

**Manuela Macedonia**

## **Wie konkret kann die Hirnforschung Pädagogen helfen?**

### **Das Beispiel Fremdsprachen**

Im letzten Jahrzehnt hat die Neurowissenschaft viele Menschen in ihren Bann gezogen. Durch bildgebende Verfahren sind kognitive Prozesse „sichtbar“ geworden. Bunte Bilder neuronaler Aktivität haben die Neugierde geweckt und die Faszination für das bis dahin Verborgene ausgelöst. Dadurch ist das Bewusstsein gewachsen, dass Kognition keine Black-Box ist, sondern aus unzähligen Mechanismen besteht, die dynamisch sind, die auf Reize reagieren, auf die man Einfluss nehmen kann. Pädagogen suchen nun nach diesem Wissen, um Resultate aus der Gehirnforschung in ihre Tätigkeit zu implementieren und somit Lernprozesse zu beeinflussen, zu steuern und zu verbessern. Dennoch gestaltet sich der Wissenstransfer als schwierig. Die Ursachen sind mehrfach. Neurowissenschaftler und Pädagogen haben unterschiedliche Ziele in ihrer Arbeit. Die Einen arbeiten an den Grundlagen der Kognition, die Anderen formen die Kognition von Menschen, die sie in ihrer Entwicklung begleiten. Neurowissenschaftler sind Naturwissenschaftler, sie grenzen Phänomene streng ein und belegen die Ursachen mit empirischen Methoden. Pädagogen sind in der Tradition der Geisteswissenschaften aufgewachsen, sie sind an weit reichenden Zusammenhängen interessiert, ihre Sprache ist die der Thesen und Antithesen. Dennoch gibt es bereits Wege und Brücken, die Neurowissenschaft und Unterrichtspraxis verbinden: Am Beispiel Fremdsprache wird erläutert, wie Pädagogik neue Erkenntnisse aus der Forschung konkret implementieren kann, wie der Weg in die Zukunft aussehen müsste, um die zwei Giganten, Pädagogik und Gehirnforschung auf einen gemeinsamen fruchtbaren Weg zu bringen.

Obwohl seit einigen Jahren prominente Forscher wie Elsbeth Stern<sup>1</sup>, Uta Frith<sup>2</sup>, Michael Posner<sup>3</sup> über die Notwendigkeit in der Kommunikation zwischen Neuro-

wissenschaft und Pädagogik hinweisen bzw. zur Zusammenarbeit anregen, bleibt der Dialog mühsam. Die Diskussion hat sich in Richtung Vorsicht entwickelt: Pädagogen erreiche ein Halbwissen über das Gehirn<sup>4</sup>, dieses Halbwissen führe zu Neuro-mythen „neuomyths“<sup>5</sup>, Neurowissenschaftler würden die Materie vereinfacht behandeln „Neuroscientists study these cognitive functions in isolation for the sake of simplicity“<sup>6</sup>. In der Pädagogik scheint die ursprüngliche Begeisterung in kühle Zurückhaltung mutiert zu sein. Was nun? Ist die Mühe, sind die zahlreichen Versuche, einen Dialog zwischen Natur- und Geisteswissenschaftler herzustellen, vergeblich gewesen?

Zugegebenermaßen hat die Neurowissenschaft im vergangenen Jahrzehnt relevantes Wissen für Pädagogen produziert. In den nächsten Abschnitten werden wichtige Themen erwähnt, die im konkreten Fall für Sprachlehrer von Bedeutung sind.

1. Unter den wichtigsten Erkenntnissen der Neurowissenschaften sind neuronale Netze. Sprachliche Information wird im Gehirn, nicht wie früher angenommen, in isolierten sensorischen Modulen (Sehen, Hören, usw.) verarbeitet, sondern in neuronalen Netzen<sup>7</sup>, die gleichzeitig Orte der Verarbeitung und Speicherung sind. Sprache ist kein abstraktes Phänomen der Kognition mehr: Sie besteht physisch aus weit reichenden neuronalen Verbindungen, die Hören, Sehen, Sprechen und Bewegung zu funktionellen Einheiten verknüpfen<sup>8-9</sup>. Sprache wird gelernt, indem alle Modalitäten der Wahrnehmung, durch Erfahrung, die das Kind, der lernende Mensch, in seiner Entwicklung macht, verknüpft. Je mehr Sinne in sprachlichen Netzen involviert sind, umso effizienter wird darin Sprache verarbeitet, gespeichert und abgerufen<sup>10</sup>.
2. Die Rolle der Emotionen beim Lernprozess ist von den Neurowissenschaften neu entdeckt worden. Dopamin, ein Botenstoff aus der Gruppe der Neurotransmitter, verbessert die Kommunikation unter Nervenzellen<sup>11</sup>. Glukokortikoide hingegen erschweren und blockieren die Übertragung der Signale unter Neuronen<sup>12</sup>. Dass während des Lernens auf die Emotionen geachtet werden muss, ist in der Fremdsprachenpädagogik nicht neu. Krashen, in seinem Buch „Principles and practice in second language acquisition“ formulierte die Hypothese eines emotionalen Filters („affective filter“), der beim Lernenden als Indikator für Unangenehmes im Unterricht fungiert. Die Lehrperson hätte die Aufgabe, darauf zu achten, dass

der Filter sozusagen nicht aktiviert wird, indem im Unterricht Angenehmes statt Langweiligem oder Unverständlichem stattfindet<sup>13</sup>. Dass die Biochemie des Gehirns den Lernprozess so umfassend beeinflusst, dass ein Dialog in der Fremdsprache vor der Klasse sich zum Stottern entwickeln kann, weil die Ausschüttung von Adrenalin, Noradrenalin und ähnlichen Substanzen die Kommunikation unter Neuronen stört, ist erst durch neurowissenschaftliche Forschung bekannt geworden.

3. Gesprochene Sprache und Gesten gehören zusammen. Sie bilden ein Kommunikationssystem, das sich im Lauf der Jahrtausende erfolgreich entwickelt hat und die zwei Seiten einer Medaille darstellt<sup>14-18</sup>. Wenn Menschen unter dem Sprechen gestikulieren, können sie besser denken<sup>19</sup>. Wenn sie sich beim Abrufen von Sprache bewegen, erinnern sie sich besser an das Gelernte<sup>20</sup>. Gesten, die synchron zu Sprache gemacht werden, führen dazu, dass man sich Wörter besser merkt<sup>21</sup>. Wenn Lernende während des Sprechens sinnlose Gesten ausführen, die nicht die Wortinhalte darstellen, werden in ihrem Gehirn Alarmsignale ausgelöst, die auf Inkohärenz zwischen Sprache und Gesten hinweisen<sup>22</sup>.
4. Mitte der neunziger Jahre machte die Entdeckung der Spiegelneuronen weltweit Furore. Im Tierversuch beobachtete die Arbeitsgruppe um Giacomo Rizzolatti in der italienischen Kleinstadt Parma, dass Gehirnzellen im so genannten Feld F5c, einem prämotorischen Areal des Makakenaffen, feuern, wenn der Affe Zielmotorik bei Greifbewegungen selbst einsetzte, aber auch, wenn er sie bei anderen Lebewesen beobachtete<sup>23</sup>. Im Jahr 2002 belegten Rizzolatti und seine Kollegen die Existenz solcher Spiegelneuronen auch beim Menschen. Sie lokalisierten sie zunächst im Brodmannareal 44 und wagten die ersten Implikationen daraus abzuleiten, Spiegelneuronen seien für Imitationslernen zuständig<sup>24</sup>. Diese besonderen Gehirnzellen werden mittlerweile auch als Basis für die Entwicklung von Sprache<sup>25</sup> und im Allgemeinen für soziales Verhalten angesehen<sup>26-27</sup>.
5. Gehirnplastizität, die Funktion des Gehirns Verbindungen unter Neuronen zu schaffen<sup>28</sup> bzw. unbenützte Verbindungen aufzulösen, hat für die Pädagogik eine neue Ära eingeläutet. Lernen passiert als Reaktion auf Reize, die wahrgenommen werden und neuronale Netze entstehen lassen bzw. bestehende verändern. Vergessen hängt ab von abnehmenden oder fehlenden Reizen, wodurch die Verbindungen unter Neuronen schwächer werden.

6. In der Fremdsprachenvermittlung fragen sich Pädagogen, wie es dazu kommt, dass manche Schüler die Fremdsprache leichter lernen als andere. Oft wird die Erklärung in Theorien der allgemeinen Motivation<sup>29</sup> gesucht. Dementsprechend setzen Lehrer im Unterrichtsalltag viel Energie ein, um die Schülermotivation zu steigern<sup>30</sup>. Aber motivierte Schüler bringen nicht alle die gleichen Leistungen: An der Motivation allein kann es nicht liegen. Erklärungen für Fremdsprachentalent liefern Studien zur Funktionalität fremdsprachlicher Netze im Gehirn. Danach verarbeiten Lernende, die bessere Resultate erzielen, die Information „sparsamer“<sup>31-32</sup>. Dank der neurowissenschaftlichen Forschung wird es verständlich, dass Fremdsprachentalent nicht nur mit Motivation oder Training zusammenhängt, sondern auch mit der Funktionalität des Gehirns<sup>33</sup>.
7. Ein Thema, das in den letzten Jahren fachpädagogische Tagungen beherrscht, sind Sprachentwicklungsstörungen. Unterschiedliche Bezeichnungen werden dafür benützt wie Dyslexie und Legasthenie. Neurowissenschaftlichen Untersuchungen zu Folge sind Sprachentwicklungsstörungen auf Gendefekte zurückzuführen<sup>34</sup>, die in gewissen Gehirnarealen zu Veränderungen in der Neuronenarchitektur führen<sup>35</sup>, und somit die Funktionalität des jeweiligen Areals beeinträchtigen.

Obwohl viele Themen noch Erwähnung verdienen, versuchen wir die Verbindung des oben genannten Wissens zur Fremdsprachenpädagogik und fragen uns, was Lehrer für ihren Alltag daraus ableiten können.

Sprache wird in multimodalen neuronalen Netzen gespeichert und verarbeitet. Dies macht verständlich, dass sich Schüler Vokabeln besser merken, wenn sie sie mithilfe von illustrierten Karten lernen, als wenn sie zweisprachige Vokabellisten memorieren. Und wenn es mit Sprachkarten gespielt wird und Spaß am Sprachspiel<sup>36</sup> vorhanden ist, sind Endungen und Satzkonstruktionen leichter abrufbar und einsetzbar. Es ist anzunehmen, dass Dopamin dabei eine Rolle spielt. Freies Sprechen vor der Klasse kann als Bedrohung aufgefasst werden: Dies führt möglicherweise zur Ausschüttung von Glukokortikoiden, die das Abrufen, Denken und Sprechen lähmen. Da Sprache und Geste einen sehr engen Bezug zueinander, möglicherweise den gleichen Ursprung haben, kann der Lehrer Pantomime und Gesten zur Erklärung einsetzen<sup>37</sup>, oder Begriffe mit Gesten einüben. Gesten verbessern selbst im

Mathematikunterricht die Leistung der Lernenden<sup>38</sup>. Spiegelneuronen geben darüber Aufschluss, warum ein Aussprachetraining, das über Hörverständnisübungen stattfindet, selten gute Resultate bringt. Vielmehr hilft es, wenn der Lehrer die Aussprache von Lauten zeigt und die Schüler dazu veranlasst, die Mundstellung, die Lautproduktion nachzuahmen. Im Wissen, dass das Gehirn plastisch ist und sich Verbindungen und Netze aufgrund von Reizen verändern, bekommt der Spruch, dass Übung den Meister macht, eine neue Bedeutung: Wiederholung im Unterrichts- und Lernalltag der Schüler ist absolut notwendig. Es wird auch bewusst, dass Sprache durch Input entsteht und nicht angeboren ist. Sprachliche Netzwerke, die in der Kindheit nicht aufgebaut werden, führen zu Sprachdefiziten. Berühmte Black Box-Theorien wie das Language Acquisition Device<sup>39</sup> werden durch empirisch belegte Argumente der Gehirnphysiologie ersetzt. Um Gehirnfunktionen geht es auch, wenn man mit talentierten Fremdsprachenlernern zu tun hat. Sie können Information aus den sensorischen Kanälen besser und schneller verarbeiten, integrieren und speichern. Ihr Lernsystem ist effizienter und schafft dadurch die Aufgabe besser. Hingegen sind Menschen, die Sprachentwicklungsstörungen haben, bei gewissen Funktionen in der Verarbeitung sprachlicher Information beeinträchtigt<sup>40</sup>. Umso schwieriger gestaltet sich das Erlernen einer Fremdsprache. Dass sich solche Probleme nicht als „Energieblockaden“ umschreiben lassen, dass Dyslexie mit Überkreuzübungen nicht entgegengewirkt werden kann<sup>41</sup>, ist erst verständlich, wenn man den Ursprung der Problematik kennt. Die Grundlage dazu kommt aus der Wissenschaft.

Es ist nicht von der Hand zu weisen, dass allgemeine Erkenntnisse aus der Neurowissenschaft für die Pädagogik und in diesem konkreten Fall für die Fremdsprachenpädagogik von großer Bedeutung sind. Dennoch werden Lehrer als Praktiker täglich mit der Frage konfrontiert, wie sie ihr Wissen, die Fremdsprache am besten weitergeben. Lehrer brauchen allgemeines Wissen über das Gehirn aber auch Werkzeuge, die sie einsetzen, mit denen sie täglich arbeiten, mit denen sie gekonnt auf die Kognition der Lernenden Einfluss nehmen. Lehrer brauchen Unterrichtswerkzeuge für die unterschiedlichen Teilziele, um neue Texte zu präsentieren, um Grammatikregeln zu üben und um Vokabeln zu vermitteln. Von den Neurowissenschaften erwarten Fremdsprachenlehrer eine Neuropädagogik, die Allgemeinwissen über das Phänomen „Lernen von Sprache im Gehirn“ erarbeitet. Aber auch erwarten Sie für ihr Fach eine wissenschaftliche Überprüfung von Lernstrategien und

Materialien auf Effizienz, auf Wirkung auf das Gehirn, kurzum sie erwarten Neurodidaktik, eine neurowissenschaftlich basierte Fachdidaktik.

Leider gibt es in Deutschland noch keine Lehrstühle für ein solches interdisziplinäres Fach, keine sind im Entstehen. Anfängliche Versuche werden in Großbritannien gemacht, aber auch dort gestaltet sich das Unternehmen als schwierig. Ein Neurodidaktiker muss sein Fach, zum Beispiel eine Fremdsprache, inklusive der Fachdidaktik plus das Instrumentarium des Neurowissenschaftlers kennen und beherrschen. Ein Studium, das für diesen Beruf ausbildet, ist noch nicht vorhanden. Für neurodidaktisch denkende Wissenschaftler ist es heute sehr schwer Themen, die die Praxis braucht, zu formulieren und zu erarbeiten: Die Mittel dafür sind selten vorhanden und Fachzeitschriften, die neurodidaktisches Wissen publizieren, weltweit an den Fingern einer Hand zu zählen.

Am Beispiel Fremdsprache kann man erkennen, warum eine interdisziplinäre Entwicklung der Pädagogik in Richtung Neurowissenschaften stockt. Was soll nun 2010 passieren, damit nicht nur der Dialog der guten Absichten weiter geführt wird, sondern auf Worte Taten folgen und das neurowissenschaftlich begründete Werkzeug der Pädagogen endlich erarbeitet wird?

Hic et nunc: Pädagogen müssen ihre Fragestellungen klar formulieren und sie an die Forschung weiterleiten. Ein Beispiel? Eine konkrete Frage könnte sein „Wie lernen Schüler Vokabeln einer Fremdsprache am effizientesten?“. Gebräuchlich sind Wortlisten, Lernkarteien, mit oder ohne Illustrationen, aber auch Computertrainings, Spiele und so weiter. Dabei gelte es unter kontrollierten Experimentalbedingungen zu klären, welche dieser Vorgangsweisen dazu führt, dass sich Lernende viele Vokabeln dauerhaft merken. Wissenschaftler würden wiederholte Messungen im Lernverhalten der Schüler durchführen, um heraus zu bekommen, welche Vorgangsweise für den Unterricht optimal, welche suboptimal ist und welche die gewünschten Resultate vielleicht bei einigen wenigen, aber nicht für die meisten bewirkt. Auf die Verhaltensexperimente würden neurowissenschaftliche Studien folgen, in denen die neuronalen Grundlagen erfolgreichen Lernens untersucht werden. Dazu ist die Anwendung von Methoden wie Elektroenzephalographie, funktionelle Magnetresonanztomographie und Magnetenzephalographie, das Instrumentarium der Neurowissenschaften, notwendig. Wenn die Vorteile einer Lernstrategie im Verhalten der Schüler eindeutig geprüft wären, wenn die Wissenschaft gezeigt

hätte, welche Lernprozesse eine solche Strategie im Gehirn auslöst, wäre die Anwendung der Lernstrategie im Unterricht begründet und berechtigt. Die Lernstrategie bekäme den Status eines neurodidaktischen Werkzeuges, das Praktiker einsetzen könnten im Wissen, dass es zu besseren Leistungen führt.

All dies ist machbar. Lehrer haben Fragen, Wissenschaftler die Methoden, um diese Fragen zu beantworten. Es ist nun an der Zeit für eine neurowissenschaftlich basierte Pädagogik und für eine Neurodidaktik des jeweiligen Faches ausreichend Stellen an Universitäten und Forschungszentren zu schaffen. Wenn dies geschieht, steht einer Interaktion zwischen Pädagogik und Hirnforschung ab sofort nichts mehr im Wege. Die daraus resultierenden Vorteile sind eindeutig: Verbessertes Lernen für verbesserte Ausbildung und Bildung, für bessere Chancen im Kleinen und im Globalen in der deutschen Gesellschaft des einundzwanzigsten Jahrhunderts.

## Literatur

- 1 Stern, E. Pedagogy Meets Neuroscience. *Science* 310, 745-, doi:10.1126/science.1121139 (2005).
- 2 Frith, U. Teaching in 2020: the impact of neuroscience. *Journal of Education for Teaching: International research and pedagogy* 31, 289-291 (2005).
- 3 Posner, M. I. & Rothbart, M. K. Influencing brain networks: implications for education. *Trends in Cognitive Sciences* 9, 99-103 (2005).
- 4 Mason, L. Bridging neuroscience and education: A two-way path is possible. *Cortex* 45, 548-549 (2009).
- 5 Christodoulou, J. A. & Gaab, N. Using and misusing neuroscience in education-related research. *Cortex* 45, 555-557 (2009).
- 6 Willingham, D. T. Three problems in the marriage of neuroscience and education. *Cortex* 45, 544-545 (2009).
- 7 Arbib, M. A. *The handbook of brain theory and neural networks*. (MIT Press, 2003).
- 8 Pulvermuller, F. Words in the brain's language. *Behavioral and Brain Sciences* 22, 253-+ (1999).
- 9 Pulvermüller, F. *The neuroscience of language : on brain circuits of words and serial order*. (Cambridge University Press, 2002).
- 10 Klimesch, W. *The structure of long-term memory: a connectivity model of semantic processing*. (Erlbaum, 1994).
- 11 Wise, R. A. Dopamine, learning and motivation. *Nat Rev Neurosci* 5, 483-494 (2004).

- 12 Lupien, S. J., McEwen, B. S., Gunnar, M. R. & Heim, C. Effects of stress throughout the lifespan on the brain, behaviour and cognition. *Nat Rev Neurosci* 10, 434-445 (2009).
- 13 Krashen, S. Principles and practice in second language acquisition. (Pergamon, 1982).
- 14 Rizzolatti, G. & Arbib, M. A. Language within our grasp. *Trends Neurosci.* 21, 188-194, doi:S0166-2236(98)01260-0 [pii] (1998).
- 15 Arbib, M. A. From monkey-like action recognition to human language: an evolutionary framework for neurolinguistics. *Behav Brain Sci* 28, 105-124; discussion 125-167 (2005).
- 16 Bernardis, P. & Gentilucci, M. Speech and gesture share the same communication system. *Neuropsychologia* 44, 178-190, doi: DOI 10.1016/j.neuropsychologia. 2005.05.007 (2006).
- 17 Tomasello, M. Origins of human communication. (MIT, 2008).
- 18 Goldin-Meadow, S. Beyond words: The importance of gesture to researchers and learners. *Child Development* 71, 231-239 (2000).
- 19 Goldin-Meadow, S. Hearing gesture: how our hands help us think. (Cambridge, 2003).
- 20 Beattie, G. & Coughlan, J. An experimental investigation of the role of iconic gestures in lexical access using the tip-of-the-tongue phenomenon. *British Journal of Psychology* 90, 35-56 (1999).
- 21 Macedonia, M. Fremdsprachenlernen und Gedächtnis. Sensomotorisches Encodieren durch Voice Movement Icons. (Trauner Verlag, 2004).
- 22 Macedonia, M., Müller, K. & Friederici, A. D. The impact of Iconic Gestures on Foreign Language Word Learning and its Neural Substrate. *Human Brain Mapping*, Article first published online: 19 JUL 2010, DOI:10.1002/hbm.21084.
- 23 Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L. & Rizzolatti, G. Action recognition in the premotor cortex. *Brain* 119, 593-609, doi:10.1093/brain/119.2.593 (1996).
- 24 Rizzolatti, G., Fogassi, L. & Gallese, V. Motor and cognitive functions of the ventral premotor cortex. *Curr Opin Neurobiol* 12, 149-154, doi:S0959438802003082 [pii] (2002).
- 25 Corballis, M. C. Mirror neurons and the evolution of language. *Brain and Language* 112, 25-35 (2010).
- 26 Iacoboni, M. & Dapretto, M. The mirror neuron system and the consequences of its dysfunction. *Nat Rev Neurosci* 7, 942-951, doi:nrn2024 [pii]10.1038/nrn2024 (2006).
- 27 Keysers, C. Mirror neurons. *Curr Biol* 19, R971-973, doi:S0960-9822(09)01600-5 [pii]10.1016/j.cub.2009.08.026 (2009).
- 28 Buonomano, D. V. & Merzenich, M. M. CORTICAL PLASTICITY: From Synapses to Maps. *Annual Review of Neuroscience* 21, 149-186, doi:doi:10.1146 / annurev.neuro.21.1.149 (1998).
- 29 Gardner, R. & Lambert, W. Motivational variables in second-language acquisition. *Canadian Journal of Experimental Psychology* 13, 266-272 (1959).
- 30 Brophy, J. E. Motivating students to learn. (McGraw-Hill, 2010).
- 31 Reiterer, S., Berger, M. L., Hemmelmann, C. & Rappelsberger, P. Decreased EEG coherence

- between prefrontal electrodes: A correlate of high language proficiency? *Experimental Brain Research* 163, 109-113 (2005).
- 32 Reiterer, S., Pereda, E. & Bhattacharya, J. Measuring second language proficiency with EEG synchronization: how functional cortical networks and hemispheric involvement differ as a function of proficiency level in second language speakers. *Second Language Research* 25, 77-106 (2009).
- 33 Dogil, G. Language talent and brain activity. (Mouton de Gruyter, 2009).
- 34 Plomin, R. & Walker, S. O. Genetics and educational psychology. *British Journal of Educational Psychology* 73, 3 (2003).
- 35 Scerri, T. S. & Schulte-Körne, G. Genetics of developmental dyslexia. *European Child and Adolescent Psychiatry* 19, 179-197 (2010).
- 36 Macedonia, M. Games and foreign language teaching. *Support for Learning* 20, 135-140 (2005).
- 37 Skipper, J. I., Goldin-Meadow, S., Nusbaum, H. C. & Small, S. L. Gestures Orchestrate Brain Networks for Language Understanding. *Current Biology* 19, 661-667 (2009).
- 38 Goldin-Meadow, S., Cook, S. W. & Mitchell, Z. A. Gesturing Gives Children New Ideas About Math. *Psychological Science* 20, 267-272 (2009).
- 39 Chomsky, N. *Aspects of the theory of syntax*. (Second printing.). (pp. x. 251. M.I.T. Press: Cambridge, Mass, 1965).
- 40 Norbury, C., Tomblin, J. B. & Bishop, D. V. M. *Understanding developmental language disorders : from theory to practice*. (Psychology, 2008).
- 41 Lippitsch Ludwig, I. (ed *Erster österreichischer Dachverband Legasthenie*). *Legasthenie im Kindes- und Erwachsenenalter* (2007).