

Wanderungen in der Marklagergegend: Raumdenotationen für das menschliche Gehirn

Karl-Heinrich Schmidt[‡]; Kornelia Höfker-Donn[†]

I Zusammenfassung und Gliederung

Die Autoren stehen vor der Aufgabe, Denotationen räumlicher Sachverhalte des menschlichen Gehirns so zu repräsentieren, daß diese für Zwecke der programmgesteuerten Interpretation von Mustern nutzbar gemacht werden können.

Im Vordergrund unseres Interesses steht hier zunächst:

- eine Sichtung des Materials (, dessen Präsentation auch aufzufassen ist als Einladung, sich mit ihm zu beschäftigen);
- eine einheitliche Kennzeichnung von Repräsentationsweisen, die es gestattet, Mißverständnisse bei der Denotation räumlicher Sachverhalte zu vermeiden.

Zur Klärung der zu modellierenden Sachverhalte soll in diesem Arbeitspapier zunächst das Material skizziert werden. Dazu werden nach der Einleitung (Abschnitt 2) im Abschnitt 3 zunächst typische linguistische und

[†] Philips GmbH Forschungslaboratorium Hamburg, 2000 Hamburg 54.

[‡] Universität Hamburg, Fakultät für Informatik, 2000 Hamburg 50.

nichtlinguistische Symbolschemata aus anatomischen Textbüchern, Atlanten und radiologischen Bildern an einigen Beispielen aus der Marklagergegend (der 'weißen Substanz' des menschlichen Gehirns) vorgestellt.

Anschließend erfolgt in Abschnitt 4 eine erste syntaktische, im Abschnitt 5 eine semantische Kennzeichnung der eingeführten Beispiele.

In Abschnitt 6 werden einige aus den Beispielen und den symboltheoretischen Kennzeichnungen abgeleitete Fragen gestellt.

Ein Appendix mit einer Liste wortsprachlicher Denotationen von Räumlichkeit beschließt die Darstellung.

2 Einleitung

(1)

Betrachtet man die Denotation räumlicher Sachverhalte unter dem Gesichtspunkt der Kommunikation, so ist es in vielen Zusammenhängen wünschenswert, die folgende Situation zu vermeiden:

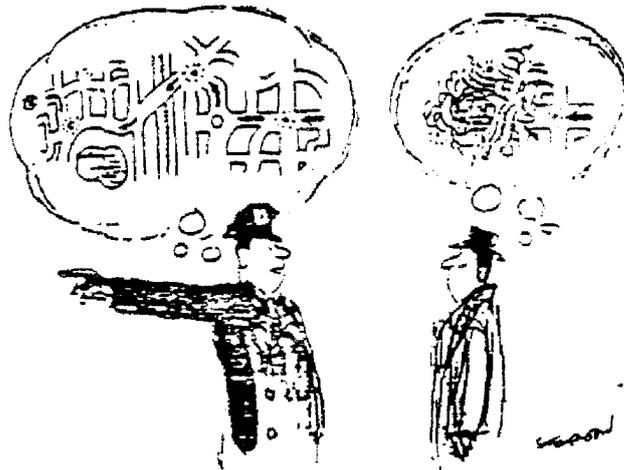


Illustration des Sachverhalts. © 1976 Prof. Dr. J. J. van Marrewijk, Dr.

Eine Interpretation dieses Cartoons ist, daß er die Tauglichkeit natürlicher Sprache, Orientierungen im Raum mitzuteilen, ironisiert. Wenn man allerdings von der Zeigehandlung des Polizisten absieht, verrät der Cartoon nicht viel über das Symbolschema, das die beiden Interaktanten verwenden — klar ist nur seine Untauglichkeit, Mißverständnisse und Verwechslungen zu vermeiden.

Das Problem der möglichst *unmißverständlich* Mitteilung räumlicher Sachverhalte, das hier in einer alltäglichen Situation eingefangen ist, stellt sich auch oft in der Kommunikation wissenschaftlichen Wissens.

(2)

In *wissenschaftlicher* Kommunikation haben Texte bei der Kodierung von Sachverhalten — etwa zur Durchsetzung wissenschaftlicher Geltungsansprüche — ein historisches Privileg: Wahrheit und Falschheit und damit wissenschaftliche Anschlußfähigkeit stehen oft nur bei textlich kodierbaren Behauptungen in Frage.

Neben textlichen Kodierungsformen hat sich insbesondere in diesem Jahrhundert in vielen Bereichen eine Fülle weiterer Verfahren etabliert, die nichttextlich repräsentierte Kodierungen von Sachverhalten vornehmen (in Bildern, Diagrammen, etc.). Dies begründet in vielen Disziplinen eine vielfältige Verwendung nichtlinguistischer Kodierungsformen.

Hat man als Beobachter ein Interesse an nichtlinguistischen Symbolschemata entwickelt, sind zu dessen Befriedigung besonders solche Bereiche geeignet, in denen möglichst viele und möglichst verschiedene solcher nichtlinguistischen Symbolschemata zu Analyse und Vergleich einladen. Im Alltag ist man von einer Fülle dieser Schemata umgeben: Uhren, Thermometer, Karten, Partituren ... erfreuen sich — z.T. nach einem nicht immer erfreulichen Training — ständigen Gebrauchs. Allerdings sind diese Schemata im Alltag thematisch nicht so zentriert, daß sie auf eine ('kleine') Domäne angewendet werden. Dies ist aber eine wünschenswerte Bedingung für einen Vergleich von Schemata und ihren Leistungen — etwa hinsichtlich ihres Vermögens, unmißverständlich Räumlichkeit zu denotieren.

Eine semantische Zentrierung eines ganzen Arsenal von nichtlinguistischen Symbolsystemen erfolgt in der Medizin. Speziell in der radiologischen Klinik gibt es eine Fülle von Möglichkeiten, mit Geräten vom Körper eines Patienten Daten zu sammeln: Diagramme, Karten, analoge und digitale Bilder ... werden zur Darstellung des menschlichen Körpers verwendet, um Krankheiten auf die Spur zu kommen.

Daher soll im weiteren die folgende Frage nach der Vermeidung von Mißverständnissen für linguistische und nichtlinguistische Symbolschemata und ihre maschinelle Verarbeitung untersucht werden: Welcher Typ von Symbolschemata ist zu verwenden, um in (wissenschaftlicher) Kommunikation (der Medizin) bei der Denotation von Räumlichkeit die auf dem Cartoon dargestellte Situation zu vermeiden?

Wir konzentrieren uns auf Denotationen räumlicher Sachverhalte des *menschlichen Gehirns*. Ferner betrachten wir im weiteren nur *visuell* zu rezipierende Symbolschemata.

3 Denotationen neuroanatomischer Sachverhalte

Die für (Raum-)Beschreibungen des Gehirns zuständige Disziplin ist (u.a.) die Neuroanatomie. In ihr werden die Objekte und Relationen des Gegenstandsbereiches durch natürlichsprachliche Beschreibungen, Bilder, Diagramme etc. denotiert.

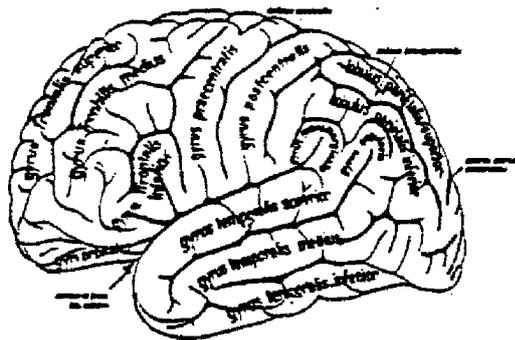
In diesem Abschnitt präsentieren wir einige Beispiele, die sich alle auf 'denselben räumlichen Sachverhalt' im Gehirn beziehen. Wir beginnen mit einem *eindimensionalen* Text:

I "In die zunächst verwirrende Unregelmäßigkeit der Furchen und Windungen, die nicht einmal an den beiden Hälften des Gehirns gleich sind, bringen wir einige Ordnung, wenn wir zunächst die Hauptfurchen bestimmen. Der Sulcus centralis verläuft von hinten oben nach vorn

unten, begleitet von dem *Gyrus praecentralis* und dem *Gyrus postcentralis*. Er schneidet die obere oder Mantelkante ein. Sein unteres Ende weist auf die tiefe, seitliche Furche, *Sulcus lateralis* (*Fissura Sylvii*). Sie hat ... einen langen, nach hinten weisenden Ast, *Ramus posterior*, einen kurzen, senkrecht aufsteigenden *Ramus ascendens* und einen nach vorn gerichteten *Ramus anterior*. [12, p. 290].

Hier werden mittels wortsprachlicher Zeichen Raumbeschreibungen des menschlichen Gehirns vorgenommen. Texte dieser Art sind fast stets begleitet von nichtwortsprachlichen Denotationen der beschriebenen Sachverhalte. Dies geschieht zum Beispiel durch gezeichnete Graphiken, die *zweidimensional* Beobachtungen von Neuroanatomen kodieren¹:

II

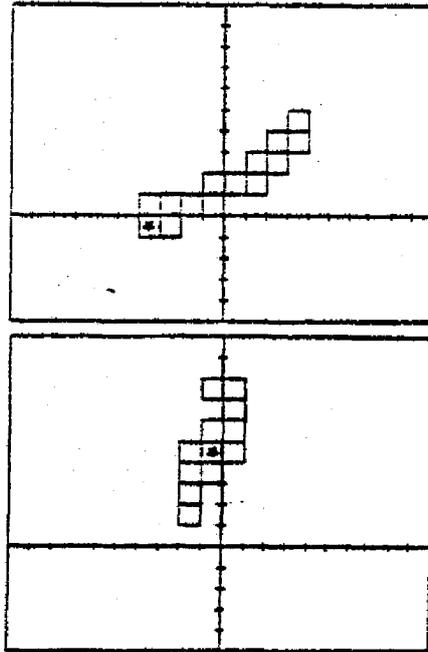


Unter Einsatz menschlicher Sensorik werden auch *dreidimensionale* Kodierungen räumlicher Sachverhalte vorgenommen. In dem folgenden Beispiel aus [8] ist für 10 menschliche Gehirne die 'mittlere' Lage anatomischer Strukturen bestimmt worden. Diese sind in eine Würfelplasterung eines dreidimensionalen Referenzvolumens durch 4^3 mm^3 große Würfel eingetragen worden. Für den *Sulcus centralis* und den *Sulcus lateralis* — cf. Beispiel I und II — seien hier zwei 'parasagittale' (etwa parallel zum

¹In dem nachstehend abgebildeten Beispiel finden sich der *Sulcus centralis*, *Gyrus praecentralis*, und der *Gyrus postcentralis* in der Mitte der Graphik; der *Sulcus lateralis* (*Fissura Sylvii*) beginnt unten links.

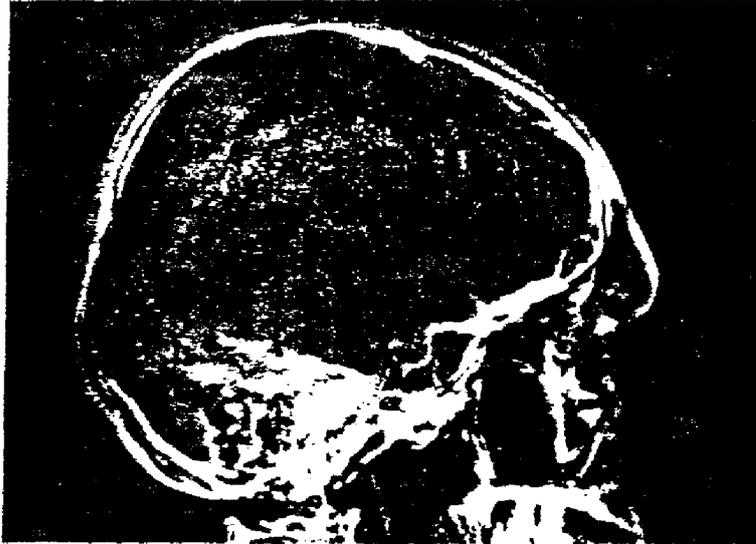
Nasenrücken verlaufende) Schichten durch dieses Referenzvolumen wieder-
gegeben; in Beispiel III a findet sich der Sulcus lateralis, in Beispiel III b
der Sulcus centralis:

III

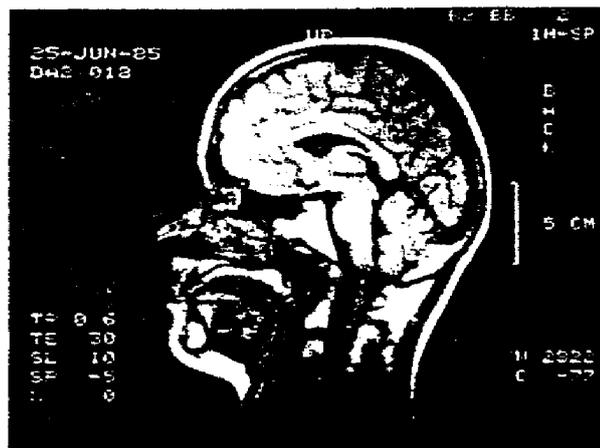


In den bisherigen Beispielen wurde der Mensch als Sensor eingesetzt.
Über die sensoriiellen Möglichkeiten des Menschen hinaus hat sich seit dem
Ende des letzten Jahrhunderts (W. C. Röntgen) eine Fülle weiterer Ver-
fahren etabliert zur Sichtbarmachung räumlicher Sachverhalte des menschi-
chen Körpers —

IV z. B. durch Röntgenstrahlen (hier eine seitliche Ansicht des Schädels;
die Nase ist rechts):



V oder etwa durch Messung magnetischer Resonanz (auch hier eine seitliche Ansicht des Kopfes; die Nase ist links):



Die bisher genannten Beispiele sollen zunächst syntaktisch charakterisiert werden unter der Maßgabe, in wissenschaftlicher Kommunikation Mißverständnisse auszuschließen. Dies geschieht im nächsten Abschnitt.

4 Syntax

Zur syntaktischen Charakterisierung der obigen Beispiele führen wir zunächst einige Begriffe ein.

Ein *Symbolschema* Σ ist hier eine Menge von Zeichen Z , die wiederum durch Mengen von Marken definiert sind. Eine Marke, die Element einer ein Zeichen definierenden Menge ist, heißt auch Realisation dieses Zeichens.

Ein Symbolschema Σ heißt *Notationsschema*, wenn es die folgenden beiden Anforderungen erfüllt:

1. Σ ist *syntaktisch disjunktiv*: Für je zwei Marken, die Realisationen eines gemeinsamen Zeichens sind, gilt, daß keine von beiden zu irgendeinem Zeichen gehört, zu dem die andere nicht gehört.
2. Σ ist *syntaktisch endlich differenziert*: Für jeweils zwei Zeichen Z und Z' und jede Marke m , die nicht zu beiden Zeichen gehört, ist die Bestimmung, daß m nicht zu Z oder m nicht zu Z' gehört, theoretisch möglich.²

Der ersten, aber nicht der zweiten Anforderung entspricht ein Klassifikationsschema von Marken, das jeden auch noch so kleinen Unterschied eines Merkmals als Unterschied des Zeichens betrachtet.

Der zweiten, aber nicht der ersten Anforderung entspricht ein Schema, in dem alle Realisationen auffällig verschieden sind, aber wenigstens ein Zeichenpaar einige Realisationen gemeinsam und wenigstens eine Realisation nicht gemeinsam haben.

²"Theoretisch möglich' kann " auf jede vernünftige Weise interpretiert werden; welche Wahl man auch immer trifft, jede logisch und mathematisch begründete Unmöglichkeit ist natürlich ausgeschlossen." [4, p. 143]

Betrachtet man durch die Brille dieser Definitionen die im Abschnitt 3 beispielhaft dokumentierten Symbolschemata, so werden dort sehr verschiedene Typen zur Denotation räumlicher Sachverhalte vorgestellt:

1. Für die Marken in den Beispielen II und IV gehen wir von der plausiblen Annahme aus, daß jede kleine Änderung der Marke auch eine Änderung des Zeichens zur Folge hat. Wir sehen sie darum nicht als endlich differenziert und also auch nicht als einem Notationsschema zugehörig an.
2. Die Beispiele I, III und V behandeln wir im weiteren als Elemente eines syntaktisch disjunktiven und endlich differenzierten Schemas und damit als Elemente eines Notationsschemas.

Um prinzipiell in kommunikativen Handlungen syntaktisch Mißverständnisse auszuschließen, benötigt man Notationschemata. Entsprechend müssen bei der Denotation von Räumlichkeit im Gehirn unter dem Gebot eines prinzipiellen Ausschlußes von Mißverständnissen die unter 1. genannten Beispiele für wissenschaftliche Kommunikation außer Betracht bleiben. Mit dieser Einschränkung bleibt insbesondere eine Fülle der in medizinischen Atlanten, Lexika, Hand- und Lehrbücher genutzten nichtlinguistischen Symbolschemata für eine unmißverständliche Denotation von Räumlichkeit außer Betracht.

Die verbleibenden (unter 2. genannten) Notationschemata werden nun hinsichtlich ihrer semantischen Leistungsfähigkeit, Mißverständnisse zu vermeiden, charakterisiert.

5 Semantik

5.1 Notationssysteme

Ein Symbolschema, das mit einem Bedeutungsfeld korreliert ist, heißt im weiteren *Symbolsystem*. Um Weisen der unmißverständlichen Korrelation von Schemata mit Bedeutungsfeldern bestimmen zu können, führen wir einige Definitionen ein und diskutieren dann die verbleibenden Beispiele.

Ein Element aus der Extension einer Zeichenrealisation heißt *Kompatible* der Realisation oder '*kompatibel mit*' der Realisation. Eine Realisation ist *doppeldeutig*, wenn sie "zu verschiedenen Zeiten und in verschiedenen Kontexten verschiedene Kompatible() hat." [4, p.153]. Ein Zeichen ist doppeldeutig, wenn eine seiner Realisationen es ist. Ein Zeichen ist *ambiguös*³, wenn nicht alle Realisationen — die nicht doppeldeutig sein können — dieselbe Extension haben. Die Vereinigung aller Extensionen der Realisationen eines Zeichens bezeichnen wir (abkürzend) als Kompatibilitätsklasse des Zeichens.

Damit können wir nun festlegen:

3. Ein Symbolsystem heißt *unzweideutig*, wenn kein Zeichen ambiguös oder doppeldeutig ist.
4. Ein Symbolsystem heißt *semantisch disjunktiv*, wenn keine zwei Zeichen irgendeine Kompatible gemeinsam haben⁴.
5. Ein Symbolsystem heißt *semantisch endlich differenziert*, wenn für jedes Zeichenpaar Z und Z' und jedes Objekt h , daß nicht mit beiden kompatibel ist, eine Entscheidung, daß entweder h nicht mit Z oder h nicht mit Z' kompatibel ist, theoretisch möglich ist.

Ein Symbolsystem heißt *Notationssystem*, wenn es ein Notationsschema ist und die obigen drei Bedingungen erfüllt⁵.

Diese Definitionen sollen nun für die verbleibenden Beispiele angewendet werden.

³Mit dem Wort 'ambiguös' übernehmen wir die Terminologie aus [4, p.154].

⁴Die Anforderung kann man dahingehend lockern, daß man Redundanz in der folgenden Weise zuläßt: Wenn zwei Zeichen eine Kompatible gemeinsam haben, dann haben sie alle gemeinsam.

⁵"Alle fünf Bedingungen sind voneinander unabhängig in dem üblichen logischen Sinn, daß die Erfüllung oder Verletzung irgendeiner nicht die Erfüllung oder Verletzung irgendeiner anderen zur Folge hat." [4, p.163]

5.2 Die Wortsprache der morphologischen und topographischen Neuroanatomie

Die Neuroanatomie beschreibt in der neuroanatomischen Morphologie Strukturen (Objekte) und Gestalten des Körpers und in der neuroanatomischen Topographie die räumliche Anordnung dieser Objekte.

5.2.1 Die Wortsprache der Morphologie

Liest man den Text in der in I wiedergegebenen Passage, so sieht er bis auf die lateinischen und latinisierenden Objektnamen zunächst ganz 'normal' aus. Die Objektnamen markieren auch die entscheidende Differenz zur unbegrenzt verwendeten natürlichen Sprache: Sie identifizieren — neuroanatomische Kompetenz vorausgesetzt — die Objekte des Gegenstandsbereiches auf unzweideutige, semantisch disjunktive und endlich differenzierte Art und Weise. *Der Gegenstandsbereich der Neuroanatomie ist wortsprachlich auf notationale Art und Weise beschrieben und darüberhinaus — prinzipiell jedenfalls — abgeschlossen.*

Bei der Denotation der räumlichen Zusammenhänge dieser geschlossenen morphologischen Welt sind die Anforderungen von Notationssystemen allerdings in keiner Weise gewahrt.

5.2.2 Die Wortsprache der Topographie

Wie ebenfalls an dem einführenden Text zu sehen ist, werden in der Medizin durchaus natürlichsprachliche Elemente zur Beschreibung einer topographischen Ordnung verwendet. Über diese natürlichsprachlichen Elemente hinaus werden in der Medizin viele fachsprachliche Terme gebraucht, wie die folgenden Textpassagen zeigen⁶:

„Der Linsenkern, Nucleus lentiformis, ist ... vollständig in die weiße Substanz der Hemisphäre eingebettet ... Die schwach gewölbte, laterale Fläche... wird durch die Capsula externa vom

⁶Eine Liste medizinischer Ausdrücke zur Beschreibung topographischer Ordnungen findet sich im Appendix.

Clastrum getrennt ... Auf Frontalschnitten hat er die Form eines Keils, dessen Schneide nach medial weist..."[12, p.314]⁷.

"Läsionen der ventralen Anteile der oberen Medulla verursachen eine Hemiplegia alternans des N.hypoglossus, während Läsionen des dorsolateralen Areal der oberen Medulla zum Wallenberg-Syndrom führen... Bei Läsionen von mehr zentral gelegenen Teilen der oberen Medulla wird eine Vielzahl von klinischen Syndromen beobachtet..."[1, p.37]⁷

Für diese topographischen Terme gibt es, wie die bisherigen Zitate zeigen, mehrere Verwendungsmöglichkeiten:

1. Ein topographischer Begriff kann als Adjektiv zur Kennzeichnung eines Objektes verwendet werden, z.B. in 'Sulcus lateralis' und 'Ramus posterior' (cf. Beispiel I).
2. Die Begriffe werden auch verwendet, um ein Objekt in verschiedene Anteile zu zerlegen, wie die "ventralen Anteile der oberen Medulla" im letzten Zitat zeigen.
3. Weiterhin dienen die Begriffe der Lagebeschreibung von Objekten. Dies geschieht mittels eines Referenzobjektes, etwa in dem Satz

"Lateral von der inneren Marklamelle liegt die laterale, medial von ihr die mediale Gruppe der Thalamuskern." [12, p.312]⁷

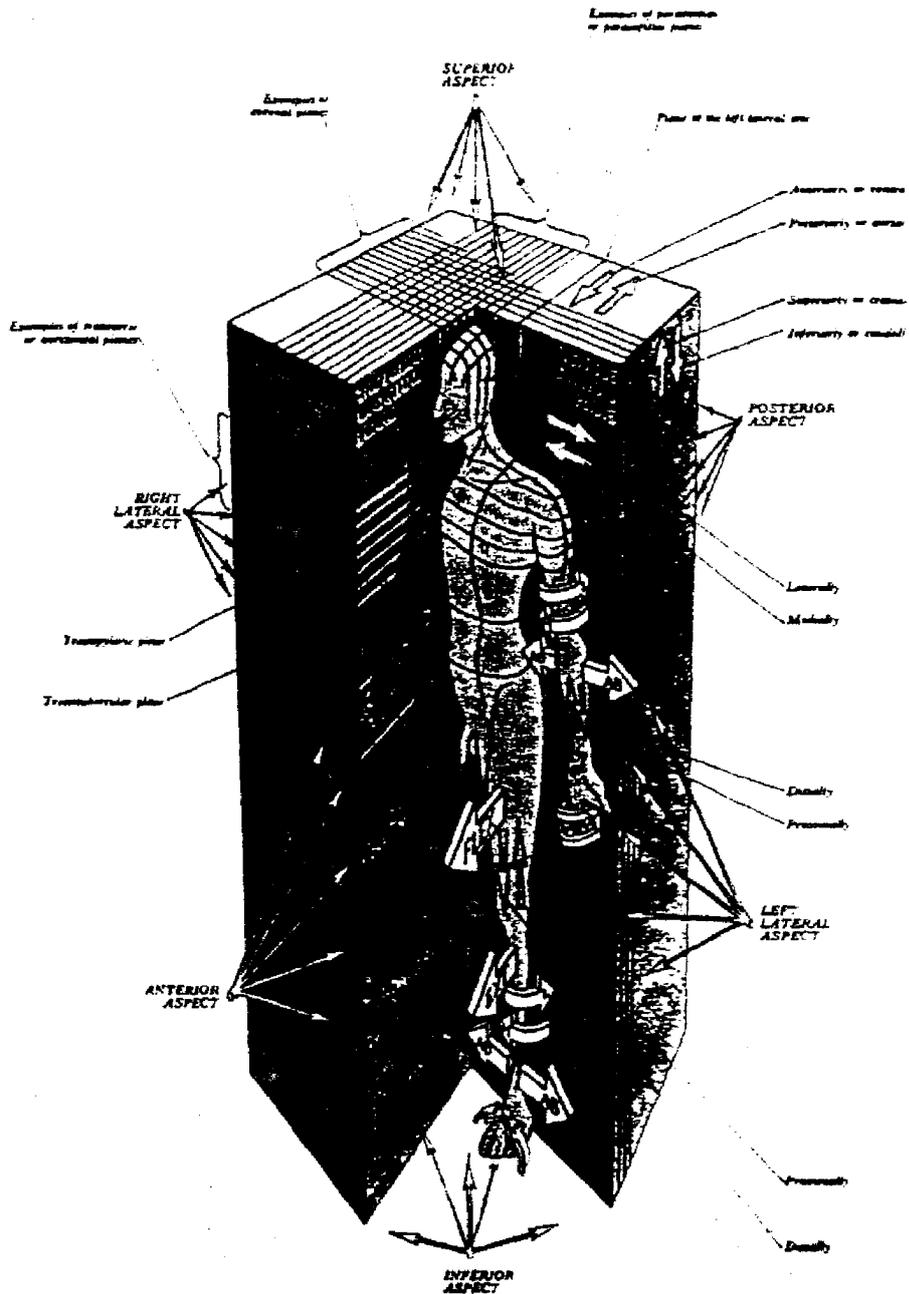
4. Schließlich werden mit diesen topographischen Ausdrücken direktionale Beschreibungen durchgeführt wie in der Wendung

"... dessen Schneide nach medial weist" [12, p.314]

Prinzipiell beziehen sich die topographischen Begriffe auf eine standardisierte Betrachtungs- und Beschreibungsweise der räumlichen Verhältnisse im menschlichen Körper, die in dem nachstehend abgebildeten Referenzsystem (aus [13, p. XIV]) festgelegt ist:

⁷Unterstreichungen vom Verf.

INTRODUCTION



The terminologies usually used in descriptive anatomy is illustrated in the figure above. The abbreviations on the solid arrows: AD—adduction, AB—abduction, FLEX—flexion (of the thigh at the hip joint), EXT—extension (for the leg at the knee joint), NI and L—medial and lateral rotation, P and S—pronation and supination, I and E—inversion or eversion.

Ausgehend von einem aufrecht stehenden Menschen definiert die Medizin in diesem dreidimensionalen Referenzsystem die folgenden Achsen:

1. eine longitudinale Achse,
"die in Längsrichtung des aufrecht stehenden Menschen verläuft und senkrecht auf die Standfläche trifft." [3, p.6] Sie wird auch "kranio-kaudale Hauptachse" oder "Vertikalachse" genannt [11, p.11f].
2. eine transversale Achse,
die sich "quer durch den Körper zieht und einander entsprechende Punkte beider Seiten verbindet." [3, p.6] Alternative Bezeichnungen sind "quere Nebenachse" oder "Horizontalachse" [11, p.11f].
3. eine sagittale Achse,
"die - senkrecht zu den beiden vorgenannten Achsen - durch vordere und hintere Körperwand in Richtung eines senkrecht auf den Körper gerichteten Pfeils verläuft." [3, p.6] Sie heißt auch "dorso-ventrale Nebenachse" [11, p.11f].

Die drei Achsen stehen senkrecht zueinander. Ihr Schnittpunkt wird im Raum 'Körper' nicht fest definiert. Jeweils zwei Achsen bestimmen Ebenen des Körpers:

1. Sagittalebene.
Sie werden bestimmt durch eine longitudinale und eine sagittale Achse. Eine besondere Sagittalebene ist die Medianebene. Sie verläuft durch

die Sutura sagittalis⁸ des Schädels und teilt den Körper in zwei (fast) symmetrische Hälften.

2. Transversalebene.

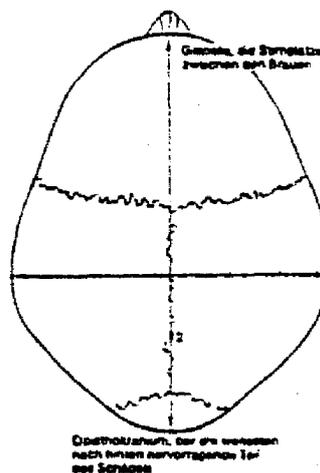
Sie werden durch eine transversale und eine sagittale Achse definiert und teilen den Körper in unsymmetrische Körperquerschnittsanteile.

3. Frontalebene.

Sie werden durch eine longitudinale und eine transversale Achse bestimmt. Eine alternative Bezeichnung ist 'koronale Ebenen' (sie verlaufen parallel zur Sutura coronalis⁸ des Schädels.)

In diesem Referenzsystem werden verschiedene Begriffe zur Kennzeichnung von Lage und Richtung der Körperstrukturen verwendet, wobei die Bezeichnungen am Körperstamm, am Kopf und an den Extremitäten variieren⁹. Die Begriffe bilden in der Regel Gegensatzpaare wie 'oben - unten', 'rechts - links'. Diese Gegensatzpaare sind häufig aufgrund ihrer natürlichsprachlichen Definition⁹ nicht endlich differenziert (wie z.B. 'frontal - okzipital', 'lateral - medial', etc.)

⁸In der folgenden Graphik (nach [2, p. 70]) ist die Sutura sagittalis mit 2, die Sutura coronalis mit 1 markiert:



⁹cf. die Liste im Appendix.

Die räumlichen Beziehungen zwischen Strukturen des Körpers lassen sich häufig nicht durch so einfache topographische Begriffe beschreiben. Auch können beliebig viele schiefe Ebenen durch den Körper gelegt werden. Für solche Zwischenpositionen verwendet die Medizin häufig kombinierte Terme wie 'anterolateral' oder 'okzipitomental', die ihre mangelnde semantische Differenzierung oft von ihren Bestandteilen erben.

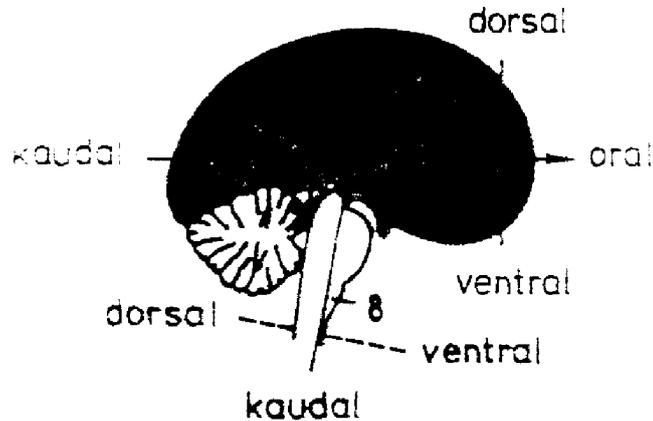
Die topographischen Begriffe sind auch an vielen Stellen oft zweideutig, da sie die mangelnde Uniformität und Determinanz ihrer — oft natürlich-sprachlichen — Definitionen erben, wie ein Blick in den Appendix schnell zeigt. Aus demselben Grund sind sie oft auch nicht semantisch disjunktiv.

Wir beschließen diesen Abschnitt mit einem Beispiel, für das Zweideutigkeit und mangelnde semantische Disjunktivität zugleich gegeben sind.

Bei der topographischen Beschreibung des Gehirns führt etwa die Verwendung verschiedener Referenzachsen zu Permutationen auf den Kompatibilitätsklassen.

In der Embryonalentwicklung des Menschen kommt es zur Abknickung des Neuralrohrs (das sogenannte Prosencephalon wächst nach vorn, nicht nach oben). Die Anatomie definiert aufgrund dieser Abknickung zwei verschiedene Achsen durch das Gehirn:

1. Eine leicht schräg verlaufende Achse durch den Hirnstamm - die Meynert'sche Achse. Sie entspricht nicht ganz der Longitudinalachse und ist in der folgenden Abbildung (nach [7, p. 5]) blau dargestellt.
2. Eine fast waagrecht verlaufende Achse durch das Prosencephalon - die Forel'sche Achse. Sie entsteht durch Kippung der Meynert'schen Achse um ca. 90 Grad und entspricht der Abknickung des Neuralrohrs; sie ist in der folgenden Abbildung rot dargestellt.



Für beide Referenzachsen werden dieselben topographischen Begriffe — wie dorsal, ventral, kaudal und kranial (oral) — verwendet. Bei Orientierung an der Forel'schen Achse werden diese Begriffe dann auf eine — z.T. kontraintuitive — Weise verwendet, die die sonstige Verwendung des topographischen Begriffsinstrumentariums permutiert:

- 'kaudal' wird verwendet wie 'dorsal'
- 'dorsal' wird verwendet wie 'kranial' ('oral')
- 'oral' wird verwendet wie 'ventral'
- 'ventral' wird verwendet wie 'kaudal'

Insgesamt kann man damit sagen: Ein Benutzer medizinischer Texte ist — ob Mediziner oder nicht — bei dem Versuch, mit diesen Texten bei topographischen Orientierungen Mißverständnisse zu vermeiden, genauso aufgeschmissen wie der Empfänger der Wegangabe im einleitenden Cartoon.

5.2.3 Weitere topographische Beschreibungen

Man kann vermuten, daß die eben beschriebene topographische Sprache historisch entwickelt worden ist vor der Hintergrundannahme, daß der beob-

achtete Gegenstandsbereich großer räumlicher Variabilität unterliegt: Unter medizinischen Beobachtern des Gehirns (wie Neuroanatomen) gelten zwei verschiedene Hirnoberflächen als so verschieden voneinander wie die Gesichtszüge zweier verschiedener Personen. Trotz dieser Widrigkeit des Beobachtungsgegenstandes wird der disziplinäre Fortschritt der Neuroanatomie mit geprägt von dem Bemühen, die räumliche Variabilität des Gegenstandes unter Kontrolle zu bekommen. Dies geschieht, indem etwa signifikante Punkte und (für möglichst gut kontrollierte Kollektive von Gehirnen) Aussagen über spezifische Abstände von je zwei signifikanten Punkten zueinander gesucht werden.

Dies führt zu dem Einbau metrischer Terme in die oben skizzierte topographische Beobachtungssprache. Werden diese metrischen Terme nur ergänzend verwendet, bleiben die oben beschriebenen semantischen Eigenschaften der topographischen Beobachtungssprache erhalten. Die Vermeidung von Mißverständnissen kann dagegen nur durch einen Austausch der die Bedingungen von Notationssystemen verletzenden Sprachelemente oder durch eine den Anforderungen eines Notationssystems genügende Explikation [5] erfolgen.

Ein völlig anderer Weg wird durch das im Abschnitt 3 unter III beispielhaft skizzierte Symbolschema beschritten.

5.2.4 Ein Voxelmmodell

Die Menge aller Volumenelemente, die in dem in Beispiel 3 skizzierten Modell einem morphologischen Namen zur Denotation seiner Lage im Gehirn zugeordnet sind, betrachten wir als Realisation eines Zeichens.

Zur Erzeugung von Disjunktivität wurde hier empirisch ein Schwellwert ermittelt: Einer morphologischen Einheit wird nur dann ein Volumenelement zugeordnet, wenn mindestens 70% aller untersuchten Hirne diese Struktur in diesem Volumenelement zeigen. Damit erreicht dieses Voxelmmodell syntaktische Disjunktivität: Jeder morphologischen Struktur wird eine Menge von Volumenelementen zugeordnet, die sich von der jeder

anderen morphologischen Struktur unterscheidet. Da syntaktische Differenzierung aufgrund der gewählten Datenstruktur gewährleistet ist, liegt mit diesem Volumenmodell ein Notationsschema vor.

Für das vorgegebene Sample von vermessenen Hirnen ist dieses Schema offenbar unzweideutig. Seine semantische Disjunktivität folgt daraus, daß jeder Menge von Volumenelementen eine eigene Lage im Raum zugeordnet werden kann, die sich von der jeder anderen Struktur unterscheidet. Dies ist auf semantisch differenzierte Art und Weise durchführbar (zu algorithmischen Details cf. [8], [9].)

Damit sind in dem in Beispiel III skizzierten Modell alle Anforderungen eines Notationssystems erfüllt.

6 Fragen

Mit den Beispielen sind sehr unterschiedliche Möglichkeiten, Räumlichkeit zu denotieren, beschrieben worden. Der wortsprachliche Umgang ist semantisch denkbar ungeeignet, Mißverständnisse zu vermeiden, das Voxelmodell schließt sie aus.

Für uns stellen sich mindestens folgende Fragen:

- Die verwendete Axiomatik ist definiert worden, um in Symbolsystemen allgemein Mißverständnisse ausschließen zu können. Sie hat als solche mit der Denotation von Räumlichkeit nichts zu tun. Gibt es alternative Klassifikationen von Symbolsystemen zum Ausschluß von Mißverständnissen, die spezieller zugeschnitten sind auf die Denotation von Räumlichkeit (etwa durch besondere Trennungaxiome, etc.)
- Auch hier stellt sich die Frage nach der Kombination verschiedener Symbolsysteme zur Denotation von Räumlichkeit. In der Medizin lassen sich mindestens zwei Kommunikationszusammenhänge denken, die unterschiedliche Repräsentationsweisen nahelegen:
 1. Für die Therapie ist zum Teil eine sehr genaue Denotation räumlicher Sachverhalte im menschlichen Gehirn erforderlich (etwa

für Hirnoperationen). Dafür sind, wie die klinische Arbeit zeigt, sprachliche Denotationen oft nicht genügend, manchmal sogar überflüssig.

2. Für die Diagnose sind sprachliche Denotationen räumlicher Sachverhalte unerlässlich, um Schlüsse durchführen zu können. Beispiele sind Inferenzen über sogenannte 'Nachbarschaftssymptommatiken' oder ortsabhängige Krankheitsarten.

Diese unterschiedlichen Anforderungen sind offenbar allgemeineren Charakters und finden sich prinzipiell auch außerhalb der Medizin .

Gibt es Theoriebildungen zur Kombination von Symbolsystemen gleichen und verschiedenen Typs zur Denotation von Räumlichkeit?

- Welche — vermutlich vom Beobachter abhängigen — Kriterien gibt es, über die Güte von Denotationen von Räumlichkeit zu befinden?

Diese Modellierungsfragen möchten wir im Workshop anhand des Materials diskutieren.

Danksagung

Simone Pribbenow stellte für dieses Papier einige Lebenszeit zur Verfügung.

Appendix

Die folgende Liste enthält viele Beispiele für die medizinischen Ausdrücke zur Beschreibung von Lage und Richtung sowie einige 'Definitionen' aus medizinischen Fachbüchern bzw. -lexika. Sie erhebt (noch) keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Die an vielen Stellen auftauchende Marke / ist den zitierten Texten entnommen und verweist nicht auf Stichworte innerhalb des Appendix.

- kranial

1. zum Kopfende hin [3, p.7]
2. (gr. kranion Schädel): zum Kopf gehörend, kopfwärts, scheidelwärts; ...; Ggs. kaudal [11, p.904]
3. cranialis: den Schädel betreffend, schädel-, kopf- oder scheidelwärts, am oder zum oberen Körper hin gelegen (=superior) [6, p.919]

- kaudal

1. zum Steißende hin [3, p.7]
2. schwanzwärts, fußwärts, abwärts liegend [11, p.840]
3. anat. steißwärts, unten (am Stamm) [6, p.864]

- superior

1. zum Kopfende hin [3, p.7]
2. (iat): der, die, das weiter oben gelegene [11, p.1624]
3. (latein.) der höhere, obere [6, p.1534]

- inferior

1. zum Steißende hin [3, p.7]
2. (iat): Abk. inf.; der untere, weiter unten gelegen [11, p.786]
3. inf.: (latein.) untere(r); z.B. Lobus inf., Ganglion inferius [6, p.802]

- ventral

1. zur Vorderfläche (Bauchseite) hin [3, p.7]
2. ventralis (iat): bauchwärts, zum Bauch gehörend, ventral [11, p.1773]

3. ventral(is): (latein.) den Bauch bzw die Vorderseite eines Körperteils oder -organs betreffend; bauchwärts gelegen oder gerichtet [6, p.1651]

- dorsal

1. zur Rückenfläche hin [3, p.7]
2. zum Hand-, Fußrücken hin [3, p.7]
3. dorsalis(lat): dorsal, z. Rücken gehörig, nach d. Rücken hin liegend, rückseitig, dorsal; Ggs ventral [11, p.370]
4. dorsalis, dorsal: (latein.) den Rücken bzw. die Rückseite (↗ Dorsum) eines Körperteils bzw. Organs betreffend, zum Rücken hin gelegen oder gerichtet bzw. erfolgend bzw. gehörend (= thorakal) z.B. die Dorsalsegmente (D1-12) des Rückenmarks (= Dorsalmark), die Dorsalnerven und -wirbel (= Pars thoracica medullae spinalis bzw. Nervi thoracici bzw. vertebrae thoracicae) [6, p.372]

- anterior

1. zur Vorderfläche (Bauchseite) hin [3, p.7]
2. (lat): Abk. ant.; vorderer [11, p.85]
3. anterior, antierius: (latein.) vordere(r) bzw. vorderes [6, p.67]

- posterior

1. zur Rückenfläche hin [3, p.7]
2. (lat): der hintere [11, p.1348]
3. (latein.) hinterer, rückwärtiger (=dorsal) [6, p.1285]

- medial

1. zur Medianebene hin [3, p.7]
2. (lat): nach der Mittelebene des Körpers zu gelegen, mittelwärts, einwärts, medialis [11, p.1035]
3. 1) medialis, med: anat. näher zur Mittel- = Medianlinie bzw. -ebene hin gelegen; innere(r) (z.B. ↗ Lemniscus medialis... 2) psych. ein Medium betreffend [6, p.1035]

- median

1. in der Medianebene [3, p.7]
2. (lat medius mitten) m: (statist) s. Mittelwert; vgl. Quantile [11, p.1035]
3. medianus: anat. in der Mittellinie (↗ Linea mediana) bzw. Medianebene (↗ Mediansagittalebene) gelegen [6, p.1035]

- lateral

1. von der Medianebene weg [3, p.7]
2. lateralis (lat latus, lateris Seite): Abk. lat.: seitlich, seitwärts, auswärts, lateral [11, p.932]
3. lateral(is), lat.: seitlich, von der Mitte(linie) abgewandt ... [6, p.947]

- zentral

1. zum Körperinneren hin [3, p.7]
2. den Mittelpunkt bildend [11, p.1837]
3. centralis: im Mittel-, Kernpunkt gelegen; anat. das Zentralnervensystem betreffend ... [6, p.1724]

- peripher

1. zur Körperoberfläche hin [3, p.7]
2. (gr. peripherein herumtragen): außen, am Rande, weg od. fern v. Zentrum [11, p.1281]
3. anat zur Körperoberfläche hin, im äußeren Körperbereich (((Peripherie))). fern dem Zentrum (d.h. außerhalb des zentralen Nervensystems bzw. des Herzens u. herznahen Kreislaufs); z.B. p. Durchblutungsstörungen, p. Nervensystem [6, p.1231]

- profundus, a, um

1. tief [3, p.7]
2. (lat): tief, tiefiegend [11, p.1360]
3. prof.: (latein.) tief, in der Tiefe [6, p.1294]

- **superficialis, e**

1. oberflächlich [3, p.7]
2. (lat): oberflächlich, superfiel [11, p.1624]
3. (latein.) oberflächlich, oberflächennahe [6, p.1534]

- **sinister**

1. (lat): links [11, p.1552]
2. (latein.) links(seitig): ungünstig - s.a. sinistro [6, p.1467]

- **dexter**

1. (lat): rechts, rechter [11, p.343]
2. (latein.) der rechte; geschickt (/ Dexteraltät) [6, p.344]

- **proximal**

1. zum Rumpf hin [3, p.7]
2. proximalis (lat proximus sehr nahe): zunächst, in der Nähe, proximal, rumpfwärts gelegener Teil einer Extremität; vgl. distalis [11, p.1373]
3. proximal(is): näher zur Körpermitte; vgl. distal [6, p.1304]

- **distal**

1. zum Extremitätenende hin [3, p.7]
2. distalis (lat distare abstehen): distal; weiter vom Rumpf entfernte Teile der Extremitäten; Ggs. proximal [11, p.364]
3. distal, distalis: anat. weiter entfernt von der Körpermitte bzw vom Herzen, vom Zentralnervensystem (Gegensatz: proximal) s.a. peripher; dent. von der Zahnbogenmitte abgewandt (Ggs.: mesial) [6, p.364]

- **radial**

1. zur Speichenseite (Daumenseite) hin [3, p.7]
2. (lat): 1) zum Radius gehörend; 2) daumenwärts [11, p.1407]
3. radial(is): 1) strahlenförmig 2) zur Speiche (/ Radius) gehörend, an der Speichen- oder Daumenseite des UA; z.B. Arteria bzw. Nervus radialis [6, p.1332]

- ulnar

1. zur Ellenseite (Kleinfingerseite) hin [3, p.7]
2. ulnaris (lat): zur Elle gehörend; z.B. Arterie, Nerv [11, p.1736]
3. ulnar(is): (latein.) zur Elle (↗ Ulna) gehörend, kleinfingerseitig am UA . -s.a. Ulnaris [6, p.1619]

- tibial

1. zur Schienbeinseite (Großzehenseite) hin [3, p.7]
2. tibial(is): anat 1) das Schienbein betreffend 2) tibiaseitig, an der medialen Seite des Beins [6, p.1573]

- fibular

1. zur Wadenbeinseite (Kleinzehenseite) hin [3, p.7]
2. fibular(is): das Wadenbein (↗ Fibula) betreffend (s.a. Peroneal....), an der Außenseite (=lateral) des Beins [6, p.518]

- palmar

1. zur Handfläche hin [3, p.7]
2. palmar(is): zur Hohlhand (Palma) gehörend, sie betreffend, hohlhandseitig [6, p.1199]

- plantar

1. zur Fußseite hin [3, p.7]
2. die Fußsohle (Planta) betreffend, sohlenwärts [6, p.1259]

- frontal

1. (lat): stirnwärts, stirnseitig, frontalis [11, p.543]
2. frontal(is): (latein.) zur Stirn (Frons) gehörig, die Stirn betreffend, stirnwärts (d.h. nach vorn) gerichtet (z.B. die Stirnnaht = ↗ Sutura fr.); parallel zur Stirn verlaufend (↗ Frontalebene), nur den Stirnlappen, das Stirnhirn (L.frontalis) betreffend [6, p.552]

- rostral

1. rostralis (lat): zum vorderen Körperende hin gelegen [11, p.1470]
2. rostral(is): ein / Rostrum betreffend; ferner kopfwärts, zum Körpervorderende hin bzw (am Kopf) mundwärts gelegen [6, p.1388]

- oral

1. (lat os, oris Mund): oralis; mündl., z.Mund (z. Mundhöhle) gehörig, durch den Mund, vom Mund her [11, p.1212]
2. oral(is): zum Mund bzw zur Mundhöhle gehörig, durch den Mund (= peroral) [6, p.1181]

- okzipital

1. das Hinterhaupt bzw das Hinterhauptbein betreffend, am oder zum Hinterkopf gelegen [6, p.1173]

- temporal

1. (lat tempus, temporis Schläfe): temporalis, Schäfen-, zur Schläfe gehörend [11, p.1646]
2. Temporal: schläfenseitig (.....) die Schläfen (Tempora) bzw das Schläfen- = Temporalhirn (/ L.temp.) betreffend..... temporalis: (latein.) schläfenseitig... [6, p.1554]

- parietal

1. 1) seitlich, wandständig: z.B. Parietalthromben, wandständige Thromben in Herz und Aorta 2) zum Scheitelbein gehörig [11, p.1260]
2. Parietalis: (latein.) 1) eine Körperhöhlen-, organ-, gefäßwand etc betreffend oder dort gelegen 2) das Scheitelbein / Os parietale = Parietale) betreffend, scheidelbeinwärts [6, p.1215]

- mental

1. mentalis (lat): zum Kinn (mentum) oder auch zum Geist (mens) gehörend, geistig [11, p.1052]
2. mental(is) 1)den Geist (latein.: mens, mentis) betreffend, psychisch 2) das Kinn (latein.:mentum) betreffend ...[6, p. 1047]

References

- [1] Chusid, J.G., Funktionelle Neurologie, Berlin, 1978.
- [2] Falier, A., Anatomie in Stichworten, Stuttgart, 1980.
- [3] Frick, H. et al., Allgemeine Anatomie - Spezielle Anatomie I, Stuttgart, 1987
- [4] Goodman, N., Sprachen der Kunst. Ein Ansatz zu einer Symboltheorie, Frankfurt/Main, 1973.
- [5] Hempel, C.G., Grundzüge der Begriffsbildung in der empirischen Wissenschaft, Düsseldorf, 1974.
- [6] Hoffmann-LaRoche AG, Urban & Schwarzenberg (Hrsg): Roche Lexikon Medizin; München-Wien-Baltimore, 1984.
- [7] Kahle, W., H.Leonhard, W.Platzer: Taschenatlas der Anatomie, Bd.3: Nervensystem und Sinnesorgane. Stuttgart-NewYork, 1986.
- [8] v. Keyserlingk, D., Niemann, K., Wasel, J. A Quantitative Approach to Spatial Variation of Human Cerebral Sulci, *Acta anat.* 131: 127 - 131 (1988).
- [9] Niemann, K., v. Keyserlingk, D., Wasel, J. Superimposition of an Averaged Three-Dimensional Pattern of Brain Structures on CT Scans, *Acta Neurochir.* 93: 61-67 (1988).
- [10] Menhardt, W. and Schmidt, K.-H. (1988). Computer Vision on Magnetic Resonance Images, *Pattern Recognition Letters* 8, pp.73-85.
- [11] Nomina Anatomica, Baltimore, 1983.
- [12] Pschyrembel, W., Klinisches Wörterbuch, 255.Auf., Berlin, 1986.
- [13] Schmidt, K.-H. and Menhardt, W. (1987). Die Verwendung textlich codierten Wissens bei der maschinellen Interpretation medizinischer Bilder. *Proceedings 92. Jahrestagung der GMDS*, pp. 280 - 284.
- [14] Schmidt, K.-H., Menhardt, W. (1989). Nutzung klinischen Bildwissens zur Segmentierung von MR-Tomogrammen (The use of clinical knowledge about images for segmentation of MR tomograms), *Proceedings of 6th Radiological Symposium Graz '89*, Berlin Wien 1989.

- [15] Schmidt, K.-H. (1989). Computer Vision in Radiology: Clinical Knowledge Source. *Research Report 702/89*, Philips Research Laboratory Hamburg, 1989.
- [16] Stiehl, H.S., Issues of Spatial Representation in Computational Vision, in: Freksa, C., Habel, C. (eds.), *Repräsentation und Verarbeitung räumlichen Wissens*, Berlin Heidelberg New York 1990, p. 83 ff
- [17] Waldeyer, A., *Anatomie des Menschen*, Berlin, 1979.
- [18] Warnick, R. (ed.), *Gray's Anatomy*, London 1973.