

Seelenabdruck oder was sonst? Zur Kritik des Hirnbildgebrauchs*

Abstract

Die Leitfrage lautet: Was ist eigentlich sichtbar, wenn man sich Hirnbilder als Ergebnis bildgebender Verfahren betrachtet? Und was erblickt man, wenn man sich stattdessen Elektroenzephalogramm-Kurven anschaut? In der im Text zum Fallbeispiel gemachten Erfassung der Hirntätigkeit der beiden Autoren wird dargelegt, was sich in den Einzelschritten der Bildgebung ereignet, an welcher Stelle Algorithmen das ›Zeichnen‹ übernehmen und welche neurowissenschaftlichen Vorannahmen zum Zug kommen.

The key problem raised in the essay is: What do images of the human brain reveal when looked at? And what does one see when one instead considers electroencephalogram curves? The analysis of the authors' cerebral activities (taken as a paradigmatic example of brain activity in general) shows what occurs during the individual steps of brain imaging, at which step algorithms enter the scene, and which neuroscientific hypotheses underlie functional brain imaging.

Einleitung

1996 konnte man in einem neurowissenschaftlichen Lehrbuch eine Abbildung erblicken, die sowohl dem gesunden Menschenverstand wie auch jeder theoretisch plausiblen Erwartung widersprach. Es handelte sich um die Illustration eines Menschenhirns, die in bildgebenden Verfahren entstanden war. Das war ein ungeschöntes, unbearbeitetes Bild eines Organs, in dem, wie es heißt, die Psyche ihren Sitz habe. Aber auf der Abbildung (siehe Abbildung 1) befand sich die Psyche auch *außerhalb* der deutlich abgegrenzten Schädeldecke.

* Wir danken den Mitgliedern der Arbeitsgruppe Brainclocks/Cognitive Neuroscience am Brain Imaging Center Frankfurt, insbesondere Marion Behrens und Christian Keller, für die methodische Beratung und Unterstützung bei der Erhebung und Auswertung der Kernspindaten, sowie Nadine Conradi für die EEG-Auswertungen. Ferner gilt unser Dank Hadas Okon-Singer (University of Haifa) für die Überlassung des experimentellen Paradigmas wie für die Unterstützung bei der Umsetzung. Für wertvolle Hinweise sei auch Rom Harré (Georgetown University, Washington DC) gedankt.

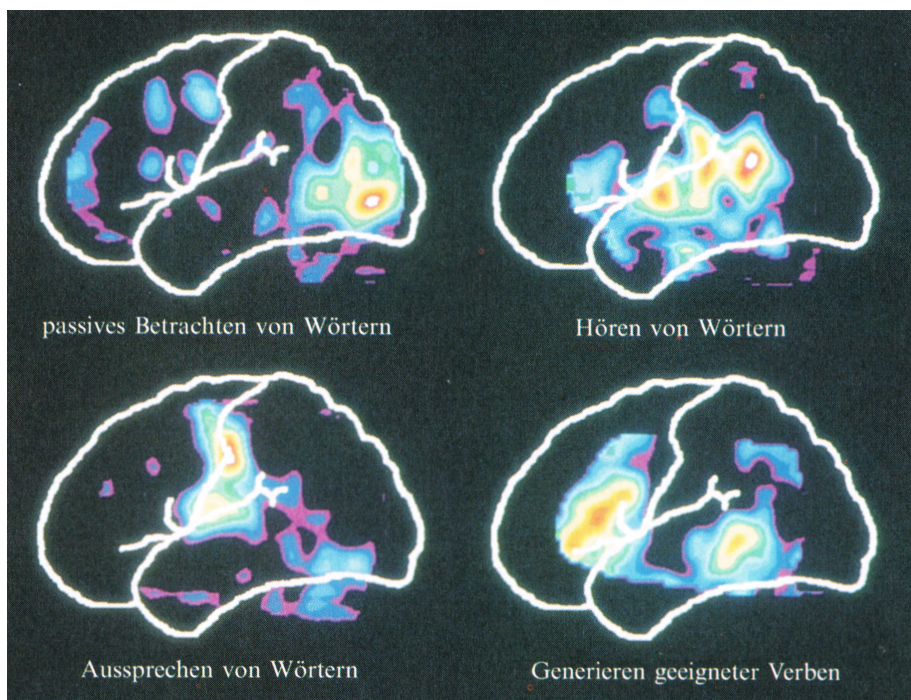


Abb. 1: Vier PET-Bilder aus einer Sitzung der Prüfung von Wortlese- und Wortfindungsfunktionen.¹

Betrachtete man ohne Nachgedanken und ohne Vorurteile das, was die Abbildung zeigte, musste man den Schluss ziehen, dass Hirnprozesse auch außerhalb des Körpers stattfinden können. Da allgemein angenommen wird, dass Leistungen wie Lauschen, Lesen, Sich-Erinnern, Vorstellen, in einem Wort: dass intellektuelle oder geistige oder (wie es früher hieß) seelische Tätigkeiten durch Aktivierung bestimmter Hirnbereiche vollzogen werden, gab die besagte Abbildung etwas radikal Kontrafaktisches zu sehen. Sie zeigte psychische Tätigkeit dort, wo sie nicht hätte sein dürfen. Sie lieferte einen Beleg für die Existenz psychischer Prozesse, die sich völlig autonom und losgelöst von körperlichen Verrichtungen ereignen.

¹ Die Hirnbilder in dieser Abbildung stammen zwar aus einem Positronen-Elektronen-Tomographen (PET), der völlig anders funktioniert als jede Magnetresonanztomographie-Maschinerie. Am sonderbaren Charakter der PET-Hirnbilder ändert dies allerdings nichts. Und da vorliegender Essay Hirnbilder thematisch in den Vordergrund rückt, ändert das bildgebende Verfahren als solches auch nichts am sonderbaren Aussehen der Verbildlichung psychischer Tätigkeiten.

Die Abbildung widerlegte also sinnfällig die Theorien der Materialisten aller *couleurs* und gab den traditionell lästigen Vertretern eines auf René Descartes zurückgehenden Dualismus halbwegs Recht. Denn auf der Abbildung waren Teile des Psychischen vom Physischen abgelöst. Was Anderes als selbsttätiges Psychisches könnte denn *außerhalb* des Schädels, gleichsam in der Luft schwebend, überhaupt denkbar sein? Das Bild rechtfertigte die hellenische Terminologie, nach der *pneuma* sowohl die Luft als auch die Seele bezeichnete. Oder die Abbildung zeigte etwas metaphysisch und ontologisch Unmögliches. Nicht, weil sich Unmögliches von selbst in das Bild eingeschlichen hätte. Sondern aus technisch erklärbaren, auf die Maschinerie der bildgebenden Verfahren zurückzuführenden Gründen. *So* besehen, erwiese sich die Abbildung als Falle für Bildgläubige.

Bildgläubig wären allerdings nicht nur jene, die aus derartigen Abbildungen den Dualismus für wahr hielten; bildgläubig sind auch Leute, die in genormten Hirnbildern das Psychische am Werk zu sehen meinen. In der Literatur wird die Faszination, die von Bildern reflektierender, phantasierender, trauriger, womöglich auch Verbrechen planender Hirne ausgeht, als Weihnachtsbaum-Effekt bezeichnet. Oh wie schön, wie wunderbar, was die Hirnbilder verraten! Da sieht man, wo welcher soeben gehörte Satz verarbeitet wird, und dort, wo welcher Satz zur Aussprache vorbereitet wird. Hirnbilder sind, gleichviel, was sie zeigen (den Sitz einer mentalen Aktivität oder mentale Aktivität jenseits des Körpers), für Bildgläubige allemal eine Falle, weil diese den in ihnen ausgelösten Weihnachtsbaum-Effekt entweder nicht kennen oder nicht mehr zur Kenntnis nehmen oder vor lauter Begeisterung für etwas, das sie als Entdeckung ausgeben können, verdrängen.

Um von Anfang an Missverständnissen vorzubeugen: Bildgebende Verfahren sind Errungenschaften ersten Ranges. Das gilt für das von Röntgen entwickelte Verfahren, es gilt nicht weniger für die neueste Generation der Tomographen, gleichviel, ob diese auf der Magnetresonanz oder auf anderen physikalischen Eigenschaften der lebenden Materie und der auf die lebende Materie reagierenden Sensoren beruhen. Wenn Bildgläubige nun etwas zu sehen und sehend etwas zu erkennen behaupten, dann ist dies zwar auch den Leistungen bildgebender Verfahren zuzuschreiben, zuvörderst jedoch der Einstellung, dem *mind set*, der Attitüde der Bildsehenden zu eben jenen Objekten, aus denen sie etwas herauslesen, das womöglich nicht mit dem übereinstimmt, was ihnen gezeigt wird.

Unsere Darlegungen haben es auf den Zusammenhang zwischen den einzelnen Phasen oder Abschnitten der Bildgebung, den durch bildgebende Verfahren hervorgerufenen Hirnbildern und den Einstellungen zu diesen Hirnbildern abgesehen. Wer erfasst, was auf diesen Bildern zu sehen ist, weil das Erfassen des Bildinhalts aufgrund einer intellektuellen Rückschleife durch die Kenntnis der Entstehungsbedingungen der Bilder bedingt wird, wird manche Aussagen über die Verkörperung bestimmter mentaler Zustände und Prozesse nicht mehr guten Gewissens treffen oder

wiederholen wollen. Wie man sich in der Erkenntnistheorie immer wieder mit der Frage der Bedingungen der Möglichkeit des Erkennens beschäftigt, weil dem unreflektierten Erkennen Selbstverständlichkeit und Selbstevidenz abgehen, so ist es auch empfehlenswert, die Frage der (auch technologisch definierbaren) Bedingungen des Umgangs mit Hirnbildern aufzuwerfen – wobei wir unter dem Terminus ›Umgang‹ sowohl das Hirnbildherstellenwollen in Experimenten wie auch die optische Auffassung von Hirnbildern und die Deutung der Bilddaten verstehen.

Bildgebende Verfahren, heißt es in einzelnen Wissenschaftskreisen, in der Tagespresse, in populärwissenschaftlichen Veröffentlichungen usw. sinngemäß, würden Einblick in psychisches Geschehen im Hirn gewähren. Dies sei durch einen kurzen Bericht über einen fernsehtauglichen Neurologen belegt, der in einem von der BBC ausgestrahlten Feature sagte: »These images [von Kernspintomographen, AM/SF] have moved us out of an era when we saw the brain as a black box, into a world where we can picture the inside of our mind. And for the first time, we can start to ask the previously unanswerable question, what is it that makes us human?«²

Sonderbar ist's, was Bildern als Aktanten alles zugemutet wird. Sie (die Bilder, diese Aktanten!) geleiten Menschen auf dem Weg zum Innern des Geistes. Was das wirklich bedeutet, wüsste man gern. Es hieß doch bereits früher, dass sich der Geist innen befindet, unter der Schädeldecke, in der lebenden Gehirnmaterie, und weder irgendwo auf dem Marktplatz noch zwischen Buchdeckeln. Erstaunlich auch, dass eine bisher nicht beantwortbare Frage, dank der Bilder, nun wenigstens formulierbar geworden ist. Als habe es vor den besagten Hirnbildern noch nie einen Versuch gegeben, das Menschliche in uns zu bestimmen, oder wenigstens im Groben anzugeben, wodurch wir uns von Steinen, Galaxien, Glühbirnen, Pferden und Muschelschalen unterscheiden würden. Merkwürdig endlich, dass vom Gehirn als *black box* die Rede ist, wo doch die Behavioristen nicht das Gehirn, sondern das Mentale als *black box* zu bestimmen pflegten, denn es wäre für behavioristisch geschulte Forscher theoretisch keineswegs verboten gewesen, ins Hirn zu blicken, es anatomisch zu beschreiben, es neurologisch als Sitz eben jener Funktionen zu bestimmen, das für das Zustandekommen zuerst bedingter, dann auch operanter Reflexe zuständig ist. Man wundert sich, warum ausgerechnet bildgebende Verfahren wie die Magnetresonanztomographie (MRT) oder die funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT) die *black box* öffnen sollten, wo doch seit geraumer Zeit ins Hirn ›geblickt‹ wird, etwa durch Beobachtungen an Hirnregionen, auf die ein Fenster in der Schädeldecke Einblick gewährt,³ oder mit Hilfe des Elektroenzephalogramms (EEG).⁴

2 Zit. nach Hannah Fitsch: ... *dem Gehirn beim Denken zusehen? Sicht- und Sagbarkeit der funktionellen Magnetresonanztomographie*, Bielefeld 2014, S. 91.

3 Siehe hierzu die Einleitung zu einem bis 2013 unveröffentlicht gebliebenen, von Hermann von Helmholtz verfassten Gutachten über die hirnphysiologischen Arbeiten Angelo Mossos;

Genau genommen muss man feststellen, dass dieser Neurologe schwafelt. Er lässt sich, unwissentlich oder aus Zynismus nach Beratung durch einen Medienexperten, von Bildern derart einnehmen, dass er wie einer spricht, der in einen Rausch für *tiefblickende* Verfahren geraten ist. Er ist übrigens nicht der einzige seiner Art. In der neurowissenschaftlichen wie auch in der medizinethischen Literatur ist ja im Zusammenhang der Rezeption von Hirnbildern nicht selten von jenem bereits erwähnten Weihnachtsbaum-Effekt die Rede. Wann genau der Ausdruck in die Literatur Eingang gefunden hat, entzieht sich unserer Kenntnis. Das genaue Datum spielt jedoch nicht die entscheidende Rolle. Vielmehr ist die Pointe dieses Ausdrucks wichtig. Sein Ziel ist nicht die Kritik an den bildgebenden Verfahren als solchen, noch die Kritik an Hirnbildern überhaupt, sondern eine Kritik daran, wie Hirnbilder aufgefasst, als was sie ausgegeben, wofür sie gehalten, welche Inhalte in sie hineingedeutet werden.

Der Ausdruck *Christmas tree effect* bezeichnet, wie die Suchmaschine des US-amerikanischen Patentamtes verrät, im Rahmen des Patentschutzes Gegenstände, die, obwohl sie keine Weihnachtsbäume sind, die Aura eines Weihnachtsbaums besitzen sollen. So wird im Patent 4,315,376 vom 16. Februar 1982 ein Produkt geschützt, das aus fachgerecht zugeschnittenen, ineinander verschachtelten dünnen Pappblättern besteht, und das, wie Weihnachtspost versandt, bei Erhalt dann so aufgestellt wird, dass ein dreidimensionaler Weihnachtsbaum zu sehen und der dazugehörige Oh!-Effekt zu hören ist. Überraschung! Die Augen glänzen, man sitzt schon vor den Geschenken unter dem echten Weihnachtsbaum, man ist glücklich und kindlich froh, man sieht einen Weihnachtsbaum, der kein Weihnachtsbaum ist. Wie im Märchen wird das Unsichtbare wirklich, anschaulich, unwiderstehlich einsichtig.

Der vergleichbare, in Hirnbildern steckende Effekt lässt sich ohne Zweifel nicht allerorten beobachten. Er muss dennoch verführerisch oder schwer beherrschbar sein, sonst würde man nicht seit einigen Jahren vor ihm warnen. Gewarnt wird vor der eilig vollzogenen oder gar eilfertig-interessierten Identifizierung eines unter eng umschriebenen Bedingungen aktivierten, durch bildgebende Verfahren festgestellten Hirnareals mit Persönlichkeitseigenschaften, etwa mit krimineller Veranlagung. Gewarnt wird nicht weniger vor diagnostischen Schlüssen aus einer Untersuchung durch fMRT-Verfahren auf die Entwicklung intellektueller Fertigkeiten bei Kindern. Nicht zuletzt wird auch gewarnt vor der Verwendung von Hirnbildern in Strafprozessen, weil sich Geschworene und Richter durch solche auf Papier fixierte Einbli-

Alexandre Métraux: »Introduction au rapport de Helmholtz sur Mosso«, in: *Philosophia Scientiae* 17 (2013), Heft 3, S. 199–204.

4 Zur Geschichte des EEGs siehe Cornelius Borck: *Hirnströme. Eine Kulturgeschichte der Elektroenzephalographie*. Göttingen 2005.

cke ins Gehirn als verbrecherisch eingestuft oder vorerst nur eines Verbrechens beschuldigter Menschen beeinflussen lassen könnten.⁵

Wie die Lektüre des erwähnten Patents den urheberrechtlich geschützten Weihnachtsbaum-Effekt entzaubern mag, ist eine ähnliche Entzauberung der Hirnbild-Effekte durch eine Betrachtung dessen zu erwarten, was auf Hochglanzpapier in so schön leuchtenden Farben als Geistes- und Sprachtätigkeiten und deren Lokalisation im menschlichen Gehirn gezeigt wird. Es geht im vorliegenden Beitrag also mitnichten darum, die durch MRT- und andere, ähnliche Verfahren gewonnenen anatomischen und funktionellen Neurodaten zu entwerten, sondern vielmehr darum, die Fabrikation der Produkte bildgebender Verfahren Schritt um Schritt darzustellen und auf die bei jedem dieser Schritte geltenden Randbedingungen hinzuweisen, damit man ermesen könne, was man sieht, wenn man auf derartige Hirnbilder blickt.

Damit man uns nicht entgegne, wir würden uns auf Daten fremder Personen beziehen und aus Untersuchungen Dritter schöpfen, haben wir uns entschlossen, unsere Köpfe im wahrsten Sinne des Wortes hinzuhalten, uns den apparativen Zwängen zu unterwerfen, an den Maschinen selbst zu arbeiten, die Datenflüsse nach Standardmethoden zu verwerten und die Ergebnisse unseres Ansatzes so ungeschönt wie möglich publik zu machen, auch auf die Gefahr hin, dass das Gehirn des einen als gefühllos und das des anderen als alterungsbeschädigt angesehen wird. Und damit wir auch der Beschönigung nicht geziehen werden, haben wir die apparativ gewonnenen Daten, d.h. die in den analytischen Arbeitsschritten erzeugten Zwischenergebnisse, gespeichert; sie können selbstredend auf Wunsch konsultiert werden.

Atomkerne und Kernspintomographie

Der *terminus technicus* »Kernspintomographie« ist ganz bei der von ihm bezeichneten Sache. Quantenmechanische Phänomene der Atomkerne (deshalb der Wortteil »Kern-«) sind es, die in der Kernspintomographie erfasst, gemessen, gewichtet werden. (Man kann übrigens auch einen ebenbürtigen *terminus technicus* verwenden, nämlich »Magnetresonanztomographie«; warum dem so ist, wird einige Zeilen weiter unten erklärt.)

5 Dieses Phänomen führte sogar dazu, dass Hirnbilder von Angeklagten in US-amerikanischen Gerichtsprozessen Geschworenen nicht mehr gezeigt werden dürfen, vgl. Felix Hasler: *Neuro-mythologie. Eine Streitschrift gegen die Deutungsmacht der Hirnforschung*, Bielefeld 2015, S. 220ff. Zur Debatte über persönlichkeitsrechtliche und andere Aspekte des Hirnbildgebrauchs siehe beispielsweise Andrew Fenton, Letitia Meynell und Françoise Baylis: »Ethical Challenges and Interpretive Difficulties with Non-Clinical Applications of Pediatric fMRI«, in: *American Journal of Bioethics* 9 (2009), S. 3–13; Anne Beaulieu: »Voxels in the Brain. Neuroscience, Informatics and Changing«, in: *Social Studies of Science* 31 (2001), S. 635–680; Cordelia Fine: »Will Working Mothers' Brains Explode? The Popular New Genre of Neurosexism«, in: *Neuroethics* 1 (2008), Heft 1, S. 69–72.

In jedem Atomkern sind Protonen enthalten (die Verwendung des Plurals von ‚Proton‘ ist berechtigt, außer im Falle von Wasserstoff, dessen Atomkern nur ein Proton enthält). Die Kernspintomographie hat es auf das Wasserstoffatom mit seinem einen Proton abgesehen. Protonen haben eine wichtige Eigenschaft, sie drehen sich nämlich ohne äußeres Zutun beständig um sich selbst, wie ewige Kreisel, aufgrund eines Eigendrehimpulses, englisch *Spin*.⁶ Durch die rotierende elektrische Ladung verhalten sie sich wie kleine Magnete und sind als solche ihrerseits von Magnetfeldern beeinflussbar. Werden sie einem einigermaßen starken Magnetfeld ausgesetzt, so richten sie sich daran aus; dabei erfährt ihr Spin auch eine Veränderung in dem Sinne, dass sich die Spins der Protonen synchronisieren. Wird dieses Magnetfeld unwirksam, kehren die Protonen nach einer gewissen Zeit von sich aus in die ursprüngliche Lage zurück; ferner löst sich die Synchronizität ihrer Spins auf. Hat man durch Anlegen eines starken äußeren Magnetfelds die Spins nach den besagten Eigenschaften ›geordnet‹, kann man sie nun ganz gezielt in eine andere Ausrichtung ›schießen‹. Das macht man mittels eines starken Radiosenders, der einen Energieimpuls in einer bestimmten Frequenz auf das in der Röhre liegende Objekt (im vorliegenden Fall: das Gehirn) einstrahlt. Dadurch werden die Spins aus ihrer parallel zum ursprünglichen Magnetfeld ausgerichteten Lage ›herausgekippt‹ und kehren nach der Beendigung des Impulses in die Ausgangslage zurück. Verschiedene Gewebearten im Körper, also auch im Gehirn, unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Protonendichte, der ›Erholungszeit‹ der Spins (bis sie also wieder neu beschossen werden können) sowie hinsichtlich des Zeitverlaufs des Abklingens des Signals. Diese Unterschiede werden später in Helligkeitsgrade im Bild umgesetzt, so dass sich die anatomischen Strukturen auch im Bild abzeichnen.

Es ist bereits an dieser Stelle hervorzuheben, dass die Funktionen lebender Organismen, insbesondere auch die vom Menschen erlebten psychischen und körperlichen Prozesse, unter dem Einfluss von Magnetfeldern, wie sie derzeit von bildgebenden Verfahren eingesetzt werden, nicht verändert und somit auch nicht gestört werden.⁷

Die Gewinnung verwertbarer Signale (d.h. der allerersten Rohdaten der Bildgebung) gründet auf drei Magnetfeldern (entsprechend den drei Raumebenen), die so eingesetzt werden, dass sie mit einer steuerbaren Frequenz die Zielobjekte (die Pro-

6 Siehe z.B. Dominik Weishaupt, Viktor D. Köchli und Borut Marincek: *Wie funktioniert MRI?*, Berlin und Heidelberg 2002.

7 Dies verhält sich zumindest nach jetzigem Kenntnisstand so. Höhere Magnetfeldstärken, mit denen derzeit experimentiert wird (siehe Denis Le Bihan: *Le cerveau de cristal. Ce que nous révèle la neuro-imagerie*, Paris 2012), sind für Forschungen am Menschen nicht zugelassen, u.a. aufgrund physiologischer Wechselwirkungen, also der Tatsache, dass das Magnetfeld sogar neurophysiologische Prozesse beeinflusst, was sich beispielsweise in optischen Täuschungen (phosphenartigen Lichtblitzen) oder in Übelkeit manifestiert. In ausgewählten klinischen und Forschungszentren der Bundesrepublik Deutschland und Frankreichs wird mit Magnetfeldstärken bis zu 7 Tesla am Menschen geforscht.

tonen) anregen. Die Zielobjekte werden dadurch in vorab bestimmte (also programmierbare und von Fall zu Fall programmierte) Positionen gebracht, so dass (a) die Lageveränderung und (b) die dadurch entstehende Veränderung der Magnetisierung von einer Empfangsspule erfasst werden.⁸

In Anbetracht dieses Umstands werden die Zielobjekte (die Protonen vorwiegend im Wasser, dann aber auch die Hämoglobin-Moleküle in den roten Blutkörperchen)⁹ nicht zeitgleich, sondern *Schicht um Schicht* angeregt. Es werden sozusagen Magnetisierungsschnitte erzeugt. Die rasch in Reihen entstehenden Spannungen werden von der Empfangsspule aufgenommen und als Signale an jenen Maschinenteil weitergeleitet, der sie mittels Fourieranalysen zerlegt, d.h. in Teilmengen und Teiluntermengen unterteilt, damit die derart gewonnenen Daten als Bilder aufgearbeitet werden können.

Das schnittweise vollzogene Prozedere, mit dem die auf Magnetkräfte ansprechenden Atomteilchen angeregt werden, erklärt den Wortteil »-tomographie«, der sich vom griechischen Wort *tomein* (schneiden) ableitet.

Die hier zum Einsatz kommenden bildgebenden Verfahren sind folglich maschinell eingerichtete Vorrichtungen, die riesige Ströme elektrischer Impulse nach ausgeklügelten Algorithmen sortieren und in Voxel übertragen – in dreidimensionale Bildpunkte, die jeweils einen kleinen Ausschnitt aus dem gescannten Raum mathematisch kodieren, wobei die Kodierung für eine ganze Serie aufeinanderfolgender Messzeitpunkte erfolgt. Je stärker das Magnetfeld des Scanners, desto kleiner können diese Voxel sein, desto mehr Informationen über den gescannten Raum sind folglich vorhanden. Bei kommerziellen Scannern kommen Magnetfelder von 2 bis 3 Tesla zum Einsatz (1 Tesla entspricht der Stärke von rund 20000 Erdmagnetfeldern).¹⁰

Die bisherigen Darlegungen zeigen, dass *nicht* Gehirne als in sich strukturierte organische Massen *insgesamt* untersucht werden. Erfasst werden vielmehr Verhaltensweisen von Protonen im Hirn unter dem Einfluss von Magnetfeldvariablen.

Die bisher beschriebene Vorgehensweise ist im Groben das, was in der routinemäßigen klinischen Anwendung des MRT passiert, etwa, wenn Ärzte nach einem Tumor im Gehirn fahnden oder Ort und Größe einer Hirnblutung darstellen wollen (natürlich lässt sich diese Technik auch auf andere Körperregionen anwenden, etwa Knie, Herz oder Wirbelsäule).

8 Siehe hierzu Marinus T. Vlaardingebroek und Jacques A. den Boer: *Magnetresonanzbildung. Theorie und Praxis*, Berlin, Heidelberg und New York 2004, S. 60.

9 Siehe Linus Pauling und Charles D. Coryell: »The Magnetic Properties and Structure of Hemoglobin, Oxyhemoglobin and Carbonmonoxyhemoglobin«, in: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 22 (1936), S. 210–216.

10 Das Erdmagnetfeld besitzt die Stärke von $5 \cdot 10^{-5}$ T (T steht für Tesla). Die Messung der Erdmagnetstärken ist orts- und richtungsabhängig; allerdings sind die Schwankungen des Messwerts minimal.

Die Hirnbilder mit ihren leuchtenden Farben, die uns buchstäblich als das ›Feuern‹ von Nervenzellen ins Auge springen (mit der Aura des oben erwähnten Weihnachtsbaums), sind mit der gerade geschilderten Technik nicht zu gewinnen. Das erreichen erst jene MRT-Verfahren, die mit dem Adjektiv ›funktionell‹ erweitert werden, also die fMRT-Maschinerien. Die fMRT-Methode erfasst physiologisch unterscheidbare *Hirnfunktionen*, genauer: Inhomogenitäten im Magnetfeld aufgrund sich verändernder Sauerstoffgehalte des Bluts. Gehen theoretische Vorannahmen schon in erheblichem Umfang in das MRT-Verfahren ein, so sind derartige Vorannahmen bei der Erfassung von Funktionsmerkmalen durch fMRT-Verfahren noch viel gewichtiger. Das wird später noch deutlich werden, wenn wir konkret eine Datenauswertung in Einzelschritte zerlegen. Wichtig an dieser Stelle ist das, was man als fMRT-Logik bezeichnen könnte: Wenn das Gehirn arbeitet, steigt der Sauerstoffverbrauch in den arbeitenden Hirnregionen. Da das Gehirn, je nach Aufgabe, wahrscheinlich nicht überall mehr Sauerstoff konsumiert, sondern nur in den Arealen, wo Funktionen ihren ›Sitz‹ haben, die gerade für eine Aufgabe beansprucht werden, erhöht sich der Sauerstoffbedarf *regional*, d.h. an einigen Stellen überproportional im Vergleich zu anderen, von der Verrichtung nicht beanspruchten Gebieten. Sauerstoff wird im Hämoglobin der roten Blutkörperchen transportiert. Wird irgendwo mehr Sauerstoff benötigt, erhöht sich dort die Konzentration oxygenierten (also sauerstoffhaltigen) Hämoglobins gegenüber desoxygeniertem (also sauerstoffarmem). Beide Hämoglobin-Typen besitzen unterschiedliche magnetische Eigenschaften, die dementsprechend vom angelegten Magnetfeld jeweils anders angeregt werden. Diese Veränderungen lassen sich ebenfalls von der Empfangsspule aufnehmen. Die Blutflussveränderung ist indes relativ träge, sie liegt im Sekundenbereich, während die Nervenzellaktivität selbst im Millisekundenbereich liegt, wir werden darauf noch zurückkommen.

Was in den wissenschaftlichen sowie allgemeinverständlichen Darstellungen der Neurowissenschaften und hier insbesondere der Neuropsychologie gelegentlich ausgelassen wird, ist der Umstand, dass schon in der Röhre allerlei Artefakte entstehen können. Das führt dazu, dass die auf dem Bildschirm erscheinenden Bilder nicht das sind, was man gerade dort sieht, es sei denn, man würde genau die Prozesse der Bildgebung und deren Fehlerquellen sowohl in theoretischer wie in praktischer Hinsicht kennen.

Die Diskrepanz zwischen dem Augenschein und der Bildsemantik erklärt sich aber nicht allein durch eventuelle apparatbedingte Artefakte, sondern auch durch die methodisch notwendigen Transformationsschritte, die von den magnetisierten Protonen in der Hirnmasse zum fertigen Hirnbild auf einem Bildschirm oder auf einem Ausdruck zu vollziehen sind. Artefaktkorrekturen gibt es selbstredend auch anderswo. So lassen sich rote Blitzaugen auf Digitalfotos mittels Software berichtigen. Das derart korrigierte Bild bleibt allerdings nach wie vor eine optisch bedingte

Abbildung, während MRT- und fMRT-Bilder, wenn sie denn etwas wiedergeben, magnetisierte Protonen darstellen, und nicht (im strengen Sinne des Wortes) Hirnareale, Hirnfunktionen oder zerebrale Funktionsausfälle (mehr dazu weiter unten). Was man auf dem Bildschirm oder auf anderen, entsprechenden ikonischen Zeichenträgern vom menschlichen Hirn sieht, ist – um es ohne Umschweif auszusprechen – geschönt. Man könnte auch sagen: es handelt sich um eine Idealisierung. Es muss sich sogar um eine Idealisierung handeln, denn sonst würde man, wie vorhin bemerkt, nichts im eigentlichen Sinne *sehen*. So wird nachbearbeitet, normiert und normalisiert (einzelne Episoden dieser Normierung und Normalisierung werden weiter unten erläutert).

Vlaardingeboek und den Boer äußern in ihrer Monographie: »Artefakte sind Bilderscheinungen, die nicht vom Objekt stammen. Sie können zu Fehldiagnosen führen. Artefakte lassen sich nicht vermeiden. Wenn man sie schon nicht beseitigen kann, sollte man sie verstehen, und mit in die Überlegungen einbeziehen.«¹¹ Welches Hirnbild eventuell etwas zeigt, das dem Objekt – dem durch ein MRT-Verfahren erfassten Gehirn – nicht gehört, sondern durch die Bildgebungsprozeduren bedingt wird, lässt sich am fertigen Bild als solchem nicht ohne weiteres erkennen (es sei denn an Illustrationen wie den eingangs erwähnten, die jeder haltbaren Ontologie und psychologischen Theorie spotten). Noch lässt sich vom betrachteten Bild zurückverfolgen, wo etwas korrigiert wurde, gleichviel, ob die Korrektur ein maschinell bedingtes Artefakt oder einen Irrtum in der Bearbeitung der anfallenden Rohdaten betrifft.

Allerdings ist das Bewusstsein, dass Artefakte stets möglich, ja sogar – glaubt man den beiden zuletzt zitierten Autoren, denen zu misstrauen kein Grund besteht – gelegentlich unausweichlich sind (sie bilden, auch das sei jetzt schon festgehalten, nur eine unter verschiedenen Gattungen praktischer *constraints*), Anlass und stille Aufforderung genug, Hirnbilder nicht mehr als wunderbare, das Seelenleben offenbarende oder Persönlichkeitsmerkmale nachweisende *Abbildungen* »anzublicken«.

Hinein in die Maschine: eine fMRT-Experimentalsitzung

Wir beschreiben nun Schritt um Schritt das Verfahren der Hirnbildgewinnung, wobei das Gehirn des einen Autors als Objekt sowohl der Erfassung von Hirnstrukturen und -funktionen wie auch der nachstehenden Beschreibung aufzufassen ist.

Nach zureichender Vorbereitung wird der Proband (also der eine Autor) gebeten, sich auf einen verschiebbaren Tisch zu legen (siehe Abbildung 2). Die Vorbereitung besteht darin, alle Gegenstände am Körper, die magnetische Metalle enthalten, vor

¹¹ Vlaardingeboek: *Magnetresonanzbildgebung*, a.a.O., S. 91.

dem Betreten des Maschinenraums (so bezeichnen wir den Raum, in dem sich die Röhre befindet) in eine Schachtel zu legen.

Der Tisch wird in die Röhre gefahren und manuell vorjustiert, will sagen: so rechtgerückt, dass der Proband sich innerhalb der Röhre möglichst wohlfühlt und dass sein Körper während etwa 45 Minuten entspannt und völlig reglos verharren kann. Der Proband befindet sich in einer Umgebung, die dem Alltag und den dort gegebenen Bewegungsspielräumen fremd ist. Das Gehirn ist aber eigentlich auf diesen Alltag eingestellt. So wird in der Röhre ein unnormaler Zustand, eine im Vergleich zu der des Alltags höhere Selbstaufmerksamkeit erzeugt. Dass dies auf die zu erfassenden psychischen Prozesse abfärben kann, wird oft nicht in Rechnung gestellt. Zudem schließt die Enge der Röhre manche Personen von der Teilnahme an Experimenten aus. Die einen leiden an Klaustrophobie, andere sind adipös, noch andere können nicht stillhalten, noch andere haben magnetische Metallteile im Körper, und so weiter.

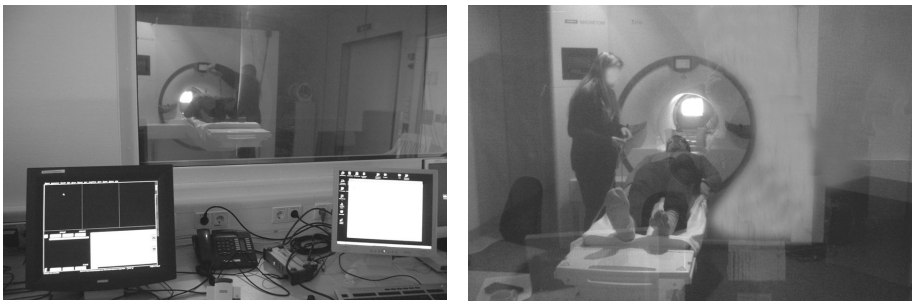


Abb. 2: A: Im Steuerungsraum. B: Der Proband wird für die MRT-Sitzung vorbereitet.

Der Maschinenraum wird geschlossen. Von nun an erfolgt die Verständigung mit dem Probanden über Mikrofon und Kopfhörer. Letzterer dient im Übrigen dazu, den vom Apparat verursachten höllischen Lärm zu dämpfen. Dann wird der Apparat, aus dem Nebenraum mit Aussicht auf die Röhre, durch Befehle auf einer mit einem Bildschirm gekoppelten Tastatur gesteuert (siehe Abbildung 2A). Die Feinjustierung des Apparats für die Tomographiesitzung wird vorgenommen. Der Proband wird gefragt, ob für ihn alles in Ordnung sei. Er bejaht die Frage.

Nach einem Probedurchlauf beginnt die Tomographiesitzung. Sie besteht aus zwei Episoden. In der einen Episode wird die Anatomie des Kopfes, in der anderen dagegen werden Funktionsherde oder -areale erfasst. Dass beides nicht in einem einzigen, ungeteilten Durchlauf zu erzielen ist, hat weder mit der anatomischen Beschaffenheit des Hirns (oder überhaupt eines lebenden, tomographierbaren Organismus) noch mit der Besonderheit der menschlichen Psyche zu tun, sondern ist den

Verrichtungen der Maschinerie geschuldet. Anders gesagt: wer psychische Funktionen in einem Hirn zu lokalisieren die Absicht hat, muss mit beiden Episoden Vorlieb nehmen. In welcher der beiden Episoden ein/e Proband/in zuerst getestet wird, ist für die Lösung der Forschungsaufgabe nicht entscheidend; pragmatische Faktoren fallen bei der Wahl ins Gewicht, etwa Ermüdungsneigungen.

In unserem Fall handelt es sich um eine, wie man sagt, geschlossene Röhre, d.h. um eine Röhre mit engem Durchmesser. Der Proband ist aufgefordert, während der etwa 45 Minuten dauernden ersten Episode unbewegt zu liegen und die in der ihm gestellten Aufgabe nötigen Fingerbewegungen so ökonomisch wie möglich auszuführen. Der Proband in der Röhre betätigt also eine Vorrichtung, die zwei Knöpfe aufweist (siehe speziell weiter unten). Er kann übrigens, wenn irgendetwas Unangenehmes vorfällt (Angst, Übelkeit, Muskelkrämpfe usw.), einen kleinen Gummiballon drücken. Dann wird die Untersuchung unterbrochen, es wird mittels Mikrofon eine Sprechverbindung in die Röhre hergestellt und eine Stimme erfragt den Grund der Unterbrechung, was die Versuchssituation insgesamt noch fremdartiger werden lässt.

Die Aufgabe des Probanden besteht in unserer Fallstudie *ausdrücklich nur* darin, auf einen Spiegel zu achten, auf dem durch einen Projektor in zufälliger Reihenfolge und jeweils zwei Sekunden lang runde Fotografien dargeboten werden.¹² Vor jeder Darbietung erscheint während einer Sekunde ein Fixationskreuz, damit der Proband wisse, dass die nächste Fotografie ansteht. Jede Fotografie ist entweder von zwei oder von sechs Buchstaben umgeben, die wiederum zufällig auf Punkten eines imaginären Umkreises angeordnet sind. Unter diesen Buchstaben ist entweder ein »X« oder ein »N« vorhanden. Den einen oder den anderen dieser zwei Buchstaben zu erkennen – das, *und nur das*, ist die Aufgabe, die zu lösen der Proband aufgefordert ist. Dazu hat er unter seiner rechten Hand einen kleinen Plastikkasten mit zwei Druckknöpfen liegen, einen unter dem Zeige-, den anderen unter dem Mittelfinger. Meint der Proband, dass ein »X« zu sehen ist, soll er so schnell wie möglich die linke Taste betätigen, bei einem »N« dagegen die rechte. Nur wenn die Taste innerhalb von zwei Sekunden gedrückt wird, wird die Antwort als richtig oder falsch gewertet. Zur Vereinfachung der Aufgabe und weil die Apparatur jeweils nur einen Tastendruck aufzeichnen kann, werden »X« und »N« nie zeitgleich dargeboten. Deshalb ist jeweils nur *eine* Taste zu betätigen. Das heißt, die mit den Buchstaben dargebotene *Fotografie im Mittelpunkt des Bildschirms ist für die dem Probanden gestellte Auf-*

12 Der unserer Untersuchung zugrundeliegende Versuchsplan orientiert sich weitgehend an einer Vorgängeruntersuchung über neurale Reaktionen auf emotional besetzte Bildinhalte unter verschiedenen Aufmerksamkeitsanforderungen, vgl. Hadas Okon-Singer, Jan Mehnert, Jana Hoyer, Lydia Hellrung, Herma L. Schaare, Juergen Dukart und Arno Villringer: »Neural Control of Vascular Reactions: Impact of Emotion and Attention«, in: *Journal of Neuroscience* 34 (2014), S. 4251–4259. Im vorliegenden Beitrag wird allerdings nur das verhandelt, was für den Bericht der Hirnuntersuchung unseres Probanden (also des einen Autors) unerlässlich ist.

gabe irrelevant. Sie fungiert als *Ablenker*. Es handelt sich jedoch um einen Ablenker, der sich nicht nur aufgrund seiner Nähe zu den Buchstaben, sondern auch aufgrund seiner Bildinhalte kaum umgehen lässt. Einerseits werden Szenen, Personen oder Dinge gezeigt, die als überwiegend emotional ›neutral‹ einzuschätzen sind (eine blaue Tasse auf einem Tisch, ein halboffener Reißverschluss, ein bulliger Hydrant usw.). Andererseits gibt es auch emotional hochgradig ›negative‹ Fotografien. Diese Bewertung entspricht im Übrigen dem Eindruck, den der nun in der Röhre liegende Proband von den Bildern erhält. Bilder von Fäkalien in überlaufenden Toiletten, toten Kinder, Leichen mit abgefahrenem Kopf, blutüberströmten Gesichtern usw. werden unzweifelhaft als ekelerregend oder als abscheulich erlebt.

Der Dämon steckt im Detail

Bei den Bildvorlagen handelt es sich um international verfügbares und normiertes Bildmaterial, nämlich um das so genannte *International Affective Picture System* (IAPS).¹³ Die Vorlagen werden ausschließlich für Studienzwecke zur Verfügung gestellt. Der Grund dafür liegt weniger darin, die Öffentlichkeit mit den Bildinhalten nicht zu schockieren, als vielmehr darin, dass die Bilder an ›Effizienz‹ einbüßen würden, wenn zukünftige Versuchspersonen sie schon einmal gesehen hätten. Eine Grundregel experimental-psychologischer Forschung besagt nämlich, dass Versuchspersonen hinsichtlich des Materials wie auch der Fragestellung naiv sein sollen.

Nun gilt es, Daten zu gewinnen, welche die Beantwortung der Frage befördern, ob die zeitgleich mit den Buchstaben »X« und »N« dargebotenen Fotografien aufgrund ihres affektiv geladenen Inhalts spezifische Hirnreaktionen verursachen, *obwohl die eigentlichen Reizdarbietungen für die dem Probanden gestellte Aufgabe irrelevant sind*. Sollte sich die Annahme, dass die Bildinhalte entgegen der Instruktion ›wirken‹, als hochplausibel erweisen, dann müssten emotional negative Fotografien andere Aktivierungen auslösen als die emotional neutralen.

Ferner ist zu prüfen, ob die von den Fotografien verursachten Hirnreaktionen auch vom Grad der Aufmerksamkeit für die eigentliche Aufgabe abhängen. Dabei wird angenommen, dass das Erkennen von »X« oder »N« aus sechs Buchstaben dem Probanden mehr Aufmerksamkeit abverlangt als das Erkennen von »X« oder »N« in Anwesenheit nur eines anderen Buchstabens. Die dabei erfahrungsgemäß als akti-

13 Siehe Peter J. Lang, Margaret M. Bradley und Bruce N. Cuthbert: *International Affective Picture System (IAPS): Affective Ratings of Pictures and Instruction Manual*, Gainesville FL 2008.

vierbar geltenden Hirnzentren sind die Amygdala und der insuläre Kortex, also Teilstrukturen des Limbischen Systems.¹⁴

An dieser Stelle ist eine Besonderheit hervorzuheben, die in der Darstellung von Studien in der Öffentlichkeit selten erwähnt wird. Kein, oder so gut wie kein psychologisches Experiment, gleichviel, ob es neurowissenschaftliche Verfahren (fMRT, EEG usw.) einsetzt oder bloß Reaktionszeiten misst, beruht auf nur *einer* Manipulation (in unserem Fall wäre dies die Darbietung von Bildern mit stark emotional negativem Inhalt). Vielmehr wird stets ein *Vergleich* angestellt. Erst der Vergleich fördert Unterschiede zwischen einer Bedingung (Darbietung negativ geladener Bilder) *und* einer Vergleichsbedingung (Darbietung von Bildern ohne negative Affektpotentiale) zutage, die ansonsten in allen übrigen Aspekten der unmittelbar interessierenden Bedingung gleicht. Warum ist eine derartige Maßnahme unumgebar? Würde man Versuchspersonen im Scanner nur einer Art von Reizmaterial aussetzen (hier: Fotografien mit negativen Affektpotentialen), so würden die affektiven Inhalte im Hirn zwar vermutlich zu einer bestimmten Reaktion führen; es wären dann indes auch andere Areale des Gehirns aktiv, die auf emotional geladene Reize gar nicht reagieren, sondern nur darauf, (a) dass es sich um optische Reize handelt, (b) dass es bestimmte Objekte sind, die erkannt und klassifiziert werden können, (c) dass Versuchspersonen irgendwelche Gedanken durch den Kopf gehen usw. Von genau diesen – unspezifischen – Reiz- und Reaktionskonstellationen muss man also irgendwie absehen können, damit im Ergebnis nur das im Hirnbild *isoliert* wird, was mit negativen Emotionen als solchen einhergeht. Dies erreicht man eben dadurch, dass eine zweite Bedingung eingebaut wird, die – *mutatis mutandis* – die gleichen unspezifischen Hirntätigkeiten auslöst (in unserem Fall: Reaktionen der optischen Hirnareale, Reaktionen der für die kognitive Objekterkennung zuständigen Areale usw.). Erst aus dem Vergleich zweier Bedingungen, die sich – *ex hypothesi* – nur in einem Faktor (emotionale Valenz ›negativ‹ vs. emotionale Valenz ›neutral‹) unterscheiden, kann man herauslesen, was im Gehirn hinsichtlich der dargebotenen Fotografien geschieht.¹⁵

Offenkundig kann ein derart komplexes Verfahren ohne statistische Hilfsmittel nicht zum Ziel führen. Es werden folglich *stets merkliche, messbare Bedingungsunterschiede* erfasst und mituntersucht. Man kann auch sagen: es werden *experimentelle Effekte* untersucht, und auch nur diese können, strenggenommen, mit der Aktivität eines oder mehrerer Hirnareale in Verbindung gebracht werden. Das heißt, allein ex-

14 Die Studie verband die Erfassung der Hirnaktivität noch mit einer zeitgleichen Aufzeichnung des Blutdrucks; auf diesen Aspekt gehen wir hier jedoch nicht ein.

15 Dasselbe gilt in unserem Fall für den anderen Faktor, nämlich den Aufmerksamkeitsgrad beim Erkennen der Buchstaben »X« oder »N«.

perimentelle Effekte, nicht dagegen eine oder mehrere *Funktionen* als solche, lassen sich mit Hirnarealen in Beziehung setzen.¹⁶

Aus Studien geht hervor, dass negative und neutrale Fotografien sich in mehr unterschieden als in der reaktionsauslösenden Emotion. Eine Klosschüssel sieht anders aus als eine Suppenschüssel, blutüberströmte Gesichter sehen anders aus als Hydranten, so dass wahrscheinlich nicht exakt dieselben neuralen Strukturen aktiviert werden. Zur Erfüllung der Forderung, dass in beiden Bedingung *allein* und *ausschließlich* der Aspekt der Emotion die Differenz bestimmt, müsste es Fotografien schreckenerregender Hydranten geben wie auch Fotografien blutüberströmter Gesichter, die weder Ekel noch Abscheu noch Angst auslösen. Zwar finden sich im gesamten verwendeten Bildmaterial auch schreckenerregende Gegenstände (etwa Pistolen) und freundlichst anlächelnde Gesichter. So lässt sich immerhin der Vorwurf vermeiden, dass man Unvergleichbares mit Vergleichbarem (also Menschen und Gesichter als emotional negative Variable und Gegenstände als neutrale Variable) vergleicht. Dennoch bestehen auch unversöhnliche Unterschiede zwischen den beiden Bedingungen. Wunden oder Blut sind als Variable in der emotional neutralen Bedingung nicht vertreten. Wie könnten sie auch? Fotografien ausfindig zu machen, auf denen man Blut aus Gesichtern fließen sieht, ohne dass diese bei durchschnittlichen Versuchspersonen Ekel oder Angst hervorrufen, würde noch so geübten Experimentatoren den letzten Schlaf rauben. Was tun?

Man ruft den Zufall zu Hilfe. Er ist in psychologischen Experimenten der wichtigste Helfer überhaupt. Fotografien, auf denen reale Szenerien zu sehen sind, unterscheiden sich in so vielen Details, dass wir *unsystematische Differenzen* vernachlässigen können; sie sind »zufällig«, sie werden sich weder immerfort wiederholen noch regelmäßig nur in der einen oder nur in der anderen Bedingung auftreten. Etwas, das im Experiment fotografisch nur einmal vorkommt, schlägt sich ohnehin nicht in einem Hirnaktivierungsbild nieder. Das ist ja der Grund, warum der Proband nicht nur gerade zwei Bilder im Scanner erblickt, nämlich ein schreckenerregendes und ein »neutrales«, sondern in beiden Bedingungen einige Dutzend. So entsteht ein Gesamteindruck wie auf einem verschneiten Abhang, auf dem Personen Schlitten fahren: Der erste Fahrer legt seine Spur, fährt vielleicht an einer Stelle zu weit rechts, dann zu weit links, bleibt ansonsten im Prinzip auf dem schnellen Mittelteil des Abhangs. Andere Schlittenfahrer halten es ein wenig anders. Und je mehr Schlittenfahrer den Abhang hinunterfahren, desto mehr werden sich die Spuren genau dort vertiefen, wo das Fahren am meisten Spaß zu machen scheint. Abweichungen nach links oder nach rechts, weil einer den Schlitten nicht überall lenken konnte, wird es auch noch

16 Vgl. Stefan Frisch: »Das Primat des Lebendigen: Kurt Goldsteins Konzept des Organismus und seine Implikationen für die heutige Neuropsychologie«, in: *Zeitschrift für Neuropsychologie* 25 (2014), S. 153–164 sowie Stefan Frisch: »How Cognitive Neuroscience Could Be More Biological – and What it Might Learn from Clinical Neuropsychology«, in: *Frontiers in Human Neuroscience* 8 (2014), Artikel 541, doi: 10.3389/fnhum.2014.00541.

geben, aber sie bilden nur ein zufällig-wirres Muster oberflächlicher Rinnen, die beim nächsten zarten Neuschnee sofort zugedeckt würden. Ähnlich verhält es sich mit den hier erwähnten experimentellen Reizen: Je häufiger Fotografien emotional-negativen Inhalts im Scanner zu sehen sind, desto eher treten die *systematischen* Unterschiede zu den Fotografien des anderen, neutralen Typs hervor, während die zufälligen vernachlässigt werden können. Auf diese Weise den Zufall als Helfer zu verpflichten, ist ein gängiges und im Sinne der Experimentalmethodik auch ein legitimes Prozedere. Nur stellt es eine Idealisierung dar, die in voller Absicht (wenn es denn mit kritischem Verstand zugeht) vollzogen wird. Wir setzen etwas voraus, das wir kaum überprüfen können. Wir schlagen, so gut es geht, einen methodisch vertretbaren Weg ein, den Rest überlassen wir dem hilfreichen Zufall.

Das Versuchsobjekt als Versuchssubjekt oder der denkende Blick aus der Maschine

Was geht dem Probanden durch den Kopf, während er reglos im Scanner liegt, Buchstaben sucht, Knöpfe drückt und dabei auf Fotografien blickt, von denen viele die Grenzen des Erträglichen überschreiten? Seine Gedanken kann er während der fMRT-Sitzung nicht aufschreiben. So sind in unserem Fall seine Eindrücke kurz nach dem Laborbesuch aufgeschrieben worden – aus der Erinnerung, die, wie man weiß, gelegentlich trügt. Das derart entstandene Gedächtnisprotokoll ist weder vollständig noch chronologisch getreu. Es soll lediglich verdeutlichen, dass in einem Scanner nicht einfach ein Etwas, eine organisch hochkomplexe Maschine untersucht wird, die wir ›Gehirn‹ nennen, sondern eine Person, für die es sich so oder anders *anfühlt*, in einer Scanner-Röhre die beschriebene Aufgabe zu lösen.

Dieser Lärm, seltsam hier. Sollte ich nicht eigentlich vertraut sein mit dieser Röhre? Ich fühle mich diesmal sehr fremd, wie in einem Raumschiff, in der Schwerelosigkeit. Nicht nur der Körper ist eingezwängt, irgendwie ist es auch der Geist, wenn ich auf die nahe Wölbung über mir blicke. Wie schwierig ist es wohl, sechs Buchstaben abzuscanen in so kurzer Zeit? Aha, jetzt soll also meine Amygdala aktiviert werden. Aber da sind doch auch Bilder, die gar keine Angst auslösen, sondern eher Ekel. Wird da wirklich die Amygdala aktiviert? Da wird doch bei Ekel eher die Insel aktiviert, oder? Spielt das eine Rolle, dass ich jetzt darüber nachdenke? Aktiviert das Bild überhaupt etwas? Und was? Warum dauert das Experiment so lang? Es wurde doch gesagt, dass es nur siebzehn Minuten dauert. Es kommt mir viel, viel länger vor. Warum gibt es denn ständig Pausen? Es werden immer mehrere Bilder von derselben Sorte gezeigt. Warum sind die Serien so kurz? Wäre es nicht besser, das durcheinander zu machen? So wird es doch in Experimenten getan. Wie würde es hier drinnen Versuchspersonen ergehen, die berichten, dass sie in vergleichbaren Situationen schon Panik erlebt haben? Ist schon interessant, das Ganze. Ist in früheren Experimenten eigentlich überhaupt etwas herausgekommen? Und jetzt? Zeige ich den gleichen Effekt oder nicht? Macht das denn was aus, wenn ich jetzt über all diese Dinge nachdenke? Eigentlich nicht, denn die Amygdala wird automatisch akti-

viert, heißt es doch. Man müsste trotzdem auf den Hirnschnitten etwas sehen! Und wenn nicht? Bin ich dann vielleicht gestört? Oder hat's einfach nicht funktioniert? Ein totes Kind auf dem Bild, oje, da muss man sofort an seine Kinder denken, shit, ich würde durchdrehen. Oh! Dieses Bild mit der Pistole, das ist doch in einem Vortrag gezeigt worden. Es sieht jedenfalls sehr ähnlich aus. Da sind üble Bilder dabei, pah, man könnte doch eigentlich an den Bildern vorbeischaun, nur auf die Buchstaben achten. Aber darf man das überhaupt? Au weia, das Bild ist schon vorbei und ich hab' den Buchstaben noch nicht gefunden. Ich drück jetzt einfach irgendwas. Jetzt hab ich so lange gesucht bei den Buchstaben. Hab' ich das Bild überhaupt gesehen? Macht nix, es gibt einen direkten Pfad vom visuellen Kortex zur Amygdala! Bleibt überhaupt noch Zeit für die zweite Untersuchung? Dieses Bild hab' ich bestimmt schon einmal gesehen! Macht das denn etwas aus, wenn ich Bilder zweimal sehe? So viel Angst wie beim ersten Mal kann's ja wohl nicht mehr geben. Uff, endlich vorbei, wurde auch Zeit.

Woher wissen wir, *in welcher Weise* sich all diese Assoziationen in Hirnaktivitäten niederschlagen? Die Antwort lautet: Wir wissen es nicht. Aber auch hier verlässt sich die Experimentalmethode auf den Zufall. Reflexionen darüber, wozu das Experiment dient, macht sich vermutlich jede Versuchsperson. Mal wird bei diesem Bild, dann bei jenem etwas mitgedacht, so dass bei allen Bildern angenommen werden kann, dass das Nachdenken jeweils gleichwahrscheinlich ist. Deshalb braucht zwischen den Bedingungen nicht mehr unterschieden zu werden, zumal dann, wenn nicht nur, wie in dieser Fallstudie, ein Proband, sondern in einem entsprechenden Experiment ganze Stichproben untersucht würden. Wie bei der Schlittenfahrinne wird am Ende nur das sichtbar sein, was immer wieder in ähnlicher Weise durch die verschiedenen Bedingungen hervorgerufen wird, nämlich Angst und Ekel bei den emotional negativen Bildern, »kein Gefühl« bei neutralen. Zu den Gedankenketzen des in der Röhre sinnierenden Probanden gehören auch solche, die es mit Fachwissen zu tun haben. Über Sinn und Zweck der fMRT-Untersuchung würde wohl eine neuropsychologisch unbedarfte Versuchsperson auch nachdenken. Sie würde aber kaum darüber nachdenken, ob ihre Amygdala nun, wie es im Lehrbuch steht, aktiviert wird. Tritt hier ein sozusagen künstlicher Proband auf? Es mag zunächst den Anschein haben, als sei dem so. Man sollte aber nicht übersehen, dass die überwiegende Mehrheit der Versuchspersonen in psychologischen Experimenten aus Studierenden der Psychologie (oder von Nachbardisziplinen) besteht, die ein bestimmtes Kontingent an aktiver Teilnahme an Experimenten nachzuweisen haben. Ohne diese Versuchspersonen wären manche Studien entweder undurchführbar oder extrem teuer. Bildgebungsforschung macht immense Ausgaben für technische Mittel und Personal erforderlich. Die Tatsache, dass Versuchspersonen über Ziel und Zweck von Experimenten nachdenken und dabei auch auf Rahmenbedingungen (Versuchsleitung, Räumlichkeit, Aussehen des Raumes usw.) reagieren – ein Umstand, der auf die Untersuchungsergebnisse abfärben könnte –, wird in der Psychologie unter dem Stichwort »Sozialpsychologie des Experiments« seit den 1950er Jahren erforscht und

hat gelegentlich auch unter Forschern zur generellen Ablehnung psychologischer Experimentalmethoden geführt.¹⁷ Obgleich wir eine solch radikale Ablehnung als Extremmeinung bewerten, bleibt dennoch zu bemerken, dass in der Neuropsychologie Einflussfaktoren dieser Art kaum berücksichtigt werden;¹⁸ vermutlich deshalb, weil das Gehirn als ein mechanisches, von seinem Träger isolierbares Gebilde angesehen wird, das sich im Scanner wie auf dem Silbertablett präsentiert. Will man aber das Gehirn in Aktion untersuchen, muss man ja mit dessen »Besitzer« interagieren,¹⁹ so dass in aller Regel anzunehmen ist, dass Besitzer und Hirn darüber Gedanken hegen, was mit, oder an ihnen geschieht. Diese reflexiven Eigenschaften des Untersuchungsgegenstandes offenbaren eine Doppelbödigkeit des neurowissenschaftlichen Erkenntnisprozesses, die den klassischen Naturwissenschaften abgeht.

Wege und Umwege zur Bildherstellung

Was »im Geist« des Probanden in der Röhre geschah, ist soeben kurz beschrieben worden. Was ist in seinem Hirn geschehen? Anders gefragt: Was zeigen die Hirnbilder? Wer an dieser Stelle meint, dass sich das Neuronenfeuern auf eine Bildplatte eingebrennt hat, die nur noch entwickelt zu werden braucht wie ein analoges Filmnegativ, muss enttäuscht werden. Was geschieht, lautet die scannergerechte Frage, zwischen der Gewinnung der Rohdaten aus der Röhre bis zum Ausdruck (oder der Betrachtung auf einem Bildschirm) eines mehr oder weniger vielsagenden Hirnbildes? Diesen Prozess beschreiben wir in groben Zügen am Beispiel des Gehirns eines Autors dieses Beitrags, also des besagten Probanden (siehe Abbildung 3).

Die Abbildung zeigt vier Auswertungsstufen; jede Stufe ist durch drei Bilder vertreten, die den drei Dimensionen der Hirnschnitte entsprechen: koronar (oben links), sagittal (oben rechts) und axial (unten). Abbildung 3A zeigt die unbearbeiteten Rohdaten, also das, was der Scanner nach eingebauten Algorithmen auswirft. Was der Scanner auswirft, ist nichts Bildliches, sondern eine Masse an Zahlen, die verschiedene Eigenschaften dreidimensionaler Bildpunkte der Größe von 2 x 2 x 2 mm, sog. Voxeln, kodieren. Die bildliche Übersetzung dieser unübersichtlichen Menge an Zahlenmatrizen übersteigt jedes menschliche Vorstellungs- und Auffassungsvermögen. Es würde Jahre brauchen, bis die Zahlenmatrizen durch Rechen-, Schreib- und Zeichnungsarbeit aufbereitet wären. So ist der Vereinfachung (und vor allem der

17 Siehe Richard Hershel: »The Purpose of Laboratory Experimentation and the Virtues of Deliberate Artificiality«, in: *Journal of Experimental Social Psychology* 16 (1980), S. 466–478, hier S. 468f.

18 Siehe Frisch: »How Cognitive Neuroscience Could Be More Biological«, in: *Frontiers in Human Neuroscience* 8, a.a.O.

19 Siehe ebd., sowie Stefan Frisch: »Die Suche der Neuropsychologie nach sich selbst«, in: *Neurologie & Rehabilitation* 21 (2015), Heft 6, S. 317–326.

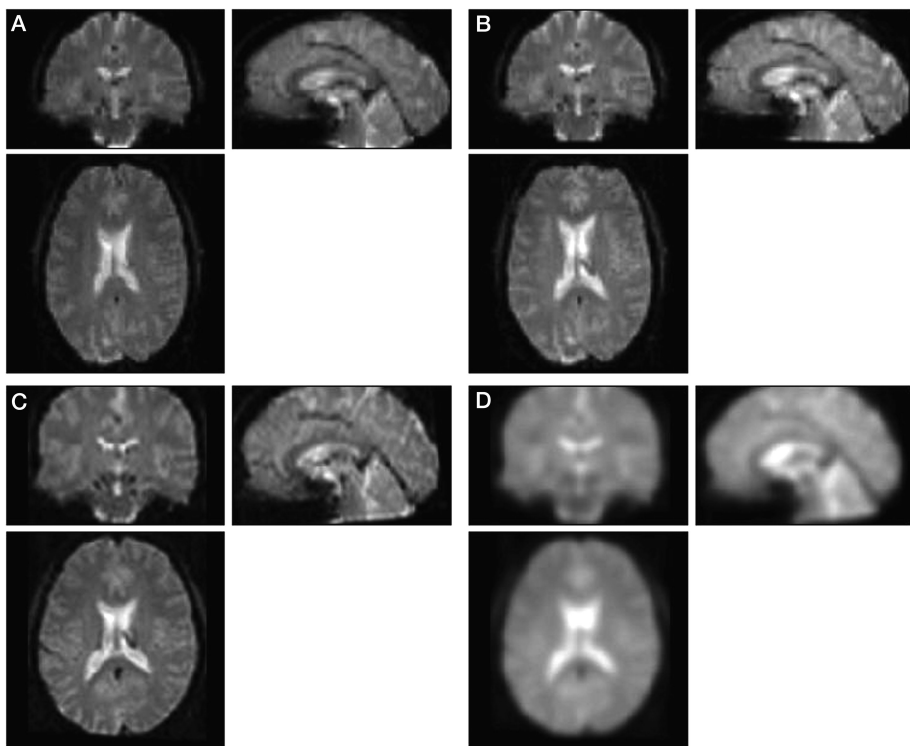


Abb. 3: Vorverarbeitung der Kernspindaten des Probanden. Es werden vier aufeinanderfolgende Schritte (von A-D) dargestellt (Erläuterungen im Text). Zu sehen sind einzelne Schritte der Bildgebung (Erläuterungen im Text).

Ökonomisierung) der Verarbeitungsprozesse halber ein Verfahren konstruiert worden, das die Übertragung der Voxel in optische Formen gewährleistet.

Auf der Abbildung 3A macht sich bereits eine anatomische Auffälligkeit des Probandengehirns besonders im axialen Schnitt bemerkbar. (Das ist die Schnittebene durch das Gehirn, die senkrecht zur Körperachse steht, so, als würde man die Schädeldecke abheben und scheinbar das Gehirn von oben nach unten abtragen; sie ist in jedem der vier Quadranten A-D jeweils links unten zu sehen.) Auffälligerweise ist die linke Hemisphäre größer und dehnt sich am hinteren Pol über eine imaginäre Mittellinie zwischen den Hirnhälften aus. Das Gehirn weist folglich eine markante Asymmetrie auf, anders als es die anatomischen Lehrbücher vermuten lassen, in denen symmetrische Hirne verbildlicht sind. Im Vergleich zu dem, was bei durchschnittlichen Versuchspersonen vorliegt oder nach dem Lehrbuchwissen vorliegen sollte, ist dieses Gehirn in der Tat nicht normal (und noch weniger normgerecht). Hier

erinnern wir allerdings an den Weihnachtsbaum-Effekt, d.h. an die an Suggestion grenzende Wirkung dieser Bilder insbesondere auf Laien. Was würde in den Köpfen von Geschworenen vorgehen, würden sie über unseren Probanden zu Gericht sitzen? Wäre nicht sofort offenkundig, dass an ihm etwas nicht stimmt? Zumal hirnanatomische oder hirnfunktionelle Abweichungen bei Straftätern oft als Ursache für deren Übeltaten unterstellt werden.²⁰ Kurt Goldstein hat allerdings in seinem vor mehr als achtzig Jahren erschienenen Hauptwerk *Der Aufbau des Organismus*²¹ bereits dargelegt, dass zwar jede Krankheit auf einer Abweichung beruht, jedoch nicht jede Abweichung auf einer Krankheit. Sonst gäbe es den medizinischen Begriff der ›Norm-varianten‹, also den Begriff einer als unbedenklich einzustufenden Abweichung hinsichtlich eines oder mehrerer Merkmale nicht.

Da der Scanner einzelne Schichten des Hirns nur nacheinander aufzeichnen kann, während der Proband die Aufgabe ausführt, und da er alle 2 Sekunden das Hirn von oben bis unten ›durchfährt‹, entstehen zahlreiche dreidimensionale Schichten verschiedener Schnitthöhen, die später wieder zu einem Gesamthirn zusammengesetzt werden müssen. Da sich auch geübteste Versuchspersonen, zu denen der Proband nicht zählt, trotz gegenteiliger Aufforderung gelegentlich im Scanner bewegen, bestünde beim Aufeinanderlegen der zu verschiedenen Zeitpunkten gemachten Bilder das Problem, dass gleiche Regionen nicht an gleicher Stelle abgebildet wären. Es würde alles verschwimmen; schlimmstenfalls ergäbe dies einen Hirnbrei. Zur Korrektur werden alle Schichtbilder durch einen Algorithmus an einer Referenzschicht *reorientiert*. Dieser Schritt – er wird als *realignment* bezeichnet –, wird in unserem Beispiel von Abbildung 3A zu Abbildung 3B vollzogen. Besonders gut sieht man die Veränderung an der X-artigen hellen Struktur in der Mitte des axialen Schnitts. Dabei handelt es sich um die seitlichen Hirnventrikel. Diese sehen in Abbildung 3B etwas größer aus als in Abbildung 3A. Das ist dadurch bedingt, dass die Schnittebene bei der Korrektur leicht verschoben wurde.

Ein weiterer, entscheidender Schritt ist in Abbildung 3C veranschaulicht. Dieser Schritt wird als *normalization* bezeichnet. Da von Probanden (Versuchspersonen oder Patienten) nicht nur funktionelle, die örtlichen Veränderungen im Blutfluss anzeigenden Daten erhoben werden, sondern auch rein anatomische, könnte man beide Bildkomponente einfach aufeinander beziehen, um ein perfektes Aktivitätsbild zu erzeugen. Das wird manchmal getan, vor allem bei Probanden mit stark abweichenden, beispielsweise mit erheblich geschädigtem Gehirn (in solchen Fällen spricht man von *coregistration*). Weil allerdings die meisten Studien allgemeine Aussagen über die Lokalisation von Funktionen treffen sollen (wie etwa unsere Vorstudie über

20 Es gibt nicht wenige Neurowissenschaftler, die die Ansicht vertreten, dass sich die Neigung, Straftaten zu begehen, in der Hirnbildgebung zu diagnostizieren sei; vgl. Virginia Hughes: »Head Case«, in: *Nature* 464 (2010), S. 340–342.

21 Kurt Goldstein: *Der Aufbau des Organismus*, hrsg. von Thomas Hoffmann und Frank Stahnisch, Paderborn 2014.

die Reaktionen des Gehirns auf affektiv hochbesetzte Fotografien), und weil deshalb ganze Probandenstichproben untersucht werden müssen, ergibt sich ein neues Problem. Anders als es die anatomischen Illustrationen in Lehrbüchern der Neuroanatomie suggerieren, gibt es auf der Welt keine zwei anatomisch-morphologisch identischen Hirne. Windungen (Gyri) und Furchen (Sulci) im Kortex sind interindividuell verschieden und nicht selten nicht einmal alle vorhanden. Wie lässt sich, so lautet nunmehr die Frage, darstellen, wo etwas im Hirn *generell*, will sagen: überindividuell, geschieht? Wie werden divergente Anatomien gemittelt? Sie werden überhaupt nicht gemittelt, sondern die funktionellen Daten aller Probanden einer Stichprobe werden auf ein besonders ansehnliches Hirn bezogen oder übertragen – auf *ein* Gehirn also, das ein anatomisches Ideal darstellt, folglich auch *keiner* der beteiligten Versuchspersonen gehört. Bereits die verwendete Auswertungssoftware bietet nun aber verschiedene Standardmodelle (*templates*) an. Ein populäres *template* stammt vom berühmten Montreal Neurological Institute (siehe Abbildung 4). Es wird auf den Probanden des vorliegenden Essays angewandt.

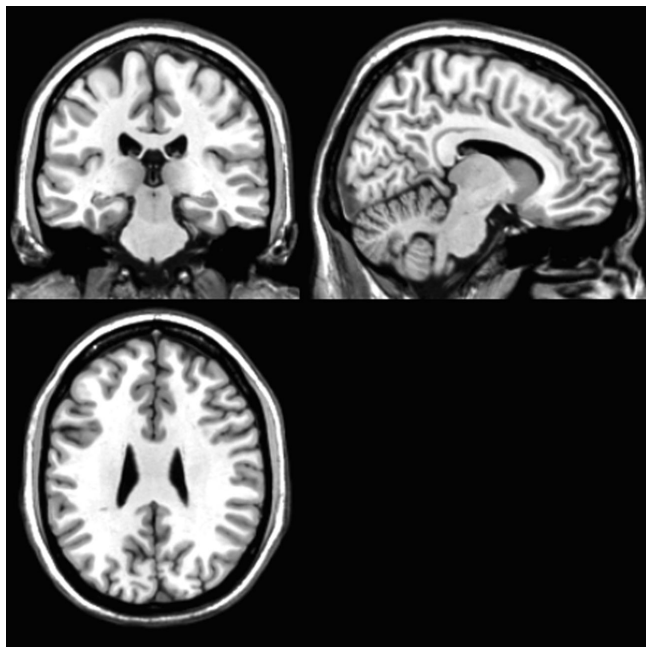


Abb. 4: Ein Standardtemplate des Montreal Neurological Institute, das aus den MRT-Aufnahmen einer großen Stichprobe gesunder Probanden erstellt wurde.

Wenn allerdings mehrere Versuchspersonen betroffen sind, werden mit einem eigens dafür entwickelten Algorithmus die interindividuellen Abweichungen und die Differenzen zum Standardgehirn wiederum minimiert. So passt endlich auch das Hirn des Probanden auf die Schablone. Da der Proband ein eher schmales Gehirn besitzt, das standardgerecht ein wenig »aufgebläht« werden muss, erkennt man im Übergang von Abbildung 3B zu Abbildung 3C bereits eine deutliche Veränderung.

Wir konnten übrigens im Handbuch der Software nicht ausfindig machen, welche Referenzstrukturen in den Hirnen im Hinblick auf die Anpassung zugrundeliegen.²² So bleibt uns keine andere Wahl als darauf zu vertrauen, dass es funktioniert.

Im letzten Schritt der Verarbeitung der anfallenden Daten wird das *smoothing* durchgeführt. Nachdem bewegungsbedingte Artefakte durch das Aneinanderausrichten der Schichten korrigiert wurden, geht es nun um Artefakte anderen Ursprungs.

Auf den Abbildungen 3A bis 3C erblickt man verschiedene zerebrale Löcher; im sagittalen Schnitt sieht es aus, als habe sich eine Raupe eine Furche quer durch ein Blatt gefressen. Aber auch auf anderen Schnittebenen sieht man immer wieder schwarze Löcher. Ein Vergleich mit hochauflösenden *anatomischen* Daten legt zwingend nahe, dass der Proband zum Glück durchweg ungelöchernte Hirnsubstanz aufweist. Diese Anomalien können folglich nicht von der Hirnsubstanz stammen. Vielmehr handelt es sich um Artefakte, die wahrscheinlich bei der Erfassung im Scanner durch Störungen im Magnetfeld entstanden sind (vielleicht doch der vor der Sitzung unbemerkt gebliebene Metallknopf an der Hose des Probanden?). Diese Löcher sind nicht nur unter *ästhetischen* Gesichtspunkten erheblich, sie würden in einer Studie an einer Stichprobe ein auch gravierendes methodisches Problem bilden. Da aus den Löchern selbst keine Information zu holen ist, müsste man entsprechende Löcher auch bei anderen Probanden der Stichprobe eliminieren, denn über fehlende Werte kann keine statistische Berechnung durchgeführt werden. Zudem sind die Löcher anderer Probanden aller Wahrscheinlichkeit nach woanders lokalisiert. Würde man nun alle Löcher aller Probanden ausschließen, hätte das derart aufbereitete Gesamtgehirn womöglich die Textur eines Schweizer Käses. Bei unkundiger Auslegung der Bilder könnte sogar die Vermutung aufkommen, die Probanden hätten Löcher im Bewusstsein. Und wie beseitigt man diese Löcher? Sie werden mathematisch *gesmootht*. Dazu legt man Gauss-ähnliche Verteilungen über Cluster (ein Cluster umfasst mehrere Voxel), in unserem Fall von 8 x 8 x 8 mm. Ein Loch stellt nämlich eine abrupte Inhomogenität dar. Es hebt sich scharf von den benachbarten Voxeln ab (und deswegen sieht es schwarz aus, wogegen die benachbarten Voxel subtil

22 Welche technischen, theoretischen und methodischen Schwierigkeiten MRT- und fMRT-Studien auferlegt sind, in denen ein Standardgehirn als Referenzschablone zur Einebnung der anfallenden Schnittdaten mehrerer Versuchsorganismen nicht (oder noch nicht) vorliegt, wie sich dies in Langzeitstudien von Hunden zuträgt, schildert ausnehmend plastisch und auf nachvollziehbare Weise Gregory Berns: *How Dogs Love Us. A Neuroscientist and His Adopted Dog Decode the Canine Brain*, o.O. 2013.

nach Graustufen variieren). Wie es auf einer Glockenkurve keine abrupten Abstürze gibt, so werden die Löcher nun durch Bildpunkte ersetzt, die der Intensität der umliegenden intakten Voxel nach angepasst sind. Nach dieser Prozedur des Herauswaschens sieht aber das Hirn etwas verwaschen aus.

Und woher stammen die leuchtenden Flächen feuernder Neuronen? Bisher haben wir so gerafft wie möglich die Verarbeitungsschritte der aus der Röhre stammenden Daten bis zum mehrmals normierten Probandenhirn beschrieben, wobei wir die schier unüberblickbare Menge an verstellbaren Parametern der Auswertungssoftware nicht nur nicht erläutert, sondern einfach aus vergleichbaren Auswertungsprozeduren im Vertrauen auf deren hohe Praktikabilität übernommen haben.

Zunächst ist das Ergebnis der bisherigen Verarbeitungsschritte mit den Informationen aus dem Versuchsablauf zu koppeln. Denn erst so lässt sich die Chronologie der in der Sitzung gewonnenen Daten rekonstruieren. Wann wurden negativ-emotionale Bilder gezeigt und wann neutrale? Diese Zeitangaben erhält man aus der Bildvorlagensoftware, die protokolliert, wann der Proband welches Bild zu sehen bekommt und welche Taste er betätigt. Selbstredend spielt auch die zweite unabhängige Variable eine wichtige Rolle, denn die Aufgabe bestand ja auch darin, die Zielbuchstaben »X« und »N« aus zwei beziehungsweise aus sechs Buchstaben herauszusuchen. Wann ist der eine, wann der andere Buchstabe erkannt worden? Der Vereinfachung unserer Erläuterungen halber lassen wir allerdings diesen Aspekt außer Acht und betrachten lediglich die Wirkung des emotionalen Bildgehalts, unabhängig davon, von wie vielen Buchstaben die Fotografien jeweils umgeben waren.

Damit Versuchspersonen sich nicht allzu fest auf einen bestimmten Bildtyp einstellen, werden in psychologischen Experimenten die verschiedenen Reize in der Regel in einer durch Zufall bestimmten Reihenfolge dargeboten. In Bildgebungsstudien hat sich aber gezeigt, dass durch Zufall bestimmte Reizdarbietungen oft wenig aussagekräftige Ergebnisse zeitigen. Dies hängt mit dem Messverfahren zusammen. Im fMRT werden keine ultraschnellen Nervenimpulse erfasst, sondern Blutflussveränderungen, die verhältnismäßig träge verlaufen. Daher werden häufig mehrere Durchgänge mit eng verwandten Reizvorgaben zu einem Block zusammengefasst. Dafür wird die Abfolge der verschiedenen Blöcke verwandter Reizvorgaben dem Zufall überlassen. Bei wiederholter Darbietung eng verwandter Bildinhalte treten die Blutflussveränderungen eher deutlich hervor. Dieses Verfahren hat Vor- und Nachteile, über die in der Fachliteratur eingehend, aber auch kontrovers diskutiert wird.

Die Beschreibung des entscheidenden Schritts der Bildgebung führt uns an die Grenzen unseres eigenen Vorstellungsvermögens heran. Wenn sich die Hirnaktivität bei Vorgabe schrecklich-ekligter Fotografien von der Hirnaktivität beim Anblick harmloser Fotografien unterscheidet, müsste man bestimmte Veränderungen in analytischer Strenge hochgradig mit Veränderungen der Aktivität bestimmter zerebraler Neuronengruppen korrelieren können. Die funktionelle Kernspintomographie ist je-

doch nicht dazu berufen, elektrische Vorgänge von Neuronen zu erfassen. Vielmehr misst sie, wie zuvor erläutert, Veränderungen der Sauerstoffkonzentration des Blutes. Aber selbst das ist nicht ganz richtig formuliert, denn gemessen wird die Veränderung der magnetischen Eigenschaften des Blutes, die infolge des Stoffwechsels auftreten.²³ Da Neuronen im Millisekundenbereich auf Reizungen reagieren, die Sauerstoffveränderungen im Blut dagegen viel langsamer, nämlich im Sekundenbereich, kann die aufgrund theoretischer Erwägungen zu erwartende Reizung etwa der Amygdala nur dadurch nachgewiesen werden, dass dieser Teil des Gehirns so lange in Aktivität versetzt bleibt, bis sich eine signifikante Veränderung der Sauerstoffkonzentration des die Amygdala-Neuronen versorgenden Bluts *scannergerecht* messen lässt. Gerade deshalb ist es hilfreich, wenn mehrere Reize jeweils einer der beiden Bedingung hintereinander, im *block design*, dargeboten werden, damit sich träge Blutflussveränderungen möglichst lange infolge desselben Typs von Reizdarbietungen erhalten. Da in der Präsentationssoftware eine bestimmte Reihenfolge der Fotografien programmiert ist, wird aus dieser Reihenfolge eine Vorhersage hergeleitet, ab welchem Zeitpunkt sich die entsprechende Veränderung im Blut ergeben müsste. Das heißt, um es technisch zu formulieren, wir treffen eine Vorhersage über den Zeitverlauf der Sauerstoffveränderungen im Blut, d. h. über den *blood-oxygen-level dependent contrast* (auch *BOLD-contrast* genannt). Dieser als Standard definierte Kontrast wird als *Modell* aufgefasst, dank dem jeder einzelne Bildpunkt (Voxel) mit den tatsächlich erhaltenen Messdaten verglichen wird. Anders gesagt, es wird eine statistikgestützte Prozedur verwendet, die für jedes einzelne Voxel die aufgrund des Modells vorhergesagte Veränderung der Sauerstoffkonzentration mit dem gemessenen Wert vergleicht, und zwar im vorliegenden Fall für jede der beiden Variablen (emotional negativ vs. emotional neutral). Da zeitgleich andere Hirnregionen auch aktiv sind – beispielsweise der visuelle Kortex, denn die Fotografien werden ja, banal ausgedrückt, gesehen –, ist der vorhin genannte Kontrast essentiell, da es hier um sehr spezifische Aspekte der Emotionalität geht. Es wird angenommen, dass das durch die neutrale Variable (Fotografien mit neutralem Bildinhalt) bedingte neuronale Feuern von dem hier interessierenden, durch emotional geladene Bildinhalte bedingten neuronalen Feuern einfach subtrahiert werden kann. Ob psychische Prozesse in Tat und Wahrheit additiv sind, ist eine bisher ungeklärte Frage. Es wird also aus Gründen der Methodik einfach angenommen, dass sie es sind. Man operiert folglich mit einer Idealisierung. Bezogen auf das Gehirn handelt es sich mit Bestimmtheit

23 Es handelt sich also auch beim Hämoglobin um einen indirekten Indikator, über dessen genaues Verhältnis zu den tatsächlichen Veränderungen im tatsächlichen Sauerstoffverbrauch unterschiedliche Auffassungen bestehen, vgl. Nikos Logothetis: »What We Can Do and What We Cannot Do with fMRI«, in: *Nature* 453 (2008), S. 869–878, hier S. 874 sowie S. 2ff. im *Supplementary material*.

sogar um eine tendenziell verfälschende Idealisierung, da sie auf Linearität beruht; das Gehirn ist aber erwiesenermaßen ein nicht-lineares System.²⁴

Wird auf der Grundlage der geschilderten statistischen Prozedur jedes einzelne Voxel verrechnet, erfolgt dies in Abgrenzung zu einer Fehlerwahrscheinlichkeit, die im Sinne der *statistischen Signifikanz* meist bei 5% liegt. Das heißt mit anderen Worten, wir würden in einem von 20 Fällen mit unserer Interpretation falsch liegen, wenn wir einen Unterschied behaupteten. Da das Hirn bei der für unser Fallbeispiel gewählten Auflösung der Messapparatur weit mehr als 100.000 Bildpunkte aufweist, sind ebenso viele statistische Berechnungen anzustellen (zum Glück übernimmt die Software diese Aufgabe). Entsprechend steigt die Irrtumswahrscheinlichkeit enorm. Gegen die Überhäufung von Irrtümern wird wiederum ein statistisches Korrekturprogramm gestartet. Diese Korrektur ist unumgänglich, was vor einigen Jahren aber noch nicht als Selbstverständlichkeit empfohlen wurde. Auf die Notwendigkeit der besagten Korrektur hat der Hirnforscher Craig Bennett ebenso drastisch wie humorvoll aufmerksam gemacht.²⁵ Er bot einer sonderbaren Versuchsperson Bilder von Menschen in verschiedenen sozialen Situationen als Reizvorgaben an. Seine Versuchsperson war allerdings ein Versuchstier, und darüber hinaus ein lebloses Versuchstier. Es war ein toter Lachs. Weil er tot war, bewegte er sich nicht mehr, so dass er sich nachgerade als motorisch ideale Versuchsperson für eine Sitzung in einem fMRT-Scanner empfehlen konnte. Auf dem durch Bildgebungsverfahren erhaltenen Lachshirn-Bild machte sich trotzdem, und gegen jede Erwartung, eine gewisse ›Aktivität‹ bemerkbar (man hätte das als Zeichen für die Unsterblichkeit der Lachsseele auslegen können). Der reine Zufall hatte *dieses* Computerbild mitgeneriert: *Lady Luck* hatte aufgrund einer extremen Häufung von Fehlerwahrscheinlichkeiten die Finger im Spiel. Beim Probanden unserer Fallstudie kamen die erwähnten statistischen Korrekturprozeduren aus reiner Vorsicht zum Zuge (und um keiner Verwechslung zwischen totem Gehirngewebe und dem Hirn des Probanden aufzusitzen). Nach der Durchführung der Korrekturverfahren blieb indes nicht viel übrig – unkorrigiert sahen die Zerebral-Aktivierungen deutlich schöner aus (siehe Abbildung 5). Immerhin hatten wir hier ein sehr viel strengeres Signifikanzniveau von vorneherein angesetzt als 5% (nämlich 0,1%), was wenigstens ein bisschen gegen das Risiko arbeitet, das Schicksal des Lachsexperimentes zu teilen. Doch damit nicht genug. Ein Wort über das schöne Gelb. Dieses schöne Gelb im Hirn des Probanden (Abbildung

24 Ebd., S. 871.

25 Siehe Craig M. Bennett, Abigail A. Baird, Michael B. Miller and George L. Wolford: »Neural Correlates of Interspecies Perspective Taking in the Post-Mortem Atlantic Salmon An Argument for Proper Multiple Comparisons Correction«, in: *Journal of Serendipitous and Unexpected Results* 1 (2014), Heft 1, S. 1–5. Eine andere Methode, diesen Fehler zu minimieren, besteht darin, von vornherein nur bestimmte Areale zu analysieren, was natürlich voraussetzt, dass man – etwa auf der Grundlage früherer Studien – bereits spezifische Hypothesen aufstellen kann.

5) bildet weder feuernde Nervenzellen ab, noch Sauerstoffmengen im Blutfluss. Das schöne Gelb steht für *Signifikanzen*, also für *statistisch erhaltene Werte*, die sich aus dem Vergleich von Modell und gemessenen Werten ergeben haben. Wir könnten das Gelb mühelos durch andere Farben ersetzen, an der Tatsache, dass jede Farbe für Signifikanzen stünde, würde sich kein Iota ändern. Die Wahl der Farbe beruht auf bloßer Konvention – und auf Sehgewohnheiten. Anders als bei einem als Fotografie deklarierten Bild würde man, wenn sich darauf Gelb in Blau verwandelte, einen Fehler begehen (oder sich in das Fach der Bildenden Künste begeben wollen). Auf dem Bild betrachtet man nun konsequenterweise eine *statistische Karte*. Diese zeichnet die theoretisch erwarteten Effekte (!) vor allem im limbischen System, ungefähr in der Amygdala ab, deren Lage durch das Fadenkreuz angezeigt wird. Außerdem sind, wie trivialerweise zu erwarten, Signifikanzen im visuellen Kortex, im hinterem Teil des Kopfes zu sehen. Und das alles trotz – oder wegen? – der Gedanken, die dem Probanden, als er in der Röhre lag, durch den Kopf gingen.

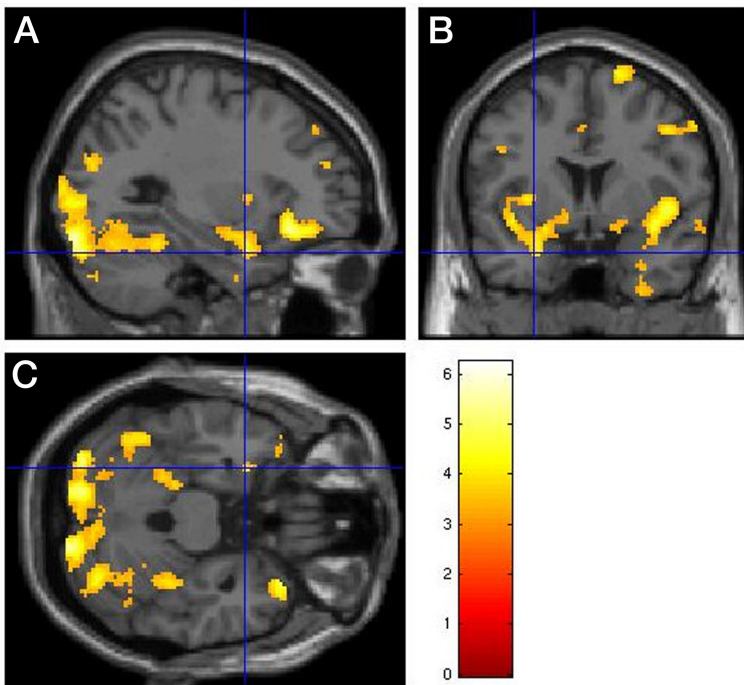


Abb. 5: Das ›Bild‹ der ›Hirnaktivierung‹ des Probanden in Reaktion auf ›emotional negative‹ Reizvorgaben im Vergleich zu ›emotional neutralen‹ in drei verschiedenen zerebralen Schnittebenen (A: sagittal, B: koronar, C: axial) sowie in Gestalt der üblichen statistischen Karte (weitere Erläuterungen im Text).

Der Schluss von einem Anstieg der Sauerstoffkonzentration im Blut auf eine sich ausbreitende Aktivierung von Neuronen ist übrigens aus pragmatischen Gründen nicht abwegig, aber theoretisch kurz gedacht. Denn dieses Anzeichen ist vieldeutig; eine Reizung, eine Hemmung oder die Herstellung der Balance aus Reizung und Hemmung kann messbare Veränderungen hervorrufen.²⁶ Zudem ist das hier gewählte Verfahren trotz der über hunderttausend Bildpunkte noch recht grob. Ein einzelnes Voxel kann nämlich einige Millionen Neuronen und einige Milliarden Synapsen repräsentieren.²⁷ Aber einzelne Voxel interessieren überhaupt nicht. Sie würden, wie beim toten Lachs in der Röhre, als reiner Zufallsbefund gelten. Wenn also statistisch korrigiert wird, kommen nur verhältnismäßig ausgedehnte Hirnbereiche in Betracht. Also Hunderte von Millionen oder Milliarden Nervenzellen und ein Vielfaches an Synapsen.

Zudem geht es in den meisten Studien ohnehin um Ergebnisse ganzer Stichproben, und da bleibt ohnehin nur noch die Gemeinsamkeit verhältnismäßig ausgedehnter Bereiche mehrerer Hirne übrig. Um ein letztes Mal die Schlittenmetapher zu bemühen: Wichtig sind lediglich die ausgefahrenen Rinnen; einzelne Schlenker, die niemand nachfährt, verlieren sich im Schneegestöber.

EEG-Kurven: Von einem anderen Verfahren näher an neuraler Tätigkeit

Während die Hirntätigkeit des einen Autors unter engen Experimentalbedingungen im Scanner erfasst wurde, unterzog sich das Hirn des anderen Autors einer EEG-Messung unter ebenso engen Experimentalbedingungen. Das EEG erfasst *unmittelbar* die veränderliche Intensität elektrischer Phänomene feuernder Nervenzellen. Das ist zwar eine nur ungefähr richtige Zusammenfassung dessen, was in einer EEG-Sitzung geschieht. Für die folgenden Darlegungen ist die Zusammenfassung aber allemal zureichend.

Wir beschreiben zunächst die Experimentalsituation. Der Proband sitzt auf einem Fahrradergometer und tritt in die Pedale. Er trägt einen Kopfhörer sowie eine Haube, deren Innenseite in regelmäßigen Abständen mit kleinen Knöpfen bestückt ist (siehe Abbildung 6). Die Knöpfe liegen der Kopfhaut auf. Sie haben an ihrer Innenseite eine Metallscheibe und erfassen das elektrische Feld, d.h. *gerichtete* Verteilungen elektrischer Ladungen, die beim Feuern von Nervenzellen entstehen; das Feld einzelner Neuronen ist derart schwach, dass es als solches mit der Apparatur nicht gemessen werden könnte, deshalb wird das Feld ganzer Neuronenverbände erfasst.

Der Proband ist aufgefordert, in die Pedale zu treten und gleichzeitig auf die aus dem Kopfhörer vernommenen Töne aufmerksam zu achten. In kurzen Abständen

26 Logothetis: »What We Can Do«, in: *Nature* 453, a.a.O., S. 873.

27 Ebd., S. 875.

wird ein Ton wiederholt, meistens von ein und derselben Tonhöhe, doch gelegentlich in einer höheren Tonlage. Da angenommen wird, dass das Hirn des Probanden noch ohne Auffälligkeiten funktioniert, wird es (und wird er) die Abweichung der Tonlage bemerken. Der Proband tritt somit unter zwei verschiedenen Bedingungen in die Pedale. Einerseits geben die Töne der niederen Tonlage den Rhythmus der Beinarbeit vor, der Proband passt sich motorisch dem Abstand von jeweils 1 Sekunde zwischen den Tönen an. Andererseits erklingen die Töne in zufälligen Abständen (zwischen 600 und 1400 Millisekunden). Diese Töne widersprechen sozusagen dem motorischen Rhythmus. Der Proband soll jedoch stur und gleichmäßig den Rhythmus bewahren.

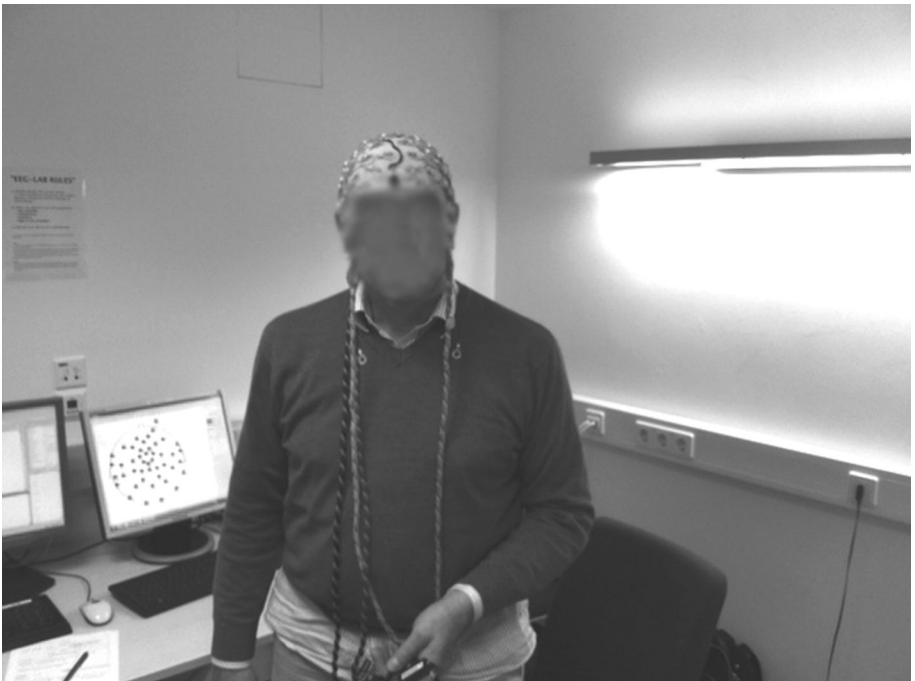


Abb. 6: Der Proband im EEG-Labor.

Die aus dem Hirn über die Schädelhaut abgeleiteten elektrischen Spannungen werden verstärkt. In früheren Zeiten war der Verstärker mit Schreibstiften gekoppelt, die an kleinen Motoren hingen und deren waagrechte Lage durch den jeweils aktuellen Messwert verändert wurde. Jede Elektrode führte zu einem Schreibstift, unter den in einer Reihe fixierten Schreibstiften lief Endlospapier, das die, wie man sagen könnte, variierenden elektrischen Intensitäten der Hirntätigkeiten kontinuierlich fest-

schrieb. Heute vollbringt das ein Computer. Die Spannungsdifferenzen werden in Zahlenwerte umgesetzt, digitalisiert und dann fortlaufend in eine Datei geschrieben. Das bringt einen signifikanten Vorteil mit sich: Man kann mit den EEG-Werten sehr bequem alles Mögliche rechnen, speichern und weitertragen.

Dank geeigneter Software kann man sich beispielsweise das typische, gewohnte EEG-Bild abrufen – das von dem Probanden auf dem Fahrradergometer stammende EEG-Bild ist auf Abbildung 7 zu sehen.

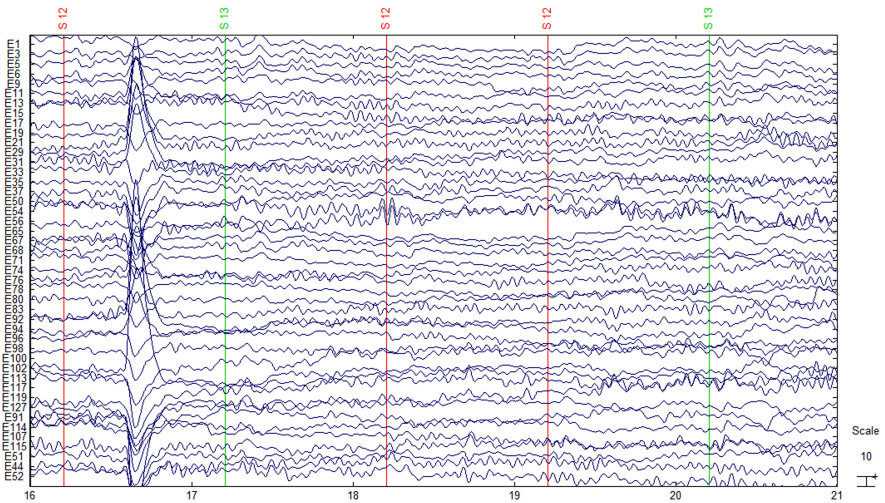


Abb. 7: Spontan-Elektroenzephalogramm des anderen Probanden über 45 Elektroden (Y-Achse) und einen Zeitraum von 5 Sekunden (X-Achse) (Sekunde 16 bis 21 des Experimentes). Deutlich sichtbares Bewegungsartefakt zwischen Sekunde 16 und 17. Die senkrechten farbigen Striche markieren die Präsentation häufiger (S12) oder seltene, abweichende (S13) Töne (Erläuterungen im Text)

Man erkennt die parallel von den Schreibstiften aufgezeichneten Kurven, deren jede einer Elektrode entspricht. Die untere Linie des Diagramms skaliert die Zeit in Sekunden. Zwischen Sekunde 16 und 17 nehmen alle Kurven schlagartig die Gestalt eines Zackens an. Es handelt sich um ein Artefakt, das von einer Augenbewegung verursacht wurde (die oberflächennahe Aktivität der Augenmuskeln kommt viel stärker zur Geltung als die der Hirnzellen unter dem Schädel, sie wird deshalb auch von den Kopfelektroden erfasst). Den Zacken in diesem kleinen Zeitfenster wird man später bei der Auswertung der Daten ausklammern. Die vertikalen Striche zeigen an, wann ein Ton erklang und um welche Tonhöhe es sich handelt (S12: Standardton von 600 Hertz, S13: abweichender Ton von 700 Hertz). Abbildung 7 veran-

schaulicht die zerebrale Spontanaktivität des Probanden – genau das, was Neurologen in einer Klinik auch aufzeichnen würden, hätten sie die Aufgabe, eine EEG-Untersuchung durchzuführen. Die Frequenz der Schwingungen sowie die punktuellen Gipfel sind Anzeichen des Aufmerksamkeitsgrades, zudem geben sie Aufschluss über mögliche hirngewebliche Veränderungen. Im vorliegenden Fall geht es indes vor allem um die Reaktionen des Hirns auf die Töne. Im Kurvenverlauf lässt sich bei bloßem Augenschein nichts Systematisches erkennen, auch hocherfahrene EEG-Experten könnten es nicht. Dem in unserer Fallstudie eingeschlagenen Prozedere liegt folgende Logik zugrunde: Wir nehmen an, dass die zerebrale Spontanaktivität im durchschnittlichen Wachzustand (also in unauffälligen Alltagssituationen) einem mehr oder minder zufälligen Muster folgt. Dagegen müssten Reaktionen auf die im Labor gehörten Töne systematisch, d.h. *gleichgerichtet* sein (jeder gehörte Ton macht sich in den Kurven auf eine bestimmte Weise bemerkbar). Die aufgezeichnete Hirntätigkeit ergibt dann eine Summe bestehend aus reizgebundener Potentialverschiebung (>Signale<) und der sie überdeckenden Spontanaktivität (>Rauschen<). Wenn man über eine ganze Reihe von Tondarbietungen mitteln würde, dann müsste sich das, was zufallsbedingt ist, ausmitteln, alles Systematische dagegen nicht. Am Ende bliebe, so die Annahme, nur das Systematische dann übrig – sofern man über genügend Reizdarbietungen (Töne) das EEG mittelt. Diese Mittelungstechnik bildet die Grundlage so genannter *Ereigniskorrelierter Hirnpotentiale* (EKP), d.h. systematischer Abweichungen der Hirnelektrik bezogen auf eine bestimmte Reihe von Reizen (in unserem Fall: von Tönen). Wird das Verfahren auf die Daten des Probanden angewandt, erhält man die Kurven, die auf Abbildung 8 zu sehen sind.

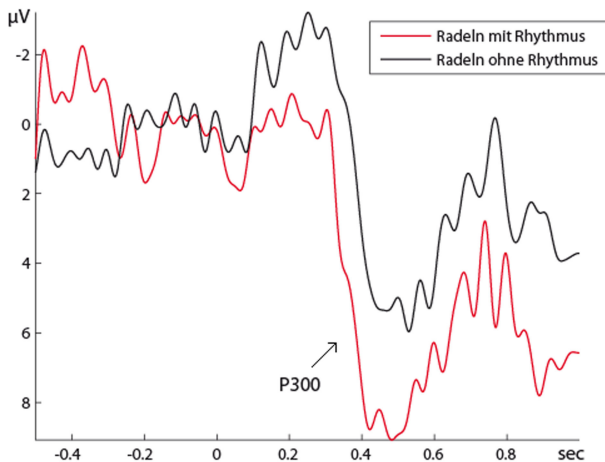


Abb. 8: Mittelung der Kurvenverläufe des Spontan-Elektroenzephalogramms des Probanden für die häufigen im Vergleich zu den seltenen Tönen, dargestellt als

Differenzkurven an einer einzigen Elektrode, in Abhängigkeit davon, ob der Proband zeitgleich nach einem vorgegebenen Rhythmus radelt (rote Kurve) oder nicht (schwarze Kurve). Beide Differenzkurven verlaufen bei ca. 0,4 Sekunden (X-Achse) deutlich nach unten, bei dieser (positiven) Potentialabweichung handelt es sich um die aufmerksamkeitsabhängige »P300-Komponente«. Diese Abweichung nach unten ist stärker ausgeprägt, wenn der Proband gleichmäßig radelt (Erläuterungen im Text).

Es zeigen sich, bezogen auf eine einzige Elektrode, die Spannungsveränderungen nach dem Hören des Tons durch den Probanden. Genauer gesagt: der Ton erklang genau zum Zeitpunkt, der auf der X-Achse mit »0« bezeichnet ist. Allerdings steht der Ton auf der Abbildung für Hunderte von Einzeltönen, die über alle EEG-Zeitfenster hinweg gemittelt wurden. Was der Abbildung Übersichtlichkeit verleiht, dagegen das Verständnis erschwert, ist die Tatsache, dass man Differenzkurven sieht. Sowohl die graue wie auch die schwarze Linie beziehen sich nicht auf jeweils eine Bedingung, sondern repräsentieren die Differenz aus den Kurvenverläufen der abweichenden (weniger häufigen) Töne *minus* die Kurvenverläufe der ursprünglichen (häufigen) Töne. Man sieht, dass beide Kurven zwischen den Punkten 0.2 (200 Millisekunden) und 0.4 (400 Millisekunden) auf der X-Achse deutlich nach unten streben. Diese Richtung zeigt, wie man aus der Y-Achse erschen kann, eine positive Spannungsveränderung an – genauer gesagt, eine Differenz in die positive Richtung. Mit anderen Worten, die Kurve für die weniger häufigen Töne, von welcher abgezogen wird (Minuend), ist im Vergleich zu der, die abgezogen wird (Subtrahend), positiver. Diese Potentialabweichung in eine positive Richtung nach etwa 300 ms ist aus der einschlägigen Literatur als »P300-Komponente« bekannt. Sie korreliert mit Aufmerksamkeitsprozessen, die besonders bei Auftreten unerwarteter Reize stattfinden. Es handelt sich hierbei übrigens um eines der seit längerer Zeit bekannten und unwidersprochenen ereigniskorrelierten Potentiale. Folglich hat sich der zu erwartende Effekt auch bei dem zweiten Probanden unserer Fallstudie ergeben. Interessanterweise neigt die Kurve noch weiter nach unten, ist also positiver, wenn der Proband Töne und das Treten in die Pedale des Ergometers zu synchronisieren vermag. Beide Prozesse – das Hören und die rhythmische motorische Aktivität – verstärken die Hirnreaktion.

Bilder, die sich sehen lassen

Unser Essay versteht sich als Beitrag zur Kritik bildgebender Verfahren, wie sie vorwiegend auf dem Gebiet der Neuropsychologie angewendet werden. Er legt Wert aufs *Unterscheiden*. Denn er versucht, Demarkationslinien zwischen den Erwartun-

gen, die an Hirnbilder mit neuropsychologischem Anzeigepotential geknüpft werden, den Grenzen, an die derartige Bilder stoßen, und methodischen Verrichtbarkeiten zu ziehen.

In einer uns jedenfalls überzeugenden, obgleich anders orientierten Darstellung bildgebender Verfahren heißt es: »In fact, fMRI is not and will never be a mind reader [...] nor is it a worth-less and non-informative ›neophrenology‹ that is condemned to fail.«²⁸ Somit kann die fMRT als ein Werkzeug verstanden und eingesetzt werden, das in Ergänzung durch andere Verfahrensweisen, Hilfsmittel und Apparaturen – unter Berücksichtigung von deren Stärken und Beschränkungen – die Arbeit an der Analyse von Hirnfunktionen und Hirnfunktionsleistungen befördert.²⁹

An der neuropsychologisch motivierten Wahl von fMRT-Verfahren ist nichts auszusetzen, sofern sie *Zweck* und *Tragweite* dieser Verfahren nicht aus dem Auge und damit auch nicht aus dem Sinn verliert. Aus dem Sinn geraten diese Dimensionen von fMRT-Verfahren dann, wenn verkannt wird, dass die faszinierenden Bilder »often mask the immense complexity of the physical, biophysical and engineering procedures generating them«.³⁰ Übrigens verleiten die Hirnbilder zu fasziniertem Hinschauen allein schon dadurch, dass sie ästhetisiert, d.h. digital »gestylt« werden. Welche Suggestionskraft von Bildern dieser Art ausgeht, wurde unlängst in einer interessanten Studie gezeigt.³¹ Versuchspersonen wurden in wenigen Sätzen Erklärungen psychischer Phänomene vorgelegt – der einen Versuchspersonengruppe gute, der anderen schlechte Erklärungen. Beide Versuchspersonengruppen wurden ihrerseits in Untergruppen unterteilt; jeweils eine der beiden Untergruppen erhielt zusätzlich zur Erklärung ein wunderschön aufgemachtes Aktivierungs-Hirnbild, dessen Inhalt allerdings aus längst Bekanntem bestand. Es fanden sogar angehende Studierende der Neurowissenschaften schlechte Informationen überzeugend(er), wenn sie das Bild zu sehen bekamen.

Die meisten im Forschungsalltag der Bildgebung tätigen Personen sind sich der Vielschichtigkeit und der damit zusammenhängenden Problematik der fMRT-Verfahren durchaus bewusst. »Die meisten« heißt aber nicht »alle«. Massenmediengeübte Hirnforscher wie der US-amerikanische Psychiater Alan Hobson, der sich im Bereich der Neurophysiologie des Schlafes einen Namen gemacht hat, scheuen sich nicht, in aller Öffentlichkeit zu verkünden, man sei endlich in der Lage, den menschlichen Geist in seinem unmittelbaren Wirken zu beobachten, wogegen wir dieses

28 Logothetis: »What We Can Do«, in: *Nature* 453, a.a.O., S. 869.

29 Siehe ebd., S. 877.

30 Ebd., S. 870.

31 Siehe Deena S. Weisberg, Frank C. Keil, Joshua Goodstein, Elizabeth Rawson und Jeremy R. Gray: »The Seductive Allure of Neuroscience Explanations«, in: *Journal of Cognitive Neuroscience* 20 (2008), Heft 3, S. 470–477.

Wirken bisher erschließen mussten – Urwortlaut Hobson: »We can watch the mind at work [...]«.«³²

Ungeniert sich auslebendem Wagemut begegnet man in der Auffassung eines angesehenen Professors der Physik, der sich unlängst über die Zukunft des menschlichen Geistes hat vernehmen lassen. In seiner Monografie, die es auf die Bestsellerliste der *New York Times* geschafft hat, erklärt Michio Kaku, dass die Wissenschaft dank der Scanner »[...] *instantan* feststellen könne, wie bestimmte Teile des Gehirns miteinander vernetzt sind.«³³

In dem Kapitel über Träume behauptet der Autor keck (und meint das derart Behauptete keineswegs als Einfall eines *science fiction*-Liebhabers): »Durch die tomographischen Bildgebungsverfahren verraten Träume ihre Geheimnisse. Da die Hirnzentren, welche die Träume steuern, beinahe identisch sind mit denen, die für das Sehen zuständig sind, ist es möglich, einen Traum zu fotografieren.«³⁴ Das geschieht so: Versuchspersonen im Scanner werden 400 Bilder [sic!!] gezeigt. Jedes Bild besteht aus einer Menge von Punkten. Bei jedem einzelnen Bild erfasst der Scanner, wie das Hirn auf die Punktverteilung der Reizvorgabe reagiert. So lassen sich »ganze Bildenzyklopädien« anlegen, deren jedes aus Pixeln bestehende Bild einem spezifischen fMRT-Muster entspricht. »Im diesem Fall [d.h. bei Träumen, AM/SF] können die Forscher rückwärts vorgehen. Sie können selbstgenerierte Bilder [die eine träumende Person gerade vor dem schlafenden Auge hat, AM/SF] aus den MRT-Schnittaufnahmen erschließen, während die Versuchsperson träumt.«³⁵ Was nur unter der Voraussetzung möglich wäre, dass (a) *n* Versuchspersonen bei Anblick der Reizvorgaben stets die gleichen fMRT-Ergebnisse zeitigen,³⁶ dass (b) die Versuchspersonen, wenn sie träumen, nicht von leckeren Schnitzeln, sondern ausschließlich von den bei wachem Bewusstsein in der Röhre gesehenen Bildern träumen, und dass (c) das Hirn jeder Versuchsperson sich in welcher Schlafphase auch immer jeweils in identischen Erregungsmustern befindet, wenn es ausschließlich von den zuvor in der Röhre gesehenen Bildern träumt. Zusätzliche Bemerkungen erübrigen sich.

Verfahren wie die Magnetresonanztomographie stehen, wie etliche neurowissenschaftliche wie auch neurophilosophische Kontroversen deutlich machen, *im Dienst theoretischer Vorgaben*. So verrät sich ein quasi-mechanistischer Kartierungsgedanke der Neurowissenschaften in der Verwertung von fMRT-Daten (insbesondere -Bildern). Es heißt, kognitive und emotionale Module im Hirn ließen sich verknüpfen

32 J. Allan Hobson und Jonathan A. Leonard: *Out of Its Mind. Psychiatry in Crisis*, Cambridge MA 2001, S. 14.

33 Michio Kaku: *The Future of the Mind: The Scientific Quest to Understand, Enhance, and Empower the Mind*, New York, London und Heidelberg 2014, S. 23 (unsere Herv.).

34 Ebd., S. 176.

35 Ebd.

36 Will sagen: dass bei zehn oder vierzig Versuchspersonen keine interindividuellen Differenzen auftreten, und dies unter der Annahme der sich gleichbleibenden Vernetzung ungefähr gleich voluminöser Hirnanteile.

wie in einem 3-D-Puzzle. Das ›Wo-sitzt-was-im-Gehirn?-Spiel‹ wird nicht zuletzt medial aufgebauscht. Und just dieselben fMRT-Verfahren, kritisch besehen, legen nahe, dass die Setzkasten-Leitidee wenig taugt.³⁷

Denn es gibt sogar auf der Ebene von Stichproben (und noch mehr auf der Ebene von Einzelpersonen) interindividuell und intraindividuell bei allereinfachsten Aufgabenstellungen eine hochgradige Variabilität der tätigen Hirnregionen, die sich in den fMRT-Daten niederschlägt. Ganz abgesehen davon (wie aus den oben mitgeteilten Beobachtungen zu ersehen ist), dass mehrere, teils weit auseinanderliegende Hirnregionen schon an *nur einer* Tätigkeitsanforderung beteiligt sind.³⁸

Klinische Erfahrungen mit und an Patienten mit Hirnläsionen lehren einen, dass bei *fokaler* Schädigung eine Funktion kaum je vollständig versagt, während alle anderen Funktionen unverändert weiterarbeiten. Die Schädigung eines Areals zieht mehrere Regionen in unterschiedlicher Ausprägung in Mitleidenschaft. Und was die Reorganisationsprozesse angeht, die einen neuen, einen anderen Gesamtzustand herbeiführen, auf dass die Interaktion mit der Umwelt wieder, wenngleich mit Einschränkungen funktioniere, so entsteht eine *andere* Funktionskartierung (wenn man denn mit der Kartierungs-idee operieren will). Die zerebrale Reorganisation folgt keiner einfachen mechanistischen Logik von Funktion und Ausfall, sondern spiegelt die Dynamik der sich selbst organisierenden, lebenden Hirnsubstanz wider.³⁹

Weitere Beispiele aus dem klinischen Alltag belegen im Falle von Hirntumoren (vor allem von solchen, die langsam wachsen und dabei beträchtliche Ausmaße annehmen können), dass Funktionsausfälle nicht einmal bemerkt werden. Man hat, auch dank fMRT-Studien, beobachtet, wie bei Sprachaufgaben Aktivierungen, die sich nicht mehr in den dafür vorgesehenen Arealen ergeben können, in benachbarte Regionen ›verlagert‹ werden.⁴⁰

37 Selbst angesehene Neurowissenschaftler und -wissenschaftlerinnen wie Angela Sirigu, die in Lyon ein Hirnforschungszentrum leitet und ungefähr monatlich eine Kolumne über hirnwissenschaftliche Themen in der Wissenschaftsbeilage von *Le Monde* veröffentlicht, mag innerhalb der Institution zu Hirnbildern kritisch eingestellt sein. Vor der breiteren Öffentlichkeit hantiert sie aber mit Bildern, als seien diese echte empirische Daten, die die Lösung eines Lokalisationsproblems bestätigen oder widerlegen. Siehe als Beleg Sirigus Videovortrag *Bases neurales des processus de décision* von 27. November 2009, http://webcast.in2p3.fr/videos-sisc_2009_bases_neurales_des_processus_de_decision_angela_sirigu (zuletzt aufgerufen am 25. Dezember 2015).

38 Etwa der Buchstabenerkennung, eine Aufgabe, die man mühelos als ›verhältnismäßig einfach‹ beurteilen darf, im Vergleich (und im Gegensatz) zu eher komplexen Aufgaben der Wort-Bild-Orientierungs-Wahrnehmung im Straßenverkehr (bei gleichzeitigem Multitasking wie Rundfunkhören, Nachdenken über den nächsten Geschäftstermin und rechtzeitiger Entdeckung von Radarfallen).

39 Dies entspricht in Grundzügen dem von Kurt Goldstein vertretenen Ansatz, den er in der diagnostischen und therapeutischen Betreuung hirnverletzter Soldaten des Ersten Weltkriegs erarbeitet hat; siehe Frisch: »Das Primat des Lebendigen«, in: *Zeitschrift für Neuropsychologie* 25, a.a.O.; siehe ferner Frisch: »Die Suche der Neuropsychologie«, in: *Neurologie & Rehabilitation* 21, a.a.O.

Die fMRT-Verfahren entpuppen sich gerade in solchen Fällen als äußerst willkommene Hilfsmittel der prächirurgischen Diagnostik, denn sie geben Hinweise darauf, welche Areale reagieren und welches Gewebe während der Operation geschont werden sollte, weil dies ansonsten und aller Wahrscheinlichkeit nach mit einem Verlust an Funktionsmöglichkeiten einhergehen würde. Womöglich würden Kritiker der fMRT-Scanner, die in ihnen nichts als ›Bildmaschinen‹ wittern, sich diesen Maschinen doch anvertrauen, wenn sie selbst, ohne technische Alternativen zu haben, vor einem gravierenden hirneingriffschirurgischen Eingriff stünden. Wenn ihre schrittweise erbrachten Konstruktionsleistungen auch nur ein wenig durchschaut werden, vollbringen die hirnbildgebenden Verfahren weder ikonische Wunder mit selbstevidenten Bildinhalten, noch produzieren sie Phantome *sine fundamento in cerebro*.

Nebst den genannten Umständen, die einem Vorsicht beim Betrachten und Deuten von Hirnbildern anempfehlen, können auch genuin epistemologische Gründe für diese Vorsicht angeführt werden.⁴¹ So hat der Psychologe und Wissenschaftstheoretiker Rom Harré in einem anregenden Beitrag vorgeschlagen, das naturwissenschaftliche Instrumentarium taxonomisch in zwei Grundklassen, nämlich in Instrumente und in Apparate, einzuteilen. Zum ersten Taxon zählte er Hilfsmittel wie das Thermometer (z.B. das Quecksilberthermometer) oder das Barometer. Diese Instrumente stehen in unvermittelter Kausalverbindung zu dem Merkmal (beispielsweise der Wassertemperatur bzw. der Dichte der atmosphärischen Luft), das zu erfassen sie bestimmt sind.

Apparate dagegen bilden ein Taxon von Hilfsmitteln, die selbst Teil der zu erfassenden Natur sind. Es sind Hilfsmittel, die – vereinfachend gesagt – durch Eingriffe in das von ihnen zu erfassende ›Objekt‹ Phänomene hervorbringen, aufgrund welcher eine oder mehrere Eigenschaften des besagten ›Objekts‹ verfügbar gemacht werden. Apparate sind in diesem Sinne auch Modelle der zu erfassenden ›Objekte‹, denn ohne derartige Modelle würden die Apparate entweder nichts bewirken oder blind irgendetwas bewirken; blind wären, streng genommen, nicht die Apparate, sondern die gelehrten Köpfe, die solche Apparate konstruieren und anwenden.

Betrachten wir die MRT-Maschinen. Es sind Apparate. Sie erzeugen Magnetfelder, die in der wilden Natur⁴² dieser Erde (gleichsam in der unberührten Urnatur auf

40 Siehe Michel Desmurget, François Bonnetblanc und Hugues Duffau: »Contrasting acute and slow-growing lesions: a new door to brain plasticity«, in: *Brain* 130 (2007), S. 898–914.

41 Einen bildkritischen Zugang zur Hirnbildnerei entwickelt auch Le Bihan, der als Physiker wie auch als neurophysiologischer Experte an der Entwicklung der neuesten Generation von fMRT-Verfahren beteiligt ist. An keiner Stelle seiner Monographie ist von einem simplen Ablesen von Funktionsherden auf Bildern die Rede, und an keiner Stelle wird die Komplexität der bildgebenden Verfahren verharmlost – und dies geschieht ohne Überangebot an quantenmechanischen, neuroanatomischen, voxel-algorithmischen und anderen einschlägigen Informationen; siehe Le Bihan: *Le cerveau de cristal*, a.a.O.

42 Rom Harré verwendet Ausdrücke wie »in the wild« oder »in the wild – that is, in nature«; siehe »The Materiality of Instruments in a Metaphysics for Experiments«, in: Hans Radder (Hg.): *The Philosophy of Scientific Experimentation*, Pittsburgh 2003, S. 19–39.

dem Globus, den wir bewohnen) nicht vorkommen, denn unabhängig von diesem und vergleichbaren Apparaten ist nicht einmal annähernd ein Magnetfeld von 1 Tesla in wilder Natur gegeben. Noch ist in wilder Natur eine Ansammlung von Milliarden Protonen auf kleinstem Raum (einem ungefähr der Kopfgröße entsprechenden Raum) zu beobachten, die alle unter dem Einfluss eines übermächtigen Magnetfeldes stehen. Der apparativ-messende Teil der MRT-Maschine erzeugt folglich das, was zu erfassen er bestimmt ist, damit die derart gewonnenen Daten in dem anderen Teil der MRT-Maschinerie Messwerte rechnerisch nach Algorithmen in Voxel und diese ihrerseits in Pixel transformiert. Der Einfachheit halber bezeichnen wir diesen Teil als den ›Digitalen‹. Der apparativ-messende Teil der MRT-Maschinerie ist nach quantenmechanischen Modellen konstruiert, der digitale Teil der MRT-Maschinerie nach physiologischen (insbesondere, wenn es um das Hirn geht, nach neuroanatomischen, neurofunktionalen, neuroemergenten usw.) Modellen eingerichtet. Und allein schon die Differenz zur Verrichtung eines Thermometers deutet darauf hin, dass an Hirnbildern weder die Lokalisation psychischer Funktionen noch die Intensität intellektueller Tätigkeiten noch die Stärke von Affekten noch irgendeine Verhaltensdisposition einfach abzulesen ist, wie man dies im Fall der Temperaturen an einem Quecksilberthermometer tun kann. Es ist uns deshalb schleierhaft, wie man darauf verfallen konnte, das Auslesen von Bildern aus der Heliumkammer des CERN als komplizierten, mühsam zu erlernenden Prozess einzustufen, das Auslesen von fMRT-Bildern dagegen als einen Vorgang, der so einfach sein soll wie das Ablesen von Temperaturwerten auf dem Thermometer, wenn man sich fragt, ob man Fieber hat.