

Exekutive Funktionen

Wolfgang A. Rauch

1 Was sind exekutive Funktionen?

Exekutive Funktionen (EF) haben in den vergangenen Jahrzehnten ein riesiges Interesse mit Tausenden von wissenschaftlichen Veröffentlichungen in Psychologie und den Neurowissenschaften hervorgerufen. Aufbauend auf grundlagenwissenschaftlichen Erkenntnissen wurde schnell ihre Bedeutung für eine erfolgreiche Bewältigung zahlreicher Entwicklungsanforderungen insbesondere in erziehungs- und bildungsrelevanten Situationen erkannt (Blair & Raver, 2015; Gawrilow & Rauch, 2017; Kubesch, 2016; Zelazo et al., 2016). Neben einer unübersehbaren Zahl wissenschaftlicher Untersuchungen existieren mittlerweile zahlreiche Angebote zur Förderung und Ratgeberliteratur. Diese Vielzahl von Veröffentlichungen führt leider auch zu einer Vielzahl an Definitionen des Begriffs EF (Gawrilow & Rauch, 2017; Jäncke, 2017). Versucht man eine Vereinheitlichung dieser Definitionen, ergeben sich meist zwei Definitionsbestandteile: eine Auflistung von einzelnen Funktionen und eine (hypothetische) Aussage über den (biologischen) Zweck der EF.

Ursprünglich stammt der Begriff EF aus der neuropsychologischen Forschung an Patient:innen mit Verletzungen im vorderen Teil des Gehirns, dem sogenannten präfrontalen Cortex (PFC). Solche Patient:innen haben häufig Probleme, Pläne eigenständig und zielgerichtet durchzuführen und ihr Verhalten an Situationsanforderungen anzulassen (Jäncke, 2017). Sehr bekannt ist etwa der Fall Phineas Gage aus dem 19. Jahrhundert, der nach Verletzungen im PFC unkontrolliert Schimpfwörter gebrauchte und nicht mehr pünktlich und ordentlich arbeiten konnte. Andere Patient:innen mit schwerwiegenden Schädigungen im PFC leiden etwa an »Umweltabhängigkeit« und lassen sich durch Gegenstände zu den dazu passenden Handlungen (z. B. Besteck => Essen) verleiten. Mittlerweile ist klar, dass der PFC weitaus mehr »Zuständigkeiten« hat als EF (Jäncke, 2017).

Bei der Aufzählung einzelner EF sind drei sogenannte basale EF (Miyake et al., 2000) besonders hervorzuheben, nämlich *Inhibition*, *Arbeitsgedächtnis* und *flexibler Aufgabenwechsel*. Diese drei Funktionen wurden insbesondere bei Kindern untersucht (siehe unten) und sie sind Ziel zahlreicher pädagogischer Förderprogramme. Weitere wichtige Einzelfunktionen sind insbesondere das Planen von Handlungssequenzen, die Überwachung (engl. Monitoring) des eigenen Verhaltens und die Aufmerksamkeitssteuerung. Neben eher kognitiven Aspekten können EF auch zur emotionalen und motivationalen regulation dienen, was oft mit dem Begriff »hot« (»heiße«) EF beschrieben wird (Gawrilow & Rauch, 2017), beispielsweise wenn ein Emotionsausdruck unterdrückt oder modifiziert werden soll (z. B. Ärger nicht zeigen) oder wenn eine

normalerweise als belohnend empfundene Handlung kurzzeitig nicht ausgeführt werden darf (z. B. eine Süßigkeit wird betrachtet, darf aber nicht gegessen werden).

Weitere Impulse kommen aus der Forschung an Arbeitsgedächtnisprozessen und Aufmerksamkeit. Im Modell des Arbeitsgedächtnisses (AG) nach Baddeley (Jäncke, 2017) werden unter dem Begriff *zentrale Exekutive* Prozesse der Auswahl, Aufrechterhaltung und Manipulation von Informationen im AG beschrieben, also Prozesse, die ebenso unter dem Oberbegriff EF geführt werden könnten. Aus der Aufmerksamkeitsforschung stammt die Unterscheidung zwischen automatisierten und kontrollierten Prozessen (Jäncke, 2017). Automatisierte Prozesse erfordern keine oder nur wenig Aufmerksamkeit, wie z. B. das Schalten, Kuppeln, Gas geben und Bremsen bei geübten Autofahrer:innen. Kontrollierte Prozesse dagegen benötigen bewusste Aufmerksamkeit, etwa beim Erlernen neuer Tätigkeiten oder auch allgemeiner in ungewohnten Situationen. Die Kontrolle von Aufmerksamkeitsprozessen bei der Auswahl von relevanten Reizen und bei der Abschirmung gegenüber irrelevanten Reizen kann als einer der wichtigsten Aspekte von EF gezählt werden.

EF sind nicht unbedingt direkt für die Informationsverarbeitung zuständig und sind insofern von Komponenten der Intelligenz abzugrenzen. Allerdings gibt es Überschneidungen: So enthalten neuere Intelligenztests häufig Aufgaben zur Erfassung von Arbeitsgedächtnisprozessen, und Prozesse der Aufmerksamkeitssteuerung und der Arbeitsgedächtnisaktualisierung sind zentral für Problemlösungen im Rahmen der sog. fluiden Intelligenz (Kane, Hambrick & Conway, 2005).

Zusammengenommen ergibt sich folgender Definitionsversuch:

EF dienen der Kontrolle von kognitiven, insbesondere Aufmerksamkeitsprozessen, sowie der Kontrolle von Emotionen und Verhalten. Sie sind zur Planung, Ausführung und Kontrolle von komplexeren Handlungssequenzen insbesondere in Situationen mit neuartigen oder ungewohnten Anforderungen nötig.

1.1 Inhibition

Die Inhibition (Hemmung, Unterdrückung) nimmt einen besonderen Platz unter den EF ein. In Schilderungen von Phineas Gage nach seinem Unfall wird seine Impulsivität immer wieder hervorgehoben, d.h. Probleme, spontane Handlungsimpulse zu unterdrücken. Inhibition wird auch beim Belohnungsaufschub in einem »heißen« Kontext benötigt (Gawrilow & Rauch, 2017). Weitere Beispiele sind die Anforderung, sitzen zu bleiben und zu warten, bis ein Aufruf von der Lehrkraft erfolgt, oder sich nicht vom Flüstern der Sitznachbarn ablenken zu lassen. Inhibiert werden müssen allgemein solche Handlungsimpulse, Gedanken oder Emotionen, die in einer Situation nicht zielführend wären. Probleme mit der Inhibition wurden lange als besonderes Kennzeichen der Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung (ADHS) betrachtet. Mittlerweile ist aber klar, dass auch andere EF bei ADHS beeinträchtigt sind (Rauch et al., 2012).

1.2 Arbeitsgedächtnis

Insbesondere solche Aspekte des AG können zum Bereich der EF gezählt werden, bei denen Aufmerksamkeitssteuerung und Manipulation von Informationen gebraucht werden (siehe auch oben), etwa wenn eine Abfolge von Anweisungen in die richtige Reihenfolge gebracht werden

muss oder aus einer Menge von Informationen im Gedächtnis die richtige Antwort gefunden werden muss. Schwierigkeiten mit dem AG sind einerseits bei vielen medizinischen und psychiatrischen Störungsbildern beobachtet worden (siehe unten), andererseits gilt das AG auch als zentrale Voraussetzung für erfolgreiches Lernen von Lesen, Schreiben und Rechnen.

1.3 Flexibler Aufgabenwechsel

Die Fähigkeit zum flexiblen Aufgabenwechsel (auch englisch task switching oder set shifting genannt) wird dann gebraucht, wenn sich situationale Anforderungen ändern, beispielsweise von einer Spielsituation zu einer Stillarbeitsphase. Sie wird aber auch dann gebraucht, wenn möglichst viele Lösungsalternativen zu einer bestimmten Aufgabe generiert werden müssen (die sogenannte *Flüssigkeit*). Manchen Personen mit Hirnverletzungen im Bereich des PFC haben Schwierigkeiten, neue Handlungen zu initiieren und sie verbleiben in gewohnten Handlungsmustern, sie *perseverieren*. Besonders auffällig sind Perseverationen bei Menschen mit Autismus-Spektrum-Störungen, aber auch bei Menschen mit Schizophrenie (siehe unten).

2 Wie entwickeln sich exekutive Funktionen?

Die Entwicklung von EF kann man grob mit der neurophysiologischen Entwicklung der besonders an EF beteiligten Gehirnbereiche verknüpfen, also insbesondere mit der Entwicklung des PFC, aber auch mit der Entwicklung von Nervenverbindungen im Gehirn insgesamt (Zelazo et al., 2016). Grundsätzlich entwickelt sich der PFC etwas später und langsamer als andere Gehirnbereiche. Kurz vor Vollendung des ersten Lebensjahres können Säuglinge erstmals Handlungen im AG planen, etwa wenn um ein Hindernis herumgegriffen werden muss, um ein begehrtes Objekt zu erreichen (Gawrilow & Rauch, 2017). Deutliche Entwicklungsfortschritte in den EF sind dann vor allem ab dem Alter von vier Jahren bis etwa zum Eintritt der Pubertät zu beobachten. Während dieser Phase erhöht sich etwa die Zahl von Objekten, die gleichzeitig im AG behalten werden kann, oder die Fähigkeit zum flexiblen Aufgabenwechsel (Gawrilow & Rauch, 2017). Auch nach Eintritt in die Pubertät sind noch Entwicklungen zu beobachten. Die Reaktionsgeschwindigkeit bei »kalten« EF nimmt noch bis zum jungen Erwachsenenalter zu. Während der Adoleszenz sind aber vor allem bei »heißen« EF Veränderungen zu beobachten, wobei situationsspezifische Befunde auffällig sind: Die Anwesenheit von Gleichaltrigen scheint vor allem inhibitorische Prozesse negativ zu beeinflussen, so dass z. B. in Gleichaltrigengruppen deutlich risikoreicheres Verhalten gezeigt wird als alleine.

3 Warum diagnostiziert man exekutive Funktionen?

3.1 EF und Schulleistungen im Regelschulbereich

In den USA wurde die Rolle von exekutiven Funktionen für die sogenannte Schulbereitschaft (engl. school readiness) untersucht (Blair & Raver, 2015). Mit dem Eintritt in die Schule sind neue kognitive und sozio-emotionale Anforderungen zu bewältigen: Die Aufmerksamkeit soll für längere Zeit auf einen bestimmten Fokus (z. B. die Lehrkraft oder ein Arbeitsblatt) gerichtet werden, wobei eigene Handlungsimpulse inhibiert werden müssen; neuartige kognitive

und motorische Kompetenzen müssen erworben werden. Insgesamt bedeutet der Übergang in die Schule eine höhere Anforderung an die Selbststeuerung und damit eine höhere Beanspruchung exekutiver Funktionen. Dementsprechend können mit der im Vorschulalter gemessenen EF-Leistung spätere Leistungen in standardisierten Mathematik-, aber auch Lese- und Rechtschreibtests vorhergesagt werden (für einen Überblick siehe Zelazo et al., 2016). Dieser prädiktive Zusammenhang ist womöglich sogar größer als der Zusammenhang zwischen Intelligenz und Schulleistungen; er lässt sich jedenfalls auch dann nachweisen, wenn Intelligenz statistisch kontrolliert wird. Exekutive Funktionen unterstützen das Lernen in allgemeiner Hinsicht durch Aufmerksamkeitskontrolle, Aufnahme von Informationen ins Gedächtnis und Flexibilität bei der Verarbeitung neuer Konzepte.

Insgesamt sind EF besonders vor und zu Beginn des Schulbesuchs von Bedeutung für die spätere Leistung. Der Zusammenhang zwischen EF und Leistung nimmt mit zunehmendem Schulbesuch ab, wahrscheinlich weil die Rolle des Vorwissens in den spezifischen Lernbereichen immer wichtiger wird. Die höchste Effizienz haben Maßnahmen zur Förderung von EF wahrscheinlich im Vorschulalter und zu Beginn der Primarstufe (z. B. Diamond & Lee, 2011), bei älteren Kindern und Jugendlichen ist womöglich eine jeweils fachspezifische Förderung effizienter. Bei älteren Kindern und Jugendlichen gelingt der Transfer einer EF-Förderung auf andere Lernbereiche meist nicht (Melby-Lervåg & Hulme, 2013). Dennoch lässt sich zumindest indirekt ein Zusammenhang zwischen EF im Kindesalter und ganz unterschiedlichen Indikatoren einer erfolgreichen Bewältigung akademischer, beruflicher und gesundheitlicher Anforderungen zeigen (Robson et al., 2020).

3.2 Medizinisch-psychiatrische Befunde

Defizite der EF begleiten verschiedene medizinische und psychiatrische Störungen. Bereits genannt wurde das mögliche Auftreten von Beeinträchtigungen der EF im Zusammenhang mit erworbenen Hirnschädigungen. Auch Frühgeburtlichkeit und niedriges Geburtsgewicht hängen mit Beeinträchtigungen der EF zusammen (z. B. Mulder et al., 2009), womöglich vermittelt durch minimale Hirnschädigungen; ähnliches gilt für ungünstige Geburtsverläufe mit möglicher Sauerstoffunterversorgung (Hypoxie) und für Kinder mit fetalen Alkoholspektrum-Störungen.

Besonders bekannt geworden sind Beeinträchtigungen der EF im Zusammenhang mit der Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung (ADHS; Gawrilow & Rauch). Auch umschriebene Entwicklungsstörungen schulischen Lernens, Tic-Störungen, Schizophrenie und akute Phasen einer depressiven Störung werden von EF-Defiziten begleitet (Willcutt et al., 2008), genauso wie spezifische Sprachentwicklungsstörungen (Henry et al., 2012). Schließlich gehören EF-Defizite auch zu den Begleiterscheinungen verschiedener genetischer Syndrome, darunter Down-Syndrom, Fragiles-X-Syndrom, Williams-Beuren-Syndrom und Prader-Willi-Syndrom, wobei teilweise syndrom-spezifische Profile zu beachten sind (z. B. Schuchardt, Gebhardt & Mähler, 2010; Sarimski, 2014). EF-Defizite sind dabei meist unabhängig von möglichen Beeinträchtigungen der Intelligenz. Das heißt, der Mittelwert einer Gruppe von Kindern mit einer bestimmten Störung oder einem bestimmten Syndrom unterscheidet sich vom Mittelwert einer Gruppe ohne diese Störung oder dieses Syndrom. Allerdings können sich die EF-Leistungen unterschiedlicher Kinder innerhalb derselben Gruppe deutlich unterscheiden. Daher kann die EF-Leistung nur ergänzend, aber nicht als entscheidendes Kriterium für das Vorliegen einer spezifischen Störung genutzt werden (Willcutt et al., 2008).

3.3 Weitere Befunde

unabhängig von spezifischen medizinisch-psychiatrischen Störungsbildern werden vor allem international Zusammenhänge zwischen dem sozioökonomischen Status (SÖS) und EF beobachtet (Blair & Raver, 2015). Kinder, die in Familien mit niedrigerem SÖS aufwachsen, haben niedrigere EF-Leistungen als Kinder aus Familien mit höherem SÖS. Insbesondere in der frühen Kindheit können sich eine unruhige Umgebung und unzuverlässige und wechselnde soziale Beziehungen ungünstig auf die Entwicklung exekutiver Funktionen auswirken, wenn Kinder in ständiger Reaktionsbereitschaft verharren müssen und wenig zu einer selbsttätigen Auseinandersetzung mit der Umwelt angeregt werden und diese Umwelt noch dazu wenige Anregungen bietet. Demgegenüber sind positives Elternverhalten, Unterstützung der Autonomie und Selbständigkeit förderlich (Blair & Raver, 2015). Diese Effekte basieren womöglich auf hirneurophysiologischen Auswirkungen von Stressbelastungen der Eltern auf die Entwicklung des PFC der Kinder über die Stressphysiologie der Kinder pränatal und im frühen Kindesalter (Blair & Raver, 2015).

In Deutschland zeigte eine Studie von Urban und Kollegen (2014) Defizite exekutiver Funktionen bei Kindern mit Förderbedarf im sonderpädagogischen Schwerpunkt Lernen. Noch unklar ist, ob auch Kinder mit Förderbedarf in der sozialen und emotionalen Entwicklung Defizite in EF aufweisen, wie Ergebnisse aus der Forschung zu ADHS und anderen Verhaltensauffälligkeiten nahelegen (Schmitt et al., 2012).

4 Wie diagnostiziert man exekutive Funktionen?

4.1 Experimentelle Aufgaben

Wahrscheinlich wurden die allermeisten wissenschaftlichen Befunde über EF entweder mithilfe von nicht-standardisierten und meist einmalig entwickelten und verwendeten experimentellen Aufgaben oder mittels nicht-standardisierten und nicht-normierten klinischen Testaufgaben erforscht. Die Erfassung von EF mit experimentellen Aufgaben führt naturgemäß vor allem zu Problemen bei der Interpretation der Ergebnisse, sofern keine Testnormen vorliegen. Für die Individualdiagnostik sind solche Aufgaben grundsätzlich nur sehr eingeschränkt geeignet. Dennoch gelten für zahlreiche Aufgaben ähnliche Grundprinzipien, die auch in standardisierten Tests zum Einsatz kommen. Diese Prinzipien sollen hier vorgestellt werden.

4.1.1 Inhibition

Variationen der sog. *Flanker-Aufgabe* werden häufig als Maß für Inhibition genutzt. In jedem von mehreren Aufgabendurchgängen ist in der Bildschirmmitte für kurze Zeit ein Objekt (Target) zu sehen, das entweder nach rechts oder nach links weist. Die getestete Person soll in der Richtung reagieren (z. B. durch Tastendruck), in die das Target weist. Das Target wird von weiteren Objekten der gleichen Art, den Distraktoren, flankiert, aber die Distraktoren müssen nicht in dieselbe Richtung weisen wie das zentrale Objekt. Gemessen werden Reaktionszeiten und Fehlerzahl, wobei z. B. Reaktionszeitunterschiede zwischen sog. *kongruenten* (Target und Distraktoren weisen in dieselbe Richtung) und *inkongruenten* (Target und Distraktoren weisen in unterschiedliche Richtung) als Maß für die Inhibition genutzt werden. Ein Durchgang einer Flanker-Aufgabe ist in Abbildung 1 dargestellt.



Abbildung 1: Beispieldurchgang einer Flankeraufgabe. Die erwartete Reaktion ist ein Druck auf die rechte Taste, weil der mittlere Fisch (Target) nach rechts weist. Der Durchgang ist inkongruent, weil die flankierenden Fische (Distraktoren) in die entgegengesetzte Richtung weisen.

Interferenzen, also Störeinflüsse auf die eigentlich zu bearbeitende Aufgabe, wie sie durch die Distraktoren bei der Flanker-Aufgabe genutzt werden, spielen auch beim bekannten *Farb-Wort-Interferenztest* (Aufgabe nach Stroop) eine Rolle. In dieser Aufgabe werden Farbwörter (also z. B. das Wort »gelb«) farbig gedruckt (z. B. in der Farbe Rot). Die Testperson soll die Druckfarbe nennen. Gemessen wird vor allem der Unterschied zwischen der Reaktionszeit für kongruente (Wort und Farbe stimmen überein) und inkongruente Durchgänge.

Auch *Go/NoGo-Aufgaben* werden sehr oft als Inhibitionsmaß verwendet. Bei diesem Aufgabentypus besteht die Anforderung einfach darin, so schnell wie möglich zu reagieren, wenn der Target-Reiz (Go-Reiz) auf dem Bildschirm erscheint (Variation: Statt visueller auditive Reize). Allerdings wird bei einer gewissen Zahl von Durchgängen ein NoGo-Reiz präsentiert, auf den nicht reagiert werden darf. Eine schlechtere Fähigkeit zur Inhibition zeigt sich dann, wenn häufig auch auf NoGo-Reize reagiert wird.

4.1.2 Arbeitsgedächtnis

Zum AG gibt es die meisten standardisierten Testverfahren (siehe auch unten). Doch auch eine Reihe von experimentellen AG-Aufgaben wird häufig verwendet und soll daher hier vorgestellt werden. Sehr oft wird das Prinzip der sog. *Rückwärtsspanne* verwendet. Dabei wird eine Reihe von zu merkenden Reizen (z. B. Ziffern) vorgegeben und die Testperson soll die Reize in der umgekehrten Reihenfolge, also rückwärts, wiedergeben. Meist wird die Zahl von Reizen, bei denen noch korrekt wiedergegeben werden kann, also die Rückwärtsspanne als Maß für die AG-Kapazität genutzt.

Eine etwas andere Art von Anforderung an das AG entsteht bei sog. *Updating-Aufgaben*. Das grundsätzliche Prinzip lässt sich etwa an N-Back-Aufgaben illustrieren. Reize werden z. B. visuell-räumlich am Bildschirm für kurze Zeit an verschiedenen Stellen präsentiert (siehe Abbildung 2). Bei 1-back Durchgängen soll die Testperson angeben, wenn sich der Reiz an derselben Stelle befindet wie unmittelbar zuvor, bei 2-back Durchgängen, wenn sich der Reiz an derselben Stelle befindet wie zwei Durchgänge zuvor, bei 3-back Durchgängen wie drei Durchgänge zuvor usw. Dieses Prinzip kann auch auditiv mit unterschiedlichen Tonhöhen variiert werden.

Eine dritte Art von Anforderung entsteht bei sog. *komplexen Spannen-Aufgaben*. Das Prinzip dieser Aufgaben besteht darin, dass zwei unterschiedliche Anforderungen ans AG gestellt werden. So sollen Testpersonen etwa bei einer Zählspannenaufgabe in mehreren Durchgängen (Spanne) Objekte gezählt werden und anschließend sollen die jeweiligen Anzahlen wiedergegeben werden. In solchen komplexen Spannenaufgaben blockiert die eine Anforderung (z. B. Zählen) die andere Anforderung (Speicherung im AG). Die maximale Leistung (größte Spanne) ist ein Indikator für die exekutive AG-Leistung.

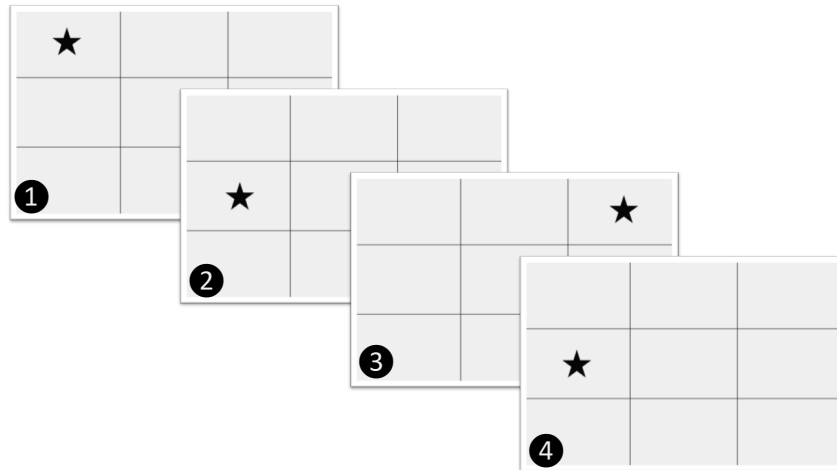


Abbildung 2: Ausschnitt aus einer räumlich-visuellen N-Back-Aufgabe mit $N = 2$. Testpersonen sollen anzeigen, wenn der Stern an derselben Stelle erscheint wie zwei Durchgänge zuvor, im Beispiel also in Durchgang 4, weil der Stern an derselben Stelle erscheint wie in Durchgang 2.

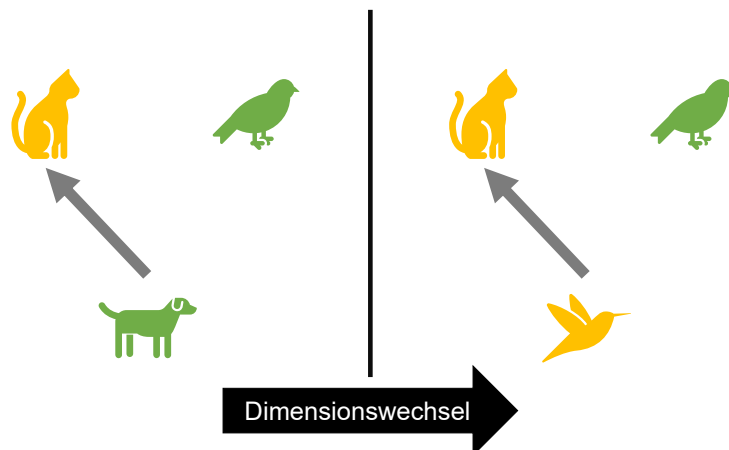


Abbildung 3: Zwei Durchgänge einer Sortieraufgabe. Zunächst sollen die Karten (unten) nach der Dimension »läuft oder fliegt?« sortiert werden (links), später wechselt die Sortierdimension und es soll nach Farbe sortiert werden (rechts).

4.1.3 Flexibler Aufgabenwechsel

Eine wichtige Klasse von Verfahren zum flexiblen Aufgabenwechsel sind Sortieraufgaben. Im Kindesalter wird etwa die *Dimensional Change Card Sort Task* (DCCS) verwendet. Als Reize werden Bilder verwendet, die in (mindestens) zwei Dimensionen variieren, etwa Farbe und Form. Zunächst sollen die Bilder nach einer Dimension sortiert werden (etwa alle gelben, alle roten, ... Reize), dann wird die Sortierdimension gewechselt (alle Kreise, alle Quadrate, ...; siehe Abbildung 3). Gemessen werden Sortierfehler. Viele weitere computerisierte Aufgaben funktionieren nach einem ähnlichen Prinzip, dem *switching*, wobei bei älteren Kindern und Jugendlichen die Anzahl der Fehler weniger relevant wird, und dafür die Reaktionszeitveränderung unmittelbar nach einem Aufgabenwechsel, die sog. Wechselkosten (engl. *switch costs*) als Maß für die Fähigkeit zum flexiblen Aufgabenwechsel gelten.

Eine weitere ähnliche Aufgabe für Jugendliche und Erwachsene ist der *Wisconsin Card Sort Test* (WCST). Hier allerdings werden richtige Sortierungen belohnt und der Dimensionswechsel

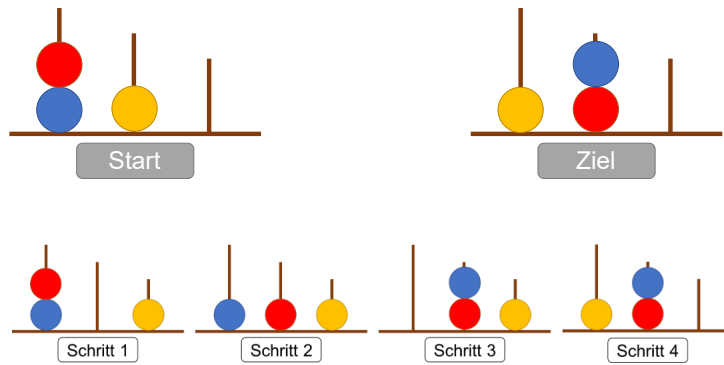


Abbildung 4: Beispiel für einen Durchgang einer Turmaufgabe. Vom Start-Zustand aus soll das Ziel mit möglichst wenigen Schritten erreicht werden.

wird nicht explizit durch die Testleitung angekündigt, sondern muss von der Testperson aus den sich verändernden Belohnungen erschlossen werden. Durch die Belohnungen enthält der WCST eine »heiße« Komponente.

4.1.4 Turmaufgaben

Mit den Turmaufgaben soll noch ein weiterer Aufgabentypus vorgestellt werden, der in der Literatur sehr häufig auftaucht. Dieser Aufgabentypus wird je nach Autor:in unterschiedlichen EF zugeordnet, meist zur Handlungsplanung. Darüber hinaus stellt die Aufgabe aber auch deutliche Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis. Bei Turmaufgaben müssen verschiedenfarbige Kugeln oder Scheiben auf mehreren Stäben umgesteckt werden, wobei immer nur ein Objekt nacheinander umgesteckt werden darf und von einem bestimmten Ausgangszustand ein bestimmter Endzustand in möglichst wenigen Schritten erreicht werden soll (Beispiel in Abbildung 4).

4.2 Standardisierte Testverfahren

Auf Deutsch verfügbar und in Deutschland normiert sind tatsächlich nur einzelne standardisierte Testverfahren. Dazu zählen insbesondere die Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP; Zimmermann & Fimm, 2017), die es auch in einer Kinderversion (KITAP) gibt, und die Arbeitsgedächtnistestbatterie für Kinder von 5 bis 12 Jahren (AGTB 5-12; Hasselhorn et al., 2012), wobei alleine schon die Namen erkennen lassen, dass es sich um Testbatterien handelt, die nicht primär zur Diagnostik von EF konstruiert wurden. Beide Batterien enthalten aber jeweils mehrere Untertests, die auf EF abzielen. In der TAP gibt es die Untertests »Arbeitsgedächtnis« (n-back), »Flexibilität« (switching), und zwei Aufgaben zur Inhibition (»Inkompatibilität« ähnlich wie Flanker-Aufgabe; »Go/NoGo«).

Die AGTB 5-12 strebt an, das AG-Modell von Baddeley umfassend zu diagnostizieren. Dementsprechend gibt es mehrere Untertests für die zentrale Exekutive, die alle zu den EF gezählt werden können: Rückwärtsspanne mit Ziffern und mit Farben, zwei komplexe Spannaufgaben, Go/NoGo und eine Farb-Wort-Interferenzaufgabe (»Stroop«). Mehrere Aufgaben zur Erfassung exekutiver Funktionen enthält auch die Cambridge Neuropsychological Automated Testbatterie (www.cantab.com), für die Instruktionen teilweise auch auf Deutsch vorhanden sind.

TAP, KiTAP und AGTB sind von der Durchführung her aufwändige Verfahren, die nicht unbedingt für den breiten Einsatz in ganzen Lerngruppen zu empfehlen sind. Für die Untersuchung von Einzelfällen, etwa im Zusammenhang mit neurologischen Auffälligkeiten, bei spezifischen Schwierigkeiten im Bereich der Sprach- und Schriftsprachentwicklung oder beim Befolgen komplexer Arbeitsanweisungen können die Verfahren wertvolle Hinweise liefern.

In den USA gibt es im Rahmen der NIH Toolbox for the Assessment of Neurological and Behavioral Function drei frei verfügbare kurze EF-Tests für eine große Altersspanne (max. 3 bis 85 Jahre; <http://www.healthmeasures.net/explore-measurement-systems/nih-toolbox>). Die englischen Instruktionen können leicht ins Deutsche übersetzt werden. Bei diesem Verfahren können die Ergebnisse zwar nicht mit deutschen Normen verglichen werden, aber der Durchführungsaufwand ist vergleichsweise gering. Das Verfahren kann als Screening benutzt werden, so dass aufwändigere Verfahren erst bei hier erkannten Auffälligkeiten eingesetzt werden brauchen.

4.3 Beurteilungsverfahren

In den letzten Jahren sind Beurteilungsverfahren für EF populär geworden. Dabei wird die EF-Leistung einer Person von Eltern oder Fachkräften, je nach Alter auch durch die Person selbst über einen längeren Zeitraum hinweg in Alltagssituationen beobachtet und eingeschätzt. Im Vergleich mit Testverfahren sind Beurteilungsverfahren deutlich ökonomischer, da sie ohne große Einübung eingesetzt werden können und meist weniger Durchführungszeit in Anspruch nehmen als computerisierten Testverfahren. Dennoch können Testverfahren nicht einfach durch Beurteilungsverfahren ersetzt werden: Beurteilungsverfahren erfassen nicht die gleichen Aspekte von EF wie Testverfahren (Toplak et al., 2013). Beide Verfahrensklassen tragen unabhängig voneinander zur Vorhersage beispielsweise von Schulleistungen bei, wobei Beurteilungen durch Fachkräfte und Selbstbeurteilungen höhere Zusammenhänge mit Außenkriterien haben als Beurteilungen durch Eltern (Robson et al., 2020). Womöglich erfassen Testverfahren eher die maximal mögliche Leistung, während in Beurteilungsverfahren eher die typische Leistung gezeigt wird. Zudem sind die Anforderungen an die getesteten Personen in Testverfahren eher künstlich, während Beurteilungsverfahren auch die Leistung in realen Anforderungssituationen erfassen. Insgesamt ist daher wohl eine Kombination beider Ansätze empfehlenswert (Toplak et al., 2013).

In Deutschland hat sich das Behavior Rating Inventory of Executive Function (BRIEF; Verhaltensinventar zur Beurteilung exekutiver Funktionen; Drechsler & Steinhausen, 2013) als wichtigstes Verfahren durchgesetzt. Das BRIEF gibt es als Eltern- und Lehrer:innenversion für das Alter von 6-16 Jahren mit 86 Items und als Selbstbeurteilungsversion von 11-16 Jahren mit 80 Items. Erfasst werden zwei Hauptindizes aus insgesamt acht Unterskalen: Verhaltensregulation (Hemmen, Umstellen und emotionale Kontrolle) und Kognitive regulation (Initiative, Arbeitsgedächtnis, Planen/ Strukturieren, Ordnen/Organisieren und Überprüfen). Auch die Conners Skalen zu Aufmerksamkeit und Verhalten – 3 (Lidzba et al., 2013), ein Beurteilungsverfahren zur Diagnostik von ADHS, enthalten eine Skala zu EF. Insbesondere das BRIEF kann als Screeningverfahren eingesetzt werden, um Kinder und Jugendliche zu identifizieren, mit denen eine intensivere Diagnostik durchgeführt werden kann, oder auch um bereits Anhaltspunkte für spezifische Fördermaßnahmen zu gewinnen. Dabei sollten Lehrer:innen mit den Kindern und Jugendlichen über mindestens sechs Monate vertraut sein, um die Fragen beantworten zu können. Die Conners Skalen eignen sich insbesondere, wenn bereits ein Verdacht auf eine Aufmerksamkeitsstörung vorliegt.

Literatur

- Blair, C. & Raver, C.C. (2015). School readiness and self-regulation: a developmental psychobiological approach. *Annual Review of Psychology*, *66*, 711-731. doi: 10.1146/annurev-psych-010814-015221.
- Diamond, A. & Lee, K. (2011). Interventions shown to aid executive function development in children 4 to 12 years old. *Science*, *333*, 959-964. doi: 10.1126/science.1204529
- Drechsler, R. & Steinhausen, H.-C. (2013). *Verhaltensinventar zur Beurteilung exekutiver Funktionen. Deutschsprachige Adaptation des Behavior Rating Inventory of Executive Function (BRIEF) von G. A. Gioia, P. K. Isquith, S. C. Guy und L. Kenworthy und der Self-Report Version (BRIEF-SR) von S. C. Guy, P. K. Isquith und G. A. Gioia*. Göttingen: Hogrefe.
- Gawrilow, C., & Rauch, W. (2017). Selbstregulationsfähigkeiten und exekutive Funktionen im Entwicklungsverlauf bei Vorschul- und Schulkindern. In U. Hartmann, M. Hasselhorn, & A. Gold (Hrsg.), *Entwicklungsverläufe verstehen – Individuelle Förderung wirksam gestalten. Forschungsergebnisse des Frankfurter IDeA-Zentrums* (S. 158–174). Stuttgart: Kohlhammer.
- Hasselhorn, M., Schumann-Hengsteler, R., Gronauer, J., Grube, D., Mähler, C., Schmid, I., Seitz-Stein, K. Zoelch, C. (2012). *AGTB 5-12. Arbeitsgedächtnistestbatterie für Kinder von 5 bis 12 Jahren*. Göttingen: Hogrefe.
- Henry, L.A., Messer, D.J. & Nash, G. (2012). Executive functioning in children with specific language impairment. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *53*, 37-45. doi: 10.1111/j.1469-7610.2011.02430.x
- Jäncke, L. (2017). *Lehrbuch Kognitive Neurowissenschaften*. Bern: Hogrefe Verlag.
- Kane, M.J., Hambrick, D.Z., & Conway, A.R.A. (2005). Working Memory Capacity and Fluid Intelligence Are Strongly Related Constructs: Comment on Ackerman, Beier, and Boyle (2005). *Psychological Bulletin*, *131*, 66-71.
- Kubesch, S. (Hrsg.) (2016). *Exekutive Funktionen und Selbstregulation. Neurowissenschaftliche Grundlagen und Transfer in die pädagogische Praxis*. Bern: Hogrefe.
- Lidzba, K., Christiansen, H., & Drechsler, R. (2013). *Conners Skalen zu Aufmerksamkeit und Verhalten – 3. Deutschsprachige Adaptation der Conners 3rd Edition® (Conners 3®) von C. Keith Conners*. Göttingen: Hogrefe.
- Melby-Lervåg, M., & Hulme, C. (2013). Is working memory training effective? A meta-analytic review. *Developmental Psychology*, *49*, 270-291. doi: 10.1037/a0028228
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex »frontal lobe« tasks: A latent variable analysis. *Cognitive psychology*, *41*, 49-100. doi: 10.1006/co-gp.1999.0734
- Mulder, H., Pitchford, N.J., Hagger, M.S., & Marlow, N. (2009). Development of executive function and Attention in preterm children: A systematic review. *Developmental Neuropsychology*, *34*, 393-421. doi: 10.1080/87565640902964524
- Rauch, W. A., Gold, A., & Schmitt, K. (2012). To what extent are task-switching deficits in children with attention-deficit/hyperactivity disorder independent of impaired inhibition? *ADHD*

Attention Deficit and Hyperactivity Disorders, 4, 179–187. doi: 10.1007/s12402-012-0083-5.

Sarimksi, K. (2014). *Entwicklungspsychologie genetischer Syndrome*. Göttingen: Hogrefe.

Schmitt, K., Gold, A., & Rauch, W. A. (2012). Defizitäre adaptive Emotionsregulation bei Kindern mit ADHS. *Zeitschrift für Kinder- und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie*, 40, 95-103. doi: 10.1024/1422-4917/a000156

Schuchardt, K., Gebhardt, M. & Mäher, C. (2010). Working memory functions in children with different degrees of intellectual disability. *Journal of Intellectual Disability Research*, 54, 346-353

Toplak, M.E., West, R.F. & Stanovich, K.E. (2013). Practitioner Review: Do performance-based measures and ratings of executive function assess the same construct? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 54, 131-143. doi:10.1111/jcpp.12001

Willcutt, E.G., Sonuga-Barke, E.J.S., Nigg, J.T., & Sergeant, J.A. (2008). Recent developments in neuropsychological models of childhood psychiatric disorders. In T. Banaschewski & L.A. Rohde (Eds.), *Biological child psychiatry. Recent trends and developments. Advances in biological psychiatry* (195-226). Basel: Karger.

Zelazo, P.D., Blair, C.B., and Willoughby, M.T. (2016). *Executive function: Implications for education* (NCER 2017-2000). Washington, DC: National Center for Education Research, Institute of Education Sciences, U.S. Department of Education. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED570880.pdf>

Zimmermann, P. & Fimm, B. (2017). *Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung*. Herzogenrath: Psytest.

Prof. Dr. Wolfgang A. Rauch ist Diplom-Psychologe und Professor für Psychologie und Diagnostik im Förderschwerpunkt Lernen an der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg. Seine Forschungsschwerpunkte sind: Entwicklung und Diagnostik von Selbstregulation und exekutiven Funktionen; Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung (ADHS); Ursachen von Selbstregulations- und Lernbeeinträchtigungen. <https://orcid.org/0000-0002-3337-8662>