

SABINE SCHÄFER, RALF KRAMPE & ULMAN LINDENBERGER

Gleichzeitig Balancieren und Denkaufgaben bearbeiten: Altersbedingte Unterschiede zwischen Kindern und jungen Erwachsenen

Abstract

Die vorliegende Studie untersucht das Wechselspiel von motorischen und kognitiven Anforderungen im Kindes- und jungen Erwachsenenalter in einer Doppelaufgabensituation. 9- und 11-jährige Kinder und junge Erwachsene wurden zunächst in Aufgaben zum episodischen Gedächtnis und zum Arbeitsgedächtnis und dem Balancieren auf einem speziellen Balancegerät (Therapiekreisel) trainiert. Wenn das Balancieren und eine kognitive Aufgabe gleichzeitig ausgeführt wurden, reduzierte sich in allen Altersgruppen die Denkleistung. Die Leistung in der Balanceaufgabe verbesserte sich hingegen in beiden Kindergruppen, und blieb bei den jungen Erwachsenen stabil. Zudem zeigten die Kinder auch dann bessere Balanceleistungen, wenn sie in der Doppelaufgabensituation explizit instruiert worden waren, sich mehr auf die kognitive Aufgabe zu konzentrieren. Die Befunde deuten darauf hin, dass Kinder, die schon in der Einzelaufgabensituation auf dem Kreisel stärker schwanken als die jungen Erwachsenen, in der Doppelaufgabensituation ihr Gleichgewicht schützen.

1 Theoretischer Hintergrund

Im Alltag kommen Situationen, in denen eine motorische und eine Denkaufgabe gleichzeitig bewältigt werden müssen, sehr häufig vor, zum Beispiel wenn man eine stark befahrene Straße überquert, während man sich mit einem Bekannten unterhält. In der psychologischen Forschung werden Situationen, in denen zwei Aufgaben gleichzeitig ausgeführt werden, als Doppelaufgabensituationen bezeichnet. Analog dazu spricht man von *Doppelaufgabenkosten*, wenn die Leistungen der beiden gleichzeitig ausgeführten Aufgaben im Vergleich zur Einzelaufgabensituation abnehmen. Als theoretische Grundlage der Studien zu Doppelaufgaben dienen häufig Ressourcentheorien (z. B. Kahneman, 1973; Navon & Gopher, 1979), die davon ausgehen, dass das Bearbeiten von Aufgaben *Ressourcen* erfordert, deren Ausmaß begrenzt ist.

Im Verlauf der Kindheit verbessert sich die Fähigkeit, zwei Aufgaben gleichzeitig auszuführen (Huang & Mercer, 2001), und die Doppelaufgabenkosten nehmen ab. Die Theorie der *Selektiven Optimierung und Kompensation* (SOK; Baltes & Baltes, 1990) stellt ein allgemeines und systemisches Modell der menschlichen Entwicklung dar. Sie postuliert, dass Menschen ihre Entwicklung gestalten, indem sie aus vielen möglichen Zielen einige wenige auswählen (*Selektion*), und durch gezieltes Investieren von Ressourcen die Erreichung dieser Ziele optimieren (*Optimierung*). Wenn bestimmte Mittel zur Zielerreichung – beispielsweise aufgrund von altersbedingten Veränderungen – nicht mehr zur Verfügung stehen, führt der Prozess der *Kompensation* mitunter dazu, dass neue oder alternative Mittel zum Einsatz kommen. Die sich entwickelnde Person findet auf diese Weise Wege, Entwicklungszugewinne zu erhöhen

und Entwicklungsverluste zu reduzieren. Im Rahmen einer Doppelaufgabensituation kann das Fokussieren auf eine der beiden Aufgaben (Selektion) dazu führen, dass die Kosten in einer Aufgabe deutlich geringer ausfallen als in der anderen Aufgabe, und Altersgruppen können sich darin unterscheiden, in welchem der Bereiche die größten Kosten entstehen.

In Anlehnung an das SOK-Modell stellen Li, Krampe und Bondar (2005) einen „ökologischen Ansatz“ für die Doppelaufgabenforschung vor. Sie plädieren dafür, dass Studien möglichst ökologisch valide Doppelaufgabensituationen untersuchen sollten. Dafür kommen beispielsweise Situationen in Frage, in denen eine kognitive und eine motorische Aufgabe gleichzeitig ausgeführt werden. Zudem sollen die durch die Doppelaufgabensituation herbeigeführten Leistungseinbußen für beide Aufgabenbereiche erfasst und miteinander verglichen werden, um ein mögliches Wechselspiel in den Doppelaufgabenkosten entdecken zu können. Darüber hinaus sollte der Aufbau solcher Studien durch individuelle Manipulationen der Aufgabenschwierigkeit sicherstellen, dass jeder Studienteilnehmer durch die Aufgabe auch wirklich gefordert ist. Ansonsten besteht insbesondere in altersvergleichenden Studien die Gefahr, dass einzelne Studienteilnehmer durch die verwendeten Aufgaben unterfordert und andere überfordert werden. Schließlich betonen Li und Kollegen, dass es sinnvoll ist, die Studienteilnehmer zu instruieren, ihre Aufmerksamkeit in der Doppelaufgabensituation gezielt auf eine der beiden Aufgaben zu lenken. Die Flexibilität dieser Ressourcenallokation ermöglicht weitere Rückschlüsse auf Altersunterschiede im Umgang mit Doppelaufgaben.

Studien mit älteren Erwachsenen im Rahmen dieses ökologischen Ansatzes haben gezeigt, dass es für ältere im Vergleich zu jungen Erwachsenen schwieriger ist, eine kognitive und eine motorische Aufgabe gleichzeitig auszuführen (Li, Lindenberger, Freund & Baltes, 2001; Lindenberger, Marsiske & Baltes, 2000; Schaefer, Huxhold & Lindenberger, 2006). Die älteren Erwachsenen zeigten höhere Doppelaufgabenkosten (Leistungseinbußen) als die jüngeren Erwachsenen, wenn sie auf einem schmalen Parcours entlanglaufen und sich gleichzeitig Wortlisten einprägen sollten. Daraus schließen die Autoren, dass motorische Anforderungen im Alter oft „kognitiver“ werden, also dass ihre Ausführung mehr kognitive Ressourcen erfordert als bei jungen Erwachsenen. Die Studie von Li und Kollegen (2001) zeigte außerdem, dass ältere Erwachsene sich in einer fordernden Doppelaufgabensituation mehr auf die Aufrechterhaltung der motorischen Aufgabe konzentrierten (Selektion). Dies wurde als adaptives Verhalten interpretiert, da sich ältere Menschen durch die Priorisierung der Motorik vor Stürzen schützen, die im hohen Erwachsenenalter schwerwiegende Konsequenzen haben können. Ein entscheidender Faktor ist hierbei die Schwierigkeit der motorischen Aufgabe: Zwei Studien (Rapp, Krampe & Baltes, 2006; Dumas, Smolders & Krampe, 2008) fanden eine Priorisierung der motorischen Aufgabe durch ältere Versuchspersonen, wenn die gleichzeitige Balanceaufgabe auf schwankendem Untergrund ausgeführt werden musste. Bei Doppelaufgabenbedingungen mit stabilem Untergrund zeigten die Senioren höhere Kosten in der kognitiven Aufgabe. Die ökologische Bedeutung des Gleichgewichts relativ zur

Kognition erweist sich auch darin, dass ältere Menschen beim Training von Doppelaufgaben zuerst danach streben, ihre Balance zu verbessern, während der Schwerpunkt bei jungen Erwachsenen auf der Steigerung der kognitiven Leistung liegt (Doumas, Rapp & Krampe, 2009).

Die vorliegende Studie untersucht, wie die entsprechenden Verhaltensmuster im Kindesalter aussehen. Es wird angenommen, dass auch in diesem Altersbereich ein Wechselspiel in den Doppelaufgabenkosten auftritt, wenn eine kognitive und eine motorische Aufgabe miteinander kombiniert werden, sofern die Aufrechterhaltung des Körpergleichgewichts gefährdet ist. In der Studie kommen zwei verschiedene kognitive Aufgaben aus den Bereichen des episodischen Gedächtnisses und des Arbeitsgedächtnisses zum Einsatz, und die motorische Aufgabe besteht aus dem Balancieren auf einem speziellen Balancegerät, dem Therapiekreisel. Da sich die Leistung von Kindern in verschiedenen Balanceaufgaben im Laufe der Kindheit verbessert (DeOreo & Wade, 1971; Sheldon, 1963), ist davon auszugehen, dass sie beim Balancieren auf dem Therapiekreisel stärker schwanken als junge Erwachsene. In einer fordernden Doppelaufgabensituation sollten Kinder sich deswegen stärker auf die Aufrechterhaltung des Gleichgewichts konzentrieren müssen als junge Erwachsene, und in der Balance geringere Doppelaufgabenkosten aufweisen als in der Kognition. Des Weiteren wird postuliert, dass die Priorisierung der Balance bei zunehmender Schwierigkeit der Balanceaufgabe, also beim Balancieren auf bewegtem statt stabilem Untergrund, noch deutlicher wird, und dass die Kinder im Gegensatz zu jungen Erwachsenen auch unter der Instruktion, sich stärker auf die kognitive Aufgabe zu konzentrieren, in der Balance geringere Doppelaufgabenkosten zeigen als in der Kognition.

2 Methode

In der vorliegenden Studie wurden drei Altersgruppen untersucht: 9-jährige und 11-jährige Kinder und junge Erwachsene zwischen 20 und 25 Jahren, mit neun Studienteilnehmern in jeder Altersgruppe (Schaefer, Krampe, Lindenberger & Baltes, 2008). Alle Studienteilnehmer nahmen an neun etwa einstündigen Testsitzungen teil. Es wurden zwei verschiedene *kognitive Aufgaben* benutzt, um feststellen zu können, inwieweit sich die Befundmuster über verschiedene Aufgaben generalisieren lassen.

In einer Aufgabe zum episodischen Gedächtnis sollten sich die Studienteilnehmer mit Hilfe einer bestimmten Gedächtnisstrategie, der Methode der Orte (*MOL*), über Kopfhörer dargebotene Listen von Ort-Wort Kombinationen einprägen, indem sie ein mentales Bild des jeweiligen Ortes mit dem zu erinnernden Wort generierten. Wenn man zum Beispiel die Ort-Wort-Kombination „Sessel“ und „Frosch“ hört, stellt man sich im Rahmen dieser Methode einen großen, grünen Frosch vor, der es sich im Wohnzimmersessel bequem gemacht hat, und kann sich beim Abruf, wenn der Ort „Sessel“ eingeblendet wird, wieder an den Frosch erinnern.

Die andere Aufgabe war eine Arbeitsgedächtnisaufgabe (*N-back*), die erforderte, dass man sich auf dem Bildschirm eingeblendete Zahlen einprägt und diese Zahlen dann bei der nächsten-, übernächsten oder einer der darauf folgenden Zahlen verbalisiert. Kinder arbeiteten an der *N-back* 2 Version der Aufgabe, das heißt sie mussten die Verbalisierung verzögern, bis die übernächste Zahl eingeblendet wurde, während Erwachsene an der *N-back* 4 Version der Aufgabe arbeiteten (Verbalisierung der eingprägten Zahl zu dem Zeitpunkt, an dem die viertnächste Zahl eingeblendet wird).

Beide kognitiven Aufgaben wurden zunächst trainiert. In den darauf folgenden Sitzungen der Studie wurde dann die *Schwierigkeit* der kognitiven Aufgaben für jeden Studienteilnehmer individuell angepasst, indem kürzere oder längere Stimuli-Listen mit kürzeren oder längeren Zeitabständen verwendet wurden. Erfolgreiche Probanden mussten also längere Wort- oder Zahlenlisten mit kürzeren Zeitabständen zwischen den einzelnen Stimuli bearbeiten, so dass alle Teilnehmer in etwa 80 % richtige Antworten gaben.

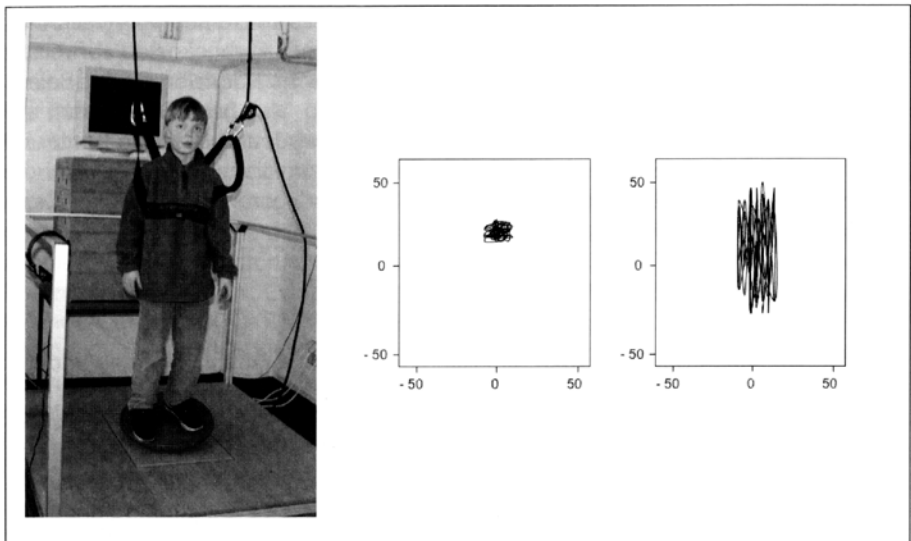


Abb. 1. Die Balanceaufgabe bestand aus dem Balancieren auf einem Therapiekreisel, der auf einer Kraftmessplatte platziert wurde (links). Rechts sind Beispiele für die COP-Flächen auf der stabilen (linke Grafik) und der bewegten (rechte Grafik) Plattform abgetragen.

Die *motorische Aufgabe* bestand aus dem Balancieren auf einem speziellen Balancegerät, dem *Therapiekreisel*. Der Kreisel hat eine ebene Fläche auf der Oberseite und eine Wölbung auf der Unterseite, die es erforderlich macht, sein Gleichgewicht durch ständige, gut koordinierte Ausgleichsbewegungen zu stabilisieren. Die Leistung auf dem Kreisel konnte genau gemessen werden, indem eine Kraftmessplatte die Größe der zur Stabilisierung notwendigen Fläche präzise aufzeichnete (COP-

Fläche = center-of-pressure Fläche). Je kleiner diese Fläche ausfällt, desto besser und effizienter stabilisiert sich eine Person auf dem Kreisel (siehe Abb. 1 links). In der vorliegenden Studie wurden verschiedene Schwierigkeitsbedingungen der Balanceaufgabe erhoben, indem entweder auf einem stabilen oder einem bewegten Untergrund balanciert wurde. Im Falle des bewegten Untergrundes kippte die Plattform in einem regelmäßigen Rhythmus um jeweils 3 Grad nach rechts und links. Die Probanden mussten ihr Gleichgewicht stabilisieren, indem sie auf dem Kreisel stehend ihren Körperschwerpunkt in die entgegengesetzte Richtung bewegten.

Nach dem Training und der Anpassung der Schwierigkeit der kognitiven Aufgaben begann die Doppelaufgabenphase. In jeder der drei Sitzungen wurden die drei Aufgaben sowohl unter Einzel- als auch unter Doppelaufgabenbedingungen durchgeführt. Um für den Einfluss von Faktoren wie der Verbalisierung der Zahlen in der N-back-Aufgabe und dem auditiven Verarbeiten von Stimuli in der MOL-Aufgabe zu kontrollieren, wurde das Balancieren unter „Einzelaufgabenbedingungen“ jeweils mit einer sehr leichten kognitiven Aufgabe kombiniert. Als Einzelaufgabenbedingung für N-back sollten die Probanden während des Balancierens die am Bildschirm eingeblendeten Zahlen vorlesen, und als Einzelaufgabenbedingung für MOL sollten sie aus einer über Kopfhörer dargebotenen Abfolge von Worten und Tierstimmen erkennen, ob bestimmte Tierstimmen (Hund, Ziege oder Kuh) in der Abfolge enthalten waren oder nicht.

Die Studienteilnehmer wurden instruiert, die beiden Aufgaben in der Doppelaufgabensituation so gut wie möglich gleichzeitig auszuführen, außer in der letzten Sitzung, in der die Instruktion lautete, sich gezielt mehr auf eine der beiden Aufgaben zu konzentrieren. In dieser Sitzung wurde lediglich N-back als kognitive Aufgabe benutzt, und das Balancieren fand ausschließlich auf der stabilen Plattform statt. In dieser Bedingung wurden die Teilnehmer dazu angehalten, spezifische Leistungsniveaus in den beiden Domänen zu erreichen, die aufgrund ihrer Leistungen in vorhergehenden Sitzungen individuell bestimmt worden waren. Für das Erreichen dieser Zielleistungen wurden Punkte vergeben, die nachher in Süßigkeiten eingetauscht werden konnten.

3 Ergebnisse

Die drei Altersgruppen zeigten unterschiedliche Leistungen in den Aufgaben. Im Vergleich zu den Kindern erinnerten junge Erwachsene mehr Worte in der Gedächtnisaufgabe, zeigten eine bessere Arbeitsgedächtnisleistung in der N-back-Aufgabe, und benutzten für die Stabilisierung ihres Gleichgewichts auf dem Therapiekreisel kleinere Flächen (siehe Abb. 2).

Auf der bewegten Plattform waren die COP-Flächen deutlich größer als auf der stabilen Plattform. (Die in Abbildung 2 dargestellten Werte stammen aus einer Phase der Studie, in der beim Balancieren keine Zusatzaufgabe wie Zahlen vorlesen oder Tierstimmen anhören ausgeführt werden musste, sondern in der die Probanden ausschließlich balancieren sollten.)

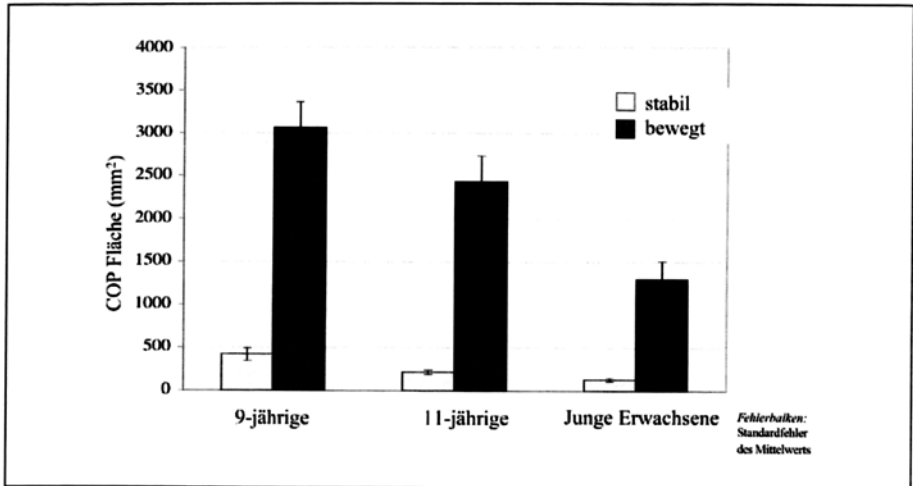


Abb. 2. Auf dem Therapiekreisel benötigten Kinder größere COP-Flächen zur Stabilisierung ihres Gleichgewichts als junge Erwachsene, und die COP-Flächen waren auf bewegtem Untergrund größer als auf stabilem Untergrund.

Zudem zeigten die 11-jährigen Kinder in den verwendeten Aufgaben meist bessere Leistungen als die 9-jährigen. Für die in Abbildung 2 dargestellten Daten wurde dieses Befundmuster durch eine Varianzanalyse mit dem Messwiederholungsfaktor Aufgabenschwierigkeit (stabile vs. bewegte Plattform) und dem Gruppierungsfaktor Altersgruppe (Kinder vs. junge Erwachsene) abgesichert. Der Haupteffekt Aufgabenschwierigkeit wurde signifikant, $F(1,24) = 202.47$, $MSE = 269696.37$, $p < .01$, $\eta^2 = .894$, ebenso wie der Haupteffekt Altersgruppe, $F(1,24) = 20.46$, $MSE = 390331.58$, $p < .01$, $\eta^2 = .460$, und die Interaktion von Aufgabenschwierigkeit und Altersgruppe, $F(1,24) = 17.69$, $MSE = 269696.37$, $p < .01$, $\eta^2 = .424$. Die Zunahme der Schwankungen war bei den Kindern somit noch ausgeprägter als bei den jungen Erwachsenen.

Die Manipulation der Schwierigkeit in den beiden kognitiven Aufgaben führte dazu, dass die drei Altersgruppen einen vergleichbaren Anteil der eingblendeten Stimuli richtig bearbeiteten (ca. 80 %). Die Leistungen in den Einzelaufgaben waren über die Doppelaufgabenphase hinweg stabil und reliabel. Leistungseinbußen in der Doppelaufgabensituation wurden in prozentualen Doppelaufgabenkosten ausgedrückt. Für jeden Teilnehmer und jede Versuchsbedingung wird dabei berechnet, um wie viel Prozent der individuellen Einzelaufgabenleistung die Leistung abnimmt, wenn die andere Aufgabe gleichzeitig ausgeführt werden muss. So zeigt ein Proband, der bei der MOL-Aufgabe im Sitzen zehn Worte erinnert, aber während des Balancierens nur noch acht Worte, Doppelaufgabenkosten von 20 %.

Die Annahme, dass Kinder sich mehr auf die motorische Aufgabe konzentrieren und in dieser Aufgabendomäne deshalb niedrigere Doppelaufgabenkosten zeigen

würden als in der Kognition, konnte empirisch bestätigt werden. Wenn die Doppelaufgabenkosten über die Schwierigkeit der Balanceaufgabe (stabiler vs. bewegter Untergrund) und über die kognitive Aufgabe (MOL vs. N-back) aggregiert wurden, zeigte sich bei den Kindern ein deutliches Wechselspiel der Kosten zugunsten der Motorik, während die jungen Erwachsenen in beiden Aufgabendomänen vergleichbar hohe Kosten hatten. Die Kinder konnten ihre Balanceleistung unter Doppelaufgabenbedingungen sogar verbessern (siehe Abb. 3; negative Kosten = Leistungsverbesserung).

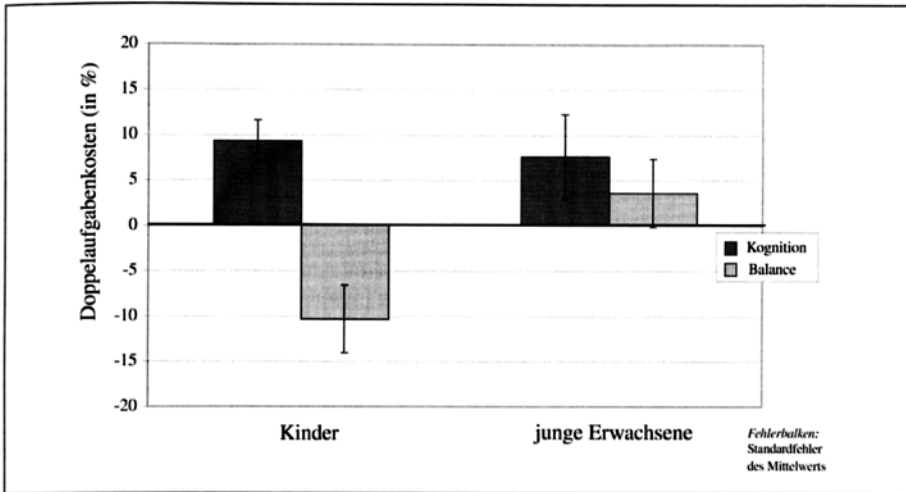


Abb. 3. In der Doppelaufgabensituation gaben die Kinder der Balanceleistung den Vorzug und verbesserten ihre Leistung im Balancieren (negative Kosten = Leistungsverbesserung). Hingegen zeigten junge Erwachsene vergleichbar hohe Kosten in Balance und Kognition.

Statistisch ist dieses Befundmuster durch eine mehrfaktorielle Varianzanalyse mit den Messwiederholungsfaktoren Aufgabenmodalität (Kognition vs. Balance), kognitive Aufgabe (MOL vs. N-back), und Balanceschwierigkeit (stabile vs. bewegte Plattform) und dem Gruppierungsfaktor Altersgruppe abgesichert, in der lediglich der Haupteffekt Aufgabenmodalität signifikant wurde, $F(1,24) = 16.38$, $MSE = 685.46$, $p < .001$, $\eta^2 = .406$, der wiederum mit dem Alterskontrast Kinder versus junge Erwachsene interagierte, $F(1,24) = 4.27$, $MSE = 685.46$, $p = .050$, $\eta^2 = .151$.

Dieses Befundmuster wurde dahingehend interpretiert, dass Kinder, die schon unter der Einzelaufgabenbedingung stärker schwankten als die jungen Erwachsenen, die Aufrechterhaltung ihres Gleichgewichts in einer fordernden Doppelaufgabensituation schützen.

Zudem war vorhergesagt worden, dass das Wechselspiel in den Doppelaufgabenkosten der Kinder unter der schwierigeren Balancebedingung auf der bewegten Plattform noch ausgeprägter sein sollte als auf der stabilen Plattform (siehe Abb. 4).

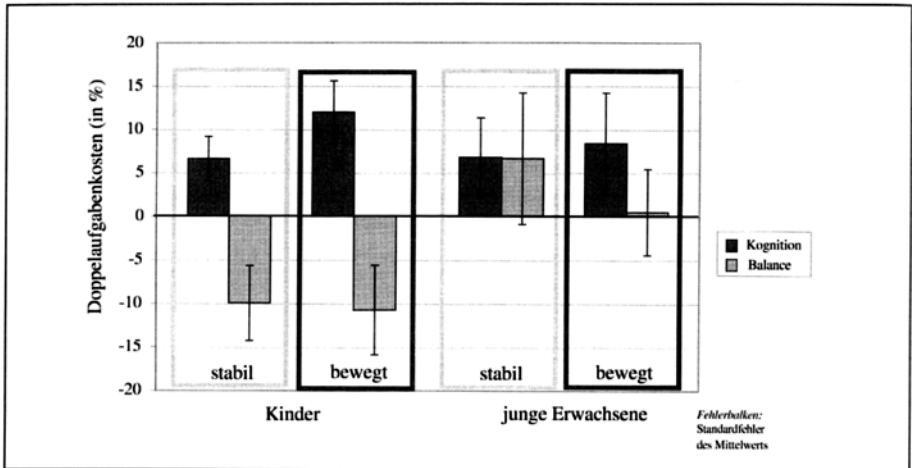


Abb. 4. Zwischen der stabilen und der bewegten Plattform zeigten sich keine systematischen Unterschiede im Muster der Doppelaufgabenkosten.

In mehreren t-Tests für gepaarte Stichproben, die jeweils die Doppelaufgabenkosten auf der stabilen versus der bewegten Plattform miteinander verglichen, zeigten sich jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kosten in der Kognition auf stabiler versus bewegter Plattform bei den Kindern, $t(17) = -1.26, p = .225$, oder den jungen Erwachsenen, $t(8) = -.35, p = .735$. Auch die Kosten in der Balance unterschieden sich nicht zwischen der stabilen und bewegten Plattform, und zwar weder bei den Kindern, $t(17) = .14, p = .893$, noch bei den jungen Erwachsenen, $t(8) = .60, p = .565$. In der Sitzung mit Instruktionen zur Lenkung der Aufmerksamkeit zeigten die Kinder auch in der Bedingung, in der sie sich mehr auf die kognitive Aufgabe konzentrieren sollten, ein ausgeprägtes Wechselspiel in ihren Doppelaufgabenkosten zugunsten der Balance (siehe Abb. 5). Die jungen Erwachsenen zeigten keine signifikanten Instruktionseffekte.

In einer Varianzanalyse mit den Messwiederholungsfaktoren Instruktionsbedingung („Fokus auf Kognition“ vs. „Fokus auf Balance“) und Aufgabenmodalität (Kognition vs. Balance) und dem Gruppierungsfaktor Altersgruppe wurde der Haupteffekt Aufgabenmodalität signifikant, $F(1,24) = 14.69, \text{MSE} = 630.18, p < .01, \eta^2 = .380$, der wiederum mit dem Alterskontrast Kinder versus junge Erwachsene interagierte, $F(2,24) = 8.28, \text{MSE} = 630.18, p < .01, \eta^2 = .256$. Die Doppelaufgabenkosten in diesem Teil der Studie waren in der Kognition höher als in der Balance, und dieses Muster war bei den Kindern ausgeprägter als bei den jungen Erwachsenen. Des Weiteren interagierten die beiden Messwiederholungsfaktoren Instruktionsbedingung und Aufgabenmodalität miteinander, $F(1,24) = 10.24, \text{MSE} = 222.29, p < .01, \eta^2 = .299$, weil die Unterschiede zwischen den Doppelaufgabenkosten in Balance und Kognition unter der Instruktion „Fokus auf Balance“ größer waren als unter der Instruktion „Fokus auf Kognition“. Der Gruppierungsfaktor Altersgruppe wurde nicht

signifikant, und insgesamt waren die Doppelaufgabenkosten dieser Sitzung sehr gering, vermutlich weil die Probanden durch die Vergabe von Belohnungspunkten besonders motiviert waren, gute Leistungen zu erbringen.

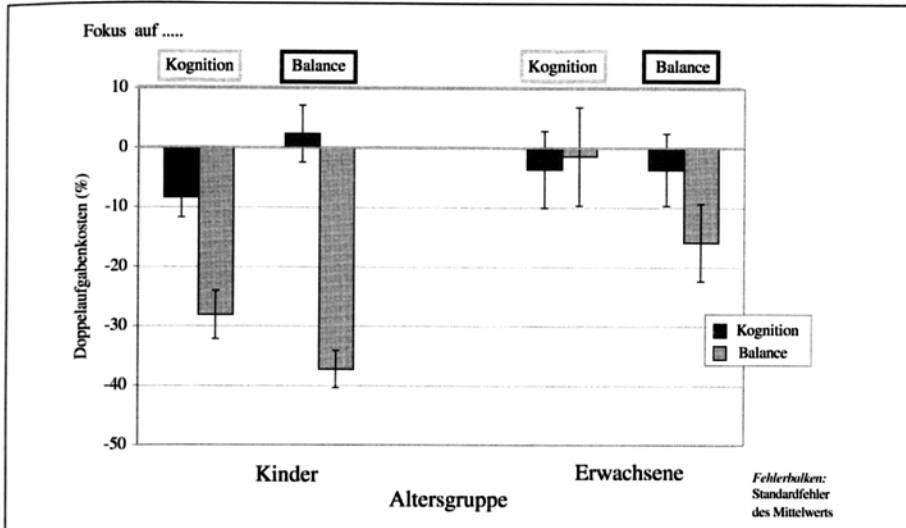


Abb. 5. Kinder gaben der Balanceleistung auch dann den Vorzug, wenn sie instruiert wurden, sich mehr auf die kognitive Aufgabe zu konzentrieren.

4 Diskussion

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich Kinder in fordernden kognitiv-motorischen Doppelaufgabensituationen, in denen die motorische Aufgabe die Aufrechterhaltung des körperlichen Gleichgewichts betraf, mehr auf die Balanceaufgabe konzentrierten, um ihr körperliches Gleichgewicht nicht zu gefährden. Tatsächlich schwanken Kinder sogar weniger stark, wenn sie gleichzeitig zum Balancieren eine anspruchsvolle Denkaufgabe bearbeiteten, im Vergleich zur Einzelaufgabensituation, in der sie während des Balancierens lediglich eine sehr einfache kognitive Aufgabe (Zahlen vorlesen oder eine Liste mit Farbnamen und Tierstimmen anhören) ausführen sollten (vgl. auch Lippens, 2005; Lippens, Jürgens, Peinke & Gottschall, 2007). Junge Erwachsene, die von vornherein durch die Balanceaufgabe in der Aufrechterhaltung ihres Gleichgewichts nicht so stark gefordert waren wie die Kinder, zeigten eine gleichmäßigere Verteilung ihrer Doppelaufgabenkosten über die beiden Aufgabendomänen. Kinder schienen in der Doppelaufgabensituation selbst dann nicht in der Lage zu sein, stärkere körperliche Ausgleichsbewegungen (und damit eine schlechtere Balanceleistung) in Kauf zu nehmen, wenn sie explizit dazu aufgefordert worden waren, sich mehr auf die kognitive Aufgabe zu konzentrieren.

Es sei auch betont, dass dieses Verhalten keine spontane Reaktion auf eine neuartige Situation ist, da die Kinder in unserer Studie über mehrere Sitzungen hinweg in Einzel- und Doppelaufgabenbedingungen trainiert worden waren.

Im Rahmen des SOK-Modells wird das Verhalten der Kinder deshalb als verlustbasierte Selektion interpretiert, die in Situationen relevant wird, in denen die Aufrechterhaltung des bisherigen Funktionslevels gefährdet ist. Dieses Verhaltensmuster der Kinder kann als adaptiv angesehen werden, da es vor Stürzen schützt. Forschung zur Entwicklung motorischer Fähigkeiten im Kindesalter hat gezeigt, dass es im Verlauf der Entwicklung Phasen geben kann, in denen die Balance „überkontrolliert“ wird, also in denen die Kinder vermeiden, motorische Risiken einzugehen (Hay & Redon, 1999; Kirshenbaum, Riach & Starkes, 2001). Das Tempo der körperlichen Reifung im Kindesalter bringt fortwährende Veränderungen der motorischen Randbedingungen mit sich und erfordert eine häufige Anpassung und Erforschung der Leistungsgrenzen durch das sich entwickelnde Individuum. Dieses Eltern und Sportlehrern vertraute Austesten von motorischen Möglichkeiten geschieht jedoch zum Glück wohl nur selten unter Doppelaufgabenbedingungen. Junge Erwachsene haben, wie in der vorliegenden Studie deutlich wird, eine bessere Ausgangsleistung im Balancieren als die Kinder, und ihre körperliche Entwicklung befindet sich vorerst in einem stabilen Stadium. Sie sind mit ihren Leistungsgrenzen bestens vertraut und können es sich somit leisten, in der Doppelaufgabensituation stärker zu schwanken, ohne Gefahr zu laufen, ihr Gleichgewicht zu verlieren. Das in anderen Studien bei älteren Erwachsenen in fordernden Doppelaufgabensituationen beobachtete Priorisieren der motorischen Aufgabe (Doumas, Smolders, Krampe, 2008; Li, Lindenberger, Freund & Baltes, 2001; Rapp, Krampe & Baltes, 2006; Schaefer, Huxhold & Lindenberger, 2006) dient also ebenso einem adaptiven Schutz vor Stürzen wie bei den Kindern, erklärt sich aber aus einem anderen Entwicklungskontext.

Bei der Interpretation der Befunde ist jedoch auch zu beachten, inwieweit geringe Körperschwankungen und eine kleine COP-Fläche tatsächlich eine „gute“ Balanceleistung darstellen. Zwar waren die Probanden in der vorliegenden Studie explizit instruiert worden, auf dem Therapiekreisel möglichst wenig zu schwanken, aber man kann diese geringen Schwankungen auch als Unfähigkeit interpretieren, mit der Balanceaufgabe flexibel umzugehen. So wurde das Paradigma des „ruhigen Stehens“ in der Literatur häufig als künstlich kritisiert, da es beim Balancieren im Alltag eher darauf ankommt, Schwankungen des Körperschwerpunktes zu tolerieren, eine Vielzahl von Bewegungen geschickt auszuführen und flexibel auf extern generierte Körperschwankungen zu reagieren, ohne das Gleichgewicht zu verlieren (Patla, Frank & Winter, 1992; Riley, Stoffregen, Grocki & Turvey, 1999).

Aus der Sicht der Forschung zur Automatisierung motorischer Fähigkeiten könnte eine Alternativerklärung für die vorliegenden Befunde formuliert werden: Die Leistung in automatisierten motorischen Aufgaben ist dann am besten, wenn man sich während der Ausführung der Aufgabe nicht auf die motorische Aufgabe konzentriert. Ein bewusstes Ausführen einzelner Komponenten der Aufgabe verschlechtert hingegen die Leistung (Beilock, Carr, MacMahon & Starkes, 2002; Maylor & Wing, 1996; Swan, Otani, Loubert, Sheffert & Dunbar, 2004). So fanden Huxhold, Li,

Schmiedek und Lindenberg (2006) bei alten Erwachsenen einen U-förmigen Zusammenhang zwischen den Körperschwankungen im Tandem-Romberg-Stand auf einer Kraftmessplatte und verschiedenen gleichzeitig ausgeführten kognitiven Aufgaben. Die älteren Probanden schwankten im Vergleich zur Einzelaufgabe weniger stark, wenn sie gleichzeitig eine einfache Denkaufgabe bearbeiteten, und die Körperschwankungen nahmen wieder zu, wenn die Denkaufgabe sehr schwierig wurde. Junge Erwachsene konnten ihre Körperschwankungen hingegen über die unterschiedlichen Schwierigkeitsbedingungen hinweg weiter reduzieren (siehe auch Lövdén, Schaefer, Pohlmeier & Lindenberg, 2008, für ähnliche Befunde beim Gehen auf einem Laufband). Die Gruppe um Stoffregen (Stoffregen, Hove, Bardy, Riley & Bonnet, 2007; Stoffregen, Pagulayan, Bardy & Hettinger, 2000; Stoffregen, Smart, Bardy & Pagulayan, 1999) hat zudem in mehreren Studien gezeigt, dass sich die Gleichgewichts-Leistung verbessert, sobald eine Aufgabe ausgeführt wird, in der visuelle, auditive oder taktile Stimuli verarbeitet werden; vermutlich weil die Stabilisierung des Körpers die Wahrnehmung der Stimuli erleichtert.

Es ist allerdings unwahrscheinlich, dass diese Prozesse dem Befundmuster der vorliegenden Studie zugrunde liegen. Zunächst wäre mit diesen Ansätzen nicht zu erklären, warum das Wechselspiel der Doppelaufgabenkosten nur bei den Kindern, und nicht bei den jungen Erwachsenen auftrat. Warum sollte eine motorische Aufgabe im Kindesalter stärker automatisiert sein als im Erwachsenenalter, bzw. warum sollte eine visuelle Zusatzaufgabe bei den Kindern zur Stabilisierung des Gleichgewichts führen, bei den jungen Erwachsenen hingegen nicht? Zudem war die „Einzelaufgabenbedingung“ in dieser Studie keine Bedingung, in der die Probanden sich ausschließlich auf das Balancieren konzentrieren konnten, weil immer eine sehr einfache kognitive Aufgabe gleichzeitig ausgeführt wurde. Als Vergleichsbedingung für das Balancieren mit N-back war dies das Vorlesen der eingeblendeten Zahlen, und als Vergleichsbedingung für das Balancieren mit MOL das Anhören einer Liste von Farbnamen und Tierstimmen. Insbesondere das Vorlesen der Farbnamen schließt aus, dass die Stabilisierung des Gleichgewichts analog zu den Studien von Stoffregen und Kollegen nur deshalb auftrat, weil die Probanden ausschließlich unter Doppelaufgabenbedingungen visuelle Stimuli verarbeiteten. Außerdem zeigen die Befunde aus der Phase der Studie, in der die Probanden ihre Aufmerksamkeit gezielt auf die Denk- oder die Balanceaufgabe richten sollten, dass die Leistungen in der Balanceaufgabe durchaus geringer wurden, wenn die Probanden instruiert wurden, sich mehr auf die Balance zu konzentrieren.

Entgegen der Vorhersage hatte die Schwierigkeit der Balanceaufgabe, also ob auf stabilem oder bewegtem Untergrund balanciert werden musste, keinen Einfluss auf das Muster der Doppelaufgabenkosten. Da das Balancieren auf bewegtem Untergrund schwieriger ist und auch zu deutlich größeren COP-Flächen führt, wäre es naheliegend gewesen, in dieser Bedingung geringere Doppelaufgabenkosten in der Balance zu zeigen, um das Gleichgewicht zu schützen. In der vorliegenden Studie unterschieden sich die Kosten der jeweiligen Domäne (Balance und Kognition) jedoch nicht in Abhängigkeit von der Schwierigkeit der Balanceaufgabe, und zwar weder bei den Kindern noch bei den jungen Erwachsenen. Das könnte daran liegen

haben, dass das Balancieren auf der bewegten Plattform eher erforderte, auf die Bewegungen des Untergrundes zu *reagieren*, und somit weniger stark durch kognitive Kontrollprozesse beeinflusst werden konnte. In Anlehnung an das Konzept der „Feedforward“- und „Feedback“-Kontrolle des Balancierens von Hay und Redon (1999) ist davon auszugehen, dass „Feedforward“-Kontrolle, bei der selbst generierte Bewegungen zu Schwankungen des Körperschwerpunktes führen, die durch kognitive Prozesse antizipiert und daraufhin korrigiert werden können, auf der stabilen Plattform eher zum Einsatz kommen konnte als auf der bewegten Plattform. „Feedback“-Kontrolle ist hingegen auf der bewegten Plattform wahrscheinlicher, weil dort auf extern generierte Schwankungen reagiert werden musste. „Feedback“-Kontrolle ist eher reflexhaft, erfordert weniger kognitive Ressourcen, und führt somit unter Umständen nicht zu einer Zunahme der Doppelaufgabenkosten.

Zukünftige Forschung sollte untersuchen, inwieweit sich das beobachtete Muster umkehrt, wenn die Balanceaufgabe darin besteht, möglichst große Schwankungen des Körperschwerpunktes zuzulassen. Wenn die Argumentation stimmt, dass Kinder ihre Körperschwankungen unter Doppelaufgabenbedingungen reduzieren, um ihr Gleichgewicht nicht zu gefährden, dann müssten sie unter Doppelaufgabenbedingungen auch dann weniger schwanken, wenn die Instruktion beispielsweise lautet, sich auf dem Therapiekreisel so weit wie möglich in bestimmte Richtungen zu lehnen. Mit dieser Operationalisierung der Balanceaufgabe würden die Kinder dann unter Doppelaufgabenbedingungen tatsächlich Kosten in der Balance produzieren, und diese wären vermutlich größer als bei den jungen Erwachsenen.

Eine zusätzliche Erweiterung des Paradigmas bestünde in der Einbeziehung weiterer Altersgruppen aus unterschiedlichen Bereichen der Lebensspanne. Insbesondere ältere Erwachsene sind in diesem Zusammenhang interessant, da sie in anderen Studien auch die Tendenz gezeigt haben, ihr Gleichgewicht in fordernden Doppelaufgabensituationen zu schützen (Li, Lindenberger, Freund & Baltes, 2001; Rapp, Krampe & Baltes, 2006).

Da die Doppelaufgabenkosten in der vorliegenden Studie besonders niedrig waren, als in der Sitzung mit unterschiedlichen Instruktionsbedingungen (Fokus auf Balance versus Fokus auf Kognition) Belohnungspunkte für gute Leistungen eingesetzt wurden, sollten zukünftige Studien zudem systematisch untersuchen, inwieweit die Rückmeldung der Leistung und der gezielte Einsatz von Belohnungen das Muster der Doppelaufgabenkosten beeinflussen können.

Schließlich sollte zukünftige Forschung sich auch mit der Frage befassen, unter welchen Bedingungen Kinder motorische Risiken eingehen, da nicht davon auszugehen ist, dass Kinder grundsätzlich übervorsichtig agieren und um jeden Preis Stürze vermeiden. So sind viele motorische Fertigkeiten wie Laufen oder Fahrrad fahren nur erlernbar, wenn das Risiko, zu stürzen, in Kauf genommen wird. In diesem Zusammenhang kann auch die Einbeziehung von Umwelteinflüssen (z. B. Ängstlichkeit der Bezugspersonen) oder von Persönlichkeitseigenschaften des Kindes in das Studiendesign lohnend sein (Christensen & Mikkelsen, 2008; Hillier & Morrongiello, 1998; Little, 2006; Morrongiello & Dawber, 1998; Morrongiello & Dawber, 2004).