

Heinrichs | Caspers | Schnitzler | Seitz

# Bildgebung in den Neurowissenschaften

Medizinische, rechtliche und  
ethische Aspekte



VERLAG KARL ALBER

<https://doi.org/10.5771/9783495997918-1>, am 07.06.2024, 16:04:03

Open Access –  – <https://www.nomos-elibrary.de/agb>





Ethik in den Biowissenschaften – Sachstandsberichte des DRZE

Im Auftrag des  
Deutschen Referenzzentrums für Ethik in den Biowissenschaften

Herausgegeben von  
Dieter Sturma und Dirk Lanzerath

[www.drze.de](http://www.drze.de)

Band 24

Jan-Hendrik Heinrichs | Svenja Caspers  
Alfons Schnitzler | Frederike Seitz

# Bildgebung in den Neurowissenschaften

Medizinische, rechtliche und ethische Aspekte



VERLAG KARL ALBER



<https://doi.org/10.5771/9783495997918-1>, am 07.06.2024, 16:04:03  
Open Access –  <https://www.nomos-elibrary.de/agb>

Diese Publikation wird als Vorhaben der Nordrhein-Westfälischen Akademie der Wissenschaften und der Künste im Rahmen des Akademienprogramms von der Bundesrepublik Deutschland und dem Land Nordrhein-Westfalen gefördert.

Redaktion: Laura Summa

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

1. Auflage 2023

© Jan-Hendrik Heinrichs, Svenja Caspers, Alfons Schnitzler, Frederike Seitz

Publiziert von

Verlag Karl Alber – ein Verlag in der Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG  
Waldseestraße 3–5 | 76530 Baden-Baden  
[www.nomos.de](http://www.nomos.de)

Gesamtherstellung:

Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG  
Waldseestraße 3–5 | 76530 Baden-Baden

ISBN (Print): 978-3-495-99790-1

ISBN (ePDF): 978-3-495-99791-8

DOI: <https://doi.org/10.5771/9783495997918>



Onlineversion  
Nomos eLibrary



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz.

<https://doi.org/10.5771/9783495997918-1>, am 07.06.2024, 16:04:03

Open Access –  <https://www.nomos-elibrary.de/gab>

# Inhalt

Vorwort . . . . .	11
<b>I.  Bildgebung in den Neurowissenschaften:</b>	
<b>Medizinische Aspekte . . . . .</b>	<b>15</b>
1. Grundlagen der medizinischen Neurobildung . . . . .	15
1.1 Magnetresonanztomographie (MRT) . . . . .	16
1.2 Computertomographie (CT) . . . . .	21
1.3 Magnetenzephalographie (MEG) . . . . .	22
1.4 Elektroenzephalographie (EEG) . . . . .	27
1.5 Nahinfrarot-Spektroskopie (NIRS) . . . . .	29
2. Neurobildung in der Forschung . . . . .	30
2.1 Paradigmenwechsel – von kleinen Studien zu großen Kohorten . . . . .	30
2.2 Aktuelle ausgewählte Felder neurowissenschaftlicher Forschung . . . . .	35
2.2.1 Gehirnnetzwerke . . . . .	35
2.2.2 Gehirnalterung . . . . .	39
2.2.3 Gehirn, Genetik und Umwelt . . . . .	42
2.2.4 Prädiktion aus Neurobildungsdaten . . . . .	44
3. Neurobildung in der exemplarischen klinischen Anwendung . . . . .	46
3.1 Schlaganfall . . . . .	47
3.1.1 Bildung des Infarktkerns und der Penumbra . . . . .	48
3.1.2 Bildung und Zeitpunkt des Schlaganfallbeginns . . . . .	49
3.1.3 Bildung und Funktionserholung nach Schlaganfall . . . . .	50
3.1.4 MEG und Schlaganfall . . . . .	54
3.2 Neurodegenerative Erkrankungen . . . . .	55

<b>II. Bildgebung in den Neurowissenschaften:</b>	
<b>Rechtliche Aspekte</b> . . . . .	81
1. Einleitung . . . . .	81
2. Bildgebende Verfahren . . . . .	82
2.1 Auf ionisierender Strahlung/radioaktiven Stoffen basierende bildgebende Verfahren . . . . .	83
2.2 Nicht auf ionisierender Strahlung/radioaktiven Stoffe basierende Verfahren . . . . .	84
3. Der Einsatz bildgebender Verfahren zum Zwecke von ärztlicher Heilbehandlung und klinischer Forschung	85
3.1 Ärztliche Heilbehandlung, individueller Heilversuch und klinische Forschung . . . . .	85
3.2 Klinische Forschung . . . . .	86
3.2.1 Anwendbarkeit des Strahlenschutzgesetzes	86
3.2.1.1 Anwendbarkeit des StrlSchG im Rahmen der medizinischen Forschung . . . . .	87
3.2.1.2 Genehmigung- und Anzeigeverfahren, §§ 31, 32 StrlSchG . . . . .	87
3.2.1.3. Forschung an nicht Einwilligungsfähigen und Minderjährigen . . . . .	88
3.2.2 Klinische Studien zum Zwecke der Einführung neuer bildgebender Verfahren	88
3.2.2.1 Anwendbarkeit von MDR und MPDG . . . . .	89
3.2.2.2 Übersicht der Voraussetzungen . . . . .	90
3.2.2.3 Forschung an nicht Einwilligungsfähigen und Minderjährigen . . . . .	90
3.2.2.4 Strahlenschutzgesetz . . . . .	91
3.2.3 Klinische Studien unter Einsatz von bildgebenden Verfahren zur Erprobung von Arzneimitteln . . . . .	91

3.2.3.1	Anwendbarkeit des AMG . . . . .	91
3.2.3.2	Übersicht der Voraussetzungen . . . . .	91
3.2.3.3	Forschung an nicht Einwilligungsfähigen und Minderjährigen . . . . .	92
3.2.3.4	Strahlenschutzgesetz . . . . .	92
3.2.4	Klinische Studien unter Einsatz von bildgebenden Verfahren zu anderen Zwecken . . . . .	92
3.2.4.1	Allgemeine Voraussetzungen der klinischen Forschung zu anderen Zwecken . . . . .	93
3.2.4.2	Einwilligungsunfähige bzw. in ihrer Einwilligungsfähigkeit beschränkte Personen . . . . .	94
3.2.4.2.1	Erwachsene . . . . .	95
3.2.4.2.2	Minderjährige . . . . .	96
3.2.4.2.3	Strahlenschutzgesetz . . . . .	96
3.3	Einsatz bildgebender Verfahren zum Zwecke der Heilbehandlung . . . . .	97
3.3.1	Behandlungsvertrag . . . . .	97
3.3.2	<i>Informed Consent</i> . . . . .	98
3.3.2.1	Inhalt und Umfang . . . . .	98
3.3.2.2	Form und Zeitpunkt . . . . .	99
3.3.2.3	Einwilligungsunfähige bzw. in ihrer Einwilligungsfähigkeit beschränkte Personen . . . . .	99
3.3.2.4	Bildgebende Verfahren und Zufallsbefunde . . . . .	99
4.	Zufallsbefunde . . . . .	100
4.1	Heilbehandlung . . . . .	100
4.2	Klinische Forschung . . . . .	101

5. Neurodeterminismus, Lügendetektoren, der Einsatz bildgebender Verfahren zur Feststellung der Schuldfähigkeit und die Frage nach gefährlichen Gehirnen . . . . .	104
5.1 Neurodeterminismus und Schuldstrafrecht . . . . .	105
5.2 Einsatz bildgebender Verfahren im Strafprozess . . . . .	108
5.2.1 Einsatz als Beweismittel . . . . .	109
5.2.2 Einsatz zur Prävention von Straftaten . . . . .	111
5.2.3 Zur Feststellung der Schuldfähigkeit . . . . .	112
6. Fazit und Ausblick . . . . .	113
<b>III. Bildgebung in den Neurowissenschaften:</b>	
<b>Ethische Aspekte . . . . .</b>	<b>119</b>
1. Einleitung . . . . .	119
2. Anwendungsübergreifende Herausforderungen . . . . .	120
2.1 Risiko-Nutzen-Bilanz . . . . .	120
2.1.1 Risiken von <i>Imaging</i> -Verfahren . . . . .	121
2.1.2 Nutzen von <i>Imaging</i> -Verfahren – Grenzen und Missverständnisse . . . . .	125
2.1.2.1 Klinischer Nutzen und die diagnostisch-therapeutische Fehleinschätzung . . . . .	126
2.1.2.2 Forschungsnutzen und das diagnostische Missverständnis . . . . .	128
2.1.2.3 Rollenmissverständnisse – Ethische Pflichten jenseits des Arzt-Patienten-Verhältnisses . . . . .	129
2.2 Informierte Einwilligung . . . . .	131
2.2.1 Breite und Blanko-Einwilligung . . . . .	135
2.3 Zufallsbefunde . . . . .	137
2.3.1 Einschlägige Rechte und Pflichten . . . . .	140
2.3.2 Nutzen und Schaden der Mitteilung von Zufallsbefunden . . . . .	144
3. Ethische Aspekte der Neurobildgebung in der Forschung . . . . .	145
3.1 Rekrutierung von Proband*innen und gleicher Forschungszugang . . . . .	145
3.2 Datenschutz und Privatsphäre . . . . .	148

3.3 Gehirn- und <i>Imaging</i> -Datenbanken . . . . .	150
4. Ethische Aspekte der Neurobildgebung in der klinischen Anwendung: Frühdiagnose / Vorsorgeuntersuchungen . . . . .	152
5. Neue Herausforderungen der Privatsphäre: <i>Decoding</i> und <i>Consumer Neurotechnologies</i> . . . . .	154
5.1 <i>Decoding</i> und <i>Mindreading</i> . . . . .	154
5.2 <i>Consumer Neurotechnologies</i> . . . . .	160
6. Zusammenfassung und Schlussfolgerung . . . . .	161
<b>Kontaktinformationen . . . . .</b>	<b>169</b>



# Vorwort

Bildgebende Verfahren in der Medizin ermöglichen einen Blick ins Körperinnere, ohne dass ein Schnitt in die Haut oder das Einführen eines Instruments in den Körper notwendig wären. Diese nicht-invasiven Verfahren helfen Ärzt\*innen insbesondere bei der Diagnose einer Erkrankung, der Feststellung des Schweregrads einer Krankheit, der Verlaufskontrolle von erkrankten Personen sowie der präzisen Planung der Heilbehandlung. Viele dieser Verfahren sind schon länger als Untersuchungsformen im medizinischen Alltag fest etabliert. Doch auch die weitergehenden Ansätze der anatomischen und funktionellen Forschung in der Medizin haben erheblich von bildgebenden Verfahren profitiert. Gerade die Forschung am menschlichen Gehirn ist auf diese nicht-invasiven Verfahren angewiesen, wie etwa Magnetresonanztomographie (MRT), Computertomographie (CT) oder Elektroenzephalographie (EEG). So hat die Neurobildgebung in den letzten Dekaden durch experimentelle Untersuchungen unmittelbar am Menschen wesentlich zum Verständnis der Organisation und Funktionsweise des Gehirns beigetragen. Dies betrifft nicht nur Erkenntnisse über funktionelle Störungen oder den Verlauf verschiedener neurodegenerativer oder psychiatrischer Erkrankungen wie etwa Demenz, Morbus Parkinson, Depression oder Schizophrenie. Bildgebende Verfahren helfen auch über den Rahmen der medizinischen Heilbehandlung hinaus, die neuronalen Korrelate von Denk- und Entscheidungsprozessen gesunder Menschen grundsätzlich besser zu verstehen, da sie Muster verschiedener Aktivitäten im Gehirn abbilden und sichtbar machen können. Jedoch sind viele interpretatorische Schritte notwendig, um die so generierten Bilder auch tatsächlich als Korrelate von Denkprozessen im Gehirn zu interpretieren und zu bewerten.

Neben den enormen Chancen und Potenzialen, die bildgebende Verfahren in den Neurowissenschaften auf diese Weise eröffnen, werden durch sie zugleich auch neue normative Herausforderungen erzeugt, die sowohl Gegenstand der rechtlichen als auch der philosophisch-ethischen Reflexion sind. Die Abwägung von Schaden und

Nutzen im Zusammenhang mit der Strahlenbelastung spielen hier genauso eine Rolle wie der Umgang mit möglichen Zufalls- oder Nebenbefunden sowie die Frage, ob sich Denk- und Entscheidungsprozesse an neuralen Korrelaten ablesen oder gar vorhersagen lassen. Nicht zuletzt haben bildgebende Verfahren so zu einer Renaissance der philosophischen Debatte um die Willens- und Handlungsfreiheit beigetragen, aus der heraus auch das Problem der Schuldfähigkeit und die Feststellung der Schuld im Strafrecht neu eingeordnet werden müssen. Aus medizinethischer Sicht ist besonders auffällig, dass bildgebende Verfahren immer frühere Krankheitsdiagnosen oder Prognosen über Krankheitsverläufe ermöglichen, denen oft keine oder keine angemessenen therapeutischen oder präventiven Mittel gegenüberstehen. Hier ist zu erörtern, in welchen kommunikativen Rahmen solche Befunde eingebettet werden müssen, damit die medizinethischen und medizinrechtlichen Prinzipien der Autonomie und des Nichtschadens gleichermaßen gewahrt und das Recht auf Nichtwissen angemessen berücksichtigt werden können. Darüber hinaus stellen sich vermehrt Probleme des Datenschutzes. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn Bilder in Datenbanken längerfristig gespeichert und von dort weiterverarbeitet oder an dritte Parteien weitergegeben werden.

Der *erste Teil* dieses Sachstandsberichts stellt die neueren Methoden der nicht-invasiven Neurobildgebung in systematischer Weise aus *medizinischer* Sicht mit ihren verschiedenen Einsatzmöglichkeiten, aber auch Begrenzungen vor. Daran anschließend werden beispielhaft aktuelle Forschungsfelder und klinische Anwendungsmöglichkeiten aufgezeigt, in denen die aktuellen bildgebenden Verfahren zum Einsatz kommen, um Funktionsweisen und Funktionsstörungen des Gehirns besser zu verstehen. Der *zweite Teil* beleuchtet die *rechtlichen* Fragestellungen, die sich im Rahmen der klinischen Forschung und der medizinischen Heilbehandlung ergeben. Neben den grundsätzlichen Fragen zur Schadensvermeidung und zur Achtung der informationellen Selbstbestimmung in medizinischer Praxis und Forschung werden Problemfelder des Schuldstrafrechts diskutiert. Dazu gehören u.a. der Einsatz von bildgebenden Verfahren bei der Erstellung von Gutachten zur Feststellung der Schuldfähigkeit, die Problematik des Einsatzes von Lügendetektoren mit simultaner Neurobildgebung sowie den Beitrag, den bildgebende Verfahren grundsätzlich zur Diskussion um einen Neurodeterminismus leisten. Im *dritten Teil* wird der Einsatz bildgebender Verfahren in den Neurowis-

senschaften aus *ethischer* Perspektive erörtert. So wird aufgegriffen, dass Diagnosen zu einer erheblichen Belastung führen können, wenn keine entsprechenden Therapien verfügbar sind. Dies führt in der Medizinethik zu einer Debatte um das Recht auf Nichtwissen. In der Ethik hat sich zudem über die juristische Fachdiskussion hinaus eine eigene Diskussion über die Verwendung von bildgebenden Verfahren im Zusammenhang mit der Strafverfolgung entwickelt, sowie eine Debatte über die Rechtfertigung der Anwendung einfacher Geräte im Alltag, etwa zur Beobachtung des Verhaltens von Verbraucher\*innen. Der vorliegende Sachstandsbericht stellt einen interdisziplinären Überblick über die aktuelle Diskussion zum Thema aus medizinischer, rechtlicher und ethischer Perspektive dar.

Dirk Lanzerath

