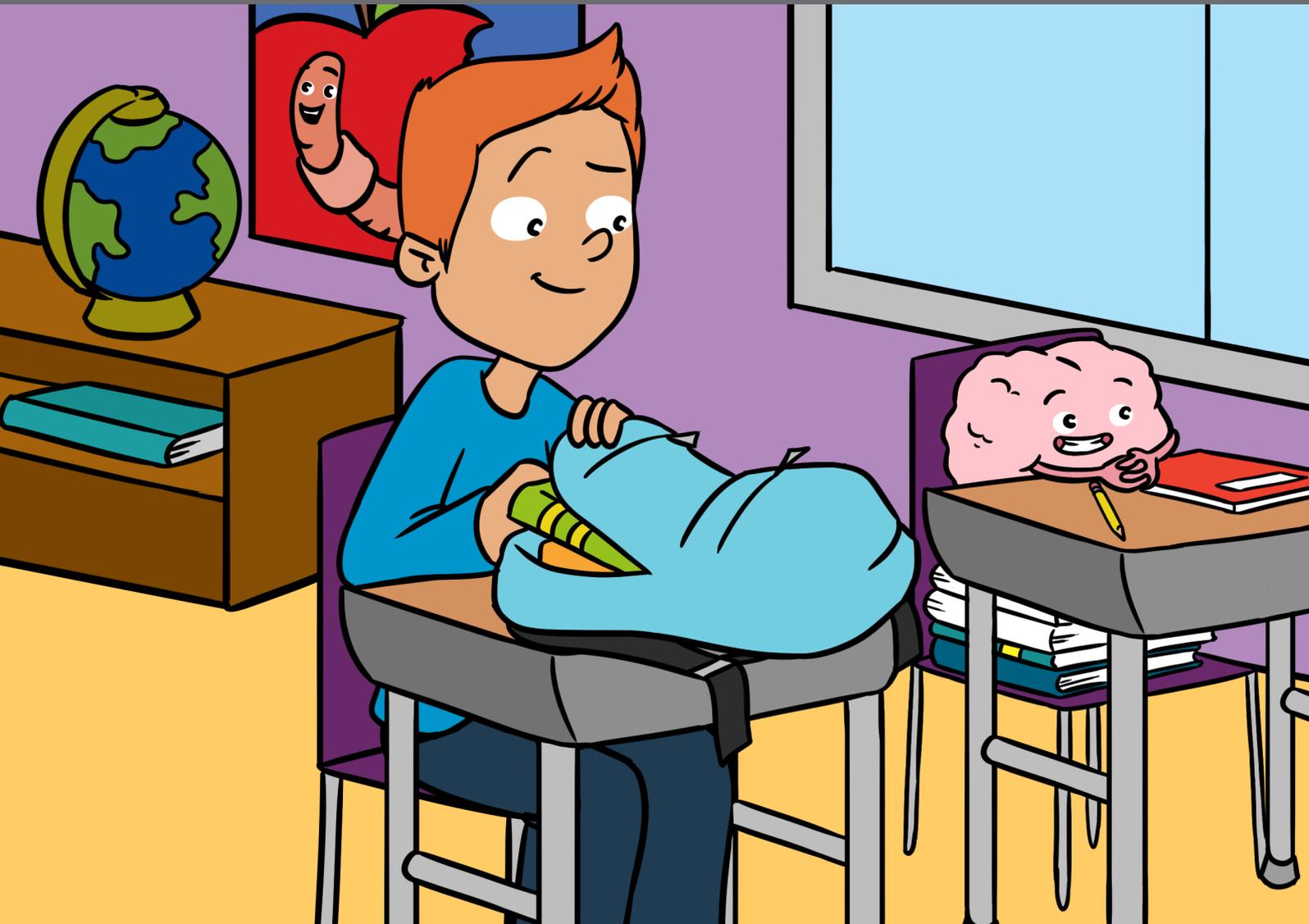


WIE DEIN GEHIRN LERNT – UND WAS DU UND DEINE LEHRERINNEN UND LEHRER DARÜBER WISSEN SOLLTEN

GESCHRIEBEN UND REDIGIERT VON: Sabine Peters, Nienke van Atteveldt,
Jessica Massonnié
und Stephan E. Vogel

VERÖFFENTLICHT VON: Frontiers for Young Minds





frontiers

FOR YOUNG MINDS

Frontiers eBook Urheberrechtserklärung

Das Urheberrecht am Text der einzelnen Artikel in diesem eBook liegt bei den jeweiligen Autorinnen und Autoren bzw. deren jeweiligen Institutionen oder Geldgebern. Das Urheberrecht an Grafiken und Bildern in den einzelnen Artikeln kann dem Urheberrecht anderer Parteien unterliegen. In beiden Fällen unterliegt dies einer Frontiers erteilten Lizenz.

Das Sammelwerk aus Artikeln, aus denen dieses eBook besteht, ist Eigentum von Frontiers.

Jeder Artikel in diesem eBook und das eBook selbst werden unter der neuesten Version der Creative Commons CC-BY-Lizenz veröffentlicht. Die zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses eBooks gültige Version ist CC-BY 4.0. Wenn die CC-BY-Lizenz aktualisiert wird, wird die von Frontiers gewährte Lizenz automatisch auf die neue Version aktualisiert.

Bei der Ausübung von Rechten im Rahmen der CC-BY-Lizenz muss Frontiers als ursprünglicher Herausgeber des Artikels bzw. des eBooks angegeben werden.

Die Autorinnen und Autoren sind dafür verantwortlich, dass Grafiken oder andere Materialien, die Eigentum anderer Parteien sind, in die CC-BY-Lizenz aufgenommen werden können. Dies sollte aber überprüft werden, bevor man sich auf die CC-BY-Lizenz beruft, um diese Materialien abzubilden. Alle Urheberrechtsvermerke in Bezug auf diese Materialien müssen beachtet werden.

Urheberrechtsvermerke und Quellenangaben dürfen nicht entfernt werden und müssen in jeder Kopie, abgeleiteten Arbeit oder Teilkopie, die die betreffenden Elemente enthält, erscheinen.

Alle Urheberrechte und alle damit verbundenen Rechte sind durch nationale und internationale Urheberrechtsgesetze geschützt. Die obigen Angaben stellen nur eine Zusammenfassung dar. Für weitere Informationen lesen Sie bitte die Nutzungsbedingungen für die Benutzung von Websites und die Urheberrechtserklärung von Frontiers sowie die geltende CC-BY-Lizenz.

ISSN 2296-6846
ISBN 978-2-8325-2941-6
DOI 10.3389/978-2-8325-2941-6

Über Frontiers

Frontiers ist mehr als ein Open-Access-Verlag für wissenschaftliche Artikel: Es ist ein richtungsweisender Ansatz für wissenschaftliche Veröffentlichungen, der die Art und Weise, wie mit wissenschaftlicher Forschung umgegangen wird, von Grund auf verbessert. Die große Vision von Frontiers ist eine Welt, in der alle Menschen gleichwertige Möglichkeiten haben, nach Wissen zu suchen, es zu teilen und zu erzeugen. Frontiers bietet unmittelbaren und dauerhaften offenen Online-Zugang zu all seinen Publikationen; dies reicht aber noch nicht aus, um unsere hohen Ziele zu erreichen.

Über Frontiers for Young Minds

Bei Frontiers for Young Minds sind wir überzeugt: Einem jüngeren Publikum macht man neueste wissenschaftliche Erkenntnisse idealerweise zugänglich, indem man jungen Menschen und Forschenden die Möglichkeit gibt, gemeinsam Artikel zu verfassen, die sowohl wissenschaftlich korrekt als auch spannend sind.

Deshalb laden wir renommierte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ein, über ihre bahnbrechenden Entdeckungen in einer Sprache zu schreiben, die für junge Leserinnen und Leser gut verständlich ist. Begleitet durch einen wissenschaftlichen Mentor, geben Kinder und Jugendliche anschließend den Autorinnen und Autoren selbst Feedback und erklären ihnen, wie sie ihre Artikel vor der Veröffentlichung verbessern können.

So bietet Frontiers for Young Minds eine Sammlung von frei zugänglichen wissenschaftlichen Artikeln, die von angesehenen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern verfasst und durch den Beitrag junger Menschen so gestaltet werden, dass sie ein junges Publikum ansprechen.

Was sind die Frontiers for Young Minds Collections?

Eine Collection, oder eine Sammlung, ist eine Reihe von Artikeln über ein bestimmtes Forschungsthema. Die Collections werden von Expertinnen und Experten auf diesem Gebiet zusammengestellt und anschließend veröffentlicht. Durch eine solche umfassende Darstellung von Perspektiven und Ergebnissen zu einem wichtigen Forschungsthema wollen wir Informationen zur Verfügung stellen, die zu einem besseren Verständnis der Grundlagenforschung führen.

Die Frontiers for Young Minds Collections bieten unserer internationalen Gemeinschaft von Young Minds Zugang zu den neuesten und wichtigsten Forschungsergebnissen. Vor allem aber geben sie Kindern und Jugendlichen die Möglichkeit, mitzubestimmen, wie diese Erkenntnisse ihre Altersgenossen und die breite Öffentlichkeit erreichen. Jeder Artikel wird nach den Prinzipien von Frontiers for Young Minds einer Peer Review unterzogen.

Was braucht es, um eine eigene Frontiers for Young Minds-Sammlung zusammenzustellen oder als Autorin oder Autor zu einer Sammlung beizutragen? Die Frontiers-Redaktion gibt gerne Auskunft darüber: kids@frontiersin.org

WIE DEIN GEHIRN LERNT – UND WAS DU UND DEINE LEHRERINNEN UND LEHRER DARÜBER WISSEN SOLLTEN

Redakteurinnen und Redakteur dieser Artikelsammlung:

Sabine Peters, Universität Leiden, Niederlande

Nienke van Atteveldt, Vrije Universiteit Amsterdam, Niederlande

Jessica Massonnié, University College London, Vereinigtes Königreich

Stephan E. Vogel, Universität Graz, Österreich

Kinder gehen in die Schule, um zu lernen, und das Lernen findet im Gehirn statt. Während der Zeit der formalen Schulbildung entwickelt und verändert sich das Gehirn eines Kindes weiterhin stark. Deshalb sind die Neurowissenschaften (die Erforschung des menschlichen Gehirns) und die Bildung eng miteinander verbunden. Lernen ist nur möglich, weil das Gehirn plastisch, also formbar, ist. Mit Plastizität ist die Fähigkeit des Gehirns gemeint, seine Struktur umzugestalten und dadurch verschiedene Funktionen und auch das Verhalten zu verändern.

Aber was genau verändert sich im Gehirn, wenn wir etwas Neues lernen? Was sind die optimalen Bedingungen für das Gehirn, um zu lernen? Warum vergessen wir auch Dinge? Welche Veränderungen finden während der Entwicklung des Gehirns in der Kindheit und Jugend statt? Und welche Ähnlichkeiten und Unterschiede gibt es, wenn wir diese Veränderungen mit den neuronalen Mechanismen des Lernens und des Gedächtnisses vergleichen?

Die Forschung mittels Neurobildgebung, auch "Gehirn-Scanning" genannt, hat einen großen Schritt möglich gemacht: Wir wissen heute deutlich mehr über die Gehirnentwicklung, das Lernen, das Gedächtnis und andere schulrelevante Fähigkeiten wie Lesen und Rechnen, aber auch über die Kreativität, die Metakognition sowie die Emotionen und Ängste, die mit dem Lernen zusammenhängen. Aber was messen diese Gehirn-Scan-Techniken eigentlich? Welche Fragen können wir mit Neurobildgebung beantworten, und wo liegen ihre Grenzen?

Diese Sammlung vermittelt auf gut verständliche Weise einen Überblick über den aktuellen Stand der Erkenntnisse zu den Mechanismen von Gehirnentwicklung, Lernen und Gedächtnis. Wir wollen damit Kindern helfen zu verstehen, wie ihr Gehirn lernt und sich entwickelt und wie diese Prozesse durch die Umwelt und die Anstrengungen der Kinder selbst beeinflusst werden. Außerdem erörtern wir, warum es wichtig ist, dass auch Lehrpersonen und andere pädagogische Fachkräfte über das Gehirn und die Methoden der Neurowissenschaften Bescheid wissen. Wir erklären zudem, was

passiert, wenn falsche Vorstellungen über das Gehirn verbreitet werden, oder wenn richtige Tatsachen falsch interpretiert werden. Neuromythen wie "wir nutzen nur 10 Prozent unseres Gehirns" halten sich hartnäckig, und es ist wichtig, diese falschen Vorstellungen aufzudecken und durch tatsächliches Wissen zu ersetzen.

Danksagungen: Die folgenden Freiwilligen haben bei der Übersetzung, der sprachlichen Überarbeitung und Korrektur der deutschen Version dieses Sammelbandes geholfen: Mirjam Eckert, Nina Hall, Lisa Heuchemer, Renato Merki, Laurent Mathey, und Martina Truschzinski.

Referenz: Peters, S., van Atteveldt, N., Massonnié, J., Vogel, S. E., eds. (2023). Wie dein Gehirn lernt – und was du und deine Lehrerinnen und Lehrer darüber wissen sollten. Lausanne: Frontiers Media SA. doi: 10.3389/978-2-8325-2941-6

Zur besseren Lesbarkeit wird in den nachfolgenden Artikeln teilweise das generische Maskulinum verwendet. Die in dieser Arbeit verwendeten Personenbezeichnungen beziehen sich – sofern nicht anders kenntlich gemacht – auf alle Geschlechter.

Inhalt

TEIL 1

WIE LERNT DAS GEHIRN, UND WARUM MUSST DU DARÜBER BESCHEID WISSEN?

- 06 DEIN GEHIRN VERSTEHEN, DAMIT ES DIR BEIM LERNEN HILFT**
Jérémie Blanchette Sarrasin, Lorie-Marlène Brault Foisy,
Geneviève Allaire-Duquette und Steve Masson
- 15 WARUM DEIN GEDÄCHTNIS WIE EIN HAI IST: PRÜFUNG DER IDEE DES MUTUALISMUS**
Rogier A. Kievit, Ivan L. Simpson-Kent und Delia Fuhrmann
- 23 AUS FEHLERN LERNEN: WIE GEHT DAS GEHIRN MIT FEHLERN UM?**
Knut Overbye, Rune Bøen, Rene J. Huster und Christian K. Tamnes
- 31 WIE DU DEINE ERINNERUNGEN NUTZEN KANNST, UM DIR SELBST DABEI ZU HELFEN, NEUE DINGE ZU LERNEN**
Marlieke van Kesteren und Martijn Meeter
- 39 IST ES DAS WERT? WIE DEIN GEHIRN ENTSCHIEDET, OB ES SICH ANSTRENGT**
Anne-Wil Kramer, Hilde M. Huizenga, Lydia Krabbendam und
Anna C. K. van Duijvenvoorde
- 48 SOZIALES LERNEN UND DAS GEHIRN: WIE LERNEN WIR VON ANDEREN MENSCHEN UND ÜBER SIE?**
Bianca Westhoff, Iris J. Koele und Ilse H. van de Groep

TEIL 2

NEUROMYTHEN: NICHT ALLES, WAS DU ÜBERS LERNEN UND ÜBERS GEHIRN LIEST, IST WAHR!

- 58 NEUROMYTHEN IM KLASSENZIMMER**
Victoria C. P. Knowland und Michael S. C. Thomas
- 67 ES IST KOMPLIZIERT: BEIM LERNEN UND LEHREN GEHT ES NICHT UM „LERNSTILE“**
Breanna C. Lawrence, Burcu Yaman Ntelioglou und Todd Milford

TEIL 3

GRÖßER WERDEN UND KLÜGER WERDEN: WIE ENTWICKELT SICH DAS GEHIRN?

- 74 DEIN GEHIRN IN DER PUBERTÄT**
Marjolein E. A. Barendse, Theresa W. Cheng und Jennifer H. Pfeifer
- 83 DAS GEHIRN DER JUGENDLICHEN IST IN DER TAT BEEINDRUCKEND**
Kathryn L. Mills und Jeya Anandakumar

TEIL 4

WIE KÖNNEN WIR DAS LERNENDE GEHIRN BEOBACHTEN?

- 93 GEHIRNWELLEN IM KLASSENZIMMER MESSEN**
Nienke van Atteveldt, Tieme W. P. Janssen und Ido Davidesco

102 LICHT HILFT ZU VERSTEHEN, WIE DAS GEHIRN IM SCHULUNTERRICHT FUNKTIONIERT

Mojtaba Soltanlou und Christina Artemenko

110 DIE MAGISCHE KUNST DER MAGNETRESONANZBILDGEBUNG ZUR UNTERSUCHUNG DES GEHIRNS BEIM LESEN

Nora Maria Raschle, Réka Borbás, Carolyn King und Nadine Gaab

TEIL 5

WAS MACHT DEIN GEHIRN, WÄHREND DU RECHNEST ODER LIEST?

119 WAS IST 2×4 ? VERSTEHEN, WIE DAS GEHIRN ARITHMETISCHE PROBLEME LÖST

Nikolaus Koren, Judith Scheucher und Stephan E. Vogel

128 RAUM SCHAFFEN: WELCHE ROLLE DAS RÄUMLICHE DENKEN IN DER MATHEMATIK SPIELT

Katie A. Gilligan

137 ZWEIUNDVIERZIG ODER VIERZIG-UND-ZWEI: MATHEMATIK IN VERSCHIEDENEN SPRACHEN LERNEN

Julia Bahnmueller, Hans-Christoph Nuerk und Krzysztof Cipora

145 WIE KÖNNEN WIR FREMDSPRACHIGE VOKABELN LEICHTER LERNEN?

Brian Mathias, Christian Andrä, Katja M. Mayer, Leona Sureth, Andrea Klingebiel, Gesa Hartwigsen, Manuela Macedonia und Katharina von Kriegstein

TEIL 6

WAS UNS DAS LERNEN LEICHTER MACHEN KANN – UND WAS ES SCHWIERIGER MACHEN KANN

155 WILLST DU DEIN GEHIRN TRAINIEREN? DANN LIES DIESEN ARTIKEL!

Dietsje Jolles und Linda Van Leijenhorst

164 MUSIK UND LERNEN: MACHT MUSIK DICH SCHLAUER?

Gabriella Musacchia und Alexander Khalil

171 WENN DIE ENTSCHEIDUNG, NICHT ZUZUHÖREN, DIR HILFT ZU HÖREN UND ZU LERNEN

Angela M. AuBuchon und Ryan W. McCreery

180 GEDANKENSPIELE: TECHNOLOGIE UND DAS SICH ENTWICKELNDE GEHIRN VON JUGENDLICHEN

Lucía Magis-Weinberg und Estelle L. Berger

190 CANNABIS UND DAS LERNENDE GEHIRN

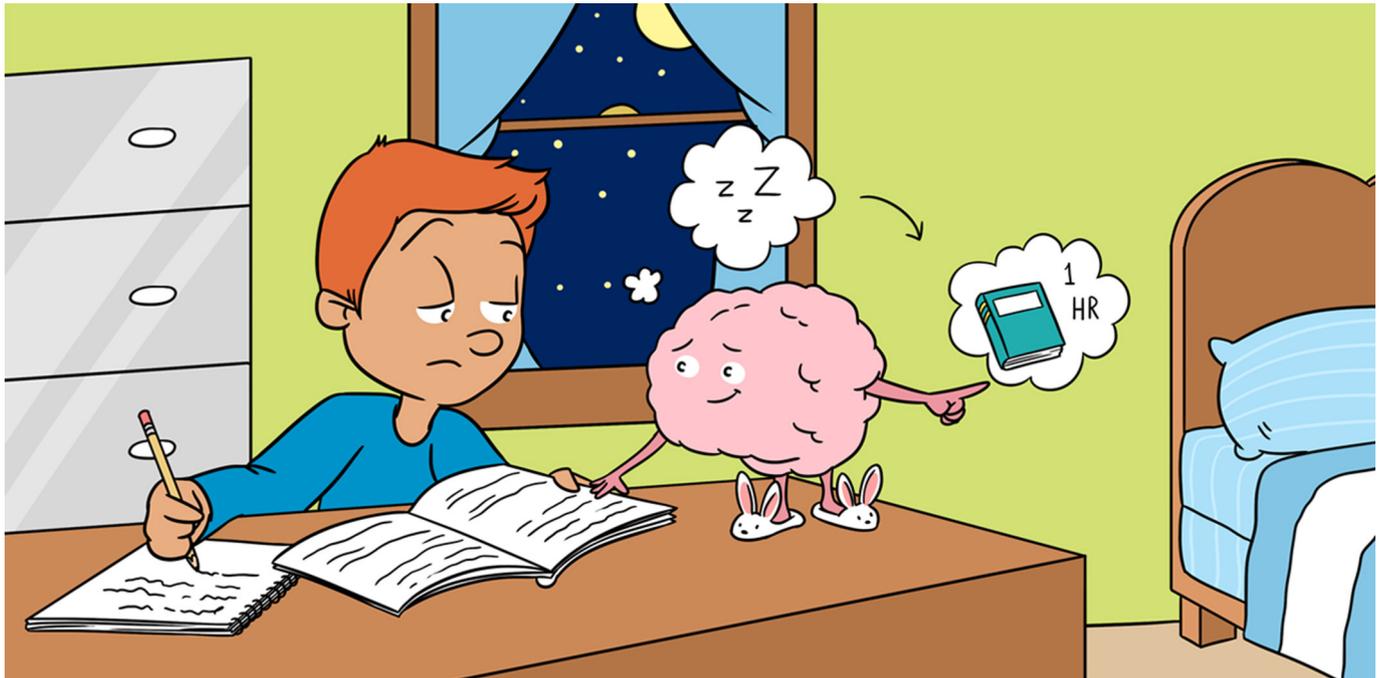
Lana Vedelago, Jillian Halladay, Catharine Munn, Katholiki Georgiades und Michael Amlung

198 EIN GUTER SCHLAF: UNABDINGBAR FÜR JUNGE GEISTER

M. Elisabeth Koopman-Verhoeff und Jared M. Saletin

207 VON ZZZs ZU AAAs: WARUM SCHLAF EIN WICHTIGER TEIL DEINES STUDIENPLANS IST

Emma James, Ann-Kathrin Joechner und Beate E. Muehlroth



DEIN GEHIRN VERSTEHEN, DAMIT ES DIR BEIM LERNEN HILFT

Jérémie Blanchette Sarrasin^{1,2*}, Lorie-Marlène Brault Foisy^{1,2}, Geneviève Allaire-Duquette³ und Steve Masson^{1,2}

¹Fachbereich Didaktik der Universität von Quebec in Montreal, Montréal, QC, Kanada

²Labor für Hirnforschung und Bildung in Montreal, Montréal, QC, Kanada

³Fachbereich für Didaktik der Mathematik, Wissenschaft und Technik, The Constantiner School of Education, Universität Tel Aviv, Tel Aviv, Israel

JUNGE GUTACHTER*INNEN:



DR. H.
BAVINCK
SCHOOL

ALTER: 8–12



LOCARNO
HIGH
SCHOOL

ALTER: 17–18

In den letzten Jahren wurden zahlreiche neuen Entdeckungen darüber gemacht, wie unser Gehirn lernt. Diese Erkenntnisse können Lehrerinnen und Lehrern helfen, den Schulunterricht so zu gestalten, dass du besser lernen kannst. Wissen über das Gehirn ist nicht nur für Lehrerinnen und Lehrer hilfreich, sondern kann auch für dich als Schülerin oder Schüler nützlich sein. Zum Beispiel kann es dich dazu ermutigen, an deine Fähigkeit zu glauben und deine eigenen Talente zu verbessern. Solche Überzeugungen machen es wahrscheinlicher, dass du dich gezielter beim Lernen anstrengst und Strategien nutzt, die dir beim Lernen helfen [1]. In diesem Artikel stellen wir kurz einige Kernprinzipien des lernenden Gehirns vor und präsentieren von den Neurowissenschaften inspirierte Lernstrategien, die du in der Schule oder zu Hause ausprobieren kannst.

WAS PASSIERT IN MEINEM GEHIRN, WENN ICH LERNE?

Das menschliche Gehirn besteht in erster Linie aus etwa 85 Milliarden Nervenzellen, auch Neuronen genannt. Das ist mehr als die Anzahl der Sterne, die du mit dem bloßen Auge am Nachthimmel sehen kannst. Eine Nervenzelle ist eine Zelle, die als Bote fungiert und Informationen in Form von Nervenimpulsen, wie elektrische Signale, an andere Nervenzellen sendet (siehe [Abbildung 1](#)). Wenn du z. B. etwas schreibst, senden einige Neuronen in deinem Gehirn die Nachricht „bewege die Finger“ an andere Neuronen. Diese Nachricht geht dann durch die Nerven, die du dir als Kabel vorstellen kannst, bis zu deinen Fingern. Die elektrischen Signale, die von einem Neuron an ein anderes Neuron übermittelt werden, ermöglichen es dir also, alles das zu machen, was du tust: schreiben, denken, sehen, springen, sprechen, rechnen und so weiter. Jedes Neuron kann sich mit bis zu 10.000 anderen Neuronen verbinden, was zu einer großen Anzahl von Verbindungen in deinem Gehirn [2] führt, das einem sehr dichten Spinnennetz ähnelt (siehe [Abbildung 2](#)).

Abbildung 1

Die Abbildung zeigt zwei Neuronen, die miteinander verbunden sind.

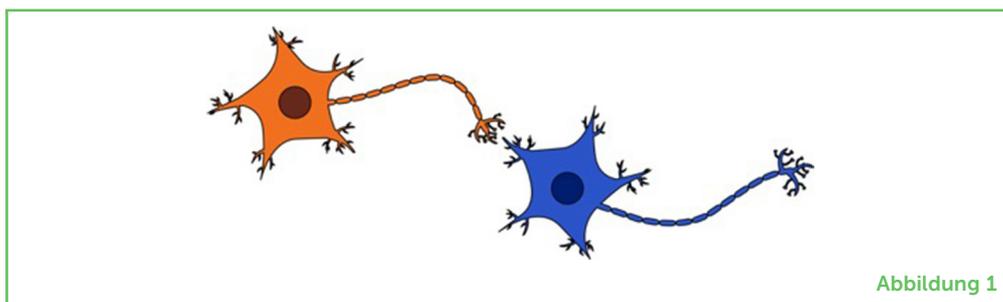


Abbildung 1

Abbildung 2

Abbildung zur Veranschaulichung der sehr großen Anzahl von Verbindungen zwischen den Neuronen.

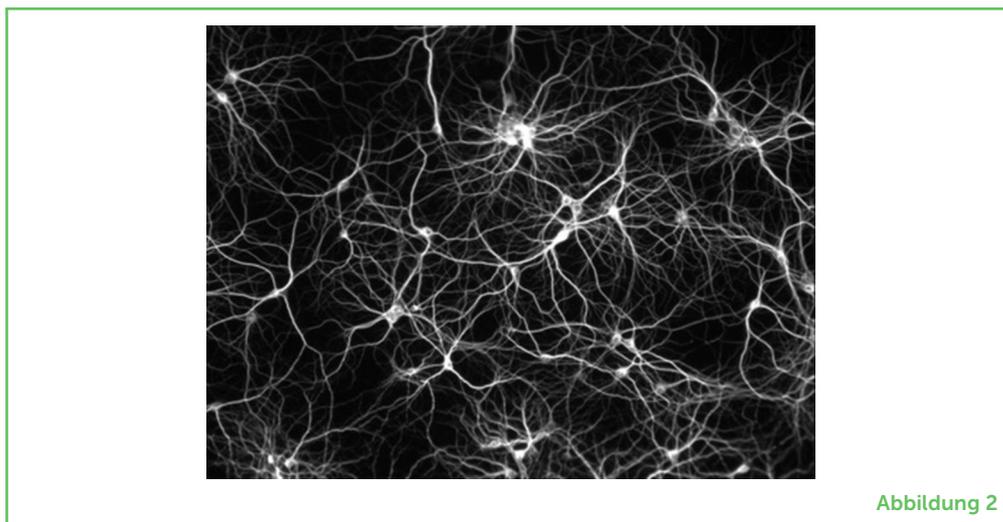


Abbildung 2

NEUROPLASTIZITÄT

Dein Gehirn hat die Fähigkeit, sich zu verändern, d. h. Verbindungen zwischen den Neuronen herzustellen, zu verstärken, zu schwächen oder abzubauen.

Wenn du lernst, finden in deinem Gehirn wichtige Veränderungen statt, einschließlich der Herstellung neuer Verbindungen zwischen deinen Neuronen. Dieses Phänomen wird als **Neuroplastizität** bezeichnet. Je mehr du übst, desto stärker werden diese Verbindungen. Wenn sich

die Verbindungen festigen, werden die Botschaften, die sogenannten Nervenimpulse, immer schneller übertragen, was sie effizienter macht [3]. Auf diese Weise wird man bei allem, was man lernt, besser und das unabhängig davon, ob beim Fußballspielen, Lesen, Zeichnen usw. Wir können die Verbindungen zwischen deinen Neuronen mit Spuren in einem Wald vergleichen (siehe [Abbildung 3](#)).

Abbildung 3

Abbildung zur Veranschaulichung der Analogie mit dem Pfad im Wald.

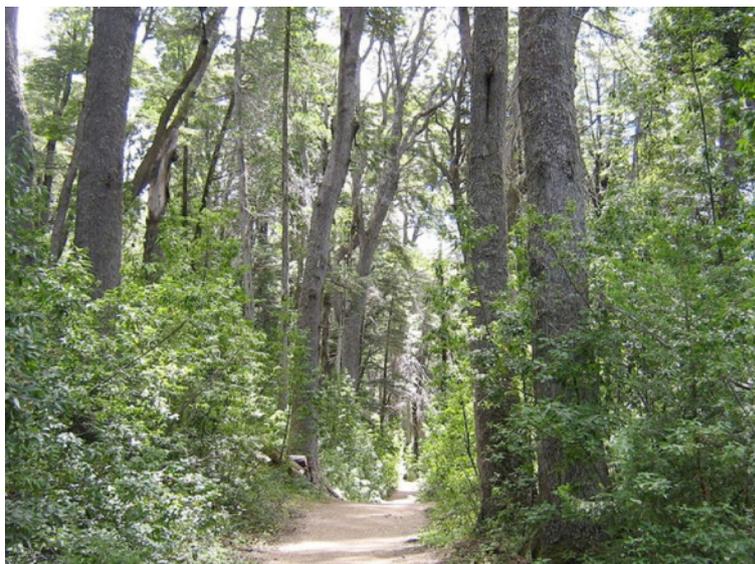


Abbildung 3

Es ist schwierig, durch einen Wald ohne Pfad zu gehen, denn die Pflanzen und Äste sind dicht und man muss sie aus dem Weg schieben, um sich einen Weg zu bahnen. Aber je öfter man den gleichen Weg geht, desto einfacher und praktikabler wird er. Umgekehrt wachsen die Pflanzen wieder nach, wenn du den Pfad nicht mehr benutzt, und irgendwann verschwindet der Pfad komplett. Das ist vergleichbar mit dem, was in deinem Gehirn passiert. Wenn du aufhörst, etwas zu üben, werden die Verbindungen zwischen deinen Neuronen schwächer und können schließlich abgebaut oder komplett abgeschnitten werden. Deshalb erscheint es auch als schwierig, bei Schulbeginn wieder mit dem Lesen anzufangen, wenn man den ganzen Sommer über nicht gelesen hat. Aber einige neuronale Netze werden so stark, dass die Pfade oder Verbindungen nie ganz verschwinden.

Die Tatsache, dass das Lernen deine Neuronen sozusagen neu verdrahtet, zeigt, wie dynamisch (plastisch) dein Gehirn ist – dass das Gehirn sich verändert und nicht starr bleibt. Durch wiederholtes Üben oder Einstudieren werden deine Neuronen aktiviert und du lernst. Diese Veränderungen im Gehirn beginnen schon bei einem Baby, wenn es noch im Mutterleib ist und setzen sich ein Leben lang fort. Die Frage ist also, wie kannst du deinen Neuronen bei der Herstellung und Stärkung der Verbindungen helfen? Hier stellen wir zwei Strategien vor, die gut mit der Funktionsweise deines Gehirns vereinbar sind und dir dabei helfen können, besser zu lernen.

DEINE NEURONEN ERNEUT AKTIVIEREN

Viel üben, versuchen, Informationen aus dem Gedächtnis abzurufen, zum Beispiel, indem man einem Freund ein Konzept erklärt oder Quizfragen beantwortet.

WELCHE LERNSTRATEGIEN SIND BESSER MIT DEINEM GEHIRN KOMPATIBEL?

Strategie 1: Deine Neuronen erneut aktivieren

Da die Verbindungen zwischen deinen Neuronen mehrfach aktiviert werden müssen, um stärker und effizienter zu werden, besteht eine erste und entscheidende Strategie darin, sie wiederholt zu aktivieren. Dies bedeutet, dass du zum Beispiel zum Lernen von Multiplikationen diese immer wieder üben musst, um den richtigen „Pfad“ zwischen deinen Neuronen herzustellen. Als Baby konntest du nicht sprechen und laufen, aber durch viel Üben hast du es dir irgendwann einmal beigebracht. Allerdings ist es wichtig zu beachten, dass nur das Lesen oder ein bloßer Blick auf deine arithmetischen Tabellen nicht sehr hilfreich sein wird, um eine Verbindung zwischen den Neuronen herzustellen. Du kannst es auch mitunter ziemlich uninteressant und langweilig finden. Um die Verbindungen zwischen deinen Neuronen herzustellen, musst du die Multiplikationen aus deinem Gedächtnis abrufen. Mit anderen Worten, du musst immer wieder versuchen, die Antwort selbst abzurufen, um deine Verbindungen zu aktivieren. Wir sagen natürlich nicht, dass das einfach ist! Wissenschaftler sind jedoch der Meinung, dass diese Anstrengung das Lernen verbessert, weil die Herausforderung darauf hinweist, dass man neue Verbindungen aufbaut. Denk daran: etwas Neues zu lernen, ist wie eine Wanderung durch einen Wald ohne einen gekennzeichneten Pfad. Wahrscheinlich wirst du am Anfang langsam gehen, aber wenn du immer wieder diesen Pfad nimmst, wird er einfacher und schließlich wirst du auf gut ausgebauten Pfaden sicher und schneller gehen können. Wenn du versuchst, dich an das Gelernte zu erinnern und es fällt dir schwer, kann dir das helfen, Lücken in deinem Lernprozess zu erkennen. Darüber hinaus kann ein Fehler dir einen Hinweis darauf geben, an welchem Pfad du noch weiter arbeiten musst.

Wissenschaftler haben auch festgestellt, dass die Durchführung von Tests oder Prüfungen dazu beitragen kann, sich Informationen besser zu merken, als das ausschließliche Lernen [4]. Wenn du zum Beispiel während des Lernens deiner Multiplikationen zwischendurch Tests machst, wirst du bei deinem Abschlusstest wahrscheinlich besser abschneiden, als wenn du nur durchgehend gelernt hättest. Warum ist das so? Die Tests setzen voraus, dass du die Informationen von den Neuronen, in denen die Informationen gespeichert sind, auf Anhieb gut abrufen kannst und dadurch werden deine Verbindungen stark aktiviert. Es geht also darum, das Abrufen auf eine ansprechende Art und Weise zu üben. Es gibt verschiedene Strategien, die du zu Hause ausprobieren kannst, z. B. Übungsfragen beantworten oder Lernkarten verwenden. Diese sollten den Lernerfolg stärker verbessern als nur wiederholtes Lesen oder das Hören von Vorträgen, solange du bei den Lernkarten natürlich nicht schummelst und du dir die Antwort nicht anschaust, bevor du versuchst hast, sie aus deinem Gedächtnis

abzurufen! Andere Strategien umfassen die Vorbereitung von Fragen, die du an einen Mitschüler oder an deine Eltern stellen kannst, sowie die Wiederholung von Tests oder Übungen. Nutze einfach deine Vorstellungskraft! Was du dir merken musst, ist, dass deine Neuronen die Informationen zuerst abrufen müssen, um ihre Verbindungen stärken zu können. Zu diesem Zweck musst du vermeiden, die Antwort nur zu lesen oder zu hören. Zweitens solltest du eine Möglichkeit einplanen, um direkt eine Rückmeldung zu erhalten. So kannst du erfahren, ob du etwas richtig oder falsch verstanden hast. Lass dich nicht entmutigen, wenn du vor Herausforderungen stehst. Dies ist ein natürlicher Schritt des Lernprozesses, der in deinem Gehirn stattfindet!

ABSTÄNDE ZWISCHEN DER AKTIVIERUNG VON NEURONEN

In mehreren, kürzeren Einheiten üben. Wenn du zum Beispiel nicht 2 Stunden am Stück übst, sondern 4 Mal 30 Minuten, verteilt über mehrere Tage, kann dein Gehirn Pausen machen und schlafen. Das hilft dir, dich langfristig besser an das Gelernte zu erinnern.

Strategie 2: Abstände zwischen der Aktivierung von Neuronen

Jetzt, da du weißt, dass Neuronen wiederholt aktiviert werden müssen, damit das Lernen stattfinden kann und dass es bedeutet, Informationen aktiv abzurufen, fragst du dich wahrscheinlich, wie oft du üben sollst. Wissenschaftler, die das lernende Gehirn erforschen, beobachteten, dass Pausen und Schlaf zwischen Lernphasen das Lernen fördern und das Vergessen minimieren [5].

Es scheint daher besser zu sein, in mehreren Einheiten zu üben, als in einer langen Übung ohne Pause. Anstatt beispielsweise 3 Stunden lang zu lernen oder Hausaufgaben zu machen, nach denen man sich wahrscheinlich ohnehin erschöpft fühlt, könnte man diese Lernzeit in drei 1-stündige Abschnitte oder sogar in sechs halbstündige Abschnitte aufteilen.

Kurz gesagt, wenn du deine Übungen mit Abständen machst, erlaubst du deinem Gehirn, die Verbindungen, die du während deiner Übungseinheiten verstärkt hast, in der Ruhepause zu festigen. Wenn du eine kurze Übungspause einlegst, sagen wir eine 20-minütige Pause, sorgst du dafür, dass die Rezeptoren auf der Oberfläche der Neuronen gewartet oder ersetzt werden. Die Rezeptoren sind wie elektrische Steckdosen, die die Nervenimpulse, die elektrischen Signale, von anderen Neuronen empfangen. Eine Pause hilft ihnen, besser zu arbeiten: Deine Neuronen können so deine Nervenimpulse leichter an andere Neuronen weitergeben. Schließlich, wenn du zwischen den Übungen eine Nacht schläfst, kommst du tatsächlich in den Genuss einer „kostenlosen“ Abruf-Übungssitzung. Denn während du schläfst, reaktiviert dein Gehirn die Verbindungen zwischen den Neuronen, die du tagsüber aktiviert hast. Du könntest ähnliche Vorteile auch aus einem Nickerchen beziehen. Wenn du das nächste Mal im Unterricht müde bist, könntest du deinem Lehrer sagen, dass du tatsächlich versuchst, eine Abruf-Übung zu machen! Kurz gesagt, wenn du das Lernen und insbesondere die Abruf-Übungen in Abständen machst, ist dein Gehirn stärker aktiviert, als wenn du in einer langen Sitzung blockweise lernst.

An diesem Punkt fragst du dich wahrscheinlich, wie du das Lernen am besten in deinem täglichen Leben aufteilst. Die gute Nachricht ist, dass es dazu eine Reihe von Möglichkeiten gibt, und dass es leicht an verschiedene Fähigkeiten angepasst werden kann, wie z. B. das Lösen mathematischer Aufgaben oder das Auswendiglernen von Vokabeln. Die offensichtlichste Änderung, die du an deinem Studienplan vornehmen kannst, ist, diesen in kleinere Sitzungen einzuteilen. Du könntest auch deinen Lehrer bitten, tägliche oder wöchentliche Wiederholungsquizze und andere ähnliche Aufgaben festzulegen. Schließlich kann das Intervalllernen durch die Praxis der Verschachtelung erreicht werden. Diese besteht aus einer Reihe von Problemen, die so angeordnet sind, dass aufeinanderfolgende Probleme nicht mit der gleichen Strategie gelöst werden können. Du kannst z. B. deine Mathematikaufgaben so mischen, dass Geometriefragen, Algebra oder Ungleichheitsprobleme zufällig aneinandergereiht werden. Der zusätzliche Vorteil der Verschachtelung besteht darin, dass du zwischen zwei Sitzungen verschiedene Aktivitäten ausführst und deine Zeit optimal nutzt. Kurz gesagt, eine Sache, die man im Auge behalten sollte, ist, dass Informationen, die zuvor gelernt wurden, weniger Aufwand zum Wiedererlernen erfordern, weil der Abstand deinem Gehirn Zeit gibt, sich zu konsolidieren – das heißt, dein Gehirn produziert die Bausteine, die für die Verbindungen zwischen deinen Neuronen benötigt werden.

SCHLUSSFOLGERUNG

Dein Gehirn ist der Ort, an dem das Lernen stattfindet und deshalb musst du deine Neuronen aktiv halten, um die Nutzung der Unterrichts- oder Studienzeiten zu optimieren. Die beiden in diesem Artikel vorgeschlagenen Lernstrategien haben das Potenzial, dir dabei zu helfen, besser zu lernen, indem sie optimale Bedingungen schaffen, um die Verbindungen zwischen deinen Neuronen zu stärken und zu festigen. Du weißt jetzt, dass du besser werden kannst, wenn du die „Pfade“ in deinem Gehirn immer wieder nutzt, indem du deine Lernphasen aufteilst. Mit diesem größeren Verständnis dafür, wie dein Gehirn lernt und durch den Einsatz unterstützender Lernstrategien kannst du jetzt deinem Gehirn helfen, besser zu lernen!

DANKSAGUNGEN

Wir möchten uns von ganzem Herzen bei allen bedanken, die bei der Übersetzung der Artikel in dieser Sammlung mitgeholfen haben, um sie für Jugendliche außerhalb des englischsprachigen Raums zugänglicher zu machen, sowie bei der Jacobs Foundation für die Bereitstellung der für die Übersetzung der Artikel erforderlichen Mittel.

REFERENZEN

1. Blanchette Sarrasin, J., Nenciovici, L., Brault Foisy, L.-M., Allaire-Duquette, G., Riopel, M., and Masson, S. 2018. Effects of inducing a growth mindset in students by teaching the concept of neuroplasticity on motivation, achievement, and brain activity: a meta-analysis. *Trends Neurosci. Educ.* 12:22–31. doi: 10.1016/j.tine.2018.07.003
2. Rossi, S., Lanoë, C., Poirel, N., Pineau, A., Houdé, O., and Lubin, A. 2015. When I met my brain: participating in a neuroimaging study influences children's naive mind-brain conceptions. *Trends Neurosci. Educ.* 4:92–7. doi: 10.1016/j.tine.2015.07.001
3. Kania, B. F., Wronska, D., and Zieba, D. 2017. Introduction to neural plasticity mechanism. *J. Behav. Brain Sci.* 7:41–8. doi: 10.4236/jbbs.2017.72005
4. Zaromb, F. M., and Roediger, H. L. 2010. The testing effect in free recall is associated with enhanced organizational processes. *Mem. Cogn.* 38:995–1008. doi: 10.3758/MC.38.8.995
5. Callan, D. E., and Schweighofer, N. 2010. Neural correlates of the spacing effect in explicit verbal semantic encoding support the deficient-processing theory. *Hum. Brain Mapp.* 31:645–59. doi: 10.1002/hbm.20894

HERAUSGEBER*IN: Nienke Van Atteveldt

WISSENSCHAFTLICHE*R MENTOR*IN: Serena Petrocchi

ZITAT: Blanchette Sarrasin J, Brault Foisy L-M, Allaire-Duquette G und Masson S (2023) Dein Gehirn verstehen, damit es dir beim Lernen hilft. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00054-de

ÜBERSETZT UND ÜBERNOMMEN VON: Blanchette Sarrasin J, Brault Foisy L-M, Allaire-Duquette G and Masson S (2020) Understanding Your Brain to Help You Learn Better. *Front. Young Minds* 8:54. doi: 10.3389/frym.2020.00054

INTERESSENKONFLIKT: Die Autor*innen erklären hiermit, dass ihre Forschung ohne kommerzielle oder finanzielle Unterstützung durchgeführt wurde, aus der sich ein Interessenkonflikt ergeben könnte.

URHEBERRECHTE © 2020 © 2023 Blanchette Sarrasin, Brault Foisy, Allaire-Duquette und Masson. Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der [Creative-Commons-Attribution-Lizenz \(CC BY\)](#) verbreitet wird. Die Verwendung, Verbreitung oder Vervielfältigung in anderen Foren ist gestattet, sofern der/die Originalautor*innen und der/die Urheberrechtsinhaber*innen genannt werden und die Originalveröffentlichung in dieser Zeitschrift gemäß anerkannter wissenschaftlicher Praxis zitiert wird. Eine Nutzung, Verbreitung oder Vervielfältigung, die diesen Bedingungen nicht entspricht, ist nicht gestattet.

JUNGE GUTACHTER*INNEN



DR. H. BAVINCK SCHOOL, ALTER: 8–12

Wir sind die Spectrum-Klassen 5-6 und 7-8 der Bavinckschule in Haarlem in den Niederlanden. Es handelt sich um eine Gruppe von 40 Kindern (19 in Gruppe 5-6 und 21 in Gruppe 7-8), die begierig darauf sind, etwas mehr als das reguläre Schulprogramm zu lernen. Sie hatten viel Spaß bei der Rezension für die FYM und gingen die Artikel mit großer Konzentration und Begeisterung durch und nahmen eine kritische Bewertung vor. Es hat ihnen wirklich Spaß gemacht, zur Wissenschaft beizutragen und zu helfen!



LOCARNO HIGH SCHOOL, ALTER: 17–18

Hi! Wir sind zwei Klassen des Locarno Gymnasiums in der Schweiz. Wir studieren Chemie und Biologie. Wir befinden uns im letzten Jahr der Oberschule und bereiten uns auf unsere Abschlussprüfungen vor, die in 2 Monaten beginnen werden. Es war eine großartige Erfahrung, den Artikel zu analysieren, und wir danken Ihnen für die Aufgabe, die Sie uns anvertraut haben. Dank Ihnen konnten wir ein Feedback zu einem wissenschaftlichen Text auf Englisch (das nicht unsere Muttersprache ist) geben. Wir fühlten uns wirklich inspiriert!

AUTOR*INNEN



JÉRÉMIE BLANCHETTE SARRASIN

Ich bin Doktorandin an der Universität von Quebec in Montreal. Ich untersuche, wie das Gehirn lernt und wie es möglich ist, Vorteile aus diesem Wissen zu ziehen, um Lehrmethoden zu fördern, die mit dem lernenden Gehirn besser kompatibel sind. Meine Forschung konzentriert sich darauf, den Studierenden beizubringen, wie ihr Gehirn lernt, was ihnen beim Lernen helfen soll! *blanchette_sarrasin.jeremie@uqam.ca



LORIE-MARLÈNE BRAULT-FOISY

Ich bin Professorin an der Universität von Quebec in Montreal (UQAM). Nach meiner Ausbildung zur Grundschullehrerin beschloss ich, dass ich mehr darüber wissen wollte, wie Kinder lernen. Aus diesem Grund forsche ich im Bildungsbereich. Ich glaube, dass es wichtig ist, besser zu verstehen, was im Gehirn von Kindern passiert, wenn sie verschiedene Sachen lernen (z. B. Lesen, Wissenschaft). Wenn wir besser verstehen, wie ihr Gehirn lernt, wird es uns Hinweise geben, mit denen wir besser lernen können!



GENEVIÈVE ALLAIRE-DUQUETTE

Ich bin Postdoktorandin an der Constantiner School of Education der Universität Tel Aviv. Meine Forschung und Lehre konzentriert sich auf die interdisziplinäre Untersuchung des menschlichen Lernens, Entwickelns und Lehrens, d. h. die Bereiche Mind, Brain, and Education (MBE). In meiner derzeitigen Arbeit versuche ich, die Mechanismen des logischen Denkens in Wissenschaft und Mathematik mit Hilfe kognitiver neurowissenschaftlicher Methoden besser zu verstehen.

**STEVE MASSON**

Ich bin Professor an der Universität von Quebec in Montreal. Mit Hilfe eines Instruments namens Magnetresonanztomograph schaue ich ins Innere des Gehirns um zu sehen, was sich verändert, wenn Schüler in der Schule lernen. Manchmal schaue ich sogar, ob die Art und Weise, wie die Lehrer unterrichten, irgendwelche Veränderungen im Gehirn der Schülerinnen und Schüler hervorruft. Ziemlich cool!

German version provided by
Deutsche Version von





WARUM DEIN GEDÄCHTNIS WIE EIN HAI IST: PRÜFUNG DER IDEE DES MUTUALISMUS

Rogier A. Kievit^{1*}, Ivan L. Simpson-Kent¹ und Delia Fuhrmann^{1,2}

¹MRC-Einheit für Kognitions- und Gehirnwissenschaften, Universität Cambridge, Cambridge, Vereinigtes Königreich

²Fachbereich Psychologie am Institut für Psychiatrie, Psychologie und Neurowissenschaften des King's College London, London, Vereinigtes Königreich

JUNGE GUTACHTER*INNEN:



AIDAN
ALTER: 9



DANIELA
ALTER: 10



LEIMINA
ALTER: 11



LUCIE
ALTER: 11

Wir wollen verstehen, wie Kinder mit zunehmendem Alter in bestimmten kognitiven Fähigkeiten wie Lesen, Schreiben und Problemlösen so viel besser werden. Um dies besser zu verstehen, haben wir Hunderte von Kindern über einen Zeitraum von mehreren Jahren begleitet, um zu sehen, wie sich Fähigkeiten wie Problemlösung und Vokabular im Laufe der Zeit verändert haben. Wir stellten fest, dass ein gutes Vokabular, mit dem man anfangs beginnen kann, dazu führt, dass sich die Fähigkeit zur Problemlösung bei Kindern schneller entwickelt. Es funktionierte auch umgekehrt: Besser in der Problemlösung zu sein bedeutete, dass Kinder schneller neue Wörter lernten. Mit anderen Worten: Jede kognitive Fähigkeit kann zur Entwicklung anderer Fähigkeiten beitragen. Diese Idee wird Mutualismus genannt. Wir waren sehr aufgeregt über diese Entdeckung, denn sie kann uns helfen, zu verstehen wie Kinder in Dingen, die sie nie direkt praktizieren, besser werden und wie Lehrer

Kindern, die bestimmte Schulthemen als schwieriger empfinden, besser helfen können.

WAS TIERE UNS ÜBER UNSER GEHIRN LEHREN KÖNNEN

Eines der merkwürdigsten Naturschauspiele findet vor der Küste Australiens statt: Kleine Fische, die man Saugfische (suckerfish) oder Remoras nennt, halten sich mit Hilfe eines Saugnapfs am Kopf an Haien fest (**Abbildung 1** – das Bild mit dem Hai). Warum frisst der Hai den kleinen Fisch nicht einfach auf? Warum schwimmt der Saugfisch überhaupt in die Nähe des Hais? Wie sich herausstellt, profitieren beide Tiere von diesem Arrangement. Der Saugfisch frisst Parasiten und tote Haut vom Hai und hilft dem Hai, sauber und gesund zu bleiben. Im Gegenzug erhält der Saugfisch eine Gratisfahrt durch die Ozeane, frisst die nach der Haimahlzeit übrig gebliebenen Reste und wird vor anderen Raubtieren geschützt, die sich dem Hai nicht nähern würden – also so gewinnt jeder! Dieses Phänomen, bei dem beide Arten profitieren, heißt **Mutualismus**. Kürzlich haben Wissenschaftler die Idee des Mutualismus genutzt, um etwas zu verstehen, das auf den ersten Blick ganz anders aussieht: das menschliche Lernen.

MUTUALISMUS

Die Vorstellung, dass unterschiedliche kognitive Fähigkeiten (z. B., wie viele Wörter man kennt und wie gut man Probleme lösen kann) sich im Laufe der Zeit tatsächlich gegenseitig helfen.

Abbildung 1

Ein Saugfisch, der auf einem Zitronenhai reitet (Quelle: Albert Kok, wikimedia).

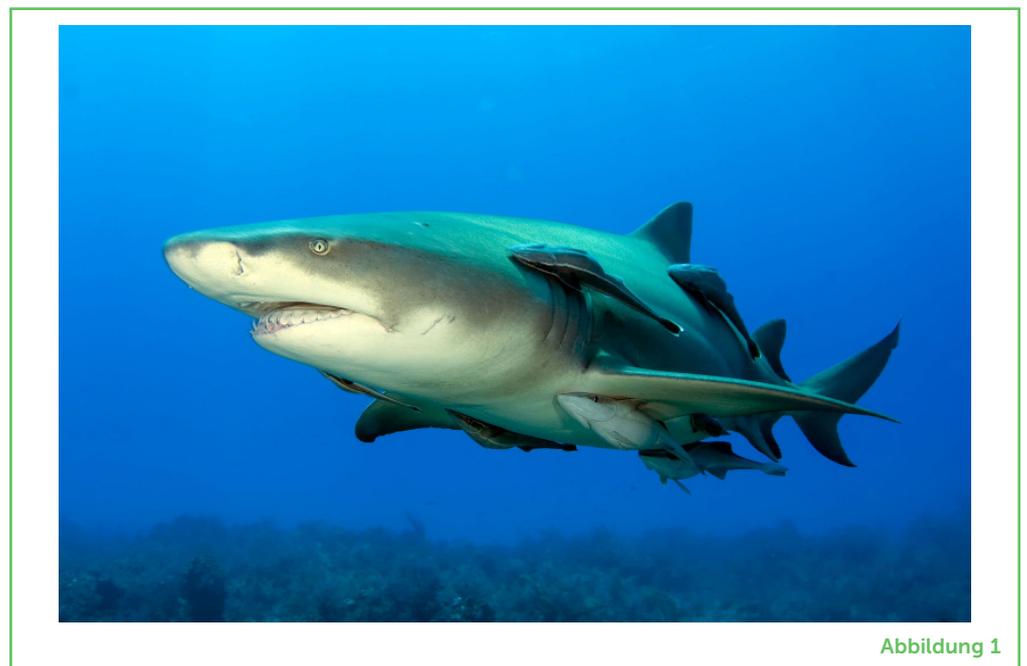


Abbildung 1

KOGNITIV

„Kognitiv“ ist ein Begriff, den Wissenschaftler für mentale Prozesse wie Denken, Schlussfolgern, Erinnern und Problemlösen verwenden.

VOKABULR

Das bedeutet, wie viele Wörter du in ihrer Bedeutung kennst.

WAS IST MUTUALISMUS?

Wann immer du versuchst, ein Problem zu lösen – in der Schule oder anderswo – setzt du das ein, was Psychologen kognitive Fähigkeiten nennen. **Kognitive** Fähigkeiten sind Dinge wie Gedächtnis (wie gut du dich an Dinge aus der Vergangenheit erinnern kannst), **Vokabular**

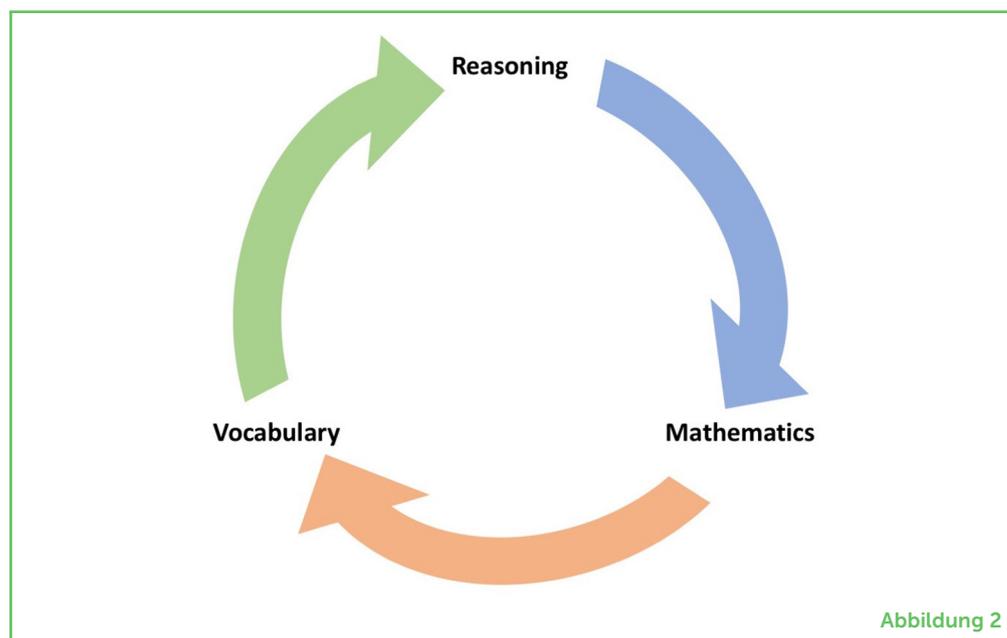
(wie viele Wörter du kennst) und logisches Denken (wie gut du Probleme lösen kannst). Viele Dinge, die du in der Schule tust und lernst, beruhen auf kognitiven Fähigkeiten. Das Vokabular zum Beispiel ist ein wirklich wichtiger Baustein der Sprache, ebenso wie andere Fähigkeiten. Beispielsweise verwendest du dein Vokabular, wenn du dich auf eine Stelle bewirbst, eine Geschichte erzählst oder einem Freund eine Nachricht schreibst.

Normalerweise untersuchen Wissenschaftler verschiedene kognitive Fähigkeiten getrennt, so wie man in der Schule viele verschiedene Fächer lernt. In einigen neueren Studien haben Wissenschaftler jedoch spannende Zusammenhänge zwischen kognitiven Fähigkeiten entdeckt. Wie sich herausstellt, handelt es sich bei den kognitiven Fähigkeiten nicht um völlig getrennte Fähigkeiten, sondern sie verhalten sich ein wenig wie Haie und Saugfische – sie helfen sich gegenseitig, mit der Zeit zu wachsen. Wie du in [Abbildung 2](#) sehen kannst (siehe Bild mit den kreisförmig angeordneten Pfeilen), ist dein Vokabular nicht nur nützlich, um deine Sprachkenntnisse zu verbessern, sondern kann auch deine Argumentation unterstützen, was wiederum deinen Mathematikkenntnissen helfen kann, was letztendlich auch deinem Vokabular zugute kommen kann. Diese Idee wird als Mutualismus der kognitiven Fähigkeiten bezeichnet [1].

Abbildung 2

Die Idee des Mutualismus ist, dass unterschiedliche kognitive Fähigkeiten sich gegenseitig helfen, mit der Zeit zu wachsen.

Reasoning = Logisches Denken;
Vocabulary = Vokabular;
Mathematics = Mathematik;



Wie können wir die Idee des Mutualismus prüfen?

Um die Idee des Mutualismus zu prüfen, untersuchten wir 800 junge Menschen (im Alter von 14-24 Jahren) über einen längeren Zeitraum und maßen ihr Vokabular und ihre Argumentationsfähigkeiten [2]. In [Abbildung 3](#) kannst du sehen, wie die Vokabular- und Argumentationstests aussahen. Im Vokabulartest baten wir unsere Jugendlichen, einen Kegel (neben anderen Formen) zu beschreiben

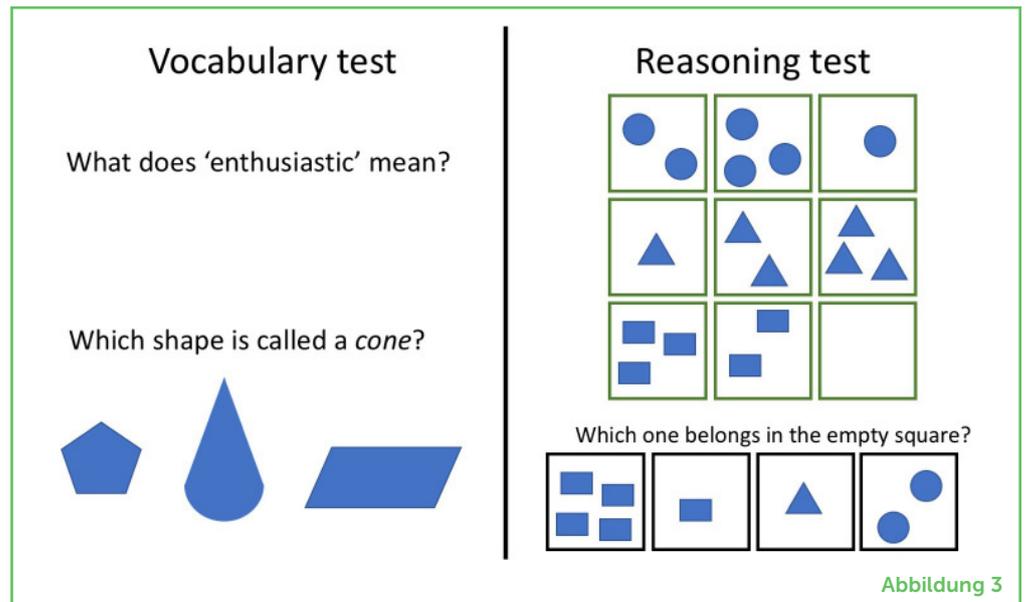
Abbildung 3

Ein Beispiel für einen Vokabulartest (Vocabulary test) (links) und einen Test zum logischen Denken (Reasoning test) (rechts) zur Untersuchung des Mutualismus kognitiver Fähigkeiten.

What does 'enthusiastic' mean? = Was heißt „enthusiastisch“?

Which shape is called a cone? = Welche Form nennt man Kegel?

Which one belongs in the empty square? = Welches Quadrat gehört in das leere Quadrat oben?



oder zu erklären, was ein Wort wie „begeistert“ bedeutet. Für die Argumentationsaufgabe baten wir die Jugendlichen, das fehlende Puzzleteil einzutragen (Tipp: Zähle die Formen in jeder Reihe von links nach rechts). In unserer Studie haben die Kinder und Jugendlichen diese Tests zweimal, im Abstand von etwa 1,5 Jahren, durchgeführt.

Wir haben festgestellt, dass die Kinder und Jugendlichen im Laufe der Zeit im Vokabular und in der Argumentation etwas besser geworden sind, so wie man mit zunehmendem Alter in den meisten Dingen besser wird. Am wichtigsten war jedoch, dass wir Beweise für den Mutualismus der kognitiven Fähigkeiten entdeckten. Es hat sich herausgestellt, dass ein gutes Vokabular am Anfang die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass sich die Argumentation verbessert, und gute Argumentationsfähigkeiten am Anfang halfen dabei, schneller mehr Wörter zu lernen. Genau wie das Erreichen eines guten Gleichgewichts oder schnell laufen zu können helfen kann, sich in Sportarten wie Fußball oder Tennis zu verbessern, kann ein gutes Vokabular und ein gutes logisches Denkvermögen dir helfen, auch andere kognitive Fähigkeiten zu entwickeln. Um herauszufinden, ob dieser Befund zuverlässig war, testeten wir die Idee des Mutualismus in einer separaten Gruppe mit jungen Menschen – diesmal waren sie deutlich jünger (6-8 Jahre alt). Natürlich stellten wir auch hier wieder fest, dass Kinder mit besseren Argumentationsfähigkeiten ihr Vokabular schneller verbessern konnten und umgekehrt [3].

WIE KANN DER MUTUALISMUS DIR IN DER SCHULE HELFEN?

Warum könnte dir das Verständnis des kognitiven Mutualismus helfen? Nun, dafür gibt es mehrere Gründe. Es kann zum Beispiel helfen,

zu verstehen was passiert, wenn du in der Schule lernst. Zwei Wissenschaftler, Stuart Ritchie und Elliot Tucker-Drob, verwendeten Daten von über 600.000 Menschen [4] und stellten fest, dass man durch den Schulbesuch bei kognitiven Tests, wie IQ-Tests, besser abschneidet. Das ist ziemlich beeindruckend, wenn man bedenkt, dass die meisten dieser Tests nie direkt in der Schule unterrichtet wurden. Ihre Befunde legen nahe, dass der Schulbesuch einen tatsächlich klüger macht, selbst bei Dingen, die man nicht direkt lernt. Das ähnelt dem Mutualismus: Wenn man gute „Bausteine“ hat, kann sich eine Reihe von kognitiven Fähigkeiten schneller entwickeln.

Mutualismus zu verstehen, ist auch dann nützlich, wenn du gerade eine schwere Zeit in der Schule hast. Angenommen, du hast Probleme mit Mathe und weißt nicht, wie du besser werden kannst. Dem Mutualismus zufolge könnte es sein, dass die Verbesserung einer kognitiven Fähigkeit (wie des Vokabulars) dir helfen könnte, andere kognitive Fähigkeiten zu verbessern, einschließlich derer, die dir schwerer fallen (wie die Mathematik), auch wenn sie nicht miteinander in Beziehung zu stehen scheinen. Also, gib Mathematik noch nicht auf. Die Arbeit an etwas anderem, wie z. B. Lesen, könnte dazu beitragen, deine Noten in Mathe zu verbessern, was wiederum dazu beitragen könnte, deine Englischnoten zu verbessern, was wiederum deiner Mathematiknoten zugutekommen könnte und so weiter.

Es gibt sogar eine neue Studie, die genau dies beweist: Etwas besser lesen zu können, half Kindern ihre Multiplikationsfähigkeiten mit der Zeit zu verbessern [5]. Gut in einem bestimmten Schulfach zu sein, ist daher nicht nur an und für sich gut – gut in einem beliebigen Fach zu sein, könnte dir helfen, eine ganze Reihe anderer Fähigkeiten leichter zu erwerben.

WAS HABEN WIR ÜBER UNSER GEHIRN GELERNT?

Was unsere Forschungen über den Mutualismus zeigen, ist, dass unser Gehirn ein bisschen wie der Hai und der Saugfisch ist: Verschiedene Fähigkeiten, wie Vokabular und Problemlösung, helfen sich tatsächlich gegenseitig, mit der Zeit zu wachsen. Man kann sich den Mutualismus als Faustregel für das Lernen innerhalb und außerhalb des Klassenzimmers vorstellen. Der Mutualismus zeigt, wie wichtig es ist, Verbindungen herzustellen. Sowohl du als auch deine Lehrerinnen und Lehrer können es hilfreich finden, verschiedene Themen und Fächer miteinander zu verbinden: Was sind die Verbindungen zwischen ihnen und wie kannst du das verwenden, was du in Mathe gelernt hast, um in Biologie besser zu werden? Wenn du über diese Verbindungen zwischen den Themen nachdenkst und sie herstellst, kannst du das Beste aus deiner Zeit in der Schule machen. Vielleicht ermuntert dich das Lernen über den Mutualismus sogar dazu, etwas anders über Themen in der Schule nachzudenken. Es ist wichtig, nicht nur fleißig, sondern auch so umfassend wie möglich zu

lernen. Man weiß nie, welche möglichen Vorteile das Erlernen einer Fähigkeit auf die anderen haben kann!

Mutualismus ist ein sehr neues und aufregendes Forschungsfeld, und es gibt noch viel darüber zu lernen. Wir arbeiten immer noch hart daran, zu verstehen, wie das praktisch im Klassenzimmer eingesetzt wird. Wir wissen zum Beispiel nicht, ob auch andere kognitive Fähigkeiten wie das Gedächtnis die Auswirkungen des Mutualismus zeigen, ob einige Kinder mehr Mutualismus zeigen als andere, wie das Gehirn den Mutualismus unterstützt oder wie lange du vielleicht Lesen üben musst, bevor du irgendeinen Vorteil für den Mathe-Unterricht hast. Wir arbeiten aber daran, also halte dich auf dem Laufenden!

DANKSAGUNGEN

Wir danken Callahan Collier (11 Jahre alt) für das wertvolle Feedback zu einem früheren Entwurf dieses Manuskripts. Wir möchten uns von ganzem Herzen bei allen bedanken, die bei der Übersetzung der Artikel in dieser Sammlung mitgeholfen haben, um sie für Kinder außerhalb des englischsprachigen Raums zugänglicher zu machen, sowie bei der Jacobs Foundation für die Bereitstellung der für die Übersetzung der Artikel erforderlichen Mittel.

ORIGINALARTIKEL

Kievit, R. A., Hofman, A. D., and Nation, K. 2019. Mutualistic coupling between vocabulary and reasoning in young children: a replication and extension of the study by Kievit et al. (2017). *Psychol. Sci.* 30:1245–52. doi: 10.1177/0956797619841265

REFERENZEN

1. Van Der Maas, H. L., Dolan, C. V., Grasman, R. P., Wicherts, J. M., Huizenga, H. M., and Raijmakers, M. E. 2006. A dynamical model of general intelligence: the positive manifold of intelligence by mutualism. *Psychol. Rev.* 113:842–61. doi: 10.1037/0033-295X.113.4.842
2. Kievit, R. A., Lindenberger, U., Goodyer, I. M., Jones, P. B., Fonagy, P., Bullmore, E. T., et al. 2017. Mutualistic coupling between vocabulary and reasoning supports cognitive development during late adolescence and early adulthood. *Psychol. Sci.* 28:1419–31. doi: 10.1177/0956797617710785
3. Kievit, R. A., Hofman, A. D., and Nation, K. 2019. Mutualistic coupling between vocabulary and reasoning in young children: a replication and extension of the study by Kievit et al. (2017). *Psychol. Sci.* 30:1245–52. doi: 10.1177/0956797619841265
4. Ritchie, S. J., and Tucker-Drob, E. M. 2018. How much does education improve intelligence? A meta-analysis. *Psychol. Sci.* 29:1358–69. doi: 10.1177/0956797618774253

5. Rinne, L. F., Ye, A., and Jordan, N. C. 2019. Development of arithmetic fluency: a direct effect of reading fluency? *J. Educ. Psychol.* 112:110–30. doi: 10.1037/edu0000362

HERAUSGEBER*IN: Sabine Peters

WISSENSCHAFTLICHE*R MENTOR*IN: Gert-Jan Pepping

ZITAT: Kievit RA, Simpson-Kent IL und Fuhrmann D (2023) Warum dein Gedächtnis wie ein Hai ist: Prüfung der Idee des Mutualismus. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00060-de

ÜBERSETZT UND ÜBERNOMMEN VON: Kievit RA, Simpson-Kent IL and Fuhrmann D (2020) Why Your Mind Is Like a Shark: Testing the Idea of Mutualism. *Front. Young Minds* 8:60. doi: 10.3389/frym.2020.00060

INTERESSENKONFLIKT: Die Autor*innen erklären hiermit, dass ihre Forschung ohne kommerzielle oder finanzielle Unterstützung durchgeführt wurde, aus der sich ein Interessenkonflikt ergeben könnte.

URHEBERRECHTE © 2020 © 2023 Kievit, Simpson-Kent und Fuhrmann. Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der [Creative-Commons-Attribution-Lizenz \(CC BY\)](#) verbreitet wird. Die Verwendung, Verbreitung oder Vervielfältigung in anderen Foren ist gestattet, sofern der/die Originalautor*innen und der/die Urheberrechtsinhaber*innen genannt werden und die Originalveröffentlichung in dieser Zeitschrift gemäß anerkannter wissenschaftlicher Praxis zitiert wird. Eine Nutzung, Verbreitung oder Vervielfältigung, die diesen Bedingungen nicht entspricht, ist nicht gestattet.

JUNGE GUTACHTER*INNEN

AIDAN, ALTER: 9

Aidan ist 9 Jahre alt, er mag Codierung und Wissenschaft. Er liest auch gerne und viel. Er liest gerne Buchreihen wie „Wings of Fire“, „How to Train Your Dragon“, „The Three Doors Trilogy“, „Deltora Quest“, „His Dark Materials Trilogy“, „Mr. Gum“, „Harry Potter“ und „Weir Do“.



DANIELA, ALTER: 10

Hallo, ich heiße Daniela. Ich bin 10 Jahre alt. Ich lebe in Australien. Mein Lieblingshobby ist Tennis spielen, und mein Lieblingsfach sind die Naturwissenschaften. Wenn ich groß bin, möchte ich Naturwissenschaften studieren und Ärztin werden.



**LEIMINA, ALTER: 11**

Hallo, ich liebe Sport, insbesondere Korbball, aber ich liebe auch andere Sportarten. Ich würde sagen, dass ich eine ziemlich gute Künstlerin bin. Ich liebe es einfach, zu lesen und neue Dinge zu lernen.

**LUCIE, ALTER: 11**

Lucie liebt Naturwissenschaften und Mathematik. Sie interessiert sich sehr für Biologie und Chemie. In ihrer Freizeit liest Lucie gerne. Ihre Lieblingsbuchgenres sind Sachbücher, Action, Fantasy und Romantik.

AUTOR*INNEN**ROGIER A. KIEVIT**

Rogier ist ein Psychologe, der verstehen will, warum Kinder so schnell Fertigkeiten lernen und warum ältere Menschen dazu neigen, ein wenig schlechter zu werden wenn sie (wirklich) alt werden. Er schaut sich große Gruppen von Kindern und Erwachsenen an, um herauszufinden, wie sich ihre Gehirne im Laufe der Zeit verändern und wie sich diese Veränderungen auf ihr Denken, Argumentieren und Erinnern auswirken. Er liebt Haie und war sehr froh, dass er ein Bild von einem Hai in diesem Artikel verwenden konnte.

*rogier.kievit@mrc-cbu.cam.ac.uk; www.rogierkievit.com

**IVAN L. SIMPSON-KENT**

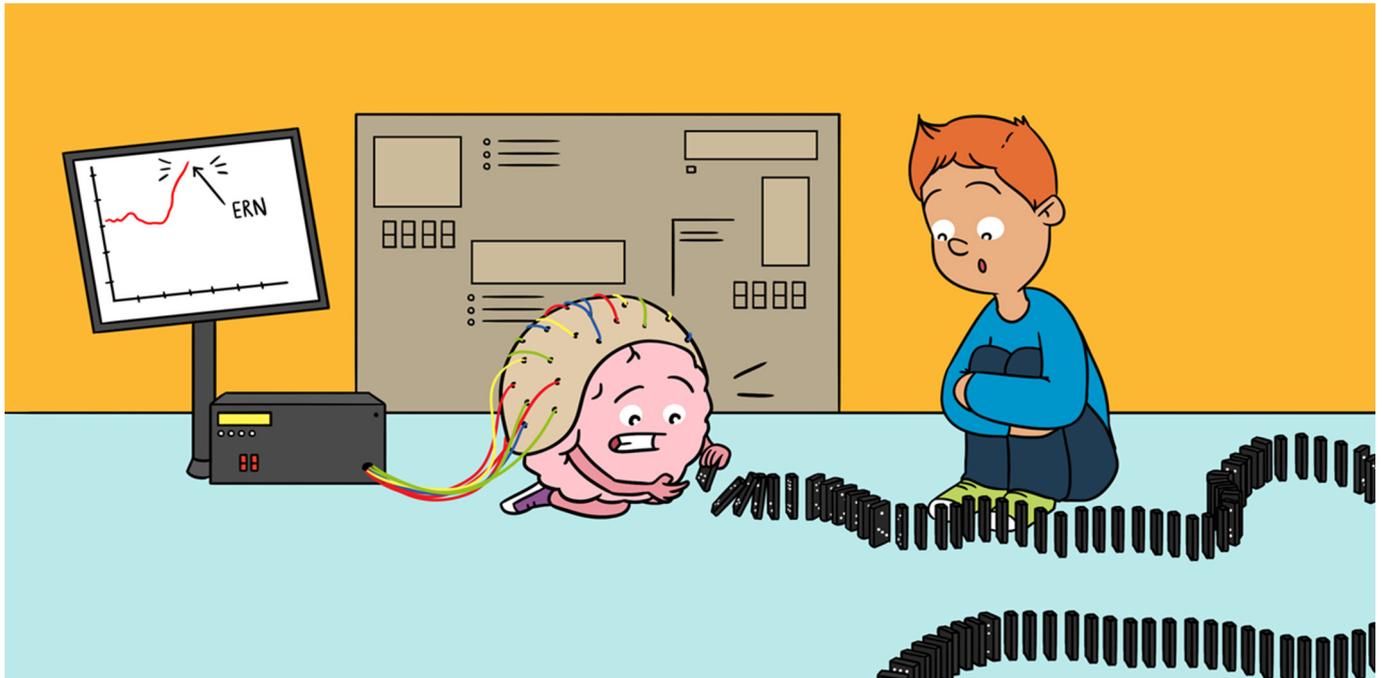
Ivan ist Doktorand an der MRC-Einheit für Kognitions- und Gehirnwissenschaften an der Universität Cambridge. Seine Forschung versucht herauszufinden, wie das Gehirn und das Verhalten während der Kindheit und Jugend miteinander interagieren um Intelligenz zu erzeugen. Er hofft, die Erkenntnisse aus seiner Forschung in die Bildungspolitik einfließen lassen zu können, insbesondere für benachteiligte Jugendliche, die in der Schule Schwierigkeiten beim Lernen haben.

**DELIA FUHRMANN**

Delia ist eine Psychologin, die davon fasziniert ist, wie sich der Verstand und das Gehirn entwickeln. Sie arbeitet an der Universität von Cambridge und am King's College London. Sie möchte verstehen, wie die Umwelt uns in verschiedenen Altersstufen beeinflusst. Außerhalb des Labors spielt sie gerne mit ihren Kindern, liest Bücher und tanzt.

German version provided by
Deutsche Version von

J JACOBS
FOUNDATION
Our Promise to Youth



AUS FEHLERN LERNEN: WIE GEHT DAS GEHIRN MIT FEHLERN UM?

Knut Overbye¹, Rune Bøen², Rene J. Huster³ und Christian K. Tamnes^{2,4,5*}

¹Forschungszentrum für Gehirnentwicklung und Kognition in verschiedenen Lebensphasen, Fachbereich Psychologie der Universität Oslo, Oslo, Norwegen

²Forschungszentrum PROMENTA, Fachbereich Psychologie der Universität Oslo, Oslo, Norwegen

³Labor für multimodale Bildgebung und kognitive Kontrolle, Fachbereich Psychologie der Universität Oslo, Oslo, Norwegen

⁴NORMENT, Institut für klinische Medizin der Universität Oslo, Oslo, Norwegen

⁵Abteilung für psychiatrische Forschung, Diakonhjemmet Spital, Oslo, Norwegen

JUNGE GUTACHTER*INNEN:



ASHLEY

ALTER: 12



JULIA

ALTER: 14



SAMANTHA

ALTER: 15

Wir alle machen Fehler-und wenn wir Fehler machen, ist das eine große Chance für das Gehirn, sich anzupassen und zu lernen. Wie das Gehirn Fehler erkennt und mit ihnen umgeht, haben Forscher mit Caps (Elektroden) untersucht. Diese Caps sind mit Sensoren ausgestattet, so dass sie die Hirnaktivität messen können. Mit dieser Methode haben die Forscher herausgefunden, dass das Gehirn eine bestimmte Art von Hirnaktivität erzeugt, wenn eine Person einen Fehler macht. Diese Aktivität, die als fehlerbezogene Negativität oder ERN (für error-related negativity) bezeichnet wird, tritt fast zur gleichen Zeit wie der Fehler auf. Es ist, als wüsste das Gehirn bereits innerhalb von Sekundenbruchteilen, dass wir einen Fehler machen, sogar bevor wir uns dessen überhaupt bewusst werden. Aber woher

im Gehirn kommt diese ERN? Wie hilft sie uns beim Lernen? Und wie verändert sie sich, wenn wir zu Erwachsenen werden?

FEHLER MACHEN

Zugegebenermaßen ist das Gefühl, das man hat, wenn man Fehler macht, nicht besonders schön. Dieser plötzliche ärgerliche Ruck, den man spürt, wenn der Dart die Dartscheibe verfehlt, oder das Gefühl des Versinkens, das man hat, wenn man bei einer Prüfung durchfällt. Diese Gefühle können ärgerlich oder schmerzhaft sein, aber sie sind wichtig für das Gehirn, damit du in Zukunft Erfolge erzielen kannst.

Für unsere fernen Vorfahren hätte ein Fehler starke Verletzungen oder sogar den Tod bedeuten können, denn sie lebten in der Wildnis, jagten Wild und mussten sich vor Raubtieren schützen. Das Gehirn unserer Vorfahren musste dabei aus gemachten Fehlern lernen, damit die menschliche Rasse überleben konnte. Eine wichtige Funktion des Gehirns ist der Versuch, die Zukunft vorherzusagen. Dazu gehört auch, wie wir unser Handeln in Zukunft ändern können, um die gleichen Fehler zu vermeiden. Zu verstehen, wie das Gehirn Fehler erkennt und mit ihnen umgeht, ist daher wichtig, um zu begreifen, wie das Gehirn genau funktioniert und wie wir lernen.

Wir können uns einen solchen Fehler vorstellen: Man beginnt mit einem Ziel, das man erreichen will. Vielleicht spielst du gerade Fußball und stehst kurz vor einem Freistoß. Dein Ziel ist es selbstverständlich, ein Tor zu schießen. Du beurteilst die Situation und wählst einen Aktionsplan. Angenommen, die gegnerische Mannschaft hat eine Wand aufgestellt, so dass du dich entscheidest, den Ball um die Spieler herum und ins Tor zu schießen. Aber du gibst dem Ball zu wenig Schwung, und er trifft einen Torpfosten und wird abgelenkt.

In diesem Beispiel wurde der Fehler durch eine falsche Vorhersage verursacht. Du hast vorhergesagt, dass die Art und Weise, wie du den Ball kickst, dazu führen würde, dass du ein Tor erzielen würdest, aber zu deiner Überraschung traf er stattdessen den Torpfosten! Mit anderen Worten, was du geplant hast, ist nicht wirklich zustande gekommen. Auch wenn du vielleicht enttäuscht bist, weil du kein Tor erzielt hast, gibt dir dieses Ereignis sehr wichtige Informationen. Es sagt dir, dass deine Vorstellungen darüber, wie die Welt funktioniert und wie du sie beeinflussen kannst, nicht ganz richtig sind. Jetzt weißt du, dass du den Ball beim nächsten Mal mit mehr Schwung kicken musst. Dank solcher Lernerfahrungen wirst du deine Tritte so lange üben, bis du schließlich ein Tor erzielst.

WIE GEHT DAS GEHIRN MIT FEHLERN UM?

Die Gehirnzellen kommunizieren miteinander mit Hilfe von Elektrizität. Ein Teil dieser elektrischen Aktivität wandert von den

ELEKTROENZEPHALOGRAPHIE (EEG)

Eine Methode zur Aufzeichnung der elektrischen Aktivität im Gehirn.

FEHLERBEZOGENE NEGATIVITÄT (ERN, ERROR-RELATED NEGATIVITY)

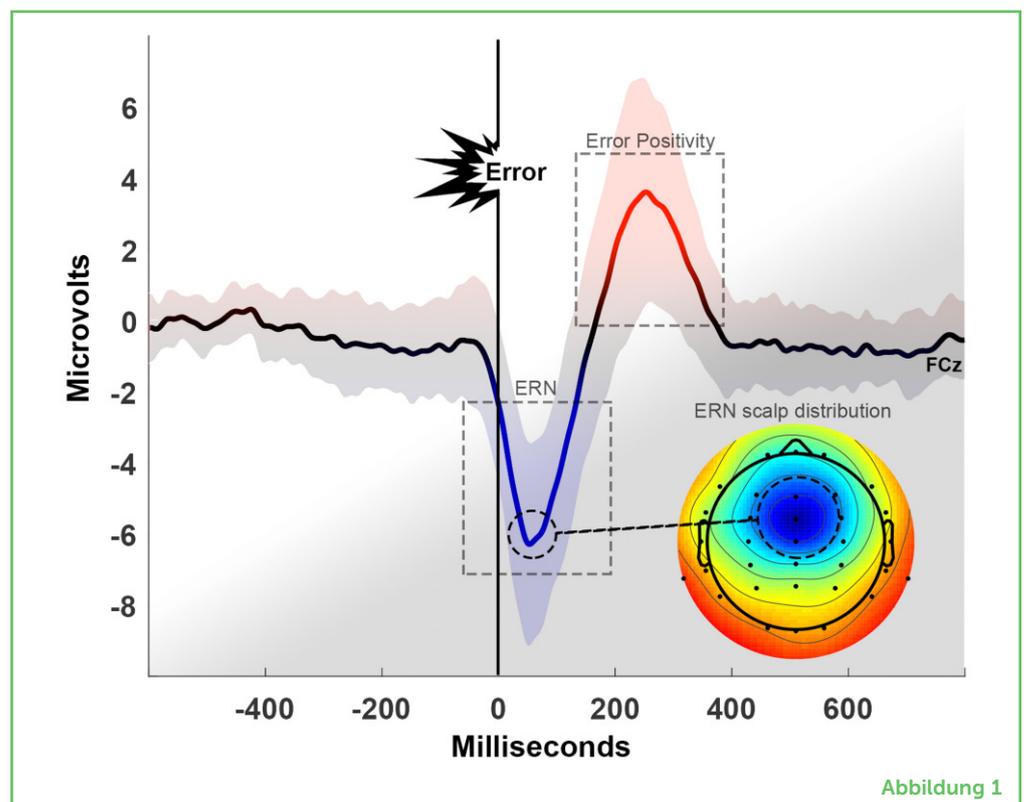
Negativ geladene elektrische Hirnaktivität, die sehr schnell nach einem Fehler auftritt und die Erkennung und Verarbeitung des Fehlers signalisiert.

Abbildung 1

Fehlerbezogene Negativität (ERN für error-related negativity) und Fehlerpositivität (Error Positivity). Ein spezifisches Muster der Hirnaktivität kann beobachtet werden, wenn wir einen Fehler machen. In der Grafik zeigt die Wellenlinie die Hirnaktivität über eine gewisse Zeit. Die vertikale Linie stellt den Zeitpunkt dar, zu dem der Fehler gemacht wurde. Du kannst sehen, dass die ERN (blau) fast unmittelbar nach dem Fehler auftritt und oben am Kopf am stärksten ist, während die Fehlerpositivität (rot) etwas später eintritt.

Gehirnzellen weg an die Außenseite des Kopfes. Auf dem Weg dorthin durchquert sie Hirngewebe, den Schädel und deine Haut. Durch die Verwendung von Caps mit speziellen Sensoren, auch Elektroden genannt, können wir diese Aktivität aufzeichnen. Diese Methode heißt **Elektroenzephalographie (EEG)**. Mit EEG können wir die Hirnaktivität untersuchen, während Menschen verschiedene Aufgaben ausführen. Das Gehirn hört nie auf zu arbeiten, selbst dann nicht, wenn du schläfst, daher produziert es ständig die erwähnten elektrischen Signale. Wenn man sich die Muster in diesen elektrischen „Gehirnwellen“ ansieht, kann man eine Menge darüber lernen, was im Gehirn vor sich geht. Wir können sehen, ob die Menschen wach oder eingeschlafen sind oder ob sie entspannt oder konzentriert sind.

Im Labor wird die Hirnaktivität im Zusammenhang mit Fehlern untersucht, indem wir jemandem eine sehr schwierige Aufgabe stellen, bei der er oder sie zwangsläufig viele Fehler machen wird. Beispielsweise könnte die Person gebeten werden, schnell eine bestimmte Taste auf einer Tastatur zu drücken, wenn ein Pfeil nach links oder rechts in der Mitte des Bildschirms angezeigt wird. Dabei ist aber der Pfeil von vielen ablenkenden Pfeilen umgeben, die in die andere Richtung zeigen. Immer; wenn die Person einen Fehler macht, zeigt sich ein spezielles Muster der Hirnaktivität: eine scharfe, negative elektrische Aktivität, die an der Spitze des Kopfes am stärksten ist. Da diese elektrische Aktivität negativ geladen und mit Fehlern verbunden ist, wird sie **fehlerbezogene Negativität** oder ERN genannt [1] (Abbildung 1).



CINGULÄRER CORTEX

Ein Teil des Gehirns tief im Inneren in der Mitte des Gehirns.

Abbildung 2

Der cinguläre Cortex und das Cingulum-Bündel. Links: Der cinguläre Cortex, grün dargestellt, ist eine Region tief in der Mitte des Gehirns und die Quelle der ERN. Rechts: Das Cingulum-Bündel, die Faser-Verbindungen, die unterhalb des Cingulum-Cortex liegen, verbindet verschiedene Hirnregionen miteinander (Quelle: Sila Genc). Front = Vordere Hirnregionen; Back = Hintere Hirnregionen.

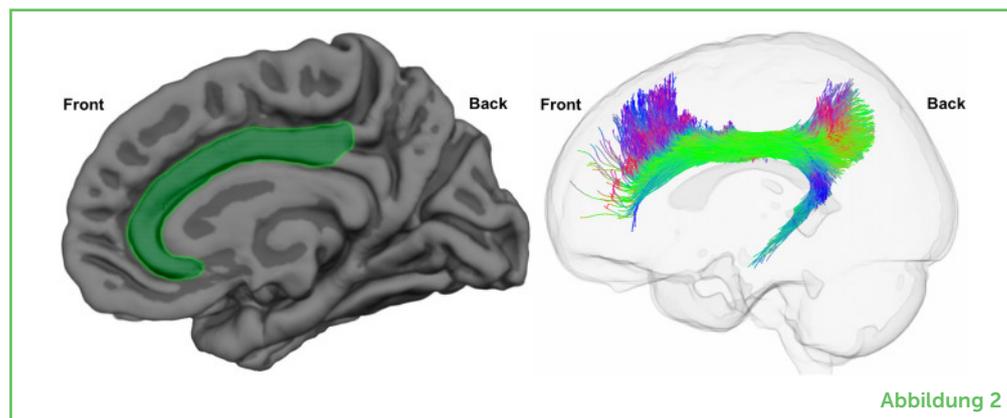


Abbildung 2

CINGULUM-BÜNDEL

Eine Nervenbahn mit einer Ansammlung von Fasern, die viele verschiedene Teile des Gehirns miteinander verbinden.

FEHLER-POSITIVITÄT (PE)

Positiv geladene elektrische Hirnaktivität, die ab 200 ms nach einem Fehler auftritt und an unserem Bewusstsein, dass man einen Fehler gemacht hat, beteiligt ist.

Es wird angenommen, dass die ERN aus einer Hirnregion tief im vorderen Teil des Gehirns stammt, die als cingulärer Cortex bezeichnet wird [2] (Abbildung 2). Die ERN ist wahrscheinlich das Ergebnis davon, dass der **cinguläre Cortex** einen Fehler erkennt und ein Alarmsignal an andere Teile des Gehirns sendet, und zwar über Verbindungen, die als **Cingulum-Bündel** bezeichnet werden und die Aufmerksamkeit der Person darauf lenken, die Wahrscheinlichkeit neuer Fehler zu verringern.

Das Merkwürdige an der ERN ist, wie schnell sie zustande kommt, nachdem man einen Fehler gemacht hat. Es passiert eigentlich, bevor man sich seines Fehlers bewusst ist. Die ERN tritt in der Regel nicht später als 100 ms (1/1.000 einer Sekunde) nach einem Fehler auf. Die ERN tritt fast genau zur gleichen Zeit wie der Fehler selbst ein. Im Gegensatz dazu wirst du das Gefühl, einen Fehler gemacht zu haben, erst mindestens 200 ms später bei dir erleben. Es ist, als wüsste dein Gehirn, dass du einen Fehler gemacht hast, bevor „du“ es weißt! Und in der Tat glauben die Wissenschaftler, dass genau das geschieht. Der cinguläre Cortex vergleicht unsere tatsächlichen Handlungen mit dem, was wir tun möchten oder erreichen sollten, und die ERN signalisiert dann unserem bewussten Selbst, dass die tatsächliche Handlung und das von uns erwartete Ergebnis nicht übereinstimmen. Die ERN macht uns also auf diesen Fehler oder diese Diskrepanz aufmerksam. Das tatsächliche Begreifen des gemachten Fehlers geschieht zur gleichen Zeit wie das Versenden eines späteren Gehirnsignals, das als Fehlerpositivität bezeichnet wird. Diese **Fehlerpositivität** ist ebenfalls ein elektrisches Signal, von dem Wissenschaftler glauben, dass uns ein Fehler bewusst wird.

WIE HELFEN UNS FEHLER DABEI, UNSER VERHALTEN ANZUPASSEN UND ZU LERNEN?

Viele wissenschaftliche Studien haben gezeigt, dass wir nach einem Fehler in der nächsten Runde langsamer reagieren. Diese Tatsache könnte daran liegen, dass das Gehirn versucht, sich selbst mehr Zeit zu geben, um den gleichen Fehler nicht zu wiederholen. Je stärker

die ERN nach einem Fehler ist, desto langsamer ist tendenziell die Reaktion in der nächsten Runde [3].

Einige Menschen haben eine größere ERN als andere. Bedeutet das, dass diese Menschen sensibler für Fehler sind und mehr aus ihren Fehlern lernen? Einige Studien scheinen diese Idee zu unterstützen. Hirsh und Inzlicht [4] fanden beispielsweise heraus, dass eine stärkere ERN mit besseren Schulleistungen verbunden ist. In ihrer Studie maßen die Forscher die Hirnaktivität von Universitätsstudenten und stellten fest, dass die Studenten, die eine größere ERN hatten, auch tendenziell bessere Noten erzielten.

Eine starke ERN zu haben, ist jedoch nicht unbedingt immer eine gute Sache. Menschen, die ängstlicher sind, neigen zu stärkeren ERNs [5], und sehr starke Gehirnreaktionen auf Fehler sind eher mit einer erhöhten Ablenkbarkeit als mit einer verbesserten Fokussierung verbunden. Eine wirklich starke ERN kann dazu führen, dass das Gehirn überreagiert und sich mehr als nötig aufregt und alarmiert ist, wenn es einen Fehler macht.

WIE VERÄNDERN SICH FEHLERSIGNALE, WENN WIR ERWACHSEN WERDEN?

In der Kindheit und Jugend durchläuft der Körper viele physische Veränderungen, aber es gibt auch viele Veränderungen in unserem Denken, Fühlen und Verhalten sowie in unserer Motivation. Diese Veränderungen sowie die immer größeren Verantwortlichkeiten und Erwartungen, mit denen wir im Leben konfrontiert sind, erfordern wiederholtes Ausprobieren, damit wir die sozialen und akademischen Fähigkeiten erlernen, die wir als Erwachsene brauchen, um uns zu entfalten.

Studien zeigen, dass sich die ERN mit dem Alter verändert, wobei Erwachsene und ältere Teenager im Vergleich zu Kindern stärkere ERN-Signale haben [3]. Dass die ERN im Laufe der Kindheit und Jugend an Stärke zunimmt, hängt wahrscheinlich mit der Art und Weise zusammen, wie sich das Gehirn entwickelt. Verschiedene Teile des Gehirns entwickeln sich mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Einige Hirnregionen sind in der späten Kindheit voll ausgereift, während sich andere bis ins Erwachsenenalter entwickeln [6]. Der cinguläre Cortex, der die ERN produziert, ist erst Ende der 20er-Jahre komplett entwickelt. Mit anderen Worten, ein Teil des Gehirns, der für das Lernen aus unseren Fehlern wichtig ist, braucht im Vergleich zu vielen anderen Teilen des Gehirns sehr lange, um sich vollständig zu entwickeln.

SCHLUSSFOLGERUNG

Fehler zu machen, kann manchmal ärgerlich und frustrierend sein. Es ist jedoch auch sehr wichtig, dass wir aus unseren Fehlern lernen, damit wir unsere Reaktionen korrigieren und Dinge anders machen können, wenn wir das nächste Mal mit der gleichen Situation konfrontiert sind. Das Gehirn ist sehr fehlerempfindlich und produziert bei Fehlern eine Art elektrische Aktivität, die ERN genannt wird. Dieses Fehlersignal: (1) tritt auf, bevor wir uns unseres Fehlers bewusst sind; (2) wird mit zunehmendem Alter stärker; und (3) kann vorhersagen, wie gut wir in der Schule oder an der Universität abschneiden. Es gibt noch viel, was wir lernen müssen, um zu verstehen wie das Gehirn auf Fehler reagiert. Mehr Forschung über die ERN könnte uns dabei helfen, einige dieser Rätsel zu lösen.

DANKSAGUNGEN

Wir möchten uns von ganzem Herzen bei allen bedanken, die bei der Übersetzung der Artikel in dieser Sammlung mitgeholfen haben, um sie für Kinder außerhalb des englischsprachigen Raums zugänglich zu machen, ebenso bei der Jacobs Foundation für die Bereitstellung der für die Übersetzung der Artikel erforderlichen Mittel. Die CT wurde vom norwegischen Forschungsrat (#230345, #288083, #223273) und von der regionalen Gesundheitsbehörde Südostnorwegens (#2019069) unterstützt.

REFERENZEN

1. Tamnes, C. K., Walhovd, K. B., Torstveit, M., Sells, V. T., and Fjell, A. M. 2013. Performance monitoring in children and adolescents: a review of developmental changes in the error-related negativity and brain maturation. *Dev. Cogn. Neurosci.* 6:1–13. doi: 10.1016/j.dcn.2013.05.001
2. Cavanagh, J. F., and Frank, M. J. 2014. Frontal theta as a mechanism for cognitive control. *Trends Cogn. Sci.* 18:414–21. doi: 10.1016/j.tics.2014.04.012
3. Overbye, K., Walhovd, K. B., Paus, T., Fjell, A. M., Huster, R. J., and Tamnes, C. K. 2019. Error processing in the adolescent brain: Age-related differences in electrophysiology, behavioral adaptation, and brain morphology. *Dev. Cogn. Neurosci.* 38:100665. doi: 10.1016/j.dcn.2019.100665
4. Hirsh, J. B., and Inzlicht, M. 2010. Error-related negativity predicts academic performance. *Psychophysiology* 47:192–6. doi: 10.1111/j.1469-8986.2009.00877.x
5. Hajcak, G. 2012. What we've learned from mistakes: insights from error-related brain activity. *Curr. Direct. Psychol. Sci.* 21:101–6. doi: 10.1177/0963721412436809
6. Amlien, I. K., Fjell, A. M., Tamnes, C. K., Grydeland, H., Krogsrud, S. K., Chaplin, T. A., et al. 2016. Organizing principles of human cortical development—thickness and area from 4 to 30 years: insights from comparative primate neuroanatomy. *Cereb. Cortex* 26:257–67. doi: 10.1093/cercor/bhu214

HERAUSGEBER*IN: Nienke Van Atteveldt

WISSENSCHAFTLICHE MENTOR*INNEN: Jessie Claire Newville und Iryna Omelchenko

ZITAT: Overbye K, Bøen R, Huster RJ und Tamnes CK (2023) Aus Fehlern lernen: Wie geht das Gehirn mit Fehlern um? *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00080-de

ÜBERSETZT UND ÜBERNOMMEN VON: Overbye K, Bøen R, Huster RJ and Tamnes CK (2020) Learning From Mistakes: How Does the Brain Handle Errors? *Front. Young Minds* 8:80. doi: 10.3389/frym.2020.00080

INTERESSENKONFLIKT: Die Autor*innen erklären hiermit, dass ihre Forschung ohne kommerzielle oder finanzielle Unterstützung durchgeführt wurde, aus der sich ein Interessenkonflikt ergeben könnte.

URHEBERRECHTE © 2020 © 2023 Overbye, Bøen, Huster und Tamnes. Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der [Creative-Commons-Attribution-Lizenz \(CC BY\)](#) verbreitet wird. Die Verwendung, Verbreitung oder Vervielfältigung in anderen Foren ist gestattet, sofern der/die Originalautor*innen und der/die Urheberrechtsinhaber*innen genannt werden und die Originalveröffentlichung in dieser Zeitschrift gemäß anerkannter wissenschaftlicher Praxis zitiert wird. Eine Nutzung, Verbreitung oder Vervielfältigung, die diesen Bedingungen nicht entspricht, ist nicht gestattet.

JUNGE GUTACHTER*INNEN

ASHLEY, ALTER: 12

Hallo, ich bin Ashley! Ich tanze jeden Tag gerne Flamenco, weil es Spaß macht und eine tolle körperliche Aktivität ist. Flamenco und Schauspielunterricht sind in diesem Jahr meine Lieblingsaktivitäten. Ich gehe in eine Schule, die sich nicht nur auf den normalen Unterricht, sondern auch auf die darstellenden Künste konzentriert. In meiner Freizeit mache ich gerne Witze und spiele Karten mit meiner Familie.

JULIA, ALTER: 14

Mein Name ist Julia, ich bin in der 9. Klasse und komme aus Berlin. Ich bin eine Schülerin, die sich sehr für Mathematik, Chemie und Naturwissenschaften begeistert, besonders für Neuro- und Weltraumwissenschaften oder Quantenmechanik, aber ich lerne auch gerne Sprachen. Zu Hause spreche ich mit meinen Eltern Ukrainisch, da wir ursprünglich aus der Ukraine sind. Außerdem lerne ich Deutsch, Englisch und Französisch in der Schule. In meiner Freizeit spiele ich liebend gern Klavier, tanze und lese Bücher.





SAMANTHA, ALTER: 15

Hallo, ich heiße Samantha! Ich lese und schreibe gerne, und ich arbeite gerade daran, eine lange Geschichte zu schreiben. Meine Lieblingsfächer sind Chemie und Englisch. In meiner Freizeit betrachte ich gerne die Geheimnisse des Universums, betrachte das Weltall und schreibe Geschichten.

AUTOR*INNEN



KNUT OVERBYE

Knut ist Psychologe und Spezialist für kognitive Neurowissenschaft. Er hat untersucht, wie jugendliche Gehirne auf Fehler und Überraschungen reagieren. Zur Zeit untersucht er, wie sich das Gehirn physisch verändert, wenn wir etwas lange üben. Sowohl bei der Arbeit als auch zu Hause beschäftigt sich Knut gern mit Programmieren und findet neue Einsatzmöglichkeiten für die virtuelle Realität.



RUNE BEN

Rune ist Forschungsassistent und hilft anderen Forschern bei der Durchführung von Experimenten. Er interessiert sich für das Gehirn und seine Funktionsweise und möchte kognitive Neurowissenschaft studieren. Er findet Freude an der Wissenschaft und am Erlernen neuer Dinge. Wenn er Feierabend hat, liest er gerne Bücher, hört sich Podcasts an und sieht Fußballspiele im Fernsehen an.



RENE J. HUSTER

René ist ein Spezialist für kognitive Neurowissenschaft, der erforscht, wie das Gehirn uns hilft, uns an Veränderungen in der Umwelt anzupassen, und wie wir unter schwierigen Bedingungen funktionieren können. Er beschäftigt sich unter anderem mit Fragen wie: Wie kann man jetzt widerstehen, einen Keks zu essen, wenn man nach weiteren 30 Minuten vielleicht drei mehr bekommt? Wenn er nicht arbeitet, trainiert er gerne Jiu Jitsu oder spielt auf der Bassgitarre.

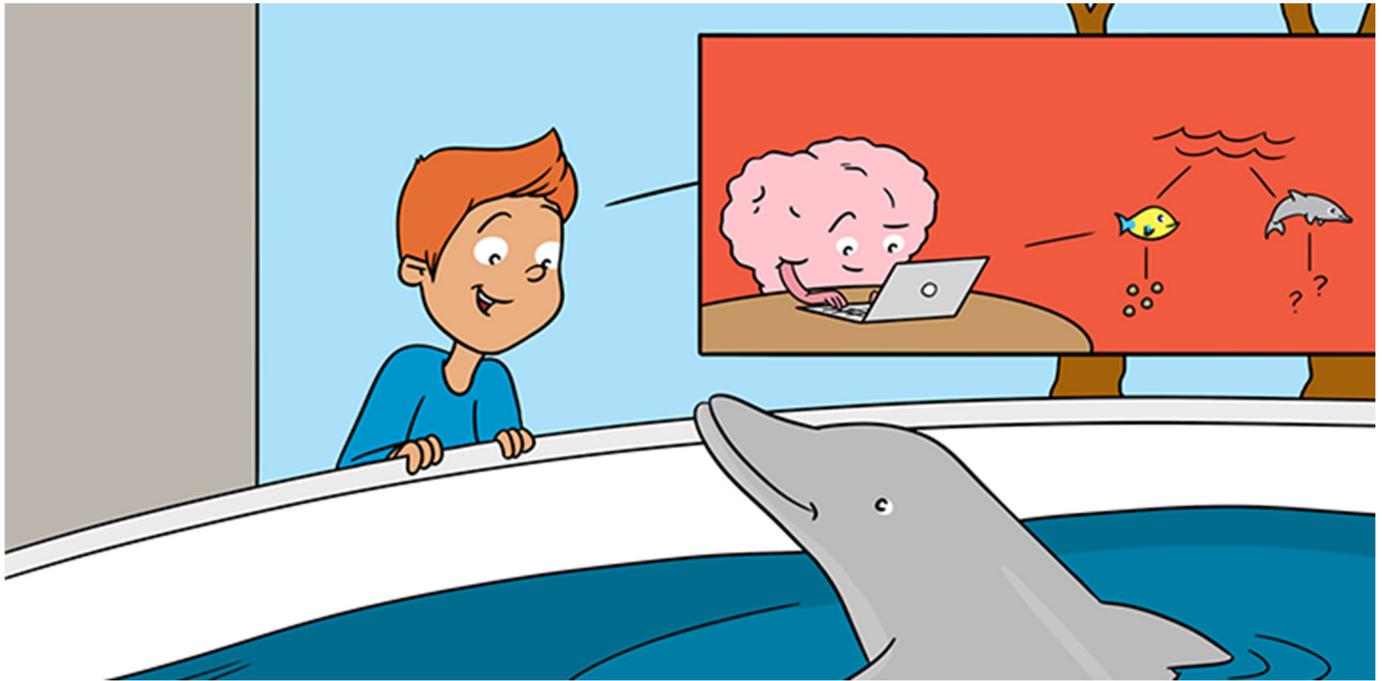


CHRISTIAN K. TAMNES

Christian ist Psychologe und spezialisiert auf kognitive Entwicklungsneuropsychologie. Er untersucht, wie sich das Gehirn in der Kindheit und Jugendzeit entwickelt. Er interessiert sich auch dafür, wie die Entwicklung des Gehirns uns zu dem macht, was wir sind. In seiner Forschung versucht er unter anderem herauszufinden, ob die Form und Funktion des sich entwickelnden Gehirns etwas darüber aussagen kann, warum manche Menschen sehr kontaktfreudig oder klug sind oder sogar, warum manche Menschen psychisch krank werden. In seiner Freizeit beschäftigt er sich meistens mit seinen beiden Kindern.
*c.k.tamnes@psykologi.uio.no

German version provided by
Deutsche Version von

JACOBSON
FOUNDATION
Our Promise to Youth



WIE DU DEINE ERINNERUNGEN NUTZEN KANNST, UM DIR SELBST DABEI ZU HELFEN, NEUE DINGE ZU LERNEN

Marlieke van Kesteren* und Martijn Meeter

Fachbereich Erziehungswissenschaften, VU-Universität Amsterdam, Amsterdam, Niederlande

JUNGE GUTACHTER*INNEN:



DR. H.
BAVINCK
SCHOOL
ALTER: 8–12



ELIZA
ALTER: 10



MALLETS
BAY
SCHOOL
ALTER: 9–10

Das Erinnern ist eine grundlegende Gehirnfunktion. Denke darüber nach, was passieren würde, wenn du dich an nichts erinnern könntest? Du wärst nicht in der Lage, dich an die Dinge zu erinnern, die du in der Schule lernst. Eigentlich würdest du nicht einmal wissen, dass du zur Schule gehen musst oder wo deine Schule ist! Viele Menschen denken, dass das Gedächtnis mit einem Kleiderschrank verglichen werden kann, in den man etwas hineinlegt und später wieder herausholt, und zwar genau so, wie man es hineingelegt hat. Aber so funktioniert das Gedächtnis wirklich nicht. Tatsächlich funktioniert es eher wie Nachrichtenwebsites im Internet, deren Inhalt sich entsprechend den Ereignissen in der Welt ständig ändert. Eine gute Website enthält auch Links zu anderen Sites, auf denen du verbundene Informationen finden kannst. Ob du dich gut an etwas erinnerst, hängt von vielen Dingen ab, die während und nach dem Lernen in deinem Gehirn geschehen. Ein Faktor, der für das Lernen sehr wichtig ist, ist das Wissen, das bereits in deinem Gehirn

gespeichert ist. Wenn du bereits viel weißt, ist es einfacher, neue Informationen hinzuzufügen. Wir werden dir auch zeigen, wie du dieses Wissen, auf welche Weise Erinnerungen gebildet werden, nutzen kannst, um dich an neue Dinge zu erinnern, die du in der Schule gelernt hast.

DEIN VORWISSEN MACHT DAS LERNEN LEICHTER

Nimm dir einen Moment Zeit, um über alles nachzudenken, was du bereits weißt. Betrachte Lebensereignisse, die Menschen, die du kennst, Bücher, die du gelesen hast, Spiele, die du gespielt hast, Dinge, die du in der Schule gelernt hast, und so weiter... Es ist schon eine beachtliche Menge, nicht wahr? Nun, es ist sehr nützlich, all dieses Wissen im Gehirn gespeichert zu haben. Dieses Wissen hilft dir, die Welt um dich herum zu verstehen, aber es erleichtert auch das Erlernen neuer Informationen, da du die neuen Informationen mit dem verbinden kannst, was du bereits weißt. Wenn du zum Beispiel bereits einige Dinge über das Gehirn weißt, weil du schon einmal Artikel von Frontiers Young Minds Neuroscience gelesen hast, fällt es dir wahrscheinlich leichter, dich an das zu erinnern, was wir dir gleich erzählen werden. Das neurowissenschaftliche Wissen in deinem Gehirn macht es wahrscheinlicher, dass neue Erinnerungen „hängen bleiben“. Eine solche Wissensstruktur nennen wir ein **Schema** [1].

SCHEMA

Vorwissen im Gehirn.

HIPPOCAMPUS

Eine Hirnregion, die dir hilft, dich an Dinge zu erinnern, indem du verschiedene Teile eines Gedächtnisses miteinander verbindest.

MEDIALER PRÄFRONTALER CORTEX

Eine Hirnregion, die dir hilft, neue Erinnerungen mit deinem Schemawissen zu verknüpfen.

WIE DAS GEDÄCHTNIS IN DEINEM GEHIRN FUNKTIONIERT

Im Gehirn gibt es viele Regionen, die bei der Speicherung von Erinnerungen helfen. Der wichtigste heißt der **Hippocampus** (was Seepferdchen bedeutet, weil er wie ein Seepferdchen geformt ist). Ohne deinen Hippocampus könntest du keine neuen Informationen erlernen [2]. Wissenschaftler glauben, dass der verschiedene Teile eines Gedächtnisses miteinander verbindet. Wenn du zum Beispiel erfährst, dass Fische Eier legen, stellt der Hippocampus eine Verbindung zwischen „Fisch“ und „Eier“ her (siehe **Abbildung 1**). Dies bedeutet, dass sich das Gedächtnis selbst nicht im Hippocampus befindet, aber ohne die Hilfe des Hippocampus könntest du die verschiedenen Teile des Gedächtnisses nicht miteinander verbinden. Das passiert, wenn du etwas vergisst: Die verschiedenen Teile des Gedächtnisses sind immer noch da, aber sie können nicht verbunden werden.

Eine andere Hirnregion, die als **medialer präfrontaler Cortex** bezeichnet wird, kann dir auch dabei helfen, dich an Informationen zu erinnern. Allerdings glauben Wissenschaftler, dass diese Region anders lernt als der Hippocampus [3]. Basierend auf deinem Schemawissen findet der mediale präfrontale Kortex ermittelt, wo neue Informationen

Abbildung 1

Dies ist ein Bild deines Gehirns, das durch die Mitte geschnitten ist. Du kannst sowohl den Hippocampus (rot) als auch den medialen präfrontalen Kortex (blau) sehen. Der Hippocampus verbindet die einzelnen Teile einer Erinnerung und sorgt dafür, dass die Erinnerungen detailliert und lebendig bleiben, z. B. wenn du dich an die Zeit erinnerst, als dein Goldfisch Eier legte. Der mediale präfrontale Kortex kann dir auch helfen, dich an Informationen zu erinnern, aber man nimmt an, dass dies durch die Integration von neuem Wissen mit vorhandenem Schemawissen geschieht, so dass die Erinnerungen weniger detailliert und eher verallgemeinert werden. Dieser Prozess kann auch zu Missverständnissen führen, z. B. wenn man fälschlicherweise glaubt, dass ein Delfin, weil er einem Fisch ähnelt, auch Eier legt, während er in Wirklichkeit lebende Baby-Delfine zur Welt bringt. Adaptiert von: <https://commons.wikimedia.org/wiki/Datei:Frog-spawn-Rana-temporaria-11d.svg> und <http://www.clker.com/clipart-brain-3.html>.

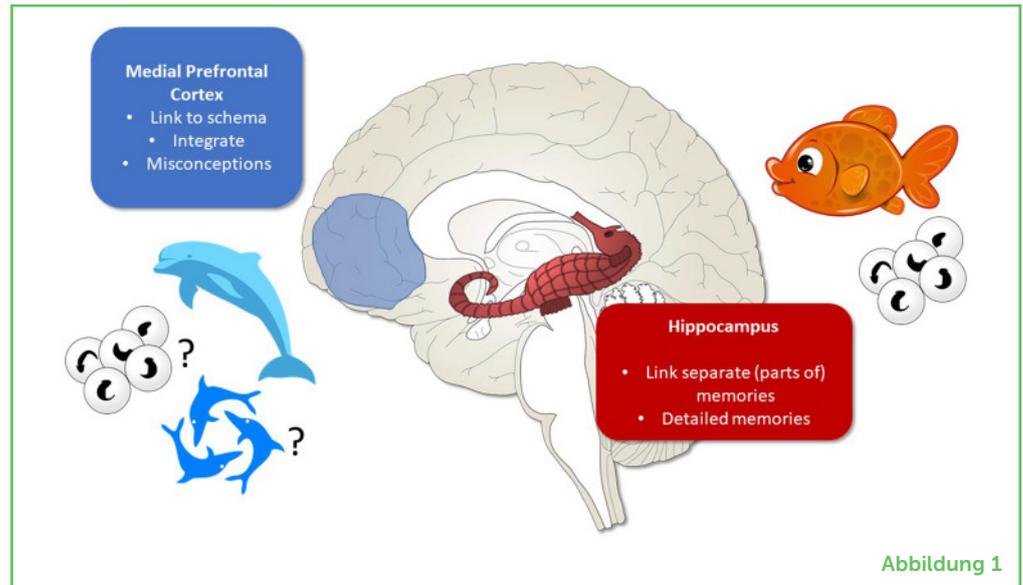


Abbildung 1

am besten platziert werden können, und verbindet sie dann mit deinem Schemawissen. Das bedeutet, dass, wenn du über eine neue Art von Fisch lernst, wie z. B. der Goldfisch, wird das dein medialer präfrontaler Kortex sofort mit „Eier legen“ verbinden, denn das ist es, woran du dich vorher erinnert hast. Dieser Prozess wird als Integration bezeichnet, was bedeutet, etwas in Einem zusammenzufügen. Der Integrationsprozess hilft dir, Verbindungen zwischen neuem und altem Wissen aufzudecken. Wenn du zum Beispiel weißt, dass die Fische Eier legen und dass ein Goldfisch ein Fisch ist, kannst du aufdecken, dass der Goldfisch auch Eier legt [4]. Das ist eine neue Tatsache, die dein medialer präfrontaler Kortex dir zu entdecken geholfen hat. Du siehst also, dass es hilfreich sein kann, diesen Integrationsprozess beim Lernen neuer Informationen zu verwenden.

SCHEMATA IN DER SCHULE

Besonders in der Schule kann es sehr hilfreich sein, dein Schemawissen aktiv zu nutzen, wenn du neue Informationen lernst [5]. Du kannst dies auf verschiedene Weise tun. Bevor du einen neuen Unterricht beginnst, kannst du noch einmal wiederholen, was du zuvor über ein bestimmtes Thema gelernt hast (z. B., dass Fische Eier legen). Oder du kannst während des Lernens oft innehalten und darüber nachdenken, was du gerade gelernt hast und wie das neue Wissen mit dem verbunden ist, was du bereits weißt. Dies wird dir helfen, deinen medialen präfrontalen Kortex zu nutzen, um neue Informationen zu integrieren und sie für Prüfungen besser zu merken. Darüber hinaus hilft dir eine solche Integration dabei, bessere Schemata zu erstellen, damit du dir in Zukunft neue, verbundene Informationen noch besser merken kannst.

DIE LOCI-METHODE

Es handelt sich um eine Erinnerungstechnik, bei der du Dinge, an die du dich erinnern willst, mit einem bekannten Ort verbindest.

Manchmal können wir „Gedächtnis-Tricks“ verwenden, um neues Wissen mit unserem Schemawissen zu verbinden. Wenn du beispielsweise eine Liste von Wörtern lernst, kannst du diese Wörter mit Orten in deinem Zimmer oder einer anderen vertrauten Umgebung verbinden. Dies wird als **die Loci-Methode** bezeichnet (Loci bedeutet „Orte“ im Lateinischen [6]). Sie wird von vielen Menschen verwendet, um sich an beliebige Informationen zu erinnern, die nur schwer mit Schemawissen in Verbindung zu bringen sind, wie etwa eine lange Einkaufsliste. Während du auf die Einkaufsliste schaust, kannst du dir jeden Gegenstand irgendwo in deinem Wohnzimmer vorstellen (zum Beispiel eine Packung Eis auf der Couch), und wenn du im Supermarkt bist, musst du nur an deine Couch denken, um dich daran zu erinnern, was du kaufen wolltest. Mit ein wenig Training wird diese Methode auch für dich funktionieren!

SEI DIR FALSCHER ERINNERUNGEN BEWUSST

Leider sind das nicht alle gute Nachrichten. Sich sehr stark auf das Schemawissen zu verlassen, kann auch zu falschen Erinnerungen führen. Betrachte, sagen wir mal, das Beispiel „Fische legen Eier“, welches wir bereits erwähnt haben. Was passiert, wenn du dann etwas über Delfine lernst? Da Delfine wie andere Fische aussehen und du bereits viel über Fische weißt, könnte man meinen, dass sie auch Eier legen. Dies ist jedoch nicht wahr. Delfine sind Säugetiere, daher bringen sie lebende Baby-Delfine zur Welt, genau wie Menschen. Wir bezeichnen solche falschen Erinnerungen als **Missverständnisse**. Diese Missverständnisse können entstehen, wenn dein Schemawissen über etwas (in diesem Fall, wie Fische Babys machen) sehr stark ist. Das Missverständnis macht es sehr schwer, dich daran zu erinnern, wenn du etwas lernst, das nicht passt (dass ein Delfin keine Eier legt). In diesem Fall sollte dein medialer präfrontaler Kortex den Delfin nicht in dein Fisch-Schema integrieren. Stattdessen sollte dein Hippocampus eine getrennte Erinnerung erstellen. Wie macht man das?

MISSVERSTÄNDNISSE

Eine falsche Erinnerung.

TIPPS

Hier sind einige Tipps, die dir helfen sollten, dein Schemawissen beim Lernen neuer Dinge in der Schule einzusetzen. Diese Tipps sollten dir auch dabei helfen, Missverständnisse zu vermeiden oder zu beseitigen:

Reaktivieren: Wenn du neue Informationen lernst, reaktivierst du das zugehörige Schemawissen. Schließe deine Augen und nimm dir einen Moment Zeit, um dich daran zu erinnern, was du über dieses Thema gelernt hast und wie sich es mit den neuen Informationen, die du lernen möchtest, verbindet.

Ausarbeiten: Versuche, neue Informationen mit verschiedenen Arten von Schemawissen zu verbinden. Wenn du zum Beispiel in

der Biologie lernst, dass Delfine Säugetiere sind, kannst du dies jetzt mit deinen Erinnerungen an Schemata und dem Beispiel von Fischen, das du hier liest, verbinden. Je mehr Verbindungen du herstellst, desto besser kannst du neue Informationen integrieren und sie dir gut merken. Durch die Herstellung starker und detaillierter Verbindungen kann auch die Entstehung von Missverständnissen vermieden werden.

Abstand, wiederholen und abwechseln: Du kannst Schemata am besten erstellen und erweitern, indem du im Laufe der Zeit neue Informationen in kleinen Teilen lernst und wiederholst: Stunden, Tage oder sogar Wochen. Das Abwechseln verschiedener Themen, sodass du nicht immer das Gleiche studierst, kann auch deinem Gedächtnis zugutekommen.

Erinnere dich und stelle Fragen: Nachdem du etwas gelernt hast, lege dein Buch oder deinen Computer weg und versuche, dich an das zu erinnern, was du gerade gelernt hast, indem du einfach dein Gehirn benutzt. Oder du kannst Fragen zu dem stellen, was du gelernt hast. Dies hilft dir bei der Integration von Informationen, und du kannst die Fragen später verwenden, um dich selbst und deine Klassenkameraden zu befragen. Um Missverständnisse zu vermeiden, solltest du immer überprüfen, ob deine Erinnerung richtig war!

Andere unterrichten: Eine sehr gute Möglichkeit, deine Schemata zu organisieren, besteht darin, deine Klassenkameraden zu unterrichten. Abwechseln: Lies etwas, verbinde es mit deinem Schemawissen, lass es einwirken und versuche dann, es jemandem anderen zu erklären. Überprüfe danach immer wieder, ob du Fehler gemacht hast und besprich Dinge, die du nicht wirklich verstehst.

Schlafen: Vielleicht ist dies ungewöhnlich, weil es in der Schule nicht vorkommt, aber der Schlaf hilft, starke Schemata aufzubauen und hilft dir dabei, weniger wichtige Informationen zu vergessen. Denke daran, wenn dir deine Eltern das nächste Mal sagen, dass es Zeit fürs Bett ist!

Missverständnisse verfolgen: Sei dir immer bewusst, wenn Informationen deinem Schemawissen widersprechen oder wenn du feststellst, dass sich auf dem Weg ein Missverständnis gebildet hat. Versuche, eine neue, sehr lebendige Erinnerung zu schaffen. Denke als Beispiel an einen lustigen Delfin mit einem sehr großen Bauch, der aus dem Wasser springt und laut quietscht. Stelle dir vor, wie nass du sein würdest und wie du ihm die Nase tätscheln und ihn einem Fisch füttern würdest. Je mehr Details und Sinne du für diese Erinnerung verwendest, desto besser!

VIEL SPAß!

Versuche, diese Tipps zu verwenden, wenn du in der Schule oder zu Hause neue Dinge lernst, und du wirst feststellen, dass du dich

an Dinge viel besser erinnern wirst. Wir hoffen, dass dieser Artikel dir helfen wird, Spaß beim Lernen zu haben!

DANKSAGUNGEN

Wir möchten uns von ganzem Herzen bei allen bedanken, die bei der Übersetzung der Artikel in dieser Sammlung mitgeholfen haben, um sie für Kinder außerhalb des englischsprachigen Raums zugänglicher zu machen, sowie bei der Jacobs Foundation für die Bereitstellung der für die Übersetzung der Artikel erforderlichen Mittel. Dieses Projekt wurde aus Mitteln des Forschungs- und Innovationsprogramm „Horizont 2020“ der Europäischen Union im Rahmen der Marie-Sklodowska-Curie-Finanzhilfevereinbarung Nr. 704506 finanziert.

REFERENZEN

1. Bartlett, F. C. 1932. *Remembering: A Study in Experimental and Social Psychology*. Cambridge: University Press.
2. Squire, L. R. 1992. Memory and the hippocampus: a synthesis from findings with rats, monkeys, and humans. *Psychol. Rev.* 99:195–231.
3. van Kesteren, M. T. R., Ruiter, D. J., Fernandez, G., and Henson, R. N. 2012. How schema and novelty augment memory formation. *Trends Neurosci.* 35:211–9. doi: 10.1016/j.tins.2012.02.001
4. Schlichting, M. L., and Preston, A. R. 2015. Memory integration: neural mechanisms and implications for behavior. *Curr. Opin. Behav. Sci.* 1:1–8. doi: 10.1016/j.cobeha.2014.07.005
5. van Kesteren, M. T. R., Krabbendam, L., and Meeter, M. 2018. Integrating educational knowledge: reactivation of prior knowledge during educational learning enhances memory integration. *NPJ Sci. Learn.* 3:11. doi: 10.1038/s41539-018-0027-8
6. Available online at: https://en.wikipedia.org/wiki/Method_of_loci (accessed on 8 February 2020).

HERAUSGEBER*IN: Nienke Van Atteveldt

WISSENSCHAFTLICHE MENTOR*INNEN: Gabrielle Edgerton und Marina Shpaner

ZITAT: van Kesteren M und Meeter M (2023) Wie du deine Erinnerungen nutzen kannst, um dir selbst dabei zu helfen, neue Dinge zu lernen. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00047-de

ÜBERSETZT UND ÜBERNOMMEN VON: van Kesteren M and Meeter M (2020) How to Use Your Memories to Help Yourself Learn New Things. *Front. Young Minds* 8:47. doi: 10.3389/frym.2020.00047

INTERESSENKONFLIKT: Die Autor*innen erklären hiermit, dass ihre Forschung ohne kommerzielle oder finanzielle Unterstützung durchgeführt wurde, aus der sich ein Interessenkonflikt ergeben könnte.

URHEBERRECHTE © 2020 © 2023 van Kesteren und Meeter. Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der [Creative-Commons-Attribution-Lizenz \(CC BY\)](#) verbreitet wird. Die Verwendung, Verbreitung oder Vervielfältigung in anderen Foren ist gestattet, sofern der/die Originalautor*innen und der/die Urheberrechtsinhaber*innen genannt werden und die Originalveröffentlichung in dieser Zeitschrift gemäß anerkannter wissenschaftlicher Praxis zitiert wird. Eine Nutzung, Verbreitung oder Vervielfältigung, die diesen Bedingungen nicht entspricht, ist nicht gestattet.

JUNGE GUTACHTER*INNEN



DR. H. BAVINCK SCHOOL, ALTER: 8–12

Wir sind die Spektrum-Klassen 5-6 und 7-8 der Bavinckschule in Haarlem, Niederlande. Es handelt sich um eine Gruppe von 40 Kindern (19 in Gruppe 5-6 und 21 in Gruppe 7-8), die begierig darauf sind, etwas mehr als das reguläre Schulprogramm zu lernen. Sie hatten viel Spaß bei der Überprüfung für FYM und gingen die Artikel mit großer Konzentration und Begeisterung durch und machten eine kritische Bewertung. Sie haben es wirklich genossen, einen Beitrag zur Wissenschaft zu leisten und zu helfen!



ELIZA, ALTER: 10

Hallo! Ich heiße Eliza. Ich liebe es zu lesen und Muffins zu backen. Ich habe zwei Hunde, die Arnie und Benji heißen. Ich mache auch gerne Mathe mit meinem Vater. Meine Mutter hat einen Dokortitel in Neurowissenschaften, was ich wirklich interessant finde.



MALLETS BAY SCHOOL, ALTER: 9–10

Diese Viertklässler lieben die Natur ihres schönen Landes, wo die Winter lang und die Sommer kurz sind und die Schlammsaison immer vor der Tür steht. Sie spielen auch gerne American Football, Hotwheels, Fortnite und Hockey.



AUTOR*INNEN

MARLIEKE VAN KESTEREN

Marlieke van Kesteren ist Postdoc-Forscherin im Bereich der pädagogischen Neurowissenschaften an der VU-Universität Amsterdam. Sie untersucht, wie wir unser Vorwissen am besten nutzen können, um neue Informationen zu erhalten. Dazu setzt sie die Schüler in einen MRT-Scanner, während sie neue Dinge lernen. Sie unterrichtet Kinder in Schulen sehr gerne über ihre Befunde und ist begeistert, dies durch Frontiers Young Minds tun zu können. *marlieke.van.kesteren@vu.nl

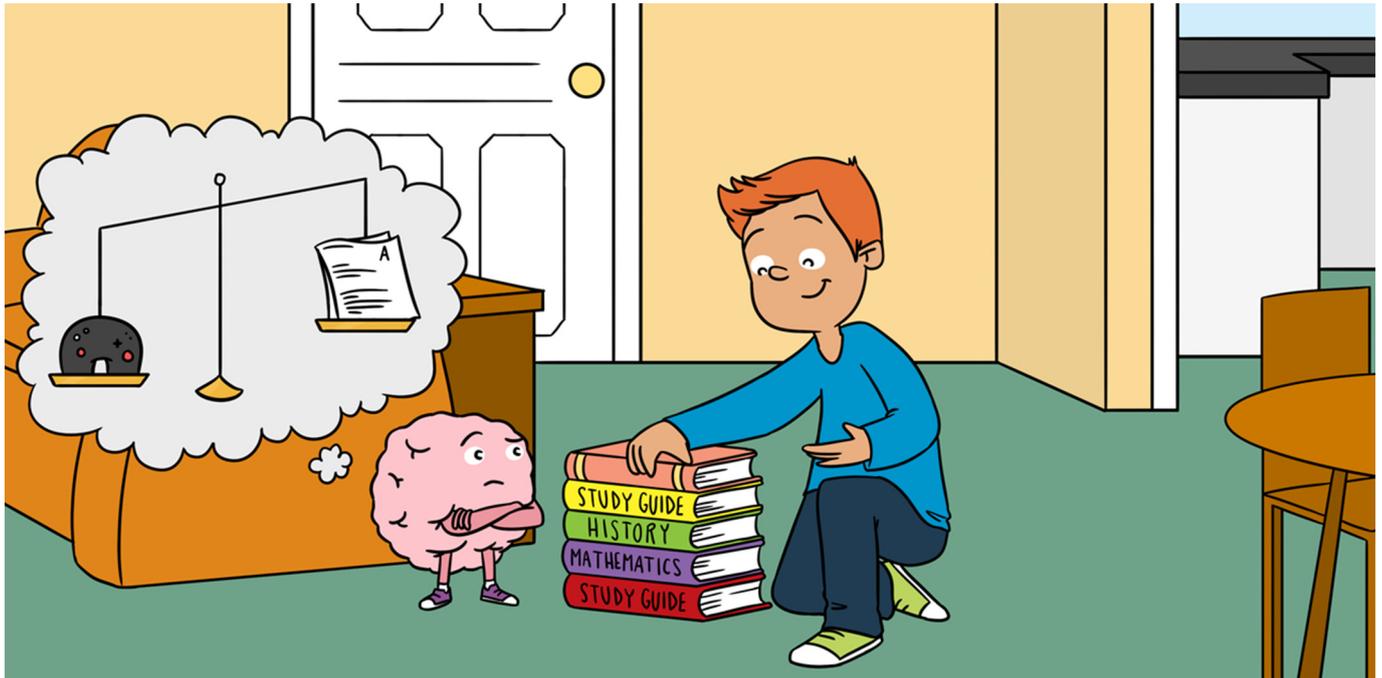
**MARTIJN MEETER**

Martijn Meeter ist Professor für Erziehungswissenschaften, die Wissenschaft, welche untersucht, wie Bildung funktioniert. Sein Labor befindet sich an einer Universität in Amsterdam, Niederlande (www.vu.nl). Er studiert Lernen und Bildung mit vielen verschiedenen Techniken und hat viele Computermodelle des Gehirns gebaut: Programme, die mithilfe eines Computers simulieren, wie unser Gehirn funktioniert. Er ist auch der Direktor eines Lehrerausbildungsprogramms, einer Schule, die Studierende zu Lehrern für die Sekundarstufe ausbildet.

German version provided by

Deutsche Version von





IST ES DAS WERT? WIE DEIN GEHIRN ENTSCHIEDET, OB ES SICH ANSTRENGT

Anne-Wil Kramer^{1*}, Hilde M. Huizenga^{1,2,3}, Lydia Krabbendam⁴ und Anna C. K. van Duijvenvoorde^{5,6}

¹Fachbereich für Entwicklungspsychologie der Universität Amsterdam, Amsterdam, Niederlande

²Amsterdamer Institut für Gehirnforschung und Kognition, Amsterdam, Niederlande

³Research Priority Area Yield, Universität Amsterdam, Amsterdam, Niederlande

⁴Fachbereich für klinische Entwicklungspsychologie der Freien Universität (VU) Amsterdam, Amsterdam, Niederlande

⁵Fachbereich für Entwicklungspsychologie des Instituts für Psychologie, Universität Leiden, Leiden, Niederlande

⁶Leidener Institut für Gehirnforschung und Kognition, Universität Leiden, Leiden, Niederlande

JUNGE
GUTACHTER*INNEN:



SEAWELL
ELEMENTARY
ALTER: 10

Bei allem, was man tut, muss man sich anstrengen. Zum Beispiel erfordern grundlegende Dinge wie Gehen oder Radfahren körperliche Anstrengung und den Einsatz deines Körpers. Eine andere Art der Anstrengung ist die kognitive Anstrengung. Sie ist vor allem mit dem Denken und der Nutzung des Gehirns verbunden. Stell dir zum Beispiel vor, du möchtest gern den Zauberwürfel lösen. Würdest du dich dafür anstrengen? Der Spaß, den du beim Hin- und Herprobieren hättest, ist vielleicht größer als die Anstrengung, die du beim intensiven Nachdenken empfindest. Oder aber du könntest beschließen, dass es deine Mühe nicht wert ist, eine Lösung zu finden. Warum und wann entscheidest du dich dafür, intensiv nachzudenken? In diesem Artikel erklären wir, wie du dich

entscheidest, geistige Anstrengungen zu unternehmen, und was in deinem Gehirn passiert, während du diese Entscheidung triffst.

EINLEITUNG

Vielleicht hast du schon mal von deinen Lehrern in der Schule zu hören bekommen, dass du einen Test mit ein wenig mehr Anstrengung bestanden oder besser abgeschnitten hättest. Auch wenn du vielleicht der Meinung bist, dass eine größere Anstrengung zu besseren Ergebnissen führen könnte, ist nicht immer klar, wie genau diese Anstrengung aussehen soll.

Anstrengende Handlungen sind so etwas wie das Gegenteil von automatischen Handlungen [1]. Du musst zum Beispiel nichts Außerordentliches tun, damit dein Gehirn Farben sehen kann: Das ist ein automatischer Prozess. Im Gegensatz dazu beinhalten andere Handlungen nicht-automatische Prozesse und erfordern dazu Anstrengungen. Anstrengende Handlungen kommen im Alltag häufig vor. Denk nur an die Mühe, die es bereitet, zu Fuß zu gehen oder mit dem Fahrrad zur Schule zu fahren. Solche körperlichen Aktivitäten erfordern körperliche Anstrengung. Auf der anderen Seite gibt es auch Handlungen, die weniger körperliche Anstrengung erfordern, dafür aber die sogenannte **kognitive Anstrengung**. Diese hat mit dem Denken zu tun. Kognitive Anstrengung ist die Denkbemühung, die man aufwendet, um eine komplizierte Aufgabe zu bewältigen. Du machst zum Beispiel kognitive Anstrengungen, wenn du für die Schule lernst, ein kompliziertes Puzzle löst oder versuchst, ein Rätsel zu knacken.

Viele Menschen empfinden anstrengende Handlungen, die auf lange Sicht nützlich sind, im Moment der Anstrengung als unangenehm – ein Beispiel dafür ist, wenn man für einen Test lernt. [2] Warum aber fühlen sich kognitive Anstrengungen überhaupt unangenehm an? Oder noch interessanter: Warum ist manchmal das Gegenteil der Fall und Anstrengung macht richtig Spaß? In diesem Artikel erläutern wir, warum und wann du dich entscheidest, kognitive Anstrengungen zu unternehmen, und was in deinem Gehirn passiert, wenn du diese Entscheidung triffst.

AUFWAND UND NUTZEN

Stell dir mal vor, du hättest morgen eine Prüfung, für die du lernen musst. Wie viel kognitive Anstrengung würdest du dafür aufwenden? Wissenschaftler haben herausgefunden, dass dein Verhalten vorhergesagt werden kann, indem man den Aufwand und den Nutzen des Lernens einander gegenüberstellt [1]. Wie könnte dieser Vergleich aussehen?

KOGNITIVE ANSTRENGUNG (COGNITIVE EFFORT)

Die Denkanstrengung, die du unternimmst, um eine komplizierte Aufgabe zu lösen.

Einfach gesagt, besteht der Nutzen des Lernens darin, eine gute Note zu erhalten. Eine gute Note ist besser für dein Abschlusszeugnis, oder vielleicht möchtest du einfach von dir selbst aus immer nur gute Noten bekommen. Auf der anderen Seite haben wir den Aufwand: Ein wichtiger Aufwandsfaktor ist die kognitive Anstrengung, die du investieren musst. Um eine gute Note zu erhalten, musst du manchmal härter arbeiten.

Wissenschaftler beschreiben deine Entscheidung, kognitive Anstrengung zu betreiben, als das Verhältnis zwischen möglichem Nutzen und Aufwand. Man könnte sich das auch als mathematische Gleichung vorstellen: Die Summe von Aufwand und Nutzen ergibt einen bestimmten Wert. Je mehr dir etwas bedeutet oder du etwas schätzt, desto mehr wirst du bereit sein, dich dafür kognitiv anzustrengen.

In **Abbildung 1** kannst du sehen, dass der Wert, eine gute Note zu erhalten, sinkt, wenn du zu hart für diese eine gute Note lernen musst. Das bedeutet, dass die kognitive Anstrengung wahrscheinlich auch den Wert einer guten Note verringert oder mindert. Diesen Effekt nennen die Wissenschaftler **Wertminderung des Aufwands**.

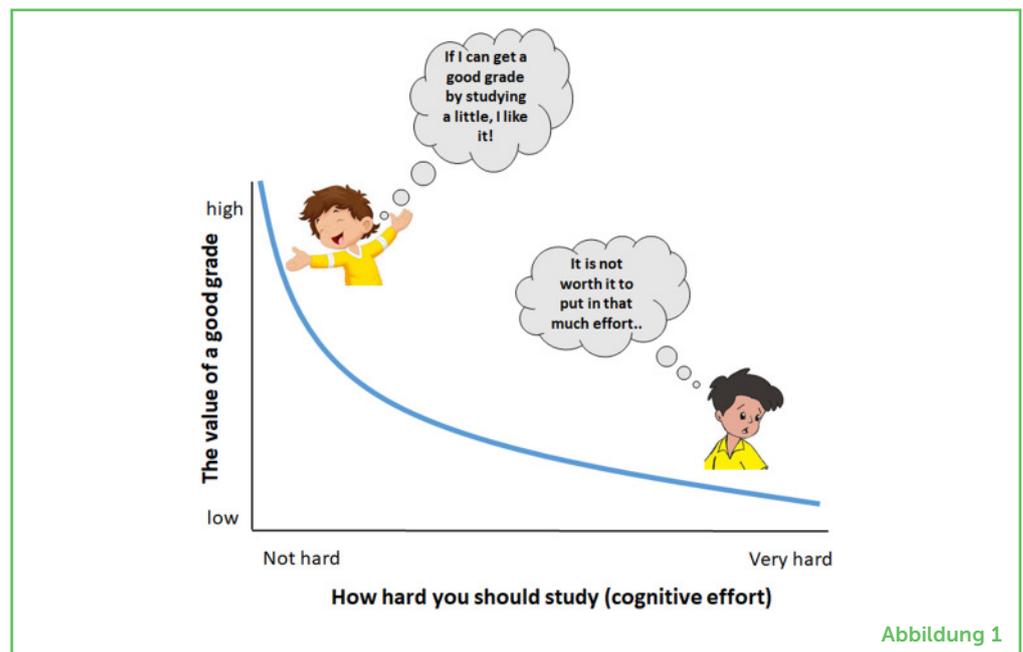
WERTMINDERUNG DES AUFWANDS

Das Phänomen, dass etwas seinen Wert verliert, wenn mehr Anstrengungen nötig sind, um es zu erhalten.

Abbildung 1

Die blaue Linie stellt dar, welchen Wert eine gute Note in Abhängigkeit davon hat, wie hart man dafür lernen muss. Wie du siehst, nimmt der Wert einer guten Note ab, wenn du dir mehr kognitive Mühe geben musst (intensiveres Lernen). Das ist es, was Wissenschaftler Wertminderung des Aufwands nennen: Man mag etwas weniger wegen des Aufwands, der damit verbunden ist. Die blaue Linie wird daher als aufwandswertmindernde Kurve bezeichnet.

The value of a good grade = Der Wert einer guten Note;
How hard you should study = Wie hart du arbeiten solltest (kognitive Anstrengung).



ABER ... WAS PASSIERT IM GEHIRN, WENN MAN SICH ENTSCHEIDET, KOGNITIVE ANSTRENGUNGEN ZU UNTERNEHMEN?

Um zu messen, was in deinem Gehirn passiert, wenn du dich entscheidest, kognitive Anstrengungen zu unternehmen, können Wissenschaftler eine Technik namens **funktionelle**

FUNKTIONELLE MAGNETRESONANZ- BILDGEBUNG (fMRT)

Ein bildgebendes Verfahren, mit dem dargestellt wird, welche Hirnbereiche zu einem bestimmten Zeitpunkt aktiv sind.

VENTRALES STRIATUM

Ein Hirnbereich, der uns auf den Nutzen von kognitiven Anstrengungen aufmerksam macht.

ANTERIORER CINGULÄRER CORTEX

Eine Hirnregion, die den Aufwand, der mit einer kognitiven Anstrengung verbunden ist, signalisiert.

VENTROMEDIALER PRÄFRONTALER CORTEX

Ein Hirnbereich, in dem der Aufwand und der Nutzen berechnet werden.

Magnetresonanz-Bildgebung (fMRT) verwenden (die Erklärung für fMRT kannst du im **Kasten 1** lesen). Mit fMRT können wir herausfinden, welche Hirnbereiche aktiv sind. Das bedeutet, wir können damit sehen, welche Hirnbereiche du gerade benutzt. fMRT-Studien haben gezeigt, dass unser Gehirn ständig die Summen unserer zukünftigen Handlungen berechnet, indem es Aufwand und Nutzen dieser Handlungen einander gegenüberstellt. Eine wichtige Hirnregion, die uns auf einen möglichen Nutzen aufmerksam macht, wird als **ventrales Striatum** bezeichnet. Diese Region liegt tief im Gehirn und ist daran beteiligt, alle Arten von Nutzen [4] zu signalisieren, zum Beispiel Geld, leckeres Essen oder das Erhalten einer guten Note. Aber was ist mit dem Aufwand? Wissenschaftler haben beobachtet, dass der Aufwand, der mit einer kognitiven Anstrengung verbunden ist, hauptsächlich von einer anderen Hirnregion signalisiert wird. Diese andere Hirnregion wird als **anteriorer cingulärer Cortex** bezeichnet [5].

Kasten 1 | Wie messen Neurowissenschaftler die Hirnaktivität?

Die funktionelle Magnetresonanz-Bildgebung (fMRT) ist ein bildgebendes Verfahren, das von Wissenschaftlern eingesetzt wird, um darzustellen, was das Gehirn unter verschiedenen Umständen tut. Das Gehirn besteht aus etwa 100 Milliarden Zellen, die Neuronen genannt werden. Diese Neuronen kommunizieren miteinander durch chemische und elektrische Signale. Wenn Neuronen sich gegenseitig mehr Signale senden, benötigen sie dazu mehr Sauerstoff. Diesen Sauerstoff erhalten sie über das Blut, und je mehr Sauerstoff das Blut enthält, umso magnetischer ist es. Mit fMRT-Techniken messen wir das magnetische Signal in verschiedenen Hirnregionen und stellen so fest, wie viel Sauerstoff die jeweiligen Hirnregionen verbrauchen. Dies zeigt uns indirekt, wie aktiv eine bestimmte Hirnregion ist. Weitere Informationen über die Funktionsweise von MRT-Scannern findest du in einem anderen Artikel von [Frontiers for Young Minds](#) [3].

Nachdem dein Gehirn den Aufwand und den Nutzen berücksichtigt hat, arbeiten das ventrale Striatum und der anteriore cinguläre Cortex zusammen, um Informationen auszutauschen. In unserem Beispiel wägt also dein Gehirn den Aufwand (kognitive Anstrengung) und den Nutzen (gute Note) des Lernens ab und berechnet dann, wie viel dir eine gute Note wert ist und ob es sich infolgedessen für dich lohnt zu lernen. Wissenschaftler glauben, dass dieser Informationsaustausch in einer Hirnregion an der Vorderseite deines Gehirns stattfindet, die als **ventromedialer präfrontaler Cortex** bezeichnet wird (**Abbildung 2**).

WANN WILLST DU KOGNITIVE ANSTRENGUNGEN UNTERNEHMEN?

Jetzt, da wir wissen, was kognitive Anstrengung ist und was im Gehirn geschieht, wenn wir entscheiden, wie viel kognitive Anstrengung wir investieren wollen, können wir zu der Frage zurückkehren, mit der wir begonnen haben: Wann willst du kognitive Anstrengung unternehmen?

Abbildung 2

Das Gehirn von der Vorderseite (links) und von der Seite des Kopfes (rechts). Links siehst du das ventrale Striatum (der Bereich, der für den Nutzen zuständig ist). Rechts siehst du den anterioren cingulären Cortex (der Bereich, der für den Aufwand zuständig ist) und den ventromedialen präfrontalen Cortex (Bereich für die Berechnung der Summe von Aufwand und Nutzen).

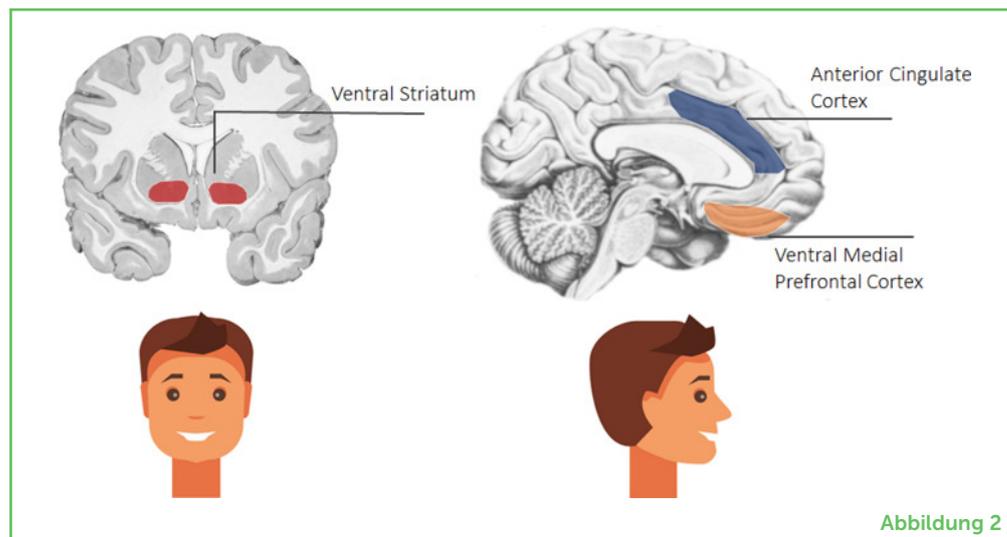


Abbildung 2

Inzwischen ist dir vielleicht klar, dass das Gehirn kognitive Anstrengungen als aufwendig betrachtet. Daher fühlt sich eine zu große Anstrengung normalerweise unangenehm an. Du denkst vielleicht, dass dein Gehirn dich faul macht, aber das ist nicht unbedingt der Fall. Dein Gehirn versucht abzuwägen, ob es sich lohnt, kognitive Anstrengungen zu betreiben.

Deine Bereitschaft, kognitive Anstrengungen zu unternehmen, ist jedoch nicht immer gleich groß. Vielleicht ist dir schon mal aufgefallen, dass du manchmal Lust hast, dich kognitiv zu bemühen, während du ein anderes Mal wirklich überhaupt keine Lust hast, dich anzustrengen. Die Bereitschaft, kognitive Anstrengungen zu unternehmen, ist nicht immer gleich – sie ist also wechselhaft! Wie schwer dir die geistige Anstrengung oder das Denken fällt, kann von der Tageszeit (morgens oder abends) abhängen, davon, wie du dich fühlst (müde oder ausgeruht), und davon, ob die Aktivität, die deine kognitive Anstrengung erfordert, dir Spaß macht oder nicht [6].

TIPPS FÜR MEHR ANSTRENGUNG

Wenn deine Bereitschaft, kognitive Anstrengungen zu unternehmen, wechselhaft ist, dann ergibt sich eine sehr wichtige Frage: Kannst du deine Bereitschaft erhöhen, für deinen Test morgen kognitive Anstrengungen zu unternehmen? Nun, die Antwort lautet: Ja! Basierend auf dem Wissen, das du jetzt hast, kannst du drei einfache Tipps ausprobieren.

Erstens: Reduziere anderen Aufwand für dein denkendes Gehirn [1]. Schaffe also Ablenkung wie z. B. dein Telefon beiseite, damit du dich besser konzentrieren kannst. Wirf einen Blick auf [Abbildung 3](#), um zu sehen, welche Auswirkungen dies haben könnte. Wenn du

Abbildung 3

(A) Eine Aufwands-Wertminderungs-Standardkurve: Der Wert einer guten Note nimmt ab, je mehr Anstrengung dafür nötig ist. Das rote Kreuz in beiden Bildern zeigt einen Punkt an, an dem der Wert einer guten Note mittelmäßig ist, und die grau gestrichelte Linie zeigt den Lernaufwand an, der erforderlich ist, um zu dieser Note mit mittelmäßigem Wert zu gelangen. (B) Wenn man Ablenkung wie das Telefon oder den Fernseher beseitigt, ist mehr Aufwand möglich und dadurch verringert sich der Wert einer guten Note weniger schnell. Dies wird dazu führen, dass du mehr lernst, weil sich die kognitive Anstrengung weniger intensiv anfühlt.

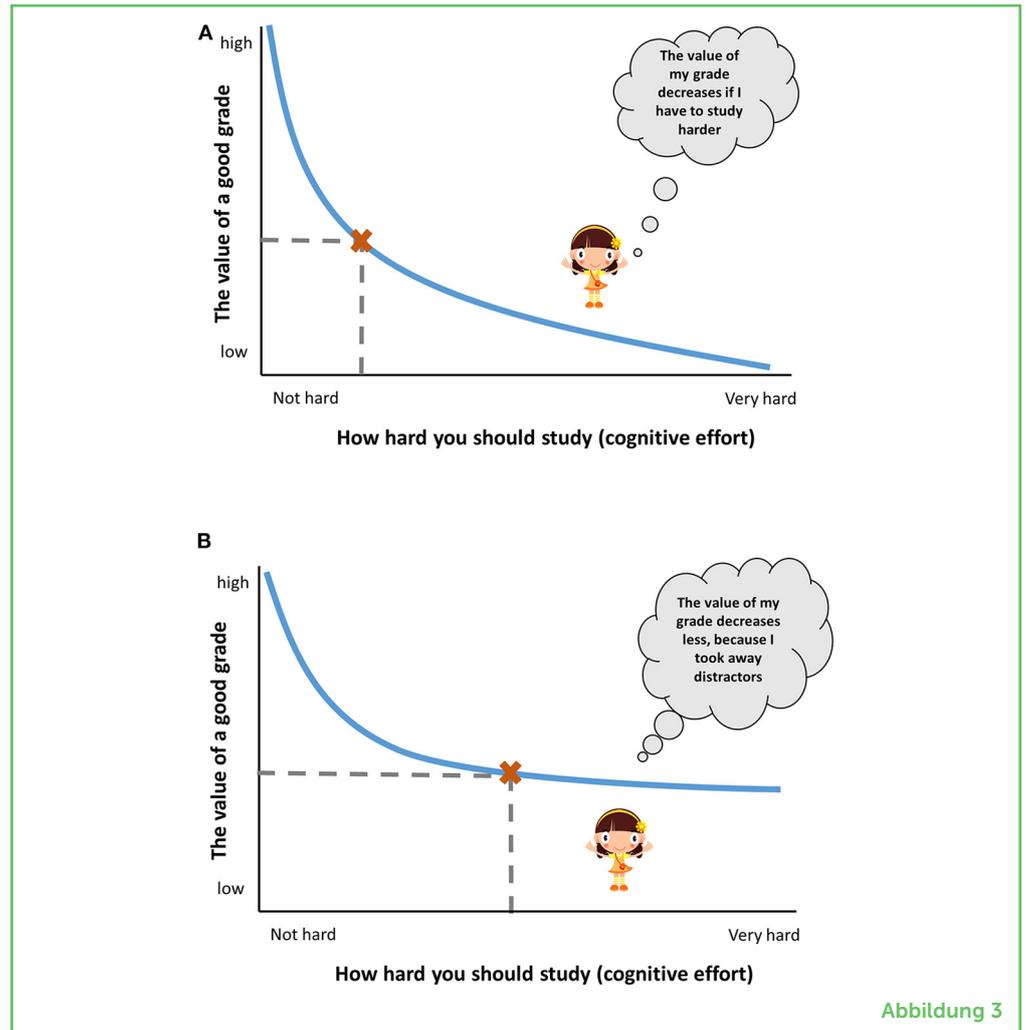


Abbildung 3

die Ablenkung beiseiteschaffst, fühlt sich die kognitive Anstrengung weniger intensiv an.

Zweitens: Erhöhe den Nutzen. Du könntest dich zum Beispiel auf irgendeine Art und Weise belohnen, nachdem du 1 Stunde lang hart gelernt hast. Oder du könntest dir sagen, dass du dir bei einer guten Note etwas Schönes kaufen wirst.

Drittens: Versuche, mehr Spaß an der anstrengenden Aufgabe zu finden. Wenn du zum Beispiel Mathe nicht magst, spiele Mathematikspiele, um mehr Freude an Mathe zu bekommen. So wirst du vielleicht sogar Spaß an den Anstrengungen finden, die du beim Mathe-Lernen aufwendest.

Mit diesen Tricks werden dir deine Hausaufgaben mit Sicherheit mehr Freude bereiten. Viel Glück!

AUTORENBEITRAG

A-WK und AD schrieben das Manuskript gemeinsam. HH und LK lieferten die kritischen Revisionen.

DANKSAGUNGEN

Wir danken allen, die an der Übersetzung der Artikel dieser Sammlung mitgewirkt haben, um sie für Kinder außerhalb des englischsprachigen Raums besser zugänglich zu machen, sowie der Jacobs Foundation für die Bereitstellung der für die Übersetzung der Artikel erforderlichen Mittel. Diese Arbeit wurde durch den Start-Impulse-Zuschuss für NeuroLabNL von der Niederländischen Nationalen Wissenschaftsagenda (NWA) unterstützt.

REFERENZEN

1. Kurzban, R., Duckworth, A., Kable, J. W., and Myers, J. 2013. An opportunity cost model of subjective effort and task performance. *Behav. Brain Sci.* 36:661–726. doi: 10.1017/S0140525X12003196
2. Shenhav, A., Musslick, S., Lieder, F., Kool, W., Griffiths, T. L., Cohen, J. D., et al. 2017. Toward a rational and mechanistic account of mental effort. *Annu. Rev. Neurosci.* 40:99–124. doi: 10.1146/annurev-neuro-072116-031526
3. Parker, A. J. 2018. Fakes and forgeries in the brain scanner. *Front. Young Minds* 6:39. doi: 10.3389/frym.2018.00039
4. Sescousse, G., Caldú, X., Segura, B., and Dreher, J. C. 2013. Processing of primary and secondary rewards: a quantitative meta-analysis and review of human functional neuroimaging studies. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 37:681–96. doi: 10.1016/j.neubiorev.2013.02.002
5. Westbrook, A., Lamichhane, B., and Braver, T. 2019. The subjective value of cognitive effort is encoded by a domain-general valuation network. *J. Neurosci.* 39:3934–47. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3071-18.2019
6. Kool, W., and Botvinick, M. 2018. Mental labour. *Nat. Hum. Behav.* 2:899–908. doi: 10.1038/s41562-018-0401-9

HERAUSGEBER*IN: [Jessica Massonnie](#)

WISSENSCHAFTLICHE*R MENTOR*IN: [Scott Huettel](#)

ZITAT: Kramer A-W, Huizenga HM, Krabbendam L und van Duijvenvoorde ACK (2023) Ist es das wert? Wie dein Gehirn entscheidet, ob es sich anstrengt. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00073-de

ÜBERSETZT UND ÜBERNOMMEN VON: Kramer A-W, Huizenga HM, Krabbendam L and van Duijvenvoorde ACK (2020) Is It Worth It? How Your Brain Decides to Make an Effort. *Front. Young Minds* 8:73. doi: 10.3389/frym.2020.00073

INTERESSENKONFLIKT: Die Autor*innen erklären hiermit, dass ihre Forschung ohne kommerzielle oder finanzielle Unterstützung durchgeführt wurde, aus der sich ein Interessenkonflikt ergeben könnte.

URHEBERRECHTE © 2020 © 2023 Kramer, Huizenga, Krabbendam und van Duijvenvoorde. Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der [Creative-Commons-Attribution-Lizenz \(CC BY\)](#) verbreitet wird. Die Verwendung, Verbreitung oder Vervielfältigung in anderen Foren ist gestattet, sofern der/die Originalautor*innen und der/die Urheberrechtsinhaber*innen genannt werden und die Originalveröffentlichung in dieser Zeitschrift gemäß anerkannter wissenschaftlicher Praxis zitiert wird. Eine Nutzung, Verbreitung oder Vervielfältigung, die diesen Bedingungen nicht entspricht, ist nicht gestattet.

JUNGE GUTACHTER*INNEN



SEAWELL ELEMENTARY, ALTER: 10

Unser erstaunliches Klassenzimmer in NC ist voll brillanter, lernender Köpfe. Wir lieben es, uns gegenseitig zu helfen. Wir denken, lösen und lernen gemeinsam! Wir führen Projekte durch, die unser Gehirn anstrengen, und manchmal, wenn wir zusammenarbeiten, können unsere Ideen chaotisch werden, aber das, was dabei herauskommt, ist immer toll. Eine Sache, die uns besonders viel Freude macht? Den Autor in uns herauszulassen! Wir lieben es, zu lesen und Texte zu bearbeiten. Deshalb waren wir auch so begeistert, die Gelegenheit zu bekommen, mit Frontiers for Young Minds zu arbeiten!

AUTOR*INNEN



ANNE-WIL KRAMER

Ich bin Doktorandin an der Universität Amsterdam. Ich gehe vielen verschiedenen Aktivitäten nach. Ich mag körperliche Anstrengung und fahre deshalb mit dem Fahrrad durch Amsterdam und schwimme (nicht in den Grachten). Ich genieße es auch, kognitive Anstrengungen zu unternehmen, z. B. indem ich Spiele spiele oder darüber nachdenke, wie die Dinge funktionieren. Manchmal schaue ich meine Katze an und frage mich, wie sie sich so sehr wohlfühlen kann, ohne sich den ganzen Tag lang anzustrengen! Aber ehrlich gesagt, geht es mir manchmal auch so. Aus diesem Grund habe ich mich gefragt, wie das alles funktioniert. Um das Thema Anstrengung zu untersuchen, führen wir Untersuchungen durch, bei denen wir die Menschen selbst entscheiden lassen, wie viel Anstrengung sie betreiben wollen. *a.kramer@uva.nl



HILDE M. HUIZENGA

Ich bin Professorin für Entwicklungspsychologie an der Universität Amsterdam. Ich verwende viel Mathematik, um zu untersuchen, wie sich Kinder zu Erwachsenen und Erwachsene zu älteren Menschen entwickeln. Manchmal denke ich intensiv nach, wenn ich an meinem Schreibtisch stehe, manchmal tue ich das auch, während ich laufe oder wenn ich mit meinen Teenager-Töchtern spreche oder wenn ich mit dem Fahrrad durch Amsterdam fahre. Beim Radfahren bin ich auf die Idee für die Abbildungen in diesem Artikel gekommen. Ich hoffe, sie gefallen euch.

**LYDIA KRABBENDAM**

Ich bin Professorin für Entwicklungsneuropsychologie an der Freien Universität Amsterdam. Ich weiß alles über kognitive Anstrengungen in der Bildung, da ich selbst drei Schulkinder habe! Ich untersuche außerdem soziale Interaktionen in Klassenzimmern und wie diese sozialen Interaktionen sich auf die Gehirn- und kognitive Entwicklung auswirken. Das ist ein interessantes Thema, denn wenn man mit Menschen zusammenarbeitet oder studiert, die man mag, kann dies auch dazu führen, dass die Anstrengung viel mehr Spaß macht.

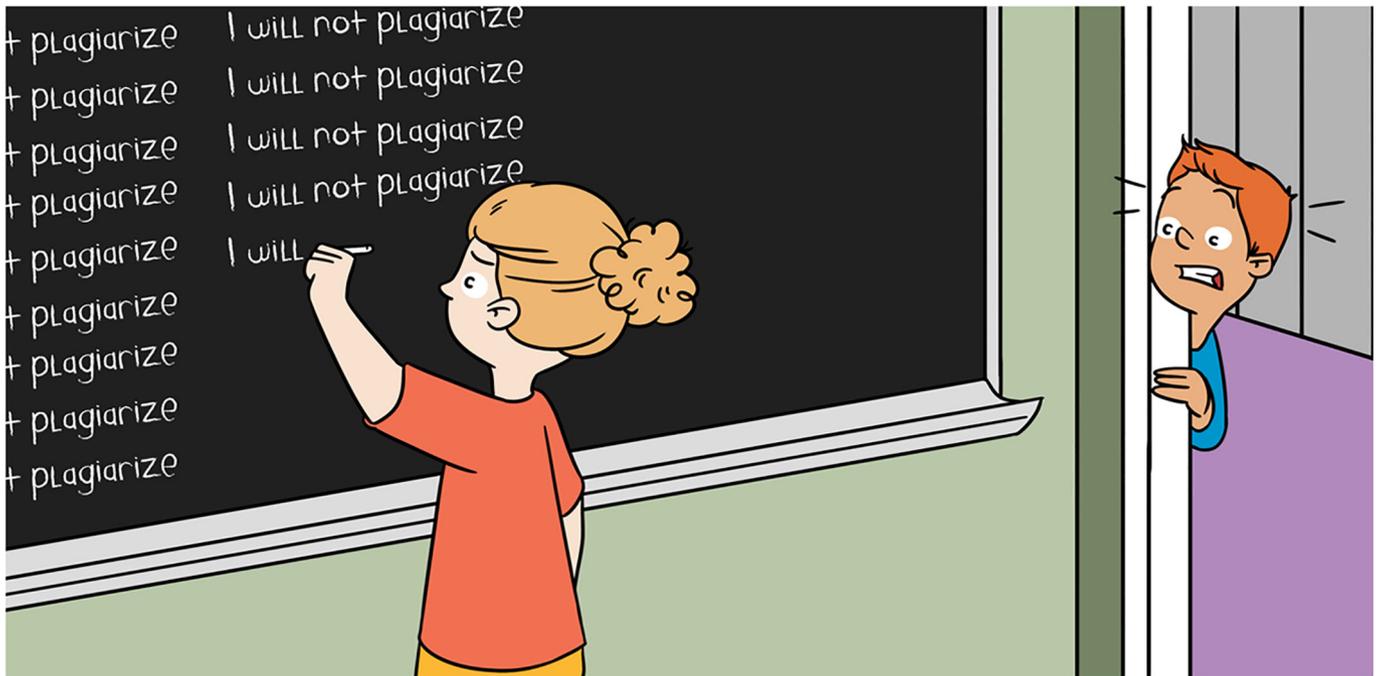
**ANNA C. K. VAN DUIJVENVOORDE**

Ich bin außerordentliche Professorin für Entwicklungspsychologie und Gehirnentwicklung an der Universität Leiden. Ich möchte alles über Motivation, Lernen und die Funktionsweise des Gehirns wissen. Ist es nicht interessant, dass sich unsere Motivation mit zunehmendem Alter verändert? Hat das mit der Entwicklung unseres Gehirns zu tun? In der Schule war ich nicht immer motiviert, aber als ich mich für mein Studium der Neuropsychologie selbst entscheiden durfte, fand ich es toll. Hart zu arbeiten war auf einmal nicht mehr schwierig! Ich hoffe, dass ich mit meiner Arbeit motivierende Erfahrungen machen und Kindern beim Lernen helfen kann.

German version provided by

Deutsche Version von





SOZIALES LERNEN UND DAS GEHIRN: WIE LERNEN WIR VON ANDEREN MENSCHEN UND ÜBER SIE?

Bianca Westhoff^{1,2*}, Iris J. Koele^{1,2} und Ilse H. van de Groep^{2,3,4}

¹Fachbereich Entwicklungspsychologie, Institut für Psychologie der Universität Leiden, Leiden, Niederlande

²Institut für Gehirn- und Kognitionsforschung, Leiden, Niederlande

³Abteilung für Kinder- und Jugendpsychiatrie, Medizinisches Zentrum der Universität, Amsterdam, Niederlande

⁴Erasmus-Institut für Sozial- und Verhaltenswissenschaften, Erasmus Universität Rotterdam, Rotterdam, Niederlande

JUNGE GUTACHTER*INNEN:



ANISHA

ALTER: 13



ELI

ALTER: 13



HENRI

ALTER: 13



SARAH

ALTER: 14



SPANDANA

ALTER: 12

Wenn du das Wort „Lernen“ hörst, musst du wahrscheinlich zuerst an die Dinge denken, die dir in der Schule beigebracht wurden. Aber ist dir schon mal aufgefallen, dass du auch eine andere Art des Lernens tagtäglich anwendest? Diese Art des Lernens wird soziales Lernen genannt, und es hat mit den Menschen um dich herum zu tun. Das heißt, man lernt von anderen und über andere, indem man sie beobachtet und mit ihnen interagiert. Wenn man zum Beispiel die Fehler eines anderen sieht, kann man dadurch lernen, dass man selbst nicht in die gleiche Falle tappen sollte. Obwohl soziales Lernen eigentlich ständig stattfindet, weißt du vielleicht noch nicht viel darüber. Soziales Lernen ist aber trotzdem sehr wichtig, weil es uns hilft, effizienter zu lernen und zu erkennen, wie wir uns im Umgang mit anderen am besten verhalten sollen. In diesem Artikel stellen wir zwei verschiedene Arten des sozialen Lernens vor und erklären, welche wichtige Rolle dein Gehirn dabei spielt.

SOZIALES LERNEN (SOCIAL LEARNING)

Lernen neuer Informationen in einem sozialen Zusammenhang, wobei andere Menschen die Quelle dieser Informationen sind. Beispiele sind das Lernen von anderen Menschen oder über andere Menschen.

WAS IST SOZIALES LERNEN UND WARUM IST ES WICHTIG?

Wenn du über das zuletzt Gelernte nachdenkst, fällt dir wahrscheinlich zuerst das ein, was du in der Schule gelernt hast. Zum Beispiel die Vokabeln in Französisch, die du für die nächste Klausur wissen musst. Solche Dinge zu lernen, könnte in der Zukunft nützlich sein: Wenn du einmal in den Ferien nach Frankreich fährst, könntest du beispielsweise jemanden auf Französisch nach dem Weg fragen.

Es liegt auf der Hand, dass das Erlernen von Kenntnissen (z. B. des französischen Vokabulars) sehr wichtig sein kann. Du kannst jedoch nicht nur aus Büchern lernen, sondern auch von den Menschen und über die Menschen um dich herum. Dieses Lernen wird auch **soziales Lernen** genannt, denn für diese Art des Lernens sind die Menschen um uns herum die Quelle der Informationen. Die meiste Zeit bist du von anderen Menschen umgeben, wie deiner Familie, deinen Lehrern und Schulfreunden. Deshalb lernst du wahrscheinlich jeden Tag von anderen und über andere, ohne es vielleicht überhaupt zu merken!

Weil Menschen eigentlich soziale Wesen sind, ist soziales Lernen eine wichtige Fähigkeit. Soziales Lernen ist eine sehr effiziente Art und Weise, um sich Dinge beizubringen. Du musst z. B. nicht alles selbst ausprobieren, weil du aus den Fehlern und Erfolgen anderer lernen kannst. Soziales Lernen kann auch dazu beitragen, andere besser kennenzulernen und somit besser zu verstehen, wie man sich in ihrer Nähe verhalten soll. Solche sozialen Lernfähigkeiten helfen dir, gute Beziehungen zu anderen aufzubauen, was auch deinem Wohlbefinden guttut.

In diesem Artikel erläutern wir zwei Arten des sozialen Lernens: Lernen von anderen Menschen und Lernen über andere Menschen. Um zu zeigen, dass du diese Arten des sozialen Lernens bereits häufig anwendest, möchten wir dir Beispiele vorstellen, die dir in der Schule begegnen können. Da dein Gehirn beim Lernen eine entscheidende Rolle spielt, werden wir schließlich erklären, was beim sozialen Lernen im Gehirn passiert.

WIE LERNEN WIR VON ANDEREN MENSCHEN?

Ein wichtiger Aspekt des sozialen Lernens besteht darin, von anderen zu lernen, indem man ihnen bei ihrer Arbeit zuschaut. Der Gedanke dahinter ist, dass man durch Beobachtung der Fehler und Erfolge anderer Menschen lernen kann, ob man sich genau so wie sie oder anders verhalten sollte [1].

Stell dir zum Beispiel vor, du schreibst einen Test in der Schule, aber du weißt einfach nicht genug Antworten, um eine gute Note zu erzielen. Deine Freundin sitzt neben dir, und du siehst, dass sie ihre Antworten bereits aufgeschrieben hat. Du überlegst, einen kurzen Blick darauf zu werfen ... aber dann wird plötzlich einer deiner Mitschüler beim Abschreiben erwischt und entsprechend bestraft. Jetzt wirst du das Schummeln bei Prüfungen wahrscheinlich nicht mehr für so gut halten, weil du gesehen hast, dass es zu einer Bestrafung führen kann! Mit anderen Worten, du hast aus dem Fehler eines anderen gelernt, dass es besser ist, während eines Tests nicht abzuschreiben.

Durch das Beobachten anderer Menschen lernst du etwas über die Entscheidungen, die sie treffen (z. B. Schummeln), und über die Ergebnisse dieser Entscheidungen (z. B. Bestrafung). Wenn die Ergebnisse ihrer Entscheidungen positiv sind, ist es wahrscheinlicher, dass du auch die gleiche Wahl triffst. Wenn die Ergebnisse jedoch negativ sind, wirst du höchstwahrscheinlich eine andere Entscheidung treffen.

Wissenschaftler haben herausgefunden, dass Menschen gut darin sind zu lernen, die besten Entscheidungen zu treffen. Wir lernen das jedoch noch besser, wenn wir andere Menschen dabei beobachten können, wie sie dasselbe lernen [1]. Wenn wir die Entscheidungen anderer beobachten und ob deren Ergebnisse gut oder schlecht sind, gewinnen wir zusätzliche Informationen darüber, was die beste Wahl sein könnte. Wir nutzen diese zusätzlichen Informationen, um unsere eigenen Entscheidungen zu verbessern. Das Lernen von anderen hat also einen klaren Vorteil: Es hilft uns, selbst bessere Entscheidungen zu treffen. Aus den Fehlern und Erfolgen anderer zu lernen ist effizienter, als alles selbst durchmachen zu müssen.

WIE LERNEN WIR ETWAS ÜBER ANDERE MENSCHEN?

Wir haben gerade erklärt, dass Menschen effizient von anderen Menschen lernen können, indem sie sie beobachten. Eine weitere verbreitete Art des sozialen Lernens ist das Lernen über andere Menschen, indem man mit ihnen interagiert. Wenn man etwas über andere Menschen erfährt, lernt man, wie sie sind und wie sie sich verhalten. Für diese Art des Lernens musst du auf das Verhalten anderer Personen achten, damit du die dabei gewonnenen Informationen bei zukünftigen Entscheidungen nutzen kannst.

Stell dir zum Beispiel vor, du erzählst einer deiner Mitschülerinnen, dass du den Jungen magst, der zwei Bänke vor dir sitzt. Es stellt sich jedoch heraus, dass deine Mitschülerin nicht vertrauenswürdig ist: Sie gibt dein Geheimnis an die ganze Klasse weiter und du bist darüber sehr verärgert! In diesem Fall hast du möglicherweise gelernt, dass es besser ist, deine Geheimnisse für dich zu behalten.

Auch wenn man viele Dinge über andere Menschen lernen kann, erforschen viele Wissenschaftler weiterhin, wie wir wissen können, ob wir einer Person vertrauen sollen oder nicht. Immerhin ist es sehr wichtig zu lernen, wem wir vertrauen können, denn so können wir entscheiden, ob wir den Aussagen einer Person glauben können oder nicht.

Wissenschaftler haben herausgefunden, dass wir in den Teenagerjahren besser und schneller darin werden zu lernen, wem wir vertrauen können und wem wir unser Vertrauen nicht schenken dürfen [2]. Während des Heranwachsendens werden wir also immer besser darin, etwas über andere zu lernen. Diese Art des sozialen Lernens hilft uns also bei der Entscheidung, wie wir uns gegenüber anderen verhalten sollen, und das ist für den Aufbau guter Beziehungen notwendig.

VORHERSAGEFEHLER (PREDICTION ERROR)

Die „Überraschung“, wenn ein Unterschied besteht zwischen dem, was man erwartet, und dem, was tatsächlich passiert.

¹ Möchtest du mehr über die Berechnungen erfahren, die dein Gehirn beim Lernen anstellt? Dann lies [3].

VENTRALES STRIATUM

Hirnbereich, der unter anderem am (sozialen) Lernen beteiligt ist, weil er Vorhersagefehler berechnet.

MEDIALER PRÄFRONTALER CORTEX (mPFC)

Hirnbereich, der unter anderem am sozialen Lernen beteiligt ist. Wenn ein Vorhersagefehler auftritt, korrigiert der mPFC deine falschen Erwartungen im Gehirn mit den neuen Informationen, die du erfahren hast.

WIE FUNKTIONIERT SOZIALES LERNEN?

Nachdem wir nun diese beiden Arten des sozialen Lernens kennengelernt haben, werden wir dir jetzt erklären, wie soziales Lernen eigentlich funktioniert. Wenn du etwas lernst, aktualisierst du das, was du weißt, mit den neuen Informationen. Dein Gehirn ist an dieser Aktualisierung beteiligt: Es arbeitet wie ein Taschenrechner. Das heißt, dein Gehirn berechnet ständig den Unterschied zwischen dem, was du erwartest, und dem, was tatsächlich passiert. Wenn etwas Unerwartetes passiert, kann dich das überraschen. Die Überraschung wird als **Vorhersagefehler** bezeichnet – du hast einen Fehler bei der Vorhersage gemacht. Dein Gehirn merkt sich diesen Vorhersagefehler und stellt sicher, dass du daraus lernst: Es verknüpft das, was du bereits weißt, mit den neuen Informationen.

Denk noch mal an das Beispiel zum sozialen Lernen von vorhin, bei dem du deiner Mitschülerin von deinem heimlichen Schwarm erzählt hast (**Abbildung 1**). Du hast erwartet, dass sie das Geheimnis für sich behält, aber das hat sie nicht getan. Was also geschah, war ziemlich überraschend, denn es war anders als du erwartet hattest. Dein Gehirn bemerkt deinen Vorhersagefehler und verwendet diese neuen Informationen, um dein Wissen über deine Mitschülerin zu aktualisieren. Das heißt, du hast etwas über deine Mitschülerin erfahren, und du wirst ihr deine Geheimnisse nicht mehr so leicht wieder anvertrauen.¹

WELCHE TEILE DES GEHIRNS SIND BETEILIGT?

Die notwendigen Berechnungen für das soziale Lernen werden in mehreren Bereichen deines Gehirns durchgeführt [4]. Wissenschaftler haben mindestens zwei Hirnbereiche entdeckt, die für das soziale Lernen wichtig sind, nämlich das **ventrale Striatum** und den **medialen präfrontalen Cortex (mPFC)** (**Abbildung 2**). Sie haben diese

Abbildung 1

Vorhersagefehler haben einen Lerneffekt. Wenn ein Unterschied besteht zwischen dem, was du erwartest (Expected result), und dem, was tatsächlich passiert (Actual result), liegt ein Vorhersagefehler (Prediction error) vor. Dieser Vorhersagefehler wird dann genutzt, um dein Wissen zu aktualisieren: Letztendlich hast du etwas Neues gelernt.

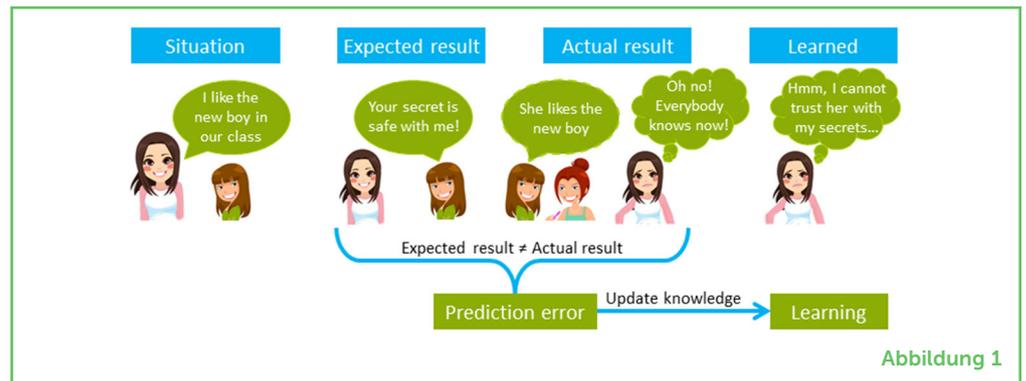


Abbildung 1

Entdeckungen gemacht, indem sie einen MRT-Scanner benutzten, mit dem sie die Gehirne von Menschen scannen. In **Kasten 1** kannst du mehr darüber lesen, wie ein MRT-Scanner funktioniert.

Abbildung 2

Gehirnbereiche, die am sozialen Lernen beteiligt sind. Im ventralen Striatum (in der Mitte des Gehirns) werden Vorhersagefehler berechnet, und diese neu erlernten Erwartungen werden im medialen präfrontalen Cortex (mPFC), im vorderen Teil des Gehirns, aufgenommen. Diese beiden Hirnbereiche sind daher wichtig für das soziale Lernen.

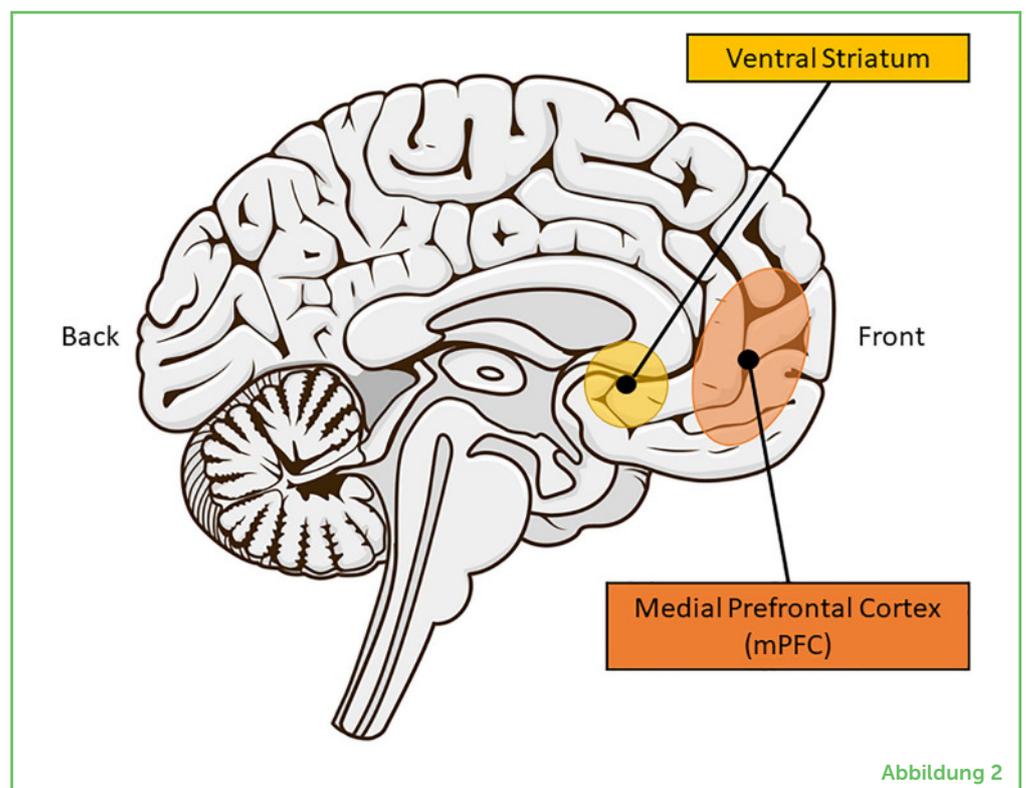


Abbildung 2

Das ventrale Striatum ist ein Bereich in der Mitte des Gehirns, den man benutzt, wenn man Entscheidungen trifft, wenn man etwas genießt und wenn man Belohnung erfährt. Das ventrale Striatum ist auch wichtig für die Berechnung von Vorhersagefehlern [4]. Es ist daher ein wichtiger Hirnbereich für regelmäßiges und soziales Lernen.

Der mPFC befindet sich im vorderen Teil des Gehirns (hinter der Stirn) und scheint besonders wichtig zu sein, wenn wir darüber nachdenken, was andere denken, und wenn wir Entscheidungen treffen, die andere Menschen betreffen. Der mPFC ist außerdem am Lernen beteiligt:

Kasten 1 | Das Gehirn erforschen: Woher wissen wir, was darin vor sich geht?

Um herauszufinden, wie soziales Lernen funktioniert, untersuchen viele Wissenschaftler das Gehirn mit einem Magnetresonanztomografen (MRT) (Abbildung 3). Dieser Scanner ist ein riesiger Magnet, der Bilder des Gehirns durch den Schädel hindurch aufnehmen kann. Wissenschaftler können den MRT verwenden, um Bilder vom Gehirn einer Person zu machen, während diese Person ein Computerspiel spielt, bei dem sie von anderen oder über andere lernt. Auf diese Weise können Wissenschaftler sehen, welche Teile des Gehirns am sozialen Lernen beteiligt sind. Weitere Informationen über die Funktionsweise von MRT-Scannern und wie sie zur Untersuchung des Gehirns eingesetzt werden, findest unter [5].

Nachdem die Vorhersagefehler durch das ventrale Striatum berechnet wurden, korrigiert dein mPFC die Erwartungen, die du hattest, mit den neuen Informationen [4]. Der mPFC ist daher ein weiterer wichtiger Hirnbereich für soziales Lernen.

Das ventrale Striatum und der mPFC spielen also beide eine wesentliche Rolle beim sozialen Lernen. Darüber hinaus sind diese Hirnareale aber nicht nur am sozialen Lernen, sondern auch noch an anderen Vorgängen beteiligt. Außerdem muss noch erwähnt werden, dass das ventrale Striatum und der mPFC nicht die einzigen Teile des Gehirns sind, die während des sozialen Lernens zum Einsatz kommen – eigentlich sind viele Hirnbereiche daran beteiligt. All diese Hirnbereiche arbeiten zusammen und kommunizieren miteinander, während du in komplexen sozialen Situationen lernst.

ZUSAMMENFASSUNG ZUM SOZIALEN LERNEN

In diesem Artikel haben wir die beiden Arten des sozialen Lernens erläutert und erklärt, warum soziales Lernen eine wichtige Fähigkeit ist. Erstens ist es effizienter, aus dem Verhalten anderer Menschen und den daraus resultierenden Fehlern und Erfolgen zu lernen, als immer alles selbst auszuprobieren. Zweitens hilft dir der Umgang mit anderen Menschen zu lernen, wem du vertrauen kannst, und gute Beziehungen aufzubauen. Wenn das, was tatsächlich passiert, nicht mit dem übereinstimmt, was du vorhergesagt hast, werden Vorhersagefehler im Gehirn berechnet, und diese Vorhersagefehler haben einen Lerneffekt. Vorhersagefehler werden im ventralen Striatum berechnet und im mPFC dazu verwendet, die im Gehirn gespeicherten Informationen zu überarbeiten.

Jetzt, da du mehr über soziales Lernen weißt, fallen dir vielleicht ein paar eigene Beispiele ein, wann du von anderen oder über andere gelernt hast. Vielleicht erkennst du, wie soziales Lernen dir geholfen hat, effizienter zu lernen oder zu entscheiden, wie du dich gegenüber anderen am besten verhalten solltest. Wenn du das nächste Mal andere Menschen beobachtest oder triffst, denk an die erstaunlichen Berechnungen, die in deinem Gehirn stattfinden!

Abbildung 3

Das menschliche Gehirn kann mit einem MRI-Scanner untersucht werden. Die Person, die an dem Versuch teilnimmt (Participant), wird liegend in den MRI-Scanner gefahren. Zwei Forschende (Researchers) beobachten den Computer-Bildschirm, auf dem die im Scanner aufgenommenen Bilder des Gehirns dieser Person angezeigt werden.

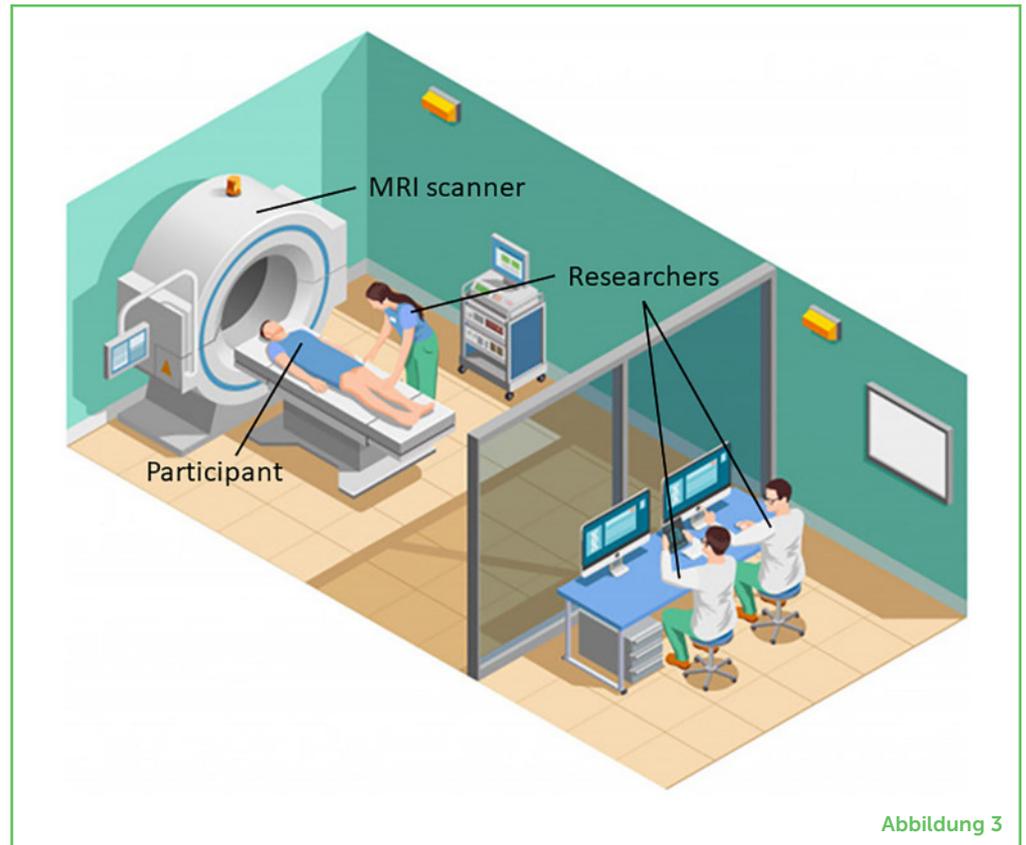


Abbildung 3

DANKSAGUNGEN

Wir möchten all jenen danken, die bei der Übersetzung der Artikel in dieser Sammlung mitgeholfen haben, um sie für Kinder außerhalb des englischsprachigen Raums zugänglicher zu machen, sowie der Jacobs Foundation für die Bereitstellung der für die Übersetzung der Artikel erforderlichen Mittel. Wir möchten auch Anna van Duijvenvoorde und Marieke Bos für ihre Anmerkungen zu einer früheren Version dieses Artikels danken. BW wurde durch ein Open Research Area (ORA)-Stipendium (464-15-176) unterstützt, das von der Netherlands Organization for Scientific Research (NWO) finanziert und Dr. Anna C. K. van Duijvenvoorde verliehen wurde. IK wurde durch ein Stipendium der NWO Westerdijk Grant (014.041.030) unterstützt, das Prof. Berna Güroglu verliehen wurde. IG wurde durch den Ammodo Science Award 2017 für Sozialwissenschaften unterstützt, der an Prof. Eveline Crone verliehen wurde.

REFERENZEN

1. Bandura, A. 1977. *Social Learning Theory*. New York, NY: General Learning Press.
2. Van den Bos, W., van Dijk, E., and Crone, E. A. 2012. Learning whom to trust in repeated social interactions: a developmental perspective. *Group Process. Intergroup Relat.* 15:243–56. doi: 10.1177/1368430211418698

3. Nussenbaum, K., and Cohen, A. 2018. Equation invasion! How math can explain how the brain learns. *Front. Young Minds* 6:65. doi: 10.3389/frym.2018.00065
4. Joiner, J., Piva, M., Turrin, C., and Chang, S. W. 2017. Social learning through prediction error in the brain. *NPJ Sci. Learn.* 2:8. doi: 10.1038/s41539-017-0009-2
5. Hoyos, P. M., Kim, N. Y., and Kastner, S. 2019. How is magnetic resonance imaging used to learn about the brain? *Front. Young Minds* 7:86. doi: 10.3389/frym.2019.00086

HERAUSGEBER*IN: [Jessica Massonnie](#)

WISSENSCHAFTLICHE MENTOR*INNEN: [Elizabeth S. Lorenc](#) und [Elizabeth Y. Toomarian](#)

ZITAT: Westhoff B, Koele IJ und van de Groep IH (2023) Soziales Lernen und das Gehirn: Wie lernen wir von anderen Menschen und über sie? *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00095-de

ÜBERSETZT UND ÜBERNOMMEN VON: Westhoff B, Koele IJ and van de Groep IH (2020) Social Learning and the Brain: How Do We Learn From and About Other People? *Front. Young Minds* 8:95. doi: 10.3389/frym.2020.00095

INTERESSENKONFLIKT: Die Autor*innen erklären hiermit, dass ihre Forschung ohne kommerzielle oder finanzielle Unterstützung durchgeführt wurde, aus der sich ein Interessenkonflikt ergeben könnte.

URHEBERRECHTE © 2020 © 2023 Westhoff, Koele und van de Groep. Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der [Creative-Commons-Attribution-Lizenz \(CC BY\)](#) verbreitet wird. Die Verwendung, Verbreitung oder Vervielfältigung in anderen Foren ist gestattet, sofern der/die Originalautor*innen und der/die Urheberrechtsinhaber*innen genannt werden und die Originalveröffentlichung in dieser Zeitschrift gemäß anerkannter wissenschaftlicher Praxis zitiert wird. Eine Nutzung, Verbreitung oder Vervielfältigung, die diesen Bedingungen nicht entspricht, ist nicht gestattet.

JUNGE GUTACHTER*INNEN

ANISHA, ALTER: 13

Ich besuche die 7. Klasse an der Synapse School. Ich interessiere mich leidenschaftlich für Neurowissenschaft, Quantenphysik, Mathematik und Singen!



ELI, ALTER: 13

Ich besuche die 7. Klasse an der Synapse School. Ich koche, backe und lese gerne.



**HENRI, ALTER: 13**

Ich besuche die 8. Klasse an der Synapse School. Ich lese gerne Frontiers-Artikel.

**SARAH, ALTER: 14**

Ich besuche die 8. Klasse an der Synapse School und mag alles, was mit Mathematik, Naturwissenschaften oder der Natur zu tun hat. So teste ich gern chemische Reaktionen in der Küche und ermittle, welche Strecke ich beim Skifahren einen Berg hinunter mit welcher Durchschnittsgeschwindigkeit zurückgelegt habe. Obwohl ich es liebe, durch die Gegend zu laufen und neue Dinge zu entdecken, genieße ich auch ruhigere Momente, die ich mit meiner Katze und Lesen verbringe. Meine verschiedenen Aktivitäten sorgen dafür, dass mein Leben gleichermaßen spannend wie ruhig ist.

**SPANDANA, ALTER: 12**

Mein Name ist Spandana. Mein Lieblingsfach in der Schule ist Naturwissenschaften. Meine beste Freundin ist die Fantasie, und ich liebe es, Geschichten zu schreiben. Einige meiner Hobbys sind Reden, Fernsehen, Volleyball spielen und Malen. Ich liebe Tiere, vor allem Hunde. Ich stelle gerne Fragen. Meine Lieblingsfarben sind Blaugrün und Violett.

AUTOR*INNEN**BIANCA WESTHOFF**

Ich bin Forscherin an der Universität Leiden in den Niederlanden. Mich interessiert, wie wir etwas über die Menschen um uns herum lernen. Außerdem untersuche ich das Gehirn und wie es sich in den Teenagerjahren entwickelt. Mich interessiert vor allem, wie diese Gehirnentwicklung die Art und Weise beeinflusst, wie wir uns verhalten und über andere lernen. *b.westhoff@fsw.leidenuniv.nl

**IRIS J. KOELE**

Ich bin Forscherin an der Universität Leiden in den Niederlanden. Ich bin besonders fasziniert davon, wie Teenager von ihren Freunden und anderen Mitschülern lernen, wie sich diese sozialen Beziehungen im Laufe der Zeit verändern und was bei dieser Art des Lernens im Gehirn passiert. Darüber hinaus interessiere ich mich dafür, was im Gehirn passiert, wenn junge Menschen mit einer Aufmerksamkeitsdefizits- und Hyperaktivitätsstörung Belohnungen für sich selbst und für ihre Freunde erfahren.

**ILSE H. VAN DE GROEP**

Ich bin Forscherin an der Erasmus Universität Rotterdam und an der Amsterdam UMC in Amsterdam, Niederlande. Ich möchte gern verstehen, warum einige Menschen ihr ganzes Leben lang antisoziales Verhalten (wie z. B. Aggression) zeigen, während andere dies nicht tun. Um diese Unterschiede zu verstehen, erforsche ich das Gehirn

und das Verhalten von jungen Erwachsenen, die als Kinder wegen eines Verbrechens verhaftet wurden. Unter anderem möchte ich herausfinden, ob soziales Lernen und Entscheidungsfindung bei diesen Menschen anders funktionieren.

German version provided by
Deutsche Version von





NEUROMYTHEN IM KLASSENZIMMER

Victoria C. P. Knowland^{1,2*} und Michael S. C. Thomas^{2,3}

¹Schlaf-, Sprach- und Gedächtnislabor des Fachbereichs Psychologie der Universität York, York, Vereinigtes Königreich

²Zentrum für pädagogische Neurowissenschaften der Universität London, London, Vereinigtes Königreich

³Labor für neurokognitive Entwicklung des Fachbereichs Psychologie der Birbeck University of London, London, Vereinigtes Königreich

JUNGE GUTACHTER*INNEN:



ANYA
ALTER: 7



DR. H.
BAVINCK
SCHOOL
ALTER: 8–12



LIAM
ALTER: 8



MONICA
ALTER: 6



OLIVER
ALTER: 10

Hast du jemals gehört, dass wir nur 10% unseres Gehirns benutzen? Es ist zwar ein schöner Gedanke, dass wir verborgene Gehirnpower anzapfen könnten – aber kann der Großteil unseres Gehirns den ganzen Tag wirklich nichts tun? Nein! Jeder Teil deines Gehirns ist 24 Stunden am Tag im Einsatz. Es gibt einige dieser sogenannten Neuromythen im Umlauf: Vorstellungen über das Gehirn, die sich wahr anhören, es aber nicht sind. Normalerweise gibt es einen guten Grund, warum ein Neuromythos ins Leben gekommen ist: Vielleicht steckt ein bisschen Wahrheit dahinter oder vielleicht möchten die Leute einfach, dass es wahr ist. In diesem Artikel untersuchen wir drei weit verbreitete Neuromythen über das wachsende Gehirn und erklären, warum es für dich wichtig ist zu wissen, was wahr ist und was nicht. Wir werden untersuchen, ob du etwas daran ändern kannst, wie klug du bist, ob Mädchen und Jungen auf unterschiedliche Weise denken und ob manche Kinder „linkshirinig“ und andere „rechtshirinig“ sind.



PALOMA

ALTER: 8

GENETIK

Etwas, das von den Eltern mit der DNA an ihre Kinder weitergegeben wird, sodass die Haarfarbe durch die Genetik bestimmt wird, die Haarlänge jedoch nicht.

INTELLIGENZ

Intelligenz ist ein Wort, das oft verwendet wird, um zu sagen, wie klug jemand ist. Zum Beispiel, wie gut Menschen bei Tests abschneiden, um Dinge wie das Lösen von Problemen zu messen. Aber frage eine Gruppe von Wissenschaftlern, was Intelligenz ist, und sie werden wahrscheinlich viele unterschiedliche Antworten geben!

WAS IST EIN NEUROMYTHOS?

Ein Mythos ist etwas, das viele Leute für wahr halten, es jedoch nicht ist (z. B. dass König Artus ein echter König in England war) und die Vorsilbe „Neuro“ verrät uns, dass wir über das Gehirn sprechen. Ein Neuromythos ist also eine Aussage über das Gehirn, die oft für wahr gehalten wird, die aber tatsächlich nicht wirklich wahr ist. Es gibt viele Neuromythen, z. B. dass wir nur 10% unseres Gehirns nutzen oder dass unser Gehirn im Schlaf nicht aktiv ist. Möglicherweise bist du selbst auf solche Vorstellungen gestoßen und unabhängig davon, ob du dir dessen bewusst bist oder nicht, könnten solche Vorstellungen die Art und Weise verändern, wie du über dein eigenes Gehirn denkst und wie du in der Schule lernst. Wichtig ist, dass Neuromythen auch Dinge sind, an die Eltern und Lehrer glauben könnten und so ihre Meinung über die Gedächtnisentwicklung beeinflusst werden kann. Neuromythen können beeinflussen, wie Lehrer unterrichten und wie Eltern ihre Kinder aufziehen. In diesem Artikel werden wir uns ein wenig mit drei Neuromythen befassen und dann darüber nachdenken warum es wichtig ist, dass du einen Mythos erkennen kannst, wenn du ihn hörst.

MYTHOS NR. 1: INTELLIGENZ IST FESTGELEGT

Die Idee dahinter ist, dass es von deinen Genen abhängt, wie gut du in Sachen wie Schulprüfungen oder Intelligenztests abschneiden kannst. **Genetik** bedeutet etwas, das in der Familie vorkommt – Dinge wie Augenfarbe und Größe hängen normalerweise stark von der Genetik ab. Wenn deine **Intelligenz** von der Genetik festgelegt wäre, würde es davon abhängen, wie gut deine Eltern bei Intelligenztests oder bei Schulprüfungen abgeschnitten hätten. Der Ursprung dieser Idee ist klar: Kinder können ihren Eltern tatsächlich sehr ähnlich sein. Eigentlich können wir messen, wie ähnlich sich Kinder und erwachsene Familienmitglieder sind. Wenn man eine Gruppe von Zwillingen nimmt, von denen einige identisch und andere nicht identisch sind, und eine bestimmte Fähigkeit wählen-sagen wir, jonglieren-, können wir herausfinden, wie groß die Unterschiede in dieser Fähigkeit von der Genetik beeinflusst werden und wie stark die Unterschiede auf die Umgebung zurückzuführen sind, in der die Kinder aufgewachsen sind. Dies liegt daran, dass eineiige Zwillinge 100% ihres Erbguts miteinander teilen, während zweieiige Zwillinge nur 50% teilen: Beide Arten von Zwillingen teilen jedoch sehr ähnliche Umgebungen (sie leben im selben Haus, sie haben die gleiche Anzahl von Jonglierunterrichtsstunden usw.). Wenn die Jonglierfähigkeit bei eineiigen Zwillingen ähnlicher ist als bei zweieiigen Zwillingen, bedeutet dies, dass die größere genetische Ähnlichkeit der identischen Zwillinge zu einer größeren Jonglierähnlichkeit führt. Daher muss dieses Verhalten durch die Genetik beeinflusst sein. Wir nennen diesen genetischen Einfluss „Erblichkeit“. Null Erblichkeit bedeutet,

dass Unterschiede vollständig auf die Umwelt zurückzuführen sind, während 100% Erbllichkeit bedeutet, dass alle Unterschiede im Verhalten auf Unterschiede in den Genen zurückzuführen sind.

Mit der Zwillingsstechnik können wir sehen, wie viel die Genetik damit zu tun hat, dass eine bestimmte Person bei einem Schultest besser abschneidet als eine andere. Es stellt sich heraus, dass etwas mehr als die Hälfte (60-65%) des Unterschieds zwischen den Kindern hinsichtlich ihrer schulischen Leistungen auf die Genetik zurückzuführen ist (Oliver et al. [1] haben das für die Naturwissenschaften und Mathematik nachgewiesen). Natürlich ist die Genetik nicht die ganze Geschichte, ganz im Gegenteil. Schließlich würde niemand viel über etwas wissen, wenn es ihm nicht beigebracht würde!

Es gibt viele Dinge, die Einfluss darauf haben können, wie gut du im Unterricht lernst, die nichts mit deinen Eltern zu tun haben: Dinge wie der Glaube, dass sich deine Leistung mit dem Lernen verändern kann oder wenn du einen großartigen Lehrer hast. Jeder Lehrer weiß, dass er für ein Kind einen echten, positiven Unterschied machen kann. Eine Studie zeigte das auf elegante Weise: Die Wissenschaftler fanden heraus, dass die Lesefähigkeit in Klassen mit besseren Lehrern stärker durch die Genetik beeinflusst wurde [2]. Dies ist der Grund, warum es elegant ist: Wenn du einen schlechten Lehrer hast, hält das alle zurück, egal wie gut deine Lesegene sind. Wenn du einen perfekten Lehrer hast, sind die Unterschiede in der Lesefähigkeit eher auf das unterschiedliche genetische Potenzial jedes Einzelnen zurückzuführen. Stellen wir uns Kinder als Pflanzen vor. Die Pflanzen sollten alle unterschiedliche Höhen haben, wie ihre verschiedenen Elternpflanzen. Wenn die kleinen Pflanzen jedoch nicht genug Wasser bekommen, spielt es keine Rolle, wie groß ihre Elternpflanzen sind, sie würden nicht ihr volles Potenzial entfalten. Nur wenn sie genug Wasser hat (einen großartigen Lehrer), kann eine Pflanze so groß werden, wie es ihre Genetik erlaubt (so gut in der Schule abschneiden, wie es nur möglich ist). Studien wie die über das Lesen zeigen uns, dass die Vorstellung, die Intelligenz werde von den Eltern weitergegeben, wahr ist, aber dass es falsch ist, dass sie festgelegt ist. Die Art und Weise wie Intelligenz offenbart wird, hängt von dir und der Welt um dich herum ab.

MYTHOS NR. 2: MÄDCHEN UND JUNGEN DENKEN UNTERSCHIEDLICH

Die Idee dahinter ist, dass Mädchen von Natur aus in bestimmten Schulaktivitäten besser sind als Jungen, die ihrerseits in anderen Aktivitäten besser abschneiden. Im Allgemeinen wird angenommen, dass Mädchen sich in kreativeren Dingen wie Englisch auszeichnen, während Jungen in technischen Dingen wie Mathematik besser abschneiden. Es wurden viele wissenschaftliche Studien veröffentlicht,

ANALYSIEREN

Zu entscheiden, was eine Reihe von Informationen dir sagen kann.

DATEN

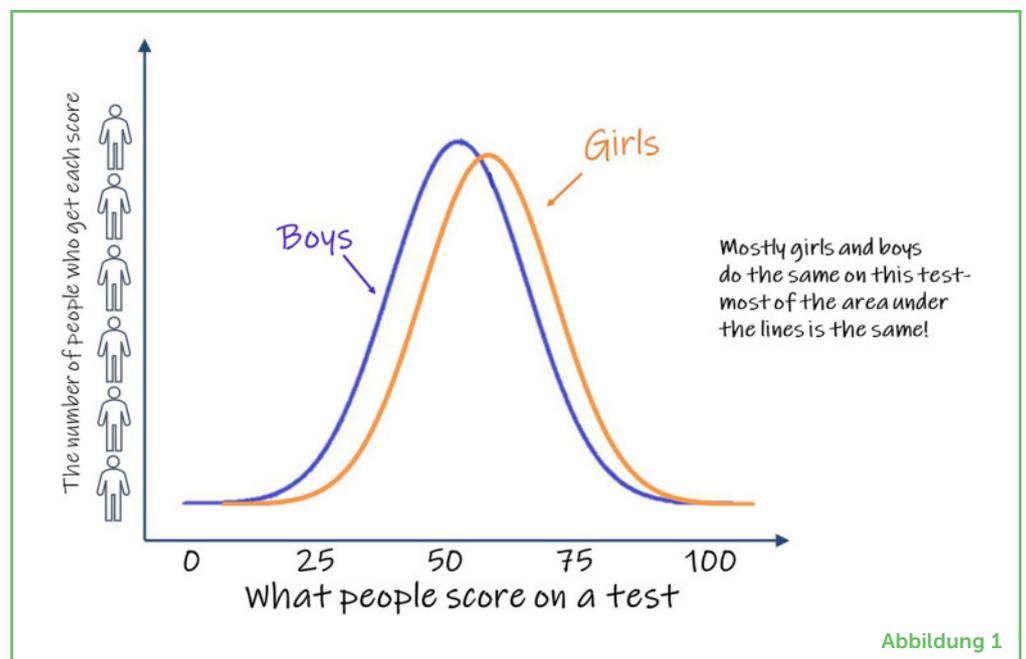
Eine Reihe von Informationen.

Abbildung 1

Dies ist eine Beispielgrafik, die zeigt, wie sich eine Gruppe von Mädchen und eine Gruppe von Jungen bei einem Vortäuschungstest abgeschnitten haben. Du siehst, dass sich die beiden Gruppen größtenteils überlappen, obwohl die Mädchen als Gruppe etwas besser abschneiden (die Kurve der „Mädchen“ befindet sich etwas rechts von den „Jungen“, was zeigt, dass sie etwas höhere Punktzahlen erreicht haben).
Boys = Jungen;
Girls = Mädchen;
The number of people who get each score = Anzahl Personen mit einer bestimmten Punktzahl;
What people score on a test = Erreichte Punktzahlen.

die Gruppenunterschiede zwischen Männern und Frauen zeigen. Zum Beispiel können Männer besser Bilder von Objekten in Gedanken umkehren. Nicht jeder glaubt jedoch, dass Männer und Frauen so unterschiedlich sind. Eine Wissenschaftlerin **analysierte Daten** aus einer Reihe von Studien, an denen insgesamt rund sieben Millionen Menschen teilnahmen, und untersuchte die geschlechtsspezifischen Unterschiede bei einer Reihe von Aktivitäten, vom Sprechen bis zum Werfen [3]. Sie fand heraus, dass über drei Viertel der Studien zeigten, dass geschlechtsspezifische Unterschiede gering oder fast nicht vorhanden sind. Das galt sogar in Bereichen, in denen Leute dachten, dass es große Unterschiede gäbe, wie etwa bei den Mathematikkenntnissen.

Die andere wichtige Sache ist, dass Studien über Gruppenunterschiede genau das betrachten: Gruppen. Wenn du eine Gruppe von Jungen nimmst, werden einige von ihnen in Mathematik sehr gut, die meisten gut, und einige auch schlecht sein. Dasselbe gilt für Mädchen. Selbst wenn die Jungen als Gruppe in einem bestimmten Test etwas besser abschneiden, sagt uns dies überhaupt nichts über eine bestimmte Person aus (wie du in **Abbildung 1** sehen kannst). Die beiden Gruppen werden sich erheblich überschneiden. Einzelne Jungen werden wahrscheinlich besser abschneiden als viele Mädchen, und einzelne Mädchen werden wahrscheinlich besser abschneiden als viele Jungen.



Obwohl es einige Unterschiede zwischen der Denkweise von Mädchen und Jungen gibt, sind diese Unterschiede gering und Gruppenunterschiede sagen sowieso nichts über eine Person.

MYTHOS NR. 3: EINIGE KINDER SIND „LINKSHIRNIG“ UND ANDERE „RECHTSHIRNIG“

Eigentlich gibt es hier zwei Vorstellungen: (1) Das Gehirn ist in eine logische, sprachorientierte linke Hälfte und eine kreative, emotionale rechte Hälfte geteilt; und (2) Menschen haben eine Seite, die aktiver ist als die andere, so dass sie entweder bei Aktivitäten mit der linken oder rechten Gehirnseite besser sind.

Wie wir bei den anderen Neuromythen gesehen haben, steckt auch hierin eine gewisse Wahrheit. Wenn man das Gehirn betrachtet, ist es sehr auffällig, dass es zwei sehr unterschiedliche Hälften hat (als **Hemisphären** bezeichnet), die weitgehend Spiegelbilder voneinander sind (wie in **Abbildung 2** dargestellt). Es stimmt auch, dass sich verschiedene Bereiche des Gehirns auf verschiedene Aufgaben spezialisieren, wie zum Beispiel die Bewegung der Hand oder die Angst vor Spinnen. Manchmal kann diese **Spezialisierung** vollständig (oder hauptsächlich) auf einer Seite des Gehirns beobachtet werden: Dieses Phänomen wird als „Lateralisierung“ bezeichnet. Das klassische Beispiel ist, dass die Sprache (sprechen und anderen zuhören) bei den meisten Menschen von der linken Gehirnhälfte kontrolliert wird. Aber die Sprache ist auch nicht ausschließlich linkshirinig: Die rechte Gehirnhälfte ist für viele Aspekte der Sprache wichtig. Zum Beispiel ist die rechte Hemisphäre entscheidend um zu verstehen, warum Witze lustig sind, sobald die linke Hemisphäre den Satz sprachlich verstanden hat [4]. Die beiden Gehirnhälften arbeiten fast immer so zusammen.

HEMISPHERE

Eine Hälfte von etwas Rundem – das Gehirn hat zwei Hemisphären (links und rechts), so wie die Erde (Nord und Süd).

SPEZIALISIERUNG

Wenn du dich auf etwas spezialisiert hast, machst du eine Sache wirklich gut, z. B. könnte sich jemand darauf spezialisieren, Cello zu spielen. Im Artikel sprechen wir über Hirnbereiche, die sich darauf spezialisiert haben, eine Sache zu tun, wie Wörter zu lesen oder die Hand zu bewegen.

Abbildung 2

Dies ist eine Zeichnung der beiden Gehirnhälften.
Right = Rechts;
Left = Links;
Front of Brain = Vorderer Teil des Gehirns.

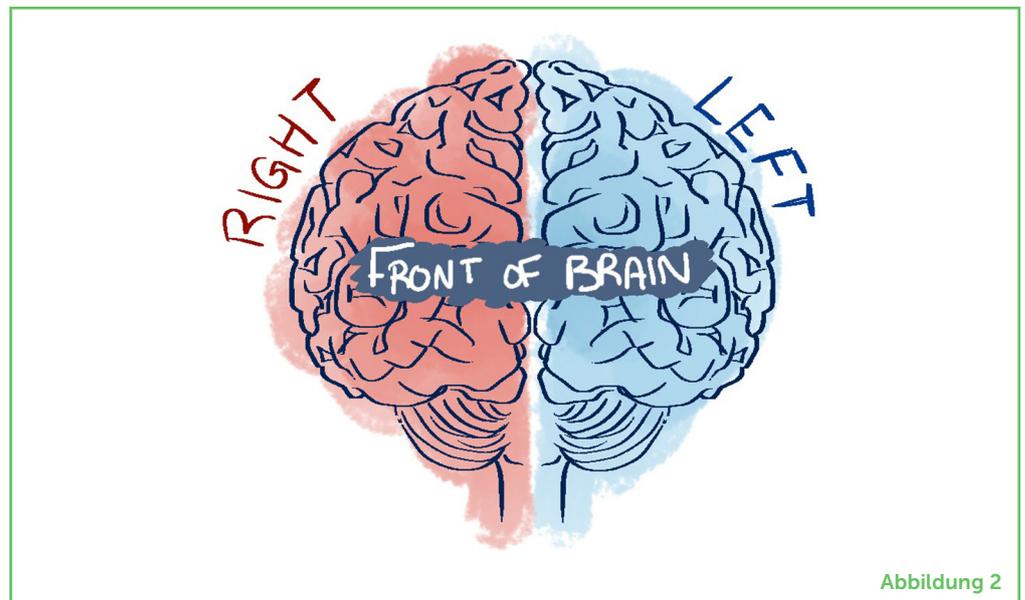


Abbildung 2

Obwohl wir oft verschiedene Seiten des Gehirns für unterschiedliche Dinge verwenden, bedeutet dies nicht, dass Menschen rechts – oder linkshirinig sind. Eine große Studie mit über 1.000 Personen hat gezeigt, dass Menschen im Allgemeinen nicht über eine Hälfte

des Gehirns verfügen, welche aktiver ist als die andere [5]. Wo die Aktivität im Gehirn stattfindet, hängt viel mehr davon ab, was du tust. Es hängt auch davon ab, wie gut du darin bist. Zum Beispiel haben Musiker in einigen Teilen der linken Gehirnhälfte mehr Gehirnmasse als Nicht-Musiker [6]; aber diese Unterschiede treten in sehr spezifischen, sehr kleinen Bereichen des Gehirns auf und liegen nicht generell in der einen oder anderen Hemisphäre. Obwohl also die Aufgaben eher rechts-oder linkshirrig sind, sind es die Menschen nicht.

WARUM SIND DIE NEUROMYTHEN WICHTIG?

Neuromythen sind wichtig, weil sie die Gedanken und das Verhalten der Menschen beeinflussen: Sie können verändern, wie wir uns selbst sehen und wie wir gesehen werden wollen. Nehmen wir noch einmal das Beispiel des Geschlechts. Im Alter von 8 bis 9 Jahren gibt es keinen Unterschied, wie gut Mädchen und Jungen in Mathe abschneiden, doch Mädchen (und ihre Eltern) bewerten ihre mathematischen Fähigkeiten als niedriger als die von Jungen [7]. Dies deutet darauf hin, dass das, was die Menschen glauben (in diesem Fall, dass Mädchen nicht so stark in Mathematik sind), einen echten Einfluss darauf haben kann, wie Kinder sich selbst sehen, was sich wiederum auf ihre tatsächliche Leistung auswirken kann. In einer Studie, in der eine Gruppe von Hochschulstudenten einen Mathe-Test erhielt, schnitten Männer besser ab als Frauen, wenn ihnen gesagt wurde, dass der Test normalerweise geschlechtsspezifische Unterschiede zeigt. Wenn ihnen jedoch gesagt wurde, dass es sich um einen geschlechtsgerechten Test handelt, schnitten Frauen genauso gut ab wie Männer [8]. Dies ist wichtig, da am Ende der Ausbildung die früher geringen Unterschiede massiv werden: 94% der Mathematikprofessoren im Vereinigten Königreich sind Männer [9]. Dies ist ein gutes Beispiel dafür, warum wir mit Neuromythen vorsichtig sein sollten – was du über dein Gehirn und das Gehirn deiner Mitmenschen glaubst, wird möglicherweise einfach wahr. Fang also am besten an zu glauben, dass du Mathe kannst!

AUTORENBEITRAG

Geschrieben von VK und bearbeitet von MT.

DANKSAGUNGEN

Wir möchten uns von ganzem Herzen bei denen bedanken, die mitgearbeitet haben, und denen, die es mit der Übersetzung der Artikel Kindern außerhalb des englischsprachigen Raums zugänglich gemacht haben, und danken der Jacobs Foundation für die Bereitstellung der für die Übersetzung der Artikel erforderlichen Mittel.

REFERENZEN

1. Oliver, B., Harlaar, N., Hayiou-Thomas, M. E., Kovas, Y., Walker, S. O., Petrill, S. A., et al. 2004. A twin study of teacher-reported mathematics performance and low performance in 7-year-olds. *J. Educ. Psychol.* 96:504-17. doi: 10.1037/0022-0663.96.3.504
2. Taylor, J., Roehrig, A. D., Soden-Hensler, B., Connor, C. M., and Schatschneider, C. 2010. Teacher quality moderates the genetic effects on early reading. *Science* 328:512-4. doi: 10.1126/Science.1186149
3. Shibley-Hyde, J. 2005. The gender similarities hypothesis. *Am. Psychol.* 60:581-92. doi: 10.1037/0003-066X.60.6.581
4. Marinkovic, K., Baldwin, S., Courtney, M. G., Witzel, T., Dale, A. M., and Halgren, E. 2011. Right hemisphere has the last laugh: neural dynamics of joke appreciation. *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.* 11:113-30. doi: 10.3758/s13415-010-0017-7
5. Nielsen, J. A., Zielinski, B. A., Ferguson M. A., Lainhart, J. E., and Anderson, J. S. 2013. An evaluation of the left-brain vs. right-brain hypothesis with resting state functional connectivity magnetic resonance imaging. *PLoS ONE* 8:e71275. doi: 10.1371/journal.pone.0071275
6. Gaser, C., and Schlaug, G. 2003. Brain structures differ between musicians and non-musicians. *J. Neurosci.* 23:9240-5. doi: 10.1523/JNEUROSCI.23-27-09240.2003
7. Herbert, J., and Stipek, D. 2005. The emergence of gender differences in children's perceptions of their academic competence. *J. Appl. Dev. Psychol.* 26:276-95. doi: 10.1016/j.appdev.2005.02.007
8. Spencer, S. J., Steele, C. M., and Quinn, D. M. 1999. Stereotype threat and women's math performance. *J. Exp. Soc. Psychol.* 35:4-28.
9. London Mathematical Society. 2013. *Advancing Women in Mathematics: Good Practice in UK University Departments*. London: London Mathematical Society.

HERAUSGEBER*IN: [Nienke Van Atteveldt](#)

WISSENSCHAFTLICHE MENTOR*INNEN: [Naomi Chaytor](#) und [Silvia Riva](#)

ZITAT: Knowland VCP und Thomas MSC (2023) Neuromythen im Klassenzimmer. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00049-de

ÜBERSETZT UND ÜBERNOMMEN VON: Knowland VCP and Thomas MSC (2020) Neuro-Myths in the Classroom. *Front. Young Minds* 8:49. doi: 10.3389/frym.2020.00049

INTERESSENKONFLIKT: Die Autor*innen erklären hiermit, dass ihre Forschung ohne kommerzielle oder finanzielle Unterstützung durchgeführt wurde, aus der sich ein Interessenkonflikt ergeben könnte.

URHEBERRECHTE © 2020 © 2023 Knowland und Thomas. Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der [Creative-Commons-Attribution-Lizenz \(CC BY\)](#) verbreitet wird. Die Verwendung, Verbreitung oder Vervielfältigung in anderen Foren ist gestattet, sofern der/die Originalautor*innen und der/die Urheberrechtsinhaber*innen genannt werden

und die Originalveröffentlichung in dieser Zeitschrift gemäß anerkannter wissenschaftlicher Praxis zitiert wird. Eine Nutzung, Verbreitung oder Vervielfältigung, die diesen Bedingungen nicht entspricht, ist nicht gestattet.

JUNGE GUTACHTER*INNEN



ANYA, ALTER: 7

Ich bin gerne aktiv und treibe viele Sportarten mit viel Enthusiasmus und so gut ich kann. Meine Lieblingssportarten sind Schwimmen und Gymnastik. Ich höre auch gerne neue Geschichten durch Bücher, Geschichtenerzählen und Filme, und ich mag es, meine eigenen zu kreieren, wenn ich spiele. Ich mag aber auch Mathematik, die mein Lieblingsfach in der Schule ist. Ich mag es zu singen und liebe alles Musikalische, und ich backe meine eigenen Muffins zum Frühstück, wann immer ich kann.



DR. H. BAVINCK SCHOOL, ALTER: 8–12

Wir sind die Spektrum-Klassen 5-6 und 7-8 der Bavinckschule in Haarlem, Niederlande. Es handelt sich um eine Gruppe von 40 Kindern (19 in den Gruppen 5-6 und 21 in den Gruppen 7-8), die begierig darauf sind, etwas mehr als das reguläre Schulprogramm zu lernen. Wir hatten viel Spaß bei der Überprüfung für die FYM, gingen die Artikel mit großer Konzentration und Begeisterung durch und machten eine kritische Bewertung. Wir haben es wirklich genossen, einen Beitrag zur Wissenschaft zu leisten und zu helfen!



LIAM, ALTER: 8

Ich bin in der dritten Klasse und liebe Stofftiere und meine Mutter. Ich bin ein Künstler und gehe gerne Skifahren. Wenn ich groß bin, möchte ich um die ganze Welt und in den Weltraum reisen.



MONICA, ALTER: 6

Ich male gerne Bilder, weil ich ausdrücken möchte, was durch meinen Kopf wirbelt. Ich fahre gerne in neue Städte und Länder. Ich bin sehr kreativ und ich koche gerne. Ich lese auch gerne Bücher und lerne Dinge von Kindern auf der ganzen Welt. Ich mag Sportarten wie Schwimmen und Schlittschuhlaufen.



OLIVER, ALTER: 10

Ich bin in der fünften Klasse und liebe Robotik, Mathematik und Naturwissenschaften. Ich habe gerade angefangen, Trompete zu spielen. Ich kann den Beginn der Skisaison kaum erwarten. Wenn ich groß bin, möchte ich Astronaut werden und zum Mars reisen!



PALOMA, ALTER: 8

Hallo, ich heiße Paloma, meine Lieblingsachen sind die Schule und Reisen, weil ich gerne neue Dinge lerne. Naturwissenschaften ist mein Lieblingsfach, weil es wirklich interessant ist und ich einen großartigen Lehrer habe. Ich lese auch sehr gerne Graphic Novels, weil sie Spaß machen! Ich mache mir auch große Sorgen um Umweltverschmutzung und Wasserschutz und hoffe, eines Tages Lösungen für diese Probleme zu finden.

AUTOR*INNEN

VICTORIA C. P. KNOWLAND



Vic ist Forscherin an der Universität von York. Ihre Aufgabe ist es, zu verstehen, wie wichtig Schlaf in der Kindheit für das Erlernen der Sprache sein kann. Sie interessiert sich dafür, wie und warum sich die Sprachkenntnisse von Kindern unterscheiden, zum Beispiel, warum manche Kinder möglicherweise mehr Wörter als andere kennen. Sie interessiert sich auch dafür, wie sie Kinder unterstützen kann, die Kommunikation als eine Herausforderung sehen. Zusammen mit Michael hat Vic eine Reihe von kurzen Artikeln über Neuromythos geschrieben, die für das Lernen im Klassenzimmer relevant sind. *victoria.knowland@york.ac.uk

MICHAEL S. C. THOMAS



Michael ist Professor für kognitive Neurowissenschaften an der Birkbeck University of London. Er ist Direktor des Zentrums für pädagogische Neurowissenschaften der Universität London (<http://www.educationalneuroscience.org.uk/>). Er verwendet verschiedene Methoden, um zu verstehen wie das Gehirn funktioniert und wie sich Menschen in ihrem Denken unterscheiden, auch solche mit Entwicklungsschwierigkeiten wie Autismus. In der pädagogischen Neurowissenschaft beschäftigt sich seine Arbeit mit der Frage, wie Kinder Naturwissenschaften und Mathematik lernen, und der Untersuchung, wie die Verwendung von Mobiltelefonen das Gehirn von Teenagern verändern kann.

German version provided by
Deutsche Version von

JACOBSON
FOUNDATION
Our Promise to Youth



ES IST KOMPLIZIERT: BEIM LERNEN UND LEHREN GEHT ES NICHT UM „LERNSTILE“

Breanna C. Lawrence^{1*}, Burcu Yaman Ntelioglou² und Todd Milford³

¹Fachbereich Pädagogische Psychologie und Studierendenwerk, Fakultät für Erziehungswissenschaften, Brandon University, Brandon, MB, Kanada

²Fachbereich Lehrpläne und Pädagogik, Fakultät für Erziehungswissenschaften, Brandon University, Brandon, MB, Kanada

³Fachbereich Lehrpläne und Unterricht, Fakultät für Erziehungswissenschaften, University of Victoria, Victoria, BC, Kanada

JUNGE GUTACHTER*INNEN:



EMILY
ALTER: 11



MIHAJLO
ALTER: 16

Dass es Lernstile gibt, ist vielleicht einer der am meisten verbreiteten und geglaubten Mythen in der Bildung. Die Idee basiert auf der Behauptung, dass alle Schüler einem bestimmten Lernstil zugeordnet werden können und dass sie am besten lernen, wenn Lehrer den Unterricht auf den bevorzugten Stil des Schülers abstimmen. Diese populäre Theorie ist von vielen Lernwissenschaftlern als falsch nachgewiesen worden. Die Lernstiltheorie reduziert anspruchsvolle und komplexe Prozesse wie Unterrichten und Lernen auf allzu einfache Kategorien und steckt Schüler in Schubladen auf eine Art und Weise, die ihr Potenzial einschränken kann. Studien von Wissenschaftlern, die das Gehirn und die Bildung erforschen, haben festgestellt, dass Lernen und Unterrichten viel komplizierter sind, als nur den Unterricht an den Lernstil eines Schülers anzupassen.

LERNSTILE

Eine Theorie, die besagt, dass Menschen einer bevorzugten Art des Lernens zugeordnet werden können, wie z. B. visuell, auditiv oder kinästhetisch, und dass Unterricht am besten funktioniert, wenn er auf die bevorzugte Art des Lernens abgestimmt ist.

NEUROWISSENSCHAFTLER

Wissenschaftler, die das Gehirn studieren und erforschen, wie dieses so wichtige Organ das Denken und Verhalten beeinflusst.

NEUROMYTHOS

Eine weit verbreitete falsche Annahme darüber, wie das Gehirn funktioniert.

NEUROWISSENSCHAFT

Wissenschaftliche Untersuchung der Struktur und Funktion des Gehirns und des Nervensystems.

¹ Siehe danielwillingham.com

WORUM GEHT ES BEI DER IDEE DER LERNSTILE?

Du hast vielleicht schon von einigen Lehrern gehört, dass Schüler unterschiedliche **Lernstile** haben. Vielleicht haben sie zum Beispiel gesagt, dass manche Menschen „visuelle Lerner“ sind, die lieber durch Sehen lernen, oder dass andere Schüler „auditive Lerner“ sind, die am besten durch Zuhören lernen, oder „kinästhetische Lerner“, die am besten durch Bewegung lernen. Vielleicht hast du sogar einen Fragebogen beantwortet oder einen Test gemacht, um deinen eigenen Lernstil herauszufinden. Viele Menschen glauben, dass alle Schüler nach ihren bevorzugten Lernstilen eingeteilt werden können und dass Schüler am besten lernen, wenn Lehrer die Art und Weise, wie sie unterrichten, an den bevorzugten Lernstil des Schülers anpassen. Auch wenn die Theorie der Lernstile sehr beliebt ist, wurde sie von vielen **Neurowissenschaftlern** als falsch widerlegt. Obwohl es Beweise dafür gibt, dass es Lernstile überhaupt nicht gibt, glauben viele Pädagogen immer noch daran [1]. Die Idee der Lernstile ist ein Beispiel für einen **Neuromythos**, d. h. eine weit verbreitete falsche Annahme dessen, wie das Gehirn funktioniert. In diesem Artikel beleuchten wir, warum die Idee der Lernstile ein Neuromythos ist, und diskutieren, warum es negative Folgen geben könnte, wenn man diesem Mythos Vertrauen schenkt. Wir erklären, wie die **Neurowissenschaft**, also die Erforschung der Gehirnfunktionen, uns hilft, die Komplexität des Lehrens und Lernens zu verstehen.

WARUM IST DIE BEHAUPTUNG, DASS ES LERNSTILE GIBT, EIN NEUROMYTHOS?

Die Idee der Lernstile lässt sich nicht wissenschaftlich belegen. Viele Lehrer und ein Großteil der Bevölkerung glauben jedoch, dass es Lernstile gibt. Dass es Lernstile gibt, ist vielleicht einer der am meisten geglaubten Neuromythen [2]. Eine Forschungsgruppe [3] fand heraus, dass über 90% der Lehrer an Lernstile glauben, und eine andere Forschungsgruppe [4] zeigte, dass über 60% der Lehrer der Meinung sind, dass das Unterrichten nach dem Lernstile-Prinzip den Schülern beim Lernen hilft.

Offenbar sind viele Menschen leicht davon zu überzeugen, an unbewiesene Behauptungen zu glauben, wenn diese Behauptungen scheinbar neurowissenschaftliche Elemente beinhalten. Lernstile sind ein Beispiel für ein pädagogisches Mittel, das so richtig erscheint, weil Teile der Behauptung wahr sind.¹ Zum Beispiel haben Menschen Vorlieben dafür, wie sie lernen oder Gewohnheiten, die sie gerne beim Lernen anwenden. Informationen auf verschiedene Arten zu präsentieren, ist eine wichtige pädagogische Praxis, die sich Lehrer in der Lehrerausbildung aneignen. Das bedeutet jedoch nicht, dass die Anpassung des Unterrichts an die bevorzugte Lernweise eines Schülers tatsächlich dessen Verständnis verbessert, denn das Gehirn arbeitet nicht auf diese Weise.

WARUM BIRGT DER NEUROMYTHOS ÜBER DIE LERNSTILE MÖGLICHERWEISE NEGATIVE FOLGEN?

Der Glaube an Lernstile kann nachteilig sein, weil die Theorie der Lernstile komplizierte Prozesse wie Unterrichten und Lernen auf allzu einfache Kategorien reduziert und Schüler auf eine Weise kategorisiert, die ihre Potenziale einschränken kann (siehe [Abbildung 1](#)). Es ist verlockend anzunehmen, dass Schüler leichter lernen könnten, wenn der Unterricht einfach an ihre individuellen Lernstile angepasst wäre. Aber die Art und Weise, wie das Gehirn Informationen verarbeitet, ist viel komplizierter.

Abbildung 1

Infografik dazu, wie man lernt. Die Infografik veranschaulicht, dass sich dein Lernprozess nicht einfach so vereinfachen oder kategorisieren lässt. Erstellt von Brendon Ehinger (<http://ehinger.ca/>).

How do you learn? =
Wie lernst du?
By seeing = durch Sehen;
By listening = durch Zuhören;
By doing = durch Handeln;
All of the above = alles drei.

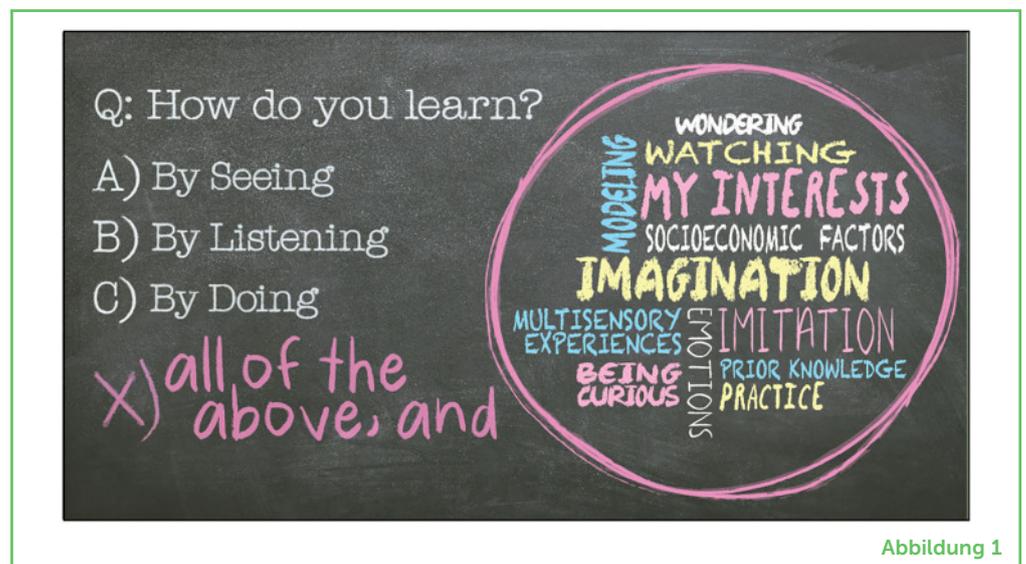


Abbildung 1

Stell dir Folgendes vor: Du stellst fest, dass du ein visueller Lerner bist, was bedeutet, dass du Erklärungen bevorzugst, die auf eine visuelle Art kommuniziert werden. Im Französischunterricht arbeitest du an deinen Konversationsfertigkeiten und an deinem Akzent. Du liest und siehst viele schriftliche Beispiele von Konversationen und es werden sogar phonetische Schreibweisen präsentiert (die Wörter werden so ausgeschrieben, wie sie klingen), aber deine Vorliebe für visuell dargestellte Informationen hilft dir nicht wirklich dabei, dein Französisch zu verbessern. Du gibst dir viel Mühe, um viele Wörter auszusprechen und um zu verstehen, was ein französischer Sprecher sagt. Dein Lernstil des „visuellen Lerners“, scheint dir in dieser Situation aber nicht dabei zu helfen, besser und schneller Französisch zu lernen! Das Erlernen einer Sprache und die Anwendung dieser Sprache erfordern gleichermaßen den Einsatz von Sehen, Hören und Handeln. Zusätzlich zu diesen drei Fähigkeiten sind auch Gedächtnis, Emotion, Motivation, Denken und Vorstellungskraft wichtige Bestandteile des Lernprozesses [5]. Es ist oft nicht möglich, dass Lehrer ihren Unterricht auf bestimmte Lernstile beschränken, und es könnte möglicherweise sogar einen negativen Effekt auf das Lernen haben, wenn sie das täten, da dies eine Menge Frustration verursachen könnte! Wir bitten

die Lehrer, mit dem Neuromythos der Lernstile äußerst vorsichtig umzugehen, denn es gibt keine wissenschaftlichen Belege dafür, dass das Unterrichten nach bestimmten Lernstilen tatsächlich zu besseren Ergebnissen führt.

Stattdessen geschieht das Lernen auf eine sozusagen vernetzte Art und Weise. Wenn du dich an eine Information erinnerst, verarbeitest du diese Information mit mehreren Sinnen, indem du kombinierst, was du dabei gehört, gesagt, erinnert, gesehen, gefühlt, gerochen hast etc. Wenn Lehrer also an die Behauptung der Lernstile glauben und versuchen, Schüler auf einen bestimmten Lernstil zu beschränken, könnte dies die Sinne und Prozesse, die zum Lernen genutzt werden, erheblich einschränken. Diese Einschränkung könnte sich wiederum negativ auf die Fähigkeit einiger Schüler auswirken, neue Informationen zu lernen.

DIE NEUROWISSENSCHAFT HILFT UNS, DIE KOMPLEXITÄT DES UNTERRICHTENS UND LERNENS ZU VERSTEHEN

Die Neurowissenschaft hilft uns, den komplexen Vorgang zu verstehen, wie das Gehirn beim Lernen wächst und sich dabei verändert. Lehrer sollten wissen, dass die neurowissenschaftliche Forschung darauf hinweist, dass das Lernen auf Erfahrung basiert und nicht auf Lernstilen. Sich im Bereich der Neurowissenschaft weiterzubilden, hilft daher den Lehrern, ihren Unterricht besser zu gestalten. In der Lehrerausbildung lernen wir, dass unser Gehirn eine gewisse **Plastizität** besitzt, was bedeutet, dass sich unser Gehirn an unsere Erfahrungen anpasst. Daher sollten Lehrer die Schüler auf viele verschiedene Arten mit vielen Erfahrungen konfrontieren und dabei auch das Vorwissen, die Fähigkeiten und Interessen der Schüler berücksichtigen. Die alltäglichen Erlebnisse und die Inhalte, die wir in den Klassenzimmern lernen, schaffen **neuronale Netze**, die uns helfen, das, was wir gelernt haben, zu nutzen und uns dauerhaft zu merken. Ein neuronales Netz besteht aus vielen miteinander verbundenen Gehirnzellen, den sogenannten **Neuronen**. Bei der Geburt verfügt ein Mensch nur über einen kleinen Prozentsatz des neuronalen Netzes. Der größte Teil des Netzes wird im Laufe des Lebens durch Erfahrung geschaffen.² Sinnvolle Aktivitäten und Übungen stärken die neuronalen Netze und helfen den Schülern, sich zufriedener, talentierter und mit dem, was sie lernen, verbunden zu fühlen. Als Reaktion auf ihre Erfahrungen bilden sich Neuronen, und schließlich können ganze Netze von Verbindungen für Funktionen wie das Sprechen einer zusätzlichen Sprache entstehen. Wenn wir also neue Dinge lernen, passt sich unser Gehirn an, indem es neue Verbindungen zwischen den Neuronen herstellt und so das neuronale Netz verändert. Lernen braucht Zeit und Übung, genau wie das Erlernen einer neuen Sprache. Je mehr du übst und je mehr du der Sprache ausgesetzt bist, desto effizienter wirst beim Sprechen und Verstehen sein.

PLASTIZITÄT

Die Fähigkeit des Gehirns, neue Verbindungen zu bilden, flexibel zu sein und sich durch Erfahrung zu verändern.

NEURONALE NETZE

Bestehen aus vielen miteinander verbundenen Neuronen.

NEURONEN

Zellen im Nervensystem, die Informationen an andere Zellen (andere Nervenzellen, Muskeln oder Drüsenzellen) senden. Nervenzellen gelten als die Grundeinheiten des Gehirns.

² Siehe <https://human-memory.net/brain-neurons-synapses/>

FACETTENREICH

Schließt viele Teile mit ein.

LERNEN IST KOMPLEX

Der Neuromythos, dass es Lernstile gibt, kann sehr problematisch sein, da er den Lern- und Lehrprozess auf allzu einfache Prozesse reduziert, die den Schülern beim Lernen nicht wirklich helfen. Obwohl sich diese Theorie als falsch erwiesen hat, glauben viele Menschen immer noch daran! Lernstile sind einer der beliebtesten Neuromythen, auch unter Lehrern. Man darf nicht vergessen, dass Lernen eigentlich grundlegende Denkprozesse beinhaltet und auf unseren Erfahrungen aufbaut. Wir wissen, dass das Hintergrundwissen, die Fähigkeiten und die Interessen der Schüler zentral für erfolgreiches Lernen sind und nicht die Lernstile. Der Prozess des Lernens und die Art und Weise, wie unsere Körper und Gehirne vernetzt sind, ist **facettenreich**. Wissenschaftler, die das Lernen erforschen, arbeiten immer noch daran herauszufinden, wie diese Prozesse genau funktionieren. Die Lernenden müssen mit vielen verschiedenen Aufgaben konfrontiert werden und Informationen auf verschiedene Arten präsentiert bekommen. Die Art und Weise, wie Informationen präsentiert werden, muss nicht nur für das, was gelernt wird (zum Beispiel eine neue Sprache), sinnvoll sein, sondern auch für den Lernenden. Wir hoffen, dass wir dir zeigen konnten, dass das Unterrichten viel komplizierter ist, als einfach nur einen Lernenden einem Lernstil zuzuordnen!

DANKSAGUNGEN

Wir danken allen, die an der Übersetzung der Artikel dieser Sammlung mitgewirkt haben, um sie für Kinder außerhalb des englischsprachigen Raums zugänglicher zu machen, sowie der Jacobs Foundation für die Bereitstellung der für die Übersetzung der Artikel erforderlichen Mittel.

REFERENZEN

1. Riener, C., and Willingham, D. 2010. The myth of learning styles. *Change* 42:32–35. doi: 10.1080/00091383.2010.503139
2. Newton, P. M. 2015. The learning styles myth is thriving in higher education. *Educ. Psychol.* 6:1908. doi: 10.3389/fpsyg.2015.01908
3. Dekker, S., Lee, N. C., Howard-Jones, P., and Jolles, J. 2012. Neuromyths in education: prevalence and predictors of misconceptions among teachers. *Front. Psychol.* 3:429. doi: 10.3389/fpsyg.2012.00429
4. Dandy, L., and Bendersky, K. 2014. Student and faculty beliefs about learning in higher education: implications for teaching. *Int. J. Teach. Learn. High. Educ.* 26:358–80. Available online at: <http://www.isetl.org/ijtlhe/>
5. Geake, J. 2008. Neuromythologies in education. *Educ. Res.* 50:123–33. doi: 10.1080/00131880802082518

HERAUSGEBER*IN: Nienke Van Atteveldt

WISSENSCHAFTLICHE MENTOR*INNEN: Tijana Bojić und Vladimir Litvak

ZITAT: Lawrence BC, Yaman Ntelioglou B und Milford T (2023) Es ist kompliziert: Beim Lernen und Lehren geht es nicht um „Lernstile“. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00110-de

ÜBERSETZT UND ÜBERNOMMEN VON: Lawrence BC, Yaman Ntelioglou B and Milford T (2020) It is Complicated: Learning and Teaching is Not About „Learning Styles“. *Front. Young Minds* 8:110. doi: 10.3389/frym.2020.00110

INTERESSENKONFLIKT: Die Autor*innen erklären hiermit, dass ihre Forschung ohne kommerzielle oder finanzielle Unterstützung durchgeführt wurde, aus der sich ein Interessenkonflikt ergeben könnte.

URHEBERRECHTE © 2020 © 2023 Lawrence, Yaman Ntelioglou und Milford. Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der [Creative-Commons-Attribution-Lizenz \(CC BY\)](#) verbreitet wird. Die Verwendung, Verbreitung oder Vervielfältigung in anderen Foren ist gestattet, sofern der/die Originalautor*innen und der/die Urheberrechtsinhaber*innen genannt werden und die Originalveröffentlichung in dieser Zeitschrift gemäß anerkannter wissenschaftlicher Praxis zitiert wird. Eine Nutzung, Verbreitung oder Vervielfältigung, die diesen Bedingungen nicht entspricht, ist nicht gestattet.

JUNGE GUTACHTER*INNEN



EMILY, ALTER: 11

Mein Name ist Emily, und ich bin eine 11-jährige angehende Juristin und Astronautin. Ich lebe in London, England, und werde dieses Jahr auf ein Gymnasium wechseln. Mein Lieblingsfach ist englische Literatur. In meiner Freizeit schwimme ich gerne, tanze irische Tänze und lese Harry Potter.



MIHAJLO, ALTER: 16

Hallo. Ich bin Mihajlo und besuche derzeit das Dritte Belgrader Gymnasium. An der Wissenschaft finde ich am spannendsten, dass man nie weiß, was am Ende dabei herauskommt. Was mich zur Neurowissenschaft treibt, ist die Tatsache, dass wir so wenig über das Gehirn und das Nervensystem wissen und dass es viele Dinge gibt, die darauf warten, von uns Wissenschaftlern entdeckt zu werden. Ich mag es, neue Dinge zu lernen, und das ist auch der Grund dafür, warum ich viel mit meinem wissenschaftlichen Mentor forsche.

AUTOR*INNEN



BREANNA C. LAWRENCE

Breanna ist Professorin für Pädagogische Psychologie (das Studium des Unterrichts und Lernens) und Bildungsberaterin. Sie unterrichtet Studentinnen und Studenten, die Lehrer werden möchten, über die Entwicklung von Kindern und Jugendlichen und Lerntheorien, aber auch Lehrer und Lehrerinnen, die Bildungsberater werden wollen. Breanna erforscht Themen, die mit der Belastbarkeit von Kindern und Jugendlichen zu tun haben. Ihr beruflicher Hintergrund ist

die Arbeit mit Familien in pädagogischen und klinischen Einrichtungen der psychischen Gesundheit, wo sie die letzten zehn Jahre tätig war. Sie liebt Sonnenuntergänge in der Prärie und Outdoor-Abenteuer mit ihrem Mann und ihren zwei Kindern. *lawrenceb@brandonu.ca



BURCU YAMAN NTELIOGLOU

Burcu ist Professorin für Bildung an der Brandon University in Kanada. Sie unterrichtet Studentinnen und Studenten, die Lehrer werden möchten, und gibt Graduiertenkurse für Lehrer und Schulleiter, die ihren Unterricht verbessern wollen. Burcu setzt sich für Vielfalt und Gerechtigkeit in der Bildung ein und interessiert sich dafür, wie Schüler ihre Sprach- sowie Lese- und Schreibfähigkeiten in einer zunehmend globalen Welt entwickeln. Burcu sieht sich in ihrer Freizeit gern Eishockeyspiele an, denn sie ist stolze Mutter von zwei Jungen – Deniz (16) und Derin (10), die beide Eishockeyspieler sind.

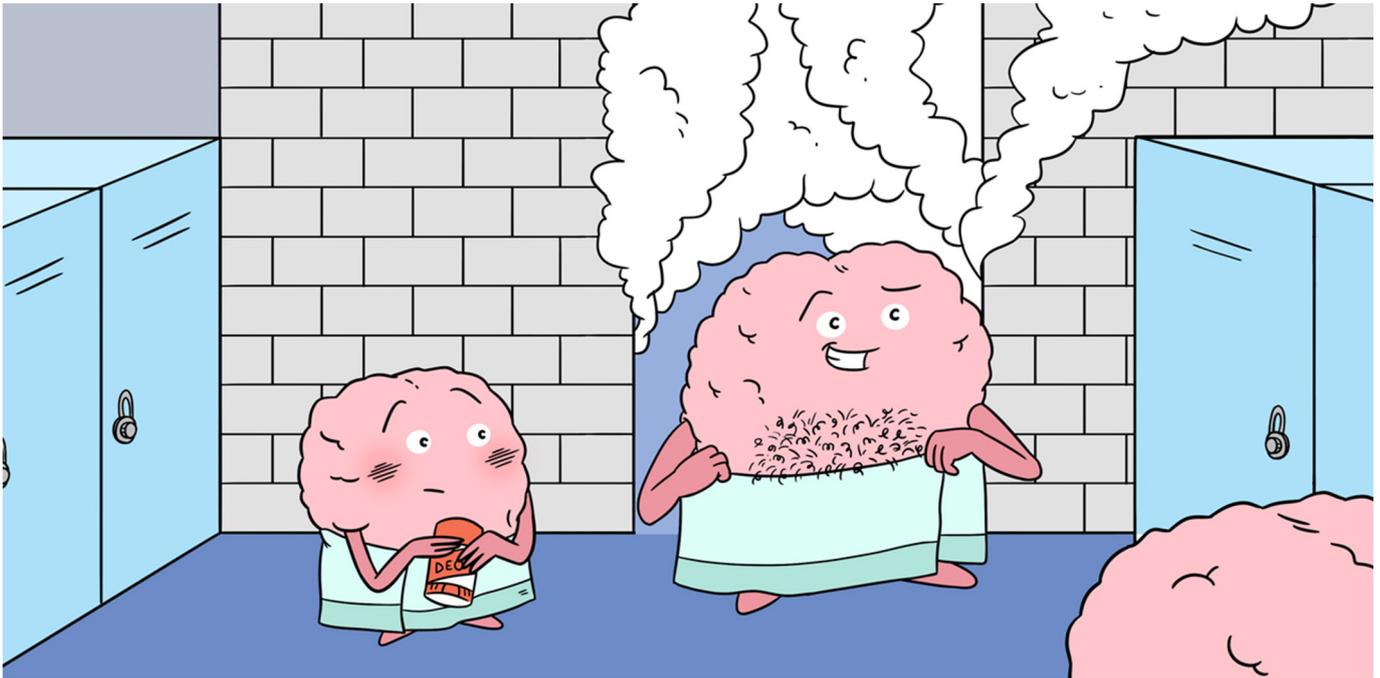


TODD MILFORD

Todd M. Milford ist außerordentlicher Professor für naturwissenschaftliche Bildung an der University of Victoria und Vorsitzender des Fachbereichs Lehrpläne und Unterricht. Zuvor war er Dozent in der Art, Law, and Education Group an der Griffith University in Brisbane, Australien. Er fährt gerne mit dem Fahrrad und spielt oft Basketball vor seinem Haus.

German version provided by
Deutsche Version von

 **JACOBS
FOUNDATION**
Our Promise to Youth



DEIN GEHIRN IN DER PUBERTÄT

Marjolein E. A. Barendse*, Theresa W. Cheng und Jennifer H. Pfeifer

Labor für entwicklungsorientierte sozialwissenschaftliche Neurowissenschaften im Fachbereich Psychologie der Universität Oregon, Eugene, OR, Vereinigte Staaten

JUNGE*R GUTACHTER*IN:



BENJAMIN

ALTER: 11

Die Pubertät ist ein normaler Teil der menschlichen Entwicklung, aber sie verläuft bei jedem anders. Bei einigen Teenagern kommt die Pubertät früher als bei anderen, und bei einigen geht sie wiederum schneller vorbei. Gleichaltrige Kinder können sehr unterschiedlich aussehen, da ihre Körper mit unterschiedlicher Geschwindigkeit wachsen. Forscher haben jedoch entdeckt, dass sich während der Pubertät nicht nur dein Körper, sondern auch dein Gehirn verändert. Das liegt daran, dass die Pubertät Veränderungen der Hormone mit sich bringt, die sich an deine Gehirnzellen anheften und die Art und Weise verändern, wie dein Gehirn lernt und wächst. Diese Veränderungen sind nützlich, weil sie dazu beitragen, das Gehirn für neue Formen des Lernens vorzubereiten. Sie können aber auch einige Stolpersteine bergen – zum Beispiel kann es sein, dass du Risiken eingehst, die nicht ganz so positive Folgen haben könnten. In diesem Artikel erklären wir, was die Pubertät mit dem Gehirn macht und warum diese Veränderungen deines Gehirns wichtig sind, um dich auf das Erwachsenenalter vorzubereiten.

HORMONE

Kleine Botenstoffe, die im Blutkreislauf zu verschiedenen Teilen des Körpers wandern. Testosteron und Estradiol sind zwei Hormone, die für die Körperveränderungen in der Pubertät wichtig sind.

REZEPTOR

Eine Struktur in oder auf einer Zelle, an die sich ein Hormon oder ein anderer Botenstoff anheften kann.

Abbildung 1

Eine Gehirnzelle und alle ihre Teile. Das Kästchen ist eine vergrößerte Darstellung, wie sich Hormone an Rezeptoren in oder auf der Zelle anheften können. In Blau wird Myelin angezeigt, eine Schutzfolie, die sich um das Axon legt und die Signale schneller passieren lässt. end of axon of other brain cell = Ende des Axons einer anderen Gehirnzelle.

WAS IST PUBERTÄT UND WAS SIND HORMONE?

Die Pubertät ist ein normaler Teil der menschlichen Entwicklung, die in den frühen Teenagerjahren einsetzt. Wenn du an die Pubertät denkst, denkst du vielleicht an Pickel, Körpergeruch und Haarwuchs – neben vielen anderen, manchmal unangenehmen körperlichen Erscheinungen – aber hast du eine Ahnung, was in deinem Körper passiert, das diese Veränderungen hervorruft? Das Gehirn signalisiert dem Körper, mit der Pubertät zu beginnen, indem es Botschaften in Form von **Hormonen** weitergibt. Hormone sind kleine körpereigene Moleküle, die in deinem Blutkreislauf zu verschiedenen Teilen des Körpers wandern, einschließlich des Gehirns. Hormone sind wichtig, um Botschaften über weite Entfernungen in deinem Körper weiterzuleiten, damit verschiedene Organe miteinander kommunizieren können. Wenn ein Hormon seinen Bestimmungsort erreicht, heftet es sich an seinen so genannten „**Rezeptor**“ auf oder in einer Zelle an (siehe **Abbildung 1**). Dies löst eine Reaktion in der Zelle aus, die das Verhalten der Zelle und sogar ihr Überleben beeinflussen kann. Wie die Zelle reagiert, hängt vom Zelltyp und der Art des Hormons ab.

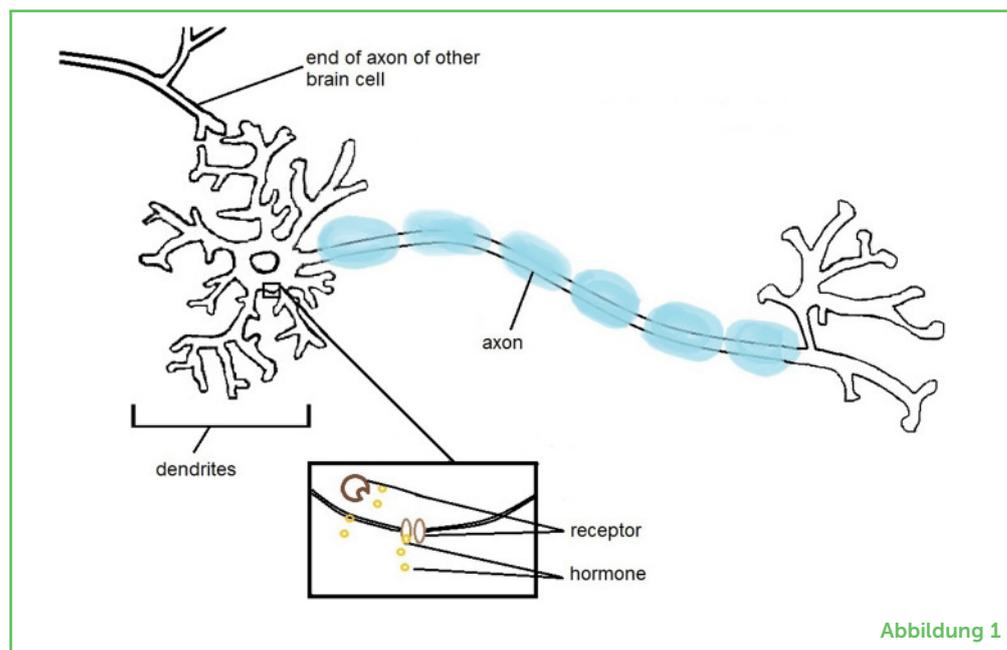


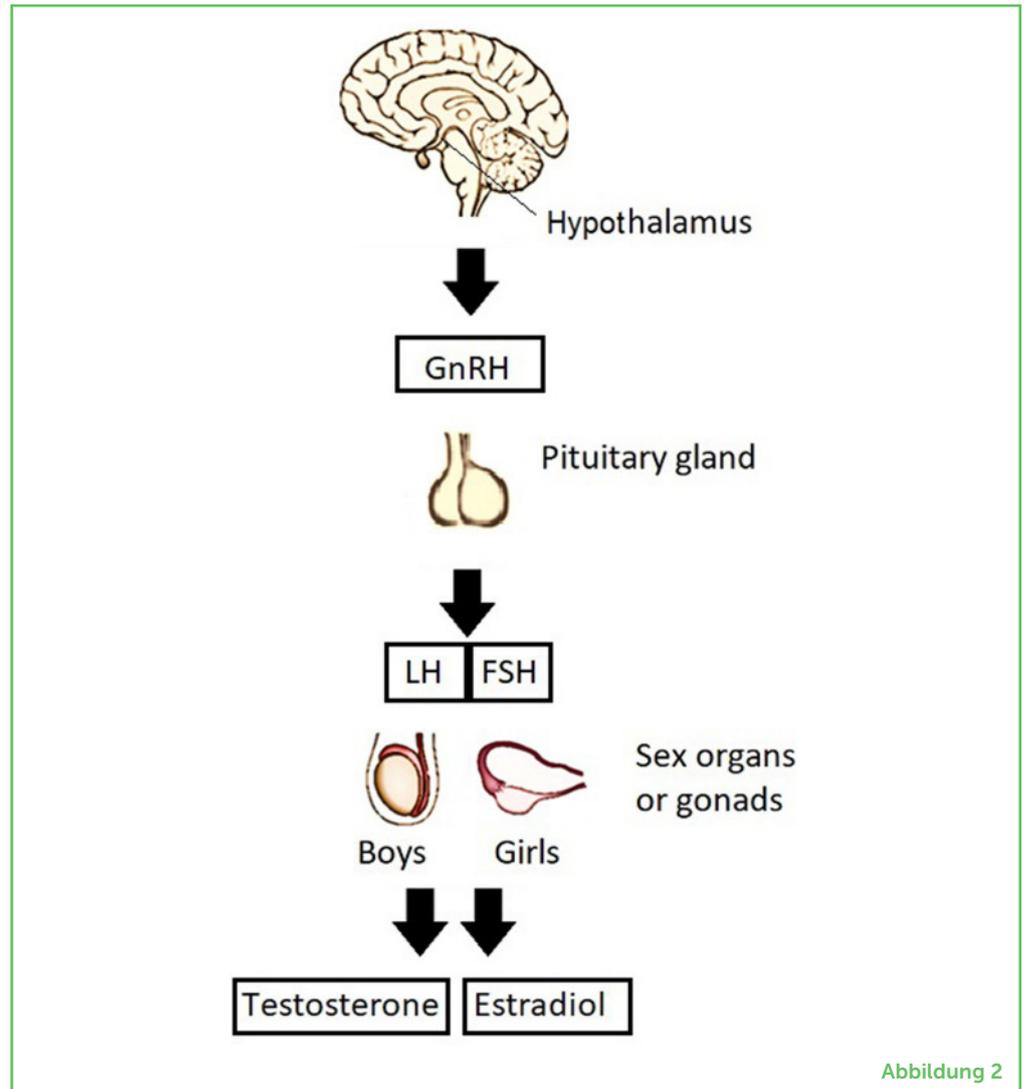
Abbildung 1

Hormone sind wirklich wichtig, um den Prozess der Pubertät in Gang zu bringen. Das liegt daran, dass die Pubertät beginnt, wenn das Gehirn dem Körper signalisiert, mehr von bestimmten Hormonen zu produzieren. **Abbildung 2** erklärt, wie das funktioniert.

Testosteron und Estradiol sind zwei wichtige Hormone, die einen Großteil der Körperveränderungen in Gang setzen, die Menschen mit der Pubertät assoziieren. Der Testosteronspiegel steigt bei Jungen viel stärker an, während bei Mädchen der Estradiolspiegel gravierend zunimmt. Testosteron kann zum Beispiel zu den Haarzellen gelangen,

Abbildung 2

Diese Abbildung zeigt, wie ein Signal aus dem Gehirn zu einem Anstieg der Pubertätshormone führt. Es beginnt in einer Hirnregion, die man als Hypothalamus bezeichnet. Dort wird ein Hormon namens GnRH produziert, das zur Hypophyse (Pituitary gland), einem kleinen Organ im unteren Teil des Gehirns, wandert. In der Hypophyse werden andere Hormone gebildet (LH und FSH). Sie wandern dann zu deinen Geschlechtsorganen (Sex organs or gonads) (das sind die Hoden im männlichen Körper und die Eierstöcke im weiblichen Körper), die wiederum Testosteron und Estradiol bilden.



was zu dunkleren und dickeren Haaren und zu Haarwuchs an den Achselhöhlen oder im Gesicht führt. Estradiol ist wichtig für die Brustentwicklung bei Mädchen. Sowohl Testosteron als auch Estradiol sind auch wichtig für die Fruchtbarkeit und ermöglichen es den Menschen, Kinder zu bekommen.

Das Alter, in dem dieser ganze Prozess stattfindet, ist sehr individuell und bei jedem anders. Im Durchschnitt beginnen Mädchen die Pubertät im Alter von etwa 10 Jahren, während Jungen ein Jahr später in die Pubertät eintreten. Ein Teil der individuellen Unterschiede beruht auf den Genen, aber sie hängen zum Teil auch mit früheren Erfahrungen in der Kindheit zusammen. Kinder, die zum Beispiel viele stressige Phasen in jungem Alter durchgemacht haben, neigen dazu, etwas früher in die Pubertät einzutreten.

HORMONE KÖNNEN VERÄNDERN, WIE DAS GEHIRN ORGANISIERT IST UND WIE SICH GEHIRNZELLEN VERHALTEN

DENDRIT

Der Teil der Gehirnzelle, der Signale von anderen Zellen empfängt.

AXON

Der Teil der Gehirnzelle, der Signale an andere Zellen sendet.

AMYGDALA

Eine kleine Region in der Nähe des unteren Teils des Gehirns, die für die Verarbeitung von Emotionen wie Angst wichtig ist.

Hormone wie Testosteron und Estradiol können sich an deine Gehirnzellen anheften. Eine Gehirnzelle sieht anders aus als Zellen in anderen Teilen des Körpers: sie hat zwar auch einen Zellkörper, aber auch Teile, die wie herausstehende Drähte aussehen (siehe [Abbildung 1](#)). Eine Gehirnzelle hat oft viele kürzere „Drähte“, genannt **Dendriten**, um Signale von anderen Zellen zu empfangen. Diese Zellen haben auch einen längeren „Draht“, genannt **Axon**, der Signale an andere Zellen sendet.

Es gibt im Wesentlichen zwei Möglichkeiten, wie Hormone deine Gehirnzellen beeinflussen [1]. Erstens können Hormone den Aufbau des Gehirns beeinflussen, und das sind Veränderungen, die einige Zeit in Anspruch nehmen. Veränderungen in der Gehirnorganisation können Veränderungen in der Anzahl der Zellen oder in der Größe und Form von Dendriten oder Axonen umfassen. Testosteron zum Beispiel beeinflusst die Entwicklung neuer Zellen in einer bestimmten Hirnregion, der so genannten **Amygdala**.

Da Jungen während der Pubertät mehr Testosteron produzieren, wird die Amygdala bei jungen Männern größer als bei Mädchen [2]. Das wurde mithilfe der Tierforschung festgestellt, aber Studien an Menschen, die den Hormonspiegel und die Größe der Amygdala untersuchten, deuten darauf hin, dass die Prinzipien beim Menschen ähnlich sind.

Zweitens kann ein Hormon die Art und Weise bestimmen, in der die Gehirnzellen als Reaktion auf eine Situation oder Umgebung aktiviert werden. Hormone können einer Zelle helfen oder sie daran hindern, Signale mit anderen Zellen auszutauschen. Dies kann auch zu langfristigen Veränderungen der Gehirnzellen führen. Zum Beispiel steigt der Testosteronspiegel bei Mäusen (und Menschen) während eines Wettkampfes oder einer Auseinandersetzung. Eine Studie zeigte, dass Mäuse, die einen Kampf gewinnen, mehr Rezeptoren für Testosteron in Hirnregionen entwickeln, die für Belohnung und Sozialverhalten wichtig sind [3]. Diese neuen Rezeptoren könnten auch das Verhalten der Maus im nächsten Kampf verändern. Diese Beobachtung deutet auf einen Prozess hin, bei dem Erfahrungen, wie der Gewinn eines Kampfes, und Hormone zusammenwirken, um die Entwicklung des Gehirns zu gestalten. Dieser Prozess ist besonders wichtig während der Pubertät, wenn der Hormonspiegel höher ist als in der Kindheit, während das Gehirn sich aber noch in der Entwicklung befindet.

Es gibt noch vieles, was wir nicht darüber wissen, wie Hormone die Organisation und die Aktivitäten von Gehirnzellen beim Menschen bestimmen. Wir wissen, dass diese Auswirkungen sich bei Jungen

und Mädchen und bei verschiedenen Hirnregionen unterscheiden. Forscher fangen gerade erst an herauszufinden, inwiefern die hormonbedingten Veränderungen im Gehirn für Verhalten und Lernen wichtig sind, so dass es immer noch viele unbeantwortete Fragen gibt.

IN DER PUBERTÄT KANN ES SCHWIERIGER SEIN, EINIGE DINGE ZU LERNEN, ABER LEICHTER, SICH ANDERE ANZUEIGNEN

Kinder können bestimmte Dinge besser lernen als Teenager oder Erwachsene. Beispielsweise sind Kleinkinder besonders gut im Erlernen neuer Sprachen. Es wird viel schwieriger, eine zweite Sprache mit 9 bis 11 Jahren zu lernen. Dies ist wahrscheinlich auf Veränderungen in der Art und Weise zurückzuführen, wie das Gehirn Sprache und andere Sprachinformationen verarbeitet. Eine Studie untersuchte die Rolle der Pubertät bei diesen Veränderungen. Die Forscherinnen und Forscher ließen Kinder Ausdrücke in einer gefälschten „fremden“ Sprache hören und untersuchten, wie das Gehirn versuchte, dem Gehörten einen Sinn zu geben [4]. Die Aktivität in mehreren für die Sprache wichtigen Hirnregionen veränderte sich mit zunehmendem Alter der Kinder. Die Aktivität in einigen dieser sprachbezogenen Hirnregionen war auch bei Kindern, die noch in der Pubertät waren, geringer. Dies deutet darauf hin, dass die Pubertät bei den sich verändernden Reaktionen des Gehirns auf Sprache eine Rolle spielen könnte.

Die Pubertät könnte jedoch Möglichkeiten für andere Lernarten schaffen. Sie könnte Gelegenheiten bieten, etwas über sich selbst zu erfahren und soziale und emotionale Fähigkeiten zu entwickeln, die Teenager auf das Erwachsenenalter vorbereiten. Das Gehirn könnte sich während der Teenagerjahre auf eine Weise verändern, die ein solches Lernen unterstützt. Ein wichtiger Teil der Entwicklung neuer Fähigkeiten ist zum Beispiel das Reagieren auf Feedback, das heißt, die Art und Weise, wie dein Gehirn Informationen verarbeitet, die dir sagen, ob du die richtige Antwort erhalten hast oder nicht. In einer Studie mit über 200 Kindern, Teenagern und Erwachsenen wurde untersucht, wie das Gehirn beim Lernen von Feedback reagiert. Wie gut die Menschen aus dem Feedback lernten, hing mit der Aktivierung in verschiedenen Teilen des **Striatums**, eines für das Lernen besonders wichtigen Gehirnbereichs, zusammen. Einige Teile des Striatums waren bei Teenagern aktiver als bei Kindern oder Erwachsenen, was darauf hindeutet, dass die Menschen während ihrer Teenagerjahre auf unterschiedliche Weise von Feedback lernen könnten [5].

Ein weiterer wichtiger Teil der Entwicklung neuer Fähigkeiten erfordert Erkundungen und Risiken, wie das Teilen von Informationen über sich selbst, das Ausprobieren eines neuen Hobbys, in dem man vielleicht nicht gut ist, oder der Versuch, mit jemandem zu reden, in den man

STRIATUM

Ein Bereich in der Mitte des Gehirns, der Belohnungen und Rückmeldungen verarbeitet. Es wird Striatum genannt, weil es durch die wechselnden Gewebearten dort gestreift aussieht.

verknallt ist. Die Entscheidung, ein Risiko einzugehen, könnte leichter sein, wenn du vermutest, dass du etwas zu gewinnen hast – wie etwa eine Belohnung. Wissenschaftler haben festgestellt, dass ein Teil des Striatums auch dann aktiviert wird, wenn eine Person Belohnungen erhält, einschließlich Nahrung und Geld. Eine Studie über Menschen im Alter von 8-27 Jahren konzentrierte sich auf diese Gehirnregion. Die Forscher fanden heraus, dass Menschen, die in der Pubertät weiter fortgeschritten waren und Menschen, die mehr Testosteron im Körper hatten, bei einer Belohnung eine stärkere Aktivierung in diesem Teil des Striatums zeigten. Das legt nahe, dass Hormone wichtig sein könnten, um dein Gehirn während der Pubertät empfindlicher für Belohnungen zu machen [6].

Diese Studien zeigen, dass sich die Art und Weise, wie das Gehirn auf Feedback und Belohnungen reagiert, irgendwann während der Pubertät verändert. Dies kann Teenager dazu ermutigen, mehr über sich selbst und andere zu erfahren, was die Selbstentdeckung und das persönliche Wachstum fördert. Diese Veränderungen des Gehirns könnten jedoch auch mit der Tatsache zusammenhängen, dass sich bestimmte psychische Gesundheitsprobleme und Drogenabhängigkeiten tendenziell im Teenageralter entwickeln. Wenn Teenager zum Beispiel empfindlicher auf Belohnungen reagieren, könnten sie auch empfindlicher auf bestimmte Gefühle reagieren, die der Konsum von Alkohol oder Drogen hervorruft. Außerdem können Kinder, die früher oder schneller in die Pubertät kommen als ihre Altersgenossen, mehr Probleme mit ihrer psychischen Gesundheit haben. Dieses Phänomen könnte nach Ansicht der Forscher zum Teil darauf zurückzuführen sein, dass Hormone einen anderen Einfluss auf ihr Gehirn haben – aber es sind weitere Forschungen erforderlich, um herauszufinden, ob dies zutrifft. Die meisten Kinder gehen ohne psychische Schwierigkeiten durch die Pubertät, und Forscher untersuchen Möglichkeiten, wie noch mehr Kinder dabei unterstützt werden können, positivere Erfahrungen zu machen.

SCHLUSSFOLGERUNG

Die Pubertät ist eine Zeit großer Veränderungen, einschließlich Veränderungen, die zuweilen unangenehm, verwirrend oder überwältigend sein können. Einige dieser Veränderungen sind auf die Wirkung von Hormonen auf Zellen im gesamten Körper, einschließlich des Gehirns, zurückzuführen. Hormone können dein Gehirn langfristig beeinflussen, indem sie direkt verändern, wie das Gehirn organisiert ist oder wie es auf bestimmte Situationen reagiert. Diese Veränderungen könnten wichtig sein, um neue Lernmöglichkeiten zu eröffnen, die Teenager auf das Erwachsenenalter vorbereiten, obwohl die gleichen Veränderungen im Gehirn auch andere Arten des Lernens beenden könnten, die in der frühen Kindheit stattfinden. Schulen könnten in der Lage sein, von diesen Veränderungen des Gehirns ihrer Schüler zu profitieren, indem sie zum Beispiel positive Formen des Erforschens

und der Risikobereitschaft fördern. Lernen ist mehr als Mathematik und Lesen. Das Treffen von Entscheidungen, die uns helfen, uns selbst und andere besser zu verstehen, ist eine weitere wichtige Art des Lernens, für die das Gehirn in der Pubertät besonders empfänglich sein könnte.

DANKSAGUNGEN

TC wurde vom National Center for Advancing Translational Sciences der National Institutes of Health unter der Auszeichnungsnummer TL1TR002371 unterstützt. Der Inhalt lag allein in der Verantwortung der Autor*innen und gibt nicht unbedingt die offizielle Meinung der National Institutes of Health wieder. Die Autor*innen möchten sich bei allen bedanken, die bei der Übersetzung der Artikel in dieser Sammlung mitgeholfen haben, um sie für Kinder außerhalb des englischsprachigen Raums zugänglicher zu machen, sowie bei der Jacobs Foundation für die Bereitstellung der für die Übersetzung der Artikel erforderlichen Mittel.

REFERENZEN

1. Schulz, K. M., Molenda-Figueira, H. A., and Sisk, C. L. 2009. Back to the future: the organizational-activational hypothesis adapted to puberty and adolescence. *Horm. Behav.* 55:597–604. doi: 10.1016/j.yhbeh.2009.03.010
2. Ahmed, E. I., Zehr, J. L., Schulz, K. M., Lorenz, B. H., DonCarlos, L. L., and Sisk, C. L. 2008. Pubertal hormones modulate the addition of new cells to sexually dimorphic brain regions. *Nat. Neurosci.* 11:995–7. doi: 10.1038/nn.2178
3. Fuxjager, M. J., Forbes-Lorman, R. M., Coss, D. J., Auger, C. J., Auger, A. P., and Marler, C. A. 2010. Winning territorial disputes selectively enhances androgen sensitivity in neural pathways related to motivation and social aggression. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 107:12393–8. doi: 10.1073/pnas.1001394107
4. McNealy, K., Mazziotta, J. C., and Dapretto, M. 2011. Age and experience shape developmental changes in the neural basis of language-related learning. *Dev. Sci.* 14:1261–82. doi: 10.1111/j.1467-7687.2011.01075.x
5. Peters, S., and Crone, E. A. 2017. Increased striatal activity in adolescence benefits learning. *Nat. Commun.* 8:1983. doi: 10.1038/s41467-017-02174-z
6. Braams, B. R., van Duijvenvoorde, A. C. K., Peper, J. S., and Crone, E. A. 2015. Longitudinal changes in adolescent risk-taking: a comprehensive study of neural responses to rewards, pubertal development, and risk-taking behavior. *J. Neurosci.* 35:7226–38. doi: 10.1523/JNEUROSCI.4764-14.2015

HERAUSGEBER*IN: Jessica Massonnie

WISSENSCHAFTLICHE*R MENTOR*IN: Zoltan Sarnyai

ZITAT: Barendse MEA, Cheng TW und Pfeifer JH (2023) Dein Gehirn in der Pubertät. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00053-de

ÜBERSETZT UND ÜBERNOMMEN VON: Barendse MEA, Cheng TW and Pfeifer JH (2020) Your Brain on Puberty. *Front. Young Minds* 8:53. doi: 10.3389/frym.2020.00053

INTERESSENKONFLIKT: Die Autor*innen erklären hiermit, dass ihre Forschung ohne kommerzielle oder finanzielle Unterstützung durchgeführt wurde, aus der sich ein Interessenkonflikt ergeben könnte.

URHEBERRECHTE © 2020 © 2023 Barendse, Cheng und Pfeifer. Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der [Creative-Commons-Attribution-Lizenz \(CC BY\)](#) verbreitet wird. Die Verwendung, Verbreitung oder Vervielfältigung in anderen Foren ist gestattet, sofern der/die Originalautor*innen und der/die Urheberrechtsinhaber*innen genannt werden und die Originalveröffentlichung in dieser Zeitschrift gemäß anerkannter wissenschaftlicher Praxis zitiert wird. Eine Nutzung, Verbreitung oder Vervielfältigung, die diesen Bedingungen nicht entspricht, ist nicht gestattet.

JUNGE*R GUTACHTER*IN



BENJAMIN, ALTER: 11

Meine Lieblingsfächer in der Schule sind Mathe und Englisch, weil ich gerne neue Informationen lerne und es liebe, herausgefordert zu werden. Die außerschulischen Aktivitäten, die mir am meisten Spaß machen, sind Wasserball, weil ich gerne im Team arbeite und dadurch viele neue Freunde gefunden habe. Seit ich in Oxford eine lebende Gehirnzelle beim Feuern gesehen habe, arbeite ich auf das Ziel hin, Arzt zu werden. Das tue ich, indem ich viele Artikel lese und mir Vorträge anhöre, und ich liebe Hunde.

AUTOR*INNEN



MARJOLEIN E. A. BARENDSE

Ich bin Postdoktorandin im Fachbereich entwicklungsorientierte sozialwissenschaftliche Neurowissenschaften an der Universität von Oregon. Bevor ich in Oregon zu arbeiten begann, habe ich in den Niederlanden und in Australien studiert. Ich bin fasziniert davon, wie das Gehirn und die Pubertät funktionieren und von all den Dingen, die die Gehirnentwicklung bei Kindern und Teenagern prägen. In meiner Freizeit gehe ich gerne klettern und reise an Orte, an denen ich noch nie gewesen bin. *barendse@uoregon.edu



THERESA W. CHENG

Ich studiere Psychologie und Neurowissenschaften im wunderschönen Bundesstaat Oregon. In meiner Arbeit zeige ich auf, wie Pubertät, Stress und soziale Erfahrungen das Gehirn von Teenagern verändern. Ich war früher Naturwissenschaftslehrerin an Mittel- und Oberschulen, und eines der besten Dinge an meiner Arbeit ist es, mit den Menschen über Wissenschaft zu sprechen. Wenn ich nicht gerade forsche, dann koche, tanze und wandere ich gerne. Für mein naturwissenschaftliches Projekt in der achten Klasse versuchte ich aufzuzeigen, dass das Essen in unserer Schulkantine

illegal war – mit anderen Worten, nicht nahrhaft genug, um den Anforderungen der staatlichen Vorschriften gerecht zu werden!

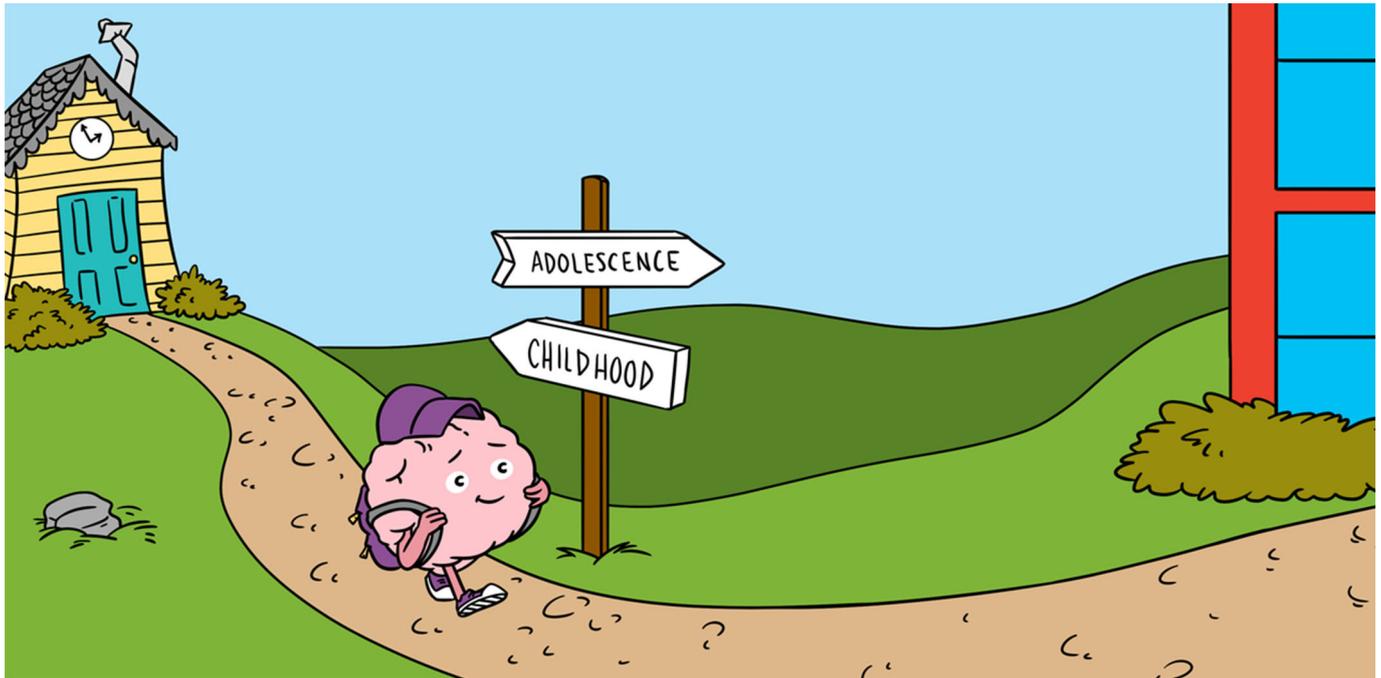


JENNIFER H. PFEIFER

Ich untersuche wie sich die großen Veränderungen, die Jugendliche in ihrem Gehirn, ihrem Körper und ihrer sozialen Welt erfahren, auf ihr Wohlbefinden auswirken. Ich konzentriere mich auf Zeiten, in denen viele Veränderungen auf einmal geschehen – wie zum Beispiel, wenn man in die Pubertät kommt und in die Mittelschule geht, oder wenn man dabei ist, die Highschool abzuschließen und aufs College geht oder zu arbeiten anfängt. Diese wichtigen Übergänge können hart sein, sind aber große Chancen, junge Menschen in positive Bahnen zu lenken. Ich spiele gerne Klavier und suche an der Küste nach Edelsteinen.

German version provided by
Deutsche Version von





DAS GEHIRN DER JUGENDLICHEN IST IN DER TAT BEEINDRUCKEND

Kathryn L. Mills^{1,2*} und Jeya Anandakumar^{1,3}

¹Labor für die Erforschung der kontextuellen Gehirnentwicklung, Fachbereich Psychologie, Zentrum für transnationale Neurowissenschaften der Universität Oregon, Eugene, OR, Vereinigte Staaten

²Forschungszentrum PROMENTA, Fachbereich Psychologie der Universität Oslo, Oslo, Norwegen

³Staatliche Universität Portland, Portland, OR, Vereinigte Staaten

JUNGE GUTACHTER*INNEN:



ISABELLA

ALTER: 13



ALINE

ALTER: 13



MARILIA

ALTER: 13

Das menschliche Gehirn durchläuft eine lange Entwicklungsphase. Während sich das Gehirn in der Kindheit dramatisch verändert, gibt es auch im zweiten Lebensjahrzehnt, welches wir als Adoleszenz bezeichnen, Veränderungen, die diese Lebensphase so beeindruckend machen. Das Gehirn von Teenagern verändert sich schneller als das von Erwachsenen, und im Gegensatz zu Kindern haben Jugendliche eine bessere Fähigkeit, die Entwicklung des Gehirns mitzuformen. Die erhöhten Fähigkeiten zur Informationsverarbeitung und die soziale Sensibilität in der Adoleszenz machen diese Lebensphase auch zu einer Zeit, in der die Fähigkeit, sich in unserer komplexen Welt zurechtzufinden, zunimmt. In diesem Artikel wird erörtert, wie die aktuelle Forschung zur Gehirnentwicklung genutzt werden kann, um Heranwachsende kompetent zu befähigen, die Welt um sie herum kennenzulernen. Wir geben Empfehlungen dazu ab, wie Bildungseinrichtungen

die Entwicklung des Gehirns fördern und die Lernumgebung während der Adoleszenz optimieren können.

EINLEITUNG

Das Gehirn der Jugendlichen ist **beeindruckend**, und hier möchten wir erklären, warum das so ist. Die Adoleszenz ist der Lebensabschnitt, der oft mit körperlichen Veränderungen beginnt, die wiederum im Zusammenhang mit der Pubertät stehen. Aber auch das Gehirn verändert sich in dieser Zeit und erlebt auch weitere Veränderungen nach dem Ende der Pubertät bis weit in unser drittes Lebensjahrzehnt [1]! Die Veränderungen im Gehirn zeigen sich in den Verhaltensänderungen, die wir während der Adoleszenz oft beobachten können, wie z. B. dem Wunsch zu erforschen, neue Beziehungen einzugehen und sich in unserer sich verändernden sozialen Welt zurechtzufinden.

VERÄNDERUNGEN DER GEHIRNSTRUKTUR WÄHREND DER ADOLESCENZ

Forscher verwenden eine Technik namens **Magnetresonanztomographie** (MRT), die Magnete und Radiowellen einsetzt, um Fotos des Gehirns zu machen, während die zu untersuchende Person in einem Scanner liegt, der wie ein riesiger Donut aussieht (**Abbildung 1**). MRT-Studien können uns zeigen, wie sich das menschliche Gehirn in seiner Struktur (Anatomie) und Organisation (wie es vernetzt ist) im Laufe der Adoleszenz verändert.

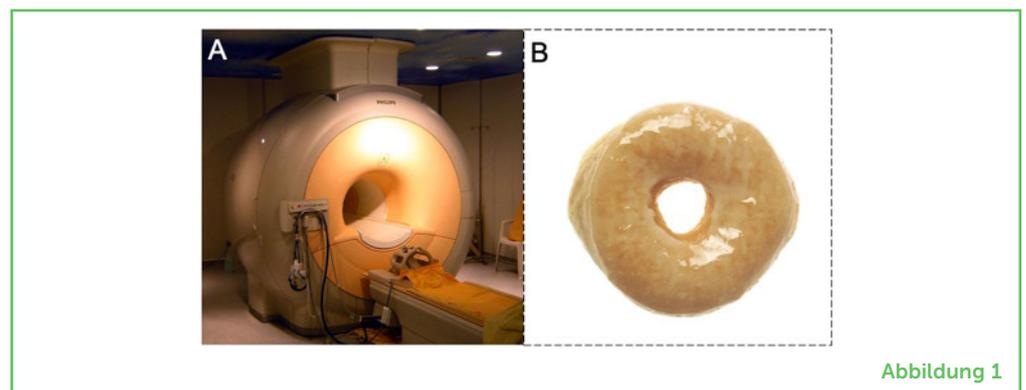


Abbildung 1

Das Gehirn besteht aus vielen Teilen, aber hier konzentrieren wir uns auf die Gewebe des **Cerebrums** oder Großhirns, das den größten Teil des Gehirns ausmacht (**Abbildung 2A**). Das Großhirn besteht aus zwei Arten von Gewebe, die als graue und weiße Substanz bezeichnet werden. Die graue Substanz, die sich aus Gehirnzellen, genannt **Neuronen**, und deren Verbindungen zusammensetzt, findet sich sowohl an der Außenseite des Großhirns (genannt **Kortex**), als

BEEINDRUCKEND

Große Bewunderung, Besorgnis oder Furcht wecken.

MAGNETRESONANZ-BILDGEBUNG

Eine Möglichkeit, den Körper zu scannen, um Bilder von seinem Inneren wie etwa vom Gehirn zu machen.

Abbildung 1

(A) Eine Magnetresonanztomographie (MRT) sieht aus wie (B) ein Donut.

CEREBRUM (GROßHIRN)

Der vordere Teil des Gehirns, der für Gedanken, Entscheidungen, Emotionen und den Charakter zuständig ist.

NEURONEN

Nervenzellen.

KORTEX

Die äußere Schicht des Cerebrums, die aus gefalteter grauer Substanz besteht.

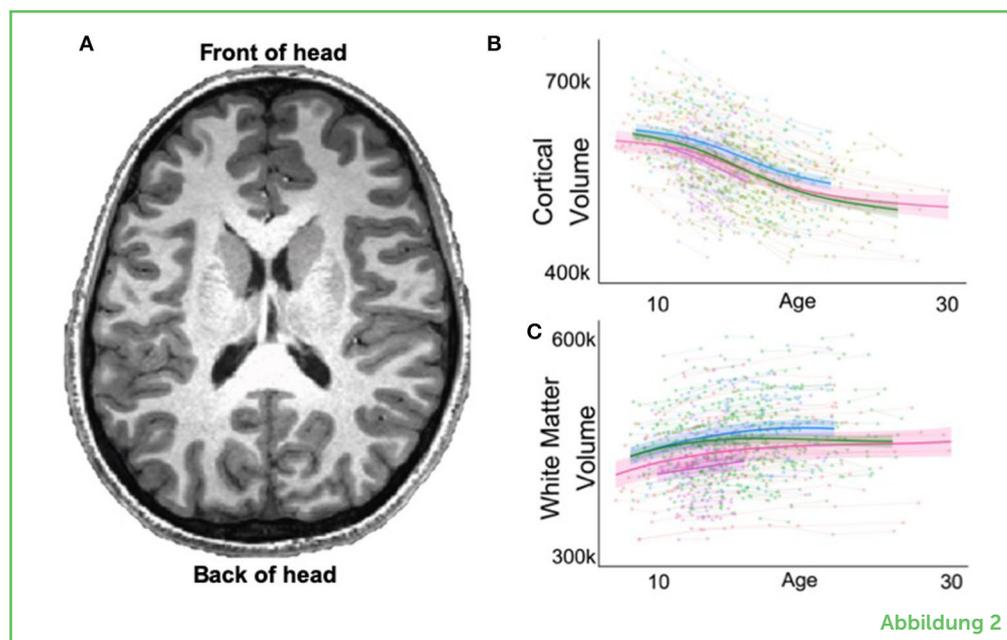
Abbildung 2

(A) Ein Bild eines Abschnitts vom menschlichen Großhirn, das mit Hilfe der MRT erstellt wurde. Die Ansicht ist so ausgerichtet, als würde man vom Scheitelpunkt des Kopfes nach unten in das Gehirn blicken. Die grauen Schnörkel, die sich um die weißen Bereiche krümmen, sind die graue Substanz der Hirnrinde, und die weißen Bereiche sind wiederum die weiße Substanz. (B) Die Menge der grauen Substanz in der Hirnrinde nimmt während der Adoleszenz ab. (C) Die Menge der weißen Substanz im Großhirn nimmt während der Adoleszenz zu. Sowohl in B als auch in C steht jeder Punkt auf dem Diagramm für das Hirnmaß eines Individuums zu einem bestimmten Zeitpunkt, wie es mit der MRT erfasst wird. Punkte werden verbunden, um die von einer Person gesammelten Messungen anzuzeigen. Die Daten wurden in vier verschiedenen Forschungslabors gesammelt, und der Durchschnitt der Daten an jedem Standort ist mit den vier fettgedruckten Linien dargestellt (Abbildung nach Tamnes et al. [2] und Mills et al. [1]).

AXON

Lange dünne Teile eines Neurons, die Signale von einem Ende des Neurons zum anderen Ende senden.

auch tief im Inneren des Großhirns. Die graue Substanz enthält die meisten neuronalen Zellkörper und bildet Regionen des Gehirns, die für die Muskelsteuerung, Sinneswahrnehmung, Entscheidungsfindung und Selbstkontrolle von entscheidender Bedeutung sind. Die graue Substanz nimmt während der Adoleszenz ab, und zwar um etwa 1,5% pro Jahr ([1]; [Abbildung 2B](#)). Dieser Rückgang ist jedoch keine schlechte Sache! Es wird angenommen, dass die Abnahme der grauen Substanz mit dem Feinschliff der Verbindungen zwischen den Gehirnzellen zusammenhängt und auch mit der Zunahme des anderen Gewebes im Großhirn zu tun hat: der weißen Substanz.



Die weiße Substanz des Großhirns befindet sich unter der Hirnrinde und besteht aus langen Fasern von Neuronen, genannt **Axone**, die die Signale senden, und somit die verschiedenen Teile des Gehirns miteinander verbinden. Die weiße Substanz nimmt in der frühen Adoleszenz zu, scheint aber bis zur Mitte der Teenager-Jahre stabil zu bleiben ([Abbildung 2C](#)). Die Forscher gehen davon aus, dass die Zunahme der weißen Substanz mit einer Zunahme der Geschwindigkeit der zwischen den Gehirnzellen gesendeten Signale zusammenhängt. Anatomische Darstellungen der grauen und weißen Substanz sind in [Abbildung 3](#) zu sehen.

WIE VERÄNDERT SICH DIE GEHIRNORGANISATION WÄHREND DER ADOLESCENZ?

Forscher können die MRT auch nutzen, um zu sehen, wie das Gehirn organisiert ist, d.h. wie verschiedene Teile des Gehirns miteinander verbunden sind. Weil sich das Gehirn so gravierend in der Adoleszenz verändert, kann seine Organisation durch das, was wir tun, unsere Erfahrungen und die Umgebungen, in denen wir leben, beeinflusst

Abbildung 3

Die Silhouette eines Mädchens mit einem Bild des menschlichen Gehirns überlagert, um eine andere Ansicht des menschlichen Gehirns zu veranschaulichen. In der Mitte ist eine Zeichnung eines Querschnitts des menschlichen Gehirns zu sehen, die die weiße Substanz unter der Hirnrinde zeigt. Die Trakte der weißen Substanz bilden die weiße Substanz, wobei ein Satz Trakte der weißen Substanz (die so genannten Corona radiata) abgebildet ist. Im gelben Kasten ist eine Zeichnung der kortikalen Säule eines sich entwickelnden Menschen abgebildet. Diese Zeichnung zeigt, wie die Neuronen im Kortex angeordnet sind, aber das Volumen der kortikalen grauen Substanz umfasst auch viele zelluläre Komponenten, die hier nicht zu sehen sind, darunter Gliazellen und Blutgefäße. Diese Zeichnungen stammen aus zwei Repositorien mit frei verwendbaren Bildern: Wikimedia Commons und Pixabay.

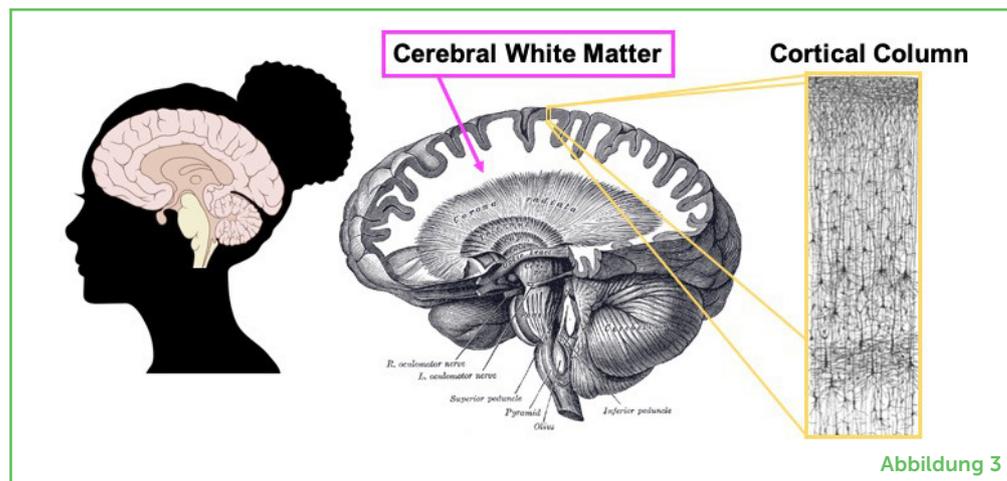


Abbildung 3

werden. Das Gehirn ist ein großes Netzwerk - verschiedene Regionen des Gehirns kommunizieren miteinander, während eine Person verschiedene Funktionen oder Verhaltensweisen ausführt, wie z. B. über andere Menschen nachzudenken oder sich in der jeweiligen Umgebung zu bewegen. Diese Hirnkommunikationsmuster können mit einer etwas anderen Technik, der funktionellen MRT (fMRT), untersucht werden. Mit dieser Technik wird die Sauerstoffmenge im Blut, welches im gesamten Gehirn fließt, als Maß für die Hirnaktivität untersucht. Wenn verschiedene Regionen des Gehirns ähnliche Muster der Hirnaktivität zeigen, spricht man davon, dass sie funktionell miteinander verbunden sind.

Es hat sich erwiesen, dass typische Verhaltensweisen, die wir während der Adoleszenz beobachten, wie das Denken über andere Menschen und das Treffen von Entscheidungen, mit bestimmten Mustern der Hirnaktivität zwischen funktionell verbundenen Regionen im Gehirn zusammenhängen. Nicht jeder Teenager hat die gleiche Gehirnorganisation, und nicht jeder Teenager verhält sich wie ein typischer Teenager. Die Art und Weise, wie Individuen sich in ihren Mustern der Hirnaktivität unterscheiden, kann mit Unterschieden im Verhalten zusammenhängen.

Ein Beispiel für ein Verhalten, das sich während der Adoleszenz ändert, wird als **zeitliche Diskontierungspräferenz** bezeichnet. Dieses Verhalten hat damit zu tun, wie lange wir bereit sind, auf Belohnungen zu warten, insbesondere ob ein Individuum eine kleinere Belohnung wählt, die sofort verfügbar ist, oder eine größere Belohnung, auf die er oder sie warten muss. Wir untersuchten, wie sich diese Präferenz beim Übergang in die Adoleszenz verändert. Wir fanden heraus, dass Muster der Hirnaktivität, die Hirnregionen miteinander verbinden, die an der Steuerung unseres Verhaltens beteiligt sind, und Hirnregionen, die an der Bewertung von Dingen in der Welt beteiligt sind, mit der zeitlichen Diskontierungspräferenz eines Individuums zusammenhängen [3]. Es mag zwar das Klischee bestehen, dass Jugendliche im Allgemeinen

ZEITLICHE DISKONTIERUNGS- PRÄFERENZ

Die Präferenz des Einzelnen, ob er sich für eine kleinere, sofort verfügbare Belohnung entscheiden würde oder ob er bereit wäre, auf eine größere Belohnung zu einem späteren Zeitpunkt zu warten.

nicht die Geduld haben, auf eine größere Belohnung zu warten, wenn eine kleinere Belohnung sofort verfügbar ist, aber unsere Studie ergab, dass sich die einzelnen Personen in ihrem Verhalten unterscheiden, und diese Unterschiede hängen mit der individuellen Gehirnorganisation zusammen.

Bildgebende Studien des Gehirns haben gezeigt, dass sich das Gehirn in der Adoleszenz reorganisiert. Weil sich unser Gehirn so sehr verändert, können unsere Erfahrungen in der Jugend die Organisation des Gehirns mitgestalten. Indem wir uns auf bestimmte Verhaltensmuster einlassen, verstärken wir bestimmte Muster der Hirnaktivität. Das ermöglicht Sprünge in der intellektuellen und emotionalen Entwicklung während der Adoleszenz.

WARUM DAS SICH VERÄNDERNDE GEHIRN DER JUGENDLICHEN EINE EINZIGARTIGE CHANCE DARSTELLT

Veränderungen in der Struktur und Organisation des Gehirns während der Adoleszenz sind größer als das, was wir im Erwachsenenalter erleben, aber geringer als das, was wir im Säuglings- und Kindesalter durchlaufen. Aber im Gegensatz zur Kindheit ist die Adoleszenz eine Zeit, in der wir eine größere Möglichkeit haben, die Entwicklung unseres eigenen Gehirns tatsächlich mitzugestalten. Das liegt daran, dass wir mehr über uns selbst und die Welt verstehen können, dass wir motivierter und engagierter sind und dass wir besser in der Lage sind, Entscheidungen zu treffen, die sich auf das sich verändernde Gehirn auswirken können. Das ist es, was das Gehirn der Jugendlichen so beeindruckend macht.

Zu den Fähigkeiten des Gehirns, die während der Adoleszenz zunehmen, gehören abstraktes Denken, die Berücksichtigung vieler Standpunkte und die Fähigkeit, über den Prozess des Denkens nachzudenken. Einige Untersuchungen legen nahe, dass Jugendliche sogar eine größere Fähigkeit als Erwachsene und Kinder haben, Probleme auf neue und kreative Weise zu lösen, da sie in der Lage sind, gleichzeitig über verschiedene Konzepte nachzudenken [4]. Die Fähigkeiten des Gehirns, die bereits während der Adoleszenz vorhanden sind, können genutzt werden, um ein weiteres gesundes Hirnwachstum zu fördern, aber dazu müssen die Jugendlichen die Freiheit haben, ihre eigenen Entscheidungen zu treffen. Wenn man zum Beispiel Jugendliche ermutigt, sich eigene Ziele zu setzen, wird die Hirnaktivität gefördert, die an der Bildung der Selbstidentität und an der Berücksichtigung langfristiger Konsequenzen beteiligt ist. Jugendliche sind oft sehr besorgt darüber, wie sie von ihren Altersgenossen wahrgenommen werden. Während dieser Aspekt der sozialen Sensibilität oft als negativer Aspekt jugendlichen Verhaltens bezeichnet wird, kann er tatsächlich ein positiver Aspekt sein, wenn das soziale Umfeld gesund ist [5]. Ein weiteres Beispiel für

soziale Sensibilität, die während der Adoleszenz zunimmt, ist die Beschäftigung mit größeren sozialen Strukturen und Weltereignissen [6]. Erwachsene, die oft eine größere Fähigkeit zur Veränderung des sozialen Umfeldes haben als Heranwachsende, sollten darauf hinarbeiten, Jugendlichen mehr Möglichkeiten für ein positives Hirnwachstum zu geben.

WAS KÖNNEN IHRE LEHRERINNEN UND LEHRER TUN, UM DIE LERNUMGEBUNG HERANWACHSENDER SCHÜLERINNEN UND SCHÜLER ZU OPTIMIEREN?

Da das Gehirn in der Adoleszenz so leicht gestaltet werden kann, ist es für Lehrer und Eltern wichtig, das sich entwickelnde Gehirn zu fördern. Die Optimierung der schulischen Lernumgebung ist eine der wirksamsten Möglichkeiten, Jugendliche zu unterstützen. Was wir über das sich entwickelnde Gehirn wissen, ist, dass Heranwachsende im Vergleich zu jüngeren Kindern eine größere Fähigkeit haben, komplexere Themen zu verstehen. Zu verstehen, was in ihren eigenen Gehirnen passiert, kann Jugendlichen helfen, ihre eigene Entwicklung zu beeinflussen. Eine Möglichkeit dazu besteht darin, Entwicklungsthemen wie Entscheidungsfindung, Drogenabhängigkeit, Konfliktauflösung und Bildungsplanung in den Lehrplan der Schulen zu integrieren. Hier sind einige andere Möglichkeiten zur Optimierung der schulischen Lernumgebung. Überlege dir, ob du diese nicht mit deinen Lehrerinnen und Lehrern teilen möchtest!

LERNEN KOOPERATIV UND VIELFÄLTIG GESTALTEN

Anstatt die Motivation zu sozialen Kontakten während der Adoleszenz zu ignorieren, können sich Lehrer diese soziale Motivation zunutze machen, indem sie Gruppendiskussionen und Engagement unter den Schülern fördern. Die Schülerinnen und Schüler um Ratschläge und Feedback zu Unterrichtsaktivitäten bitten, kann dazu beitragen, dass sie sich interessiert und stärker in die Lernumgebung eingebunden fühlen.

Die Einbeziehung von Schülern und Schülerinnen aus verschiedenen Jahrgangsstufen kann ihnen helfen, neue Fähigkeiten zu erlernen. Es kann ihnen auch helfen, ein Projekt aus verschiedenen Perspektiven zu betrachten, da Schüler und Schülerinnen aus verschiedenen Altersgruppen unterschiedliche Fertigkeiten zu einer Diskussion oder zu einem Projekt beitragen können.

KLASSENZIMMERUMGEBUNG ÄNDERN

Denk bitte an dein Klassenzimmer. Wie sind die Bänke und Stühle angeordnet? Stehen sie in geraden langen Reihen oder in kleinen Kreisen? Es könnte sich wie soziale Isolation anfühlen, in langen Reihen zu sitzen und die Klassenkameraden nur von hinten oder von der Seite sehen zu können. Diese Art der Anordnung der Tische und/oder Stühle kann geändert werden, um eine fördernde Atmosphäre für Zusammenarbeit und Lernen zu schaffen. Ziehe es in Erwägung, deinen Lehrer oder deine Lehrerin zu fragen, ob er/sie bereit ist, neue Arrangements wie kleine Kreise für die Bänke und Stühle auszuprobieren. Neben dem Respekt vor der inhärenten sozialen Motivation der Adoleszenz kann das Umstellen von Klassenzimmermöbeln auch bei sozialen Ängsten helfen, da es einfacher sein könnte, die anderen Schülerinnen und Schüler in der Gruppe zu erreichen und mit ihnen zu sprechen.

SELBSTÄNDIGKEIT FÖRDERN

Lehrerinnen und Lehrer können die Selbständigkeit im Klassenzimmer fördern, indem sie den Schülerinnen und Schülern die Führung überlassen. Dazu könnte gehören, dass die Lernenden einen Teil des Lehrplans oder die Richtlinien für ein Projekt ausarbeiten können. Wenn Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit haben, das zu erforschen, was sie interessiert, wird das Lernen vorangetrieben. Wenn die Schülerinnen und Schüler in der Lage sind, ihre eigenen Richtlinien zu erstellen und Schwierigkeiten durch harte Arbeit und Zusammenarbeit zu überwinden, werden sie besser darauf vorbereitet sein, neue Herausforderungen anzunehmen und in schwierigen Situationen erfolgreich zu sein.

MIT DER GEMEINSCHAFT INTERAGIEREN

Die typische Klassenzimmerumgebung könnte sich zu künstlich und zu strukturiert anfühlen. Die Schüler sollten ermutigt werden, mit der Welt außerhalb des Klassenzimmers zusammenzuarbeiten. Gemeinschaftsbezogene Exkursionen könnten den Schülerinnen und Schülern helfen, die im Unterricht gelernten Dinge in der realen Welt umzusetzen. Dies ergänzt die erhöhte Sensibilität gegenüber der eigenen sozialen Welt, die während der Adoleszenz auftritt.

WAS BEDEUTET DAS FÜR DICH?

Die Adoleszenz ist eine Zeit des schnellen Wachstums, der Entwicklung und des Lernens. Das stellt eine einzigartige Gelegenheit für Jugendliche dar, die Entwicklung des Gehirns tatsächlich mitgestalten zu können. Wir können bestimmte Muster

unserer Gehirnaktivität verstärken, indem wir uns auf bestimmte Verhaltensweisen einlassen. Eine der Möglichkeiten, wie du dich in deiner eigenen Entwicklung engagieren kannst, besteht darin, zu lernen und zu verstehen, was in deinem eigenen Gehirn gerade passiert. Beeindruckend, oder?

AUTORENBEITRAG

KM umriss das Papier. KM und JA haben das Papier geschrieben.

DANKSAGUNGEN

Wir möchten den Rezensent*innen und Herausgeber*innen dieses Artikels für ihre hilfreichen Kommentare und Vorschläge danken. KM möchte sich bei Celilo Mitchell und Jerome Mitchell für ihre Inspiration bedanken. Wir danken auch allen, die an der Übersetzung der Artikel dieser Sammlung mitgewirkt haben, um sie für Kinder außerhalb des englischsprachigen Raums besser zugänglich zu machen, sowie der Jacobs Foundation für die Bereitstellung der für die Übersetzung der Artikel erforderlichen Mittel.

REFERENZEN

1. Mills, K. L., Goddings, A. L., Herting, M. M., Meuwese, R., Blakemore, S. J., Crone, E. A., et al. 2016. Structural brain development between childhood and adulthood: convergence across four longitudinal samples. *Neuroimage* 141:273–81. doi: 10.1016/j.neuroimage.2016.07.044
2. Tamnes, C. K., Herting, M. M., Goddings, A. L., Meuwese, R., Blakemore, S. J., Dahl, R. E., et al. 2017. Development of the cerebral cortex across adolescence: a multisample study of inter-related longitudinal changes in cortical volume, surface area, and thickness. *J. Neurosci.* 37, 3402–12.
3. Anandakumar, J., Mills, K. L., Earl, E. A., Irwin, L., Miranda-Dominguez, O., Demeter, D. V., et al. 2018. Individual differences in functional brain connectivity predict temporal discounting preference in the transition to adolescence. *Dev. Cogn. Neurosci.* 34:101–13. doi: 10.1016/j.dcn.2018.07.003
4. Stevenson, C. E., Kleibeuker, S. W., de Dreu, C. K. W., and Crone, E. A. 2014. Training creative cognition: adolescence as a flexible period for improving creativity. *Front. Hum. Neurosci.* 8:827. doi: 10.3389/fnhum.2014.00827
5. Telzer, E. H. 2016. Dopaminergic reward sensitivity can promote adolescent health: a new perspective on the mechanism of ventral striatum activation. *Dev. Cogn. Neurosci.* 17:57–67. doi: 10.1016/j.dcn.2015.10.010
6. Sherrod, L. 2007. "Civic engagement as an expression of positive youth development," in *Approaches to Positive Youth Development*, eds R. K. Silbereisen and R. M. Lerner (London: SAGE Publications Ltd), 59–74. doi: 10.4135/9781446213803

HERAUSGEBER*IN: Sabine Peters

WISSENSCHAFTLICHE MENTOR*INNEN: Aikaterini Dounavi und Carmen E. Flores Nakandakare

ZITAT: Mills KL und Anandakumar J (2023) Das Gehirn der Jugendlichen ist in der Tat beeindruckend. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00075-de

ÜBERSETZT UND ÜBERNOMMEN VON: Mills KL and Anandakumar J (2020) The Adolescent Brain is Literally Awesome. *Front. Young Minds* 8:75. doi: 10.3389/frym.2020.00075

INTERESSENKONFLIKT: Die Autor*innen erklären hiermit, dass ihre Forschung ohne kommerzielle oder finanzielle Unterstützung durchgeführt wurde, aus der sich ein Interessenkonflikt ergeben könnte.

URHEBERRECHTE © 2020 © 2023 Mills und Anandakumar. Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der [Creative-Commons-Attribution-Lizenz \(CC BY\)](#) verbreitet wird. Die Verwendung, Verbreitung oder Vervielfältigung in anderen Foren ist gestattet, sofern der/die Originalautor*innen und der/die Urheberrechtsinhaber*innen genannt werden und die Originalveröffentlichung in dieser Zeitschrift gemäß anerkannter wissenschaftlicher Praxis zitiert wird. Eine Nutzung, Verbreitung oder Vervielfältigung, die diesen Bedingungen nicht entspricht, ist nicht gestattet.

JUNGE GUTACHTER*INNEN



ISABELLA, ALTER: 13

Mein Name ist Isabella und ich bin 13 Jahre alt. Ich bin in New York geboren und lebe in der Schweiz. Ich liebe Kunst, lese Bücher, singe, tanze und spiele Klavier. Mein Lieblingssport ist Schwimmen. Ich habe auch großes Interesse an Mathematik, Natur und Naturwissenschaft, insbesondere an allem, was mit Raum, Zeit und Materie zu tun hat. In Zukunft möchte ich gerne Luftfahrtingenieurin oder Architektin werden. Ich bin immer sehr neugierig darauf, mehr über die Welt um uns herum zu erfahren.



ALINE, ALTER: 13

Mein Name ist Aline, ich bin 13 Jahre alt. Zu meinen liebsten Hobbys gehören das Theater, Klarinette spielen, Zeichnen und Lesen. Ich bin von der griechischen Mythologie fasziniert; zu meinen Lieblingsbüchern gehören die Harry-Potter- und die Percy-Jackson-Reihen. In der Schule machen mir Mathe und die Naturwissenschaften wirklich Spaß.



MARILIA, ALTER: 13

Hallo! Mein Name ist Marilia. Ich bin 13 Jahre alt und ich mag Schlittschuhlaufen, rhythmische Gymnastik und Fußball spielen. Ich habe einen kleinen Hund, den ich liebe! Eines Tages möchte ich nach Australien reisen und die Koalas sehen. Ich bin gerne mit meinen Freunden zusammen und gehe mit ihnen schwimmen oder schaue mir Filme an.

AUTOR*INNEN



KATHRYN L. MILLS

Kate Mills ist Assistenzprofessorin in der Abteilung für Psychologie an der Universität von Oregon. Sie untersucht, wie sich das Gehirn von der Kindheit bis zum Erwachsenenalter verändert und wie wir die Strategien entwickeln, um in unserer spezifischen Umgebung zu gedeihen. Sie verbringt ihre gesamte Freizeit mit ihrer Familie, erkundet und genießt die schönen Orte rund um ihr Haus in Eugene, Oregon. *klmills@uoregon.edu



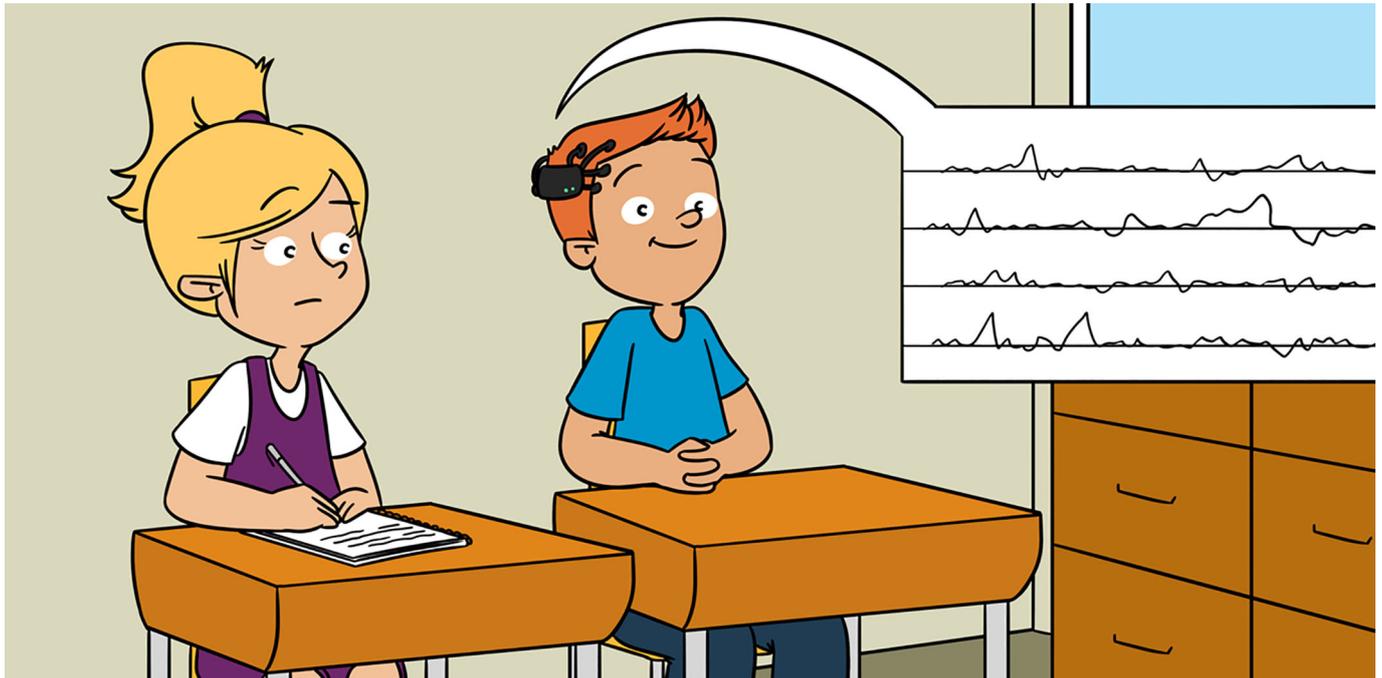
JEYA ANANDAKUMAR

Jeya Anandakumar ist Studentin im Grundstudium an der Staatlichen Universität Portland in Portland, Oregon. Sie hat Biologie als Hauptfach und Chemie als Nebenfach mit Schwerpunkt auf Neurowissenschaften. Ihre Forschungsinteressen umfassen Entwicklungsneurowissenschaften und Neurogenetik. Zuvor war sie als junge Rezensentin für Frontiers for Young Minds tätig. In ihrer Freizeit spielt sie gerne Flöte und nimmt Tanzunterricht.

German version provided by

Deutsche Version von

 **JACOBS
FOUNDATION**
Our Promise to Youth



GEHIRNWELLEN IM KLASSENZIMMER MESSEN

Nienke van Atteveldt^{1*}, Tieme W. P. Janssen¹ und Ido Davidesco²

¹Fakultät für Verhaltens- und Bewegungswissenschaften, Sektion Klinische Entwicklungspsychologie und Learn!-Institut, Freie Universität (VU) Amsterdam, Amsterdam, Niederlande

²Fachbereich Pädagogische Psychologie, University of Connecticut, Storrs, CT, Vereinigte Staaten

JUNGE GUTACHTER*INNEN:

THE
SCHOOL
FOR
SCIENCE
AND MATH
AT
VANDERBILT
ALTER: 14–15



GEHIRNWELLEN

Zyklen elektrischer Ströme, die von Gruppen von Neuronen zur gleichen Zeit erzeugt werden.

Hirnforscher untersuchten die Funktionsweise des Gehirns lange Zeit nur in Speziallabors an Universitäten oder Krankenhäusern. Vor einigen Jahren haben Forscher begonnen, tragbare Geräte für ihre Untersuchungen zu verwenden, die Menschen außerhalb des Labors auf dem Kopf tragen können. Mit diesen Geräten können Forscher zum Beispiel die Hirnaktivität von Schülern in Klassenzimmern während des Schulunterrichts messen. Das klingt futuristisch und vielleicht auch ein wenig unheimlich. In diesem Artikel erklären wir, was solche Geräte genau tun, aber auch, was sie nicht messen – sie können zum Beispiel nicht deine Gedanken lesen! Außerdem erläutern wir, wie diese Art der Forschung für dich und deine Mitschüler nützlich sein kann.

Hast du schon mal von **Gehirnwellen** gehört und dich gefragt, was das genau ist? Nachfolgend erklären wir dir, was Gehirnwellen sind, wie sie im Labor und im Klassenzimmer gemessen werden können und was es überhaupt bringt, sie zu messen.

NEURONEN

Zellen in deinem Gehirn, die miteinander kommunizieren, indem sie elektrische Signale übertragen.

EEG

Elektroenzephalografie; eine Technik, bei der kleine Detektoren, sogenannte Elektroden, auf der Kopfhaut einer Person mit einer Kappe oder einem Headset angebracht werden. Das EEG misst die elektrische Aktivität von Gruppen von Neuronen, die ähnliche elektrische Signale zur gleichen Zeit übertragen.

ELEKTRODE

Ein auf der Kopfhaut platzierter Detektor, der beim EEG verwendet wird, um die elektrischen Ströme aufzuzeichnen, die von Neuronen im Gehirn erzeugt werden.

FREQUENZ

Geschwindigkeit einer Gehirnwellen; Anzahl der Auf- und Abwärtsbewegungen einer Gehirnwellen in 1 s. Die Einheit der Frequenz in Hertz (Hz); 1 Hz bedeutet einen Zyklus pro Sekunde.

FREQUENZBAND

Ein Frequenzbereich von Gehirnwellen, der mit einem bestimmten Geisteszustand verbunden ist. Zum Beispiel werden Frequenzen im Bereich von 1–4 Hz als Delta-Band bezeichnet, was Tiefschlaf bedeutet.

EEG: MESSUNG DER ELEKTRISCHEN AKTIVITÄT IM GEHIRN

Die Zellen in deinem Gehirn heißen **Neuronen**, und dein Gehirn hat ungefähr 86 Milliarden solcher Neuronen. Diese Neuronen sind sehr gesprächig, genau wie die Schüler in einem Klassenzimmer. Aber anstatt Worte zu verwenden, kommunizieren Neuronen über winzige elektrische Signale, die sie erzeugen. Diese Signale steigen und sinken in ihrer Intensität ähnlich wie Wellen–und genau deshalb heißen diese Wellen auch Gehirnwellen. Wir können Gehirnwellen mit einer Technik messen, die als Elektroenzephalografie bekannt ist (**EEG**), bei der kleine Detektoren, sogenannte Elektroden, auf dem Kopf einer Person angebracht werden [1]. Normalerweise werden all diese Elektroden (bis zu 256!) von einer Kappe gehalten, aber neuerdings gibt es auch tragbare Geräte, die weniger **Elektroden** in schickeren Headsets enthalten. Das EEG kann die elektrische Aktivität der einzelnen Gehirnzellen nicht messen, weil die von den einzelnen Neuronen erzeugten elektrischen Ströme zu klein sind. Diese Ströme können nur gemessen werden, wenn viele Neuronen gleichzeitig ähnliche elektrische Signale übertragen. Stell dir ein Musikfestival mit Tausenden von Menschen vor. Wenn nur eine Person klatscht, wird die Band auf der Bühne das nicht hören, aber wenn das ganze Publikum gleichzeitig klatscht, wird sie das sicher hören.

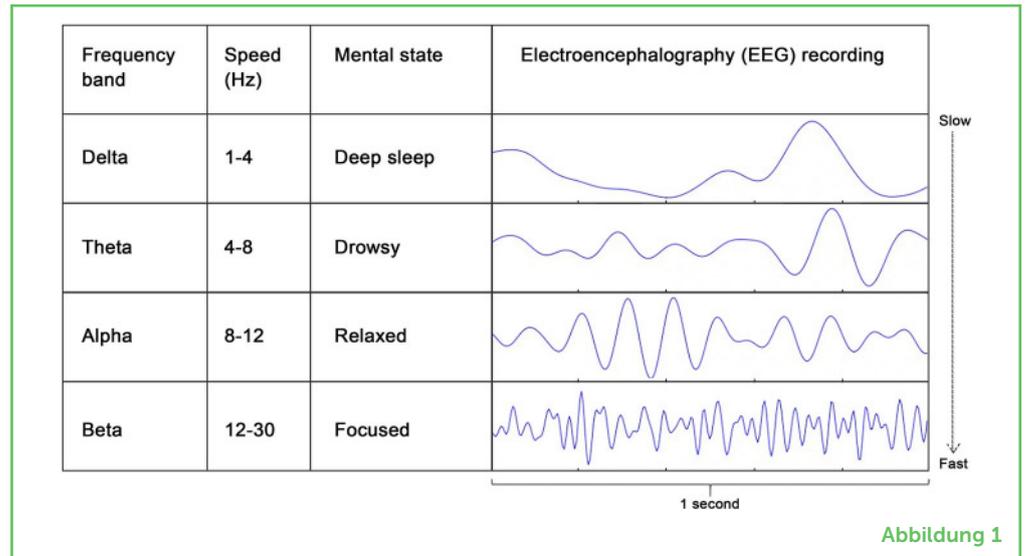
GEHIRNWELLEN: LANGSAM UND SCHNELL

Gehirnwellen variieren in ihrer Geschwindigkeit. Man kann sich langsame Gehirnwellen als große Wellen im Ozean vorstellen, die ein Schiff auf und ab bewegen, und schnelle Gehirnwellen als kleine Wellen auf der Wasseroberfläche. Wenn wir das EEG verwenden, erhalten wir eine Mischung aus schnellen und langsamen Gehirnwellen, die zur gleichen Zeit auftreten.

Warum ist dies eigentlich interessant? Stell dir vor, du bist früh am Morgen noch nicht ganz wach und noch verträumt. Wenn wir deine Gehirnwellen in diesem Moment mit dem EEG messen würden, sähen wir relativ langsame Gehirnwellen. Nun stell dir was anderes vor: Du bist in der Schule und legst eine Prüfung ab, wobei du dich intensiv konzentrierst. In dieser Situation könnten wir schnellere Gehirnwellen feststellen. Diese Beispiele zeigen, dass die Geschwindigkeit der Gehirnwellen davon abhängt, in welchem Zustand du dich gerade befindest. Die Geschwindigkeit der Gehirnwellen wird als **Frequenz** bezeichnet. Mit dem EEG können wir verschiedene Frequenzbereiche identifizieren. Zum Beispiel entspricht der Delta-Bereich relativ langsamen Gehirnwellen, die in einer Sekunde 1-4 Mal auf- und abgehen, oder 1-4 Hertz (Hz), was einer Frequenzeinheit entspricht. **Abbildung 1** zeigt einen Überblick über die Frequenzbereiche (auch **Frequenzbänder** genannt) und wie diese mit deinem psychischen Zustand zusammenhängen.

Abbildung 1

EEG-Frequenzbänder von langsam bis schnell und wie sie mit dem psychischen Zustand zusammenhängen. Die Gehirnwellenfrequenz wird in Hertz (Hz) gemessen, das ist die Anzahl der Wellen pro Sekunde. Deep sleep = im Tiefschlaf; Drowsy = Schläfrig; Relaxed = Entspannt; Focused = Konzentriert.



JENSEITS VON LANGSAM UND SCHNELL: EREIGNISBEZOGENE POTENZIALE

Obwohl EEG-Frequenzbänder sehr spannend sind, können nicht alle Fragen durch ihre Untersuchung beantwortet werden. Zum Beispiel: Wie versteht das Gehirn die Worte, die du hörst, oder wie kontrolliert es Impulse, beispielsweise, deine jüngere Schwester nicht zu schlagen, wenn sie dich verrückt macht? Für solche Fragen analysieren die Forscher die Gehirnwellen auf andere Weise: durch Berechnung des ereignisbezogenen Potenzials oder **ERP**.

ERP

Ereignisbezogenes Potenzial, gemessen mittels EEG. ERPs sind die elektrischen Gehirnreaktionen auf bestimmte Ereignisse, wie das Hören eines Tons oder das Lesen eines Wortes. Bei der ERP-Methode führen die Teilnehmer eine computergestützte Aufgabe aus, bei der ein bestimmtes Ereignis mehrmals wiederholt wird. Diejenigen Teile des EEG-Signals, die durch dieses wiederholte Ereignis verursacht werden, werden herausgefiltert, wobei die ereignisunabhängigen (zufälligen) Hirnaktivitäten herausgemittelt werden, sodass der relevante Teil des EEG übrig bleibt; dies ist das ERP.

ERPs sind die elektrischen Gehirnreaktionen auf bestimmte Ereignisse, wie das Lesen eines Wortes oder die Kontrolle eines Impulses. Bei der ERP-Methode werden diejenigen Teile des EEG-Signals untersucht, die durch diese bestimmten Ereignisse verursacht werden. Bei dieser Methode wird das EEG aufgezeichnet, während der Teilnehmer eine computergestützte Aufgabe ausführt, die eigens zur Untersuchung einer bestimmten Funktion des Gehirns, z. B. der Impulskontrolle, bestimmt ist.

Hier ist ein Beispiel für eine solche Aufgabe, die als „Go-/No-Go“-Aufgabe bezeichnet wird (**Abbildung 2**): Auf dem Bildschirm erscheinen verschiedene Buchstaben, einer nach dem anderen. Ein „X“ bedeutet „Taste drücken“ (Go!), und ein „O“ bedeutet „Taste NICHT drücken“ (No Go!). Das „X“ wird in dieser Aufgabe viel häufiger gezeigt als das „O“. Die Teilnehmer bereiten sich innerlich automatisch darauf vor, die Taste zu drücken, sobald ein Buchstabe auf dem Bildschirm erscheint – sogar wenn es ein „O“ ist. Die Teilnehmer müssen ihren Impuls, im Falle eines „O“ die Taste zu drücken, unter Kontrolle halten. Nach Beendigung der Aufgabe untersuchen die Forscher das EEG, das während des Anzeigens der „X“ und „O“ auf dem Bildschirm

aufgezeichnet wurde. Kannst du erraten, an welchem der beiden Buchstaben sie mehr interessiert sind?

Abbildung 2

Die Go-/No-Go-Aufgabe. Die Buchstaben X und O erscheinen nacheinander auf dem Bildschirm. Die Teilnehmer werden gebeten, so schnell wie möglich die Taste zu drücken, wenn sie ein X sehen, und die Taste NICHT zu drücken, wenn sie ein O sehen. Das X erscheint sehr oft und das O nur gelegentlich. Folglich ist es schwierig, den Impuls zum Drücken der Taste zu unterdrücken, wenn ein O auf dem Bildschirm erscheint.

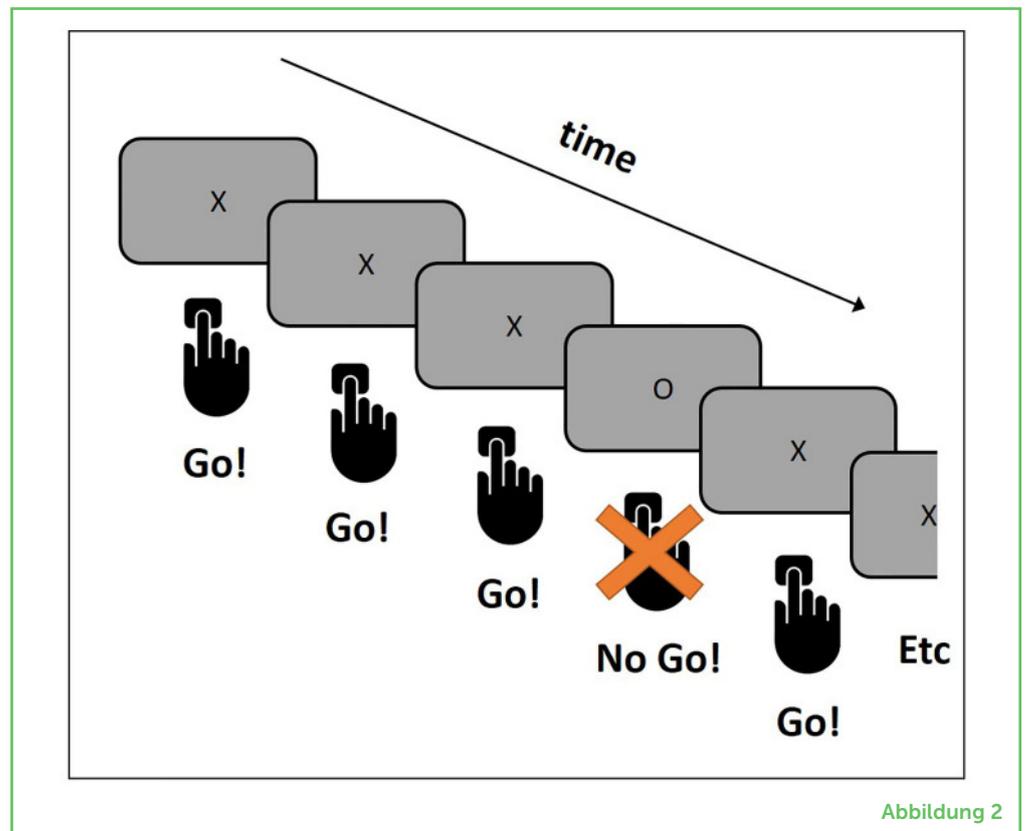


Abbildung 2

Die Forscher interessieren sich am meisten für die EEG-Reaktion auf die „O“, denn bei diesem Buchstaben muss der Teilnehmer seinen Impuls, die Taste zu drücken, unterdrücken. Um die Gehirnreaktion auf die „O“ zu untersuchen, isoliert der Forscher die EEG-Reaktion auf jedes angezeigte „O“ und mittelt sie. Die gemittelte EEG-Reaktion auf dieses bestimmte Ereignis ist das ERP, und es spiegelt den Versuch des Gehirns, einen Impuls zu unterdrücken, wider. Man kann sich den Prozess der Berechnung des ERP wie ein Sieb vorstellen, das Stücke des EEG-Signals, die nicht von Interesse sind, ausfiltert. Es ist wichtig zu verstehen, dass dabei nur die Signale übrig bleiben, an denen die Forscher am meisten interessiert sind.

DIE GRENZEN VON LABOREXPERIMENTEN

Wissenschaftler haben durch EEG- und ERP-Untersuchungen in Labors viel über die Funktionsweise des Gehirns gelernt. Wenn wir solche Untersuchungen durchführen, messen wir normalerweise die Hirnaktivität bei der Ausführung von computergestützten Aufgaben durch die Probanden. Mit solchen Aufgaben soll eine bestimmte Gehirnfunktion gemessen werden, zum Beispiel das Lesen von Wörtern, Rechnen oder die Impulskontrolle. In der Regel

unterscheiden sich solche Laboraufgaben erheblich von den Dingen, die wir in unserem Alltag tun.

Denk zum Beispiel an die Aufgabe mit den häufigen „X“ und seltenen „O“, die zur Untersuchung der Impulskontrolle verwendet wurden. Ist dies dasselbe wie die Kontrolle deiner Impulse, dich zu bewegen oder dich mit einem anderen Schüler zu unterhalten, während dein Lehrer Anweisungen gibt? Im EEG-Labor sitzt man allein, in einem ruhigen Raum, man führt eine Aufgabe aus wie das Drücken von Tasten und bemüht sich, in bestimmten Fällen die Taste nicht zu drücken. Dieses Laborexperiment kann uns einiges darüber verraten, wie das Gehirn Impulse steuert, aber was sagt es darüber aus, wie Kinder mit ihren Impulsen in der Schule umgehen? Genau hierin liegt eine Einschränkung der Laborexperimente: Sie messen die Hirnaktivität in eher künstlichen Situationen [2].

VERWENDUNG EINES TRAGBAREN EEG IM KLASSENZIMMER

Ein weiterer Aspekt des menschlichen Verhaltens, der sich in einem Labor nur schwer untersuchen lässt, ist, wie Menschen miteinander interagieren, zum Beispiel, wie Schülerinnen und Schüler in der Schule miteinander umgehen. Labor-Experimente sind bei der Beantwortung dieser Frage äußerst begrenzt, aber jüngste Entwicklungen im Bereich des tragbaren EEG ermöglichen es Wissenschaftlern nun, Hirnforschung außerhalb des Labors durchzuführen.

Genau das hat vor Kurzem ein Forscherteam der New York University getan [3]. Die Forscher arbeiteten mit einer örtlichen Highschool zusammen und maßen die Hirnaktivität eines Lehrers und einer Gruppe von Schülern während 11 Biologiestunden (**Abbildung 3A**). In jeder Unterrichtsstunde nahmen die Schüler an verschiedenen Lernaktivitäten teil, wie z. B. Vorträge anhören, Lehrvideos ansehen und in Gruppen diskutieren. Die Forscherinnen und Forscher fanden heraus, dass die Gehirnwellen der Schülerinnen und Schüler während dieser Unterrichtsaktivitäten **synchron** waren. Mit anderen Worten, ihre Gehirnwellen gingen gemeinsam und synchron rauf und runter. Noch interessanter ist, dass diejenigen Schülerinnen und Schüler, die angaben, sich mehr am Unterricht zu beteiligen, noch synchroner mit den anderen Schülerinnen und Schülern waren (**Abbildung 3B**).

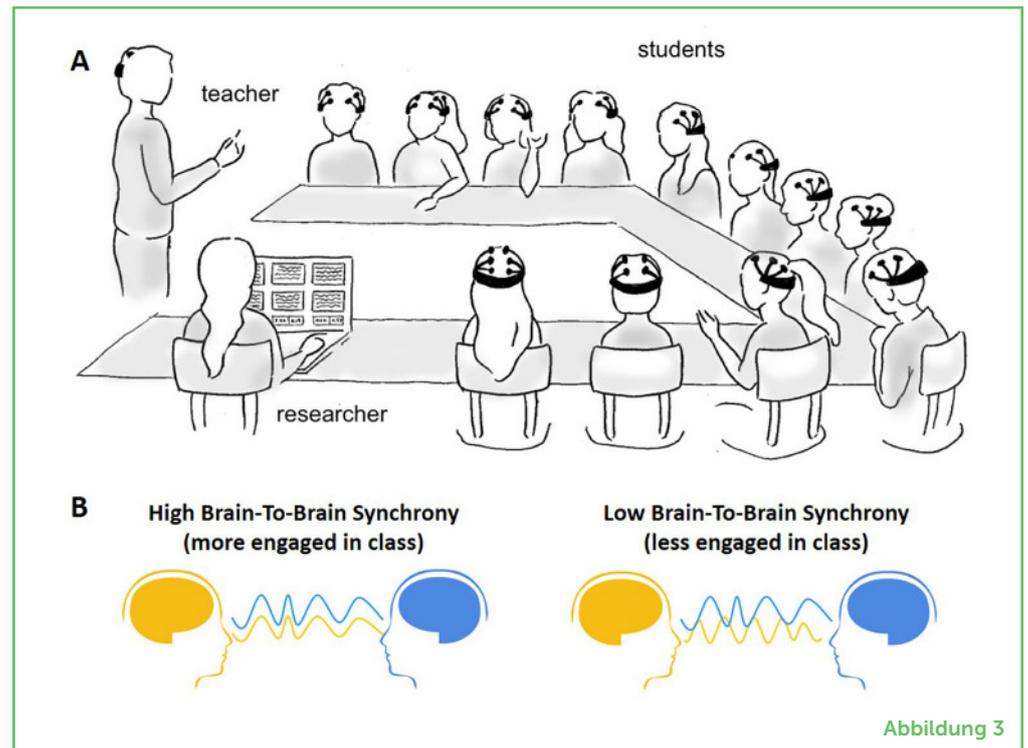
Tragbare EEG-Geräte sind spannend, weil sie nicht nur in der Forschung, sondern auch für pädagogische Zwecke eingesetzt werden können. In „BrainWaves“, einem neurowissenschaftlichen Highschool-Programm, das an der New York University entwickelt wurde, verwenden die Schülerinnen und Schüler das EEG, um mehr über ihr eigenes Gehirn und über die Funktionsweise der Neurowissenschaft zu erfahren. Die Studenten arbeiten mit einem Wissenschaftler zusammen, um ihre eigenen Forschungsprojekte zu

SYNCHRON / SYNCHRONIZITÄT

Wenn Gehirnwellen gemeinsam auf und ab gehen. Dies kann entweder innerhalb desselben Gehirns (z. B. Gehirnwellen aus verschiedenen Teilen des Gehirns) oder zwischen verschiedenen Gehirnen erfolgen. Im letztgenannten Fall wird dies Hirn-zu-Hirn-Synchronizität genannt.

Abbildung 3

(A) Mit dem EEG können die Gehirnwellen von Highschool-Schülern gemessen werden (von: Dikker et al. [3]). (B) Die Gehirnwellen der Schülerinnen und Schüler können eine hohe Synchronizität mit anderen Schülerinnen und Schülern aufweisen, was bei Schülerinnen und Schülern festgestellt wurde, die sich stärker am Unterricht beteiligten (links). Eine geringe Synchronizität mit anderen Schülerinnen und Schülern (rechts) wurde bei Schülerinnen und Schülern festgestellt, die sich weniger am Unterricht beteiligten.



bearbeiten. Beispielsweise können sie mit dem EEG untersuchen, wie das Gehirn auf Bilder von berühmten und nicht berühmten Gesichtern reagiert oder wie das Hören von Musik unsere Konzentrationsfähigkeit beeinflusst.

Das tragbare EEG wurde nicht erfunden, um die Forschung mit dem EEG im Labor zu ersetzen. Vielmehr ergänzt es die Forschung im Labor, indem es Erkenntnisse über Gehirnprozesse in alltäglichen Situationen liefert. Aber neben dem Vorteil, das Gehirn in einer natürlicheren Umgebung zu untersuchen, gibt es auch einige Nachteile. Die Qualität der mit einem tragbaren EEG erfassten Daten ist nicht so hoch wie die der im Labor erhobenen Daten, da tragbare Geräte weit weniger Elektroden haben und die Teilnehmer sich mehr bewegen. Auch die Umgebung außerhalb des Labors unterliegt nicht der Kontrolle des Forschers, sodass die Versuchsergebnisse schwieriger zu interpretieren sind.

KLINGT DAS NACH SCIENCE-FICTION?

Also, was denkst du, nachdem du all das gelesen hast? Wärs du daran interessiert, in deiner Schule ein EEG-Gerät zu tragen, oder ist dir dieser Gedanke ein bisschen unheimlich? Nun, um dich zu beruhigen: Bisher kann das tragbare EEG nur allgemeine Messungen der Hirnaktivität durchführen. Das EEG kann sicherlich nicht deine Gedanken lesen. Du brauchst dir also keine Sorgen zu machen, dass Forscher oder dein Lehrer deine Gedanken lesen könnten, wenn du jemals eines dieser

EEG-Geräte in deiner Schule auf deinem Kopf trägst. Wir möchten dir versichern, dass Gedankenlesen immer noch Science-Fiction ist!

Einige Unternehmen, die EEG-Geräte herstellen und verkaufen, behaupten, dass EEG zur Überwachung von Schülern eingesetzt werden kann, indem die Stärke verschiedener Gehirnwellen abgelesen und in „konzentriert“ oder „abgelenkt“ eingeteilt werden kann. Wir halten dies aus verschiedenen Gründen für keine sehr gute Idee. Erstens müssen wir noch viel mehr Forschung betreiben, bevor wir genügend darüber wissen, was die EEG-Signale für die Gehirnfunktionen bedeuten. Zweitens müssen sich die Schüler nicht unbedingt die ganze Zeit über konzentrieren. Wir wissen, dass auch das Gehirn manchmal eine Pause braucht, und das Abschweifen der Gedanken kann für das Lernen tatsächlich nützlich sein [4].

SCHLUSSFOLGERUNG

Tragbare EEG-Geräte bieten einige großartige Vorteile, wie z. B. die Möglichkeit zu untersuchen, wie das Gehirn in natürlichen Umgebungen wie Klassenzimmern arbeitet. Indem wir das Gehirn in natürlichen Situationen untersuchen, gewinnen wir ein besseres Verständnis des Sozialverhaltens, da mit dem tragbaren EEG die Gehirnaktivität mehrerer Personen gleichzeitig gemessen werden kann, während diese miteinander interagieren. Darüber hinaus kann ein tragbares EEG den Schülern auch helfen, die Funktionsweise des Gehirns besser zu verstehen. Die Wissenschaft schreitet jedoch nur in kleinen Schritten voran. Überlassen wir also das Gedankenlesen den Science-Fiction-Filmen und diskutieren wir in der Zwischenzeit darüber, ob wir wirklich wollen, dass dies jemals Realität wird [5].

DANKSAGUNGEN

Wir möchten von ganzem Herzen denjenigen danken, die an der Übersetzung der Artikel dieser Sammlung mitgewirkt haben, um sie Kindern außerhalb des englischsprachigen Raums zugänglicher zu machen, sowie der Jacobs Foundation für die Bereitstellung der für die Übersetzung der Artikel erforderlichen Mittel. Die Illustration in [Abbildung 2](#) wurde von Dikker et al. [3], Urheberrecht (2017), mit Genehmigung von Elsevier nachgedruckt. Wir möchten den Mitgliedern und Förderern der Emerging Field Group Portable Brain Technologies in Educational Neuroscience Research danken, die von EARLI und der Jacobs Foundation finanziert wird. NA und TJ werden außerdem durch ein Starting Grant des Europäischen Forschungsrats (#716736) unterstützt. Das BrainWaves-Programm wurde mit Unterstützung des Science-Education-Partnership-Programms an den U.S. National Institutes of General Medical Sciences entwickelt.

REFERENZEN

1. Biasiucci, A., Franceschiello, B., and Murray, M. M. 2019. Electroencephalography. *Curr. Biol.* 29:R80–5. doi: 10.1016/j.cub.2018.11.052
2. van Atteveldt, N., van Kesteren, M. T. R., Braams, B., and Krabbendam, L. 2018. Neuroimaging of learning and development: improving ecological validity. *Frontline Learn. Res.* 6:186–203. doi: 10.14786/flr.v6i3.366
3. Dikker, S., Wan, L., Davidesco, I., Kaggen, L., Oostrik, M., McClintock, J., et al. 2017. Brain-to-brain synchrony tracks real-world dynamic group interactions in the classroom. *Curr. Biol.* 27:1375–80. doi: 10.1016/j.cub.2017.04.002
4. Immordino-Yang, M. H., Christodoulou, J. A., and Singh, V. 2012. Rest is not idleness: implications of the brain's default mode for human development and education. *Perspect. Psychol. Sci.* 7:352–64. doi: 10.1177/1745691612447308
5. Williamson, B. 2018. Brain data: scanning, scraping and sculpting the plastic learning brain through neurotechnology. *Postdigit. Sci. Educ.* 1:65. doi: 10.1007/s42438-018-0008-5

HERAUSGEBER*IN: Stephan E. Vogel

WISSENSCHAFTLICHE*R MENTOR*IN: Menton M. Deweese

ZITAT: van Atteveldt N, Janssen TWP und Davidesco I (2023) Gehirnwellen im Klassenzimmer messen. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00096-de

ÜBERSETZT UND ÜBERNOMMEN VON: van Atteveldt N, Janssen TWP and Davidesco I (2020) Measuring Brain Waves in the Classroom. *Front. Young Minds* 8:96. doi: 10.3389/frym.2020.00096

INTERESSENKONFLIKT: Die Autor*innen erklären hiermit, dass ihre Forschung ohne kommerzielle oder finanzielle Unterstützung durchgeführt wurde, aus der sich ein Interessenkonflikt ergeben könnte.

URHEBERRECHTE © 2020 © 2023 van Atteveldt, Janssen und Davidesco. Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der [Creative-Commons-Attribution-Lizenz \(CC BY\)](#) verbreitet wird. Die Verwendung, Verbreitung oder Vervielfältigung in anderen Foren ist gestattet, sofern der/die Originalautor*innen und der/die Urheberrechtsinhaber*innen genannt werden und die Originalveröffentlichung in dieser Zeitschrift gemäß anerkannter wissenschaftlicher Praxis zitiert wird. Eine Nutzung, Verbreitung oder Vervielfältigung, die diesen Bedingungen nicht entspricht, ist nicht gestattet.

JUNGE GUTACHTER*INNEN

THE SCHOOL FOR SCIENCE AND MATH AT VANDERBILT, ALTER: 14–15

Wir sind eine Klasse von Schülern aus ganz Nashville, USA, die einmal pro Woche in der Vanderbilt zusammenkommen, um mehr über Naturwissenschaften, Technik, Ingenieurwesen und Mathematik zu lernen. Wir führen Experimente in unserem Klassenzimmer und in den Labors auf dem Campus durch!



AUTOR*INNEN



NIENKE VAN ATTEVELDT

Nienke ist Neurowissenschaftlerin und kombiniert verschiedene Methoden, um individuelle Unterschiede in Bezug auf Lernen und Motivation zu untersuchen. Mit ihrer neurowissenschaftlichen Forschung über Lernen und Entwicklung möchte sie Lernende und Lehrende unterstützen. Ihr großes Ziel als Forscherin ist es, Wissen und Instrumente für die Bildung bereitzustellen, damit mehr Kinder Freude am Lernen haben. Nienke leitet das Labor für Lernen an der Freien Universität Amsterdam, siehe www.laboflearning.com. *n.m.van.atteveldt@vu.nl



TIEME W. P. JANSSEN

Tieme ist Neurowissenschaftler und arbeitet häufig mit der Elektroenzephalografie (EEG). Er begeistert sich dafür, wie Gehirne funktionieren und auf welche Weise manche Gehirne anders funktionieren, zum Beispiel die von Kindern mit ADHS. Einer seiner Forschungsschwerpunkte ist die Anwendung der Neurowissenschaft entsprechend den gesellschaftlichen Bedürfnissen. Zum Beispiel verwendet er EEG-Neurofeedback, um die Aufmerksamkeit bei ADHS zu trainieren oder um Kindern zu zeigen, dass sie die Kontrolle über ihr eigenes Gehirn haben. Tieme bringt die neurowissenschaftliche Forschung mithilfe der tragbaren EEG-Technologie aus dem Labor in die Klassenzimmer und in andere natürliche Umgebungen.

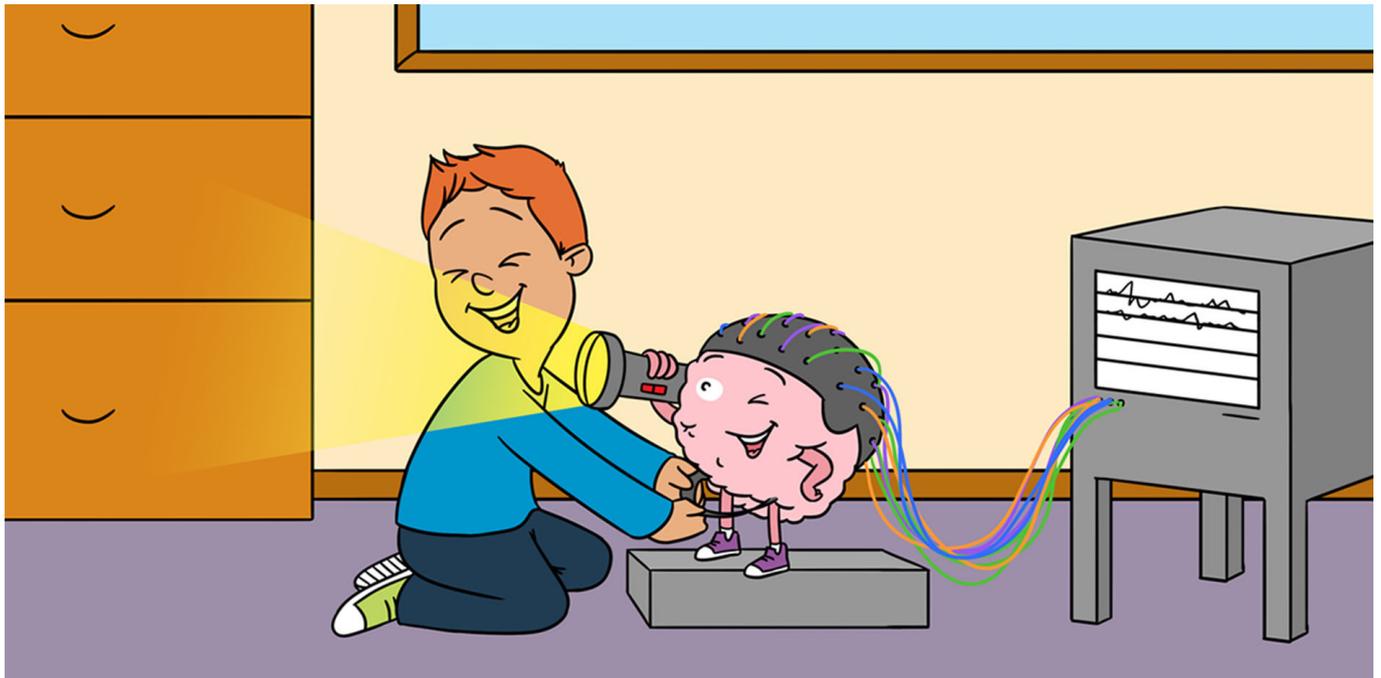


IDO DAVIDESCO

Ido ist Neurowissenschaftler und möchte Hirnforschung gern mit Bildung verknüpfen. Er forscht deshalb in Klassenzimmern mit tragbaren Geräten, mit denen er die Gehirnaktivität von Schülern und Lehrern misst. Er möchte für Schülerinnen und Schüler außerdem gern die Möglichkeit schaffen, sich mit Wissenschaftlern auszutauschen und sich an echter Forschung zum Thema Gehirn und Verhalten zu beteiligen.

German version provided by
Deutsche Version von

 **JACOBS
FOUNDATION**
Our Promise to Youth



LICHT HILFT ZU VERSTEHEN, WIE DAS GEHIRN IM SCHULUNTERRICHT FUNKTIONIERT

Mojtaba Soltanlou^{1,2,3,4*} und **Christina Artemenko**^{1,2}

¹Fachbereich Psychologie, Universität Tübingen, Tübingen, Deutschland

²LEAD Graduate School & Research Network, Universität Tübingen, Tübingen, Deutschland

³Institut für Gehirnforschung, University of Western Ontario, London, ON, Kanada

⁴Fachbereich Psychologie, University of Western Ontario, London, ON, Kanada

JUNGE GUTACHTER*INNEN:



ISTITUTO
EUROPEO
LEOPARDI

ALTER: 11–12

Wusstest du, dass man das Gehirn während seiner Arbeit im Klassenzimmer untersuchen kann? Viele Menschen denken, dass die Erforschung des Gehirns nur in komplexen Labors mit riesigen, komplizierten Geräten möglich ist. Die funktionelle Nah-Infrarot-Spektroskopie (fNIRS) ist eine neuartige Technik, bei der mithilfe von Licht beobachtet wird, wie aktiv das Gehirn ist. Dank ihrer vielen Vorteile ist fNIRS besonders gut für die Beobachtung des Gehirns von Babys und Kindern geeignet. Außerdem ist sie eine der besten Techniken, um die Gehirnfunktion im Alltag und in realen Situationen zu untersuchen, wie zum Beispiel während des Schulunterrichts oder während eines Gesprächs. Wie alle anderen Hirnmessverfahren kann fNIRS jedoch nicht für alles verwendet werden, was bedeutet, dass es auch einige Einschränkungen gibt. In diesem Artikel erklären wir, wie fNIRS funktioniert und wie sie eingesetzt werden kann, und sprechen auch über ihre Vorteile und

FUNKTIONELLE NAH-INFRAROT-SPEKTROSKOPIE (fNIRS)

Eine neuartige Technik, die den Wissenschaftlern helfen kann, auf einfache Weise zu beobachten, wie das Gehirn funktioniert, indem sie eine spezielle Art von Licht verwendet, das Nah-Infrarot-Licht genannt wird.

NAH-INFRAROT-LICHT

Eine besondere Art von Licht, das durch Haut, Knochen und Gehirn dringen kann und mit dem man misst, was im Gehirn vorgeht.

Abbildung 1

(A) fNIRS verwendet Licht, um die Gehirnfunktion zu untersuchen. (B) Quellen (rot) und Detektoren (blau) des Lichts in fNIRS. Das Licht, welches das Gehirn durchdringt, wird gelb und in Form einer Banane dargestellt. (C) Eine fNIRS-Mütze auf dem Kopf eines Babys.

ihre Grenzen. Abschließend gehen wir noch darauf ein, dass fNIRS im Bereich der Neurodidaktik den Wissenschaftlern helfen kann zu verstehen, wie Kinder lernen.

WAS IST FUNKTIONELLE NAH-INFRAROT-SPEKTROSKOPIE (fNIRS)?

Die **funktionelle Nah-Infrarot-Spektroskopie (fNIRS)** ist eine neuartige Technik, mit der Wissenschaftler auf einfache Weise beobachten können, wie das Gehirn funktioniert. fNIRS verwendet eine spezielle Art von Licht, das als **Nah-Infrarot-Licht** bezeichnet wird (Abbildung 1A). Nah-Infrarot-Licht ist etwas Besonderes, weil es durch Haut, Knochen und Gehirn dringen kann. Das Licht wird von einer Lichtquelle (rot in Abbildung 1B) in das Gehirn geschickt und dann, wenn es wieder herauskommt (blau in Abbildung 1B), von einem Detektor empfangen. Der Unterschied zwischen der Lichtmenge, die ins Gehirn gesendet wurde und der Lichtmenge, die vom Detektor empfangen wurde, zeigt, wie aktiv das Gehirn ist. Aber warum gibt es überhaupt einen Unterschied zwischen dem gesendeten und dem empfangenen Licht? Geht ein Teil des Lichts auf seinem Weg durch das Gehirn verloren?

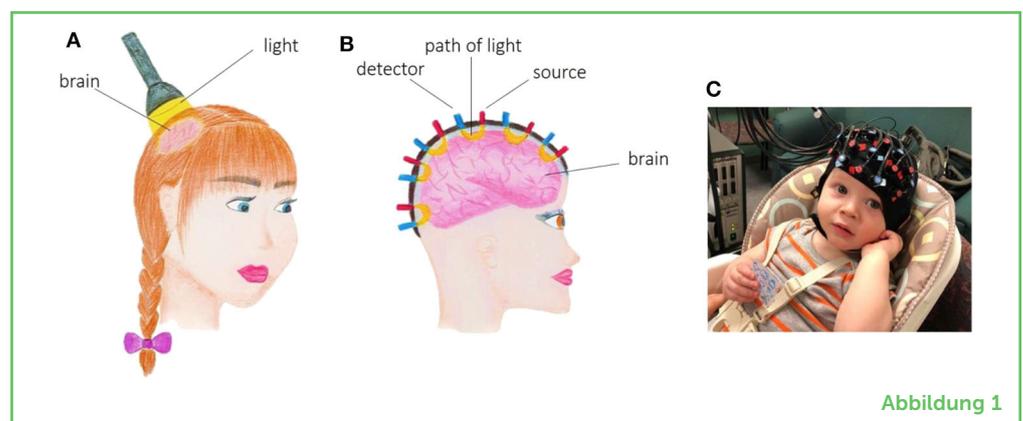


Abbildung 1

Um diese Fragen zu beantworten, müssen wir zuerst verstehen, wie das Gehirn funktioniert. Das Gehirn arbeitet mit Sauerstoff. Der Sauerstoff wird durch das Blut zum Gehirn gebracht. Wenn das Gehirn aktiv ist, ist der Blutfluss erhöht und das bedeutet, dass es mehr Sauerstoff im Gehirn gibt. Blut nimmt Nah-Infrarot-Licht auf. Wenn wir also dieses Licht in das aktive Gehirn schicken, kommt weniger Licht wieder heraus, weil ein Teil davon bereits vom Blut aufgenommen (absorbiert) wurde. Das Prinzip ist eigentlich einfach: Je mehr Licht absorbiert wird, desto weniger Licht kommt wieder heraus, und desto aktiver ist das Gehirn.

WAS SIND DIE VORTEILE, EINSATZMÖGLICHKEITEN UND DIE GRENZEN VON fNIRS?

fNIRS hat unter anderem diese Vorteile:

- sie ermöglicht Untersuchungen, während die Teilnehmer sitzen oder stehen
- sie ist leicht zu transportieren und kann fast überall eingesetzt werden
- der Aufbau ist einfach und dauert nur wenige Minuten
- die Anwendung ist kostengünstig
- sie misst die Gehirnfunktion mehrmals pro Sekunde
- sie tut weder weh, noch macht sie Lärm
- sie kann zusammen mit anderen Hirnmesstechniken verwendet werden
- sie erlaubt Körperbewegungen, wie Sprechen, Schreiben oder Gehen

Aufgrund dieser Vorteile eignet sich fNIRS für verschiedene Zwecke ([Abbildung 2](#)). Zum einen können wir mit dieser Technik das Gehirn in einer natürlichen Umgebung und in Alltagssituationen untersuchen und nicht nur im Labor. Dies ist möglich, weil einige fNIRS-Geräte so klein sind, dass sie an den Ort getragen werden können, an dem die Untersuchung durchgeführt werden soll. Darüber hinaus müssen sich die Teilnehmer während der Messungen nicht hinlegen. Sie können an einem Schreibtisch sitzen und Hausaufgaben erledigen oder am Computer arbeiten. fNIRS kann – anders als einige andere Hirnmessverfahren – zur Untersuchung komplizierterer geistiger Aufgaben verwendet werden und nicht nur für Multiple-Choice-Aufgaben. Außerdem ist fNIRS für den Teilnehmer ziemlich bequem. Das bedeutet, dass wir mithilfe von fNIRS sogar das Gehirn von Säuglingen und Kindern untersuchen können ([Abbildung 1C](#)). In der Regel ist es schwierig, das Gehirn von sehr jungen Menschen zu untersuchen, weil sie sich viel bewegen und deswegen andere Hirnmesstechniken nicht eingesetzt werden können. Zusätzlich ist es mit fNIRS möglich, die Hirnfunktion über einen langen Zeitraum (bis zu 1 Stunde) und bei mehreren Teilnehmern gleichzeitig zu untersuchen. Diese Vorteile machen fNIRS zu einer einzigartigen Technik zur Untersuchung des Gehirns in Situationen und bei Menschen, die mit anderen Techniken normalerweise nur schwer oder manchmal gar nicht zugänglich sind.

Diese Vorteile und Einsatzmöglichkeiten haben jedoch ihren Preis. Wir müssen uns der Grenzen von fNIRS bewusst sein. Erstens misst fNIRS etwa 3cm des Gehirns auf einmal. Wenn wir über das Gehirn sprechen, dann muss klar sein, dass es sich dabei um einen großen Bereich handelt, der sich aus verschiedenen, sehr kleinen Teilen innerhalb des Gehirns zusammensetzt. Eine fNIRS-Messung könnte also verschiedene Teile des Gehirns mit

Abbildung 2

fNIRS kann in vielen verschiedenen Situationen des täglichen Lebens eingesetzt werden, z. B. beim Essen, bei Gesprächen, beim Tanzen und beim Musizieren. Sie kann dazu verwendet werden, um festzustellen, was im Gehirn einer Mutter und ihres Kindes passiert, wenn sie miteinander kommunizieren.

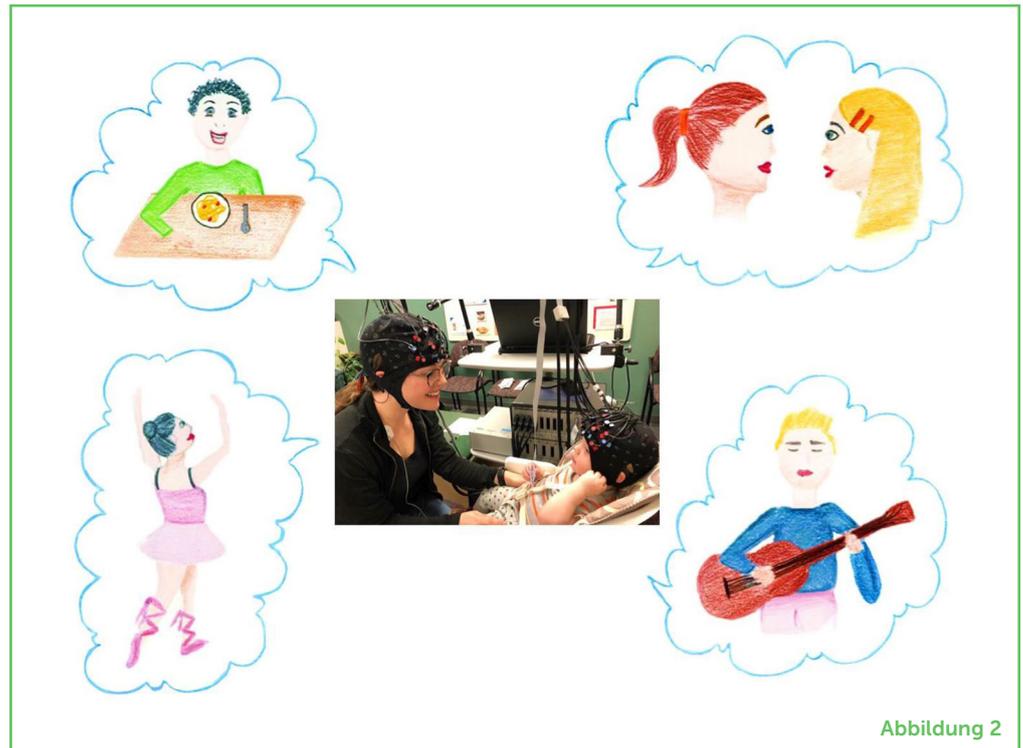


Abbildung 2

unterschiedlichen Funktionen einschließen und daher nicht so genau ausfallen wie Messungen, die mit einigen anderen Techniken durchgeführt werden [1]. Außerdem kann fNIRS nur aktive Bereiche messen, die etwa 1,5-2 cm tief im Gehirn liegen. Aus diesem Grund ist diese Technik nicht gut für die Messung von Funktionen, die tief im Inneren des Gehirns stattfinden. Eine weitere Einschränkung ist, dass fNIRS nur Informationen über Funktionen, aber nicht über Strukturen liefert [1]. Das bedeutet, dass uns diese Technik ermöglicht, nachzuvollziehen, wie das Gehirn funktioniert, aber nicht, wie das Gehirn aussieht. Und noch etwas: Da fNIRS die Blutmenge misst, reagiert sie empfindlich auf den Herzschlag, auf den Blutdruck und auf die Venen in der Haut. Das könnte dazu führen, dass einige Nicht-Hirnveränderungen fälschlicherweise als Hirnfunktionsveränderungen interpretiert werden, was zu falschen Messwerten führt. Und da fNIRS eine neue Technik ist, verwendet nicht jeder Benutzer die gleiche Methode der Datenanalyse. Die Datenanalyse ist ein Verfahren, bei dem die gesammelten Gehirndaten verschiedener Menschen kombiniert und aufbereitet werden, um sie in einer für alle verständlichen Weise darzustellen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich Wissenschaftler sowohl der Vorteile als auch der Einschränkungen von fNIRS bewusst sein müssen, wenn sie die Gehirnfunktion mit fNIRS messen wollen.

WIE WIRD EINE UNTERSUCHUNG MIT fNIRS DURCHFÜHRT UND WIE WERDEN DIE DATEN VERWENDET?

Je nach Studie und Forschungsfrage können die Teilnehmer einzeln oder in Gruppen gemessen werden. Um fNIRS anzuwenden, müssen wir einige Schritte befolgen. Zuerst messen wir den Kopf des Teilnehmers, um einige wichtige Punkte zu finden, wie zum Beispiel die Mitte des Kopfes. Diese Punkte ermöglichen uns einzuschätzen, welcher Teil des Gehirns von den einzelnen Sensoren gemessen wird. Zweitens befestigen wir die Lichtquellen und Detektoren mit einer elastischen Kappe auf dem Kopf. Drittens bitten wir unseren Teilnehmer, eine Aufgabe auszuführen, während seine Gehirnfunktion mit fNIRS gemessen wird (Abbildung 3). Für die Aufgabe gibt es keine konkreten Vorschriften, es kann zum Beispiel eine mathematische Aufgabe sein. Viertens: Nachdem der Teilnehmer die Aufgabe abgeschlossen hat, schalten wir das fNIRS-Gerät aus und nehmen dem Teilnehmer die Kappe vom Kopf, und das Experiment ist beendet.

Abbildung 3

Während ein Kind eine mathematische Aufgabe löst, wird seine Gehirnfunktion von fNIRS aufgezeichnet.

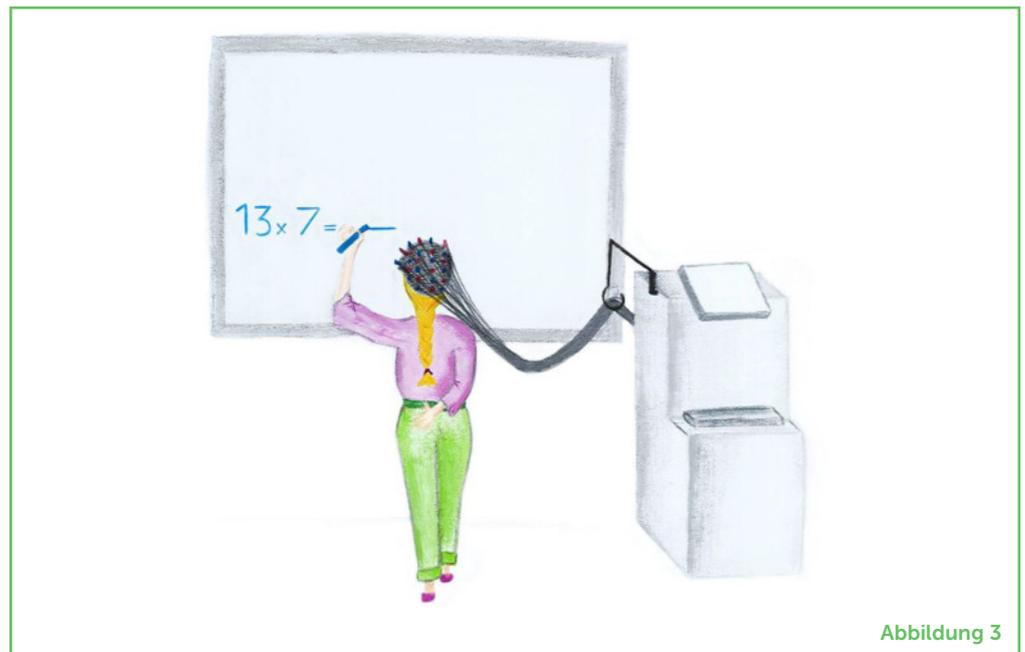


Abbildung 3

Normalerweise wiederholen wir dasselbe Experiment mit vielen Teilnehmern (zum Beispiel mit etwa 40 Kindern). Dann können wir die Daten aller Teilnehmer analysieren. Aber was bedeutet das? Stellen wir uns vor, unsere Forschungsfrage lautet: „Welche Teile des Gehirns sind beim Rechnen aktiv?“ Um diese Frage zu beantworten, messen wir die Gehirnfunktion in zwei Situationen: wenn die Teilnehmer gerade dabei sind, mathematische Aufgaben zu lösen, und wenn sie sich ausruhen. Mithilfe von Computersoftware können wir die Daten aller Teilnehmer auswerten und miteinander vergleichen. Wir berechnen dann die Hirnleistung aller Teilnehmer während des Rechnens und während der Pause. Dann vergleichen wir diese Hirnleistungen. Wir stellen fest,

dass in einigen Teilen des Gehirns die Hirnleistungen während des Rechnens und während der Ruhephase sehr unterschiedlich ausfallen, in anderen Teilen jedoch nicht. Daraus können wir schließen, dass nur die Teile des Gehirns mit unterschiedlicher Hirnleistung während des Rechnens und im Ruhezustand für das Rechnen wichtig sind.

SCHLUSSFOLGERUNG

fNIRS ist eine Technik, die die Messung der Gehirnfunktion auch bei speziellen Personengruppen wie Babys und Kindern [2] und in alltäglichen Situationen, wie z. B. im Klassenzimmer [3], ermöglicht. Aufgrund dieser Vorzüge ist fNIRS sehr gut geeignet für die Forschung im Bereich der Neurodidaktik [4]. Die **Neurodidaktik** verwendet Techniken wie fNIRS zur Untersuchung des Gehirns und nutzt die Ergebnisse von Hirnstudien, um die schulische Ausbildung zu verbessern. Während die meisten der üblichen Hirnmessverfahren für Studien an Erwachsenen hervorragend geeignet sind, sind sie für die Anwendung bei Kindern nur eingeschränkt geeignet. Das ist auch der Grund, weshalb wir immer noch nicht viel darüber wissen, wie sich das Gehirn verändert, wenn wir vom Säugling zum Erwachsenen heranwachsen. Glücklicherweise können wir mit fNIRS die Veränderungen im Gehirn und das Lernen bei Kindern beobachten [5, 6]. Wir glauben, dass der Einsatz von fNIRS in der Neurodidaktik uns schließlich helfen wird zu verstehen, wie Kinder lesen, schreiben und rechnen lernen.

DANKSAGUNGEN

Wir danken Bahar Rad, einer 16-jährigen Künstlerin, für die Illustrationen, Merle Bode für die Bearbeitung der Abbildungen und Zoë Kirste für das sprachliche Korrekturlesen. Wir danken auch Megan und Warren für ihre Erlaubnis, ihre Fotos von der Teilnahme an einer fNIRS-Studie zu verwenden. Wir möchten uns von ganzem Herzen bei allen bedanken, die bei der Übersetzung der Artikel in dieser Sammlung mitgeholfen haben, um sie für Kinder außerhalb des englischsprachigen Raums zugänglicher zu machen, sowie bei der Jacobs Foundation für die Bereitstellung der für die Übersetzung der Artikel erforderlichen Mittel.

REFERENZEN

1. Hoyos, P., Kim, N., and Kastner, S. 2019. How is magnetic resonance imaging used to learn about the brain? *Front. Young Minds* 7:86. doi: 10.3389/frym.2019.00086
2. Edwards, L. A., Wagner, J. B., Simon, C. E., and Hyde, D. C. 2016. Functional brain organization for number processing in pre-verbal infants. *Dev. Sci.* 19:757–69. doi: 10.1111/desc.12333
3. Obersteiner, A., Dresler, T., Reiss, K., Vogel, A. C. M., Pekrun, R., and Fallgatter, A. J. 2010. Bringing brain imaging to the school to assess arithmetic problem

NEURODIDAKTIK

Ein Gebiet der Gehirnwissenschaften, das es sich zum Ziel setzt, die schulische Ausbildung zu verbessern.

- solving: chances and limitations in combining educational and neuroscientific research. *ZDM* 42:541–54. doi: 10.1007/s11858-010-0256-7
4. Soltanlou, M., Sitnikova, M. A., Nuerk, H.-C., and Dresler, T. 2018. Applications of functional near-Infrared spectroscopy (fNIRS) in studying cognitive development: the case of mathematics and language. *Front. Psychol.* 9:277. doi: 10.3389/fpsyg.2018.00277
 5. Artemenko, C., Soltanlou, M., Ehlis, A.-C., Nuerk, H.-C., and Dresler, T. 2018. The neural correlates of mental arithmetic in adolescents: a longitudinal fNIRS study. *Behav. Brain Funct.* 14:5. doi: 10.1186/s12993-018-0137-8
 6. Soltanlou, M., Artemenko, C., Ehlis, A.-C., Huber, S., Fallgatter, A. J., Dresler, T., et al. 2018. Reduction but no shift in brain activation after arithmetic learning in children: a simultaneous fNIRS-EEG study. *Sci. Rep.* 8:1707. doi: 10.1038/s41598-018-20007-x

HERAUSGEBER*IN: [Stephan E. Vogel](#)

WISSENSCHAFTLICHE*R MENTOR*IN: [Ruggero G. Bettinardi](#)

ZITAT: Soltanlou M und Artemenko C (2023) Licht hilft zu verstehen, wie das Gehirn im Schulunterricht funktioniert. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00088-de

ÜBERSETZT UND ÜBERNOMMEN VON: Soltanlou M and Artemenko C (2020) Using Light to Understand How the Brain Works in the Classroom. *Front. Young Minds* 8:88. doi: 10.3389/frym.2020.00088

INTERESSENKONFLIKT: Die Autor*innen erklären hiermit, dass ihre Forschung ohne kommerzielle oder finanzielle Unterstützung durchgeführt wurde, aus der sich ein Interessenkonflikt ergeben könnte.

URHEBERRECHTE © 2020 © 2023 Soltanlou und Artemenko. Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der [Creative-Commons-Attribution-Lizenz \(CC BY\)](#) verbreitet wird. Die Verwendung, Verbreitung oder Vervielfältigung in anderen Foren ist gestattet, sofern der/die Originalautor*innen und der/die Urheberrechtsinhaber*innen genannt werden und die Originalveröffentlichung in dieser Zeitschrift gemäß anerkannter wissenschaftlicher Praxis zitiert wird. Eine Nutzung, Verbreitung oder Vervielfältigung, die diesen Bedingungen nicht entspricht, ist nicht gestattet.

JUNGE GUTACHTER*INNEN

ISTITUTO EUROPEO LEOPARDI, ALTER: 11–12

Wir sind eine Gruppe von Schülerinnen und Schülern des Istituto Europeo Leopardi und befinden uns im ersten Jahr der Mittelstufe. Unsere Namen sind Lucrezia, Sofia, Benedetta, Eleonora, Francesco, Matteo, Marco, Emma, Greta und Lidia. Wir leben in Mailand (Italien) und sind zwischen 11 und 12 Jahre alt. Wir sind eine lustige, nette, kreative Klasse, und wir mögen Wissenschaft und Sport. Auf Wiedersehen von der 1A!



AUTOR*INNEN



MOJTABA SOLTANLOU

Ich bin Forscher an der University of Western Ontario in Kanada. Bevor ich in die Forschung ging, habe ich als Therapeut gearbeitet und Kinder mit verschiedenen Störungen therapiert. Mit meiner Forschung würde ich gerne herausfinden, was im Gehirn passiert, wenn ein Kind so etwas wie Mathematik lernt, und warum manche Kinder Schwierigkeiten beim Lernen haben. In meiner Freizeit treibe ich gerne Sport, spiele Tar und lese Geschichtsbücher. *mojtaba.soltanlou@gmail.com



CHRISTINA ARTEMENKO

Ich bin Wissenschaftlerin an der Universität Tübingen in Deutschland. Meine Forschung befasst sich mit Mathematik und Rechnen. Ich möchte wissen, was im Gehirn vor sich geht, wenn jemand rechnet, und ich benutze fNIRS, um das Gehirn zu untersuchen. Ich möchte verstehen, was das Rechnen schwierig macht und warum manche Menschen Probleme mit Mathematik haben. Neben der Forschung spiele ich gerne Flöte, Volleyball und tanze Ballett.

German version provided by
Deutsche Version von





DIE MAGISCHE KUNST DER MAGNETRESONANZBILDGEBUNG ZUR UNTERSUCHUNG DES GEHIRNS BEIM LESEN

Nora Maria Raschle^{1*}, Réka Borbás¹, Carolyn King² und Nadine Gaab^{2,3}

¹Jacobs Center for Productive Youth Development, Universität Zürich, Zurich, Schweiz

²Labore für kognitive Neurowissenschaften, Boston Children's Hospital, Harvard Medical School, Boston, MA, Vereinigte Staaten

³Graduiertenkolleg für Bildung, Universität Harvard, Cambridge, MA, Vereinigte Staaten

JUNGE GUTACHTER*INNEN:



CASCADIA
ELEMENTARY

ALTER: 8–9

In der Harry-Potter-Buchreihe wurde der Legilimentik-Zauber verwendet, um auf die Gedanken einer anderen Person zuzugreifen und sie zu lesen. Zauberei ist jedoch immer mit einer großen Verantwortung verbunden und sollte nur mit Vorsicht verwendet werden. In ähnlicher Weise ist die Magnetresonanzbildgebung (oder MRT) ein mächtiges Instrument, mit dem wir genaue Bilder von verschiedenen Körperteilen, einschließlich des Gehirns, aufnehmen können. Aber auch die MRT sollte nur mit Vorsicht eingesetzt und interpretiert werden. Die MRT gibt uns die Möglichkeit, verschiedene Körperteile von außen zu betrachten. Einige Muggel (Nicht-Zauberer) verwenden die MRT, um die Geheimnisse des menschlichen Gehirns zu untersuchen. Sie kann zwar nicht verwendet werden, um die Gedanken anderer zu lesen, aber sie kann uns sagen, wie ein

Gehirn aussieht, arbeitet, wächst und lernt. Die MRT kann uns zum Beispiel helfen zu verstehen, wie das Gehirn lesen lernt und was bei Kindern, die mit dem Lesenlernen Schwierigkeiten haben, anders sein kann.

Liest du gerne? Hast du die Harry-Potter-Bücher gelesen? Lesen ist eine Fähigkeit, die durch Unterricht erlernt wird (z. B. mithilfe eines Lehrers oder Elternteils) und benötigt viel Übung zu Hause oder in der Schule. Viele verschiedene Dinge helfen uns dabei, großartige Leser zu werden. Wenn wir erwachsen werden, machen wir viele Erfahrungen, und unsere Körper, unser Denken, unsere Gefühle und die Umwelt um uns herum verändern sich ständig. Schon früh im Leben lernen wir die leichteren Fertigkeiten, zum Beispiel die Bedeutung bestimmter Geräusche zu verstehen, Gesichter zu erkennen oder zu laufen. Eigentlich beginnen wir mit dem Lernen schon vor unserer Geburt! Mit dem Größerwerden erlernen wir immer komplexere Fertigkeiten, wie das Sprechen von Wörtern und Sätzen, Lesen und Kommunikation mit anderen. Das Erlernen neuer Fertigkeiten geht Hand in Hand mit der Entwicklung des Gehirns. Aber viele verschiedene Dinge können unsere Entwicklung beeinflussen, darunter Veränderungen in unserer Umwelt, unsere Lernerfahrungen oder sogar unsere DNA, also die biologischen Informationen, die unsere Eltern an uns weitergeben.

Dies gilt auch für das Lesen. Lesen ist eine Fertigkeit, die wir lange Zeit üben, bevor wir gut darin werden. Aber das Üben beginnt lange, bevor wir unser erstes Buch in die Hand nehmen oder zur Schule gehen. Noch bevor wir geboren werden, fangen wir an, Laute und grundlegende Teile der Sprache zu hören. Diese Erfahrungen formen Bereiche des Gehirns, die uns später bei der Entwicklung der Lesefertigkeit helfen. 1983 stellte eine Professorin namens Jeanne Chall [1] fest, dass das Lesenlernen in mehreren Stufen erfolgt (Abbildung 1). Heute wissen wir, dass viele verschiedene Faktoren diese Lesephasen beeinflussen können und dass das Lesenlernen bei jedem Kind anders und auf der ganzen Welt unterschiedlich verlaufen kann. Solche Unterschiede gibt es, weil viele Dinge die Entwicklung der Lesefertigkeit beeinflussen können, z. B. wo wir aufwachsen, welche Sprache wir sprechen, der Wortschatz unserer Sprache, unsere Fähigkeit, mit Sprachlauten zu spielen (z. B. „Banane“ zu sagen, ohne den Laut/ b /auszusprechen), und wie gut wir Geschichten verstehen [2].

MRT

Steht für Magnetresonanztomographie. Mit der MRT können Wissenschaftler Bilder von allen Teilen des menschlichen Körpers aufnehmen. Sie verwendet starke Magneten und Radiowellen.

WIE DAS GEHIRN LESTEN LERNT

Verfahren zur Darstellung des Gehirns, wie z. B. die Magnetresonanztomographie (MRT) ermöglichen es zu untersuchen, wie das Gehirn lernt. Die MRT ist wie eine große Kamera, die Bilder von verschiedenen Teilen des Körpers aufnehmen kann, zum

Abbildung 1

Schritt für Schritt lernen wir lesen. Es gibt mehrere Phasen, die wir durchlaufen, um flüssig lesen zu lernen. Lesenlernen beginnt ab dem Zeitpunkt, an dem ein Baby zu wachsen beginnt, und setzt sich während der gesamten Schulzeit und bis ins junge Erwachsenenalter fort (Illustrationen: N. M. Raschle; der obere Teil dieser Grafik ist eine Bearbeitung von Chall [1]).

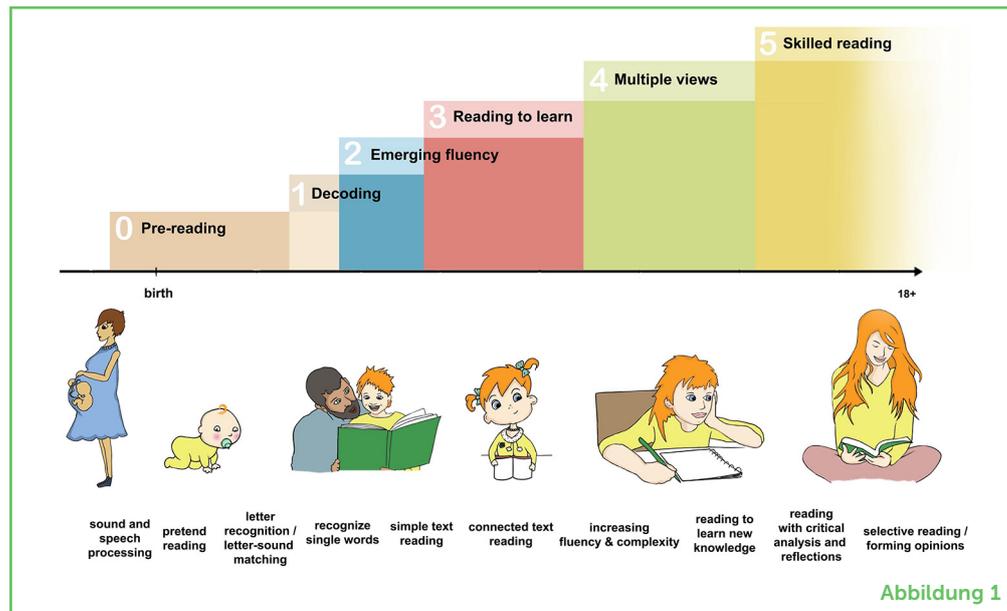


Abbildung 1

Beispiel vom Gehirn. Bei der MRT werden Signale gemessen, die von Wassermolekülen im Körper stammen. Jeder einzelne Körperteil ist ein bisschen anders, und deshalb ist auch das MRT-Signal, das davon kommt, ein bisschen anders. Mithilfe von Computern können Wissenschaftler aus diesen Signalen genaue Bilder erstellen (wenn du mehr über die Physik der MRT lesen möchtest, kannst du „The physics of MRI and how we use it to reveal the mysteries of the mind“ lesen. Das Buch wurde von Kathryn Broadhouse für Kinder geschrieben [3]). Mit der MRT können wir untersuchen, wie das Gehirn arbeitet, während wir etwas tun oder fühlen (also die Funktion des Gehirns untersuchen), aber auch, wie das Gehirn aufgebaut ist (seine Struktur).

Wenn das Gehirn wächst und lernt, werden Verbindungen zwischen verschiedenen Bereichen des Gehirns hergestellt. Mit der Zeit bilden diese Verbindungen Netzwerke. Netzwerke sind verschiedene Teile des Gehirns, die zusammenarbeiten. Wie eine gut eingespielte Musikband zusammen musiziert, so arbeiten auch die Netzwerke im Gehirn zusammen und helfen uns beim Erlernen von Fertigkeiten wie Lesen. Während wir lernen, verbinden sich die Zellen des Gehirns (genannt **Neuronen**) miteinander, indem sie ihre winzigen Arme (genannt **Axone**) ausstrecken oder sogar, indem ihnen neue Arme wachsen. Im Laufe der Zeit verbinden sich viele Axone miteinander und bilden lange Autobahnen, die **Weißer Substanzbahnen** genannt werden. Diese Autobahnen ermöglichen es, Informationen von einem Teil des Gehirns zu einem anderen zu transportieren. Mithilfe der MRT haben Wissenschaftler herausgefunden, dass wir lesen können, weil verschiedene Bereiche des Gehirns beim Lernen aktiver werden und miteinander kommunizieren. Diese Hirnbereiche haben lustig klingende Namen: occipitotemporaler Bereich oder „Buchstabenkasten“ des Gehirns (wo wir Buchstaben und Wörter verarbeiten); temporoparietaler Bereich (der uns hilft, mit den Lauten

NEURON

Nervenzellen im Gehirn oder im Rückenmark.

AXON

Ein Teil der Nervenzelle, der sich mit anderen Zellen verbindet und auf so Informationen von einer Zelle zu einer anderen Zelle transportieren kann.

WEISSE SUBSTANZBAHN

Eine Ansammlung von vielen Axonen, die verschiedene Hirnbereiche wie eine Autobahn miteinander verbinden.

unserer Sprache zu spielen, wie z. B. zu wissen, dass „Banane“ ohne den Laut /b/ „anane“ ist); und unterer Frontallappen (der „Kapitän“, der uns anführt). Wenn Hirnbereiche häufig miteinander kommunizieren, können die Autobahnen stärker werden.

Eine wichtige Autobahn zum Lesen ist eine Ansammlung von Axonen, die wir den bogenförmigen Faszikel nennen, weil er die Form eines Bogens hat. Innerhalb des Netzwerks von Hirnbereichen, die uns beim Lesen helfen, ermöglichen Bahnen wie der bogenförmige Faszikel den Transport von Informationen von einem Bereich zum anderen. Bei Kindern, die Schwierigkeiten mit Lesen haben, ist das Lesenetzwerk des Gehirns manchmal etwas anders aufgebaut, oder die Informationen nehmen andere Wege. In manchen Köpfen können die Autobahnen, die die Informationen zwischen den Lesebereichen transportieren, schmal sein, als hätten sie nur eine statt zwei Fahrspuren. Oder die Autobahnen können weniger glatt sein, wie eine Straße mit einer holprigen Oberfläche oder mit vielen Ampeln. Diese Unterschiede machen die Kommunikation zwischen den Gehirnbereichen zu einer Herausforderung, und für einige Kinder wird das Lesen zu einer schwierigen Aufgabe ([Abbildung 2](#)).

LESESCHWÄCHE UND LEGASTHENIE-PARADOXON

Die Entwicklung des menschlichen Gehirns ist komplex, und es ist nicht überraschend, dass sich das Gehirn bei einigen Menschen anders entwickelt als bei den meisten anderen. Manchmal können diese Unterschiede im Gehirn zu Folgen führen, die erst viel später im Leben entdeckt werden. In einer normalen Schulklasse mit 20 Kindern finden etwa ein oder zwei Schüler Lesen extrem herausfordernd. Viele Wissenschaftler würden gerne so früh wie möglich vorhersagen können, welche Kinder mit dem Lesen Schwierigkeiten haben könnten. Denn es ist viel einfacher, einem Kind zu helfen, wenn die Probleme gerade erst anfangen, als abzuwarten und zu versuchen, Jahre später einzugreifen. Wenn wir jung sind, sind unsere Gehirne für Dinge wie die Sprache viel flexibler, und das macht es einfacher, neue Dinge zu lernen und Probleme anzugehen. Wenn die Hilfe sehr spät kommt, können Kinder wegen ihrer Schwierigkeiten beim Lesen traurig und frustriert werden oder gemobbt werden, und möglicherweise möchten sie dann sogar komplett aufhören zu lernen.

Manche Eltern werden vielleicht ungeduldig und denken, ihre Kinder geben sich nicht genug Mühe. Das sind wichtige Gründe, warum Wissenschaftler helfen wollen, Kinder mit Leseschwierigkeiten so früh wie möglich zu erkennen.

Bei einigen Kindern, die Schwierigkeiten beim Lesen haben, wird eine solche Entwicklungsstörung auch als **Legasthenie**, eine Art Leseschwäche, diagnostiziert. Normalerweise wird diese Diagnose

LEGASTHENIE

Eine Lernstörung, die Leseschwierigkeiten aufgrund von Problemen beim Erkennen von Sprachlauten und beim Lernen, wie die Laute mit den Buchstaben und Wörtern zusammenhängen, mit sich bringt.

Abbildung 2

Das Gehirn beim Lesen (The reading brain)
 Oben siehst du die Namen und Funktionen der Gehirnregionen, die zum Lesen verwendet werden (inferior frontal gyrus, parieto-temporal, arcuate fasciculus, occipito-temporal). Zusammen bilden diese Hirnregionen das Lese-Netzwerk des Gehirns. Während des Lesens werden diese Bereiche aktiver und kommunizieren miteinander. Manchmal verläuft die Informationsübertragung in diesem Netzwerk reibungslos (unten links), aber manchmal kann es zu Schwierigkeiten kommen (unten rechts) (Abbildungen: N. M. Raschle).

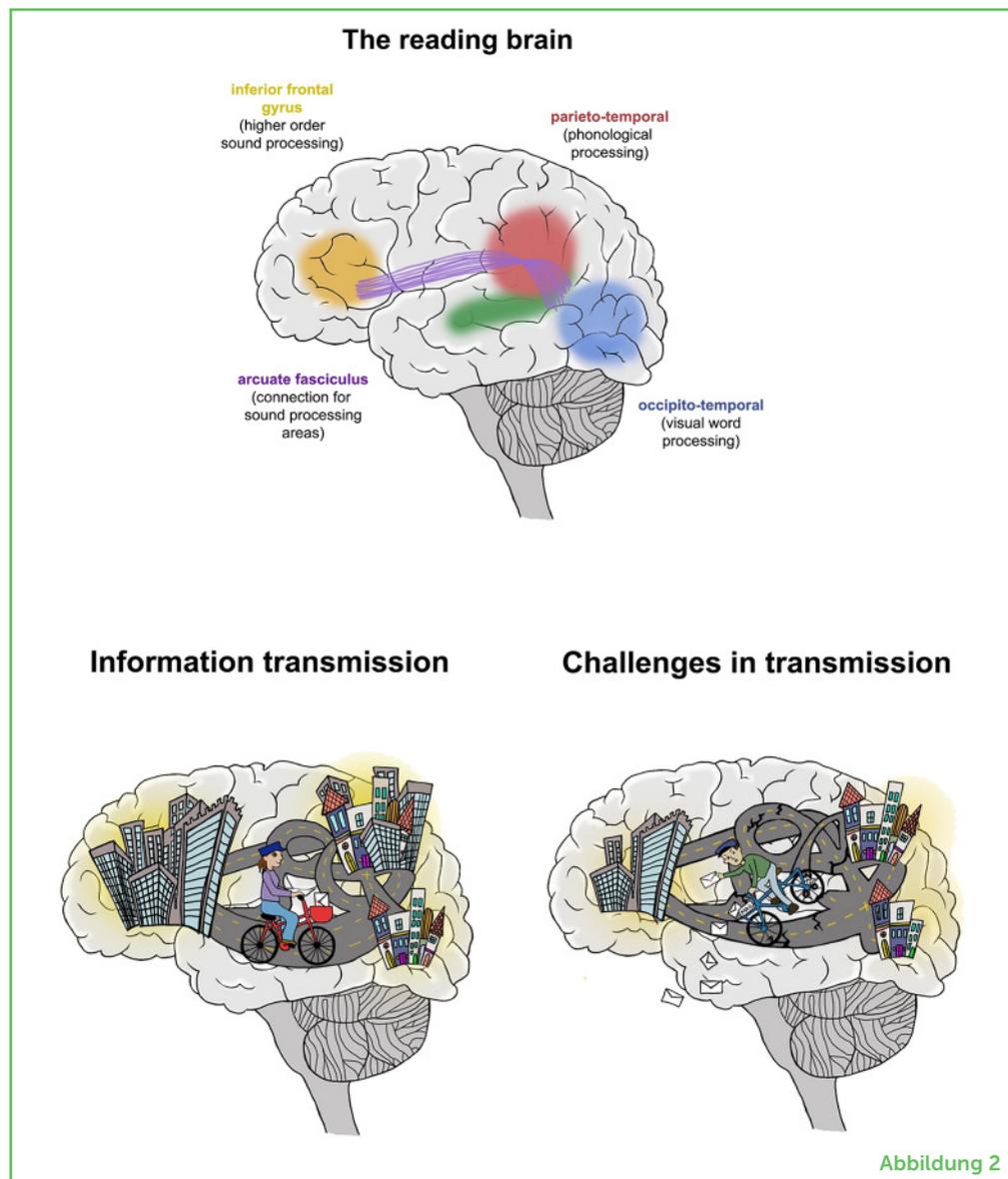


Abbildung 2

gestellt, nachdem die Kinder bereits seit längerer Zeit versucht haben, lesen zu lernen (zum Beispiel in der zweiten oder dritten Klasse). Der Kampf mit dem Lesen hat nichts mit fehlender Übung, Faulheit oder zu wenig Mühe zu tun. Bis dahin müssen die Kinder jedoch noch einiges aufholen, um in der Schule gut abzuschneiden, was eine große Herausforderung ist. Wie bereits erwähnt, hat die Forschung gezeigt, dass die beste Zeit, Kindern beim Lesen zu helfen, im Kindergarten oder in der ersten Klasse ist, wenn das Gehirn viel gestaltbarer ist. Der Unterschied zwischen dem Zeitpunkt, an dem wir Kinder identifizieren, die mit dem Lesen Schwierigkeiten haben, und dem Zeitpunkt, an dem ihnen am besten geholfen werden könnte, wird als Legasthenie-Paradoxon bezeichnet, weil es etwas ist, das sich selbst widerspricht (Abbildung 3).

Wissenschaftler haben gezeigt, dass wir frühe Anzeichen von Leseschwierigkeiten durch mündliche, schriftliche oder

Abbildung 3

Das Legasthenie-Paradoxon. Bei den meisten Kindern werden Leseprobleme erst in der zweiten oder dritten Klasse entdeckt (grüner Bereich). Die beste und effektivste Phase, in der man ihnen helfen kann, ist jedoch viel früher (rosa Bereich).



Computertests erkennen können. Wir waren neugierig, ob die MRT auch zur Früherkennung von Unterschieden in den Gehirnen von Kindern eingesetzt werden könnte, die später Schwierigkeiten beim Lesen haben würden. Wir stellten fest, dass junge Kinder, die später mit dem Lesenlernen zu kämpfen haben, ein anderes Lesernetzwerk als üblich zu haben scheinen [4–6]. Aber mit Unterstützung und dem richtigen Unterricht lässt sich das ändern.

DIE MAGIE DER HILFE

Im Gegensatz zu den Zauberern in den Harry-Potter-Büchern können Wissenschaftler nicht die Gedanken der Menschen lesen oder andere Formen der Magie anwenden. Aber wir haben verschiedene Methoden und Technologien zur Untersuchung des lernenden Gehirns entwickelt. Eine davon ist die MRT. Die MRT hat es Wissenschaftlern ermöglicht, die Teile des Gehirns zu untersuchen, die für das Lesen zuständig sind. Sie hat uns auch gezeigt, was in den Gehirnen von Kindern, die mit dem Lesen zu kämpfen haben, vorgehen könnte. Mit jeder Studie lernen die Wissenschaftler mehr darüber, wie wir lernen und warum für einige Menschen das Lernen schwieriger als für andere ist. Tatsächlich können uns diese Informationen helfen, jedes Kind dabei zu unterstützen, seine Ziele zu erreichen. Und das zu können, ist pure Magie.

DANKSAGUNGEN

Wir möchten uns bei denjenigen bedanken, die bei der Übersetzung der Artikel in dieser Sammlung geholfen haben, um sie für Kinder außerhalb des englischsprachigen Raums zugänglich zu machen, sowie der Jacobs Foundation für die Bereitstellung der Mittel für die Übersetzung der Artikel erforderlichen Mittel. Wir möchten uns bei Ihnen bedanken und diesen Artikel allen Kindern widmen, die mit dem Lesenlernen Schwierigkeiten haben oder hatten, sowie den Erziehern, Eltern und Fachleuten, die ihnen helfen.

REFERENZEN

1. Chall, J. S. 1983. *Stages of Reading Development*. New York, NY: McGraw-Hill Book Company.

2. Castles, A., Rastle, K., and Nation, K. 2018. Ending the reading wars: Reading acquisition from novice to expert. *Psychol. Sci. Public Interest.* 19:5–51. doi: 10.1177/1529100618772271
3. Broadhouse, K. 2019. The physics of MRI and how we use it to reveal the mysteries of the mind. *Front. Young Minds* 7:23. doi: 10.3389/frym.2019.00023
4. Raschle, N. M., Zuk, J., and Gaab, N. 2012. Functional characteristics of developmental dyslexia in left-hemispheric posterior brain regions predate reading onset. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 109:2156–61. doi: 10.1073/pnas.1107721109
5. Raschle, N. M., Chang, M., and Gaab, N. 2011. Structural brain alterations associated with dyslexia predate reading onset. *Neuroimage* 57:742–9. doi: 10.1016/j.neuroimage.2010.09.055
6. Langer, N., Peysakhovich, B., Zuk, J., Drottler, M., Sliva, D., Smith, S., et al. 2017. White matter alterations in infants at risk for developmental dyslexia. *Cereb. Cortex* 27:1027–36. doi: 10.1093/cercor/bhv281

HERAUSGEBER*IN: [Stephan E. Vogel](#)

WISSENSCHAFTLICHE*R MENTOR*IN: [Carol Thompson](#)

ZITAT: Raschle NM, Borbás R, King C und Gaab N (2023) Die magische Kunst der Magnetresonanzbildgebung zur Untersuchung des Gehirns beim Lesen. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00072-de

ÜBERSETZT UND ÜBERNOMMEN VON: Raschle NM, Borbás R, King C and Gaab N (2020) The Magical Art of Magnetic Resonance Imaging to Study the Reading Brain. *Front. Young Minds* 8:72. doi: 10.3389/frym.2020.00072

INTERESSENKONFLIKT: Die Autor*innen erklären hiermit, dass ihre Forschung ohne kommerzielle oder finanzielle Unterstützung durchgeführt wurde, aus der sich ein Interessenkonflikt ergeben könnte.

URHEBERRECHTE © 2020 © 2023 Raschle, Borbás, King und Gaab. Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der [Creative-Commons-Attribution-Lizenz \(CC BY\)](#) verbreitet wird. Die Verwendung, Verbreitung oder Vervielfältigung in anderen Foren ist gestattet, sofern der/die Originalautor*innen und der/die Urheberrechtsinhaber*innen genannt werden und die Originalveröffentlichung in dieser Zeitschrift gemäß anerkannter wissenschaftlicher Praxis zitiert wird. Eine Nutzung, Verbreitung oder Vervielfältigung, die diesen Bedingungen nicht entspricht, ist nicht gestattet.

JUNGE GUTACHTER*INNEN

CASCADIA ELEMENTARY, ALTER: 8–9

Unsere Klasse ist die Harbor Seals! Wir sind eine Gruppe von Kindern der dritten Klasse, die Lesen und Mathematik lieben. Wir haben 9 Mädchen und 14 Jungen in unserer Klasse. Wir sind eine energiegeladene Bande, die es liebt, Ideen gemeinsam zu besprechen und Neues zu lernen. Wir haben uns in diesem Jahr sehr auf das



Miteinander-Arbeiten, das Sprechen und Zuhören konzentriert, und wir freuen uns, Teil der Frontiers-Community zu sein!

AUTOR*INNEN



NORA MARIA RASCHLE

Nora ist Assistenzprofessorin für Psychologie am Jacobs Center for Productive Youth Development an der Universität Zürich in der Schweiz. Ihr Team im NMR Kids Lab ist daran interessiert, mehr darüber zu erfahren, wie das menschliche Gehirn wächst, sich verändert und lernt. Nora liebt es auch, wissenschaftliche Karikaturen zu zeichnen, und glaubt daran, dass Wissen auf eine Weise vermittelt werden kann, die Spaß macht und für alle verständlich ist. Sie probiert gerne neue Dinge mit ihren drei Kindern aus, wie z. B. einen riesigen Kuchen backen, Karaoke-Lieder singen, obwohl sie eine schrecklich schlechte Sängerin ist, Bauen (z. B. von Robotern) oder aufregende Orte besuchen. *nora.raschle@jacobscenter.uzh.ch



RÉKA BORBÁS

Réka ist Doktorandin in Neuropsychologie am Jacobs Center for Productive Youth Development an der Universität Zürich in der Schweiz. Sie arbeitet mit Familien und interessiert sich sehr dafür, wie die Gehirne von Kindern und ihren Eltern funktionieren. Zu diesem Zweck bereitet sie die Familien auf den Einsatz des MRT-Scanners vor, um einen Blick auf ihre Gehirne zu werfen. Innerhalb des NMR Kids Lab versucht sie, die Forschung unterhaltsam zu gestalten, und entwickelt spannende Spiele, die man spielen kann, während man sich unter dem Scanner befindet. In ihrer Freizeit spielt sie gerne Brettspiele, kuschelt mit ihrer Katze und bäckt für ihre Freunde und Familie.



CAROLYN KING

Carolyn ist Forschungsassistentin am Labor für kognitive Neurowissenschaften am Bostoner Kinderkrankenhaus und an der Harvard Medical School. Sie arbeitet jeden Tag mit Kindern, um zu verstehen, wie manche Kinder anders lesen und rechnen lernen als andere. Sie verbringt einen großen Teil ihrer Zeit damit, Denkspiele mit Vorschulkindern und Kindergartenkindern zu spielen, und sie reist auch durch die Vereinigten Staaten, um neue Spiele auszuprobieren. Carolyn liebt es, auf ganz hohe Berge zu wandern und auf der Alpakafarm ihrer Großmutter mit Alpakas, Häschen und Katzen zu spielen. Eines der Alpakas kletterte sogar auf einen Berg, und Carolyn will das eines Tages mit ihm zusammen machen!



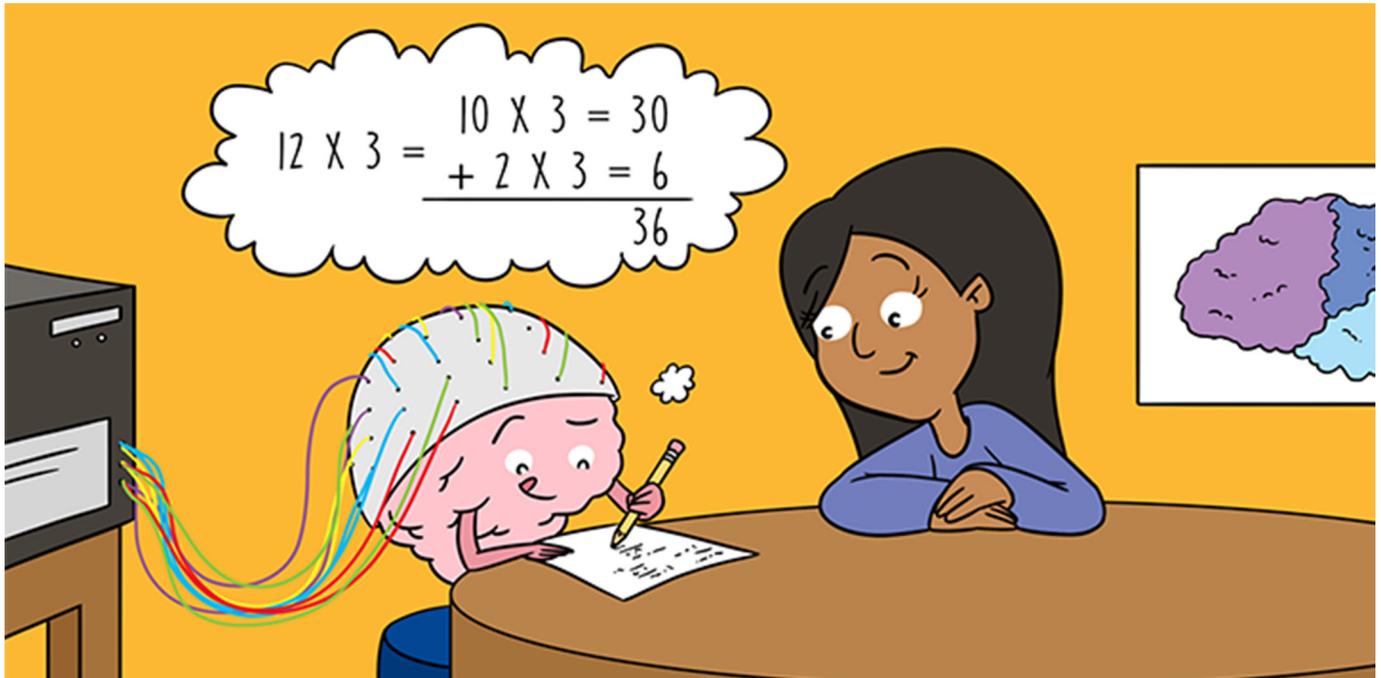
NADINE GAAB

Nadine ist Professorin am Boston Children's Hospital und an der Harvard Medical School. Zu ihrer üblichen Arbeitswoche gehört es, sich die Gehirne von Kindern anzuschauen, mit ihren Schülern zu plaudern, eine Klasse zu unterrichten, in langweiligen Meetings zu sitzen oder mit Kindern im Labor zu spielen. Sie fährt auch an (meist abgelegene) Orte und erzählt den Leuten dort etwas über Legasthenie, Leseentwicklung und das Gehirn. In ihrer Freizeit spielt sie gerne Brettspiele mit ihren

drei Kindern und schaut ihrer Tochter beim Fußballspielen und ihrem Sohn beim Baseballspielen zu. Sie liebt Meeresfrüchte und Schokoladeneis.

German version provided by
Deutsche Version von





WAS IST 2×4 ? VERSTEHEN, WIE DAS GEHIRN ARITHMETISCHE PROBLEME LÖST

Nikolaus Koren[†], Judith Scheucher[†] und Stephan E. Vogel^{*}

Fachbereich Neurowissenschaften am Institut für Psychologie der Universität Graz, Graz, Österreich

JUNGE GUTACHTER*INNEN:



DR. H.
BAVINCK
SCHOOL

ALTER: 8–12



LIJIA
ALTER: 12

Wieviel ist 2×4 ? Klingt nach einer einfachen Frage, aber hast du jemals darüber nachgedacht, wie genau du dieses Problem löst? In diesem Artikel wirst du zwei verschiedene Strategien kennenlernen, mit denen wir arithmetische Probleme lösen. Du wirst auch die verschiedenen Gehirnbereiche – wie den intraparietalen Sulcus – kennenlernen, die bei der Anwendung dieser verschiedenen Strategien zusammenarbeiten. Welche Strategie und welche Gehirnbereiche du verwendest, ändert sich im Laufe der Zeit, je vertrauter du mit der Arithmetik wirst. Dieser Übergang ist besonders sichtbar in der Art und Weise, wie Gehirnbereiche arbeiten und miteinander kommunizieren – einige Bereiche werden aktiver, während andere weniger aktiv werden. Nachdem du diesen Artikel gelesen hast, wirst du mehr über die Techniken wissen, mit denen wir arithmetische Probleme lösen und über die Gehirnbereiche, die erforderlich sind, um die Lösung deiner nächsten Mathe-Hausaufgabe zu finden.

ENTWICKLUNGS- DYSKALKULIE

Ist eine Schwierigkeit beim Lernen oder Verstehen der Arithmetik. Einen guten Überblick findest du im Young Minds-Artikel. Wenn das Gehirn $2 + 2$ nicht berechnen kann, gibt es einen Fall von Entwicklungsdyskalkulie [1].

Abbildung 1

Beispielaufbau für eine Studie zur Untersuchung der Lösung arithmetischer Problemlösungen. Den Teilnehmern wird ein arithmetisches Problem auf einem Computerbildschirm gezeigt. Sobald die Antwort eingetippt ist, erscheint eine neue Aufgabe. Für jedes Problem nehmen die Forscher die Zeit auf, die zur Lösung des Problems benötigt wurde (Geschwindigkeit) und ob die Antwort korrekt war (Genauigkeit).

EINLEITUNG

Da Mathematik eine der wichtigsten Fähigkeiten ist, die es zu meistern gilt, kann es sehr wichtig sein, zu verstehen, wie arithmetische Probleme gelöst werden. Mathe braucht man nicht nur in der Schule, sondern auch als Erwachsener. Wenn du Programmierer, Ingenieur oder Wissenschaftler werden willst, wirst du tagtäglich mit Zahlen umgehen. Da Mathe in fast jedem Beruf wichtig ist, fällt es Menschen, die nicht gut in Mathematik sind, manchmal schwer, einen Job zu finden. Einige von ihnen leiden möglicherweise sogar an einer sogenannten **Entwicklungsdyskalkulie**. Daher kann es für Kinder, die schlecht in Mathematik sind, sehr hilfreich sein, zu verstehen, was beim Rechnen im Gehirn passiert. Wenn man die Gründe für diese Schwierigkeiten versteht, ermöglicht es den Lehrern, ihren Unterricht so zu gestalten, dass Kinder leichter lernen können. Und natürlich ist es immer Grund genug, nur neugierig zu sein, wie die Dinge funktionieren, um ein Experiment durchzuführen!

GIBT ES VERSCHIEDENE MÖGLICHKEITEN, EIN ARITHMETISCHES PROBLEM ZU LÖSEN?

Um Arithmetik zu lernen, werden Kinder und Erwachsene normalerweise gebeten, Rechenaufgaben so schnell und genau wie möglich zu lösen. Die Aufgaben werden normalerweise nacheinander auf einem Computerbildschirm angezeigt (siehe [Abbildung 1](#)). Sobald der Teilnehmer eine Antwort gegeben hat, erscheint die nächste Aufgabe. Um die verschiedenen Strategien zu untersuchen, die wir beim Rechnen anwenden, verwenden Wissenschaftler normalerweise



Abbildung 1

eine Mischung aus verschiedenen arithmetischen Operationen mit unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden.

Mit diesen Methoden fanden die Wissenschaftler heraus, dass arithmetische Probleme in zwei Kategorien unterteilt werden können: kleine und große Probleme. Kleine Probleme werden sehr schnell gelöst und die Teilnehmer machen weniger Fehler bei der Lösung dieser Probleme. Ein passendes Beispiel wäre „ 2×4 .“ Große Probleme sind normalerweise etwas schwieriger zu lösen. Die Teilnehmer brauchen länger, um diese Probleme zu lösen, und machen auch mehr Fehler. Ein passendes Beispiel wäre „ 12×3 “. Wissenschaftler sind sich manchmal nicht einig, wo die Grenze zwischen kleinen und großen Problemen gezogen werden soll. Wie schwer es ist, ein Problem zu lösen, hängt von deinem Alter und deinen Fähigkeiten ab. Geschwindigkeits- und Fehlerunterschiede zwischen kleinen und großen Problemen legen jedoch nahe, dass wir zwei Hauptstrategien zur Lösung dieser Probleme verwenden [2].

ELEKTRO- ENZEPHALO- GRAPHIE (EEG)

Ein neurowissenschaftliches Gerät zur Messung der elektrischen Signale, die ein Gehirn erzeugt. Diese Methode kann uns mit hoher Genauigkeit sagen, zu welchem Zeitpunkt welche Gehirnbereiche eine bestimmte Aufgabe ausführen.

FUNKTIONELLE MAGNET- RESONANZ- BILDGEBUNG (fMRI)

Ein Werkzeug zur Messung von Sauerstoffunterschieden im Gehirn. Da aktive Bereiche während einer Aufgabe mehr Sauerstoff benötigen, können wir mit hoher Genauigkeit feststellen, welche Gehirnbereiche die Aufgabe erledigen.

Die erste Strategie, die Berechnung der Antwort, wird häufig bei großen Problemen angewendet. Dies wird Verfahrensstrategie genannt, weil die Antwort auf diese Frage in mehreren Schritten – oder mehreren Verfahren – unterteilt werden muss. Um beispielsweise „ 12×3 “ zu lösen, könntest du das Problem in zwei einfachere Aufgaben wie etwa „ $10 \times 3 = 30$ “ und „ $2 \times 3 = 6$ “ aufteilen. Anschließend kannst du die Ergebnisse zusammenzählen, um die Antwort „ 36 “ zu erhalten. Das Hinzufügen zusätzlicher Schritte hat jedoch auch Nachteile. Es dauert länger und jeder Schritt erhöht auch die Wahrscheinlichkeit von Fehlern. Man verwendet jedoch nicht immer die gleiche Strategie, um das gleiche Problem zu lösen. Nachdem du es mehrmals gelöst hast, wird dir jedes Mal die richtige Lösung in den Sinn kommen. Dies zeigt, dass sich die Art und Weise, wie man diese Aufgabe löst, geändert hat.

Nun wendest du die zweite Strategie an: die Antwort auswendig zu kennen, was oft als Faktenabfrage bezeichnet wird. Indem du dasselbe Problem mehrmals gelöst hast, hast du deine Antwort in deinem Langzeitgedächtnis gespeichert. Der Wechsel von der Verwendung von prozeduralen Strategien zur Nutzung der Faktenabfrage ist ein wichtiger Schritt bei der Entwicklung der Rechenfähigkeiten [3]. Anstatt die Antwort zu berechnen, kannst du dich nun einfach an die Antwort erinnern. Darüber hinaus wirst du, indem du leichtere Probleme einfacher lösen kannst, auch besser in der Lage sein, schwierigere Probleme zu lösen. Um diese Veränderungen besser zu verstehen, müssen wir uns unser Gehirn anschauen, während es arithmetische Probleme löst. Dazu verwenden die Wissenschaftler verschiedene Geräte, z. B. **Elektroenzephalographie (EEG)** und **funktionelle Magnetresonanzbildgebung (fMRI)**, siehe *Abbildung 2*.

Das erste Puzzleteil ist der intraparietale Sulcus. Er befindet sich im parietalen Kortex und ist für das Verständnis der Bedeutung von Zahlen verantwortlich [4]. Der erste Schritt bei der Lösung eines arithmetischen Problems besteht darin, die Größe einer Zahl zu verstehen. Zum Beispiel musst du wissen, dass „4 Hunde“ mehr als „2 Hunde“ sind. Du musst auch die Reihenfolge der Zahlen verstehen (d.h. „1“ steht vor „2“, „2“ steht vor „3“, und so weiter). Bei der Berechnung verwendest du dein Verständnis von Größe und Reihenfolge, um die richtige Lösung zu finden.

Die nächsten Teile des Puzzles betreffen drei Gehirnbereiche im frontalen Kortex. Der ventrolaterale präfrontale Kortex arbeitet mit Regionen im parietalen Kortex zusammen, um Ablenkungen auszublenden, wie etwa Tagträume über deine nächste Fahrradtour mit Freunden. Der dorsolaterale präfrontale Kortex wird benötigt, um Zahlen zu manipulieren, beispielsweise um ein großes Problem in einfachere Schritte aufzuteilen. Es wurde festgestellt, dass der Gyrus frontalis inferior eine wichtige Rolle beim Ignorieren ähnlicher, aber falscher Antworten spielt [5].

Die letzten Teile unseres Puzzles sind der Hippocampus und der Gyrus angularis. Der Hippocampus befindet sich tief in deinem Gehirn. Er spielt eine wichtige Rolle bei der Speicherung arithmetischer Fakten [6]. Der Hippocampus ist der „Speicher“-Knopf deines Gehirns. Wenn es um Mathematik geht, arbeitet er mit dem frontalen Kortex zusammen, um dir dabei zu helfen, die Antworten von Rechenaufgaben als arithmetische Fakten in deinem Langzeitgedächtnis zu speichern. Der Gyrus angularis ist dann am Feststellen dieser Fakten beteiligt, wenn du arithmetische Probleme löst.

WIE ÄNDERT SICH DIE LÖSUNG ARITHMETISCHER PROBLEME, WENN MAN ÄLTER WIRD?

Hast du mit deinen Freunden jemals gemeinsam an einem herausfordernden Puzzle gearbeitet? Wenn ja, habt ihr dann wahrscheinlich zusammengearbeitet, um das Problem zu lösen. Dein Gehirn arbeitet auf ähnliche Weise. Verschiedene Gehirnbereiche arbeiten bei der Lösung eines Problems zusammen. Der letzte Teil unseres Puzzles besteht darin, zu verstehen, wie diese Gehirnbereiche bei der Berechnung zusammenarbeiten. Wie du jetzt weißt, ändert sich die Art und Weise, wie du arithmetische Probleme löst, mit zunehmendem Alter. Anstatt hauptsächlich prozedurale Strategien zur Lösung arithmetischer Probleme zu verwenden, verwendest du häufiger das Abfragen von Fakten. Aber das ist nicht das einzige, was sich ändert. Die Wissenschaftler stellten fest, dass sich während dieses Prozesses auch die Art und Weise verändert, wie die verschiedenen Gehirnbereiche zusammenarbeiten. Solange du noch jung bist, spielt zum Beispiel der frontale Kortex eine sehr wichtige Rolle. Er kontrolliert

ARBEITSGEDÄCHTNIS

Eine entscheidende Funktion deines Gehirns. Ähnlich wie der Arbeitsspeicher eines Computers, speichert es Informationen in deinem Kopf, um bei Bedarf damit arbeiten zu können.

dein **Arbeitsgedächtnis** und deine Aufmerksamkeit, denn die Art und Weise, wie du arithmetische Probleme löst, umfasst mehrere Schritte (prozedurale Strategien). Wenn du älter wirst und mit dem Abrufen von Fakten anfängst, ändert sich die Rolle deines frontalen Kortex. Wenn du dir den frontalen Kortex mit fMRI oder EEG anschaust, kannst du feststellen, dass er mit zunehmendem Alter weniger aktiv wird. Er ist immer noch an der Suche nach der richtigen Antwort beteiligt, muss aber nicht mehr so hart arbeiten wie zuvor. Vielleicht hast du bei der Zusammenarbeit mit deinen Freunden etwas Ähnliches erlebt. Zunächst musste einer von euch vielleicht die Fortschritte aller im Auge behalten und Anweisungen geben, was als nächstes zu tun ist (ähnlich wie beim frontalen Kortex). Wenn ihr einige Puzzles gemeinsam erfolgreich gelöst habt, könnt ihr zusammenarbeiten, ohne dass jemand immer den Fortschritt überprüfen muss. Auch die Rolle des Hippocampus ändert sich. Beim Faktenabruf ist er bei Kleinkindern aktiver als bei Erwachsenen [7]. Das liegt daran, dass bei Jugendlichen der Hippocampus immer noch hart daran arbeitet, die Antworten auf arithmetische Probleme im Langzeitgedächtnis zu speichern. Mit zunehmendem Alter muss dein Hippocampus immer weniger arbeiten, da du immer weniger neue Antworten lernst, die gespeichert werden müssen.

Alle Gehirnbereiche arbeiten zusammen, indem sie miteinander kommunizieren. Diese Kommunikation erfolgt über ein breites Netzwerk von Pfaden (die als weiße Substanz bezeichnet werden), die alle Gehirnbereiche verbinden. Diese Netzwerke ähneln der Art und Weise, wie Straßen verschiedene Städte verbinden. Eine dieser Straßen im Gehirn wird als oberer Längsfasciculus bezeichnet. Dieser Straße verbindet den präfrontalen Kortex mit dem parietalen Kortex (wo sich das IPS befindet) [8]. Da an bestimmten Punkten in deinem Leben verschiedene Gehirnbereiche an der Lösung von Rechenproblemen beteiligt sind, ändern sich auch die Verbindungen zwischen diesen Bereichen. Wissenschaftler versuchen immer noch, vollständig zu verstehen, wie und warum sich diese Verbindungen mit zunehmendem Alter ändern. Das heißt, obwohl wir bereits viel darüber wissen, wie man Rechenaufgaben löst, müssen wir noch mehr Forschung betreiben, um das Puzzle des berechnenden Gehirns zu lösen.

ZUSAMMENFASSUNG

Auch wenn es sich zuerst nach einem einfachen Prozess anhört, umfasst die Lösung eines Rechenproblems tatsächlich viele Schritte. Nicht nur das: Wenn du älter wirst, wendest du verschiedene Strategien an, um sie zu lösen. Fast jeder Teil deines Gehirns verändert sich. Am Anfang arbeiten viele Gehirnbereiche zusammen, um ein arithmetisches Problem zu lösen. Einige Teile sorgen dafür, dass du dich auf die Aufgabe konzentrierst, andere verfolgen und speichern die Ergebnisse deiner Berechnungen. Der Hippocampus speichert

das richtige Ergebnis in deinem Langzeitgedächtnis. Wenn du älter wirst, brauchst du nur wenige spezialisierte Gehirnbereiche, um das gleiche Problem zu lösen. Dein Gehirn arbeitet jetzt sehr effizient. Wenn du das nächste Mal deine Mathe-Hausaufgaben machst, nimm dir eine Minute Zeit, um über die verschiedenen beteiligten Gehirnbereiche nachzudenken!

DANKSAGUNGEN

Wir möchten uns von ganzem Herzen bei allen bedanken, die bei der Übersetzung der Artikel in dieser Sammlung mitgeholfen haben, um sie für Kinder außerhalb des englischsprachigen Raums zugänglicher zu machen, sowie bei der Jacobs Foundation für die Bereitstellung der für die Übersetzung der Artikel erforderlichen Mittel.

REFERENZEN

1. Bugden, S., and Ansari, D. 2014. When your brain cannot do $2 + 2$: a case of developmental dyscalculia. *Front. Young Minds* 2:8. doi: 10.3389/frym.2014.00008
2. Siegler, R. S. 1996. *Emerging Minds: The Process of Change in Children's Thinking*. New York, NY: Oxford University Press. doi: 10.5860/choice.34-5984
3. De Smedt, B. 2016. "Individual differences in arithmetic fact retrieval," in *Mathematical Cognition and Learning*, eds D. B. Berch, D. C. Geary, and K. M. Koepke (San Diego, CA: Academic Press). p. 219–43. doi: 10.1016/B978-0-12-801871-2.00009-5
4. Vogel, S. E., Goffin, C., and Ansari, D. 2015. Developmental specialization of the left parietal cortex for the semantic representation of Arabic numerals: an fMR-adaptation study. *Dev. Cogn. Neurosci.* 12, 61–73. doi: 10.1016/j.dcn.2014.12.001
5. De Visscher, A., Vogel, S. E., Reishofer, G., Hassler, E., Koschutnig, K., De Smedt, B., et al. 2018. Interference and problem size effect in multiplication fact solving: individual differences in brain activations and arithmetic performance. *Neuroimage* 15:718–27. doi: 10.1016/j.neuroimage.2018.01.060
6. Qin, S., Cho, S., Chen, T., Rosenberg-Lee, M., Geary, D. C., and Menon, V. 2014. Hippocampal-neocortical functional reorganization underlies children's cognitive development. *Nat. Neurosci.* 17:1263–9. doi: 10.1038/nn.3788
7. Cho, S., Metcalfe, A. W. S., Young, C. B., Ryali, S., Geary, D. C., and Menon, V. 2012. Hippocampal–prefrontal engagement and dynamic causal interactions in the maturation of children's fact retrieval. *J. Cogn. Neurosci.* 24:1849–66. doi: 10.1162/jocn_a_00246
8. Matejko, A. A., and Ansari, D. 2015. Drawing connections between white matter and numerical and mathematical cognition: a literature review. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 1:35–52. doi: 10.1016/j.neubiorev.2014.11.006

HERAUSGEBER*IN: Sabine Peters

WISSENSCHAFTLICHE*R MENTOR*IN: Sok King Ong

ZITAT: Koren N, Scheucher J und Vogel SE (2023) Was ist 2×4 ? Verstehen, wie das Gehirn arithmetische Probleme löst. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00048-de

ÜBERSETZT UND ÜBERNOMMEN VON: Koren N, Scheucher J and Vogel SE (2020) How Much Is 2×4 ? Understanding How the Brain Solves Arithmetic Problems. *Front. Young Minds* 8:48. doi: 10.3389/frym.2020.00048

INTERESSENKONFLIKT: Die Autor*innen erklären hiermit, dass ihre Forschung ohne kommerzielle oder finanzielle Unterstützung durchgeführt wurde, aus der sich ein Interessenkonflikt ergeben könnte.

URheberRECHTE © 2020 © 2023 Koren, Scheucher und Vogel. Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der [Creative-Commons-Attribution-Lizenz \(CC BY\)](#) verbreitet wird. Die Verwendung, Verbreitung oder Vervielfältigung in anderen Foren ist gestattet, sofern der/die Originalautor*innen und der/die Urheberrechtsinhaber*innen genannt werden und die Originalveröffentlichung in dieser Zeitschrift gemäß anerkannter wissenschaftlicher Praxis zitiert wird. Eine Nutzung, Verbreitung oder Vervielfältigung, die diesen Bedingungen nicht entspricht, ist nicht gestattet.

JUNGE GUTACHTER*INNEN

DR. H. BAVINCKSCHOOl, ALTER: 8–12

Wir sind die Spektrum-Klassen 5-6 und 7-8 der Bavinckschool in Haarlem, Niederlande. Es handelt sich um eine Gruppe von 40 Kindern (19 in Gruppe 5-6 und 21 in Gruppe 7-8), die begierig darauf sind, etwas mehr als das reguläre Schulprogramm zu lernen. Sie hatten viel Spaß bei der Überprüfung für die FYM, gingen die Artikel mit großer Konzentration und Begeisterung durch und machten eine kritische Bewertung. Sie haben es wirklich genossen, einen Beitrag zur Wissenschaft zu leisten und zu helfen!



LIJIA, ALTER: 12

Lijia ist eine eifrige Leserin, seit sie ganz klein war. Sie las die meisten Bücher, die sie in der Bibliothek oder zu Hause finden konnte, darunter auch ganz dicke Romane. Sie ist neugierig auf das Leben und wie Menschen funktionieren. Derzeit besucht sie die 8. Klasse einer internationalen Schule in Südostasien.



AUTOR*INNEN

NIKOLAUS KOREN

Ich bin Absolvent an der Universität Graz, Österreich, wo ich derzeit meinen Master in Psychologie mit Schwerpunkt auf kognitive Neurowissenschaften abschließe. Meine Masterarbeit konzentriert sich auf elektrophysiologische Korrelate der arithmetischen Problemlösung bei Kindern. Ich halte es für wichtig, wissenschaftliche Erkenntnisse außerhalb des eigenen engen Forschungsbereichs zu kommunizieren. Wenn ich nicht im Labor bin, erkunde ich wahrscheinlich die Natur mit Freunden zu Fuß oder mit dem Fahrrad.



**JUDITH SCHEUCHER**

Ich bin Absolventin an der Universität Graz, Österreich, wo ich Psychologie mit Schwerpunkt kognitive Neurowissenschaften studiere. Für meine Masterarbeit verwende ich die Elektroenzephalographie (EEG), um die arithmetische Problemlösung bei Kindern zu untersuchen. In Zukunft möchte ich auf dem Gebiet der Neurowissenschaften promovieren und auf diesem faszinierenden Gebiet weiterarbeiten. Meine Freizeit verbringe ich hauptsächlich damit, in einem Blasorchester zu spielen, neue Musikinstrumente zu lernen und tonnenweise nordische Kriminalromane zu lesen.

**STEPHAN E. VOGEL**

Ich bin Dozent am Institut für Psychologie an der Universität Graz. Meine Forschung konzentriert sich auf die Entwicklung des menschlichen Gehirns. Insbesondere bin ich sehr daran interessiert, besser zu verstehen, wie sich die Netzwerke des Gehirns und seine Funktionen mit zunehmendem Alter verändern. Um diese Prozesse zu untersuchen, verwende ich verschiedene neurowissenschaftliche Geräte wie Elektroenzephalographie (EEG) und funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRI). Ich arbeite und interagiere auch mit Lehrern, um ihnen zu helfen, besser zu verstehen, wie das Gehirn des Kindes lernt. In meiner Freizeit gehe ich gerne Bergsteigen und Skifahren in den schönen Bergen Österreichs. *stephan.vogel@uni-graz.at

†Diese Autoren haben gleichermaßen zu dieser Arbeit beigetragen

German version provided by
Deutsche Version von

J JACOBS
FOUNDATION
Our Promise to Youth



RAUM SCHAFFEN: WELCHE ROLLE DAS RÄUMLICHE DENKEN IN DER MATHEMATIK SPIELT

Katie A. Gilligan*

Institut für Psychologie der Universität Surrey, Guildford, Vereinigtes Königreich

JUNGE*
R
GUTACHTER*IN:



GONI
ALTER: 11

Räumliches Denken ermöglicht dir zu verstehen, wo sich Objekte befinden, welche Größe sie haben und in welcher Beziehung sie zu anderen Objekten stehen. Durch das räumliche Denken kannst du Objekte und Formen in deinem Kopf entstehen lassen und sie verändern. Es ist aber nicht nur für alltägliche Aufgaben sehr wichtig. Neue Forschungsergebnisse zeigen, dass es auch beim Rechnen unerlässlich ist. Kinder und Jugendliche, die mit räumlichen Aufgaben gut zurechtkommen, sind auch gut bei mathematischen Fragen. Ebenfalls ist bekannt, dass einige der Gehirnbereiche, die für das räumliche Denken zuständig sind, auch beim Lösen von Mathe-Aufgaben aktiviert werden. Und weißt du, was besonders toll ist? Viele Studien haben gezeigt, dass du dein räumliches Vorstellungsvermögen „trainieren“ kannst. Dies bedeutet, dass dein räumliches Vorstellungsvermögen mit entsprechenden Spielen und Aktivitäten verbessert werden kann. In diesem Artikel zeigen wir dir, wie du dein räumliches Denken verbessern kannst, und wir untersuchen, ob sich mit dem Training

deines räumlichen Denkens tatsächlich auch deine mathematischen Fähigkeiten verbessern lassen.

EINLEITUNG

Woher weißt du, wie du Gegenstände organisierst, also wie du zum Beispiel deinen Koffer packst oder deine Bücher in deine Schultasche steckst? Woher weißt du, welcher Schuh auf welchen Fuß kommt und wie du dein Hemd richtig zuknöpfst? Wie gelingt es dir, dich in einem Einkaufszentrum zurechtzufinden, und woher weißt du, was zu tun ist, wenn du an der falschen Haltestelle aus dem Bus steigst? All diese Aktivitäten hängen mit deinem räumlichen Vorstellungsvermögen zusammen. Wir Menschen sind jeden Tag Hunderte Male auf unser **räumliches Denken** angewiesen, ohne es überhaupt zu merken. Die meisten Menschen wissen auch nicht, dass das räumliche Vorstellungsvermögen auch über die alltäglichen Aktivitäten hinaus von großer Bedeutung ist – und das gilt auch für Lehrer. So kann es Einfluss darauf haben, wie gut du in der Schule bist, insbesondere im Fach **Mathematik**. Was genau ist also räumliches Denken und ist es möglich, es perfekt zu beherrschen?

RÄUMLICHES DENKEN

Wie das Gehirn die Position und Form verschiedener Objekte verarbeitet.

MATHEMATIK

Ein Fach, das mit Zahlen und Mengen zu tun hat.

RÄUMLICHES DENKEN: WIE MESSEN WIR ES?

Wir greifen auf unser räumliches Vorstellungsvermögen zurück, um den Ort (Position) und die Dimensionen (wie Länge und Größe) von Objekten einzuordnen. Und es hilft uns zu verstehen, in welcher Beziehung verschiedene Objekte stehen. Das räumliche Denken erfordert viele verschiedene Fähigkeiten. Einige der wichtigsten räumlichen Fähigkeiten sowie die Tests, mit denen sie von Wissenschaftlern gemessen werden, stellen wir dir jetzt vor.

Mentale Rotation

Die mentale Rotation ermöglicht es uns, Bilder in unseren Köpfen zu drehen (ihre Ausrichtung zu ändern). Hier ein Beispiel für dich zum Ausprobieren: Schließe deine Augen und stelle dir ein Objekt vor, zum Beispiel ein Auto. Kannst du dir nun vorstellen, wie das Auto aussehen würde, wenn es auf den Kopf gestellt würde? Genau dafür brauchst du die mentale Rotation – du musst sie anwenden, um das Bild des verkehrt herum liegenden Autos in deinem Kopf zu erzeugen. **Abbildung 1** stellt einen mentalen Rotationstest dar. Kannst du herausfinden, welches der zwei Bilder in der unteren Hälfte dem Bild darüber entspricht? Damit dir das gelingt, musst du die Kühe in deinem Kopf drehen. Dann kannst du erkennen, dass die Kuh auf der linken Seite mit der Kuh darüber identisch ist. Egal wie weit du die Kuh nach rechts drehst, wird sie immer in die falsche Richtung zeigen. Die Durchführung dieses Tests erfordert eine mentale Rotation. Übrigens: Du kannst Objekte in deinem Kopf nicht nur drehen, sondern dir

auch vorstellen, wie sie aussehen würden, wenn sie in zwei Hälften zerbrochen, gefaltet oder gebogen wären.

Abbildung 1

Beispiel einer Aufgabe zur mentalen Rotation.

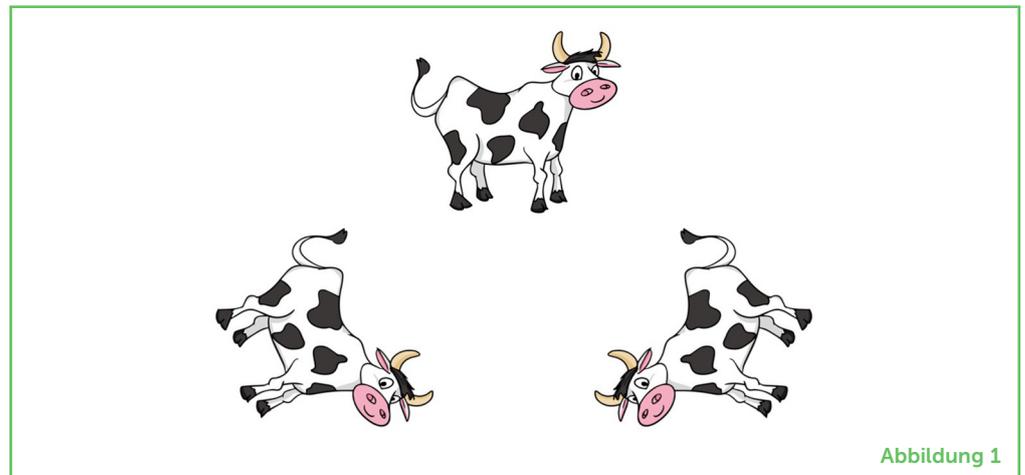


Abbildung 1

Entbettung

Entbettungsfähigkeiten sind die räumlichen Fähigkeiten, die erforderlich sind, um einzelne Objekte oder Bilder von einem komplizierteren Ganzen zu trennen. Entbettungsfähigkeiten helfen uns nachzuvollziehen, aus welchen Einzelteilen komplexe Strukturen zusammengesetzt sind. Ein sehr einfaches Beispiel hierfür ist in [Abbildung 2](#) dargestellt. Kannst du die orangefarbene Form in der komplexen Abbildung wiederfinden?

Abbildung 2

Beispiel Entbettungsaufgabe.

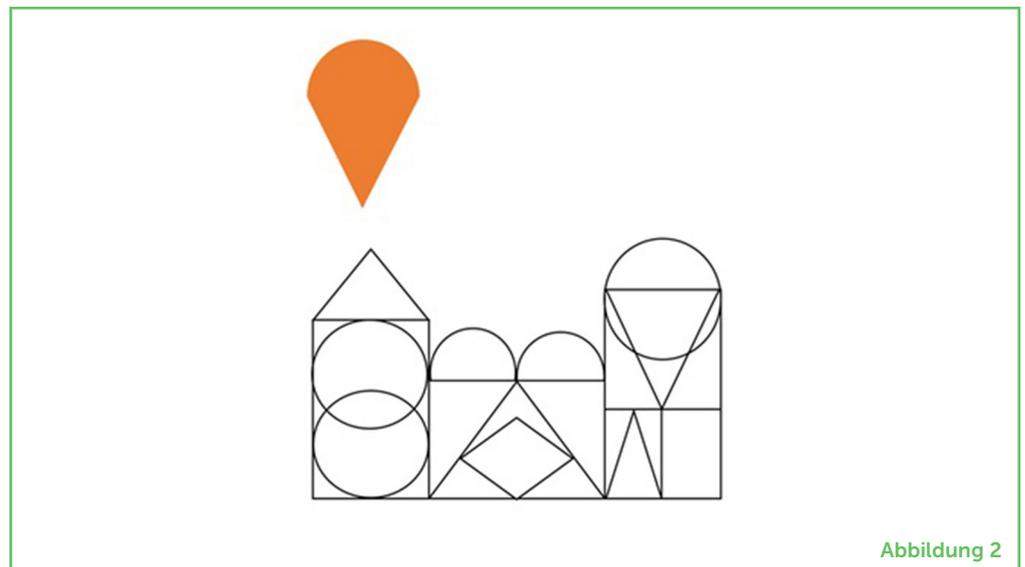


Abbildung 2

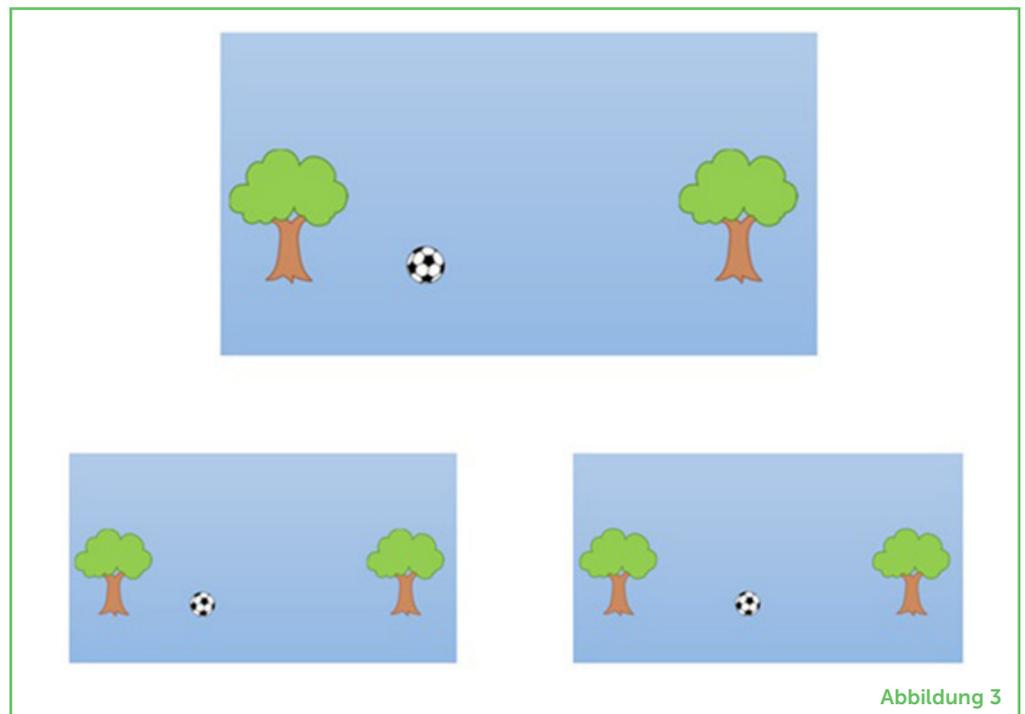
Räumliche Skalierung

Eine weitere räumliche Fähigkeit ist die sogenannte räumliche Skalierung. Sie ermöglicht uns, Darstellungen mit unterschiedlicher Größe richtig zu deuten. Beispielsweise wendest du die räumliche Skalierung an, um zu verstehen, dass die Kartenansicht eines Parks auf deinem Handy denselben Park darstellt, in dem du dich gerade

befindest. Ein anderes Beispiel ist, wenn wir Möbel wie einen Kleiderschrank mithilfe von kleinen Abbildungen auf einer Anleitung zusammenbauen. Um den Kleiderschrank zusammenzubauen, musst du zuerst verstehen, dass die kleine Schranktür in der Abbildung die lebensgroße Schranktür darstellt, die du ausgepackt hast und für deinen Kleiderschrank zusammenbauen möchtest. Auf jedem Bild in **Abbildung 3** befindet sich ein Ball zwischen zwei Bäumen. Welches der zwei Bilder unten entspricht dem Bild darüber? Wie du bestimmt erkannt hast, sind die beiden Bilder unten kleiner als das obere Bild. Du musst also beim Vergleichen der Bilder die räumliche Skalierung anwenden, um auf die richtige Lösung zu kommen. (Die Lösung lautet: links.)

Abbildung 3

Beispielaufgabe zur räumlichen Skalierung.



Navigation

Unsere Navigationsfähigkeiten sind wichtig, damit wir uns in unserer Umgebung zurechtfinden und an Orte gelangen, die wir erreichen müssen. Um richtig zu navigieren, musst du in der Lage sein, örtliche Zusammenhänge zwischen Gebäuden zu verstehen, Orientierungspunkte zu nutzen, dir vorzustellen, wie Straßen oder Gebäude aus verschiedenen Perspektiven aussehen, Routen zu erlernen und zu verstehen, wie deine Umgebung gestaltet ist.

RÄUMLICHES DENKEN IST IN DER SCHULE UND BEI DER ARBEIT WICHTIG

Das räumliche Denken ist–wie wir gesehen haben–nicht nur im Alltag von Bedeutung, sondern auch für deine schulischen Leistungen wichtig. Das gilt insbesondere für den Mathematikunterricht. Wer

sich gut in räumlichen Denkaufgaben macht, erzielt auch hohe Punktzahlen in Mathematiktests. Der Zusammenhang zwischen guter räumlicher Denkfähigkeit und guter Mathematikleistung ist unabhängig vom Alter. Untersuchungen haben beispielsweise bestätigt, dass Kleinkinder, die Bausteine besser zusammensetzen können als andere, auch beim Zählen und bei Zahlentests besser abschneiden [1]. Viele Wissenschaftler haben gezeigt, dass bei Grundschulkindern je nach Mathematikaufgabe eine andere Art des räumlichen Denkens wichtig ist [2]. Das heißt: Kinder, die räumliche Skalierung gut beherrschen, können auch gut Zahlen auf einer Zahlenlinie positionieren, und Kinder, die mentale Rotation gut anwenden können, sind besser in Rechenaufgaben mit fehlenden Zahlen wie $3 + \square = 5$. Auch für bestimmte Berufe ist ein gutes räumliches Vorstellungsvermögen sehr wichtig. Zum Beispiel benötigen Ingenieure das räumliche Vorstellungsvermögen, um sich die Struktur einer Brücke oder eines Gebäudes vorzustellen, Geologen, um sich in den verschiedenen Umgebungen zurechtzufinden, Ärzte, um sicherzustellen, dass sie Injektionen in die richtige Körperstelle spritzen und Röntgenbilder richtig lesen, und Biologen, um zu verstehen, wie sich Nahrung durch die verschiedenen Abschnitte unseres Verdauungssystems bewegt. Forschungsergebnisse zeigen, dass Personen, die schon in jungen Jahren über gute räumliche Fähigkeiten verfügten, im Erwachsenenalter eher Berufe in den Bereichen Wissenschaft, Technologie, Ingenieurwesen und Mathematik wählen.

WAS, WENN ICH IM RÄUMLICHEN DENKEN NICHT GUT BIN?

Du musst dir keine Sorgen machen, wenn du noch nicht besonders gut im räumlichen Denken bist. Denn das räumliche Denken ist eine **kognitive Fähigkeit**, die sich durch regelmäßiges Training gut verbessern lässt. Viele Forschungsstudien haben versucht herauszufinden, mit welchen verschiedenen Arten von kognitivem Training das räumliche Vorstellungsvermögen verbessert werden kann. Obwohl man beim Wort „Training“ in erster Linie an körperliche Bewegung denkt, meinen die (Gehirn-)Wissenschaftler mit dem Wort „Training“ eher so etwas wie „Übung“. Beim „räumlichen Training“ werden also normalerweise raumbezogene Aufgaben mit Papier und Bleistift geübt, raumbezogene Spiele auf einem Computer gespielt oder raumbezogene Aktivitäten ausgeführt wie eine Konstruktion mit Bauklötzen bauen. Viele Studien haben gezeigt, dass du dein räumliches Denken verbessern kannst, wenn du regelmäßig übst [3].

Es kommt aber noch besser: Neue Forschungsergebnisse zeigen, dass du, wenn du dein räumliches Denken verbesserst, auch in Mathematiktests besser abschneiden wirst. Wenn das Training einer Fähigkeit zu Verbesserungen auch einer anderen führt, nennt man dies

KOGNITIVE FÄHIGKEIT TRAINIEREN

Trainiere oder übe bestimmte Denkfähigkeiten mit der Absicht, sie zu verbessern.

„Übertragung“. Trainings, die das räumliche Denken üben, können also auch andere untrainierte Fähigkeiten verbessern. Anders ist es aber bei den Gehirntrainings, mit denen andere Arten von Denken (also nicht das räumliche Denken) verbessert werden sollen. Denn Studien haben gezeigt, dass mit diesen Gehirntrainings eine Übertragung auf untrainierte Fähigkeiten sehr schwierig ist. Über andere Arten des Gehirntrainings und wie sie funktionieren, kannst du hier etwas lesen [7]. Das Training des räumlichen Denkens ist also ziemlich besonders und wichtig, immerhin weist vieles darauf hin, dass es auf andere Fähigkeiten, beispielsweise Mathematik, übertragen wird.

Untersuchungen, die ich vor Kurzem abgeschlossen habe, haben gezeigt, dass Kinder bei einem Mathematiktest höhere Punktzahlen erzielten, nachdem sie sich ein kurzes Video über räumliches Denken angesehen hatten [4]. Andere Wissenschaftler haben auch bestätigt, dass Tangrams, eine Art Puzzle, und andere räumliche Spiele die mathematischen Fähigkeiten verbessern können [5]. Leider wird räumliches Denken in Schulen normalerweise nicht unterrichtet. Es gibt jedoch viele Möglichkeiten, wie du es trotzdem ganz einfach in deinem Alltag zu Hause und in der Schule üben kannst. Verwende zum Beispiel mehr Diagramme und Grafiken—diese helfen dir dabei, neue Inhalte in der Schule schneller zu erlernen. Verwende auch mehr räumliche Sprache, zum Beispiel Wörter wie oben, über, um, durch, parallel, symmetrisch, und auch Gesten, wenn du deinen Freunden oder jüngeren Geschwistern schwierige Dinge erklärst. Außerdem kannst du Bauklötze, Lego-Steine oder Puzzles zusammensetzen, Möbel zusammenzustellen oder sogar Geschenke verpacken, um dein räumliches Denken zu üben. Es ist sogar möglich, dass einige Computerspiele wie Minecraft (bei denen Spieler 3D-Blöcke verwenden müssen, um Häuser und Städte zu bauen) oder Spiele, bei denen die Spieler durch Labyrinth oder unbekannte Räume navigieren müssen, das räumliche Denken ebenfalls verbessern.

WARUM IST RÄUMLICHES DENKEN IN DER MATHEMATIK SO WICHTIG?

Als Wissenschaftler versuchen wir noch immer die Frage zu beantworten, warum räumliche und mathematische Fähigkeiten zusammenhängen. Mit anderen Worten: Warum sind Menschen, die gut im räumlichen Denken sind, auch gut in Mathematik?

Eine Möglichkeit ist, dass dieselben Teile des Gehirns, die wir zum Lösen von räumlichen Aufgaben verwenden, auch beim Lösen von Mathe-Aufgaben eingesetzt werden. Mit der funktionellen Magnetresonanz-Bildgebung (fMRT) können wir sehen, welche Teile des Gehirns aktiviert (eingeschaltet) werden, wenn wir bestimmte Arten von Aktivitäten durchführen. Bei dieser Technik wird ein Scanner verwendet, der abbildet, welche Teile des Gehirns zu welchen Zeiten aktiv sind. Zum Beispiel können wir damit herausfinden, welcher

Teil des Gehirns aktiv wird, sobald wir eine mathematische Aufgabe lösen. Untersuchungen zeigen, dass sich einige räumliche und mathematische Fähigkeiten auf den gleichen Teil des Gehirns stützen, nämlich den Parietallappen [6]. Das bedeutet, dass Trainingsinhalte, die uns zum räumlichen Denken anregen, die Verbindungen zwischen Neuronen (Gehirnzellen) in diesem Teil des Gehirns möglicherweise stärken. Dies würde sich dann sowohl auf das räumliche Denken als auch auf unsere mathematischen Fähigkeiten positiv auswirken.

SCHLUSSFOLGERUNG

Wenn du das nächste Mal versuchst, so viele Kleidungsstücke wie möglich in deinen Koffer zu packen, oder wenn du der Karte auf deinem Handy genau folgst, denk einfach daran, wie wertvoll dein räumliches Vorstellungsvermögen ist. Vielleicht sogar mehr als Lese- und Rechenfähigkeiten haben räumliche Denkfähigkeiten einen großen Einfluss darauf, wie wir uns in unserem täglichen Leben fortbewegen und zurechtfinden. Wie in diesem Artikel beschrieben, kannst du mit Übungen für das räumliche Denken gleichzeitig auch deine mathematischen Fähigkeiten verbessern. Lass uns also Raum schaffen, um unser räumliches Denken zu entwickeln!

DANKSAGUNGEN

Wir möchten uns von ganzem Herzen bei allen bedanken, die bei der Übersetzung der Artikel in dieser Sammlung mitgeholfen haben, um sie für Kinder außerhalb des englischsprachigen Raums zugänglicher zu machen, sowie bei der Jacobs Foundation für die Bereitstellung der für die Übersetzung der Artikel erforderlichen Mittel.

ORIGINALARTIKEL

Gilligan, K. A., Hodgkiss, A., Thomas, M. S., and Farran, E. K. 2019. The developmental relations between spatial cognition and mathematics in primary school children. *Dev. Sci.* 22:e12786. doi: 10.1111/desc.12786

REFERENZEN

1. Verdine, B. N., Golinkoff, R. M., Hirsh-Pasek, K., Newcombe, N. S., Filipowicz, A. T., and Chang, A. 2014. Deconstructing building blocks: preschoolers' spatial assembly performance relates to early mathematical skills. *Child Dev.* 85:1062–76. doi: 10.1111/cdev.12165
2. Mix, K. S., Levine, S. C., Cheng, Y.-L., Young, C., Hambrick, D. Z., Ping, R., et al. 2016. Separate but correlated: the latent structure of space and mathematics

- across development. *J. Exp. Psychol. Gen.* 145:1206–27. doi: 10.1037/xge0000182
3. Uttal, D. H., Meadow, N. G., Tipton, E., Hand, L. L., Alden, A. R., Warren, C., et al. 2013. The malleability of spatial skills: a meta-analysis of training studies. *Psychol. Bull.* 139:352–402. doi: 10.1037/a0028446
 4. Gilligan, K. A., Thomas, M. S. C., and Farran, E. K. 2019. First demonstration of effective spatial training for near-transfer to spatial performance and far-transfer to a range of mathematics skills at 8 years. *Dev. Sci.* e12909. doi: 10.1111/de.sc.12909
 5. Cheng, Y. L., and Mix, K. S. 2014. Spatial training improves children's mathematics ability. *J. Cogn. Dev.* 15:2–11. doi: 10.1080/15248372.2012.725186
 6. Hawes, Z., Moriah Sokolowski, H., Ononye, C. B., and Ansari, D. 2019. Neural underpinnings of numerical and spatial cognition: An fMRI meta-analysis of brain regions associated with symbolic number, arithmetic, and mental rotation. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 103:316–33. doi: 10.1016/j.neubiorev.2019.05.007
 7. Goffin, C., and Ansari, D. 2018. Can brain training train your brain? Using the scientific method to get the answer. *Front. Young Minds* 6:26. doi: 10.3389/frym.2018.00026

HERAUSGEBER*IN: [Stephan E. Vogel](#)

WISSENSCHAFTLICHE*R MENTOR*IN: [Elizabeth Johnson](#)

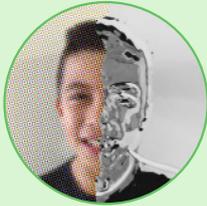
ZITAT: Gilligan KA (2023) Welche Rolle das räumliche Denken in der Mathematik spielt. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00050-de

ÜBERSETZT UND ÜBERNOMMEN VON: Gilligan KA (2020) Make Space: The Importance of Spatial Thinking for Learning Mathematics. *Front. Young Minds* 8:50. doi: 10.3389/frym.2020.00050

INTERESSENKONFLIKT: Die Autor*innen erklären hiermit, dass ihre Forschung ohne kommerzielle oder finanzielle Unterstützung durchgeführt wurde, aus der sich ein Interessenkonflikt ergeben könnte.

URHEBERRECHTE © 2020 © 2023 Gilligan. Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der [Creative-Commons-Attribution-Lizenz \(CC BY\)](#) verbreitet wird. Die Verwendung, Verbreitung oder Vervielfältigung in anderen Foren ist gestattet, sofern der/die Originalautor*innen und der/die Urheberrechtsinhaber*innen genannt werden und die Originalveröffentlichung in dieser Zeitschrift gemäß anerkannter wissenschaftlicher Praxis zitiert wird. Eine Nutzung, Verbreitung oder Vervielfältigung, die diesen Bedingungen nicht entspricht, ist nicht gestattet.

JUNGE*R GUTACHTER*IN:



GONI, ALTER: 11

Ich mag Lesen, Videospiele und Sport. Ich spiele Fußball, Basketball, fechte und mache gerne Crossläufe. Mein Lieblingsessen ist Pho und Sushi. Ich mag Geschichte, Geographie und lerne gerne Neues über Tiere. Ich spiele Klavier und kann Hebräisch, Englisch und ich lerne Chinesisch. Ich bin gerade von einem einjährigen Aufenthalt in Israel in die USA zurückgekehrt.

AUTOR*IN

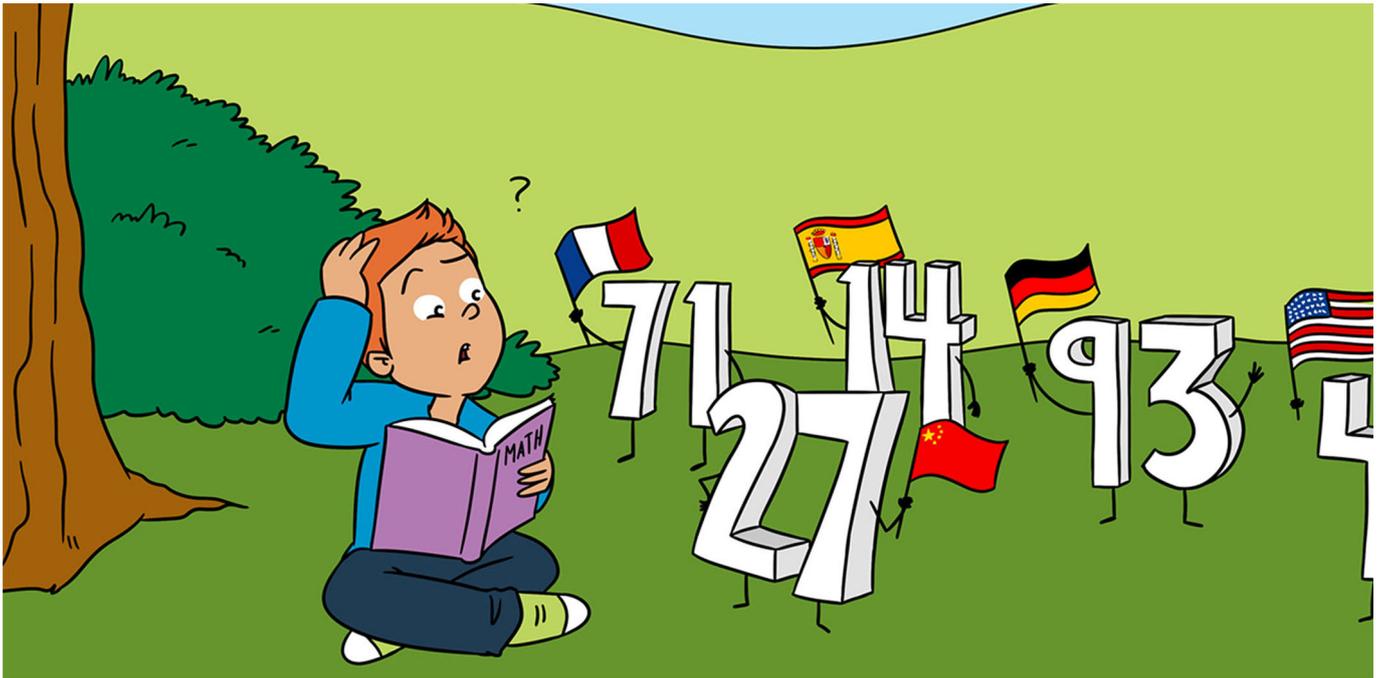


KATIE A. GILLIGAN

Mit meiner Forschungsarbeit untersuche ich, wie Kinder Mathematik lernen und insbesondere, welche Rolle das räumliche Denken in Bezug auf die mathematischen Fähigkeiten spielt. Ich interessiere mich dafür, verschiedene Arten von Training zu entwickeln, um die mathematischen Fähigkeiten der Kinder im Klassenzimmer zu verbessern, z. B. durch Computerspiele, welche mit Formen und räumlichem Denken arbeiten, Videos, Vermitteln von räumlichen Strategien, Konstruktionen mit Bausteinen und Lego. *k.gilligan@surrey.ac.uk

German version provided by
Deutsche Version von





ZWEIUNDVIERZIG ODER VIERZIG-UND-ZWEI: MATHEMATIK IN VERSCHIEDENEN SPRACHEN LERNEN

Julia Bahnmüller^{1,2,3*}, Hans-Christoph Nürk^{2,4} und Krzysztof Cipora^{1,2,4}

¹Zentrum für mathematische Kognition, Loughborough University, Loughborough, Vereinigtes Königreich

²LEAD Graduate School & Research Network, Universität Tübingen, Tübingen, Deutschland

³Labor für Neurokognitive Plastizität, Leibniz-Institut für Wissensmedien, Tübingen, Deutschland

⁴Fachbereich Psychologie der Universität Tübingen, Tübingen, Deutschland

JUNGE GUTACHTER*INNEN:



THE
BOMBAY
INTER-
NATIONAL
SCHOOL

ALTER: 13–14



BRIDGET
ALTER: 11



SIENNA
ALTER: 10

Grundkenntnisse in Mathematik scheinen eine ziemlich gewöhnliche Sache zu sein. $2 + 2$ ist gleich 4, sowohl in Frankreich als auch in China. 7×8 ist gleich 56, in den Vereinigten Staaten und auch in Deutschland. Obwohl wir die gleichen Symbole verwenden, um Zahlen aufzuschreiben (1, 2, 3, 4,...), verwenden wir für diese Zahlen ganz unterschiedliche Wörter, einfach weil wir verschiedene Sprachen sprechen. In diesem Artikel werden wir Beispiele dafür geben, wie Zahlwörter in verschiedenen Sprachen aussehen. Wir zeigen auch, wie der Aufbau von mehrstelligen Zahlwörtern das Erlernen von Mathematik und den Umgang mit großen Zahlen leichter oder schwieriger machen kann.

- ¹ Maths ist die Abkürzung für Mathematik, die in England verwendet wird. In den Vereinigten Staaten von Amerika lautet die Abkürzung math.
- ² Das „x“ in 7×8 ist ein Symbol für Multiplikation. Es wird aber auch „·“ ($7 \cdot 8$) oder „*“ ($7 * 8$) verwendet.

HINDU-ARABISCHES ZAHLENSYSTEM

Eine Reihe von Symbolen, die in den meisten Ländern zum Aufschreiben von Zahlen verwendet werden. Das hindu-arabische Zahlensystem verwendet genau 10 Symbole: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 und 0. Wir verwenden diese zehn Symbole, um einstellige Zahlen aufzuschreiben, und wir kombinieren sie, wenn wir mehrstellige Zahlen aufschreiben müssen.

PLATZWERTREGEL

Eine Regel, die es uns erlaubt, so viele Zahlen aufzuschreiben, wie wir wollen, mit nur den 10 Symbolen, die wir bereits kennen (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 und 0). Die Platzwertregel bedeutet, dass der Wert jeder Ziffer deutlich wird, wenn wir uns die Stelle dieser Ziffer innerhalb der mehrstelligen Zahl ansehen. Zum Beispiel ist der Wert der 9 in 92 9×10 und der Wert der 2 in 92 ist 2×1 . In 29 ist es jedoch umgekehrt: der Wert der 9 ist nur 9 (9×1) und der Wert der 2 ist 20×10 . Deshalb ist 92 anders als 29, obwohl beides Kombinationen der gleichen Ziffern sind!

ZAHLEN UND MATHEMATIK SIND ZIEMLICH UNIVERSSELL

Grundlegende Mathekenntnisse¹ scheinen eine ziemlich weit verbreitete Sache zu sein – du kannst es, ich kann es, sogar sehr kleine Kinder können es, bevor sie zur Schule gehen, z. B. wenn sie Murmeln zählen. Dies gilt auch für Berechnungen: $2 + 2$ ist gleich 4, sowohl in Frankreich als auch in China. 7×8 ist gleich 56, sowohl in den Vereinigten Staaten als auch in Deutschland.² Die meisten Länder verwenden das so genannte **hindu-arabische Zahlensystem**, um Zahlen aufzuschreiben. Das hindu-arabische Zahlensystem verwendet genau zehn Symbole, die dir höchstwahrscheinlich vertraut sind: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 und 0. Wir verwenden diese zehn Symbole, um einstellige Zahlen aufzuschreiben, und wir kombinieren sie, wenn wir mehrstellige Zahlen aufschreiben müssen.

Mehrstellige Zahlen folgen der **Platzwertregel**, die es uns erlaubt, beliebig viele Zahlen mit den nur uns bereits bekannten zehn Symbolen aufzuschreiben. Die Platzwertregel bedeutet, dass der Wert jeder Ziffer deutlich wird, wenn wir uns die Stelle dieser Ziffer innerhalb der mehrstelligen Zahl ansehen. Zum Beispiel ist der Wert der 9 in 92 9×10 und der Wert der 2 in 92 ist 2×1 . In 29 ist es jedoch genau umgekehrt: Der Wert der 9 ist 9 (9×1) und der Wert der 2 ist 20×10 . Deshalb sind 92 von 29 zwei unterschiedliche Zahlen, obwohl es sich bei beiden um Kombinationen der gleichen Ziffern handelt!

Dieselben Regeln und Symbole zu haben, ist großartig, denn es macht es einfacher, über Zahlen und Berechnungen zu sprechen. Es sieht fast so aus, als hätten wir weltweit eine einzige Mathematiksprache, und dass das Erlernen der Grundmathematik in einem Land vollkommen ausreichend ist, ohne dass man sie in einem anderen Land noch einmal lernen muss. $2 + 2$ bleibt 4, egal, wo auf der Welt du dich befindest.

SPRACHEN BENENNEN ZAHLEN AUF UNTERSCHIEDLICHE ART UND WEISE UND DAS KANN DAS ERLERNEN VON MATHEMATIK LEICHTER ODER SCHWIERIGER MACHEN

Es gibt nur ein winzig kleines Problem. Obwohl die meisten von uns die gleichen Symbole verwenden, um Zahlen aufzuschreiben, verwenden wir für diese Zahlen sehr unterschiedliche Wörter. Das liegt daran, dass wir verschiedene Sprachen sprechen. In **Tabelle 1** kannst du Beispiele für Zahlwörter für die Zahlen 1-10 in verschiedenen Sprachen finden. Wie du sehen kannst, unterscheiden sich die Zahlwörter von Sprache zu Sprache sehr stark – so wie die meisten anderen Wörter auch von Sprache zu Sprache unterschiedlich sind. Das Erlernen der Namen und der Bedeutung der Zahlen 1-10 in der eigenen Sprache ist einer der ersten und wichtigsten Schritte im Mathematikunterricht. Das Erlernen der zehn Zahlwörter ist jedoch für Kinder, die verschiedene Sprachen

sprechen, ebenso schwierig. Am Ende müssen sie alle zehn neuen Wörter lernen; eigentlich elf, wenn wir 0 und 10 mitzählen.

Tabelle 1

Zahlwörter in verschiedenen Sprachen. Mach dir keine Gedanken, du musst sie dir nicht alle im Detail merken. Konzentriere dich vielleicht einfach auf die blauen. Alle blauen Zahlwörter haben im Vergleich zu den sehr regelmäßigen mandarinischen Zahlwörtern etwas Besonderes. Unter allen zweistelligen Zahlwörtern siehst du, wie diese Zahlwörter höchstwahrscheinlich ins Englische übersetzt würden. Die Art und Weise, wie einige dieser Wörter aufgebaut sind, ist ziemlich kompliziert. Wenn du wissen willst, wie diese Zahlwörter ausgesprochen werden, kannst du sie dir im Internet anhören. Für Mandarin, Französisch, Deutsch und Hindi gehe bitte zu [bing.com/translator](https://www.bing.com/translator) und gib einfach das Zahlenwort ein. Für Baskisch kannst du dir diese YouTube-Videos anschauen: [https://www.youtube.com/watch?v=\\$6eb0J4Vg5ys&feature](https://www.youtube.com/watch?v=$6eb0J4Vg5ys&feature) (Zahlen 1–19), [https://www.youtube.com/watch?v=\\$wPbYCBzsw2A&feature](https://www.youtube.com/watch?v=$wPbYCBzsw2A&feature) (Zahlen 20–39).

	Mandarin	English	French	German	Basque	Hindi	
0	Ling	zero	zéro	Null	zero,	Shuniye	
1	Yi	one	un	Eins	hutsa bat	ek	1
2	Èr	two	deux	Zwei	bi	do	2
3	sān	three	trois	Drei	hiru	teen	3
4	si	four	quatre	Vier	lau	chat	4
5	wǔ	five	cinq	Fünf	bost	panch	5
6	liù	six	six	Sechs	sei	cheh	6
7	qi	seven	sept	Sieben	zazpi	cheh	7
8	bā	eight	huit	Acht	zortzi	saat	8
9	jiǔ	nine	neuf	Neun	bederatzi	aath	9
10	shí	ten	dix	Zehn	hamar	nao	10
11	shí yī [zehn eins]	eleven [elf]	onze [elf]	elf	hamaika [zehn eins]	gyaarah [elf] oder [eins zehn]	11
12	shí èr [zehn zwei]	twelve [zwölf]	douze [zwölf]	zwölf	hamabi [zehn zwei]	baarah [zwölf] oder [zwei zehn]	12
13	shí sān [zehn drei]	thirteen [dreizehn]	treize [dreizehn]	dreizehn	hamahiru [zehn drei]	tehrāh [dreizehn]	13
16	shí liù [zehn sechs]	sixteen [sechzehn]	seize [sechzehn]	sechzehn	hamasei [zehn sechs]	saulah [sechzehn]	16
17	shí qī [zehn sieben]	seventeen [siebzehn]	dix-sept [zehn sieben]	siebzehn	hamazazpi [zehn sieben]	satrah [siebzehn]	17
20	èr shí [zwei zehn]	twenty [zwanzig]	vingt [zwanzig]	zwanzig	hogei [zwanzig]	bees [zwanzig]	20
21	èr shí yī [zwei zehn eins]	twenty-one [zwanzig eins]	vingt et un [zwanzig und eins]	einundzwanzig	hogeita bat [zwanzig und eins]	ikis [eins und zwanzig]	21
29	èr shí jiǔ [zwei zehn neun]	twenty-nine [zwanzig neun]	vingt-neuf [zwanzig neun]	neunundzwanzig	hogeita bederatzi [zwanzig und neun]	unatis [eins vor dreissig]	29
48	sì shí bā [vier zehn acht]	forty-eight [vierzig acht]	quarante-huit [vierzig acht]	achtundvierzig	borrogeita zortzi [vierzig und acht]	adialis [acht und vierzig]	48
75	qī shí wǔ [sieben zehn fünf]	seventy-five [siebzig fünf]	soixante-quinze [sechzig fünfzehn]	fünfundsiebzig	hirurogeita hamabost [sechzig und zehn fünf]	chiyahatar [fünf und siebzig]	75
97	jiǔ shí qī [neun zehn sieben]	ninety-seven [neunzig sieben]	quatre-vingt -dix-sept [vier zwanzig zehn sieben]	siebenundneunzig	laurogeita hamazazpi [achzig und zehn sieben]	sataanave [sieben und neunzig]	97
100	yī bǎi [einhundert]	one hundred [einhundert]	cent [hundert]	einhundert / hunderd	ehun [hundert]	ek sau [einhundert]	100

Tabelle 1

Das Lernen von Zahlwörtern für Zahlen größer als zehn unterscheidet sich von Sprache zu Sprache deutlich stärker (versuche das Quiz in der [Abbildung 1](#)). In einigen Sprachen ist die Art und Weise, wie Menschen mehrstellige Zahlen benennen, sehr klar und leicht zu verstehen. Mandarin (die meist verbreitete Sprachenvarianz in China) ist eine dieser Sprachen. Das mandarinische Zahlwort für 29 lautet „Zwei-Zehn-Neun“ und das Zahlwort für 97 bedeutet so viel wie „Neun-Zehn-Sieben“. Wissenschaftler nennen solche Sprachen **transparent**. Das bedeutet, dass in Mandarin die Zahlwörter sehr genau zu der Art und Weise passen, wie wir die Ziffern von mehrstelligen Zahlen aufschreiben, und die Zahlwörter

demonstrieren deutlich die Platzwertregel: $97 = 9 \times 10 + 7 =$ „Neun-Zehn-Sieben.“

Abbildung 1

Welches Zahlwort auf der linken Seite gehört zu welcher hindu-arabischen Zahl auf der rechten Seite? Versuche es selbst und folge dann der Zeile, um zu sehen, ob du richtig geraten hast. In diesem Artikel findest du einige Hinweise, die dir dabei helfen sollen, um es herauszufinden, und [Tabelle 1](#) könnte dir auch dabei helfen, den Sinn der Zahlwörter zu verstehen.

TRANSPARENT

Transparent ist ein anderes Wort für klar oder gut strukturiert. Im Zusammenhang mit Zahlwörtern wird das Wort „transparent“ verwendet, um Sprachen zu beschreiben, in denen die Zahlwörter perfekt zur Art und Weise passen, wie wir die Ziffern von mehrstelligen Zahlen aufschreiben. In transparenten Sprachen zeigen die Zahlwörter deutlich die Platzwertregel (z. B., $97 = 9 \times 10 + 7 =$ „neun-zehn-sieben“).

ZAHLOWORT-INVERSION

In einigen Sprachen wird die Reihenfolge der Zahlen in zweistelligen Zahlwörter umgestellt. Das gilt zum Beispiel für Sprachen wie Deutsch, da wir für 42 zweiundvierzig sagen. Diese Umschaltung wird als Zahlwort-Inversion bezeichnet.

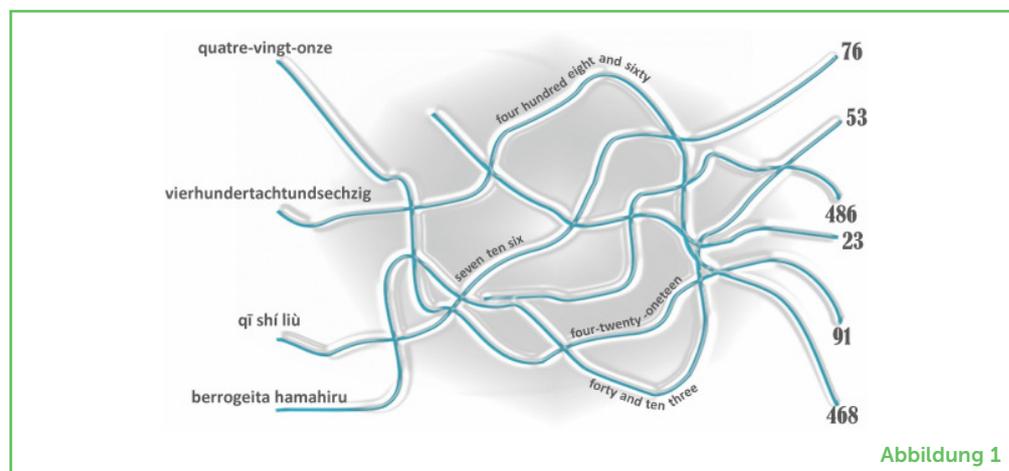


Abbildung 1

Wissenschaftler fanden heraus, dass das Erlernen der Mathematik und der Umgang mit mehrstelligen Zahlen für Kinder, die eine Sprache mit klaren Zahlwörtern sprechen, einfacher ist. Das Problem ist jedoch, dass nicht alle Sprachen klare Zahlwörter haben. Wie sehen unklare Zahlwörter aus? Sieh dir einige der Wörter für 97 an. Im Baskischen (eine Sprache, die hauptsächlich im Norden Spaniens gesprochen wird) sagt man „laurogeita hamazazpi“, was Achtzig-Zehn-Sieben bedeutet ($80 + 17$). Auf Französisch sagt man „quatre-vingt-dix-sept“, was „Vier-Zwanzig-Zehn-Sieben“ bedeutet ($4 \times 20 + 10 + 7$). Die Art und Weise, wie diese Zahlwörter zusammengebaut sind, ist wirklich kompliziert. In Hindi (eine der meist verbreiteten Sprachen Indiens) gibt es einige Zahlen, bei denen das Zahlwort durch Subtraktion statt durch Addition gebildet wird. Zum Beispiel für die Zahl 29 sagen die Hindi-Sprecher „unatis“, was „Eins vor Dreißig“ bedeutet ($30 - 1$).

In [Tabelle 1](#) kannst du die Wörter für einige mehrstellige Zahlen in verschiedenen Sprachen sehen. Alle blauen Zahlwörter sind irgendwie einzigartig. Die Nummern für die Zahlen zwischen 13 und 19 sind in vielen Sprachen besonders schwer zu lernen. Wäre es nicht klarer, „Eins-Zehn-Zwei“ zu sagen statt „Zwölf“ für 12? Zwölf ist ein neues Wort, das wir lernen müssen, während wir für „Eins-Zehn-Zwei“ einfach eine Regel verwenden können. Es ist auch nicht sehr hilfreich, „Vierzehn“ statt „Zehn Vier“ zu sagen (oder sogar „Eins Zehn Vier“, wie im Mandarin). Warum wechseln wir manchmal die Reihenfolge der Zahlen und benennen zuerst die Einheiten? Eine solche Umschaltung heißt Zahlwort-Inversion. Im Englischen werden zum Beispiel nur einige wenige Zahlwörter (für die Zahlen dreizehn bis neunzehn) durch Inversion gebildet. In anderen Sprachen, wie z. B. Deutsch, Niederländisch, Arabisch oder Maltesisch, werden alle zweistelligen Ziffern vertauscht (97 ist „Siebenundneunzig“ auf Deutsch, was „Sieben-und-Neunzig“ bedeutet). Bei größeren Zahlen wird es noch verwirrender! Das deutsche Zahlwort für 234 lautet

„Zweihundertvierunddreißig“. Hier wird die Ziffer auf der linken Seite zuerst ausgesprochen, dann die Ziffer auf der rechten Seite und zuallerletzt die Ziffer in der Mitte. Schön kompliziert, oder?

Es ist daher keine Überraschung, dass Kinder, die Sprachen mit vertauschten Zahlwörtern sprechen, Schwierigkeiten haben, mit mehrstelligen Zahlen umzugehen. Deutsche Kinder (Umstellung erforderlich) machen beim Aufschreiben von Zahlen mehr als 5-mal so viele Fehler wie japanische Kinder (keine Umstellung erforderlich) [1]. Etwa die Hälfte der Fehler, die deutsche Kinder gemacht haben, hatten was mit der Verwechslung der Reihenfolge zu tun [2]. Wenn sie zum Beispiel „Fünf-und-Vierzig“ hören, schreiben sie oft 54 statt der korrekten Zahl 45 auf. Also, jedes Kind, das eine Sprache mit transparenterem Zahlwortsystem spricht, kann sich glücklich schätzen, weil es ihm leichter fällt, Zahlen zu lernen.

NACH EINER GEWISSEN ÜBUNGSPHASE VERSTEHEN JEDOCH DIE MEISTEN MENSCHEN EINFACH, WIE MAN ES MACHT

Wir wissen bereits, dass Kinder, die eine Sprache mit nicht-transparenten Zahlwörtern sprechen, in der Mathematik schwerer zu kämpfen haben als Kinder, die eine Sprache mit transparenten Zahlwörtern sprechen. Die meisten älteren Kinder und Erwachsenen haben jedoch in der Regel keine derartigen Probleme mehr. Wenn das Erlernen nicht-transparenter Zahlwörter nur eine Frage der Zeit oder einer zusätzlichen Übung ist, ist es dann wirklich ein Problem? Nun, auch wenn die meisten Kinder schnell damit zurechtkommen, haben andere weiter zu kämpfen. Zum Beispiel zeigte eine Studie, dass Kinder, die mit etwa 7 Jahren mit Zahlwörtern zu kämpfen haben, höchstwahrscheinlich 3 Jahre später auch Probleme mit Mathematik haben [3]. Also können Probleme mit Zahlwörtern aufschlussreich darüber sein, welche Kinder vielleicht zusätzliche Hilfe in Mathematik benötigen, damit sie nicht zurückbleiben. Je früher wir helfen, desto besser!

... ABER DIE PROBLEME FANGEN WIEDER VON VORNE AN, WENN MAN VERSUCHT, MATHEMATIK IN EINER ANDEREN SPRACHE ZU LERNEN!

Immer mehr Menschen reisen nun in andere Länder und leben sogar dort, wo sie andere Sprachen sprechen müssen. Manchmal hat die neue Sprache eine andere Art, mehrstellige Zahlwörter zu benennen, und man muss sich diese neuen Zahlwörter aneignen. Dies kann z. B. ein großes Problem sein, wenn du aus Polen kommst (keine Umstellung erforderlich) und in Deutschland leben willst (Umstellung erforderlich). Krzysztof, einer der Autoren dieses Artikels, musste genau das erleben. Jedes Mal, wenn er seine Einkäufe erledigt und versucht, sie zu bezahlen, gerät er durcheinander. Wenn die Dame an der Kasse sagt: „Neunundzwanzig Euro, bitte!“ denkt Krzysztofs

zunächst: „Wie habe ich es um Himmels willen geschafft, fast hundert Euro für Lebensmittel auszugeben, die ich in den nächsten drei Tagen zu essen gedenke?“ Obwohl er weiß, dass er die Umstellung machen muss, und obwohl er Nachforschungen zu genau diesem Thema durchführt, braucht er in der Regel eine Weile, um sich zu beruhigen und den richtigen Geldbetrag zu bezahlen.

Das Erlernen von Zahlwörtern in einer neuen Sprache ist ein guter Anfang, auch wenn dies vielleicht schon schwierig ist. Aber selbst wenn du alle Zahlwörter in einer neuen Sprache kennst, bedeutet das nicht unbedingt, dass du in dieser neuen Sprache Mathematikaufgaben machen willst. Normalerweise ziehen es die Menschen vor, in einer bestimmten Sprache zu rechnen, und in den meisten Fällen wollen sie nicht in der Sprache rechnen, die sie erst kürzlich gelernt haben. Es ist wahrscheinlicher, dass Menschen in ihrer Hauptsprache rechnen oder in der Sprache, in der sie in der Schule Mathematik gelernt haben.

ZUSAMMENFASSUNG

Wir verwenden jeden Tag Zahlen und Zahlwörter, und für die meisten von uns sind sie nichts Besonderes – zumindest nicht nach einiger Zeit und Übung. Wenn wir uns jedoch Zahlwörter genauer ansehen, stellt es sich als faszinierend heraus, wie sich Sprachen bei der Benennung mehrstelliger Zahlen unterscheiden. Obwohl die Zahlwörter sehr unterschiedlich sind, ist die Art und Weise, wie die Zahlwörter gebildet werden, in den meisten Fällen nicht zufällig, sondern folgt spezifischen Regeln. Sieh dir das Quiz in [Abbildung 1](#) noch einmal an. Nachdem du nun einige dieser Regeln kennst, versuche jetzt, einige der Zahlen leichter zu entschlüsseln. Die Erforschung der Details von Zahlwörtern kann uns helfen zu verstehen, warum Kinder, die eine Sprache sprechen, mit Mathematik mehr Probleme haben könnten als Kinder, die eine andere Sprache sprechen. Es wäre uns auch möglich, Kinder, die Probleme mit der Mathematik haben, frühzeitig zu erkennen, um herauszufinden, wie sie unterstützt werden können. Natürlich sind die Regeln für den Aufbau von Zahlwörtern nicht das Einzige, was beim Lernen von Mathematik wichtig ist, aber es ist sicherlich ein Teil des Rätsels.

DANKSAGUNGEN

Wir danken Ani, die 11 Jahre alt ist, für ihre Kommentare zu einer früheren Version des Manuskripts. Wir möchten uns von ganzem Herzen bei allen bedanken, die bei der Übersetzung der Artikel in dieser Sammlung mitgeholfen haben, um sie für Kinder außerhalb des englischsprachigen Raums zugänglich zu machen, ebenso bei der Jacobs Foundation für die Bereitstellung der für die Übersetzung der Artikel erforderlichen Mittel.

REFERENZEN

1. Moeller, K., Zuber, J., Olsen, N., Nuerk, H.-C., and Willmes, K. 2015. Intransparent German number words complicate transcoding—a translingual comparison with Japanese. *Front. Psychol.* 6:740. doi: 10.3389/fpsyg.2015.00740
2. Zuber, J., Pixner, S., Moeller, K., and Nuerk, H.-C. 2009. On the language-specificity of basic number processing: transcoding in a language with inversion and its relation to working memory capacity. *J. Exp. Child Psychol.* 102:60–77. doi: 10.1016/j.jecp.2008.04.003
3. Moeller, K., Pixner, S., Zuber, J., Kaufmann, L., and Nuerk, H.-C. 2011. Early place-value understanding as a precursor for later arithmetic performance—a longitudinal study on numerical development. *Res. Dev. Disabil.* 32:1837–51. doi: 10.1016/j.ridd.2011.03.012

HERAUSGEBER*IN: [Stephan E. Vogel](#)

WISSENSCHAFTLICHE MENTOR*INNEN: [Ariel Starr](#) und [Shubha Tole](#)

ZITAT: Bahnmüller J, Nürk H und Cipora K (2023) Zweiundvierzig oder Vierzig-und-Zwei: Mathematik in verschiedenen Sprachen lernen. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00084-de

ÜBERSETZT UND ÜBERNOMMEN VON: Bahnmüller J, Nürk H and Cipora K (2020) Forty-Two or Two-and-Forty: Learning Maths in Different Languages. *Front. Young Minds* 8:84. doi: 10.3389/frym.2020.00084

INTERESSENKONFLIKT: Die Autor*innen erklären hiermit, dass ihre Forschung ohne kommerzielle oder finanzielle Unterstützung durchgeführt wurde, aus der sich ein Interessenkonflikt ergeben könnte.

URHEBERRECHTE © 2020 © 2023 Bahnmüller, Nürk und Cipora. Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der [Creative-Commons-Attribution-Lizenz \(CC BY\)](#) verbreitet wird. Die Verwendung, Verbreitung oder Vervielfältigung in anderen Foren ist gestattet, sofern der/die Originalautor*innen und der/die Urheberrechtsinhaber*innen genannt werden und die Originalveröffentlichung in dieser Zeitschrift gemäß anerkannter wissenschaftlicher Praxis zitiert wird. Eine Nutzung, Verbreitung oder Vervielfältigung, die diesen Bedingungen nicht entspricht, ist nicht gestattet.

JUNGE GUTACHTER*INNEN

THE BOMBAY INTERNATIONAL SCHOOL, ALTER: 13–14

Wir sind die Schüler*innen der 8. Klasse der Bombay International School (zwei Gruppen von je 20 Schüler*innen) und interessieren uns für das Konzept, Artikel für *Frontiers for Young Minds* zu rezensieren. Es macht uns Spaß, unsere eigenen Fähigkeiten als Schriftsteller*innen zu erproben, wenn wir Feedback für ein Manuskript geben. Es macht Spaß, zu lernen, unsere Grenzen zu erforschen



und zu überwinden. Es gibt so vieles, was wir von Frontiers for Young Minds lernen können!



BRIDGET, ALTER: 11

Hallo, ich bin Bridget, ich mag genau die gleichen Dinge wie Siena. Lernen macht Spaß!



SIENA, ALTER: 10

Hallo, mein Name ist Siena, ich lese und schreibe gerne, und ich bin in der fünften Klasse.

AUTOR*INNEN



JULIA BAHNMÜLER

In meiner Forschung interessiere ich mich dafür, wie Kinder grundlegende Mathematik lernen, aber auch, wie Erwachsene mit Zahlen umgehen. Mich interessiert vor allem, wie verschiedene Sprachen beim Lernen von Mathematik helfen oder manchmal nicht helfen. Ich halte es auch für sehr wichtig, die Dinge, die ich aus der Forschung lerne, zu nutzen, um Kinder zu unterstützen, die wirklich mit Mathematik, Lesen oder Schreiben zu kämpfen haben. Meine Hauptsprache ist Deutsch, aber ich spreche auch Englisch und Französisch, und ich bemühe mich gerade sehr, Spanisch zu lernen. *j.bahnmuller@lboro.ac.uk



HANS-CHRISTOPH NÜRK

Als Kind lernte ich ziemlich spät sprechen. Ich habe erst mit etwa 2 Jahren angefangen, ein bisschen zu sprechen. Im Urlaub traf ich damals ein kleines Mädchen in meinem Alter, das bereits sprechen konnte. Allerdings habe ich Zahlen und Berechnungen recht früh gelernt. Vielleicht ist dies einer der Gründe, warum ich mich dafür interessiere, wie die Sprache die Zahlenverarbeitung und Mathematik beeinflusst. Ist das Rechnen in einigen Sprachen einfacher als in anderen? Brauchen wir überhaupt eine Sprache, um mit Zahlen umzugehen? Ist die Sprache besonders wichtig, wenn die Mathematikprobleme schwieriger werden?



KRZYSZTOF CIPORA

Ich arbeite als Forscher in Loughborough, Großbritannien und komme ursprünglich aus Polen. Ich habe auch in Deutschland ein paar Jahre gelebt. Polnisch ist meine Hauptsprache, und das mag der Grund sein, warum ich mit deutschen Zahlen zu kämpfen habe! In meiner Arbeit untersuche ich, wie das Gehirn mit Zahlen umgeht und welche Art von anderen Informationen es dazu verwendet. Abgesehen davon interessiere ich mich für viele Dinge in der Wissenschaft im Allgemeinen. In meiner Freizeit reise und wandere ich gerne. Meine Lieblingstiere sind: Pinguine, Riesenpandas, Alpakas und Koalas.

German version provided by
Deutsche Version von

JACOBS
FOUNDATION
Our Promise to Youth



WIE KÖNNEN WIR FREMDSPRACHIGE VOKABELN LEICHTER LERNEN?

Brian Mathias^{1,2*}, Christian Andrä^{3,4}, Katja M. Mayer⁵, Leona Sureth², Andrea Klingebiel², Gesa Hartwigsen⁶, Manuela Macedonia^{2,7} und Katharina von Kriegstein^{1,2}

¹Fakultät Psychologie der TU Dresden, Dresden, Deutschland

²Forschungsgruppe Neuronale Mechanismen zwischenmenschlicher Kommunikation, Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften, Leipzig, Deutschland

³Zentrum für Lehrer:innenbildung und Schulforschung, Universität Leipzig, Leipzig, Deutschland

⁴Fachbereich Schulsport, Sportwissenschaftliche Fakultät, Institut für Sportpsychologie und Sportpädagogik, Universität Leipzig, Leipzig, Deutschland

⁵Institut für Psychologie, Universität Münster, Münster, Deutschland

⁶Lise-Meitner-Forschungsgruppe Kognition und Plastizität, Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften, Leipzig, Deutschland

⁷Institut Information Engineering, Johannes Kepler Universität, Linz, Österreich

JUNGE GUTACHTER*INNEN:



ETHAN
ALTER: 10



JAIDEN
ALTER: 13

Hast du jemals versucht, dich an ein Wort in einer Fremdsprache zu erinnern? Welche Strategie hast du dabei angewendet? In mehreren Studien untersuchten wir die vorteilhaften Auswirkungen des Betrachtens von Bildern und der Ausführung von Gesten beim Lernen von Fremdsprachenwörtern. Sowohl Bilder als auch Gesten halfen Grundschulkindern und Erwachsenen, sich die Bedeutungen fremdsprachiger Wörter besser zu merken als durch bloßes Zuhören. Für Kinder waren Bilder und Gesten gleichermaßen hilfreich. Für Erwachsene waren Gesten hilfreicher als Bilder. Sowohl

visuelle als auch motorische Hirnbereiche halfen beim Lernen der fremdsprachigen Wörter. Unsere Studien legen nahe, dass das Lernen fremdsprachiger Wörter mit Bildern und Gesten hilfreich für die Lernenden ist, da Bilder und Gesten es sowohl Kindern als auch Erwachsenen ermöglichen, sich die Bedeutungen von Wörtern mit mehreren Sinnen zu erschließen.

WIE LERNEN WIR VOKABELN IN EINER FREMDSPRACHE?

Sprachen sind wichtig, weil sie es uns ermöglichen, miteinander zu kommunizieren. Die Menschen, die heute auf der Erde leben, sprechen über 6.000 verschiedene Sprachen [1]. Jede dieser Sprachen hat Zehntausende von Wörtern oder **Vokabular**, das sich auf Objekte in der Umwelt, Menschen, Orte, Gefühle und Gedanken beziehen. Da du diesen Artikel liest, der in deutscher Sprache verfasst ist, könnte Deutsch deine **Muttersprache (L1)** sein, d. h. die Sprache, die du seit deiner Geburt lernst. Möglicherweise hast du Deutsch auch in der Schule gelernt, von Lehrern oder aus Büchern oder, indem du deutsche Wörter außerhalb der Schule gehört hast. Wenn dies der Fall ist, dann hast du wahrscheinlich Deutsch als **Fremdsprache (L2)** gelernt. Einer der wichtigsten Schritte beim Erlernen einer neuen Sprache ist das Erlernen des Vokabulars dieser Sprache. Dies erfordert viel Zeit und Übung.

Um ein L2-Wort zu lernen, müssen wir hören, wie das Wort ausgesprochen wird oder sehen, wie es geschrieben wird und die Bedeutung dieses Wortes lernen. Kinder und Erwachsene verwenden viele Strategien, um L2-Wörter zu lernen. Sie können zum Beispiel Audioaufnahmen anhören oder Wortlisten zusammenstellen. Neuere Forschungen legen nahe, dass solche Techniken weniger effektiv sind als Strategien, die eine **Anreicherung** [2] verwenden. Anreicherung bezieht sich auf Informationen, die während des Lernens präsentiert werden und die es uns ermöglichen, die Bedeutung eines Wortes mit mehreren Sinnen zu erfahren [3]. Anstatt z. B. ein L2-Wort durch bloßes Hören zu lernen, könnten wir ein verwandtes Bild betrachten, während wir dem ausgesprochenen Wort zuhören. Dies geschieht beim Lesen von Bilderbüchern und beim Lernen von Vokabeln mit Bildkarten. Eine andere Anreicherungsstrategie könnte darin bestehen, Gesten auszuführen, die die Bedeutung eines Wortes anzeigen, während man das ausgesprochene Wort hört. Das Wort Flugzeug könnte beispielsweise angezeigt werden, indem wir unsere Arme durch die Luft bewegen, als wären sie Flügel.

Das Betrachten von Bildern beim Hören von L2-Wörtern ist eine Form der multisensorischen Anreicherung, da diese Technik Informationen von mehreren Sinnen – Sehen und Hören – nutzt. Das Ausführen von Gesten beim Hören von L2-Wörtern ist eine Form der sensomotorischen Anreicherung, da diese Technik nicht nur

VOKABULAR

Die Menge der in einer Sprache verwendeten Wörter.

MUTTERSPRACHE (L1)

Eine Sprache, der eine Person von Geburt an ausgesetzt war und die sie zuerst gelernt hat.

FREMDSPRACHE (L2)

Eine Sprache, die meist von Menschen in einer anderen Region der Welt als die des Sprechers gesprochen wird.

ANREICHERUNG

Das Vorhandensein von zusätzlichen, ergänzenden Informationen während des Lernens, die helfen, die Bedeutung eines Wortes in einer Fremdsprache zu veranschaulichen.

HYPOTHESE

Annahme, die durch die Durchführung von wissenschaftlichen Experimenten getestet werden kann.

Informationen der Sinne, sondern auch Körperbewegungen nutzt. Wir testeten, welche Art der Anreicherung dem L2-Lernen am meisten half [3, 4] und wie das Gehirn das L2-Lernen unterstützte [3, 5, 6]. Sowohl Erwachsene als auch Kinder wurden mit drei verschiedenen Methoden im L2-Vokabular unterrichtet: Hören des Vokabulars beim Betrachten von Bildern (multisensorische Anreicherung), Hören des Vokabulars beim Ausführen von Gesten (sensomotorische Anreicherung) und nur Hören des Vokabulars (keine Anreicherung). Unsere **Hypothese** war, dass das Sehen von Bildern und das Ausführen von Gesten während des Lernens Kindern und Erwachsenen hilft, fremdsprachige Wörter besser zu lernen als nur durch bloßes Zuhören.

HELFEN BILDER UND GESTEN ERWACHSENEN, FREMDSPRACHIGE WÖRTER ZU LERNEN?

Zunächst haben wir unsere Hypothese an jungen Erwachsenen getestet [3]. Zweiundzwanzig Erwachsene hörten während der 5-tägigen Schulung L2-Wörter und ihre L1-Übersetzungen. Den Erwachsenen wurden Wörter beigebracht, die sie noch nie zuvor gehört hatten, wie z. B. diwume und giketa. Eine vollständige Liste der Wörter, die den Erwachsenen beigebracht wurden, findest du [hier](#). Einige Wörter wurden an Bilder gekoppelt (**Abbildung 1**). Als die Erwachsenen zum Beispiel das Fremdwort für Zelt hörten, sahen sie auch eine Abbildung eines Zeltes. Andere Wörter wurden mit Videos einer Schauspielerin gepaart, die Gesten vorführte. Zum Beispiel wurde ein Video einer Schauspielerin, die aus einer imaginären Flasche trinkt, mit dem Wort für Flasche kombiniert. Die Erwachsenen führten die Geste zusammen mit der Schauspielerin aus. Der Rest der Wörter wurde nur durch Anhören jedes L2-Wortes und seiner L1-Übersetzung gelernt.

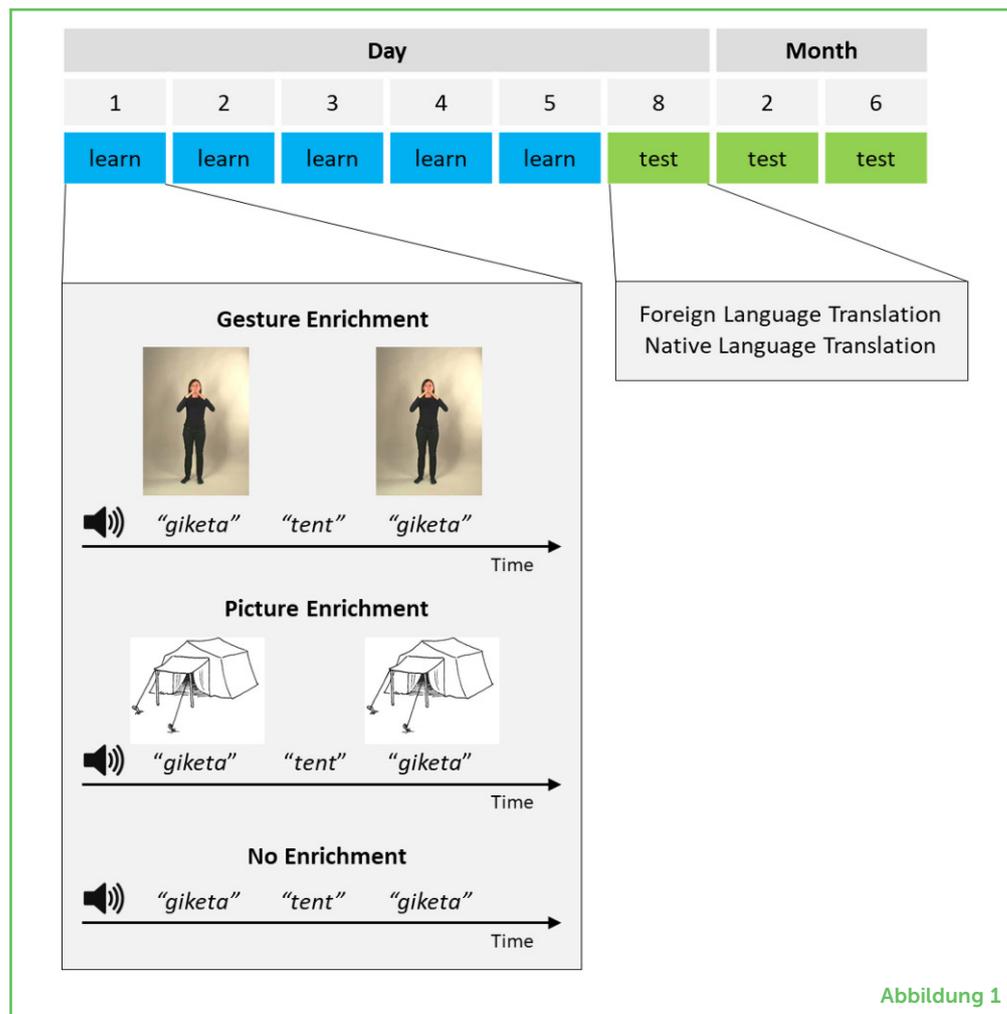
Vokabeltests wurden 8 Tage, 2 Monate und 6 Monate nach der Lernphase durchgeführt. In einem der Tests erhielten die Erwachsenen eine Liste aller L1-Wörter und notierten ihre L2-Übersetzungen. In einem weiteren Test erhielten sie eine Liste aller L2-Wörter und notierten ihre L1-Übersetzungen. Wir haben die Testergebnisse addiert. Wir fanden heraus, dass Erwachsene bessere Testergebnisse erzielten für Wörter, die sowohl mit Bildern als auch mit Gesten gelernt wurden, im Vergleich zu den Vokabeln, bei denen es keine Anreicherung gab. Des Weiteren stellten wir fest, dass diese Vorteile nach 6 Monaten immer noch vorhanden waren [3]. Wir fanden auch heraus, dass Bilder und Gesten kurzfristig (8 Tage und 2 Monate nach der Lernphase) ebenso hilfreich waren. Auf lange Sicht (6 Monate nach dem Lernen) war das Lernen mit Gesten jedoch noch hilfreicher als das Lernen mit Bildern (**Abbildung 2**).

WAS IST MIT KINDERN?

Als nächstes testeten wir, ob die Gestenanreicherung auch Kindern helfen würde [4]. Siebenundneunzig 8-jährige deutsche Schulkinder

Abbildung 1

Verfahren zum Erlernen einer Fremdsprache. Erwachsene und Kinder lernten über 5 Tage fremdsprachige Wörter. Sie lernten die fremdsprachigen Wörter durch Gesten (Gesture Enrichment), durch das Betrachten von Bildern (Picture Enrichment) oder durch bloßes Zuhören (No Enrichment). Die Erwachsenen und Kinder schrieben 8 Tage, 2 Monate und 6 Monate nach dem Lernen Vokabeltests, in denen sie gebeten wurden, eine Liste der muttersprachigen Wörter (Native Language Translation) und eine Liste der fremdsprachigen Wörter (Foreign Language Translation) zu übersetzen.



lernten an 5 Tagen englische L2-Wörter. Sie lernten die Wörter mit Bildern, Gesten oder ohne Anreicherung (Abbildung 1). Den Kindern wurden englische Wörter beigebracht, die sie in ihren Englischkursen noch nie zuvor gesehen oder gehört hatten. Die Kinder schrieben die gleichen Vokabeltests wie Erwachsene nach 8 Tagen, 2 Monaten und 6 Monaten nach Abschluss der Lernphase. Die Kinder gaben ihre Antworten eher mündlich als schriftlich.

Wir fanden heraus, dass Kinder nach 8 Tagen, 2 Monaten und 6 Monaten nach dem Lernen bessere Testergebnisse erzielten für Wörter, die sowohl mit Bildern als auch mit Gesten gelernt wurden, als bei den Wörtern, die ohne Anreicherung gelernt wurden. Wie bei den Erwachsenen waren Bilder und Gesten kurzfristig (8 Tage und 2 Monate nach Lernbeginn) ebenso hilfreich. Im Gegensatz zu den Erwachsenen waren jedoch die Testergebnisse der Kinder im Anschluss an gesten- und bildangereichertes Lernen 6 Monate nach dem Lernen gleichwertig (Abbildung 2). Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass Gesten und Bilder für das L2-Lernen von Kindern gleichermaßen hilfreich waren. Die Punktzahlen der Kinder waren insgesamt niedriger. Dies könnte daran liegen, dass die Kinder

Abbildung 2

Ergebnisse der Übersetzungstests. (Oben) Ergebnisse für junge Erwachsene (links) und Kinder (rechts) bei den Übersetzungstests, die 6 Monate nach dem Fremdspracherwerb geschrieben wurden [3, 4]. Gesten (grüne Balken) und Bilder (violette Balken) halfen sowohl jungen Erwachsenen als auch Kindern, die Übersetzungen der fremdsprachigen Wörter zu lernen, und zwar sie halfen mehr als nicht angereichertes Lernen (schwarze Balken). Die Linien, die von jedem Balken ausgehen, stellen Schätzungen dar, wie stark die Variation der Testergebnisse für alle jungen Erwachsenen oder Kinder war. (Unten) Ergebnisse für die nicht angereicherten Wörter wurden von den Punktzahlen für die mit der Anreicherung gelernten Wörter abgezogen, um die Vorteile der Anreicherung zu veranschaulichen. Bei Erwachsenen war der Anreicherungsnutzen für Wörter, die mit Gesten gelernt wurden, höher als der Anreicherungsnutzen für Wörter, die mit Bildern gelernt wurden, was bedeutet, dass Gesten sogar hilfreicher waren als Bilder.

BIOLOGISCHER MOTORISCHER SUPERIOR TEMPORÄRER SULCUS (bmSTS)

Ein visueller Bereich des Gehirns, der reagiert, wenn Menschen Körperbewegungen sehen.

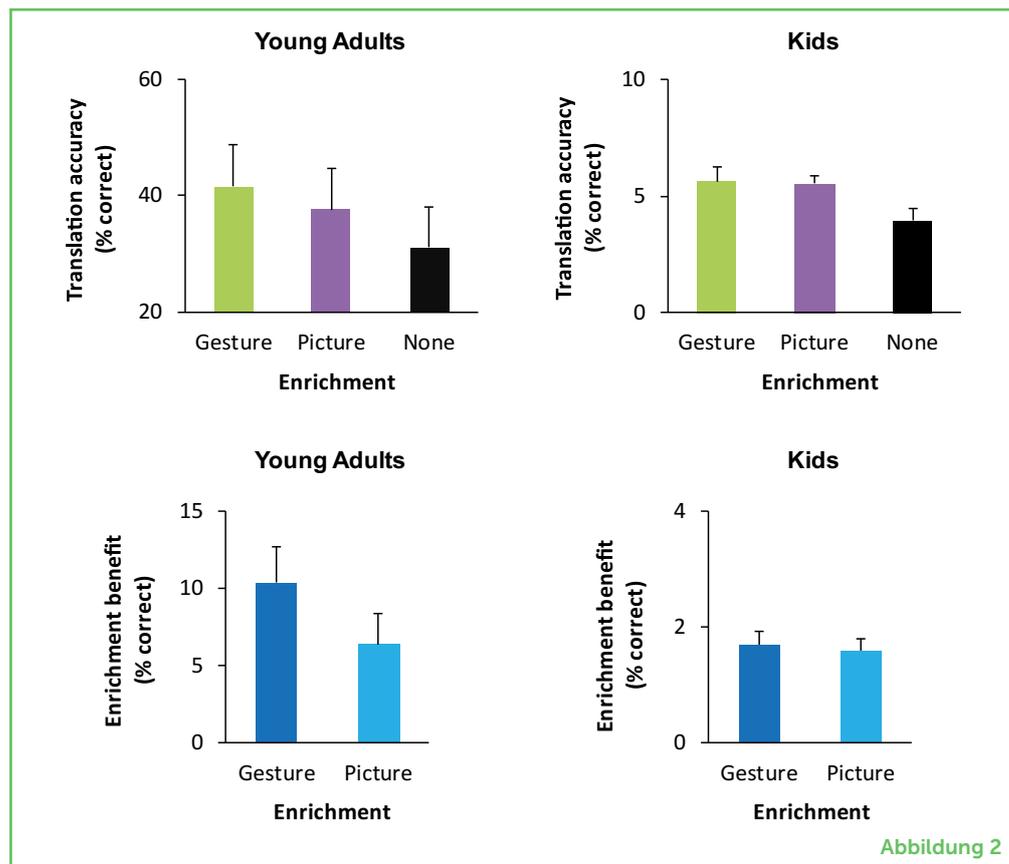


Abbildung 2

noch am Anfang ihres Ausbildungswegs standen, im Vergleich zu den Erwachsenen.

WELCHE HIRNBEREICHE SIND AM LERNEN VON FREMDWÖRTERN BETEILIGT?

Unser nächster Schritt war der Versuch zu verstehen, wie die multisensorische und sensomotorische Anreicherung das Lernen des L2-Vokabulars unterstützt. Um diese Frage zu beantworten, wandten wir uns dem Gehirn zu. Wir wissen, dass das Sehen anderer Menschen, die sich bewegen, Reaktionen in einem Hirnbereich hervorrufen kann, das als **Biologischer Motorischer Superior Temporärer Sulcus (bmSTS)** bezeichnet wird [7], und dass die Ausführung von Bewegungen Reaktionen in einem Hirnareal hervorrufen kann, das als **motorischer Cortex** [8] bezeichnet wird. Wir stellten die Hypothese auf, dass der bmSTS und der motorische Cortex besser reagieren würden, wenn Kinder und Erwachsene mit Gesten angereicherte L2-Wörter hörten, im Vergleich zu bildangereicherten L2-Wörtern. Wir machten eine ähnliche Vorhersage für die mit Bildern gelernten L2-Wörter: Wir sagten voraus, dass eine visuelle Hirnregion namens **lateraler okzipitaler Komplex (LOC)** (für das englische Lateral Occipital Complex) besser reagieren würde, wenn Kinder und

Abbildung 3

Ergebnisse der Hirnbildgebung. Die beiden Bilder auf der linken Seite zeigen die Oberfläche der linken Gehirnhälfte, die beiden Bilder auf der rechten Seite zeigen zwei Ansichten des Inneren des Gehirns. Bereiche des Gehirns, von denen bekannt ist, dass sie visuelle Bewegungsinformationen (der bmSTS), motorische Informationen (der motorische Cortex) und visuelle Objektinformationen (der LOC) verarbeiten, sind blau dargestellt. Hirnbereiche, für die mittels Bildgebung gezeigt werden konnte, dass sie an der Übersetzung von Fremdsprachenwörtern, die mithilfe von Gesten oder Bildern gelernt wurden, beteiligt sind, sind hellgrün dargestellt [3].

MOTORISCHER CORTEX

Der Teil des Gehirns, der Bewegungen auslösen kann, indem er die Muskeln steuert.

LATERALER OKZIPITALER KOMPLEX (LOC)

Ein visueller Bereich des Gehirns, der reagiert, wenn Menschen Objekte sehen.

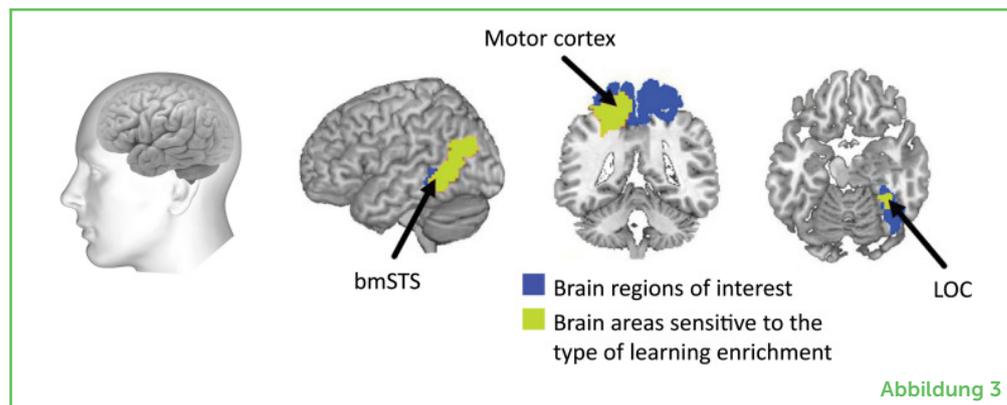


Abbildung 3

Erwachsene mit Bildern angereicherte L2-Wörter hörten, im Vergleich zu nicht angereicherten L2-Wörtern.

Bisher haben wir diese Hypothesen bei Erwachsenen getestet [3]. Um zu sehen, welche Bereiche ihres Gehirns aktiv waren, wurde an 22 Erwachsene nach 5 Tagen L2-Vokabellernen ein Gehirnsan durchgeföhrt. Weitere Informationen darüber, wie ein Gehirnsan die Hirnaktivität misst, finden du in diesem [Young Minds Artikel](#) [9]. Wir untersuchten die Reaktionen innerhalb des bmSTS, des motorischen Cortex und des LOC, während die Erwachsenen die L2-Wörter hörten und übersetzten ([Abbildung 3](#)). Wir stellten fest, dass die Antworten im LOC uns sagten, ob ein Wort mit Bildern gelernt wurde und die Antworten im bmSTS und im motorischen Cortex sagten uns, ob ein Wort mit Gesten gelernt wurde. Diese Ergebnisse zeigen uns, dass die spezifischen Gehirnreaktionen mit den hilfreichen Effekten der Bild- und Gestenanreicherung zusammenhängen.

In der wissenschaftlichen Forschung ist in der Regel eine einzige Methode nicht ausreichend, um zu beweisen, ob eine Schlussfolgerung korrekt ist oder nicht. Der Grund dafür ist, dass alle Methoden bestimmte Stärken und Schwächen haben. Wir untersuchten daher auch, ob der bmSTS und der motorische Cortex die Vorteile der L2-Anreicherung verursachten, indem wir eine Methode namens **Transkranielle Magnetstimulation (TMS)** [5, 6] verwendeten. Während der TMS können kleine magnetische Signale die Hirnaktivität beeinflussen und Verhaltensänderungen verursachen. Wir fanden mit Hilfe der TMS heraus, dass das bmSTS und der motorische Cortex Erwachsenen bei der Übersetzung von Wörtern helfen, die sie mit Gesten gelernt haben.

WAS BEDEUTEN UNSERE ERGEBNISSE?

Die Anreicherung des Lernens, sowohl mit Bildern als auch mit Gesten, half Kindern und Erwachsenen beim Erlernen von Fremdsprachenvokabular. Allerdings profitieren Erwachsene am meisten von der Gestenanreicherung, während Kinder gleichermaßen

TRANSKRANIELLE MAGNETSTIMULA- TION (TMS)

Eine neurowissenschaftliche Methode, bei der das Gehirn durch kleine magnetische Signale beeinflusst wird.

von Bild- und Gestenanreicherung profitieren. Das bedeutet, dass die Arten der Anreicherung, die bei Erwachsenen funktionieren, nicht unbedingt auch bei Kindern funktionieren. In unseren Studien erhielten Kinder und Erwachsene unterschiedlich viel Unterricht; zukünftige Studien könnten untersuchen, wie unterschiedliche Unterrichtsmengen die Anreicherungseffekte verbessern können. Wir fanden auch heraus, dass das Gehirn seine visuellen und motorischen Bereiche zur Erinnerung an die Übersetzungen von angereicherten L2-Wörtern nutzt. Dies bedeutet, dass Anreicherungs-Lehrstrategien funktionieren können, weil ein Netzwerk von visuellen und motorischen Hirnregionen zu verbesserten Lernergebnissen beiträgt. Zusammengefasst: Anreicherung ist vorteilhaft für das L2-Lernen, weil es uns erlaubt, die Bedeutungen von Wörtern mit unseren eigenen Sinnen zu erfahren.

AUTORENBEITRAG

BM schrieb einen ersten Entwurf des Manuskripts. CA, KM, LS, AK, GH, MM, und KK trugen zum Verfassen des Manuskripts bei.

DANKSAGUNGEN

Die Autor*innen danken allen, die an der Übersetzung der Artikel dieser Sammlung mitgewirkt haben, um sie für Kinder außerhalb des englischsprachigen Raums zugänglich zu machen, ebenso der Jacobs Foundation für die Bereitstellung der für die Übersetzung der Artikel erforderlichen Mittel. Diese Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft mit dem Stipendium KR 3735/3-1, einem Stipendium für schulbezogene Forschung des Zentrums für Lehrerbildung und Schulforschung (ZLS) und einem Postdoc-Stipendium für Auditory Cognitive Neuroscience Zentrum für Erasmus Mundus Neuroscience in Sachsen finanziert. BM wird auch durch einen Konsolidierungszuschuss des Europäischen Forschungsrats SENSOCOM 647051 an KK unterstützt.

REFERENZEN

1. Graddol, D. 2004. The future of language. *Science* 303:1329–31. doi: 10.1126/science.1096546
2. Repetto, C., Pedrolì, E., and Macedonia, M. 2017. Enrichment effects of gestures and pictures on abstract words in a second language. *Front Psychol.* 8:2136. doi: 10.3389/fpsyg.2017.02136
3. Mayer, K. M., Yildiz, I. B., Macedonia, M., and von Kriegstein, K. 2015. Visual and motor cortices differentially support the translation of foreign language words. *Curr. Biol.* 25:530–5. doi: 10.1016/j.cub.2014.11.068
4. Andrä, C., Mathias, B., Schwager, A., Macedonia, M., and von Kriegstein, K. 2020. Learning foreign language vocabulary with gestures and pictures enhances

- vocabulary memory for several months post-learning in eight-year-old school children. *Educ. Psychol. Rev.* 1–36. doi: 10.1007/s10648-020-09527-z
5. Mathias, B., Sureth, L., Hartwigsen, G., Macedonia, M., Mayer, K. M., and von Kriegstein, K. 2019. A causal role of sensory cortices in behavioral benefits of “learning by doing”. *arXiv* 1903.04201.
 6. Mathias, B., Klingebiel, A., Hartwigsen, G., Sureth, L., Macedonia, M., Mayer, K. M., et al. 2020. Motor cortex causally contributes to auditory word recognition following sensorimotor-enriched vocabulary training. *arXiv* 2005.08956.
 7. Grossman, E., Donnelly, M., Price, R., Pickens, D., Morgan, V., Neighbor, G., et al. 2000. Brain areas involved in perception of biological motion. *J. Cogn. Neurosci.* 12:711–20. doi: 10.1162/089892900562417
 8. Leonardo, M., Fieldman, J., Sadato, N., Campbell, G., Ibañez, V., Cohen, L., et al. 1995. A functional magnetic resonance imaging study of cortical regions associated with motor task execution and motor ideation in humans. *Hum. Brain Mapp.* 3:83–92. doi: 10.1002/hbm.460030205
 9. Hoyos, P., Kim, N., and Kastner, S., 2019. How is magnetic resonance imaging used to learn about the brain? *Front. Young Minds.* 7:86. doi: 10.3389/frym.2019.00086

HERAUSGEBER*IN: [Stephan E. Vogel](#)

WISSENSCHAFTLICHE*R MENTOR*IN: [Christine Kurlawalla-Martinez](#)

ZITAT: Mathias B, Andrä C, Mayer KM, Sureth L, Klingebiel A, Hartwigsen G, Macedonia M und von Kriegstein K (2023) Wie können wir fremdsprachige Vokabeln leichter lernen? *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00089-de

ÜBERSETZT UND ÜBERNOMMEN VON: Mathias B, Andrä C, Mayer KM, Sureth L, Klingebiel A, Hartwigsen G, Macedonia M and von Kriegstein K (2020) How Can We Learn Foreign Language Vocabulary More Easily? *Front. Young Minds* 8:89. doi: 10.3389/frym.2020.00089

INTERESSENKONFLIKT: Die Autor*innen erklären hiermit, dass ihre Forschung ohne kommerzielle oder finanzielle Unterstützung durchgeführt wurde, aus der sich ein Interessenkonflikt ergeben könnte.

URHEBERRECHTE © 2020 © 2023 Mathias, Andrä, Mayer, Sureth, Klingebiel, Hartwigsen, Macedonia und von Kriegstein. Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der [Creative-Commons-Attribution-Lizenz \(CC BY\)](#) verbreitet wird. Die Verwendung, Verbreitung oder Vervielfältigung in anderen Foren ist gestattet, sofern der/die Originalautor*innen und der/die Urheberrechtsinhaber*innen genannt werden und die Originalveröffentlichung in dieser Zeitschrift gemäß anerkannter wissenschaftlicher Praxis zitiert wird. Eine Nutzung, Verbreitung oder Vervielfältigung, die diesen Bedingungen nicht entspricht, ist nicht gestattet.

JUNGE GUTACHTER*INNEN



ETHAN, ALTER: 10

Ich bin von allen Themen im STEM-Bereich fasziniert, insbesondere vom 3D-Drucken, der Robotik und der Astronomie. Zu meinen Hobbys gehören Legospiele, Kartenspiele, Zaubertricks lernen und The Office auf Netflix zu schauen.



JAIDEN, ALTER: 13

Ich interessiere mich seit meinem 7. Lebensjahr für die Wissenschaft. Meine Lieblingszeitschrift zum Lesen ist Scientific American. Zu meinen akademischen Interessen gehören Chemie, Wirtschaft und Unternehmertum. Zu meinen Hobbys gehören das Springreiten, Brett- und Kartenspiele, Puzzles und Rätsel.

AUTOR*INNEN



BRIAN MATHIAS

Brian interessiert sich dafür, wie Menschen komplexe Klänge wie Sprache und Musik lernen und sich daran erinnern. Er untersucht, wie das Gehirn multisensorische und sensomotorische Kommunikationsformen unterstützt. Brian ist derzeit wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU Dresden in Deutschland und studierte Psychologie und Neurowissenschaft an der McGill University in Kanada. *brian.mathias@tu-dresden.de



CHRISTIAN ANDRÄ

Christian Andrä arbeitet an der Universität Leipzig als Dozent und Forscher in der Lehrerausbildung. Sein Forschungsschwerpunkt ist das Lernen in Bewegung. In mehreren Projekten entwickelt er Lehrinhalte, die mittels sensomotorischer Anreicherung vermittelt werden können. Seit 2008 ist er auch Mitglied der Forschungsgruppe „Schule in Bewegung“, die sich zum Ziel gesetzt hat, die Sitzzeit zu reduzieren und die zahlreichen Vorteile von körperlicher Aktivität im Schulalltag zu nutzen.



KATJA M. MAYER

Katja M. Mayer erhielt ihr Diplom in Psychologie an der Universität Tübingen und schrieb ihre Diplomarbeit am Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik. Anschließend promovierte sie an der Universität von Newcastle in Neurowissenschaften und arbeitete später als Post-Doc am Max-Planck-Institut für Kognitions- und Gehirnwissenschaften und an der Universität Münster. Ihre Forschungsinteressen sind multisensorische Wahrnehmung und Lernen. Jetzt arbeitet sie als Psychotherapeutin.



LEONA SURETH

Leona studiert Medizin an der Universität Leipzig in Deutschland. Sie ist fasziniert von den Geheimnissen des menschlichen Gehirns und möchte herausfinden, wie das Gehirn arbeitet und wie seine Funktionsweise wissenschaftlich erklärt werden

kann. Neben Medizin und Neurowissenschaft findet sie alle Sportarten spannend, für die man einen Ball braucht. Sie kann sogar Jonglieren!



ANDREA KLINGEBIEL

Andrea studiert Medizin an der Universität Leipzig. Während ihres Studiums hat sie ihre Leidenschaft für die Neurowissenschaft und die Forschung entdeckt. Sie hat sich daher besonders gefreut, an diesem tollen und spannenden Projekt mitarbeiten zu können. Das menschliche Gehirn zu erforschen und dazu beizutragen, dass wir es etwas besser verstehen, hat ihr viel Spaß gemacht.



GESA HARTWIGSEN

Gesas Forschungsgruppe am Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften beschäftigt sich mit der Kognition und der neuronalen Plastizität, vor allem im Sprachzentrum des Gehirns. Wie passt sich das Sprachzentrum an neuronale Herausforderungen an – wenn es durch Nervenstimulation, Geräusche oder Training stimuliert wird? Wie erholt sich das Gehirn, wie repariert es Funktionen nach einer Verletzung? Auf diese und andere Fragen sucht ihre Gruppe Antworten.



MANUELA MACEDONI

Dr. Manuela Macedonia ist Senior Wissenschaftlerin an der Johannes Kepler Universität in Linz, Österreich, und Gastwissenschaftlerin am Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften in Deutschland. Sie erforscht, wie körperliche Bewegung und Spracherwerb zusammen gehen („Embodied Learning“). Dabei untersucht sie vor allem, welchen Einfluss Gesten beim Lernen einer Fremdsprache auf das Kurz- und das Langzeitgedächtnis haben. In ihrer praktischen Forschung entwickelt und testet sie virtuelle Umgebungen und virtuelle Lehrpersonen für mobile Geräte, damit man Fremdsprachen überall und jederzeit nach dem Prinzip des „Embodied Learning“ lernen kann.

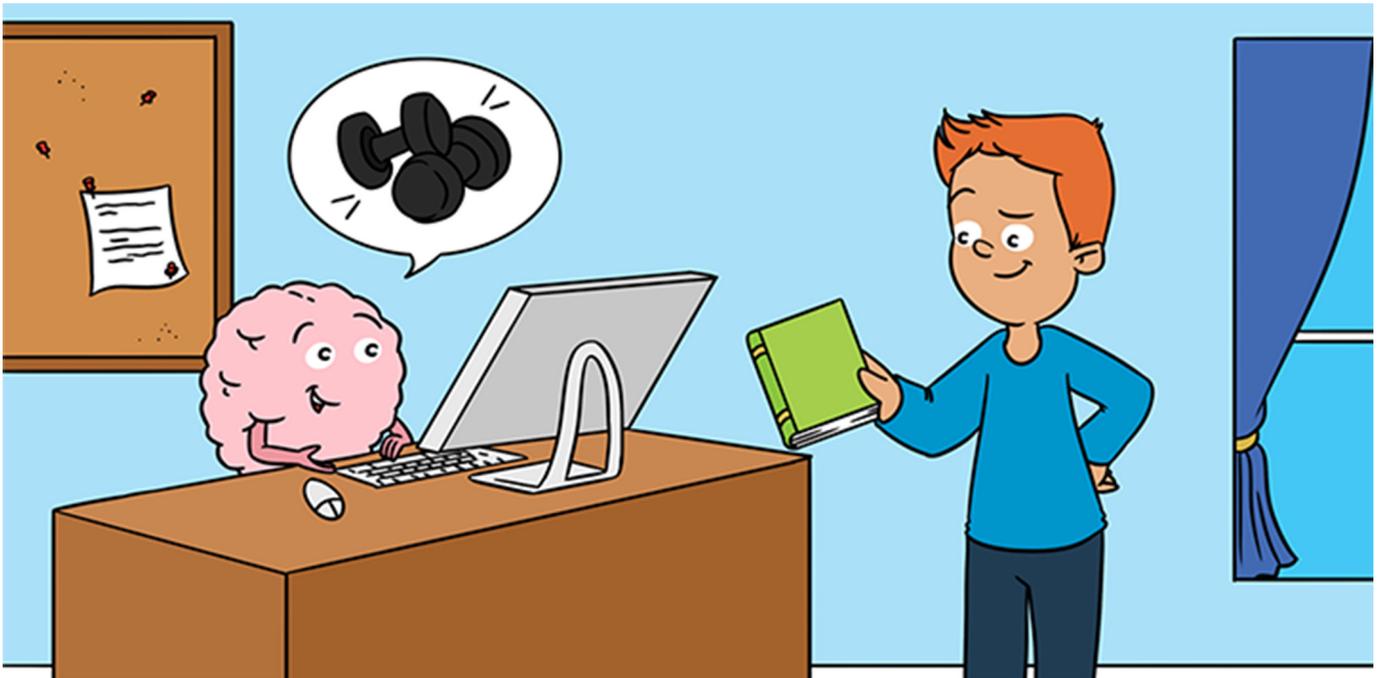


KATHARINA VON KRIEGSTEIN

Katharina untersucht die Gehirnfunktionen ihrer Proband*innen, um besser zu verstehen, wie wir miteinander kommunizieren und was im Gehirn der Menschen, die Probleme mit der Kommunikation haben, anders abläuft. Sie hat Medizin und Philosophie studiert und ist zurzeit Professorin für kognitive und klinische Neurowissenschaften an der Fakultät Psychologie der TU Dresden in Deutschland.

German version provided by
Deutsche Version von

JACOBS
FOUNDATION
Our Promise to Youth



WILLST DU DEIN GEHIRN TRAINIEREN? DANN LIES DIESEN ARTIKEL!

Dietsje Jolles^{1,2*} und Linda Van Leijenhorst^{1,2}

¹Institut für Bildung und Kinderstudien, Universität Leiden, Leiden, Niederlande

²Leidener Institut für Gehirn- und Kognitionsforschung, Universität Leiden, Leiden, Niederlande

JUNGE*R GUTACHTER*IN:



VELIANA
ALTER: 11

Stell dir vor, du könntest dich schlauer machen, indem du einfach Spiele spielst. Wäre das nicht großartig? Wenn du jede Woche einige Stunden am Computer verbringst, hilft dir das, dich besser zu konzentrieren, schneller zu lernen und dich besser zu erinnern. Deine Noten werden in die Höhe schießen, du wirst völlig problemlos die Schule abschließen, und das Leben wird perfekt sein. Wie fändest du das? Wenn du im Internet suchst, wirst du schnell auf Spiele und Apps stoßen, die behaupten, dein Gehirn ankurbeln zu können, damit du sein volles Potenzial nutzen kannst. In diesem Artikel geht es um die wissenschaftlichen Einschätzungen dieser sogenannten Gehirntrainingsspiele. Wir behaupten, dass es theoretisch möglich sein sollte, sich selbst intelligenter zu machen. Die Hinweise darauf, dass Gehirntraining dir dabei helfen kann, sind jedoch nicht ganz so eindeutig. Hier erfährst du mehr über die Gehirntrainings-Apps der nächsten Generation und über weitere Möglichkeiten zur Verbesserung deiner Denkfähigkeiten. Warum zum Beispiel nicht einfach ein Buch lesen?

Viele Kinder wünschen sich, intelligenter oder kreativer zu sein. Wenn du im Internet suchst, findest du Spiele und Apps, die behaupten, dir genau dabei helfen zu können: deine Intelligenz zu fördern. Aber ist es wirklich möglich, dein Gehirn besser funktionieren zu lassen? Und sind diese sogenannten Gehirntrainingsspiele deine kostbare Zeit überhaupt wert? Wenn du diesen Artikel gelesen hast, kannst du selbst die Entscheidung dafür oder dagegen treffen!

DEIN FLEXIBLES GEHIRN

Hast du schon einmal darüber nachgedacht, warum manche Kinder im Sport so gut sind, während andere besser Gitarre spielen oder Mathe-Aufgaben lösen können? Kann man seinen Genen die Schuld dafür geben, dass man sich nicht konzentrieren kann, oder sollte man sich einfach mehr anstrengen? Seit mehreren Jahren versuchen Wissenschaftler herauszufinden, welche Teile unserer Talente und Fähigkeiten von unseren Genen abhängen und welche Teile von der Umwelt beeinflusst werden. Es stellt sich heraus, dass es keine einfache Antwort auf diese Frage gibt, denn Gene und Umwelt arbeiten immer zusammen [1]. Auch wenn deine Gene die Obergrenzen deiner Leistungen und deiner Lernfähigkeit bestimmen, so prägt doch deine Umgebung, wie sich deine Fähigkeiten tatsächlich entwickeln. Daher gehen wir davon aus, dass die Entwicklung des Gehirns gewissermaßen von sich aus flexibel ist. Diese Flexibilität hilft dir zum Beispiel dabei, dich an die Umgebung anzupassen, in der du aufwächst. Damit du dir das noch besser vorstellen kannst, möchten wir dir die (erfundenen) Jungen John und Ron (**Abbildung 1**) vorstellen. John und Ron sind eineiige Zwillinge, was bedeutet, dass sie zu 100% identische Gene haben. Stellen wir uns vor, John und Ron werden aus irgendeinem Grund gleich nach der Geburt getrennt und wachsen in

Abbildung 1

Die Entwicklung wird von den Genen und der Umwelt beeinflusst. **(A)** Stell dir zwei Jungen vor, John und Ron. Sie sind eineiige Zwillinge und haben daher identische Gene. John und Ron sind aus irgendeinem Grund in zwei verschiedenen Familien aufgewachsen. In Johns Familie wird viel Fußball gespielt und an den Wochenenden gelaufen. In Rons Familie wird viel gelesen und geschrieben. Als John und Ron zwölf Jahre alt sind, treffen sie sich. **(B, C)** Sie stellen erstaunt fest, wie viel sie gemeinsam haben, aber auch, dass sie sich in einigen Dingen stark unterscheiden. John ist ein begeisterter Sportler, der Fußball spielt und der beste Läufer in seiner Klasse ist. Ron liest und schreibt gerne Geschichten; er ist sehr stolz auf seine guten Schulnoten. John und Ron haben zwar die gleichen Gene, aber durch ihre unterschiedlichen Familienumgebungen haben sich ihre Anlagen unterschiedlich entwickelt.

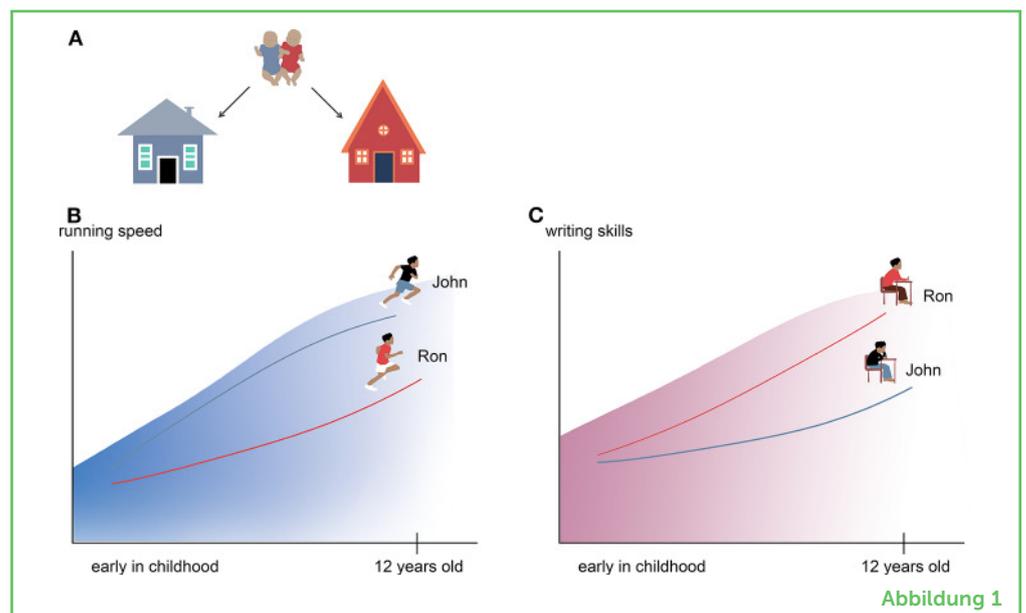


Abbildung 1

EXEKUTIVE FUNKTIONEN

Gehirnfähigkeiten, die dir dabei helfen, deine Gedanken und dein Verhalten zu kontrollieren. Die exekutiven Funktionen werden von einigen Wissenschaftlern auch als „kognitive Kontrolle“ bezeichnet.

ARBEITSGEDÄCHTNIS (WORKING MEMORY)

Die Fähigkeit, Informationen für eine kurze Zeit im Gedächtnis zu speichern, sodass man mit ihnen arbeiten kann.

INHIBITION

Die Fähigkeit, Ablenkungen und Versuchungen zu ignorieren.

KOGNITIVE FLEXIBILITÄT (COGNITIVE FLEXIBILITY)

Die Fähigkeit, zwischen verschiedenen Aufgaben hin und her zu wechseln.

unterschiedlichen Familien auf. John wächst in einer sehr sportlichen Familie auf, während Ron in einer Familie aufwächst, die gerne liest und schreibt. Es stellt sich heraus, dass, obwohl John und Ron die gleichen Gene für das Laufen und Schreiben haben, ihre unterschiedlichen Familienumgebungen die Art und Weise beeinflussen, wie sich ihre Fähigkeiten entwickeln. Während John zu einem begeisterten Läufer heranwächst, wird Ron Schriftsteller, wenn er älter ist.

Aber wovon hängt es nun ab, ob man klug ist oder in der Schule Erfolg hat? Forschungsarbeiten haben gezeigt, dass hervorragende Leistungen in der Schule viel mit den sogenannten **exekutiven Funktionen** zu tun haben [2]. Die exekutiven Funktionen sind eine Reihe von Fähigkeiten, die dir helfen, komplexe Aufgaben zu erfüllen, wie z. B. deine Schulaufgaben zu planen, Pflichten nachzukommen und die Kontrolle über deine Emotionen und Frustrationen zu behalten. Eine der wichtigsten exekutiven Funktionen ist das **Arbeitsgedächtnis**. Das Arbeitsgedächtnis ermöglicht es dir, Informationen im Gedächtnis zu behalten und Denkvorgänge durchzuführen, z. B. große Zahlen im Kopf zu addieren (**Abbildung 2A**). Eine weitere wichtige exekutive Funktion ist die **Inhibition**. Diese hilft dir dabei, Ablenkungen und Versuchungen zu widerstehen, z. B. der Versuchung, die ganze Keksdose leer zu essen (**Abbildung 2B**). Eine dritte exekutive Funktion ist die **kognitive Flexibilität**. Sie hilft dir, deine Aufmerksamkeit schnell auf unterschiedliche Dinge zu richten, wie z. B. zwischen deinen Hausaufgaben und deinem YouTube-Feed hin und her zu wechseln (**Abbildung 2C**). Um exekutive Funktionen zu messen, haben Forscher eine Reihe von Spielen entworfen, die am Computer gespielt werden können (**Abbildungen 2D–F**). Es stellt sich heraus, dass Kinder, die bei diesen Spielen besser abschneiden, auch generell in der Schule bessere Ergebnisse erzielen. Darüber hinaus deuten schlechtere exekutive Funktionen auf unerwünschte Zustände hin, wie z. B. auf psychische Auffälligkeiten, Übergewicht und soziale Probleme [2]. Man könnte denken, dass exekutive Funktionen in unserem Gehirn fest verdrahtet sind, aber das stimmt nur teilweise. Genauso wie jede andere Fähigkeit werden auch die exekutiven Funktionen durch deine Gene und durch dein Umfeld beeinflusst. Das ist eine gute Nachricht, denn es bedeutet, dass man zumindest eine gewisse Kontrolle über die Entwicklung dieser Funktionen hat. Die Kindheit ist vielleicht sogar die optimale Lebensphase, um deine Intelligenz zu fördern. Genauso wie es einfacher ist, einen noch wachsenden Baum als einen schon ausgewachsenen Baum zu formen (**Abbildung 3**), könnte es einfacher sein, ein Gehirn zu trainieren, welches sich gerade entwickelt, als ein bereits vollständig entwickeltes Gehirn [1, 3]. Schließlich ist es noch wichtig zu beachten, dass die Gehirne von Kindern zwar formbarer sind als bereits vollständig entwickelte Gehirne, dass aber gleichzeitig Kinder bei der Verarbeitung neuer Informationen möglicherweise nicht so effizient und strategisch denken können. Dies kann die Trainingseffekte ein wenig beeinträchtigen.

Abbildung 2

Exekutive Funktionen und die zugehörigen Gehirntainingspiele. **(A–C)** Alltägliche Aktivitäten, die exekutive Funktionen erfordern: Arbeitsgedächtnis, wenn du große Zahlen im Kopf addierst; Inhibition, wenn du versuchst, nicht zu viele Kekse zu essen; und kognitive Flexibilität, wenn du zwischen deinen Hausaufgaben und deinem YouTube-Feed wechselst. Spiele werden oft genutzt, um diese exekutiven Funktionen zu testen und zu trainieren. **(D)** In diesem Arbeitsgedächtnisspiel musst du mehrere Buchstaben im Gedächtnis speichern und sie alphabetisch ordnen. **(E)** In diesem Inhibitionsspiel musst du die Richtung angeben, in die der mittlere Fisch schwimmt und den Fisch ignorieren, der in die entgegengesetzte Richtung schwimmt. **(F)** In diesem kognitiven Flexibilitätsspiel springst du zwischen einer Aufgabe hin und her, bei der du die Form der großen Figur (Rechteck) angeben musst, und einer anderen Aufgabe, bei der du die Form der kleinen Figur (Quadrate) angeben musst.

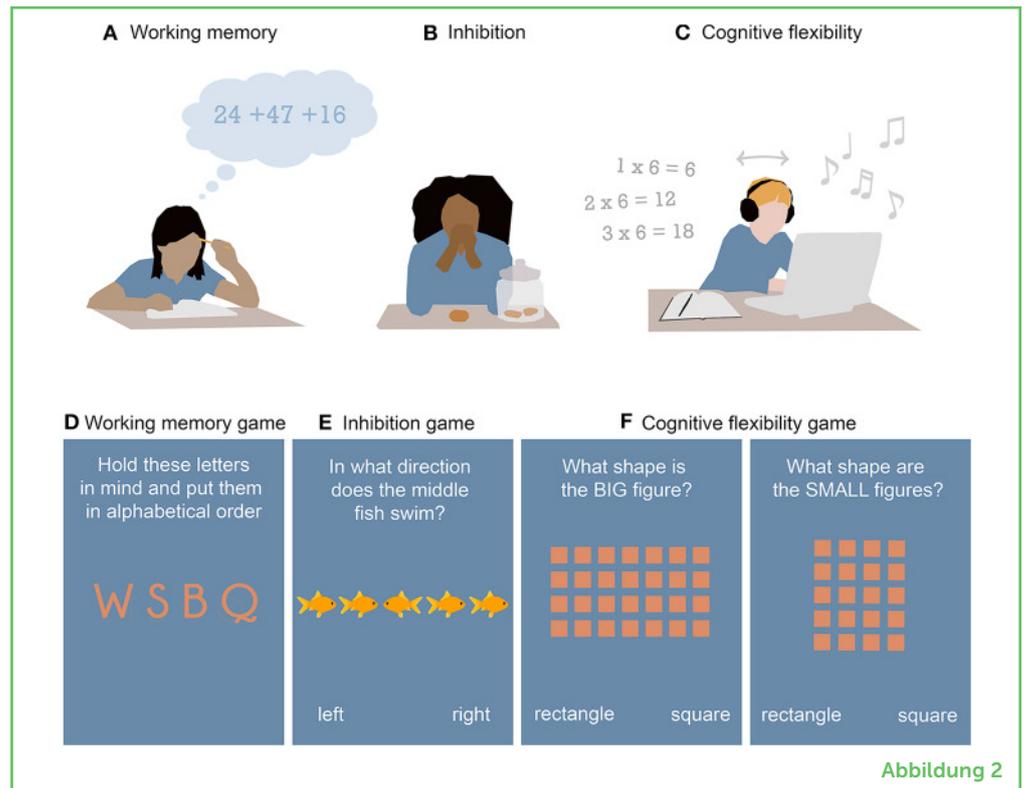


Abbildung 2

DEIN GEHIRN TRAINIEREN

Das Internet ist voll von Tipps und Tricks, wie du deine Gehirnfunktionen optimieren kannst. Außerdem gibt es zahlreiche Ratgeber-Bücher zu diesem Thema. Meistens empfehlen sie, ausreichend zu schlafen, sich gesund zu ernähren und Sport zu treiben. Es gibt aber auch etwas, was Gehirntraining genannt wird. Die Unternehmen, die solche Trainings anbieten, versprechen, dass man „das Gehirn mit nur einigen Minuten Training täglich verbessern kann“, und die Anwender berichten von beeindruckenden Veränderungen, angefangen bei einer verbesserten Konzentration bis hin zu verbesserten Fähigkeiten im Bowlingspiel [4]. Gehirntraining bezieht sich normalerweise auf das Üben der exekutiven Funktionen im Gehirn. Wenn du komplizierte geistige Aufgaben ausführst, arbeitet dein Gehirn sehr hart, daher auch der Name Gehirntraining. Darüber hinaus hat die Forschung bewiesen, dass sich das Gehirn durch das Training verändert [3]. Das ist allerdings weniger aufregend, als es scheinen mag. Denn alles, was du tust, führt zu kleinen Veränderungen in deinem Gehirn, ob du nun mit deinem Hund Gassi gehst, Freunde triffst oder diesen Artikel liest. Gehirntraining scheint daher als Bezeichnung ein wenig fehlerhaft zu sein. Ein passender Begriff wäre „Weiterentwicklung von exekutiven Funktionen“.

Aber funktioniert Gehirntraining wirklich? Die exekutiven Funktionen sind eng mit Intelligenz, schulischen Leistungen und allen möglichen anderen Ergebnissen aus dem wirklichen Leben verbunden, deshalb

Abbildung 3

Einen sich entwickelnden Baum zu beschneiden ist einfacher, als einen ausgewachsenen Baum zu beschneiden. Forscher haben argumentiert, dass Kinder eine größere Fähigkeit zum Lernen und zur Anpassung an Umweltbedingungen an den Tag legen als Erwachsene, da sich die Gehirne von Kindern noch in der Entwicklung befinden. Mit anderen Worten: Genauso, wie es einfacher ist, einen sich entwickelnden Baum zu beschneiden als einen ausgewachsenen Baum, könnte es einfacher sein, ein sich entwickelndes Gehirn zu trainieren als ein erwachsenes Gehirn.

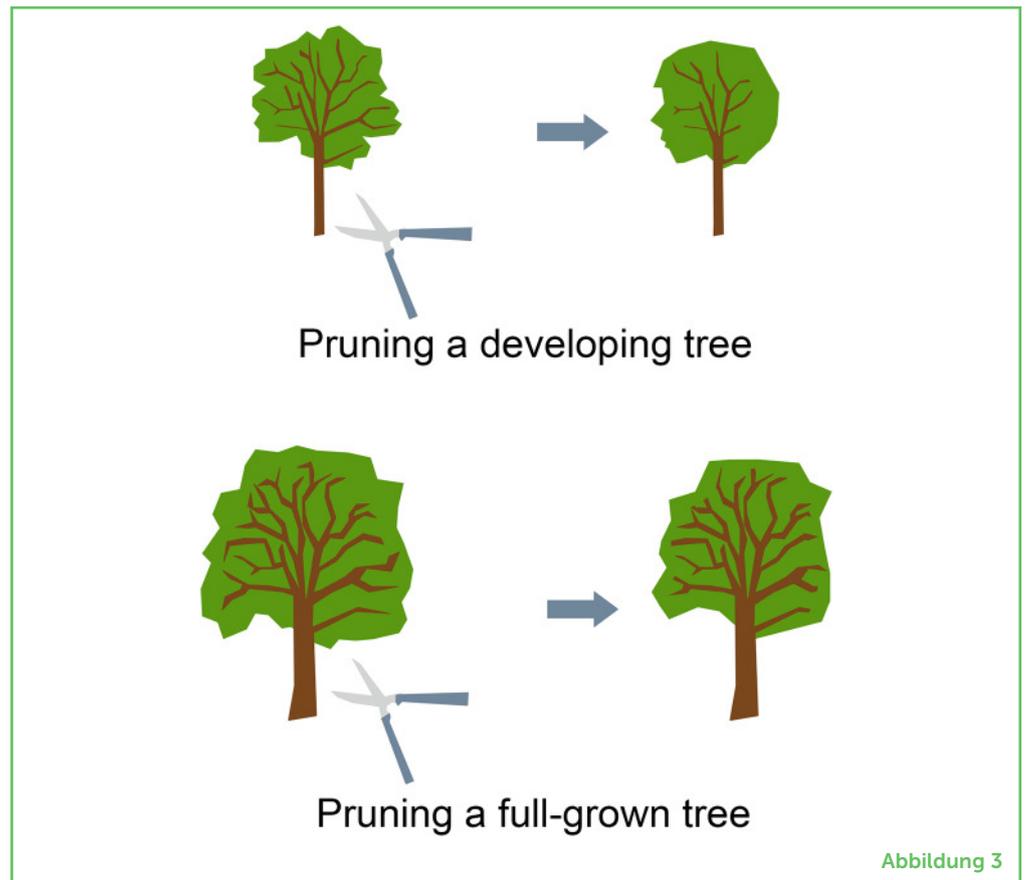


Abbildung 3

vermuten Wissenschaftler, dass Spiele, die die exekutiven Funktionen des Gehirns trainieren, auch zu Verbesserungen in all diesen Bereichen führen könnten. Mit anderen Worten: Weil die Alltagsaktivitäten in den **Abbildungen 2A–C** dieselben Gehirnfähigkeiten erfordern wie die Spiele in den **Abbildungen 2D–F**, könnte das Training mit den Spielen dazu führen, dass du dich auch in den Alltagsaktivitäten verbesserst. Dies nennen die Wissenschaftler „**Übertragung**“. In den letzten rund 20 Jahren wurden zahlreiche wissenschaftliche Studien durchgeführt, um zu testen, ob eine Übertragung auch wirklich stattfindet [4]. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass Gehirntrainings-Apps häufig die Leistung bei denjenigen Vorgängen verbessern, die beim Spiel trainiert werden. Mit anderen Worten: Teilnehmer, die das Sortieren von Buchstaben im Arbeitsgedächtnis üben, werden genau beim Sortieren von Buchstaben im Arbeitsgedächtnis besser. Es gibt auch gute Belege dafür, dass die Teilnehmer bei ähnlichen Vorgängen besser werden, zum Beispiel in diesem Fall beim Sortieren von Zahlen im Arbeitsgedächtnis. Aus den derzeitigen Erkenntnissen können wir jedoch noch nicht schließen, dass ein Gehirntaining darüber hinausgehende Vorgänge verbessert, wie zum Beispiel die Leistung bei Mathe- oder Leseaufgaben [4]. Auch wenn du dich also in den Spielen, die du zum Training nutzt, enorm verbesserst, bedeutet dies nicht unbedingt, dass du auch in deinem Alltag eine Verbesserung feststellen wirst. Es kommt häufig vor, dass die Fähigkeiten, die du gelernt hast, nur für die bestimmten Spiele gelten, die du gespielt hast.

ÜBERTRAGUNG

Nutzung von Fähigkeiten, die du in einer Situation gelernt hast, um deine Leistung in einer anderen Situation zu verbessern.

Die nächste Generation von Gehirntrainings-Apps beinhaltet vielleicht schon vielseitigere Aktivitäten, die in Situationen des realen Lebens eingebunden sind und so Wirkungen erzielen, die über das Spiel hinausgehen. Zum Beispiel könnten Aktivitäten zur Weiterentwicklung deiner exekutiven Funktionen in komplexe Videospiele oder in Schulfächer integriert werden.

DEIN GEHIRN BEI BÜCHERN

Wir wissen, dass die Dinge, die du täglich tust, dazu beitragen, dein Gehirn zu formen, und wir wissen auch, dass es möglich sein sollte, dein Gehirn zu trainieren. Die Wissenschaftler suchen aber noch immer nach den besten Möglichkeiten, das Gehirn zu trainieren. Wärest du bereit, deine wertvolle Zeit für eine Gehirntrainings-App aufzuwenden, die vielleicht gar keine echten Wirkungen erzielt? Oder möchtest du deine Zeit lieber mit etwas verbringen, was Spaß macht und Sport treiben oder Bücher lesen? Interessanterweise hat die Forschung gezeigt, dass körperliche Aktivität nicht nur gut für den Körper, sondern auch für das Gehirn ist. Regelmäßige körperliche Aktivität könnte sogar wichtigere Auswirkungen auf die schulischen Leistungen haben als eine Gehirntrainings-App. In ähnlicher Weise scheint das Lesen von Büchern breite Auswirkungen auf deine Denkfähigkeit zu haben. Untersuchungen legen nahe, dass regelmäßiges Lesen dazu beiträgt, dass man intelligenter wird, denn unser Vokabular wird dabei erweitert und unser Hintergrundwissen verbessert [5]. Das Tolle daran ist, dass mit jeder neuen Erinnerung neue Verbindungen im Gehirn aufgebaut und bestehende Verbindungen gestärkt werden. Das bedeutet also auch: Je mehr Wissen du hast, desto leichter wird es, noch mehr zu lernen [5]!

Darüber hinaus kann das Lesen von Büchern sogar deine Denkfähigkeit trainieren. Hast du jemals bemerkt, wie der Rest der Welt zu verschwinden scheint, wenn man sich in eine Geschichte vertieft? Das ist möglich, weil dein Gehirn beim Lesen hart arbeitet. Wenn du ein Buch liest, musst du die verschiedenen Charaktere, ihre Hintergründe, Absichten und Details über ihre Persönlichkeit und ihr Verhalten im Auge behalten. Außerdem musst du häufig zwischen den Zeilen lesen, um zu verstehen, worum es in einem Buch geht. Um diese Dinge zu tun, setzt du sowohl dein Hintergrundwissen als auch deine exekutiven Funktionen ein. Ohne Hintergrundwissen würdest du die verwendeten Worte nicht verstehen, und ohne deine exekutiven Funktionen könntest du dir nie eine vollständige Geschichte merken. Untersuchungen haben gezeigt, dass Kinder diese Fähigkeiten umso besser beherrschen, je mehr sie lesen. Schließlich kann Lesen nicht nur dein Gedächtnis und deine Verständnissfähigkeit verbessern, sondern dir auch dabei helfen, die Perspektive verschiedener Charaktere einzunehmen und mit ihnen zu fühlen, was auch eine wichtige Fähigkeit für das reale Leben ist [6].

SCHLUSSFOLGERUNG

Auch wenn dein Gehirn superflexibel ist, weil es sich noch entwickelt, und es möglich sein sollte, sich selbst intelligenter zu machen, sind die Beweise dafür, dass Gehirntraining dir dabei hilft, bestenfalls mittelmäßig überzeugend. Künftige Gehirntrainings-Apps werden wahrscheinlich mehrere Aktivitäten beinhalten, die in Situationen des realen Lebens eingebaut werden. Aber warte nicht auf neue Apps! Wenn du schon heute etwas tun willst, um deine Gehirnfunktionen zu verbessern, bleibe aktiv, iss gesund, schlafe genug und lerne durch viel Lesen immer wieder neue Dinge. Herzlichen Glückwunsch, genau das tust du gerade!

DANKSAGUNGEN

Diese Arbeit wurde von der Jacobs Foundation (DJ) unterstützt. Wir möchten uns von ganzem Herzen bei allen bedanken, die bei der Übersetzung der Artikel in dieser Sammlung mitgeholfen haben, um sie für Kinder außerhalb des englischsprachigen Raums zugänglicher zu machen, sowie bei der Jacobs Foundation für die Bereitstellung der für die Übersetzung der Artikel erforderlichen Mittel.

REFERENZEN

1. Stiles, J. 2008. *The Fundamentals of Brain Development: Integrating Nature and Nurture*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
2. Diamond, A. 2013. Executive functions. *Annu. Rev. Psychol.* 64:135–68. doi: 10.1146/annurev-psych-113011-143750
3. Jolles, D., and Crone, E. A. 2012. Training the developing brain: a neurocognitive perspective. *Front. Hum. Neurosci.* (2012) 6:76. doi: 10.3389/fnhum.2012.00076
4. Simons, D. J., Boot, W. R., Charness, N., Gathercole, S. E., Chabris, C. F., Hambrick, D. Z., et al. 2016. Do “brain-training” programs work? *Psychol. Sci. Public Interest* 17:103–86. doi: 10.1177/1529100616661983
5. Cain, K., and Oakhill, J. 2011. Matthew effects in young readers: reading comprehension and reading experience aid vocabulary development. *J. Learn. Disabil.* 44:431–43. doi: 10.1177/0022219411410042
6. Kidd, D. C., and Castano, E. 2013. Reading literacy fiction improves theory of mind. *Science* 342:377–80. doi: 10.1126/science.1239918

HERAUSGEBER*IN: Jessica Massonnie

WISSENSCHAFTLICHE*R MENTOR*IN: Yana Fandakova

ZITAT: Jolles D und Van Leijenhorst L (2023) Willst du dein Gehirn trainieren? Dann lies diesen Artikel! *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00071-de

ÜBERSETZT UND ÜBERNOMMEN VON: Jolles D and Van Leijenhorst L (2020)
 Want to Train Your Brain? Read This Article! Front. Young Minds 8:71. doi: 10.3389/
 frym.2020.00071

INTERESSENKONFLIKT: Die Autor*innen erklären hiermit, dass ihre Forschung ohne kommerzielle oder finanzielle Unterstützung durchgeführt wurde, aus der sich ein Interessenkonflikt ergeben könnte.

URHEBERRECHTE © 2020 © 2023 Jolles und Van Leijenhorst. Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der [Creative-Commons-Attribution-Lizenz \(CC BY\)](#) verbreitet wird. Die Verwendung, Verbreitung oder Vervielfältigung in anderen Foren ist gestattet, sofern der/die Originalautor*innen und der/die Urheberrechtsinhaber*innen genannt werden und die Originalveröffentlichung in dieser Zeitschrift gemäß anerkannter wissenschaftlicher Praxis zitiert wird. Eine Nutzung, Verbreitung oder Vervielfältigung, die diesen Bedingungen nicht entspricht, ist nicht gestattet.

JUNGE*R GUTACHTER*IN



VELIANA, ALTER: 11

Ich bin Veliana und 11 Jahre alt. Ich liebe es, zur Schule zu gehen. Meine Lieblingsfächer sind Mathematik, Englisch und Sport. In meiner Freizeit treibe ich gerne Sport, male und lese.

AUTOR*INNEN



DIETSJE JOLLES

Während meiner frühen Schulzeit wollte ich immer Detektivin werden. Stattdessen wurde ich Wissenschaftlerin. Aber die Arbeit eines Wissenschaftlers ist ähnlich der eines Detektivs. Mein Hauptthema ist die wunderbare Funktionsweise des sich entwickelnden Gehirns. Ich interessiere mich besonders für die Art und Weise, wie Kinder, Jugendliche und Erwachsene lernen und wie ihr Lernen durch ihre Gehirnentwicklung beeinflusst wird. Ich hoffe, dass meine Forschung zu einem besseren Verständnis des Gehirns und seiner Entwicklung beitragen wird und dass sie neue Erkenntnisse liefert, die zur Verbesserung der Bildung beitragen können. *d.d.jolles@fsw.leidenuniv.nl



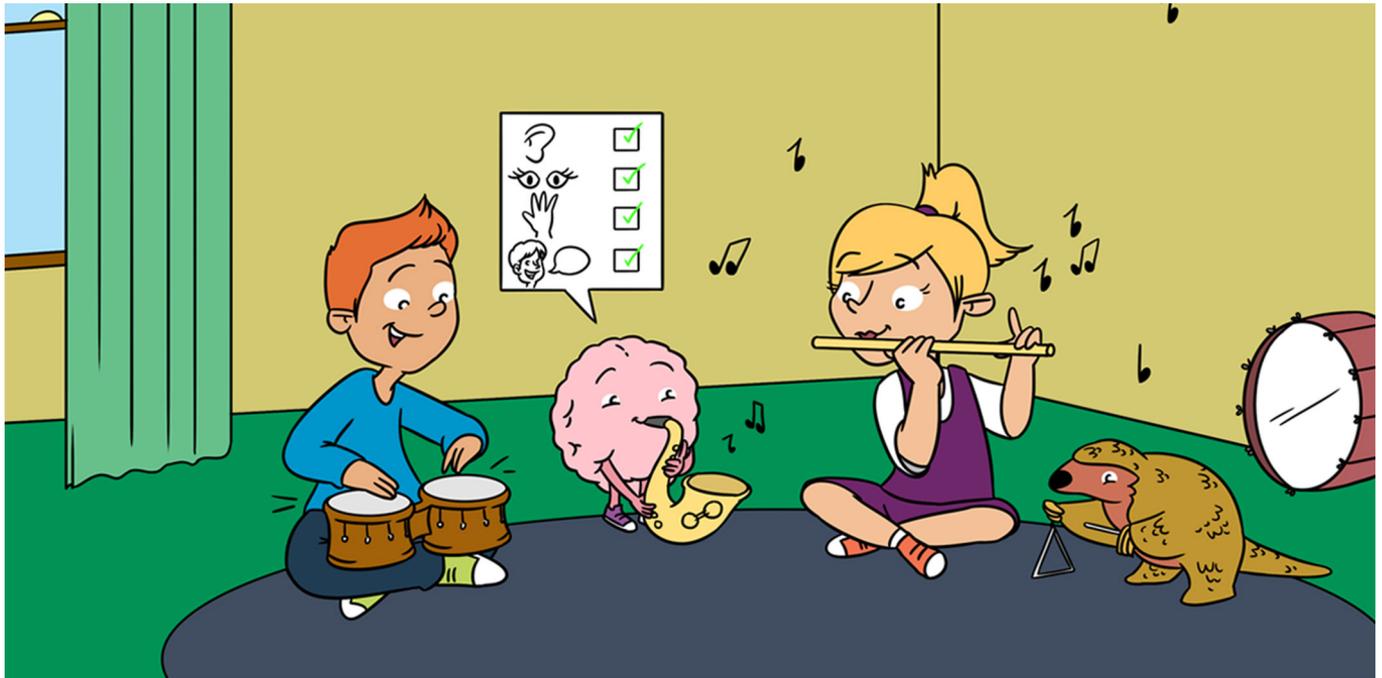
LINDA VAN LEIJENHORST

Ich bin Assistenzprofessorin und studiere entwicklungsbezogene kognitive Neurowissenschaften an der Universität Leiden in den Niederlanden. Ich bin fasziniert von den Veränderungen, die unser Gehirn durchläuft, wenn wir vom Kind über die Jugendjahre zum Erwachsenen heranwachsen. Ich hoffe, eines Tages verstehen zu können, wie diese Veränderungen die Art und Weise beeinflussen, wie wir die Welt um uns herum verstehen. Ist es nicht erstaunlich, dass unser Gehirn uns erlaubt, die Welt zu erleben, zu träumen und uns Dinge vorzustellen? Um mehr

darüber zu erfahren, untersuche ich, wie Kinder und Jugendliche Entscheidungen treffen und wie sie die Geschichten, die sie lesen, verstehen.

German version provided by
Deutsche Version von





MUSIK UND LERNEN: MACHT MUSIK DICH SCHLAUER?

Gabriella Musacchia^{1*} und Alexander Khalil²

¹Abteilung für Audiologie der University of the Pacific, San Francisco, CA, Vereinigte Staaten

²Schule für Film, Musik und Theater des University College Cork, Cork, Irland

JUNGE*R
GUTACHTER*IN:



SHIVANI
ALTER: 15

Was ist Musik und warum halten viele sie wichtig fürs Lernen? Musikalische Klänge begleiten unser Leben: Von der Musik, die du online mit anderen teilst, bis zu den Liedern, die in Geschäften und Restaurants gespielt werden, sind wir von der Musik selten weit entfernt. Durch das Musizieren erhält das Gehirn ein multisensorisches „Training“, das das Gedächtnis stärkt und uns helfen kann, uns zu konzentrieren und vielleicht sogar die Lesefähigkeit zu verbessern. In diesem Artikel beleuchten wir, wie verschiedene Gehirnfunktionen, darunter Hören, Sehen, Bewegung und soziales Bewusstsein, durch Musikunterricht beeinflusst werden. Man muss nicht Mozart sein, um die Vorteile des Musizierens für das Gehirn zu nutzen, denn Musik begegnet uns in vielen Formen und ist mehr als nur Pop-Songs. Immer, wenn du ohne Worte kommunizierst (die Art, wie du etwas sagst, anstatt was du sagst), verhältst du dich musikalisch. In diesem Artikel sehen wir uns Studien zum Thema Lernen und Musik an, die uns helfen sollen zu verstehen, warum Musik die Gehirnentwicklung fördert und wie Musik ein zentraler

Bestandteil unseres Lebens – inner- und außerhalb der Schule – sein kann.

AUF DIE MELODIE ACHTEN

Was ist Musik und warum finden die Menschen sie wichtig fürs Lernen? Zwar machen Menschen aller Kulturen auf der ganzen Welt etwas, das man als Musik bezeichnen könnte, aber nicht so viele von ihnen geben dieser Aktivität einen Namen oder betrachten sie als etwas Eigenständiges und getrennt [1] von anderen Aktivitäten wie Tanz oder Geschichtenerzählen. Aus diesem Grund können wir Musik nur allgemein als „Form der Kommunikation durch Klang“ definieren. Im Gegensatz zur Sprache wird Musik jedoch grundsätzlich nicht als **semantisch** betrachtet. Das bedeutet, dass Musik keine Worte benutzt, um Dinge zu erklären. Stell dir vor, wie schwierig es wäre, etwas relativ Einfaches wie „Dein linker Schuh ist nicht gebunden“ zu sagen, wenn du dafür nur **Melodie** und **Rhythmus** verwenden würdest. Gleichzeitig kann Musik tiefe Emotionen, die mit Worten schwer zu beschreiben wären, vermitteln. Genauso wie Musik auch eine Kunstform ist, ist jede Kommunikationsform auch teilweise musikalisch und kann als **Musikalität** bezeichnet werden. Denk einfach an die verschiedenen Arten, wie du „Oh“ sagst. Jede dieser Varianten hinterlässt einen anderen Eindruck. Und genau das ist Musikalität. Wir sprechen hier nicht von einer musikalischen Darbietung, sondern von einem musikalischen Aspekt der Kommunikation. Auch wenn nicht jeder ein Meister der Geige ist, so ist doch jeder ein Meister seines eigenen Kommunikationsstils.

Am Anfang dachten einige Wissenschaftler, dass allein das Hören von Musik einen positiven Effekt auf das Gehirn haben könnte. Sie zeigten, dass sich die Ergebnisse der Teilnehmer an **IQ-Tests** verbesserten, wenn sie klassische Musik von Mozart [2] hörten. Dies führte zur Annahme, dass man durch das Hören von Musik klüger wird. Aber das war eine dramatische Vereinfachung und eine Übertreibung der gewonnenen Ergebnisse. Denn nachfolgende Studien haben gezeigt, dass uns das Hören von Musik nicht wirklich klüger macht, sondern eher unser Wohlbefinden steigert und Anspannung verringert, was manchmal einfach zu einer besseren Konzentration und besseren Testergebnissen führt. Das bedeutet, dass Musik bei dir zu Hause oder in deinem Klassenzimmer zwar nicht automatisch deine Leistung verbessern würde, aber sie könnte dir dabei helfen, dich auf eine neue Aufgabe zu konzentrieren oder in Situationen für dich nützlich sein, in denen erhöhte Aufmerksamkeit und verminderte Anspannung notwendig sind. Außerdem kann das bloße Hören von Musik eine andere oder vielleicht geringere Wirkung haben als selbst Musik zu machen. Dies ist wie beim Sport: Zu einer wirklichen Verbesserung der körperlichen Verfassung kommt es nicht durch das bloße Zuschauen, sondern indem du dich selbst sportlich betätigst. Und genauso könnte

SEMANTISCH

Bezieht sich auf die Bedeutung in Sprache oder Logik.

MELODIE

Eine musikalisch stimmige Abfolge von Einzeltönen.

RHYTHMUS

Ein starkes, regelmäßiges, sich wiederholendes Bewegungsmuster oder Klangmuster.

MUSIKALITÄT

Musikalische Begabung oder musikalisches Feingefühl.

IQ-TEST

Intelligenzquotient; ein auf psychologischen Tests basierendes Standardverfahren zur Messung des Intelligenzniveaus eines Individuums.

der Konzentrationseffekt durch die Musik verstärkt werden, indem du sie nicht nur anhörst, sondern sie selbst machst.

MUSIK FÜR DIE GEHIRNLEISTUNG

Genau wie deine Muskeln wird auch dein Gehirn stärker, je mehr du es trainierst. Die Veränderungsfähigkeit des Gehirns durch unsere Erfahrungen wird „**neuronale Plastizität**“ genannt, weil das Gehirn – ebenso wie Plastik – leicht geformt werden kann. Wissenschaftler messen die neuronale Plastizität des Gehirns mit speziellen bildgebenden Verfahren, wie der Magnetresonanztomografie (MRT) oder dem Elektroenzephalogramm (EEG). Mit diesen Geräten finden sie heraus, wie genau das Musizieren die Funktionsweise unseres Gehirns verändert. Die Forschung mit diesen Geräten sowie die Untersuchung der Gehirne von Menschen, die gestorben sind, zeigt, dass die auditorischen (Hören), visuellen (Sehen) und motorischen (Bewegung) Bereiche des Gehirns bei erfahrenen Musikern besonders ausgeprägt sind [3]. Diese besondere Ausprägung bezieht sich nicht nur auf die Vergrößerung jedes Hirnbereichs, sondern auch auf die Art und Weise, wie jeder Bereich funktioniert. Die Wissenschaft sagt uns, dass Musik viel mehr ist als nur eine Quelle der Unterhaltung; sie ist ein wichtiger Teil unseres lebenslangen Lernens. Hier sind einige der wichtigen Dinge, die im Gehirn passieren, wenn wir Musik machen (für eine detaillierte Übersicht siehe Zatorre [4]):

Auditorisch: Das auditorische System verarbeitet Geräusche nach einer musikalischen Ausbildung effektiver. Menschen können kleinere Frequenzunterschiede (die Anzahl der Schallwellen pro Sekunde) erkennen, wodurch sowohl Sprache als auch Musik leichter zu hören sind [5].

Motorisch: Hirnbereiche, die instrumentenbezogene Muskeln und Körperteile (wie z. B. den Finger, den Mund usw.) steuern, werden größer. Weitere Neuronen im Gehirn sorgen dafür, dass die Muskelbewegung in diesen Bereichen feiner werden.

Lesen: Studien zeigen, dass bessere musikalische Fähigkeiten mit höheren Leseleistungen zusammenhängen. Das wiederum deutet darauf hin, dass es einen Zusammenhang gibt zwischen unserer Fähigkeit, Sprache zu hören und den Sprachlauten Buchstaben zuzuordnen.

Sozio-emotionales Bewusstsein: Gemeinsames Musizieren kann das sozio-emotionale Bewusstsein stärken, d. h. die Fähigkeit, Gefühle konstruktiv zu erkennen, mit ihnen umzugehen und sie auszudrücken. Ein gutes Beispiel dafür ist, dass sehr junge Kinder eher dazu neigen, sich positiv gegenüber den Menschen zu verhalten, mit denen sie gemeinsam musizieren.

NEURONALE PLASTIZITÄT

Die Fähigkeit des Nervensystems, sich als Reaktion auf Erfahrungen oder Entbehungen zu verändern.

EINE MUSIKALISCHE VERBINDUNG HERSTELLEN

Wie kann Musik etwas anderes verändern als das, was man hört? Der Grund dafür, dass Musik so viele Teile des Gehirns erreichen kann, liegt darin, dass das Hörsystem stark mit anderen Sinnesbereichen vernetzt ist [6] (Abbildung 1). Denk an deine früheste Schulzeit und du wirst dich wahrscheinlich daran erinnern, dass du damals Lieder gesungen hast. Viele von uns singen immer noch das ABC-Lied, wenn sie versuchen, sich an die Position eines bestimmten Buchstabens im Alphabet zu erinnern. Wenn du uns nicht glaubst, beantworte die folgende Frage: Welcher Buchstabe steht vier Buchstaben nach dem „M“? Bestimmt hast auch du das ABC-Lied in deinem Kopf gesungen, als du versucht hast, auf die richtige Antwort zu kommen! Lieder mit sich wiederholenden Melodien und Rhythmen helfen uns, Listen, Geschichten und sogar Abläufe auswendig zu lernen.

Abbildung 1

Andere Sinnesbereiche des Gehirns liefern Input für den hörenden (Auditory, in Blau) Bereich. Multisensorische Bereiche, wie der präfrontale Cortex (Kognition), der motorische Cortex (Bewegung) und der komplexe auditorische Cortex, sind grau dargestellt und enthalten kleine Kästchen, die farbig gefärbt sind, um die Sinne zu zeigen, mit denen sie interagieren. Starke Verbindungen zu und von den auditiven und visuellen Bereichen (Visual) gelten als Zweiwege-Verbindungen (Two-way connections), weil Sinnesinformationen zwischen Hirnarealen in beiden Richtungen ausgetauscht werden (gestrichelte rote Linie). In ähnlicher Weise sind somatosensorische (Berührungs-)Bereiche grün dargestellt und haben ebenfalls Zweiwege-Verbindungen, über die Informationen ausgetauscht werden. Adaptiert von Musacchia und Schroeder [6].

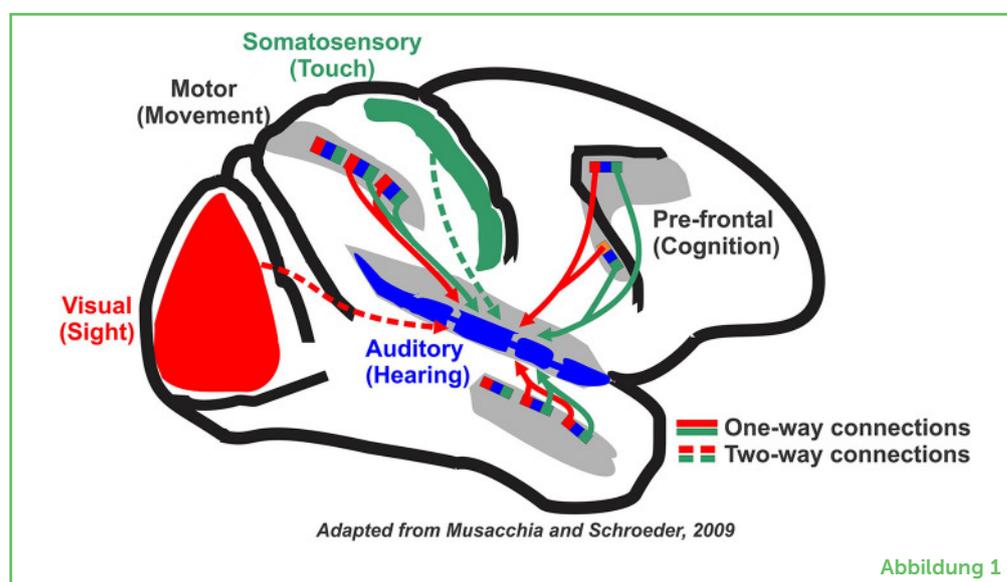


Abbildung 1

Abbildung 1 zeigt die Verknüpfungen zwischen dem Haupt-Hörbereich im Gehirn und den anderen Bereichen für Empfindung und Wahrnehmung. Wenn wir lernen, ein Instrument zu spielen, interagieren unsere Sinne aktiv miteinander, einschließlich Sehen, Tasten, Hören, Gleichgewicht, Bewegung und Propriozeption (Wahrnehmung des eigenen Körpers). Es gibt zwei Dinge, die diesen musikalischen Prozess zu etwas so Einzigartigem machen. Erstens: Wenn du Musik machst, benutzt du alle deine Sinne. Du fühlst zum Beispiel das Instrument in deinen Händen, hörst die Klänge, die du spielst und siehst die Noten auf dem Notenblatt. Da alle Sinnesinformationen dein Gehirn zu unterschiedlichen Zeitpunkten erreichen, muss dein Gehirn arbeiten, um all diese unterschiedlichen Sinnesinformationen zu synchronisieren. Zweitens: Wenn musiziert wird, geschehen die Dinge in unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Zeitabschnitten und müssen genau aufeinander abgestimmt werden. Ein Gitarrist muss zum Beispiel wissen, wo in einem Takt,

in einem Rhythmus, in einer Melodie, in einem Lied und in einem Konzert er sich befindet und all diese Dinge genau aneinanderreihen. Auch wenn vieles darüber, wie das Gehirn den Überblick über all diese Dinge behält, für uns unklar bleibt, ist es wahrscheinlich, dass es für verschiedene Zeitabschnitte (Geschwindigkeiten) unterschiedliche Mechanismen für die Zeitmessung („Uhren“) gibt. Ein Teil unserer Forschung basiert auf der Idee, dass die Synchronisation zwischen diesen „Gehirnuhren“ uns helfen könnte, andere Klangströme wie Sprache zu analysieren.

EIN LEBEN LANG MUSIK

Musik ist auch ein Mittel, mit dem wir unsere Persönlichkeit zum Ausdruck bringen: Die Musik, die wir machen oder auch hören, kann ein Weg sein, der Welt, unseren Altersgenossen, unseren Eltern und Freunden zu zeigen, wer wir sind. In Kulturen, in denen nicht geschrieben wird, haben Sänger oft einen wichtigen Platz in der Gesellschaft, weil sie wichtige Dinge wie Geschichte und Familienbeziehungen auswendig lernen. Die eigene Persönlichkeit durch Musik auszudrücken, ist normalerweise etwas Positives. Dennoch gab es Zeiten, in denen einige Menschen die Musik einer bestimmten Gruppe als bedrohlich oder sogar gefährlich empfand [7]. Zum Beispiel wurden in den späten 1980er-Jahren Rapper für ihre damals als feindselig und respektlos empfundenen Auftritte verhaftet.

Auch wenn für dich Singen oder Musizieren vielleicht eine außerordentliche Aktivität ist, der du nur ab und zu nachgehst, solltest du dir bewusst sein, dass Musik und musikalische Klänge auch fernab vom eigenen Musizieren unser Leben erfüllen. Musik wird über Lautsprecher und manchmal auch live gespielt, und wir können Musik an den meisten öffentlichen Plätzen, in Bussen, in Aufzügen und in Restaurants begegnen. Viele von uns hören Musik auch über das Telefon oder im Auto. Unser Leben ist wirklich voller Musik. Unser Verhältnis zur Musik kann also einen großen Einfluss auf lebenslanges Lernen haben.

DANKSAGUNGEN

Wir danken allen, die an der Übersetzung der Artikel dieser Sammlung mitgewirkt haben, um sie für Kinder außerhalb des englischsprachigen Raums zugänglicher zu machen, sowie der Jacobs Foundation für die Bereitstellung der für die Übersetzung der Artikel erforderlichen Mittel.

REFERENZEN

1. Merriam, A. P., and Merriam, V. 1964. *The Anthropology of Music*. Evanston, IL: Northwestern University Press.
2. Rauscher, F. H., Shaw, G. L., and Ky, K. N. 1995. Listening to Mozart enhances spatial-temporal reasoning: towards a neurophysiological basis. *Neurosci. Lett.* 185:44–7.
3. Schlaug, G. 2009. "Music, musicians, and brain plasticity," in *Oxford Handbook of Music Psychology*, eds S. Hallam, I. Cross and M. Thaut (Oxford: Oxford University Press), 197–207.
4. Zatorre, R. J. 2003. Music and the brain. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 999:4–14. doi: 10.1196/annals.1284.001
5. Musacchia, G., Sams, M., Skoe, E., and Kraus, N. 2007. Musicians have enhanced subcortical auditory and audiovisual processing of speech and music. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 104:15894–8. doi: 10.1073/pnas.0701498104
6. Musacchia, G., and Schroeder, C. E. 2009. Neuronal mechanisms, response dynamics and perceptual functions of multisensory interactions in auditory cortex. *Hear Res.* 258:72–9. doi: 10.1016/j.heares.2009.06.018
7. Binder, A. 1993. Constructing racial rhetoric: media depictions of harm in heavy metal and rap music. *Am. Sociol. Rev.* 58:753–67.

HERAUSGEBER*IN: Jessica Massonnie

WISSENSCHAFTLICHE*R MENTOR*IN: Prachi Patel

ZITAT: Musacchia G und Khalil A (2023) Musik und Lernen: Macht musik dich schlauer? *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00081-de

ÜBERSETZT UND ÜBERNOMMEN VON: Musacchia G and Khalil A (2020) Music and Learning: Does Music Make You Smarter? *Front. Young Minds* 8:81. doi: 10.3389/frym.2020.00081

INTERESSENKONFLIKT: Die Autor*innen erklären hiermit, dass ihre Forschung ohne kommerzielle oder finanzielle Unterstützung durchgeführt wurde, aus der sich ein Interessenkonflikt ergeben könnte.

URHEBERRECHTE © 2020 © 2023 Musacchia und Khalil. Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der [Creative-Commons-Attribution-Lizenz \(CC BY\)](#) verbreitet wird. Die Verwendung, Verbreitung oder Vervielfältigung in anderen Foren ist gestattet, sofern der/die Originalautor*innen und der/die Urheberrechtsinhaber*innen genannt werden und die Originalveröffentlichung in dieser Zeitschrift gemäß anerkannter wissenschaftlicher Praxis zitiert wird. Eine Nutzung, Verbreitung oder Vervielfältigung, die diesen Bedingungen nicht entspricht, ist nicht gestattet.

JUNGE*R GUTACHTER*IN



SHIVANI, ALTER: 15

Hallo! Mein Name ist Shivani, und ich bin eine Sportschülerin der Oberstufe, die in San Jose lebt. In der Schule lerne ich gern Mathematik und Naturwissenschaften, und außerhalb der Schule schwimme ich gerne, spiele Volleyball und Golf. Wenn ich nicht mit der Schule beschäftigt bin, arbeite ich gerne ehrenamtlich, verbringe Zeit mit meinen Freunden und entdecke neue Musik.

AUTOR*INNEN



GABRIELLA MUSACCHIA

Gabriella Musacchia ist Assistenzprofessorin in der Abteilung für Audiologie an der University of the Pacific und Forschungsstipendiatin an der Universität Stanford. Sie unterrichtet Studierende höherer Fachsemester, die Fachärzte für Audiologie werden wollen, in Hörphysiologie und Wahrnehmung. Ihre Forschung konzentriert sich auf die Anwendung der bildgebenden Methode Elektroenzephalographie (EEG), um herauszufinden, wie das Gehirn Sprache und Musik verarbeitet. *gmusacchia@pacific.edu



ALEXANDER KHALIL

Alexander Khalil ist Dozent für Ethnomusikologie am University College Cork in Irland und Forscher am Institute for Neural Computation an der UCSD in Kalifornien. Seine Forschung konzentriert sich darauf, wie Menschen Zeit erleben, insbesondere in Bezug auf Musik und musikalischen Rhythmus. Er ist auf das Studium des byzantinischen Gesangs, der traditionellen chinesischen Musik und des balinesischen Gamelan spezialisiert. Er spielt und komponiert auch gerne seine eigene Musik und baut Musikinstrumente.

German version provided by
Deutsche Version von

 **JACOBS
FOUNDATION**
Our Promise to Youth



WENN DIE ENTSCHEIDUNG, NICHT ZUZUHÖREN, DIR HILFT ZU HÖREN UND ZU LERNEN

Angela M. AuBuchon^{1*} und Ryan W. McCreery²

¹Arbeitsgedächtnis und Sprachlabor, Boys Town National Research Hospital, Omaha, NE, Vereinigte Staaten

²Labor für Lautstärke, Wahrnehmung und Kognition, Boys Town National Research Hospital, Omaha, NE, Vereinigte Staaten

JUNGE GUTACHTER*INNEN:



IAGO

ALTER: 13



ROAD-
RUNNERS
& COBRAS

ALTER: 10–11

Das Hören von wichtigen Geräuschen hilft uns beim Lernen. Es kann jedoch schwierig sein, die wichtigen Geräusche von den unwichtigen Geräuschen oder von Lärm zu unterscheiden. Verschiedene Teile unseres Gehirns werden durch unterschiedliche Arten von Lärm beeinflusst, was das Lernen erschwert. Während unser Gehirn wächst, werden wir besser darin, wichtige Geräusche von Lärm zu unterscheiden. Es gibt jedoch ein paar Hörtricks, die sowohl Kinder als auch Erwachsene anwenden können, um im Lärm zu hören und zu lernen.

Erwachsene erwarten oft, dass Kinder in lauten Klassenzimmern lernen. Stühle kratzen über den Boden. Rasenmäher schneiden das Gras draußen im Schulhof. Am Nebentisch unterhalten sich andere Schüler, ohne Rücksicht auf die anderen Anwesenden zu nehmen. Tatsächlich haben wir kürzlich Geräusche in 157 Klassenzimmern gemessen; selbst wenn keine Schüler im Raum waren, gab es in 137 Klassenzimmern genug Lärm, um ein aufmerksames Zuhören zu erschweren [1]! Die Strecke, die Töne von unseren Ohren

HÖRSYSTEM (AUDITORISCHES SYSTEM)

Das für das Hören zuständige Körpersystem. Es enthält maschinenähnliche Teile und Neuronen, die Informationen über Schall vom Ohr zum Gehirn transportieren.

Abbildung 1

Hier sehen wir die maschinenartigen Strukturen und Neuronen des auditorischen Systems. Die Teile, die am meisten am Hören und Ignorieren von Lärm beteiligt sind, sind beschriftet. Die Ohrmuschel (Pinna) leitet Geräusche in den Gehörgang (Ear canal). Wir sollten auf wichtige Geräusche achten, da die Ohrmuschel am besten in der Lage ist, Geräusche vor uns aufzunehmen. Die Cochlea wandelt Geräusche in Elektrizität um, die über den Hörnerv (Auditory nerve) zum Hirnstamm (Brain stem) geleitet wird. Dann wandern elektrische Signale durch den Thalamus auf ihrem Weg zum auditorischen Cortex im Schläfenlappen des Gehirns.

Bones of middle ear = Gehörknöchelchen im Mittelohr;
Ear drum = Trommelfell.

bis zu unserem Gehirn zurücklegen, mag wie eine kurze Reise erscheinen. Dennoch gibt es viele Möglichkeiten, wie Lärm das Lernen beeinträchtigen kann. Was besonders frustrierend sein kann, ist, dass Geräusche Erwachsene manchmal nicht so sehr stören wie Kinder. Das liegt zum Teil daran, dass sich das **Hörsystem** eines Kindes noch in der Entwicklung befindet und sich verändert (Abbildung 1).

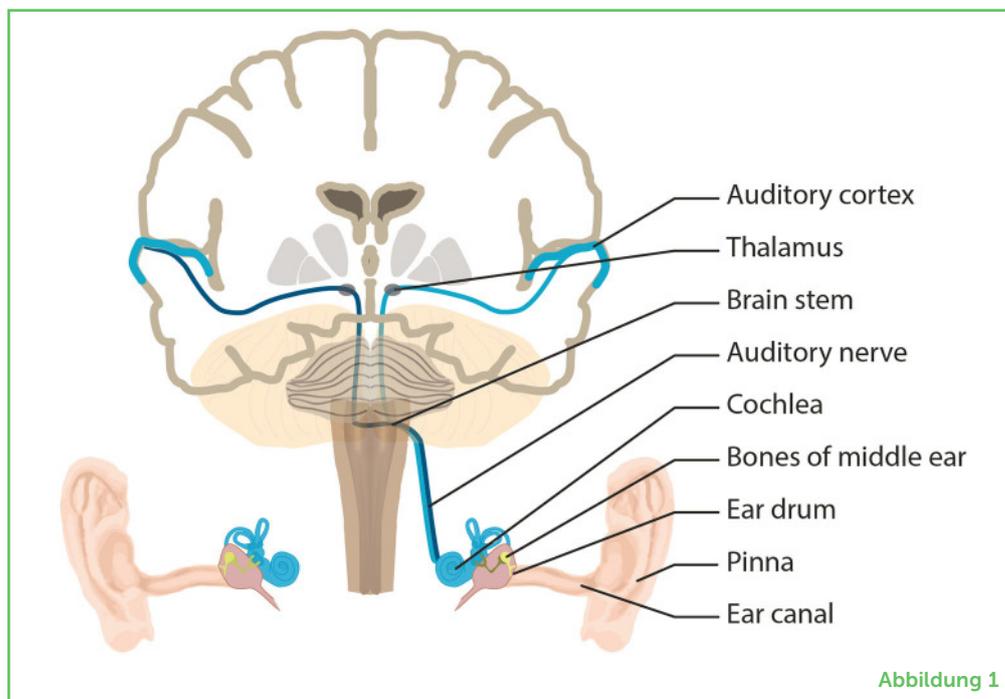


Abbildung 1

Über den Umgang mit Lärm. Wir werden besprechen, wie Geräusche, die nicht wichtig erscheinen, es dennoch schwer machen, andere Dinge, die wir hören und sehen, zu verstehen. Dann verraten wir dir Tricks, wie du über den Lärm hinweg hören und besser lernen kannst.

GERÄUSCHKATEGORIEN

Verschiedene Geräusche wirken auf unser Gehör auf unterschiedliche Weise. Wir werden uns auf drei Arten von Geräuschen konzentrieren. Erstens gibt es Geräusche, die sich mit der Zeit verändern. Zum Beispiel die Art von Geräuschen, die zwei deiner Klassenkameraden bei einer Unterhaltung machen. Ein anderes Beispiel für sich verändernde Geräusche wäre das Hören von Jazzmusik während des Lernens. Wenn sich das Geräusch ändert, hat es manchmal eine hohe Tonhöhe, wie eine Trompete; manchmal hat es eine tiefe Tonhöhe, wie eine Tuba. Manchmal ist das Geräusch laut und manchmal ist es leise. Wir messen die Lautstärke von Geräuschen in Dezibel (dB). Leise Geräusche, wie zum Beispiel das Rascheln von Blättern, liegen bei ca. 20 dB und laute Geräusche, wie z. B. Flugzeugtriebwerke, bei über 100 dB. Zweitens gibt es konstante Geräusche. Dabei handelt

PINNA (PLURAL: PINNAE)

Der Teil des Gehörs, der an der Außenseite des Kopfes angebracht ist und den die Menschen gewöhnlich als „Ohr“ bezeichnen. Wissenschaftler nennen alles von der Ohrmuschel bis zur Cochlea das „Ohr“.

COCHLEA (PLURAL: COCHLEAE)

Eine spiralförmige Struktur, die Schallwellen in Nervensignale umwandelt, die die Cochlea auf dem Hörnerv verlassen – einem von 12 speziellen „Hirnnerven“, die das Rückenmark überbrücken.

es sich um Geräusche, die von Anfang bis Ende meist gleich klingen. Zu dieser Art von Geräuschen gehören das Surren eines Computers, das Brummen eines Rasenmähers und das Geplapper in der Cafeteria, wenn alle gleichzeitig reden. Die dritte Art von Geräuschen ist plötzlich und kurz. Geräusche in dieser Kategorie sind oft überraschend. Diese Geräusche können laut sein, wie zum Beispiel eine zuschlagende Tür, aber das müssen sie nicht unbedingt sein. Sie müssen nur lauter sein als andere Geräusche in der Nähe. Ein leise surrendes Mobiltelefon würde in diese Kategorie fallen, wenn der Rest des Raumes sehr ruhig ist.

GERÄUSCHE VON LÄRM TRENNEN

Wenn ein Ort viele Geräusche hat, vermischen sich diese Geräusche auf dem Weg zu unseren Ohren. Deine „Ohren“ sind mehr als die gebogenen Schallwellenfänger an den Seiten deines Kopfes, die **Ohrmuscheln oder (lateinisch) „Pinnae“** genannt werden. Zu jedem deiner Ohren gehören auch der Gehörgang zum Trommelfell, dein Trommelfell, einige sehr kleine Knochen auf der anderen Seite des Trommelfells und eine kleine, dafür aber sehr aufwendige Konstruktion, die **Cochlea** genannt wird. Die Cochlea ist der Ort, an dem Schallwellen in die für das Hörsystem verständlichen Signale umgewandelt werden. Die Cochlea ist auch ein Ort, an dem sich Geräusche vermischen. Stell dir deine Cochlea wie einen Teich vor. Die Geräusche, die in deine Cochlea gelangen, sind wie Steine, die Wellen hinterlassen, wenn sie in den Teich geworfen werden. Wenn jeder Schüler in der Cafeteria Steine in unseren Teich werfen würde, gäbe es überall Wellen. Irgendwann würden die Wellen ineinander laufen. Nachdem die Wellen durcheinander geraten sind, ist es schwierig, genau zu erkennen, welche Wellen von welchen Schülern stammen. Das ist der erste Grund, warum es schwer ist zu lernen, wenn es laut ist: Zwei Geräusche schaffen es nicht so gut, zur gleichen Zeit am gleichen Ort zu sein. Stattdessen vermischen sich zwei Geräusche zu einem unübersichtlichen, verwirrenden Geräusch. Alle die oben genannten drei Arten von Geräuschen mischen sich mit wichtigen Geräuschen, aber konstante Geräusche machen das am häufigsten. Im Gegensatz zu plötzlichen Geräuschen hält ein gleichmäßiges Geräusch lange Zeit an. Im Gegensatz zu wechselnden Geräuschen werden konstante Geräusche nie leiser. Wenn wechselnde Geräusche leise werden, und sei es nur für einen Moment, hat das wichtige Geräusch die Cochlea ganz für sich allein. Ein Trick ist, diese Momente der Ruhe zu nutzen, um das wichtige Geräusch zu „erahnen“. Unsere Cochleae sind voll entwickelt, bevor wir geboren werden, daher mischen sich Geräusche in den Cochleae bei Erwachsenen und Kindern auf die gleiche Art und Weise. Erwachsene sind jedoch besser in der Lage, Tricks wie „Erahnen“ zu verwenden, um wichtige Geräusche zu hören. Das liegt daran, dass die Fähigkeit unseres Gehirns, Geräusche zu verarbeiten, mit zunehmendem Alter besser wird.

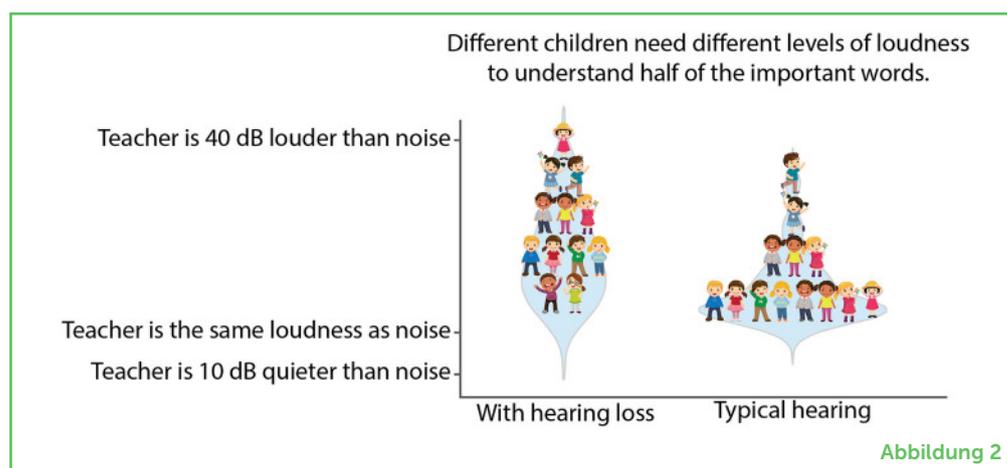
Abbildung 2

Die wenigsten Kinder verstehen die Hälfte von dem, was sie hören, wenn der Sprecher leiser ist als das Geräusch. Der untere Teil des Diagramms würde zum Beispiel so aussehen, dass der Lehrer (die meisten Menschen sprechen mit etwa 60 dB) neben einem Rasenmäher (70 dB) spricht. Das Geräuschniveau in einem lauten Klassenzimmer liegt bei etwa 90 dB! Für die meisten Kinder mit typischem Gehör ist es erforderlich, dass der Sprecher mindestens so laut wie das Geräusch (rechte Seite) spricht. Bei Kindern, die sich am oberen Ende der Kurve befinden, ist es notwendig, dass der Sprecher lauter als das Geräusch spricht. Bitte beachte, dass sich fast alle Kinder mit Hörverlust in der Nähe der Spitze des Diagramms (linke Seite) befinden. Dies verdeutlicht, wie viel schwieriger das Hören im Lärm für Kinder mit Hörverlust ist – selbst wenn sie Hörgeräte benutzen [6].

GEWÖHNUNG

Eine Abnahme der Reaktionsfähigkeit, wenn dasselbe Geräusch, derselbe Anblick, Geruch oder dieselbe Berührung über einen längeren Zeitraum präsent ist.

Um zu verstehen, was um uns herum geschieht, müssen wir die gemischten Geräusche wieder in einzelne Teile zerlegen. Ein Trick, der uns hilft, Geräusche zu trennen, besteht darin, das wichtige Geräusch lauter zu machen. Stell dir unseren Teich voller Wellen vor, die von den Steinen der Schüler stammen. Nun stell dir vor, dein Lehrer wirft einen riesigen Felsbrocken hinein. Die vom Felsbrocken hergestellten Wellen könnten sich mit den kleinen Wellen der Steine der Schüler vermischen. Die Wellen des Felsbrockens sind jedoch so groß, dass sie leicht zu erkennen sind. Wir haben Kinder mit typischem Gehör und Kinder mit Hörverlust eingeladen, wichtige Sätze im Hintergrundgeräusch zu hören. Nur sehr wenige Kinder in beiden Gruppen konnten die Sätze verstehen, wenn die Sätze leiser waren als das Geräusch oder wenn die Sätze und das Geräusch die gleiche Lautstärke hatten. Sobald die Sätze auch nur ein paar Dezibel lauter wurden als das Geräusch, waren die meisten Kinder mit typischem Gehör in der Lage, Töne vom Geräusch zu trennen und die Sätze zu verstehen. Für einige Kinder mussten jedoch die Sätze viel lauter gesprochen werden als das Geräusch, um beides voneinander zu trennen (Abbildung 2).



Die wichtigen Geräusche lauter zu machen ist ein nützlicher Trick, denn es gibt viele Möglichkeiten, deinen Lehrer besser zu hören. Du kannst deinen Lehrer oder Lehrerin bitten, seine/ihre Stimme zu verstärken, oder du kannst näher an den Lehrer oder die Lehrerin heranrücken.

Du könntest auch versuchen, das störende Geräusch leiser zu machen. Wenn das Geräusch von außen kommt, bitte darum, das Fenster zu schließen. Unser Gehirn hat auch einen nützlichen Trick, um unwichtige Geräusche leiser erscheinen zu lassen. Dieser Trick wird **Gewöhnung** genannt. Gewöhnung ist, wenn dieselbe Sache immer und immer wieder vorkommt und wir aufhören, darauf zu reagieren. Gewöhnung tritt ein bei Geräuschen, Anblicken, Gerüchen und Berührungen. Hast du jemals Popcorn, das wirklich gut gerochen hat, gemacht? Nach einer Weile hast du den Geruch nicht mehr

wahrgenommen. Dann bist du auf die Toilette gegangen und als du zurückkamst, konntest du dein Popcorn wieder riechen. Das ist ein Beispiel für die Gewöhnung an einen Geruch. Der Popcorn-Geruch ist immer noch da, aber dein Gehirn hat aufgehört, ihn wahrzunehmen. Das Gleiche kann mit Geräuschen passieren – vor allem mit konstanten Geräuschen. Auch wenn das konstante Geräusch nicht wirklich leiser wird, erzeugt es mit der Zeit eine geringere Gehirnreaktion, die das wichtige Geräusch im Vergleich dazu lauter erscheinen lässt. Leider brauchen Kinder im Alter von 9-11 Jahren länger als Erwachsene, um sich an Geräusche zu gewöhnen [2]. Die Fähigkeit von Erwachsenen, sich an konstante Geräusche zu gewöhnen, könnte ein Grund dafür sein, dass sie wichtige Wörter besser verstehen als Kinder [3].

Wir trennen auch Geräusche, indem wir herausfinden, woher ein bestimmtes Geräusch kommt. Dies ist möglich, weil wir zwei Ohren haben. Ein Ton auf der rechten Seite wird für dein rechtes Ohr ein klein wenig lauter sein als für dein linkes Ohr (Sound-Demo). Ein Ton auf der rechten Seite erreicht dein rechtes Ohr auch ein klein wenig schneller als dein linkes Ohr. Der Unterschied ist so gering (eine halbe Millisekunde), dass du ihn gar nicht wahrnehmen würdest. Dein Gehirn merkt es aber! Nachdem die Schallinformationen jede Cochlea verlassen haben, wandern sie entlang eines speziellen Nervs, des Hörnervs, direkt zum Hirnstamm. Der Hirnstamm erhält Nervensignale von beiden Cochleae und kann feststellen, welche Cochlea einen Ton zuerst und lauter gehört hat. Wenn wir erwachsen sind, haben unsere Gehirne genau herausgefunden, wie viel mehr Zeit es braucht (und wie sehr sich die Lautstärke ändert), wenn sich der Schall um unseren Kopf herum bewegt. Unser Kopf wächst sehr schnell, bis wir 6 Jahre alt sind, was das Erkennen von Geräuschen für sehr junge Kinder erschwert. Zu wissen, woher die einzelnen Geräusche kommen, hilft unserem Gehör, Geräusche zu trennen.

Wir können vermischte Geräusche auch trennen, indem wir einem Geräusch unsere Aufmerksamkeit schenken und die anderen Geräusche ignorieren. Wir wissen immer noch nicht, wie das unser Gehirn genau macht. Manchmal glauben wir zu entscheiden, worauf wir unsere Aufmerksamkeit richten, aber manchmal kommt es uns vor, als würde unser Gehirn für uns entscheiden. Wenn deine Klasse arbeitet und plötzlich eine Tür zuknallt, würden die Schüler auf die Tür schauen. Dein Gehör hat das Geräusch gehört, herausgefunden, woher es kommt und entschieden, dass es wichtig genug ist, um ihm Aufmerksamkeit zu schenken. Eine Theorie ist, dass der **Thalamus** – eine Konstruktion tief im Inneren des Gehirns – dabei hilft, Informationen zu priorisieren [4]. Der Thalamus erhält Informationen über Geräusche sowie Bilder, Geschmäcker und Berührungen. Der Thalamus kann unsere Umgebung überwachen und erkennen, wenn sich ein Geräusch, ein Anblick oder eine Berührung verändert. Geräusche erregen eher unsere Aufmerksamkeit, wenn sie unerwartet auftauchen oder sich verändern. Das bedeutet, dass wechselnde

THALAMUS

Eine Konstruktion tief im Inneren des Gehirns, die Informationen über Geräusche, Sehen, Schmecken und Tasten an den Rest des Gehirns weiterleitet. Der Thalamus kann unser Gehirn auf Veränderungen in unserer Umgebung aufmerksam machen.

Geräusche unsere Aufmerksamkeit erhalten können, auch wenn wir das nicht wollen.

GERÄUSCHE ERSCHWEREN DAS LERNEN

Lärm macht es nicht nur schwierig, auf wichtige Geräusche zu achten, sondern auch auf wichtige Informationen, die wir wahrnehmen. Bis Kinder etwa 9 Jahre alt sind, können sogar konstante Geräusche wie Klimaanlage ihr Gedächtnis schädigen [5]. Konstante Geräusche scheinen Erwachsene nicht sonderlich zu stören, wahrscheinlich, weil sie sich an sie gewöhnt haben. Sowohl Kinder als auch Erwachsene haben jedoch Schwierigkeiten, sich an Wörter zu erinnern, wenn im Hintergrund wechselnde Geräusche zu hören sind – vor allem, wenn das wechselnde Geräusch auch Wörter enthält. Das bedeutet, dass du dich weniger wahrscheinlich an das Gelesene erinnern wirst, wenn der Fernseher läuft. Kinder im Alter von 12 Jahren haben Schwierigkeiten, sich etwas zu merken, auch, wenn die wechselnden Geräusche keine Worte enthalten – wie zum Beispiel bei Jazzmusik. Mit anderen Worten: Alle Geräusche stören das Gedächtnis, wenn wir jung sind, aber bestimmte Geräusche sind leichter zu ignorieren, wenn wir älter werden. Das deutet darauf hin, dass unser Gehirn mit zunehmendem Alter besser kontrollieren kann, welche Geräusche unsere Aufmerksamkeit erhalten sollen. Sobald wir kontrollieren, worauf unser Gehirn seine Aufmerksamkeit richtet, können wir besser zuhören und trotz Lärm lernen.

VERWENDE DEINE AUGEN, UM BESSER ZU HÖREN

Ein sehr wichtiger Hörtrick ist es, auf wichtige Geräusche zu schauen. Sich etwas anzuschauen hilft uns, ihm Aufmerksamkeit zu schenken. Das wird uns helfen, das wichtige Geräusch vom allgemeinen Lärm zu trennen. Wir können auch die Form der Lippen von jemandem als Hinweis auf das Geräusch, das er verursacht, verwenden. Bitte deinen Freund oder deine Freundin, die Wörter „dunkel“ und „munkeln“ zu sagen, ohne einen Ton zu machen. Hast du bemerkt, wie sich die Lippen zusammentun, um den „m“-Laut zu erzeugen? Menschen die gut im Lippenlesen sind, sind auch besser darin, Sprache trotz Lärm zu verstehen.

SCHLUSSFOLGERUNG

Lärm macht es schwierig, aufmerksam zu sein und zu lernen. Kinder haben es besonders schwer, im Lärm zu hören und zu lernen, weil sich ihr auditorisches System noch in der Entwicklung befindet. Wissenschaftler haben jedoch einige Tricks entdeckt, die uns helfen, besser zu hören: (1) Mache wichtige Geräusche lauter und unwichtige

Geräusche leiser, (2) finde heraus, woher die wichtigen Geräusche kommen und (3) schaue dir die wichtigen Geräusche an.

SOUND-DEMO

Höre dir dieses Sound-Demo ohne Kopfhörer an. Kannst du sagen, welche Geschichte die Lehrerin gerade liest? Setze jetzt Kopfhörer auf. Fällt dir auf, wie sich die Lehrerin im Klassenzimmer bewegt, aber der Lärm gleich bleibt? Das Anschauen der Lehrerin hilft uns, ihre Stimme zu erkennen und die Zeile aus „Jack und die Bohnenranke“ zu verstehen.



DANKSAGUNGEN

Diese Arbeit wurde durch Zuschüsse von NIH/NIDCD R01 DC013591 und NIH/NIGMS P20 GM109023 unterstützt. Die Autor*innen bedanken sich bei Dr. Hans Packer für die Hilfe bei der Erstellung der Abbildungen. Sie möchten sich auch bei Dr. G. Chris Stecker bedanken, der die Sound-Demo aus den von Calandruccio et al. zur Verfügung gestellten Sound-Dateien produziert hat [7]. Sie danken auch denjenigen, die bei der Übersetzung der Artikel in dieser Sammlung geholfen haben, um die Artikel für Kinder außerhalb des englischsprachigen Raumes zugänglich zu machen, ebenso der Jacobs Foundation für die Bereitstellung der für die Übersetzung der Artikel erforderlichen Mittel.

REFERENZEN

1. Spratford, M., Walker, E. A., and McCreery, R. W. 2019. Use of an application to verify classroom acoustic recommendations for children who are hard of hearing in a general education setting. *Am. J. Audiol.* 28:927–34. doi: 10.1044/2019_AJA-19-0041
2. Muenssinger, J., Stingl, K. T., Matuz, T., Binder, G., Eehalt, S., and Preissl, H. 2013. Auditory habituation to simple tones: reduced evidence for habituation in children compared to adults. *Front. Hum. Neurosci.* 7:377. doi: 10.3389/fnhum.2013.00377
3. Hall, J. W. III, Grose, J. H., Buss, E., and Dev, M. B. 2002. Spondee recognition in a two-talking masker and a speech-shaped noise masker in adults and children. *Ear Hear.* 23:159–65. doi: 10.1097/00003446-200204000-00008
4. Nakajima, M., and Halassa, M. M. 2017. Thalamic control of functional cortical connectivity. *Curr. Opin. Neurobiol.* 44:127–31. doi: 10.1016/j.conb.2017.04.001
5. AuBuchon, A. M., McGill, C. I., and Elliott, E. M. 2019. Auditory distraction does more than disrupt rehearsal processes in children’s serial recall. *Mem. Cogn.* 47:738–48. doi: 10.3758/s13421-018-0879-4

6. McCreery, R. W., Walker, E., Spratford, M., Lewis, D., and Brennan, M. 2019. Auditory, cognitive, and linguistic factors predict speech recognition in adverse listening conditions for children with hearing loss. *Front. Neurosci.* 13:1093. doi: 10.3389/fnins.2019.01093
7. Calandruccio, L., Leibold, L. J., and Buss, E. 2016. Linguistic masking release in school-age children and adults. *Am. J. Audiol.* 25:34–40. doi: 10.1044/2015_AJA-15-0053

HERAUSGEBER*IN: Jessica Massonnie

WISSENSCHAFTLICHE MENTOR*INNEN: Susana Martinez-Conde und Tobias Overath

ZITAT: AuBuchon AM und McCreery RW (2023) Wenn die Entscheidung, nicht zuzuhören, dir hilft zu hören und zu lernen. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00104-de

ÜBERSETZT UND ÜBERNOMMEN VON: AuBuchon AM and McCreery RW (2020) When Choosing NOT to Listen Helps You Hear and Learn. *Front. Young Minds* 8:104. doi: 10.3389/frym.2020.00104

INTERESSENKONFLIKT: Die Autor*innen erklären hiermit, dass ihre Forschung ohne kommerzielle oder finanzielle Unterstützung durchgeführt wurde, aus der sich ein Interessenkonflikt ergeben könnte.

URHEBERRECHTE © 2020 © 2023 AuBuchon und McCreery. Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der [Creative-Commons-Attribution-Lizenz \(CC BY\)](#) verbreitet wird. Die Verwendung, Verbreitung oder Vervielfältigung in anderen Foren ist gestattet, sofern der/die Originalautor*innen und der/die Urheberrechtsinhaber*innen genannt werden und die Originalveröffentlichung in dieser Zeitschrift gemäß anerkannter wissenschaftlicher Praxis zitiert wird. Eine Nutzung, Verbreitung oder Vervielfältigung, die diesen Bedingungen nicht entspricht, ist nicht gestattet.

JUNGE GUTACHTER*INNEN

IAGO, ALTER: 13

Mein Name ist Iago, und ich bin in der 7. Klasse. Meine Lieblingsfächer sind Schreiben, Mathematik, Sozialwissenschaften und Naturwissenschaften. Meine Hobbys sind Schauspielerei, D&D und Spiel-Schwertkämpfe. Ich denke, es ist wichtig, dass Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen für Kinder schreiben, damit Kinder lernen, kritisch zu denken und Fragen darüber zu stellen, wie die Welt funktioniert. Meine Mama und mein Papa sind „verrückte“ Wissenschaftler, weil sie für einen Zaubertrick eine Spielkarte in ein Gehirn gesteckt haben – gut, dass das Gehirn aus Wackelpudding bestand!





ROADRUNNERS & COBRAS, ALTER: 10–11

Wir sind eine kreative Klasse von Fünfklässlern, die neugierig sind, mehr über die Welt zu lernen. Wir haben es sehr genossen, kreativ über diesen Artikel nachzudenken und mehr über etwas zu lernen, das uns jeden Tag begegnet: Geräusche. Es war eine tolle Erfahrung, Teil von Frontiers for Young Minds zu sein!

AUTOR*INNEN

ANGELA M. AUBUCHON

Angela AuBuchons Forschungsziel ist es zu verstehen, wie sich Menschen an wichtige Informationen erinnern (und nicht so wichtige Informationen ignorieren), um ein Problem zu lösen. Um mehr über Angelas Forschung zu erfahren, folge ihrem Labor @BoysTownWMLL auf Facebook. Wenn Angela nicht in der Forschung tätig ist, besucht sie örtliche Schulen, um Schüler und Schülerinnen Neurowissenschaften zu unterrichten. Ihre Lieblingsaufgabe ist es, den Schülern und Schülerinnen beim Sezieren von Schafshirnen zu helfen. Sie ist Cheerleader Coach an der Platteview High School in Springfield, Nebraska. Go Trojans! *angela.aubuchon@boystown.org

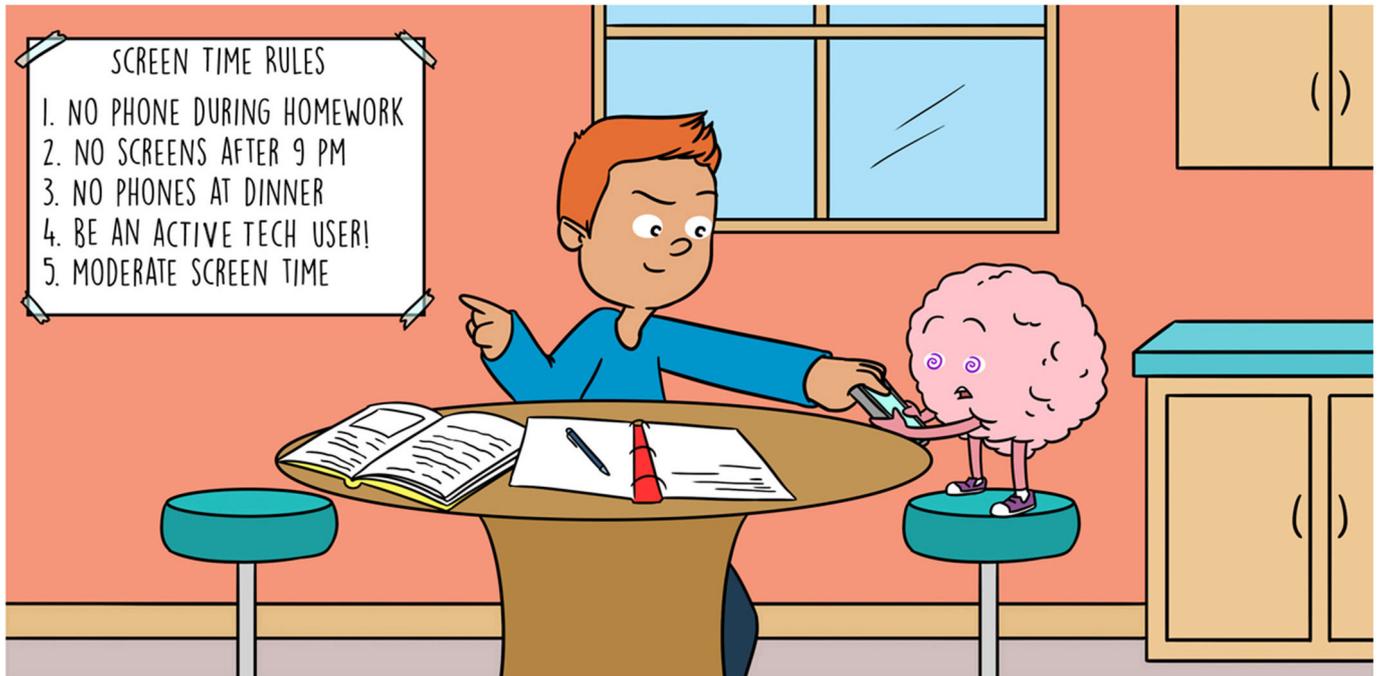


RYAN W. MCCREERY

Ryan McCreery ist ein Wissenschaftler, der sich dafür einsetzt, dass Kinder, die unter Hörverlust leiden, die Möglichkeit bekommen zu hören und zu lernen. Erfahre mehr über Ryans Forschung @APCLaboratory auf Facebook. Ryan ist Forschungsdirektor des Boys Town National Research Hospital und stolzer Vater von drei wundervollen Kindern – Liam, Anna und Charlotte – und zwei Hunden – Lola und JoJo.

German version provided by
Deutsche Version von

 **JACOBS
FOUNDATION**
Our Promise to Youth



GEDANKENSPIELE: TECHNOLOGIE UND DAS SICH ENTWICKELNDE GEHIRN VON JUGENDLICHEN

Lucía Magis-Weinberg* und Estelle L. Berger

Kollaborative Adoleszenz-Forschung (ACR), Institut für menschliche Entwicklung, University of California, Berkeley, CA, Vereinigte Staaten

JUNGE* R GUTACHTER*IN



SCOTTY
ALTER: 10

Es gibt Gehirnbereiche, die auf Dinge reagieren, die aufregend oder belohnend sind, und Gehirnbereiche, die dir bei der Planung und Kontrolle deiner Impulse helfen. Beide Bereiche arbeiten zusammen, um dir beim Lernen zu helfen. Wenn sich Kinder und Jugendliche entwickeln und ihre Gehirne sich verändern, ändert sich auch das Gleichgewicht zwischen den Belohnungs- und den Kontrollbereichen. Diese Veränderungen im Gehirn erhöhen die Bereitschaft von Kindern und Jugendlichen zu forschen, ein Risiko einzugehen und von Freunden zu lernen. Diese Veränderungen im Gehirn führen jedoch auch dazu, dass es Kindern schwerfällt, ihr Verhalten zu kontrollieren, insbesondere wenn Freunde in der Nähe sind oder wenn etwas sehr Aufregendes passiert. Technologie kann das Lernen verbessern, indem sie das Gleichgewicht zwischen Belohnungs- und Kontrollbereich wiederherstellt. Einige technologische Funktionen können jedoch auch ungesunden sozialen Austausch fördern oder es sehr schwer machen, Impulse online zu kontrollieren. In diesem Artikel zeigen

wir, wie die Kontroll- und Belohnungsbereiche deines Gehirns den Lernprozess beeinflussen. Wir erklären auch, warum es für das Lernen förderlich sein kann, die Funktionsweise deines Gehirns zu verstehen und wie dir dieses Wissen um die Funktionsweise deines Gehirns außerdem dabei helfen kann, deine eigenen Entscheidungen darüber zu treffen, wie du deine Zeit online verbringst.

TEENAGER WACHSEN ONLINE UND OFFLINE AUF

Wenn es um Technologie geht, sind Kinder und Jugendliche die ultimativen Experten. In den Vereinigten Staaten besitzen 95 Prozent der Teenager zwischen 13 und 17 Jahren ein Smartphone, und 94 Prozent geben an, dass sie das Internet mindestens einmal täglich nutzen [1]. Mit zunehmendem Alter werden Kinder und Teenager immer unabhängiger und beginnen auch, elektronische Geräte zu benutzen, insbesondere wenn sie in die Oberstufe kommen [2]. Technologie bietet viele Möglichkeiten, sich mit anderen auszutauschen, zu lernen und Spaß zu haben, und zwar sowohl innerhalb als auch außerhalb des Klassenzimmers. Aber die Technologie birgt auch Risiken. Sie lenkt zum Beispiel von anderen Aktivitäten und Beziehungen ab, sie erfordert zu viel Bildschirmzeit oder führt beispielsweise dazu, dass unüberlegte Nachrichten zu schnell abgesendet werden. Sowohl positive als auch negative Effekte der Technologie können durch einige wichtige Merkmale des sich entwickelnden Teenagergehirns verstärkt werden.

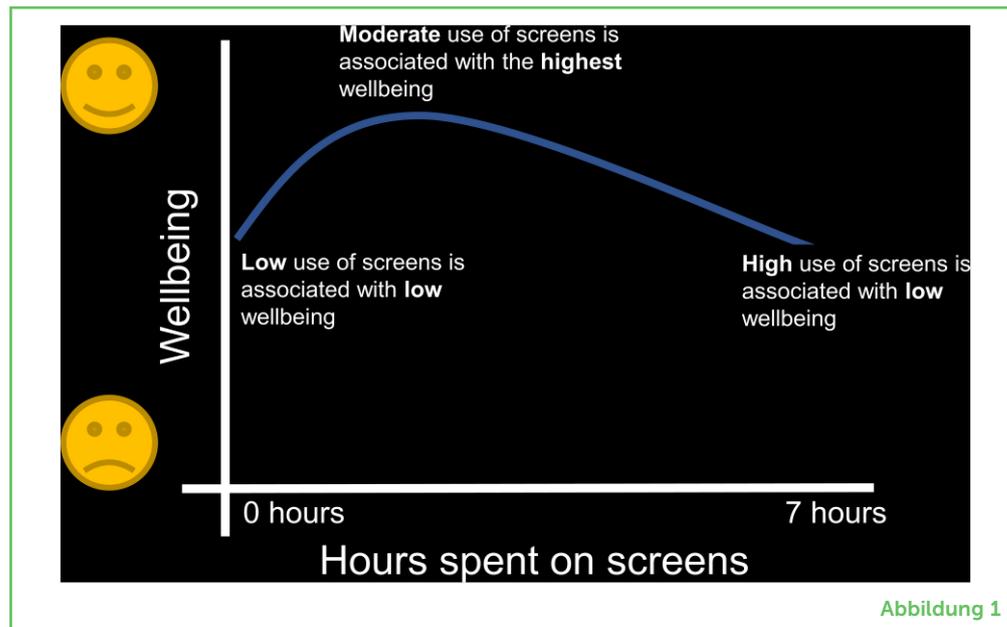
DER EINFLUSS DER TECHNOLOGIE HÄNGT VON DER QUALITÄT DER ONLINE-AKTIVITÄTEN AB

Die Forschung zur Technologienutzung ist aus einigen wichtigen Gründen zu aufwendig: (1) Es ist für Menschen schwierig, genau darüber zu berichten, wie oft sie die verschiedenen Kommunikationstechnologien nutzen; (2) es ist schwierig herauszufinden, ob die Nutzung von Technologie dazu führt, dass Kinder schlechte Noten bekommen und sich bedrückt fühlen oder ob Kinder, die bereits schlechte Noten haben und sich bedrückt fühlen, dazu neigen, mehr Technologie zu nutzen; und (3) wir müssen warten, bis die Nutzer älter werden, um die langfristigen Auswirkungen zu beurteilen. Trotz dieser Herausforderungen ist die Arbeit auf diesem Forschungsgebiet jedoch wichtig. Wir erklären dir nachfolgend, was wir über die Zusammenhänge zwischen der Zeit, die man online verbringt, und dem Wohlbefinden wissen.

Wissenschaftler sind der Meinung, dass ein maßvoller Umgang mit Technologie entscheidend ist (**Abbildung 1**): Menschen, die zu wenig oder zu viel Zeit mit digitalen Geräten verbringen, bekommen die meisten Probleme [3]. Ein mäßiger Zeitvertreib in hoher Qualität

Abbildung 1

Eine maßvolle Nutzung von Bildschirmen (Computer, Tablets, Videospielen und Smartphones) wird mit dem höchsten Wohlbefinden in Verbindung gebracht, während beide Extreme, also extrem niedrige und extrem hohe Nutzung, mit einem geringeren Wohlbefinden (Wellbeing) verbunden werden (Abbildung nach Przybylski und Weinstein [3]).
Wellbeing = Wohlbefinden;
Hours spent on screens = Vor Bildschirmen verbrachte Stunden.



ADOLESCENZ

Entwicklungsphase zwischen Kindheit und Erwachsenenalter; auch als Teenager-Jahre bezeichnet (etwa zwischen 10 und 24 Jahren).

SOZIO-EMOTIONALE ENTWICKLUNG

Die Entwicklung der Fähigkeit, Emotionen und Gefühle zu verstehen, auszudrücken und zu kontrollieren, um Beziehungen zu anderen aufzubauen und zu pflegen.

KOGNITIVE KONTROLLE

Geistige Prozesse wie Aufmerksamkeit, Gedächtnis und Entscheidungsfindung, die Gedanken und Verhaltensweisen lenken und uns helfen, unsere Ziele zu erreichen.

mit digitalen Geräten könnte mit positiven Erfahrungen verbunden sein, z. B. mit dem Gefühl, glücklich zu sein und sich mit Freunden auszutauschen. Aktivitäten mit hoher Qualität sind solche, die eine aktive Handlung erfordern, z. B. Chatten mit Freunden und Familie, Arbeit an einem Projekt, Erstellen von Inhalten oder Lernen durch Videos. Zu den Aktivitäten von geringer Qualität gehören solche mit Gefühlen der Depression, des Neides und der Einsamkeit, passives Scrollen, der Vergleich mit anderen Personen in sozialen Medien oder die Nutzung der elektronischen Geräte bis spät in die Nacht oder wenn du eigentlich andere Aufgaben erledigen solltest. Außerdem ist es wichtig, Technologie zielgerichtet einzusetzen und Multitasking und Ablenkung zu vermeiden. Wenn du zum Beispiel deine Hausaufgaben machst, während du mit Freunden chattest, wird die Qualität beider Aktivitäten reduziert. Wir wollen zwar auch die Auswirkungen auf Erwachsene erforschen, aber weil sich Kinder und Jugendliche noch in der Entwicklung befinden, sind sie besonders anfällig für bestimmte negative Effekte der Technologie (siehe [Kasten 1](#)).

SOZIALE MEDIEN UND DAS SOZIALE GEHIRN

Die Teenager-Jahre (**Adoleszenz**) sind eine Zeit, in der die Kinder sowohl innerhalb als auch außerhalb des Klassenzimmers viel lernen, ihre Interessen erforschen und herausfinden, wer sie sind und wie sie sich selbst fühlen [4]. Im Alter zwischen 10 und 24 Jahren gibt es große Veränderungen im Körper, aber auch im Gehirn. In dieser Lebensphase werden wir besonders empfindsam für das, was um uns herum geschieht. Das liegt daran, dass unsere Gehirnnetzwerke, die die **sozio-emotionale Entwicklung** steuern ([Abbildung 2](#), in Blau und Grün), schneller reifen als unser Netzwerk zur **kognitiven Kontrolle** ([Abbildung 2](#), in Rot). Das Netzwerk zur

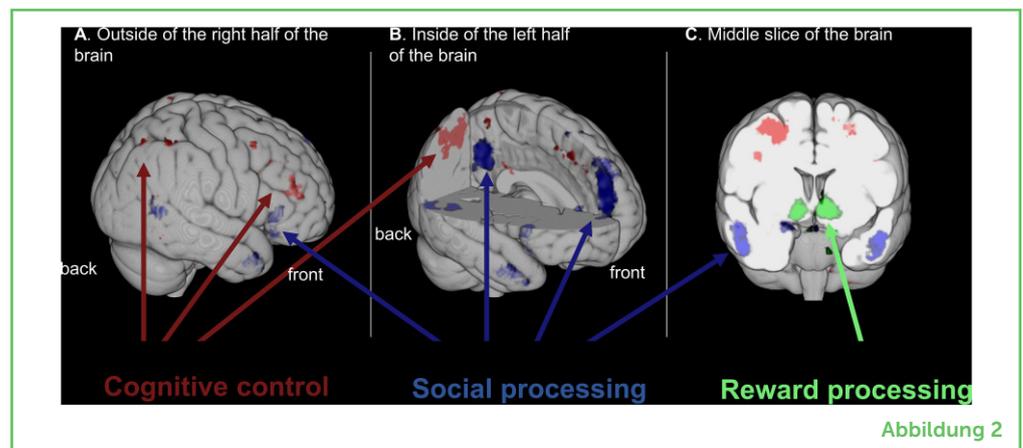
Kasten 1 | Tipps für Jugendliche

1. Achte auf die Qualität und den Inhalt dessen, was du online machst, anstatt auf die gesamte Bildschirmzeit
2. Nutze Technologie auf eine aktive Art und Weise (erstelle Videos, schreibe Geschichten, chatte mit Freunden und Familie, nutze Videos zum Erlernen neuer Fähigkeiten) statt auf eine passive Art und Weise (wie etwa einfach nur durch den Account einer berühmten Person zu scrollen)
3. Vermeide Multitasking: Wenn du Hausaufgaben machst, schalte dein Telefon aus
4. Stell sicher, dass die Benutzung der elektronischen Geräte nicht die Zeit für Sport, ausreichend Schlaf, Hausaufgaben und den Austausch mit Freunden und Familie raubt
5. Wenn du schlafen gehst, bewahre alle elektronischen Geräte außerhalb des Schlafzimmers auf: Hol dir stattdessen einen Wecker ins Zimmer
6. Schalte alle Standardeinstellungen in Apps aus, die dich ablenken oder deine Verwendung kontrollieren könnten, wie z. B. Video-Autoplay und Benachrichtigungen
7. Übernimm die Verantwortung für deinen eigenen Umgang mit digitalen Medien und erstelle einen Vertrag über die Technologienutzung zu Hause, der für dich und deine Familie sinnvoll ist

kognitiven Kontrolle ist für geistige Prozesse wie Aufmerksamkeit, Gedächtnis und Entscheidungsfindung zuständig, also alle Prozesse, die Gedanken und Verhaltensweisen lenken und uns helfen, unsere Ziele zu erreichen. Ob und wie gut wir also Entscheidungen treffen und lernen können, wird davon beeinflusst, wie spannend oder sozial eine Situation ist [2, 5].

Abbildung 2

Gehirnbereiche, die an kognitiver Kontrolle (Cognitive control), sozialen Prozessen (Social processing) und Belohnungsprozessen (Reward processing) beteiligt sind, werden aus verschiedenen Blickwinkeln gezeigt. **(A)** Die Oberfläche der rechten Gehirnhälfte zeigt Bereiche, die an der kognitiven Kontrolle beteiligt sind, und solche, die an sozialen Prozessen beteiligt sind. **(B)** In der Mitte liegende Oberfläche der linken Gehirnhälfte (die rechte Hälfte wurde entfernt) zeigt die wichtigsten Bereiche des sozialen Gehirns. **(C)** Gehirnmitte (stell dir vor, die Person steht vor dir und es wurde eine Scheibe abgeschnitten) zeigt Bereiche, die an Belohnungsprozessen beteiligt sind.



Teenager haben sehr wichtige sozio-emotionale **Entwicklungsziele**, z. B. herauszufinden, wer sie sind, und Beziehungen zu anderen aufzubauen – und genau das könnte durch soziale Medien beeinflusst werden. Teenager neigen dazu, der Anzahl der Likes oder Followers in sozialen Medien viel Aufmerksamkeit zu schenken, weil es sich in dieser Zeit besonders wichtig anfühlt, von Gleichaltrigen gemocht zu werden und sich beliebt und bewundert zu fühlen [4, 5]. Dieses Bedürfnis, **extrinsische Belohnungen** von der Außenwelt und insbesondere positives Feedback von Freunden zu erhalten, könnte einer der Gründe sein, warum die Mehrheit der Jugendlichen ständig

ENTWICKLUNGSZIELE

Eine Reihe von Fähigkeiten, die von uns normalerweise während einer bestimmten Lebensphase erwartet werden (z. B. Laufenlernen bei Kindern oder mehr Unabhängigkeit von den Eltern bei Teenagern).

EXTRINSISCHE BELOHNUNGEN

Etwas für die externe Motivation tun, wie Punkte, Likes, Geld oder Ermutigung erhalten.

soziale Medien nutzt [6]. Soziale Medien können ein großartiges Instrument sein, um mit Freunden in Verbindung zu treten, wenn sie auf positive Weise genutzt werden (z. B. um mehr darüber zu erfahren, was einem Freund gefällt, oder um ihn zu etwas zu ermutigen). Eine weitere wichtige positive Seite der sozialen Medien ist, dass sie die Möglichkeit bieten, die vielen Seiten der eigenen Persönlichkeit zu entwickeln: wer man als Schüler, als Freund, als Bruder oder Schwester oder als Fan der eigenen Lieblingsband ist [2]. Diese Entdeckungsreise der eigenen Persönlichkeit wird dir helfen zu verstehen, wer du bist, was und wen du magst. Der Wunsch, beliebt zu sein, könnte jedoch auch dazu führen, dass man riskante Aktivitäten postet, gemeine Kommentare veröffentlicht oder unpassende Bilder sendet, um Aufmerksamkeit zu bekommen. Tragödien, die sich online abspielen, Cyber-Mobbing und der Kontakt mit unangemessenen Inhalten können Jugendliche auch stressen oder belasten und dem Ruf einer Person schaden. Wenn die Emotionen überbrodeln, ist es eine besonders große Herausforderung, die richtigen Entscheidungen zu treffen, da die kognitiven Kontrollfähigkeiten noch nicht ausgereift sind (**Abbildung 2**) [4, 5]. Wenn du also eine Antwort auf eine Aussage von einem Freund, der deine Gefühle verletzt hat, schreibst oder überlegst, welches Bild du posten sollst, nimm dir einen zusätzlichen Moment Zeit, um dich abzukühlen. Denk in Ruhe darüber nach, ob dir diese unlöschbare Spur deiner Meinung und deines Verhaltens in Zukunft wirklich etwas bringt oder du es eher bereuen wirst. Online-Tragödien können dein Wohlbefinden und deine Erlebnisse in der Schule wirklich negativ beeinflussen. Überlege dir also, welche Social-Media-Strategien für dich am besten funktionieren.

Einige Funktionen der sozialen Medien, wie z. B. die Tatsache, dass du Beiträge liken, teilen und offen kommentieren kannst, können Menschen dazu bringen, bestimmte Dinge zu tun, um zusätzliche Aufmerksamkeit zu erhalten, ein virtuelles Publikum zu beeindrucken und sich mit anderen zu vergleichen. Bei unseren Untersuchungen haben wir festgestellt, dass Jugendliche, die in der Mitte ihrer schulischen Ausbildung sind und sich mit anderen vergleichen und Feedback über soziale Medien suchen, ebenfalls über mehr Anzeichen von Depression und Angst berichteten. Auch wenn jemand viel Zeit damit verbringt, durch die Feeds anderer zu blättern, kann es passieren, dass das Selbstwertgefühl dieser Person dadurch beeinträchtigt wird. Eine Frage, die Wissenschaftler zu beantworten versuchen, ist, ob Online-Aktivitäten zu Problemen führen oder aber ob Menschen, die diese Probleme bereits haben, dazu neigen, soziale Medien in einer Weise zu nutzen, die mit negativen Folgen verbunden sind. Wie kannst du angesichts dieser sozio-emotionalen Veränderungen die Technologie nutzen, um deine Freundschaften zu stärken und die sozialen Gefahren von digitalen Geräten zu vermeiden?

VON GERÄTEN „SÜCHTIG“ WERDEN

Wenn du online Spaß hast, kann es dir besonders schwer fallen, die Zeit im Auge zu behalten. Irgendwann könntest du feststellen, dass du „süchtig“ nach deinen Geräten bist und viel mehr Zeit online verbringst, als dir guttut. Du könntest sogar das Gefühl bekommen, dass du keine Kontrolle mehr darüber hast, wie viel Zeit oder Aufmerksamkeit du deinem Gerät widmest. Auch wenn die zunehmende Reifung des kognitiven Kontrollnetzwerks ([Abbildung 2](#), in Rot) es dir ermöglicht, länger aufmerksam zu sein und Ablenkungen zu vermeiden, stößt die Selbstkontrolle manchmal an ihre Grenzen, insbesondere in aufregenden oder emotionalen Momenten. Denk daran, dass es während der Adoleszenz auch einen Anstieg der Aktivität in Gehirnregionen gibt, die auf alle Arten von Belohnungen, einschließlich sozialer Belohnungen, reagieren ([Abbildung 2](#), in Grün). Einige belohnende Aktivitäten können vorteilhaft für dich sein, z. B. Freundschaften schließen oder gute Noten erhalten. Andererseits können andere Aktivitäten, die ebenfalls deine Belohnungszentren aktivieren, schlecht für dich sein, wie zuckerhaltige Leckereien essen, die ganze Nacht Videospiele spielen oder an gefährlichen Aktivitäten teilnehmen. Wenn Teenager sehr stark auf Belohnungen ansprechen, sind sie eher bereit, neue Dinge auszuprobieren, zu erforschen und so zu handeln, dass sie sich sofort gut fühlen [4]. Wenn du online bist, könnte dein Bedürfnis nach sofortigen Belohnungen so stark werden, dass du nicht mehr imstande bist, dein Tun zu kontrollieren und die zukünftigen Folgen davon richtig einzuschätzen. Zum Beispiel können Glücksspiele, Chats oder Streaming am späten Abend dir für den Moment ein gutes Gefühl geben, aber denk an die Folgen am nächsten Morgen, wenn du in der Schule müde und launisch bist (siehe [Kasten 1](#)).

AUSWIRKUNGEN DER TECHNOLOGIE AUF DEN SCHLAF

Was ist das Letzte, was du gestern Abend vor dem Einschlafen getan hast? Wahrscheinlich hast du auf eine letzte Textnachricht geantwortet oder bist eingeschlafen, während du dir einen Stream angesehen hast. Wir wissen, dass die Verwendung von Technologie den Schlaf beeinflusst, was sich wiederum auf dein Gehirn, deinen Körper und deine Gesundheit auswirkt. In der Folge fällt es dir schwer, aufmerksam zu sein, zu lernen und dich zu erinnern. Schlafmangel kann außerdem dazu führen, dass du dich ängstlich oder traurig fühlst. Wenn du deine elektronischen Geräte nachts im Bett benutzt, fällt es dir schwerer einzuschlafen und du bleibst wahrscheinlich länger auf, als es dir guttut. Benachrichtigungen können dich sogar mitten in der Nacht aus dem Schlaf reißen! Es ist sehr wichtig, dass deine Technologienutzung deine gesunden Schlafgewohnheiten nicht beeinträchtigt, insbesondere in dieser Phase, in der sich dein Gehirn und dein Körper noch entwickeln. Es ist also eine gute Idee, deine

elektronischen Geräte außerhalb deines Zimmers aufzubewahren, bevor du ins Bett gehst (siehe [Kasten 1](#)).

ÜBERNIMM DIE KONTROLLE!

Glücklicherweise kennen wir einige nützliche Tipps, die dir dabei helfen können, dich von sozialen Medien, Spielen und Videos loszulösen und die Kontrolle über deine wertvolle Zeit zurückzugewinnen. Wenn du dir zum Beispiel gerne Videos online anschaust, schalte die „automatische Wiedergabe“ aus, die auf vielen Plattformen oft die Standardeinstellung ist. Dies ermöglicht dir, selbst zu entscheiden, wann du mit dem Zuschauen aufhören willst. Bevor du ein neues Konto aktivierst, stelle sicher, dass dein Profil geschützt ist, und deaktiviere die Push-Benachrichtigungen. Oftmals sind die Standardeinstellungen extra so gestaltet, dass du nicht mehr aufhören kannst, weil die Unternehmen um deine Aufmerksamkeit und Zeit konkurrieren. Übernimm du die Kontrolle, indem du die Einstellungen so festlegst, dass sie dir helfen, die Technologie so zu nutzen, wie es für dich richtig ist. Du solltest auch darüber nachdenken, dein Gerät nachts außerhalb deines Zimmers liegen zu lassen oder vielleicht das WLAN während der Hausaufgaben ganz abzuschalten, um Versuchungen und Ablenkung zu vermeiden. Du kannst sogar Erinnerungen auf deinem Telefon einstellen, um Pausen einzulegen und verschiedene Aktivitäten zu unternehmen, wie Sport zu treiben oder Zeit mit Freunden und Familie zu verbringen (siehe [Kasten 1](#)).

Jetzt weißt du schon einiges darüber, wie dein Gehirn auf soziale Medien, Computerspiele, Online-Videos und andere Formen digitaler Medien reagiert. Nun ist es an der Zeit zu überlegen, ob du dir einen Zeitplan für nach der Schule und am Wochenende erstellst. Denn dieser kann dir dabei helfen, die Kontrolle darüber zu behalten, wie du deine Zeit verbringst. Du weißt, an welchen Nachmittagen du nach der Schule Verpflichtungen hast und wie viele Stunden es dauert, deine Hausaufgaben am Abend zu erledigen. Du weißt auch, dass es wichtig ist, über soziale Medien mit deinen Freunden in Verbindung zu bleiben, etwas auf deinem Kanal zu posten und deine Lieblings-Online-Spiele zu spielen. Indem du deine eigenen Regeln für die Technologienutzung festlegst, sie deinen Eltern oder Lehrern zeigst und dann von diesen Regeln profitierst, die du für dich selbst aufgestellt hast, wirst du durch **intrinsische Belohnung** von innen heraus motiviert. Eine intrinsische Belohnung ist das Gefühl des Stolzes oder der Zufriedenheit, das du empfindest, wenn du etwas für dich selbst Bedeutsames vollbracht hast. Eine Strategie, die du selbst in Zusammenarbeit mit den Erwachsenen, die sich um dich kümmern, entwirfst, könnte besser funktionieren als eine Strategie, die dir aufgezwungen wird. Vielleicht schließt du sogar mit deiner gesamten Familie einen Vertrag über die Nutzung der Technologie ab – warum eigentlich nicht? Auch Eltern sind sich oft nicht sicher,

INTRINSISCHE BELOHNUNG

Etwas für die innere Motivation tun, wie das Gefühl, etwas erreicht zu haben oder mit sich selbst zufrieden zu sein.

wie sie ihre Geräte auf gesunde Weise nutzen sollen. Gib dein Wissen über den gesunden Umgang mit den digitalen Medien also auch an sie weiter.

DAS BESTE AUS DER TECHNOLOGIE MACHEN

Die Teenagerzeit ist eine aufregende Zeit. Du wirst herausfinden, wer du bist, was und wen du magst, und das Werkzeug entwickeln, das du brauchst, um deinen Interessen nachzugehen. Der zielgerichtete und maßvolle Einsatz deiner elektronischen Geräte kann dir helfen, erfolgreich zu sein. Er könnte sogar positive Auswirkungen auf die psychische Gesundheit haben, wenn du mit deinen Freunden chattest, Bilder von deinen kreativen Aktivitäten postest oder dich mit einer Gruppe von Menschen, die ein gemeinsames Interesse haben, verbindest. Überwache die Qualität und den Inhalt dessen, was du online machst, anstatt dich auf die Anzahl der Stunden, die du online bist, zu fixieren. Sei beim Einsatz von Technologie eher aktiv als passiv und vermeide Multitasking, um das Beste aus deiner Zeit zu machen. Stell sicher, dass die Verwendung deiner Geräte nicht dazu führt, dass du keine Zeit mehr hast für Sport, ausreichend Schlaf, Hausaufgaben oder die gemeinsame Zeit mit Freunden und deiner Familie. Während Wissenschaftler weiterhin die Nutzung von Technologien und das sich entwickelnde Gehirn erforschen, ist es sehr wichtig, dass du die Kontrolle über deinen Umgang mit digitalen Medien übernimmst. Sei du es, der seine Geräte im Griff hat, und nicht umgekehrt.

DANKSAGUNGEN

Wir möchten uns von ganzem Herzen bei allen bedanken, die bei der Übersetzung der Artikel in dieser Sammlung mitgeholfen haben, um sie für Kinder außerhalb des englischsprachigen Raums zugänglicher zu machen, sowie bei der Jacobs Foundation für die Bereitstellung der für die Übersetzung der Artikel erforderlichen Mittel.

REFERENZEN

1. Pew Research Center. 2018. *Teens, Social Media & Technology 2018*. Available online at: <https://www.pewinternet.org/2018/05/31/teens-socialmedia-technology-2018/>
2. Moreno, M. A., and Uhls, Y. T. 2019. Applying an affordances approach and a developmental lens to approach adolescent social media use. *Digit. Health*. 5:2055207619826678. doi: 10.1177/2055207619826678
3. Przybylski, A., and Weinstein, N. 2017. A large-scale test of the Goldilocks hypothesis: quantifying the relations between digital-screen use and the mental well-being of adolescents. *Psychol. Sci.* 28:204–15. doi: 10.1177/0956797616678438

4. Dahl, R. E., Allen, N. B., Wilbrecht, L., and Suleiman, A. B. 2018. Importance of investing in adolescence from a developmental science perspective. *Nature*. 554:441–50. doi: 10.1038/nature25770
5. Mills, K. L., Goddings, A. L., and Blakemore, S. J. 2014. Drama in the teenage brain. *Front. Young Minds* 2:16. doi: 10.3389/frym.2014.00016
6. Rideout, V., and Robb, M. B. 2018. *Social Media, Social Life: Teens Reveal Their Experiences*. San Francisco, CA: Common Sense Media.

HERAUSGEBER*IN: Sabine Peters

WISSENSCHAFTLICHE*R MENTOR*IN: Hector Arciniega

ZITAT: Magis-Weinberg L und Berger EL (2023) Gedankenspiele: Technologie und das sich entwickelnde Gehirn von Jugendlichen. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00076-de

ÜBERSETZT UND ÜBERNOMMEN VON: Magis-Weinberg L and Berger EL (2020) Mind Games: Technology and the Developing Teenage Brain. *Front. Young Minds* 8:76. doi: 10.3389/frym.2020.00076

INTERESSENKONFLIKT: Die Autor*innen erklären hiermit, dass ihre Forschung ohne kommerzielle oder finanzielle Unterstützung durchgeführt wurde, aus der sich ein Interessenkonflikt ergeben könnte.

URHEBERRECHTE © 2020 © 2023 Magis-Weinberg und Berger. Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der [Creative-Commons-Attribution-Lizenz \(CC BY\)](#) verbreitet wird. Die Verwendung, Verbreitung oder Vervielfältigung in anderen Foren ist gestattet, sofern der/die Originalautor*innen und der/die Urheberrechtsinhaber*innen genannt werden und die Originalveröffentlichung in dieser Zeitschrift gemäß anerkannter wissenschaftlicher Praxis zitiert wird. Eine Nutzung, Verbreitung oder Vervielfältigung, die diesen Bedingungen nicht entspricht, ist nicht gestattet.

JUNGE*R GUTACHTER*IN

SCOTTY, ALTER: 10

Meine Lieblingsfarbe ist Rot. Meine Lieblingsfilme sind Space Jam und Die Goonies. In meiner Freizeit treibe ich am liebsten Sport und spiele Videospiele. Meine Lieblingssportarten sind Basketball und Fußball.



AUTOR*INNEN

LUCÍA MAGIS-WEINBERG

Ich bin Ärztin und Wissenschaftlerin und untersuche, wie sich Technologie auf die Entwicklung von Kindern und Jugendlichen und deren Gehirne auswirkt, insbesondere in den Ländern Lateinamerikas. Ich benutze Technologie ständig, um meine Arbeit zu erledigen, um unsere Projekte in anderen Ländern durchzuführen und mit meiner Familie und meinen Freunden, die weit weg wohnen, zu kommunizieren. So kenne ich die Macht, die Online-Aktivitäten haben. Mit meiner Forschung möchte ich Jugendlichen



helfen, in einer Welt des schnellen technologischen Wandels erfolgreich zu sein. *l.magisweinberg@berkeley.edu



ESTELLE L. BERGER

Ich befinde mich in einer Berufsorientierungsphase als Psychologiestudentin und untersuche die Schnittmenge von jugendlicher Entwicklung, sozialem Kontext und Technologieeinsatz. Durch meine Forschung werde ich immer wieder von der Kraft junger Menschen angespornt, die Welt zu inspirieren und sinnvolle Veränderungen herbeizuführen. Außerhalb des Labors könnt ihr mich beim Wandern, beim Lösen des Sonntags-Kreuzworträtsels oder bei der Pflege meiner Pflanzen sehen.

German version provided by
Deutsche Version von





CANNABIS UND DAS LERNENDE GEHIRN

Lana Vedelago^{1,2*}, Jillian Halladay^{1,3}, Catharine Munn^{1,4}, Katholiki Georgiades^{5,6} und Michael Amlung^{1,6}

¹Abteilung für Psychiatrie und Verhaltensneurowissenschaften, McMaster University und Peter-Boris-Zentrum für Suchtforschung, St. Joseph's Healthcare Hamilton in Hamilton, Hamilton, ON, Kanada

²Graduiertenkolleg der Abteilung für Neurowissenschaften, McMaster University, Hamilton, ON, Kanada

³Abteilung für Methoden, Evidenz und Wirkung der Gesundheitsforschung, McMaster University, Hamilton, ON, Kanada

⁴Michael G. DeGroote-Zentrum für medizinische Cannabisforschung, McMaster University, Hamilton, ON, Kanada

⁵Offord-Zentrum für Kinderstudien, McMaster University, Hamilton, ON, Kanada

⁶Abteilung für Psychiatrie und Verhaltensneurowissenschaften, McMaster University, Hamilton, ON, Kanada

JUNGE*R GUTACHTER*IN:



GREESHMA

ALTER: 13

Wie wirkt sich Cannabis (Marihuana) auf das sich entwickelnde Gehirn, das Lernen und die akademischen Leistungen aus? Untersuchungen haben uns gezeigt, dass sich das Gehirn in den Teenagerjahren bis Mitte der 20er-Jahre weiterentwickelt und während dieser Zeit besonders empfindlich auf die Auswirkungen von Drogen wie Cannabis reagiert. Dieser Artikel wird dir einen Überblick über die Forschung zu den kurz- und langfristigen Auswirkungen von Cannabis auf das Denken, Lernen und die akademischen Lernerfolge geben. Wir werden auch ein Fenster in die Forschung zur Bildgebung des Gehirns bieten, in dem Forscher sehen können, was im Laufe der Zeit im Gehirn passiert, wenn Jugendliche Cannabis nehmen. Wir hoffen, dir mehr Antworten als Fragen zu hinterlassen, aber wir werden abschließend einige der unbeantworteten Fragen zu den

möglichen negativen Auswirkungen des Cannabiskonsums in der Jugend hervorheben.

EINLEITUNG

Als Teenager stehst du vor einer überwältigenden Anzahl von Entscheidungen und Belastungen. Eine Wahl, vor der du möglicherweise stehst, ist, ob du Cannabis oder andere Drogen probieren wirst oder nicht. Möglicherweise hörst du verschiedene Dinge über die Risiken, Cannabis zu probieren oder regelmäßig zu konsumieren. Die jüngsten öffentlichen Debatten, Gesetzesänderungen rund um Cannabis und dessen Verwendung zur Behandlung einiger Erkrankungen haben einige Menschen zu der Überzeugung geführt, dass Cannabis sicher und ohne Gesundheits- oder Lernrisiken ist. Ziel dieses Artikels ist nicht, dir zu sagen, was du tun sollst, sondern um die aktuellsten Forschungsergebnisse über die Auswirkungen von Cannabis auf das lernende Gehirn zu teilen und einige der Stereotypen und Mythen über den Cannabiskonsum in Frage zu stellen.

Cannabis ist auch als Marihuana, Gras oder Pot bekannt und hat psychoaktive Wirkungen, was bedeutet, dass es vorübergehend die Gehirnfunktion verändern kann, um Stimmung, Denken und Verhalten zu verändern. Nach Tabak und Alkohol ist Cannabis die weltweit am häufigsten verwendete Droge und wird am häufigsten durch Rauchen, Vaping oder in essbarer Form konsumiert. In Nordamerika haben die jüngsten Gesetzesänderungen den Cannabiskonsum für Personen über 18 oder 19 Jahren in Kanada und über 21 Jahren in den meisten US-Bundesstaaten legalisiert. Die Leute sagen, dass sie Cannabis aus einer Reihe von Gründen konsumieren, unter anderem wegen des „High“-Gefühls das auftritt, um zu „experimentieren“, um beim Sozialisieren zu helfen oder für medizinische Zwecke. Anfangs mag es so aussehen, als ob Cannabis hilft – z. B., indem es die Stimmung verbessert oder bestimmte soziale Situationen etwas erleichtert – aber bei wiederholtem Konsum neigt Cannabis eher dazu, die Situation zu verschlimmern. Cannabis kann auch negative Auswirkungen auf die körperliche und geistige Gesundheit haben, insbesondere wenn es von Jugendlichen oder jungen Erwachsenen sehr häufig oder in großen Mengen konsumiert wird. Cannabis kann auch dein Urteilsvermögen und deine Entscheidungsfähigkeit beeinträchtigen und einige Menschen dazu veranlassen, riskante Dinge zu tun, die sie sonst möglicherweise nicht tun würden, z. B. ein Auto zu fahren, während sie bekifft sind [1].

Fortschritte in der Technologie ermöglichen es den Forschern, genau zu untersuchen, wie das Gehirn aussieht und funktioniert. Bildgebende Verfahren des Gehirns wie die Magnetresonanztomographie (MRT), haben gezeigt, dass der Zeitraum von der Adoleszenz bis zum

jungen Erwachsenenalter eine Zeit dramatischer Veränderungen ist, insbesondere in zwei Hauptteilen des Gehirns. Der erste Teil, das Endocannabinoidsystem, hilft, die Verbindungen zwischen verschiedenen Teilen des Gehirns zu entwickeln und zu rationalisieren [2]. Wie du vielleicht am Namen erkennen kannst, ist dieses System von Cannabis betroffen. Der zweite Teil des Gehirns, der sich in dieser Zeit stark verändert, der präfrontale Cortex, ist die Kommandozentrale oder der „Chef“ des Gehirns, der für Funktionen wie das Treffen von Entscheidungen, das Lösen von Problemen und die Kontrolle unseres eigenen Verhaltens zuständig ist (Abbildung 1) [2]. Untersuchungen zeigen, dass sich das Endocannabinoidsystem und der präfrontale Cortex noch entwickeln, bis wir Mitte 20 sind. Bis zu diesem Alter sind diese Teile des Gehirns besonders empfindlich gegenüber den Auswirkungen von Chemikalien wie Alkohol, Cannabis und anderen Drogen [2].

Abbildung 1

Der präfrontale Cortex. Der in diesem Bild gelb gefärbte Bereich des Gehirns wird als präfrontaler Cortex bezeichnet. Es ist die Kommandozentrale des Gehirns und ist verantwortlich für Dinge wie Entscheidungen treffen, Probleme lösen und unser Verhalten kontrollieren (illustriert von Madelyn Vedelago).

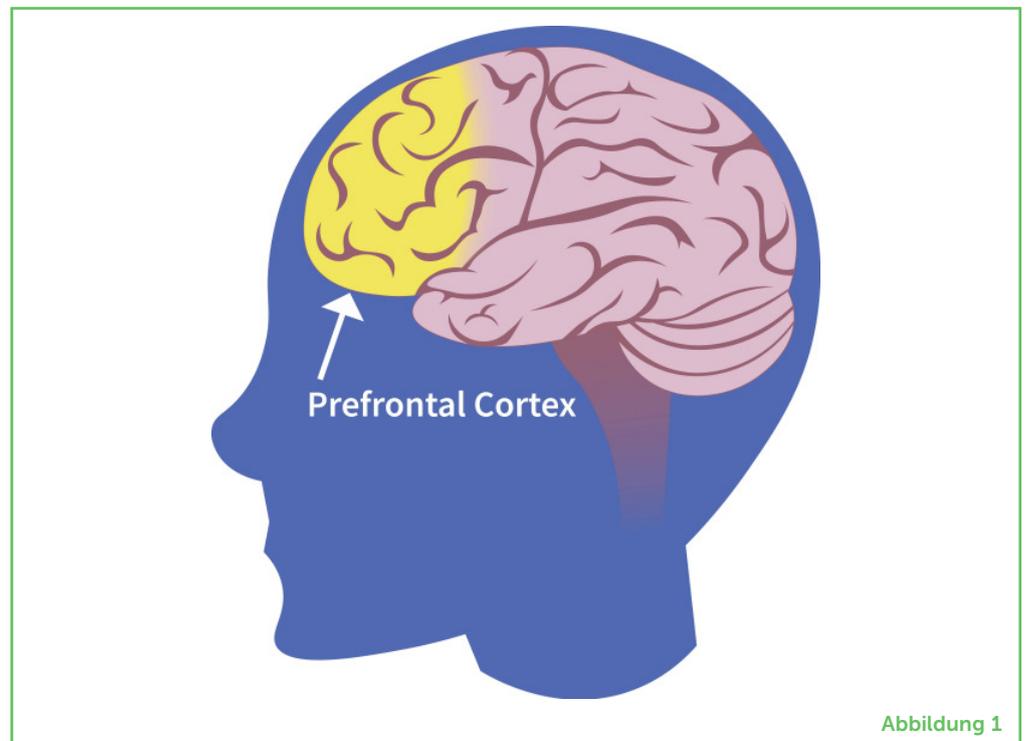


Abbildung 1

FRAGE 1: WELCHE KURZFRISTIGEN AUSWIRKUNGEN HAT CANNABIS AUF DAS GEHIRN UND DAS LERNEN? WOHER WISSEN FORSCHER DAS?

Die kurzfristigen Auswirkungen von Cannabis auf das Gehirn umfassen eine Vielzahl negativer Folgen, die sich auf die Schulnoten und den Schulerfolg von Teenagern auswirken können (Abbildung 2). Forscher haben herausgefunden, dass Jugendliche, die Cannabis konsumieren, nicht so gut abschneiden wie Gleichaltrige, die Cannabis nicht für Aufgaben verwenden, die Aufmerksamkeit, Lernen, Gedächtnis und Reaktionszeit erfordern [3]. Das galt auch dann, wenn die

Cannabiskonsumenten vor dem Experiment für einen Monat lang mit dem Konsum aufhörten. Teenager, die in einem jüngeren Alter (unter 15 Jahren) mit dem Cannabiskonsum beginnen, sind bei diesen Aufgaben noch schlechter als diejenigen, die in einem höheren Alter mit dem Konsum beginnen [2]. Also, was passiert im Gehirn, um diese verminderte Leistung zu verursachen?

Abbildung 2

Die negativen Auswirkungen des Cannabiskonsums in der Jugend. Da sich das Gehirn noch als Teenager entwickelt, können bestimmte Fähigkeiten, die für den Erfolg in der Schule erforderlich sind, wie Denken, Gedächtnis, Lernen und Aufmerksamkeit, durch den Konsum von Cannabis negativ beeinflusst werden (illustriert von Madelyn Vedelago).

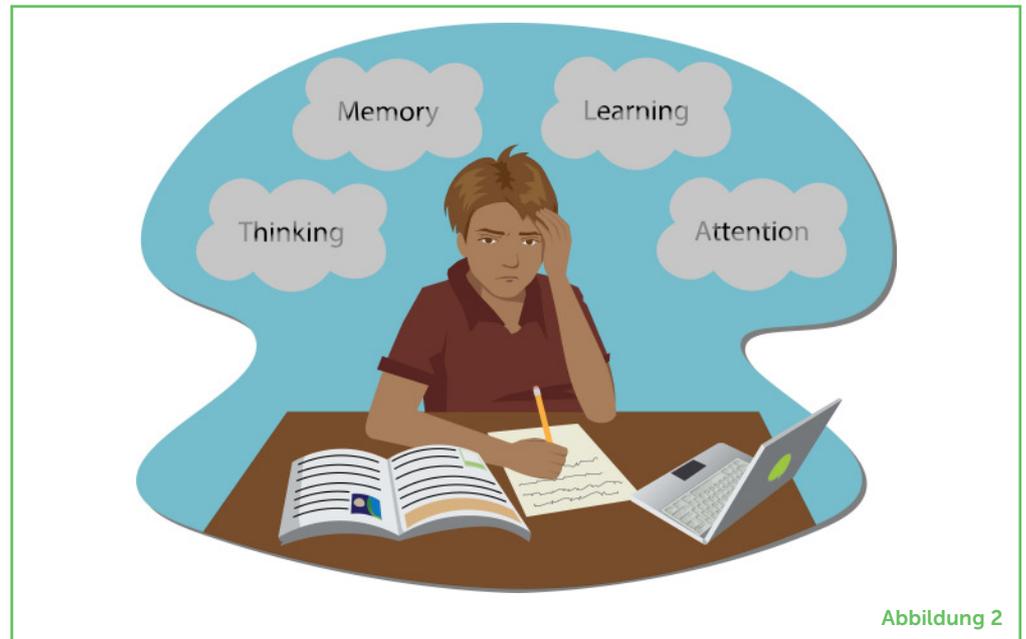


Abbildung 2

Wie bereits oben erwähnt, entwickelt sich das Endocannabinoidsystem im Gehirn während der gesamten Adoleszenz weiter. Obwohl seine Rolle im Gehirn noch nicht vollständig verstanden ist, wissen wir, dass das Endocannabinoidsystem wichtige Verbindungen stärkt und unwichtige in Bereichen des Gehirns schwächt, die für Lernen und Gedächtnis von entscheidender Bedeutung sind [2]. Der Konsum von Cannabis während der Entwicklung dieses Systems kann die Probleme beim Denken, Aufpassen und Lernen erklären, die bei Teenagern, die Cannabis konsumieren, auftreten [2].

Mithilfe von MRT-Bildern stellten die Forscher fest, dass ein bestimmter Bereich des präfrontalen Cortex bei Jugendlichen, welche Cannabis vermehrt konsumieren, kleiner war als bei Jugendlichen, die kein Cannabis konsumieren [4]. Die Cannabiskonsumenten tendierten auch dazu, impulsiver zu sein, d. h. Dinge ohne vorheriges Nachdenken zu tun [4].

In einer Gedächtnisaufgabe zeigten Cannabiskonsumenten im präfrontalen Cortex eine geringere Aktivität als Nichtkonsumenten [3]. Insgesamt scheint der Cannabiskonsum sowohl die Größe als auch die Aktivität des präfrontalen Cortex zu beeinträchtigen, was für das Lernen sehr wichtig ist.

FRAGE 2: WELCHE LANGFRISTIGEN AUSWIRKUNGEN HAT DER CANNABISKONSUM AUF DEN SCHULERFOLG?

Untersuchungen deuten darauf hin, dass Menschen, die im Jugendalter starke Cannabiskonsumanten waren, in der Schule nicht so weit kamen. Das heißt, sie haben mit geringerer Wahrscheinlichkeit ein höheres Bildungsniveau erreicht. Eine Studie, in der Menschen vom Teenageralter bis ins Erwachsenenalter beobachtet wurden, ergab, dass Personen, die Cannabis als Teenager konsumierten und das ganze Leben über konsumieren, tendenziell weniger Jahre zur Schule gegangen sind als Personen, die in den Teenagerjahren kein Cannabis konsumierten [5]. Warum könnte dies der Fall sein? Zusätzliche Untersuchungen sind erforderlich, um sicher zu stellen, wie sich der Cannabiskonsum auf den Schulerfolg auswirkt. Es ist allerdings möglich, dass die auftretenden Veränderungen im Gehirn durch Cannabiskonsum in den Teenagerjahren dies erklären. Oder es könnte an den kurzfristigen negativen Auswirkungen von Cannabis auf das Gedächtnis, auf die Aufmerksamkeit und auf die Motivation liegen, die zu schlechteren Schulnoten und geringeren Chancen auf einen Studienplatz an einer Universität oder Hochschule führen könnten.

FRAGE 3: KÖNNEN DIE NEGATIVEN AUSWIRKUNGEN VON CANNABIS AUF DAS LERNEN RÜCKGÄNGIG GEMACHT WERDEN?

Die gute Nachricht ist, dass Jugendliche aufgrund der raschen Veränderungen und Umstrukturierungen im Gehirn von Teenagern möglicherweise besser in der Lage sind, sich von den Giftstoffauswirkungen (z. B. Gedächtnis-, Lern- und Konzentrationsprobleme) wie Alkohol, Cannabis und anderen Drogen zu erholen.

Zum Beispiel haben das Forscher herausgefunden, als Cannabiskonsumanten 3 Monate lang kein Cannabis mehr konsumierten [3].

SCHLUSSFOLGERUNG

Insgesamt deutet die Untersuchung darauf hin, dass Cannabis negative Auswirkungen haben kann, insbesondere wenn der Konsum im Teenageralter und im jungen Erwachsenenalter beginnt. Die Forschungsergebnisse sind jedoch auch in einigen Studien unklar und vieles bleibt unerforscht, da noch nicht genug gute Untersuchungen durchgeführt wurden. Darüber hinaus konzentriert sich der größte Teil der bereits durchgeführten Forschung auf Verbindungen (oder Korrelationen) zwischen Cannabiskonsum und Unterschieden im Gehirn. Das bedeutet, dass wir noch nicht wissen, ob Cannabis die

Ursache für diese Unterschiede ist oder ob diese Unterschiede bereits vor Beginn des Cannabiskonsums bestanden haben. Obwohl wir noch viel über die Auswirkungen des Cannabiskonsums lernen müssen, empfehlen die meisten Ärzte, Forscher und Regierungen, Cannabis nicht in der Jugend zu konsumieren.

Wenn du darüber nachdenkst Cannabis auszuprobieren, könnte es hilfreich sein, dir ein paar Fragen zu stellen:

- Warum will ich Cannabis ausprobieren? Versuche ich, von etwas davonzulaufen oder ein Problem zu vertuschen?
- Wie würde ich wissen, ob Cannabis meine Fähigkeit, zu lernen oder zur Schule zu gehen, beeinträchtigt? Wie würde ich feststellen, ob der Cannabiskonsum für mich zu einem Problem wird?
- Mit wem könnte ich sprechen oder wo könnte ich Hilfe finden, wenn ich oder einer meiner Freunde Probleme mit Cannabis hätten?

Die Berücksichtigung dieser Fragen hilft dir, die besten Entscheidungen für dich und dein lernendes Gehirn zu treffen.

AUTORENBEITRAG

LV, JH, CM, KG, und MA, haben zur Konzeption und Gestaltung des Manuskripts beigetragen. LV schrieb den ersten Entwurf des Manuskripts. Alle Autoren haben zur Überarbeitung des Manuskripts beigetragen und die eingereichte Version gelesen und genehmigt.

DANKSAGUNGEN

Die Illustrationen wurden freundlicherweise von Madelyn Vedelago zur Verfügung gestellt. Die Autor*innen danken Jane Jomy für ihre Beiträge zur Literaturübersicht für diesen Artikel. Die Autoren erkennen und anerkennen, dass das Gebiet, auf dem diese Arbeit abgeschlossen wurde, das traditionelle Territorium der Nationen Mississauga und Haudenosaunee ist und sich innerhalb des Landes befindet, das durch das Wampum-Abkommen „Dish With One Spoon“ geschützt ist. Wir möchten uns von ganzem Herzen bei denen bedanken, die an der Übersetzung der Artikel in dieser Sammlung mitgearbeitet haben, um sie Kindern außerhalb des englischsprachigen Raums zugänglich zu machen und bei der Jacobs Foundation für die Bereitstellung der für die Übersetzung der Artikel erforderlichen Mittel.

REFERENZEN

1. Carliner, H., Brown, Q. L., Sarvet, A. L., and Hasin, D. S. 2017. Cannabis use, attitudes, and legal status in the U.S.: a review. *Prev. Med.* 104:13–23. doi: 10.1016/j.ypmed.2017.07.008
2. Fontes, M. A., Bolla, K. I., Cunha, P. J., Almeida, P. P., Jungerman, F., Laranjeira, R. R., et al. 2011. Cannabis use before age 15 and subsequent executive functioning. *Br. J. Psychiatry* 198:442–7. doi: 10.1192/bjp.bp.110.077479
3. Jacobus, J., Bava, S., Cohen-Zion, M., Mahmood, O., and Tapert, S. F. 2009. Functional consequences of marijuana use in adolescents. *Pharmacol. Biochem. Behav.* 92:559–65. doi: 10.1016/j.pbb.2009.04.001
4. Churchwell, J. C., Lopez-Larson, M., and Yurgelun-Todd, D. A. 2010. Altered frontal cortical volume and decision making in adolescent cannabis users. *Front. Psychol.* 1:225. doi: 10.3389/fpsyg.2010.00225
5. Ryan, A. K. 2010. The lasting effects of marijuana use on education attainment in midlife. *Subst. Use Misuse* 45:554–97. doi: 10.3109/10826080802490238

HERAUSGEBER*IN: Sabine Peters

WISSENSCHAFTLICHE*R MENTOR*IN: Juan Castillo

ZITAT: Vedelago L, Halladay J, Munn C, Georgiades K und Amlung M (2023) Cannabis und das lernende Gehirn. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00052-de

ÜBERSETZT UND ÜBERNOMMEN VON: Vedelago L, Halladay J, Munn C, Georgiades K and Amlung M (2020) Cannabis and the Learning Brain. *Front. Young Minds* 8:52. doi: 10.3389/frym.2020.00052

INTERESSENKONFLIKT: Die Autor*innen erklären hiermit, dass ihre Forschung ohne kommerzielle oder finanzielle Unterstützung durchgeführt wurde, aus der sich ein Interessenkonflikt ergeben könnte.

URHEBERRECHTE © 2020 © 2023 Vedelago, Halladay, Munn, Georgiades und Amlung. Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der [Creative-Commons-Attribution-Lizenz \(CC BY\)](#) verbreitet wird. Die Verwendung, Verbreitung oder Vervielfältigung in anderen Foren ist gestattet, sofern der/die Originalautor*innen und der/die Urheberrechtsinhaber*innen genannt werden und die Originalveröffentlichung in dieser Zeitschrift gemäß anerkannter wissenschaftlicher Praxis zitiert wird. Eine Nutzung, Verbreitung oder Vervielfältigung, die diesen Bedingungen nicht entspricht, ist nicht gestattet.

JUNGE*R GUTACHTER*IN

GREESHMA, ALTER: 13

Ich heiße Greeshma und ich bin 13 Jahre alt. Meine Eltern sind beide Software-Ingenieure und meine Lieblingsfächer in der Schule sind Mathematik und Naturwissenschaften. Außerhalb der Schule spiele ich gerne Volleyball und nehme an Wissenschaftsclubs teil.



AUTOR*INNEN



LANA VEDELAGO

Ich bin Doktorandin und studiere Süchte und die damit verbundenen psychischen Gesundheitsprobleme. Ich bin daran interessiert, das Leben von Menschen zu verbessern, die mit diesen Problemen zu kämpfen haben. Wenn ich nicht im Labor bin, kannst du mich im Tierheim finden, wo ich freiwillig mithelfe. Ich tanze und sticke auch gerne! *vedelagl@mcmaster.ca



JILLIAN HALLADAY

Ich bin eine psychiatrische Krankenschwester und Forscherin. Ich bin daran interessiert, herauszufinden, wie Jugendliche erfolgreich und glücklich sein können, wenn sie jung sind und wenn sie erwachsen werden. Ein Großteil meiner Forschung konzentriert sich darauf, ob und wie Substanzen (hauptsächlich Cannabis und Alkohol) und psychische Gesundheitsprobleme gleichzeitig auftreten. In meiner Freizeit hebe ich Gewichte, spiele Brettspiele und wandere!



CATHARINE MUNN

Ich bin Ärztin (Psychiaterin), Pädagogin und Forscherin und habe mich auf psychische Gesundheit und Substanzkonsum bei College- und Universitätsstudenten spezialisiert. Ich lese gerne Bücher, treibe Sport, verbringe gerne Zeit im Freien und verbringe gerne Zeit mit meiner Familie und meinen Freunden.



KATHOLIKI GEORGIADES

Ich bin Assistenzprofessorin in der Abteilung für Psychiatrie und Verhaltensneurowissenschaften an der McMaster University. Meine Forschung untersucht die sozialen Unterschiede in der psychischen Gesundheit von Kindern und den Zugang zu leistungsfähigen psychischen Gesundheitsdiensten. In meiner Freizeit verbringe ich gerne Zeit mit Familie und Freunden und reise gerne zurück nach Griechenland und Zypern.



MICHAEL AMLUNG

Ich bin Assistenzprofessor für Psychiatrie an der McMaster University in Ontario, Kanada. Ich bin daran interessiert, die grundlegende Wirkung des Alkohol- und Drogenkonsums auf das Gehirn zu verstehen und wie diese mit anderen psychischen Gesundheitsproblemen zusammenhängt. Wir hoffen, dass unsere Forschung die Behandlung von Menschen mit Suchtproblemen verbessern wird. Ich arbeite gerne mit meinen Studierenden und Kollegen an vielen spannenden Forschungsstudien mit Gehirnschans und anderen Technologien. In meiner Freizeit koche und reise ich gerne und ich verbringe gerne Zeit mit meiner Familie.

German version provided by

Deutsche Version von

J JACOBS
FOUNDATION
Our Promise to Youth



EIN GUTER SCHLAF: UNABDINGBAR FÜR JUNGE GEISTER

M. Elisabeth Koopman-Verhoeff^{1,2,3} und Jared M. Saletin^{1,2*}

¹Schlafforschungslabor des EP Bradley Spitals, Alpert Medical School der Brown University, Providence, RI, Vereinigte Staaten

²Abteilung für Psychiatrie und menschliches Verhalten, Alpert Medical School der Brown University, Providence, RI, Vereinigte Staaten

³Generation-R-Studiengruppe, Erasmus Medical Center, Rotterdam, Niederlande

JUNGE GUTACHTER*INNEN:



JACOB
ALTER: 12



ST.
BERNARD
REGIONAL
CATHOLIC
SCHOOL
ALTER: 11–14

Während deines Lebens wirst du fast 250.000 Stunden schlafen. Warum brauchen wir eigentlich so viel Schlaf? Schlaf dient nicht nur dazu, um sich vom Tag auszuruhen, sondern ist auch notwendig, damit dein Körper und dein Gehirn gesund sind, insbesondere wenn du erwachsen wirst. Eine gute Nachtruhe ermöglicht dir beispielsweise, am nächsten Tag konzentriert zu sein und effizient zu lernen. Wann und wie lange du schläfst, wird sich mit zunehmendem Alter ändern. Woher weißt du eigentlich, wie viel Schlaf du bekommen oder wann du abends zu Bett gehen solltest? Hier werden wir diese und andere Fragen beantworten. Wir haben die Wissenschaft über den Schlaf gründlich erforscht und verstehen jetzt ein wenig mehr darüber, was dein Gehirn die ganze Nacht über tut: Es hält dich gesund, wach und bereit für die Schule und den ganzen Spaß am nächsten Tag. Wenn du dies kurz vor dem Schlafengehen liest, wirst du sicher genug ZZZ's für heute Abend bekommen.

Von all den Dingen, die du tust, was tust du am meisten? Nein, nicht essen oder trinken, es ist schlafen! Wir verbringen ein Drittel unseres Lebens im Schlaf. Wissenschaftler haben jahrzehntelang daran gearbeitet, zu verstehen, warum wir schlafen. Während dein Körper noch in deinem Bett liegt, verarbeitet dein Gehirn die Informationen, die es tagsüber gesammelt hat, um dich auf den morgigen Tag vorzubereiten. Hier erklären wir das Was, Wann, Warum und Wie in Bezug auf das Schlafen und was sich verändert, wenn man erwachsen wird.

WANN SCHLÄFST DU?

Wenn wir fragen würden: „Wann schläfst du?“, würdest du vielleicht antworten: „Nachts!“ oder „Wenn ich müde bin!“ Wie sich herausstellt, sind beide Antworten korrekt. Der Mensch schläft lieber nachts, was uns tagaktiv macht, im Gegensatz zu nachtaktiven Tieren, die tagsüber schlafen. Diese Tatsache ist biologisch vorprogrammiert. Tief in deinem Gehirn sitzt der **suprachiasmatische Kern (SCK)**. Der SCK ist deine biologische Uhr. Sie gibt die Zeit für jeden Teil deines Körpers an. Wir nennen dies den **zirkadianen Rhythmus** (zirkadian ist griechisch für „ungefähr einen Tag“, weil sich der Rhythmus von Schlafen und Wachen alle 24 Stunden einmal wiederholt). Wie jede Uhr kann der SCK zurückgestellt werden, je nachdem, wann wir das Sonnenlicht erblicken. Wenn wir reisen, passt sich unser Körper an das neue Lichtmuster an. Aus diesem Grund können sich Menschen, die von Nordamerika nach Australien reisen, innerhalb weniger Tage an ein neues Schlafmuster gewöhnen.

Auch die Aussage „Ich schlafe, wenn ich müde bin“ ist korrekt. Hast du schon mal mitten am Tag ein Nickerchen gemacht? Ein anderes System im Gehirn zeichnet auf, wie viel Zeit du wach warst und wie viel du in der Nacht zuvor geschlafen hast. Wir nennen dies den **Schlaf-Homöostaten**. Homöostat klingt wie ein anderes Wort: Genau, es klingt wie „Thermostat,“ und es ist in der Tat eine gute Idee, an den Thermostaten zu denken, wenn über den Homöostaten gesprochen wird. So wie ein Thermostat die Klimaanlage einschaltet, wenn es zu heiß ist, und sie ausschaltet, wenn es zu kühl ist, so achtet der Schlaf-Homöostat darauf, wie lange du wach bist. Dein Schlafbedürfnis wächst im Laufe des Tages, und wenn es einen bestimmten Punkt erreicht, schläfst du ein. Sobald du dich ausgeruht hast, schaltet sich der Schlaf-Homöostat aus und lässt dich aufwachen, und der Vorgang wiederholt sich jeden Tag. Der Schlaf-Homöostat weiß jedoch nicht, ob draußen Tag oder Nacht ist, sondern nur, ob du wach warst oder geschlafen hast. Wenn du dich zwingst, die ganze Nacht wach zu bleiben, wird das Schlafbedürfnis während der Nacht weiter wachsen, bis du endlich schlafen gehst. Wenn du eine Nacht nicht schläfst, könntest du sehr müde sein und es wird länger dauern, bis du deinen Schlafbedarf nachholen kannst (genauso wie es länger dauern würde, wenn die Klimaanlage

SUPRACHIASMATISCHER KERN (SCK)

Eine kleine Region tief im Gehirn, die die „biologische Uhr“ bildet und die zirkadianen Rhythmen generiert.

ZIRKADIANE RHYTHMEN (CIRCADIAN RHYTHMS)

Eine der beiden Möglichkeiten zu wissen, wann wir schlafen müssen. Das natürlich vorkommende Muster von Schlafen und Wachsein, das sich als Reaktion auf Licht alle 24 Stunden wiederholt.

SCHLAF-HOMÖOSTAT (SLEEP HOMEOSTAT)

Eine der beiden Möglichkeiten zu wissen, wann wir schlafen müssen. Der Schlafbedarf nimmt zu, wenn wir wach bleiben, und nimmt ab, wenn wir schlafen.

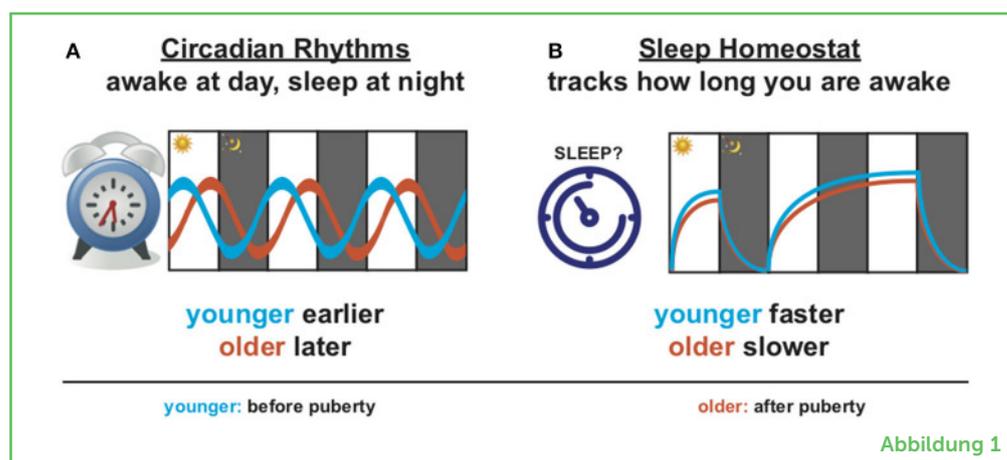
einen superheißen Raum kühlt). Der zirkadiane Rhythmus und der Schlaf-Homöostat arbeiten letztlich zusammen, weshalb du dich mitten am Tag wach fühlen kannst, auch wenn du in der Nacht zuvor nicht viel geschlafen hast, oder weshalb du dich nachts plötzlich müde fühlst, auch wenn du an diesem Tag spät aufgewacht bist.

Abbildung 1

Warum schläfst du, wenn du schläfst? In beiden Grafiken ist der Schlaf der jüngeren Kinder (6-13 Jahre) blau und der der älteren Kinder (14-17 Jahre) orange angezeigt. Dunkle Balken zeigen die Nachtzeit an und helle Balken die Tageszeit. **(A)** Zirkadiane Rhythmen: Die vom SCK zur Verfügung gestellte biologische Uhr hält uns tagsüber wach und nachts im Schlaf. Sie wird durch Licht beeinflusst, wechselt alle 24 Stunden und verschiebt sich während der Adoleszenz. **(B)** Schlaf-Homöostat: Der Thermostat für Schlaf und Wachsein. Er achtet darauf, wie lange wir schon wach sind. Das Schlafbedürfnis steigt während des Tages, wenn wir wach bleiben, und sinkt während der Nacht, wenn wir schlafen. Wenn wir den Schlaf überspringen, sorgt der Homöostat dafür, dass wir wach bleiben, bis wir wieder schlafen können. Wenn wir älter werden, verläuft dieser Prozess langsamer, so dass wir länger wach bleiben können, bevor wir ins Bett gehen.

WIE VERÄNDERT SICH DEIN SCHLAF, WENN DU ÄLTER WIRST?

Denk über deinen eigenen Schlaf nach. Wahrscheinlich schläfst du heute anders als in der Zeit, als du ein Baby oder Kleinkind warst. Der SCK und der Schlaf-Homöostat verändern sich mit zunehmendem Alter (**Abbildung 1**). Wenn du in die Pubertät kommst, verhält sich dein SCK so, als ob sich die Zeitzonen verschoben hätten. Dein Körper will später aufwachen und später ins Bett gehen. Irgendwann, irgendwo in deinen Zwanzigern, beginnt der SCK, sich wieder umzukehren (**Abbildung 1A**).



Was den Schlaf-Homöostaten betrifft, so baut sich dein Schlafbedürfnis in der Pubertät etwas langsamer auf als damals, als du ein kleines Kind warst. Anders ausgedrückt: Wenn wir uns an das Thermostat-Beispiel erinnern, hast du das Aufheizen des Raums verlangsamt, so dass die Klimaanlage länger wartet, bevor sie sich einschaltet (**Abbildung 1B**). Da sich sowohl der SCK als auch die Homöostase während der Pubertät verändern, wird es einfacher, lange wach zu bleiben.

WIE VIEL SCHLAF BENÖTIGST DU?

Die National Sleep Foundation empfiehlt, dass Kinder im Schulalter (6-13 Jahre) zwischen 9 und 11 Stunden pro Nacht schlafen. Teenager wiederum sollen 8-10 Stunden pro Nacht schlafen und für Erwachsene werden etwa 7-9 Stunden empfohlen [1]. Wenn du ein Schüler bist, insbesondere in den Vereinigten Staaten, kann es sich als schwierig erweisen, diese Menge an Schlaf in den Schulnächten

zu bekommen. In der Pubertät möchte der Körper später ins Bett gehen und später einschlafen. Aber die Schule (besonders in den USA) beginnt oft zu früh! Das macht es für Jugendliche schwierig, in den Schulnächten genug Schlaf zu bekommen [2]. Bis zum Wochenende hast du dann wahrscheinlich so viel Schlaf verpasst, dass du dich besonders schläfrig fühlst, und du schläfst möglicherweise zu lange, da dein Schlaf-Homöostat hart daran arbeitet, den benötigten Schlaf nachzuholen. Wenn man jedoch das ganze Wochenende verschläft, kann dies das Aufwachen am Montagmorgen zu einer echten Katastrophe machen.

WARUM BRAUCHEN WIR SCHLAF?

Schlaf ist sowohl für den Körper als auch für den Geist von entscheidender Bedeutung. Dein Körper, dein Stoffwechsel (wie du Nahrung verdaust und verwertest), dein Immunsystem (wie schnell du dich von einer Krankheit erholst) und dein körperliches Wohlbefinden (wie sich Bewegung auf deinen Körper auswirkt) – alles profitiert von einem guten Schlaf. Wir werden uns auf ein Organ in deinem Körper konzentrieren: dein Gehirn. Alle Funktionen deines Verstandes hängen von verschiedenen Regionen deines Gehirns ab. Zum Beispiel steuert dein Gehirn deine Fähigkeit, aufmerksam zu sein (z. B. im Unterricht konzentriert zu bleiben), zu lernen und dich zu erinnern (z. B. wenn du eine Prüfung hast) und Emotionen zu verarbeiten (z. B. nicht zu mürrisch zu werden, wenn die Dinge nicht so laufen, wie du willst). Wir werden uns auf Aufmerksamkeit und Emotionen konzentrieren und darauf, wie sie durch Schlaf unterstützt werden (Abbildung 2).

Achtung

Hast du jemals versucht, nach einer Nacht, in der du schlecht geschlafen hast, im Unterricht aufzupassen? Es ist schwer, nicht wahr? Der letzte Teil des Gehirns, der sich vollständig entwickelt, der **präfrontale Cortex** (PFC), sitzt ganz vorne im Gehirn. Diese spezielle Region ist äußerst wichtig für Aufmerksamkeit, Planung und den Wechsel zwischen den Aufgaben. Wenn man in der Nacht davor nicht oder nur wenig schläft, kann der PFC am nächsten Tag nicht effizient arbeiten [3], so dass es besonders schwer ist, sich zu konzentrieren und Ablenkungen zu ignorieren. Wenn du nicht genug Schlaf bekommst, wird auch das Lernen am Abend schwierig. Schüler fragen oft, ob es besser ist, ins Bett zu gehen oder lange aufzubleiben, um zu lernen. Wir hoffen, dass du bei diesem Punkt die richtige Antwort kennst. Die Untersuchungen zeigen, dass Schlaf wichtig für die Noten in der Schule ist! Eine zusätzliche Stunde Schlaf führte zu einer Verbesserung von 3-5 Punkten bei standardisierten Testergebnissen [4].

PRÄFRONTALER CORTEX

Der vordere Teil des Gehirns. Er ist von entscheidender Bedeutung für Aufmerksamkeit und Planung.

Abbildung 2

Vom Schlaf beeinflussten Regionen im Gehirn. Eine Seitenansicht des Gehirns, als würde man vom Ohr aus hineinschauen. Zwei Regionen werden von einer guten Nachtruhe beeinflusst und unterstützen die Gehirngesundheit: Der präfrontale Cortex (blau) ist entscheidend für die Aufmerksamkeit in der Schule; und die Amygdala (rosa) ist ein Schlüsselzentrum für die Regulierung der Emotionen und der Stimmung.

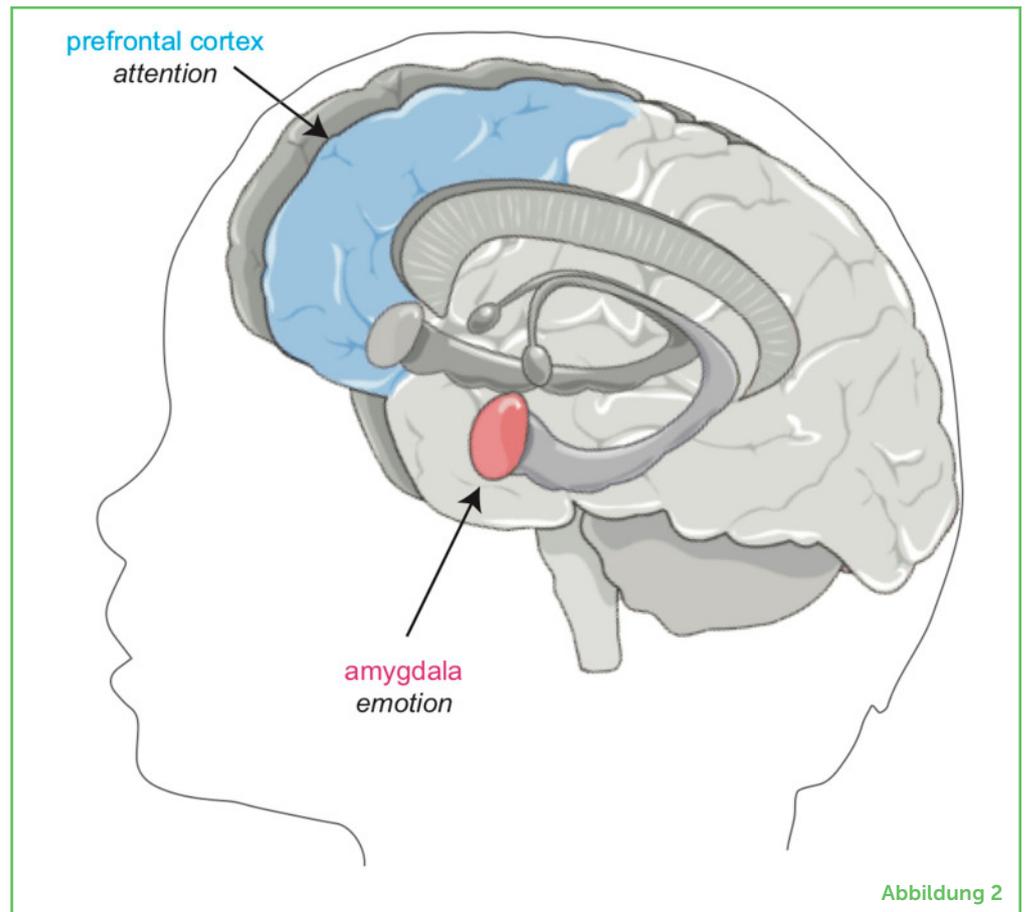


Abbildung 2

Emotion

Nach einer Nacht ohne guten Schlaf fühlen wir uns oft gereizter. Der Schlaf trägt dazu bei, dich glücklich zu machen und deine Emotionen im Zaum zu halten.

Schlaf erfrischt direkt die emotionalen Zentren unseres Gehirns, wie die **Amygdala** [3]. Das bedeutet, dass nicht nur deine Stimmung nach einem guten Schlaf stabiler ist, sondern dass du auch besser in der Lage bist, auf emotionale Dinge in deinem Leben zu reagieren. Wenn du in die Gesichter deiner Freunde schaust, kannst du erkennen, ob sie wütend, traurig oder glücklich sind. Aber wenn wir unter Schlafentzug leiden, verlieren wir die Fähigkeit, zwischen diesen Emotionen zu unterscheiden. Eine gute Nachtruhe hilft uns, diese komplizierten Signale zu verarbeiten, so dass wir Emotionen besser erkennen, verarbeiten und darauf reagieren können.

SCHLAF UND PSYCHISCHE GESUNDHEIT BEI KINDERN

Wir alle erleben Nächte, in denen wir schlecht schlafen, und die uns am nächsten Tag belasten können. Die gute Nachricht ist, dass die Wiederherstellung gesunder Schlafgewohnheiten oft diese Probleme sofort beseitigt. Bei einigen Kindern können

AMYGDALA

Eine kleine Region tief in der Mitte des Gehirns, die für die Verarbeitung von Emotionen zuständig ist.

jedoch länger andauernde Schlafprobleme, die ihre psychische Gesundheit langfristig beeinträchtigen können, auftreten. Aufgrund der vielfältigen Auswirkungen des Schlafs auf das Gehirn gehen Schlafprobleme und psychische Gesundheitsprobleme [wie Aufmerksamkeitsdefizit/Hyperaktivitätsstörung (ADHS), Autismus, Angstzustände oder Depressionen] oft Hand in Hand. Kinder und Jugendliche, die mit psychischer Gesundheit zu kämpfen haben, können auch Schwierigkeiten beim Einschlafen und/oder Ausschlafen oder beim Aufwachen haben. Wir arbeiten noch immer daran, den Zusammenhang zwischen Schlaf und psychischer Gesundheit zu verstehen, um festzustellen, ob die Unterstützung bei der Verbesserung des Schlafes Kindern mit Problemen der psychischen Gesundheit helfen kann [5].

WIE KANN MAN GESUND SCHLAFEN?

Wir hoffen, du bist jetzt überzeugt, dass Schlaf wichtig ist. Aber, was kann man tun, um besser zu schlafen?

Guter Schlaf beginnt mit guten Schlafgewohnheiten (**Abbildung 3**). Erstens: Gehe jeden Abend etwa zur gleichen Zeit ins Bett, damit der SCK und der Schlafhomöostat ordnungsgemäß funktionieren. Zweitens: Erstelle eine Schlafenszeitroutine, um das Schlafengehen zu erleichtern, wie z. B. ein Buch lesen oder das Licht reduzieren. Drittens: Versuche die Zeit, die du vor digitalen Bildschirmen kurz vor dem Schlafengehen verbringst, zu begrenzen. Dafür gibt es zwei Gründe: (1) Das Licht deiner elektronischen Geräte könnte deinen SCK dazu verleiten, zu denken, es sei noch Tag, und (2) die Aufregung durch Spiele, Fernsehsendungen und das Internet kann dich davon abhalten, dich auf den Schlaf vorzubereiten. Viertens: Halte dein Schlafzimmer einfach eingerichtet, kühl, dunkel und frei von Ablenkungen wie Fernseher und elektronische Geräte (versuche, dein Telefon nicht mit ins Bett zu nehmen). Fünftens: Wenn möglich, versuche deine Hausaufgaben nicht im Bett zu machen; behalte dein Bett nur als Ort zum Schlafen. Versuche schließlich, Koffein (Cola, Energiegetränke, Kaffee/Tee) auf die Tageszeiten zu begrenzen und vermeide diese Getränke nach 16 Uhr. Koffein trickst im Wesentlichen deinen Schlaf-Homöostaten aus, so dass du dich weniger schläfrig fühlst, ohne jedoch dein Schlafbedürfnis zu verringern. Und das ist natürlich nicht empfehlenswert, wenn die Schule zur gewohnten Zeit am nächsten Tag beginnt.

Apropos Schule – es ist wichtig, dass Lehrer und Schulleiter verstehen, dass Schlaf entscheidend für das Lernen und die Gesundheit ist. Wissenschaftler arbeiten mit Schulen und Regierungen zusammen, um Teenagern einen Schulbeginn zu einer späteren Uhrzeit zu ermöglichen. Wenn du das Gefühl hast, dass die Schule zu früh beginnt, so dass du nicht genug Schlaf bekommen kannst, sage es deinen Lehrern oder schreibe einen Brief an den Bürgermeister,

Abbildung 3

Tipps für gute Schlafgewohnheiten. Guter Schlaf beginnt mit guten Schlafgewohnheiten. Die Anwendung dieser Tipps wird dir helfen, jede Nacht den bestmöglichen Schlaf zu bekommen und dich ausgeruht und bereit für die Schule am nächsten Tag zu fühlen. Sleep at the same time each night = Gehe jeden Abend zur gleichen Zeit schlafen; Build a bedtime routine = Erstelle eine Schlafenszeitroutine; Limit screen time in the evening = Begrenze die Nutzung digitaler Bildschirme am Abend; keep your bedroom cool and dark = Halte dein Schlafzimmer kühl und dunkel; Do not do homework in bed = Mach deine Hausaufgaben nicht im Bett; Limit caffeine after 4 PM = Verzichte nach 16 Uhr auf Getränke mit Koffein; Balance homework and sleep = Achte auf eine gute Balance von Hausaufgaben und Schlaf.

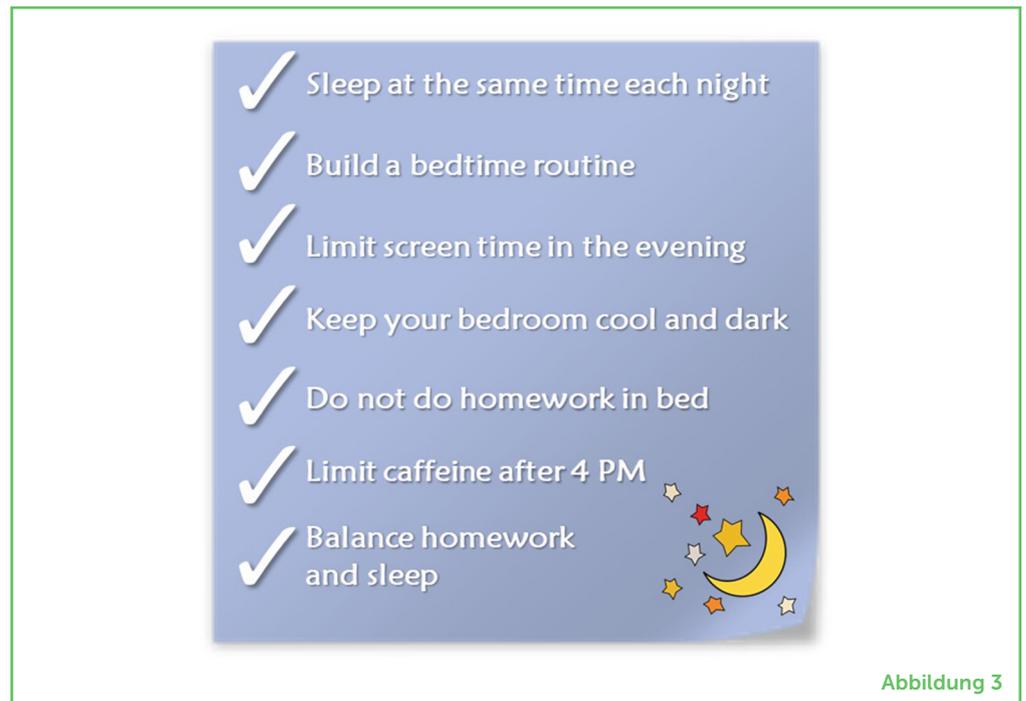


Abbildung 3

Landeshauptmann/Ministerpräsidenten oder Parteiabgeordneten. Sage ihnen, warum es für Schulen wichtig ist, zum Schutz der Schlafgesundheit aller beizutragen.

SCHLAFEN: WOZU IST DAS ALLES GUT?

Schlaf ist eine der wichtigsten Bedingungen für Gesundheit, doch warum wir schlafen, ist uns ein Rätsel. Wir hoffen, dass wir Licht in dieses Rätsel gebracht haben und dass du, deine Lehrer und deine Eltern die Kraft des Schlafes besser verstehen und anwenden können, um den Lernerfolg, die emotionale Gesundheit und die Gehirngesundheit zu unterstützen. Wir hoffen, dass du heute Nacht gut schlafen wirst.

DANKSAGUNGEN

Die Autor*innen danken Dr. Mary Carskadon und Chloë Bergmark für ihre hilfreiche Anleitung. Die Autor*innen danken auch allen, die an der Übersetzung der Artikel dieser Sammlung mitgewirkt haben, um sie für Kinder außerhalb des englischsprachigen Raums besser zugänglich zu machen, ebenso der Jacobs Foundation für die Bereitstellung der Mittel für die Übersetzung der Artikel erforderlichen Mittel. MK-V wurde von der Königlich Niederländischen Akademie der Künste und Wissenschaften (KNAW Ter Meulen-Stipendium) und einem Fulbright-Stipendium unterstützt. JS wurde von NIMH (K01MH109854), der Rhode Island Foundation und der Jacobs Foundation unterstützt.

REFERENZEN

1. Hirshkowitz, M., Whiton, K., Albert, S. M., Alessi, C., Bruni, O., DonCarlos, L., et al. 2015. National Sleep Foundation's sleep time duration recommendations: methodology and results summary. *Sleep Health* 1:40–3. doi: 10.1016/j.sleh.2014.12.010
2. Crowley, S. J., Wolfson, A. R., Tarokh, L., and Carskadon, M. A. 2018. An update on adolescent sleep: new evidence informing the perfect storm model. *J. Adolesc.* 67:55–65. doi: 10.1016/j.adolescence.2018.06.001
3. Krause, A. J., Simon, E. B., Mander, B. A., Greer, S. M., Saletin, J. M., Goldstein-Piekarski, A. N., et al. 2017. The sleep-deprived human brain. *Nat. Rev. Neurosci.* 18:404–18. doi: 10.1038/nrn.2017.55
4. Dewald, J. F., Meijer, A. M., Oort, F. J., Kerkhof, G. A., and Bogels, S. M. 2010. The influence of sleep quality, sleep duration and sleepiness on school performance in children and adolescents: a meta-analytic review. *Sleep Med. Rev.* 14:179–89. doi: 10.1016/j.smr.2009.10.004
5. Gregory, A. M., and Sadeh, A. 2016. Annual research review: sleep problems in childhood psychiatric disorders—a review of the latest science. *J. Child Psychol. Psychiatry* 57:296–317. doi: 10.1111/jcpp.12469

HERAUSGEBER*IN: Nienke Van Atteveldt

WISSENSCHAFTLICHE MENTOR*INNEN: Elizabeth Johnson und Paul M. Nealen

ZITAT: Koopman-Verhoeff ME und Saletin JM (2023) Ein guter Schlaf: unabdingbar für junge Geister. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00077-de

ÜBERSETZT UND ÜBERNOMMEN VON: Koopman-Verhoeff ME and Saletin JM (2020) A Good Night'S Sleep: Necessary for Young Minds. *Front. Young Minds* 8:77. doi: 10.3389/frym.2020.00077

INTERESSENKONFLIKT: Die Autor*innen erklären hiermit, dass ihre Forschung ohne kommerzielle oder finanzielle Unterstützung durchgeführt wurde, aus der sich ein Interessenkonflikt ergeben könnte.

URHEBERRECHTE © 2020 © 2023 Koopman-Verhoeff und Saletin. Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der [Creative-Commons-Attribution-Lizenz \(CC BY\)](#) verbreitet wird. Die Verwendung, Verbreitung oder Vervielfältigung in anderen Foren ist gestattet, sofern der/die Originalautor*innen und der/die Urheberrechtsinhaber*innen genannt werden und die Originalveröffentlichung in dieser Zeitschrift gemäß anerkannter wissenschaftlicher Praxis zitiert wird. Eine Nutzung, Verbreitung oder Vervielfältigung, die diesen Bedingungen nicht entspricht, ist nicht gestattet.

JUNGE GUTACHTER*INNEN



JACOB, ALTER: 12

Hallo, ich bin 12. Schlaf ist die Grundlage des Lebens, damit man in der Schule aufpassen kann. Ich bin ein sportlicher Typ. Ich spiele Sportarten wie Baseball, Basketball und American Football sowie alle sonstigen Arten von Fußball. Meine Liebe zum Lesen ist sehr groß. Ich liebe Essen genauso wie die restlichen 7.8 Milliarden Menschen auf der Welt. Ich habe zwei Geschwister, Eltern, und ich bin hoffentlich lustig... Wenn du auch so bist, dann mach einfach weiter.



ST. BERNARD REGIONAL CATHOLIC SCHOOL, ALTER: 11–14

Bunt gemischte Gruppe von Mittelschülern und zukünftigen Ingenieuren, Lehrern, Politikern, Tänzern, Musikern, Ärzten und Streitkräften. Wir stellen gerne Fragen und erforschen die Welt. Viele von uns freuen sich auf Aufgaben und zukünftige Jobs, die Kreativität und Problemlösung voraussetzen. In der Zwischenzeit genießen wir jedoch unseren zu albernem und zu kaffeingeladenen Lehrer und unterbrechen den Unterricht mit witzigen Kommentaren und Tiergeräuschen. Eine perfekte Balance zwischen Lernen und Spaß!

AUTOR*INNEN



M. ELISABETH KOOPMAN-VERHOEFF

Elize ist Psychologin und Forscherin in der Abteilung für Kinder- und Jugendpsychiatrie/Psychologie am Erasmus Medical Center in Rotterdam, Niederlande. Sie untersucht Schlaf und psychische Gesundheit in der Generation-R-Studie, einer Studie, die die Entwicklung von rund 7.000 Kindern aus Rotterdam verfolgt. In ihrer Freizeit liebt es Elize zu wandern, viele Bücher zu lesen und für ihre Freunde und Familie zu kochen. Lustige Tatsache: Sie liebt es, früh ins Bett zu gehen und vor 7 Uhr morgens aufzustehen (auch am Wochenende).



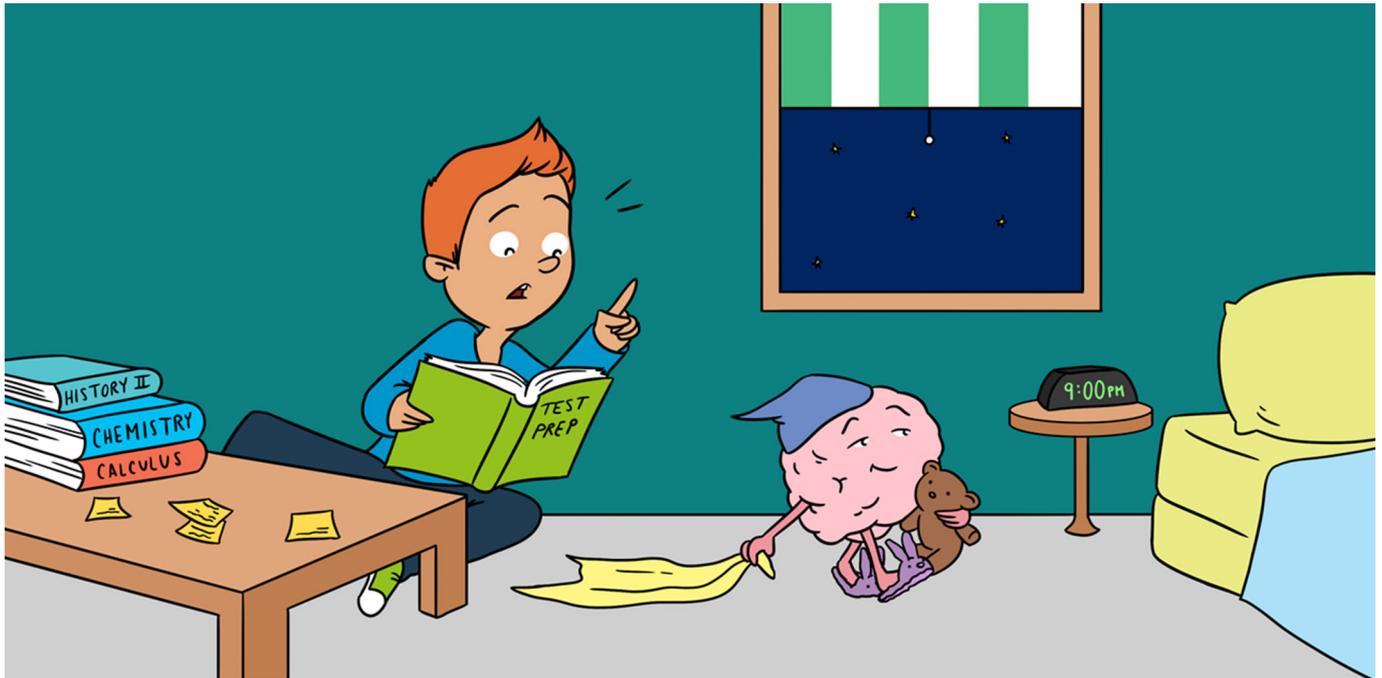
JARED M. SALETIN

Jared ist Schlafforscher und Assistenzprofessor für Psychiatrie und menschliches Verhalten an der Brown University in Providence, RI, USA. Er untersucht, wie Schlaf den Gehirnen von Kindern und Jugendlichen hilft, zu lernen und aufmerksam zu sein. Er hofft, dass seine Forschung jungen Menschen hilft, nach einer Nacht mit gesundem Schlaf in der Schule erfolgreich zu sein. In seiner Freizeit verbringt er gerne Zeit mit Freunden, Familie (und seiner Katze). Des Weiteren mag er Kochen, Reisen, Gesellschaftsspiele zu spielen und versucht auch, Brot zu backen.

*jared_saletin@brown.edu

German version provided by
Deutsche Version von

 **JACOBS
FOUNDATION**
Our Promise to Youth



VON ZZZs ZU AAAs: WARUM SCHLAF EIN WICHTIGER TEIL DEINES STUDIENPLANS IST

Emma James^{1*}, Ann-Kathrin Joechner^{2*} und Beate E. Mühlroth^{2*}

¹Fachbereich Psychologie der Universität York, York, Vereinigtes Königreich

²Zentrum für Entwicklungspsychologie am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung, Berlin, Deutschland

JUNGE GUTACHTER*INNEN:



HATHAWAY
BROWN
SCHOOL

ALTER: 14–15



THE
SCHOOL
FOR
SCIENCE
AND MATH
AT
VANDERBILT

ALTER: 14–15

Wir alle schlafen. Während Erwachsene etwa ein Drittel ihrer Zeit mit Schlafen verbringen, schläfst du umso mehr, je jünger du bist. Dies bedeutet jedoch nicht, dass Kinder und Jugendliche faul sind, wenn sie viel Zeit im Bett verbringen. Tatsächlich fühlen sich Menschen eher müde, weniger effektiv und unfähig, sich zu konzentrieren, wenn sie nicht genug Schlaf bekommen. Das solltest du natürlich vermeiden und versuchen, einen guten Schlaf zu haben. Guter Schlaf gibt deinem Körper und deinem Gehirn neue Kraft. Er bietet deinem Gehirn die Gelegenheit, sich nach einem anstrengenden Tag neu zu organisieren. In diesem Artikel untersuchen wir, warum Schlaf besonders wichtig für das Gedächtnis ist. Die Fähigkeit zu lernen, zu erinnern und deine allgemeinen Gehirnfunktionen zu verbessern, sind während der Kindheit und Jugend außergewöhnlich, daher ist Schlaf in diesen Phasen besonders wichtig. Wir erklären die Zusammenhänge zwischen Gehirn- und Schlafveränderungen, wenn du älter wirst,

und warum Schlaf ein wichtiger Bestandteil deines Studienplans sein sollte.

Wenn du einem Test in der Schule immer näher kommst, scheint es manchmal so, als gäbe es in so kurzer Zeit so viel zu lernen. Warum also Zeit im Bett verschwenden, wenn du diese Zeit zum Lernen nutzen kannst? Es mag verlockend erscheinen, lange aufzubleiben, um etwas zusätzliche Lernzeit zu gewinnen, aber Schlaf ist für deinen Körper und dein Gehirn wichtig. Er hält dich gesund und stellt deine Energie wieder her, sodass du dich am nächsten Tag wach und aktiv fühlst. Schlaf gibt dem Gehirn auch die Zeit, seine Struktur und Funktionen umzugestalten und an deine individuellen Bedürfnisse und Erfahrungen anzupassen. Das schlafende Gehirn ist nicht nur wichtig für die allgemeine Gehirnentwicklung, sondern leistet auch ziemlich wichtige Arbeit für deine Erinnerung. Wissenschaftler*innen haben gezeigt, dass die Aktivitäten des Gehirns im Schlaf dazu beitragen, neues Wissen im Gedächtnis zu speichern und sich auf neues Lernen am nächsten Tag vorzubereiten. Dies bedeutet, dass es viel besser ist, Zeit im Schlaf zu verbringen, als zu versuchen, vor den Prüfungen zur „Nachteule“ zu werden. Das gilt zwar auch für Erwachsene, aber da dein Gehirn in der Kindheit und Jugend besonders lernfähig ist, ist Schlaf in diesen Phasen umso wichtiger.

NEURONEN

Winzige Nervenzellen im Gehirn, die Signale und Informationen speichern und weiterleiten.

Abbildung 1

Wie wir den Schlaf messen. (Links) Wir messen die Aktivität von Neuronen, Augen und Muskeln mit kleinen Sensoren. (Rechts) Die Aktivität wird auf einem Computerbildschirm als wackelige Linien angezeigt. Während eines leichten Nicht-REM-Schlafs (rosa Bereich) erkennen wir Schlafspindeln in der Gehirnaktivität. Während eines tieferen Nicht-REM-Schlafs, auch als Slow-Wave-Schlaf bekannt, entspannen sich die Kinnmuskeln (die Linie wird flacher) und die Kurven, die die Gehirnaktivität darstellen, werden sehr langsam und groß (slow waves). Während des REM-Schlafs (blauer Bereich) ist die Muskelaktivität am geringsten, die Gehirnaktivität wird intensiver, und die Augen fangen an, schnelle Zickzackbewegungen zu machen.

DAS SCHLAFENDE GEHIRN

Das Gehirn macht nicht immer das Gleiche, wenn es schläft. Eine erholsame Nacht mit gutem Schlaf durchläuft verschiedene Schlafstadien, die durch Muskel- und Augenbewegungen und die Aktivität winziger Nervenzellen im Gehirn (sogenannter **Neuronen**) bestimmt werden. Wissenschaftler*innen können diese Aktivität messen, indem sie kleine Sensoren neben den Augen einer Person am Kinn und am Kopf platzieren, während die Person schläft (siehe **Abbildung 1**). Manchmal sehen die Neuronen sehr schnell und

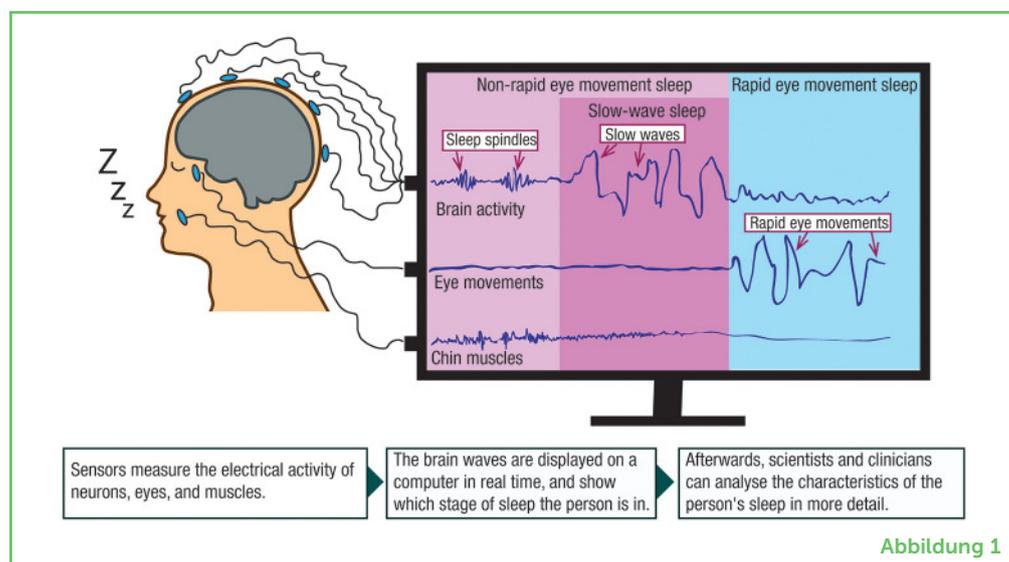


Abbildung 1

RAPID EYE MOVEMENT (REM) SCHLAF

Ein Schlafstadium, in dem sich die Augen schnell bewegen und die Muskeln extrem entspannt sind, das oft verbunden mit lebhaften Träumen ist.

SCHLAFSPINDELN (SLEEP SPINDLES)

Kurze Perioden erhöhter Aktivität im Gehirn, von denen wir glauben, dass sie zur effizienten Kommunikation zwischen verschiedenen Teilen des Gehirns beitragen.

SLOW-WAVE-SCHLAF

Die tiefste Phase des Nicht-REM-Schlafs, in der die Neuronen im Gehirn eine langsame rhythmische Aktivität (langsame Wellen) zeigen, die als wichtig für die Speicherung von bleibenden Erinnerungen angesehen werden.

Abbildung 2

Wie sich der Schlaf im Laufe der Lebensdauer ändert. Je älter die Menschen werden, desto weniger Zeit verbringen sie mit Schlafen. Darüber hinaus ändert sich das Gleichgewicht zwischen REM- und Nicht-REM-Schlaf während der Kindheit, und je älter ein Kind wird, desto weniger Zeit verbringt es im tiefen Nicht-REM-Schlaf, dem sogenannten Slow-Wave-Schlaf (adaptiert von Roffwarg et al. [1]. Nachdruck mit Genehmigung der AAAS).

chaotisch aus, ähnlich wie wenn das Gehirn wach und beschäftigt ist. Das ist der Fall beim **Rapid Eye Movement**, oder REM-Schlaf, einer Schlafphase, in der sich die Augen sehr schnell bewegen, die Muskeln extrem entspannt sind und das Gehirn sich mit sehr lebendigen Träumen beschäftigt. Die übrigen Schlafstadien werden zusammen als Nicht-REM-Schlaf (Schlaf ohne rasche Augenbewegungen) bezeichnet. Während des leichten Nicht-REM-Schlafes sehen wir kurze Ausbrüche der Gehirnaktivität, die als **Schlafspindeln** bezeichnet werden (siehe **Abbildung 1**). Während des tiefen Nicht-REM-Schlafs zeigen die Neuronen im Gehirn eine langsame rhythmische Aktivität, die wie gigantische Wellen im Ozean aussehen (**Abbildung 1**) und auch slow waves (langsame Wellen) genannt werden. Aus diesem Grund wird der tiefe Nicht-REM-Schlaf oft als **Slow-Wave-Schlaf** bezeichnet. Sowohl Schlafspindeln als auch slow waves sind wichtig für die Entwicklung des Gehirns. Je mehr sie vorhanden sind, desto mehr wird das Gehirn geformt und umgebaut.

DAS GEHIRN IM WIEDERAUFBAU

Als Neugeborene(r) verbringst du mehr Zeit im Schlaf als im Wachzustand. Aber je älter du wirst, desto weniger schläfst du. Es ist nicht nur die Schlafdauer, die sich während der Entwicklung ändert, sondern auch das Gleichgewicht zwischen verschiedenen Schlafstadien. Im Allgemeinen bekommst du mit zunehmendem Alter immer weniger Slow-Wave-Schlaf, während der Anteil des leichten Nicht-REM-Schlafs zunimmt (**Abbildung 2**). Wissenschaftler*innen glauben, dass diese Veränderungen im Schlaf uns über das Wiederaufbau-Potenzial unseres Gehirns informieren könnten.

Von der Kindheit bis zur Pubertät wird dein Gehirn grundlegend neu organisiert und optimiert, um mit deinen täglichen Bedürfnissen und

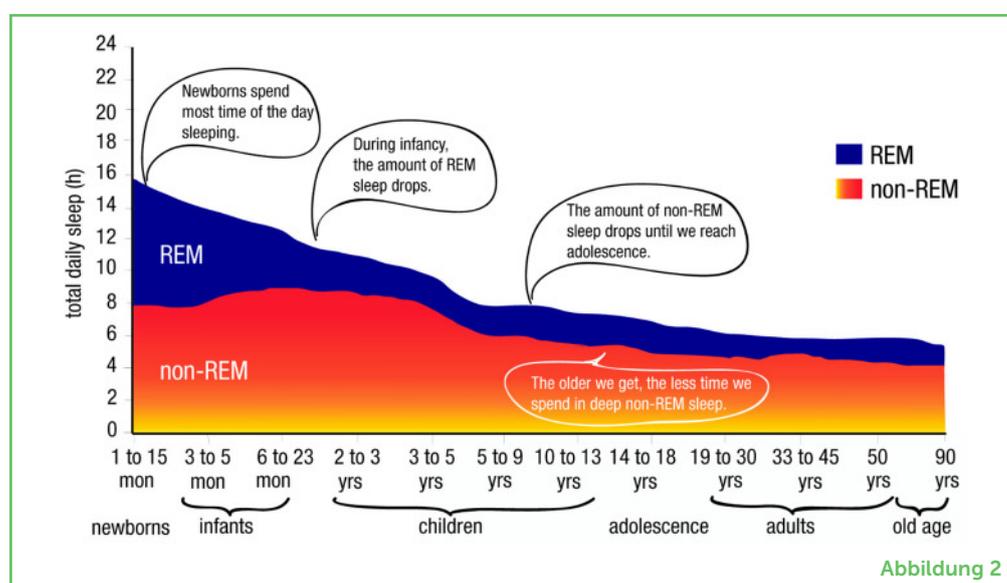


Abbildung 2

NEOCORTEX

Die äußeren Schichten des Gehirns, von denen angenommen wird, dass sie Wissen längerfristig speichern.

Erfahrungen umgehen zu können. Neue Verbindungen zwischen Gehirnzellen werden aufgebaut, nicht benötigte Verbindungen werden entfernt und die Kommunikation von Informationen entlang wichtiger Neuronenspuren wird beschleunigt. Wenn ein bestimmter Teil des Gehirns rekonstruiert wird, zeigen die Neuronen in dieser Region während des Slow-Wave-Schlafes eine langsamere rhythmische Aktivität. Beispielsweise haben Wissenschaftler*innen in der Schweiz den Schlaf von 40 Kindern und jungen Erwachsenen aufgezeichnet und ihre Leistung bei bestimmten Aufgaben gemessen [2]. Interessanterweise stellten sie fest, dass der Slow-Wave-Schlaf in der Gehirnregion am stärksten waren, die für die Fähigkeiten verantwortlich waren, die die Teilnehmer*innen in einem bestimmten Altersstadium gerade lernten, und dass die slow waves in diesen Gehirnregionen schwächer wurden, sobald sie diese Fähigkeiten besser entwickelt hatten. Zum Beispiel waren in der späten Kindheit, als Kinder wirklich gut darin wurden, komplexe Bewegungen auszuführen, wie Radfahren – vielleicht sogar freihändig – slow waves in der Gehirnregion, die für die Ausführung von Bewegungen verantwortlich ist, am stärksten. Die Wissenschaftler*innen sahen diese Optimierung auch in der Struktur des Gehirns, als die Teilnehmer*innen in den Gehirnschanner gingen: Die äußere Schicht des Gehirns, der **Neocortex**, war in diesen Regionen dünner, was eine „Feinabstimmung“ des Gehirns widerspiegelte, um Aufgaben effizienter auszuführen. Diese Beziehungen zwischen slow waves, Fähigkeiten und Gehirnstruktur lassen die Forscher*innen vermuten, dass das Betrachten langsamer Rhythmen während des Schlafs uns helfen könnte, zu lernen, wie sich das Gehirn entwickelt.

Im Gegensatz zu slow waves, die mit zunehmender Reifung des Gehirns abnehmen, werden die Schlafspindeln, die den leichten Nicht-REM-Schlaf charakterisieren, im Laufe der Kindheit und Jugend zahlreicher und schneller. Einige Wissenschaftler*innen glauben, dass die Beschleunigung der Schlafspindeln während der Kindheit und Jugend eine schnellere und effizientere Kommunikation zwischen verschiedenen Bereichen des Gehirns widerspiegelt. In einer unserer Studien stellten wir fest, dass Kinder, bei denen die Anzahl der Spindeln über einen Zeitraum von sieben Jahren am stärksten zunahm, bei Tests der allgemeinen geistigen Leistungsfähigkeit im Alter von 14 bis 18 Jahren bessere Ergebnisse erzielten [3]. Leider wissen wir noch nicht genau, wie Spindeln die Gehirnentwicklung unterstützen. Das ist auf jeden Fall ein spannender Bereich, den Wissenschaftler*innen noch zu verstehen versuchen.

EILE MIT WEILE

Wenn wir uns den Schlaf ansehen, können wir verstehen, wie sich das Gehirn verändert, wenn Kinder älter werden und neue Fähigkeiten erlernen, beispielsweise Fahrrad fahren. Der Schlaf erfüllt jedoch eine weitere wichtige Aufgabe. Er hilft dir, dich dauerhaft an neue

Fakten zu erinnern, wie zum Beispiel, Informationen, die du in der Schule lernst.

Viele Experimente haben gezeigt, dass Schlaf uns dabei helfen kann, uns an die neuen Dinge zu erinnern, die wir lernen. Einige Studien haben sogar gezeigt, dass die Erinnerung mit dem Schlaf besser werden kann, ohne dass zusätzliches Lernen erforderlich ist! So haben beispielsweise ForscherInnen der Universität York 7- bis 12-jährigen Kindern morgens oder abends neue Wörter beigebracht [4]. Als die Forscher*innen 12 Stunden später das Gedächtnis der Kinder überprüften, konnten sich diejenigen, die abends gelernt hatten und dann schlafen gingen, an mehr Wörter erinnern als die Kinder, die den ganzen Tag wach blieben. Tatsächlich konnten sie sich an mehr Wörter erinnern als vor dem Schlafengehen. Wie kann das sein?

Wissenschaftler*innen glauben, dass das Gehirn zwei verschiedene Lernsysteme hat – ein schnelles und ein langsames. Diese beiden Lernsysteme können wie die langsame Schildkröte und der schnelle Hase in der alten Fabel betrachtet werden. In der Geschichte rast der Hase in seinem Rennen gegen die Schildkröte sehr schnell davon. Zufrieden mit seinen Fortschritten und überzeugt vom sicheren Sieg, macht er auf halber Strecke ein Nickerchen, das es der langsamen aber unnachgiebigen Schildkröte ermöglicht, den Hasen zu überholen und das Rennen zu gewinnen. Ein Lernsystem im Gehirn funktioniert wie der schnelle Hase: Es hilft dir, tagsüber sehr schnell neue Informationen zu lernen, und gibt den Informationen einen Vorsprung im Gedächtnis. Das zweite Lernsystem ist jedoch viel langsamer und weiser, wie die Schildkröte, und verknüpft die neuen Informationen sorgfältig mit Dingen, die wir bereits kennen. Dieses langsamere Lernsystem setzt sich langfristig durch und hilft dir, dich in Zukunft an neue Informationen zu erinnern. Ähnlich wie in der Geschichte kann das Gedächtnissystem der „Schildkröte“ erchtig arbeiten, wenn du deinem Gehirn die Möglichkeit gibst, zu schlafen.

Studien zeigen, dass eine Region tief im Gehirn (der **Hippocampus**) den Vorsprung beim Lernen wie der schnelle Hase hat, während die äußeren Schichten des Gehirns (der Neocortex) wie die langsame Schildkröte arbeiten (siehe **Abbildung 3**). Während des Slow-Wave-Schlafs wiederholt der schnelle Hippocampus die Informationen, die er während des Tages gelernt hat und teilt sie dem langsam lernenden Neocortex mit. Viele Wissenschaftler*innen glauben, dass das Gehirn im Hippocampus eine sehr spezifische Folge von slow waves, Schlafspindeln und sehr schnellen Wellen ausübt, die es den beiden Lernsystemen ermöglichen, miteinander zu kommunizieren. Diese Kommunikation stärkt Erinnerungen langfristig und verknüpft sie mit älterem Wissen, das bereits im Neocortex gespeichert ist [5]. Wissenschaftler*innen in Belgien zeigten, dass dieser Prozess zur Stärkung des Gedächtnisses auch während eines Nickerchens stattfinden kann [6]. Sie brachten Kindern im Alter von 8-12 Jahren einige „magische“ Bedeutungen für erfundene Objekte

HIPPOCAMPUS

Eine Gehirnstruktur tief im Gehirn, die das schnelle Lernen neuer Informationen unterstützt.

bei (z. B. konnte ein Objekt durch Türen sehen, ein anderes Objekt konnte den Regen stoppen) und testeten dann ihr Gedächtnis auf diese Assoziationen, während sie die Gehirnaktivität maßen. Unmittelbar nach dem Lernen reagierte der Hippocampus auf die erlernten Bedeutungen. Die Hälfte der Kinder machte dann ein 90-minütiges Nickerchen, während die andere Hälfte wach blieb. In einem zweiten Gedächtnistest zeigten nur Kinder, die geschlafen hatten, eine größere Gehirnaktivität im Neocortex, wenn sie sich an die Bedeutungen erinnerten. Selbst nach einem kurzen Nickerchen kann das langsame Schildkrötensystem das Erinnerungsrennen gewinnen.

Abbildung 3

Wie Slow-Wave-Schlaf bei der Gedächtnisspeicherung hilft. Der Hippocampus (braun), eine kleine Struktur tief im Gehirn, ist das schnelle Lernsystem, mit dem schnell neues Wissen erworben werden kann. Um sicherzustellen, dass diese neuen Erinnerungen sicher im Gehirn gespeichert werden, übermittelt der Hippocampus sie während des Schlafs an den langsam lernenden Neocortex – die äußeren Schichten des Gehirns (grün). Durch das Ausüben einer Folge von slow waves (grüne Linie), Schlafspindeln (rosa Linie) und schnellen Wellen (braune Linie) kommunizieren die beiden Regionen miteinander, sodass neue Informationen gestärkt und mit bereits vorhandenem älterem Wissen verknüpft werden können.

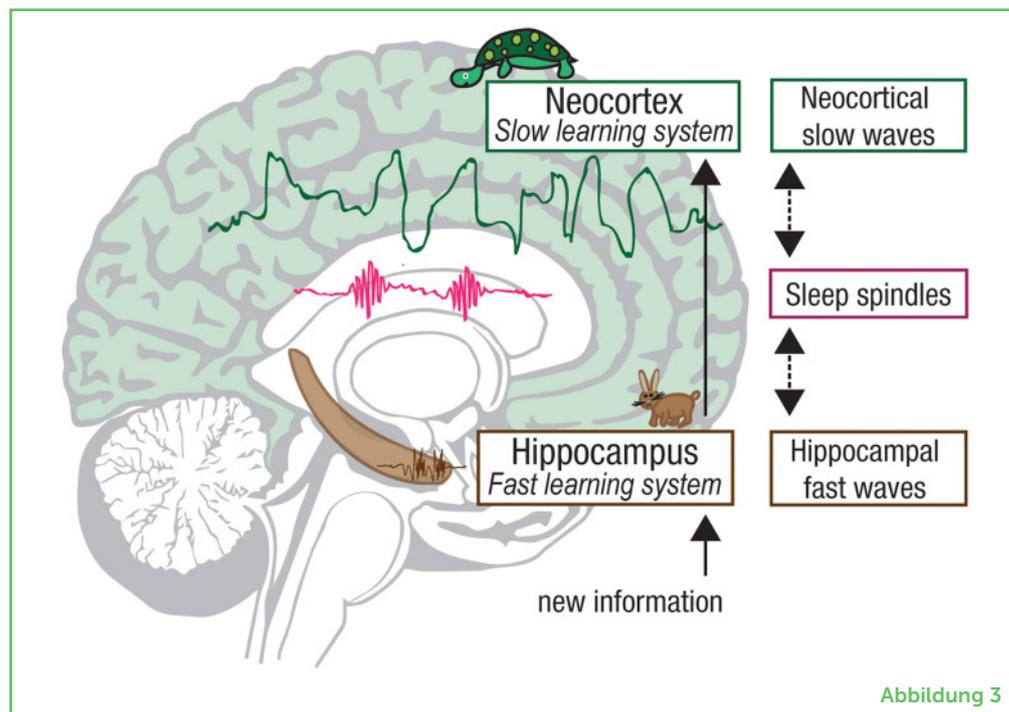


Abbildung 3

ALSO – GUT SCHLAFEN UND KLÜGER AUFWACHEN!

Jetzt weißt du, dass Schlafen definitiv keine Zeitverschwendung ist. Schlaf ermöglicht es deinen Erinnerungen vielmehr, so gut und langlebig wie möglich zu werden. Schlaf ist wichtig, damit sich dein Gehirn neu organisieren kann, wenn du erwachsen wirst und die Welt erlebst, und damit du dich an all die neuen Dinge erinnern kannst, die du lernst. Auf lange Sicht schneiden Kinder, die mehr Schlaf bekommen, in der Schule besser ab und zeigen auch bei Prüfungen bessere Ergebnisse als Kinder, die lange wach bleiben, um extra zu lernen [7]. Stelle also sicher, dass Schlaf ein wichtiger Teil deines Tagesplans ist, und lass dein Gehirn die harte Arbeit erledigen, während du dich für die Nacht entspannst.

DANKSAGUNGEN

Wir möchten uns von ganzem Herzen bei allen bedanken, die bei der Übersetzung der Artikel in dieser Sammlung mitgeholfen haben, um sie für Kinder außerhalb des englischsprachigen Raums zugänglicher zu machen, sowie bei der Jacobs Foundation für die Bereitstellung der für die Übersetzung der Artikel erforderlichen Mittel. EJ wurde durch das ESRC-Stipendium ES/T007524/1 unterstützt. BM und A-KJ wurden durch das Projekt „Lifespan Rhythms of Memory and Cognition (RHYME)“ am Zentrum für Entwicklungspsychologie, Max-Planck-Institut für Bildungsforschung, Berlin, Deutschland, unterstützt. A-KJ ist Doktorandin der International Max Planck Research School on the Life Course (LIFE; <https://www.imprs-life.mpg.de/en>).

REFERENZEN

1. Roffwarg, H. P., Muzio J. N., and Dement W. C. 1966. Ontogenetic development of the human sleep-dream cycle. *Science* 152:608.
2. Kurth, S., Ringli, M., LeBourgeois, M. K., Geiger, A., Buchmann, A., Jenni, O. G., et al. 2012. Mapping the electrophysiological marker of sleep depth reveals skill maturation in children and adolescents. *Neuroimage* 63:959–65. doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.03.053
3. Hahn, M., Joechner, A.-K., Roell, J., Schabus, M., Heib, D. P., Gruber, G., et al. 2019. Developmental changes of sleep spindles and their impact on sleep-dependent memory consolidation and general cognitive abilities: a longitudinal approach. *Dev. Sci.* 22:e12706. doi: 10.1111/desc.12706
4. Henderson, L. M., Weighall, A. R., Brown, H., and Gaskell, M. G. 2012. Consolidation of vocabulary is associated with sleep in children. *Dev. Sci.* 15:674–87. doi: 10.1111/j.1467-7687.2012.01172.x
5. Wilhelm, I., Prehn-Kristensen, A., and Born, J. 2012. Sleep-dependent memory consolidation—what can be learnt from children? *Neurosci. Biobehav. Rev.* 36:1718–28. doi: 10.1016/j.neubiorev.2012.03.002
6. Urbain, C., De Tiège, X., De Beeck, M. O., Bourguignon, M., Wens, V., Verheulpen, D., et al. 2016. Sleep in children triggers rapid reorganization of memory-related brain processes. *Neuroimage* 134:213–22. doi: 10.1016/j.neuroimage.2016.03.055
7. Gillen-O’Neel, C., Huynh, V. W., and Fuligni, A. J. 2013. To study or to sleep? The academic costs of extra studying at the expense of sleep. *Child Dev.* 84:133–42. doi: 10.1111/j.1467-8624.2012.01834.x

HERAUSGEBER*IN: Nienke Van Atteveldt

WISSENSCHAFTLICHE MENTOR*INNEN: Menton M. Deweese und Crystal M. Miller

ZITAT: James E, Joechner A-K und Mühlroth BE (2023) Von ZZZs zu AAAs: Warum Schlaf ein wichtiger Teil deines Studienplans ist. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00051-de

ÜBERSETZT UND ÜBERNOMMEN VON: James E, Joechner A-K and Mühlroth BE (2020) From ZZZs to AAAs: Why Sleep Is an Important Part of Your Study Schedule. *Front. Young Minds* 8:51. doi: 10.3389/frym.2020.00051

INTERESSENKONFLIKT: Die Autor*innen erklären hiermit, dass ihre Forschung ohne kommerzielle oder finanzielle Unterstützung durchgeführt wurde, aus der sich ein Interessenkonflikt ergeben könnte.

URHEBERRECHTE © 2020 © 2023 James, Joechner und Mühlroth. Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der [Creative-Commons-Attribution-Lizenz \(CC BY\)](#) verbreitet wird. Die Verwendung, Verbreitung oder Vervielfältigung in anderen Foren ist gestattet, sofern der/die Originalautor*innen und der/die Urheberrechtsinhaber*innen genannt werden und die Originalveröffentlichung in dieser Zeitschrift gemäß anerkannter wissenschaftlicher Praxis zitiert wird. Eine Nutzung, Verbreitung oder Vervielfältigung, die diesen Bedingungen nicht entspricht, ist nicht gestattet.

JUNGE GUTACHTER*INNEN



HATHAWAY BROWN SCHOOL, ALTER: 14–15

Wir sind Studierende des Science Research & Engineering Program an der Hathaway Brown School. Wir lernen gerne über den Peer-Review-Prozess, lernen, wie man Wissenschaft an verschiedene Zielgruppen kommuniziert und bieten unsere Vorschläge an. Wir werden von unserer wissenschaftlichen Mentorin Crystal Miller unterstützt.



THE SCHOOL FOR SCIENCE AND MATH AT VANDERBILT, ALTER: 14–15

Wir sind eine Klasse von Studierenden aus ganz Nashville, die pro Woche in Vanderbilt zusammenkommen, um mehr über Wissenschaft, Technologie, Ingenieurwesen und Mathematik zu erfahren. Wir führen Experimente in unserem Klassenzimmer und in Labors auf dem Campus durch!

AUTOR*INNEN

EMMA JAMES

Im Vorfeld von Schulprüfungen bestand ich bei meinen Eltern darauf, dass ich nicht genug gelernt hätte, um früh ins Bett zu gehen. Ich gebe es nur ungern zu, aber meine Forschung hat mich gelehrt, dass meine Eltern Recht hatten: Ich bin erstaunt, was Schlaf für die Erinnerung bewirkt. Mich interessiert besonders, wie Schlaf uns hilft, neue Wörter zu lernen, und warum manche Kinder dieses Lernen schwieriger finden als andere. Ich arbeite an der Universität von York (UK), habe aber auch in Bristol, Oxford, Lancaster, London und in Amerika gelebt. In meiner Freizeit laufe ich, koche und spiele gerne Klavier. *emma.james@york.ac.uk



**ANN-KATHRIN JOECHNER**

Ich liebe den Schlaf – nicht nur, weil ich persönlich gerne schlafe, sondern weil ich es erstaunlich finde, wie aktiv das Gehirn in einer Zeit ist, in der wir inaktiv erscheinen und keine bewusste Erfahrung haben. Seit meiner Zeit als Studentin an der Universität war ich fasziniert davon, wie Schlaf dem Gehirn hilft, sich neu zu strukturieren und so neue Erinnerungen zu bewahren, und seitdem habe ich versucht, es zu verstehen. Da die Kindheit eine Zeit massiver Gehirn- und kognitiver Veränderungen ist, interessiert mich besonders, wie der Schlaf das Gedächtnis in der Kindheit unterstützt und wie die Entwicklung des Gehirns damit zusammenhängt. *joechner@mpib-berlin.mpg.de

**BEATE E. MÜHLROTH**

Als ich 6 Jahre alt war, konnte ich meine Eltern besiegen, wenn wir das Memory-Spiel spielten. Damals wusste ich natürlich noch nicht, wie besonders das Gehirn eines Kindes ist. In meiner Forschung möchte ich herausfinden, was das Gehirn macht, wenn wir lernen und uns erinnern, und wie Schlaf diese Aufgaben unterstützt. Die meiste Zeit versuche ich zu verstehen, ob schlechter Schlaf, den wir vielleicht bei unseren Großeltern beobachten, erklären könnte, warum ältere Menschen mehr von den Dingen vergessen, die sie im Laufe des Tages gelernt haben. *beatemuehlroth@gmail.com

German version provided by
Deutsche Version von



Kontaktiere uns

kids@frontiersin.org
kids.hebrew@frontiersin.org
kids.arabic@frontiersin.org
kids.chinese@frontiersin.org

Social Media

📍 @FrontYoungMinds
📌 @FrontiersForYoungMinds
📷 @frontiersyoungminds
#frontiersforyoungminds

