

4. Ergebnisse

4.1. Patientendaten

Für jeden Patienten wurde während der Studie eine Akte erstellt. Auf der ersten Seite sind neben einer Nativaufnahme (CT/MRT) zur primären Diagnostik weitere Daten bezüglich der histologischen Diagnose, der präoperativen Lokisationsdiagnostik, des Tumolvolumens, der Tumortiefe unter Kortexniveau und auf die Kortexoberfläche projizierte Koordinaten dargestellt. Des Weiteren wird der neurologische Status des Patienten präoperativ sowie am ersten und siebten postoperativen Tag anhand der neurologischen Befunde erhoben. Auf der zweiten Seite der Patientenakte werden relevante Daten bezüglich der präoperativ erhobenen MRT/fMRT – Daten präsentiert. Im Einzelnen handelt es sich hierbei um den Zeitpunkt der Datenerhebung, den Operationsbeginn sowie die Zeitdifferenz zwischen Datenerhebung und Operationsbeginn. Weiterhin ist auf dieser Seite ein MRT mit funktionaler Komponente sichtbar, wobei anschließend in tabellarischer Form die Koordinaten mit maximaler funktioneller Aktivität aufgelistet sind. Auf der dritten Seite sieht man zuerst einen intraoperativ angefertigten Navigationsmodus-Screenshot. Darauf folgend werden die elektrophysiologisch erhobenen Datensätze dargestellt. Primär werden auf Seite drei die zur SEP-Phasenumkehr angewandten Parameter erfasst. Hierbei handelt es sich um den Stimulationsort, die Stimulationsfrequenz, die Intensität der Stimulation sowie die Impulsbreite. Auf Seite vier werden die für die MCS angewandte Stimulationsfrequenz, Intensität, Impulsbreite sowie Impulssequenz tabellarisch aufgelistet. Des Weiteren wird der Ableitort der Kortexstimulation festgehalten. Nach tabellarischer Darstellung der mittels MCS erhobenen Koordinaten ist abschließend ein intraoperatives Bild des Operationssitus zu sehen. Im Folgenden wird als Beispiel eine Patientenakte, wie sie für jeden der 21 Patienten erstellt worden ist, gezeigt.

Patient Nr.: WL 20082001

Alter: 65 Jahre

Geschlecht: männlich

Erste Bildgebung (MRT):

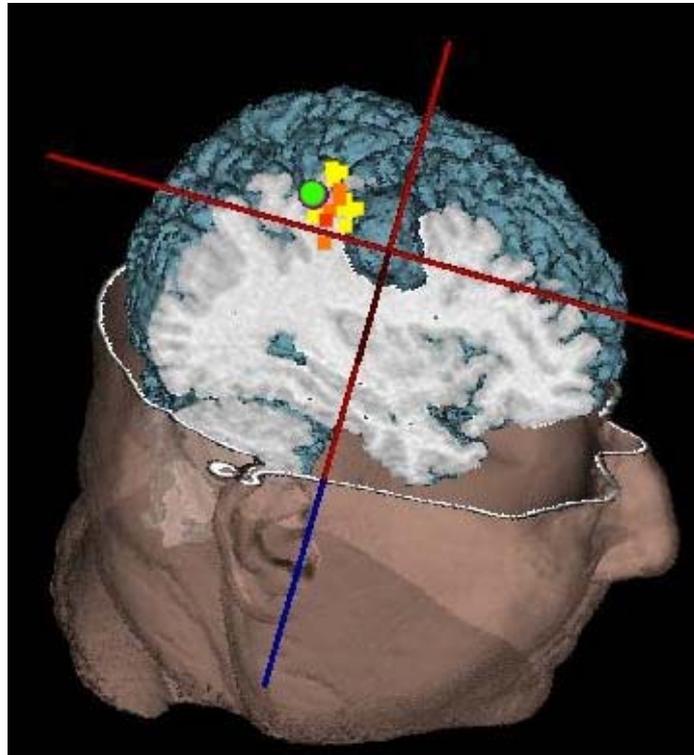
Histologische Diagnose	Gliom WHO Grad 4 (Glioblastoma multiforme)
Lokalisation	rechts frontal, PMK
Tiefe unter Kortexniveau	4 mm
Volumen	22,97 ccm
Projektion auf Kortexoberfläche	87, 165, 199 (x, y, z)

Klinische Untersuchung:

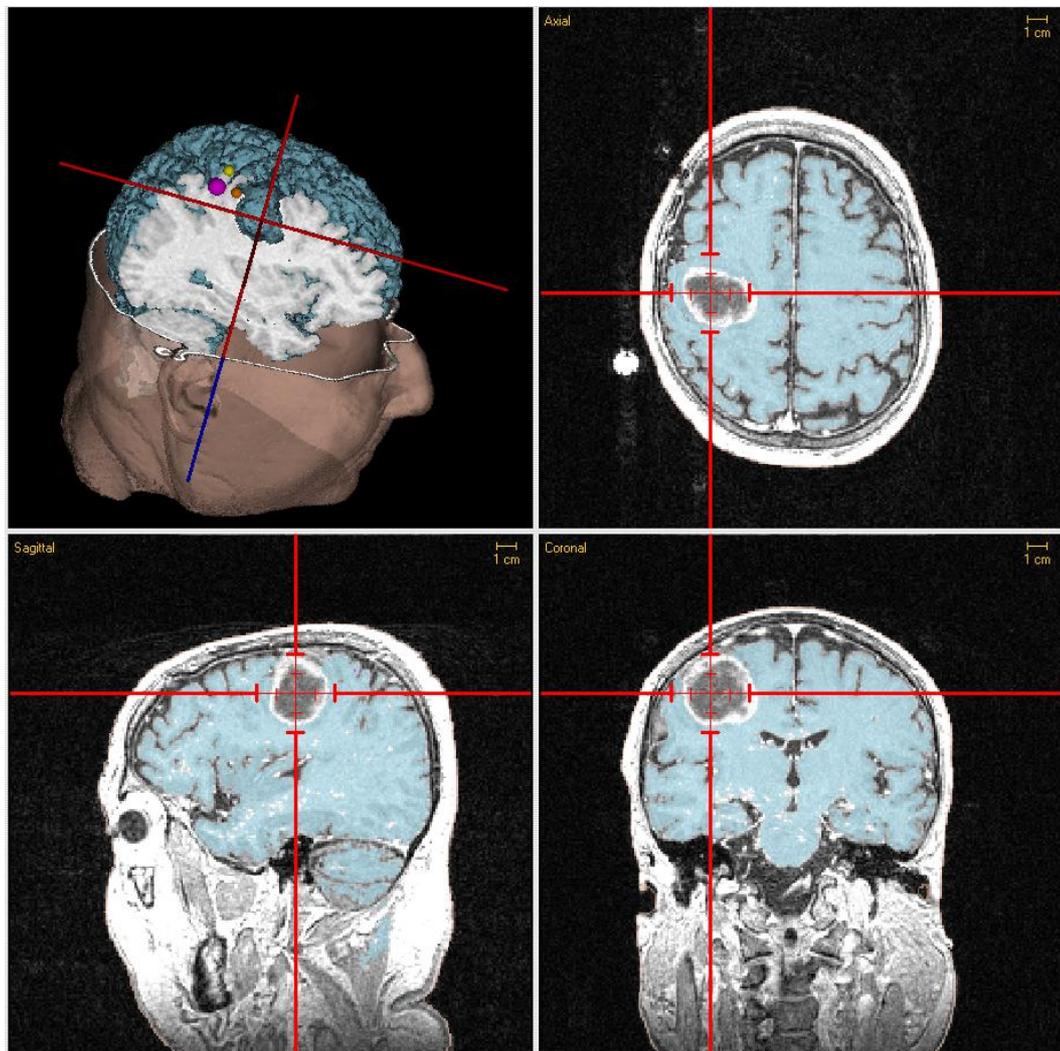
Präoperativ	1.Tag postoperativ	7. Tag postoperativ
Motorik		
armbetonte inkomplette Hemiparese links	Zunahme der Hemiparese	Regredienz der linksseitigen Hemiparese
Kraftgrade		
4-/5	3/5	4/5
Sensibilität		
Keine dermatomspezifischen Ausfälle	Keine dermatomspezifischen Ausfälle	Keine dermatomspezifischen Ausfälle

Navigation:MRT / fMRT:

Zeitpunkt (Tag, Stunde)	01.08.2001, 16:00
OP (Tag, Stunde)	02.08.2001, 09:00
Δt Bildgebung /OP	17h
Sequenz	3D-MPR-ANA
Kontrastmittel	Ja
Paradigma	Bewegung im linken Handgelenk

fMRT-Untersuchung präoperativ:

	Max fMRT:	Ausdehnung fMRT:
Koordinaten: x sag	88	-
y cor	169	-
z ax	188	-



Navigationsmodus – Screenshot:

Monitoring:

SEP – Phasenumkehr:

Frequenz 4,7 Hz N.tibialis N.medianus
 Intensität 77,8 mA
 Impulsbreite 0,2 ms links rechts bds. links rechts bds.

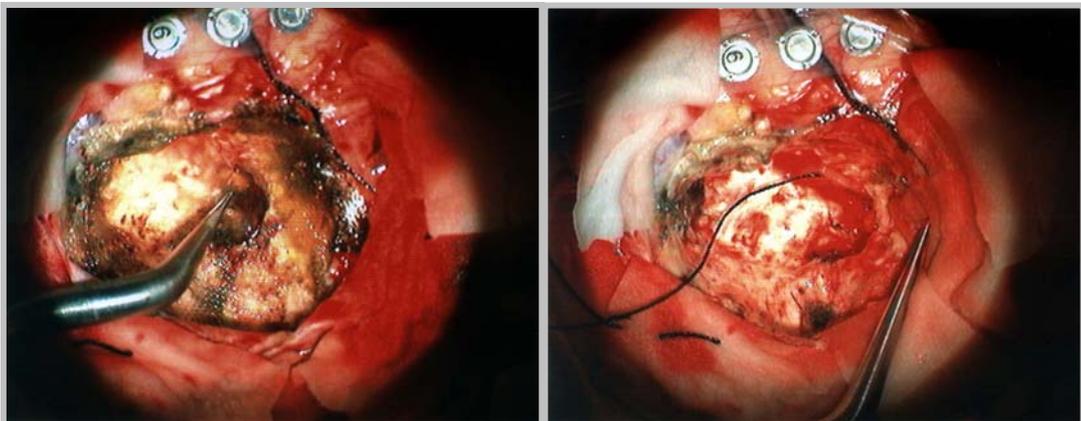
MCS:

Stimulationsstärke	23,1 mA
Frequenz	400 Hz
Impulssequenz	5
Impulsbreite	0,3 ms

Ableitort:	Obere Extr.:links	rechts	Untere Extr.: links	rechts
a	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	a'	<input type="checkbox"/>
b	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	b'	<input type="checkbox"/>

a – M. abductor pollicis brevis, b – Unterarmflexoren, a' – M. quadriceps femoris, b' – M. tibialis anterior

	Max MCS:	Ausdehnung MCS:
Koordinaten: x sag	78	-
y cor	157	-
z ax	192	-

Intraoperatives Bild:

4.2. Vergleich der Untersuchungsergebnisse am Patientenbeispiel

In diesem Kapitel sind die ermittelten Untersuchungsergebnisse für die insgesamt 21 Patienten dargestellt. Auf der jeweils ersten Seite sind drei Graphiken erstellt worden. Hierbei werden die mittels fMRT, der Datenprojektion auf die Kortexoberfläche sowie die mittels IOM ermittelten Koordinaten in Relation zueinander gesetzt und die Abweichungen der Punkte im Raum demonstriert. In jeder Graphik lassen sich somit insgesamt drei Punkte erkennen. Diese stellen die Koordinaten für die maximale funktionelle Aktivität, ermittelt durch die jeweilige Untersuchungsmethode, dar. Eine weitere Erläuterung dieser Graphiken findet des Weiteren unter Punkt 4.3 bis 4.5 statt.

Auf der zweiten Seite wird mittels der Abbildung die motorische Funktion anhand der jeweils ermittelten Kraftgrade im zeitlichen Verlauf präsentiert. Eine Erläuterung dieser Untersuchungsergebnisse durch eine graphische Darstellung findet im Kapitel 4.6 statt. Die zweite Abbildung dieser Seite stellt die Lokalisation der Raumforderung in Bezug auf das angewandte Untersuchungsverfahren dar. Im Vergleich stehen hierbei die erste Bildgebung durch MRT/CT, die fMRT sowie das intraoperative elektrophysiologische Monitoring.

Bei fünf der 21 dargestellten Patientenbeispiele lassen sich abweichende Ergebnisse erkennen. In zwei Fällen stimmen die Auswertungen des intraoperativen elektrophysiologischen Monitorings nicht mit den anderen Ermittlungsverfahren überein. In weiteren drei Fällen sind es die fMRT-Daten, welche in Bezug auf die anderen Untersuchungsergebnisse inkongruente Daten ergeben. In einem weiteren Fall konnte die Lokalisation mittels funktioneller Bildgebung nicht eindeutig identifiziert werden (s. Abbildung 23).

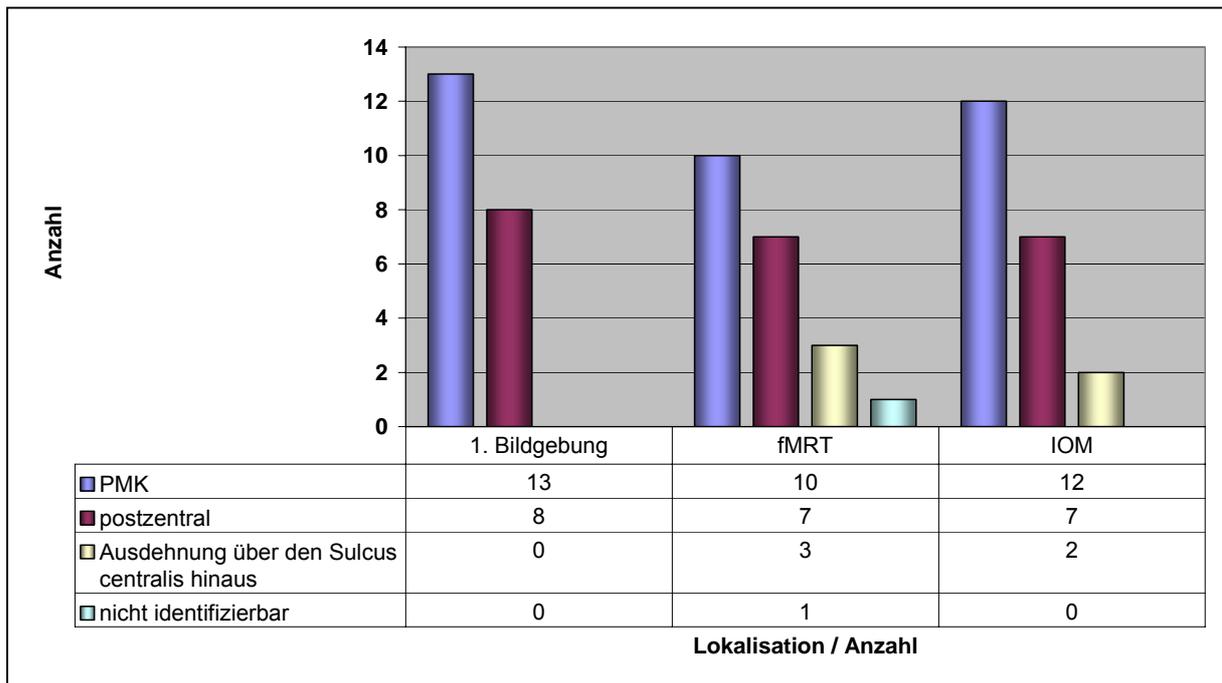


Abbildung 23: Lokalisation der Raumforderung

4.2.1. Ergebnisse AH 22062000

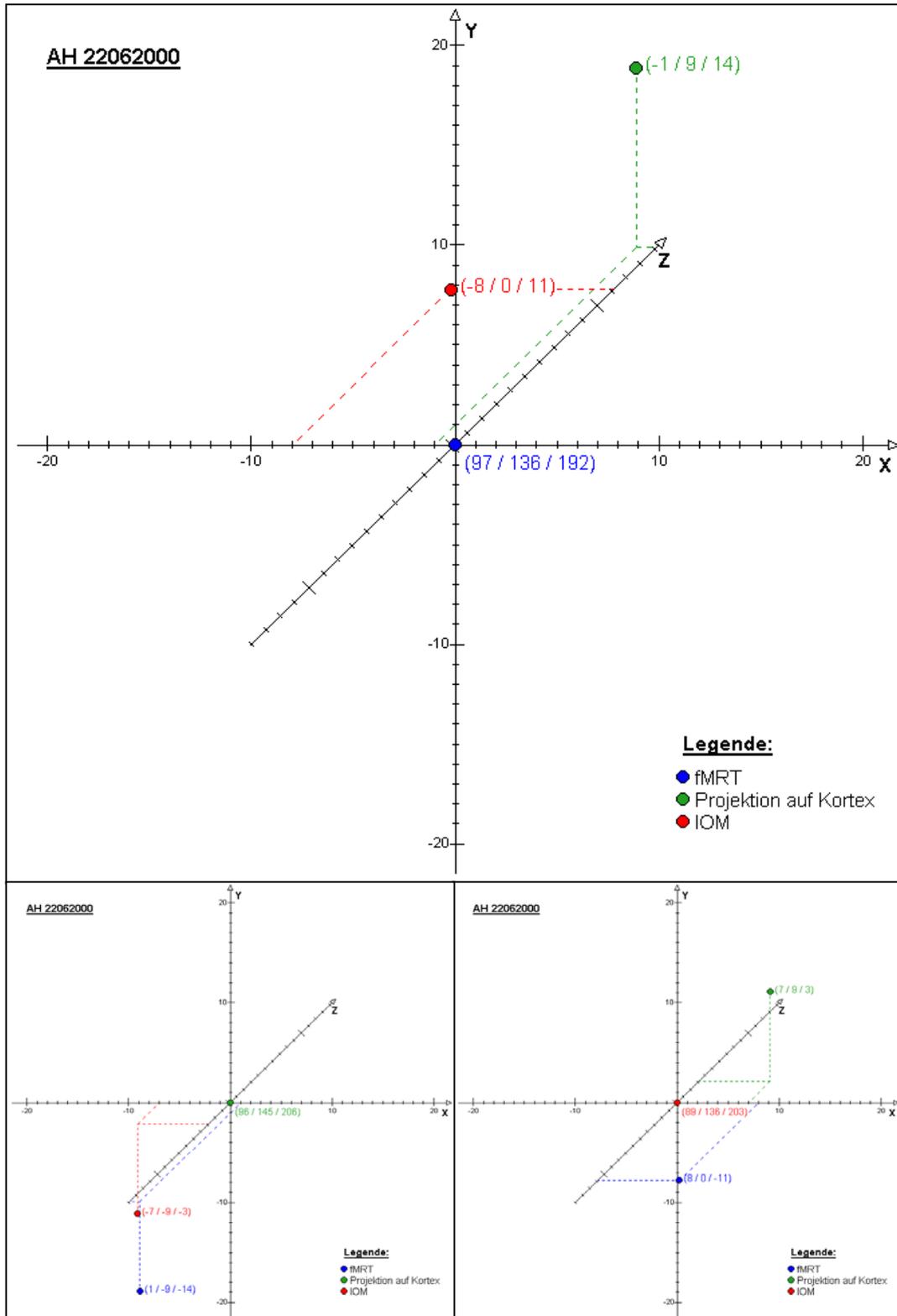


Abbildung 24: Graphische Korrelation der gewonnenen Daten in Bezug zueinander (fMRT, IOM, Projektion auf den Kortex), Patient: AH 22062000

Ergebnisse AH 22062000 (Forts.)

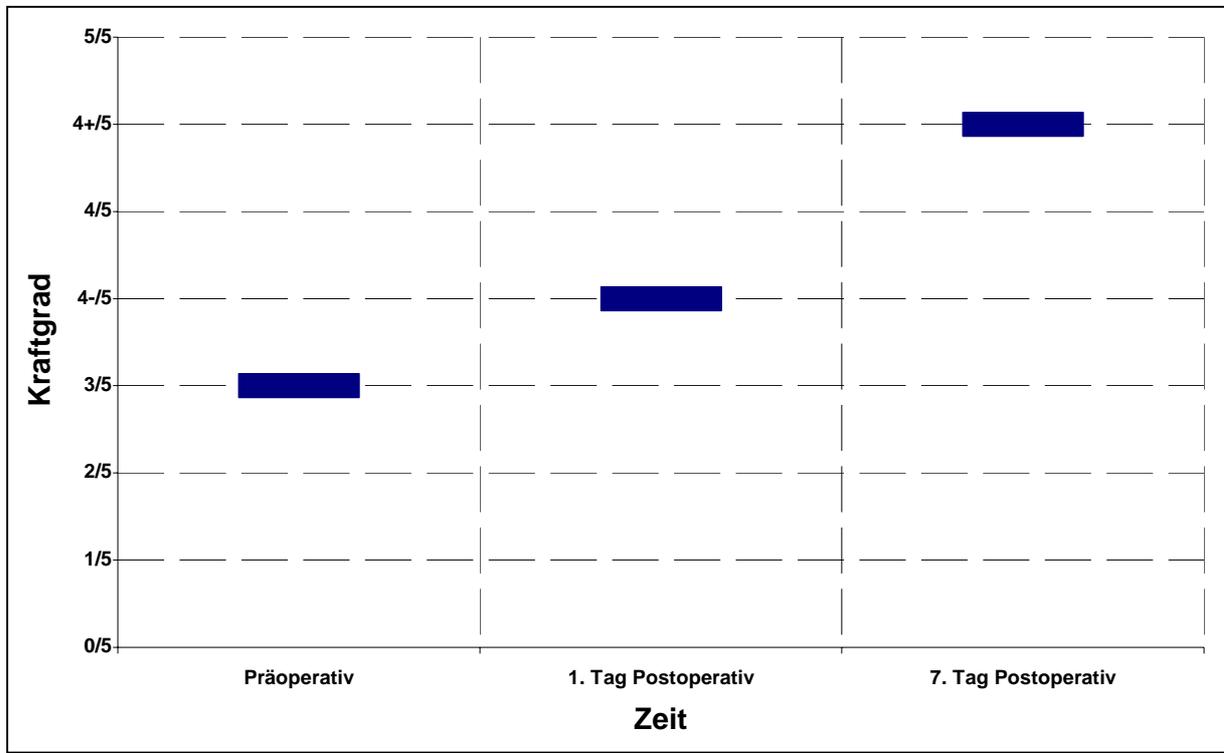


Abbildung 25: Darstellung der motorischen Funktion im zeitlichen Verlauf (armbetonte Hemiparese links), Patient: AH 22062000

Lokalisation	Erste Bildgebung (CT/MRT)	fMRT	IOM
PMK			
postzentral			
über den Sulcus hinweg			

Abbildung 26: Darstellung der Lokalisation in Bezug auf die spezielle Bildgebung, Patient: AH 22062000

4.2.2. Ergebnisse AP 23022001

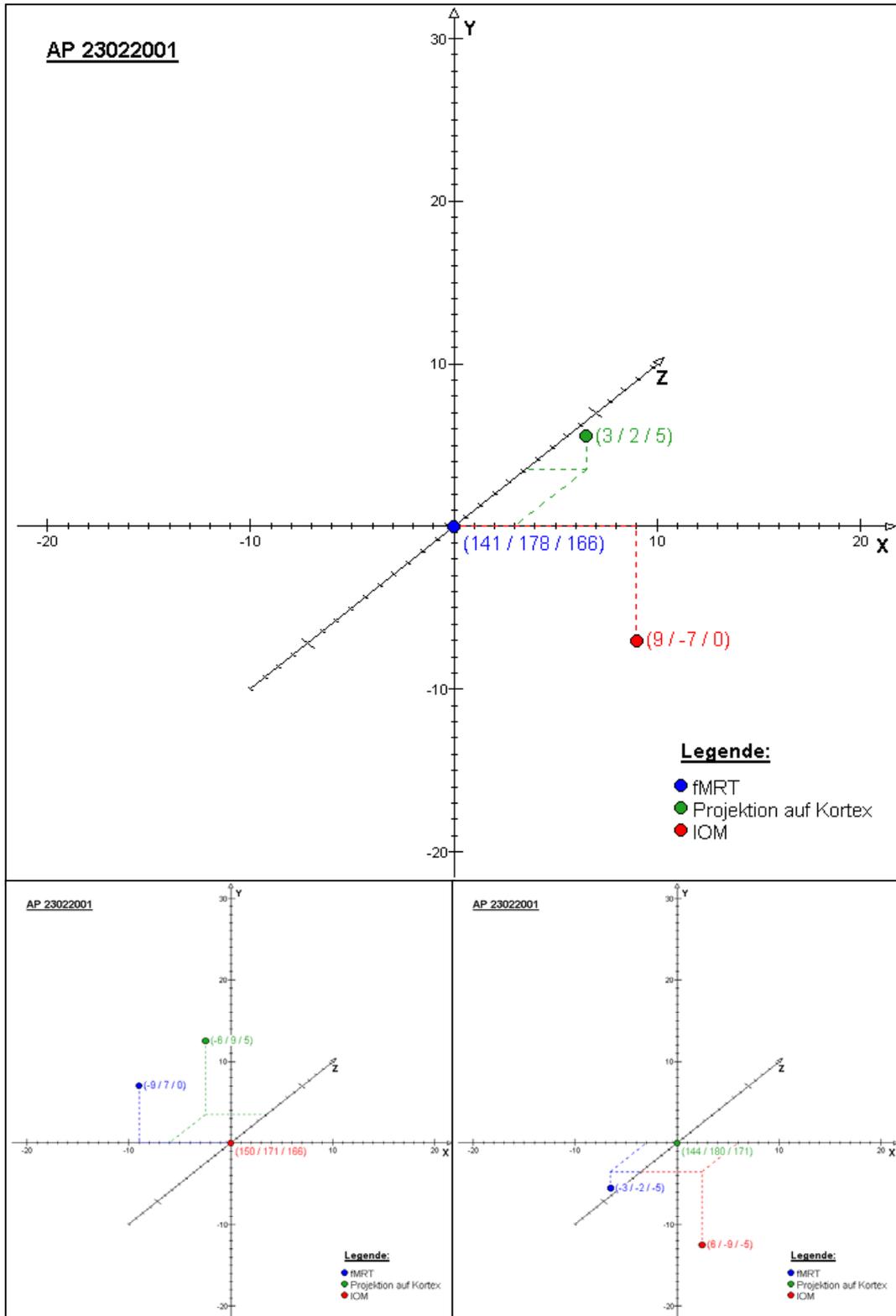


Abbildung 27: Graphische Korrelation der gewonnenen Daten in Bezug zueinander (fMRT, IOM, Projektion auf den Kortex), Patient: AP 23022001

Ergebnisse AP 23022001 (Forts.)

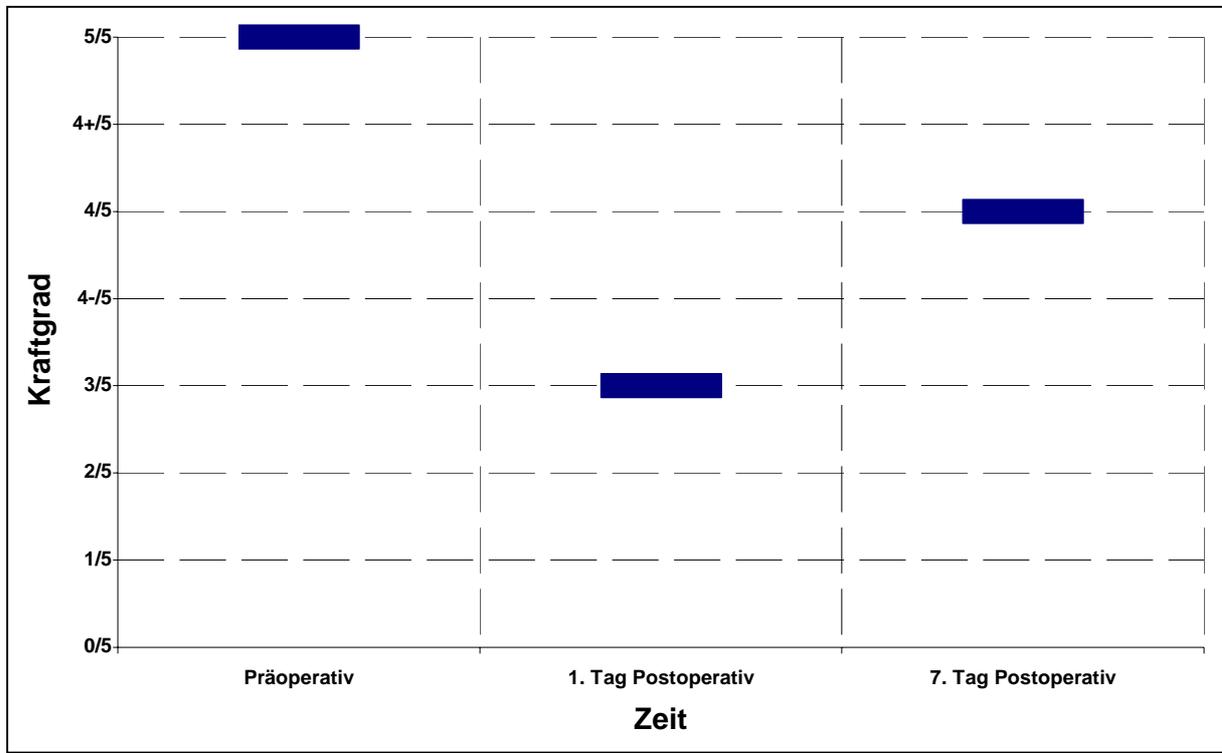


Abbildung 28: Darstellung der motorischen Funktion im zeitlichen Verlauf (armbetonte Hemiparese rechts), Patient: AP 23022001

Lokalisation	Erste Bildgebung (CT/MRT)	fMRT	IOM
PMK			
postzentral			
über den Sulcus hinweg			

Abbildung 29: Darstellung der Lokalisation in Bezug auf die spezielle Bildgebung, Patient: AP 23022001

4.2.3. Ergebnisse BG 09012001

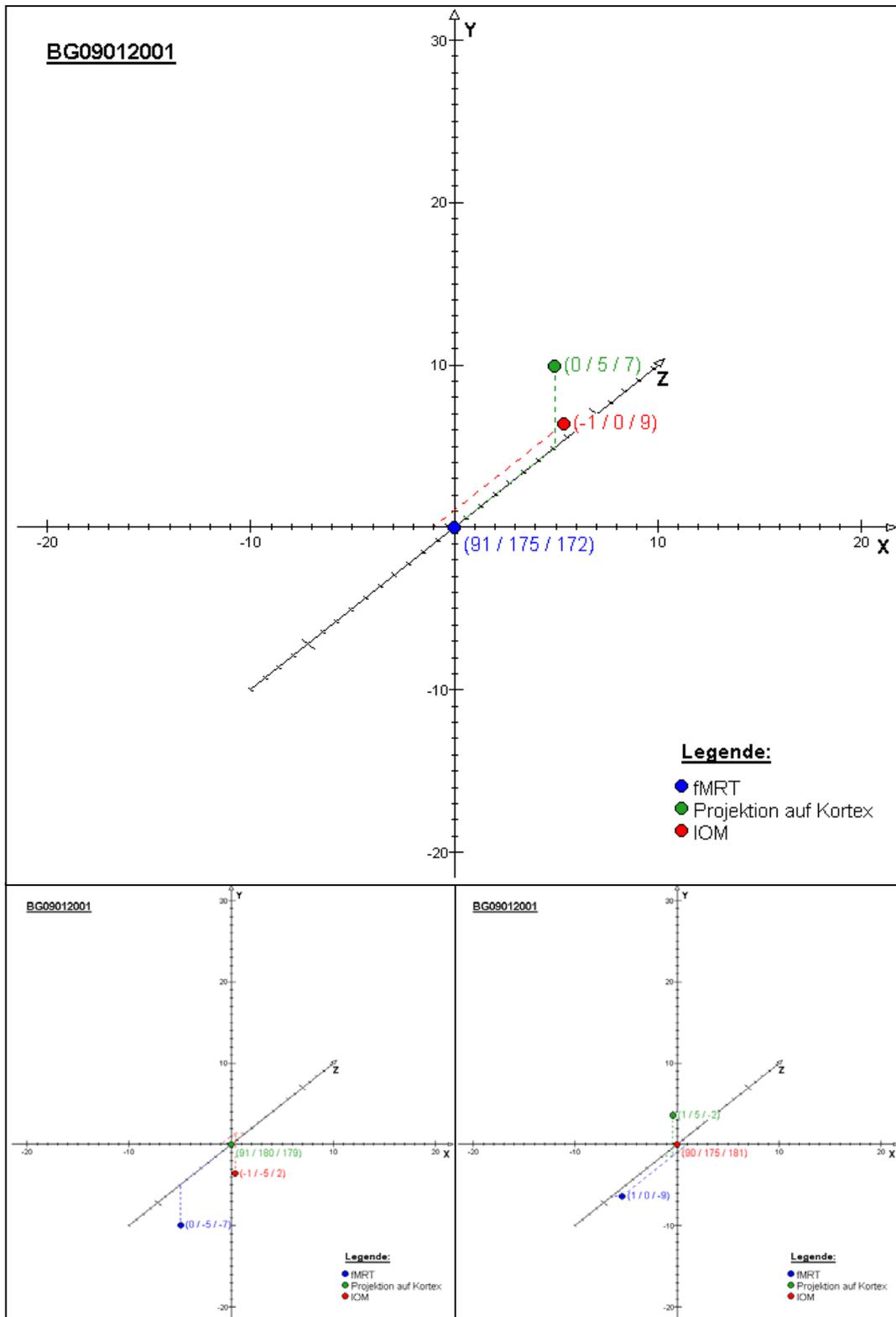


Abbildung 30: Graphische Korrelation der gewonnenen Daten in Bezug zueinander (fMRT, IOM, Projektion auf den Kortex), Patient: BG 09012001

Ergebnisse BG 09012001 (Forts.)

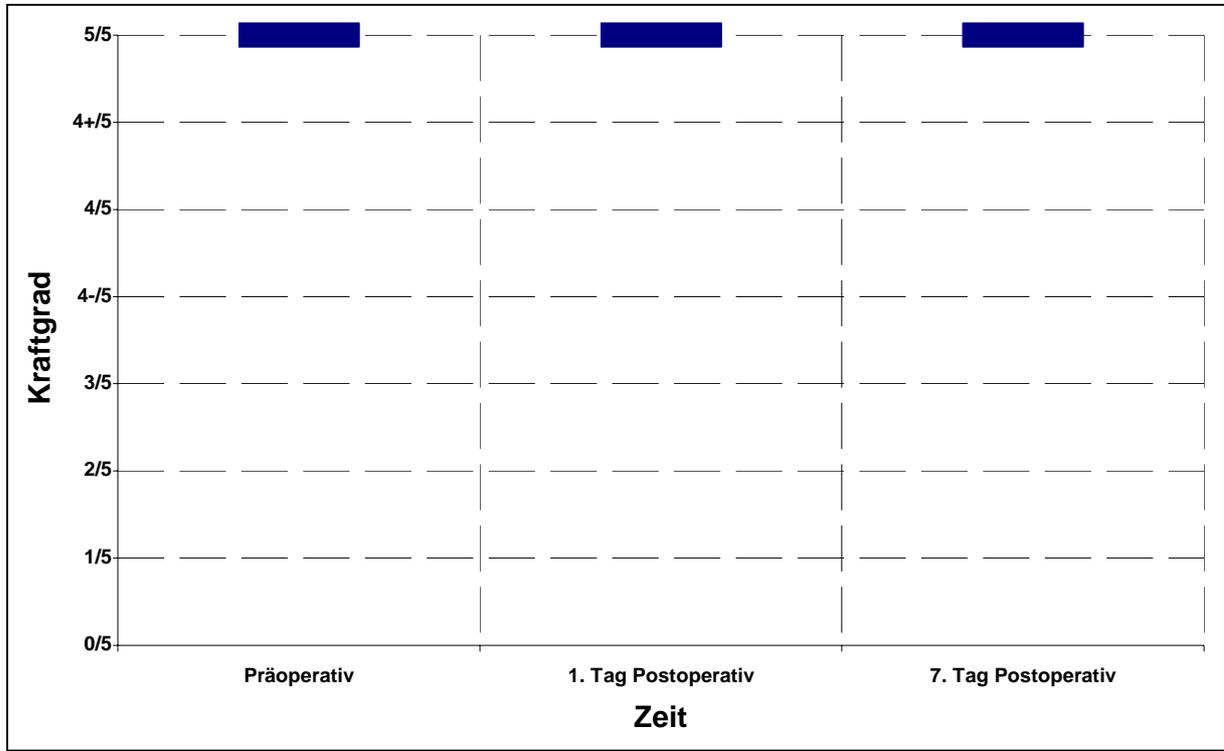


Abbildung 31: Darstellung der motorischen Funktion im zeitlichen Verlauf (keine motorischen Defizite), Patient: BG 09012001

Lokalisation	Erste Bildgebung (CT/MRT)	fMRT	IOM
PMK			
postzentral			
über den Sulcus hinweg			

Abbildung 32: Darstellung der Lokalisation in Bezug auf die spezielle Bildgebung, Patient: BG 09012001

4.2.4. Ergebnisse FA 06072001

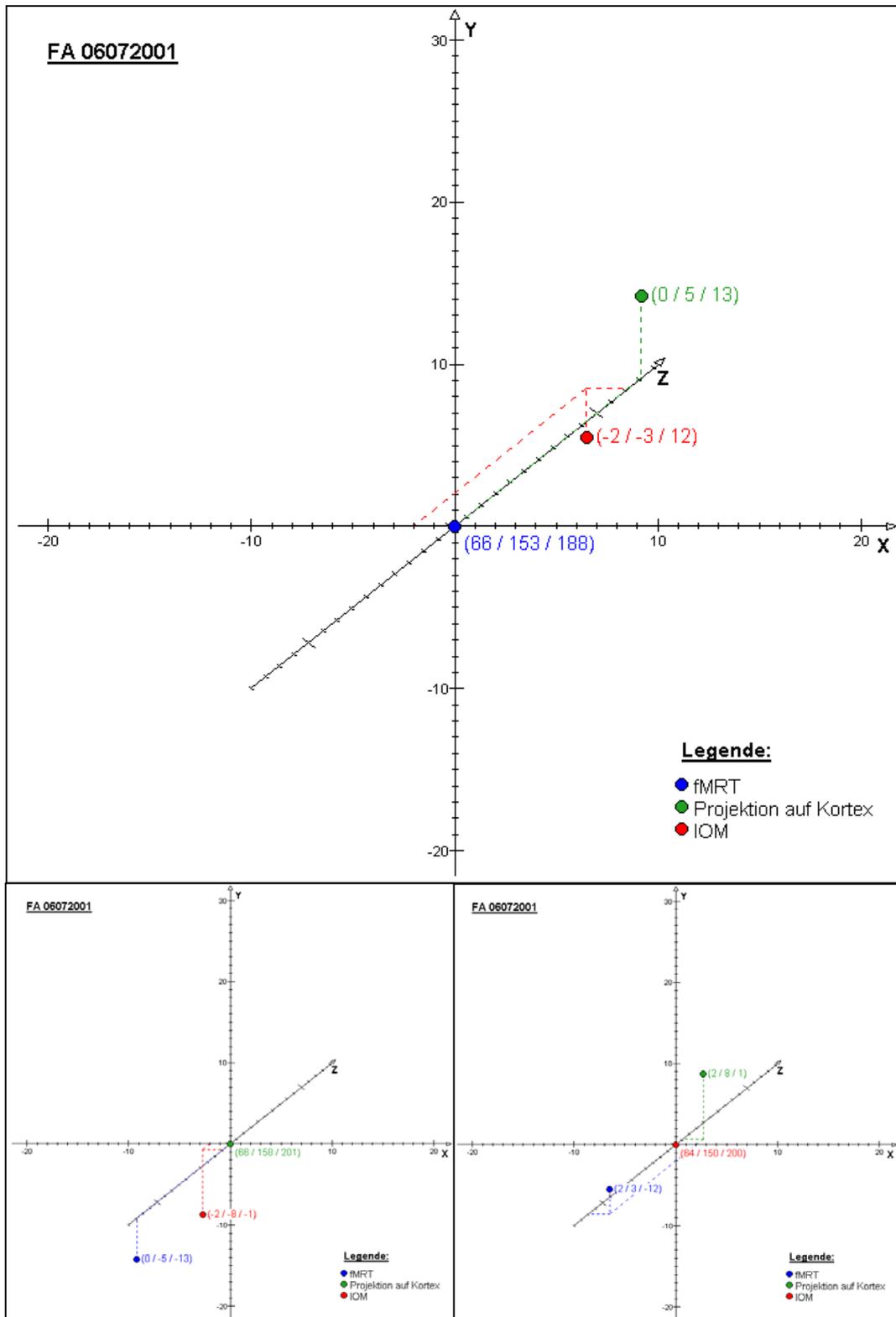


Abbildung 33: Graphische Korrelation der gewonnenen Daten in Bezug zueinander (fMRT, IOM, Projektion auf den Kortex), Patient: FA 06072001

Ergebnis FA 06072001 (Forts.)

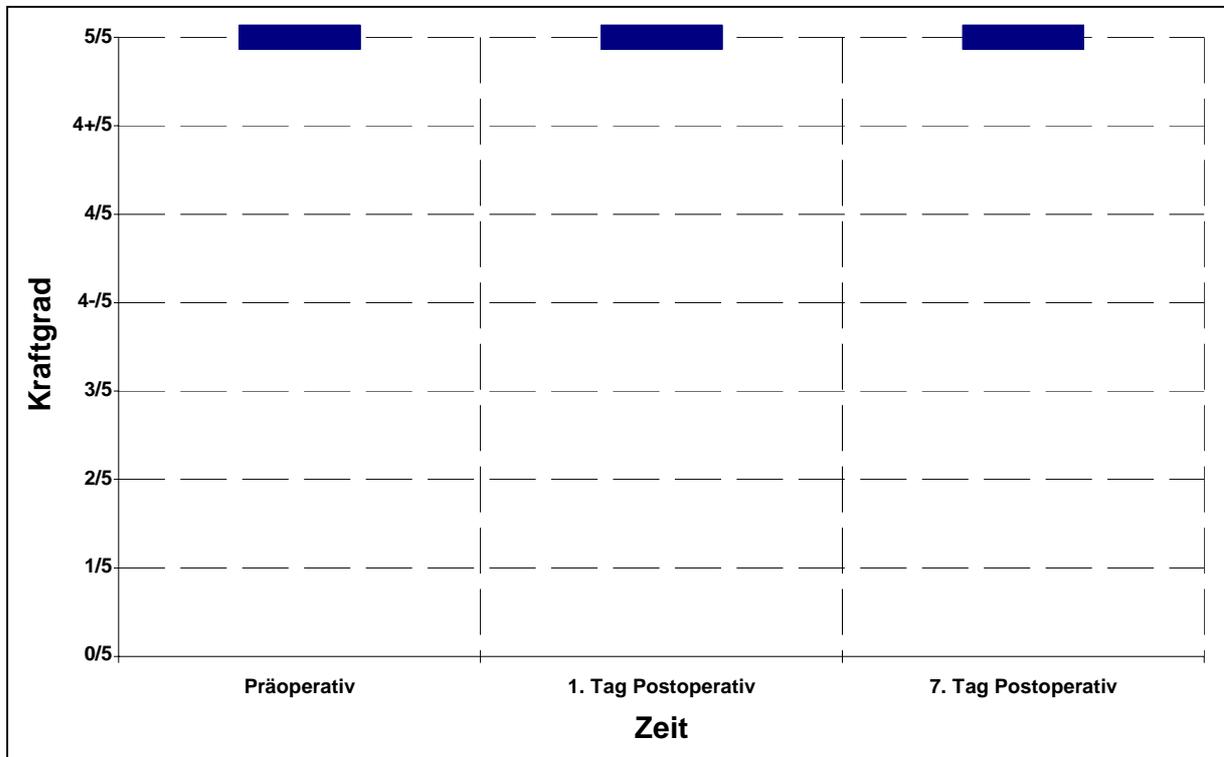


Abbildung 34: Darstellung der motorischen Funktion im zeitlichen Verlauf (keine motorischen Defizite), Patient: FA 06072001

Lokalisation	Erste Bildgebung (CT/MRT)	fMRT	IOM
PMK			
postzentral			
über den Sulcus hinweg			

Abbildung 35: Darstellung der Lokalisation in Bezug auf die spezielle Bildgebung, Patient: FA 06072001

4.2.5. Ergebnisse GE 19102001

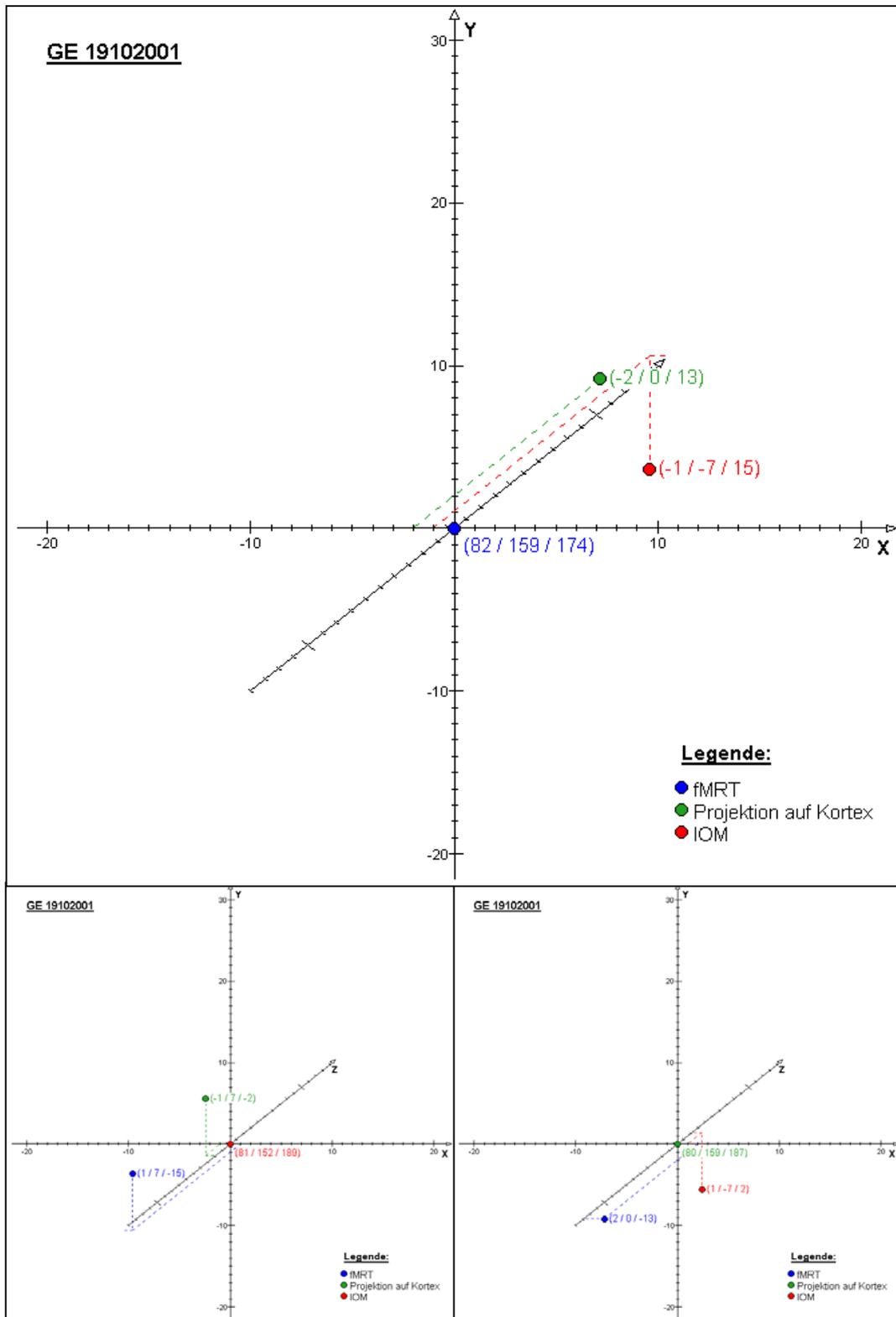


Abbildung 36: Graphische Korrelation der gewonnenen Daten in Bezug zueinander (fMRT, IOM, Projektion auf den Kortex), Patient: GE 19102001

Ergebnisse GE 19102001 (Forts.)

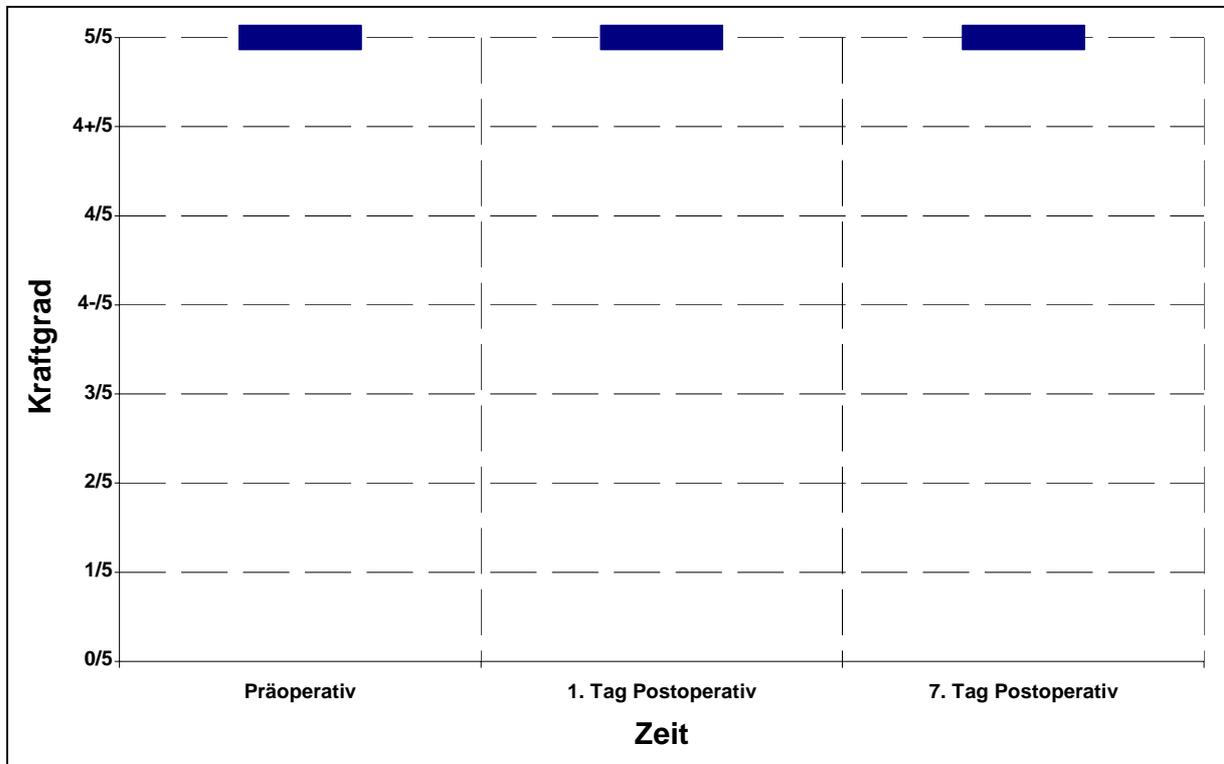


Abbildung 37: Darstellung der motorischen Funktion im zeitlichen Verlauf (keine motorischen Defizite) , Patient: GE 19102001

Lokalisation	Erste Bildgebung (CT/MRT)	fMRT	IOM
PMK			
postzentral			
über den Sulcus hinweg			

Abbildung 38: Darstellung der Lokalisation in Bezug auf die spezielle Bildgebung, Patient: GE 19102001

4.2.6 Ergebnisse GI 14122000

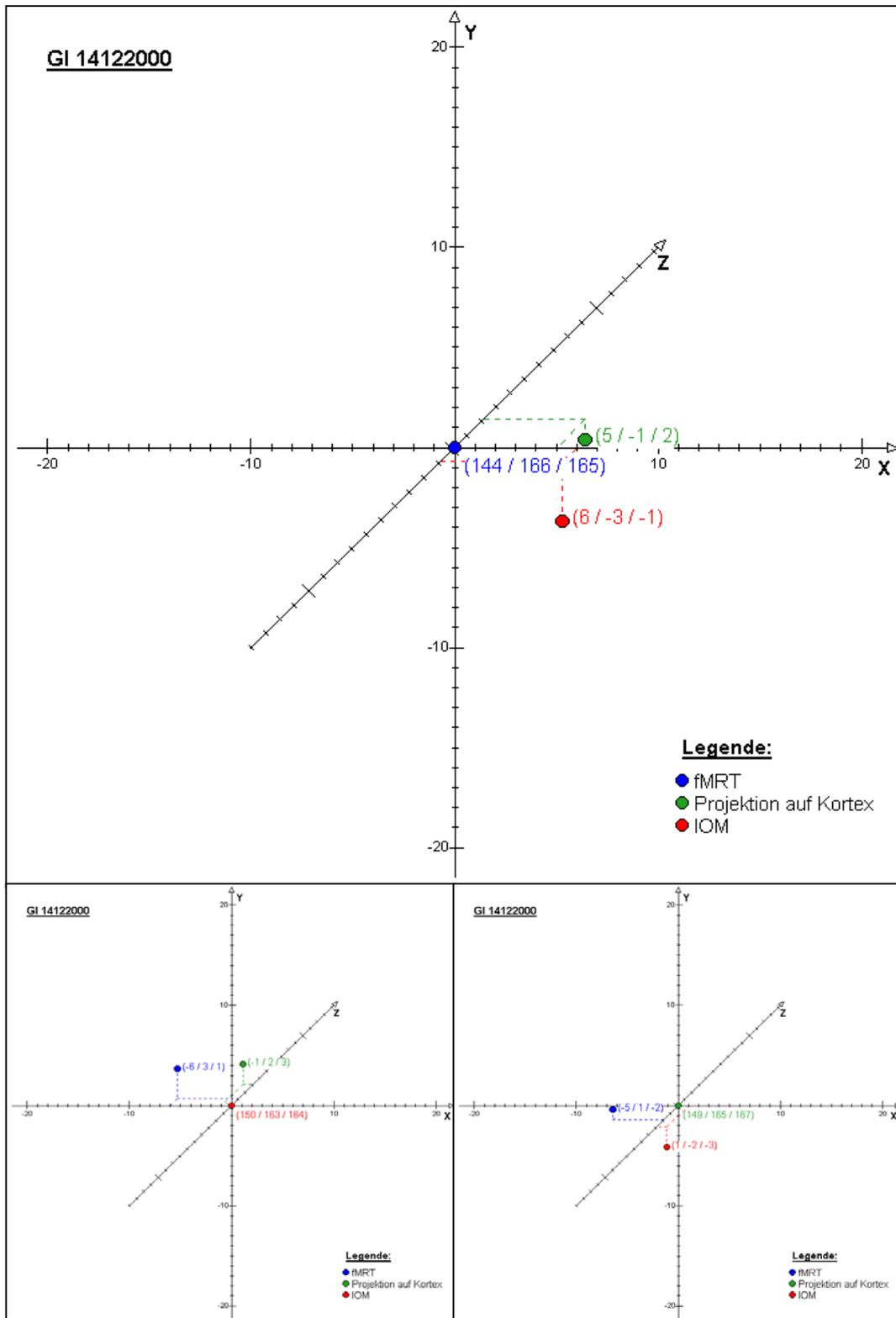


Abbildung 39: Graphische Korrelation der gewonnenen Daten in Bezug zueinander (fMRT, IOM, Projektion auf den Kortex), Patient: GI 14122000

Ergebnisse GI 1412200 (Forts.)

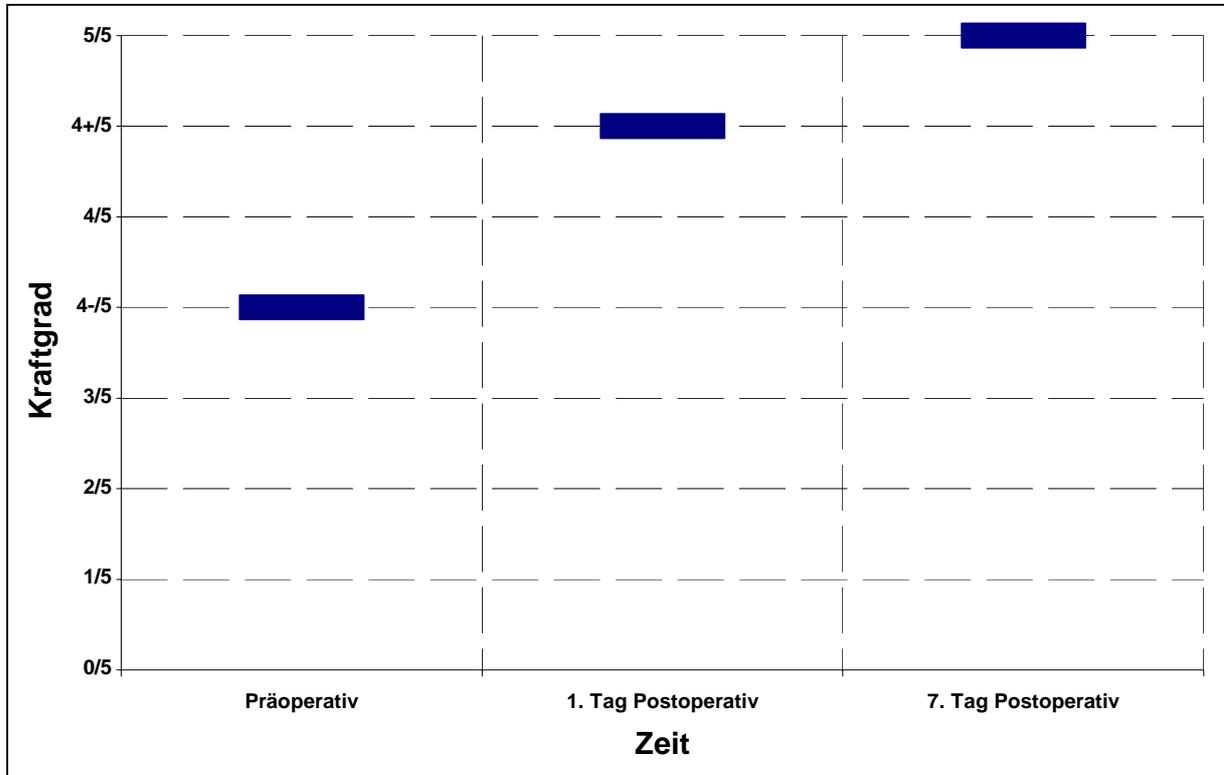


Abbildung 40: Darstellung der motorischen Funktion im zeitlichen Verlauf (Feinmotorikstörung der rechten Hand), Patient: GI 14122000

Lokalisation	Erste Bildgebung (CT/MRT)	fMRT	IOM
PMK			
postzentral			
über den Sulcus hinweg			

Abbildung 41: Darstellung der Lokalisation in Bezug auf die spezielle Bildgebung, Patient: GI 14122000

4.2.7 Ergebnisse HH 06072000

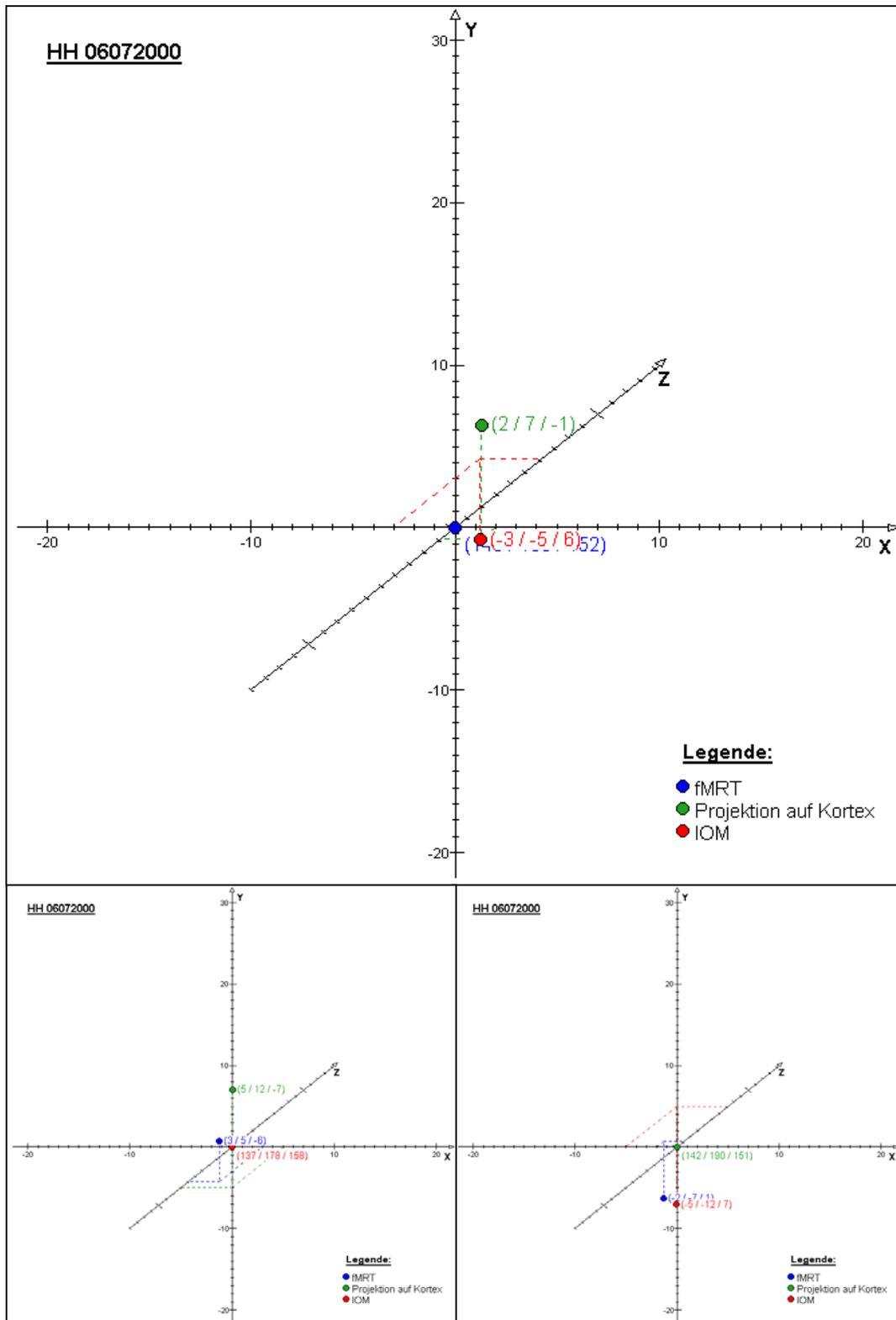


Abbildung 42: Graphische Korrelation der gewonnenen Daten in Bezug zueinander (fMRT, IOM, Projektion auf den Kortex), Patient: HH06072000

Ergebnisse HH 06072000 (Forts.)

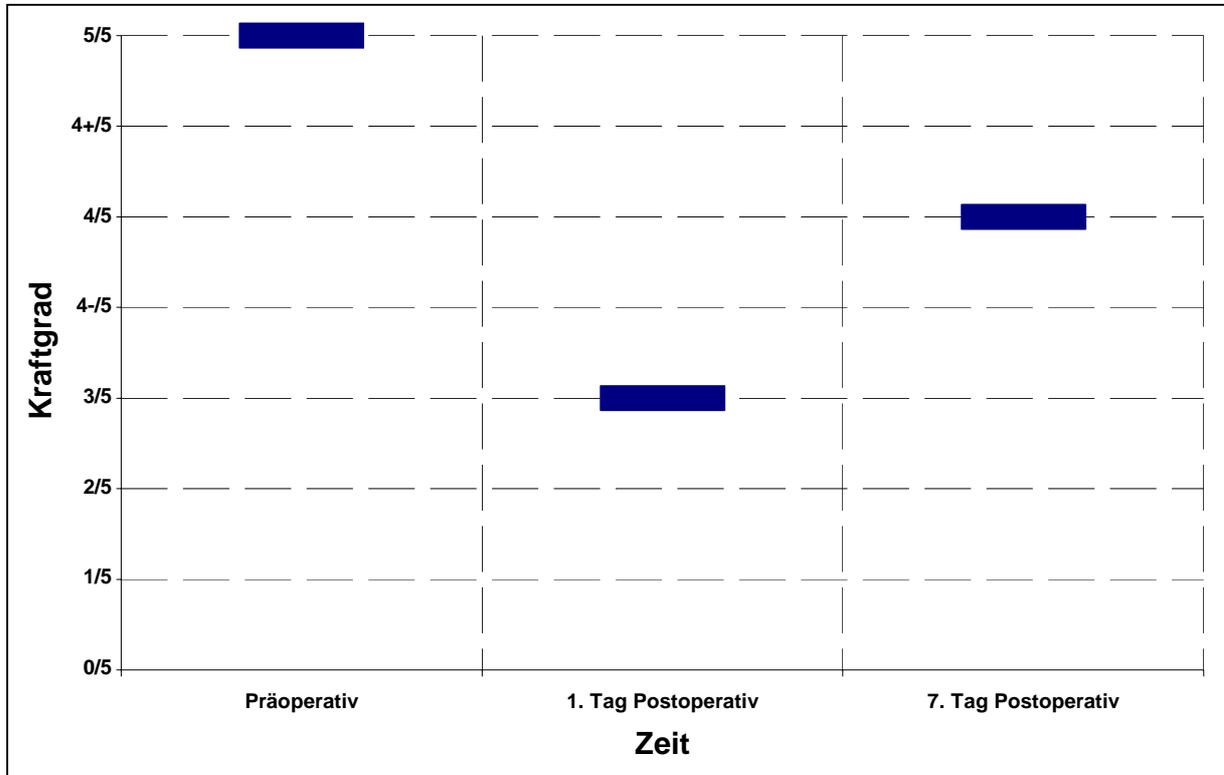


Abbildung 43: Darstellung der motorischen Funktion im zeitlichen Verlauf (armbetonte Hemiparese rechts), Patient HH06072000

Lokalisation	Erste Bildgebung (CT/MRT)	fMRT	IOM
PMK			
postzentral			
über den Sulcus hinweg			

Abbildung 44: Darstellung der Lokalisation in Bezug auf die spezielle Bildgebung, Patient: HH 06072000

4.2.8 Ergebnisse LH 01112000

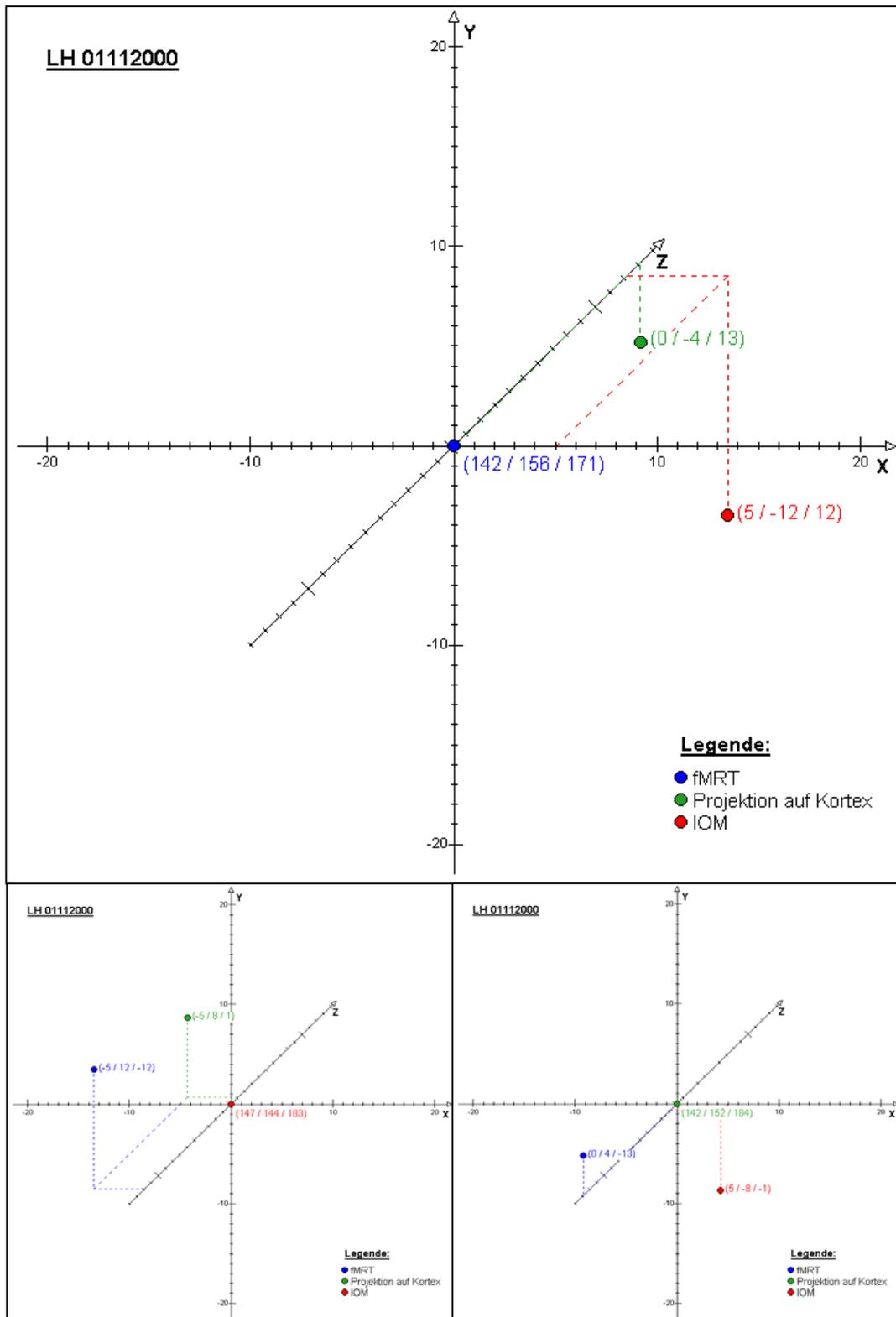


Abbildung 45: Graphische Korrelation der gewonnenen Daten in Bezug zueinander (fMRT, IOM, Projektion auf den Kortex), Patient: LH 01112000

Ergebnisse LH 01112000 (Forts.)

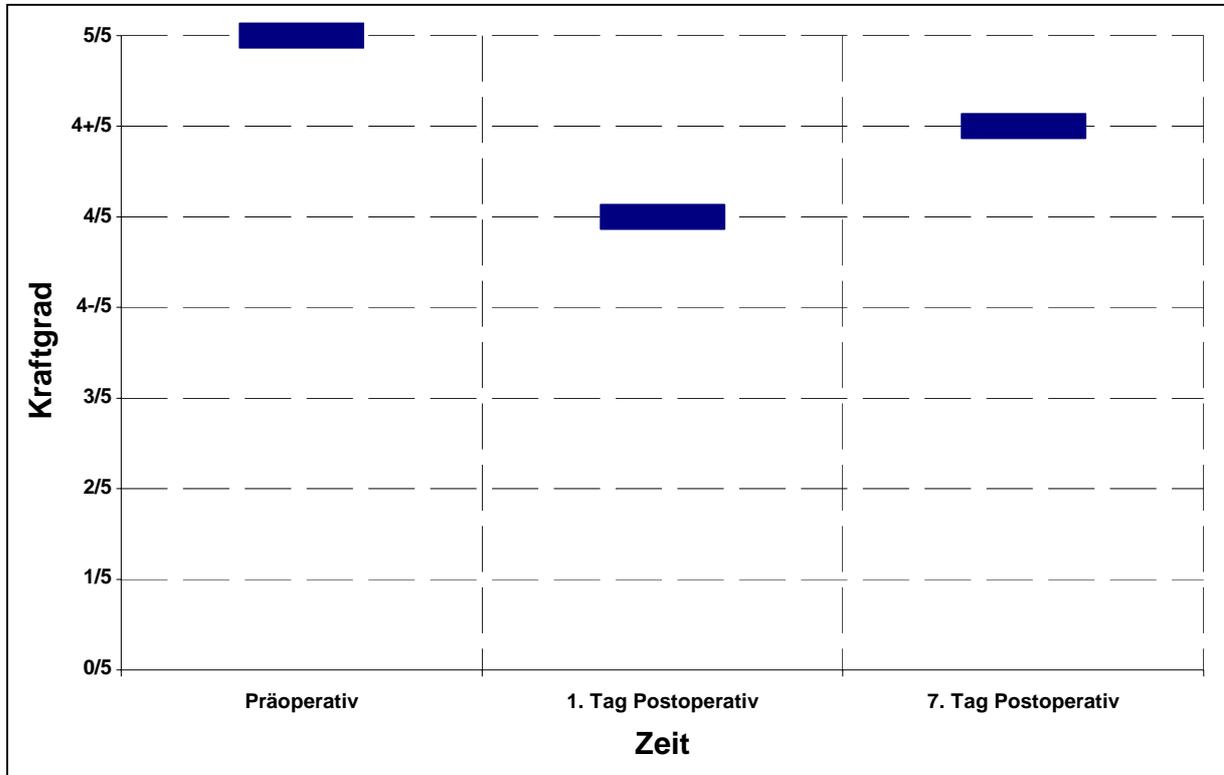


Abbildung 46: Darstellung der motorischen Funktion im zeitlichen Verlauf (Facialisparese rechts), Patient: LH 01112000

Lokalisation	Erste Bildgebung (CT/MRT)	fMRT	IOM
PMK			
postzentral			
über den Sulcus hinweg			

Abbildung 47: Darstellung der Lokalisation in Bezug auf die spezielle Bildgebung, Patient: LH 01112000

4.2.9 Ergebnisse MH 05042001

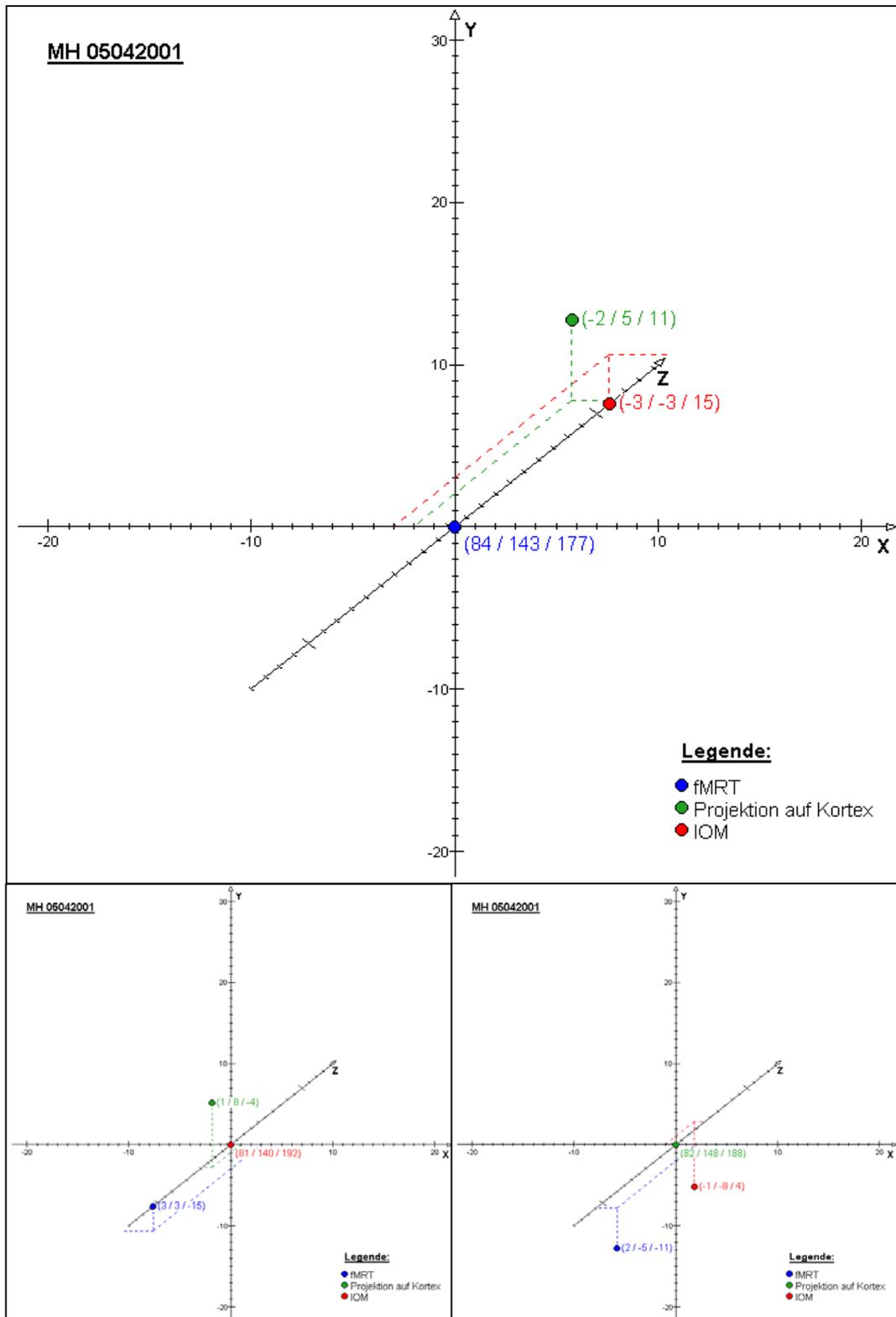


Abbildung 48: Graphische Korrelation der gewonnenen Daten in Bezug zueinander (fMRT, IOM, Projektion auf den Kortex), Patient: MH 05042001

Ergebnisse MH 05042001 (Forts.)

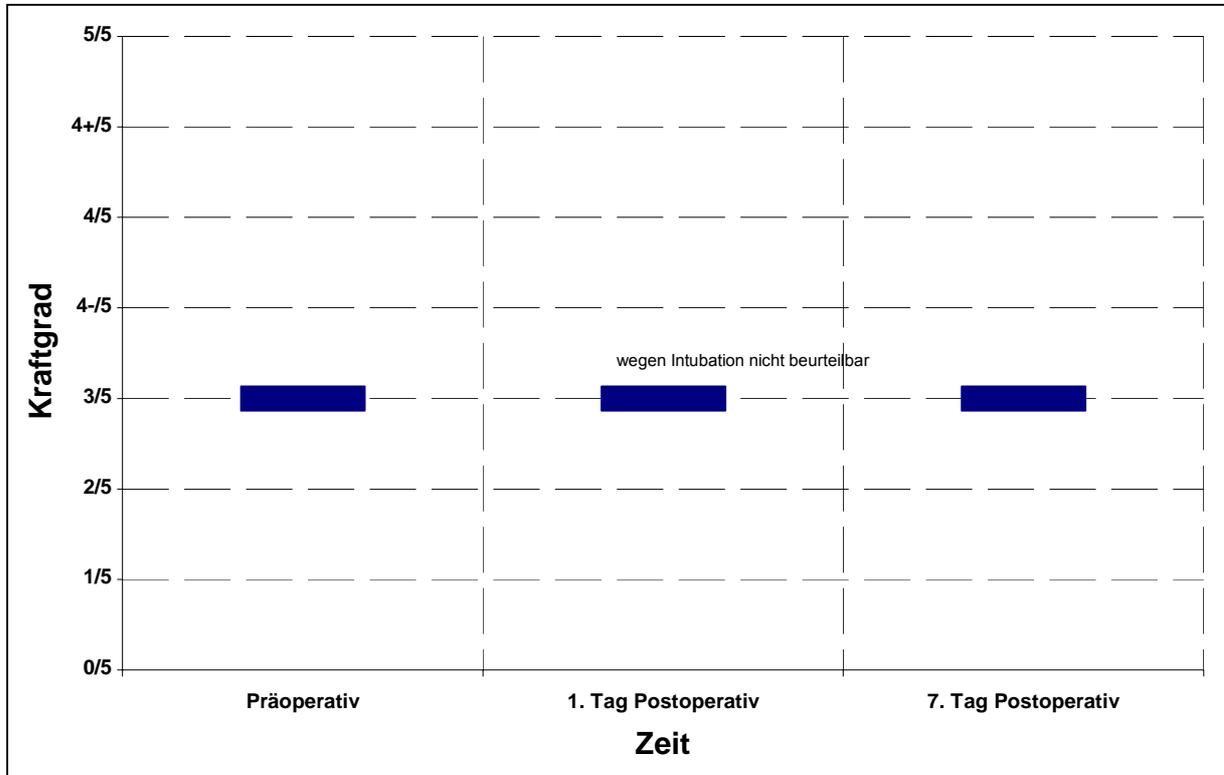


Abbildung 49: Darstellung der motorischen Funktion im zeitlichen Verlauf (Hemiparese links), Patient: MH 05042001

Lokalisation	Erste Bildgebung (CT/MRT)	fMRT	IOM
PMK			
postzentral			
über den Sulcus hinweg			

Abbildung 50: Darstellung der Lokalisation in Bezug auf die spezielle Bildgebung, Patient: MH 05042001

4.2.10 Ergebnisse MHJ 30112000

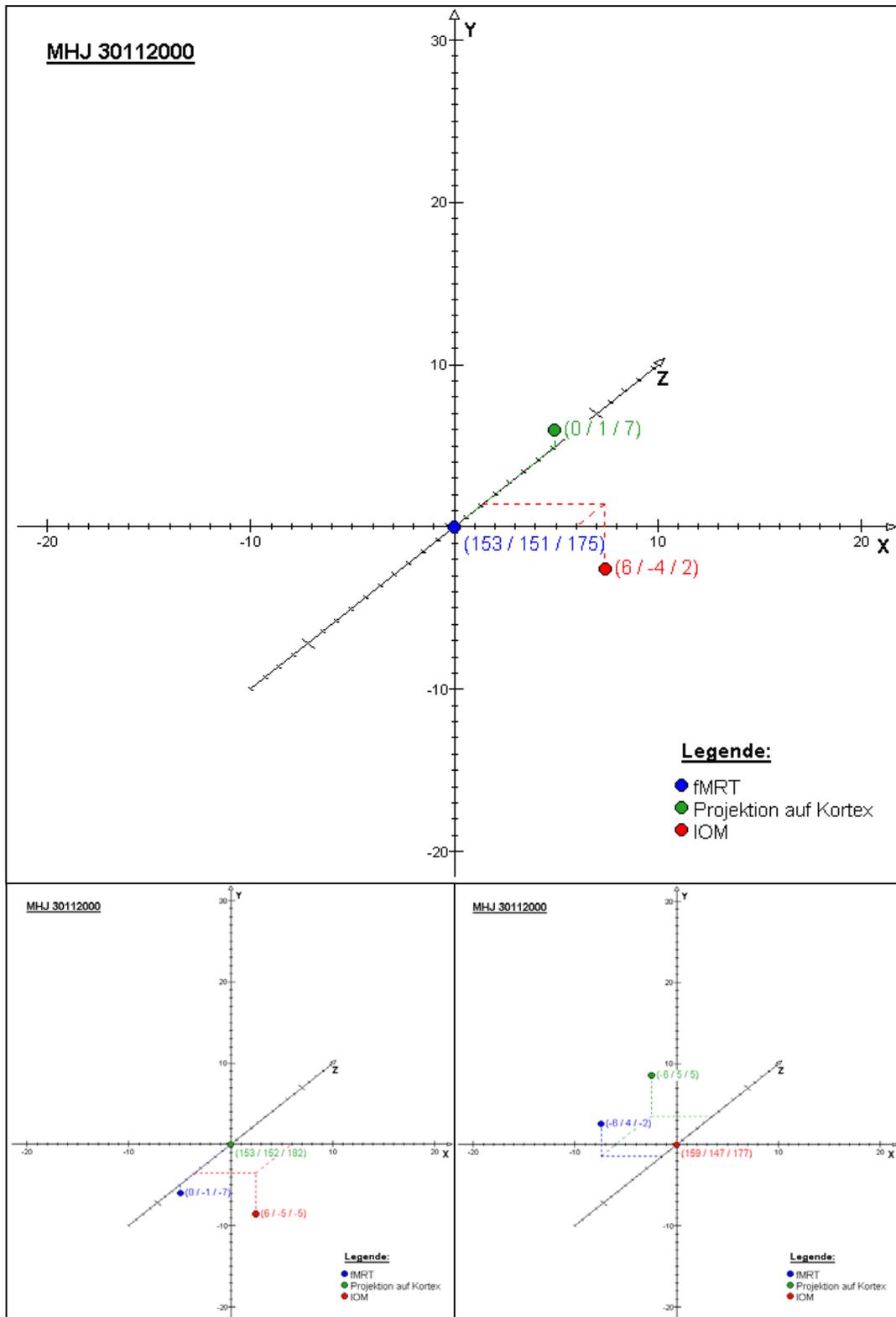


Abbildung 51: Graphische Korrelation der gewonnenen Daten in Bezug zueinander (fMRT, IOM, Projektion auf den Kortex), Patient: MHJ 30112000

Ergebnisse MHJ 30112000 (Forts.)

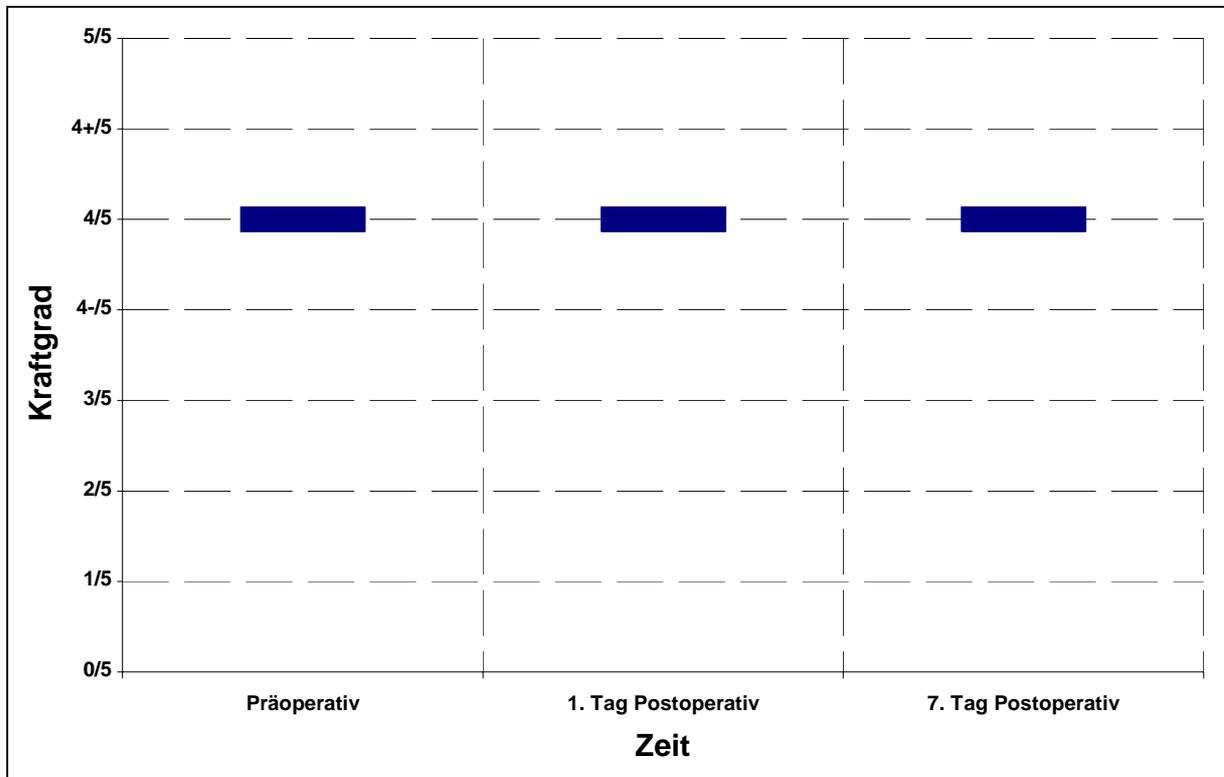


Abbildung 52: Darstellung der motorischen Funktion im zeitlichen Verlauf (armbetonte Hemiparese rechts), Patient: MHJ 30112000

Lokalisation	Erste Bildgebung (CT/MRT)	fMRT	IOM
PMK			
postzentral		nicht identifizierbar	
über den Sulcus hinweg			

Abbildung 53: Darstellung der Lokalisation in Bezug auf die spezielle Bildgebung, Patient: MHJ 30112000

4.2.11 Ergebnisse NB 20062001

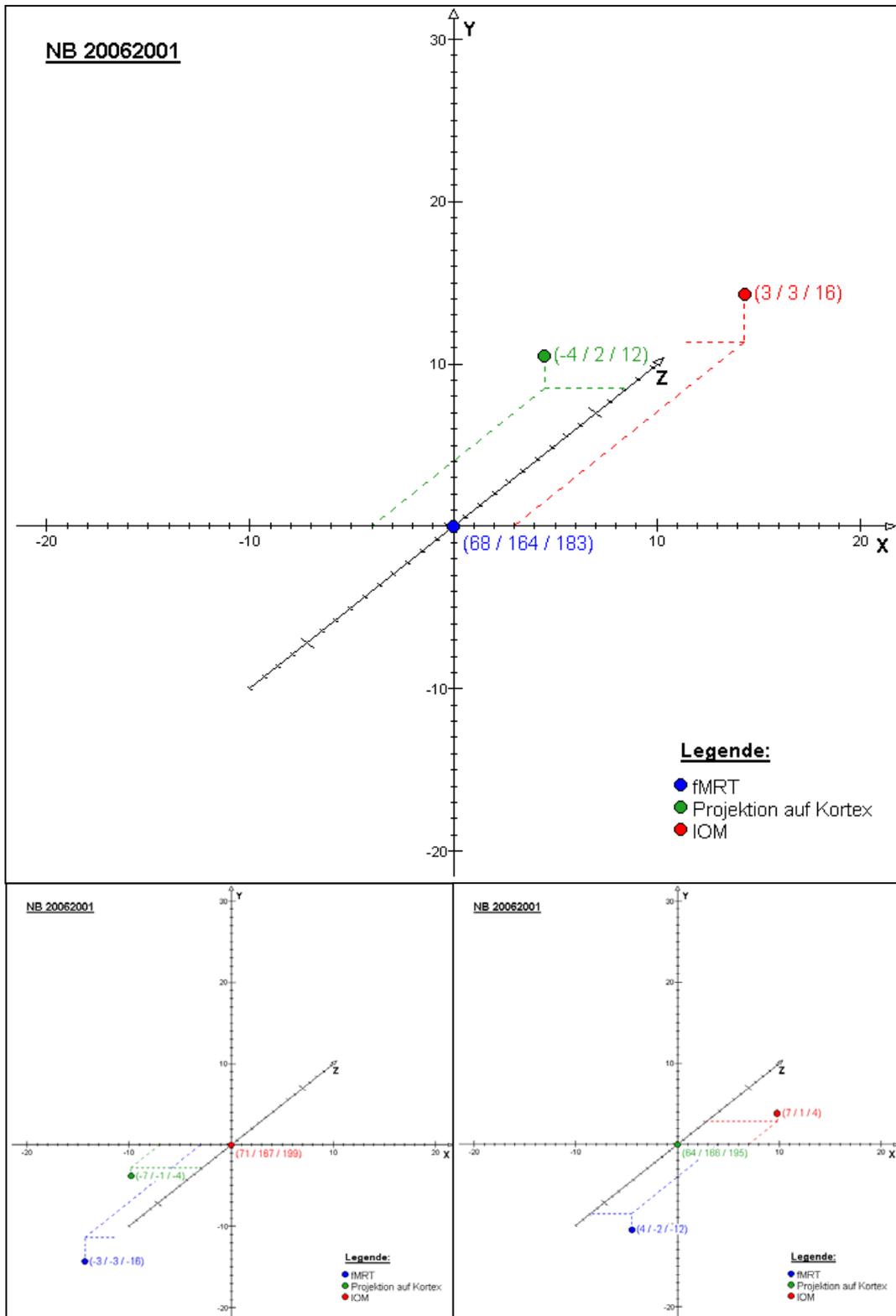


Abbildung 54: Graphische Korrelation der gewonnenen Daten in Bezug zueinander (fMRT, IOM, Projektion auf den Kortex), Patient: NB 20062001

Ergebnisse NB 20062001 (Forts.)

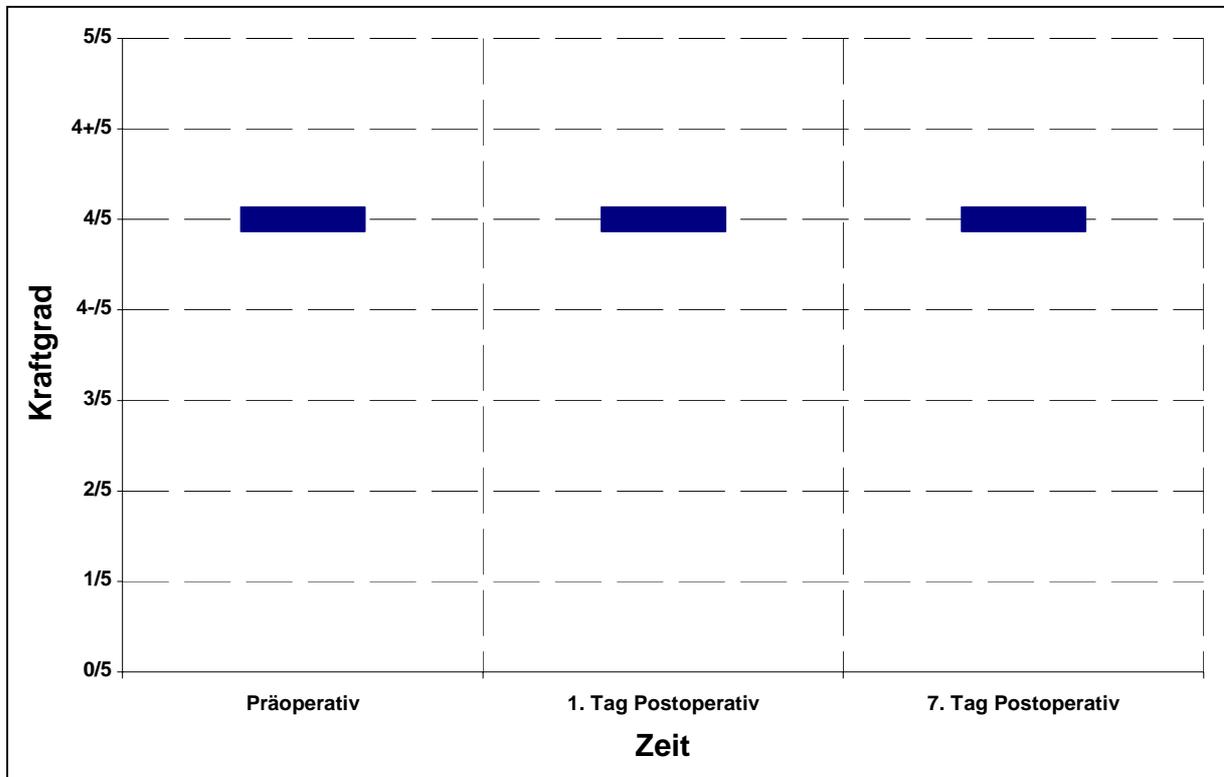


Abbildung 55: Darstellung der motorischen Funktion im zeitlichen Verlauf (Feinmotorikschwäche links), Patient: NB 20062001

Lokalisation	Erste Bildgebung (CT/MRT)	fMRT	IOM
PMK			
postzentral			
über den Sulcus hinweg			

Abbildung 56: Darstellung der Lokalisation in Bezug auf die spezielle Bildgebung, Patient: NB 20062001

4.2.12 Ergebnisse NG 29112001

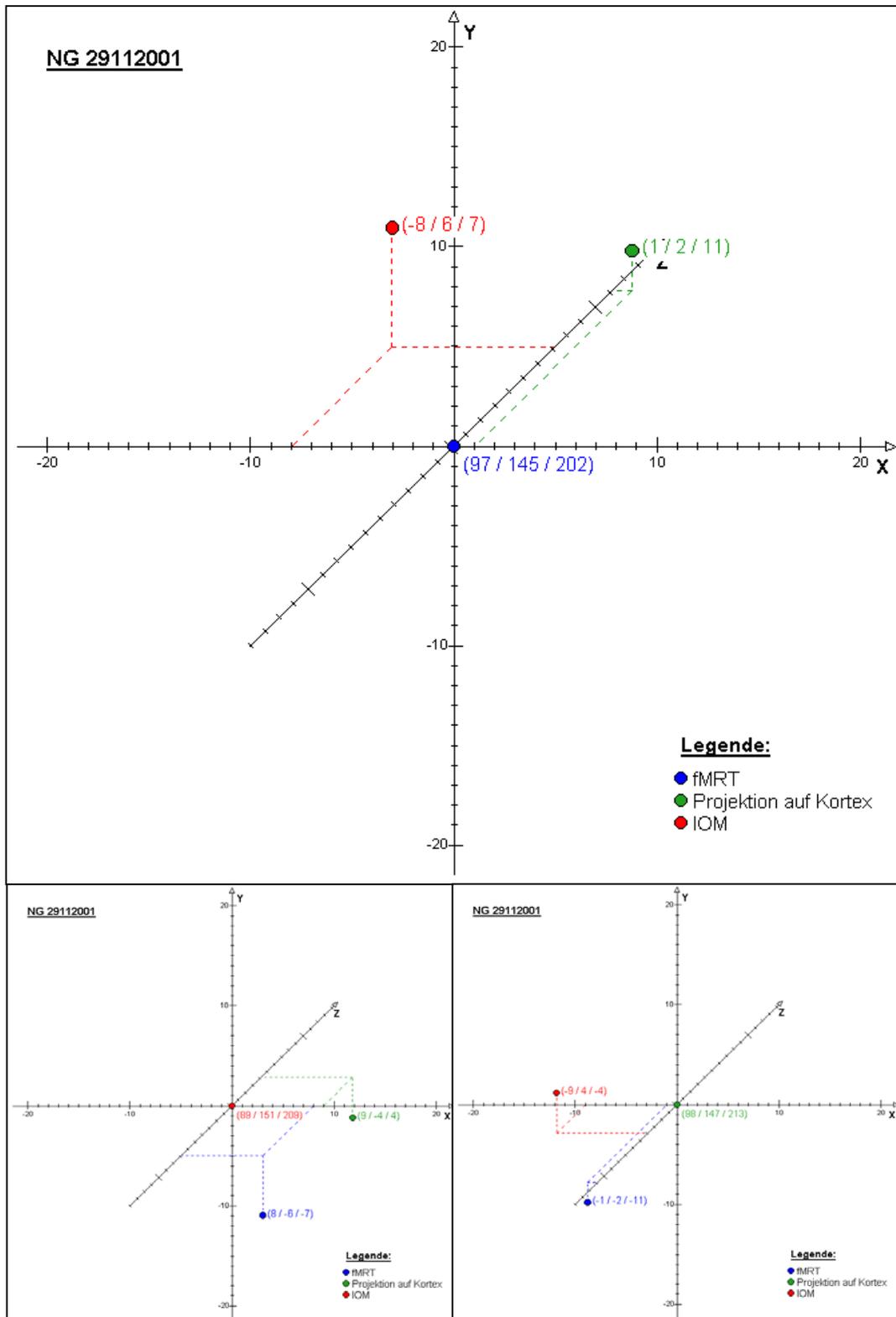


Abbildung 57: Graphische Korrelation der gewonnenen Daten in Bezug zueinander (fMRT, IOM, Projektion auf den Kortex), Patient: NG 29112001

Ergebnisse NG 29112001 (Forts.)

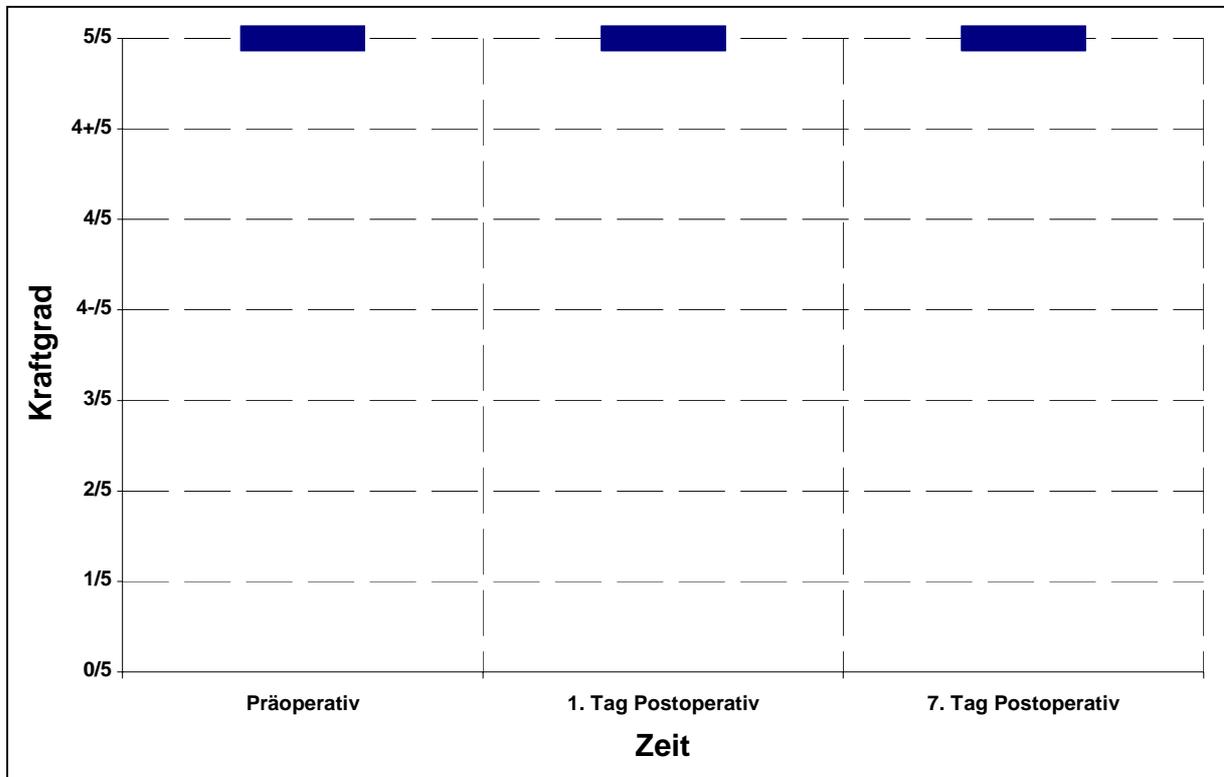


Abbildung 58: Darstellung der motorischen Funktion im zeitlichen Verlauf (keine motorischen Defizit), Patient: NG 29112001

Lokalisation	Erste Bildgebung (CT/MRT)	fMRT	IOM
PMK			
postzentral			
über den Sulcus hinweg			

Abbildung 59: Darstellung der Lokalisation in Bezug auf die spezielle Bildgebung, Patient: NG 29112001

4.2.13 Ergebnisse PK 29072003

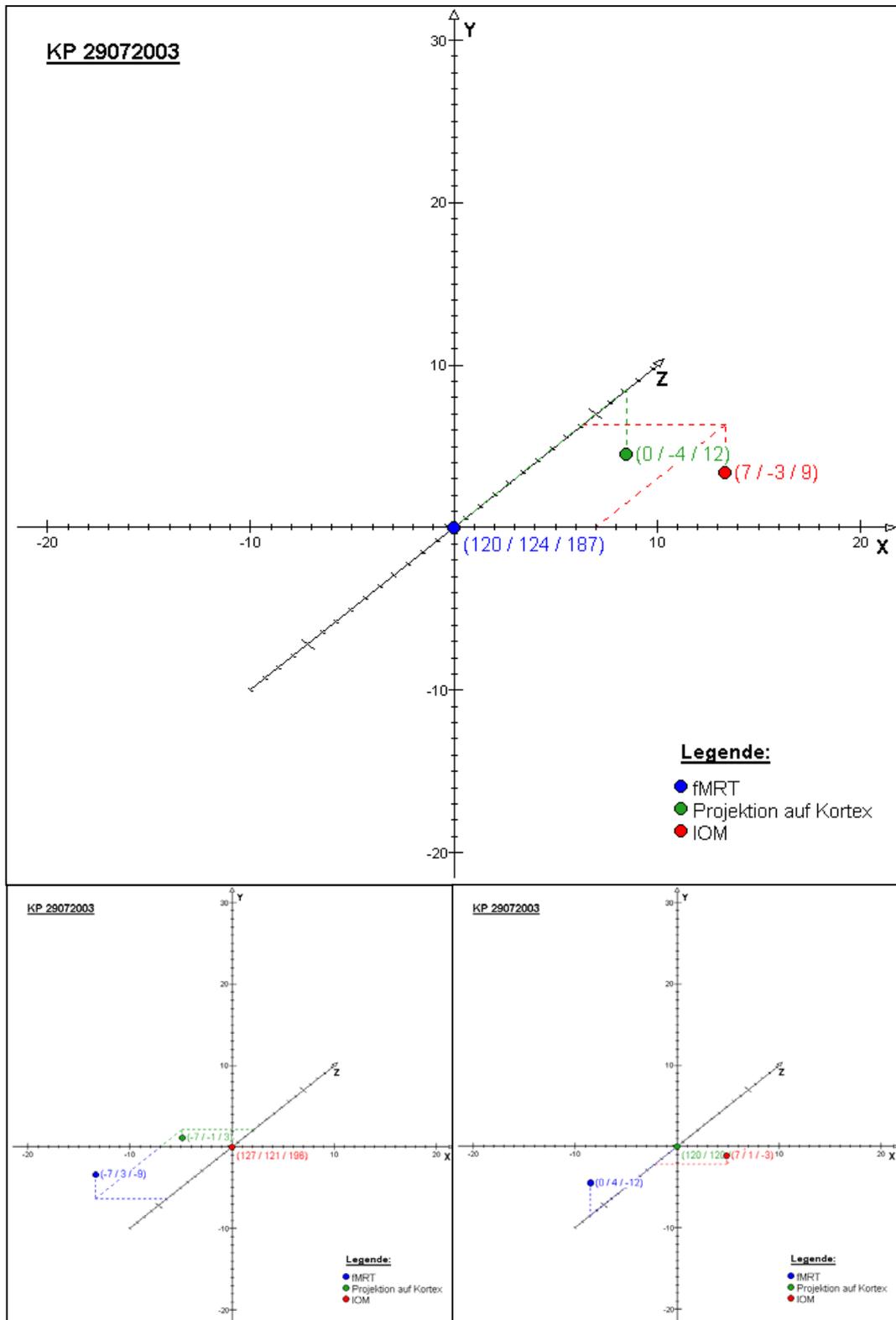


Abbildung 60: Graphische Korrelation der gewonnenen Daten in Bezug zueinander (fMRT, IOM, Projektion auf den Kortex), Patient: PK 29072003

Ergebnisse PK 29072003 (Forts.)

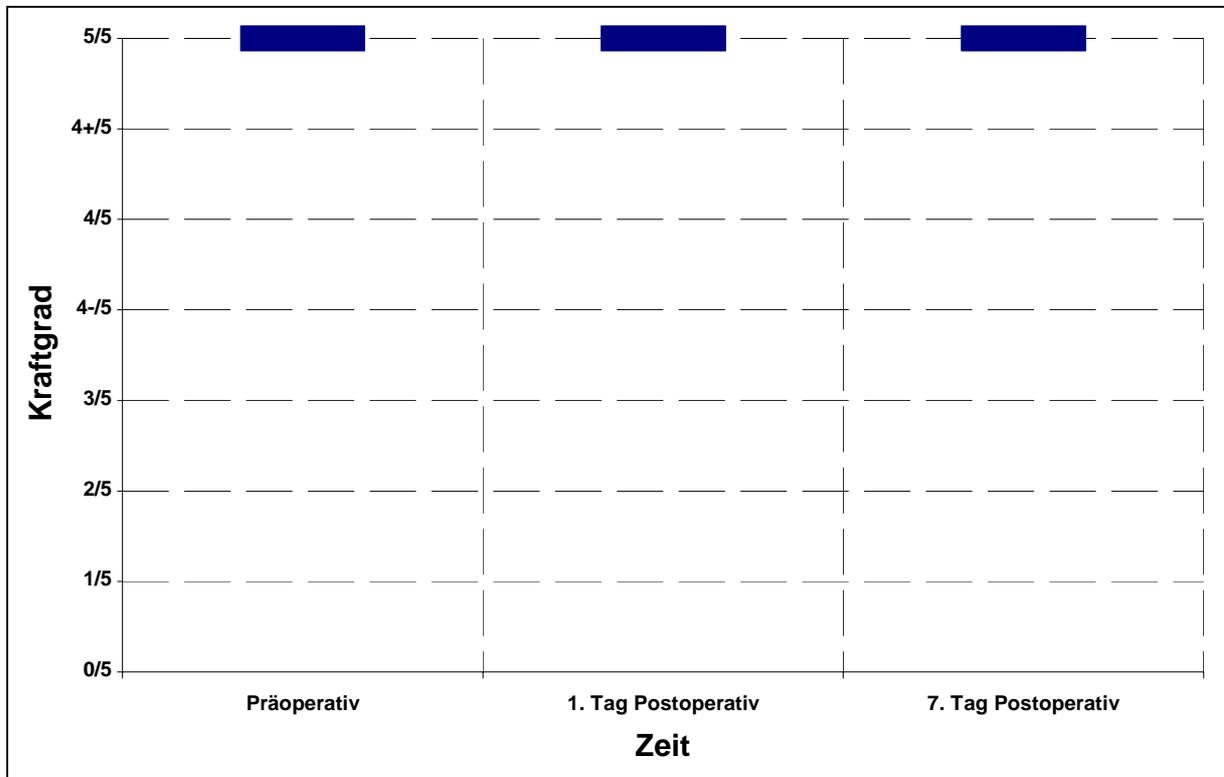


Abbildung 61: Darstellung der motorischen Funktion im zeitlichen Verlauf (keine motorischen Defizite), Patient: PK 29072003

Lokalisation	Erste Bildgebung (CT/MRT)	fMRT	IOM
PMK			
postzentral			
über den Sulcus hinweg			

Abbildung 62: Darstellung der Lokalisation in Bezug auf die spezielle Bildgebung, Patient: PK 29072003

4.2.14 Ergebnisse RU 28072000

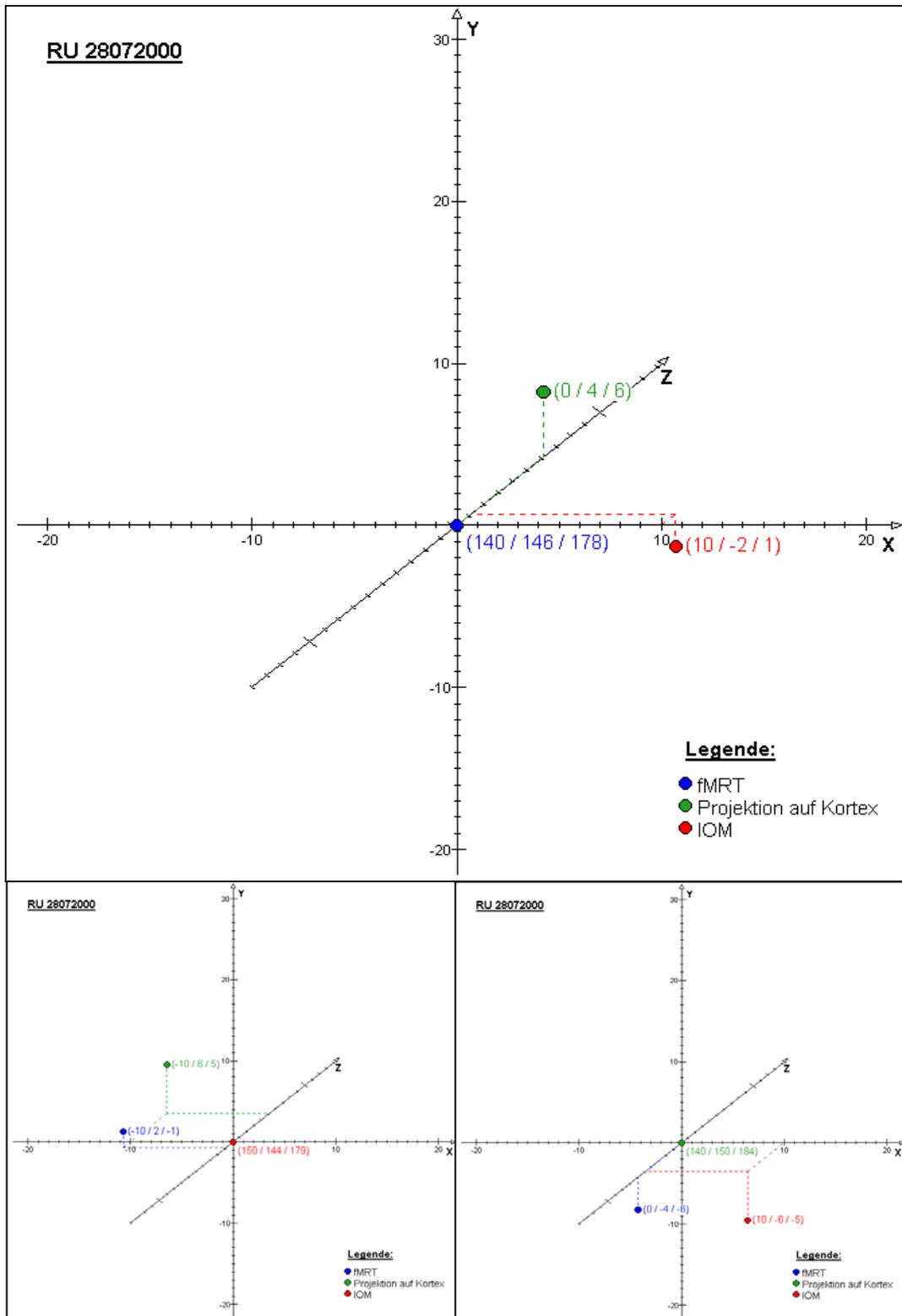


Abbildung 63: Graphische Korrelation der gewonnenen Daten in Bezug zueinander (fMRT, IOM, Projektion auf den Kortex), Patient: RU 28072000

Ergebnisse RU 28072000 (Forts.)

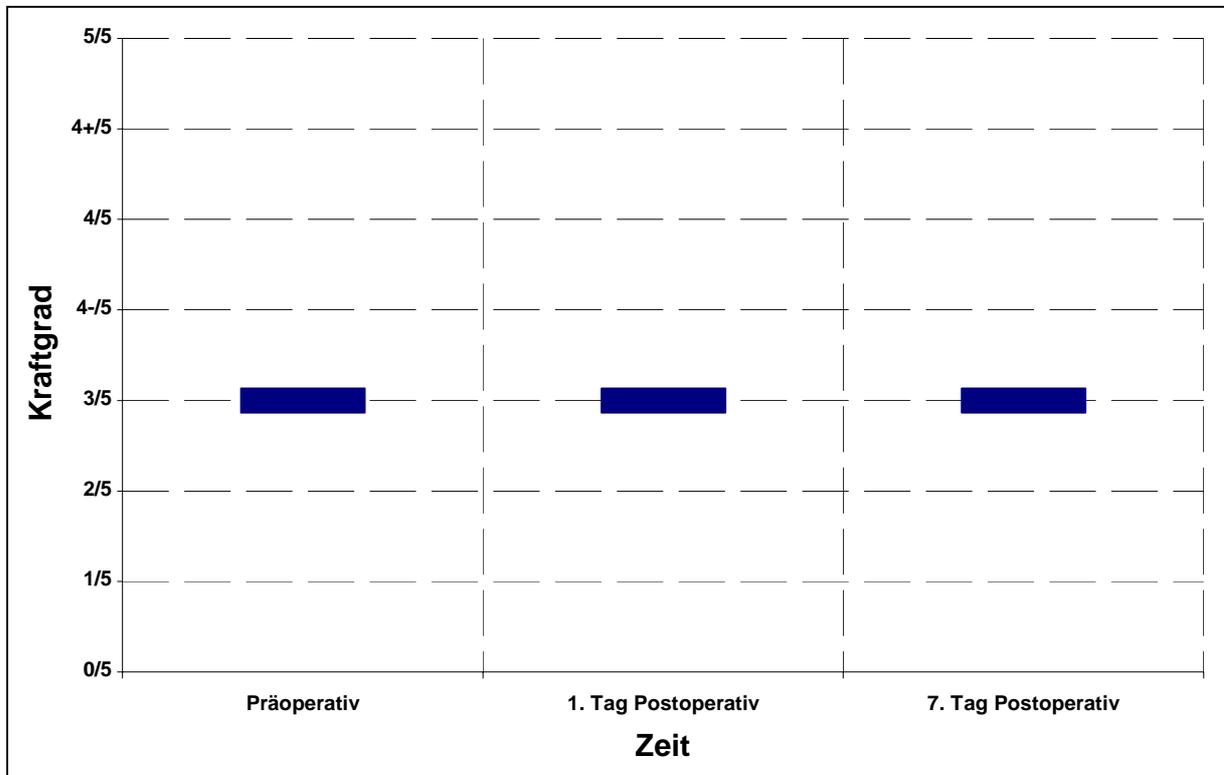


Abbildung 64: Darstellung der motorischen Funktion im zeitlichen Verlauf (armbetonte Hemiparese rechts), Patient: RU 28072000

Lokalisation	Erste Bildgebung (CT/MRT)	fMRT	IOM
PMK			
postzentral			
über den Sulcus hinweg			

Abbildung 65: Darstellung der Lokalisation in Bezug auf die spezielle Bildgebung, Patient: RU 28072000

4.2.15 Ergebnisse SD 03052001

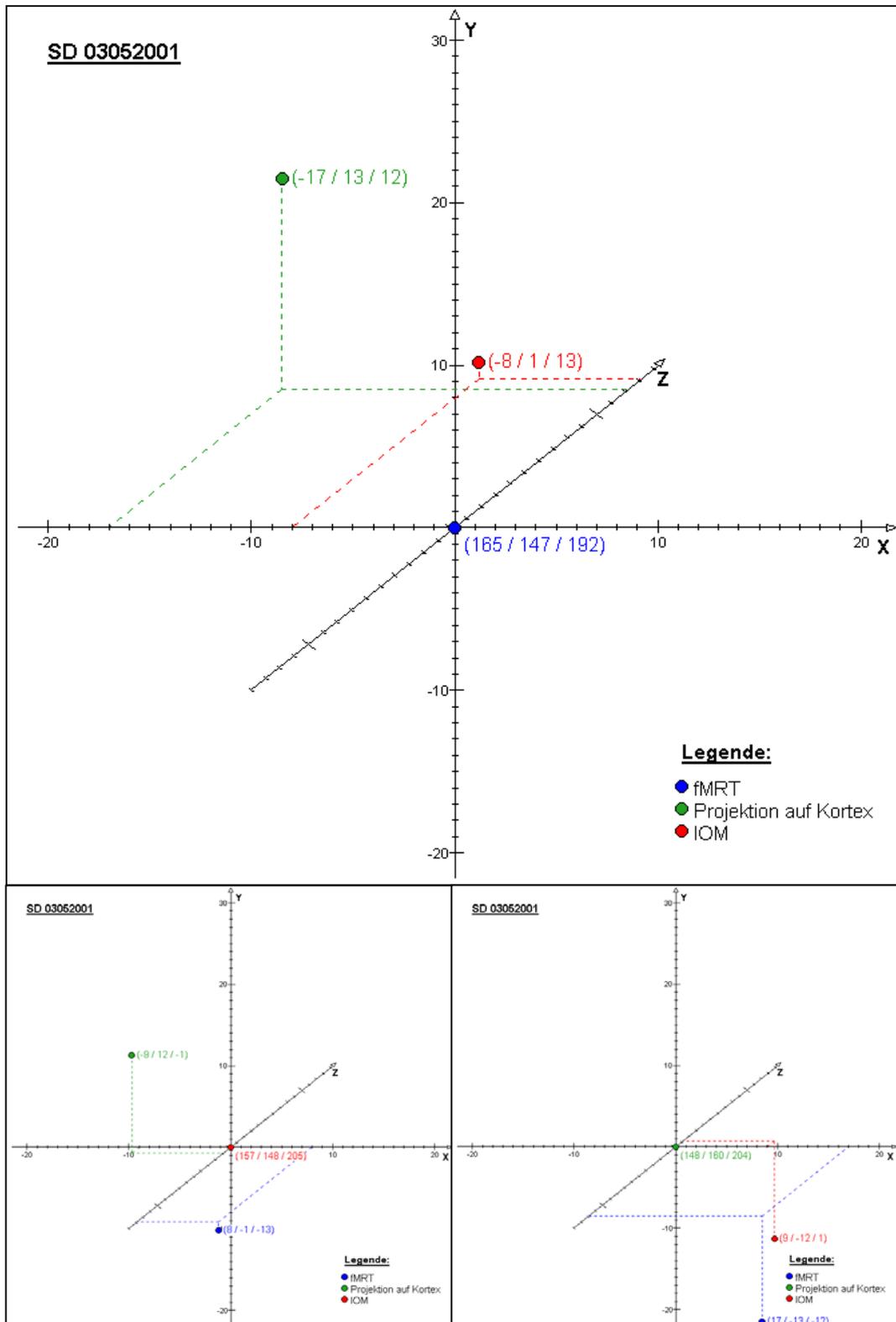


Abbildung 66: Graphische Korrelation der gewonnenen Daten in Bezug zueinander (fMRT, IOM, Projektion auf den Kortex), Patient: SD 03052001

Ergebnisse SD 03052001 (Forts.)

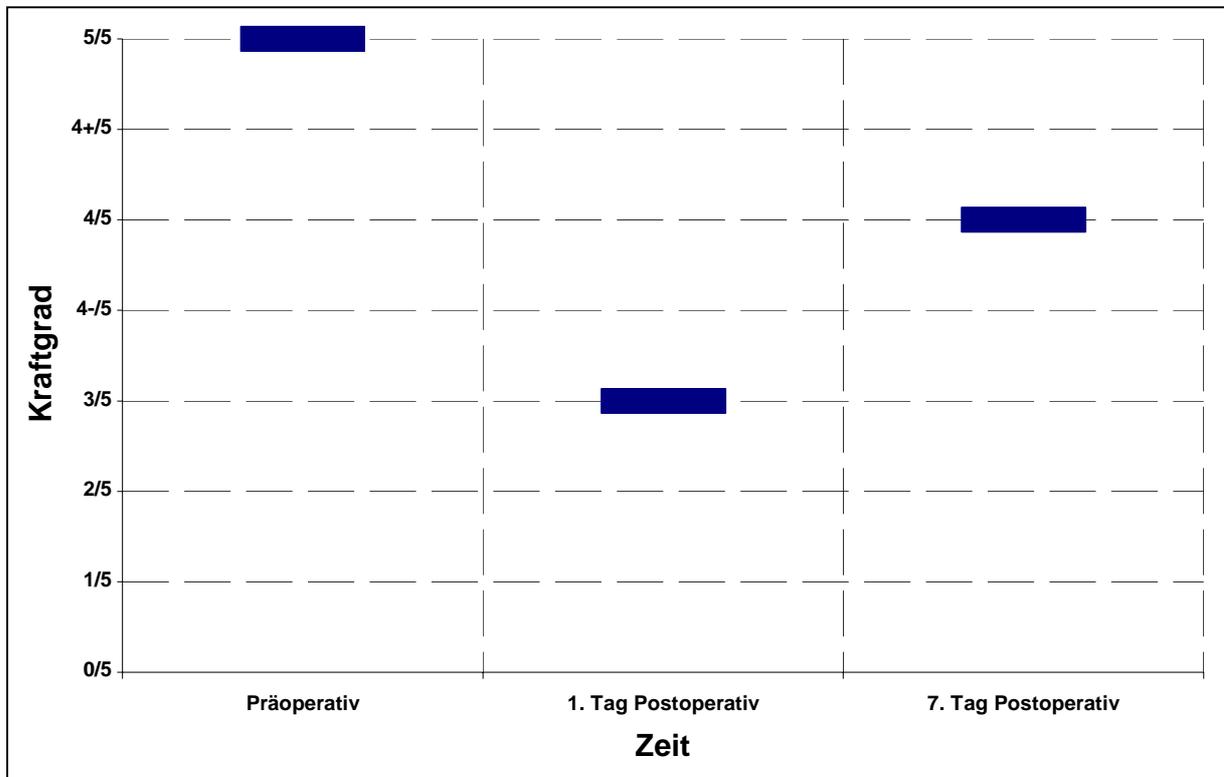


Abbildung 67: Darstellung der motorischen Funktion im zeitlichen Verlauf (beinbetonte Hemiparese rechts), Patient: SD 03052001

Lokalisation	Erste Bildgebung (CT/MRT)	fMRT	IOM
PMK			
postzentral			
über den Sulcus hinweg			

Abbildung 68: Darstellung der Lokalisation in Bezug auf die spezielle Bildgebung, Patient: SD 03052001

4.2.16 Ergebnisse WA 21082000

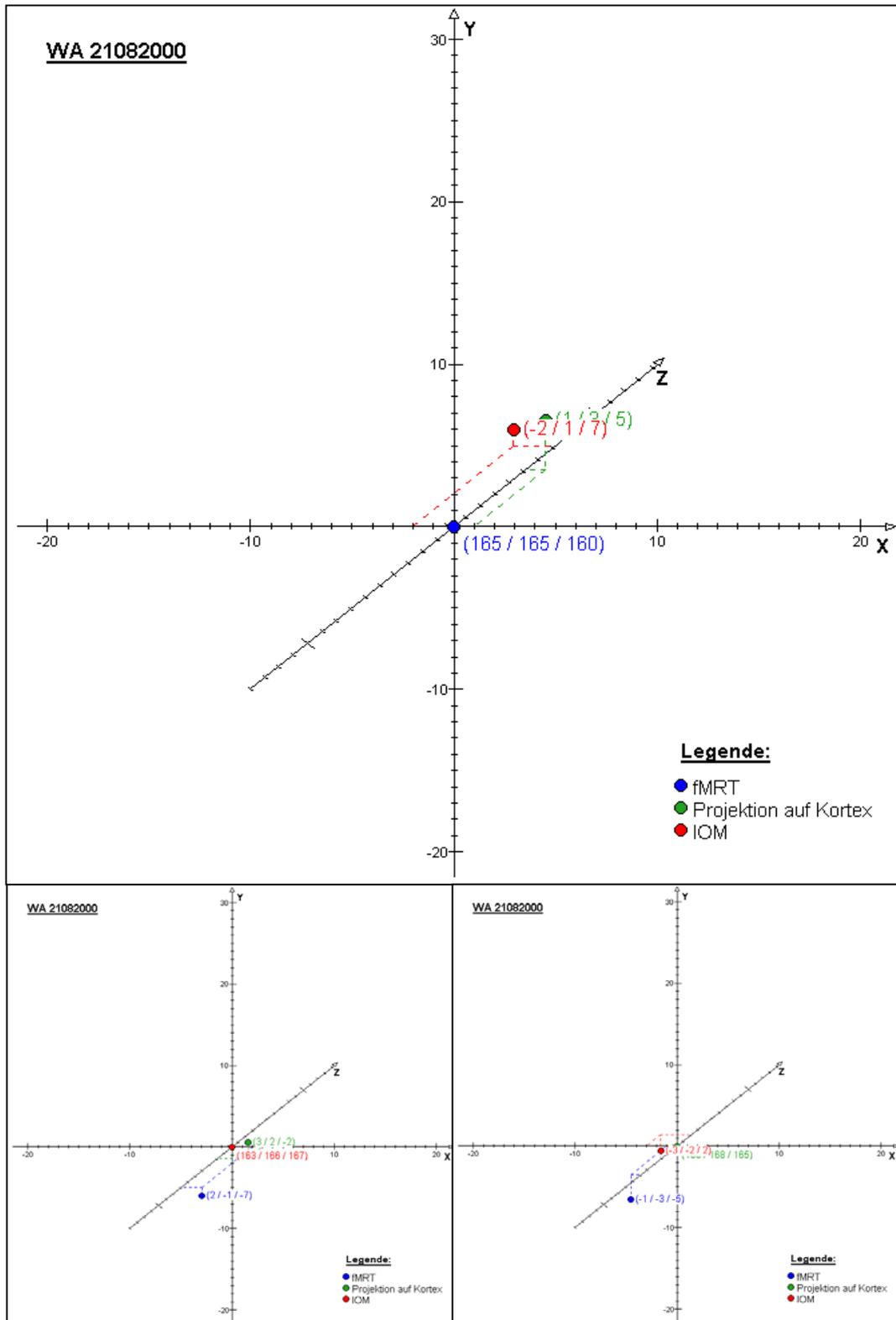


Abbildung 69: Graphische Korrelation der gewonnenen Daten in Bezug zueinander (fMRT, IOM, Projektion auf den Kortex), Patient: WA 21082000

Ergebnisse WA 21082000 (Forts.)

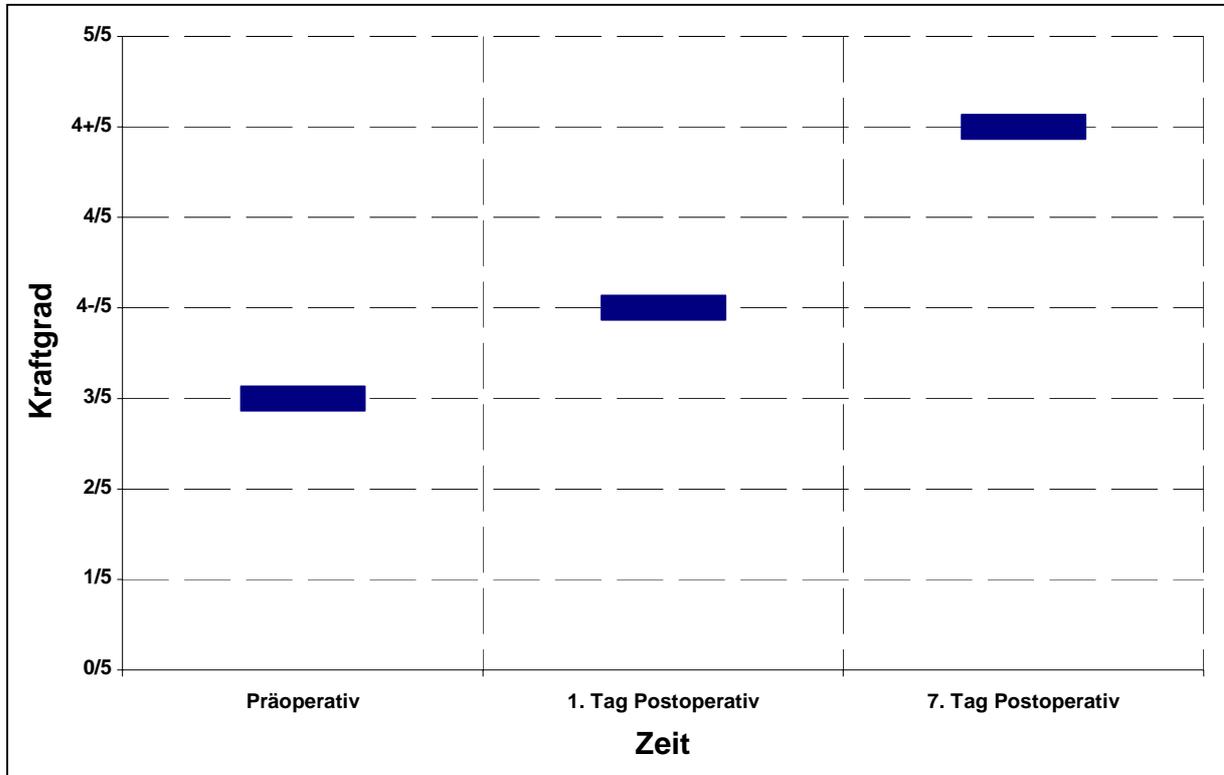


Abbildung 70: Darstellung der motorischen Funktion im zeitlichen Verlauf (armbetonte Hemiparese rechts), Patient: WA 21082000

Lokalisation	Erste Bildgebung (CT/MRT)	fMRT	IOM
PMK			
postzentral			
über den Sulcus hinweg			

Abbildung 71: Darstellung der Lokalisation in Bezug auf die spezielle Bildgebung, Patient: WA 21082000

4.2.17 Ergebnisse WC 24102000

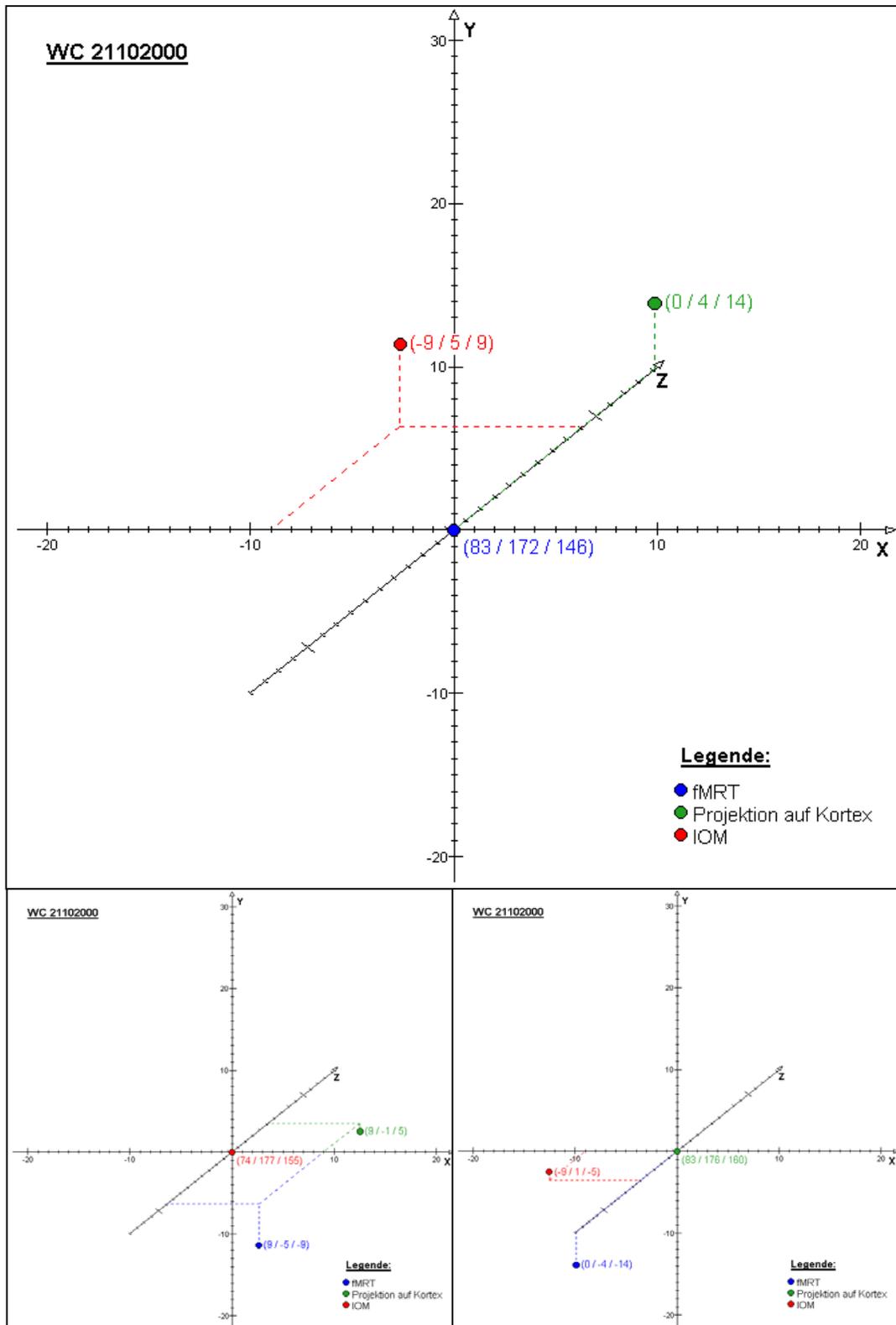


Abbildung 72: Graphische Korrelation der gewonnenen Daten in Bezug zueinander (fMRT, IOM, Projektion auf den Kortex), Patient: WC 24102000

Ergebnisse WC 24102000 (Forts.)

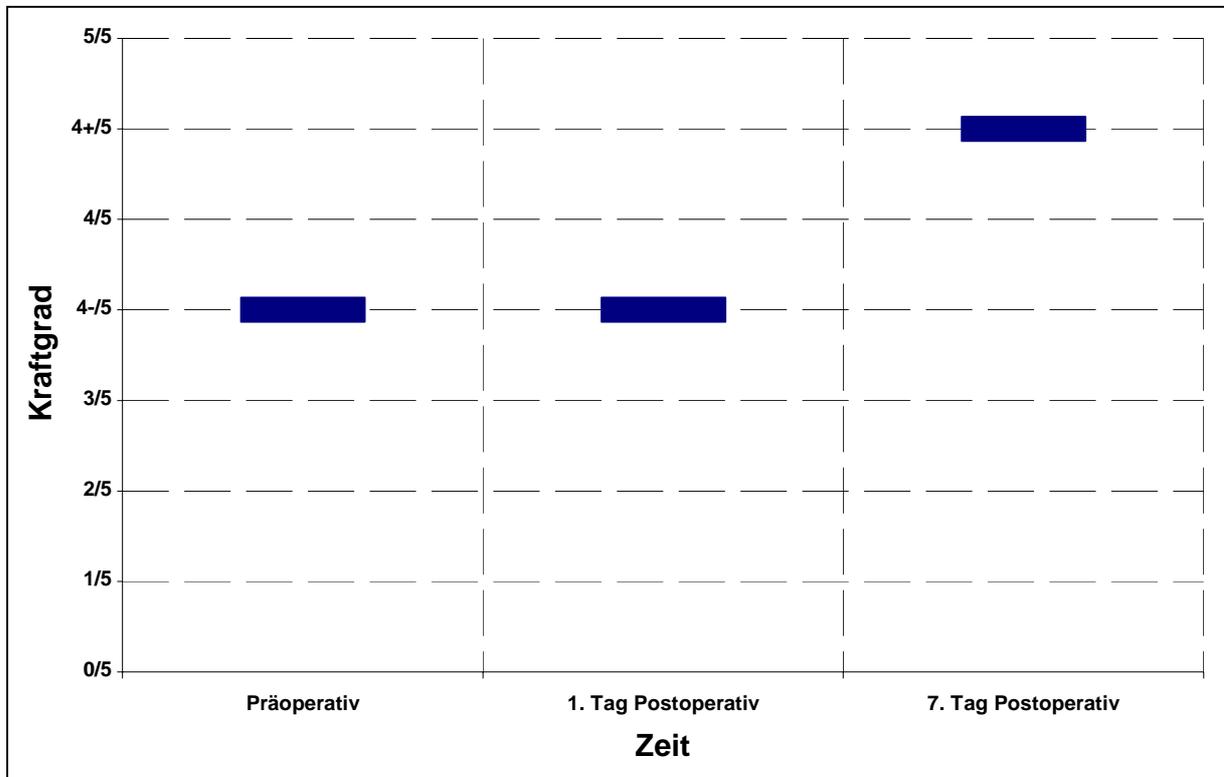


Abbildung 73: Darstellung der motorischen Funktion im zeitlichen Verlauf (Hemiparese links), Patient: WC 24102000

Lokalisation	Erste Bildgebung (CT/MRT)	fMRT	IOM
PMK			
postzentral			
über den Sulcus hinweg			

Abbildung 74: Darstellung der Lokalisation in Bezug auf die spezielle Bildgebung, Patient: WC 24102000

4.2.18 Ergebnisse WD 01022001

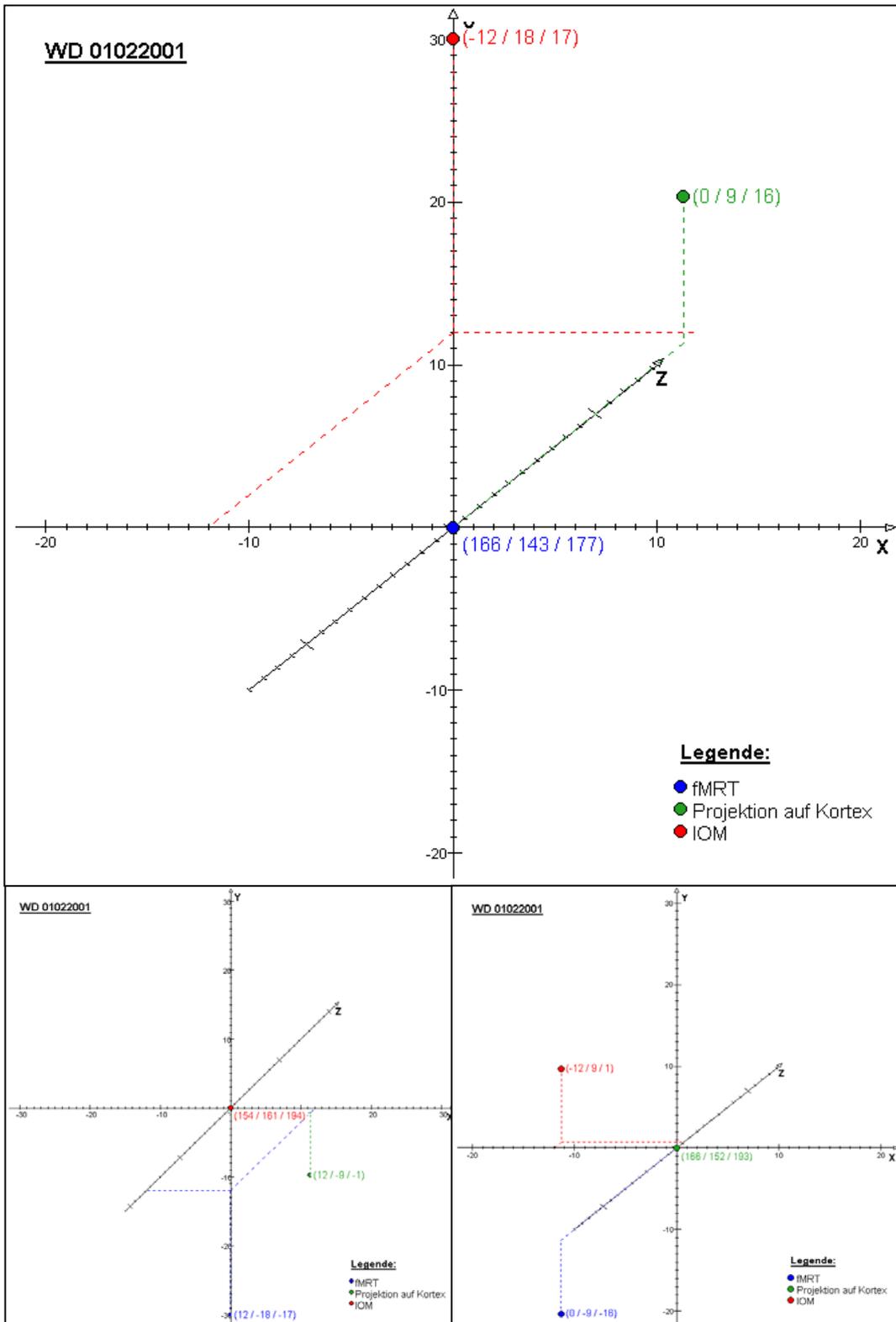


Abbildung 75: Graphische Korrelation der gewonnenen Daten in Bezug zueinander (fMRT, IOM, Projektion auf den Kortex), Patient: WD 01022001

Ergebnisse WD 01022001 (Forts.)

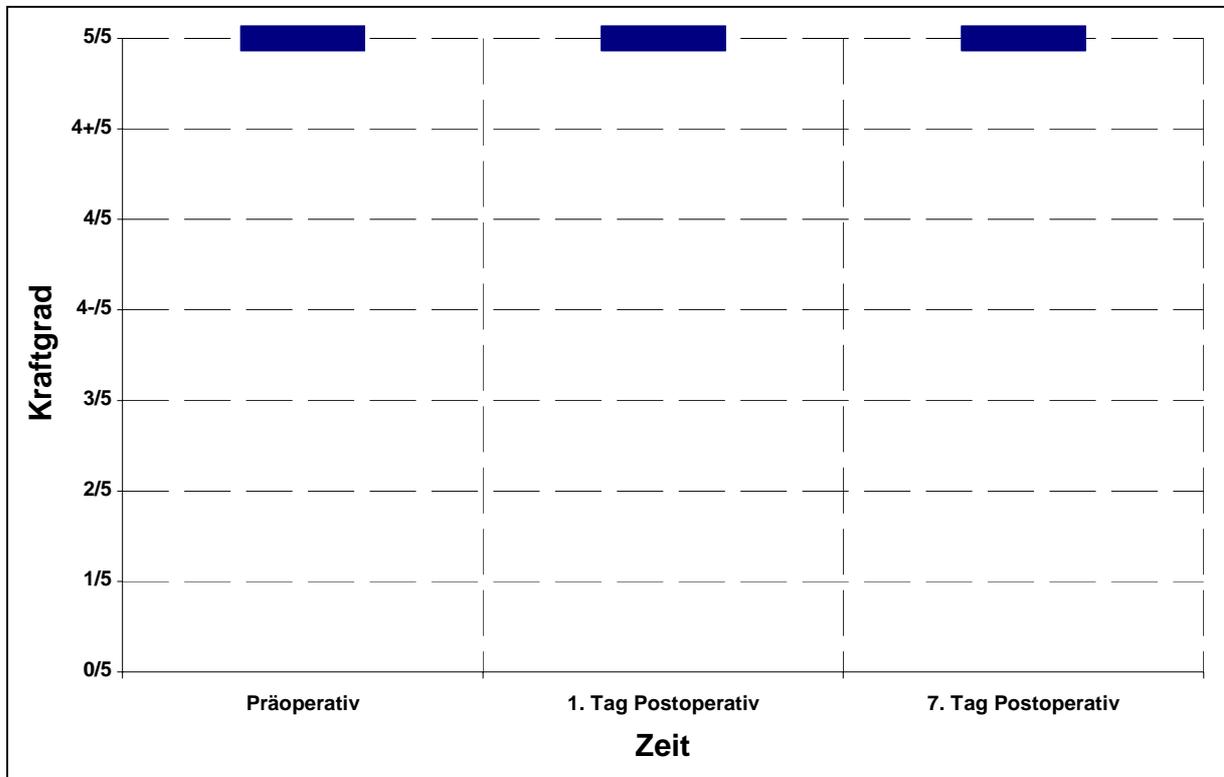


Abbildung 76: Darstellung der motorischen Funktion im zeitlichen Verlauf (keine motorischen Defizite), Patient: WD 01022001

Lokalisation	Erste Bildgebung (CT/MRT)	fMRT	IOM
PMK			
postzentral			
über den Sulcus hinweg			

Abbildung 77: Darstellung der Lokalisation in Bezug auf die spezielle Bildgebung, Patient: WD 01022001

4.2.19 Ergebnisse WL 02082001

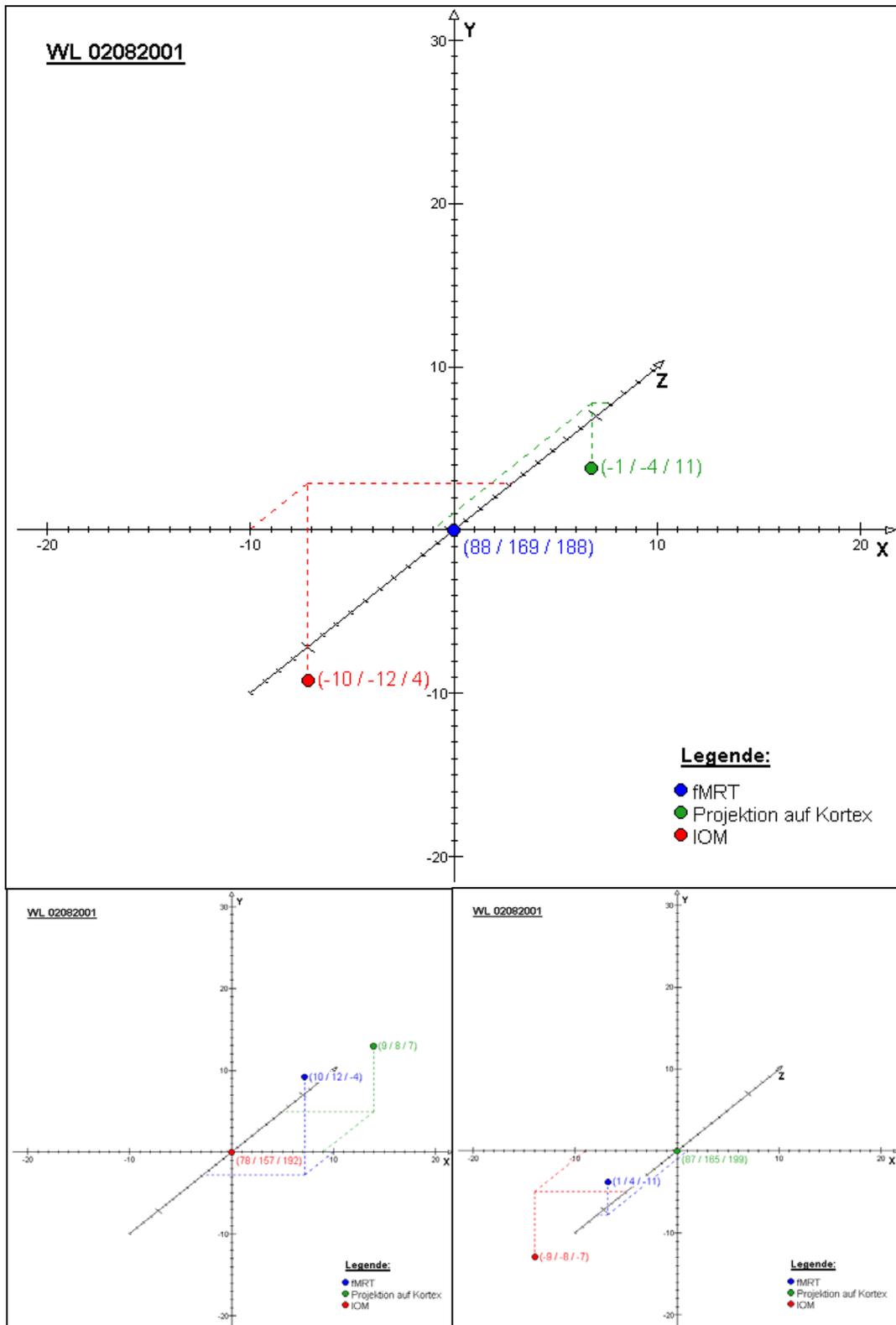


Abbildung 78: Graphische Korrelation der gewonnenen Daten in Bezug zueinander (fMRT, IOM, Projektion auf den Kortex), Patient: WL 02082001

Ergebnisse WL 02082001 (Forts.)

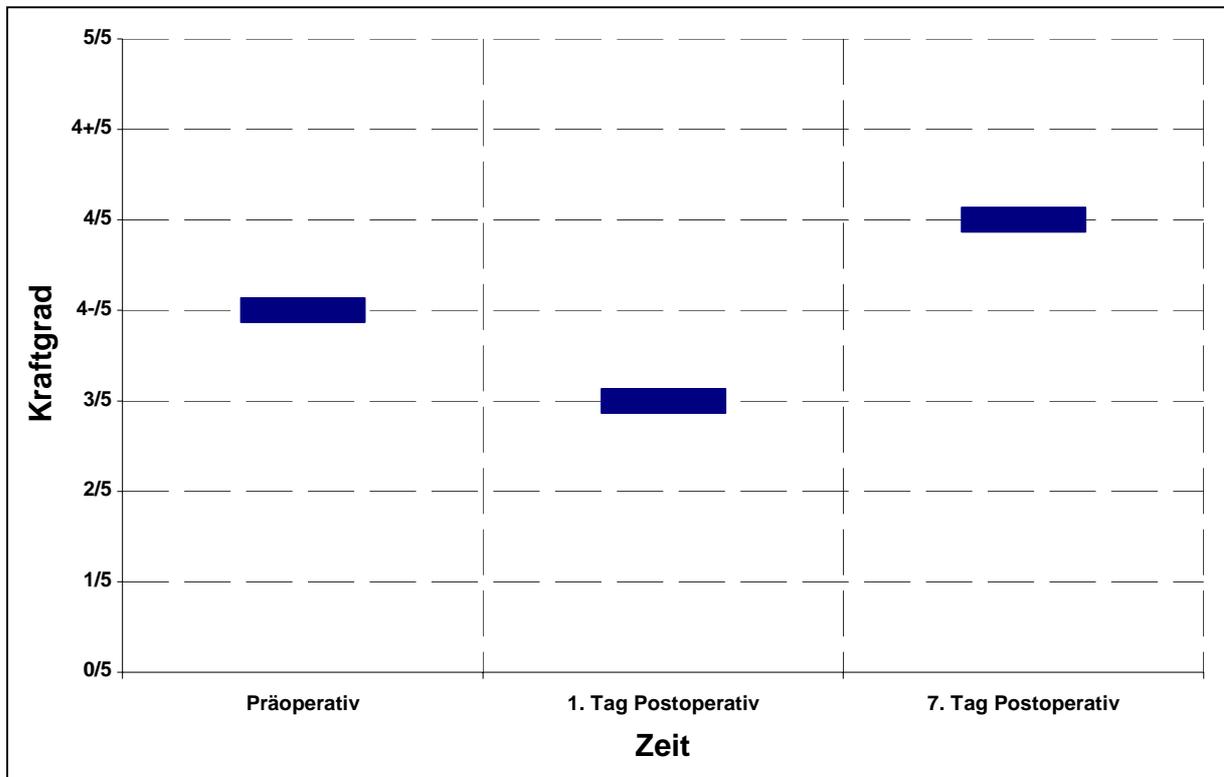


Abbildung 79: Darstellung der motorischen Funktion im zeitlichen Verlauf (armbetonte Hemiparese links), Patient: WL 02082001

Lokalisation	Erste Bildgebung (CT/MRT)	fMRT	IOM
PMK			
postzentral			
über den Sulcus hinweg			

Abbildung 80: Darstellung der Lokalisation in Bezug auf die spezielle Bildgebung, Patient: WL 02082001

4.2.20 Ergebnisse ZH 20042001

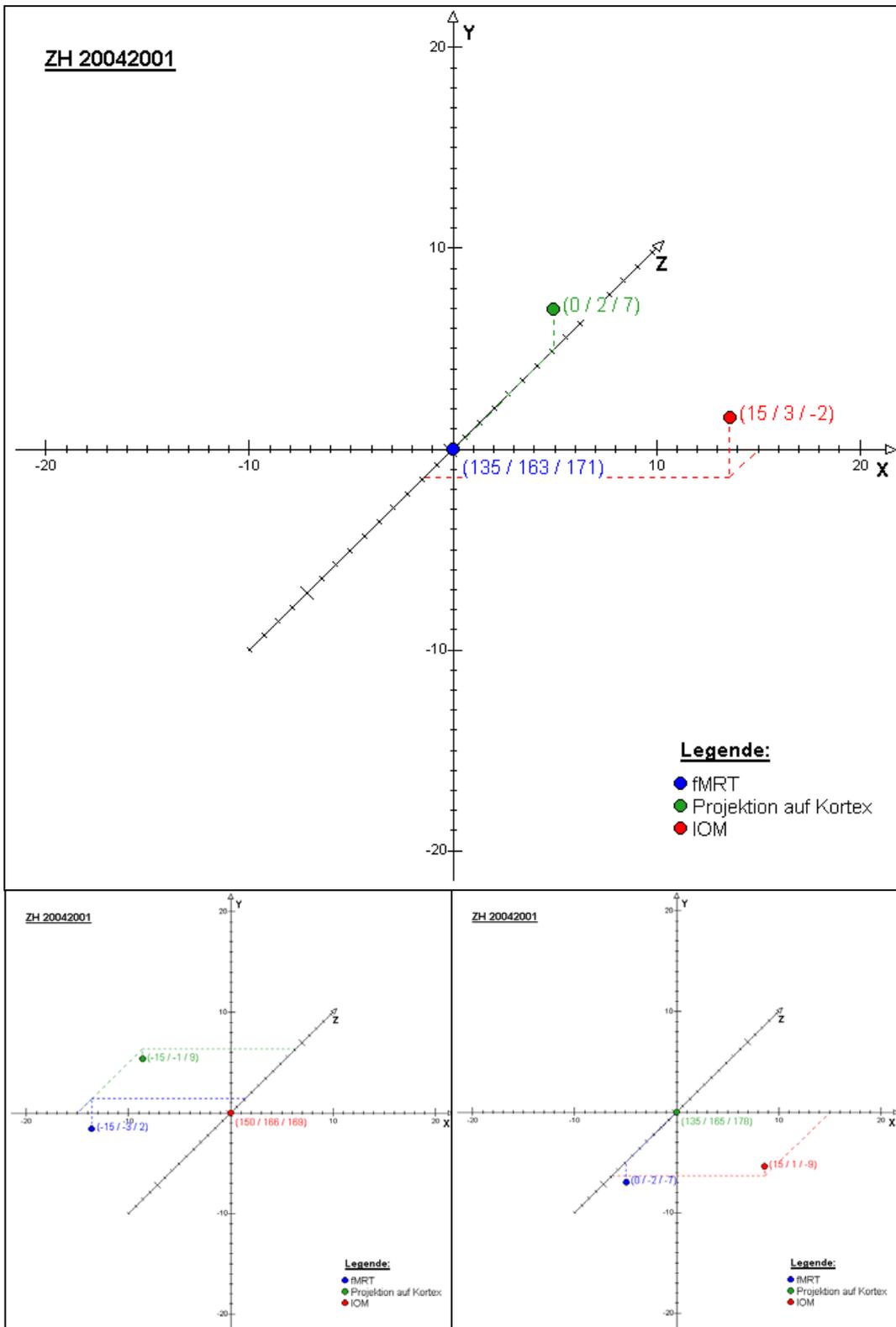


Abbildung 81: Graphische Korrelation der gewonnenen Daten in Bezug zueinander (fMRT, IOM, Projektion auf den Kortex), Patient: ZH 20042001

Ergebnisse ZH 20042001 (Forts.)

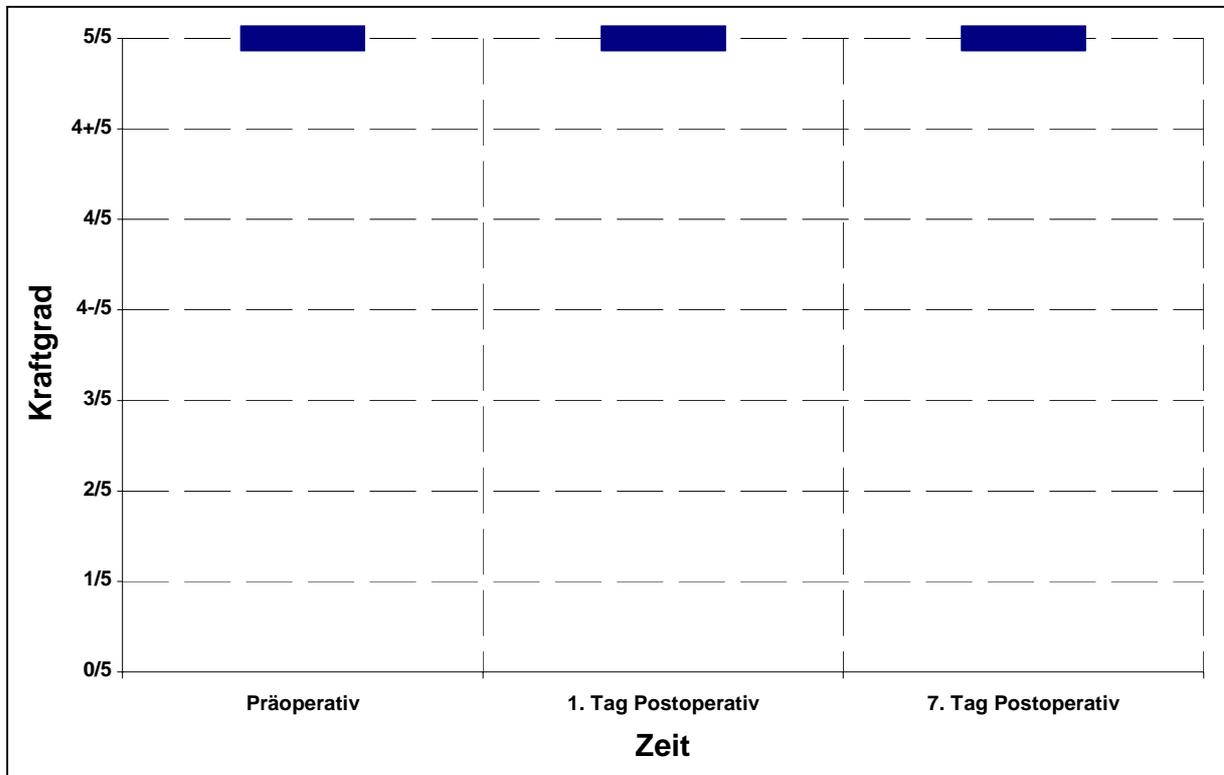


Abbildung 82: Darstellung der motorischen Funktion im zeitlichen Verlauf (keine motorischen Defizite), Patient: ZH 20042001

Abbildung 83: Darstellung der Lokalisation in Bezug auf die spezielle Bildgebung, Patient:

Lokalisation	Erste Bildgebung (CT/MRT)	fMRT	IOM
PMK			
postzentral			
über den Sulcus hinweg			

ZH 20042001

4.2.21 Ergebnisse ZK 05042002

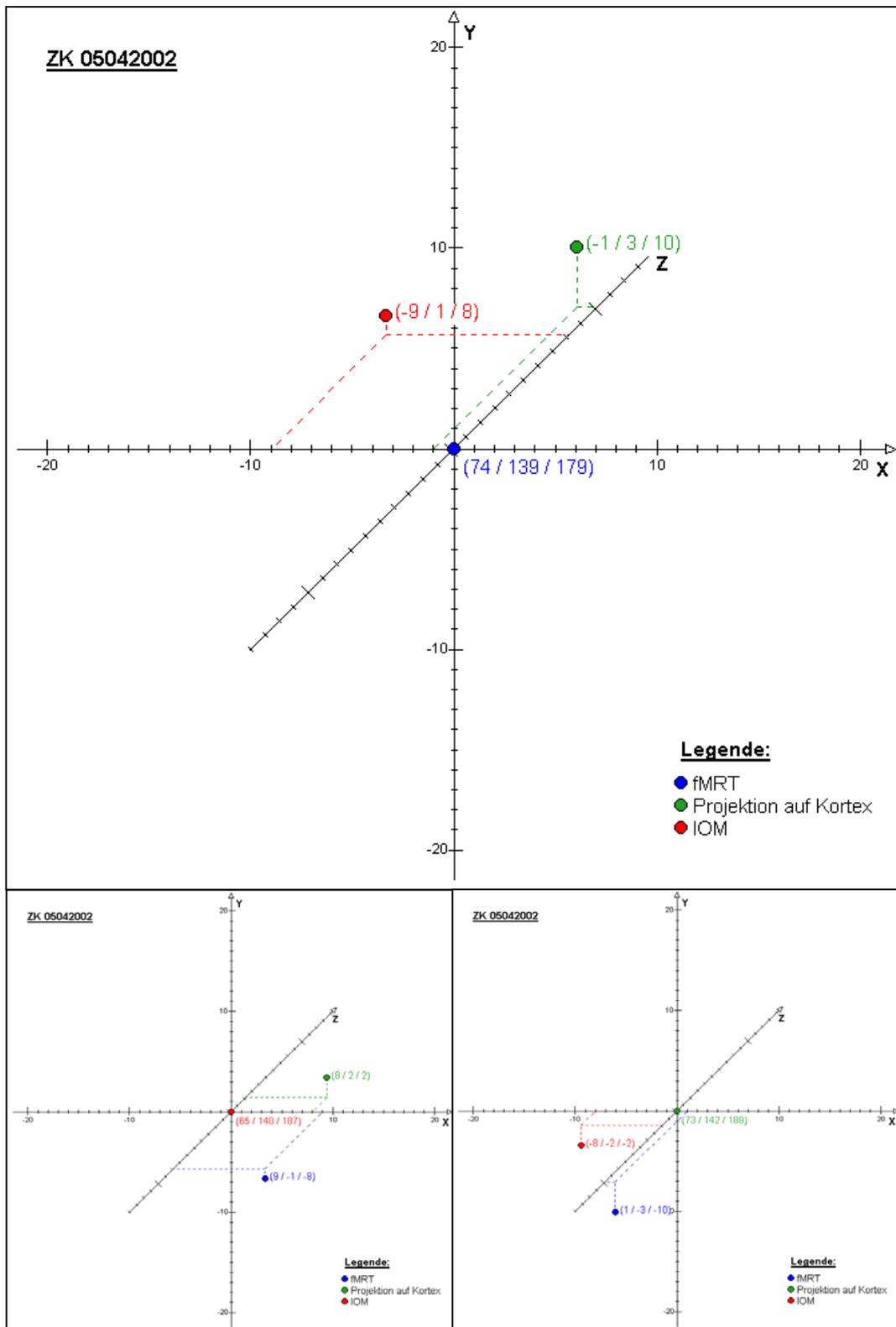


Abbildung 84: Graphische Korrelation der gewonnenen Daten in Bezug zueinander (fMRT, IOM, Projektion auf den Kortex), Patient: ZK 05042002

Ergebnisse ZK 05042002 (Forts.)

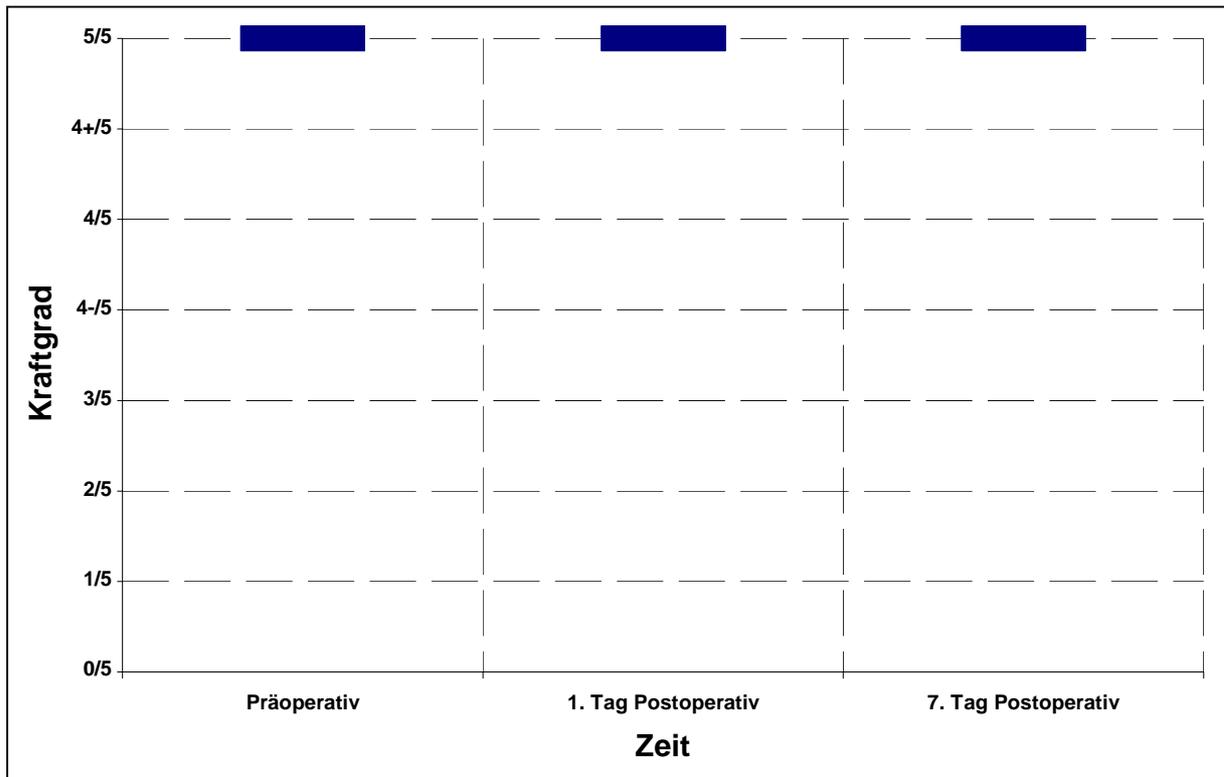


Abbildung 85: Darstellung der motorischen Funktion im zeitlichen Verlauf (keine motorischen Defizite), Patient: ZK 05042002

Abbildung 86: Darstellung der Lokalisation in Bezug auf die spezielle Bildgebung, Patient:

Lokalisation	Erste Bildgebung (CT/MRT)	fMRT	IOM
PMK			
postzentral			
über den Sulcus hinweg			

ZK 05042002

4.3 Ergebnisse der präoperativen funktionellen MRT (fMRT)

Im Rahmen dieser Studie wurde bei jedem Patienten neben der konventionellen Bildakquirierung präoperativ eine funktionelle Kernspintomographie erfolgreich durchgeführt. Hierzu wurde der Patient aufgefordert, so genannte Paradigmen auszuführen. Voraussetzung zur Durchführung dieser Paradigmen ist ein Kraftgrad von mindestens 3/5 bei der ersten neurologischen Untersuchung gewesen.

Im Mittel betrug die Dauer zwischen Datenerhebung und Operation 21,27 Stunden. Im Maximalfall wurde die funktionelle Kernspintomographie sowie die MR-Bilddatenerhebung für die Navigation 43,5 Stunden vor der geplanten Operation durchgeführt.

In Tabelle neun sind die Koordinaten, ermittelt durch Registrierung der maximalen kortikalen Aktivität durch die fMRT, im Vergleich zu den durch Projektion bzw. elektrophysiologisches Monitoring registrierten Werte, dargestellt.

Dieser Vergleich ist auch bereits unter Punkt 4.2 mit Hilfe von Koordinatensystemen graphisch dargestellt.

Pos	Patient	Δ fMRT zu Projektion				Δ fMRT zu MCS			
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	δ (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	δ (mm)
01	AH 22.06.2000	-1	9	14	16,7	-8	0	11	13,6
02	AP 23.02.2001	3	2	5	6,2	9	-7	0	11,4
03	BG 09.01.2001	0	5	7	8,6	-1	0	9	9,1
04	FA 06.07.2001	0	5	13	13,9	-2	-3	12	12,5
05	GE 19.10.2001	-2	0	13	13,2	-1	-7	15	16,6
06	GI 14.12.2000	5	-1	2	5,5	6	-3	-1	6,8
07	HH 06.07.2000	2	7	-1	7,3	-3	-5	6	8,4
08	KP 29.07.2003	0	-4	12	12,6	7	-3	9	11,8
09	LH 01.11.2000	0	-4	13	13,6	5	-12	12	17,7
10	MH 05.04.2001	-2	5	11	12,2	-3	-3	15	15,6
11	MHJ 30.11.2000	0	1	7	7,1	6	-4	2	7,5
12	NB 20.06.2001	-4	2	12	12,8	3	3	16	16,6
13	NG 29.11.2001	1	2	11	11,2	-8	6	7	12,2
14	RU 28.07.2000	0	4	6	7,2	10	-2	1	10,2
15	SD 03.05.2001	-17	13	12	24,5	-8	1	13	15,3
16	WA 21.08.2000	1	3	5	5,9	-2	1	7	7,3
17	WC 21.10.2000	0	4	14	14,6	-9	5	9	13,7
18	WD 01.02.2001	0	9	16	18,4	-12	18	17	27,5
19	WL 02.08.2001	-1	-4	11	11,7	-10	-12	4	16,1
20	ZH 20.04.2001	0	2	7	7,3	15	3	-2	15,4
21	ZK 05.04.2002	-1	3	10	10,5	-9	1	8	12,1

Tabelle 9: Abweichung der fMRT-Koordinaten zu den Koordinaten Projektion und MCS

Mittels der Abstandsberechnung nach Euklid (Einheit mm) ($\delta = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$) wurde der Abstand zweier Punkte zueinander im dreidimensionalen Raum ermittelt und in die Kategorien $\delta \leq 10$ mm, $10 \text{ mm} < \delta[\text{mm}] \leq 20$ mm und $\delta[\text{mm}] > 20$ mm unterteilt. Die folgende Graphik (s. Abbildung 87) zeigt die Anzahl der Patienten (y-Achse) in Zusammenhang mit der Relation des im Raum berechneten Punktabstandes.

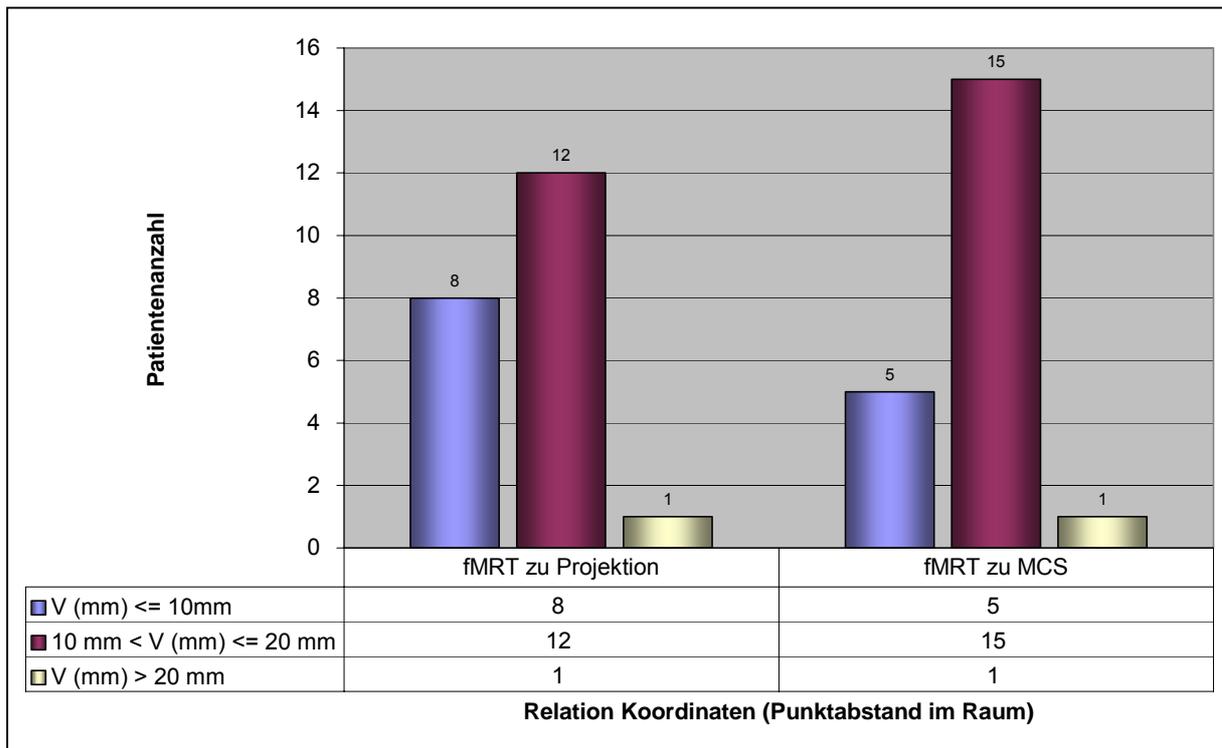


Abbildung 87: Abweichung der fMRT-Koordinaten zu den Koordinaten Projektion und MCS

Hierbei ist in beiden Fällen (fMRT zu Projektion bzw. fMRT zu MCS) eine Häufigkeit der Datenabweichungen zwischen 10 mm und 20 mm erkennbar.

4.4 Ergebnisse der Neuronavigation

Auch in diesem Fall wird die Abstandsberechnung mit Hilfe der Formel nach Euklid ermittelt und zusammen mit den Koordinatenabweichungen in der folgenden Tabelle dargestellt (s. Tabelle 10). Hierbei wird ein Vergleich gezogen zwischen den auf die Kortexoberfläche projizierten Daten und denen mit Hilfe der fMRT bzw. des elektrophysiologischen Monitorings erhobenen Punkte im Raum.

Pos	Patient	Δ Projektion zu fMRT				Δ Projektion zu MCS			
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	δ (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	δ (mm)
01	AH 22.06.2000	+1	-9	-14	16,7	-7	-9	-3	11,8
02	AP 23.02.2001	-3	-2	-5	6,2	+6	-9	-5	11,9
03	BG 09.01.2001	0	-5	-7	8,6	-1	-5	2	5,5
04	FA 06.07.2001	0	-5	-13	13,9	-2	-8	-1	8,3
05	GE 19.10.2001	+2	0	-13	13,2	+1	-7	2	7,3
06	GI 14.12.2000	-5	+1	-2	5,5	+1	-2	-3	3,7
07	HH 06.07.2000	-2	-7	+1	7,3	-5	-12	7	14,8
08	KP 29.07.2003	0	+4	-12	12,6	+7	1	-3	7,7
09	LH 01.11.2000	0	+4	-13	13,6	+5	-8	-1	9,5
10	MH 05.04.2001	+2	-5	-11	12,2	-1	-8	4	9,0
11	MHJ 30.11.2000	0	-1	-7	7,1	+6	-5	-5	9,3
12	NB 20.06.2001	+4	-2	-12	12,8	+7	1	4	8,1
13	NG 29.11.2001	-1	-2	-11	11,2	-9	4	-4	10,6
14	RU 28.07.2000	0	-4	-6	7,2	+10	-6	-5	12,7
15	SD 03.05.2001	17	-13	-12	24,5	+9	-12	1	15,0
16	WA 21.08.2000	-1	-3	-5	5,9	-3	-2	2	4,1
17	WC 21.10.2000	0	-4	-14	14,6	-9	1	-5	10,3
18	WD 01.02.2001	0	-9	-16	18,4	-12	9	1	15,0
19	WL 02.08.2001	+1	+4	-11	11,7	-9	-8	-7	13,9
20	ZH 20.04.2001	0	-2	-7	7,3	15	1	-9	17,5
21	ZK 05.04.2002	+1	-3	-10	10,5	-8	-2	-2	8,5

Tabelle 10: Abweichung der Projektionskoordinaten zu den Koordinaten fMRT und MCS

Anhand der folgenden Abbildung (s. Abbildung 88) und mittels eines Vergleichs mit der vorangegangenen Abbildung (s. Abbildung 87) lässt sich eine Zunahme der Häufigkeit im Bereich ≤ 10 mm erkennen.

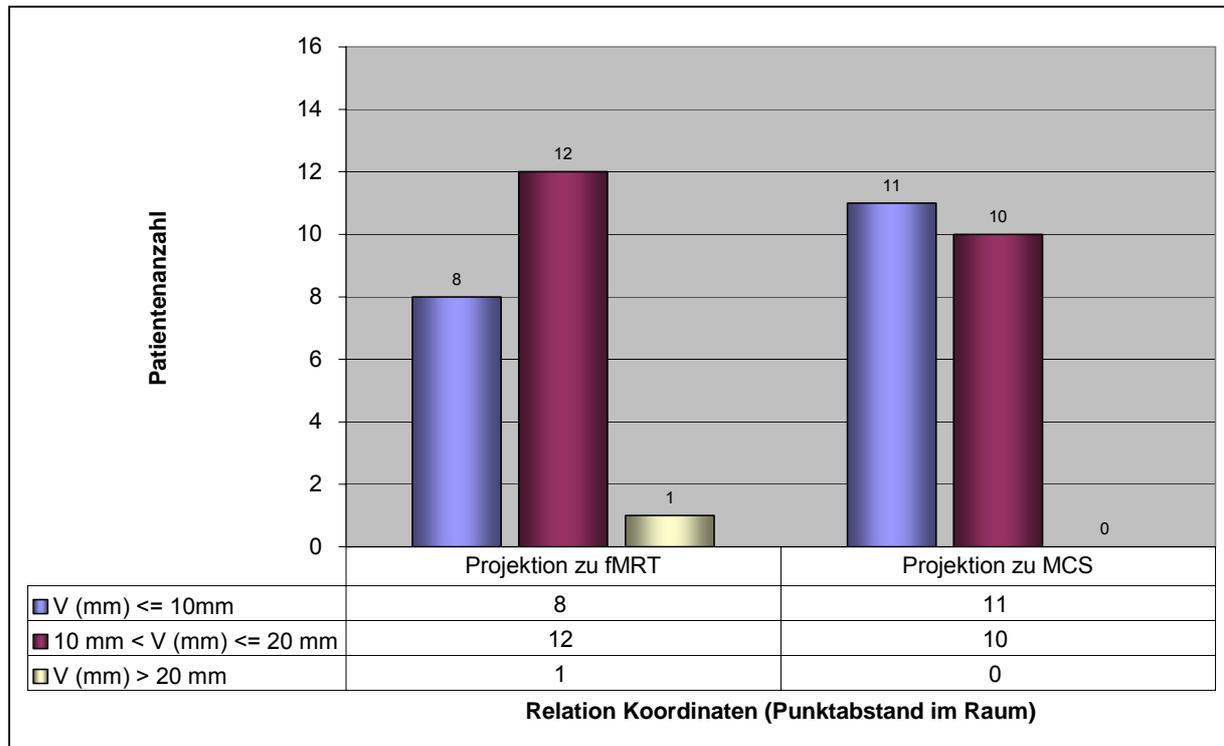


Abbildung 88: Abweichung der Projektionskoordinaten zu den Koordinaten fMRT und MCS

4.5 Ergebnisse des intraoperativen neurophysiologischen Monitorings

Die Ableitparameter des intraoperativen neurophysiologischen Monitorings sind in der folgenden Tabelle (s. Tabelle 11) für jede durchgeführte Untersuchung dargestellt.

Pos	Patienten- nummer	SEP			MCS			
		Fq	Int.	Imp.	Stim.	Fq	Seq	Breite
01	AH 22062000	4,7 Hz	43,9 mA	0,2 ms	6,1 mA	400 Hz	7	0,3 ms
02	AP 23022001	2,3 Hz	18,2 mA	0,3 ms	14,1 mA	500 Hz	7	0,2 ms
03	BG 09012001	4,7 Hz	80,0 mA	0,2 ms	19,7 mA	400 Hz	7	0,3 ms
04	FA 06072001	4,7 Hz	69,0 mA	0,2 ms	21,3 mA	400 Hz	7	0,3 ms
05	GE 19102001	4,7 Hz	40,0 mA	0,2 ms	25,0 mA	400 Hz	7	0,3 ms
06	GI 04122000	4,7 Hz	33,3 mA	0,2 ms	25,0 mA	400 Hz	7	0,3 ms
07	HH 06072000	2,3 Hz	16,8 mA	0,2 ms	15,9 mA	400 Hz	7	0,3 ms
08	LH 01112000	4,7 Hz	80,0 mA	0,2 ms	25,0 mA	400 Hz	7	0,3 ms
09	MH 05042001	4,7 Hz	31,4 mA	0,2 ms	50,0 mA	400 Hz	7	0,3 ms
10	MHJ 30112000	4,7 Hz	32,6 mA	0,2 ms	14,7 mA	400 Hz	7	0,3 ms
11	NB 20062001	4,7 Hz	66,5 mA	0,2 ms	25,0 mA	400 Hz	7	0,3 ms
12	NG 29112001	2,3 Hz	25,0 mA	0,2 ms	17,6 mA	400 Hz	7	0,3 ms
13	PK 29072003	2,3 Hz	15,0 mA	0,2 ms	17,2 mA	400 Hz	7	0,3 ms
14	RU 28072000	4,7 Hz	54,6 mA	0,2 ms	17,7 mA	400 Hz	7	0,3 ms
15	SD 03052001	4,7 Hz	50,0 mA	0,2 ms	20,2 mA	400 Hz	7	0,3 ms
16	WA 21082000	4,7 Hz	54,0 mA	0,2 ms	36,9 mA	400 Hz	7	0,3 ms
17	WC 24102000	2,3 Hz	25,0 mA	0,2 ms	22,0 mA	400 Hz	7	0,3 ms
18	WD 01022001	2,3 Hz	18,2 mA	0,3 ms	14,1 mA	500 Hz	7	0,2 ms
19	WL 02082001	4,7 Hz	77,8 mA	0,2 ms	23,1 mA	400 Hz	5	0,3 ms
20	ZH 20042001	4,7 Hz	47,0 mA	0,2 ms	21,0 mA	400 Hz	7	0,3 ms
21	ZK 05042002	2,3 Hz	27,1 mA	0,2 ms	24,6 mA	400 Hz	7	0,3 ms
Durchschnitt			43,1 mA		21,72 mA			

Tabelle 11: Patientendaten des intraoperativen neurophysiologischen Monitorings

Mit Hilfe der SEP-Phasenumkehr konnte der Sulcus centralis in 100% der Fälle anatomisch geortet werden. Zur Identifizierung ist im Mittel eine Intensität von 43,1 mA erforderlich gewesen. Zur Darstellung des Gyrus praecentralis sowie verschiedener motorischer Kortexareale wurde die MKS durchgeführt. Bei allen Patienten dieser Studie ist sowohl das MKS-Mapping als auch das sich anschließende MKS-Monitoring erfolgreich gewesen. Bei Durchführung der MCS wurde im Mittel eine Stimulationsstärke von 21,72 mA eingesetzt. In Tabelle 12 werden die Koordinaten in Relation zu den mittels fMRT bzw. Projektion ermittelten Daten gesetzt und in Abbildung 89 (s. Seite 101) graphisch dargestellt. Zur Ermittlung der Daten kam ebenfalls die Abstandsberechnung nach Euklid zur Anwendung.

Pos	Patient	Δ MCS zu fMRT				Δ MCS zu Projektion			
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	δ (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	δ (mm)
01	AH 22.06.2000	8	0	-11	16,7	7	9	3	11,8
02	AP 23.02.2001	-9	7	0	6,2	-6	9	5	11,9
03	BG 09.01.2001	1	0	-9	8,6	1	5	-2	5,5
04	FA 06.07.2001	2	3	-12	13,9	2	8	1	8,3
05	GE 19.10.2001	1	7	-15	13,2	-1	7	-2	7,3
06	GI 14.12.2000	-6	3	1	5,5	-1	2	3	3,7
07	HH 06.07.2000	3	5	-6	7,3	5	12	-7	14,8
08	KP 29.07.2003	-7	3	-9	12,6	-7	-1	3	7,7
09	LH 01.11.2000	-5	12	-12	13,6	-5	8	1	9,5
10	MH 05.04.2001	3	3	-15	12,2	1	8	-4	9,0
11	MHJ 30.11.2000	-6	4	-2	7,1	-6	5	5	9,3
12	NB 20.06.2001	-3	-3	-16	12,8	-7	-1	-4	8,1
13	NG 29.11.2001	8	-6	-7	11,2	9	-4	4	10,6
14	RU 28.07.2000	-10	2	-1	7,2	-10	6	5	12,7
15	SD 03.05.2001	8	-1	-13	24,5	-9	12	-1	15,0
16	WA 21.08.2000	2	-1	-7	5,9	3	2	-2	4,1
17	WC 21.10.2000	9	-5	-9	14,6	9	-1	5	10,3
18	WD 01.02.2001	12	-18	-17	18,4	12	-9	-1	15,0
19	WL 02.08.2001	10	12	-4	11,7	9	8	7	13,9
20	ZH 20.04.2001	-15	-3	2	7,3	-15	-1	9	17,5
21	ZK 05.04.2002	9	-1	-8	10,5	8	2	2	8,5

Tabelle 12: Abweichung der MCS-Koordinaten zu den Koordinaten fMRT und Projektion

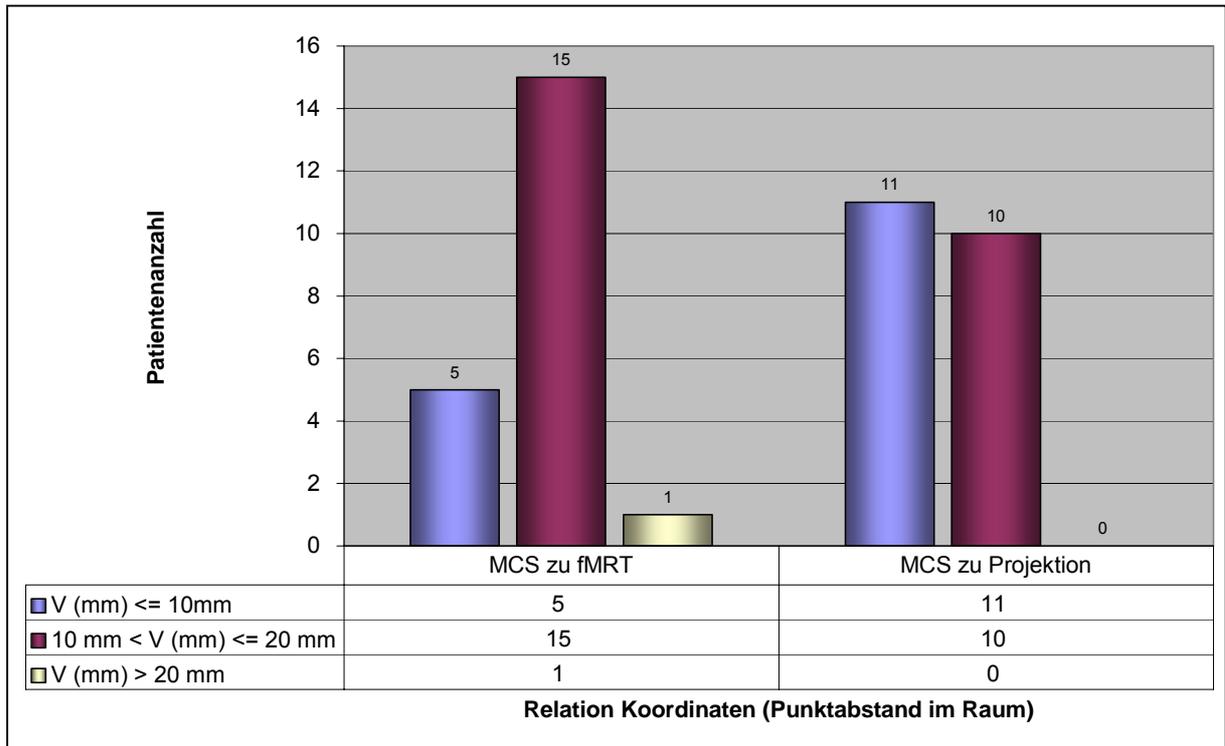


Abbildung 89: Abweichung der MCS-Koordinaten zu den Koordinaten fMRT und Projektion

Der Punkteabstand im Raum zwischen den Daten des MCS und den auf die Kortexoberfläche projizierten Daten lässt keine Abweichung größer 20 mm erkennen. Eine Häufung des Punkteabstandes befindet sich unter 10 mm. Beim Datenvergleich der MCS und den Werten der fMRT liegt eine Häufung der Abstandberechnung zwischen 10 und 20 mm, bei einem registrierten Wert größer 20 mm, vor.

4.6 Neurologische Untersuchungsergebnisse

Die neurologischen Untersuchungsergebnisse sind bereits für jeden einzelnen Patienten unter Punkt 4.2 im zeitlichen Verlauf (präoperativ / erster postoperativer Tag / siebter postoperativer Tag) dargestellt. Im Rahmen dieses Abschnittes soll anhand der graphischen (s. Abbildung 90) sowie tabellarischen (s. Tabelle 13) Darstellung eine zusammenfassende Präsentation der ermittelten neurologischen Untersuchungsergebnisse erfolgen.

Pos	Patientennummer	Kraftgrade			Verlauf		
		a)prä	b)1.Tag	c)7.Tag	a)b)	a)c)	b)c)
01	AH 22062000	3/5	4-/5	4+/5	↗	↗	↗
02	AP 23022001	5/5	3/5	4/5	↘	↘	↗
03	BG 09012001	5/5	5/5	5/5	→	→	→
04	FA 06072001	5/5	5/5	5/5	→	→	→
05	GE 19102001	5/5	5/5	5/5	→	→	→
06	GI 04122000	4-/5	4+/5	5/5	↗	↗	↗
07	HH 06072000	5/5	3/5	4/5	↘	↘	↗
08	LH 01112000	5/5	4/5	4+/5	↘	↘	↗
09	MH 05042001	3/5	3/5	3/5	→	→	→
10	MHJ 30112000	4/5	4/5	4/5	→	→	→
11	NB 20062001	4/5	4/5	4/5	→	→	→
12	NG 29112001	5/5	5/5	5/5	→	→	→
13	PK 29072003	5/5	5/5	5/5	→	→	→
14	RU 28072000	3/5	3/5	3/5	→	→	→
15	SD 03052001	5/5	3/5	4/5	↘	↘	↗
16	WA 21082000	3/5	4-/5	4+/5	↗	↗	↗
17	WC 24102000	4-/5	4-/5	4+/5	→	↗	↗
18	WD 01022001	5/5	5/5	5/5	→	→	→
19	WL 02082001	4-/5	3/5	4/5	↘	↗	↗
20	ZH 20042001	5/5	5/5	5/5	→	→	→
21	ZK 05042002	5/5	5/5	5/5	→	→	→

Tabelle 13: Neurologische Untersuchungsergebnisse tabellarisch (n=21)

Legende:

- ↗ verbessert
- unverändert
- ↘ verschlechtert

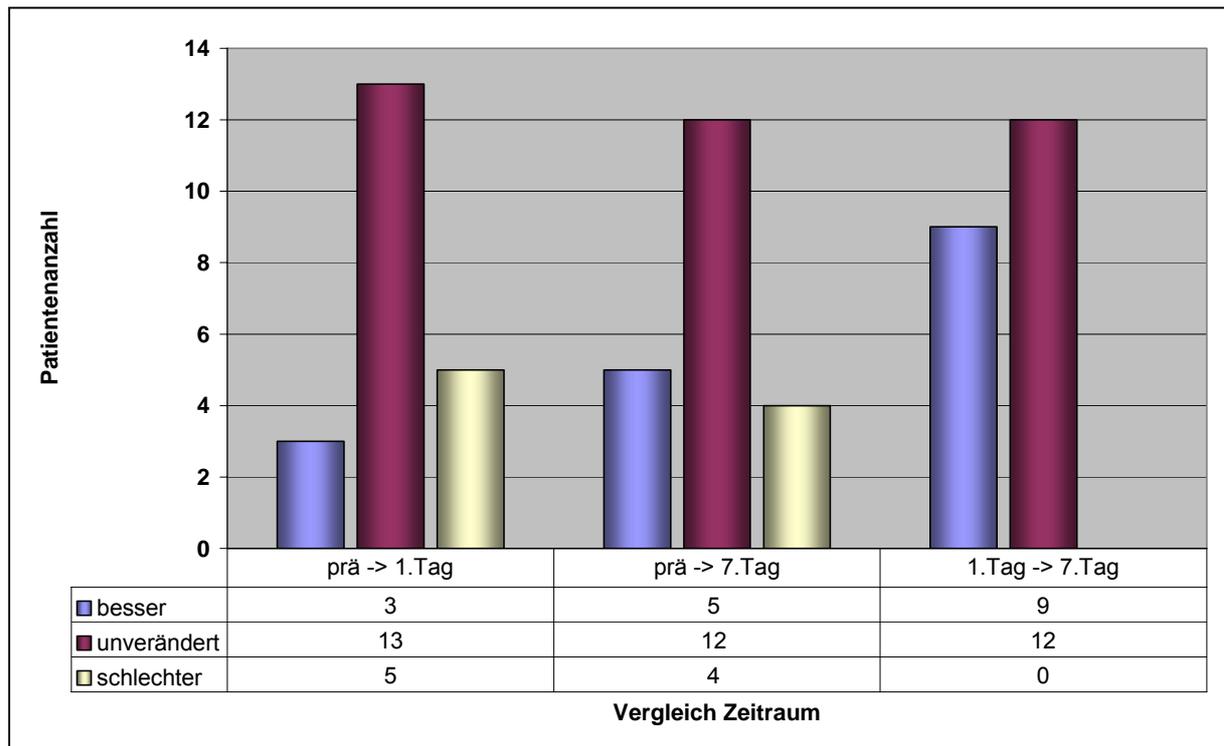


Abbildung 90: Neurologische Untersuchungsergebnisse (n=21)

Auf diese Weise lässt sich erkennen, dass es bei drei der 21 Patienten am ersten postoperativen Tag zu einer Verbesserung des neurologischen Status im Verhältnis zum präoperativen Befund gekommen ist. Bei 13 Patienten ist der Status unverändert geblieben, bei fünf Patienten ist eine Verschlechterung der motorischen Funktionen eingetreten.

Im weiteren Verlauf sind die motorischen Defizite im Gesamtüberblick rückläufig gewesen. Nach sieben Tagen hatten 12 Patienten einen weiterhin unveränderten Status, fünf Patienten konnten bereits bessere motorische Leistungen erzielen als im Rahmen der präoperativen neurologischen Untersuchung. Bei vier Patienten bestand weiterhin ein zum präoperativen Status defizitärer Zustand.

4.7 Einflüsse der räumlichen Tumorausdehnung und dessen Lage unter Kortextniveau auf die Untersuchungsergebnisse

Tabelle 14 zeigt die räumliche Tumorausdehnung (absteigend sortiert) und dessen Lage unter Kortextniveau in Zusammenhang mit der ermittelten Abweichung zwischen der Bildgebung durch Projektion auf Kortexebeene und der fMRT-Bildgebung.

Pos	Patient	Tumorabmessungen			Tiefe u. Kor	Tumorausdehn. (mm ³) ¹⁾	Projektion zu fMRT			
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)			X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	V (mm)
17	WC 21.10.2000	60	40	40	4	96.000	0	4	14	15
01	AH 22.06.2000	43	40	44	0	75.680	-1	9	14	17
18	WD 01.02.2001	45	42	37	0	69.930	0	9	16	18
10	MH 05.04.2001	37	42	37	2	57.498	-2	5	11	12
15	SD 03.05.2001	45	40	30	0	54.000	-17	13	12	25
11	MHJ 30.11.2000	36	32	40	3	46.080	0	1	7	7
05	GE 19.10.2001	40	38	24	3	36.480	-2	0	13	13
02	AP 23.02.2001	28	40	32	0	35.840	3	2	5	6
03	BG 09.01.2001	30	33	28	5	27.720	0	5	7	9
06	GI 14.12.2000	39	31	22	0	26.598	5	-1	2	5
19	WL 02.08.2001	33	29	24	4	22.968	-1	-4	11	12
07	HH 06.07.2000	20	23	24	0	11.040	2	7	-1	7
16	WA 21.08.2000	18	21	24	0	9.072	1	3	5	6
20	ZH 20.04.2001	11	30	27	dural	8.910	0	2	7	7
21	ZK 05.04.2002	22	18	19	3	7.524	-1	3	10	10
04	FA 06.07.2001	26	20	14	0	7.280	0	5	13	14
12	NB 20.06.2001	19	20	16	15	6.080	-4	2	12	13
14	RU 28.07.2000	21	18	12	0	4.536	0	4	6	7
08	KP 29.07.2003	17	18	14	4	4.284	0	-4	12	13
09	LH 01.11.2000	16	18	12	11	3.456	0	-4	13	14
13	NG 29.11.2001	11	12	11	11	1.452	1	2	11	11

Tabelle 14: Räumliche Tumorausdehnung¹⁾ und Lage unter Kortext im Zusammenhang mit der Abweichung Projektion zu fMRT

¹⁾ berechnet anhand ermittelter Abmessungen

Erste Überlegungen lassen einen Zusammenhang zwischen der Lage oder Größe des Tumors und der Abweichung der fMRT-Daten zu den auf die Kortexoberfläche projizierten Koordinatendaten vermuten. So ist vorstellbar, dass beispielsweise ein großvolumiger Tumor mit unmittelbarer Lage unterhalb der Kortexoberfläche zu einer größeren Ungenauigkeit der Koordinatendaten führt, als ein kleinvolumiger und tiefliegender Tumor (s. schematische Skizze in Abbildung 91).

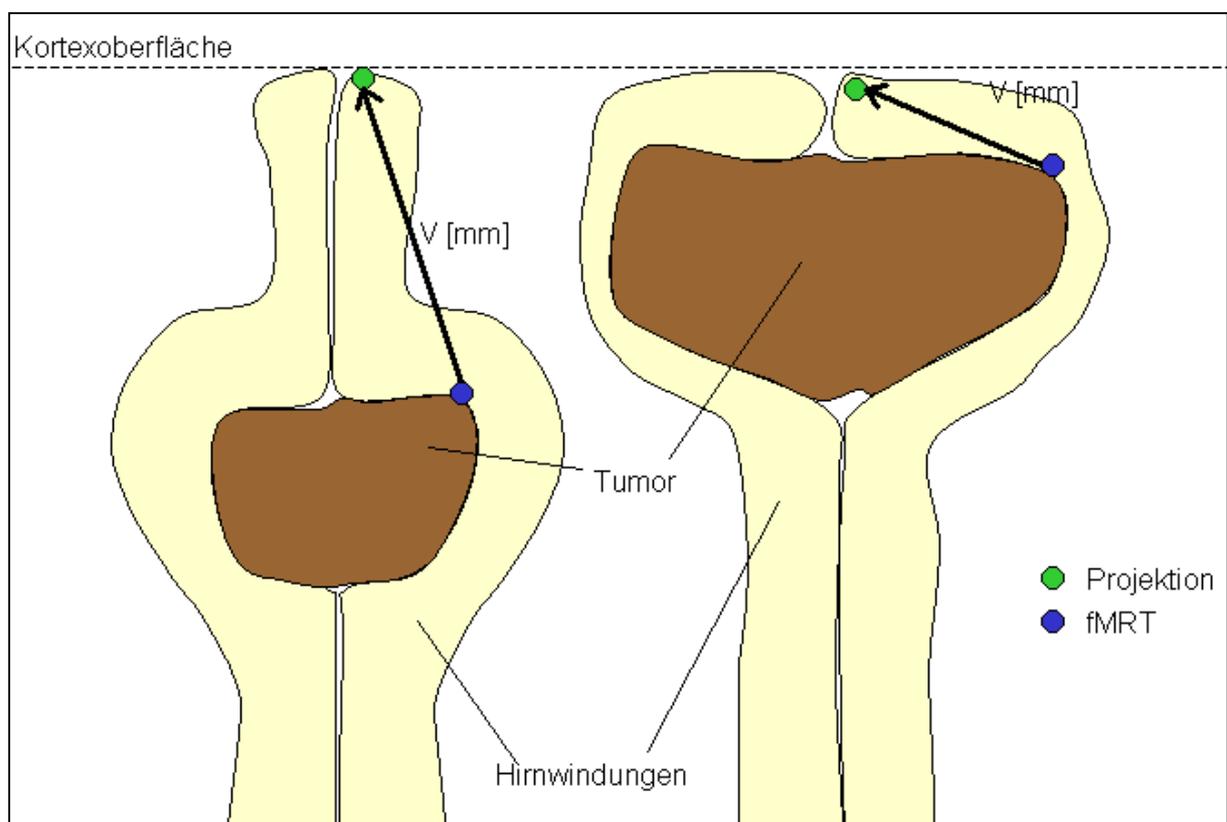


Abbildung 91: Schematische Skizze zweier Beispiele (Tumorumlage und Volumen)

Eine Gegenüberstellung der errechneten räumlichen Tumorausdehnung und dessen Lage zu der ermittelten Abweichung der Koordinaten aus Projektion und fMRT zeigt keinen funktionalen Zusammenhang (Korrelationskoeffizient nach Pearson $r_p = 0,47$ sowie Korrelationskoeffizient nach Spearman $r_s = 0,27$) zwischen diesen beiden Reihen. In der Abbildung 92 sind diese beiden Datenreihen graphisch dargestellt worden. Die X-Achse repräsentiert die räumliche Tumorausdehnung in mm^3 , die Y-Achse den Abstand der Koordinaten aus Projektion und fMRT.

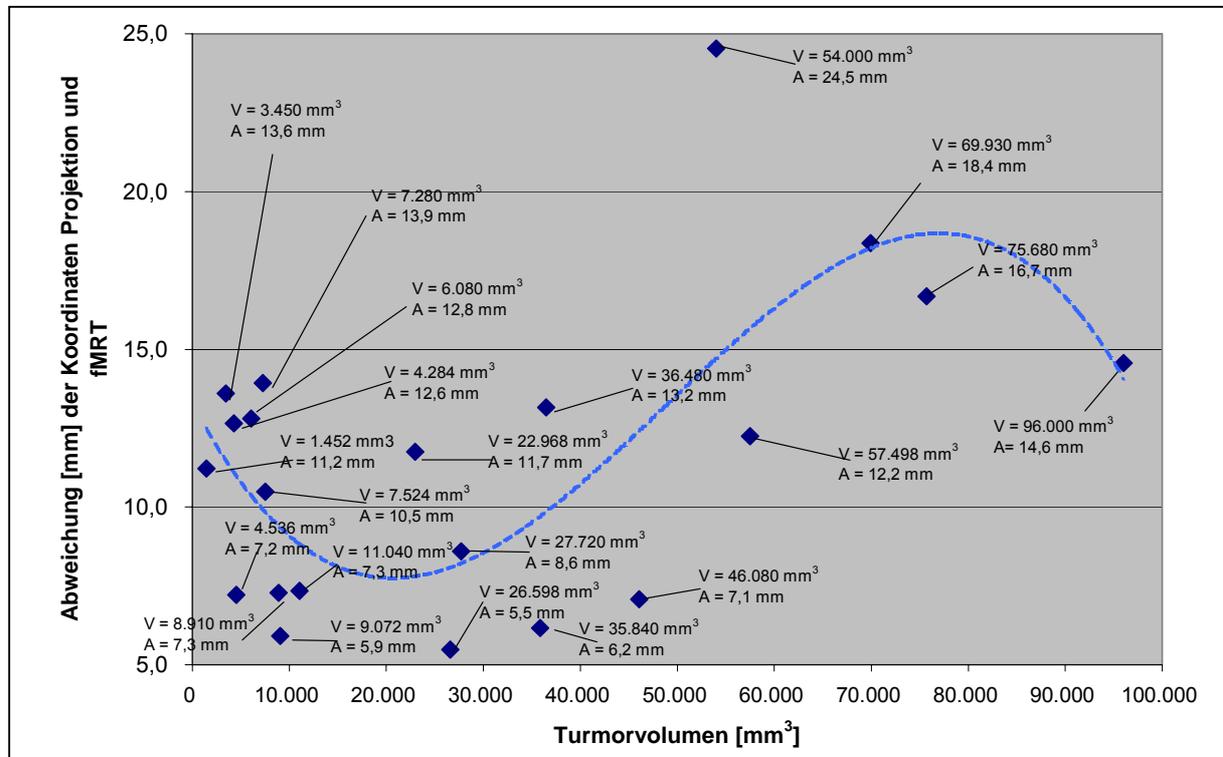


Abbildung 92: Zusammenhang zwischen Tumorzvolumen (X-Achse) und Abweichung der Koordinaten Projektion und fMRT (Y-Achse)

Die Vermutung eines funktionalen Zusammenhangs zwischen diesen beiden Größen lässt sich somit statistisch nicht bestätigen (s. auch unter Punkt 3.4).

Die Untersuchungsergebnisse der 21 Patienten lassen lediglich eine erste Häufigkeit ($n=9$) der räumlichen Ausdehnung $\leq 10.000 \text{ mm}^3$ erkennen. Die dazugehörige Abweichung der Koordinaten zwischen Projektion und fMRT bewegt sich hier im Bereich von 6 mm bis 14 mm. Die zweite Häufigkeit zwischen 20.000 und 30.000 mm^3 zeigt eine Abweichung der Koordinaten zwischen Projektion und fMRT von 5 mm bis 12 mm. Ein Trend (s. Abbildung 92, blau gestrichelte Funktion) ist folglich nicht ableitbar.

4.8 Korrelation der Zeitdifferenz zwischen präoperativ erhobenen fMRT-Daten und Operationsbeginn

Einen Zusammenhang bezüglich der präoperativen Datenerhebung, dem Operationsbeginn sowie dem Ausmaß der intraoperativen Datenverfälschung, wie in einer Studie von Golfinos et al. beschrieben [45], konnte im Rahmen dieser Studie nicht festgestellt werden. Genauere Angaben wurden von der Arbeitsgruppe um Golfinos zu diesem Aspekt jedoch nicht hervorgehoben. Anhand der hier präsentierten Ergebnisse erfolgte die präoperative Datenerhebung bis maximal 43,5 Stunden vor Operationsbeginn, bei einer durchschnittlichen Dauer von 21,27 Stunden. Die folgende Tabelle sowie graphische Darstellung macht deutlich, dass die Dateninkongruenz im Rahmen dieser Studie unabhängig von der Zeitdifferenz gewesen ist (s. Abbildung 93, Tabelle 15).

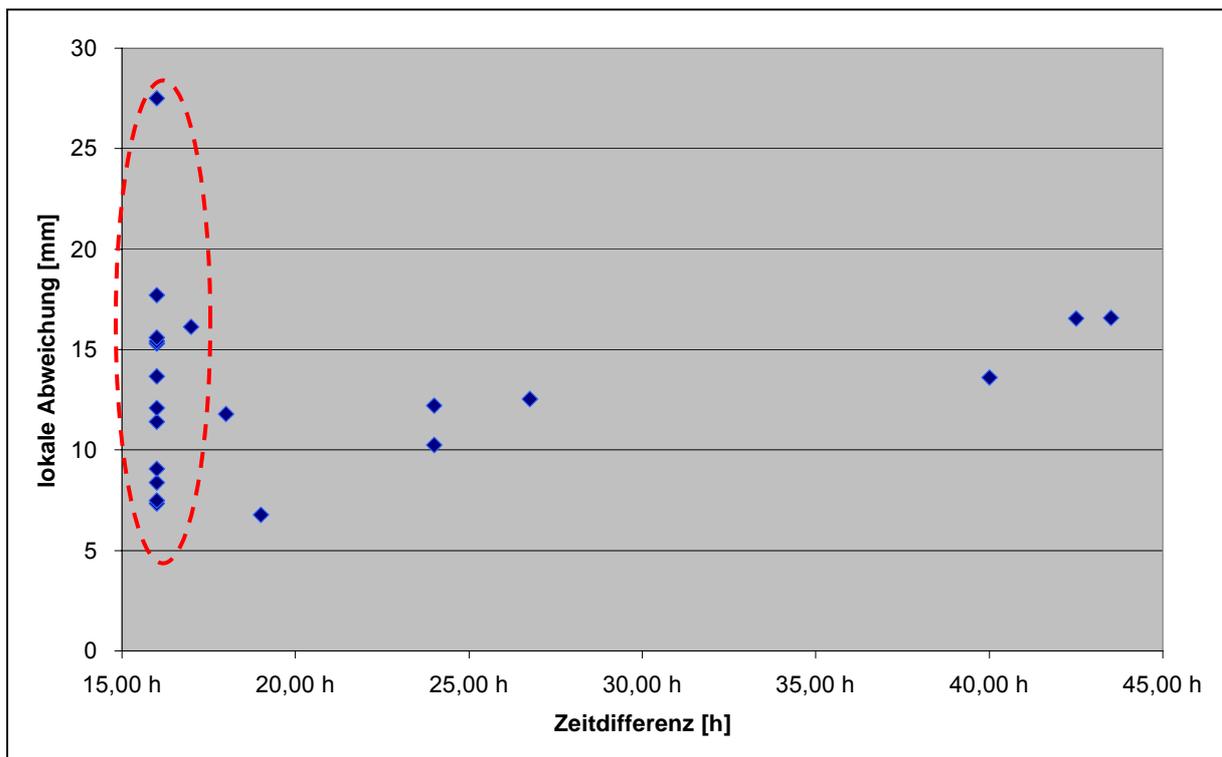


Abbildung 93: Korrelation der Zeitdifferenz zwischen präoperativ erhobenen fMRT-Daten und Operationsbeginn in Zusammenhang mit lokaler Koordinatenverschiebung

Pos	Patientennummer	Zeit	MCS zu fMRT			
		Delta	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	δ (mm)
10	MHJ 30112000	16,00 h	6	-4	2	7
16	WA 21082000	16,00 h	-2	1	7	7
07	HH 06072000	16,00 h	-3	-5	6	8
03	BG 09012001	16,00 h	-1	0	9	9
02	AP 23022001	16,00 h	9	-7	0	11
21	ZK 05042002	16,00 h	-9	1	8	12
17	WC 24102000	16,00 h	-9	5	9	14
15	SD 03052001	16,00 h	-8	1	13	15
20	ZH 20042001	16,00 h	15	3	-2	15
09	MH 05042001	16,00 h	-3	-3	15	16
08	LH 01112000	16,00 h	5	-12	12	18
18	WD 01022001	16,00 h	-12	18	17	28
19	WL 02082001	17,00 h	-10	-12	4	16
13	PK 29072003	18,00 h	7	-3	9	12
06	GI 04122000	19,00 h	6	-3	-1	7
14	RU 28072000	24,00 h	10	-2	1	10
12	NG 29112001	24,00 h	-8	6	7	12
04	FA 06072001	26,75 h	-2	-3	12	13
01	AH 22062000	40,00 h	-8	0	11	14
11	NB 20062001	42,50 h	3	3	16	17
05	GE 19102001	43,50 h	-1	-7	15	17

Tabelle 15: Korrelation der Zeitdifferenz zwischen präoperativ erhobenen fMRT-Daten und Operationsbeginn im Zusammenhang mit lokaler Koordinatenverschiebung