

Andreas OBERSTEINER, München

Was passiert im Gehirn beim Kopfrechnen? - Eine neurophysiologische Untersuchung der Hirnaktivitäten beim Lösen zweistelliger Additionsaufgaben

Bedeutung von Textaufgaben für die Kompetenzentwicklung

Das Lösen einfacher Additionsaufgaben durch Kopfrechnung ist eine grundlegende mathematische Fähigkeit und eine der ersten Aufgabenstellungen im arithmetischen Anfangsunterricht. Dabei ist von Bedeutung, dass solche Aufgaben nicht nur isoliert gelöst werden können, sondern dass entsprechende Lösungsstrategien in verschiedenen Kontexten anwendbar sind (Reiss, 2004). Mathematische Kompetenz beinhaltet nämlich wesentlich die Fähigkeit des Modellierens, also des Abstrahierens der mathematischen Problemstellung aus einem alltäglichen Kontext (OECD, 2004). Um diese Kompetenz bei Schülerinnen und Schülern bereits früh zu fördern, werden im Mathematikunterricht der Grundschule Textaufgaben mit alltagsnahen Inhalten eingesetzt. Eine interessante Fragestellung ist in diesem Zusammenhang, wie groß der Einfluss des Präsentationsformats auf das Lösungsverhalten der Schüler ist bzw. ob sich dieser Einfluss ggf. im Laufe der Zeit verändert. Der Schwierigkeitsgrad einer Aufgabe hängt ferner wesentlich von den Vorkenntnissen eines Schülers ab (Stern, 1997). Demnach wäre zu erwarten, dass ältere Schüler auf Grund ihrer größeren Vorkenntnisse dieselben Aufgaben schneller und korrekter lösen als jüngere. Im Bereich des Kopfrechnens ist aber angesichts täglicher Unterrichtspraxis von Grundschulern und der üblichen Vernachlässigung dieser Form des Rechnens in höheren Klassen sowie der Verwendung des Taschenrechners nicht a priori klar, ob das Alter hier einen positiven Einfluss auf die Leistung hat.

Neurowissenschaftliche Grundlagen mathematischer Prozesse

Aus neurowissenschaftlicher Sicht ist dabei interessant zu klären, welche Prozesse beim Lösen mathematischer Aufgaben unterschiedlicher Art im Gehirn stattfinden. Aus zahlreichen Studien ist bekannt, dass etwa das Abrufen mathematischer Fakten wie beim kleinen Einmaleins auf anderen Prozessen beruht und in anderen Teilen des Gehirns stattfindet als das exakte Lösen einer schwierigeren Additionsaufgabe. Der Parietallappen des Gehirns hat sich als Kernregion der Zahlenverarbeitung herausgestellt (für einen kurzen Überblick siehe z. B. Kucian & von Aster, 2005). Diese Region ist besonders beim exakten Berechnen einer Lösung aktiv, weniger beim Abruf auswendig gelernter Fakten. Erhöhte Hirnaktivierungen zeigten sich, wenn Aufgaben in symbolischer Schreibweise (also mit arabischen

Ziffern) dargeboten wurden, aber beispielsweise auch bei nicht-symbolischen Aufgaben zum Größenvergleich.

Das Projekt BrainMath

In dem interdisziplinär angelegten Projekt BrainMath wird untersucht, welchen Einfluss die Faktoren Alter, Präsentationsformat und Gefühlszustand auf das Verhalten und die Hirnaktivierungen beim Berechnen zweistelliger Additionsaufgaben im Kopf haben. In diesem Beitrag geht es lediglich um Einflüsse der beiden zuerst genannten Faktoren.

Aufgaben

Es wurden Additionsaufgaben im zweistelligen Bereich vom Typ $ZE+ZE=ZE$ (Zehner- und Einerstelle jeweils ungleich Null) mit und ohne Zehnerübergang verwendet. Solche Aufgaben können nicht allein durch Faktenabruf gelöst werden, sondern es sind Rechengänge notwendig. Die Aufgaben wurden je zur Hälfte in numerisch-algorithmischer Form (also z. B. „ $58+37=?$ “) oder in Form von kurzen Textaufgaben (z. B. „Robert ist 26 Jahre alt, sein Großvater ist 52 Jahre älter. Wie alt ist der Großvater?“) präsentiert (*Präsentationsformat*). Große Unterschiede in den Bearbeitungszeiten, aber geringe Unterschiede in der durchschnittlichen Lösungsrate für solche Aufgaben wurden in einem Vortest festgestellt. Die Aufgaben schienen deshalb geeignet für die Untersuchung von Unterschieden in der Hirnaktivierung.

Methode

Die Hirnaktivitäten im parietalen Bereich wurden mit Nah-Infrarot-Spektroskopie (NIRS) gemessen, einem Verfahren zur Messung der lokalen Durchblutungsverhältnisse im Gehirn. Dabei wird dem Probanden eine Art Haube auf den Kopf gesetzt, aus welcher kurzwelliges Infrarotlicht abgegeben wird. Dieses wird je nach lokaler Durchblutungsstärke unterschiedlich stark reflektiert und von Lichtdetektoren aufgenommen. Der Effekt beruht auf der Beobachtung, dass das Nah-Infrarotlicht von oxygeniertem (sauerstoffreichem) und reduziertem (sauerstoffarmem) Hämoglobin (O_2Hb bzw. HHb) unterschiedlich stark absorbiert wird. Aus dem Verhältnis zwischen ausgesendetem und reflektiertem Licht kann deshalb die regionale Konzentrationsänderung von O_2Hb und HHb berechnet werden.

Stichprobe und Design

Die Untersuchung wurde mit 46 Schülerinnen und Schülern der Jahrgangsstufe 4 einer Grundschule und 44 Schülerinnen und Schülern der Jahrgangsstufe 8 einer Realschule in Bayern durchgeführt. Der Versuchsaufbau bestand aus zwei Blöcken (*Bedingungen*), einem „Leseblock“ und einem

„Rechenblock“. Während in letzterem für alle präsentierten Aufgaben das korrekte Ergebnis berechnet werden sollte, musste man beim Leseblock die Aufgaben lediglich durchlesen ohne das Ergebnis zu berechnen. Aufgrund dieser Vergleichsbedingung konnten bei der Auswertung Hirnaktivitäten identifiziert werden, die nur für das Lesen verantwortlich waren. Der Leseblock beinhaltete 24 und der Rechenblock 44 Aufgaben. Sowohl die Abfolge der Aufgaben innerhalb der Blöcke als auch die Reihenfolge der beiden Blöcke waren zufällig. Die Aufgaben wurden einzeln an einem Bildschirm gezeigt und die Versuchspersonen mussten über die Tastatur eine von vier möglichen Antworten auswählen. Außer den Gehirnaktivitäten wurden Reaktionszeiten und Trefferanzahlen gemessen.

Vor der Durchführung der NIRS-Messungen bearbeiteten alle Versuchspersonen einen schriftlichen Mathematikleistungstest zur Einschätzung ihrer allgemeinen mathematischen Leistungsfähigkeit.

Ergebnisse

Die beiden Versuchsgruppen unterschieden sich signifikant ($t(73.68) = 6.13$, $p < .001$, $d = 1.29$) in der durchschnittlichen Bearbeitungszeit pro Rechenaufgabe (10,8 Sek. bzw. 8,0 Sek.), kaum hingegen in der durchschnittlichen Trefferquote (95,8% bzw. 96,3%). In beiden Gruppen wurde ein hoch signifikanter Zusammenhang ($p < .001$) zwischen der Trefferquote und dem Aufgabentyp gefunden, kein signifikanter Zusammenhang bestand dagegen zwischen Trefferquote und Präsentationsformat. Aufgaben mit Zehnerübergang wurden also signifikant häufiger falsch gelöst als Aufgaben, bei denen kein Zehnerübergang notwendig war. Dagegen machte es bezogen auf die Fehlerrate keinen signifikanten Unterschied, ob die Aufgaben in numerisch-algorithmischer Form oder als Textaufgaben gestellt waren.

Hinsichtlich der Bearbeitungszeit zeigte sich in beiden Gruppen eine hoch signifikante Abhängigkeit ($p < .001$) von den Variablen Präsentationsformat und Aufgabentyp. Zusätzlich gab es hier auch Interaktionseffekte zwischen Präsentationsformat und Jahrgangsstufe ($F(1,88) = 35.85$, $p < .001$). Die Schüler benötigten also für die Bearbeitung von numerisch dargebotenen Aufgaben weniger Zeit als für Textaufgaben. Der Einfluss des Präsentationsformats war aber für Schüler der 4. Jahrgangsstufe ausgeprägter als für Schüler der 8. Jahrgangsstufe. In beiden Gruppen wurden Aufgaben mit Zehnerübergang signifikant langsamer gelöst als Aufgaben ohne Zehnerübergang.

Ein interessantes Ergebnis sind ferner die Korrelationen zwischen Mathematikleistung im schriftlichen Test und den Leistungen im PC-Test. Hier

findet sich für die Gruppe der Viertklässler ein negativer korrelativer Zusammenhang zwischen Mathematikleistung und Bearbeitungszeit ($r = -.30$, $p < .05$) (leistungsstärkere Schüler benötigten also weniger Zeit), kein solcher Zusammenhang besteht jedoch zur Fehlerquote. Für die Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufe 8 zeigt sich ein umgekehrtes Bild: Leistungsstärkere Schüler lösten die Aufgaben mit weniger Fehlern ($r = .40$, $p < .01$), waren aber nicht unbedingt schneller (keine Korrelation mit der Bearbeitungszeit).

Vor der Auswertung der Daten der NIRS-Messung wurde eine so genannte Region of Interest (ROI) im parietalen Bereich des Gehirns definiert, für welche die Konzentrationsänderungen von O₂Hb und HHb berechnet wurden. Ein direkter Vergleich der beiden Gruppen gestaltet sich aufgrund der großen Unterschiede in den Bearbeitungszeiten als schwierig. Die Auswertungen sind noch nicht abgeschlossen. Erste Berechnungen ergaben, dass sich während der Rechenbedingung bei Textaufgaben in der Gruppe der Grundschüler eine stärkere Aktivierung zeigte als bei numerisch gestellten Aufgaben. In der Gruppe der Achtklässler konnten keine deutlichen Unterschiede ausgemacht werden.

Zusammenfassung

Alle Schüler bearbeiteten die Aufgaben weitgehend korrekt, allerdings benötigten Schüler der 4. Jahrgangsstufe dafür deutlich mehr Zeit. Es überrascht nicht, dass die Fehlerquoten insgesamt sehr niedrig sind, da die Aufgaben im Prinzip für alle Schüler ab der 2. Klasse lösbar sind und kein Zeitdruck bestand. Der höhere Zeitbedarf der jüngeren Schüler verbunden mit verstärkten Hirnaktivierungen im parietalen Bereich könnte als Hinweis auf automatisierte Strategien bei älteren Schülern und einen routinierteren Umgang mit den Modellierung erfordernden Textaufgaben interpretiert werden.

Literatur:

Kucian, K. & von Aster, M. (2005). Dem Gehirn beim Rechnen zuschauen. Ergebnisse der funktionellen Bildgebung. In von Aster, M. & Lorenz, J. H. (Hrsg.). Rechenstörungen bei Kindern (S. 54-72). Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.

OECD (2004). Lernen für die Welt von morgen. Erste Ergebnisse von PISA 2003. Heidelberg: Elsevier.

Reiss, K. (2004). Bildungsstandards und die Rolle der Fachdidaktik am Beispiel der Mathematik. Zeitschrift für Pädagogik, 50(5), 635-649.

Stern, E. (1997). Erwerb mathematischer Kompetenzen. Ergebnisse aus dem SCHOLASTIK-Projekt. In Weinert, F. E. & Helmke, A. (Hrsg.). Entwicklung im Grundschulalter (S. 157-170). Weinheim: Psychologie Verlags Union.