

# 31 Bildgebende Verfahren

Dieter Vaitl

## 31.1 Der Begriff „Bildgebung“

### Definition

Der Begriff „Bildgebende Verfahren“ stammt aus der medizinischen Diagnostik und umfasst eine Gruppe von Verfahren, mit denen sich die Struktur und die Funktion von Gewebe des menschlichen Körpers sichtbar machen lassen. Bei der Darstellung von physiologischen Prozessen besteht dabei immer ein direkter Bezug zur anatomischen Struktur, weshalb beispielsweise die Elektroenzephalografie und die Magnetenzephalografie im strengen Sinne nicht zu dieser Gruppe von Verfahren zählen.

Bildgebende Verfahren gehören seit etwa zwanzig Jahren zu den wichtigsten Forschungsmethoden in den Neurowissenschaften, wenn es um die **Lokalisation und Funktionsbeschreibung von neuronalen Strukturen** geht, die an basalen motorischen, emotionalen und kognitiven Prozessen beteiligt sind. Sie werden heute in immer größerem Umfang in der Grundlagenforschung und in der Erforschung somatischer und psychischer Funktionsstörungen eingesetzt. Bei der Popularität, die diese Verfahren in der Wissenschaft und in den Medien genießen, und bei der Fülle an neuen Erkenntnissen, zu denen sie beigetragen haben, muss dem verführerischen Gedanken widerstanden werden, die „Bildgebung“ allein liefere schon die „Eingebung“ mit, die Bedeutung dessen verstanden zu haben, wovon es ein Bild gibt. Dies gilt umso mehr, wenn bildgebende Verfahren eingesetzt

werden, um außergewöhnliche Erfahrungen zu dokumentieren und zu verstehen. Um Irrwege zu verhindern, methodische Fallgruben zu vermeiden und voreilige Behauptungen zu erschweren, ist dieses Kapitel geschrieben. Aus diesem Grund liegt der Schwerpunkt weder auf den komplexen Technologien, auf denen die Verfahren beruhen, noch auf den zur Datenerfassung und -analyse verwendeten mathematischen Modellen, sondern auf den epistemischen Aspekten, sollten solche Verfahren zur Erforschung außergewöhnlicher Erfahrungen eingesetzt werden (Einzelheiten zur Methodik finden sich in den Übersichten von Jäncke 2005; Poldrack et al. 2011).

## 31.2 Die bekanntesten bildgebenden Verfahren (Neuroimaging)

Die heute in den Neurowissenschaften am weitesten verbreitete Methode ist die der Magnetresonanztomografie (MRT) bzw. der funktionalen Magnetresonanztomografie (fMRT). Auf ihr wird in den nachfolgenden Abschnitten der Schwerpunkt liegen. Nur kurz seien daher die anderen ebenfalls in den Neurowissenschaften eingesetzten Verfahren erwähnt. Es sind dies folgende:

**Single-Photon-Computertomografie (SPECT):** Sie ist ein Verfahren der Nuklearmedizin. SPECT-Bilder zeigen die Verteilung eines Radionuklids in verschiedenen Organen. Die verwendeten Radionuklide emittieren

Gammastrahlung, die mit Gamma-Kameras, die um den Körper des Probanden kreisen und diese Strahlung aus jeweils unterschiedlichen Richtungen detektieren, aufgenommen wird. Hiermit lässt sich die regionale Hirndurchblutung in bestimmten Hirnregionen schichtweise darstellen. Die Grundlagenforschung nutzt die SPECT kaum noch, ihr Einsatz ist heute auf klinische Fragestellungen beschränkt.

**Positronenemissionstomografie (PET):** Sie ist ebenfalls ein Verfahren der Nuklearmedizin. Es werden verschiedene radioaktiv markierte Radionuklide, die Positronen emittieren, injiziert. Das am meisten verwendete Nuklid ist das radioaktive Isotop  $^{18}\text{F}$  des Fluor, das in einem Zyklotron hergestellt wird und eine relativ lange Halbwertszeit von etwa 110 min besitzt. Kommt es zu einem Zusammenstoß zwischen diesen Positronen und einem Elektron, werden zwei hochenergetische Photonen (langwellige Gammastrahlung) in genau entgegengesetzte Richtungen ausgesandt. Die ringförmig um den Probanden angeordneten Photonen-Detektoren registrieren die Strahlung und zeichnen die Koinzidenzen des Eintreffens von Photonen zwischen zwei gegenüberliegenden Detektoren auf. Aus der räumlichen und zeitlichen Verteilung dieser Registrierungen wird auf die Verteilung des Radionuklids im Gewebe geschlossen und die entsprechenden Schnittbilder erstellt. PET liefert keine morphologischen Bilder, sondern bildet **Stoffwechselforgänge** ab.

**Computertomografie (CT) und Near-Infrared-Technik (NIRS):** Zu den bildgebenden Verfahren zählen auch die Computertomografie (CT) und die Near-Infrared-Technik (NIRS). Wegen ihres geringen Einflusses auf das Forschungsfeld, das hier Thema ist, wer-

den sie nicht behandelt. Informationen finden sich bei Jäncke (2005).

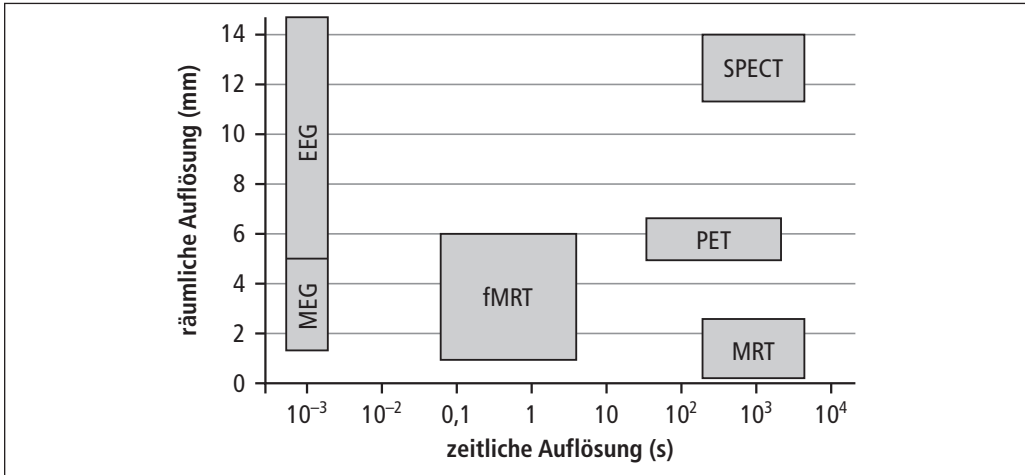
Diese vier oben genannten Verfahren haben in der neurowissenschaftlichen Forschung mittlerweile an Bedeutung verloren. Grund hierfür sind nach wie vor ihre technischen und methodischen Bedingungen. So erlauben beispielsweise die Halbwertszeiten der Radionuklide und die Strahlenbelastung (z. B. bei PET und SPECT) nur in beschränktem Umfang längere Untersuchungszeiten oder Wiederholungsmessungen. An ihre Stelle trat die Magnetresonanztomografie (MRT). Diese Verfahren unterscheiden sich außerdem – und dies ist ein wichtiger Faktor – hinsichtlich ihrer zeitlichen und räumlichen Auflösung der Prozesse, die sie messen. Einen Vergleich liefert Abbildung 31-1.

### 31.3 Die Magnetresonanztomografie (MRT)

Dank ihrer Nichtinvasivität und der prinzipiell unbegrenzten Zahl an Messwiederholungen ist die MRT für viele Fragestellungen die Methode der ersten Wahl. Grundlegende neue Erkenntnisse zu veränderten Bewusstseinszuständen beruhen auf dieser Methode (s. Kap. 9).

#### 31.3.1 Das Messprinzip

Das Messprinzip beruht auf dem physikalischen Phänomen, dass der Kern des Wasserstoffatoms ein magnetisches Moment besitzt. Das **magnetische Moment** besteht in einer sich drehenden Ladungsverteilung der im Körper natürlich vorkommenden Atomkerne (daher auch der Begriff *Kernspin* bzw. *Magnetresonanztomografie*). Dieses Moment kann in einem starken, homoge-



**Abb.31-1** Einteilung der bildgebenden Verfahren nach ihrer räumlichen und zeitlichen Auflösung. Bildgebende Verfahren im engeren Sinn: SPECT = Single-Photon-Emissionstomografie; PET = Positronenemissionstomografie; MRT = Magnetresonanztomografie; fMRT = funktionelle Magnetresonanztomografie.

Bildgebende Verfahren im weiteren Sinn (als Referenz gedacht): EEG = Elektroenzephalografie; MEG = Magnetenzephalografie (Erläuterungen im Text oder bei Jäncke 2005; mit freundlicher Genehmigung des Kohlhammer Verlags, Stuttgart).

nen, von außen angelegten Magnetfeld (z. B. im Inneren der Röhre eines MRT-Geräts; Magnetfeldstärke etwa 3 Tesla) entlang einer Feldlinie ausgerichtet werden. Mithilfe von Radiowellen, die mit einer bestimmten Frequenz (Larmor-Frequenz) in das Untersuchungsobjekt (z. B. Kopf) gesendet werden, erhalten die Wasserstoffatome einen energetischen Impuls, der sie kurzfristig aus der ausgerichteten Position herausbewegt. Wenn sie nach dieser externen Anregung wieder in ihre Ausgangsposition zurückklappen, geben sie Energie ab, die von Detektoren im MRT-Gerät gemessen werden kann. Dieses Signal gibt Aufschluss über die Anzahl der Wasserstoffatome. Durch das Hinzuschalten von zusätzlichen Magnetfeldgradienten ist es möglich, Schichten für die Anregung auszuwählen. Diese Daten werden mathematisch-statistisch so behandelt und aufbereitet, dass sich daraus ein

dreidimensionales Bild z. B. einer bestimmten Hirnstruktur (etwa  $3 \times 3 \times 3$  mm Kantenlänge) konstruieren lässt.

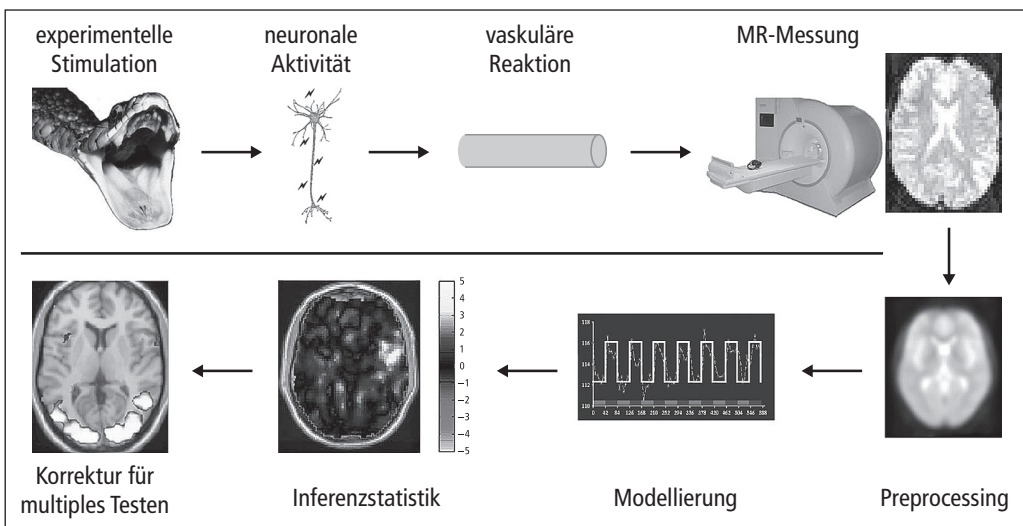
Die funktionelle Bildgebung, d. h. der Blick in das arbeitende Gehirn, beruht auf einem anderen physikalisch-physiologischen Phänomen. Wenn in einer Hirnregion die elektrische Aktivität zunimmt, kommt es dort zu einer vermehrten Durchblutung. Außerdem ist bekannt, dass sauerstoffreiches (oxygeniertes) Blut das Magnetfeld weniger stört als sauerstoffarmes (desoxygeniertes) Blut. Das liegt daran, dass das Hämoglobin als zentrales Element ein Eisen-Atom enthält, welches das Magnetfeld, je nach lokaler Blutmenge, verändern kann. Je stärker also die neurale Aktivität in einer bestimmten Hirnregion ist, umso stärker ist das aufgezeichnete Signal. Es wird als BOLD-Effekt (engl. *blood oxygen level dependent*) bezeichnet. Die dieser neu-

**ro-vaskulären Kopplung** zugrunde liegenden Prozesse sind sehr komplex und noch nicht restlos aufgeklärt (Einzelheiten dazu bei Jäncke 2005 und Poldrack et al. 2011). Man vermutet, dass ein starkes BOLD-Signal entweder auf eine erhöhte Aktionspotenzial-Frequenz oder auf eine erhöhte Anzahl aktivierter Neurone oder auf beides hinweist. Obwohl die räumliche Auflösung des Signals hoch ist, liegt die zeitliche Auflösung im Bereich von einigen Sekunden (maximale Reaktion nach Stimulation 4–6 s; nach etwa 10 s Reaktionsabfall), das heißt, dass eine erhebliche Verzögerung in Kauf genommen werden muss und rasche, im Millisekundenbereich ablaufende neurale Prozesse damit nicht zu erfassen sind.

Die Verarbeitung von fMRT-Daten ist sehr kompliziert und zeitaufwendig. Schematisch sind die einzelnen Schritte – von der Stimulation bis zur statistischen Testung – in Abbildung 31-2 dargestellt. Es gibt mittlerweile zahlreiche Messprotokolle (sogenannte Sequenzen), die die Messprozedur beschleunigen oder für bestimmte Hirnregionen spezifiziert sind.

### 31.3.2 Störeinflüsse

Die MRT-Methode unterliegt zahlreichen Störeinflüssen, die die Interpretation der Messergebnisse erschweren. Im Allgemeinen wird die Lagerung in der engen Magnet-



**Abb. 31-2** Schema der Untersuchungsschritte bei der fMRT: Der Stimulus (hier das Bild einer Schlange) führt zu neuraler Aktivität, die mit der MRT messbare vaskuläre Reaktionen (sog. *blood-oxygen-level-dependent*[BOLD]-Reaktionen) hervorruft. Die vom MRT-Scanner in Abständen von wenigen Sekunden gelieferten Hirnschnittbilder durchlaufen nach der Untersuchung bzw. dem Experiment eine

Phase des sogenannten Preprocessing (z. B. zur Korrektur von Bewegungsartefakten, Normalisierung und räumlichen Filterung). Anschließend werden die Zeitreihen eines jeden Volumenelements (Voxel) mithilfe linearer Regressionen modelliert und die Parameter auf statistische Signifikanz geprüft (mit freundlicher Genehmigung des Hogrefe Verlags, Göttingen).

röhre des MRT-Scanners (Durchmesser ca. 60 cm) und die Positionierung des Kopfes innerhalb einer Spule (Durchmesser ca. 30 cm) von den Probanden toleriert. Beeinträchtigend ist allerdings der unvermeidlich hohe **Lärmpegel** während der Messung (Spitzenwerte über 100 Dezibel), der durch das rasche Schalten der Magnetfeld-Gradienten zustande kommt (entsprechende Schallschutz-Kopfhörer dämpfen den Schalldruck). Ein weiteres Erschwernis bei der Datenanalyse sind die minimalen willkürlichen und unwillkürlichen **Körper- und Kopfbewegungen**, die die Bildqualität erheblich beeinträchtigen oder systematische Artefakte erzeugen, z. B. Zusammenzucken oder Kopfbewegungen bei der Darbietung von aversiven Reizen. Nicht immer lassen sich diese Bewegungsartefakte statistisch *post hoc* eliminieren, sodass das Messergebnis nicht interpretiert werden kann.

### 31.3.3 Untersuchungspläne

Eine funktionelle MR-Messung besteht aus dem wiederholten Messen von Hirnregionen, in denen Aktivitäten erwartet werden (z. B. hunderte bis tausend MR-Aufnahmen in einem Zeitraum von 10 min). Während dieser Zeit werden den Probanden Aufgaben vorgegeben (*Stimulationsphase*). Sie liefern keine absoluten, sondern nur relative Werte, die sich erst durch den Vergleich mit Werten aus einer Kontrollbedingung interpretieren lassen (z. B. MR-Daten aus Phasen mit Kopfrechenaufgaben vs. Phasen ohne Aufgaben; sogenanntes *block design*). Bei der statistischen Auswertung werden die Aktivitätswerte der Kontrollbedingung von denen der Stimulationsphase abgezogen, um zu prüfen, wo und wie sehr die Durchblutung zugenommen hat (**Subtraktionsverfahren**). Da es sich dabei um multiples Testen einer Viel-

zahl von Bildpunkten handelt, müssen spezielle statistische Korrekturverfahren verwendet werden. Die Kunst, aber auch die Schwierigkeit bei dieser Form des Experimentierens ist die **Wahl geeigneter Kontrollbedingungen**. Wenn noch nicht feststeht, was eigentlich mit der fMRT untersucht werden soll, bleibt die Frage nach entsprechenden Kontrollbedingungen ebenso offen.

Ein anderer häufig verwendeter Untersuchungsplan ist das sogenannte *event related design*. Diese Untersuchungsstrategie bietet sich an, wenn die hämodynamischen Hirnantworten für einzelne Reize oder für einzelne Reaktionen (z. B. richtige oder falsche, langsame oder schnelle) bestimmt werden sollen. Dies setzt voraus, dass die BOLD-Signale bei den jeweiligen Reaktionen stark genug sind (das heißt ein günstiges Signal-Rauschen-Verhältnis besteht). Zumindest muss die hämodynamische Antwort eine gewisse zeitliche Dauer aufweisen. Davon hängt ab, ob ein *block design* oder ein *event related design* verwendet wird.

So einfach dies auch erscheinen mag, hängt die Wahl eines geeigneten Untersuchungsplans doch von verschiedenen, noch nicht restlos geklärten physiologischen Faktoren ab, wie z. B. vom dynamischen Verhalten der Blutgefäße in verschiedenen Hirnregionen.

### 31.3.4 Konnektivitätsanalysen

Da es sich bei den neuralen Aktivitäten des Gehirns um miteinander in Wechselwirkung stehende Prozesse (*Netzwerke*) handelt, ist die Frage von zentralem Interesse, ob die Aktivität in einer bestimmten Hirnregion zu Aktivitäten in anderen Hirnregionen führt. Im Zusammenhang mit außergewöhnlichen Bewusstseinszuständen wird oft von **Diskonnektivität** (s. Kap. 9) gesprochen, also

von einer Abschwächung oder Unterbrechung neuraler Interaktionen. Verwendet werden zur Analyse von Konnektivitäten entweder korrelative Ansätze oder pfadanalytische Modelle, die Kausalbeziehungen, also die Frage, wie sich verschiedene Hirnregionen gegenseitig beeinflussen, bestimmen.

### 31.3.5 Spezialform: MRT-Diffusionstensor-Bildgebung

Diffusion beschreibt die Ausbreitung eines Stoffes infolge eines Konzentrationsgefälles. Mithilfe dieses physikalischen Phänomens kann man den **Faserverlauf von Nervenbündeln** im Gehirn bestimmen und sichtbar machen. Dies betrifft hauptsächlich die weiße Substanz des Gehirns. Hier herrscht eine deutliche Anisotropie (Ausbreitungsprozesse der Moleküle sind nicht mehr in alle Richtungen gleich) der Diffusion vor. Mit schnellen Bildaufnahmesequenzen und diffusionssensitiven Magnetfeldgradienten können die Faserverläufe sichtbar gemacht werden. Diese Methode beginnt auch im Forschungsfeld der außergewöhnlichen Bewusstseinszustände Verwendung zu finden. Da es bei dieser Methode unterschiedliche Fehlerquellen geben kann, ist es in jedem Fall nötig zu überprüfen, ob der mit diesem Verfahren bestimmte Faserverlauf auch tatsächlich mit den bekannten neuroanatomischen Kartierungen übereinstimmt.

## 31.4 Beispiele aus dem Forschungsfeld

Wie häufig die fMRT bei der Untersuchung veränderter Bewusstseinszustände und außergewöhnlicher Erfahrungen eingesetzt wurde, liefern Zahlen zu Studien, in denen verschiedene Induktionsmethoden (Einzel-

heiten zu diesen Methoden s. Kap. 9) verwendet wurden (Quelle: Web of Science; die Prozentzahlen in den Klammern geben die Häufigkeit der Studien zu einer bestimmten Induktionsmethode relativ zum Gesamt aller fMRT-Studien zu veränderten Bewusstseinszuständen an):

- 35 (28 %): Meditation,
- 29 (22 %): Hypnose,
- 25 (19 %): REM-Schlaf,
- 21 (16 %): Hyperventilation,
- 19 (15 %): psychedelische Drogen.

Einige Beispiele aus diesem Forschungsfeld mögen verdeutlichen, welchen Beitrag bildgebende Verfahren hier leisten können.

Newberg und D'Aquili (2002) untersuchten mit diesen Verfahren (PET) den Hirnstoffwechsel von tibetanischen Mönchen, während diese meditierten, sowie den von franziskanischen Nonnen, während diese im Gebet versunken waren. Es zeigte sich in beiden Fällen, dass während religiöser Erlebniszustände die Aufnahme und **Verarbeitung von äußeren Reizen abgeschwächt** oder sogar blockiert ist. Es kommt zu einer Minderung der Hirnaktivierung in jenen Hirnarealen des oberen hinteren Scheitellappens, die für die Verarbeitung von Informationen aus verschiedenen Sinnesmodalitäten verantwortlich sind. Außerdem führen Meditation und Gebet zu einer **Veränderung der Körperwahrnehmung** und zu **einem Verlust an Orientierung in Raum und Zeit**. Es ist bekannt, dass diese Veränderungen auch unter anderen Bedingungen auftreten können. Sie sind daher nicht spezifisch für außergewöhnliche Erfahrungen wie religiöse Erlebnisse. In ähnlicher Weise zu interpretieren sind auch die Berichte von Beaugard und Paquette (2006), die 15 Nonnen des Karmeliterordens mit fMRT untersucht haben. Die Nonnen sollten sich während der Untersuchung an das inten-

sivste mystische Erleben, das sie je in ihrem Leben gehabt hatten, so genau wie möglich erinnern. Es zeigt sich, dass während dieser Vorstellung eine Vielzahl von Hirnregionen aktiviert wurden, die mit der Repräsentation des eigenen Körpers einhergehen (z. B. Areale des Schläfenlappens), die mit positiven Gefühlen assoziiert sind (z. B. Hirnstamm, Nucleus caudatus, insulärer Cortex) und mit der Bewusstwerdung dieser Gefühle in Zusammenhang stehen (z. B. mittlerer orbito- und präfrontaler Cortex). Die Frage, inwieweit das Verhalten von medial begabten Personen während eines Trancezustandes zu Auffälligkeiten in den Hirnfunktionen führt, haben Peres und seine Mitarbeiter (2012) mit der Methode des SPECT untersucht. Sie verglichen medial begabte Personen, die seit vielen Jahren (15 bis 47 Jahre) Erfahrung mit dem automatischen Schreiben gesammelt hatten, mit solchen, die über derartige Erfahrungen nicht in diesem Umfang verfügten. Untersucht wurden diese Personen sowohl während als auch außerhalb eines Trancezustandes. Ein Kernbefund dieser Studie ist, dass diejenigen, die Langzeiterfahrung mit automatischem Schreiben besaßen, weitaus geringere Aktivierungen in den verglichenen Hirnarealen (z. B. im präfrontalen und anterioren cingulären Cortex, im Hippocampus und in den temporalen und okzipitalen Gyri) aufwiesen als Personen mit vergleichsweise weniger Erfahrung. Dies deutet daraufhin, dass, wie schon in anderen Studien mit bildgebenden Verfahren gezeigt werden konnte, die Hirnfunktionen einem „Ökonomie-Prinzip“, was den zerebralen Sauerstoffbedarf anbelangt, folgen (zur Diskussion dieses Phänomens vgl. Vaitl 2012). Dies bedeutet, dass immer weniger Hirnareale und diese immer schwächer aktiviert werden – also sparsam mit dem Glucose- und Sauerstoffangebot umgegangen wird –, je automatischer die neuralen Prozesse ab-

laufen, die zur Lösung einer Aufgabe oder Durchführung einer Handlung nötig sind.

Neue Erkenntnisse über die neuralen Funktionskomponenten von außergewöhnlichen Erfahrungen lieferten bildgebende Verfahren in den vergangenen 15 Jahren vor allem im Bereich der Meditationsforschung. Sie erlauben nicht nur einen feinkörnigen Einblick in die Funktionsweise des Gehirns während der Meditation, sondern liefern auch ein Abbild der morphologischen Besonderheiten der Hirnstrukturen von solchen Personen, die über langjährige Meditationserfahrung verfügen. Dieser neurobiologische Forschungsansatz hat zur Entdeckung von zwei zentralen Funktionsbereichen geführt, die durch Meditation günstig beeinflusst werden: die Modulation der Aufmerksamkeit und die Emotionsregulation (Hölzel et al. 2007).

Ein wichtiger **Aufmerksamkeitsprozess**, der von vielen Meditationsformen günstig beeinflusst wird, ist der Umgang mit Ablenkungen. Personen, die beispielsweise Erfahrungen mit der Achtsamkeitsmeditation hatten, zeigten eine stärkere Aktivierung im vorderen cingulären Cortex. Er ist immer dann aktiv, wenn Konflikte z. B. zwischen der erforderlichen Konzentration auf ein Meditationsobjekt und dem spontanen Fluktuieren der Aufmerksamkeit auftreten und Störeinflüsse unterbunden werden müssen. Ferner hat sich gezeigt, dass Meditation hilft, der altersbedingten **Ablenkbarkeit vorzubeugen** und die Schwierigkeit, sich länger auf etwas zu konzentrieren, zu verringern. Meditierende lernen offensichtlich die beschränkten Kapazitäten ihrer Aufmerksamkeit ökonomisch, das heißt aufgabenbezogen, einzusetzen, was gewöhnlich durch das Ausblenden von irrelevanten Ereignissen geschieht. Ob dadurch neue Ressourcen für unerwartete, außergewöhnliche Erfahrungen frei werden, ist noch unklar.

Bildgebende Verfahren erlauben auch einen Einblick in die Prozesse der **Emotionsregulation**. So fanden sich bei Langzeit-Meditierenden strukturelle Veränderungen in jenen Hirnarealen, die an der Emotionsregulation beteiligt sind, wie z. B. der orbitofrontale Cortex, der Einflüsse aus dem neuronalen Furchtsystem dämpft und neu bewertet (Hölzel et al. 2007). Wenn Meditation zur Schmerzkontrolle eingesetzt wird, zeigt sich in den Hirnfunktionen folgendes Bild: Die affektiven, nämlich die aversiven Komponenten des Schmerzes werden von den sensorischen Komponenten der Schmerzreize abgetrennt, was dazu führt, dass die Schmerzempfindung nachlässt. An der Entstehung von positiven Emotionen, wie dem Mitgefühl für Menschen, sind dagegen Hirnareale beteiligt, die unser eigenes Körperempfinden repräsentieren. Meditierenden gelingt es demnach offensichtlich besser, sich in andere einzufühlen, weil sie deren Emotionen lebensechter nachvollziehen und ähnliche Gefühle in sich erzeugen können als Personen ohne diese bewusstseinsverändernden Erfahrungen (Lutz et al. 2008).

### 31.5 Methodische Grenzen

So hilfreich und erkenntnisfördernd sich die bildgebenden Verfahren in der Vergangenheit in Medizin und Psychologie auch erwiesen haben, unterliegen sie doch teilweise erheblichen methodischen Beschränkungen, insbesondere die fMRT. Diese sollen hier kurz erwähnt werden.

Es sind vor allem die **technisch-methodischen Bedingungen** dieses Verfahrens (Enge der Magnettröhre, liegende Position, hoher Lärmpegel, untersuchungsbedingter Wechsel von Stimulations- und Kontrollphasen, Laborsituation), die sofort die Frage

aufkommen lassen, ob es unter solch widrigen Umständen überhaupt möglich ist, sich z. B. zu entspannen, zu meditieren, hypnotische Suggestionen umzusetzen oder gar mystische Erlebnisse zu haben. Ott (2012) berichtet von Studienergebnissen, bei denen es um die Möglichkeiten und Grenzen der fMRT, insbesondere um die Interpretierbarkeit der so gewonnenen Ergebnisse geht. Offensichtlich gelingt es Personen mit langjähriger Meditationserfahrung (Vipassana-Tradition), sich mit der unbequemen Positionierung und dem Lärmpegel zu arrangieren und diese **Störreize auszublen**den. Auch gaben einige Probanden an, dass sie sich wegen der Gleichförmigkeit des Lärms rasch daran gewöhnt und sogar den Eindruck gehabt hätten, in der Magnettröhre besser meditieren zu können als sonst wo, da keine anderen störenden Geräusche zu hören gewesen seien. Weniger optimistisch ist die Durchführbarkeit von Studien zu beurteilen, bei denen es, wie bereits oben erwähnt, zu unwillkürlichen oder willkürlichen Bewegungen kommt. So hat Ott (2012) festgestellt, dass es beim Einsatz von Hyperventilation zur Erzeugung eines veränderten Bewusstseinszustands durch unwillkürliche Lageveränderungen des Kopfes zu erheblichen Verzerrungen des Magnetfeldes kommt, die eine Interpretation der Befunde erschweren, wenn nicht sogar unmöglich machen. Eine andere, nicht verfahrenstechnisch, sondern methodisch bedingte Schwierigkeit beruht auf der Tatsache, dass sich bestimmte, mit veränderten Bewusstseinszuständen einhergehende Erfahrungen, wie z. B. mystische Erlebnisse, nicht „auf Befehl“ in einer Magnettröhre hervorrufen lassen (Beauregard u. Paquette 2006).



## 31.6 Fazit

So attraktiv die bildgebenden Verfahren auch sein mögen, bergen sie eine Vielzahl an Fallgruben in sich, wenn sie in naiver Weise verwendet werden. Ein Beispiel ist der Versuch, die Existenz von Psi-Phänomenen mithilfe der fMRT beweisen zu wollen und zu behaupten, dass, wenn ganz bestimmte Hirnareale, die an der Verarbeitung Psi-förderlicher Emotionen beteiligt sein sollten, nicht durch entsprechendes Stimulusmaterial zu aktivieren sind, dies ein Beleg für die Nichtexistenz von Psi-Phänomenen sei (Moulton u. Kosslyn 2008). Mit bildgebenden Verfahren kann nichts bewiesen noch widerlegt werden. Weniger naiv, wenngleich nicht minder fragwürdig, ist die Vorstellung, dass die farbigen Landkarten, die in einschlägigen Publikationen zu finden sind, irgendeinen Erkenntniswert besäßen. Es sind lediglich farbige Codierungen der Ergebnisse zahlreicher statistischer Tests von Aktivierungsveränderungen in ganz bestimmten Hirnarealen. Nicht die einzelnen lokalisierten Veränderungen und ihre Sichtbarmachung sind von Bedeutung, sondern das Zusammenspiel verschiedener Hirnregionen unter bestimmten, frei laufenden oder experimentell variierten Anregungsbedingungen. Dahinter stehen die jüngst entworfenen Konzepte, wonach es sich bei der hohen Komplexität des neuralen Geschehens im Gehirn um **nicht lineare dynamische Prozesse** handelt. Dazu zählt auch die heutige Erkenntnis, dass bestimmte Hirnregionen nicht nur eine Aufgabe zu erledigen haben, sondern im **Netzwerkverbund** mit anderen Hirnregionen jeweils höchst unterschiedliche Funktionen erfüllen. Hierzu gehört auch die bekannte hohe Plastizität der Hirnfunktionen.

Wenn die funktionelle oder strukturelle MRT sinnvoll eingesetzt werden soll, bedarf

es einer präzisen Fragestellung, die aus vorhandenen, tragfesten psychologischen Konzepten hergeleitet ist. Selbst exploratorisches Vorgehen muss sich einer Orientierungshilfe, welcher Dignität auch immer, bedienen. Die Vergangenheit hat erschreckend gezeigt, wie wertlos die Aneinanderreihung von Resultaten ist, die auf nicht sorgfältig geplanten Studien mit winzigen Stichproben beruhen. Bevor mit MRT-Studien begonnen wird, bedarf es einer **Evidenz-Konkordanz**, aus der dann abgeleitet wird, wie sinnvoll und notwendig eine MRT-Studie ist. Darunter ist zu verstehen, dass die aktuellen Kenntnisse der Neuroanatomie und -physiologie, der Verhaltensbiologie und Neuropsychologie und nicht zuletzt auch die der Neuropharmakologie zu Rate gezogen und auf Konkordanz ihrer Befunde überprüft werden sollten. Daraus ergibt sich dann ein gewisser Grad an Evidenz, die die Durchführung einer MRT-Studie plausibel macht bzw. legitimiert. Spätestens bei der Interpretation der Befunde zeigt sich, dass sich der intellektuelle Aufwand zu Beginn einer Studie gelohnt hat.

### Zur vertiefenden Lektüre

- Jäncke L. Methoden der Bildgebung in der Psychologie und den kognitiven Neurowissenschaften. Stuttgart: Kohlhammer 2005.
- Poldrack RA, Mumford JA, Nichols TE. Handbook of functional MRI data analysis. New York: Cambridge University Press 2011.

### Literatur

- Beauregard M, Paquette V. Neural correlates of a mystical experience in Carmelite nuns. *Neuroscience Letters* 2006; 406: 186–90.
- Hölzel BK, Ott U, Hempel H, Hackl A, Wolf K, Stark R. et al. Differential engagement of anterior cingulate and adjacent medial frontal cortex in adept meditators and non-meditators. *Neuroscience Letters* 2007; 421: 16–21.

- Lutz A, Slagter HA, Dunne JD, Davidson RJ. Attention regulation and monitoring in meditation. *Trends in Cognitive Sciences* 2008; 12(4): 163–9.
- Moulton ST, Kosslyn SM. Using neuroimaging to resolve the psi debate. *Journal of Cognitive Neuroscience* 2008; 20: 182–92.
- Newberg AB, D'Aquili EG. *Why God Won't Go Away: Brain Science and the Biology of Belief*. New York: Ballantine 2002.
- Ott U. *Psychophysiologie veränderter Bewusstseinszustände – Studien mit funktioneller Magnetresonanztomographie*. In: Ambach W (Hrsg). *Experimentelle Psychophysiologie in Grenzgebieten*. Würzburg: Ergon-Verlag 2012; 79–95.
- Peres JF, Moreira-Almeida A, Caixeta L, Leao F, Newberg A. Neuroimaging during trance state: a contribution to the study of dissociation. *PLOS ONE* 2012; 7(11): 1–9.
- Vaitl D. *Veränderte Bewusstseinszustände. Grundlagen – Techniken – Phänomenologie*. Mit einem Geleitwort von Niels Birbaumer. Stuttgart: Schattauer 2012.