

7 WIE SPRACHE MATHEMATIK BEEINFLUSST

Dieser Beitrag widmet sich mit der Methode der kognitiven Neurowissenschaft insbesondere der Frage, welchen Einfluss die Schulbildung (Mathematik), auf unsere numerischen Konzepte und deren Erlernen hat. Sie soll unter dem Gesichtspunkt des mehrsprachigen Bildungssystems in Luxemburg untersucht werden. Konkret wird dabei geprüft, ob die Sprache(n), die eine Person spricht, einen Einfluss auf die Darstellungen und Verfahren in ihrem numerisch-mathematischen Repertoire hat.

7.1 | Einleitung

Mathematik wird oft als Grundpfeiler schulischer Bildung angesehen. Tatsächlich scheint auch ein Zusammenhang zu bestehen zwischen der Wahrscheinlichkeit, eine Vollzeitstelle zu finden, und der arithmetischen Kompetenz, d. h. den Grundkenntnissen im Rechnen und der Fähigkeit, diese Kenntnisse zur Lösung von Alltagsproblemen zu verwenden (Rivera-Batiz, 1992). Ganz allgemein sind Menschen mit besseren Ergebnissen in Mathematik erfolgreicher im Berufsleben, was sich in Form eines höheren sozioökonomischen Lebensstandards und in höheren akademischen Qualifikationen niederschlägt (Duncan et al., 2007; Ritchie & Bates, 2013).

Angesichts dessen ist es enorm wichtig, zu begreifen, wie Mathematik erlernt wird, und die optimale Art und Weise zu finden, wie Mathematik zu unterrichten ist. Mit dieser Fragestellung beschäftigten sich traditionell zunächst die Erziehungswissenschaften. Der Aufschwung der kognitiven Neurowissenschaft bzw. der Kognitionswissenschaft in den letzten Jahren eröffnet neue Perspektiven und erweitert unseren Horizont in Bezug auf das Lernen und Unterrichten im Allgemeinen und den Mathematikunterricht im Besonderen (Kail & Fayol, 2003; Blakemore & Frith, 2005).

Beim Thema der mathematischen Bildung forschen kognitive Neurowissenschaft und Kognitionswissenschaft derzeit hauptsächlich an folgenden Fragestellungen:

- a) Welche kognitiven und zerebralen Mechanismen lassen in uns das Verständnis für Mengen und Zahlen und die Fähigkeit zum Umgang mit ihnen entstehen?
- b) Wie entwickeln sich diese numerisch-mathematischen Mechanismen im Laufe des Lebens?
- c) Welchen Einfluss hat die Schulbildung, insbesondere im Fach Mathematik, auf unsere numerischen Konzepte und deren Erlernen?

In diesem Kapitel wollen wir uns mit der Methode der kognitiven Neurowissenschaft⁴⁶ insbesondere der letzten Frage widmen. Sie soll unter dem Gesichtspunkt des mehrsprachigen Bildungssystems in Luxemburg untersucht werden. Konkret soll dabei geprüft werden, ob die Sprache(n), die eine Person spricht, einen Einfluss auf die Darstellungen und Verfahren in ihrem numerisch-mathematischen Repertoire hat. Als Ausgangspunkt dient die Sprachensituation in Luxemburg und das mehrsprachige Bildungssystem, das gleichzeitig auch im Mittelpunkt des Interesses steht.

Jeder von uns kann unabhängig von der Sprache mit geschätzten numerischen Mengen umgehen (Xu & Spelke, 2000). Diese Fähigkeit beherrschen selbst Kleinkinder bereits, ebenso wie bestimmte Tierarten. Der Erwerb und die Beherrschung symbolischer Darstellungen genauer Mengen sind jedoch ohne Sprache und Anleitung nicht möglich (z. B. Pica, Lemer, Izard & Dehaene, 2004). Anders ausgedrückt: Die Verwendung von Sprache erleichtert und prägt das Erlernen des Konzepts zahlenmäßig genauer Mengen (Fuson, Richards & Briars, 1982; Le Corre, Vandewalle, Brannon & Carey,

2006). Daher dürfte es einleuchten, dass die Analyse wie ein bestimmter sprachlicher Kontext unsere numerischen Konzepte beeinflusst und formt von großem Interesse sowie notwendig ist.

In einem mehrsprachigen Land wie Luxemburg ist diese wissenschaftliche Vorgehensweise sehr aussagekräftig. In diesem Kapitel soll daher aufgezeigt werden, dass sie sogar unverzichtbar ist, um die kognitiven und neurophysiologischen Mechanismen des numerisch-mathematischen Lernens zu verstehen. In Luxemburg spiegelt sich die Mehrsprachigkeit des Landes im Schulsystem wider. So sind alle drei Landessprachen – Luxemburgisch, Französisch und Deutsch – in unterschiedlicher Intensität durch das gesamte Bildungssystem hindurch Unterrichtssprachen. Je nach Schuljahr wird so auch Mathematik in unterschiedlichen Sprachen unterrichtet. Während der Vorschulunterricht im ersten Zyklus (C1.1–C1.3) der Vorschule auf Luxemburgisch stattfindet, wird Mathematik über die gesamten sechs Grundschuljahre (C2.1–C4.2) auf Deutsch unterrichtet, in den sieben Sekundarschuljahren dagegen auf Französisch. Angesichts dieser Vielzahl an Sprachen dürfte intuitiv klar sein, von welchem Interesse und welcher Bedeutung die Untersuchung der Art und Weise ist, in der die jeweilige Sprache das Erlernen der Konzepte und der numerisch-mathematischen Konzepte beeinflusst.

Man muss sich ebenso der Frage widmen, welchen Einfluss die Kombination aus mehreren Sprachen hat, d. h., wie sich Mehrsprachigkeit auf die numerische Kognition und Mathematik auswirkt. Da die Sprachenvielfalt unter den Schülern in Luxemburg kontinuierlich zunimmt, ist es umso dringlicher, Antworten auf all diese Fragestellungen zu finden. So fiel z. B. der Anteil der in Luxemburg eingeschul-ten Kinder mit Luxemburgisch als Muttersprache von etwas über 50 % im Zeitraum 2005 bis 2006 auf 36,1 % im Zeitraum 2012 bis 2013, und dieser Trend hält weiter an (Martin, Ugen & Fischbach, 2013).

Die Verwendung von Sprache erleichtert und prägt das Erlernen des Konzepts zahlenmäßig genauer Mengen.

⁴⁶ Durch die Forschungsmethoden der kognitiven Neurowissenschaft erschließt sich uns, wie Lern- und Reflektionsprozesse funktionieren und wie sie durch unser Gehirn gesteuert werden. Dazu misst man z. B., wie schnell eine Person eine bestimmte Aufgabe erledigt und wie hoch die Fehlerrate dabei ist. Die Forscher greifen dabei sogar auf bildgebende Verfahren aus der Medizin, wie z. B. Elektroenzephalographie (EEG) oder funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT), zurück. Eine weitere, bereits seit langem existierende Methode besteht in der Untersuchung von Patienten mit Läsionen in bestimmten Hirnarealen bei der Lösung bestimmter Aufgaben. Analog dazu existieren seit einigen Jahren Techniken, mit denen es möglich ist, vorübergehend kleine Gehirnareale zu deaktivieren. Damit soll untersucht werden, wie der Proband unter diesen Voraussetzungen bestimmte Aufgaben löst. Ziel all dieser Methoden ist es, zu verstehen, welche Rolle die einzelnen Regionen im Gehirn bei mentalen Prozessen spielen. Nach und nach erhalten wir so eine Vorstellung davon, wozu die einzelnen Areale im Gehirn dienen und wie sie untereinander interagieren.

7.2 | Sprachabhängiger Umgang mit Zahlen

Um den Einfluss des sprachlichen Kontexts auf die Art und Weise, wie wir Zahlen verstehen und verarbeiten, besser verstehen zu können, hat die „Cognitive Neuroscience Research Group“ der Universität Luxemburg in den letzten Jahren eine Reihe von Untersuchungen im Bereich der kognitiven Neurowissenschaft durchgeführt. Bei diesen Versuchen wurden Gruppen mit ein- und mehrsprachigen Kindern und Erwachsenen gebildet, die ganz einfache numerische Aufgaben lösen sollten, wie z. B. Lesen oder Größenvergleiche zwischen arabischen Zahlen. Die Ergebnisse dieser Versuche zeigen ganz eindeutig, dass die lexikalische Struktur der gesprochenen Sprache(n) die Verarbeitung von Zahlen beeinflusst.

Für das Verständnis, wie die beiden im luxemburgischen Schulwesen verwendeten Sprachen – Deutsch in der Grund- und Französisch in der Sekundarschule – das Verstehen und Verarbeiten von Zahlen beeinflussen, erschien es uns logisch, uns zunächst einmal mit jeder dieser Sprachen getrennt zu befassen. Daher haben wir uns zunächst auf Personen konzentriert, die rein deutsch- bzw. rein französischsprachig sind. Untersucht wurde die Verarbeitung von zweistelligen Zahlen in einer Population von zehnjährigen Kindern (n = 42) und von jungen Erwachsenen (n = 50), die jeweils rein französisch- bzw. rein deutschsprachig waren. In einem innovativen Paradigma hörten die Teilnehmer eine zweistellige Zahl – z. B. 42 –, die sie unter vier Auswahlmöglichkeiten erkennen sollten, die ihnen auf einem Bildschirm angezeigt wurden. In den beiden ersten Versuchsanordnungen wurde die Reihenfolge der beiden Ziffern manipuliert, um entweder den im Französischen üblichen Zahlenaufbau in der Reihenfolge „Zehner-Einer“ (quarante-deux) oder die im Deutschen übliche Reihenfolge „Einer-Zehner“ (zweiundvierzig) zu simulieren. In einer dritten Konstellation wurden beide Ziffern gleichzeitig präsentiert, wie dies ganz klassisch bei den arabischen Zahlen der Fall ist.

Während die französisch- und die deutschsprachigen Erwachsenen all diese Aufgaben gleich gut lösten, waren die deutschsprachigen Kinder in der klassischen Konstellation, bei der beide Ziffern gleichzeitig präsentiert wurden, deutlich langsamer als die französischsprachigen. Außerdem waren die Kinder in beiden Sprachgruppen schneller in der Konstellation, bei der die Ziffern in derselben Reihenfolge wie bei der Aussprache des entsprechenden Zahlwortes präsentiert wurden (Poncin, van Rinsveld & Schiltz). Diese Ergebnisse zeigen, dass Sprachen, in denen Zehner und Einer umgekehrt gereiht werden (die sog. „invertierenden“ Sprachen wie Deutsch), einen gewissen kognitiven Aufwand in der Verarbeitung dieser Zahlen von den Kindern fordern, was offensichtlich im Erwachsenenalter nicht mehr der Fall ist. Angesichts dessen könnte man über pädagogische Maßnahmen nachdenken, die speziell auf diese sprachliche Schwierigkeit zugeschnitten sind und jüngeren Kindern die Möglichkeiten bieten, sie zu erkennen und so gut wie möglich damit umzugehen.

Aktuell werten wir aus, wie diese Aufgaben von jungen mehrsprachigen Luxemburger Erwachsenen⁴⁷ gelöst werden, die u. a. Deutsch und Französisch sprechen. Erste Ergebnisse deuten darauf hin, dass diese einfache Aufgabe der Zahlenverarbeitung deutlich schneller im Deutschen, der ersten Sprache des formalen Mathematikunterrichts, als im Französischen erledigt wird (Poncin et al.). Bei der Untersuchung des Leseverständnisses von zweistelligen Zahlen bei Luxemburger Kindern und Jugendlichen unterschiedlicher Altersstufen (10 Jahre, n = 32; 13 Jahre, n = 32; 16 Jahre, n = 32) finden wir ebenfalls diese bessere Zahlenverarbeitung im Deutschen. Hinzu kommt, dass die Zehnjährigen aus Zyklus 4.1 der Grundschule nicht nur langsamer in Französisch sind, sondern auch deutlich mehr Fehler machen, wenn sie eine in Französisch präsentierte zweistellige Zahl verarbeiten sollen (Poncin et al.).

⁴⁷ Bei unserer Forschungsarbeit haben wir lediglich den Einfluss der beiden Sprachen untersucht, in denen in Luxemburg offiziell Mathematikunterricht erteilt wird, und zwar Deutsch und Französisch. Um auch die Tatsache mit einzubeziehen, dass unsere luxemburgischen Teilnehmerinnen und Teilnehmer zudem weitere Sprachen wie Luxemburgisch und später Englisch sprechen, werden sie hier systematisch als „mehrsprachig“ bezeichnet.

Diese Ergebnisse zeigen, dass die erste Unterrichtssprache im Fach Mathematik eine prägende Rolle für das Lernen spielt. Sie erscheinen uns insbesondere vor dem Hintergrund interessant und bedeutsam, dass man sich Gedanken über ideale Lernbedingungen für zwölfjährige Kinder beim Übergang von der Grund- in die Sekundarschule macht. Wie bereits angeführt, haben es luxemburgische Schülerinnen und Schüler nach dem Wechsel auf die Sekundarschule mit einem plötzlichen Wechsel der Unterrichtssprache im Fach Mathematik zu tun: von Deutsch zu Französisch. Unsere Ergebnisse zeigen, dass dieser Wechsel zu einer neuen Unterrichtssprache zu diesem Zeitpunkt ggf. zu einer Verlangsamung sowie zu bestimmten Fehlern bei den Leistungen im Fach Mathematik führen kann. Ein an diesen sprachlichen Kontext angepasster Unterricht müsste also idealerweise diese Schwierigkeit als solche anerkennen und sie bei Methodik und Inhalten berücksichtigen. Diese Annahme muss jedoch durch Interventionsstudien in den Schulen überprüft werden.



Die Schwierigkeiten luxemburgischer Schülerinnen und Schüler bei der Verarbeitung von Zahlen auf Französisch sind also scheinbar vor allem darauf zurückzuführen, dass Französisch lediglich die zweite Unterrichtssprache im Fach Mathematik ist. Allerdings muss man wissen, dass bestimmte Besonderheiten der französischen Sprache die Beherrschung der Mathematik-Termini deutlich erschweren. Dies gilt selbst für Menschen, deren Mathematikunterricht rein französischsprachig war. So ergaben weitere Studien unseres Teams über einsprachige Schülerinnen und Schüler, dass die Zwanzigerstruktur der französischen Zahlwörter von 70 bis 100 (z. B. 72 = soixante-douze) eine zusätzliche Schwierigkeit bei der Verarbeitung dieser Zahlwörter zu sein scheint (van Rinsveld & Schiltz, 2016). Bei einem Vergleich zwischen Grundschulinnen und -schülern der 4. Klasse in englischen und französi-

schen Schulen in Luxemburg konnten wir so feststellen, dass das Erkennen und die Wiedergabe von Zahlwörtern über 60 bei französischsprachigen Kindern langsamer als bei englischsprachigen ist, die es mit dezimal aufgebauten Zahlwörtern zu tun haben (z. B. 72 = seventy-two). Die Unregelmäßigkeit des Zwanzigersystems scheint also ein sprachliches Hindernis darzustellen, mit dem man sich für den Mathematikunterricht näher befassen sollte, um das Lernen in diesem Fach zu vereinfachen, vor allem in einem so komplexen mehrsprachigen Kontext wie in Luxemburg. Diese Hypothese muss allerdings noch verifiziert werden, denn unseres Wissens existiert noch keine Studie, die explizit die Auswirkungen eines solchen pädagogischen Konzepts evaluiert hätte.

Neben dem einfachen Erkennen oder Ablesen von zweistelligen Zahlen beeinflusst die Sprache auch komplizierteres Zahlenverarbeiten wie z. B. Größenvergleiche. Beim Größenvergleich ist einfach anzugeben, welche der beiden Ziffern den größeren (oder kleineren) Wert hat. Dies ist eine besonders interessante Mathematikaufgabe, denn ihre erfolgreiche Lösung gilt als Vorläufer für komplexere mathematische Fähigkeiten. Wie leicht oder schwer sich Erstklässler dabei tun, zwei arabische Zahlen miteinander zu vergleichen, ist in der Tat aussagekräftig für ihr mathematisches Kompetenzniveau im darauffolgenden Schuljahr (de Smedt, Verschaffel & Ghesquière, 2009). Andererseits konnte in mehreren Studien nachgewiesen werden, dass das sprachliche Profil eines Menschen seine Art, die Größe zweistelliger Zahlen miteinander zu vergleichen, moduliert (Nuerk, Weger & Willmes, 2005; Macizo, Herrera, Paolieri & Román, 2010; van Rinsveld et al., 2016). Beim Vergleichen zweistelliger Zahlen, wie z. B. 44 und 88, fallen die Antworten langsamer und häufiger falsch aus, wenn beim Vergleichen von Zehnern und Einern jede einzelne Ziffer zu einer anderen Antwort führt (z. B. 38 und 53, für die gilt: $3 < 5$, aber $8 > 3$). Diesen Vergleich nennt man →

Unsere Ergebnisse zeigen, dass dieser Wechsel zu einer neuen Unterrichtssprache zu diesem Zeitpunkt ggf. zu einer Verlangsamung sowie zu bestimmten Fehlern bei den Leistungen im Fach Mathematik führen kann. Ein an diesen sprachlichen Kontext angepasster Unterricht müsste also idealerweise diese Schwierigkeit als solche anerkennen und sie bei Methodik und Inhalten berücksichtigen. Diese Annahme muss jedoch durch Interventionsstudien in den Schulen überprüft werden.

Man könnte auch sagen, dass Personen, die eine Sprache mit Inversion sprechen, mehr durch Interferenz der Einer gestört werden bei Aufgaben, bei denen zweistellige arabische Zahlen verglichen werden.

Wir konnten nachweisen, dass dies auch für mehrsprachige Luxemburger gilt, d. h. für Erwachsene und Kinder gleichermaßen, die ihren Mathematikunterricht zunächst auf Deutsch hatten bzw. haben.

→ „inkompatibel“. Das Gegenteil dazu ist der sog. „kompatible“ Vergleich, bei dem Zehner und Einer zur selben Antwort führen (z. B. $8 > 3$ und $6 > 2$). Der vorstehend beschriebene Effekt wird als Kompatibilitätseffekt zwischen Einern und Zehnern oder ganz einfach als „Kompatibilitätseffekt“ bezeichnet (Nuerk, Weger & Willmes, 2001), und genau dieser Effekt ist je nach gesprochener Sprache bzw. gesprochenen Sprachen unterschiedlich stark ausgeprägt. So kommt es insbesondere in den Sprachen mit Inversion wie im Deutschen zu einem stärker ausgeprägten Kompatibilitätseffekt⁴⁸ als in Sprachen ohne Inversion wie z. B. im Englischen oder Französischen (Nuerk et al., 2005; Van Rinsveld et al., 2016). Man könnte auch sagen, dass Personen, die eine Sprache mit Inversion sprechen, mehr durch Interferenz der Einer gestört werden bei Aufgaben, bei denen zweistellige arabische Zahlen verglichen werden. Wir konnten nachweisen, dass dies auch für mehrsprachige Luxemburger gilt, d. h. für Erwachsene und Kinder gleichermaßen, die ihren Mathematikunterricht zunächst auf Deutsch hatten bzw. haben (van Rinsveld et al., 2016). Diese Ergebnisse sind beachtenswert, denn sie zeigen, dass das sprachliche Profil die Verarbeitung der Größe arabischer Ziffern über den relativen Einfluss von Zehnern und Einern auf diese Verarbeitung moduliert. Damit beeinflusst die Sprache, die jemand spricht, die Art und Weise, in der visuell präsentierte Zahlen verglichen werden. Diese Beobachtung ist insbesondere deswegen von so großer Bedeutung, weil, wie zuvor dargelegt, der Größenvergleich ein Vorläufer für komplexere mathematische Fähigkeiten ist. Alles in allem zeigen die präsentierten Daten, dass die Sprache(n), die eine Person spricht, einen signifikanten Einfluss auf ihr Zahlenverständnis und ihre Fähigkeit zum Umgang mit Zahlen hat/haben.

Ein ideal an den Kontext angepasster Mathematikunterricht sollte also diesen Spracheneffekt berücksichtigen, um die Schülerinnen und Schüler beim Umgang mit den sprachenspezifischen Schwierigkeiten und ihrer Überwindung zu unterstützen; er sollte vielmehr die sprachlichen Besonderheiten zu nutzen wissen, die sich als besonders günstig für das Lernen im Fach Mathematik erwiesen haben. Unseres Wissens gibt es derzeit keine Untersuchungen zur Erarbeitung derartiger didaktischer Konzepte mit Evaluierung ihrer Effizienz durch neurophysiologische oder verhaltensorientierte Messungen.

Ein ideal an den Kontext angepasster Mathematikunterricht sollte also diesen Spracheneffekt berücksichtigen, um die Schülerinnen und Schüler beim Umgang mit den sprachenspezifischen Schwierigkeiten und ihrer Überwindung zu unterstützen; er sollte vielmehr die sprachlichen Besonderheiten zu nutzen wissen, die sich als besonders günstig für das Lernen im Fach Mathematik erwiesen haben.

⁴⁸ Der Unterschied kommt daher, dass der Abstand zwischen den Einern den Kompatibilitätseffekt in den Sprachen mit Inversion moduliert: In den Sprachen ohne Inversion ist der Kompatibilitätseffekt derselbe für große wie für kleine Abstände zwischen den Einern, in den Sprachen mit Inversion ist er jedoch bei großen Abständen zwischen den Einern stärker ausgeprägt als bei kleinen Abständen.

7.3 Sprachenabhängige Lösung von Rechenaufgaben

Unter den komplexeren mathematischen Fähigkeiten zählt die Arithmetik zu denjenigen, die von der kognitiven Neurowissenschaft am besten untersucht wurden (Arsalidou & Taylor, 2011). Ausgehend von der Feststellung, dass die Sprache unsere Verarbeitung von Zahlen und ihrer Größe beeinflusst, ist davon auszugehen, dass dies auch bei der Lösung arithmetischer Aufgaben der Fall ist. Dies dürfte nach der Lektüre des ersten Teils dieses Kapitels keine Überraschung mehr sein. Der Vergleich zwischen einsprachigen Personen, die jeweils eine andere Sprache sprechen, hat gezeigt, dass der Aufbau der Zahlwörter einen Einfluss auf die Methode zur Lösung von Rechenaufgaben und deren Effizienz haben kann. Brysbaert, Fias & Noël führten 1998 eine Studie in Belgien durch, bei der sie beobachteten, dass Frankophone Aufgaben, wie z. B. „21 + 4“, schneller lösten als die flämischsprachigen Probanden, die wiederum Aufgaben des Typs „4 + 21“ schneller lösten. Diese Ergebnisse untermauern, dass es Sprechern des Niederländischen leichter fällt, diese Art von Additionsaufgaben zu lösen. Man könnte dies dadurch erklären, dass das Niederländische/Flämische, genau wie das Deutsche, eine Sprache mit Inversion, d. h. mit umgekehrter Reihung von Zehnern und Einern, ist. Während man aus diesen Ergebnissen je nach Sprache unterschiedliche Strategien herauslesen kann, scheint es auch Sprachenstrukturen zu geben, die das Rechnen lernen pauschal erschweren. Göbel, Moeller, Pixner, Kaufmann & Nuerk (2014) beschreiben, dass sich zehnjährige deutschsprachige Kinder mit Additionsaufgaben, bei denen ein Übertrag zu machen ist (z. B. 42 + 19), schwerer tun als gleichaltrige italienischsprachige Kinder, die keine Zahlwörter mit Inversion benutzen. Die Autoren gehen davon aus, dass die Inversion der Zahlwörter beim Rechnen auf Deutsch einen zusätzlichen Denkaufwand erfordern, so dass Kinder, die eine Sprache mit Inversion, wie z. B. Deutsch, sprechen, weniger effizient sind, wenn man sie mit Gleichaltrigen in derselben Schulform vergleicht, deren Sprache Zehner und Einer nicht umgekehrt reiht (wie z. B. Italienisch).

Wie sieht es nun bei den Mehrsprachigen aus, wenn man ihnen Rechenaufgaben in den jeweils von ihnen gesprochenen Sprachen stellt? In Luxemburg sind dies generell alle Schülerinnen und Schüler mit Luxemburgisch als Muttersprache, die zunächst in der Grundschule auf Deutsch Lesen, Schreiben und Rechnen lernen und dann in der Sekundarschule ihren Mathematikunterricht auf Französisch fortsetzen. Haben junge Menschen dieses Schulsystem erfolgreich abgeschlossen, sind sie mehrsprachig und beherrschen diese beiden Sprachen sehr gut. In einer in Luxemburg durchgeführten Studie haben wir untersucht, wie Jugendliche in unterschiedlichen Klassenstufen der Sekundarschule (7., 8., 10. und 11. Schuljahr des formellen Bildungsweges; n = 36, 33, 35, 41) sowie junge Erwachsene, die diesen Bildungsweg durchlaufen haben (n = 48), Additionsaufgaben lösen (van Rinsveld, Brunner, Landerl, Schiltz & Ugen, 2015). Wie in der wissenschaftlichen Literatur üblich, haben wir die Leistungen getrennt nach ganz einfachen (Operanden < 10) und komplizierteren Additionsaufgaben (Operanden > 10) untersucht.

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass einfache Rechenaufgaben in allen Altersstufen auf Deutsch etwas schneller als auf Französisch gelöst wurden. Allerdings war der Anteil an richtigen Antworten für beide Sprachen ähnlich. Lediglich die Siebtklässler machten bei diesen Rechenaufgaben mehr Fehler beim Rechnen in französischer als in deutscher Sprache. Bei komplizierten Aufgaben, deren Ergebnisse allerdings nie höher als 100 lagen, war der Vorsprung beim Rechnen in Deutsch noch deutlicher ausgeprägt, denn in Deutsch erledigten die Probanden aller Altersgruppen die Aufgaben generell schneller und hatten weniger Fehler als beim Rechnen in französischer Sprache. Eine Auswertung der Fehler bei den Rechenaufgaben ergab, dass die Probanden beim Rechnen in deutscher Sprache hauptsächlich bei den Zehnern und in Französisch bei den Einer falsch lagen. All diese Daten untermauern die Tatsache, dass das sprachliche Profil einer Person die Art und Weise beeinflusst, in der sie arithmetische Aufgaben löst. In unserem Fall zeigt sich, dass all diejenigen, die das mehrsprachige luxemburgische Bildungssys- →

In Deutsch erledigten die Probanden aller Altersgruppen die Aufgaben generell schneller und hatten weniger Fehler als beim Rechnen in französischer Sprache.

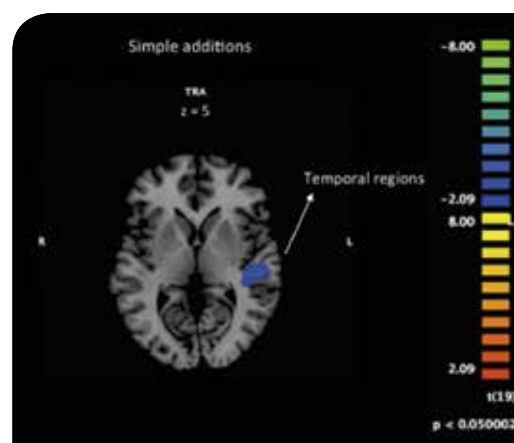
→ tem durchlaufen, nach und nach im Deutschen und im Französischen immer besser im Rechnen werden, selbst wenn sie im Deutschen etwas besser rechnen. Für uns ist dies auf die Tatsache zurückzuführen, dass der Mathematikunterricht zunächst auf Deutsch erteilt wird.

Angesichts dessen drängt sich geradezu die Frage auf, ob es nicht evtl. möglich ist, die Leistungen beim Rechnen auf Französisch zu verbessern. Auf der Suche nach Lösungsmöglichkeiten haben wir uns zunächst mit der konkreten Sprachensituation beschäftigt, in der eine Rechenaufgabe gelöst wird. Wir haben spezifisch geprüft, ob wir die Rechenaufgabe dadurch erleichtern können, dass wir den Teilnehmern zunächst die Möglichkeit geben, sich mit der Sprache vertraut zu machen, bevor sie die Aufgabe lösen. In dieser Situation mit „sprachlichem Kontext“ mussten die Teilnehmer beurteilen, ob ein Satz, den sie zu hören bekamen, Sinn ergab, bevor sie eine angezeigte Rechenaufgabe lösen und die Lösung laut ansagen mussten. Dieser Versuchsaufbau wurde mit einem weiteren verglichen, bei dem die Teilnehmer einfach nur eine Rechenaufgabe nach der anderen lösen sollten. Jeder Teilnehmer absolvierte beide Versuchskonfigurationen jeweils auf Deutsch und auf Französisch. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen ganz eindeutig, dass die Präsentation eines sprachlichen Kontexts einen positiven Effekt auf das Rechnen in französischer Sprache hat, was sich daran zeigt, dass die französischen Rechenaufgaben ca. 200 ms schneller gelöst wurden, wenn zunächst eine semantische Frage zu beantworten war, als wenn sie direkt und ohne sprachlichen Kontext gestellt wurden. Im Deutschen wurde die Rechenleistung allerdings nicht durch die vorausgehende linguistische Aufgabe beeinflusst. Ausgehend von diesen Ergebnissen kann man die Hypothese aufstellen, dass das Hinzufügen eines geeigneten sprachlichen Kontexts das mathematische Lernen in der zweiten Unterrichtssprache erleichtern kann (van Rinsveld, Brunner, Landerl, Schiltz & Ugen, 2016). Es gilt allerdings zu beachten, dass die Leistung drastisch zurückgehen kann, wenn Mathematikaufgaben durch zu komplizierte Anweisungen überfrachtet werden. Beim Kreieren eines sprachlichen Kontexts ist also darauf zu achten, dass dieser nicht zu kompliziert für den jeweiligen Schülerinnen und Schüler gestaltet wird. Vor der Umsetzung dieser Ergebnisse in die pädagogische Praxis müssen noch weitere Studien im Schulalltag durchgeführt werden.

Für ein besseres Verständnis der kognitiven Mechanismen, die beim Rechnen bei mehrsprachigen Personen ablaufen, haben wir auf die funktionelle Magnetresonanztomographie zurückgegriffen. Diese Technik macht die Hirnareale sichtbar, die beim Bearbeiten einer bestimmten Aufgabe aktiviert werden. Sie gehört aktuell zum „Gold Standard“ in der Technik der kognitiven Neurowissenschaft. In unserem Fall haben wir mit ihrer Hilfe überprüft, welche Hirnregionen bei Mehrsprachigen aktiviert werden, wenn sie in einer der von ihnen gesprochenen Sprachen Additionsaufgaben lösen.

Für diese Studie wurden Probanden mit Luxemburgisch als Muttersprache rekrutiert, die das luxemburgische Schulsystem durchlaufen und dann an einer frankophonen Hochschule in Belgien studiert haben (n = 21). Die Studienteilnehmer sprachen also perfekt Deutsch und Französisch und hatten in der Grundschule Mathematikunterricht auf Deutsch und in der Sekundarschule auf Französisch. Sie sollten zunächst ganz einfache (Operanden < 10) und später etwas kompliziertere Additionsaufgaben (Operanden > 10) in zwei unterschiedlichen Versuchskonstellationen auf Deutsch und auf Französisch lösen. Die Tests ergaben, dass die Probanden die einfachen Additionen in beiden Sprachen gleich gut lösten. Für die komplizierteren Additionen benötigten sie auf Französisch mehr Zeit als für dieselben Aufgaben auf Deutsch. Außerdem machten sie mehr Fehler, wenn sie die Aufgaben in Französisch gestellt bekamen. Die Verhaltensmuster während der Magnetresonanztomographie bestätigen also die Resultate, die wir bei den Versuchen mit jungen Erwachsenen in einem eher klassischen Aufbau erzielt hatten (van Rinsveld et al., 2015).

Abb 48 Fig. 4 in *Neuropsychologia*. 2017 Jul 1;101:17-29. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2017.05.009. Epub 2017 May 8



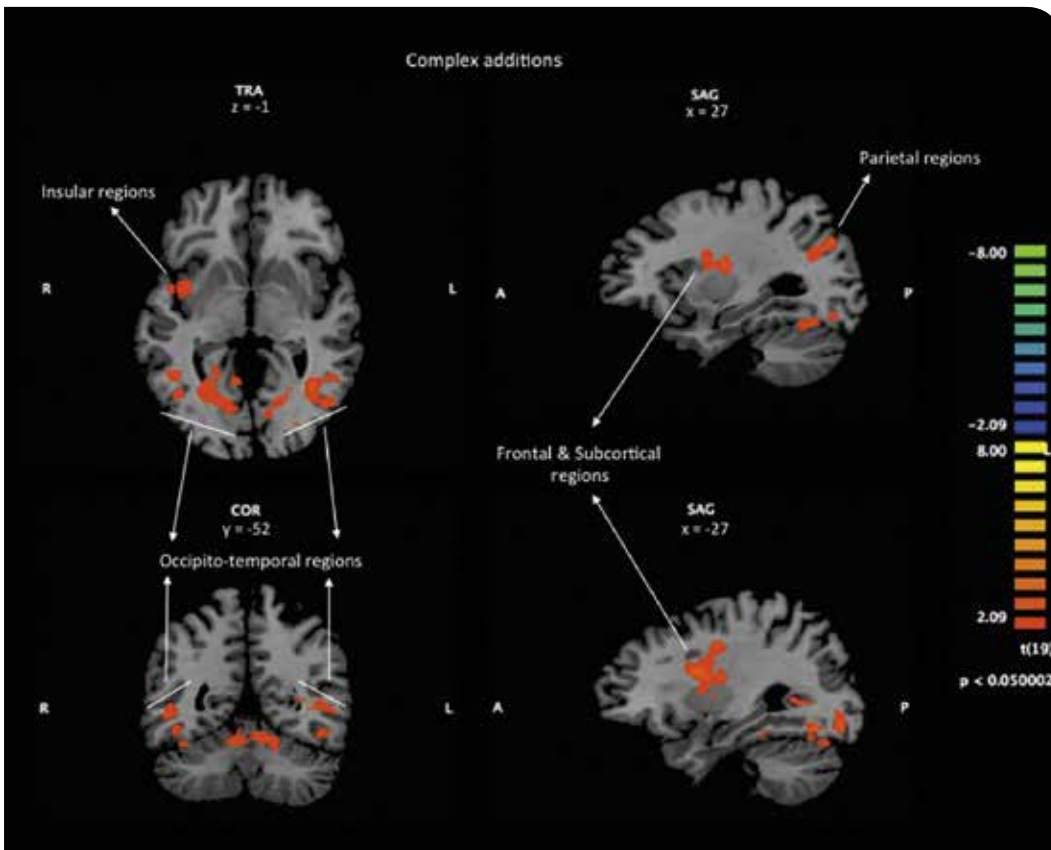
Während des Tests wurde die Hirnaktivität der Probanden per funktioneller Magnetresonanztomographie gemessen. Diese Daten zeigen, dass je nach Sprache unterschiedliche Hirnregionen aktiviert werden. Bei einfachen deutschen Additionsaufgaben wird ein kleiner Sprach- und Erinnerungsbereich im linken Temporallappen aktiviert (Abb. 48). Bei der Lösung komplizierterer Rechenaufgaben in französischer Sprache werden weitere Gehirnbereiche, die für die Verarbeitung visueller Informationen zuständig sind, aktiviert. Dies zeigt, dass die Probanden zusätzlich das figurative Denken einschalten (Abb. 49). Die Ergebnisse sind kein Beleg für die Annahme, dass die Probanden die gestellte Aufgabe vom Französischen ins Deutsche übersetzen, um die Lösung zu berechnen. Während die Testpersonen die Aufgaben in Deutsch durch Aktivierung der klassisch den Zahlen zugeordneten Gehirnregionen lösen können, ist dies für die zweite Unterrichtssprache Französisch in diesem Fall nicht ausreichend. Kurzum: Zur Lösung der Rechenaufgaben in Französisch mussten die Testpersonen systematisch weitere nonverbale, visu-

elle Denkprozesse zuschalten, was bisher bei einsprachigen Probanden so nicht beobachtet wurde. Durch die Messung der Hirntätigkeit mit Hilfe bildgebender Verfahren veranschaulicht die Studie zum ersten Mal den zusätzlichen kognitiven Aufwand, der bei der Lösung mathematischer Aufgaben in der zweiten Unterrichtssprache nachweisbar ist. Die Ergebnisse der Studie zeigen außerdem eindeutig, dass mathematische Prozesse direkt durch die Sprache beeinflusst werden. Für das luxemburgische Schulsystem haben diese Daten durchaus eine Art Schockwirkung. Durch Mathematikunterricht, der nacheinander in zwei verschiedenen Sprachen erteilt wird, beherrschen Schülerinnen und Schüler, die das mehrsprachige luxemburgische Schulsystem durchlaufen haben, Mathematik in beiden Bildungssprachen. Demgegenüber zeigen unsere verhaltensorientierten und neurophysiologischen Daten, dass dieses System die kognitiven Prozesse, die der Mathematik zugrunde liegen, insofern in erheblichem Maße prägt, als diese nicht immun gegen den sprachlichen Kontext des Lernumfeldes sind.

Zur Lösung der Rechenaufgaben in Französisch mussten die Testpersonen systematisch weitere nonverbale, visuelle Denkprozesse zuschalten, was bisher bei einsprachigen Probanden so nicht beobachtet wurde.

Durch die Messung der Hirntätigkeit mit Hilfe bildgebender Verfahren veranschaulicht die Studie zum ersten Mal den zusätzlichen kognitiven Aufwand, der bei der Lösung mathematischer Aufgaben in der zweiten Unterrichtssprache nachweisbar ist.

Abb 49 Fig. 5 in Neuropsychologia. 2017 Jul 1;101:17-29. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2017.05.009. Epub 2017 May 8



7.4 | Fazit

Insgesamt wird klar belegt, dass das sprachliche Profil und der sprachliche Kontext numerische und mathematische Prozesse beeinflussen. Durch Verwendung unterschiedlicher methodischer Ansätze aus der kognitiven Neurowissenschaft konnten wir aufzeigen, dass einfache, grundlegende Aufgaben wie das Leseverständnis von Zahlen und Größenvergleiche zwischen Zahlen deutlich den Stempel der gesprochenen Sprache(n) tragen. Auch die Lösung von Rechenaufgaben ist durch die Sprache geprägt. Diese sprachliche Prägung ist nicht auf den Lernprozess begrenzt, sondern zieht sich weiter bis zum Stadium der Beherrschung und Automatisierung (z. B. dem Abrufen von arithmetischen Fakten aus der Erinnerung), wie dies typisch für das Erwachsenenalter ist.

Es ist jedoch darauf zu achten, dass es nicht zur Verwechslung zwischen externer Prägung und zentraler Identität kommt. Die Einflüsse der Sprache(n) auf mathematische und numerische Prozesse sind nicht so zu verstehen, dass diese Prozesse auf sprachliche Phänomene reduziert werden können. Zahlen sind keine Unterkategorie von Buchstaben, und Mathematik ist kein Bestandteil unseres Sprachsystems. Wir wissen, wie bereits eingangs erwähnt, dass numerische Kognition und Mathematik ursprünglich nonverbale Prozesse sind, die bereits bei Säuglingen angelegt und auch bei vielen Tierarten vorhanden sind (Dehaene, 2011). Bei unseren eigenen Forschungen konnten wir bestätigen, dass es einen (visuellen) Sinn für Zahlen gibt (Guillaume, Mejias, Rossion, Dzheleva & Schiltz, 2018), über den wir uns eine Mengenvorstellung von einer Gesamtheit an visuellen Elementen machen können, ohne dafür Sprache zu verwenden. Außerdem konnten wir den Ansatz validieren, dass numerische Kognition intrinsisch mit der visuell-räumlichen Kognition zusammenhängt (z. B. Goffaux, Dormal, Goebel, Martin & Schiltz, 2012; Hoffmann, Hornung, Martin & Schiltz, 2013; Georges, Hoffmann & Schiltz,

2017; Cornu, Schiltz, Martin & Hornung, 2018). Will man die kognitiven Prozesse hinter der Mathematik aufdecken, darf man sich daher nicht auf die Untersuchung der Rolle beschränken, die Sprache dabei spielt. Wie numerische und mathematische Kognition insgesamt funktioniert, kann man nur verstehen, wenn man sich sowohl mit den spezifisch numerischen, nonverbalen Mechanismen als auch mit ihrer Interaktion mit der räumlichen Kognition und dem Sprachvermögen beschäftigt. Dabei gilt, dass auch die Rolle der allgemeinen Fähigkeiten zum logischen Denken, des Arbeitsgedächtnisses und der kognitiven Kontrolle nicht außer Acht gelassen werden darf (Hornung, Schiltz, Brunner & Martin, 2014; Hoffmann, Pigat & Schiltz, 2014). Zudem sei daran erinnert, dass zur Mathematik numerische Prozesse gehören, die weit komplexer als die hier vorgestellten grundlegenden Zahlen- und Rechenprozesse sind. Dieses Kapitel kann lediglich einen ersten Eindruck davon vermitteln, welchen Einfluss Sprache auf die numerische Kognition hat. Es beschränkt sich auf einen kleinen Bereich der Mathematik, ohne auf Teilgebiete wie Geometrie, Algebra, Analysis oder Wahrscheinlichkeitsrechnung einzugehen. Unsere Forschungsarbeit in der kognitiven Neurowissenschaft steht also erst am Anfang! Oberstes Ziel ist letztendlich das Eruiere und Verstehen dessen, was numerischen und mathematischen Prozessen insgesamt primär zugrunde liegt und wie andere kognitive Faktoren, darunter Sprache, diese Prozesse beeinflussen. Unsere Arbeit beschränkt sich nicht auf die Beschreibung dessen, wie Zahlen und Mathematik voll entwickelt funktionieren, sondern sie beschäftigt sich auch mit ihrer Entwicklung und den Lernprozessen, durch die sie sich entwickeln. Diese empirischen Erkenntnisse können dann als Grundlage und Inspiration für die pädagogische Arbeit herangezogen werden (z. B. zur Ausarbeitung von Lehrplänen und didaktischen Methoden), ohne dass dahinter die Ambition, geschweige denn die Fähigkeit stünde, an deren Stelle zu treten. ●

Literaturverzeichnis

- Arsalidou, M., & Taylor, M. J. (2011). Is $2+2=4$? Meta-analyses of brain areas needed for numbers and calculations. *NeuroImage* 54 (3), 2382–2393. Ashcraft, M. H., 1992. Cognitive arithmetic: a review of data and theory. *Cognition* 44 (1–2), 75–106.
- Blakemore, S.-J. & Frith, U. (2005). *The learning brain. Lessons for educators.* Blackwell publishing. Oxford, UK.
- Brybaert, M., Fias, W., & Noël, M.-P. (1998). The Whorfian hypothesis and numerical cognition: is 'twenty-four' processed in the same way as 'four-and-twenty'? *Cognition* 66, 51–77.
- Cornu, V., Schiltz, C., Martin, R., & Hornung, C. (2018). Visuo-spatial abilities are key for young children's verbal number skills. *J Exp Child Psychol.* 2018 Feb; 166:604-620. doi: 10.1016/j.jecp.2017.09.006. Epub 2017 Nov 3.
- Dehaene, S. (2011). *The number sense. How the mind creates mathematics.* Revised and updated version. Oxford university press, New York, USA.
- De Smedt, B., Verschaffel, L., & Ghesquière, P. (2009). The predictive value of numerical magnitude comparison for individual differences in mathematics achievement. *J Exp Child Psychol* 103: 469–479.
- Duncan, G. J., Dowsett, C. J., Claessens, A., Magnuson, K., Huston, A. C., Klebanov, P., & Japel, C. (2007). School readiness and later achievement. *Dev Psychol*, 43(6), 1428–1446. doi: 10.1037/0012-1649.43.6.1428.
- Fuson, K. C., Richards, J., & Briars, D. J. (1982). The acquisition and elaboration of the number word sequence. In *Children's logical and mathematical cognition*, 33–92. Springer.
- Mathematical abilities in elementary school: Do they relate to number-space associations? *J Exp Child Psychol.* 2017 Sep; 161: 126–147. doi: 10.1016/j.jecp.2017.04.011. Epub 2017 May 17.
- Göbel, S. M., Moeller, K., Pixner, S., Kaufmann, L., & Nuerk, H.-C. (2014). Language affects symbolic arithmetic in children: the case of number word inversion. *Journal of Experimental Child Psychology*, 119, 17–25. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2013.10.001>
- Goffaux, V., Dormal, G., Goebel, R., Martin, R., & Schiltz, C. (2012). Attentional shifts induced by uninformative number symbols modulate neural activity in human occipital cortex. *Neuropsychologia*, 50(14): 3419–3428. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2012.09.046.
- Guillaume, M., Mejias, S., Rossion, B., Dzhelyova, M., & Schiltz, C. (2018). A rapid, objective and implicit measure of visual quantity discrimination. *Neuropsychologia*. 2018 Feb 3. pii: S0028-3932(18)30056-3. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2018.01.044.
- Hoffmann, D., Hornung, C., Martin, R., & Schiltz, C. (2013). Developing number-space associations: SNARC effects using a color-discrimination task in 5-year-olds. *Journal of Experimental Child Psychology*, 09/2013; 116(4): 775–791. doi: 10.1016/j.jecp.2013.07.013.
- Hoffmann, D., Pigat, D., & Schiltz, C. (2014). The impact of inhibition capacities and age on number-space associations. *Cognitive Processing* 15(3):329–342. doi: 10.1007/s10339-014-0601-9. Epub 2014 Jan 19.
- Hornung, C., Schiltz, C., Brunner, M., & Martin, R. (2014). Predicting first-grade mathematics achievement: The contributions of domain-general cognitive abilities, nonverbal number sense, and early number competence. *Frontiers in Psychology*, 5(APR), 1–18. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00272>.
- Kail, M., & Fayol, M. (2003). *Les sciences cognitives et l'école.* Presses universitaires de France. Paris, France.
- Le Corre, M., Vandewalle, G., Brannon, E., & Carey, S. (2006). Re-visiting the competence/performance debate in the acquisition of the counting principles. *Cognitive Psychology*, 52(2), 130–169. <http://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2005.07.002>.
- Macizo, P., Herrera, A., Paolieri, D. & Román, P. (2010). Is there crosslanguage modulation when bilinguals process number words? *Appl Psycholinguist* 31(04): 651–669. doi:10.1017/S0142716410000184.
- Martin, R., Ugen, S., & Fischbach, A., (2013). *Épreuves Standardisées. Bildungsmonitoring für Luxemburg.* Nationaler Bericht 2011-2013. Luxembourg Center for Educational Testing. University of Luxembourg. Esch/Alzette, Luxembourg.
- Nuerk, H.-C., Weger, U., & Willmes, K. (2001). Decade breaks in the mental number line? Putting tens and units back into different bins. *Cognition*, 82, B25–B33.
- Nuerk, H.-C., Weger, U., & Willmes, K. (2005). Language effects in magnitude comparison: small, but not irrelevant. *Brain Lang* 92(3): 262–277. doi:10.1016/j.bandl.2004.06.107.
- Pica, P., Lemer, C., Izard, V., & Dehaene, S. (2004). Exact and approximate arithmetic in an Amazonian indigene group. *Materials and Method. Science*, 306(5695), 1–16. <https://doi.org/10.1126/science.1102085>.
- Poncin, A., van Rinsveld, A., & Schiltz, C. (submitted). Units first or tens first: Does language matter when processing visually presented two-digit numbers.
- Ritchie, S. J., & Bates, T. C. (2013). Enduring links from childhood mathematics and reading achievement to adult socioeconomic status. *Psychological Science*, 24(7), 1301–1308. <http://doi.org/10.1177/0956797612466268>.
- Rivera-Batiz, F. L. (1992). Quantitative literacy and the likelihood of employment among young adults in the United States. *The Journal of Human Resources*, 27(2), 313–328.
- Van Rinsveld, A., Brunner, M., Landerl, K., Schiltz, C., & Ugen, S. (2015). The relation between language and arithmetic in bilinguals: insights from different stages of language (Equal contribution) 1. *Frontiers in Psychology* doi: 10.3389/fpsyg.2015.00265 (IF: 2.8).
- Van Rinsveld, Brunner, M., A., Landerl, K., Schiltz, C., & Ugen, S. (2016). Solving arithmetic problems in first and second language: does the language context matter? *Learning and Instruction* 42, April 2016 DOI: 10.1016/j.learninstruc.2016.01.003.
- Van Rinsveld, A., & Schiltz, C. (2016). Sixty-twelve = Seventy-two? A cross-linguistic comparison of children's number transcoding. *Br J Dev Psychol.* 2016 Sep;34(3): 461–468. doi: 10.1111/bjdp.12151. Epub 2016 Jul 7.
- Van Rinsveld, A., Schiltz, C., Landerl, K., Brunner, M., & Ugen, S. (2016). Speaking two languages with different number naming systems: what implications for magnitude judgments in bilinguals at different stages of language acquisition? *Cognitive Processing* 17(3), March 2016. DOI: 10.1007/s10339-016-0762-9.
- Xu, F., & Spelke, E. S. (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition*, 74(1), B1–B11.