

SENSORISCHE INTEGRATIONSSTÖRUNG UND SENSORISCHE INTEGRATIONSTHERAPIE NACH JEAN AYRES (2017)

Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Sozialpädiatrie und Jugendmedizin (Überarbeitete Stellungnahme der Gesellschaft für Neuropädiatrie 2002)

Dieter Karch und Hedwig Freitag

(Kritische Begleitung durch das Leitungsteam Sensorische Integrationstherapie des DVE - Deutscher Verband der Ergotherapeuten e.V.- und die GSID - Gesellschaft für Sensorische Integration Jean Ayres e.V.)

Zusammenfassung

Das ursprüngliche Konzept der Sensorischen Integrationsstörung und der Sensorischen Integrationstherapie beruhte auf theoretischen Annahmen, die dem heutigen Verständnis der Entwicklungsneurologie und -psychologie kaum noch entsprechen: insbesondere, dass sich die Entwicklung in einer schrittweisen Abfolge vollziehe und jeder weitere Schritt auf dem vorhergehenden aufbauen müsse, dass die Sinnesmodalitäten hierarchisch geordnet seien und zunächst die sog. basalen Sinnesmodalitäten, wie z.B. die Propriozeption integriert werden müssten, um u.a. eine optimale visuelle Wahrnehmung und kognitive Fertigkeiten zu erreichen. Hierzu wurde eine Stellungnahme der Gesellschaft für Neuropädiatrie 2002 publiziert, in der auch die Weiterentwicklung des Konzepts von J. Ayres aus den 1970er Jahren beschrieben wurde. Seit dem wurden die Hypothesen und die Nosologie, ebenso wie die diagnostischen Instrumente, weiter modifiziert. Unter dem Oberbegriff Sensorische Verarbeitungsstörungen (Sensory Processing Disorder, SPD) werden nun die Sensorische Modulationsstörung (SMD), Sensomotorische Störung (SBMD) und Sensorische Differenzierungsstörung unterschieden. Die klinischen Symptome beziehen sich auf die Art und Intensität der Reaktionen auf sensorische Reize, auf die motorische Koordination (Dyspraxie und Körperhaltung) und die Fähigkeit unterschiedliche sensorischen Modalitäten zu diskriminieren sowie auf sekundäre oder korrelierte psychische Auffälligkeiten. Die unterschiedlichen Auffälligkeiten oder Symptome, auf neurologischer und psychischer Ebene, wurden mit Hilfe von Clusteranalysen den o.g. nosologischen Einheiten und ihren Subtypen zugeordnet, die aber nicht selten auch gleichzeitig vorhanden sein könnten. Ein Grundmuster sei die unangepasste Reaktion im Sinne einer Über- oder Unterreaktion. Diese Dichotomie wird auch bei psychiatrischen Störungen als Grundmuster beschrieben. In neuerer Zeit wurden Studien über mögliche, genetisch verankerte neurophysiologische und neuroanatomische Ursachen psychiatrischer Störungen oder Erkrankungen durchgeführt, deren Ergebnisse diese These unterstützen.

Neuere Studien belegen auch eine fast generelle intra- und intermodale Adaptation und Verarbeitung sensorischer Reize, die als eine Voraussetzung für die Integration sog. basaler oder körpernaher Reize nach dem Konzept der sensorischen Integration postuliert wurde. In jedem Wahrnehmungsprozess findet demnach unbewusst eine intramodale Adaptation und Verarbeitung auf der peripheren Ebene und ihren Umschaltstellen ebenso wie auf der Ebene des Thalamus statt. Die bewusste Wahrnehmung erfolgt durch eine intermodale Zusammenarbeit von subkortikalen und kortikalen Strukturen, die durch neuroanatomische und -physiologische Regelkreise miteinander verbunden sind.

Die Symptomatik von SPD soll nach dem Konzept der sensorischen Integration ein Korrelat von funktionellen und strukturellen Störungen des Gehirns sein. Als Folge sollen Symptome wie z.B. bei Autismus-Spektrum Störungen oder in geringerem Ausmaß bei verschiedenen Entwicklungs- und Verhaltensstörungen sowie bei neurologischen Erkrankungen resultieren. Zur Untersuchung wurden spezielle Tests, z.B. der Sensorische Integration und Praxis Test (SIPT) oder spezielle Fragebögen, z.B. Test zur sensorischen Verarbeitung (SP), entwickelt. Es sollen geprüft werden: grob- und feinmotorische Fertigkeiten, Gleichgewichtsempfindung und visuelle Wahrnehmung sowie emotionales und soziales Verhalten, unter der Annahme einer möglichen Sekundärsymptomatik infolge der Wahrnehmungs- und Verarbeitungsstörungen. Zur Prävalenz der Symptomatik bzw. Störungsbilder gibt es keine verlässlichen Angaben.

Als Therapieziele werden nun, wie bei jeder ergotherapeutischen Behandlung, formuliert: Lernen sich möglichst selbstständig, selbstsicher und selbstbewusst in Familie und Umfeld zu integrieren und am normalen Leben teilnehmen können. Bei der Therapie sollen daher, im Gegensatz zu früher, im Mittelpunkt stehen: Fähigkeiten und Verhaltensweisen, die für den Alltag wesentlich sind und von denen angenommen wird, dass sie mit Störungen der sensorischen Wahrnehmung verknüpft sind („performance oriented“ oder „aufgabenorientiert“) und nicht mehr spezielle Funktionsstörungen, die aus den Tests abgeleitet werden („impairment oriented“ oder „prozessorientiert“), unter der Vorstellung, dadurch die Ursache der klinischen Symptome bessern oder gar heilen zu können.

Die Fähigkeiten des ZNS zur Eigenregulation sollen aktiviert werden, mit dem Ziel eigenständiger Tätigkeiten zu planen und durchzuführen. Die häufige Korrelation mit umschriebenen motorische Störungen (developmental coordination disorder, DCD) und mit Aufmerksamkeitsdefi-

zit/Hyperaktivitätsstörungen (ADHS), zwingt zu individuell angepassten Therapiezielen, die auch unter dem Einsatz verschiedener Therapietechniken oder -konzepte erreicht werden könnten. Ob, wie oft und wie intensiv mit spezifischem SI Material, z.B. mit unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit oder Schaukel und Rollbrett, sowie SI- Techniken, z.B. Aktivierung mit Druck und Zug oder unterschiedlicher Beschleunigung, gearbeitet wird, müsse individuell entschieden werden. Wenn man SI Material nutzt, werde dabei immer die gesamte Motorik gefördert. Zur Planung und Bewertung der SI-Therapie wurden außerdem Kriterien entwickelt (Fidelity Measure), die sicherstellen sollen, dass das SI-Konzept richtig angewendet wird. Zum therapeutischen Prozess gehörten auch die Aufklärung und Anleitung der Eltern bzw. Bezugspersonen sowie Unterstützung bei der Integration.

Bei kontrollierten Studien zur Wirksamkeit, die den notwendigen methodischen Anforderungen entsprechen, konnten aber bisher keine (spezifischen) Effekte der SI-Therapie außer bei Kindern mit ASD (Autismus Spectrum Disorder) auf die sensorische Wahrnehmung nachgewiesen werden.

Fazit: Auch wenn eine Indikation zur SI-Therapie gesehen wird, die durch die Ergebnisse Tests (mit ungenügenden Gütekriterien) begründet erscheint, ist es nicht sinnvoll, das Behandlungskonzept zu lange zu verfolgen, wenn keine ausreichende Compliance mit Kind, Eltern und Umfeld hergestellt werden kann oder die erwarteten Erfolge nicht erreicht werden. Die Umstellung auf andere Therapiekonzepte oder heilpädagogische bzw. pädagogische Förderung ist zu erwägen. Die Wahrnehmung und die damit einhergehende Verarbeitung der Informationen spielt eine fundamentale Rolle bei der psychomotorischen Entwicklung, aber die Therapie von Wahrnehmungsstörungen oder die Förderung von Wahrnehmungsprozessen und ihre Integration in unser Denken und Handeln kann in vielfältiger Weise und auf unterschiedlichen Wegen erfolgen.

Einleitung

Die Sensorische Integrationstherapie wurde von Jean Ayres mit dem Ziel entwickelt, Kindern mit Lernstörungen zu helfen. Ayres begann 1945 mit ihrem Ergotherapiestudium an der University of Southern California in Los Angeles, studierte später pädagogische Psychologie und promovierte in diesem Fach 1961. Sie beschäftigte sich mit den neurophysiologischen und neuropsychologischen Grundlagen von somatosensorischem und sensomotorischem Verhalten und kognitivem Lernen,

gründete 1971 ein Behandlungs- und Forschungszentrum und stellte 1972 ihre Theorie in einer Monographie dar, die 1979 erstmals in deutscher Sprache erschien (Ayres 2. Aufl. 1992). Bis zu ihrem Tod 1988 arbeitete sie an der Normierung und Validierung eines umfangreichen Testverfahrens (Southern California Sensory Integration and Praxis Test, Ayres 1989).

Ausgehend vom Stand des Wissens der 50er und 60er Jahre über die normale kindliche Entwicklung sowie die Zusammenhänge zwischen den neuronalen Prozessen bei der Wahrnehmungsverarbeitung und dem Verhalten des Kindes erarbeitete sie eine Theorie über mögliche basale taktil-kinästhetische bzw. somatosensorische Wahrnehmungs- und Verarbeitungsprozesse und deren Funktionsstörungen. Sie wollte damit nicht nur die Ursachen für Lernstörungen beschreiben, sondern daraus auch spezielle Behandlungstechniken ableiten. Die Integration von Sinneseindrücken, deren Organisation und sinnvolle Vernetzung wurde von ihr als ein neurologischer Prozess angesehen, den sie als „Sensorische Integration“ bezeichnete. Verfahren zur Erkennung von neurophysiologischen Dysfunktionen der sensorischen Integration und Behandlung wurden von ihr entwickelt, die in zahlreichen Publikationen und Monographien dargestellt und definiert wurden.

Die Weiterentwicklung von Theorie und Praxis erfolgte in den folgenden Jahrzehnten durch A.G. Fisher, S.S. Roley, W. Dunn und S.A. Cermak (s. Borchardt et al. 2005, S.27ff). Eine kurze Übersicht zur Entwicklung des Konzeptes der Sensorischen Integration findet sich bei Schaaf und Davies (2010), publiziert im American Journal of Occupational Therapy (AJOT). Zu den neurophysiologischen Grundlagen und zu den klinischen Erscheinungsbildern gab es unterschiedliche Vorstellungen, was auch zu unterschiedlichen Bezeichnungen führte („Sensory integrative dysfunction“ vs. „Sensory processing disorder“). Die Diskussion wurde auch seit der Stellungnahme der GNP zur Sensorischen Integrationstherapie (Karch et al. 2002) weitergeführt. Neue Studien zur Wirksamkeit der SI-Therapie wurden publiziert. In einer Artikelserie der AJOT von 2010 bis 2011 wurde die aktuelle Sichtweise beschrieben und von einer Arbeitsgruppe des Deutschen Verbandes der Ergotherapeuten (DVE) in Deutschland vorgestellt (Deguillage et al. 2012, Hasselbusch et al. 2012, Heller et al. 2012, Lotz et al. 2012, Schuh et al. 2012, Eschbour et al. 2013). Ähnlich wurden die theoretischen Vorstellungen und die praktische Umsetzung in Zusammenarbeit mit amerikanischen Kolleginnen, vornehmlich von Charlotte B. Royeen, inhaltlich definiert, und von der Gesellschaft für sensorische Integration Jean Ayres e.V. (GSID®) als Sensorisch-Integrative Ayres Therapie (SI-AT®) beschrieben (Kull-Sadacharam et al. 2012). In Österreich wurde die Gesellschaft für Sensorische Integration in Österreich (GSIÖ) gegründet (Söchting 2012). Der Begriff „Sensory processing disorder“ wurde nur in das amerikanische Diagnose System DC:0-3 (Diagnostic Classification of

Mental Health and Developmental Disorder of Infancy and Early Childhood) aufgenommen; Regulationsstörungen der Sensorischen Verarbeitung sind unter Nr. 400 ff in DC:0-3 R aufgeführt.

Die Therapie nach dem Konzept/der Methode der Sensorischen Integration hat auch im deutschsprachigen Raum eine weite Verbreitung gefunden und wird von Ergotherapeuten, Physiotherapeuten und Logopäden bei der Behandlung von entwicklungs- und lerngestörten Kindern eingesetzt. 2002 wurde eine Stellungnahme der GNP verfasst, da vielfach entwicklungs- und lerngestörte Kinder fast ausschließlich und zum Teil über Jahre unter der Annahme von „Wahrnehmungsstörungen“ und von testpsychologisch „nachgewiesenen“ Dysfunktionen behandelt wurden, ohne dass die Wirksamkeit der „SI-Therapie“ durch methodisch ausreichend abgesicherte Studien belegt worden war.

THEORIE

Nach der Theorie von Ayres soll die sensorische Integration von Sinneseindrücken, insbesondere der taktil-kinästhetischen oder somatosensorischen, in Regelkreisen erfolgen, die durch innere und äußere Reize in Gang gesetzt werden und zu Reaktionen führen, die sich vor allem in motorischen Handlungen zeigen (motorische Anpassungsreaktionen, „MAR“). Dieser Vorgang sei nicht nur für die sensomotorische Entwicklung, sondern für alle Lernprozesse entscheidend. Der Integrationsprozess werde u.a. beeinflusst durch das Vorwissen (Gedächtnis) und die Interpretation des Wahrgenommenen, wobei die Rückmeldung über die Reaktion der Umwelt auf die eigene Handlung ein entscheidender Faktor für den Lernprozess sei. Hieraus entstehe ein Regelkreis zwischen Sensorik und Motorik. Wenn diese Art der Verarbeitung der Sinneseindrücke gestört sei, seien die Handlungsplanung und das Verhalten insgesamt beeinträchtigt, so dass auch konzeptionelle und kognitive Lernvorgänge behindert würden. Bei der Behandlung sollen durch gezielte Reizzufuhr im Rahmen von sinnvollen Tätigkeiten die spezifische Verarbeitung und die Integration von somatosensorischen Sinneseindrücken verbessert und damit die Planung und Organisation von adaptivem Verhalten gefördert werden (Fisher und Murray 1998, S.5).

Weitere Annahmen von J. Ayres waren,

- dass die Behandlung der basalen Störungsmuster möglich und sinnvoll sei, da das zentrale Nervensystem vor allem im Kleinkind- und Vorschulalter formbar sei („Neuroplastizität“).
- dass sich die Entwicklung in einer schrittweisen Abfolge vollziehe und jeder weitere Schritt auf dem vorhergehenden aufbauen müsse. Dabei wird von der Hypothese ausgegangen, dass die Sinnesmodalitäten hierarchisch geordnet sind und vor der Integration der höheren Sinne oder Fernsinne, wie z.B. bei der visuellen Wahrnehmung, die sog. basalen Sinnesmodalitäten, wie

z.B. Propriozeption stehen. Insbesondere bilde die sensomotorische Entwicklung den Grundstein für die mentale Entwicklung. Daher komme es bei der Therapie darauf an, zunächst die sensorische Integration basaler Sinneseindrücke wie Berührung, Propriozeption, Gleichgewichtsfunktion sowie Geruch und Geschmack anzuregen.

- dass parallel zu der hierarchischen Reifung des ZNS sich auch die Fertigkeiten entwickeln und die Kontrolle und Steuerung der Funktionen gleichfalls hierarchisch ablaufen. Die höheren (kortikalen) Zentren seien dabei für abstrakt-logisches Denken und die Sprache verantwortlich, die nur dann störungsfrei arbeiten könnten, wenn die sensorische Integration der Sinnesinformationen gelungen sei.
- dass Symptome von zentralen Verarbeitungsstörungen auf basale Dysfunktionen schließen lassen, die differenziert erfasst (als typische Erscheinungsbilder s.u.) und spezifisch behandelt werden müssten.

Um einen besseren Einblick in die Integrationsprozesse zu erhalten, wurden Beurteilungsverfahren, die „Sensorischen Integrations- und Praxistests“, erarbeitet und ständig weiterentwickelt (Ayres 1989). Die Testverfahren sollen nicht nur der Erkennung von Störungen, sondern gleichzeitig auch der Überprüfung von Behandlungserfolgen dienen. Mittels Faktoren- und Clusteranalysen wurden die Testergebnisse bestimmten Syndromen zugeordnet, die aber im Laufe der Zeit unterschiedlich definiert worden sind. Nach den Ergebnissen der statistischen Auswertung wurden mehrfach geänderte Erscheinungsbilder von Dysfunktionen definiert (Ayres 1977, Fisher et al. 1998, S. 13-14).

Neuere Vorstellungen zum Konzept der sensorischen Integration

Die weitere Entwicklung des Konzeptes betrifft mehrere Aspekte. Insbesondere die Annahme einer hierarchisch gegliederten Stufenfolge der sensomotorischen und kognitiven Entwicklung wird entsprechend den neueren entwicklungsneurologischen Erkenntnissen nicht mehr akzeptiert. Es besteht Konsens mit den in der Stellungnahme der GNP 2002 formulierten Feststellungen, dass bereits der Säugling auf ein großes Repertoire angeborener Fähigkeiten zurückgreifen kann und schon außerordentlich früh sehr komplexe intermodale Verknüpfungen im propriozeptiven, vestibulären, taktilen, visuellen und auditiven Bereich stattfinden, verbunden mit Motivation und kognitiven Prozessen sowie dass die Entwicklung einerseits entsprechend den Reifungsprozessen des zentralen Nervensystems sowie den angeborenen Fähigkeiten verläuft und andererseits unter dem Einfluss der sensorischen Wahrnehmungsprozesse in der aktiven Auseinandersetzung mit der Umwelt, parallel und nicht sequentiell in einer streng hierarchisch geordneten und stufenweise aufeinander aufbauenden Abfolge.

Fazit: Es wurde ein Paradigmenwechsel vollzogen, die neuen Erkenntnisse zur Verarbeitung und Wahrnehmung sensorischer Reize sowie zur Entscheidungsfindung berücksichtigt und eine neue Einteilung der klinischen Bilder entwickelt (Miller 2007a, Lane et al. 2010). Auch wenn der Lerninhalt der Fortbildungen, z. B. des DVE und der GSID angepasst wurden, wird nicht selten noch immer die Bedeutung der Integration und Funktion einzelner sog. basaler Wahrnehmungsmodi (propriozeptiv, taktil, vestibulär) für ein normales Verhalten und eine normale kognitive Entwicklung überschätzt, was auch die Behandlungstechniken beeinflusst.

Klinische Symptomatik

Zur Erfassung der klinischen Symptome wurden von J. Ayres zahlreiche Items vorgeschlagen und in einer Testbatterie zusammengefasst als „Southern California Sensory Tests“ und „Southern California Postrotatory Nystagmus Test“ mit den Hauptbereichen: somatosensorische Planung, auditiv-sprachlich, postural-okulär, Augen-Hand-Koordination und postrotatorischer Nystagmus. Mittels Faktoranalyse konnten angeblich homogene Itemgruppen identifiziert werden, die verschiedenen Typologien von Dysfunktionen zugeordnet wurden: taktil/propriozeptiv/vestibulär, vestibuläre bilaterale Integration, Praxie, li- und re-hemisphärische sowie generalisierte Funktion. Diese Testbatterie

rie wurde später modifiziert und 17 Subtests als „Sensory Integration and Praxis Tests (SIPT) bezeichnet; zur typologische Differenzierung wurde eine Clusteranalyse eingesetzt. Diese Dysfunktionen sensorischer Reize oder Information sollten sowohl zu Störungen im emotionalen oder sozialen Verhalten als auch von kognitiven Funktionen führen. Miller et al. beschrieben 2007 in einer Übersichtsarbeit die weitere Evolution des Konzeptes im Verlauf zahlreicher Diskussionen von mehreren Arbeitsgruppen und schlugen eine Nosologie vor, die inzwischen von Vertretern der SI-Therapie weitgehend konsentiert ist. Empfohlen wird auch, das Begriffssystem der Sensorischen Integration zu unterteilen in:

- „sensory processing disorders“ (SPD; Störungen des sensorischen Verarbeitungs- und Wahrnehmungsprozesses)
- „Intervention-SI“ (z.B. „ET-SI“) und
- „sensory integration theory“ (SI-Theorie).

Die sensorische Verarbeitungsstörung (SPD) wurde in drei Hauptkategorien und ihre jeweiligen Subtypen eingeteilt (Abb. 1). Die Störungen sollen allerdings entweder nur in einer der Hauptkategorien oder auch kombiniert auftreten. Im Folgenden werden die Verhaltensmuster kurz beschrieben (Abbildung 1):

Sensory Modulation Disorder (SMD)

Die sensorische Modulation sorgt für adäquate Reaktionen und Antworten auf Anregungen und Aufgaben im täglichen Leben. Bei Modulationsstörungen sei das emotionale, motorische und Aufmerksamkeits-Verhalten inkonsistent und unangepasst. Dabei seien eine oder mehrere sensorische Leistungen (taktile, vestibulär, propriozeptiv, visuell, auditiv, olfaktorisch/ gustatorisch) in unterschiedlichem Ausmaß betroffen. Es gebe 3 Subtypen:

Abb. 1 Nosologie von Sensorischen Verarbeitungsstörungen (SPD) aus Miller et al. 2007a

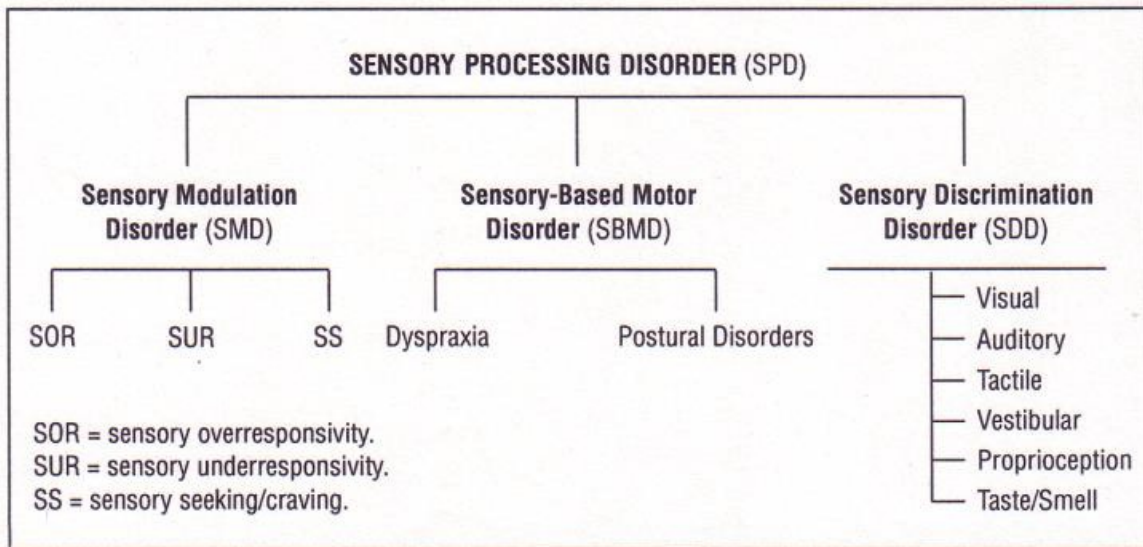


Figure 1. A proposed new nosology for sensory processing disorder.

SMD Subtyp 1 (Sensory Overresponsivity, SOR): Überschießende Reaktion auf sensorische Reize in einer oder mehreren Modalitäten. Sehr unterschiedliche Antworten (überaktiv, impulsiv, negativ und aggressiv oder auch vermeidend) vor allem bei neuen und unerwarteten Ereignissen. Emotionale Verunsicherung mit Problemen im Sozialverhalten. Nicht selten fänden sich auch Verhaltensweisen anderer Subtypen.

SMD Subtyp 2 (Sensory Underresponsivity, SUR): Nichtbeachtung oder zu geringe Reaktion auf sensorische Reize. Klinisch bestehe apathisch-lethargisches Verhalten sowohl im sozialen Bereich als auch bei Schmerz- und Temperaturreizen. Das Verhalten wirke insgesamt unmotiviert, was u.a. bei Lernanforderungen zum Problem werde. Zusätzlich könnten aber auch Störungen bei der taktilen Wahrnehmung, der Körperwahrnehmung und der motorischen Geschicklichkeit bestehen.

SMD Subtyp 3 (Sensory seeking/carving, SS: Streben nach Aufmerksamkeit, Suche nach starken Reizen, in ständiger Bewegung sein, Impulsivität, überschießende Affekte. Grenzen würden auch beim sozialen Verhalten nicht beachtet. Schwierigkeiten Regeln zu akzeptieren und sich selbst zu regulieren. Benötigt werde ein strukturiertes Umfeld. Das Verhalten könne auch bei Kindern mit ADHS auftreten.

Sensory Discrimination Disorder (SDD)

Gekennzeichnet durch Schwierigkeiten, die Qualität sensorischer Reize in jeder Modalität zu differenzieren, insbesondere aber bei der taktilen, propriozeptiven und vestibulären Wahrnehmung. Bei der visuellen Wahrnehmung unsichere Abschätzung von räumlichen Beziehungen. Klinische Symptome: ungeschickte Bewegungsabläufe oder Sprachentwicklungsstörungen infolge auditiver Differenzierungs- und Diskriminierungsschwäche, langsame Lernfortschritte und sekundär zu geringes Selbstvertrauen sowie emotionale Verunsicherung. Störungen bei der Entwicklung des Körperschemas.

Sensory-based Motor Disorder (SBMD)

Kernsymptomatik sei eine mangelnde Haltungskontrolle.

Subtyp 1 (Postural disorder, PD): Inadäquate Regulierung des Muskeltonus sowohl in Ruhe als auch bei Bewegung, wie z.B. beim Schreiben. Inadäquate Reaktion auf die Schwerkraft und verringerter Muskeltonus. Oft bestünden auch Symptome, die für andere Subtypen typisch sind.

Subtyp 2 (Dyspraxia): Dyspraxie wird definiert als eingeschränkte Fähigkeiten, sich etwas vorzustellen, zu planen, Abläufe zu steuern oder neue Aktionen auszuführen. Klinische Symptome: erhebliche Ungeschicklichkeit sowohl bei sportlichen als auch bei alltäglichen Aktivitäten, wie z.B. An- oder Auskleiden. Schwierigkeiten bei der Ideation, unwilliges und unflexibles Lernverhalten. Vermeidungsstrategien wie z.B. Clownereien, Videos, Spiele u.a. wären beliebt, bis hin zur Überaktivität, wie bei Kindern mit ADHS. Geringes Selbstbewusstsein, geringe Frustrationstoleranz seien Folgesymptome.

Studien zur Verifizierung der Nosologie von Miller et al. (2007).

Um die Differenzierung der sensorischen Modulationsstörung (SMD) in Subtypen zu objektivieren, führten James und Mitarbeiterinnen (2011) eine Studie (Clusteranalyse) bei 98 Kindern mit SMD durch, die in der Abteilung für Ergotherapie der Kinderklinik Denver vorgestellt wurden. Bei der Analyse der „Inanspruchnahme-Population“ ergaben sich allerdings nur zwei Cluster. Ein Cluster entsprach etwa dem SMD Subtyp 3 nach Miller et al. (2007a): Hyperaktives, impulsives, externalisierendes, unsoziales und unangepasstes Verhalten. Im zweiten Cluster ordneten sich Kinder mit den Merkmalen erhöhte Empfindlichkeit, zurückhaltendes bzw. Rückzugsverhalten ein. Verhaltensweisen wie bei SMD Subtyp 1 und 2 nach Miller et al. (2007a) fanden sich in den beiden Clustern, z.T. sogar bei denselben Kindern. Es wurde betont, dass bei Kindern mit der Diagnose ADHS

meist auch eine SMD Symptomatik festzustellen sei. Daher sei die Differentialdiagnose eigentlich nur durch zusätzliche biologische Marker möglich. In der deutschen Fassung des Diagnoseklassifikationssystems für Kleinkinder (DC:0-3R) werden bei der Diagnose „Sensorische Regulationsstörungen“ ebenfalls drei Reaktionsweisen unterschieden: überempfindlich, unterempfindlich und stimulationssuchen/impulsiv. – Anmerkung: Nach dem Konzept der familiär-genetisch bedingten Vulnerabilität entsprechen diese Verhaltensweisen einem Grundmuster psychiatrischer Erkrankungen, wie z.B. internalisierendes und externalisierendes Verhalten (s.u. Einschub „Liability Modell“). -

Auch andere Autoren präferieren bei Kindern mit SMD eine andere Subtypeneinteilung, aufbauend auf dem SIPT. Davies et al. (2010) stellten nach ihrer systematischen Literaturanalyse zur Evidenz von Subtypen sensorischer Verarbeitungsstörungen fest, dass die Evidenzlage entsprechend den Ergebnissen des SIPT generell unsicher sei. Koenig et al. (2010) berichteten über eine systematische Literaturstudie der American Occupational Therapy Association zur Frage inwieweit Störungen der Verarbeitung und Integration sensorischer Informationen die Entwicklung, das Verhalten (z.B. Spiel, Erziehung, Schlaf und Partizipation) und die Fertigkeiten von Kindern beeinflussen. Die meisten Studien beschäftigten sich mit Kindern, die Ergotherapie wegen motorischer Koordinationsstörungen erhielten, Einzelne Studien verglichen mit einer normalen Kontrollgruppen (Level II Studien). Sichere Aussagen zu der Beziehung zwischen Subtypen und typischen Verhaltensweisen, waren auf aus methodischen Gründen nicht möglich.

Fazit: Die in Abbildung 1 dargestellte Nosologie entspricht einem Denkmodell, das nur bedingt angewendet werden kann. Entsprechend den neueren Vorstellungen zum Therapiekonzept soll zur Therapie die Symptomatik und ihr möglicher Zusammenhang mit somatosensorischen Wahrnehmungsstörungen individuell beschrieben bzw. dokumentiert werden. Die Unterscheidung in die drei Reaktionsweisen: überempfindlich, unterempfindlich und stimulationssuchend/impulsiv ist u.a. aus theoretischen Gründen am besten abgesichert. Daraus soll sich die Indikation zur und die Vorgehensweise bei der Therapie ergeben.

Aktuelle Vorstellungen zur zerebralen Neurophysiologie und Neuroanatomie

Regelkreise

Koziol et al. (2011) gehen davon aus, dass die beschriebene Symptomatik von SMD auf funktionellen (und strukturellen) Störungen in den „cortico-cerebellar-basal ganglia circuits“ beruhen. Ihre Annahme zu Funktionen und Interaktionen der Regelkreise soll im Folgenden skizziert werden. Automatische Verhaltensgewohnheiten beruhen auf der Interaktion von Gehirnstrukturen, die auch für erworbene und gelernte Assoziationen zuständig sind, d.h. motorischer Kortex, Basalganglien und Kleinhirn. Bei Lernprozessen und Verhaltensänderungen sind weitere Gehirnareale (präfrontaler Kortex, SMA und subkortikale Strukturen) involviert. Die Komplexität der cerebro-cortikalen Verknüpfungen wird unterstrichen durch die Tatsache, dass 180 neuroanatomisch definierte Areale durch das Zusammenwirken mehrere Untersuchungstechniken identifizierbar sind (Glasser et al. 2016).

Die Basalganglien, insbesondere der Thalamus, fungieren als Umschaltstation zwischen dem neokortikalen und „lower-level“ System, im Hirnstamm und den peripheren Bahnsystemen. Eine Dysfunktion der Basalganglien erschwert den sensorischen Wahrnehmungsprozess, da die Selektion des sensorischen Inputs nicht mehr kooperativ, sondern konkurrierend und unabhängig voneinander geschieht. Infolgedessen können inadäquate bzw. auch Überreaktionen beobachtet werden, wie z.B. bei SMD Subtyp 3 (Miller et al. 2007a) oder Subtyp 1 (James et al. 2011) beschrieben. Die Vermutung, dass Hyperaktivität durch ständiges Suchen nach Reizen bedingt sein könne, wird allerdings nicht akzeptiert. Stattdessen wird angenommen, dass die Reizantworten (sowie auch die Afferenzen) von mangelnder Inhibition betroffen seien. Diese Disinhibition ist eine Funktionsstörung des fronto-striatal-Basalganglien Regelkreises. Die Fähigkeit (oder „exekutive Funktion“), nicht unmittelbar zu reagieren, nimmt im Laufe der kindlichen Entwicklung zu, sie verschafft die notwendige Zeit zum Nachdenken, unter Berücksichtigung der bisherigen Erfahrungen und des aktuellen Kontextes.

Das Kleinhirn moduliert die Qualität motorischer und nichtmotorischer Funktionen sowie die Steuerung von einkommenden sensorischen Informationen. Mit seinen vielfältigen Verbindungen zu neokortikalen und subkortikalen (einschließlich paralimbischen, retikulären und hypothalamischen) Arealen sorgt es für effiziente Funktionen, die abgestimmt sind auf die aktuelle Gesamtsituation. Dabei werden die Konsequenzen des Handelns bereits antizipiert. Bewusste, kognitiv gesteuerte

Intentionen für eine Tätigkeit gehen der motorischen Aktivität voraus (siehe auch Zschorlich et al. 2013). Das sensomotorische Programm ist also ein „forward-Modell“, das angepasste Aktionen und Reaktionen beschleunigt sowie bei mehrfachen Wiederholungen präzisiert und damit die Automatisierung unseres Verhaltens unterstützt (siehe auch Roth et al. 2013). Es ist auch impliziert in die Stärke/Intensität sensorischer Wahrnehmung, da es mit fast allen sensorischen Systemen reziproke Verbindungen hat. Im Kleinhirn werden sensorische und zeitliche Informationen kodiert und integriert, eine Voraussetzung, die auch für eine an die jeweilige Aufgabenstellung im Rahmen des Gesamtkontextes angepasste Sensomotorik (Groß- und Feinmotorik) und das motorische Lernen erforderlich ist. Zerebelläre Dysfunktionen verändern daher Wahrnehmungsprozesse, was z.B. zu einer hyper- oder hypometrischen Motorik führt.

Funktionsstörungen der „cortico-cerebellar-basal ganglia circuits“ bedingen nicht nur sensomotorische Wahrnehmungsstörungen, sondern auch kognitive, kommunikative und soziale Schwächen oder Defizite. Schmahmann et al. (2007) beschreiben eine weitgefächerte psychische Symptomatik im Zusammenhang mit Läsionen des Cerebellums. Die Symptomatik ist abhängig von den betroffenen Strukturen, aber unabhängig von ihrer Ätiologie. Sie äußert sich durch unangemessene, überschießende oder zu geringe Reaktionen auf interne oder externe Reize und auf eigenständige Anregungen oder Ideen. Die Autoren ordnen die Symptomatik 5 Hauptgruppen zu: Attentional Control, Emotional Control, Autism Spectrum, Psychosis Spectrum und Social skill set.

Die Dysfunktionen der „cortico-cerebellar-basal ganglia circuits“ sind angeboren oder werden früh erworben. Daher beeinträchtigen sie die Entwicklung der Wahrnehmungsprozesse, auch die der sog. exekutiven Funktionen, die im frontalen Cortex lokalisiert und für die kognitive Kontrolle des eigenen Verhaltens zuständig sind. Sie reifen langsamer als die sensorischen Bahnsysteme. Da exekutive Funktionen generell in alle Wahrnehmungs- und Entscheidungsprozesse eingebunden sind, ist es nicht verwunderlich, dass sich bei den meisten Kindern mit Entwicklungsstörungen -unabhängig von ihrer Art und Ätiologie- alltagsrelevante Symptome der sensorischen Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen finden. Vice versa ist auch die häufige Komorbidität von sensorischen Störungen mit vielen Krankheitsbildern erklärlich.

Strukturveränderungen

Abweichungen der neuroanatomischen Mikrostrukturen konnten durch neuere Bildgebungstechniken dokumentiert werden (Chang et al. 2014, Owen et al. 2013). Die Befunde unterstützen die Argumentation von Koziol et al. (2011). Bei Schulkindern mit Störungen der sensorischen Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen fanden sich signifikante Veränderungen der weißen Substanz des Gehirns im Diffusions-Tensor-Imaging (DTI) im Vergleich zu normalen Kindern und Kindern mit ADHS oder Autismus. Angesichts der Tatsache, dass gerade bei Kindern mit Autismus, aber auch mit ADHS, häufig SPD Symptome nachgewiesen wurden, ist das Studienergebnis überraschend (Dunn et al. 2002, Schoen et al. 2009, Yochman et al. 2013, Schaaf et al. 2014). Allerdings war die Zahl der Kinder mit Autismus zu gering für generelle Aussagen. Die Strukturveränderungen betrafen vor allem die hinteren Bahnsysteme; dementsprechend waren sie korreliert mit den Scores des Sensory Profile Fragebogens (Dunn und Westmann 1999) für die auditive und die multisensorische Wahrnehmung sowie die Unaufmerksamkeit. In einer weiteren Studie der Arbeitsgruppe wurden die Strukturveränderungen bei Kinder mit ASD noch feiner analysiert (Chang et al. 2014). Es fanden sich Veränderungen zusätzlich in temporalen Bahnen, die mitverantwortlich für sozial-emotionale Wahrnehmung sind. In diesem Zusammenhang verdienen die Befunde von Langevin et al. (2015) Beachtung, die bei Kindern mit motorischen Koordinationsstörungen (DCD), ADHS oder ADHS plus DCD schmalere kortikale Strukturen mittels MRI in jeweils unterschiedlichen kortikalen Regionen fanden. Die betroffenen Regionen bei Schulkindern mit einer Komorbidität von DCD und ADHS sprachen für ein neurobiologisch unabhängiges Muster, und nicht lediglich für eine Summation der Befunde, die bei den Kindern mit nur einer Diagnose bestanden. Diese Befunde können nach dem vorgestellten Konzept (Störungen der „cortico-cerebellar-basal ganglia circuits“ von Koziol et al. 2011) sowohl angeboren als auch sekundär entstanden sein.

Zusammenfassung der neueren Vorstellungen zur Neurophysiologie und zur Klassifikation der Symptomatik des SI-Konzepts

Man kann davon ausgehen, dass die Symptomatik gestörter Verarbeitung sensorischer Informationen (SPD) auf abnormen Veränderungen von kortikal-subkortikal-zerebellären Regelkreisen beruht, die angeboren oder früh erworben sind und durch Erfahrungen modifiziert werden. Spätestens im Schulalter finden sich Korrelationen mit definierbaren Veränderungen der Mikrostruktur der weißen Substanz bzw. des Kortex. Die Einteilung in definierte Subtypen als „Diagnosen“ ist eher willkürlich und beruht auf Clusteranalysen klinischer Symptome des Verhaltens. Die SPD wird offensicht-

lich durch eine Variante möglicher Normabweichungen von Hirnstrukturen und Funktionen bedingt, wie dies für die Diagnosen ADHS oder DCD postuliert wird, mit denen Überschneidungen der Symptomatik bzw. Komorbiditäten bestehen. Auch bei ADHS und DCD zeigt sich eine variable Symptomatik, und die Abgrenzung zum normalen Verhalten ist unscharf. Kausale Beziehungen zwischen einzelnen definierten Funktionsstörungen und bestimmten klinischen Symptomen lassen sich nicht eindeutig nachweisen. Eine Komorbidität von SPD wird z.B. mit folgenden Diagnosen angenommen: ADHS, Angststörungen, Verhaltensstörungen, bzw. die Symptomatik von SPD besteht nicht selten bei Diagnosen, wie z.B. Autismus, Lernstörungen, pränataler Alkohol Exposition, Fra- X Syndrom, Schizophrenie u.a.

Einschub

Diese Feststellungen stehen im Einklang mit den neueren kritischen Überlegungen zur Klassifikation bzw. Nosologie von psychischen Erkrankungen, die nach diesem „**liability-model**“ (dem Modell einer familiär-genetisch vermittelten Vulnerabilität) vermutlich nur auf wenige Grundmuster zurückzuführen sind, wie z.B. vorwiegend internalisierendes und vorwiegend externalisierendes Verhalten (Krüger et al. 2006, Buckholtz et al. 2012). - Der sensorische Verarbeitungsprozess ist gekennzeichnet durch mehrere adaptive Prozesse, von der Reizaufnahme in den Rezeptoren bis zur Entscheidung (neokortikal-subkortikal) zu reagieren oder nicht zu reagieren. Im Verlauf des Verarbeitungs- und Wahrnehmungsprozesses werden die Informationen intramodal und intermodal (einschließlich kognitiver Funktionen) modifiziert und adaptiert; insofern handelt es sich immer um einen multisensorischen Prozess.

Wahrnehmungsprozesse

Im Folgenden soll zunächst zu Wahrnehmungsprozessen allgemein und zu zwei wesentlichen Bereichen des sensorischen Prozesses Stellung genommen werden.

Die Rezeptoren besitzen je nach Art der Wahrnehmung unterschiedliche Strukturen und Funktionsweisen. Sie erzeugen bioelektrische Signale, die über spezifische Nervenfasern und Bahnsysteme bis zu den entsprechenden primären Kortexarealen weitergeleitet werden. Sie passieren spezifische Schaltstellen auf unterschiedlichen Ebenen des zentralen Nervensystems (u.a. im Rückenmark, Hirnstamm, Mittelhirn) und dem Thalamus, wo sie vielfältig modifiziert werden. Dieser Verarbeitungsprozess verläuft zum größten Teil unbewusst; der Thalamus gilt als „Tor zum Bewusstsein“. Die bewusste Wahrnehmung wird erreicht durch eine Zusammenarbeit von kortikalen und subkortikalen Strukturen, die durch o.g. neuroanatomische und physiologische Regelkreise miteinander verbunden sind (Koziol et al. 2011) und die für die Funktionen von Motorik und Tätigkeiten, Verhalten sowie Kognition verantwortlich sind. Gespeicherte Informationen oder frühere Erfahrungen

sowie ihre emotionalen oder psychischen Auswirkungen sind in den Prozess involviert. Ein Beispiel ist die simultane, objektspezifische Aktivierung des visuellen und des parietalen Kortex sowohl bei aufmerksamer Fixierung eines Objektes in Realität als auch bei interner Repräsentation im Arbeitsgedächtnis (Peters et al. 2015). Grundsätzlich geht man von parallelen und verteilten Informationsflüssen aus, die sich auch gegenseitig beeinflussen (Singer 2013). Interne Bilder und Vorstellungen werden ständig durch interne und externe Reize aktualisiert. Beispielsweise werden beim Sprechen von Tätigkeitswörtern die entsprechenden motorischen Hirnareale simultan aktiviert (zitiert aus Borghi et al. 2010). Beim Sprechen von Sätzen mit Wörtern, die auf den Geschmack bezogen sind, werden primäre und sekundäre Geschmacksareale aktiviert (Citron et al. 2014) oder beim Beobachten von Tätigkeiten (eigene und von anderen Personen) werden Hirnregionen aktiviert, die auch bei der Durchführung entsprechender Tätigkeiten aktiv sind (Sinigaglia et al. 2011).

Die aktuelle, auch tierexperimentelle, Forschung beschäftigt sich mit den strukturellen und funktionellen Einzelheiten dieses Wahrnehmungsprozesses und den Kriterien, die für resultierende Entscheidungen („decision-making processes“) zur Tätigkeit oder Untätigkeit führen (Pleger et al. 2013, Romo et al. 2013). Cisek et al. (2010) stellen die klassische Vorstellung einer strukturell und damit auch funktionell vorgegebenen Unterteilung des Prozesses der Informationsverarbeitung in eigenständige Module für Wahrnehmung, Kognition und Steuerung des Verhaltens bzw. von Tätigkeiten in Frage. Nach ihren Vorstellungen erfolgen Wahrnehmung und Handlung gleichzeitig -zum Teil in denselben Nervenbahnen - sowohl unter bewusster Kontrolle als auch als automatische Adaptation. Während Aufbau und Funktion der Rezeptoren mit ihren überschaubaren biochemischen und physikalischen Regeln gut bekannt sind, ist der komplexe Wahrnehmungsverarbeitungsprozess bis heute im Detail nur an einfachen Nervenzellstrukturen von niederen Lebewesen, wie z.B. Taufolie und Fadenwurm, dokumentiert.

Neuere Studien führten zu wichtigen Erkenntnissen: Zur Orientierung im Raum werden „neuronale Landkarten“ durch sog. Gitterzellen (Derdikman et al. 2010) und durch sog. sichtspezifische Zellen (Ekstrom et al. 2003) gebildet. Der Ruherhythmus oder Standardmodus („default mode“) beeinflusst die Handlungsbereitschaft bzw. die Initiierung von Tätigkeiten und Lernprozessen (siehe später; Deco et al. 2011, Freyer et al. 2013). Kurzum: der aktuelle Kenntnisstand ist nur ein vorläufiger; das Wissen zu speziellen Details der sensorischen Verarbeitung wird kontinuierlich erweitert

Einschub

Einige Beispiele aus der jüngsten Zeit: Bestimmte Hirnstammkerne sind mit spinalen Regelkreisen verbunden und können so zielgerichtete Bewegungen der Vorderbeine bei der Maus beeinflussen (Esposito et al. 2014). Während schneller Netzwerkoszillationen werden auch Signale von der Oberfläche von Dendriten zu Axonterminalen weitergeleitet, ohne ins Soma der Nervenzellen zu gelangen (Dugladze et al. 2012). Das neurale Substrat des Arbeitsgedächtnisses bei taktiler Wahrnehmung untersuchten Kaas et al. 2013. Die kortikalen Adaptationen (taktil-) sensorischer Reize wurden von Musall et al. 2014, - siehe Yang 2014 – analysiert. Neue Erkenntnisse gibt es zur Raumwahrnehmung, z.B. Buetfering et al. 2014. Die Bedeutung des Striatums bei der sozialen Interaktion wurde von Pfeiffer et al. (2014) untersucht. Gitterzellensymmetrie wird von der Umwelt beeinflusst (Krupic et al. 2015).

Die theoretische Überlegung, den Wahrnehmungsprozess in drei Schritte zu gliedern: Empfindung, Wahrnehmung und Klassifikation (Zimbardo 1995 S. 159 ff) wird durch die neueren Forschungen in ihrer Bedeutung relativiert. Die Empfindung ist bereits ein aktiver Prozess, bei dem Reize ausgewählt und in elektrische Signale transformiert werden und die räumliche Verteilung oder Konstanz der Informationen u.a. registriert werden. Bei dem zweiten Schritt, der Wahrnehmung, gewinnen die Informationen eine Gestalt, Größe, Bewegung usw. in Relation auch zu der eigenen Körperwahrnehmung. Im dritten Schritt wird die Bedeutung des Vorgangs oder des Objekts erkannt, verglichen mit den eigenen Erfahrungen (Gedächtnis usw.) und letztlich klassifiziert in ein abstrakt-logisches System. Die Wahrnehmung erfolgt innerhalb eines Bereiches in Modulen, die bestimmte Merkmale "verarbeiten". Man unterscheidet (theoretisch) zwischen „bottom-up“ Prozessen, bei denen die eingehenden Reizinformationen transformiert, selektiert und vorläufig interpretiert werden, und „top-down“ Prozessen, bei denen das Vorwissen und die Motivation die Wahrnehmung insgesamt beeinflussen. Beide Prozesse wirken sich auf alle drei beschriebenen Wahrnehmungsschritte aus, so dass immer auch eine parallele Verarbeitung der Informationen zwischen den Modulen erfolgt und darüber hinaus ein Austausch mit den anderen Wahrnehmungsbereichen stattfindet. Die Informationsverarbeitung und Wahrnehmung ist demnach ein dynamischer, sich selbstregulierender Prozess in den kortikalen und subkortikalen Arealen des Gehirns (Singer 2011). Zwei somatosensorische Wahrnehmungsprozesse sollen als Beispiel für die Überlegungen herangezogen werden.

(1) Propriozeption und vestibuläre Funktionen

Die Körperwahrnehmung ermöglicht die innere Repräsentation der Körperhaltung in Ruhe und bei Bewegungen in Bezug auf die Position im Umfeld. Sie entwickelt sich optimal, wenn propriozepti-

ve und visuelle Sinneseindrücke sich gegenseitig unterstützen und ergänzen. Aber jedes einzelne der sensorischen Systeme kann den Ausfall des anderen weitgehend kompensieren. Blinde Kinder entwickeln sich in den ersten 3 Lebensmonaten unauffällig und lernen dann, die fehlende visuelle Wahrnehmung zu kompensieren, so dass die motorische Kontrolle schließlich fast unbeeinträchtigt erscheint (Prechtel et al. 2001). Für die Erstellung einer inneren Landkarte unseres Körpers sind die taktile Wahrnehmung und die Gleichgewichtsfunktion ebenfalls von großer Bedeutung. Die Wahrnehmung des eigenen Körpers beruht auf einem multisensorischen Prozess, der in der rechten temporo-parietalen Verbindung (rTP) kontrolliert und erhalten wird (Tsakiris et al. 2008, Tsakiris 2010).

Dabei reifen und entwickeln sich die unterschiedlichen Systeme (muskuläres System, visuelle Wahrnehmung, Gleichgewichtskontrolle, Propriozeption u.a.) parallel und beeinflussen sich gegenseitig (Thelen 1986, Horak 1991). Die neurophysiologischen Steuerungsmechanismen für die Körperhaltung bei der Aufrichtung zum Sitzen und zum Stand oder beim Laufen sind in der Regel schon viel früher funktionsfähig, als sie klinisch erkennbar sind und effizient genutzt werden können. Dabei wird die frühe Kontrolle vermutlich mehr von der visuellen als von der vestibulär-propriozeptiven Wahrnehmung beeinflusst (Jouen 1984, Woolacott u. Sveistrup 1992, Sveistrup u. Woolacott 1993, Hadders-Algra et al. 1996). Cuturi et al. (2014) fanden beispielsweise, dass sich sogar Nacheffekte von Funktionen des visuellen Systems, wie z.B. einer Dunkelanpassung, cross-modal auf die Leistung des Gleichgewichtssystems auswirken können (Cuturi et al. 2014).

(2) Taktile Wahrnehmung: Spezielle Hautrezeptoren sind für unterschiedliche Empfindungsqualitäten verantwortlich, indem sie elektrische Impulse über die peripheren Nerven und die Bahnsysteme im Rückenmark zum Thalamus weiterleiten, wo sie synaptisch umgeschaltet werden und zum primären somatosensorischen Cortex laufen. Es werden 4 psychophysische Systeme unterschieden (Goldstein 1997, s.431ff): Wahrnehmung von Druck, Zittern, Summen und Vibration. Bei Reizung der Haut lassen sich neuronal bereits unterschiedliche Abdrücke eines Reizmusters nachweisen. Die Rezeptoren sind auch unterschiedlich dicht auf der Körperoberfläche verteilt und zu sog. rezeptiven Feldern angeordnet, die zunächst zum Thalamus projiziert werden. Hier repräsentieren die Neurone ein Zentrum mit erregenden Eigenschaften und einem hemmenden Umfeld, und im weiteren Verlauf sind auch Neurone zu finden, die auf spezifische Reize ansprechen (ähnlich wie im visuellen Kortex), z.B. auf das Aufsetzen einer Kante oder auf die Bewegung entlang einer Fingerspitze in eine bestimmte Richtung. Auch die Gesamtrepräsentation der Körperoberfläche im somatosensori-

schen Kortex orientiert sich nach der Dichte der Rezeptoren und Größe der rezeptiven Felder, d.h. je dichter die Rezeptoren angeordnet sind, desto kleiner sind die Felder und desto größer das kortikale Repräsentationsareal.

Die aktive taktile Wahrnehmung (haptische Wahrnehmung) unterscheidet sich deutlich gegenüber der passiven. Dabei wirken die Hautrezeptoren zusammen mit den Muskel- und Gelenkrezeptoren (kinästhetisch-propriozeptives System), welche ebenfalls im Thalamus und somatosensorischen Kortex repräsentiert sind. Die Finger bewegen sich über ein Objekt hinweg und erhalten so zusätzliche Informationen (z.B. beim Lesen der Blindenschrift). Neuere Forschungsarbeiten (McGlone et al. 2014, Pawling et al. 2017) deuten auf eine weitere wichtige Funktion von sog. C-Fasern taktiler Afferenzen („CTs“) der Haut hin. Sie reagieren auf langsame und sanfte Berührung und stimulieren unmittelbar positive Affekte, die sich ihrerseits auf die soziale Kommunikation auswirken können. Es werden auch Neurone beschrieben, die nur dann feuern, wenn ein Objekt ergriffen wird. Möglicherweise werden damit Informationen zur Räumlichkeit des Objektes vermittelt. Darüber hinaus ist mit dem aktiven Berühren ein bewusster Wahrnehmungsprozess verknüpft, der sog. kombinierte kortikale sensible Funktionen, wie z. B die Stereognosie sowie die Propriozeption nutzt. Auch kognitive Faktoren spielen dabei eine Rolle, was sich u.a. darin zeigt, dass vertraute Objekte leichter erkannt werden als neue. Dieser aktive Prozess ist zugleich ein Beispiel für die simultane, intermodale Verarbeitung sensorischer Informationen und motorischer Leistungen auf fast allen Ebenen.

Bei der visuellen und der auditiven Wahrnehmung gibt es zwei unterschiedliche Bahnsysteme, eines für die Lokalisation („wo“) und eines für die Beschaffenheit („was“). Dieses Prinzip lässt sich auch für die haptische Wahrnehmung von Ort und Beschaffenheit der Objekte nachweisen. Die ortsbezogenen somatosensorischen Informationen gehen über dorsale Bahnen, ebenso wie die entsprechenden visuellen, und konvergieren im dorsalen frontoparietalen Kortex. Die somatosensorische Information zur Beschaffenheit konvergiert mit der entsprechenden visuellen Information im visuellen und frontalen Kortex (Sathian et al. 2011).

Möglicherweise wird die taktile Wahrnehmung auch von Persönlichkeitsmerkmalen beeinflusst, wie z.B. nach dem Liability-Modell (s.o.) postuliert wird. Schaefer et al. (2012) konnten mittels MEG nachweisen, dass bei extravertierten Persönlichkeiten taktile Stimulationen der Finger beson-

ders intensive Reizantworten im primären somatosensorischen Kortex zu finden sind. Der Befund ist allerdings seitendifferent ausgeprägt.

Praxie

Greifen, Ergreifen und Hantieren von und mit Objekten wird ebenfalls durch die propriozeptive Verarbeitung und Wahrnehmung beeinflusst, als Teilkomponente typischer Regelkreise. Beim Werkzeuggebrauch werden die Beschaffenheit des Werkzeugs, die Aufgabenstellung und welche Hand genutzt werden soll in einem mentalen neuronalen Netzwerk integriert, das für Planung und Ausführung verantwortlich ist (Übersicht in Brandi et al. 2014). Bei der Planung ist (bei Rechtshändern) vorwiegend das linksseitige parietale und occipitale Netzwerk aktiv, bei der Ausführung zusätzlich frontale Areale und die Insel. Dorsale („wo“) und ventrale („was“) Systeme kooperieren bei der Planung, wobei das ventrale System während der aktuellen Tätigkeit am meisten aktiviert ist. Läsionen des inferioren parietalen Kortex und inferiorer frontaler Areale führen zur Dys- oder Apraxie.

Fazit

Nach der Theorie von Ayres soll die sensorische Integration von Sinneseindrücken, insbesondere der taktil-kinästhetischen oder somatosensorischen, in Regelkreisen erfolgen, die durch innere und äußere Reize in Gang gesetzt werden und zu Reaktionen führen, die sich insbesondere in motorischen Handlungen zeigen (motorische Anpassungsreaktionen, „MAR“). Die Erkenntnisse der Neurobiologie und der Entwicklungspsychologie der letzten Jahrzehnte bestätigen die Hypothese und das Konzept einer intra- und intermodalen Adaptation bei dem Wahrnehmungsprozess sensorischer Reize von J. Ayres. Allerdings zog sie hieraus auch für das therapeutische Vorgehen nicht die richtigen Schlüsse. Sie maß dem Einfluss der sog. Nahsinne auf die psychomotorische Entwicklung eine zu große Bedeutung bei, was z.B. zur „Erfindung“ von speziellen therapeutischen Techniken führte.

Die bewusste Wahrnehmung wird erreicht durch eine Zusammenarbeit von kortikalen und subkortikalen Strukturen, die durch o.g. neuroanatomische und physiologische Regelkreise miteinander verbunden sind (Koziol et al. 2011) und die für die Funktionen von Motorik und Tätigkeiten, Verhalten sowie Kognition verantwortlich sind. Gespeicherte Informationen oder frühere Erfahrungen

sowie ihre emotionalen oder psychischen Auswirkungen sind in den Prozess involviert. Am Beispiel der Wahrnehmungsbereiche Propriozeption bzw. Kinästhetik und taktile Wahrnehmung lässt sich dies verdeutlichen. Die Effektivität der taktilen und propriozeptiven Wahrnehmung ist abhängig von der Beteiligung anderer Wahrnehmungssysteme (z.B. propriozeptiv-kinästhetische und kognitive). Sie wird ermöglicht durch die intermodale Verknüpfung von kortikalen und subkortikalen Regelkreisen, die auch für die simultane Entscheidungsfindung zu reagieren oder nicht zu reagieren verantwortlich sind.

Koziol et al. (2011) ordnet einzelnen Symptomen sensorischer Verarbeitungsstörungen (SPD) bestimmte Struktur- oder Funktionsstörungen von Regelkreisen mit unterschiedlichen Aufgabenschwerpunkten zu: Störung der sensorischen Selektion dem cortico-basal ganglio-subcorticalen Regelkreis; Störung von Intensität und „Kraft“-wahrnehmung der Koordination dem Cerebellum; Dyspraxie dem fronto-parietalen und Lernstörungen dem cortico-cerebro-cerebellären Regelkreis. Symptome von sensorischen Verarbeitungsstörungen finden sich auch bei anderen definierten Entwicklungsstörungen oder Erkrankungen.

Eine strikte Korrelation zwischen abnormen Testbefunden und klinischer Symptomatik besteht nicht. Ebenso wenig besteht eine strikte Trennung der Verarbeitung verschiedener sensorischer Informationen. Diese Erkenntnisse wirken sich unmittelbar auf das konkrete therapeutische Vorgehen aus und führten zur Änderung der Therapietechniken und der therapeutischen Zielsetzungen, siehe Kapitel „Sensorische Integrationstherapie“.

Einschub

Das Konnektom und die Bedeutung der neuronalen Spontan- oder Ruheaktivität.

Der Grund für die häufige Komorbidität verschiedener Entwicklungs- und Verhaltensstörungen, die sowohl Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen als auch abnorme Verhaltensweisen betreffen, wird durch andere Überlegungen aus der Arbeitsgruppe Meyer-Lindenberg (Buckholtz et al. 2012) zu erklären versucht. Die Hypothese beruht u.a. auf neueren Erkenntnissen zur Bedeutung der spontanen neuronalen Aktivität des Kortex für Lernen und Verhalten. Diese Aktivität wird als „default mode“ (Standardmodus) bezeichnet, die in einem Netzwerk von horizontalen und vertikalen Verbindungen, dem Konnektom (Sporns 2011), generiert wird. Die synchrone Aktivität oszilliert mit variabler Intensität und unterschiedlichen Frequenzen. Nach Raichle et al. (2006) verbraucht das Gehirn den größten Teil der Energie für diese Aktivität, da sie kontinuierlich besteht. Sie ermöglicht es, dass innere Bilder der Wirklichkeit aufrechterhalten werden (im Wach- und Schlafzustand). Sie bereitet die Verarbeitung der sensorischen Reize vor, die im Wachzustand eintreffen, und bildet die Grundlage für einen stetigen Abgleich zwischen Innen- und Außenwelt (Arnal et al. 2012). Dabei werden bei der Wahrnehmungsverarbeitung auch Hypothesen im Voraus generiert, was vermutlich wann zu erwarten ist (Arnal et al. 2012).

Nach Buckholtz et al. (2012) kann das Konnektom je nach Sichtweise bzw. Untersuchungsmethode eingeteilt werden („functional“, „resting state functional“, „task based functional“ und „effective“ connectivities). Störungen des Konnektoms wirkten sich generell auf die Pathogenese von kognitiven und psychischen Störungen bzw. psychiatrischen Erkrankungen aus, ohne aber eindeutig bestimmten Diagnosen zugeordnet zu werden. Vier verschiedene Netzwerke werden beschrieben, die mit bestimmten neuropsychologischen Funktionen assoziiert seien: das frontoparietale Netzwerk mit Aufmerksamkeitssteuerung, Arbeitsgedächtnis und exekutiven Funktionen; das kortiko-limbische Netzwerk mit der Steuerung der Affektivität; das frontostriatale Netzwerk mit Motivation und Belohnung. Ein default-mode Netzwerk (temporoparietal, cingulärer Cortex und VMPF) wird diskutiert und soll assoziiert sein mit dem sozialen Verhalten (Selbstdarstellung, theory of mind u.ä.). Störungen dieser „cognition-specific brain circuit“ korrelierten mit entsprechenden typischen psychopathologischen Symptomen. Daher seien Komorbiditäten von mentalen und psychischen Erkrankungen/Diagnosen die Regel und nicht die Ausnahme. Art und Ausmaß der Psychopathologie seien bedingt durch polygene Vererbung und positive oder negative epigenetische Einflüsse im Laufe der Entwicklung (siehe auch Waltereit et al. 2013).

Stellungnahme zu den Testverfahren

Bislang existiert kein „Goldstandard“, anhand dessen die „Diagnose“ einer Sensorischen Integrations-/ Verarbeitungsstörung eindeutig gestellt werden könnte. Bei der Diagnostik können unterstützend verschiedene Verfahren herangezogen werden. Ihr Wert wird hauptsächlich in der umfassenden Beschreibung des Entwicklungsstandes der sensorischen Integration und relevanter Störungen sowie der Erstellung eines Behandlungsplans gesehen.

Neben Testverfahren werden im Rahmen der Befunderhebung und Behandlungsplanung verschiedene Fragebögen eingesetzt. Die per Fragebogen erhobenen Informationen beruhen meist auf Beobachtungen der Familie oder von anderen Bezugspersonen. Sie unterliegen einer nicht geringen Unsicherheit aufgrund der subjektiven Maßstäbe. Problematisch ist die Zuordnung von Befunden aufgrund von Beobachtungen zu definierten neurophysiologischen Befunden. Daher sind die klassischen Gütekriterien, besonders die Konstruktvalidität, besonders wichtig.

Zu den Testverfahren im engeren Sinne (standardisierte Vorgabe konkreter Aufgaben, die nach festgelegten Kriterien bewertet werden) zählen die „Sensory Integration and Praxis Tests“ (SIPT, Ayres 1989; 4;0 – 8;11 Jahre), der „Test of Sensory Functions in Infants“ (TSFI, deGangi et al. 1989; 0 - 18 Mon.), der „de Gangi-Berk Test of Sensory Integration“ (TSI, Berk u. deGangi 1983; 3-5 Jahre) und die Reihe „Touch Inventory“ (für Vorschulkinder von 4-6 Jahren: TIP; für Schulkinder von 6 bis 12 Jahren: TIE, Royeen et al. 1987 bzw. 1990).

Gängige Fragebogenverfahren sind: das „Sensory Processing Measure“ (SPM, Parham et al. 2007a: 5 – 12 Jahre; mit Elternversion - „Main Home Form- sowie Lehrerversion - „Main Classroom Form“- und Erzieheverson - „School Environment Form“-); SPM-P für Vorschulkinder (Parham 2010: 2 – 5 Jahre, Eltern- und Erzieheverson -Übersicht:

<http://www.wpspublish.com/store/p/2991/sensory-processing-measure-spm->) und das „Sensory Profile“/„Short Sensory Profile“ (SP/SSP) (Dunn 1999: 3 – 10 Jahre, Elternversion; Dunn 2006: 3;0 - 11;11, Lehrer/Erzieheverson - „School Companion“-, Dunn 2002: 0 – 36 Monate, Infant/Toddler Sensory Profile und Brown et al. 2002: ab 11 Jahren - „Adult/Adolescent Sensory Profile“-). (Übersicht: <http://www.pearsonclinical.com/therapy/products/100000566/sensory-profile.html>)

Dass den oben erwähnten Messinstrumenten nur eine untergeordnete Funktion bei der Diagnostik von SI-Störungen zukommt, liegt an der zumeist fraglichen Konstruktvalidität der Verfahren.

Einzelbewertung der Testverfahren und Fragebögen:

Test of Sensory Functions in Infants (TSFI): Die Inhaltsvalidität wurde durch ein Expertenpanel gesichert. Faktorenanalysen zur Zuordnung der einzelnen Items zu den Untertests sind nicht bekannt. Die einzelnen Untertests sind nur geringfügig miteinander korreliert, es bestehen ebenfalls nur geringe und nicht signifikante Korrelationen zu einem Entwicklungstest (Bayley Scales of Infant Development, 2nd ed., Bayley 1993) und zu einem Temperamentsfragebogen. Anhand der Testergebnisse konnten unauffällig entwickelte Kinder, Kinder mit Entwicklungsstörungen und Kinder mit Regulationsstörungen unterschieden werden.

Touch Inventory Test (TIP und TIE): Die Inhaltsvalidität wurde durch ein Expertenpanel gesichert. Angaben zur Konstruktvalidität fehlen. Auffällige und unauffällige Kinder konnten mit dem Touch Inventory zu 85% korrekt klassifiziert werden; wie die Einteilung in auffällig / unauffällig erfolgte, wurde nicht angegeben. Die Testautorinnen selbst empfehlen, den Test nur als Screening einzusetzen.

Sensory Profile (SP) Fragebogen: Die Inhaltsvalidität wurde durch ein Expertenpanel gesichert. Zur faktoriellen Validität gibt es keine Angaben. Hinsichtlich der konvergenten und divergenten Validität werden Korrelationen zwischen einzelnen Faktoren des SP und Items eines „School Function

Assessment“ (SFA) angegeben. Die Stichprobe bestand aus 16 Kindern aus Schulen mit besonderem Förderbedarf. Trotz des geringen Stichprobenumfangs ergaben sich hohe und statistisch signifikante Korrelationen zwischen dem Feinmotorik-/Wahrnehmungsfaktor des SP und SFA-Faktoren aus den Bereichen Verhaltensregulation und Positive Interaktion. Diese sowie moderate Korrelationen zwischen Verhaltensregulation und Positiver Interaktion aus dem SFA und dem Modulierungsbereich sowie Faktoren, die Items zur Unter- und Überresponsivität enthalten, sprechen nach Einschätzung der Testautoren für die konvergente Validität des SP. Die diskriminante Validität soll durch niedrige Korrelationen zwischen spezifischeren Handlungsitens aus dem SFA und Items aus dem SP belegt sein. Der angegebenen Korrelationsmatrix sind diese Aussagen allerdings nicht eindeutig zu entnehmen. Klinische Gruppen: Kinder mit Autismus bzw. ADHS erzielten niedrigere Werte im SP als die Normierungsstichprobe (kein Signifikanzniveau für die Unterschiede angegeben). Das Short Sensory Profile wurde aus dem Sensory Profile entwickelt. Keine Angaben zur faktoriellen, konvergenten und divergenten Validität. Die Skalen zeigen überwiegend mittlere bis hohe Interkorrelationen, messen also nicht eindeutig unterschiedliche Prozesse. Es konnte gezeigt werden, dass Kinder mit hoher bzw. niedriger elektrodermalen Aktivität (EDR) signifikant niedrigere Werte im SSP hatten als Kinder mit normaler EDR; Kinder mit Sensory Modulation Disorder hatten niedrigere Werte als normale Kontrollkinder, es wurde aber kein Signifikanzniveau für die Unterschiede angegeben.

Sensory Processing Measure (SPM) Fragebogen: Die Inhaltsvalidität wurde durch ein Expertenpanel gesichert. Die Zuordnung der einzelnen Items zu den verschiedenen Skalen wurde anhand von exploratorischen und konfirmatorischen Faktorenanalysen geprüft, die Ergebnisse der beiden Ansätze seien „remarkably similar“ (keine weiteren Angaben zur konfirmatorischen FA im Manual). Die Skalen sind durchgängig recht hoch ($r \geq .5$) miteinander korreliert, messen also nicht eindeutig unterschiedliche Prozesse. Die konvergente und divergente Validität ergeben sich aus überwiegend hohen ($r \geq .5$) Korrelationen mit inhaltsähnlichen Skalen aus einem anderen Fragebogenverfahren (Sensory Profile) und niedrigen Korrelationen ($r < .3$) mit inhaltsfremden Skalen des Sensory Profile. Es zeigten sich statistisch signifikante Unterschiede zwischen Kindern, die Ergotherapie erhielten und Kindern der Normierungsstichprobe; berichtet werden auch Unterschiede (keine Angabe eines Signifikanzniveaus) zwischen Kindern mit ADHS, Intelligenzminderung und Autismus einerseits und Kindern der Normierungsstichprobe andererseits. Die Home Form ist valider als die Classroom Form. Die Version für Vorschulkinder (SPM-P) wurde überprüft anhand von Korrelationen

mit einer „Infant / Toddler Symptom Checklist“. 5 Items des SPM-P zum Schwerpunkt „sensation seeking“ zeigten Korrelationen $< .5$ mit der Checklist, dies wird von der Autorin als Beweis für diskriminante Validität interpretiert. Die hohen Korrelationen ($r \geq .5$) der SPM-P-Items mit der Checklist werden als Beleg der konvergenten Validität gewertet.

Positiv hervorzuheben ist, dass sowohl für das SPM als auch für das SP im Manual die Bestimmung von Konfidenzintervallen erläutert und deren Einsatz bei Messwiederholungen (Retest) empfohlen wird.

Fazit: Kritikpunkte an den aufgeführten Verfahren sind die fehlende empirische Überprüfung der Zuordnung der einzelnen Items zu den Skalen durch eine konfirmatorische Faktorenanalyse und fehlende Angaben dazu, wie die „Diagnosestellung“ bei den klinischen Gruppen (insbesondere bei den Gruppen mit Sensorischen Modulations-/ Verarbeitungsstörungen) erfolgte. Bei einigen Messinstrumenten wurden zur Validierung andere, nicht validierte Verfahren herangezogen. Teilweise fehlen Angaben dazu, ob dargestellte Unterschiede zwischen klinischen Gruppen statistisch signifikant waren. Die Interpretationen von niedrigen und hohen Korrelationen mit anderen Skalen als Belege für divergente und konvergente Validität waren teilweise nicht nachvollziehbar. Somit sind diese Tests oder Fragebögen nicht geeignet ein abgesichertes Ergebnis der Befunderhebung zu erhalten oder gar eine sichere Diagnose zu stellen.

SIPT

Sensory Integration and Praxis Tests (SIPT): Ayres entwickelte über Jahre 17 SubtestTests, die spezifische Funktionen der sensorischen Integration in den Bereichen Visuomotorik und Raumwahrnehmung, taktile Diskrimination, Praxie, vestibuläre und propriozeptive Verarbeitung messen sollen. Einzelne Tests betreffen auch mehrere Bereiche (Ayres 1989).

Die Inhaltsvalidität ergibt sich aus der Tatsache, dass die Tests von Ayres entwickelt wurden. Die Untertests der SIPT werden zu Skalen zusammengefasst, einige Untertests sind mehreren Skalen zugeordnet. Die Zuordnung richtet sich weitgehend nach exploratorischen Faktorenanalysen und Clusteranalysen, eine Überprüfung der Faktorenstruktur anhand einer konfirmatorischen Faktorenanalyse wurde nicht durchgeführt. Anhand der Testergebnisse konnte in einer Validierungsstudie keine Unterscheidung von normal entwickelten Kindern und Kindern mit SI-Störungen vorgenommen werden, in einer weiteren Validierungsstudie hatte eine Stichprobe von Kindern mit SI-

Dysfunktionen überwiegend durchschnittliche Ergebnisse in den SIPT-Tests (Fisher et al. 2002, Sensorische Integrationstherapie: Theorie und Praxis (Rehabilitation und Prävention. S. 355). Vierzehn der 17 Untertests korrelierten hoch ($>.50$) und signifikant mit dem Gesamt-IQ aus der Kaufman-Assessment Battery for Children (K-ABC). Die Autorinnen erklären dies damit, dass „es sich bei den Prozessen, die der K-ABC und den SIPT-Praxietests gemein sind, um *komplexe kognitive Prozesse*“ handelt (Fisher, Murray & Bundy 2002, S. 359). Dies würde bedeuten, dass die SIPT eher komplexe kognitive misst als spezifische sensorisch-integrative Prozesse misst. Daher gelten insbesondere für den SIPT die oben genannten Einschränkungen bei der Bewertung der Testergebnisse.

Postrotatorischer Nystagmustest (PRN)

Schon früh hat sich Ayres für den postrotatorischen Nystagmus interessiert und sein Verhalten als wichtigen Indikator für die Gleichgewichtsfunktion angesehen. Bei Drehung des Körpers wird ein vestibulärer Nystagmus ausgelöst, der mehrere Komponenten aufweist. Bei Beginn der Rotation (mit gleichbleibender Geschwindigkeit) tritt eine langsame Nystagmuskomponente in die Gegenrichtung bis zu einer maximalen Auslenkung von 45° auf, deren Geschwindigkeit immer langsamer werde. Wird die Rotation gestoppt, ändert die postrotatorische langsame Nystagmuskomponente die Richtung. Dieser Nystagmus solle normalerweise ca. 40 sec anhalten. Bei Kindern mit Lernstörungen sei die Dauer des Nystagmus deutlich verkürzt. Fisher (1998) führt dies auf Funktionsstörungen im Hirnstamm zurück, im Sinne einer Speicherungsschwäche für die unterschiedlichen Impulse der Cupula und der Endolymphe des Vestibularisorgans. Dabei wird unterstellt, dass nur die zentrale vestibuläre Verarbeitung gestört sei, aber nicht die periphere Funktion. Angesichts der niedrigen Reliabilitätswerte wird aber in letzter Zeit diesem Test keine große praktische Bedeutung mehr beigemessen; er dient aber manchen Therapeuten fälschlicherweise immer noch als Indiz dafür, dass vestibuläre Funktionsstörungen bei vielen entwicklungsgestörten Kindern bestehen, die behandelt werden müssten.

Die niedrigen Reliabilitätswerte lassen sich methodisch erklären (Polatajko 1985 u. 1987, Fisher 1998). Bei dem postrotatorischen Nystagmustest nach J. Ayres bleiben die Augen geöffnet (im Helten, um den Nystagmus beobachten zu können). Es kommt dadurch zu einer Überlagerung der Wirkung des optokinetischen Nystagmus, der in der Phase der Rotation die Geschwindigkeit des Nystagmus noch erhöht, aber in der postrotatorischen Phase seine Richtung nicht wechselt und so

dem vestibulären Nystagmus entgegenwirkt. Außerdem kann infolge der visuellen Fixation der Nystagmus mehr oder weniger stark unterdrückt werden. Dietrich (2000) bestätigt diese Einwände. Eigentlich misst der Test periphere und zentrale Funktionen und müsste korrekt folgendermaßen durchgeführt werden: Der Patient wird bei geschlossenen Augen auf eine bestimmte Drehgeschwindigkeit beschleunigt (Messung des vestibulären Nystagmus), in konstanter Geschwindigkeit 2-3 Minuten weitergedreht (Abklingen des Nystagmus), kurzfristig werden die Augen geöffnet (Verstärkung des Nystagmus durch den optokinetischen Nystagmus) und dann die Drehung abrupt gestoppt, wonach der postrotatorische Nystagmus bei geschlossenen Augen auftritt, der normalerweise zwischen 15 und bis 60-80 Sekunden anhält. Wenn die Dauer verkürzt ist, besteht der Verdacht auf eine periphere vestibuläre Störung. Wegen der erheblichen interindividuellen Streubreite ist nur das Bestehen einer Seitendifferenz ein reliabler Befund. Zur Prüfung von zentralen und peripheren vestibulären Funktionen sind daher prinzipiell mehrere unterschiedliche Testverfahren erforderlich. Damit ist der postrotatorische Nystagmustest nach den Vorgaben des SIPT nicht aussagefähig.

Mailloux et al. (2014) haben den PRN für den Einsatz bei jüngeren Kinder modifiziert durch unterstützende Maßnahmen bei der Testung und die Werte bei 44 Kindern im Alter zwischen 2 - 47 Monaten ergänzt. Die grundsätzliche Kritik an dem PRN bleibt unverändert bestehen und die Testbefunde streuen so erheblich, dass bei der geringen Zahl der untersuchten Kinder Normwerte nicht abgeleitet werden können.

Testung der taktilen Wahrnehmung

Tests zur Überprüfung der taktilen Wahrnehmungsfähigkeiten: Test der „Finger-Identifikation“, bei dem der Untersucher den Finger des Kindes berührt und das Kind zeigen muss, welcher Finger berührt worden ist, Test der „Graphästhesie“, bei dem der Untersucher auf dem Handrücken des Kindes eine Form malt, die das Kind mit seinem Finger auf seinem Handrücken nachmalen muss, Test der „Lokalisation taktiler Stimuli“, bei dem der Untersucher Arm oder Hand des Kindes berührt und das Kind anschließend die entsprechende Stelle zeigen muss und „zur manuellen Formwahrnehmung“ (MFP) durch Betasten von und Manipulation mit Objekten. Die Test-Retest-Reliabilität dieser Testverfahren ist niedrig (Ayres u. Marr 1998), was sich aus der Versuchsanordnung auch gut erklären lässt. Die Standardisierung der taktilen Reize ist schwierig und bei der Aufnahme und Wiedergabe die Mitarbeit des Kindes von großer Bedeutung. Die Aussagekraft der Tests ist gering,

da auch nur einfache Sinneseindrücke geprüft werden. Der Begriff „Test“ ist somit nicht angemessen; es handelt sich um eine subjektive klinische Untersuchung mit unklaren Definitionskriterien.

Fazit

Der SIPT gilt als der umfassendste Test auf sensorische Störungen. Er bildet gleichzeitig die Grundlage (mittels Clusteranalysen) zur Nosologie von Störungen der Sinnesverarbeitung und Wahrnehmung. Die Testverfahren und die theoretischen Grundlagen bedingen sich gegenseitig. Bei allen Tests werden unterschiedliche sensorische Bereiche gleichzeitig geprüft. Insofern gilt alle Kritik gegenüber den Konzepten der Sensorischen Integrationstherapie auch den Tests selbst. Es werden mit zahlreichen Aufgabenstellungen Funktionen gemessen, deren Bedeutung sich nur aus dem SI-Konzept/Methode erschließt. Die Angaben zur Interpretation der Testergebnisse sind ungenau und z.T. unrichtig:

- Die postulierten Defizit-Bereiche, wie z.B. bilaterale Integration und Sequenzieren, sollen sich nicht eindeutig oder gar ausschließlich anhand der Testbefunde abgrenzen lassen.
- Es werden Mittelwerte und einfache Standardabweichungen mitgeteilt. Aber Befunde, die im „unteren“ Normbereich liegen, werden z.T. als abnorm bezeichnet.
- Es gebe zahlreiche Überschneidungen zwischen den Bereichen, und im Einzelfall könnten auch Störungen in mehreren unterschiedlichen Bereichen bestehen, es soll auch verschiedene "Teilmuster" geben (Ayres et al. 1989, S.369ff).
 - Eine zuverlässige Diagnose soll nur dann möglich sein, "wenn mehrere verschiedene Testwerte zu einem bestimmten Konstrukt niedrig ausfallen". Schließlich wird festgestellt, dass die Interpretation der Ergebnisse des SIPP eine "Kunst" und eine Diagnose nur dann möglich sei, wenn sie sich durch das Verhalten zu Hause und in der Schule, durch die Entwicklungsgeschichte und die klinische Beobachtung der "okulären und posturalen Reaktionen, sensorischen Abwehr und der Schwerkraftsicherheit" erhärten lasse (Ayres et al. 1989, S.373).

Damit kann die sehr ausführliche Untersuchung mit dem SIPT zwar als nützliche Informationsquelle zur Befunderhebung, d.h. zur Überprüfung der Fähigkeit eines Kindes zur Lösung vieler spezieller Aufgaben, nicht aber als Nachweis für das Bestehen oder Nichtbestehen spezieller neurophysiologischer Defizite angesehen werden.

Sensorische Integrationstherapie

Neuroplastizität

Ein wesentliches Element des SI-Konzeptes ist die von Ayres angenommene erhebliche Neuroplastizität des ZNS sowohl im Hinblick auf die erforderlichen Adaptationen des Verhaltens bei unterschiedlichen Anforderungen als auch als Grundlage für die therapeutische Interventionen, wie z. B. der Ergotherapie, Physiotherapie und Logopädie. Diese Annahme wurde durch zahlreiche Studien, u.a. zu den neurophysiologischen Grundlagen der Rehabilitation, nach erworbenen Hirnläsionen und (tierexperimentell) nach frühen Hirnläsionen in den letzten Jahrzehnten bestätigt. Die Ergebnisse, sprechen für eine relativ große Neuroplastizität bei Kindern und Erwachsenen unabhängig von den Behandlungsmethoden. Nicht nur die Reorganisation, sondern Wachstum von Dendriten, Bildung neuer synaptischer Verknüpfungen (zentral und spinal) und Neurogenese ist in viel größerem Ausmaß möglich, als früher vermutet.

Einige Studien sollen beispielhaft erwähnt werden:

- fMRI Studien belegen nach somatosensorischer Stimulation eine spezifische Vergrößerung der aktivierten spezifischen Cortexareale (Wu et al. 2005)
- fMRI Studien dokumentieren die komplexen Informations- und Verbindungswege beim motorischen Lernen beim Menschen (Halsband et al. 2006, Kelly et al. 2005). Beispielsweise kann die funktionelle Neuroplastizität des primären somatosensorischen Kortex (SI) durch präfrontale Kortexareale moduliert werden: Die für die somatosensorische Stimulation einzelner Finger repräsentativen Areale des primären sensorischen Cortex verändern sich deutlicher, wenn die Probanden explizit aufgefordert werden, den Tower of Hanoi mit möglichst wenigen Zügen zu bearbeiten als wenn diese Aufforderung nicht gegeben wird. Bei Kindern mit CP bzw. tierexperimentell wurden strukturelle Veränderungen bzw. Neurogenese nach constraint induced movement therapy bei eigenaktiven Trainings nachgewiesen (Kempermann 2012, Lacours et al. 2004, Sterling et al. 2013, Rha et al. 2011).
- Tierexperimentelle Studien (zur Bedeutung von Training in der Auseinandersetzung mit anregender Umgebung) zeigen, dass die strukturellen Korrelate (z.B. Wachstum apikaler Spines) zur

Leistungsverbesserung beim Training nach frühen Hirnläsionen verbessert werden durch taktile Stimulationen insbesondere in angenehmer und anregender Umgebung (enriched environment) (Übersicht bei Kolb et al. 2011), und dass die Neurogenese im Hippocampus gesteigert wird bei länger anhaltender Stimulation, insbesondere bei vermehrten Angeboten von Spiel- und Lernmöglichkeiten (Kempermann et al. 1999, Kempermann 2012.)

Indikationen

Die Behandlungsindikation zur sensorischen Integrationstherapie wird gestellt bei einer relevanten klinischen Symptomatik einschließlich Verhaltensauffälligkeiten oder bei Diagnosen, wie z.B. motorische Ungeschicklichkeit, Aufmerksamkeits- und Konzentrationsstörungen, Lernstörungen oder Regulationsstörungen wenn sich durch:

- klinische Beobachtungen im Alltag (z.B. in Kindergarten oder Schule),
- gezielte Beobachtungen bei speziellen Aufgabenstellungen
- und die oben genannten und bewerteten Tests bzw. Fragebögen, wie z.B. SP oder SPM,

Hinweise auf sog. sensorische Verarbeitungsstörungen im Sinne einer sensorischen Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung (SPD) ergeben.

Behandlungsziele und -techniken

Ayres ging davon aus, dass immer dann eine sensorische Integrationsleistung vorliegt, wenn auf eine Stimulation hin eine entsprechende Anpassungsreaktion erfolgt. Vorausgesetzt wird dabei, dass sich das Kind aktiv und selbstinitiiert mit seiner Umwelt auseinandersetzt. Daher sollten in der Therapie durch adäquate Anreize einzelne Fertigkeiten und Funktionen verbessert und weitere Entwicklungsschritte eingeleitet werden. Die sensorischen Stimuli sollten sich auf die gesamte Hirnaktivität auswirken, so dass sensorische und neurologische Funktionen wechselnd aufeinander ein- und zusammenwirken.

Unter dem Eindruck der neuen Erkenntnisse zur Verarbeitung sensorischer Informationen bzw. Signale bis hin zur eigentlichen Wahrnehmung wurde nicht nur das Konzept und die Nosologie „adaptiert“, sondern auch die Zielsetzung bei der therapeutischen Intervention. Im Leitungsteam zum Thema Sensorische Integration des Deutschen Verbandes Ergotherapie (DVE) und von der GSID, die internationalen mit Fachgesellschaften und Arbeitsgruppen vor allem aus USA und

Australien kooperieren, wurden modifizierte Vorstellungen zur sensorischen Integrationstherapie entwickelt. Es wurden in den letzten Jahren mehrere Artikel in der Verbandszeitschrift „Ergotherapie und Rehabilitation“ publiziert, die sich mit Theorie und Praxis auseinandersetzen (siehe Einleitung). Wie bei der Ergotherapie inzwischen allgemein akzeptiert, orientieren sich die Behandlungsziele an dem bio-psycho-sozialen Modell des ICF, bei dem auch Umweltfaktoren und die Teilhabe in Familie, Kindergarten, Schule oder peer-groups berücksichtigt werden. Daher sind die Einwände gegen das Konzept der Sensorischen Integrationsstörungen auf Grund der prozessorientierten Zielsetzung bei der Sensorischen Integrationstherapie, die in der Stellungnahme der GNP von 2002 formuliert wurden, nicht mehr relevant. Es geht nicht mehr um funktionsbezogene Übungen zur Verbesserung der „neurophysiologischen Grundlage“, mit dem Ziel, die neurologische Integration zu fördern, sondern um die Verbesserung alltagsrelevanter Beeinträchtigungen mit dem Ziel, größtmögliche Selbstversorgung und Selbstständigkeit zu erreichen sowie die soziale Integration und Teilhabe zu unterstützen. Daher ist eine Therapiesituation mit einem oder mehreren Kindern zusammen offenbar eine gute Variante, wie sie von der GSID empfohlen wird (SIAT, Kull-Sadacharam et al. 2012) und von Bumin et al. bereits 2001 bei einer sensorisch-perzeptuellen Therapie (SPM) von Kindern mit einer spastischen Diplegie als gleichwertig zur Einzeltherapie beschrieben wurde. Zu Beginn werden die Behandlungsziele an Hand von ICF, Canadian Occupational Performance Measure (COPM, Law et al. 2014) oder individuellem Goal- Attainment- Scaling festgelegt. Regelmäßig, mindestens halbjährlich, werden die Ergebnisse überprüft und ggfls. modifiziert bzw. zusammen mit Angehörigen und dem überweisenden Arzt entschieden, ob die Behandlung fortgesetzt werden soll. Der SIPT spielt dabei eine untergeordnete Rolle. Bestehen erhebliche Verhaltensstörungen, eine psychiatrische Erkrankung oder liegt eine neurologische Erkrankung vor, sind die Ergebnisse psychologischer oder ärztliche Untersuchungen oder andere Kriterien zu berücksichtigen.

Einschub:

Die generelle Neigung zu Über- oder Unterreaktionen ist sehr wahrscheinlich ein genetisch bedingtes und epikritisch modifiziertes Persönlichkeitsmerkmal, das sich auf das gesamte Verhalten des Kindes (bis zum Erwachsenenalter) auswirkt (Siehe Kapitel neurophysiologische und neuroanatomische Befunde). Insofern sind die oben beschriebenen Störungsbilder sowohl durch somatisch/neurologische als auch psychologisch/psychiatrische Symptome gekennzeichnet, die durch entsprechend kombinierte Aufgabenstellungen und Zielvorgaben verbessert bzw. gelindert werden sollen.

Fidelity Measures (Parham et al. 2007b und 2011)

Zur Sicherstellung eines konzeptkonformen methodischen Vorgehens bei der Therapie selbst wurden von Parham et al. (2011) sog. fidelity measures definiert. Diese beziehen sich u.a. auf die Qualifikation der Therapeutinnen, die spezielle Befunderhebung und Tests zur Indikation und Verlaufskontrolle der Therapie, die Ausstattung mit speziellen Therapiematerialien zur sensorischen Auseinandersetzung und den Umgang mit Eltern und u.a. Bezugspersonen sowie Hinweise für die konkreten schrittweise einzusetzenden sensorischen Anforderungen an das Kind zur Verbesserung der motorischen und Verhaltensantwort. Viele geforderte Voraussetzungen gelten auch für die Ergotherapie allgemein, d.h. für alle anderen Interventionen. Es sollen mit dem Kind zusammen Art und Schwierigkeit der weitgehend selbstständig zu bewältigenden Aktivitäten ausgewählt werden. Hierdurch und durch ein vernünftiges Feedback wird die intrinsische Motivation gefördert. Kreativität und Fantasie der Therapeuten sind gefordert, und die Mitarbeit der Familie/ Umgebung außerhalb der Therapie ist erforderlich. Vielfach kann auch eine therapeutische Kleingruppe die Motivation unterstützen.

Vestibulär-propriozeptive Funktionen

Nach dem früheren Konzept werden bei der Behandlung der vestibulären Dysfunktion -wie z.B. der Schwerkraftunsicherheit- durch spezifische vestibuläre und propriozeptive Reize mit Gerätschaften, schaukelnde Bewegungen ermöglichen und andere Stimulationen eingesetzt, um neurophysiologische Reaktionen der Rezeptoren des Vestibularisorgans hervorzurufen, die sich auf die Körperhaltung und die Extremitäten unmittelbar auswirken sollten. Nun wird die Therapie der unsicheren Körperhaltung und Gleichgewichtsregulation im Zusammenhang mit sinnvollen selbstinitiierten Aufgabenstellungen durchgeführt, die beispielsweise verbunden sind mit Stehen auf einem Bein, Balancieren, Klettern, Hindernisse überwinden usw. Ziel ist es, dass sich die Betroffenen durch die erzeugte Hemmung mit vestibulär orientierten Betätigungen tatsächlich auseinandersetzen (diese also nicht mehr meiden) und so ihre neuronalen Strukturen die dabei entstehenden sensorischen Informationen regulär verarbeiten lernen.

Vestibulär-propriozeptive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen wirken sich auch auf Muskeltonus und Körperhaltungskontrolle aus. Eine Kombination von funktionellen Übungen (Lagewechsel, lineare und drehende Bewegungen, deren Intensität langsam gesteigert wird) mit komplexeren Aufgabestellungen, wie z. B. Ballspiele, bei denen unbewusst der Muskeltonus aktiviert und

die Körperhaltung angeregt, hilft die Störung zu verbessern und geschickter zu agieren. Variabilität der Tätigkeiten, zunehmende Schwierigkeit und häufiges Wiederholen sind auch in diesem Teilbereich der Therapie wesentliche Bedingungen, um die gewünschten Ziele zu erreichen. Ein direkter kausaler Zusammenhang zwischen einem niedrigen Muskeltonus in Ruhe und fein- oder großmotorischer Ungeschicklichkeit ist allerdings nicht belegt.

Taktil-kinästhetische Funktionen

Bei der Behandlung von Kindern mit Entwicklungsstörungen wird eine Verbesserung der taktilen Wahrnehmungsfähigkeit als sehr wichtig angesehen, insbesondere bei der Kombination von Störungen der taktilen und der propriozeptiven Wahrnehmung („somatosensorische Verarbeitung“, Royeen et al. 1998) und dem Erscheinungsbild der „Taktile Abwehr“, bei der das Kind z.B. durch Aggressivität und Abwehr auf leichte Berührungen (z.B. bei der Körperpflege oder einer Liebkosung) reagiert und die oft mit vermehrter Ablenkbarkeit und erhöhter Aktivität verbunden sein soll. Dem Kind werden sensorische Herausforderungen angeboten, um sie zum aktiven Explorieren mit verschiedenen Materialien aus dem Alltag zu motivieren. Wichtigster Punkt ist dabei die Umfeldberatung und Elternarbeit. Es sollen einerseits entlastende und andererseits geschützte Möglichkeiten der sensorischen Wahrnehmungsverarbeitung genutzt werden: bei Arbeiten in Küche, im Haushalt, in der Werkstatt, im Garten oder auf dem Spielplatz usw. Auch weitere Bezugspersonen werden einbezogen und angeleitet dem Kind Möglichkeiten zur angstfreien körperlichen Aktivität zu bieten.

Praxie

Eine Störung der Praxie (Ideation, Planung und Ausführung) im Rahmen einer sensorisch-integrativen Dysfunktion soll sich vor allem bei Aktivitäten, die eine bilateral koordinierte Handlung erfordern, bei vorgeplanten (feedforward projizierten) Handlungen sowie bei feedback-abhängigen Bewegungen zeigen. Behandlungstechniken bestehen u.a. darin, Situationen zu schaffen, bei denen bilaterale Bewegungen erforderlich sind, z.B. auf einer Plattform liegend, die passiv bewegt wird, beidhändig nach Objekten zu greifen; oder sitzend sich selbst zum Schwingen bringen durch abwechselndes Beugen und Strecken der beiden Arme bzw. Objekte nach seitlich angeordneten Zielen werfen, so dass ein Überkreuzen der Mittellinie alternierend mit dem rechten und linken Arm notwendig wird. Weitere Behandlungstechniken sind z.B. Fangen und Werfen von Bällen oder Seilspringen, um vorausgeplante Bewegungen üben zu können. Auch Techniken, welche die zeitli-

che und die räumliche Genauigkeit fördern sollen, wie z.B. aus der eigenen Bewegung heraus ein Ziel zu erreichen oder nach sich bewegenden Zielobjekten zu greifen u.a.m. kommen zum Einsatz. Zur Förderung der Ideation werden Aufgaben gestellt, die selbständig ohne jede Handlungsanweisung gelöst werden müssen. Inwieweit mit diesen speziellen therapeutischen Techniken im Einzelnen eine spezifische Wirkung erreichbar ist oder ob sie neurophysiologisch begründet sind, spielt eine untergeordnete Rolle, da sie in sinnvolle Betätigungen eingebunden und vom Kind freudig akzeptiert werden sollen.

Fazit

Unter dem Eindruck der neuen Erkenntnisse zur Verarbeitung sensorischer Informationen bzw. Signale bis hin zur eigentlichen Wahrnehmung wurden sowohl das Konzept der sensorischen Integration und die Nosologie „adaptiert“. Insbesondere die Zielsetzung bei der therapeutischen Intervention wurde geändert. Wie bei der Ergotherapie inzwischen allgemein akzeptiert, orientieren sich die Behandlungsziele nicht an den möglicherweise zugrundeliegenden Störungen, sondern an relevanten Beeinträchtigungen bei alltäglichen Betätigungen, die sich negativ auf Selbstständigkeit und die Teilhabe in Familie, Kindergarten, Schule oder peer-groups auswirken. Angestrebt werden die wichtigsten Ziele der Ergotherapie: den Patienten zu helfen, so eigenständig wie möglich die alltäglichen Aufgaben zu bewältigen, um eine größtmögliche Selbstständigkeit zu erreichen, d.h. zu lernen ihre Schwächen und Defizite zu kompensieren, die Stärken zu erkennen und das Selbstwertgefühl zu entwickeln. Individuelle Ziele sollen mit Hilfe des bio-psycho-sozialen Modells des ICF auch unter Berücksichtigung von Umweltfaktoren definiert werden.

Im Gegensatz zu den 2002 kritisierten Therapieinhalten, -techniken und -zielen soll nach den heutigen Vorstellungen der SI-Therapie, soll bei Kindern mit eingeschränkter Handlungskompetenz bei wichtigen Tätigkeiten und/oder mit erheblichen Verhaltensstörungen, zunächst ein Interventionsplan mit der Familie/ Kindergarten/ Schule (dem unmittelbaren Umfeld) erarbeitet werden, um eine Mischung von direkter Therapie, Beratung des Umfeldes bzw. Coaching zu vereinbaren. Dann sollen Tätigkeitsprofile erstellt werden, um daraus die Behandlungsziele (Nah- und Fernziele) abzusprechen. In der Therapie sollen die wesentlichen Probleme bei der Motorik, der Handlungsplanung oder dem Verhalten im Mittelpunkt stehen. Das Kind soll angehalten werden, möglichst eigenständig zu handeln und Aufgaben zu lösen, die auch für sich selbst Alltag nützlich sind. Im Vordergrund stehen die Aufmerksamkeit zu fokussieren und lernen, ausdauernd zu arbeiten. Ein funktionelles Üben bestimmter Handlungen im Sinne sensomotorischer Übungsbehandlungen wird ver-

mieden. Dagegen sollen bei bestimmten alltagsrelevant und lebenspraktischen Aufgabenstellungen, die für das Kind sinnvoll sind und ihm im Idealfall zugleich Freude bereiten, unbewusst die Wahrnehmungsverarbeitung gefördert werden, wie z.B. Zeichnen einer Figur oder Malen eines Bildes mit Papier und Bleistift, konstruktives Bauen und Werken mit entsprechenden Werkzeugen, An- und Ausziehen oder Vorbereiten von Essen (Brot streichen u.a.) sowie Üben von grobmotorischen Tätigkeiten wie Radfahren usw.

Einschub

Einige Kernaussagen, die vom SI-Leitungsteam des DVE für die Therapie formuliert wurden, stehen für die aktuellen Vorstellungen zum therapeutischen Prozess (persönliche Mitteilung):

Vielfältig angereicherte sensorische Angebote im Kontext bedeutungsvoller Aktivitäten ermöglichen neuroplastische Veränderungen bzw. neuronales Wachstum; sie fördern die kindliche Entwicklung und das Verhalten. Insbesondere ein Angebot von sensorischen Reizen/Input in Verbindung mit unterschiedlichen sensorischen Reizen/ Input ist eine vielversprechende und effektive Interventionsstrategie. Jedoch findet diese komplexe Zusammenarbeit und Integration nur dann statt, wenn die jeweilige Aktivität oder Betätigung es erforderlich macht. Bei einfachen Aufgaben, zu deren Bewältigung nur eine sensorische Modalität benötigt wird, findet keine Vernetzung und Integration statt. Es ist wichtig, auch die planerischen Herausforderungen verbunden mit einer bestimmten Aktivität zu aktivieren, da diese direkte Auswirkungen auf die Wahrnehmungsverarbeitung und motorische Leistungen zu haben scheinen.

Wirksamkeitsnachweise und Effektstudien

Bei zahlreichen Einzelbeobachtungen und Erfahrungsberichten von Ergotherapeuten und Ärzten wird über positive Effekte der Sensorischen Integrationstherapie auf die motorische Geschicklichkeit und die Körperhaltungskontrolle berichtet. Auch sekundäre Verhaltensstörungen wie z.B. Ängstlichkeit und Unsicherheit oder Schwierigkeiten im Umgang mit anderen Kindern lassen sich diesen Erfahrungsberichten nach verbessern. In der Regel finden sich aber weder wesentliche Effekte auf die Aufmerksamkeits- und Konzentrationsstörungen bei hyperaktiven Kindern noch auf die fein-, grapho- und visuomotorischen Koordinationstörungen bei Kindern mit DCD. Eine unmittelbare Verbesserung der Lernerfolge ist nicht zu erwarten. Im Gegenteil besteht das Risiko, bei Kindern mit primären kognitiven Defiziten zu lange auf andere Förder- und Therapiemaßnahmen zu verzichten.

Bewertung der Effektstudien

Therapieeffektstudien müssen aber den wichtigsten methodischen Kriterien genügen, die von CONSORT zur Planung und Beurteilung von randomisierten, kontrollierten Studien festgelegt wurden (www.consort-statement.org). Aber selbst bei diesen „RCT-Studien“ gibt es eine Reihe von Problemen, welche die Ergebnisse in Frage stellen können. Notwendig sind zwei Vergleichsgruppen zur Therapiegruppe, von denen eine den Spontanverlauf (d.h. ohne jegliche Interventionsmaßnahme) repräsentiert. Die Kontrollgruppe muss mit einem therapeutischen Programm versorgt werden, das nur in wenigen, spezifischen Punkten von dem zu prüfenden Therapie-Programm abweicht. Ein Vergleich mit Kindern, die weiterhin ihre übliche Routinebehandlung genießen, erlaubt keine Aussage zur spezifischen Wirksamkeit des zu prüfenden Therapie-Programms bzw. -verfahrens. Wünschenswert ist eine dritte Vergleichsgruppe, nämlich eine Kontrollgruppe ohne jegliche Interventionsmaßnahme (Spontanverlauf), deren Probanden zu der Therapiegruppe nicht nur nach basalen Variablen wie Alter und Geschlecht parallelisiert sind, sondern auch nach dem Entwicklungsalter jedes Therapiegruppenteilnehmers. Es ist auch nicht sinnvoll, z.B. zwischen SI-Therapie und einem lediglich auf Malen und Basteln reduzierten Therapieprogramm zu vergleichen, wie z.B. in der Studie von Miller et al. 2007b. Oft begnügen sich die Autoren mit Tests, die auf die Therapieinhalte und die Ziele fokussiert sind. Ohne zusätzliche Untersuchung zu den Auswirkungen auf den Alltag in Elternhaus und Kindergarten oder Schule ist der gemessene Therapieeffekt oft wenig aussagekräftig. Zur Bewertung der Wirksamkeit bestimmter Interventionsprogramme sind Metaanalysen sinnvoll, die ebenfalls nach methodisch festgelegten Kriterien erfolgen müssen. Beispielhaft erfolgte dies bei einer Studie zur Wirksamkeit kognitiver Trainingsprogramme, mit dem Ergebnis, dass keine signifikanten Effekte zu finden waren, wenn in den Kontrollgruppen vergleichbare, aber unspezifische Interventionen angeboten wurden (Karch et al. 2013).

Bewertung von Effektstudien bis 2007

Studien zur Wirksamkeit wurden vorwiegend bei Kindern mit abnormer oder auffälliger psychomotorischer Entwicklung und Verhaltensstörungen aber auch bei Kindern mit CP vorgelegt. Drei Studien (Vargas u. Camilli 1999, Humphries et al. 1992 u. 1993) wurden in der Stellungnahme von 2002 bereits beschrieben. Auf Grund der Studienlage wurde die SI-Therapie als Behandlungskonzept in der Leitlinie UMEF (Reg. Nr. 022-017, Stand 2011) nicht empfohlen.

Vargas u. Camilli (1999) haben eine Metaanalyse über 26 kontrollierte Studien zur Evaluation der Sensorischen Integrationstherapie, die seit 1972 publiziert worden sind, vorgelegt. In Studien, die einen Vergleich zu anderen Behandlungsmethoden zogen, zeigte sich kein signifikanter Unterschied. Dagegen konnte im Vergleich zu nicht behandelten Kindern im Durchschnitt ein signifikanter Effekt gefunden werden (Effektstärke 0.29). Bemerkenswert dabei ist, dass eine Effektstärke von 0.6 in den Studien nachweisbar war, die 1972 bis 1982 durchgeführt wurden, und von nur 0.03 (d.h. kein Effekt) bei späteren Studien!

Der Unterschied konnte aus den vorliegenden Daten nicht erklärt werden, allerdings wurden bei den 15 Studien in der Zeit von 1972-1982 nur sehr kleine Patientenkollektive behandelt: maximal 12 in einer Studie und weniger als 6 in 10 Studien. Die Studien unterschieden sich auch in der Dauer und Intensität der Behandlung, in der Auswahl der Patienten, die z.T. sehr heterogen waren, und in der Art der alternativen Förderung und Behandlung, die teilweise nicht exakt definiert wurde (z.B. "physical education", "tutoring", "perceptual motor therapy"). So bestanden z.B. bei den Kindern in der kontrollierten Studie von Wilson et al. (1992), bei der auf möglichst homogene Eingangskriterien geachtet worden war, nur geringe Symptome von Hyperaktivität und Aufmerksamkeitsstörungen, so dass in beiden Gruppen keine Besserung erwartet werden konnte. In derselben Studie übten die Tutoren in der Kontrollgruppe schulische Fertigkeiten (Lesen und Schreiben) und förderten die Visuomotorik mit schulnahen Aufgabenstellungen, während in anderen Studien vorwiegend eine perzeptuo-motorische Förderung erfolgte.

Erstaunlich ist weiterhin, dass sich in den älteren Studien die Effekte gerade nicht im Bereich von Sensorik und Perzeption (visuelle Wahrnehmung, Visuomotorik, Praxie sowie propriozeptive und vestibuläre Funktionen) zeigten, sondern im motorischen Bereich und in schulischen Lernerfolgen; letztere waren auch das Ziel der Behandlung. Damit wird auch plausibel, warum in Studien, in denen die Effekte im Vergleich mit anderen Behandlungsmethoden geprüft wurden, keine signifikanten Unterschiede gefunden wurden. Offensichtlich handelt es sich überwiegend um unspezifische bzw. indirekte Behandlungseffekte evtl. infolge einer größeren Selbstsicherheit oder besseren Arbeitshaltung (z.B. zielsicheres Aufgabenlösen oder größere Ausdauer).

Die Metaanalyse von Vargas und Carmilli wurde aufgrund der guten Methodik stellvertretend dargestellt für die weitere Übersichtsarbeiten, die in die ursprüngliche Stellungnahme nicht einbezogen wurden von: Hoehn und Baumeister (1994), Kaplan et al. 1993, Arendt et al (1988) Schaffer (1984) und Ottenbacher (1982). Sie kamen zu dem gleichen Ergebnis, wobei die analysierten Stu-

dien verschiedene Mängel aufwiesen: methodisch nicht ausreichend geplant, Therapieindikation ohne Berücksichtigung der sensorischen Auffälligkeiten oder Einsatz unterschiedlicher Variationen der SI Therapie.

Humphries et al. (1992, 1993) führten die umfassendste Studie bei 103 Kindern im Alter zwischen 5-8 Jahren durch, von denen 35 eine SI-Therapie, 35 eine perzeptuomotorische Behandlung (d.h. Training klinisch relevanter motorischer Fertigkeiten) und 33 keine spezielle Behandlung erhielten. Nach 72 Therapiestunden (3x/Woche) zeigten sich zwischen den beiden Behandlungsgruppen wenige signifikante Unterschiede bei der Prüfung mit dem SCSIT (Southern California Sensory Integration Tests), einem Test zur Überprüfung der grobmotorischen Koordination (nach Bruininks-Oseretsky) und einem Test zur Untersuchung der Visuomotorik (VMI) sowie bei spezifischer klinischer Beobachtung. Die SI-Therapiekinder zeigten bessere Fertigkeiten in der motorischen Planung und die PM-Therapiekinder in der grobmotorischen Koordination. Die Verbesserung der motorischen Koordination führte aber nicht zu besseren Resultaten bei der Überprüfung von kognitiven, akademischen und sprachlichen Fähigkeiten sowie der Aufmerksamkeit und Konzentration (WISC-R, K-ABC, CPT u.a. Tests). Die Unterschiede zu den nichtbehandelten Kindern waren dagegen signifikant. Wurden die Kinder nach klinischen Kriterien im Hinblick auf Funktionsstörungen von Ergotherapeuten beurteilt (Humphries et al. 1993), ergaben sich wiederum keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Behandlungsgruppen; dies galt auch für eine Untergruppe von Kindern mit deutlichen Hinweisen auf vestibuläre Störungen.

Bundy AC et al. (2007).

In der Studie wurden einerseits die Beziehung zwischen sensorischen Verarbeitungsstörungen (mittels SSP) sowie Funktionsstörungen der somatosensorischen Wahrnehmung (mittels SIPT) dem Spielverhalten untersucht, andererseits die Effekte einer definierten sensorischen Integrations-Therapie auf das Spielverhalten bei 20 Interventionsstunden. Verglichen wurden 20 normal entwickelte Kinder mit 20 Kindern, die sensorische Modulationsstörungen (SPD) aufwiesen und bei denen die Interventionen erfolgten. Das Spielverhalten der Gruppen mit normal entwickelten Kindern war signifikant besser, als das der Kinder mit Modulationsstörungen. Dabei korrelierte allerdings die sensorische Modulationsstörung eindeutig negativ mit dem Spielverhalten, das sich nach der Interventionsphase aber nicht besserte, dagegen nicht die Wahrnehmungsfunktionsstörungen. Das unerwartete Ergebnis wurde von den Autoren auf den Ausgangsbefund einer überraschend großen

Spielfähigkeit der Kinder als Folge eines Deckeneffektes interpretiert. Methodische Mängel waren u.a.: kein systematisches matching bei der Gruppenzuteilung, soziale Daten der Familie wurden nur z.T. erfasst, keine Angaben zur Verblindung der Untersucher, keine Powerberechnung.

Bumin et al. (2001)

Es wurden N=41 Kinder im Schulalter (mittl. Alter 7 – 7,5 Jahre) mit Spastischer Diplegie (CP), bei denen Sensorischen Störungen (einschl. visuomotorisch) nachgewiesen wurden, behandelt. Die Untersuchung erfolgte mit dem SCSIT. Außerdem wurde eine Physical Ability Test (PAT) durchgeführt. Behandelt wurde mit einem sensorisch-perzeptuellem Training (SPM-training): Aktivierung somatosensorischen Systeme z.B. Schwimmen und Abtrocknen, Schubkarren fahren; Aktivierung der Körperwahrnehmung und des vestibulären Systems mit zunehmendem Schwierigkeitsgrad.

Die Kinder wurden in drei Gruppen aufgeteilt:

- Gruppe 1: IND (N=16). Individuelles Training
- Gruppe 2: mit 4 Sub-Gruppen (je N=4) mit Gruppentrainings
- Gruppe 3: Kontrollgruppe (N=9) mit SPM „Home-Programm“ ohne spezielle Therapieeinheiten.

Die Einteilung erfolgte angeblich randomisiert. Die Behandlungsintensität und Dauer betrug 3 Mon) lang 3x/Woche 1,5 Std (- kein SI-ET!)

Ergebnisse:

Beim Vergleich Pre-post Intervention zu zwei Messpunkten: Nach der Therapiephase und zur Nachphase jeder Gruppe ließen sich in Gruppe 1 und 2 ähnlich gute Effektstärken nachweisen, die im Einzelnen errechnet wurden, vor allem aber in den taktil-kinästhetischen Items und in den Physical Ability Tests (max. 7.06, min.0.41). Geringer oder kein Effekt fand sich bei der Kontrollgruppe. Es wird festgestellt, dass die individuelle Auswahl der Therapieziele nicht zu besseren Ergebnissen führt, wie die weniger individualisierbare Gruppentherapie.

Limitationen: Keine Verblindung bei der Randomisierung und bei der Auswertung. Keine Angaben zum Schweregrad der spastischen Diplegie. Keine Angaben zu den Ausgangswerten im SCSIT und zu evtl. alltäglich relevanter Symptomatik vor und nach der dreimonatigen Therapie.

Effektstudien ab 2007 unter Berücksichtigung der Fidelity Kriterien nach Parham et al. (2007b)

Die Bewertungen der neueren kontrollierten Effektstudien sind in Tabelle 1 im zusammengefasst. Ausführlich beschrieben werden im Anhang die fünf methodisch guten, kontrollierten RCT-Studien. Drei Studien betreffen Kinder mit Autismus Spektrum Störungen (ASS), eine Studie Kinder mit ADHS und SMD und eine Kinder mit Intelligenzminderung. Bei allen fanden sich methodische Mängel, so dass keine Studie dem Level 1 a nach Oxford entsprach. Mittlere bis große Effektstärken ergaben sich bei den ASS jeweils bei Teilbereichen, die speziell als Therapieziele formuliert wurden. Kein ausreichender Effekt auf die sensorische Verarbeitung konnte bei Kindern mit ADHS im Gegensatz zu Kindern mit Intelligenzminderung nachgewiesen werden. Zwei Studien bei Kindern mit ASS sind auch in der Übersichtsarbeit von Case-Smith enthalten.

Case-Smith et al. (2014)

Die Übersichtsarbeit betrifft 19 Effektstudien mit sensorischer Integrationstherapie (SI-ET) und mit sensorisch basierten Interventionen (SBIs) bei Kindern mit Autismus Spektrum Erkrankungen. Von den 5 SI-ET Studien sind nur 2 randomisiert und kontrolliert (Pfeiffer und Schaaf). Eine verglich SI-ET mit normaler ET (Schaaf et al. 2014), eine SI-ET zu einem Training der Feinmotorik (Pfeiffer et al. 2011). Diese Studien richteten sich nach den Fidelity Kriterien von Parham 2007b bzw. 2011 (Bewertung s.o. und Tabelle). Signifikante Effekte der SI-ET konnten nur in den GAS Skalen dokumentiert werden.

Studien, bei denen eine sensorisch basierte Therapie eingesetzt wurde, waren entweder methodisch mangelhaft oder erbrachten keine ausreichend abgesicherten Effekte oder hohe Effektstärken auf die SPD oder ASD Symptomatik. Der Unterschied zwischen SI-ET und sensorisch basierter ET wird detailliert in der Publikation beschrieben. Bei lediglich sensorisch basierten Therapien wurden eindimensionale Techniken eingesetzt. Die Kinder wurden z.B. während des Unterrichts vestibulär durch Therapiebälle und Schaukeln oder durch verschiedene taktile Reize (Reiben und Bürsten u.ä.) stimuliert oder trugen gewichtsverstärkte Westen mit dem Ziel, die Aufmerksamkeit zu verbessern. Da keine kontrollierten Studien zu dem Effekt der revidierten Form der SI Therapie bei Kindern mit DCD vorliegen, wird auch in der überarbeiteten S3 Leitlinie UMEF (in Vorbereitung) keine Empfehlung für den Einsatz der SI-Therapie ausgesprochen.

Fazit zur sensorische Integrationsstörung und sensorischen Integrationstherapie

Die aktuelle SI-Therapie unter Berücksichtigung der Fidelitykriterien, wie sie u.a. in den Seminaren des DVE und der GSID vermittelt wird, ist eines von mehreren Konzepten der Ergotherapie. Sie kann eingesetzt werden, wenn die klinische Symptomatik mit Beeinträchtigung motorischer und psychosozialer Funktionen im Alltag das Bestehen von sensorischen Verarbeitungsstörungen wahrscheinlich macht. Tests wie z.B. TSFI, SP, SPM oder SIPT können aufgrund unzureichender Gütekriterien nicht zur Indikationsstellung beitragen. Es ist sinnvoll, alltagsrelevante Nahziele in der Behandlung festzulegen und bei mangelndem Erfolg das Behandlungskonzept zu verändern.

Entscheidend für diese Einschätzung und daher die Revision der Stellungnahme der GNP von 2002 sind folgende Gründe:

- Anpassung der theoretischen Grundlagen an den aktuellen Wissensstand der Entwicklungsneurologie und -psychologie.
- Bestätigung der Annahme einer erheblichen Neuroplastizität insbesondere bei der intermodalen Adaptation im Rahmen des Verarbeitungsprozesses sensorischer Reize im Kortex und Subkortex bis hin zu Entscheidungsprozessen („decision making“, siehe Abschnitt“ Wahrnehmungsprozesse“), die durch die Studien von Koziol, Roth, Zschorlich und anderen Autoren mit unterschiedlicher Methodik nachgewiesen sind.
- Überlegungen von Schmahmann et al. zur Korrelation psychischer Symptomatik bei Störungen zentraler Regelkreise.
- Änderung des therapeutischen Vorgehens. Die Zielsetzung ist nicht mehr prozess-orientiert, sondern aufgaben-orientiert. Diese Therapieform kann indiziert sein, wenn erhebliche für den Alltag relevante somatische Symptome oder psychische Probleme bestehen, die wahrscheinlich mit einer Störung der Verarbeitung und Wahrnehmung von Sinnesreizen verknüpft sind. Die Besserung dieser Probleme ist das Ziel. Die Indikation wird nicht durch Befunde der Testverfahren begründet.
- Es wurden Verlässlichkeitskriterien für eine „richtige“ sensorische Integrationstherapie entwickelt, die beachtet werden müssen, selbst wenn die meisten Kriterien nicht nur für die SI-Therapie gelten.

Tabelle 1: Bewertung der kontrollierten Effektstudien für SI-Ergotherapie (nach den Fidelity Kriterien von Parham et al. 2007b u. 2011).

Bewertung der Studiengültigkeit nach PEDro (Verhagen et al. 1998) und analog zum Evidenzlevel nach der Oxfordklassifikation (GRADE Working Group 2004 und Oxford centre for evidence-based medicine 2009). Daten teilweise nach Söchting (2012) und Case Smith (2014).

Studie/ Design	Probanden (N) Symptomatik	Messinstrumente u. Therapieziele	Interventionen	Ergebnisse	Limitationen/ Kritik
Miller et al. 2007b RCT, Oxford Ib, PEDRro 6/10	N=24; 6-7 Jahre. SMD bei ADHS, Angst- u. Lernstörung. Randomisierte Auftei- lung	Hauptziele (1)Alltagsbewältig- ung, Aufmerk- samkeit u. Sozial- verhalten (2)Sensor. Verar- beitung Messinstrumen- te: GAS, VABS-2, SSP, CBCL, Leiter- R Skalen, EDR	2Std/Wo über 10 Wochen: ExpGr. (N=7) SI- ET und Einbezie- hung Eltern KontrGr.1 (N=10) Aktivitätspro- gramm („table top activities“, keine Elternbe- ratungen) KontrGr.2 (N=7) Keine Behandl.	Verhaltens- auff. und Ängste besser- ten sich ($p < 0,03$ und $p = 0,01$) sowie kognitiv/sozial ($p = 0,02$) ExpGr. besserte sich signifikant im Vergleich zu beiden Kontr.Gr. bei Therapieziel (1) Effekt- stärken: GAS $d = 1,6$; Auf- merksamkeit $d = 0,29$ dagegen nicht signifikant bei Ziel (2)	Unvollst. Verblin- dung, kleine Teil- nehmerzahl für drei Gruppen (kei- ne Powerberech- nung), keine signi- fikante Besserung der sensorischen Verarbeitung. Da- her evtl. keine spezifischen SI Effekte.
Wuang et al. 2009 RCT, Oxford II, PEDro 6/10	N=160, 7-8 Jahre, leichte mentale Retar- dierung (IQ50-70). Randomisierte Auftei- lung in vier Gruppen.	(IQ Test), TSFI, BOTMP, VMI Hauptziele diffe- renziert nach Art der Intervention 1) Sensomoto- rik (Psycho- motorik und SI-ET) 2) Funktionale Bewe- gungsmuster (NDT) 3) Komplexe Leistun- gen/Praxie (SI-ET)	3 x1Std/Woche während 40 Wochen: KontrGr. (N=40), ohne Therapien ExpGr.1 (N=40) SI-ET ExpGr.2 (N=40) Psychomotorik, ExpGr.3 (N=40) NDT	Bei SI ET Gruppe signifi- kante Verbes- serung im Vergleich zur Kontrollgruppe in bilat. Koor- dination, Armkoordin- ation, visuelle Perzeption und SI - Funk- tionen (mit Effektstärken = 0.8 bis 1.9), diese Leistun- gen besserten	Unvollständige Randomisierung, Outcome Kriterien für ET (Fein- und Visuomotorik , sen- sorische Diskrimi- nation u.as.) sind nicht zur Messung von Effekten der NDT geeignet. Die Ergebnisse sprechen für eine individuelle Aus- wahl der Therapie- konzepte und- ziele entsprechend

				sich auch bei Psychomot. – Kontroll-Vergleich signifikant (mit mittleren Eff.stärken=0.8 bis 1.2) dagegen bei NDT nur Bilat Koord., Kraft, Balance und Arm Koordination (Eff.stärke 0.46 bis 0.88) , gemessen mit BOTMP. Sensorische Diskrimination besserte sich nur bei SI Gruppe (Eff.stärken 0.6 bis 0.9) gemessen mit TSFI	der diagnostizierten Symptome.
Pfeiffer et al. (2011) RCT, Oxford Ib, PEDro 6/10	N=37, 6 -12 Jahre Autismusspektrumstörungen mit SPD Randomisierte Aufteilung	GAS (Sensorische Verarbeitung und sozio-emotional, Eltern u. Lehrer), SPM, SRS (Social Responsivness), VABS-2 Hauptziele: 1) Alltagsbewältigung (Selbstregulation, Sozialverh. und Feinmotorik) (2) Autistisches Zwangsverhalten	3X45 Min./Woche über 6 Wochen KontrGr. (N=17) feinmotorische Therapie (2)Exp.Gr. (N=20) SI-ET	Exp. Gr. verbessert sich signifikant im Vergleich zur KontrGr. Bei GAS (Eltern p=0,05), Lehrer (p=0,01): Effektgröße r=0,360 und bei SRS Manierismenskala (p=0,05) kaum: Effektgröße nur r=0,131 Keine sign. Besserung beim SPM	Einfache Verblindung, keine Powerberechnung, Kontrollgruppe nur Feinmotorische Therapie. Empfohlen wird, entsprechend den Ergebnissen bei GAS, möglichst individualisierte Therapieziele festzulegen
Schaaf et al. (2013 bzw.2014) RCT, Oxford I, PEDro 8/10	N=32, 4-8 Jahre, Autismusspektrumstörungen mit SPD Randomisierte Aufteilung	Hauptziel: Alltagsbewältigung GAS (mit unabhängigen Personen vereinbart), PEDI,VABS-2,PDDBI	3 Std/Woche über 10 Wochen ExpGr. (N=17) SI-ET insbesondere Förderung von interaktivem Verhalten. KontrGr. (N=15) Standardversor-	Signifikante Verbesserungen bei GAS: P=0,003, Effektstärke d=1,2 Bei alltägl. Selbstversorgung: p=0,008) Im Sozialver-	Methodisch gut geplante Studie, bei der die Therapien auf die sensorischen Probleme zugeschnitten wurde. Fördermaßnahmen („usual care“) bei der Kontrollgruppe

			gung mit tradit. ET	halten: $p=0,04$, Effektstärke $d=0,7$ Keine Besserung im autistischen und adaptiven Verhaltensweisen (PDDBI und VABS).	nicht ausreichend beschrieben sind (sprachlich, lern- und Verhaltensprogramme).
Khobdabakshi et al. (2014) RCT, Oxford Ib/II PEDro 5/10	N=24, 6-12 Jahre, Autismusspektrumstörung Randomisierte Aufteilung Messungen Prae- und Postintervention sowie 2 Monate Nachbeobachtung (follow-up)	Hauptziele (1) Sozialverhalten, (2) Sensorik (mot, takt, vis, audit.) Sensory Performance Scale (SPMS, aus Conners Neuropsychological Performance Scale) Social interaction Scale aus Gilliam Autism Rating Scale (SIS, GARS-2)	4x/Woche an 25 Tagen (insges. 100 Std) KontrGr. (N=12) Routineversorgung in Autismuszentren, wie bisher ExpGr. (N=12) SI-ET : Sensorik, Angepasste Reaktionen und Modifikation Umweltbedingungen und ausführliche Aufklärung der Eltern.	Vergleich Prae-Postintervention und Langzeitverlauf (bis 2 Monate). Signifikante Verbesserung (jeweils im Vergleich zur KontrGr.) der sozialen Interaktion bei Exp Gr. $p=0,001$ und bei der sensomotor. Performance $p=0,001$ (Effektstärke:1,29) (der Besserungseffekt blieb im follow-up erhalten) KontrGr. Ohne signifikante Verbesserung Effektstärke $d=0,27$	Sehr lange Therapie- und Beobachtungszeitraum; Vergleich mit üblicher Routineversorgung ohne zusätzliche Aktivitäten mit vergleichbarer Zuwendungszeit. Subj. Messungen mittels Fragebogen an die Eltern. Keinerlei Verblindung Unklare Quellenangabe zu den Messinstrumenten.

ANHANG

Miller et al. (2007b).

Ziel der Studie war es, die Effekte von zwei unterschiedlichen Therapiekonzepten bei Kindern mit sensorischen Modulationsstörungen zu vergleichen. 24 Kinder erhielten SI-ET oder eine Therapie nach einem unspezifischen Aktivitätsprotokoll oder keine Therapie. Die Gruppen- Zuteilung erfolgte randomisiert nach sozialen Kriterien und Alter. Die Diagnose SMD gründete sich auf das Ergeb-

nis von mehreren Tests (SIPT, Test für das Vorschulalter nach Miller, SSP, Verhaltensbeobachtung während der Therapie u.a.). Vor- und Nachtherapievergleich erfolgte durch folgende Tests: Leiter Scale, SSP, Vineland, CBCL und GAS. Die SI-ET erfolgte zweimal/Woche über 10 Wochen nach dem Konzept von Ayres. Die Eltern wurden informiert und angeleitet im Umgang mit ihrem Kind und seiner Förderung (SI-ET Anleitung: "Guided by the parents' priorities for their child, the goal is improving the child's sensory responsivity, social behavior, motor competence, and participation in meaningful occupations."). In der Kontrollgruppe umfasste das Aktivitätsprotokoll „table-top play activities“ (Papier-Stiftaufgaben, Puzzles, Tischspiele und interaktive Spiele) und keinerlei Information und Unterstützung der Eltern. Offensichtlich wurde auf grobmotorische Aktivitäten verzichtet.

Ergebnis:

Signifikante Fortschritte wurden in der SI-ET Gruppe im Vergleich zur Activity Gruppe erzielt im kognitiv/sozialen Bereich (Leiterscale), im Bereich Internalisierung des CBCL und der Goal Attainment Skala, dagegen nicht im SSP. Zufällig (?) besserte sich der Bereich Externalisierung im CBCL in der passiven Kontrollgruppe im Vergleich zur SI-ET Gruppe. Kommentar: Gut geplante Studie mit methodischen Mängeln, die auch diskutiert werden: Keine sichere Verblindung, keine Powerberechnung, wenig Studienteilnehmer und ohne klare Hypothesenbildung. Die Therapiekonzepte unterscheiden sich deutlich, so dass das Ergebnis im Bereich sozial/kognitiv oder Internalisierung bzw. Externalisierung evtl. als unspezifische Folge der Therapie angesehen werden kann. ET ohne Einbeziehung der Eltern ist sinnlos.

Wuang et al. (2009)

Verglichen wurden die Effekte von SI-ET, NDT und Perceptual-motor Approach (P, Zitat: „unlike SI and NDT, no effort was made to control the degree or variety of sensory inputs in performing PM training activities. Nor were the inhibitory or facilitatory handling techniques directly incorporated.“) bei 120 Kindern mit leichter mentaler Retardierung (50 – 70 IQ nach Wechsler). 40 Kinder bildeten die Kontrollgruppe. Randomisierte Gruppenzuteilung. Vor und nach der Therapiephase (je eine Stunde an drei Wochentagen über 40 Wochen, aber keine häuslichen Aufgabenanforderung) wurden die Kinder getestet ohne Kenntnis des Therapiekonzeptes.

Ergebnis. Die Behandlungsgruppen besserten sich bei den drei Therapiegruppen signifikant vs. Kontrollgruppe. Die PM Gruppe zeigte bei der Grobmotorik und die SI-ET Gruppe bei der Feinmotorik bei den SI Funktionen. Relativ gering waren die Effekte in der NDT Gruppe.

Kommentar:

Aus klinischer Sicht sehr gut durchdachte Studie: Vergleich SI-Therapie mit zwei anderen Therapiemethoden. In Bezug auf die Fragestellung „was bringt Et-SI-Therapie im Vergleich zu „normaler“ ET?“ ist allerdings keine Aussage möglich. Es fehlt eine ideale Randomisierung und die Powerberechnung. SI-Therapie erfolge nach Parham. Da bei NDT großmotorische Aktivitäten, aber auch Malen, Schereschneiden gefördert wurden ist die signifikante Besserung erklärlich. PM Gruppe erhielt fein- und grobmotorisches Training ohne Beachtung der damit verbundenen sensorischen Reize/Inputs.

Die Ergebnisse

sprechen für eine individualisierte Wahl der Therapiekonzepte und -techniken.

Es bleibt die Frage offen, wie die Autoren selbst feststellen, in wieweit sich die funktionellen Verbesserungen auf den Schulerfolg oder das täglich Leben auswirken.

Pfeiffer et al. (2011)

Vergleichende Effektstudie bei 37, 6-12 Jahre alten Kindern mit ASD und sensory processing disorder, entweder mit SI-ET nach Parham (2011) oder nur mit feinmotorischer Therapie - Ohne

grobmotorische Aktivitäten - (8 Sitzungen während 6 Wochen). Zuteilung randomisiert Messinstrumente: GAS (Ziele in Absprache mit den Eltern: „sensorische Verarbeitung, motorische Fertigkeiten und sozio-emotionale Fertigkeiten), SPM, VABS-2, Quick neurological screening test (QNST-II), Social responsiveness Scale (SPS).

Ergebnisse:

Keine Unterschiede bei SPM und bei QNST-II. Signifikante Unterschiede dagegen nach GAS entsprechend den Therapiekonzepten in den Zielbereichen Motorik bzw. autistischen Verhaltensweisen waren in der SI-ET Gruppe vs. Feinmotorische Gruppe messbar.

Kommentar: Empfohlen werden individualisierte Zielsetzungen, die auch auf die auch im häuslichen Bereich relevant sind.

Kritik: einfach verblindete Randomisierung, keine Powerberechnung, Kontrollgruppe ohne grobmotorische Aktivitäten.

Schaaf et al (2014)

Effektstudie bei 32, 4-8 Jahre alten Kindern mit ASD und SPD, die randomisiert auf 2 Gruppen verteilt wurden. Die Interventionsgruppe erhielt 30 x innerhalb 10 Wochen SI-ET protokolliert nach den Kriterien von Parham et al. (2007b) oder traditionelle ET. Messpunkte waren: GAS (von unabhängigen Personen vereinbart, PEDI (Pediatric Evakuierung of Disability Score), PDDDBI (Pervasive Developmental Disorders Behavior Inventory) und VABS (Vineland Adaptive Behavior Scales). Signifikante Besserung wurde in der SI-ET Gruppe erreicht bei GAS: Unterstützung bei der Selbstversorgung durch Betreuer sowie bei der soziale Aktivitäten. Dagegen nicht bei Messung der dafür erforderlichen Fähigkeiten des Kindes selbst.

Keine Unterschiede fanden sich im autistischen Verhalten (PDDDBI) und im Adaptiven Verhalten (VABS).

Kommentar: Sehr gut geplante Studie, mit nachvollziehbar guter, aber nicht verblindeter Randomisierung. Ohne Powerberechnung. Offensichtlich wurde in der SI Gruppe ein Anteil routinemäßiger Förderstunden ersetzt durch spezifische Interventionen (Tabelle 1: Vergleich der Routinetherapiestunden). Was konkret unter Routinetherapie zu verstehen ist, lässt sich nicht ohne weiteres feststellen. Jedenfalls wird bei Sprachtherapie, Education und Verhaltenstherapie wenig die Gesamtkörpermotorik eingesetzt, im Gegensatz zu Interventionen der SI Therapie.

Es fehlt also eine Interventionsgruppe mit vergleichbar intensiver Körpermotorik, wie sie z.B. bei der Psychomotorik stattfindet. Die Ziele bei GAS in den beiden Gruppen sind angegeben.

Fazit: wieder einmal zeigt sich die Tendenz, dass je rigoroser die methodischen Kriterien eingehalten werden, desto weniger lassen sich spezifische Effekte erkennen.

Khodabakshi et al. (2014)

24 Kinder mit Autismus Spektrum Erkrankung (ASD) im Alter zwischen 6-12 Jahren, rekrutiert aus zwei Autismuszentren in Isfahan, wurden in eine Experimental- und eine Kontrollgruppe mit je 12 Kindern aufgeteilt, randomisiert nach Geschlecht und IQ (< 70). Die Instrumente zur Effektmessung waren Fragebogen für die Eltern: SPMS (Neuropsychological Performance Scale nach Connors) und SIS (social interaction subscale der Gilliam Autism Rating Scale, GARS-2), die vor Beginn und eine Woche nach der Beendigung der Therapie sowie 2 Monate später ausgefüllt wurden. Die Sensorische Integrationstherapie erfolgte 4x/Woche insgesamt 100 Therapieeinheiten an 25 Tagen, unter Mitarbeit der Therapeuten der Zentren. Die Kontrollgruppe wurde in den Autismuszentren unverändert behandelt. Die Behandlungsziele orientierten sich nach den individuellen Bedürfnissen und das Vorgehen nach den Kriterien von Parham et al. (2007b). Hauptziele waren soziale Interaktion und Verhalten sowie die Sensomotorik (motorisch, taktil, visuelle und auditiv).

Ergebnis:

In der Exp. Gruppe besserte sich die soziale Interaktion signifikant über die drei Messzeitpunkte in der Exp. Gruppe ($p = .001$), Effektstärke (.34). Ebenso signifikante Verbesserungen (Effektstärke) der senso-motorischen Performance: (.66), motorisch (.71), Taktile (.34) dagegen keine Änderung bei visueller und auditiver Wahrnehmung. Bei über 85% der Probanden konnten die Ergebnisse geprüft werden

Limitationen:

Die intensive und langfristige Behandlung lässt vermuten, dass nicht nur SI spezifische Wirkfaktoren verantwortlich sind, sondern auch die unspezifische Auswirkung von Zuwendung und Empathie an sich. Zum Nachweis einer spezifischen Wirkung wäre ein Vergleich mit einer „Scheinthherapie“, d.h. einer zusätzlichen Beschäftigungszeit der Kontrollgruppe erforderlich gewesen. Eine Verblindung der Ergebnismessungen (durch Fragebogen an die Eltern) konnte nicht erfolgen.

Geringe Fallzahlen schränken Verallgemeinerung der Ergebnisse ein. Die Normwerte der Messinstrumente werden nicht angegeben. Die Auswirkung der gefundenen Veränderungen auf die soziale Integration im schulischen oder häuslichen Bereich bleibt unklar. Hierfür wären ICF Messkriterien sinnvoll gewesen.

Eine Stärke der Studie ist die Prüfung der längerfristigen Nachwirkung auch ohne Intervention.

LITERATUR

Arendt RE, MacLean WE, Baumeister AA. Critique of sensory integration therapy and its application in mental retardation. *American journal of mental retardation* 1988; 92(5): 401–429

Arnal LH, Giraud A-L. Cortical oscillations and sensory predictions. *Trends in Cognitive Science* 2012; 16:390-398

Ayres JA. Clusteranalyses of measures of sensory integration. *Am J Occupational Therapy* 1977; 31:362-366

Ayres J A. *Sensory Integration and Praxis Tests*. Los Angeles. Western Psychological Services 1989

Ayres JA, Marr DB. Sensorische Integrations- und Praxisteste. In: Fisher AG, Murray EA, Bundy AC (Hrsg) *Sensorische Integrationstherapie. Theorie und Praxis*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1998

Ayres JA. *Bausteine der kindlichen Entwicklung*. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1992

Battaglia FP, Benchenane K, Sirota A, Pennartz CMA, Wiener SI. The hippocampus: hub of brain network communication for memory. *Trends in Cognitive Science* 2011; 15:310-318

Bayley N. *Bayley scales of infant development—Second edition*. San Antonio TX, The Psychological Corporation 1993

Berk RA, De Gangi GA. *DeGangi-Berk Test of Sensory Integration (TSI) Manual*. Los Angeles, Western Psychological Service 1983

Borchardt K, Borchardt D, Kohler J, Kradoller F. *Sensorische Verarbeitungsstörung. Theorie und Praxis der Sensorischen Integration*. Idstein Schulz-Kirchner 2005

Borghi A M, Cimatti F. Embodied cognition and beyond: acting and sensing the body. *Neuropsychologia* 2010; 48(3), 763–773. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2009.10.029

- Brandi ML, Wohlschläger A, Sorg C, Hermsdörfer J. The neural correlates of planning and executing actual tool. *J Neurosci* 2014; 34:13183-13194
- Brown C, Dunn W. *The Adult Sensory Profile*. San Antonio Tx, Psychological Corporation 2002
- Brooks v B. *The Neural Basis of Motor Control*. Oxford, Univ Press 1986
- Buckholtz JW, Meyer-Lindenberg A. Psychopathology and the human connectome: Toward a transdiagnostic model of risk for mental illness *Neuron* 2012; 74:990-1004
- Buetfering C, Allen K, Monyer H. Parvalbumin interneurons provide grid cell-driven recurrent inhibition in the medial entorhinal cortex. *Nature Neuroscience* 2014; 17:710-718 doi: 10.1038/nn.3696; 2014
- Bumin G, Kayihan H. Effectiveness of two different sensory integration programmes for children with spastic diplegic cerebral palsy. *Disabil Rehabil* 2001; 23: 394–399
- Bundy AC, Sue S, Qui L, Miller LJ. How does sensory processing dysfunction affect play? *Am J Occup Therapy* 2007; 61:201-208
- Case-Smith J, Weaver LL, Fristad MA. A systematic review of sensory processing interventions for children with autism spectrum disorders. *Autism* 2014; 1:1-16
- Chang YS, Owen JP, Desai SS, Hill SS, Arnet AB, Harris J, Marco EJ, Mukherjee P. Autism and sensory processing disorders: Shared white matter disruption in sensory pathways but divergent connectivity in social-emotional pathways. *PLoS ONE* 2014; 9(7):e103038
- Cisek P, Kalaska JF. Neural mechanisms for interacting with a world full of action choices *Annu Re. Neurosci* 2010; 33:269-298
- Citron FMM, Goldberg A. Metaphorical sentences are more emotionally engaging than their literal counterparts. *J Cognitive Neurosci* 2014; 26:2585-2595. (doi:10.1162/jocn_a_00654)
- Cuturi LF, MacNeilage P. Optic flow induces nonvisual selfmotion after effects. *Current Biology* 2014; 24:2817-2821 doi: 10.1016/j.cub.2014.10.015; 2014
- Dieterich M. Prof. Dr. med. Ärztl. Direktorin Neurologische Klinik der LMU München, Persönliche Mitteilung 2000
- Davies PL, Tucker R. Evidence review to investigate the support for subtypes of children with difficulty processing and integrating sensory information. *Am J Occup Therapy* 2010; 64: 391-402
- Deco G, Jirsa VK, McIntosh AR. Emerging concepts for the dynamical organization of resting-state activity in the brain *Nat Rev Neurosci* 2011; 12:43-56
- DeGangi GA, Greenspan SI. *Test of Sensory Functions in Infants (TSFI)*. Western Psychological Service, Los Angeles. 1989. Zitiert aus: Eeles et al. (2013). Assessments of sensory processing in infants: a systematic review *Dev Med Child Neurol* 55: 314–326
- Deguillage A, Bass H, Schuh D, Hasselbusch A. Neurophysiologische Grundlagenforschung und deren Bedeutung für Behandlungsprinzipien des sensorisch integrativen Bezugsrahmens. *EtReha* 2012; 11: 22-28
- Derdikman D, Moser EI. A manifold of spatial maps in the brain. *Trends in Cognitive Sciences* 2010; 14:561-569
- Dugladze T, Schmitz D, Whittington MA, Vida I, Gloveli T. Segregation of axonal and somatic activity during fast network oscillations. *Science* 2012; 338:1458 -1461
- Dunn W, Westman K. *The Sensory Profile: The performance of a national sample of children without disabilities*. *Am J Occup Therapy* 1997; 51(1):25-34

- Dunn, W. *The Sensory Profile*. San Antonio TX, Psychological Corporation 1999
- Dunn W, Bennett D. Patterns of sensory processing in children with attention deficit hyperactivity disorder. *J Occup Research* 2002; 22(1): 4-15
- Dunn W. *The Infant Toddler Sensory Profile*. San Antonio Tx, Psychological Cooperation 2002
- Dunn W. *Sensory Profile School Companion*. San Antonio Tx, Psychological Cooperation 2006
- Dunn W. *Sensory Profile Supplement*. San Antonio Tx, Psychological Cooperation 2006
- Eeles A, Spittle AJ, Anderson PJ, Brown N, Lee KJ, Boyd RN, Doyle LW Assessments of sensory processing in infants: a systematic review *Dev Med Child Neurol* 2013; 55: 314–326
- Ekstrom AD, Kahana MJ, Caplan Jb, Fields TA, Isham EA, Newman EL, Fried I. Cellular networks underlying human spatial navigation. *Nature* 2013; 425:184-188
- Eschbour A, Funck M, Jantsch K, Majerus C. Wissenschaftliche Evidenz für die Wirksamkeit des sensorisch-integrativen Therapieansatzes bei Kindern. *EtReha* 2013; 1:23-27
- Esposito MS, Capelli P, Arber S. Brainstem nucleus MdV mediates skilled forelimb motor tasks. *Nature*; 508:351-356 doi:10.1038/nature13023
- Fisher AG, Bundy AC. Vestibular stimulation in the treatment of postural and related disorders. In: Payton OD, Di Fabio RP, Paris SV, Protas EJ, VanSant AF (eds) *Manual of Physical Therapy Techniques*. New York, Churchill 1989
- Fisher AG. Defizite der vestibulär propriozeptiven Verarbeitung. In: Fisher AG, Murray EA, Bundy AC (Hrsg) *Sensorische Integrationstherapie. Theorie und Praxis*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1998
- Fischer E. *Wahrnehmungsförderung*. Dortmund, Bergmann 1998
- Fisher AG, Murray EA. Einführung in die Theorie der sensorischen Integration. In: Fisher AG, Murray EA, Bundy AC (Hrsg). *Sensorische Integrationstherapie. Theorie und Praxis*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1998
- Fisher AG, Murray EA, Bundy AC. *Sensorische Integrationstherapie. Theorie und Praxis*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1998 /2. Aufl. 2002
- Freyer F, Becker R, Dinse HR, Ritter P. State-dependent perceptual learning. *J Neurosci* 2013; 33:2900-2907
- Glasser MF, Coalson TS, Robinson EC, Hacker CD, Harwell J, Yacoub E, Ugurbil K, Andersson J, Beckmann CF, Jenkinson M, Smith SM, Van Essen DC. A multi-modal parcellation of human cerebral cortex. *Nature* 2016; 536:171-179
- Goldstein B. *Wahrnehmungspsychologie*. Heidelberg, Spektrum Akademischer Verlag (7.Aufl.) 2008
- Hadders-Algra M, Bogren E, Forssberg H. Ontogeny of postural adjustment during sitting in infancy: variation, selection and modulation. *J Physiol* 1996; 493:273-288
- Halsband U, Lange KR. Motor learning in man: A review of functional and clinical studies. *J Physiology Paris* 2006; 99:414-424
- Hasselbusch A, Schuh D: Der Bezugsrahmen Sensorische Integration: Damals, heute und in Zukunft. *Et Reha*. 2012; 9:26-27
- Heller B, Harder-Sdzui. Einschränkung der Betätigungsperformanz bei Kindern und Jugendlichen mit sensorischen Verarbeitungsstörungen. *EtReha* 2012; 51:28-31

- Hoehn TP, Baumeister AA. A critique of the application of sensory integration therapy to children with learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities* 1994; 27(6): 338–350
- Horak FB. Motor control models underlying neurologic rehabilitation of posture in children. In: Forssberg H, Hirschfeld H (eds) *Movement Disorders in Children*. Basel, Karger 1991
- Humphries TW, Wright M, Snider L, McDougall B. A comparison of the effectiveness of sensory integrative therapy and perceptual-motor training in treating children with learning disabilities. *J Dev Behav Pediatr* 1992; 13:31-40
- Humphries TW, Snider L, McDougall B. Clinical evaluation of the effectiveness of sensory integrative and perceptual motor therapy in improving sensory integrative function in children with learning disabilities. *Occupational Therapy Journal of Research* 1993; 13: 163-182
- James K, Miller LJ, Schaaf R, Nielsen DM & Schoen SA. Phenotypes within sensory modulation dysfunction. *Comprehensive Psychiatry*. 2011; 52: 715–724
- Jouen F. Visual-vestibular interactions in infancy. *Infant Behaviour and Development* 1984; 7:135-145
- Juenger H, DeHaan B, Krägeloh-Mann I, Staudt M, Karnath HO. Early determination of somatosensory cortex in the human brain. *Cerebr Cortex* 2011; 21(8):1827-31 – Desitin-Jungforscherpreis der Deutschen Gesellschaft für Neuropädiatrie 2011 –
- Kaas AL, vMier H, Visser M, Goebel R. The neural substrate for working memory of tactile surface texture. *Human Brain Mapping* 2013;34:1148-1162 doi:10.1002/hbm.21500
- Kaplan BJ, Polatajko HJ, Wilson BN, Faris PD. Reexamination of Sensory Integration Treatment: A Combination of Two Efficacy Studies. *Journal of Learning Disabilities* 1993; 26(5): 342–347
- Karch D, Groß-Selbeck G, Pietz J, Schlack HG. Sensorische Integrationstherapie nach Jean Ayres. Stellungnahme der Gesellschaft für Neuropädiatrie e.V. In: F. Aksu (Hrsg), *Neuropädiatrie* 2001, S.742-760. Nürnberg, Novartis Pharma Verlag 2002
- Karch D. Neurobiologische Grundlagen der Ergotherapie. *Kinderärztliche Praxis* 2012;83;74-80
- Karch D, Albers L, Renner G, Lichtenauer N, Kries v R. Wirksamkeit kognitiver Trainingsprogramme im Kindes- und Jugendalter. *DÄ* 2013; 142(39):643-651 (The efficacy of cognitive training programs in children and adolescents: a meta-analysis. *Dtsch Arztebl Int* 2013; 110(39):643-52)
- Kelly ACK, Garvan H. Human functional neuroimaging of brain changes associated with practice. *Cerebral Cortex* 2005; 15:1089 -1108
- Kemperman G. New Neurons for “survival of the fittest”. *Nature Rev Neurosci* 2012; 13:727-736
- Kempermann G, Gage FH. Experience-dependent regulation of adult hippocampal neurogenesis: Effects of long-term stimulation and stimulus withdrawal. *Hippocampus* 1999; 9, 321–332
- Khobadabakhsi M, Abedi A, Malekpour M. The effect of sensory integration therapy on social interactions and sensory and motor performance in children with autism. *Iran J Cogn Educat* 2014; 1:35-45
- Kolb B, Mychasiuk R, Williams P, Gibb R. Brain plasticity and recovery from early cortical injury. *Dev Med Child Neurol* 2011; 53 (Suppl 4) 4-8
- Koenig K P, Rudney SG. Performance challenges for children and adolescents with difficulty processing and integrating sensory information: A systematic review. *American Journal of Occupational Therapy* 2010; 64, 430– 442. doi: 10.5014/ajot.2010.09073

- Koziol LF, Budding DE. Sensory integration, sensory processing, and sensory modulation disorders: Putative functional neuroanatomic underpinnings. *Cerebellum* 2011; 10:770-792. DOI 10.1007/s12311-011-0288-8
- Koomar AJ, Bundy AC. Umsetzung der Theorie in direkte Behandlung – eine Kunst und Wissenschaft zu gleich. In: Fisher AG, Murray EA, Bundy AC (Hrsg) *Sensorische Integrationstherapie. Theorie und Praxis*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1998
- Krueger RF, Markon KE. Reinterpreting comorbidity: a model based approach to understanding and classifying psychopathology. *Annu. Rev Clin Psycho* 2006; 2: 111–133.
- Krupic J, Bauza M, Burton S, Barry C, O’Keefe J. Grid cell symmetry is shaped by environmental geometry *Nature* 2015; 518 232-235 doi:10.1038/nature14153
- Kull-Saddaram K, Wiesbauer C. Sensorisch-Integrative Therapie (SIAT) *Kinderärztliche Praxis* 2012; 83:95-102
- Lacours MG, Turner JA, Randolph-Orr E, Schandler SL, Cohen MJ. Cerebral and cerebellar sensorimotor plasticity following motor imagery-based mental practice of a sequential movement. *Journal of Rehabilitation research and Development*. 2004; 41: 505-524
- Lane SJ, Schaaf RC. Examining the neuroscience evidence for sensory-driven neuroplasticity: Implications for sensory-based occupational therapy for children and adolescents. *American Journal of Occupational Therapy*. 2010; 64: 375–390. doi: 10.5014/ajot.2010.09069
- Langevin LM, Macmaster FP, Dewey D. Distinct patterns of cortical thinning in concurrent motor and attention disorders. *Dev Med Child Neurol* 2015; 57:257-264
- Law M, Baptiste S, McColl M, Opzoomer A, Polatajko H, Pollock N. The Canadian Occupational Performance Measure: An outcome measurement protocol for occupational therapy. *Canad J Occup Therapy* 1990; 57:82-87 (mehrfache Aufl. bis 2015)
- Lotz M, Schuh D. Evidenz für die Erscheinungsbilder von sensorischen Integrationsstörungen. *Et Reha* 2012; 10:24-27
- Mailloux Z, Mulligan S, Roley SS, Blanche E, Cermak S, Coleman GG, Bodison S, Lane E. Verification and clarification of patterns of sensory integrative dysfunction. *Am J Occup Therapy*. 2011; 65: 143–151. doi:10.5014/ajot.2011.000752
- Mailloux Z, Leão M, Becerra TA, Mori AB, Soechting E, Roley SS, Buss N, Cermak SA. Modification of the postrotary nystagmus test for evaluating young children. *Am J Occup Therapy*. 2014; 68:514–521. <http://dx.doi.org/10.5014/ajot.2014.011031>
- McGlone F, Wessberg J, Olausson H. Discriminative and Affective Touch: Sensing and Feeling. *Neuron* 82, May 21, 2014; 737-755
- Miller LJ, Anzalone ME, Lane SJ, Cermak SA, Osten E. Concept evolution in sensory integration: A proposed nosology for diagnosis. *Am J Occup Therapy* 2007a; 61:135-140
- Miller LJ, Schoen SA, James K, Schaaf RC. Lessons learned: A pilot study on occupational therapy effectiveness for children with sensory modulation disorder. *Am J Occup Therapy* 2007b; 61: 161-169
- Musall S, vdBehrens W, Mayrhofer JM, Weber B, Helmchen F, Haiss F. Tactile frequency discrimination by circumventing neocortical adaptation. *Nat Neurosci* 2014; 17:1567-15734 doi:10.1038/nn.3821
- Ottensbacher K. Sensory Integration Therapy: Affect or Effect. *Am J of Occup Therapy* 1982; 36(9): 571–578
- Owen JP, Marco EJ, Desai S, Fourie E, Harris J, Hill SS, Arnett AB & Mukherjee P. Abnormal white matter microstructure in children with sensory processing disorders. *Neuroimage: Clin* 2013; 2: 844-853
- Parham D, Ecker C. Sensory Processing Measure – Home Form. Los Angeles, Western Psychological Services 2007a

- Parham LD, Cohn ES, Spitzer S, Koomar JA, Miller LJ, Burke JP, Brett-Green B, Mailloux Z, May-Benson T, Smith Roley S, Schaaf RC, Schoen SA, Summers CA. Fidelity in sensory integration intervention research. *Am J Occup Therapy* 2007b; 61:216-227
- Parham LD, Ecker C. *Sensory Processing Measure (SPM TM) (home and school form; 2-12 Jahre)*. Western Psychological Service, Los Angeles 2010
- Parham LD, Smith Roley S, May-Benson TA, Koomar J, Brett-Green B, Burke JP, Cohn ES, Mailloux Z, Miller LJ, Schaaf RC. Development of a fidelity measure for research on the effectiveness of the Ayres Sensory Integration® intervention. *Am J Occup Therapy* 2011; 65:133-142
- Pawling R, Cannon PR, Francis P, McGlone FP, Walker SC. C-tactile afferent stimulating touch carries a positive affective value. *PLoS ONE* 2017, 12(3):e0173457. DOI:10.1371/journal.pone.0173457
- Peters B, Kaiser J, Rahm B, Bledowski C. Activity in human visual and parietal cortex reveals object-based attention in working memory. *J Neurosci* 2015; 253360-3369
- Pfeiffer BA, Koenig K, Kinnealey M, Sheppard M & Henderson L. Effectiveness of sensory integration interventions in children with autism spectrum disorders: A pilot study. *Am J Occup Therapy* 2011; 65(1): 76–85
- Pleger B, Villringer A. The human somatosensory system: From perception to decision making. *Progr Neurobiology* 2013; 103:76-97
- Polatajko HJ. A critical look at vestibular dysfunction in learning-disabled children. *Dev Med Child Neurol* 1985; 27:283-292
- Polatajko HJ. Visual-ocular control of normal and learning-disabled children. *Dev Med Child Neurol* 1987; 29:477-485
- Prechtl HFR, Cioni G, Einspieler C, Ferrari F. Role of vision on early motor development: lessons from the blind child. *Dev Med Child Neurol* 2001; 43:198-201
- Raichle ME, Mintun MA. Brain work and brain imaging. *Annu Rev Neurosci* 2006; 29:449–476.
- Rha DW, Kang SW, Park YG, Cho RS, Lee WT, Lee JE, Nam CM, Han KH, Park ES. Effects of constraint induced movement therapy on neurogenesis and functional recovery after early hypoxic-ischemic injury in mice. *DMNC* 2011; 53:327-333
- Romo R, Lafuente de V. Conversion of sensory signals into perceptual decisions. *Progr Neurobiol* 2013; 103:41-75
- Roth MJ, Synofzik M, Lindner A. The cerebellum optimizes perceptual predictions about external events. *Current biology* 2013; 23:930-935
- Royeen CB. TIP-Touch Inventory for preschoolers: A pilot study. *Physical & Occupational Therapy in Pediatrics* 1987; 7:29-40
- Royeen CB, Fortune JC. TIE: Touch Inventory for Elementary School-aged Children. In: Fisher AG, Murray EA, Bundy AC (eds) *Sensory Integration: Theory and Practice*. FA Davis, Philadelphia, pp 6-12. (1990)
- Royeen CB, Lane SH. Verarbeitung taktiler Sinneseindrücke und sensorischer Defensivität. In: Fisher AG, Murray EA, Bundy AC (Hrsg) *Sensorische Integrationstherapie. Theorie und Praxis*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1998
- Sathian K, Lacey S, Stilla R, Gibson GO, Deshpande G, Xiaoping Hu, LaConte S, Glielmi C. Dual pathways for haptic and visual perception of spatial and texture information. *Neuroimage* 2011; 57:462-475
- Schaaf RC, Benevides T, Mailloux Z, Faller P, Hunt J, vHoydoonk E, Freeman R, Leiby B, Sendeck J, Kelly D. An intervention for sensory difficulties in children with autism. A randomized trial. *J Autism Dev Disord* 2014; 44:1493-1506

- Schaaf RC, Davies PL. Evolution of the sensory integration frame of reference. *Am J Occup Therapy* 2010; 64(3) 363-367 doi:10.5014/ajot.2010.090000
- Schaefer M, Heinze HJ, Rotte M. Task-relevant modulation of primary somatosensory cortex suggests a prefrontal-cortical sensory gating system. *NeuroImage* 2005; 27: 130-135
- Schaefer M, Heinze H-J, Rotte M. Touch and personality: Extraversion predicts somatosensory brain response. *NeuroImage* 2012; 62:432-438
- Schaffer R. Sensory Integration Therapy with Learning Disabled Children: A Critical Review. *Can J Occupational Therapy* 1984; 51(2): 73-77
- Schmahmann JD, Weilburg JB, Sherman JC. The neuropsychiatry of the cerebellum - insights from the clinic. *Cerebellum* 2007; 6:254-267
- Schoen SA, Miller LJ, Brett-Green BA, Nielsen DM. Physiological and behavioral differences in sensory processing: a comparison of children with autism spectrum disorder and sensory modulation. *Am J Occup Therapy* 2014; 68:522-530
- Schuh D, Hasselbusch A. Evidenzbasierte Ergotherapie im Bezugsrahmen der Sensorischen Integration. *Et Reha* 2012; 9:26-27
- Singer W. Cortical dynamics revisited. *Trends in Cognitive Sciences* 2013; 17:616-626
- Seitz RJ. How imaging will guide rehabilitation. *Current Opinion in Neurology* 2010; 23: 79-86
- Sinigaglia C, Rizzolati G. Through the looking glass: Self and others. *Consciousness and Cognition* 2011; 20:64-74
- Smits-Engelsman BCM, Blank R, van der Kaay A-C, Mosted-van der Meijs R, Vlucht-van den Brand E, Polatajko HJ, Wilson P. Efficacy of interventions to improve motor performance in children with developmental coordination disorder: a combined systematic review and meta-analysis. *Dev Med Child Neurol* 2013; 55:229-237
- Söchting E. Sensorische-integrative Ergotherapie: Eine anerkannte und evidenzbasierte Methode. *ET Reha* 2012; 51:17-18
- Söchting E. Evidenz zur Wirksamkeit der Sensorischen Integrationstherapie bei 3- bis 12jährigen Kindern mit sensorischen Verarbeitungsstörungen. – Eine systematische Forschungsübersicht 2007-2013. *Ergoscience* 2014; 4:144-154
- Staudt M. Reorganization after pre- and perinatal brain lesions. *Journal of Anatomy; Special Edition: Development of the Neocortex*. 2010; 217(4):469-474 [invited review]
- Sporns, O. The human connectome: a complex network. *Ann. N Y Acad. Sci.* 2011; 224:109-125
- Sterling C, Taub E, Davis D, Rickards T, Gauthier LV, Griffin A, Uswatte G. Structural neuroplastic change after constraint-induced movement therapy in children with cerebral palsy. *Pediatrics* 2013; 131:e1664-e1669
- Sveistrup H, Woolacott MH. Systems contributing to the emergence and maturation of stability in postnatal development. In: Savelsbuerg GJP (Ed) *The Development of Coordination in Infancy*. Amsterdam, Elsevier 1993
- Tsakiris M, Costantini M, Haggard P. The role of the right temporo-parietal junction in maintaining a coherent sense of one's body. *Neuropsychologia* 2008; 46:3014-3018
- Tsakiris M. My body in the brain: A neurocognitive model of body-ownership. *Neuropsychologia* 2010; 48:703-714
- Thelen E. Development of coordinated movement: implications for early human development. In: Wade MG, Whiting HTA (eds) *Motor Development in Children: Aspects of Coordination and Control*. Dordrecht, Boston, Lancaster: Martinus Nijhoff Publishers 1986

- Vargas S, Camilli G A meta-analysis of research on sensory integration treatment. *Am J Occup Ther* 1999; 53: 189-198
- Waltereit R, Banaschewski T, Meyer-Lindenberg A, Poustka L. Interaction of neurodevelopmental pathways and synaptic plasticity in mental retardation, autism spectrum disorder and schizophrenia: Implications for psychiatry. *World J Biol Psychiatry* 2013; 15(7):507-516
- Wilson BN., Kaplan BJ, Fellowes S, Gruchy C, Faris P. The efficacy of sensory integration treatment compared to tutoring. *Phys Occup Therapy in Pediatrics* 1992; 12:1-36
- Woolacott MH, Sveistrup H. Changes in the sequencing and timing of muscle response coordination associated with the development transitions in balance abilities. *Human Movement Science* 1992; 11:23-36
- Wu CW, van Gelderen P, Hanakawa T, Yaseen Z, Cohen LG. Enduring representational plasticity after somatosensory stimulation. *Neuroimage* 2005; 27(4):872-84
- WuangY-P, Wang C-C, Huang M-H, Su C-Y. Prospective study of the effect of sensory integration, neurodevelopmental treatment, and perceptual-motor therapy on the sensomotor performance in children with mild mental retardation. *Am J Occup Therapy* 2009; 63:441-452
- Yang H, O'Connor DH. Cortical adaption and tactile perception. *Natur Neurosci.* 2014; 17:1434-1436
- Yochman A, Alon-Beery O, Sribman A, Parush S. Differential diagnosis of sensory modulation disorder (SMD) and attention deficit disorder (ADHD): participation, sensation, and attention. *Front Human Neuroscience* 2013; 7:862. doi: 10.3389/fnhum.2013.00862
- Zimbaro PG. *Psychologie*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1995
- Zschorlich V, Köhling R. How thoughts give rise to action- conscious motor intention increases the excitability of target-specific motor circuits. *PLoS ONE* 2013; 8(12):e83845 doi:10.1371/journal.pone.0083845