

Werkzeuge des Geistes

M. Spitzer, Ulm

Der Mensch gebraucht Werkzeuge. Sie sind ein wesentlicher – *vielleicht sogar der wichtigste* – Teil unserer Kultur. Die meisten Menschen denken bei „Werkzeug“ zunächst an „Hammer“, aber Jahrhunderte menschlicher, aufeinander aufbauender kreativer Akte haben uns weitaus mehr beschert als das Sortiment im Baumarkt: Maschinen, die Dinge fast vollautomatisch herstellen; Maschinen, die Maschinen herstellen; Maschinen, die uns am Leben erhalten, wenn wir schwer krank sind; und sogar Maschinen für geistige Arbeit (Computer). Stellen Sie sich vor, plötzlich gäbe es infolge von Krieg oder Naturkatastrophen keine Werkzeuge mehr, und diejenigen, die sie herstellen, seien umgekommen. Sie und ich würden nächtens vor Lagerfeuern kauern und uns Sorgen darüber machen, was es morgen zu essen gibt. Wir wären auf das Niveau der Steinzeit zurückgeworfen und hätten wenig Chancen, das zu ändern. Wir müssten entsetzt feststellen, dass wir keine Autos und Intensivstationen, keine Kühlschränke oder Handys mehr hätten. Schon die Gewinnung von Eisen für den Hammer würde die meisten Menschen vor unlösbare Probleme stellen, womit klar ist, dass auch die Werkzeuge, um Kleidung oder Schuhe herzustellen sowie um einfache Landwirtschaft zu betreiben, fehlen würden. Weil die meisten Menschen beim Thema „Kultur“ an Theater, Bücher und dem Inhalt der Seiten des Feuilleton denken, sei dies noch einmal sehr klar gesagt: Werkzeuge sind nicht Biologie, sie sind vielmehr Kultur im besten Sinne des Wortes. Und im Gegensatz zu Theaterstücken und Romanen bauen Werkzeuge in sehr realer Hinsicht aufeinander auf! Ohne Hammer kein Staudamm, ohne Staudamm keine Wasserkraft, ohne Wasserkraft kein Strom, ohne Strom keine Maschinen, ohne Maschinen

keine Werkzeugmaschinen und ohne Werkzeugmaschinen keine Computer.²

Trotz ihrer enormen Bedeutung behandelt die Gehirnforschung Werkzeuge bislang recht stiefmütterlich: Es gibt Zehntausende von Studien über Sprache, mit eigenen wissenschaftlichen Journals wie beispielsweise *Brain and Language*; zum Werkzeuggebrauch hingegen erscheint nur gelegentlich irgendwo ein Artikel, und ein Journal *Brain and Tools* gibt es nicht.

Aber kann es eine Neurowissenschaft des Werkzeuggebrauchs geben? Und wenn ja, was hätten wir davon? Geht man dieser Frage nach, hilft der Vergleich mit dem Thema Sprache: Die Forschung zum Thema Gehirn und Sprache begann vor etwa 150 Jahren mit Beobachtungen zur Sprachlosigkeit von Patienten nach Schlaganfällen, ging also von der Pathologie aus und fragte erst später, wie das bei Gesunden funktionieren könnte. Heute geht man grundlagenwissenschaftlich vor, untersucht die neuronalen Prozesse beim Sprachverstehen direkt im Gehirn gesunder

¹ Die Tatsache, dass diese Abhängigkeiten jedem in Technik versierten Menschen konstruiert und unzulänglich vereinfacht erscheinen mögen, schwächt mein Argument nicht sondern macht es nur noch stärker: Ja (!), es ist in Wahrheit noch viel komplexer. Mein Beispiel kann diese Komplexität nur andeuten.

² Man kann selbstverständlich darüber diskutieren, ob Hollywood (oder ein „Tatort“) ohne Shakespeare oder Goethe möglich wäre. Auch in der Kultur hängt nichts „in der Luft“, wie jede Kulturgeschichte deutlich zu machen sucht. Aber stellen Sie sich vor, es gäbe keine Theater mehr, weil alle Gebäude, alle Bücher und alle damit befassten Menschen nicht mehr existierten. Dann würden die nach einer solchen Katastrophe übrig gebliebenen Menschen sich erinnern, Märchen erzählen und vielleicht eine ganze Menge „Kulturgut“ kollektiv bewahren können, auch das Theaterspielen und Romane schreiben. Aber stellen Sie sich vor, es fehlten in analoger Weise Technik und Industrie! Durch Erinnern entsteht kein Werkzeug, und ohne Werkzeuge keine komplexe Produktion, und ohne diese entsteht nichts von alledem, was wir meist als „natürlich gegeben“ hinnehmen (unser Kühlschrank, das Handy oder der Aldi an der Ecke), obwohl es sich um kulturelle Höchstleistungen (im besten Sinne des Wortes!) handelt.

Nervenheilkunde 2009; 28: 577–581

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. Dr. Manfred Spitzer
Universität Ulm, Abteilung für Psychiatrie III
Leimgrubenweg 12-14, 89075 Ulm

Probanden und leitet daraus nicht nur Schlüsse für die Behandlung von Patienten, sondern auch für den Spracherwerb, das Lernen, die Erziehung und die Bildung insgesamt ab. In vielen Forschungsfeldern kann man diese Entwicklung beobachten³; beim Werkzeuggebrauch noch nicht. Wie facettenreich eine solche Wissenschaft sein könnte, zeigen entsprechende Studien.

Werkzeuge sind nicht Biologie, sie sind vielmehr Kultur im besten Sinne des Wortes.

Vor etwa 15 Jahren machte ich mir schon darüber Gedanken, wie unterschiedliche Bedeutungen im Gehirn gespeichert sein könnten (7). Vor dem Hintergrund von Netzwerkmodellen zu selbstorganisierenden Karten und mit einigen Erfahrungen in der funktionellen Bildgebung schloss ich mich 1994 während meines zweiten Aufenthaltes an der Harvard-University der Bildgebungsgruppe um Belliveau, Kwong und Rosen an und führte eine kleine Studie zur kortikalen Lokalisation von Werkzeugen durch (6). Es war die erste diesbezügliche Studie, und bevor die Resultate da waren, haben alle darüber gelacht. Daher ging es mir damals um nichts anderes als einen Existenzbeweis: Ja, es gibt kategorien-spezifische lokalisierte neuronale Repräsentationen – das war der Punkt, nicht hingegen deren Taleirach-Koordinaten (denn die Menschen und deren Gehirne erschienen mir damals noch zu verschieden, als dass man nach solchen Koordinaten suchen sollte oder könnte). Die Suche nach *irgendeiner* Form von Lokalisation wurde damals schon verlacht (2), nicht unähnlich dem „Großmutter-Neuron“, über das sich Generationen von Psychologen lustig gemacht haben, bis schließlich die Neurowissenschaft festgestellt hat, dass es genau solche Neuronen tatsächlich gibt. Auch im Hinblick auf Werkzeuge ist die Sache mittlerweile ganz anders, liegt doch

seit geraumer Zeit sogar schon eine Metaanalyse zu mehr als zwei Dutzend Studien zur Lokalisation von Bedeutungsgehalten (wie Werkzeugen und Tieren) im menschlichen Kortex vor (3).

Will man verstehen, wie diese neuronalen Repräsentationen von Werkzeugen funktionieren, also wie sie (man könnte sie „Werkzeugneuronen“ nennen) unser Verhalten beeinflussen und welche Wirkungen sie haben, sind die Methoden der funktionellen Bildgebung eingeschränkt, denn sie sind zu langsam, um dem Geist millisekunden-genau bei der Arbeit zuzusehen. Man kann sich aber des EEG bzw. der ereigniskorrelierten Potenziale (EKP) bedienen, bei denen Ladungsänderungen an der Kopfhaut gemessen und zeitgenau bei vielen Reizen aufaddiert werden. Man erhält dadurch ein millisekundengenaues Abbild (wenn auch nicht auf den Millimeter, sondern nur auf einige Zentimeter genau) dessen, was elektrisch im Gehirn geschieht.

Will man zudem wissen, ob Objekte, mit denen wir hantieren, anders abgespeichert werden als Objekte, die wir beispielsweise nur anschauen, will man also wissen, ob Werkzeuge auf eine bestimmte, besondere Weise in unseren Köpfen repräsentiert sind, dann muss man das Erlernen von Werkzeugen forschend begleiten. Nun kennt aber schon jeder einen Hammer oder eine Schere, und man kann gesunden jungen erwachsenen Probanden in dieser Hinsicht nichts mehr beibringen.

Für Einzelheiten ist schon lange klar, dass das gleichzeitige Tun beim Lernen dem Lernen hilft.

Daher kamen Markus Kiefer und Mitarbeiter auf die Idee, sich 64 neue, nicht existierende Objekte („Nobjects“) auszudenken (4), sie dreidimensional mittels Computergrafik zu zeichnen und ihnen einen Namen zu geben (►Abb. 1). Dadurch wurde es möglich, die Rolle des hantierenden Umgangs mit Dingen beim Lernen von neuen Objekten und sogar Objektbegriffen zu untersuchen. Dies ist ein wichtiger Unterschied. Für Einzelheiten ist schon lange klar, dass das gleichzeitige Tun beim Lernen dem Lernen hilft. Die Phrase „Stein auf Stein, das Häuschen wird bald fertig sein“ lernt sich besser, wenn man dabei die Fäuste wiederholt übereinander setzt. „Die Kurbel drehen“ wird besser gelernt, wenn

man mit der rechten Hand eine entsprechende (pantomimische) Kurbeldrehbewegung macht. Die Wissenschaft hat damit „modalitätsspezifische Handlungsrepräsentationen als Teil der episodischen Gedächtnisspur“ (5) relativ klar erkannt; und sogar den Fachterminus – einen die Gedanken verknotenden wissenschaftschinesischen Zungenbrecher – durch die einfache Bezeichnung „Tu-Effekt“ handhabbar gemacht.

Es ist jedoch eine Sache, Handlungen als Teil einzelner konkreter Erinnerungen (des episodischen Gedächtnisses) nachzuweisen und eine ganz andere, den Nachweis zu führen, dass unser begriffliches Wissen (was ein Hammer ist, dass man in Häusern wohnen kann, dass eine Tasse ein Küchenutensil ist und jedes Küchenutensil ein unbelebter Gegenstand) nicht irgendwie allgemein und modalitätslos in uns gespeichert ist, sondern ebenfalls mit Handlungsaspekten aufs engste verknüpft ist.

In neurowissenschaftlicher Hinsicht lässt sich dies noch weiter konkretisieren. In jedem Buch der Anatomie der Gehirnrinde wird zwischen einfachen (primären) kortikalen Arealen, die für das Sehen, Hören oder für Bewegungsausführung zuständig sind einerseits und Bereichen des „multimodalen Assoziationskortex“ andererseits unterschieden, also Bereichen des Gehirns, die nicht nur für Sehen oder Hören oder Greifen, sondern für „abstrakte“ Gedanken zuständig sind. Sind also, so könnte man nun fragen, die Bedeutungen von Wörtern (unser begriffliches Allgemeinwissen) nur im multimodalen Assoziationskortex gespeichert oder auch in modalitätsspezifischen kortikalen Arealen?

Um dies herauszufinden unterzogen sich 28 rechtshändige Studierende der Universität Ulm einem aufwändigen Lernprogramm (16 Sitzungen von jeweils etwa 90 Minuten Dauer), dessen Ziel es war, semantisches Wissen über 64 Nobjects zu vermitteln: Bild, Namen, Kategorienzugehörigkeit, Umrissform und Detailmerkmal. Die Studenten wurden hierzu in zwei Gruppen eingeteilt: In der Handlungsgruppe wurde nach dem Zeigen des Nobjects und dessen Namens ein Aktionsbild gezeigt, „das eine vom Nobject-Detail nahegelegte Handlung (stecken, greifen, schneiden, hineinlegen) darstellte. Hierzu führte der Lernende eine standardisierte, diese Handlung abbildende Handlungspantomime aus, die der Versuchsleiter bei der ersten

³ Eine schöne Formulierung fand ich kürzlich in einer Rezension über ein Grundlagenwerk zu Sozialendokrinologie (ja, auch das gibt es, und das Buch ist sehr spannend!) „Research on humans is no longer being driven primarily by a search for causes of behavioral pathology. Instead, it is inspired by a foundation of concepts and theories of normal behavior taken from evolutionary biology ... biological anthropology ... and ... psychology“ (1, S. 1145f).



Abb. 1 Beispiele der Nobjects (nach 4). Objekte, Kategorien, Umrissformen, Detailmerkmale, und die mit den Objekten durchzuführenden Handlungen wurden mit Kunstwörtern bezeichnet.

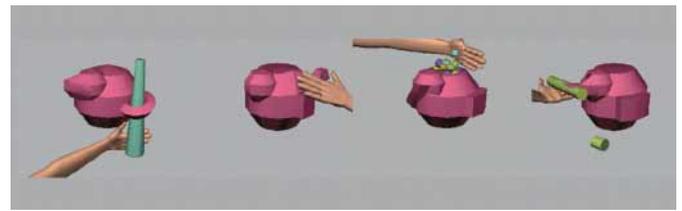


Abb. 2 Lernen durch eine Handlungspantomime mit dem Nobject oder durch zeigen (nicht dargestellt) auf ein kritisches Merkmal des Nobjects (nach 4).

Sitzung demonstriert hatte. Dadurch sollte eine funktionale Beziehung von Objektmerkmal und motorischer Interaktion aufgebaut werden“, beschreiben Soden-Fraunhofen und Mitarbeiter (5) die Trainingsprozedur im einzelnen. In der zweiten Gruppe hingegen wurde nach Bild und Name statt des Aktionsbildes nur das Nobject mit Detail, das durch einen Kreis hervorgehoben wurde gezeigt, auf das der Proband mit dem Zeigefinger deuten sollte (►Abb. 2).

In beiden Aufgaben zeigte sich, dass die Probanden der Pantomimegruppe die Objekte signifikant schneller kategorisieren konnten.

Aufgaben zur Benennung der Nobjects, deren Kategorienzugehörigkeit (Bild oder Wort), zum Umrissvergleich und Detailvergleich (mit Erfassung von Reaktionszeiten und Fehlern) waren zudem Bestandteil der Trainingssitzungen, sodass der Lernfortschritt der Probanden genau gemessen werden konnte. Die ganze Prozedur war sehr aufwändig, sodass man die Probanden dafür gut bezahlen musste und dennoch vier von ihnen auf der Strecke blieben und nicht durchhielten.

Zur Auswertung kamen damit die Daten von zwölf Probanden in jeder Gruppe (Handlung: Durchschnittsalter 25 Jahre, sieben weiblich; Zeigen: Durchschnittsalter 23 Jahre, sechs weiblich). In beiden Gruppen wurde zunächst einmal gelernt, und zwar, bei oberflächlicher Betrachtung des Ergebnisses, gleich gut: Die Probanden beherrschten die Nobjects, konnten sie richtig benennen und korrekt den übergeordneten Kategorien zuordnen.

Beim genaueren Hinsehen zeigten sich jedoch Unterschiede, wie die Analyse der Aufgaben zur Kategorienzugehörigkeit am deutlichsten zeigte. Hierbei sahen die Probanden

nacheinander zwei Nobjects und sollten dann durch Tastendruck angeben, ob diese zur gleichen Kategorie gehörten oder nicht. Ab der fünften Trainingssitzung (die Nobjects und deren Namen waren zu diesem Zeitpunkt schon halbwegs gut bekannt) wurde zudem eine Variante der Aufgabe dahingehend zum Test eingesetzt, das nicht die Nobjects, sondern nur deren Namen – ebenfalls hintereinander – gezeigt wurden. Wieder sollten die Probanden angeben, ob die bezeichneten Nobjects zur gleichen oder zu verschiedenen Kategorien gehörten. In beiden Aufgaben zeigte sich, dass die Probanden der Pantomimegruppe die Objekte signifikant schneller kategorisieren konnten (►Abb. 3).

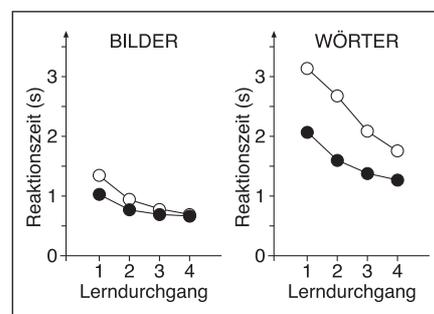


Abb. 3 Lernfortschritt bei der Kategorisierungsaufgabe. Dargestellt sind die mittleren Reaktionszeiten der Probanden, getrennt nach den Lerngruppen – handeln (schwarze Kreise) versus zeigen (weiße Kreise) – jeweils bei den ersten vier Durchgängen der Aufgaben. Die Reaktion auf die Bilder der Nobjects (links) war deutlich schneller als auf die Namen (rechts), was nicht wundert, müssen doch hierbei zunächst ausgehend von den beiden gezeigten Namen die Nobjects erinnert werden, um dann deren mentale Bilder auf kategorienspezifische Merkmale hin zu inspizieren. Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen – handelndes Lernen bewirkte eine raschere Erledigung der Kategorisierungsaufgabe – erwies sich jeweils als signifikant (nach 5).

Machen wir uns einmal klar, worum es hier genau geht: werden die Nobjects am Bildschirm gezeigt, dann braucht man bloß nachsehen, welche Merkmale sie haben. Hat man dann die Kategorienzugehörigkeit der einzelnen Nobjects (anhand der Umrisse oder Details) gelernt, dann kann man auch sagen, ob die beiden der gleichen Kategorie zugehören oder nicht. Werden jedoch nur die Namen der Nobjects am Bildschirm gezeigt, muss man recht viel Hirnschmalz (kognitive Ressourcen) für die Erledigung der Aufgabe verwenden: Anhand des Namens das Nobject erinnern, dieses sich vorstellen (also ein mentales Bild generieren), die Vorstellung inspizieren und das Nobject kategorisieren; dann das ganze noch einmal mit dem zweiten Nobject und dann die beiden Kategorien vergleichen. Gerade diese aktiven geistigen Leistungen werden durch das Training in ganz unterschiedlichem Maße ermöglicht, wie die Reaktionszeitdaten zeigen: Wer beim Lernen der Nobjects handelnd mit ihnen umging, konnte mit ihnen ganz offensichtlich mental besser (schneller) umgehen als wer beim Lernen nur zeigte (gerade zu Beginn waren die Probanden der Zeigegruppe etwa 50% langsamer als die der Handlungspantomimegruppe).

Das handelnde Lernen wirkte sich also nicht nur auf das Handeln (sprich: Hantieren) aus, sondern auch auf andere Aspekte des geistigen Umgangs mit den gelernten Inhalten. Dies zeigte sich nicht nur in den Verhaltensdaten, sondern konnte auch elektro-physiologisch untermauert werden. Während der Kategorisierungsaufgabe wurde ein 64-Kanal-EEG abgeleitet und die Daten ereigniskorreliert ausgewertet. Hierbei zeigten sich nur in der Handlungspantomimegruppe frühe Aktivierungen frontaler motorischer kortikaler Areale (►Abb. 4).

Dieser Befund lässt sich dahingehend interpretieren, dass nur bei der Form des Trai-

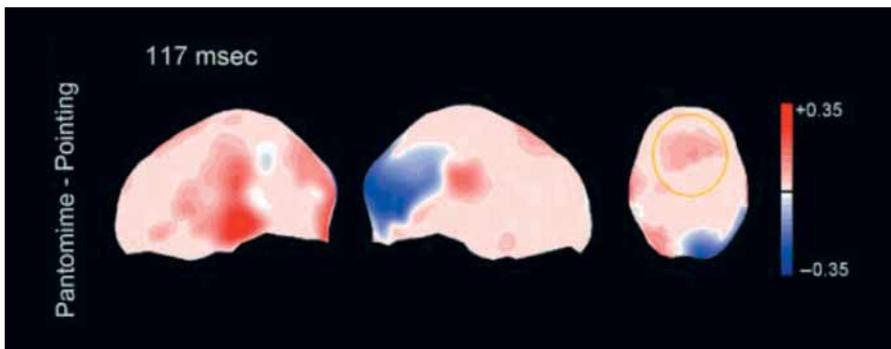


Abb. 4 Ereigniskorreliertes Potenzial (Differenzkarte, projiziert auf die Kopfoberfläche) 117 Millisekunden nach Reizdarbietung. Größere Aktivierung in der Handlungspantomimegruppe ist in rot dargestellt. Gelb eingekreist ist die stärkere Aktivierung frontaler Areale (nach 4).

nings, nicht aber beim bloßen Zeigen, neuronale Repräsentationen der Handlungen Teil der gelernten begrifflichen Struktur geworden sind. Anders ausgedrückt: Die Art wie etwas gelernt wird, bestimmt die Art, wie das Gelernte kortikal repräsentiert ist.

Wer beim Lernen der Objects handelnd mit ihnen umging, konnte mit ihnen ganz offensichtlich mental besser (schneller) umgehen als wer beim Lernen nur zeigte.

Dies mag manchem trivial erscheinen, ist es aber beileibe nicht! Denken wir nur daran, dass sich heute manche Kinder und Jugendliche die Welt nur durch Mausclick erschließen. Manche Medienpädagogen verkünden dies stolz und befürworten diese mediale Erweiterung der Welterschließung ausdrücklich (9). Sie können sich dabei jedoch nicht auf Daten berufen (und tun es auch nicht), sondern nur auf ihren eigenen ganz privaten Eindruck (8). Nun kann ein Erwachsener, der die Welt und die Dinge in ihr schon kennt, durchaus noch anderes Neues über das Netz der Netze in Erfahrung bringen. Wer jedoch erst dabei ist, sich Welt anzueignen, der sollte hierfür tunlichst auch die Welt, die reale, mit der sich umgehen lässt, verwenden. Ein Mausclick ist nichts weiter als ein Akt des Zeigens und kein Akt des handelnden Umgangs mit einer Sache. Lerne ich also Sachen am

Computer, so werden diese Sachen in mir anders repräsentiert als bei handelndem Umgang. Die Daten der Studie von Kiefer zeigen dies aus meiner Sicht so klar wie in noch keiner Studie zuvor geschehen (4).

Literatur

1. Adkins-Regan E. Under the influence of hormones. *Science* 2009; 324: 1145–1146.
2. Cohen M. Functional MRI: A Phenology fort he 1990s? *JMRI* 1996; 6: 273–274.
3. Joseph JE. Functional neuroimaging studies of category specificity in object recognition: a critical review and meta-analysis. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience* 2001; 1: 119–136.
4. Kiefer M, Sim E-J, Lieblich S, Hauk O, Tanaka J. Experience-dependent plasticity of conceptual representations in human sensory-motor areas. *Journal of Cognitive Neuroscience* 2007; 19: 525–542.
5. Soden-Fraunhofen Rv, Sim E-J, Lieblich S, Frank K, Kiefer M. Die Rolle der motorischen Interaktion beim Erwerb begrifflichen Wissens. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* 2007; 22: 47–58.
6. Spitzer M, Kwong KK, Kennedy W, Rosen BR, Belliveau JW. Category-specific brain activation in fMRI during picture naming. *Neuroreport* 1995; 6: 2109–2112.
7. Spitzer M, Kischka U, Gückel F, Bellemann ME, Kammer T, Seyyedi S, Weisbrod M, Schwartz A, Brix G. Functional magnetic resonance imaging of category-specific cortical activation: evidence for semantic maps. *Cogn Brain Res* 1998; 6: 309–319.
8. Spitzer M. Achtung: Baby-TV. *Nervenheilkunde* 2007; 26: 1036–1040.
9. Wagner WR. Medienkompetenz revisited. Medien als Werkzeuge der Weltaneignung: ein pädagogisches Programm. München: Kopaed Verlag 2004.