

Neurol Rehabil 2007; 13 (6): 320–326

# Die kallosale Apraxie – eine kritische Diskussion der traditionellen pathogenetischen Modelle

H. Lausberg

*Klinikum für Neurologie und Neurophysiologie, Charité Berlin, Campus Benjamin Franklin*

## Zusammenfassung

Die diskrepante Datenlage zwischen Split-Brain-Patienten, bei denen sich eine linkshändige Apraxie nur bei verbaler Aufforderung nachweisen lässt, und Patienten mit morbogener kallosaler Diskonnektion oder rechts- bzw. linkshemisphärischen Läsionen, die bei mehreren Aufgabentypen (Imitation, Pantomime, Objektgebrauch) apraktisch sind, liefert die empirische Grundlage für eine kontroverse Diskussion über die motorischen Kompetenzen der rechten und linken Hemisphäre. In der Split-Brain-Literatur werden das »verbal-motor disconnection«- und das »highly lateralized tasks«-Modell diskutiert, die prinzipiell von einer gleichen Kompetenz der beiden Hemisphären für die Konzeptualisierung und Exekution intendierter Gesten ausgehen. Die Befunde bei Patienten mit morbogener kallosaler Diskonnektion oder mit rechts- bzw. linkshemisphärischen Läsionen hingegen unterstützen *Liepmanns* Modell einer linkshemisphärischen motorischen Dominanz und weisen darüber hinaus auf einen geringeren, aber spezifischen rechtshemisphärischen Beitrag zur Praxis hin.

In einer aktuellen Serie von Experimenten wird erstmals bei Split-Brain-Patienten eine Apraxie der linken Hand bei Pantomime und bei Imitation (kontrolliert durch die rechte Hemisphäre) sowie ein räumlich-konzeptuelles Defizit in den Bewegungen der rechten Hand (kontrolliert durch die linke Hemisphäre) nachgewiesen. Auch bei Patienten mit einem chronischen Split-Brain-Syndrom besteht somit eine Hemisphärenspezialisierung für die Konzeptualisierung und Ausführung intendierter Gesten. Diese Befunde widerlegen die in der Split-Brain-Literatur favorisierten Modelle zur kallosalen Apraxie, da sie beweisen, dass die beiden separierten Hemisphären nicht über die gleichen motorischen Kompetenzen verfügen. Ferner tragen die aktuellen Ergebnisse dazu bei, den Widerspruch zwischen der Datenlage bei Patienten mit rechts- und linkshemisphärischen Läsionen bzw. Patienten mit morbogener kallosaler Diskonnektion einerseits und den Befunden bei Split-Brain-Patienten andererseits aufzulösen, da ähnliche apraktische Störungen wie bei den erstgenannten Patientengruppen erstmals systematisch auch bei Split-Brain-Patienten nachgewiesen wurden.

**Schlüsselwörter:** Apraxie, kallosale Apraxie, Split-Brain-Patienten, kallosale Diskonnektion

## Callosal Apraxia – A Critical Discussion of the Traditional Pathogenetic Models

H. Lausberg

### Abstract

The discrepant findings between the split-brain patients showing an apraxia only on verbal command and the patients with spontaneous callosal disconnection or with unilateral brain damage, who are apraxic in several types of tasks (pantomime, imitation, object use), have induced a controversial discussion on hemispheric specialisation for praxis. In the split-brain literature, the 'verbal-motor disconnection' and the 'highly lateralized tasks' models are favoured, which maintain that both hemispheres have equal motor competences for the conceptualization and execution of volitional movements. In contrast, the findings in patients with spontaneous callosal disconnection or with unilateral brain damage support *Liepmann's* model of a left hemisphere motor dominance and indicate a minor but specific right hemisphere contribution to praxis.

In a recent series of experiments, for the first time in split-brain patients a left hand apraxia for pantomiming and imitation (controlled by the right hemisphere) and a deficit in spatial conceptualization in the right hand movements (controlled by the left hemisphere) have been demonstrated. Thus, even patients with a chronic split-brain syndrome show a hemispheric specialisation for the conceptualization and execution of volitional movements. These findings challenge the above mentioned models of callosal apraxia discussed in the split-brain literature, as they provide evidence that the two separate hemispheres do not have the same motor competences. Furthermore, the present findings contribute to solving the long-standing controversy concerning the divergent findings between the patients with spontaneous callosal disconnection or unilateral brain damage on one hand and the split-brain

patients on the other hand, because for the first time, similar disturbances as in the first groups have been systematically demonstrated for the split-brain patients.

**Key words:** apraxia, callosal apraxia, split-brain patients, callosal disconnection

© Hippocampus Verlag 2007

### Traditionelle Theorien zur Pathogenese der kallosalen Apraxie

Die Symptomatik und Genese der Apraxie der linken Hand bei Patienten mit kallosaler Diskonnektion ist Gegenstand zahlreicher kontroverser Diskussionen.

Bei verbaler Aufforderung findet sich bei der Mehrzahl der Patienten mit morbogener oder operativer kallosaler Diskonnektion eine linkshändige Apraxie [4, 9, 11, 12, 17, 18, 19, 21, 23, 31, 33, 35, 44, 45, 47, 48, 49]. Die Apraxie der linken Hand bei verbaler Aufforderung gilt daher als klassisches Symptom des kallosalen Diskonnektionssyndroms: »Historically, the first described callosal symptom was unilateral ideomotor apraxia, by which we mean that in response to verbal command, the right-handed subject is unable to carry out with the left hand some behaviour which is readily executed with the right hand« [2].

Bei Untersuchungen der Praxis der linken Hand mit anderen Aufgabentypen, wie Imitation, Objektgebrauch oder Pantomime von Objektgebrauch bei visueller Präsentation des Objekts, finden sich jedoch divergierende Befunde. Eine Gruppe von Untersuchern findet bei Patienten mit kallosaler Diskonnektion keine Hinweise für eine Apraxie der linken Hand bei Imitation [4, 9, 11, 12, 48, 50] oder Objektgebrauch [9, 11, 12, 49], sondern nur bei verbaler Aufforderung, wohingegen andere Untersucher bei mehreren Aufgabentypen eine Apraxie berichten [5, 17, 18, 19, 21, 23, 27, 31, 33, 35, 44, 45, 48].

Die erstgenannte Konstellation einer selektiven Apraxie der linken Hand bei verbaler Aufforderung bei gleichzeitig intakter Imitation und intaktem Objektgebrauch wird mit dem »verbal-motor disconnection«-Modell hinreichend erklärt [2, 4, 47]: »The left-limb dyspraxia is attributable to the simultaneous presence of two deficits: poor comprehension by the right hemisphere (which has good control of the left hand) and poor ipsilateral control by the left hemisphere (which understands very well)« [2]. Demnach ist die kallosale Apraxie darauf zurückzuführen, dass die im linkshemisphärischen Sprachzentrum verarbeiteten verbalen Aufforderungen nicht mehr zu dem rechtshemisphärischen motorischen Cortex, der die linke Hand steuert, gelangen können. In der Neuauflage des oben zitierten Kapitels diskutieren *E. Zaidel, Iacoboni, D. Zaidel* und *Bogen* [52] erstmals als alternative Erklärung der linkshändigen kallosalen Apraxie die links-hemisphärische motorische Dominanz: »Second, it may reflect LH [left hemisphere, Anm. der Verfasserin] dominance for motor control: the disconnected RH [right hemisphere, Anm. der Verfasserin] may understand the command, but may not have the ability to execute the command correctly. Non-verbal tasks such as imitation or the use of three-dimensional objects may

help separate verbal comprehension from motor programming deficits.« Die Autoren halten jedoch in der weiteren Diskussion diese alternative Erklärung für unwahrscheinlich: »For instance, behavioural neurology studies suggest that the LH is dominant for praxis [...] This belief has been challenged by observations in split-brain patients. Tachistoscopic presentation of drawings of hand postures [den »Fingerkonfigurationen« in diesem Beitrag entsprechend, Anm. der Verfasserin] to the two visual hemifields have shown that they can actually imitate hand postures with both hands [...]« Die – bisher – fehlenden Hinweise für eine Hemisphärenspezialisierung bei der Imitation werden implizit als Beweis für das »verbal-motor disconnection«-Modell gewertet.

In einer modifizierten Version des o.g. Modells, im Folgenden als »highly lateralized tasks«-Modell bezeichnet, werden die Befunde zur konstruktiven Apraxie der rechten Hand bei Split-Brain-Patienten integriert [11, 49]. Dieses modifizierte Modell impliziert, dass jede der separierten Hemisphären intendierte Gesten autonom ausführen kann, sofern die Aufgabenstellung nicht eine hemisphärenspezifische Funktion, wie die Analyse sprachlicher oder visuell-räumlicher Aufforderungen, erfordert: »[...] with the commissures sectioned, motor expression of highly lateralized tasks, like carrying out spoken commands, writing, or the copying of visual designs, will be inefficiently executed with the hand that is ipsilateral to the controlling hemisphere. This is consistent with the fact that motor tasks not dependent on hemispheric specialization, as in the majority of the visualmotor dexterity tests, did not show similarly praxic disturbances« [49].

Ein theoretischer Schwachpunkt beider Modelle ist die fehlende bzw. mangelnde Abgrenzung eines Defizits in der Aufgabenverarbeitung von Defiziten in der Konzeptualisierung und Ausführung intendierter Gesten. Nach *Goldenberg* ist bei der Apraxie »selektiv die Planung oder Ausführung von motorischen Aktionen« betroffen [16]. In diesem Sinne handelt es sich bei *Bogens* o.g. Definition der left-limb »dyspraxia« [2] nicht um eine primäre Apraxie, sondern um eine durch das Sprachverständnisdefizit der rechten Hemisphäre bedingte Störung (»verbal-motor disconnection«). Beim »highly lateralized tasks«-Modell bleibt es hingegen unbestimmt, ob es sich um ein Defizit in der Aufgabenverarbeitung oder ein Defizit in der Konzeptualisierung und Ausführung intendierter Gesten handelt. In *D. Zaidels* und *Sperrys* Beispielen [49] beinhaltet die (anscheinend motorische) hemisphärische Kompetenz immer auch die Analyse der Aufgabenstellung »motor expression of highly lateralized tasks, like carrying out spoken commands, writing, or the copying of visual designs, [...]«, d. h.

bei diesem Beispiel Sprachverständnis oder visuo-perzeptive Kompetenz. Lediglich im Fall einer nachgewiesenen intakten Wahrnehmung und Erkennung der sprachlichen oder räumlich-visuellen Stimuli wäre jedoch der Begriff »Apraxie« gerechtfertigt. Im Sinne der o. g. Apraxie-Definition wird daher im »verbal-motor disconnection«-Modell keine Apraxie und im »highly lateralized tasks«-Modell nicht zuverlässig eine Apraxie beschrieben.

Abgesehen von dieser theoretisch motivierten Kritik werden das »verbal-motor disconnection«- und das »highly lateralized tasks«-Modell durch eine Reihe von Kasuistiken von Patienten mit morbogener kallosaler Diskonnektion in Frage gestellt, bei denen eine Apraxie der linken Hand nicht nur bei verbaler Aufforderung vorliegt, sondern auch bei Imitation [17, 18, 19, 21, 23, 27, 31, 35, 44, 45, 48], Objektgebrauch mit Sicht auf das Objekt [5, 18, 31, 33, 44, 48], Objektgebrauch ohne Sicht auf das Objekt [17, 19] oder Pantomime von Objektgebrauch bei visueller Objektpräsentation [2, 5, 17, 19]. Die Berichte über eine mehrere Aufgabentypen betreffende Apraxie bei Patienten mit morbogener kallosaler Diskonnektion unterstützen *Liepmanns* seinerzeit bahnbrechende Hypothese [32], dass die linke Hemisphäre nicht nur sprachdominant, sondern auch motorisch dominant ist und »Bewegungsformeln«, d. h. räumlich-zeitliche Entwürfe von Bewegungen, enthält. *Liepmanns* Modell der linkshemisphärischen motorischen Dominanz wird nicht nur durch die Berichte von Patienten mit morbogener kallosaler Diskonnektion, sondern auch durch die Befunde bei Patienten mit den weitaus häufiger auftretenden links- oder rechtshemisphärischen Läsionen gestützt [20, 22, 24, 42], da die Kondition einer diskonnektierten Hemisphäre vergleichbar ist mit der Kondition einer Gehirnhälfte, die aufgrund der Schädigung der anderen Gehirnhälfte quasi funktionell »separiert« ist.

Die Divergenz zwischen den Berichten von Patienten mit kallosaler Diskonnektion, die eine »Apraxie« nur bei verbaler Aufforderung aufweisen, und den Kasuistiken, in denen eine Apraxie für verbale Aufforderung, Imitation und Objektgebrauch beschrieben wird, ist bisher nicht völlig geklärt. Es ist auffallend, dass bei den Patienten mit operativer kallosaler Diskonnektion eine rein verbale »Apraxie« vorzuliegen scheint, wohingegen bei den Patienten mit morbogener kallosaler Diskonnektion eine mehrere Aufgabentypen betreffende Apraxie berichtet wird.

Möglicherweise fördert die komplette Diskonnektion, die fast ausschließlich durch den operativen Eingriff erzielt werden kann, die Autonomie der beiden Hemisphären in stärkerem Maße als eine morbogene Diskonnektion, die eher zu einer inkompletten Schädigung des Corpus Callosum führt [17]. Ferner werden individuelle Unterschiede in der Ausprägung der motorischen Hemisphärenspezialisierung diskutiert [19, 31]. Eine bereits präoperativ bestehende Abweichung von der normalen neuronalen Organisation mit Verlagerung von Funktionen oder tendenzieller Aufhebung der Hemisphärenspezialisierung ist insbesondere bei den fast ausnahmslos an symptomatischer Epilepsie leidenden Kallosotomie-Patienten zu finden. Außerdem

wurden alle operativen Patienten erst Jahre nach der Kallosotomie getestet [11, 49], wohingegen die Untersuchungen der Patienten mit morbogener Diskonnektion in den Monaten nach dem Ereignis stattfanden [3, 18, 19, 21, 23, 33, 45, 48]. Der Untersuchungszeitpunkt ist relevant, weil sich die linkshändige Apraxie aufgrund neuronaler Reorganisationsprozesse insbesondere in den ersten Monaten nach der Diskonnektion deutlich bessert oder sogar komplett zurückbildet [19, 48].

Ferner wurden bei Patienten mit morbogenen kallosalen Diskonnektionen stets mehrere Aufgabentypen untersucht, wohingegen bei Split-Brain-Patienten systematische Untersuchungen bisher nur zu verbaler Aufforderung und zur Imitation von Fingerkonfigurationen (in der Split-Brain-Literatur als »hand postures« bezeichnet) durchgeführt wurden. Ein Rückschluss auf eine generelle Praxie-Kompetenz der rechten Hemisphäre aufgrund der Untersuchung von verbaler Aufforderung und Imitation allein ist jedoch nicht zulässig, da häufig Dissoziationen in der Praxiekompetenz zwischen verschiedenen Aufgabentypen zu beobachten sind.

Zusammenfassend unterstützen die Befunde bei Patienten mit morbogener kallosaler Diskonnektion *Liepmanns* Hypothese der linkshemisphärischen motorischen Dominanz. Die Studien an Split-Brain-Patienten belegen jedoch, dass auch die diskonnektierte rechte Hemisphäre motorische Kompetenz besitzt bzw. entwickeln kann. Hierbei wird die Manifestation einer kallosalen Apraxie entscheidend durch die individuelle neuronale Organisation einschließlich der vorbestehenden strukturellen Läsionen, den Untersuchungszeitpunkt, die Vollständigkeit der Diskonnektion und die Untersuchungsmethode (Aufgabentyp) bestimmt.

### Entwicklung und Überprüfung einer alternativen Hypothese zur kallosalen Apraxie

Aus dieser Interpretation der Datenlage ergibt sich die Hypothese, dass *auch* bei Split-Brain-Patienten in individuell unterschiedlichem Ausmaß eine »echte« Apraxie der linken Hand bestehen könnte, d. h. das Defizit bei intendierten Bewegungen der linken Hand wäre nicht auf eine mangelhafte Aufgaben-Analyse der rechten Hemisphäre zurückzuführen.

In einer aktuellen Serie von Experimenten wurden bei drei Split-Brain-Patienten, A.A., N.G. und G.C., systematisch unterschiedliche Aufgabentypen (Imitation von Fingerkonfigurationen, Imitation von Hand-Kopf-Positionen, Pantomime von Objektgebrauch, Demonstration des Objektgebrauchs mit Objekt in der Hand, Raumanwendung bei gestischen Darstellungen) untersucht [25, 26, 29]. Als Kontrollgruppen dienten fünf Patienten mit partieller Kallosotomie und zehn gesunde Probanden. Bei den drei Split-Brain-Patienten wurden in individuell unterschiedlichem Ausmaß quantitative und qualitative Unterschiede in der Performanz zwischen der linken und der rechten Hand nachgewiesen. Die Leistungen der Split-Brain-Patienten unterschieden sich dabei signifikant von denen der Kontrollgruppen.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der einzelnen Experimente vor dem Hintergrund der zugrundeliegenden Hypothesen kurz vorgestellt.

Patienten mit morbogener kallosaler Diskonnektion und Patienten mit linkshemisphärischen Läsionen können häufig mit der linken Hand den Gebrauch eines Objektes mit Objekt in der Hand regelrecht demonstrieren, wohingegen sie die Pantomime des Objektgebrauchs (mit imaginärem Objekt) nicht durchführen können [3, 11, 12, 32, 41, 49]. Auch bei Split-Brain-Patienten schließt daher der intakte Objektgebrauch eine Störung der Pantomime nicht aus. Die erste systematische Untersuchung zur Pantomime bei visueller Objektpräsentation bei Split-Brain-Patienten [26] bestätigte diese Hypothese: Die Pantomime des Objektgebrauchs war bei den drei Split-Brain-Patienten mit der rechten Hand korrekt, in der linken Hand traten jedoch in signifikantem Maße (im Vergleich zu den Kontrollgruppen) apraktische konzeptuelle Fehler auf. Die Demonstration mit Objekt in der Hand konnte hingegen von den Split-Brain-Patienten mit beiden Händen regelgerecht ausgeführt werden.

Ebenso kann trotz seitengleicher – und daher scheinbar intakter – Imitation von Fingerkonfigurationen (in der Split-Brain-Literatur als »hand postures« bezeichnet) die Imitation von Handpositionen am Kopf apraktisch sein. Bei einem Patienten mit morbogener kallosaler Diskonnektion wurde eine seitengleich leicht ausgeprägte Apraxie für die Imitation von Fingerkonfigurationen festgestellt, wohingegen bei der Imitation von Hand-Kopf-Positionen nur in der linken Hand ein deutliches Defizit zu beobachten war [17]. Entsprechend fand sich in zwei Untersuchungen an Patienten mit rechts- und linkshemisphärischen Läsionen in beiden Patientengruppen ein Defizit bei der Imitation von Fingerkonfigurationen. Bei der Imitation von Hand-Kopf-Positionen war hingegen nur bei den Patienten mit linkshemisphärischen Läsionen ein apraktisches Defizit beobachtbar [13, 14]. Entsprechend ist für die Split-Brain-Patienten anzunehmen, dass diese bei der Imitation von Fingerkonfigurationen für beide Hände, aber bei der Imitation von Hand-Kopf-Positionen nur für die linke Hand defizitäre Leistungen aufweisen. Da die früheren Untersuchungen zur Imitation von Fingerkonfigurationen bei Split-Brain-Patienten ohne Kontrollgruppen erfolgten und Angaben zum Scoring fehlen, kann nicht ausgeschlossen werden, dass eine leichte Dyspraxie nicht entdeckt wurde, weil beide Hände gleichermaßen leicht betroffen waren. Hand-Kopf-Positionen waren bei Split-Brain-Patienten bisher noch nicht untersucht worden. Die erste kontrollierte Untersuchung zur Imitation von Fingerkonfigurationen im Vergleich zu Hand-Kopf-Positionen bei Split-Brain-Patienten [25] bestätigte die o. g. Hypothesen: Bei der Imitation von Fingerkonfigurationen wiesen alle drei Patienten im Vergleich zu den Kontrollgruppen ein leichtes, aber signifikantes Defizit für beide Hände auf. Bei der Imitation der Hand-Kopf-Positionen zeigte eine der drei Split-Brain-Patienten, N.G., eine schwere Apraxie der linken Hand.

Ein Neglekt der linken Raumhälfte bei motorischen Aktionen der rechten Hand wurde in drei Kasuistiken von

Patienten mit morbogener kallosaler Diskonnektion berichtet [15, 23, 43]. In vergleichbarer Weise vernachlässigen auch Patienten mit rechtshemisphärischen Läsionen die linke Raumhälfte (z. B. [1]). In neuropsychologischen Standardexperimenten an Split-Brain-Patienten wurde hingegen bisher kein Neglekt bei motorischen Aktionen der rechten Hand dokumentiert [6, 12, 40, 51, 53]. Bei diesen Experimenten wurden u. a. motorische Aktionen analysiert, die sich auf externe räumliche Orientierungspunkte beziehen, wie zum Beispiel das Durchstreichen von Kreisen auf einem Blatt. Demgegenüber offenbarte eine Einzelfall-Analyse zur *spontanen* sprachbegleitenden Gestik bei der Split-Brain-Patientin N.G., dass ihre rechte Hand untypischerweise nur im rechten Gestenraum agierte [34]. Bei den oben beschriebenen neuropsychologischen Standarduntersuchungen zur räumlichen Aufmerksamkeit vernachlässigte N.G. die linke Raumhälfte jedoch nicht [40]. Angesichts dieser Befunde stellt sich die Frage, ob Split-Brain-Patienten bei spontanen, nicht auf externe Zielpunkte ausgerichteten Gesten der rechten Hand – in vergleichbarer Weise wie Patienten mit morbogener kallosaler Diskonnektion – die linke Raumhälfte vernachlässigen. Auch diese Hypothese bestätigte sich: Bei den gestischen Darstellungen von Zeichentrickfilmen nutzten die Split-Brain-Patienten mit der linken Hand den gesamten Gestenraum, wohingegen sich in den Darstellungen mit Hilfe der rechten Hand ein signifikanter Neglekt der linken Hälfte des Gestenraums manifestierte [28, 29].

### Diskussion der Befunde in Hinblick auf die traditionellen Theorien zur kallosalen Apraxie

Im Folgenden sollen einige spezifische Aspekte der dargestellten Untersuchungen in Hinblick auf ihre Bedeutung für das »verbal-motor disconnection«-Modell und das »highly lateralized tasks«-Modell diskutiert werden.

Zur Überprüfung des »verbal-motor disconnection«-Modells [2, 4, 47], d. h. der Annahme, dass bei Split-Brain-Patienten Defizite der linken Hand durch die Diskonnektion der rechten Hemisphäre vom linkshemisphärischen Sprachzentrum bedingt sei, wurden die drei Experimente zu Imitation, Pantomime und Gestenraum primär nonverbal konstruiert. Die intendierten Bewegungen wurden mittels visueller Stimuli (Gebrauchsobjekte, Zeichnungen von Hand-Kopf-Positionen oder Fingerkonfigurationen, Zeichentrickfilme ohne Ton) elizitiert. Die einzige ein Sprachverständnis fordernde Komponente der Aufgaben war jeweils die initiale, kurze verbale Anleitung, wie z. B. »Zeigen Sie mir, wie Sie diesen Gegenstand gebrauchen würden«. Da die Patienten sofort nach der kurzen verbalen Anleitung ohne zu Zögern und in adäquater Form mit der Aufgabenausführung begannen, ist davon auszugehen, dass das rechtshemisphärische Sprachverständnis für die simplen verbalen Anleitungen ausreichend war. Ein begrenztes rechtshemisphärisches Sprachverständnis ist für die drei untersuchten Split-Brain-Patienten in mehreren Experimenten belegt worden [10, 30, 37, 38, 50, 52]. Die links-

händige Apraxie für die Pantomime des Objektgebrauchs, für die Imitation von Fingerkonfigurationen und – bei einer der Split-Brain-Patientin (N.G.) – auch für die Imitation von Hand-Kopf-Positionen kann daher nicht durch eine Diskonnection zwischen linkshemisphärischer Sprachverarbeitung und rechtshemisphärischer motorischer Kontrolle erklärt werden. Dies gilt a priori auch für die Defizite bei rechtshändigen Gesten, d. h. den Neglekt der linken Hälfte des Gestenraumes und die defizitäre Imitation von Fingerkonfigurationen. Das »verbal-motor disconnection«-Modell erklärt somit nicht hinreichend die aktuellen Befunde. Das »highly lateralized tasks«-Modell [11, 49] besagt, dass beide Hemisphären über gleiche motorische Kompetenzen verfügen, so dass jede Hemisphäre unabhängig von der anderen intendierte Gesten ausführen kann, sofern nicht die Aufgabenstellung eine hemisphärenspezifische nicht-motorische kognitive Funktion erfordert.

Nach *Goldenberg* [13] ist bei Patienten mit rechtshemisphärischen Läsionen eine Apraxie bei der Imitation durch eine defizitäre visuo-perzeptuelle Verarbeitung bedingt. In dem aktuellen Imitations-Experiment [25] wurde jedoch in einer Zusatzuntersuchung, in der die verschiedenen Fingerkonfigurationen bzw. Hand-Kopf-Positionen hinsichtlich Gleichheit/Ungleichheit verglichen werden mussten, kein visuo-perzeptuelles Defizit bei der Testung der separierten Hemisphären gefunden. Es ergaben sich daher keine Hinweise darauf, dass das rechtshemisphärische Imitationsdefizit für Fingerkonfigurationen bei den Split-Brain-Patienten tatsächlich auf einer defizitären visuo-perzeptuellen Stimulusverarbeitung beruht.

In dem Pantomime-Experiment [26] kann die linkshändige Apraxie ebenfalls nicht durch ein Defizit in der Stimulusperzeption oder -identifikation bedingt sein, da die Gebrauchsobjekte von der rechten Hemisphäre der Split-Brain-Patienten korrekt wahrgenommen und in ihrer Bedeutung erkannt wurden. Ein Beweis dafür sind u. a. die »Body-part-as-object«-Fehler der linken Hand. Dabei verkörpert die linke Hand das Objekt, z. B. stellen Zeige- und Mittelfinger die Klängen einer Schere dar, anstatt – wie in der Aufgabe gefordert und mit der rechten Hand auch korrekt demonstriert – das imaginierte Objekt pantomimisch zu halten. Die »Body-part-as-object«-Fehler offenbaren jedoch, dass die rechte Hemisphäre die Schere und deren Funktion erkannt hat, obwohl sie nicht in der Lage ist, den Gebrauch mit imaginierten Objekten »in der Hand« darzustellen. Ferner belegen frühere Experimente an Split-Brain-Patienten, einschließlich A.A. und N.G., dass die separierte rechte Hemisphäre die Bedeutung von Objekten in der rechten Hemisphäre erkennt [7, 10, 46, 51] und sogar über ein der linken Hemisphäre überlegenes Gedächtnis für taktile Informationen verfügt [36]. In dem aktuellen Pantomime-Experiment spricht die regelrechte Demonstration mit dem Objekt in der Hand dafür, dass das Bewegungskonzept für den Objektgebrauch prinzipiell in der rechten Hemisphäre vorhanden ist. Somit besteht das rechtshemisphärische Defizit darin, das Bewegungskonzept für den Objektgebrauch mit der mentalen Objektrepräsentanz zu

verknüpfen. Möglicherweise beruht die rechtshemisphärische Inkompetenz auf einer mangelnden Abstraktion des Bewegungskonzeptes von der taktilen Objekterfahrung, wie dies auch zu Beginn der Entwicklung pantomimischer Fähigkeiten bei Kindern zu beobachten ist (vgl. [39]).

In dem Experiment zum Gestenraum [29] ist die Vernachlässigung der linken Raumhälfte nicht durch einen perzeptuellen oder einen repräsentationellen Neglekt erklärbar, da die linke Hand die gesamte räumliche Szene des Zeichentrickfilms gestisch darstellt, und nicht nur die rechte Hälfte der Filmszene. Die Filmszene wird demnach räumlich in ihrer Gesamtheit wahrgenommen und mental repräsentiert. Auch in früheren neuropsychologischen Untersuchungen zur räumlichen Aufmerksamkeit bei Split-Brain-Patienten wurde kein perzeptueller oder repräsentationeller Neglekt nachgewiesen [6, 12, 40, 51, 53]. Das aktuelle Experiment zeigt, dass die Split-Brain-Patienten den linken Gestenraum nur bei der rechtshändigen gestischen Darstellung vernachlässigen. Die linke Grenze der gestisch dargestellten Szene wird vor die Körpermittellinie projiziert, und nicht – wie bei den Kontrollpersonen – in den linken Gestenraum. Gleichermaßen wird die Mitte der Szene im rechten Gestenraum, und nicht – wie bei den Kontrollpersonen – vor der Körpermittellinie dargestellt. Dies weist auf ein Defizit der linken Hemisphäre in der Konzeptualisierung der räumlichen Koordinaten für die gestische Darstellung der rechten Hand hin. Auch diese Befundkonstellation erfüllt – in Überschneidung mit der Diagnose eines Neglekts – die Kriterien einer Apraxie im definierten Sinne.

Wie bereits in der Einleitung dargelegt wird weder im »verbal-motor disconnection«-Modell noch im »highly lateralized tasks«-Modell primär eine Apraxie im Sinne einer Störung, die selektiv die Planung oder Ausführung von motorischer Aktionen betrifft, beschrieben. Für die Diagnose einer »echten« Apraxie und zur Widerlegung des »verbal-motor disconnection«- und des »highly lateralized tasks«-Modells muss daher der Nachweis der intakten Verarbeitung der Aufgabenstellung erbracht werden. In Anlehnung an das kognitive Apraxie-Modell von *Cubelli et al.* [8] sollen Defizite in der Stimulusperzeption und Erkennung/Identifikation (einschließlich der verbalen Aufgaben) als »due to highly lateralized tasks« und als Unterstützung für das »verbal-motor disconnection«- bzw. »highly lateralized tasks«-Modell gewertet werden. Demgegenüber werden Defizite bei der Konzeptualisierung und Ausführung als Apraxie klassifiziert.

Da in allen drei Experimenten die Perzeption und das Erkennen der Stimuli in den separierten Hemisphären der Split-Brain-Patienten intakt waren, kann davon ausgegangen werden, dass die Defizite in den intendierten Bewegungen der linken oder rechten Hand auf der defizitären Konzeptualisierung und Ausführung in der kontralateralen Hemisphäre beruhte. Es handelt sich bei den erfassten Defiziten somit um eine »echte« Apraxie, und nicht um die Manifestation von Defiziten bei der Verarbeitung der Aufgabenstellungen. Die beiden Hemisphären verfügen demnach *nicht* über gleiche motorische Kompetenzen. In

diesem Beitrag wird daher die These aufgestellt, dass auch beim chronischen Split-Brain-Syndrom eine Apraxie der linken oder rechten Hand bei verschiedenen Aufgabentypen nachweisbar ist, die auf einer Spezialisierung der rechten und linken Hemisphäre für unterschiedliche Prozesse bei der Konzeptualisierung intendierter Gesten beruht.

Die in den aktuellen Experimenten erfassten apraktischen Störungen der Split-Brain-Patienten entsprechen ferner den in der Literatur bei Patienten mit morbogenen kallosalen Diskonnektionen bzw. bei Patienten mit unilateralen Läsionen beschriebenen Formen der Apraxie. Es ist plausibel, die geringeren Ausprägungen der Apraxie bei den chronischen Split-Brain-Patienten auf die bereits präoperativ stattfindende neuronale Reorganisation durch die epileptogenen Läsionen, das in der Regel geringere Lebensalter bei Diskonnektion, den längeren zeitlichen Abstand zwischen Diskonnektion und Untersuchungszeitpunkt und die Vollständigkeit der Diskonnektion zurückzuführen. Vor diesem Hintergrund erweist sich der Widerspruch zwischen den Praxie-Befunden bei Patienten mit morbogener kallosaler Diskonnektion bzw. mit rechts- und linkshemisphärischen Läsionen einerseits und den Befunden bei Split-Brain-Patienten andererseits als vordergründig.

Zusammenfassend wird die in der Split-Brain-Literatur etablierte Meinung zur Genese der kallosalen Apraxie in Frage gestellt. Defizite bei der Ausführung intendierter Gesten treten bei Split-Brain-Patienten *nicht* nur dann auf, wenn die Aufgabe eine lateralisierte nicht-motorische kognitive Funktion, wie Sprachverständnis oder räumlich-visuelle Perzeption, erfordert, sondern sie reflektieren spezifische motorische Inkompetenzen in den getrennten Hemisphären. Die beiden separierten Hemisphären verfügen daher *nicht* prinzipiell über gleiche Kompetenzen zur Konzeptualisierung und Ausführung intendierter Gesten.

#### Anerkennung (Acknowledgement):

Die im Artikel aufgeführten Studien der Autorin wurden mit Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG finanziert (LA 1249/1-1, LA 1249/1-2, LA 1249/1-3).

#### Literatur

1. Bisiach E: Unilateral neglect and related disorders. In: Denes G, Pizzamiglio L (eds): Handbook of clinical and experimental neuropsychology. Psychology Press, Hove 1999, 479-496
2. Bogen JE: The callosal syndromes. In: Heilman KM, Valenstein E (eds): Clinical neuropsychology. Oxford University Press, New York/Oxford 1993, 337-408
3. Boldrini P, Zanella R, Cantagallo A, Basaglia N: Partial hemispheric disconnection syndrome of traumatic origin. Cortex 1992; 28: 135-143
4. Brion S, Jedynak CP: Troubles du transfert interhémisphérique (callosal disconnection). Rev Neurol (Paris) 1972; 126 (4): 257-266
5. Buxbaum LJ, Schwartz MF, Coslett HB, Carew TG: Naturalistic action and praxis in callosal apraxia. Neurocase 1995; 1: 3-17
6. Campbell AL, Bogen J, Smith A: Disorganization and reorganization of cognitive and sensorimotor functions in cerebral commissurotomy. Brain 1981; 104: 493-511
7. Cronin-Golomb A: Comprehension of abstract concepts in right and left hemispheres of complete commissurotomy subjects. Neuropsychologia 1986; 24 (6): 881-887
8. Cubelli R, Marchetti C, Boscolo G, Della Sala S: Cognition in Action: Testing a Model of Limb Apraxia. Brain Cogn 2000; 44: 144-165
9. Degos JD, Gray F, Louran F, Ansquer JC, Poirier J, Barbizet J: Posterior callosal infarction – Clinicopathological correlations. Brain 1987; 110: 1155-1171
10. Gazzaniga MS: Right Hemisphere Language Following Brain Bisection. Am Psychol 1983; May: 525-537
11. Gazzaniga MS, Bogen JE, Sperry RW: Dyspraxia Following Division of the Cerebral Commissures. Arch Neurol 1967; 16: 606-612
12. Geschwind N, Kaplan E: A human cerebral disconnection syndrome. Neurology 1962; 12: 675-685
13. Goldenberg G: Defective imitation of gestures in patients with damage in the left or right hemispheres. J Neurol Neurosurg Psychiatry 1996; 61: 176-180
14. Goldenberg G: Matching and imitation of hand and finger postures in patients with damage in the left or right hemispheres. Neuropsychologia 1999; 37: 559-566
15. Goldenberg G: Neglect in a patient with partial callosal disconnection. Neuropsychologia 1986; 24 (3): 397-403
16. Goldenberg G: Praxie. In: von Cramon DY, Mai N, Ziegler W (eds): Neuropsychologische Diagnostik. VCH, Weinheim 1993, 259-286
17. Goldenberg G, Laimgruber K, Hermsdörfer J: Imitation of gestures by disconnected hemispheres. Neuropsychologia 2001; 39: 1432-1443
18. Goldenberg G, Wimmer A, Holzner F, Wessely P: Apraxia of the left limbs in a case of callosal disconnection: The contribution of medial frontal lobe damage. Cortex 1985; 21: 135-148
19. Graff-Radford NR, Welsh K, Godersky J: Callosal apraxia. Neurology 1987; 37: 100-105
20. Haaland KY, Flaherty D: The different types of limb apraxia errors made by patients with left vs. right hemisphere damage. Brain Cogn 1984; 3: 370-384
21. Habib M, Ceccaldi M, Poncet M: Syndrome de déconnexion calleuse par infarctus jonctionnel hémisphérique gauche. Rev Neurol (Paris) 1990; 146 (1): 19-24
22. Heath M, Roy EA, Black SE, Westwood DA: Intransitive limb gestures and apraxia following unilateral stroke. J Clin Exp Neuropsychol 2001; 23: 628-642
23. Kashiwagi A, Kashiwagi T, Nishikawa T, Tanabe H, Okuda J: Hemispatial neglect in a patient with callosal infarction. Brain 1990; 113: 1005-1023
24. Kimura D, Archibald Y: Motor functions of the left hemisphere. Brain 1974; 97: 337-350
25. Lausberg H, Cruz RF: Hemispheric specialisation for imitation of hand-head positions and finger configurations: a controlled study in patients with complete callosotomy. Neuropsychologia 2004; 42: 320-334
26. Lausberg H, Cruz RF, Kita S, Zaidel E, Ptito A: Pantomime to visual presentation of objects: Left hand dyspraxia in patients with complete callosotomy. Brain 2003; 126: 343-360
27. Lausberg H, Göttert R, Münzinger U, Boegner F, Marx P: Callosal disconnection syndrome in a left-handed patient due to infarction of the total length of the corpus callosum. Neuropsychologia 1999; 37: 253-265
28. Lausberg H, Kita S: Dissociation of right and left hand gesture spaces in split-brain patients. Cortex 2003; 38: 883-886
29. Lausberg H, Kita S, Zaidel E, Ptito A: Split-brain patients neglect left personal space during right-handed gestures. Neuropsychologia 2003; 41: 1317-1329
30. Lausberg H, Zaidel E, Cruz RF, Ptito A: Speech-independent production of communicative gestures: Evidence from patients with complete callosal disconnection. Eingereicht.
31. Leiguarda R, Starkstein S, Berthier M: Anterior callosal haemorrhage. Brain 1989; 112: 1019-1037
32. Liepmann H: Drei Aufsätze aus dem Apraxiegebiet. Karger, Berlin 1908
33. Liepmann H, Maas O: Fall von linksseitiger Agraphie und Apraxie bei rechtsseitiger Lähmung. Journal für Psychologie und Neurologie 1907; X (4/5): 214-227
34. McNeill D, Pedely LL: Right brain and gesture. In: Emmorey K, Reilly JS (eds): Language, gesture, and space. Lawrence Erlbaum Associates, Hove (U.K.)/Hillsdale, N.J. (U.S.A.) 1995, 63-85
35. Marangolo P, De Renzi E, Di Pace E, Ciurli P, Castriota-Skandenberg A: Let not thy left hand know what thy right hand knoweth. The case of a patient with an infarct involving the callosal pathways. Brain 1998; 121: 1459-1467
36. Milner B, Taylor L: Right-hemisphere superiority in tactile pattern-recognition after cerebral commissurotomy: Evidence for non-verbal memory. Neuropsychologia 1972; 10: 1-15

37. Nebes RD: Investigations on lateralization of function in the disconnected hemispheres of man. Unpublished Doctoral dissertation, Division of Biology, California Institute of Technology, 1971
38. Nebes RD, Sperry RW: Hemispheric disconnection syndrome with cerebral birth injury in the dominant arm area. *Neuropsychologia* 1971; 9: 247-259
39. Piaget J: Play, dreams and imitation in childhood. Norton, New York 1962
40. Plourde G, Sperry RW: Left hemisphere involvement in left spatial neglect from right-sided lesions. *Brain* 1984; 107: 95-106
41. De Renzi E, Faglioni P, Sorgato P: Modality-specific and supramodal mechanisms of apraxia. *Brain* 1982; 105: 301-312
42. Roy EA, Heath M, Westwood D, Schweizer TA, Dixon MJ, Black SE, Kalbfleisch L, Barbour K, Square PA: Task demands and limb apraxia in stroke. *Brain Cogn* 2000; 44: 253-279
43. Sine RD, Soufi A, Mahendra S: Callosal syndrome: implications for understanding the neuropsychology of stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 1984; 65: 606-610
44. Starkstein SE, Berthier ML, Leiguarda R: Disconnection syndrome in a right-handed patient with right hemispheric speech dominance. *Eur Neurol* 1988; 28 (4): 187-190
45. Tanaka Y, Yoshida A, Kawahata N, Hashimoto R, Obayashi T: Diagonistic dyspraxia – Clinical characteristics, responsible lesion and possible underlying mechanism. *Brain* 1996; 119: 859-873
46. Treverharthen C: Integrative functions of the cerebral commissures. In: Boller F, Grafman J (eds): *Handbook of Neuropsychology*. Elsevier Science, Amsterdam 1990, 49-83
47. Volpe BT: Observations of motor control in patients with partial and complete callosal section. In: Reeves AG (ed): *Epilepsy and the corpus callosum*. Plenum, New York 1985, 381-391
48. Watson RT, Heilman KM: Callosal Apraxia. *Brain* 1983; 106: 391-403
49. Zaidel D, Sperry RW: Some Long-term Motor Effects of Cerebral Commissurotomy in Man. *Neuropsychologia* 1977; 15: 193-204
50. Zaidel E: Hemispheric specialization for language in the split brain. In: Berndt R, Boller F, Grafman J (eds): *Handbook of Neuropsychology*. Elsevier, Amsterdam 2001, 393-418
51. Zaidel E: Performance on the ITPA following cerebral commissurotomy and hemispherectomy. *Neuropsychologia* 1979; 17: 259-280
52. Zaidel E, Iacoboni M, Zaidel DW, Bogen JE: The callosal syndromes. In: Heilman KM, Valenstein E (eds): *Clinical Neuropsychology*. 4th ed. Oxford University Press, New York 2003, 347-403
53. Zaidel E, Zaidel DW, Sperry RW: Left and right intelligence: case studies of Ravens' Progressive Matrices following brain bisection and hemidecortication. *Cortex* 1981; 17: 167-186

**Interessenkonflikt:**

Der korrespondierende Autor versichert, dass das Thema unabhängig und produktneutral präsentiert wurde. Verbindungen zu einer Firma, die ein genanntes Produkt bzw. ein Konkurrenzprodukt herstellt oder vertreibt, bestehen nicht.

**Korrespondenzadresse:**

Prof. Dr. med. Hedda Lausberg  
Institut für Psychosoziale Medizin und Psychotherapie  
Arbeitsbereich Psychosomatik  
Friedrich Schiller Universität Jena  
Bachstr. 18  
07743 Jena  
e-mail: hedda.lausberg@med.uni-jena.de