bis zum Zielreiz können bei beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.	Bei beiden Gruppen werden in der geordneten Bedingung die Symbole signifikant schneller fixiert.

Anmerkungen. T21 = Trisomie 21; ASS = Autismus-Spektrum-Störung.

Die unter dieser Dimension genannten Studien wurden auch schon den vorherigen Ergebnisdimensionen zugeteilt und diesbezüglich erläutert. Anknüpfend an die bereits genannten Ergebnisse zur Symbolrepräsentation zeigen auch die Eyetrackingdaten, dass bei einer ausschließlichen Darstellung von Symbolen im Vergleich zu einer Kombination mit Text oder einer alleinigen Darstellung von Text sowohl die Fixationsanzahl geringer wie auch die Fixationsgeschwindigkeit höher ist (Brown, Thiessen, Beukelmann & Hux, 2015). Zwei weitere Studien, die ebenfalls Messungen via Eyetracking durchführten, befassen sich mit der Symbolanordnung und kommen zu den gleichen Ergebnissen. In der ungeordneten Bedingung wird signifikant häufiger auf Distraktoren geschaut als in einem Raster, das nach Symbolfarben geordnet wird (Wilkinson & Madel, 2019; Wilkinson, O'Neill & McIlvane; 2014). Darüber hinaus können Wilkinson, O'Neill und McIlvane (2014) darlegen, dass farbähnliche Distraktoren im ungeordneten Design signifikant weniger häufig fixiert werden. Die Ergebnisse zur Fixationsanzahl können auf die Ergebnisse zur Fixationsgeschwindigkeit übertragen werden. Auch hier bietet die geordnete Bedingung einen Vorteil durch eine signifikant kürzere Fixationszeit (ebd.). Da beide Studien einen vergleichbaren Versuchsaufbau vorweisen, können die Ergebnisse unmittelbar gegenübergestellt werden.

Diskussion, Limitationen, Forschungsdesiderate und Praxishinweise

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass in Bezug auf die farblichen Hinweisreize Symbole schneller ausgewählt werden, wenn diese geordnet präsentiert werden und sich farblich unterscheiden. Beim Nutzen von Hintergrund-bzw. Rahmenfarben zeigt sich seitens der Auswahlgeschwindigkeit jedoch kein einheitliches Bild. Einerseits wurde aufgezeigt, dass Hintergrundfarben im Vergleich zu Symbolfarben eher einen Nachteil in Bezug auf die Auswahlgeschwindigkeiten mit sich bringen, andererseits konnte unter Beachtung der Symbolanordnung kein Unterschied nachgewiesen werden. Darüber hinaus wurden geordnete Symbole mit Hintergrundfarben in einem 60-Felder Raster schneller ausgewählt. Hingegen konnte dieses Ergebnis auf ein kleineres Raster nicht übertragen werden (Thistle, 2019). Bezüglich der Auswahlgenauigkeit konnten ebenfalls keine signifikanten Effekte zwischen den verschiedenen Bedingungen festgestellt werden. Eine mögliche Erklärung wäre, dass insgesamt die Auswahlgenauigkeit zu hoch war und somit keine Unterschiede signifikant wurden. Zwar zeigen die Ergebnisse von Wilkinson, Carlin und Thistle (2008) auf, dass Kinder mit Trisomie 21 bei einer geordneten Symbolanordnung signifikant besser abschneiden als bei ungeordneten Symbolen, dies wurde jedoch durch eine spätere Replikation der Studie nicht mehr bestätigt. Der Unterschied könnte darin begründet liegen, dass in der Replikation von Wilkinson und McIlvane (2013) ein

größeres Raster und somit auch mehr Symbole zum Einsatz kamen. Des Weiteren wurden hierbei ausschließlich visuelle Stimuli genutzt, wohingegen bei Wilkinson, Carlin und Thistle (2008) visuelle und auditive Stimuli verwendet wurden. Eine Ausnahme zu den Ergebnissen bezüglich der Auswahlgenauigkeit stellen die Erkenntnisse von Alant, Kolatsis und Lilienfeld (2010) dar. Die Autorinnen konnten zeigen, dass Symbole präziser ausgewählt werden, wenn alle Symbole eine einheitliche oder eine individuelle Farbe aufweisen. Jedoch konnte dies nur in einer von zwei Bedingungen (Bedingungen unterscheiden sich anhand der Reihenfolge der Farbdarstellungen) bestätigt werden. Darüber hinaus muss angemerkt werden, dass bei einem Großteil der Experimente die Symbole nicht nur nach farblichen Hinweisreizen angeordnet wurden, sondern die Anordnung auch nach grammatischen oder semantischen Regeln vorgenommen wurde. Somit liegen bei diesen Rastern doppelte Hinweise vor, was zur Folge hat, dass sie sich nicht eindeutig von der Kategorie der grammatischen und semantischen Hinweisreize abgrenzen lassen.

Die Ergebnisse zu den grammatischen und semantischen Hinweisreizen lassen den Schluss zu, dass eine konstante Symbolanordnung im Unterschied zu einer variablen Anordnung zu einer schnelleren Symbolauswahl führt. Gleiches gilt für ein syntaktisches Layout (Anordnung nach Wortarten) im Vergleich zu einer semantischen Oberflächenanordnung (Anordnung nach Wortbedeutung). Wie auch bei den farblichen Hinweisreizen gibt es bezüglich der Auswahlgenauigkeit keine Unterschiede zwischen den Bedingungen. Bei den sonstigen Hinweisreizen zeichnet sich ein einheitlicheres Bild ab. Je weniger Reize (z. B. geringe Symbolanzahl) auf der Oberfläche vorhanden sind, desto schneller und genauer werden die Symbole ausgewählt. Allerdings sollten Kommunikationshilfen, die im Alltag Verwendung finden, in der Regel größere Raster aufweisen, um einen ständigen Wechsel der Oberfläche oder eine starke Begrenzung des Wortschatzes zu vermeiden (Boenisch, Willke & Sachse, 2020).

Die bisher genannten Ergebnisse werden durch die Eyetracking-Daten bestätigt. Bei einem geordneten Symbolraster werden die Symbole signifikant schneller fixiert und es wird seltener auf Distraktoren geschaut. Ferner führt eine ausschließliche Darstellung von Symbolen im Vergleich zu einer Kombination mit Text oder einer alleinigen Darstellung von Text zu einer geringeren Fixationsanzahl und einer höheren Reaktionsgeschwindigkeit. Einschränkend muss genannt werden, dass lediglich drei der 16 Untersuchungen mittels Eyetracking unterstützt wurden und somit die Ergebnisse nicht unabhängig von der Oberflächengestaltung generalisiert werden können. Nichtsdestotrotz fallen die Ergebnisse übergreifend betrachtet zugunsten einer

geordneten und farblichen Symboldarstellung insbesondere in Bezug auf die Auswahlgeschwindigkeit aus.

Wie schon an manchen Stellen angeführt, müssen die Ergebnisse auch kritisch betrachtet werden. Neben den bereits genannten Aspekten limitieren die Charakteristika der Stichproben die Aussagekraft der Ergebnisse. Nur knapp die Hälfte der Untersuchungen (n=7) beschäftigt sich mit Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen mit spezifischen Ausgangsbedingungen (Autismus-Spektrum-Störung, Trisomie 21, Aphasie, Schädel-Hirn-Trauma). Es ist fraglich, inwieweit die Erkenntnisse für die eigentliche Zielgruppe übertragbar sind. Daran anknüpfend können auch die geringen Stichprobengrößen als problematisch betrachtet werden. Die Versuchsgruppengröße liegt bei dem Großteil der Studien (n=12) unter 30 Versuchspersonen. Werden die einzelnen Oberflächendesigns und Symbolsysteme in den Blick genommen, zeigen sich weitere Schwierigkeiten. Die Rastergrößen der einzelnen Studien variieren zwischen 2x4 Rastern und 7x9 Rastern und die Symbolanzahl zwischen 6 und 61 Symbolen. Folglich können die Ergebnisse kaum bzw. gar nicht übertragen werden, sondern gelten nur für das jeweilige Design. Ähnlich verhält es sich mit den genutzten piktografischen Symbolen. Es wurden sowohl PCS (n=13), selbstentwickelte Auswahlsymbole (n=3) als auch andere Symbolsammlungen (n=3) verwendet. Es muss außerdem bedacht werden, dass es Unterschiede zwischen den Symbolen bezüglich des Abstraktionsgrades geben kann (Potschaske & Scholz, 2019; von Tetzchner & Martinsen, 2000). Auch für die Übertragung der Ergebnisse auf den deutschsprachigen Raum stellt die Symbolsammlung einen entscheidenden Faktor dar. Während in den dargelegten Studien überwiegend PCS untersucht wurden, finden in Deutschland neben dieser Symbolsammlung auch METACOM-Symbole (Kitzinger, 2018) oder SymbolStix-Symbole Verwendung (Fröhlich, 2020).

Ein weiteres wichtiges Kriterium in Bezug auf die Vergleichbarkeit der Ergebnisse stellt die Art des Stimulus dar. Bei den Stimuli handelt es sich um bildliche Darstellungen wie beispielsweise PCS oder Fotografien (n=10), um Audioaufnahmen (n=4), um die Kombination von beidem (n=2) oder um ausgeschriebene Sätze (n=1). Von größerer Bedeutung sind insbesondere diejenigen Untersuchungen, die auditive Stimuli nutzen, da verbale Reize bei der Nutzung einer Kommunikationshilfe in der alltäglichen Kommunikation mit Personen, die keine unterstützenden Maßnahmen einsetzen, eine wichtige Rolle spielen. Demnach entsprechen Untersuchungen, bei denen sprachgebundene Informationen weitergegeben werden müssen, eher reellen Kommunikationssituationen. Wird bedacht, dass alle dargelegten Studien in englischer Sprache durchgeführt wurden, wird ersichtlich, dass insbesondere die Ergebnisse zu den grammatischen

und semantischen Hinweisreizen nicht vollständig auf den deutschsprachigen Raum übertragbar sind. Demnach kann sich auch die effektive Gestaltung der Oberfläche zwischen den Sprachen unterscheiden.

Darüber hinaus unterscheiden sich die Ansteuerungsarten der Kommunikationsoberflächen zwischen den Studien. Dies könnte u. a. einen Einfluss auf die Auswahlgeschwindigkeit der Symbole und folglich auch auf die Vergleichbarkeit der Ergebnisse haben.

Insgesamt zeigt sich, dass effektive Kommunikationshilfen eine auf die nutzende Person abgestimmte Gestaltung erfordern, die durch unterschiedliche Faktoren beeinflusst wird. Dazu gehören gleichermaßen kognitionsbezogene Spezifika der Nutzenden. Zwar existieren erste Arbeiten, die sich auf theoretischer (u. a. Thistle & Wilkinson, 2013; Wilkinson, Light & Drager, 2012) sowie auf empirischer Ebene (Robillard, Roy-Charland, & Cazabon, 2018; Wallace, Hux & Beukelman, 2010) mit den Zusammenhängen zwischen Gedächtnis, Wahrnehmung und der Gestaltung von Kommunikationsoberflächen auseinandersetzen, jedoch sind die bisherigen systematischen Forschungsergebnisse. Grundsätzlich ist hier ein Mangel an Forschungsaktivität im Bereich der Gestaltung von externen Kommunikationshilfen zu beklagen. Zudem beschränken sich die Untersuchungen auf eine sehr geringe Zahl von Forschenden. Es ist daher dringend erforderlich, den Forschungsstand durch die Untersuchung von weiteren Symbolsammlungen und eine stärkere Berücksichtigung der potenziellen Zielgruppen (u. a. Kinder und Jugendliche mit Trisomie 21) zu erweitern. Zudem sollten in anknüpfenden Studien auch die Auswirkungen auf die eigeninitiierte Nutzung untersucht werden, da diese Frage bisher nicht beantwortet werden konnte. Bisherige empirische Untersuchungen können jedoch einen ersten Anhaltspunkt dafür liefern, welche Gestaltungen näher betrachtet und erforscht werden müssen.

Aufgrund der sehr uneinheitlichen Ausgestaltung der spezifischen Kommunikationsoberflächen lassen sich die einzelnen Studien nur schwer miteinander vergleichen, was Rückschlüsse auf generelle Empfehlungen zu ihrer Gestaltung erschwert. Hier sind Replikationsversuche der bestehenden Studien vonnöten, um zu empirisch besser abgesicherten Befunden gelangen zu können.

Limitiert wird das Review an sich durch eine schwierige Suchbegriffs- und eine aufwändige Studienauswahl. Einerseits mussten die Suchbegriffe so gewählt werden, dass zunächst möglichst viele Studien zur gewünschten Thematik gefunden werden, andererseits sollte dennoch eine Einschränkung gegeben sein, um den Arbeitsaufwand bei der Studiensichtung praktikabel zu halten. Trotz sensitiver Vorgehensweise könnten wichtige Begriffe nicht miteinbezogen

worden sein. Dies hätte zur Folge, dass weitere relevante Studien nicht aufgefunden wurden. Ferner wurde die Qualität der ausgewählten Studien lediglich basierend auf einem erfolgreich durchlaufenen Peer-Review-Verfahren formal eingeschätzt. Eine eigenständige Überprüfung der Einhaltung wissenschaftlicher und statistischer Standards wäre möglicherweise zuverlässiger gewesen. Dies wurde jedoch aufgrund des Arbeitsaufwands ausgeschlossen.

Mit Blick auf die praktischen Implikationen des Reviews gilt es zunächst festzuhalten, dass es nicht *das* eine universell passende Design von Kommunikationsoberflächen unabhängig der spezifischen Lernvoraussetzungen einer Person gibt. Die individualisierte Ausgestaltung und Anpassung einer Kommunikationsoberfläche ist damit eine wesentliche Aufgabe für Bezugspersonen, um einen effektiven Gebrauch zu ermöglichen. Dies lässt sich immer nur unter Kenntnis der individuellen Bedingungen im spezifischen Einzelfall in der Praxis bestimmen. Trotzdem lassen sich aus dem Review einige allgemeine Tendenzen bzw. Empfehlungen für die Gestaltung von Kommunikationsoberflächen ableiten.

(1) Eine kategoriale Gruppierung der Symbole bietet einen Vorteil bezüglich einer geringeren kognitiven Belastung für die nutzende Person. Allerdings können farbige Hinweisreize erst dann ihre Funktion erfüllen, wenn die entsprechenden Kategorien verstanden wurden. Bei der Nutzung von Farben als Orientierungshilfe sollte außerdem bedacht werden, dass die Eigenfarben der Symbole (z.B. Banane: gelb) erhalten bleiben. (2) Hintergrundfarben bieten nicht automatisch einen Vorteil, da eine Hemmung zwischen der Symbolfarbe (z.B. Tomate: rot) und der Hintergrundfarbe (z.B. Substantive: blau) erfolgen muss. Diese kognitive Anforderung kann insbesondere in frühen Entwicklungsphasen noch nicht ohne Weiteres geleistet werden, da inhibitorische Kontrollprozesse unverhältnismäßig schwer für jüngere Kinder sind (Diamond, 2013). Gleichzeitig könnte jedoch ein Nutzen auf Seiten der Kommunikationspartnerin oder des Kommunikationspartners im Rahmen des Modellings liegen. (3) Je höher die Anzahl der Symbolfelder ist, desto wirkungsvoller sind farbige Hinweisreize. Begründet werden könnte dies auf Basis der Prinzipien der Gestaltpsychologie (vgl. Wagemans, Elder, Kubovy, Palmer, Peterson, Singh, & von der Heydt, 2012). (4) Da die Positionsgleichheit der Symbole das Erlernen einer neuen Oberfläche erleichtert, sollte diese schon bei ihrer Einführung eine hohen Feldanzahl aufweisen, wobei die Symbole nacheinander eingeführt werden sollten. (5) Mit Blick auf die Komplexität der Gestaltung ist eine alleinige Darstellung von Symbolen der Kombination von Symbolen mit Textpräsentation vorzuziehen.

Grundsätzlich sollte immer die Entwicklung der nutzenden Person im Blick behalten werden. Orientierungshilfen, die beispielsweise aus Gründen der kognitiven Entwicklung erst später

effizient genutzt werden können, müssen immer erst erlernt werden. Somit könnte eine frühe Anwendung langfristig hilfreich sein.

Folglich wird die konkrete Ausgestaltung, Anpassung und Individualisierung eine Aufgabe für die Praxis bleiben. Getroffene Entscheidungen sollten dabei systematisch evaluiert und Kommunikationshilfen gegebenenfalls angepasst werden.

Literatur

Studien die mit einem Asterisk (*) gekennzeichnet sind, wurden in das Review aufgenommen.

*Alant, E., Kolatsis, A. & Lilienfeld, M. (2010). The effect of sequential exposure of color conditions on time and accuracy of graphic symbol location. *Augmentative and Alternative Communication*, *26*(1), 41–47. https://doi.org/10.3109/07434610903585422

Baumann, D. (2021). Kommunikative Kompetenzen. In D. Baumann, W. Dworschak, M. Kroschewski, C. Ratz, A.-M. Selmayr & M. Wagner (Hrsg.), *Schülerschaft mit dem Förderschwerpunkt geistige Entwicklung II (SFGE II)* (S. 89–116). Bielefeld: Athena.

Baxter, S., Enderby, P., Evans, P. & Judge, S. (2012). Barriers and facilitators to the use of high-technology augmentative and alternative communication devices: a systematic review and qualitative synthesis. *International journal of language & communication disorders*, *47*(2), 115–129. https://doi.org/10.1111/j.1460-6984.2011.00090.x

Boenisch J., Willke M. & Sachse S. K. (2020). Elektronische Kommunikationshilfen in der UK. In J. Boenisch & S. K. Sachse (Hrsg.), *Kompendium Unterstützte Kommunikation*. Stuttgart: Kohlhammer.

Boland, A., Cherry, M. G. & Dickson, R. (2017). *Doing a systematic review. A student's guide* (2. Aufl.). Los Angeles: Sage.

*Brown, J., Thiessen, A., Beukelman, D. & Hux, K. (2015). Noun representation in AAC grid displays: Visual attention patterns of people with traumatic brain injury. *Augmentative and Alternative Communication*, *31*(1), 15–26. https://doi.org/10.3109/07434618.2014.995224

Brunton G., Stansfield C., Caird J. & Thomas J. (2017). Finding Relevant Studies. In D. Gough, S. Oliver & J. Thomas (Hrsg.), *An introduction to systematic reviews* (2. Aufl., S. 93-122). Los Angeles: Sage.

Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual review of psychology*, *64*, 135–168. https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750.

Drager, K. D. R., Light, J. C., Speltz, J. C., Fallon, K. A. & Jeffries, L. Z. (2003). The Performance of Typically Developing 2 1/2-Year-Olds on Dynamic Display AAC Technologies With Different System Layouts and Language Organization. *Journal of Speech, Language & Hearing Research*, *46*(2), 298–312. https://doi.org/10.1044/1092-4388(2003/024)

Drager, K. D. R., Light, J. C., Carlson, R., D'Silva, K., Larsson, B., Pitkin, L. et al. (2004). Learning of Dynamic Display AAC Technologies by Typically Developing 3-Year-Olds. *Journal of Speech Language, & Hearing Research*, *47*(5), 1133–1148. https://doi.org/10.1044/1092-4388(2004/084)

*Dukhovny, E. & Zhou, Y. (2016). Effects of icon size and location on speed and accuracy of SGD access. *Augmentative and Alternative Communication*, *32*(4), 241–248. https://doi.org/10.1080/07434618.2016.1236835

Fröhlich, N. (2020). Grafische Symbole und nichtelektronische Kommunikationshilfen in der UK. In J. Boenisch & S. K. Sachse (Hrsg.), *Kompendium Unterstützte Kommunikation*. Stuttgart: Kohlhammer.

Gough, D., Oliver, S. & Thomas, J. (Hrsg.). (2017). *An introduction to systematic reviews* (2. Aufl.). Los Angeles: Sage.

Hünning-Meier, M. & Bollmeyer, H. (2015). Nichtelektronische Kommunikationshilfen. Theoretische Grundlagen und praktische Anwendung. In Isaac - Gesellschaft für Unterstützte Kommunikation e. V. (Hrsg.), *Handbuch der Unterstützten Kommunikation* (12. Aufl., S. 03.003.001-03.017.001). Karlsruhe: von Loeper.

Kitzinger, A. (2018). METACOM 8. Symbolsystem zur Unterstützten Kommunikation. Oeversee.

Light, J., Drager, K., McCarthy, J., Mellott, S., Millar, D., Parrish, C. et al. (2004). Performance of Typically Developing Four- and Five-Year-Old Children with AAC Systems using Different Language Organization Techniques. *Augmentative and Alternative Communication*, *20*(2), 63–88. https://doi.org/10.1080/07434610410001655553

Light, J., Wilkinson, K. M., Thiessen, A., Beukelman, D. R. & Koch Fager, S. (2019). Designing effective AAC displays for individuals with developmental or acquired

disabilities: State of the science and future research directions. *Augmentative and Alternative Communication*, *35*(1), 42–55. https://doi.org/10.1080/07434618.2018.1558283.

Mayer-Johnson LLC (2011). *The Picture Communication Symbols*. Pittsburgh.

*Mizuko, M., Reichle, J., Ratcliff, A. & Esser, J. (1994). Effects of selection techniques and array sizes on short-term visual memory. *Augmentative and Alternative Communication*, *10*(4), 237–244. https://doi.org/10.1080/07434619412331276940

*Patel, R., Schooley, K. & Radhakrishnan, R. (2006). Comparison of Semantic versus Syntactic Message Formulation: A Pilot Study. *Assistive Technology Outcomes and Benefits*, *3*(1), 96–109.

*Petroi, D., Koul, R. K. & Corwin, M. (2014). Effect of number of graphic symbols, levels, and listening conditions on symbol identification and latency in persons with aphasia. *Augmentative and Alternative Communication*, *30*(1), 40–54. https://doi.org/10.3109/07434618.2014.882984

Potschaske, J. & Scholz, M. (2019). Spontanes Verständnis von Piktogrammen aus Symbolsammlungen. Eine Pilotstudie zum Vergleich zwischen METACOM Symbolen und Picture-Communication-Symbols bei Studierenden und SchülerInnen aus dem Förderschwerpunkt geistige Entwicklung. *UK & Forschung*, *9*, 30–37.

Robillard, M., Roy-Charland, A. & Cazabon, S. (2018). The Role of Cognition on Navigational Skills of Children and Adolescents With Autism Spectrum Disorders. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *61*(7), 1579–1590. https://doi.org/10.1044/2018_JSLHR-S-17-0206

Scholz, M. & Stegkemper, J. M. (2018). Die Gestaltung externer Hilfsmittel der Unterstützten Kommunikation. Eine forschungsorientierte Betrachtung anhand fünf grundlegender Fragen. *Zeitschrift für Heilpädagogik*, *59*(2), 64–76.

Scholz, M., Wagner, M. & Negwer, M. (2018). Kompetenzen und Unterstützungsbedürfnisse im Bereich Kommunikation und Sprache von SchülerInnen im Förderschwerpunkt körperliche und motorische Entwicklung: Eine Vollerhebung der Schülerschaft in Rheinland-Pfalz. *UK & Forschung*, *8*, 23–30.

*Thistle, J. J. (2019). The Effect of Symbol Background Color on the Speed of Locating Targets by Adults Without Disabilities: Implications for augmentative and alternative

communication display design. *Perspectives of the ASHA Special Interest Groups*, *4*(6), 1482–1488. https://doi.org/10.1044/2019_PERSP-19-00017

*Thistle, J. J. & Wilkinson, K. M. (2009). The effects of color cues on typically developing preschoolers' speed of locating a target line drawing: Implications for augmentative and alternative communication display design. *American Journal of Speech-Language Pathology*, *18*(3), 231–240. https://doi.org/10.1044/1058-0360(2009/08-0029)

Thistle, J. J. & Wilkinson, K. M. (2013). Working memory demands of aided augmentative and alternative communication for individuals with developmental disabilities. *Augmentative and Alternative Communication*, *29*(3), 235–245. https://doi.org/10.3109/07434618.2013.815800

*Thistle, J. J. & Wilkinson, K. M. (2017). Effects of background color and symbol arrangement cues on construction of multi-symbol messages by young children without disabilities: Implications for aided AAC design. *Augmentative and Alternative Communication*, *33*(3), 160–169. https://doi.org/10.1080/07434618.2017.1336571

*Thistle, J. J., Holmes, S. A., Horn, M. M. & Reum, A. M. (2018). Consistent symbol location affects motor learning in preschoolers without disabilities: Implications for designing augmentative and alternative communication displays. *American Journal of Speech-Language Pathology*, *27*(3), 1010–1017. https://doi.org/10.1044/2018_AJSLP-17-0129

von Tetzchner, S. & Martinsen, H. (2000). *Einführung in unterstützte Kommunikation*. Heidelberg: Winter.

Wagemans, J., Elder, J. H., Kubovy, M., Palmer, S. E., Peterson, M. A., Singh, M., & von der Heydt, R. (2012). A century of Gestalt psychology in visual perception: I. Perceptual grouping and figure-ground organization. *Psychological Bulletin*, *138*(6), 1172–1217. https://doi.apa.org/doi/10.1037/a0029333

Wallace, S. E., Hux, K. & Beukelman, D. R. (2010). Navigation of a Dynamic Screen AAC Interface by Survivors of Severe Traumatic Brain Injury. *Augmentative and Alternative Communication*, *26*(4), 242–254. https://doi.org/10.3109/07434618.2010.521895

Wilken, E. (2018). Kommunikation und Teilhabe. In E. Wilken (Hrsg.), *Unterstützte Kommunikation: Eine Einführung in Theorie und Praxis* (5. Aufl., S. 7–17). Kohlhammer.

Wilkinson, K. M. & Jagaroo, V. (2004). Contributions of Principles of Visual Cognitive Science to AAC System Display Design. *Augmentative and Alternative Communication*, *20*(3), 123–136. https://doi.org/10.1080/07434610410001699717

*Wilkinson, K. M. & Madel, M. (2019). Eye tracking measures reveal how changes in the design of displays for augmentative and alternative communication influence visual search in individuals with Down syndrome or autism spectrum disorder. *American Journal of Speech-Language Pathology*, *28*(4), 1649–1658. https://doi.org/10.1044/2019_AJSLP-19-0006

*Wilkinson, K. M. & McIlvane, W. J. (2013). Perceptual Factors Influence Visual Search for Meaningful Symbols in Individuals with Intellectual Disabilities and Down Syndrome or Autism Spectrum Disorders. *American Journal on Intellectual and Developmental Disabilities*, *118*(5), 353–364. https://doi.org/10.1352/1944-7558-118.5.353

*Wilkinson, K. M. & Snell, J. (2011). Facilitating children's ability to distinguish symbols for emotions: The effects of background color cues and spatial arrangement of symbols on accuracy and speed of search. *American Journal of Speech-Language Pathology*, *20*(4), 288–301. https://doi.org/10.1044/1058-0360(2011/10-0065)

*Wilkinson, K. M., Carlin, M. & Jagaroo, V. (2006). Preschoolers' speed of locating a target symbol under different color conditions. *Augmentative and Alternative Communication*, *22*(2), 123–133. https://doi.org/10.1080/07434610500483620

*Wilkinson, K. M., Carlin, M. & Thistle, J. (2008). The role of color cues in facilitating accurate and rapid location of aided symbols by children with and without Down syndrome. *American Journal of Speech-Language Pathology*, *17*(2), 179–193. https://doi.org/10.1044/1058-0360(2008/018)

Wilkinson, K. M., Light, J. & Drager, K. (2012). Considerations for the composition of visual scene displays: potential contributions of information from visual and cognitive sciences. *Augmentative and Alternative Communication*, *28*(3), 137–147. https://doi.org/10.3109/07434618.2012.704522

*Wilkinson, K. M., O'Neill, T. & McIlvane, W. J. (2014). Eye-tracking measures reveal how changes in the design of aided AAC displays influence the efficiency of locating symbols by school-age children without disabilities. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *57*(2), 455–466. https://doi.org/10.1044/2013_JSLHR-L-12-0159

*Wilkinson, K. M., Dennis, N. A., Webb, C. E., Therrien, M., Stradtman, M., Farmer, J., Leach, R., Warrenfeltz, M. & Zeuner, C. (2015). Neural activity associated with visual search for line drawings on AAC displays: An exploration of the use of fMRI. *Augmentative and Alternative Communication*, *31*(4), 310–324. https://doi.org/10.3109/07434618.2015.1100215

Forschungsartikel 2

Römer, N. (im Druck). Background colors as orientation cues for different grid sizes on aided AAC displays - A pilot eye tracking study. *Empirische Sonderpädagogik*. [peer-reviewed]

Background colors as orientation cues for different grid sizes on aided AAC displays - A pilot eye tracking study

Hintergrundfarben als Orientierungshilfen innerhalb verschiedener Rastergrößen bei externen Kommunikationshilfen – Eine Eye-Tracking-Pilot-Studie

Nina Römer

Ludwigsburg University of Education

The study was partly funded by internal research grant awarded to the author at the Ludwigsburg University of Education.

Ethical permission for the research project was obtained from the Research Ethics Committee at the Ludwigsburg University of Education on December 20th, 2021 (approval number: III-Sopaed-MaSc-0010).

Abstract

AAC devices enable their users to participate in social life. Amongst others, their effectiveness is influenced by the design of the communication aid's display. Studies on the benefits of background colors as visual cues have yielded different results, were mainly conducted in English-speaking countries and utilized Picture Communication Symbols (PCS). Therefore, their results cannot be directly transferred to German-speaking areas. With the present study a white background was compared with a colored one for two different grid sizes. A convenience sample of 58 university students was tested in a within-subject design. All students had to reconstruct a three-word audio message by tapping on the respective METACOM symbols on a screen organized as a grid. The arrangement of the symbols was based on semantic-syntactic aspects. The

duration students needed to reconstruct the message (time to first tap on the last target symbol) and fixate the target symbols (time to first fixation on the last target symbol) were recorded. Results reveal that background colors on a large grid (5x10) of 50 symbols are helpful. The participants selected the target symbols significantly faster with a large effect size ($r = .41$). In addition, the difference between the time required to reconstruct the message and to fixate the symbols was lower for the large colored grid compared to the large white grid. No significant differences could be shown in the time passed to fixate the last symbol between the display designs.

Keywords: eye tracking, augmentative and alternative communication, speech-generating devices, display design, grid displays

Zusammenfassung

Externe elektronische Kommunikationshilfen sollen ihren Nutzerinnen und Nutzern Teilhabe am gesellschaftlichen Leben ermöglichen. Wie gut dies gelingt, hängt unter anderem von der Gestaltung derselben ab. Studien, die den Nutzen von Hintergrundfarben als visuelle Hinweisreize untersuchten, wiesen diesbezüglich unterschiedliche Ergebnisse auf, wurden vornehmlich im englischen Sprachraum mit Picture Communication Symbols (PCS) durchgeführt und lassen sich folglich nicht unmittelbar auf den deutschen Raum übertragen. In der vorgelegten Studie wird ein weißer Hintergrund mit einem farbigen in zwei unterschiedlichen Rastergrößen verglichen. Im Rahmen eines Within-Subject-Designs wurden 58 Universitätsstudierenden auditive Drei-Wort-Nachrichten präsentiert, welche sie mittels Antippens der jeweiligen META-COM-Symbole rekonstruieren mussten. Die Anordnung der Symbole orientierte sich an semantisch-syntaktischen Aspekten. Erfasst wurden die Auswahl- (Zeit bis zum ersten Antippen des letzten Zielsymbols) sowie die Auffindegeschwindigkeit (Zeit bis zur ersten Fixation des letzten Zielsymbols) mittels Eye-Tracking. Die Ergebnisse zeigen mit einer großen Effektstärke ($r = .41$), dass sich Hintergrundfarben in einem großen Raster (5x10) mit 50 Symbolen als hilfreich erweisen. Die Versuchspersonen wählten die Zielsymbole signifikant schneller aus. Darüber hinaus war im großen farbigen Raster die Differenz zwischen der Auswahl- und der Auffindegeschwindigkeit im Vergleich zum großen weißen Raster geringer. Die Auffindegeschwindigkeit unterschied sich nicht signifikant zwischen den verschiedenen Oberflächen.

Schlagwörter: Eye Tracking, Unterstützte Kommunikation, elektronische Kommunikationshilfen, Displaygestaltung, Rasterdisplays

Aided AAC displays and their design

The group of augmentative and alternative communication (AAC) device users is very heterogeneous. AAC devices are used when, currently or in the future, active speech is only possible to a limited extent or not at all. In practice, increasingly high-tech devices with expanded potential are being used (Light & McNaughton, 2012).

Two different layout formats have been established: visual scene displays (VSD) and grid displays. VSDs are scene-like (sometimes photographic) representations, in which objects are presented in a certain context. For example, the domain "school" is represented by a photograph of a classroom (Wilkinson et al., 2012). In grid displays, the individual symbols or vocabulary items are displayed in columns and rows with various forms of symbol organization and design options (e.g. type of symbols, number of symbols, distance between symbols; Light et al., 2019). In addition, vocabulary encoding can be based on different strategies (e. g. sequencing of a word, or direct representation of a word by a single item; Beck et al., 2000). AAC devices can promote and enhance users' expressive communication (Schlosser & Wendt, 2008; Snell et al., 2010). However, it should be noted that the usage of AAC devices leads to a more asymmetric communication process, because communicative exchange is slower than verbal language (Smith et al., 2006; Wang, 2021). Users see this as a limitation (Baxter et al., 2012). The interface design can impact the time needed to create a message and the accuracy of the message (selecting the correct/target item) and, thus, the communication process. To facilitate orientation on grid displays, it is possible to vary the number of symbols (Petroi et al., 2014), spatial arrangement, and sorting of the individual symbols. Likewise, the colors of the symbols, colors of background, and colors of frame can be modified (Light et al., 2019).

State of research

From the perspective of Gestalt and perceptual psychology, the use of color and spatial cues or arrangements is useful. Retention of information as well as search and recognition of objects can be supported by color cues (Gegenfurtner & Rieger, 2000). According to the principle of similarity, even if objects have different shapes, they are perceived as being grouped together if they share a common color (Koffka, 1935). Same applies to the principle of common region; colors can separate areas from one another and, thus, structure them (Palmer, 1992).

Regarding the design of communication displays, background colors should be helpful to structure individual elements and select target objects. However, the current research findings on the benefits of background colors in grids are heterogeneous. In studies, it was shown that symbols

grouped by internal colors lead to a more effective selection speed - time to first tap or click on the target symbol (Wilkinson et al., 2008; Wilkinson & McIlvane, 2013) and fixation speed - time to first fixation of the target symbol (Wilkinson & Madel, 2019).

Thistle (2019) found that for individuals without disabilities, the speed of selection (measured based on first tap on the screen) only increases with a larger number of symbols (60 vs. 16 symbols). Following up on these results, Römer et al. (2022b) tested a grid with 32 symbols on a group of adults without disabilities. They concluded that a colored background had no positive systematic effect on selection speed (measured based on first tap on the screen). Moreover, an analysis of eye movements showed that colored background symbols were fixated more slowly, and scanning was more unsystematic. The background color stimulus also offered no significant advantage for typically developed children in terms of selection speed, which was measured based on the first tap on the screen (Thistle & Wilkinson, 2017) or first mouse click (Wilkinson & Snell, 2011). Wilkinson et al. (2022) conducted a study on a total sample of ten adolescents and adults with Down Syndrome. The participants were presented four different grids, each with 16 symbols, which differed in the spatial arrangement of the symbols. Additionally, the background was varied between white and colored. Participants were asked to navigate to the target items using a mouse. In contrast to the other studies, the authors showed that the latency to fixate a target item was faster for a colored background than for a white one. There was no significant difference in the speed of first fixation between the spatial arrangements.

A systematic literature review by Römer et al. (2022a), focusing on how grid displays can be designed more effectively, also showed that there is no interface design that offers advantage for all users. Although a categorical and constant color grouping has proven to be advantageous in terms of the selection speed of the symbols, it is not possible to register a final statement about the efficiency of background colors.

Research question

It can be stated that for adults without disabilities, the larger the grid or the higher the number of fields, background colors serve as an orientation cue (Thistle, 2019). This benefit has not been verified for children with typical development (Thistle & Wilkinson, 2009; Thistle & Wilkinson, 2017; Wilkinson & Snell, 2011) and no reliable results are available for children and adolescents with intellectual disabilities (Römer at al., 2022a). In addition, only small grids with few symbols were tested in the previously mentioned studies. It can be assumed that

background colors initially represent an additional cognitive load, which only decreases after a certain period of habituation or only with a higher number of symbols (Sweller et al., 2019).

Besides the use of visual cue stimuli, all studies apply an arrangement according to grammatical or semantic rules. Accordingly, the results cannot be related to the visual cues alone. Also, the tests differ in the number of symbols, the stimuli, the different utilized symbol systems, which vary in terms of their degree of abstractness and their design (Scholz & Stegkemper, 2022). In addition, the selection method (mouse click, touchscreen, joystick, eye control, stylus) differs in the relevant studies. Most of the research has been conducted in English-speaking areas, which further complicates the transferability of the results. One reasons for this are the different rules of grammar. For example, in German, the final verb can be preceded by subjects as well as adverbials and objects (Kortmann, 2020). Another reason may be the previously mentioned different visual design of the utilized symbol systems. The studies conducted in English-speaking countries predominantly used PCS. In German-speaking countries, however, METACOM symbols are mainly used in practice (Scholz & Stegkemper, 2022). Therefore, to draw valid and reliable conclusions, it is necessary to replicate the studies under modified conditions such as different symbol systems.

To increase the validity of the results, data collection can be supported by eye tracking, which allows symbol fixation to be measured independently of motor aspects. As Wilkinson and Mitchell (2014) argue, this technology offers several advantages, particularly for recording visual cognitive processes.

Consequently, the following research question will be answered:

Do background colors in a 5 x 10 grid (50 symbols) on a touch screen with METACOM symbols (Kitzinger, 2018) lead to a higher fixation (time passed from the moment the slide appeared to the first moment the last of the three target symbols was fixated) and reconstruction (time passed from the moment the slide appeared until the last symbol of the target message is tapped) speed than for a 5 x 10 grid without background colors in contrast to a 4 x 8 (32 symbols) grid with and without background colors by adult participants?

Referring to the results of Thistle (2019) and Römer et al. (2022b), the following assumption will be tested:

1. Background color cues lead to faster reconstruction in a 5 x 10 grid than for a 5 x 10 grid (50 symbols) with a white background in contrast to a 4 x 8 grid with a colored and a white background.

Based on the findings of Wilkinson et al. (2022) that the target items are fixated faster with a colored background, it is also assumed that:

2. Background color cues lead to faster fixation for the last target item in a 5 x 10 grid than for a 5 x 10 grid with white a background in contrast to a 4 x 8 grid with a colored and a white background.

If the time between the first fixation of the target and the selection of the last target item decreased an advantage is marked. It could indicate that the participant was less distracted. Accordingly, the difference between the fixation speed and reconstruction speed should be reduced:

3. The difference between the time to message reconstruction and the time to fixation for the last target item is smaller for a 5 x 10 grid with a colored background than for a 5 x 10 grid with a white background. Conversely, the difference is greater for a 4 x 8 grid with a white and colored background.

Method

Sample

To follow up on the results of a preliminary study (Römer et al., 2022b) and to reduce person-specific confounding variables, the study was conducted on individuals without disabilities (Higginbotham & Bedrosian, 1995).

A convenience sample of university students was collected for the survey. All persons with a visual impairment or motor limitations were excluded. Their condition would impede their performance in the tests. Personal variables are age, gender, and the course of study. The last variable was selected to yield insights into students who majoring in special needs education. It was assumed that this group of persons would have had previous contact with the METACOM symbols or external communication aids. Participants were randomly assigned to one of four sets. Of the original 60 persons, 59 fulfilled the inclusion criteria. One additional person had to be excluded from further analyses due to technical difficulties during the data collection phase, resulting in poor data quality. A detailed overview of the sample can be found in Table 1.

Prior to testing, participants were informed of the purpose of the study and their full written consent was obtained. Participation in the study was voluntary and consent could be withdrawn at any time. They received an expense allowance for their participation. The Research Ethics Committee of the University of Education, Ludwigsburg, gave ethical approval for the research

project on December 20th 2021. In addition, the study was funded in part by an internal research funding to the author at University of Education, Ludwigsburg.

Table 1

Participant descriptive information

	n/N	Age (years)		Study course: special needs education	Set			
		M	*SD*		1	2	3	4
Women	51	24.70	3.62	39	12	15	14	10
Men	7	25.23	3.06	4	3	0	2	2
Total	58	24.76	3.54	43	15	15	16	12

Materials and test conditions

Testing took place from January 22nd to June 22nd, 2022 in facilities of the Ludwigsburg University of Education and was carried out by a trained research assistant. The test slides were performed via PowerPoint on the Lenovo Yoga C940-14IIL notebook with a 15" screen. Color deficiency and color blindness was tested with digitally presented Ishiara charts (Ishihara, 1935). Subsequently, sequence training was performed to familiarize the participants with the task. For this purpose, three auditory symbols had to be selected from a 6 x 8 grid with 48 photographs in three trials. To ensure familiarity with the meaning of the symbols, all participants were familiarized with them in a next step. Each METACOM symbol from the test grid was successively presented and vocalized. Afterwards, the participants had to identify the correct symbol from a selection of four symbols. The procedure was repeated until all symbols were selected correctly. If an incorrect symbol was selected, the trial started with eight symbols before presenting the incorrectly selected symbol.

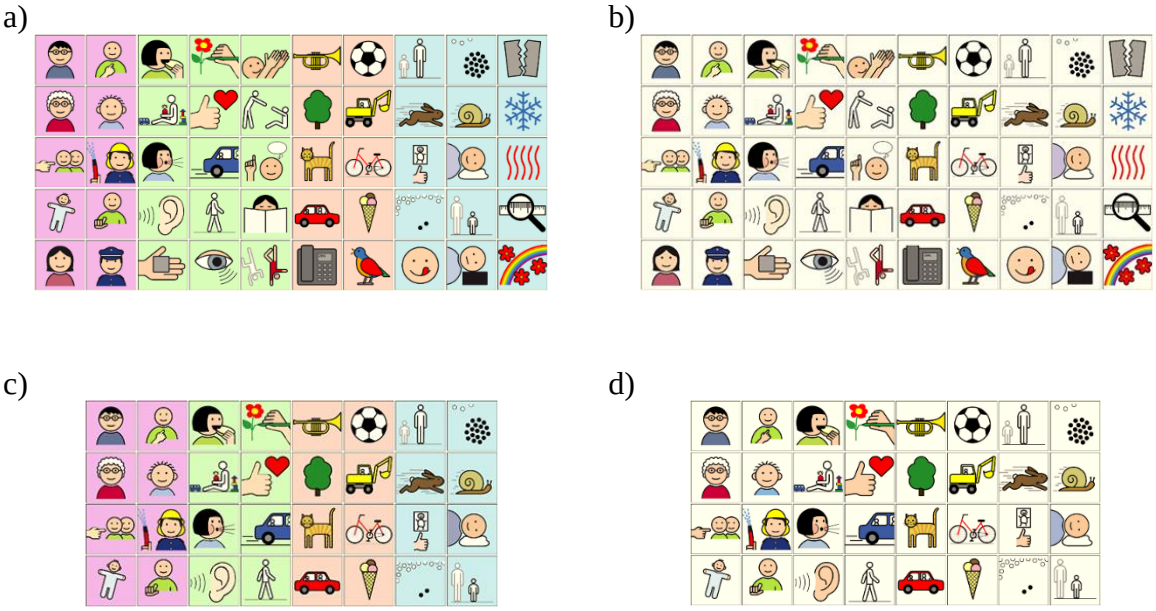
After the pre-tests, the main test was conducted. The participants heard an auditory three-word message and had to tap the appropriate METACOM symbols on the grid. The task started with a practice trial. During the entire test, screen activities were recorded using a Tobii Pro Nano monitor-based eye tracker to capture the eye movements and screen taps. Excluding the practice trial, a total of 40 sentences per participant was presented in German language (subsequently translated): 16 subject-verb-object sentences (SVO, e.g., “The baby hears the cat”; “Das Baby hört die Katze”), 12 subject-verb-adjective/adverb sentences (SVA, e.g., “You read well”; “Du liest gut”), and 12 verb-adjective/adverb-object sentences (VAO, e.g., “Drive the slow car”; “Fahr das langsame Auto”). Ten sentences were used per condition: four SVO, three SVA, and three VAO sentences. To minimize order effects, the 40 measurements were divided into eight

blocks of five with a fixed order. For this purpose, four sets were constructed: Set 1: five times the small grid with the colored background (sc), five times the small grid with the white background (sw), five times the small grid with the colored background, five times the small grid with the white background, five times the large grid with the colored background (lc), five times the large grid with the white background (lw), five times the large grid with the colored background, and five times the large grid with the white background; Set 2: sw-sc-sw-lw-lc-lw-lc; Set 3: lc-lw-lc-lw-sc-sw-sc-sw; Set 4: lw-lc-lw-lc-sw-sc-sw-sc.

The large grid was composed of 50 symbols and measured 16.92 cm x 33.87 cm. The small grid, which measured 13.63 cm x 27.26 cm, contained 32 METACOM symbols. The size of each symbol was 2.65 cm x 2.62 cm. There was 0.1 cm between the symbols. The vocabulary was based on a mixture of word lists that were selected based on studies of vocabulary development (Szagun, 2013) and findings from core vocabulary research (Boenisch, 2014). In addition, symbols were chosen that were identified as easy to understand in a study by Potschaske and Scholz (2019). The symbols were arranged according to semantic-syntactic aspects in the following groups: persons, verbs, objects, and adjectives/adverbs. The background colors from the previous study (Römer et al., 2022b) were modified to make them less saturated to create a better contrast: persons – purple (RGB: 246, 183, 231), verbs – green (RGB: 216, 253, 185), objects – red (RGB: 255, 216, 193), and adjectives – blue (RGB: 205, 238, 234). In addition, the distinction between the individual color sections was checked by a color-blindness simulator (Colblinder, 2021). The test display interfaces are shown in Figure 1.

Figure 1

Test conditions



Note. a) 10 x 5 grid colored, b) 10 x 5 grid white, c) 8 x 4 grid colored, d) 8 x 4 grid white. METACOM symbols, 8th ed. (Kitzinger, 2018).

Statistical analysis

The eye tracking data were analyzed using Tobii Pro Lab software. Only completely correct reproduced sentences were included in the analysis. To check the overall accuracy, the number of correctly reconstructed sentences was divided by the total number of sentences. This resulted in an average retrieval accuracy of 98%. Exploratory data analysis was used to determine the percentage of missing values. Including the incorrectly reconstructed sentences, the missing rate was 12.7%. The findings from Little's MCAR test were not significant, suggesting unsystematic missing values ($chi^2 = 2934.711$, $df = 3889$, $p = 1.000$). Except for the incorrectly reconstructed sentences, the missing values were replaced using person-mean imputation. The individual imputations were based on the respective display design and the respective part of each participant's trial (the first or second 20 sentences). The imputed data set was similarly checked for missing values. The overall rate was under 5 %. The chosen method was a 2 (big grid vs. small grid) x 2 (colored background vs. white background) repeated measure MANOVA with the dependent variables time to message reconstruction and time to first fixation of the last target symbol. The time to reconstruction was defined as the time from first exposition to the slide until the last symbol of the reconstructed message was tapped. First

fixation was defined as the time passed from the first exposition to the slide until the last of the three target symbols was fixated. The p-value was set to the usual .05, as this was an omnibus test for the global null hypothesis. To reveal possible learning effects and to consider the relationship between the two factors reconstruction time and time to first fixation, a 2 (big grid vs. small grid) x 2 (colored background vs. white background) x 2 (first 20 sentences vs. second 20 sentences) repeated measure MANOVA was performed with the dependent variables time to reconstruction and time to first fixate the last symbol. In addition, a 2 (big grid vs. small grid) x 2 (colored background vs. white background) and a 2 (big grid vs. small grid) x 2 (colored background vs. white background) x 2 (first 20 sentences vs. second 20 sentences) repeated measure ANOVA was computed with the dependent variable difference between reconstruction time and time to first fixation. The difference was calculated by subtracting the time passed until first fixation from the reconstruction time. In the follow-up analyses, the p-value was adjusted to .017 (0.05/3) to allow for multiple comparisons. Outliers and extreme values were not eliminated because it was assumed that they did not constitute errors but were real values. Testing was based on the arithmetic mean of the reconstruction time and time to first fixation for all sentences of the individual subject. Time was measured in milliseconds. The interpretation of the r effect sizes was based on Cohen's (1988) cutoffs.

Results

Time to message reconstruction

There was a significant large interaction effect between the background and the grid size, F (1, 57) = 11.88, $p < .001$, $r = .41$. Contrast analyses using Bonferroni correction showed that the reconstruction time for a big colored grid (M = 7068.31, SD = 2156.71) was faster than for a big white grid (M = 7798.22, SD = 2669.00), $p = .002$.

In split-half analysis, the first 20 sentences were compared with the last 20 sentences. Performance in the second part of the trials (M = 6009.36, SD = 1647.48) was significantly faster than in the first part (M = 6973.49, SD = 1958.46), with a large effect, F (1, 55) = 39.96, $p < .001$, $r = .65$.

A detailed overview of the results can be found in Table 2 and Figure 2.

Table 2

Results of statistical analysis

		M	*SD*	*F*	*p*	Effect size
Time to reconstruction						
Grid size	large	7433.27	2266.07	(1, 57) = 45.01	< .001	*r* = .66
	small	5481.66	1684.96			
Background	colored	6324.40	1670.58	(1, 57) = 2.59	.113	
	white	6590.53	1876.61			
Grid size - background	Interaction			(1, 57) = 11.88	.001	*r = .41*
	lc	7068.31	2156.71		.002[a]	
	lw	7798.22	2669.00			
	sc	5580.48	1871.21		.321[a]	
	sw	5382.83	1818.59			
Split-half	first part	6973.49	1958.46	(1, 55) = 39.96	.001	*r* = .65
	second part	6009.36	1647.48			
	Interaction part - grid - background			(1, 55) = 0.75	.390	
	first part lc	7423.54	2889.87			
	first part lw	8133.79	3535.32			
	first part sc	6415.30	2565.52			
	first part sw	5921.32	2230.93			
	second part lc	6794.68	2273.03			
	second part lw	7553.98	2538.56			
	second part sc	4757.27	1568.26			
	second part sw	4931.52	1980.82			

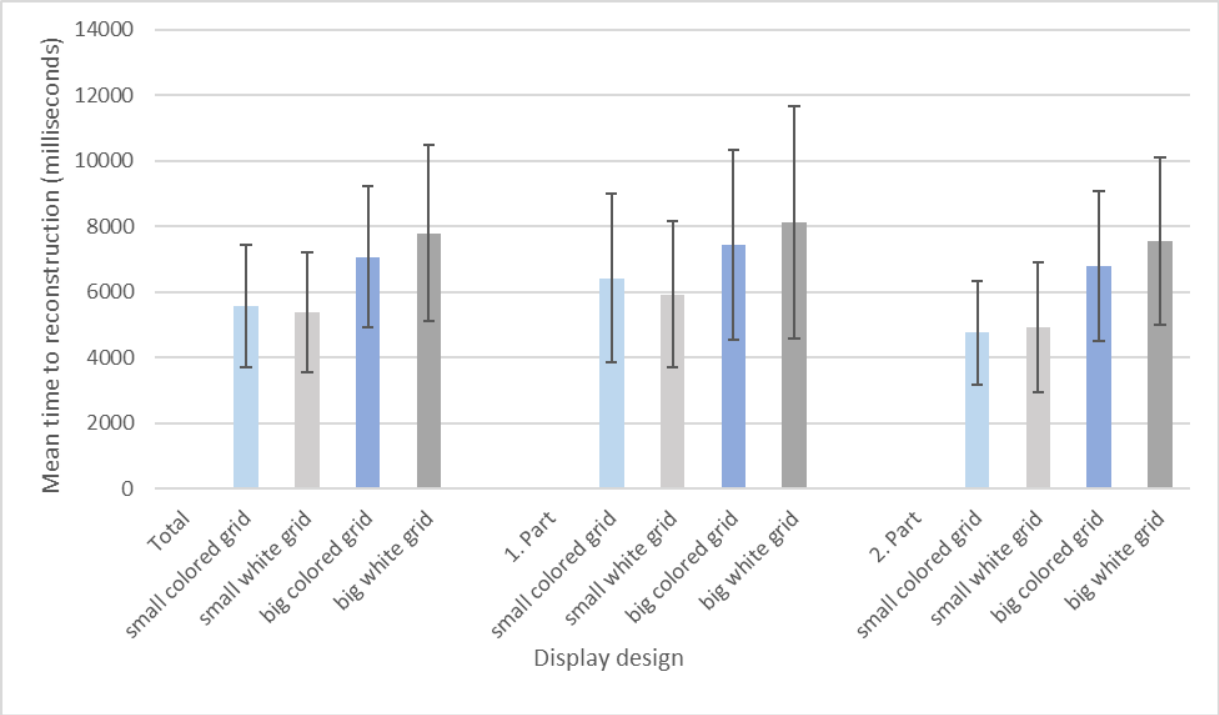
		M	*SD*	*F*	*p*	Effect size
Time to first fixation of the last symbol						
Grid size	big	5889.48	1570.84	(1, 57) = 74.43	< .001	*r* = .75
	small	4236.91	1214.31			
Background	colored	5137.60	1435.20	(1, 57) = 1.06	.307	
	white	4988.80	1192.78			
Grid size - background	Interaction			(1, 57) = 1.27	.265	
	lc	5875.64	1749.75			
	lw	5903.33	1753.81			
	sc	4399.55	1783.39			
	sw	4074.28	1096.95			
Split-half	first part	5376.72	1413.66	(1, 55) = 18.65	< .001	*r* = .50
	second part	4833.19	1199.04			
	Interaction part - grid - background			(1, 55) = 11.38	< .001	*r* = *.41*
	first part lc	5974.46	2321.15		.159[a]	
	first part lw	6502.00	2573.23			
	first part sc	4910.23	2054.13		.002[a]	
	first part sw	4120.39	1344.26			
	second part lc	5899.95	2040.44		.084[a]	
	second part lw	5383.88	1601.93			
	second part sc	3975.16	1930.72		.734[a]	
	second part sw	4073.77	1349.20			
	first part lc	5974.46	2321.15		.835[a]	
	second part lc	5899.95	2040.44			
	first part sc	4910.23	2054.13		< .001[a]	
	second part sc	3975.16	1930.72			
	first part lw	6502.00	2573.23		< .001[a]	
	second part lw	5383.88	1601.93			

		M	*SD*	*F*	*p*	Effect size
	first part sw	4120.39	1344.26		.820[a]	
	second part sw	4073.77	1349.20			
Difference between time to message reconstruction and time to first fixation of the last symbol						
Grid size	big	1468.03	894.21	(1, 35) = 2.00	.166	
	small	1205.58	809.78			
Background	colored	1189.54	698.35	(1, 35) = 4.58	.037	
	white	1484.07	826.03			
Grid size - background	Interaction			(1, 35) = 10.87	.002	*r* = *.49*
	lc	1117.67	843.52		< .001[a]	
	lw	1818.39	1207.63			
	sc	1261.42	1020.26		.559[a]	
	sw	1149.75	956.34			
Split-half	first part	1569.00	898.90	(1, 35) = 9.59	.004	*r* = .46
	second part	1104.55	658.10			
	Interaction part - grid-background			(1, 35) = 2.90	.097	
	first part lc	1243.83	905.71			
	first part lw	1756.81	1726.24			
	first part sc	1541.89	1514.88			
	first part sw	1733.47	1729.80			
	second part lc	991.25	1298.67			
	second part lw	1879.89	1326.75			
	second part sc	981.17	1098.37			
	second part sw	565.89	932.13			

Note. [a]Bonferroni correction

Figure 2

Mean time to message reconstruction for the four display designs.



Note. Standard error of the mean is presented by the error bar.

Time to first fixation

In split-half analysis, the main effect of the time to first fixate the last symbol for the first and the second part was significant, with a large effect size, F (1, 55) = 18.65, $p < .001$, $r = .50$. The time to first fixation for the second 20 sentences (M = 4833.19, SD = 1199.04) was significantly faster than for the first 20 sentences (M = 5376.77 SD = 1413.66). However, it should be noted that this main effect cannot be interpreted independently from the display design. So, the interaction between the grid size, background, and the time to first fixation for the first 20 sentences and the second 20 sentences was significant, with a large effect size, F (1, 55) = 11.38, $p = .001$, $r = .41$.

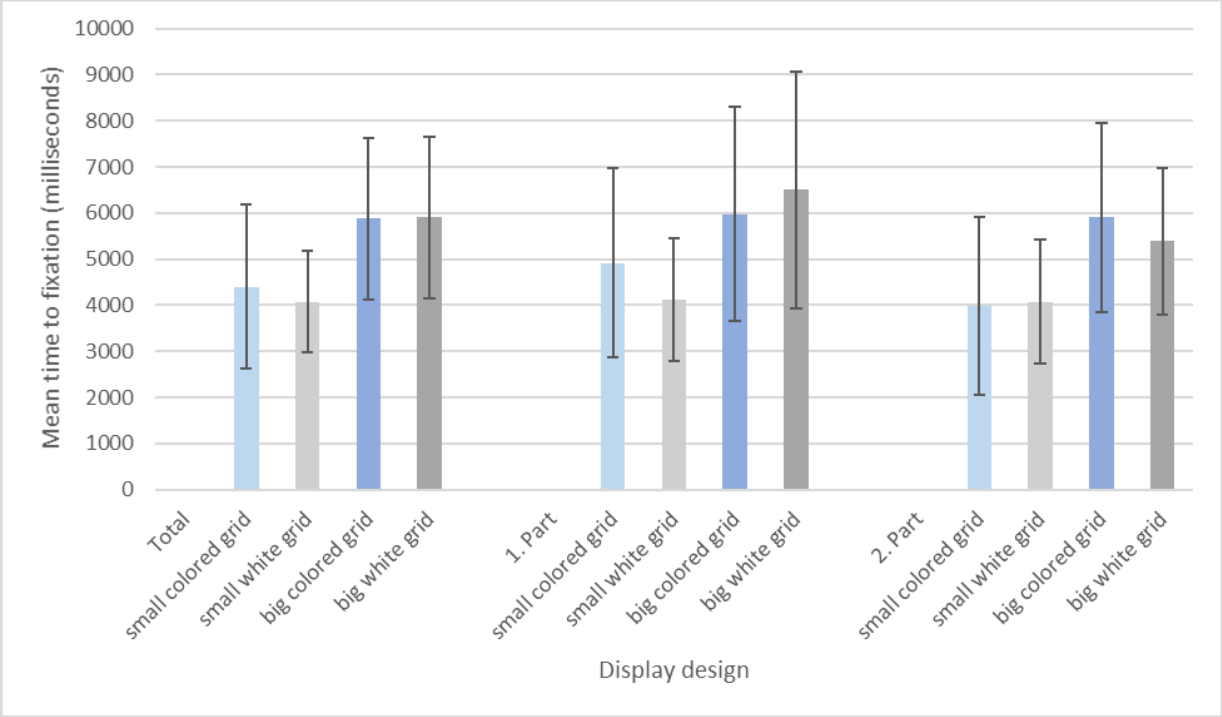
To break down this interaction, contrast analyses with Bonferroni correction were performed. They revealed that in the first half the time to first fixation for the small white grid (M = 4120.39, SD = 1344.26) was faster than for the small colored grid (M = 4910.23, SD = 2054.13), p = .002. In addition, the participants fixated the targets in the big white grid significantly faster in the second half (M = 5383.88, SD = 1601.93) compared to in the first half of the trials (M =

6502.00, *SD* = 2573.23), $p < .001$. The fixation time for the last symbol for the small colored grid was also significantly faster in the second half (*M* = 3975.16, *SD* = 1930.72) than in the first half (*M* = 4910.23, *SD* = 2054.13), $p < .001$.

The descriptive results are shown in Figure 3.

Figure 3

Mean time to first fixation of the last symbol for the four display designs.



Note. Standard error of the mean is presented by the error bar.

Difference between time to message reconstruction and time to first fixation

An analysis of the difference between the time to reconstruct and the time to fixation for the last symbol showed a significant interaction between the background and the grid size with a large effect size, $F(1, 35) = 10.87$, $p = .002$, $r = .49$. Contrast analyses revealed that the difference between the time to reconstruction and the time to fixation was smaller for a colored big grid (*M* = 1117.67, *SD* = 843.52) than for a white big grid (*M* = 1818.39, *SD* = 1207.63), $p < .001$.

A comparison of the time to first fixation for the first 20 sentences and the second 20 sentences showed that the main effect of the first and the second half of the sentences was significant, with a moderate effect size, F (1, 35) = 9.59, p = .004, r = .46. The difference between time to message reconstruction and time to first fixation for the second half of sentences (M = 1104.55, SD = 658.10) was smaller than for the first half (M = 1569.00, SD = 898.90). However, the descriptive data indicated that this could not be interpreted independently from the design of the communication display.

Discussion

The results indicate that background colors in a big grid (5x10) lead to a faster reconstruction time than for a big white grid. In addition, a learning effect was identified. In the second half of the test, the participants selected the target symbols faster. Therefore, the first hypothesis was confirmed. The same applies to the third hypothesis. The difference between the reconstruction time and the fixation time was smaller for a big colored grid than for a big white grid. However, the second hypothesis was not confirmed. The study revealed only a shorter fixation time for the small white display in the first part of the test and not for the small colored grid. The result that the participants fixated and selected symbols in the small grid more rapidly than symbols in the big grid may be because fewer symbols – and thus fewer distractors – were presented.

The study's findings are in accordance with those of Thistle (2019). Although no significant differences were found in fixation time for the last symbol, the smaller difference between the time for reconstruction and the time to first fixation indicates that the selection process is more effective for a big colored grid. It can be hypothesized that background color serves as a fixation point or facilitates spatial orientation after initial fixation. Accordingly, the participants may be less diverted by other distractors on the display compared to a white background. It remains to be investigated whether the results can be transferred to children and adolescents with complex communication needs and whether background colors are effective in small grids for this target group, as found by Wilkinson et al. (2022).

As the symbols were selected faster and therefore learned faster in the first part of the test for the small white grid than for the small colored, it appears that when there are fewer symbols, background colors act as a distracting factor at first. However, during the learning process, the effect equalizes between the two designs, which is in line with the results of Römer et al. (2022b).

Limitations

The reported study has several limitations. First, the study design should be discussed. The number of sentence types was not equally distributed in the test. More SVO and SVA sentences were used than VAO sentences. For SVO and SVA sentences, the reading direction – and possibly also the gaze direction – runs systematically from left to right. In contrast, the reading direction for VAO sentences changes from left to right to right to left. In addition, the types of sentences were distributed unequally between the conditions. It may be assumed, that the results differ between the individual sentence types as Römer et al. (2022b) has shown. It should also be noted that the frequency of a particular symbol (presented in immediate succession) may be relevant for the results. The assumption is that the more frequently a symbol is queried, the better the participant memorizes it and, thus, can retrieve it more quickly. To a certain extent, this explains the above-reported result that the symbols were fixated and selected faster overall in the second half of the test. However, a balanced distribution of sentence types and symbols was not possible for several reasons. When creating the sentences, it was important to ensure that they contained meaningful statements. In addition, a higher number of testing conditions (e.g., the order of sentence types) should have been considered at the same time. To ensure a practicable implementation, the presented design was chosen. Other influencing factors that may affect the speed of reconstruction and fixation are the symbol size, the type of symbols used, and their spatial arrangement. Therefore, the results only apply to the chosen design and only to young adults without disabilities. There are also limitations in terms of ecological validity. The test did not involve a communicative task. Although there was an attempt to make the implementation as natural as possible by using auditory stimuli, they were, nevertheless, controlled by predetermined statements that did not require independent cognitive performance. However, their usage was necessary to create comparable and reliable starting conditions. Similarly, the participants were not shown which symbol has been selected. Common high-tech AAC devices are equipped with additional visual cues that show which symbol was chosen (e. g. Metatalk; Kitzinger, 2021). This enables the users to perceive incorrectly selected symbols.

Also, the eye-tracking technology utilized in the study must be viewed critically. For technical reasons, the eye tracker could only be attached to the lower edge of the screen (Tobii Pro AB, 2022) and did not always capture all eye movements. This may be explained by head movements, person-specific variables, or obstruction of the sensor by hand movements during tapping on the screen (Holmqvist et al., 2012).

The available eye-tracking data also had limitations. Missing values had to be replaced by a person-mean imputation, which reduced variance in the data set and biased the covariance between the remaining variables. In addition, this kind of data have a restricted informative value. Visual fixation of a symbol is not necessarily aligned with cognitive processing of the symbol (Podlesek et al., 2021). For example, while fixating a symbol, participants may be focusing their cognitive attention on the previously viewed symbol (Duchowski, 2007). Furthermore, there are currently no standardized quality criteria for evaluating eye-tracking data (Holmqvist et al., 2012).

Implications

The results indicate that background colors are helpful for adults to learn how to deal with a complex new display containing a high number of symbols. This is particularly relevant as research indicates that consistent positions of symbols facilitate orientation on a display. When introducing a new AAC device, it is generally recommended to start with a larger grid; the individual cells can be gradually filled with symbols (Dukhovny & Zhou, 2016).

Future studies might investigate modifications of symbol size and spatial arrangements in conjunction with background colors. Alternatives to background colors may also be possible in the form of different background framing and shaping. It also remains an open question whether background colors continue to be an advantage for long-term users of a communication aid. Furthermore, correlations between self-initiated statements and display design should be analyzed. Other factors that need to be considered for the design are the specific cognitive initial conditions such as memory capacity, with a special focus on working memory (Thistle & Wilkinson, 2013). Among the heterogeneous users of AAC devices, children and adolescents with intellectual disabilities should be highlighted (O'Neill & Wilkinson, 2019; Robillard et al., 2018).

References

Baxter, S., Enderby, P., Evans, P., & Judge, S. (2012). Barriers and facilitators to the use of high-technology augmentative and alternative communication devices: A systematic review and qualitative synthesis. *International Journal of Language & Communication Disorders*, *47*(2), 115–129. https://doi.org/10.1111/j.1460-6984.2011.00090.x

Beck, A. R., Thompson, J. R., & Clay, S. L. (2000). The effect of icon prediction on college students' recall of icon codes. *Journal of Special Education Technology*, *15*(3), 17–23. https://doi.org/10.1177/016264340001500302

Boenisch, J. (2014). Die Bedeutung von Kernvokabular für unterstützt kommunizierende Kinder und Jugendliche. Core Vocabulary for School-Aged-Students with Complex Communication Needs. *Logos*, *22*(3), 164-178. https://doi.org/10.7345/prolog-1403164

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2. ed.). Erlbaum.

Colblinder (2021). *Coblis - Color Blindness Simulator*. Retrieved December 19, 2022, from https://www.color-blindness.com/coblis-color-blindness-simulator/

Duchowski, A. T. (2007). *Eye tracking methodology: Theory and practice* (2. ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-84628-609-4

Dukhovny, E. & Gahl, S. (2014). Manual motor-plan similarity affects lexical recall on a speech-generating device: implications for AAC users. *Journal of Communication Disorders*, *48*, 52–60. https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2014.02.004

Dukhovny, E. & Zhou, Y. (2016). Effects of icon size and location on speed and accuracy of SGD access. *Augmentative and Alternative Communication*, 32(4), 241–248. https://doi.org/10.1080/07434618.2016.1236835

Gegenfurtner, K. R., & Rieger, J. (2000). Sensory and cognitive contributions of color to the recognition of natural scenes. *Current Biology*, *10*(13), 805–808. https://doi.org/10.1016/S0960-9822(00)00563-7

Higginbotham, D. J., & Bedrosian, J. (1995). Subject selection in AAC research: Decision points. *Augmentative and Alternative Communication*, *11*(1), 11–13. https://doi.org/10.1080/07434619512331277099

Holmqvist, K., Nyström, M., & Mulvey, F. (2012). Eye tracker data quality. In C. H. Morimoto, H. Istance, S. N. Spencer, J. B. Mulligan, & P. Qvarfordt (Eds.), *Proceedings of the symposium on eye tracking research and applications* (pp. 45–52). ACM. https://doi.org/10.1145/2168556.2168563

Ishihara, S. (1935). *The series of plates designed as a test for colour-blindness: 24 Plates Edition*. Kanehara Shuppan Co.

Kitzinger, A. (2018). *METACOM 8. Symbolsystem zur Unterstützten Kommunikation*.

Kitzinger, A. (2021). *MetaTalk* (Version 4.0.0) [Computer software]. Cidar Software & Consulting GmbH.

Koffka, K. (1935). *Principles of Gestalt psychology*. Harcourt Brace & Co. https://doi.org/10.4324/9781315009292

Kortmann, B. (2020). *English Linguistics*. J.B. Metzler. https://doi.org/10.1007/978-3-476-05678-8

Light, J. & McNaughton, D. (2012). The changing face of augmentative and alternative communication: Past, present, and future challenges, *Augmentative and Alternative Communication*, *28*(4), 197–204. https://doi.org/10.3109/07434618.2012.737024

Light, J., Wilkinson, K. M., Thiessen, A., Beukelman, D. R., & Fager, S. K. (2019). Designing effective AAC displays for individuals with developmental or acquired disabilities: State of the science and future research directions. *Augmentative and Alternative Communication*, *35*(1), 42–55. https://doi.org/10.1080/07434618.2018.1558283

O'Neill, T., & Wilkinson, K. M. (2019). Designing developmentally sensitive AAC technologies for young children with complex communication Needs: Considerations of communication, working memory, attention, motor skills, and sensory-perception. *Seminars in Speech and Language*, *40*(4), 320–332. https://doi.org/10.1055/s-0039-1692966

Palmer, S. E. (1992). Common region: A new principle of perceptual grouping. *Cognitive Psychology*, *24*(3), 436–447. https://doi.org/10.1016/0010-0285(92)90014-S

Podlesek A., Veldin M., Peklaj C., & Svetina, M. (2021). Cognitive processes and eye-tracking methodology. In I. Devetak & S. A. Glažar (Eds.), *Applying bio-measurements methodologies in science education research* (pp. 1–32). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-71535-9

Potschaske, J. & Scholz, M. (2019). Spontanes Verständnis von Piktogrammen aus Symbolsammlungen. Eine Pilotstudie zum Vergleich zwischen METACOM Symbolen und Picture-Communication-Symbols bei Studierenden und SchülerInnen aus dem Förderschwerpunkt geistige Entwicklung. *UK & Forschung*, 30–37.

Robillard, M., Roy-Charland, A., & Cazabon, S. (2018). The role of cognition on navigational skills of children and adolescents with autism spectrum disorders. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *61*(7), 1579–1590. https://doi.org/10.1044/2018_JSLHR-S-17-0206

Römer, N., Scholz, M., & Stephan, K. (2022a). Systematisches Literaturreview zur Gestaltung von Kommunikationsoberflächen in der Unterstützten Kommunikation. *Zeitschrift Für Heilpädagogik*, *73*(10), 492–509.

Römer, N., Steinheber, H., & Scholz, M. (2022b). Hintergrundfarben als Orientierungshilfen bei digitalen Kommunikationshilfen – Eine Eye-Tracking Studie zu Auffindegeschwindigkeit und Blickpfaden bei der Rekonstruktion auditiver Aussagen mit METACOM-Symbolen. *UK & Forschung*, *12*, 4–21.

Schlosser, R. W., & Wendt, O. (2008). Effects of augmentative and alternative communication intervention on speech production in children with autism: A systematic review. *American Journal of Speech-Language Pathology*, *17*(3), 212–230. https://doi.org/10.1044/1058-0360(2008/021)

Scholz, M., & Stegkemper, J. M. (2022). *Unterstützte Kommunikation: Grundfragen und Strategien*. Ernst Reinhardt. https://doi.org/10.36198/9783838558271

Smith, L. E., Higginbotham, D. J., Lesher, G. W., Moulton, B., & Mathy, P. (2006). The development of an automated method for analyzing communication rate in augmentative and alternative communication. *Assistive Technology: The Official Journal of RESNA*, *18*(1), 107–121. https://doi.org/10.1080/10400435.2006.10131910

Snell, M. E., Brady, N., McLean, L., Ogletree, B. T., Siegel, E., Sylvester, L., Mineo, B., Paul, D., Romski, M. A., & Sevcik, R. (2010). Twenty years of communication intervention research with individuals who have severe intellectual and developmental disabilities. *American Journal on Intellectual and Developmental Disabilities*, *115*(5), 364–380. https://doi.org/10.1352/1944-7558-115-5.364

Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (2019). Cognitive architecture and instructional design: 20 years later. *Educational Psychology Review*, *31*(2), 261–292. https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5

Szagun, G. (2013). *Sprachentwicklung beim Kind: Ein Lehrbuch* (5. ed.). Beltz.

Thistle, J. (2019). The effect of symbol background color on the speed of locating targets by adults without disabilities: implications for augmentative and alternative communication display design. *Perspectives of the ASHA Special Interest Groups*, *4*(6), 1482–1488. https://doi.org/10.1044/2019_PERSP-19-00017

Thistle, J., & Wilkinson, K. (2009). The effects of color cues on typically developing preschoolers' speed of locating a target line drawing: Implications for augmentative and alternative communication display design. *American Journal of Speech-Language Pathology*, *18*(3), 231–240. https://doi.org/10.1044/1058-0360(2009/08-0029

Thistle, J., & Wilkinson, K. (2017). Effects of background color and symbol arrangement cues on construction of multi-symbol messages by young children without disabilities: Implications for aided AAC design. *Augmentative and Alternative Communication, 33*(3), 160–169. https://doi.org/10.1080/07434618.2017.1336571

Thistle, J., & Wilkinson, K. M. (2013). Working memory demands of aided augmentative and alternative communication for individuals with developmental disabilities. *Augmentative and Alternative Communication*, *29*(3), 235–245. https://doi.org/10.3109/07434618.2013.815800

Tobii Pro AB. (2022, June 14). *Pro Nano product description*. https://www.tobiipro.com/siteassets/tobii-pro/product-descriptions/tobii-pro-nano-product-description.pdf/?v=2.1

Wang, L. (2021). British english-speaking speed 2020. *Academic Journal of Humanities & Social Sciences*, *4*(5). https://doi.org/10.25236/AJHSS.2021.040517

Wilkinson, K. M., Carlin, M. & Thistle, J. (2008). The role of color cues in facilitating accurate and rapid location of aided symbols by children with and without Down syndrome. *American Journal of Speech-Language Pathology*, *17*(2), 179–193. https://doi.org/10.1044/1058-0360(2008/018)

Wilkinson, K. M., Gilmore, R., & Qian, Y. (2022). Judicious arrangement of symbols on a simulated augmentative and alternative communication display optimizes visual attention by individuals with down syndrome. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *65*(2), 710–726. https://doi.org/10.1044/2021_JSLHR-21-00278

Wilkinson, K. M., Light, J., & Drager, K. (2012). Considerations for the composition of visual scene displays: Potential contributions of information from visual and cognitive sciences. *Augmentative and Alternative Communication*, *28*(3), 137–147. https://doi.org/10.3109/07434618.2012.704522

Wilkinson, K. M., & Madel, M. (2019). Eye tracking measures reveal how changes in the design of displays for augmentative and alternative communication influence visual search in individuals with down syndrome or autism spectrum disorder. *American*

Journal of Speech-Language Pathology, *28*(4), 1649–1658. https://doi.org/10.1044/2019_AJSLP-19-0006

Wilkinson, K. M. & McIlvane, W. J. (2013). Perceptual factors influence visual search for meaningful symbols in individuals with intellectual disabilities and down syndrome or autism spectrum disorders. *American Journal on Intellectual and Developmental Disabilities*, *118*(5), 353–364. https://doi.org/10.1352/1944-7558-118.5.353

Wilkinson, K. M., & Mitchell, T. (2014). Eye tracking research to answer questions about augmentative and alternative communication assessment and intervention. *Augmentative and Alternative Communication*, *30*(2), 106–119. https://doi.org/10.3109/07434618.2014.904435

Wilkinson, K. M., & Snell, J. (2011). Facilitating children's ability to distinguish symbols for emotions: The effects of background color cues and spatial arrangement of symbols on accuracy and speed of search. *American Journal of Speech-Language Pathology*, *20*(4), 288–301. https://doi.org/10.1044/1058-0360(2011/10-0065)

Forschungsartikel 3

Römer, N. (2024). *Working Memory and Aided AAC Display Design Options for Students with Intellectual Disabilities* [Manuskript eingereicht]. Fakultät für Teilhabewissenschaften. Pädagogische Hochschule Ludwigsburg.

Working Memory and Aided AAC Display Design Options for Students with Intellectual Disabilities

Nina Römer

Ludwigsburg University of Education

The following consulting and analysis services of the Statistical Consulting and Analysis Center for Higher Education TU Dortmund University were used for this work: advice regarding the analysis procedure and implementation.

The study was partly funded by internal research grant awarded to the author at the Ludwigsburg University of Education.

Ethical permission for the research project was obtained from the Research Ethics Committee at the Ludwigsburg University of Education on October 18, 2021 (approval number: III-Sopäd-MaSc-0007).

Abstract

Working memory plays an important role when using external communication aids. Various stimuli can be utilized to reduce one's cognitive load when selecting symbols on a grid display. The current empirical findings concerning the benefits of such aids for children and adolescents with intellectual disabilities are inconclusive. This study seeks to fill this gap in scholarly research by investigating the relationship between working memory and different stimuli to identify effective grid designs.

The sample consists of 80 students who completed a series of working memory tasks before being assigned a specific grid design (background colors, frames, and wide space). The task

was to select a target symbol presented auditorily within a 4 x 6 grid display, and their response times were measured. A linear mixed model with subsequent post-hoc tests was employed to analyze the predicted response time based on the working memory performance and the specific display design. Possible learning effects were also considered.

Enhanced working memory performance did not invariably lead to faster symbol selection. However, a comparison of the two performance groups revealed that the stronger performing cohort performed more strongly under conditions of background color design. The phonological loop and the visual-spatial sketchpad were particularly crucial. In contrast, the weaker performers performed better when frames were the cues. Additionally, the response time was slower with the grid featuring the wide space design.

The results indicate no generalized statements can be made. Further research is needed to evaluate the relationship between multi-symbol messages and different grid cues.

Keywords: augmentative and alternative communication, cognitive function, display design, grid display, speech-generating devices, visual search, working memory

Working memory (WM) is crucial in communication (Rudner & Signoret, 2016). The role of WM is to store, process, and retrieve information for the short term. Baddeley's (2012) multicomponent model of WM differentiates four components: phonological loop (PL), visual-spatial sketchpad (VSS), episodic buffer (EB), and central executive (CE). The PL comprises two subsystems: the phonological memory (passive process) and the subvocal rehearsal process (Baddeley, 2003). The VSS is also subject to the two-subsystem model (Allen et al., 2014; Logie, 2011). Visually static information is stored in the visual buffer, while dynamic-spatial information is stored in the inner scriber. The EB serves as the interface between long-term memory and information received from the other subsystems. Furthermore, the CE is assumed to have overarching control over attention (Baddeley, 2012). Here, the executive-loaded working memory (ELWM) is relevant for storing and processing information within this system (Henry, 2012). WM performance is measured mainly by spans of the highest number of remembered items. (Henry & MacLean, 2002).

WM deficits can interfere with communication. Previous research has shown that speech production errors increase when cognitive load is high (Navarro et al., 2020). The cognitive load theory postulates that WM capacity is limited. Moreover, the amount of content that can be recorded is influenced by intrinsic, extraneous, and germane load. The extraneous factors

include, for instance, the structure or design of the learning content (Sweller et al., 2011). Therefore, aided AAC may be considered an extraneous cognitive load (Paas & Sweller, 2014), as the structure of the AAC device's interface must be memorized in addition to the information being expressed. For individuals who rely on AAC due to limited expressive language, the communication process can differ significantly and be more challenging. Thistle and Wilkinson (2013) outline the requirements for WM when using a grid display: the message or response to be formulated must be held in the PL until all corresponding target symbols have been selected. The target symbols must also be located within the grid using the VSS. Furthermore, neuropsychology, using fMRI, has indicated that the brain regions responsible for WM are activated during visual search within grid displays (Wilkinson et al., 2015).

Aided AAC is frequently used by children and adolescents with intellectual disabilities, whose WM differs from those with typical development (Henry and Winfield, 2010). However, research results regarding WM are heterogeneous. Besides WM, other cognitive factors are also relevant. Research has suggested a significant positive correlation between WM and (fluid) intelligence in children with intellectual disabilities (Saeed & Tahir, 2016). Therefore, fluid intelligence, in addition to WM, is involved when using aided AAC (Robillard et al., 2018).

Individuals with non-specific intellectual disability demonstrated poorer performance in all WM components compared to those with typical development. The best performance was observed within the VSS, followed by the ELWM; the poorest was demonstrated in the PL (Lifshitz et al., 2016). A systematic literature review by Kehl and Scholz (2021) also confirmed poorer performance in VSS and EWLM. When matching was based on mental age, the performances resembled one another more thoroughly; when it was based on fluid reasoning (Gf), the performances were almost the same (Kehl & Scholz, 2021; Lifshitz et al., 2016). Consequently, Lifshitz et al. (2016) distinguish between task-related differences between the comparison groups and participant-related differences among the individual WM components. These findings indicate additional variances in WM performance associated with different syndromes.

Systematic reviews and meta-analyses have shown that in individuals with Down syndrome, PS represents a systematic weakness compared to those with typical development. The same holds for mental-age-matched groups. In children and adolescents with Down syndrome, large effect sizes (d = -1.40) were demonstrated in comparison with typical development mental-age-matched groups (Godfrey & Lee, 2018). Tungate and Conners (2021) reported similarly for individuals with Down syndrome (mental age-matched compared to a typical development group) effect sizes in their meta-analysis for verbal ELWM (d = -1.14) and PL tasks (d = -.55).

This weakness is also identified in the review by Conners et al. (2011). Furthermore, there is a weaker performance in PL compared to children and adolescents with other etiologies of intellectual disability (Conners et al., 2011; Godfrey & Lee, 2018). In addition, the difficulty individuals with Down syndrome have with verbal content was also evident in verbally based ELWM tasks (d = -1.00; Godfrey & Lee, 2018). The VSS results in children and adolescents with Down syndrome are inconsistent (Godfrey & Lee, 2018). For instance, there is evidence that performance is worse than in typical developmental groups matched by chronological age (Tungate & Conners, 2021). When comparing children and adolescents with Down syndrome to individuals with fragile X syndrome, Williams syndrome, and non-specific intellectual disability in terms of VSS, either similar results are observed or there is a trend toward relative strength among those with Down syndrome (Conners et al., 2011).

Moreover, in the study conducted by Jauregi et al. (2007), significantly lower spans of remembered items were measured in the PL and VSS for individuals with Prader-Willi syndrome than for typically developed individuals. However, they demonstrated no significant differences in ELWM performance compared to a control group matched on chronological age and verbal ability (Walley & Donaldson, 2005).

Children diagnosed with cerebral palsy and severe speech impairments demonstrated poorer performance on the PL and the VSS relative to a typically developing group matched for mental age. However, they exhibited superior performance on the ELWM (Larsson & Sandberg, 2008).

In conclusion, most studies indicate that WM is weaker in children and adolescents with intellectual disabilities than those with typical development at the same chronological age. Regarding comparison with the same mental age, the results are more heterogeneous. Within the group constituted of individuals with intellectual disabilities, PL is weaker in those with Down syndrome.

Furthermore, there is currently no clear evidence of the effectiveness of WM training. Additionally, differences in this regard have been observed among various syndromes (Beneventi et al., 2023; Calub et al., 2022; Orsolini et al., 2018; Roording-Ragetlie et al., 2023). Therefore, it is of greater importance to adapt the environmental conditions to each individual's specific needs. For this reason, aided AAC devices should be designed based on the user's initial cognitive profile to minimize additional WM load (Thistle & Wilkinson, 2013). This can be achieved through specific display designs in aided AAC.

To date, the research on WM and other cognitive components when using aided AAC is limited. However, some studies have explored this area and provided initial insights. For example, the retrieval of target symbols (selection of three target items) via a speech-generating device (SGD) among adults with average development showed similar effects to those for spoken retrieval in terms of phonological similarity (Dukhovny & Gahl, 2014). As anticipated, children with average development exhibit a smaller PL span when selecting Picture Communication Symbols (PCS; Mayer-Johnson LLC, 2011) than young adults (Wagner et al., 2021).

According to Robillard et al. (2018), the cognitive abilities of sustained attention, categorization, cognitive flexibility, and Gf of children and adolescents with Autism Spectrum Disorder and AAC needs are significantly related to navigation performance (selection of a target item from various pages/categories) within an SGD. Regarding WM, a positive correlation was found between visual-spatial WM (dot matrix, block recall, and odd one out) and verbal WM (digit recall, counting recall, and backward digit recall).

Shin and Park (2018) concluded that the response time to select three target symbols in a fixed grid display was predicted only by the VSS (backward matrix) performance. The better its performance, the faster the target symbols were selected. However, only typically developed adults were included in the sample. In a follow-up study, Shin and Park (2022) compared the performance of typically developed adults divided into two performance groups: high and low non-verbal WM. Response time (selection of three target symbols) was significantly faster in the high non-verbal WM group than in the low non-verbal WM group.

Cues can reduce the cognitive demands of AAC, and grid displays offer several options. For example, symbols can be arranged according to a particular categorization (e.g., syntactic, semantic, color), the background or symbol border can be colored (additionally), and the placement and number of symbols can be varied. In Gestalt psychology, colors, shapes, and spatial stimuli are helpful when searching for objects (Gegenfurtner & Rieger, 2000). Colors and shapes can create spatial segregation, categorizing individual groups or representing specific elements as belonging together through color or formal congruence (Koffka, 1935; Palmer, 1992). Moreover, the common region principle describes the phenomenon that spatially close elements are perceived as belonging (Palmer, 1992).

As shown in the systematic literature review by Römer et al. (2022), a constant arrangement according to the internal symbol color proves advantageous concerning target symbol selection speed (e.g. Wilkinson et al., 2008; Wilkinson & Madel, 2019; Wilkinson & McIlvan, 2013). As

for background colors, their effect on typically developed adults is only present with more fields (16 vs. 60 symbols, Thistle, 2019; 32 v. 50 symbols, Römer, in press). In the current research, only smaller grids combined with background and/or border colors have been studied among children and adolescents. Only Wilkinson et al. (2022) found a positive effect concerning background colors: the target symbols were fixated significantly faster on the background-colored grid. Yet other studies reported no benefit derived from a colored background (Thistle & Wilkinson, 2009; Thistle & Wilkinson, 2017; Wilkinson & Snell, 2011). Moreover, a wide-spaced and parametric grid of 16 symbols produced significantly fewer fixations to distractors than the standard grid for adolescents and adults with Down syndrome. The wide-spaced grid also produced fewer fixations within a grammatical class containing the target item than all other designs. However, no significant differences in response time were found (Wilkinson et al., 2022). Empirical findings regarding different symbol frames apart from color are currently unavailable.

In line with cognitive load theory (Sweller et al., 2011) and the load theory of selective attention (Lavie et al., 2004), background colors may engender an extraneous cognitive load (Paas & Sweller, 2014), especially if the color is unrelated to the internal symbol color and therefore act as a distractor (Lavie et al., 2004). Lian et al. (2023) demonstrated that children with intellectual disabilities are especially prone to distraction caused by background information. One possible explanation for this is that the inhibitory control mechanism needs to distinguish the background from the symbol color. Otherwise, stimulus overselectivity may occur (Dube & Wilkinson, 2014). As a result, colors may only develop their useful effect after sufficient learning. It should be noted that the participants in the cited studies were not instructed about the utility or meaning of the specific cue. Additionally, the studies on grid display designs differ in terms of symbol selection (e.g., different symbol systems), the number of symbols, the stimulus (e.g., auditory, pictorial, written sentences), and the sample population studied (Römer et al., 2022).

This current study aims to determine whether there are specific cues (background colors, frames, wide spaces) in a 4 x 6 (i.e., 24 symbols) aided AAC grid display that prove advantageous concerning response time (total duration from the respective screen slide until the target symbol is tapped) in children and adolescents with intellectual disabilities, depending on the WM profile (PL, VSS, ELWM) under control of Gf, which is grounded in the CHC-theory of intelligence (Schneider & McGrew, 2018). Based on the current state of the extant research, the following research questions will guide this study's analysis:

1. How does WM performance relate to efficient navigation, as measured by the response time, of a 4 x 6 (24-symbol) AAC grid display among children and adolescents with intellectual disabilities? Are there specific components that have a greater influence? The hypothesis is as follows: overall, the target symbols are selected faster with a larger span of PL and VSS.
2. Do stronger and weaker groups in terms of WM performance differ in the effects of training (i.e., the difference between the first and second half of the trials) on efficiently navigating the grid display?
3. What are the differences between the stronger and weaker performance groups in terms of WM performance regarding response time for specific stimuli? It is hypothesized that different cues will be useful depending on the performance group.

Method

Participants

This study was part of the research project ‘Communication, Learning, Working Memory,’ approved by the state authorities in Stuttgart, Germany, on May 17, 2021. One hundred ten students from five special education schools with a special educational focus on intellectual development in Southwest Germany participated in the study. Of these, 94 participated in the grid display task. However, 14 were excluded from further data analysis due to incomplete data sets. A total of 80 students were included in the final sample. Of these, 43 were male (M = 12.60, SD = 2.66), and 37 were female (M = 12.08, SD = 2.39). Of the participants, 48 had a non-specific disability, 21 had Down syndrome, two had Prader-Willi syndrome, and eight had Autism Spectrum Disorder. For one participant, no information on the etiology of the disability was reported. Seventy-nine participants could communicate verbally, and one was non-verbal. The average age was M = 12.36 years (SD = 0.28).

Participants were recruited by contacting school principals. Before the tests, parents/guardians, pupils, and teachers were informed about the study’s purpose, and their full written consent was obtained. Participation was voluntary, and consent could be withdrawn at any time. It should be noted that, in Germany, students are not necessarily required to be diagnosed with an intellectual disability in accordance with ICD-10/11 (World Health Organization, 2022). Rather, a pedagogical-diagnostic assessment is a prerequisite for attending a school with a special focus on intellectual development.

Setting

The study took place between May 16, 2022, and July 21, 2023, at the participants' schools. A quiet room was provided for the test sessions. During testing, one research assistant guided the participants through the assessment process while the other documented the results and observations. Participants sat at a table with the test materials or a notebook. The tests were divided into several sessions over several days to ensure the participants' concentration and motivation remained intact (c. two to three tests per session).

Materials

All tests were embedded in a storyline except the Gf task. Participants were presented with cartoon characters (called *Mimis*), who accompanied them on a game and puzzle journey. Except for the Gf and non-word repetition task, all tests were presented via PowerPoint[1] on a Lenovo Yoga C940-14IIL notebook[2] with a 15" screen.

Fluid Reasoning

The *story completion* and *pattern reasoning* subtests (both without time factor/time bonus) of the *Planning/Gf scale* of the German version of the Kaufman Assessment Battery for Children second edition (Kaufman & Kaufman, 2016) were used to assess Gf. A weighted raw score was calculated as the total score.

Working Memory

As no adequate tests were available in German to assess WM in children and adolescents with intellectual disabilities, we developed ours based on established assessment methods and studies (e.g. Alloway et al., 2004; Della Salla et al., 1999; Henry & MacLean, 2002; Van der Molen et al., 2014).

Phonological Loop

The word span task was designed to assess subvocal rehearsal and phonological storage. Two different sets with different pictograms from the METACOM[3] symbol collection were used (Set 1: chair, dog, house, book, sheep, ship, arm, door, cow; Set 2: ear, fish, ice cream, clock, money, shoe, mouse, tree, bed; in German, all these words are monosyllabic). Research on the spontaneous understanding of symbols (Potschaske & Scholz 2015), core vocabulary (Boenisch, 2014), and language acquisition (Szagun, 2013) was used to select the symbols. Prior to testing, all pictograms were checked for clarity. If any pictograms were unclear, the test was switched from Set 1 to Set 2. The task began with three practice trials. Participants were

required to verbally name and/or tap the pictograms in the correct order within a 3 x 3 matrix. The list length ranged from one to nine pictograms. If two items of the same list were correctly recognized, the span increased by one item. The span was defined as the longest list at which the participants could correctly remember the colored squares on at least two trials.

Additionally, the non-word repetition task was administered using non-words (pseudowords) from the German Working Memory Test Battery (AGTB 5-12, Hasselhorn et al., 2012) and self-generated words. Two monosyllabic words started the test as practice trials, and the test then continued with monosyllabic words. After every four words, the syllable length was increased by one if two out of four words were pronounced correctly. If not, the list was completed, and the test was stopped. The maximum list length that could be reached was six. The span was the last list in which at three words were pronounced correctly.

Visual-Spatial Sketchpad

A pattern span task was developed to measure the static visual cache. Participants were tasked with assisting the Mimis in deciphering a code to obtain a treasure. To accomplish this, they were required to memorize orange squares arranged in a 2 x 2, 3 x 3, or 4 x 4 matrix and then replicate the pattern in an empty matrix. Correctly selected squares were highlighted in orange, while incorrectly selected squares were highlighted in gray. Two practical trials were performed, one with one marked square and one with two marked squares. The test started with one colored square. If at least two squares were remembered correctly, the list length was increased by one after three goes The maximum list length achievable depended on the matrix size (2 x 2: two, 3 x 3: four, 4 x 4: six). Matrix span was defined as the number of colored squares in each matrix with at least two correct responses.

The study utilized a version of the Corsi Block Tapping Test to measure the spatial component, or inner scribe, of the visual-spatial sketchpad. Participants were instructed to memorize the order in which one of the Mimi cartoon characters hid in seven randomly arranged cupboards and tap on them accordingly. The task began with two practice trials, and two cupboards had to be remembered for each trial. The list length of testing started at one and increased by one if two out of three trials were completed correctly. The maximum length was six. The span was the longest list in which at least two cupboards were correctly selected.

Executive-Loaded Working Memory

The method used to assess ELWM was based on an odd-one-out task (Henry, 2012). Participants were asked to identify a person in a row of three pictures. Then, a blank row of three

columns appeared, and the position of the picture featuring a person had to be recalled. There was a span of one to four rows per test. Rows that belonged together were color-coded for better orientation. The span was increased if three of five trials of a list were solved correctly. If only two answers were correct, the test was stopped at the end of the longest remembered list.

Aided AAC Display Designs

Four different display designs were constructed: standard, background colors, frames, and wide space (Figure 1). The background colors and wide-space grid are based on previous research. The symbol frames are assumed to represent categories according to the principle of congruence based on Gestalt psychology. Simultaneously, there is the assumption that frames will be less distracting than color cues because of cognitive load theory (Sweller et al., 2011) and the load theory of selective attention (Lavie et al., 2004).

Twenty-four symbols from the METACOM[3] Symbol Collection were presented in a 4 x 6 grid, divided into four categories (animals, food, vehicles, clothing), with six symbols assigned to each category. Symbols were selected based on the research conducted on the spontaneous understanding of pictograms (Potschaske & Scholz, 2019). Two different sets were designed for each condition to reduce the impact of order effects. These differed in the arrangement of the interface. Set 1 started with the specific cue grid and Set 2 began with the standard grid. Participants were randomly assigned to one of the conditions and one of the sets.

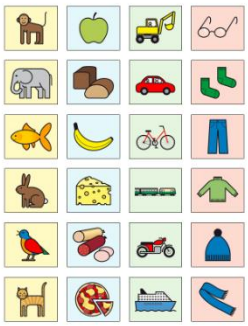
Figure 1

Grid designs for response time measure: a) standard, b) frames, c) background colors, d) wide space

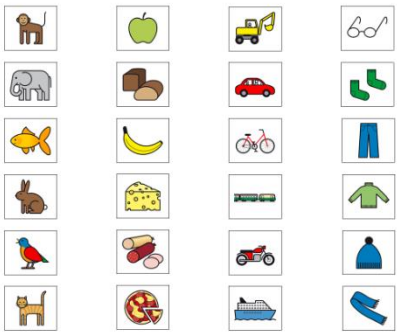
a)

b)

c)



d)



Note. a) standard grid, b) frames grid: circle = animals, square = food, pentagon = vehicles, trapezoid = clothing c) background colors grid: yellow = animals, RGB = 255 x 249 x 195, blue = food, RGB = 228 x 248 x 251, green = vehicles, RGB = 230 x 245 x 223, red = clothing, RGB = 254 x 219 x 208), d) wide space grid; METACOM^3 symbols from the METACOM^3 symbol collection.

Research Design

A quasi-experimental design was selected for this study. The dependent variable was response time, and the independent variables were WM components and grid design. Gf was a moderating variable. Ethical permission for the research project was obtained from the Research Ethics Committee at the Ludwigsburg University of Education on October 18, 2021 (approval number: III-Sopäd-MaSc-0007).

Researchers

Eight student assistants and the author conducted the tests. The assistants were given a detailed introduction to the instruments in advance.

Procedures

Participants first completed Gf and WM tests. Subsequently, the display design task was administered during the final session. No feedback was provided during the test sessions for any task, except the pattern span task.

Training

An interactive symbol familiarization had been performed previously for the grid display test. Four symbols were presented while a target item was audibly named. The task was to tap the correct item on the display. All symbols presented were from the original task. All symbols had to be selected correctly; if not, the researcher corrected the student, and the participant had to go back eight slides. The training was completed when all symbols were identified correctly.

Testing Sessions for Grid Displays

First, the symbol categorization was explained to the participants. This was done on both the specific cue grid and the standard grid. The test was conducted by presenting a word audibly; during the computerized speech output (human voice), a cartoon character appeared in the center of the display. The character served as a starting point for visual fixation, and the speech output was then repeated. Next, the slide with the grid appeared. The participants were instructed to select the target symbol by tapping, and they were allowed to correct themselves. After the participant selected the correct item, the researcher switched to the next slide. Testing started with two practice trials, and task contained a total of 20 trials. Five slides with the specific stimulus and five with the standard grid were presented alternately.

Data Collection

The weighted raw score was calculated for Gf, and memory spans were recorded for the WM tasks. For the grid design tests, the time it took for a participant to select the target item was measured using Tobii Pro Lab[4] software. The study was initially designed to support grid display testing with eye tracking to measure time to first fixation using the Tobii Pro Nano[5] monitor-based eye tracker. However, upon reviewing the eye tracking data, it was found that the time to first fixation could not be evaluated due to too many errant recordings. The participants were often restless, thereby disrupting their sitting position during the test; additionally, the

infrared signal had been covered up while participants were tapping on the screen. These two factors are assumed to be the reasons for the errant recordings. However, the eye tracking software was still used to record the target item selections. Only correctly selected symbols were included in the analysis.

Data Analysis

Data were analyzed using the statistical software R (R Core Team, 2023). A linear mixed model (LMM) with a random subject effect was used to test the hypotheses (R package "lmerTest" Kuznetsova et al., 2017; Fahrmeir et al., 2013) and post-hoc tests were calculated (R package "emmeans" Lenth, 2023). The logarithmic response time was also modeled as a function of the grid display design, test halves, WM variables, and Gf. Additionally, the interactions between the WM variables and the design, the test halves, and the Gf score (moderator) were considered. For this**,** the arithmetic mean of the Gf value was determined as 6.367 (M = 6.37; SD = 0.59). The p-value was set at the usual .05. Given the right-skewed distribution of the residuals of the model about the untransformed response time, as well as the right-skewed distribution of the response time itself, the modeling was performed by accounting for logarithmized response time. Due to the limited range of values observed for the WM variables, it was impossible to differentiate among quartiles. Therefore, a median split was chosen as a more robust method to obtain data on the two groups' performances (stronger and weaker 50 %). Consequently, the 2 x 2 and 3 x 3 pattern spans were excluded from the analysis.

Results

Regarding the inferential statistical analysis, the present model can explain 33.71% of the variation in logarithmic response time. The explained variables consist of 13.88% fixed and 19.83% random effects. The model cannot explain the remaining 66.29% variation in logarithmic response time (R-package "MuMIn"; Bartoń, 2023). The overall results of the LMM are detailed in Table 1, and the results of the ANOVA based on it are presented in Table 2. The generalized variance inflation factor (*GVIF*) for testing multicollinearity ranges between 1.00 and 2.35 (e. g. loarithmized Gf and ELWM performance group: *GVIF* = 2.35; multicollinearity diagnostics, according to Fox & Weisberg, 2019).

Table 1

Estimated model coefficients of the linear mixed model

	Estimate	*SE*	*DF*	*t*	*p*
(Intercept)	8.04	0.19	65.53	41.49	< .001
Non-word - performance	0.18	0.16	73.65	1.13	0.26
Picture - performance	− 0.08	0.24	68.85	− 0.32	0.75
Corsi - performance	− 0.32	0.24	67.88	− 1.33	0.19
Pattern - performance	− 0.06	0.26	67.59	− 0.21	0.83
ELWM - performance	0.12	0.38	66.84	0.32	0.75
Design: background colors	0.13	0.07	1336.32	1.77	0.08
Design: frames	0.04	0.06	1363.13	0.73	0.47
Design: space	0.28	0.08	1253.51	3.41	≤ 0.001
Test halfes	0.06	0.04	1324.46	1.44	0.15
Gf (weighted raw score)	− 0.23	0.07	67.11	− 3.37	≤ 0.001
Non-word - performance - background colors	− 0.25	0.09	1362.37	− 2.74	0.01
Non-word - performance - frames	0.05	0.10	1358.36	0.50	0.62
Non-word - performance - space	− 0.16	0.10	1269.52	− 1.56	0.12
Non-word - performance - test halves	0.01	0.06	1312.77	0.14	0.89
Picture - performance - background colors	0.10	0.12	1359.53	0.89	0.37
Picture - performance - frames	0.08	0.13	1329.01	0.65	0.52
Picture - performance - space	− 0.12	0.12	1324.89	− 1.02	0.31
Picture - performance - test halves	− 0.11	0.07	1313.09	− 1.55	0.12
Corsi - performance - background colors	− 0.01	0.10	1363.94	− 0.14	0.89
Corsi - performance - frames	− 0.11	0.14	1310.16	− 0.81	0.42
Corsi - performance - space	− 0.29	0.15	1135.38	− 1.94	0.05
Corsi - performance - test halves	0.14	0.07	1312.45	2.14	0.03
Pattern - performance – background colors	− 0.01	0.10	1363.15	− 0.08	0.94
Pattern - performance - frames	− 0.08	0.13	1304.75	− 0.61	0.54
Pattern - performance - space	− 0.17	0.16	1162.09	− 1.09	0.28
Pattern - performance - test halves	− 0.04	0.07	1314.78	− 0.63	0.53
ELWM – performance - background colors	− 0.04	0.12	1370.21	− 0.34	0.74
ELWM - performance - frames	0.11	0.12	1347.72	0.88	0.38
ELWM - performance - space	0.37	0.21	938.49	1.78	0.08
ELWM - performance - test halves	− 0.09	0.08	1316.66	− 1.18	0.24

Note. Non-word = non-word repetition task. Picture = picture span task, Corsi = Corsi Block task, Pattern = 4x4 pattern span task, performance = performance group (higher and lower 50%).

Table 2

ANOVA table (Type II) for the linear mixed model

	SS	*MS*	*DF*	*DF error*	*F*	*p*
Non-word	0.08	0.08	1	63.63	0.35	0.56
Picture	0.05	0.05	1	61.72	0.21	0.65
Corsi	0.41	0.41	1	61.64	1.84	0.18
Pattern	0.04	0.04	1	62.28	0.17	0.68
ELWM	0.01	0.01	1	63.26	0.04	0.85
Design	1.09	0.37	3	1263.48	1.63	0.18
Non-word - design	2.25	0.75	3	1330.46	3.36	0.02
Non-word - test halves	0.01	0.01	1	1312.77	0.02	0.89
Picture - design	0.52	0.17	3	1325.95	0.78	0.51
Picture - test halves	0.54	0.54	1	1313.09	2.41	0.12
Corsi - Design	0.97	0.33	3	1269.25	1.45	0.23
Corsi - test halves	1.02	1.02	1	1312.45	4.57	0.03
Pattern - design	0.34	0.11	3	1272.27	0.50	0.68
Pattern - test halves	0.09	0.09	1	1314.78	0.39	0.53
ELWM - design	0.90	0.30	3	1169.57	1.34	0.26
ELWM - test halves	0.31	0.31	1	1316.66	1.38	0.24

WM Performance and Response Time

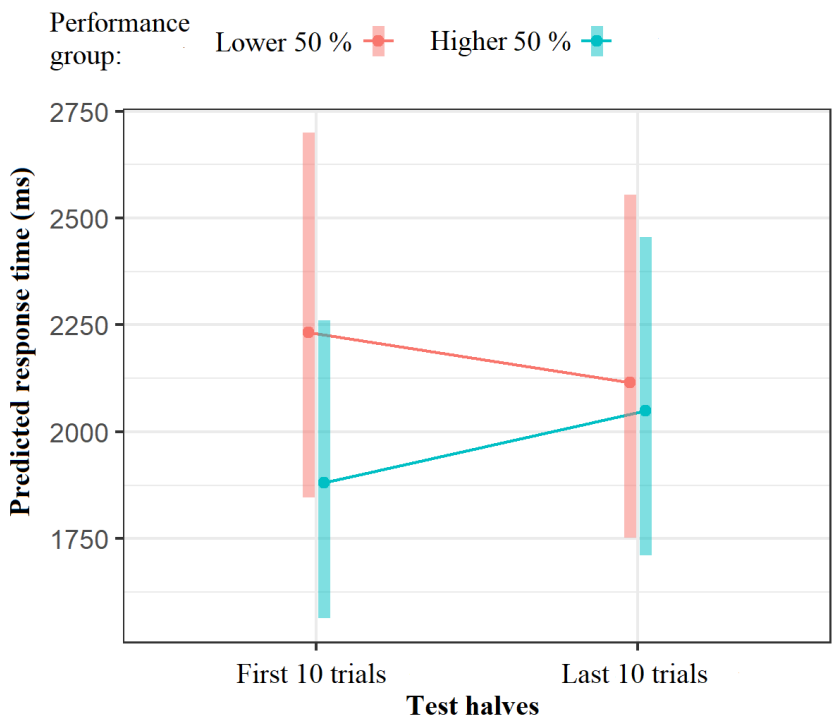
Overall, there were no significant differences between the performance in the individual components of the WM and the response time (Table 2). Therefore, the hypothesis that symbol selection is faster with better performance or higher spans of the phonological loop and visual-spatial attention could not be confirmed.

Training Effects

A significant difference was observed between the first and last 10 trials in the stronger 50% group of the Corsi Block task (ratio = 1.0899, p = 0.0495). This indicates that the response time (in milliseconds) in the last 10 trials (*M* = 2199.82) was, on average, slower by a factor of 1.0899 than the response time in the first 10 trials (*M* = 2089.09). For graphical interactions see the supplemental material (Figure 2). All other tests were not significant (Table 1).

Figure 2

Interaction graphic of test halves and Corsi Block task



Note. The post-hoc tests were visualized using the R package 'ggplot2' (Wickham, 2016).

Differences Between WM-Performance Groups for Response Time in Different Grid Designs

Regarding the background color grid design, the stronger 50% group of the non-word repetition test demonstrated significantly faster performance than the weaker 50% in both the first (ratio = 0.772, p = 0.025) and second (ratio = 0.778, p = 0.029) halves of the test. For interactions of the predicted values, see supplemental material (Figure 3). Furthermore, the stronger 50% performance group of the Corsi Block task was significantly faster than the weaker 50% performance group in the first 10 trials conducted under the condition of the wide space grid design (ratio = 0.700, p = 0.030). The predicted values are presented in Figure 4, illustrating the interactions. Therefore, the hypothesis that different cues will be useful depending on the performance group can be confirmed with limitations, as it only applies to the stronger performance group, according to the results.

Figure 3

Interaction graphics of grid design, test halves and non-word repetition task

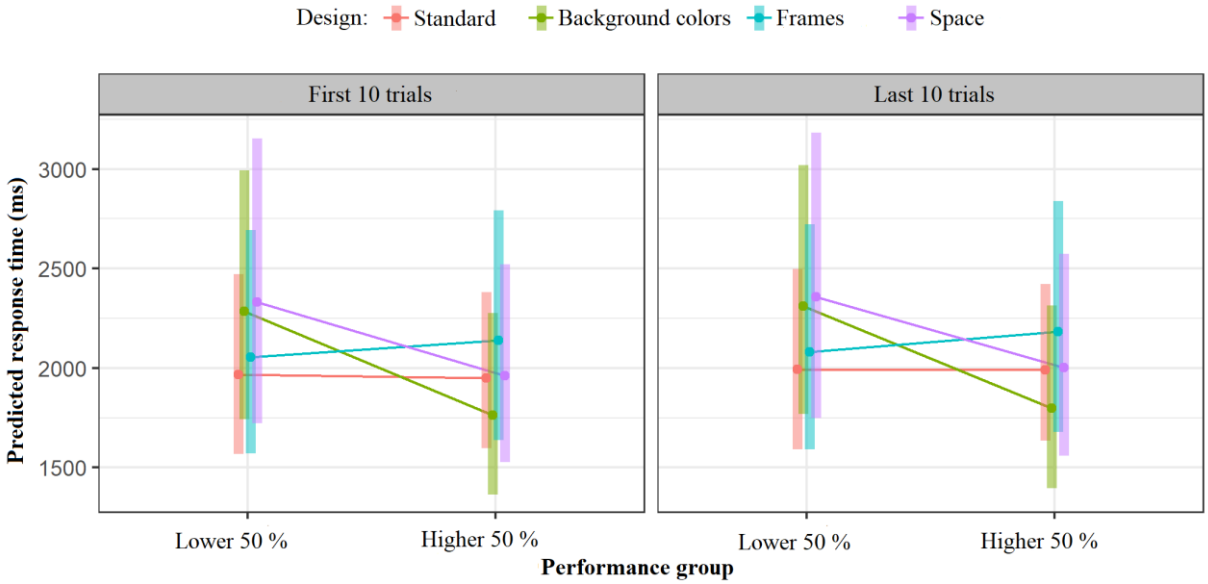
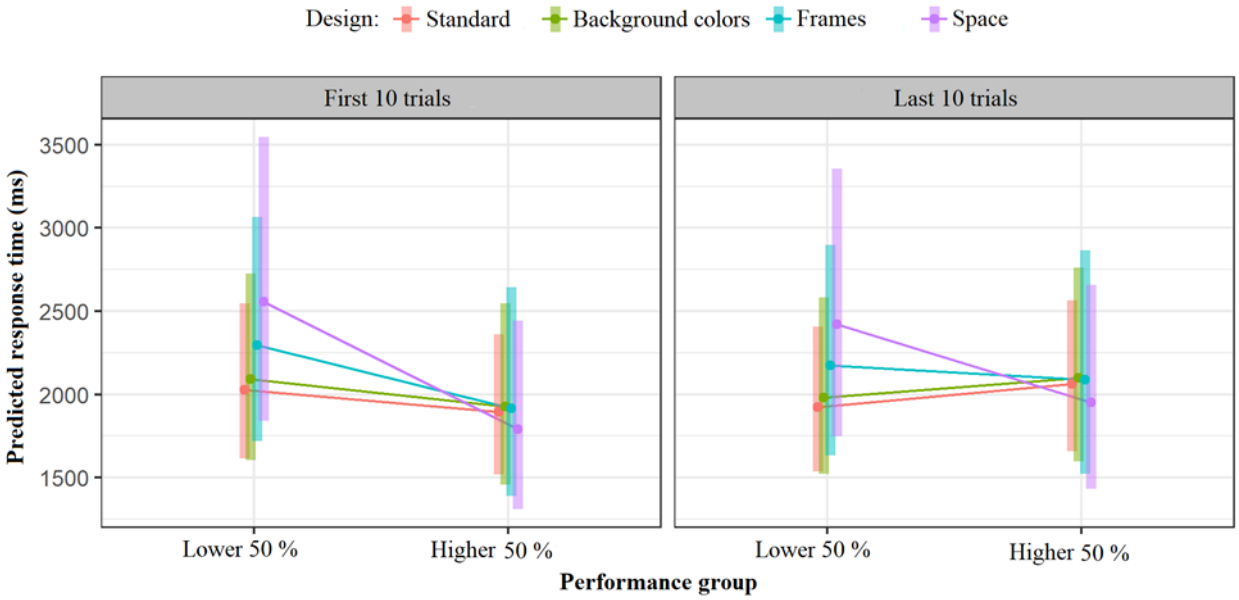


Figure 4

Interaction graphics of grid design, test halves and Corsi Block task



Note. The post-hoc tests were visualized using the R package ‘ggplot2’ (Wickham, 2016).

A comparison of the logarithmized values from the descriptive statistics indicates that the weaker performance group selects symbols across all WM tasks the most quickly in the frames and the slowest in the wide space design. In contrast, the higher performance group displays more inconsistency in their responses, with no specific grid design emerging in which response time is faster or slower. For further information, see supplemental material (Tables 3 and 4).

Regardless of the WM performance, the results of the LMM indicate that overall response time is significantly slower with the wide space grid design than the standard grid (t (1253.51) = 3.41; $p \leq 0.001$).

Table 3

The absolute frequencies for the spans of the WM tasks for the higher and lower performance groups (N = 80)

WM task	Performance group	Span *n*						
		0	1	2	3	4	5	6
Non-word repetition	Lower 50 %	4	2	17	20	0	0	0
	Higher 50 %	0	0	0	0	27	8	2
Picture span	Lower 50 %	1	10	37	0	0	/	/
	Higher 50 %	0	0	0	30	2	/	/
Corsi Block	Lower 50 %	3	12	15	19	0	0	0
	Higher 50 %	0	0	0	0	24	6	1
4x4 Pattern span	Lower 50 %	4	6	19	16	0	0	0
	Higher 50 %	0	0	0	0	13	4	18
ELWM	Lower 50 %	5	28	20	0	0	/	/
	Higher 50 %	0	0	0	12	15	/	/

Table 4

Mean values of response time calculated for performance groups and grid designs

WM task	Grid design	*M* (*SD*)		*M log (SD)*		Cases	
		Lower 50 %	Higher 50 %	Lower 50 %	Higher 50 %	Lower 50 %	Higher 50 %
Non-word repetition	Background colors	2909.05 (2158.37)	2295.04 (1673.89)	7.81 (.53)	7.59 (.50)	111	140
	Frames	2643.53 (2568.17)	2310.93 (1412.33)	7.67 (.59)	7.61 (.51)	159	85
	Space	4123.58 (4418.51)	2807.65 (2879.20)	8.02 (.70)	7.69 (.62)	93	107
	Standard	2622.97 (2081.76)	2455.16 (2057.58)	7.71 (.52)	7.63 (.52)	385	335

WM task	Grid design	*M* (*SD*)		*M log (SD)*		Cases	
		Lower 50 %	Higher 50 %	Lower 50 %	Higher 50 %	Lower 50 %	Higher 50 %
Picture span	Background colors	2976.68 (2415.99)	2159.72 (1129.89)	7.83 (.57)	7.57 (.45)	125	126
	Frames	2676.74 (2522.26)	2191.75 (1349.53)	7.66 (.61)	7.57 (.46)	169	75
	Space	4156.95 (4506.70)	2421.91 (1885.14)	8.02 (.72)	7.61 (.56)	115	85
	Standard	2805.07 (2395.75)	2161.32 (1383.17)	7.76 (.56)	7.55 (.46)	429	291
Corsi Block	Background colors	2788.62 (2296.40)	2195.70 (938.53)	7.75 (.59)	7.62 (.39)	157	94
	Frames	2733.82 (2666.55)	2155.63 (1010.51)	7.68 (.62)	7.58 (.43)	157	87
	Space	4591.18 (4732.95)	2150.29 (1282.77)	8.12 (.74)	7.55 (.48)	104	96
	Standard	2816.89 (2462.23)	2132.13 (1150.58)	7.75 (.58)	7.57 (.42)	434	286
4x4 Pattern span	Background colors	2837.00 (2203.59)	2196.65 (1383.25)	7.79 (.57)	7.58 (.43)	145	106
	Frames	2815.08 (2852.68)	2194.47 (1095.80)	7.68 (.65)	7.61 (.46)	131	113
	Space	4377.15 (4658.91)	2422.88 (1973.79)	8.04 (.75)	7.63 (.52)	102	98
	Standard	2828.24 (2508.87)	2190.70 (1251.32)	7.75 (.59)	7.59 (.43)	400	320
ELWM	Background colors	2760.60 (2187.63)	2136.23 (1026.55)	7.76 (.57)	7.58 (.39)	173	78
	Frames	2624.20 (2556.92)	2305.89 (1203.03)	7.65 (.60)	7.63 (.46)	170	74
	Space	4491.03 (4733.00)	2211.30 (1269.89)	8.07 (.75)	7.58 (.47)	106	94
	Standard	2804.52 (2425.75)	2079.97 (1050.61)	7.75 (.58)	7.55 (.40)	462	285

Discussion

The results indicate that superior performance in the individual WM components in children and adolescents with intellectual disabilities does not universally lead to faster symbol selection in any grid designs. Furthermore, no significant learning effects were observed when comparing the two performance groups. In contrast, the stronger performance group of the Corsi Block task demonstrated a significantly slower response time in the second half than in the first half of the test. This is a counterintuitive result. The superior performance of the dynamic component of the VSS may not be sustained over time. A descriptive analysis of the test results

revealed that most participants in the second half demonstrated a slower response time. This may indicate a fatigue effect. A considerable body of research has documented the difficulties and impairments in attentional functioning observed among children and adolescents with intellectual disabilities (e.g., Emerson, 2003; Lanfranchi et al., 2010; Rommel et al., 2015).

Regarding the specific grid design, the PL and the VSS in particular play a crucial role in efficiently selecting target items, particularly the passive memory process/phonological storage component of the PL and the spatial-dynamic component of the VSS. This finding aligns with the results of previous research (Robillard et al., 2018; Shin & Park, 2018). However, notably, this observation is specific to the higher-performing group and not applicable to the lower-performing cohort. The stronger group shows better spontaneous use under the conditions of background color and space design. Furthermore, the response time can be maintained with background color cues. This result is consistent with the findings of Thistle (2019) and Römer (in press), who also analyzed larger grids than previous studies had. Given that these studies examined individuals with average cognitive abilities, it can be assumed that they also have superior WM performance.

As one can see in the absolute frequencies of the memory span for both performance groups (Table 3, supplemental material), the weaker performance cohort is characterized by a higher variance. The heterogeneous outcomes of this group indicate a potential for enhanced performance within a specific value range in the lower 50%. Those individuals approach the performance observed in the higher 50%. Consequently, any separation of the two performance groups may be indistinct. Within the higher 50% this also applies to the 4 x 4 pattern span and the ELWM task, which show ceiling effects. It remains unclear whether this indicates that the weaker performance group was not accurately assessed or whether different results would emerge about response time at higher span values.

Furthermore, if the descriptive results are consulted, the frame design offers an advantage for the lower-performance group. This would support the original assumption that a frame is a helpful cue. As for the space design, the symbols were selected more slowly across all WM components. The significant result of the LMM regarding this design format can, therefore, be attributed to this group. Furthermore, a comparison with the higher performance group of the Corsi Block task within the first half of the experiment also confirms this. It can be assumed that children and adolescents tend to lose their orientation within the grid due to the greater spatial separation of the individual columns; they need more time to switch among the different categories.

In contrast, no consistent pattern can be discerned for the upper 50%. The positive benefit of the respective design seems to depend more on the specific WM component. With the higher storage performance of the PL, background colors seem helpful. In contrast to the lower-performance cohort, greater symbol spacing with a higher spatial-dynamic component seems effective.

Implications

Besides WM, long-term memory is central to the efficient and effective design of the grid surface (Wilkinson & Jagaroo, 2004). It is important to examine not only the short-term use of a design but also the long-term (learning) effects, as the long-term memory of individuals with intellectual disabilities differs from that of typically developing persons (Lifshitz et al., 2011). The same holds across syndromes (Vicari et al., 2005). Currently, there is a dearth of empirically-based studies on the correlation between long-term memory and efficient grid display design. For the practical use of aided AAC display, the results suggest that for children and adolescents with intellectual disabilities and WM weakness, larger spaces among symbols should be avoided, regardless of the specific component. When selecting a particular design, it is advisable to focus on the strengths. For individuals with better WM performance, one must consider the specific component to be able to make a claim about a helpful stimulus.

Limitations and Future Directions

One limitation of this study is that the results only relate to a static-aided AAC design. In dynamic designs, the PL and VSS play even greater roles in navigation (Thistle & Wilkinson, 2013). Additionally, participants were not shown which symbol they had selected during testing. This may have made it more challenging to correct a wrong choice. Moreover, only a single target symbol was presented at a time, whereas in practice, several symbols are typically required or selected in sequence. Preliminary empirical evidence suggests that the effects become apparent only with the second target symbol, at least in relation to fixation time (Römer & Schmidt et al., 2024). Subsequent studies should investigate whether fixation and response time differ between the individual grid designs for multi-symbol messages for children and adolescents with intellectual disabilities.

This study is also limited in ecological terms, as consideration of social character is absent. In a natural communication process, the individual must be able to flexibly shift his or her attention between the communication partner and the communication aid, as well as ignore distractors (Thistle & Wilkinson, 2012).

Importantly, no standardized test procedure assessed the WM components. The results of the pattern span and ELWM indicate the presence of a ceiling effect, which suggests that correct peak performance may not have been measured. The ceiling effect in the pattern span might be explained by afterimages within the empty grid following the presentation of the test grid. Additionally, because the access requirements for the group of children and adolescents with intellectual disabilities are too high for established tests such as the AGTB 5-12 (Hasselhorn et al., 2012), specific instruments were developed. However, these instruments are based on tests already established in empirical studies.

In line with Robillard et al. (2018), the results demonstrate a significant correlation between response time and Gf. However, because WM variables correlate with both Gf and each other, the effects may offset or reverse each other, making it challenging to separate them. Consequently, the results must be interpreted with caution.

Conclusion

This study aimed to evaluate whether there are display designs that offer an advantage in the effective use of an aided AAC depending on the WM profiles of children and adolescents with intellectual disabilities. The current results indicate that individual considerations must be included when designing grids, especially regarding the specific strengths of WM components. Finally, the objective of future research should be to conduct tests with multi-symbol messages in natural settings.

References

Allen, R. J., Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (2014). Evidence for two attentional components in visual working memory. Journal of Experimental Psychology. *Learning, Memory, and Cognition*, *40*(6), 1499–1509. https://doi.org/10.1037/xlm0000002

Alloway, T. P., Gathercole, S. E., Willis, C., & Adams, A.-M. (2004). A structural analysis of working memory and related cognitive skills in young children. *Journal of Experimental Child Psychology*, *87*(2), 85–106. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2003.10.002

Baddeley, A. (2003). Working memory: Looking back and looking forward. *Nature Reviews. Neuroscience*, *4*(10), 829–839. https://doi.org/10.1038/nrn1201

Baddeley, A. (2012). Working memory: Theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*, *63*, 1–29. https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100422

Bartoń K. (2023). *MuMIn: Multi-model inference* (Version R package version 1.47.5) [Computer software]. https://CRAN.R-project.org/package=MuMIn

Beneventi, H., Løhaugen, G. C., Andersen, G. L., Sundberg, C., Østgård, H. F., Bakkan, E., Walther, G., Vik, T., & Skranes, J. (2023). Working memory training in Norwegian children with cerebral palsy (CP) shows minimal evidence of near and no far transfer effects. *Developmental Neurorehabilitation*, *26*(6-7), 364–370. https://doi.org/10.1080/17518423.2023.2259985

Boenisch, J. (2014). Die Bedeutung von Kernvokabular für unterstützt kommunizierende Kinder und Jugendliche [Core Vocabulary for School-Aged-Students with Complex Communication Needs]. *Logos*, *22*(3), 164–178.

Calub, C. A., Benyakorn, S., Sun, S., Iosif, A.-M., Boyle, L. H., Solomon, M., Hessl, D., & Schweitzer, J. B. (2022). Working memory training in youth with autism, Fragile X, and intellectual disability: A pilot study. *American Journal on Intellectual and Developmental Disabilities*, *127*(5), 369–389. https://doi.org/10.1352/1944-7558-127.5.369

Conners, F. A., Moore, M. S., Loveall, S. J., & Merrill, E. C. (2011). Memory profiles of Down, Williams, and Fragile X syndromes: Implications for reading development. *Journal of Developmental and Behavioral Pediatrics*, *32*(5), 405–417. https://doi.org/10.1097/DBP.0b013e3182168f95

Della Sala, S., Gray, C., Baddeley, A., Allamano, N., & Wilson, L. (1999). Pattern span: a tool for unwelding visuo-spatial memory. *Neuropsychologia*, *37*(10), 1189–1199.

Dube, W. V., & Wilkinson, K. M. (2014). The potential influence of stimulus overselectivity in AAC: Information from eye tracking and behavioral studies of attention with individuals with intellectual disabilities. *Augmentative and Alternative Communication*, *30*(2), 172–185. https://doi.org/10.3109/07434618.2014.904924.

Dukhovny, E., & Gahl, S. (2014). Manual motor-plan similarity affects lexical recall on a speech-generating device: Implications for AAC users. Journal of Communication Disorders, 48, 52–60. https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2014.02.004

Emerson, E. (2003). Prevalence of psychiatric disorders in children and adolescents with and without intellectual disability. *Journal of Intellectual Disability Research*, *47*(1), 51–58. https://doi.org/10.1046/j.1365-2788.2003.00464.x.

Fahrmeir, L., Kneib, T., Lang, S., & Marx, B. (2013). *Regression*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-34333-9

Fox, J., & Weisberg, S. (2019). *An R companion to applied regression* (Third edition). SAGE.

Gegenfurtner, K. R., & Rieger, J. (2000). Sensory and cognitive contributions of color to the recognition of natural scenes. *Current Biology*, *10*(13), 805–808. https://doi.org/10.1016/S0960-9822(00)00563-7

Godfrey, M., & Lee, N. R. (2018). Memory profiles in Down syndrome across development: A review of memory abilities through the lifespan. *Journal of Neurodevelopmental Disorders*, *10*(1), 5. https://doi.org/10.1186/s11689-017-9220-y

Hasselhorn, M., Schumann-Hengsteler, R., Gronauer, J., Grube, D., Mähler, C., Schmid, I., Seitz-Stein, K., & Zoelch, C. (2012). *Arbeitsgedächtnistestbatterie für Kinder von 5 bis 12 Jahren: Manual [Working memory battery for children aged 5 to 12: Manual]*. Hogrefe.

Henry, L. A., & Winfield, J. (2010). Working memory and educational achievement in children with intellectual disabilities. *Journal of Intellectual Disability Research*, *54*(4), 354–365. https://doi.org/10.1111/j.1365-2788.2010.01264.x

Henry, L. A. (2012). *The Development of working memory in children*. SAGE Publications Ltd. https://doi.org/10.4135/9781446251348

Henry, L. A., & MacLean, M. (2002). Working memory performance in children with and without intellectual disabilities. *American Journal on Mental Retardation*, *107*(6), 421. https://doi.org/10.1352/0895-8017(2002)107<0421:WMPICW>2.0.CO;2

Jauregi, J., Arias, C., Vegas, O., Alén, F., Martinez, S., Copet, P., & Thuilleaux, D. (2007). A neuropsychological assessment of frontal cognitive functions in Prader-Willi syndrome. *Journal of intellectual disability research*, *51*(5), 350–365. https://doi.org/10.1111/j.1365-2788.2006.00883.x

Kaufman, A. S., & Kaufman, N. L. (2016). *KABC-II: KABC-II: Kaufman assessment battery for children – Second Edition. German Version by Peter & Martin Melchers*. Pearson.

Kehl, S., & Scholz, M. (2021). Systematisches Literaturreview der Arbeitsgedächtnisbesonderheiten bei Personen mit sogenannter geistiger Behinderung unspezifischer Ätiologie. *Empirische Sonderpädagogik*, *13*(2), 110–132.

Koffka, K. (1935). *Principles of Gestalt psychology*. Harcourt Brace & Co.

Kuznetsova, A., Brockhoff, P. B., & Christensen, R. H. B. (2017). lmerTest Package: Tests in linear mixed effects models. *Journal of Statistical Software*, *82*(13). https://doi.org/10.18637/jss.v082.i13

Lanfranchi, S., Jerman, O., Dal Pont, E., Alberti, A., & Vianello, R. (2010). Executive function in adolescents with Down syndrome. *Journal of Intellectual Disability Research*, *54*(4), 308–319. https://doi.org/10.1111/j.1365-2788.2010.01262.x

Larsson, M., & Sandberg, A. D. (2008). Memory ability of children with complex communication needs. *Augmentative and Alternative Communication*, *24*(2), 139–148. https://doi.org/10.1080/07434610801897239

Lavie, N., Hirst, A., Fockert, J. W. de, & Viding, E. (2004). Load theory of selective attention and cognitive control. *Journal of Experimental Psychology*, *133*(3), 339–354. https://doi.org/10.1037/0096-3445.133.3.339

Lenth, R. V. (2023). *emmeans: Estimated marginal means, aka least-squares means* (Version R package version 1.8.9) [Computer software]. https://CRAN.R-project.org/package=emmeans

Lian, X., Hong, W. C. H., Gao, F., Kolletar-Zhu, K., Wang, J., Cai, C., Yang, F., Chen, X., Wang, Z., & Gao, H. (2023). The effect of background elements of pictures on the visual attention among ASD children with intellectual disabilities, children with intellectual disabilities and typical development: Evidence from eye-tracking and fMRI. *Research in Developmental Disabilities*, *141*, 104602. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2023.104602

Lifshitz, H., Kilberg, E., & Vakil, E. (2016). Working memory studies among individuals with intellectual disability: An integrative research review. *Research in Developmental Disabilities*, *59*, 147–165. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2016.08.001

Lifshitz, H., Shtein, S., Weiss, I., & Vakil, E. (2011). Meta-analysis of explicit memory studies in populations with intellectual disability. *European Journal of Special Needs Education*, *26*(1), 93–111. https://doi.org/10.1080/08856257.2011.543535

Logie, R. H. (2011). The functional organization and capacity limits of working memory. *Current Directions in Psychological Science*, *20*(4), 240–245. https://doi.org/10.1177/0963721411415340

Mayer-Johnson LLC (2011). *The Picture Communication Symbols*. Pittsburgh.

Navarro, E., Macnamara, B. N., Glucksberg, S., & Conway, A. R. A. (2020). What influences successful communication? An examination of cognitive load and individual differences. *Discourse Processes*, *57*(10), 880–899. https://doi.org/10.1080/0163853X.2020.1829936

Orsolini, M., Melogno, S., Scalisi, T. G., Latini, N., Caira, S., Martini, A., & Federico, F. (2018). Training verbal working memory in children with mild intellectual disabilities: Effects on problem-solving. *Psicología Educativa*, *25*(1), 1–11. https://doi.org/10.5093/psed2018a12

Paas, F., & Sweller, J. (2014). Implications of cognitive load theory for multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of multimedia learning* (pp. 27–42). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.004

Palmer, S. E. (1992). Common region: A new principle of perceptual grouping. Cognitive Psychology, 24(3), 436–447. https://doi.org/10.1016/0010-0285(92)90014-S

Potschaske, J. & Scholz, M. (2019). Spontanes Verständnis von Piktogrammen aus Symbolsammlungen. Eine Pilotstudie zum Vergleich zwischen METACOM Symbolen und Picture-Communication-Symbols bei Studierenden und SchülerInnen aus dem Förderschwerpunkt geistige Entwicklung [Transparency of pictograms from symbol systems. A pilot study comparing the spontaneous understanding of METACOM symbols and Picture-Communication-Symbols (PCS) in university students and pupils with intellectual disabilities]. *UK & Forschung*, 30–37.

R Core Team. (2023). *R: A Language and Environment for Statistical Computin*g [Computer software]. R Foundation for Statistical Computing.

Robillard, M., Roy-Charland, A., & Cazabon, S. (2018). The role of cognition on navigational skills of children and adolescents with Autism Spectrum Disorders. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *61*(7), 1579–1590. https://doi.org/10.1044/2018_JSLHR-S-17-0206

Römer, N. (in press). Background colors as orientation cues for different grid sizes on aided AAC displays - A pilot eye tracking study. *Empirische Sonderpädagogik*.

Römer, N., Schmidt, M., Scholz, M., & Tempel, T. (2024). *Effects of background color cues in gaze-based symbol selections* [Manuscript in preparation].

Römer, N., Scholz, M., & Kehl, S. (2022). Systematisches Literaturreview zur Gestaltung von Kommunikationsoberflächen in der Unterstützten Kommunikation [Systematic literature review on the design of aided AAC displays]. *Zeitschrift Für Heilpädagogik*, *73*, 492–509.

Rommel, A. S., Rijsdijk, F., Greven, C. U., Asherson, P., & Kuntsi, J. (2015). A longitudinal twin study of the direction of effects between ADHD symptoms and IQ. *PloS One*, *10*(4), e0124357. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0124357

Roording-Ragetlie, S. L., Pieters, S., Wennekers, E., Klip, H., Buitelaar, J., & Slaats-Willemse, D. (2023). Working memory training in children with neurodevelopmental disorders and intellectual disabilities, the role of coaching: A double-blind randomised controlled trial. *Journal of Intellectual Disability Research*, *67*(9), 842–859. https://doi.org/10.1111/jir.13047

Rudner, M., & Signoret, C. (2016). Editorial: The role of working memory and executive function in communication under adverse conditions. *Frontiers in Psychology*, *7*, 148. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00148

Saeed, T., & Tahir, S. (2016). Working memory in children with intellectual disability (ID). *Journal of Psychology & Clinical Psychiatry*, *6*(4). https://doi.org/10.15406/jpcpy.2016.06.00366

Schneider, W. J. & McGrew, K. S. The Cattell–Horn–Carroll theory of cognitive abilities. In D. P. Flanagan, E. M. McDonough & A. S. Kaufman (Ed.), *Contemporary Intellectual Assessment, Fourth Edition: Theories, Tests, and Issues* (4th ed., pp. 73–163). Guilford Publications.

Shin, S., & Park, H. (2018). Effect of working memory and exposure to the symbols on sentence construction using AAC Graphic Symbols. *Communication Sciences & Disorders*, *23*(2), 392–403. https://doi.org/10.12963/csd.18496

Shin, S., & Park, H. (2022). The effect of non-verbal working memory on graphic symbol selection. *Augmentative and Alternative Communication*, *38*(2), 82–90. https://doi.org/10.1080/07434618.2022.2086909

Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive Load Theory*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8126-4

Szagun, G. (2013). *Sprachentwicklung beim Kind: Ein Lehrbuch [Language Development in Children]* (5.th ed.). Beltz.

Thistle, J. J. (2019). The effect of symbol background color on the speed of locating targets by adults without disabilities: Implications for augmentative and alternative communication display design. *Perspectives of the ASHA Special Interest Groups*, *4*(6), 1482–1488. https://doi.org/10.1044/2019_PERSP-19-00017

Thistle, J. J., & Wilkinson, K. (2009). The effects of color cues on typically developing preschoolers' speed of locating a target line drawing: Implications for augmentative and alternative communication display design. *American Journal of Speech-Language Pathology*, *18*(3), 231–240. https://doi.org/10.1044/1058-0360(2009/08-0029

Thistle, J. J., & Wilkinson, K. (2017). Effects of background color and symbol arrangement cues on construction of multi-symbol messages by young children without disabilities: Implications for aided AAC design. *Augmentative and Alternative Communication*, *33*(3), 160–169. https://doi.org/10.1080/07434618.2017.1336571

Thistle, J. J., & Wilkinson, K. M. (2012). What are the attention demands of aided AAC? *Perspectives on Augmentative and Alternative Communication*, *21*(1), 17–22. https://doi.org/10.1044/aac21.1.17

Thistle, J. J., & Wilkinson, K. M. (2013). Working memory demands of aided augmentative and alternative communication for individuals with developmental disabilities. *Augmentative and Alternative Communication*, *29*(3), 235–245. https://doi.org/10.3109/07434618.2013.815800

Tungate, A. S., & Conners, F. A. (2021). Executive function in Down syndrome: A meta-analysis. *Research in Developmental Disabilities*, *108*, 103802. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2020.103802.

van der Molen, M. J., Henry, L. A., & van Luit, J. E. H. (2014). Working memory development in children with mild to borderline intellectual disabilities. *Journal of Intellectual Disability Research*, *58*(7), 637–650. https://doi.org/10.1111/jir.12061

Vicari, S., Bellucci, S., & Carlesimo, G. A. (2005). Visual and spatial long-term memory: differential pattern of impairments in Williams and Down syndromes. *Developmental Medicine and Child Neurology*, *47*(5), 305–311. https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2005.tb01141.x

Wagner, B. T., Shaffer, L. A., Ivanson, O. A., & Jones, J. A. (2021). Assessing working memory capacity through picture span and feature binding with visual-graphic symbols during a visual search task with typical children and adults. *Augmentative and Alternative Communication*, *37*(1), 39–51. https://doi.org/10.1080/07434618.2021.1879932

Walley, R. M., & Donaldson, M. D. (2005). An investigation of executive function abilities in adults with Prader-Willi syndrome. *Journal of intellectual disability research*, *49*(8), 613–625. https://doi.org/10.1111/j.1365-2788.2005.00717.x

Wickham, H. (2016). *Ggplot2: Elegant graphics for data analysis (Second edition). Use R!* Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24277-4

Wilkinson, K., Carlin, M., & Thistle, J. (2008). The role of color cues in facilitating accurate and rapid location of aided symbols by children with and without Down syndrome. *American Journal of Speech-Language Pathology*, *17*(2), 179–193. https://doi.org/10.1044/1058-0360(2008/018)

Wilkinson, K. M., Dennis, N. A., Webb, C. E., Therrien, M., Stradtman, M., Farmer, J., Leach, R., Warrenfeltz, M., & Zeuner, C. (2015). Neural activity associated with visual search for line drawings on AAC displays: An exploration of the use of fMRI. *Augmentative and Alternative Communication*, *31*(4), 310–324.

Wilkinson, K. M., Gilmore, R., & Qian, Y. (2022). Judicious arrangement of symbols on a simulated augmentative and alternative communication display optimizes visual attention by individuals with down syndrome. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *65*(2), 710–726. https://doi.org/10.1044/2021_JSLHR-21-00278

Wilkinson, K. M., & Jagaroo, V. (2004). Contributions of principles of visual cognitive science to AAC system display design. *Augmentative and Alternative Communication*, 20(3), 123–136. https://doi.org/10.1080/07434610410001699717

Wilkinson, K. M., & Madel, M. (2019). Eye tracking measures reveal how changes in the design of displays for augmentative and alternative communication influence visual search in individuals with Down syndrome or autism spectrum disorder. *American Journal of Speech-Language Pathology*, *28*(4), 1649–1658. https://doi.org/10.1044/2019_AJSLP-19-0006

Wilkinson, K. M., & McIlvane, W. J. (2013). Perceptual factors influence visual search for meaningful symbols in individuals with intellectual disabilities and Down syndrome or autism spectrum disorders. *American Journal on Intellectual and Developmental Disabilities*, *118*(5), 353–364. https://doi.org/10.1352/1944-7558-118.5.353

Wilkinson, K. M., & Snell, J. (2011). Facilitating children's ability to distinguish symbols for emotions: The effects of background color cues and spatial arrangement of symbols on accuracy and speed of search. *American Journal of Speech-Language Pathology*, *20*(4), 288–301. https://doi.org/10.1044/1058-0360(2011/10-0065)

World Health Organization. (2022*). International statistical classification of diseases and related health problems* (11th ed.). https://icd.who.int/

Endnotes

[1] PowerPoint is manufactured by Microsoft, One Microsoft Way Redmond, WA 98052-6399, USA https://www.microsoft.com/

[2] Lenovo Yoga C940-14IIL notebook is manufactured by Lenovo, New Town, Plaza Phase, Hong Kong, China https://www.lenovo.com/

[3] METACOM symbol collection is manufactured by Annette Kitzinger, Bundesstraße 26, 24988 Oeversee, Germany https://www.metacom-symbole.de/

[4] Tobii Pro Lab is manufactured by Tobii, Box 743, S-182 17, Danderyd, Sweden https://www.tobii.com/

[5] Tobii Pro Nano is manufactured by Tobii, Box 743, S-182 17, Danderyd, Sweden https://www.tobii.com/

Erklärung über die individuellen Leistungsbeiträge

Die vorliegende Dissertationsschrift besteht aus drei Forschungsartikeln, die in einen gemeinsamen kontextuellen Rahmen gesetzt sind und deren Ergebnisse zusammenfassend diskutiert werden.

Forschungsartikel 1 wurde von Nina Römer als Erstautorin gemeinsam mit Prof. Dr. Markus Scholz und Dr. Stephan Kehl veröffentlicht. Die theoretische Konzeption sowie Ableitung der Fragestellungen wurden gemeinsam von Prof. Dr. Markus Scholz und Nina Römer entwickelt. Die Recherche der Artikel erfolgte durch Nina Römer und eine studentische Hilfskraft. Die Datenaufbereitung und -auswertung wurde je zu 25 % von Prof. Dr. Markus Scholz und Dr. Stephan Kehl und zu 50 % von Nina Römer durchgeführt. Zudem wurden der Methodik- und Ergebnisteil eigenständig von Nina Römer verfasst. Die Diskussion entstand in einem gemeinsamen Prozess der Autorin und Autoren.

Forschungsartikel 2 wurde vollumfänglich eigenständig von Nina Römer konzipiert, durchgeführt, ausgewertet und verschriftlich. Die Datenerhebung und-aufbereitung wurde von studentischen Hilfskräften unterstützt.

Forschungsartikel 3 wurde vollumfänglich eigenständig von Nina Römer konzipiert und durchgeführt. Die Konzeption der Arbeitsgedächtnis-Tests erfolgte im Rahmen des Forschungsprojekts klar gemeinsam durch Prof. Dr. Markus Scholz, Dr. Stephan Kehl und Nina Römer. Nina Römer war dabei hauptsächlich verantwortlich für die Tests zur Erfassung des Visuell-räumlichen Gedächtnisses. Die Datenerhebung und-aufbereitung wurde von studentischen Hilfskräften unterstützt. Bei der Datenauswertung wurde die Beratung des Bereichs Statistische Beratung und Analyse (SBAZ) des Zentrums für HochschulBildung der TU Dortmund in Anspruch genommen. Die Verschriftlichung der Studie erfolgte vollumfänglich eigenständig durch Nina Römer.