

4.2. Ergebnisse fMRT

Die Ergebnisse umfassen die Daten der vibratorischen Stimulation im fMRT.

Entsprechend den Ergebnissen der Psychophysik erfolgte die Stimulation mit der vorher ermittelten Frequenz/ Amplitudenkombination (120Hz/200 μ m), welche sowohl eine maximale vibratorische Stimulation der rechten Halsmuskulatur, als auch eine illusionäre Blickpunktbewegung bei den Probanden auslöste.

Die Aktivierung mit einer nur oberflächlichen Hautstimulation (120Hz/50 μ m) wurde dazu statistisch kontrastiert, so dass die nachfolgenden Ergebnisse und Abbildungen im wesentlichen den Effekt der Tiefenstimulation der Halsmuskulatur widerspiegeln.

Dabei zeigen sich in der Gruppenanalyse bihemisphärielle Aktivierungsareale im Bereich des Sulcus centralis, im inferior präcentralen Kortex, im Sulcus postcentralis, im subcentralen Kortex und im occipitalen Kortex. Kontralateral zur vibratorischen Aktivierung stellen sich zusätzliche BOLD-Signalanstiege im Lobulus parietalis inferior, im Gyrus temporalis superior und im Sulcus frontalis inferior dar, wohingegen rechtshemisphäriell zusätzliche Aktivierungen im Bereich der mittleren Insel und im parietoinsulären Kortex zu finden sind. Die folgenden Abbildungen 4.2.1 und 4.2.2 stellen die BOLD-Signal-Anstiege als Aktivierungsmuster der Gruppenanalyse dar. Die Repräsentation erfolgt auf einer Oberfläche eines oberflächenentfalteten standardisierten normierten Gehirnes (Collins et al., 1998). Die Zuordnung der Sulci und Gyri erfolgte in Anlehnung an Ono et al., 1990. Die anschließenden Tabellen 4.2.1 und 4.2.2 listen die aktivierten Areale mit ihren dazugehörigen anatomischen Regionen und den entsprechenden Talairachkoordinaten auf.

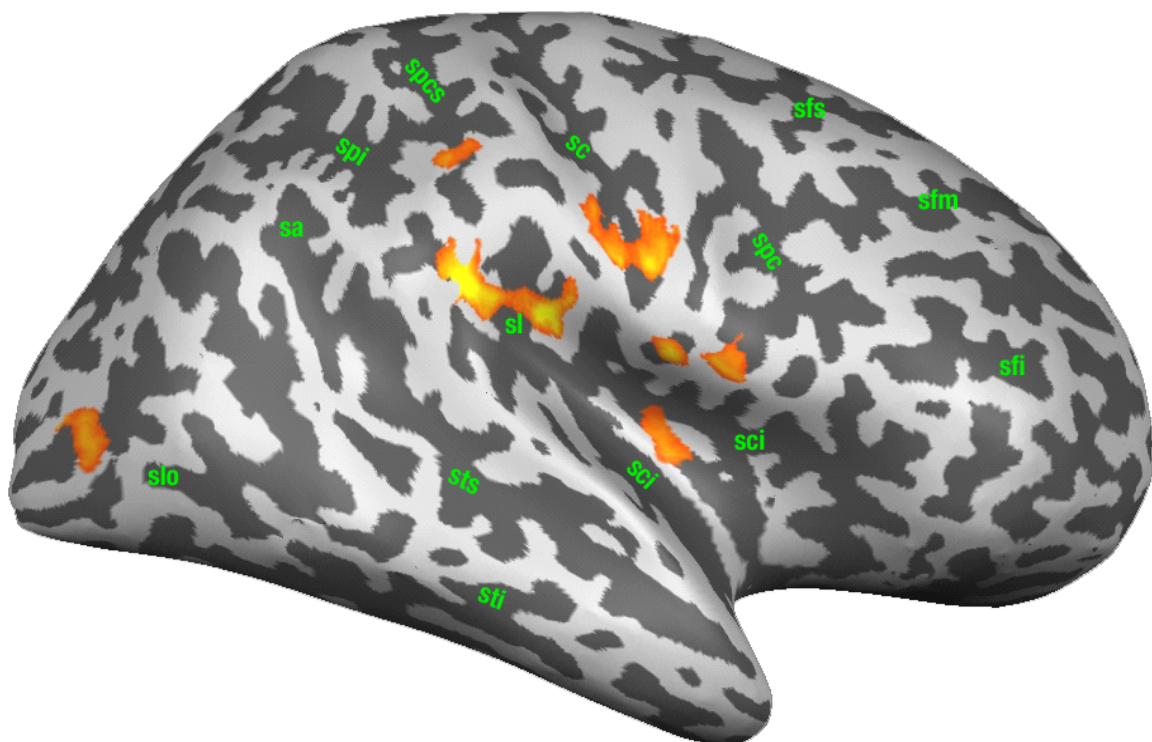


Abb 4.2.1 Darstellung der BOLD-Signalanstiege innerhalb der rechten Hemisphäre bei vibratorischer Stimulation der rechten Halsmuskulatur (11 Probanden), die Darstellung erfolgte auf einem normierten Standardgehirn. Die minimal dargestellte Arealgrösse entspricht einer Fläche von 20mm^2 (entsprechend fünf funktioneller Voxel auf der Kortexoberfläche), $P(\text{Bonf}) < 0,001$

Nomenklatur der Sulci in **Abb. 4.2.1** (Ono et al., 1990)

Sfs = Sulcus frontalis superior, sfm = Sulcus frontalis medialis, sfi = Sulcus frontalis inferior, spc = Sulcus präcentralis, sc = Sulcus centralis, spcs = Sulcus postcentralis,

sa = Sulcus angularis, spi = Sulcus intraparietalis, sl = Sulcus lateralis, sts = Sulcus temporalis superior, stm = Sulcus temoralis medius, sti = Sulcus temporalis inferior, sci = Sulcus circularis insulae, slo = Sulcus occipitalis lateralis

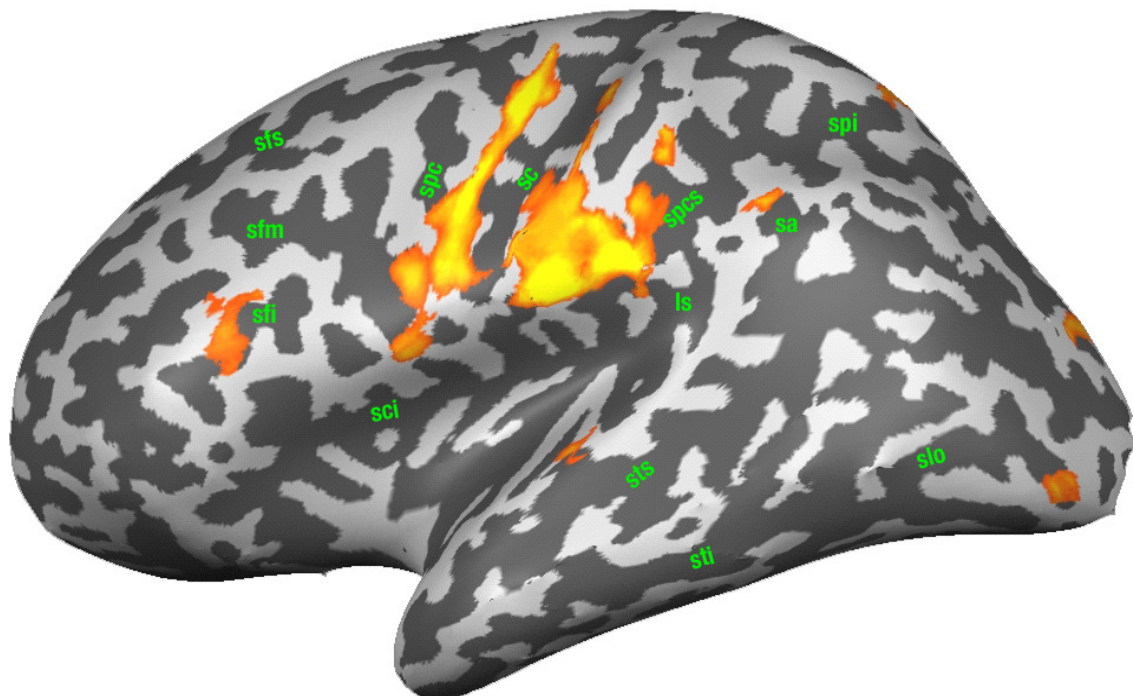
P(Bonf) $<0,001$ P(Bonf) $<0,0001$ 

Abb.4.2.2 Darstellung der BOLD-Signalanstiege innerhalb der linken Hemisphäre bei vibratorischer Stimulation der rechten Halsmuskulatur (11 Probanden), die Darstellung erfolgte wie in Abb.4.2.1 auf einem normierten Standardgehirn. Die minimal dargestellte Arealgröße entspricht einer Fläche von 20mm^2 (entsprechend fünf funktioneller Voxel auf der Kortexoberfläche), P(Bonf) $<0,001$

Nomenklatur der Sulci in **Abb. 4.2.2** (Ono et al., 1990)

Sfs = Sulcus frontalis superior, sfm = Sulcus frontalis medialis, sfi = Sulcus frontalis inferior, spc = Sulcus präcentralis, sc = Sulcus centralis, spcs = Sulcus postcentralis, sa = Sulcus angularis, spi = Sulcus intraparietalis, ls = Sulcus lateralis, sts = Sulcus temporalis superior, stm = Sulcus temporalis medius, sti = Sulcus temporalis inferior, sci = Sulcus circularis insulae, slo = Sulcus occipitalis lateralis

| anatomische Region | Talairachkoordinaten | | | | | |
|------------------------------|----------------------|-----|----|--------|-----|----|
| | li. H. | | | re. H. | | |
| | x | y | z | x | y | z |
| Sulcus centralis | -50 | -12 | 30 | 51 | -2 | 20 |
| Subcentraler Kortex | -53 | -23 | 30 | 54 | -17 | 34 |
| Lobulus parietalis inferior | -31 | -57 | 45 | - | - | - |
| Sulcus lunatus | -41 | -75 | -3 | 25 | -80 | 4 |
| Sulcus temporalis superior | -38 | -12 | 15 | - | - | - |
| Sulcus frontalis inferior | -44 | 26 | 22 | - | - | - |
| Gyrus präcentralis | -54 | -1 | 54 | 55 | 1 | 13 |
| Sulcus postcentralis | -16 | -65 | 54 | 54 | -13 | 20 |
| Parietoinsulärer Kortex | - | - | - | 52 | -24 | 24 |
| Insula | - | - | - | 34 | -7 | 9 |
| Sulcus occipitalis lateralis | -20 | -86 | 23 | 19 | -84 | 29 |
| Signifikanzniveau | p(Bonf)<0,001 | | | | | |

Tabelle 4.2.1 In der Tabelle werden die Ergebnisse der Gruppenanalyse (n=11) mit den zugeordneten anatomischen Regionen und den dazugehörigen Talairachkoordinaten dargestellt. Die minimal aufgeführte Arealgrösse entspricht einer Fläche von 20mm² (entsprechend fünf funktioneller Voxel auf der Kortexoberfläche), P(Bonf)<0,001, li.H.=linke Hemisphäre, re.H.=rechte Hemisphäre

Ergebnisse

| Probanden | VA | | VB | | VC | | VF | | VJ | | VL | | VM | | VS | | VSA | | VK | | VP | |
|--------------------------------------|--------------|----|--------------|----|--------------|----|--------------------------|----|--------------------------|----|--------------------------|----|--------------------------|----|--------------------------|----|--------------------------|----|--------------------------|----|--------------------------|----|
| | RH | LH | RH | LH | RH | LH | RH | LH | RH | LH | RH | LH | RH | LH | RH | LH | RH | LH | RH | LH | RH | LH |
| rechte + linke Hemisphäre | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sulcus centralis/ Area 3a | - | - | - | x | - | x | x | x | x | x | x | x | - | x | x | x | x | x | x | x | - | - |
| Subcentraler Kortex/ SII | - | - | x | x | - | - | x | - | - | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | - |
| Parietoinsulärer Kortex/ PIVC | - | - | x | x | - | - | x | - | - | x | x | x | x | x | x | x | - | x | x | x | x | - |
| Sulcus postcentralis/ Area 2v | - | - | - | - | - | - | x | x | x | x | x | x | - | x | - | x | x | x | x | x | x | x |
| Gyrus präcentralis/ Area 6 | - | - | - | x | - | x | x | x | x | x | x | x | - | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| Sulcus frontalis inferior | - | x | - | x | - | - | x | x | x | x | - | x | x | x | x | x | x | x | x | x | - | x |
| Lobulus parietalis inferior | x | - | - | - | - | - | - | x | - | x | - | - | x | - | x | - | x | x | x | x | - | x |
| Sulcus lunatus | - | - | - | - | - | - | x | x | - | - | x | - | x | - | - | - | - | - | x | x | - | x |
| Sulcus temporalis superior | - | - | - | - | - | - | - | x | - | - | - | - | - | x | - | x | - | x | x | x | x | - |
| Insula | - | - | x | x | x | - | x | - | x | - | x | - | x | x | x | x | x | x | x | x | x | - |
| Sulcus occipitalis lateralis | - | - | - | x | - | - | - | x | - | - | - | - | - | - | x | - | - | - | x | x | x | - |
| Schwellenwert | p(Bonf)<0,05 | | p(Bonf)<0,05 | | p(Bonf)<0,05 | | p(Bonf)=10 ⁻⁷ | | p(Bonf)=10 ⁻⁷ | | p(Bonf)=10 ⁻⁷ | | p(Bonf)=10 ⁻⁷ | | p(Bonf)=10 ⁻⁷ | | p(Bonf)=10 ⁻⁷ | | p(Bonf)=10 ⁻⁷ | | p(Bonf)=10 ⁻⁷ | |

Tabelle 4.2.2 Darstellung der Einzelanalyse aller 11 Probanden. Dargestellt sind ausschliesslich aktivierte Areale, die mindestens 20mm² gross sind (entsprechend fünf funktioneller Voxel auf der entfalteten Kortexoberfläche). Alle 11 Probanden empfanden bei rechtsseitiger vibratorischer Stimulation der Nackenmuskulatur eine Bewegungsillusion. Bei der Mehrzahl der Probanden konnte in der Einzelanalyse der P-Wert aufgrund weniger artefaktbedingter Ausschlüsse und teilweise mehr durchgeführter Runs ein strengeres Kriterium von $P(\text{Bonf}) = 10^{-7}$ festgelegt werden. RH = rechte Hemisphäre, LH = linke Hemisphäre, SII=sekundärer somatosensorischer Kortex, PIVC = Parieto-insulär-vestibulär Kortex.

In den folgenden Abschnitten soll im Detail auf die einzelnen Ergebnisse und deren Topographie eingegangen werden.

4.2.1 Sulcus centralis und Präcentraler Kortex

In der Tiefe des Sulcus centralis zeigt sich in der Gruppenanalyse sowohl in der linken als auch in der rechten Hemisphäre ein Aktivierungsareal. In den Einzelanalysen sind hier bei neun Probanden linkshemisphäriell und bei sechs Probanden rechtshemisphäriell Aktivierungen erkennbar. Interindividuell befinden sich diese in der Tiefe oder auch mittig im Sulcus centralis, teils nach anterior hin in den Gyrus präcentralis oder nach dorsal in den Gyrus postcentralis hineinreichend.

In den folgenden Abbildungen 4.2.3 und 4.2.4 werden Aktivierungen von zwei Probanden innerhalb des linkshemisphäriellen Sulcus centralis dargestellt.

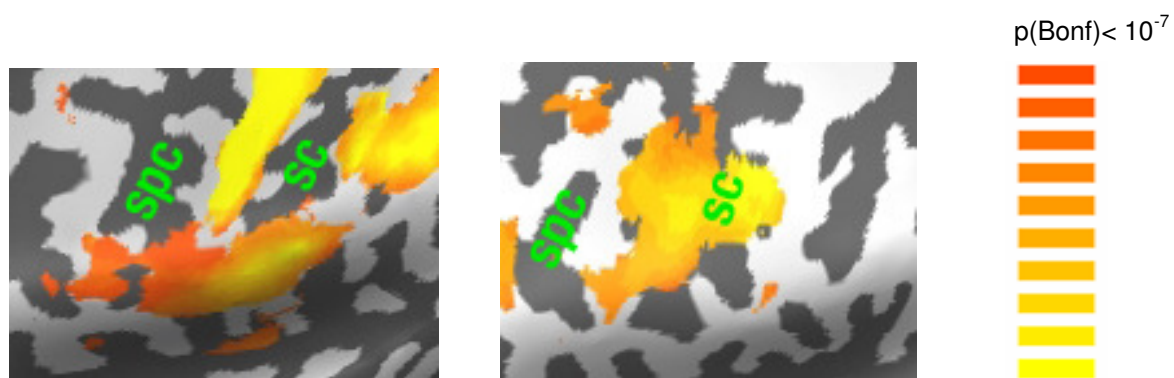


Abb.4.2.3 Proband vl, IH, $p(\text{Bonf}) = 10^{-7}$ **Abb.4.2.4** Proband vp, IH, $p(\text{Bonf}) = 10^{-7}$
 sc = Sulcus centralis, spc = Sulcus präcentralis

Im Bereich des Gyrus präcentralis finden sich bihemisphärielle Aktivierungen.

In den Einzelanalysen zeigen linkshemisphäriell zehn Probanden und rechtshemisphäriell sieben Probanden hier Aktivierungen. Innerhalb der einzelnen Probanden dehnt sich das Aktivierungsareal unterschiedlich weit in angrenzende Gebiete aus. Es stellen sich Areale nach dorsal bis in den Sulcus centralis und nach ventral bis in den Sulcus präcentralis hineinreichend dar. Die anschließenden Abbildungen 4.2.5 und 4.2.6 sind Beispiele für linkshemisphärielle (IH) und rechtshemisphärielle (rH) Aktivierungen in diesem Bereich.

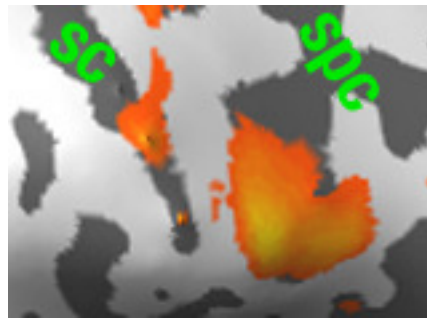
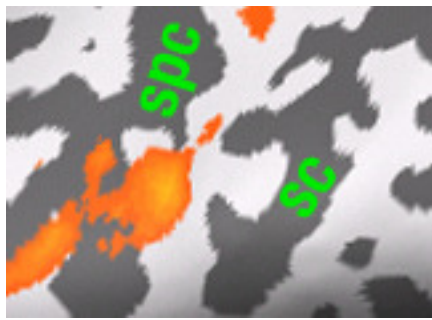

 $p(\text{Bonf}) < 10^{-7}$

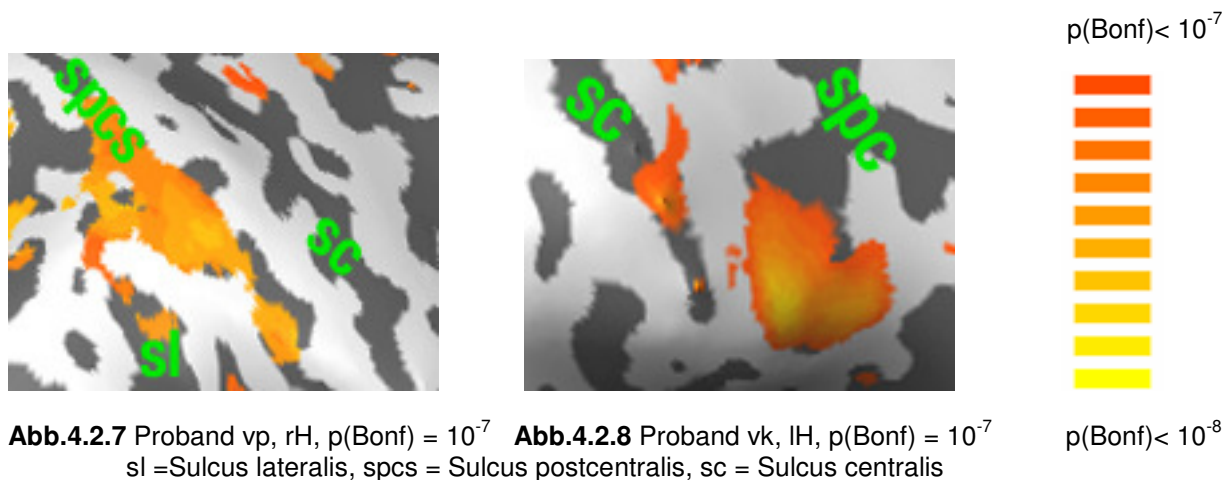

Abb.4.2.5 Proband vf, IH, $p(\text{Bonf}) = 10^{-7}$ **Abb.4.2.6** Proband vs, rH, $p(\text{Bonf}) = 10^{-7}$ $p(\text{Bonf}) < 10^{-8}$
 sc = Sulcus centralis, sfc = Sulcus präcentralis

Im Bereich des Sulcus frontalis inferior, sowie im caudalen Anteil des Sulcus frontalis medius am Übergang zum Sulcus präcentralis präsentiert sich in der linkshemisphäriellen Gruppenanalyse ein BOLD-Signalanstieg. In den Einzelanalysen befinden sich hier bei zehn Probanden linkshemisphäriell ebenfalls Aktivierungen, bei einem Probanden im Bereich des Sulcus frontalis medialis. Im Gegensatz zur linkshemisphäriellen Gruppenanalyse stellen sich rechtshemisphäriell hier keine eindeutigen BOLD-Signalanstiege dar, wohingegen in den Einzelanalysen sechs Probanden hier Aktivierungen zeigen. Es handelt sich hierbei um die Probanden, bei denen man bihemisphärielle Aktivierungen erkennt.

4.2.2 Parietaler Kortex

Im Bereich des Sulcus postcentralis stellt sich in der Gruppenanalyse bihemisphäriell ein Aktivierungsareal dar, wobei das Areal des BOLD-Signalanstieges rechtshemisphäriell deutlich weiter dorsal und in Angrenzung an den Sulcus intraparietalis vorzufinden ist, während sich linkshemisphäriell der BOLD-Signal-Anstieg im eher ventralen und unteren Anteil des Sulcus postcentralis mit Einbezug des Gyrus postcentralis befindet. Bei den Einzelanalysen zeigt sich bei acht Probanden rechts- und bei sechs Probanden linkshemisphäriell hier ein BOLD-Signal-Anstieg. Individuell besteht auch hier eine Ausdehnung des Aktivierungsareals bis in den Gyrus postcentralis. Innerhalb des Sulcus postcentralis sind Aktivierungen entweder in der Tiefe, im mittleren oder auch im oberen nach dorsal gerichteten Anteil erkennbar. Bei drei Probanden dehnt sich dieses Areal linkshemisphäriell bis in den Sulcus lateralis

aus. Bei einem Probanden zeigt sich rechtshemisphäriell eine Ausdehnung bis in den Sulcus intraparietalis hinein. Bei zwei Probanden stellt sich ein BOLD-Signalanstieg vom Sulcus postcentralis sowohl bis in den Sulcus intraparietalis und Sulcus lateralis hineinreichend dar. Zwei Probanden weisen linkshemisphäriell eine vom Sulcus postcentralis ausgehende bis in den Sulcus intraparietalis und Lobulus parietalis superior hineinreichende Aktivierung auf. Die folgenden Abbildungen 4.2.7 und 4.2.8 stellen Beispiele für BOLD-Signalanstiege in diesem Bereich dar.



Ein weiteres Aktivierungsareal innerhalb des linken Parietallappens befindet sich in der Gruppenanalyse im Bereich des linkshemisphäriellen Gyrus angularis zum Übergang des Gyrus supramarginalis am unteren Rand des Lobulus parietalis inferior. Acht Probanden zeigen in diesem Bereich BOLD-Signalanstiege, davon jeweils fünf rechts- oder linkshemisphäriell, zwei Probanden bihemisphäriell.

Aktivierungen im Bereich des rechtshemisphäriellen Gyrus angularis gibt es in der Gruppenanalyse nicht, jedoch waren auch rechtshemisphäriell bei fünf Probanden in der Einzelanalyse Aktivierungen mit Überschneidungen in den Gyrus supramarginalis erkennbar.

4.2.3 Parietoinsulärer Kortex und subcentraler Kortex

In der Gruppenanalyse befindet sich rechtshemisphäriell ein Aktivierungsareal im parieto-insulären Übergangsbereich. Acht Probanden zeigen in der Einzelanalyse hier Aktivierungen. Insgesamt ist die räumliche Ausdehnung der Aktivierung in den Einzelanalysen hier größer und ragt individuell in den Sulcus lateralis oder nach dorsal in den Gyrus supramarginalis hinein. Linkshemisphäriell stellen sich ausschließlich in den Einzelanalysen bei sechs Probanden Aktivierungen in diesem Bereich dar. Zwei Probanden haben weder rechts- noch linkshemisphäriell Aktivierungen, fünf Probanden dagegen bihemisphärielle. Abb.4.2.9 und 4.2.10 sollen hierfür als Beispiel dienen.

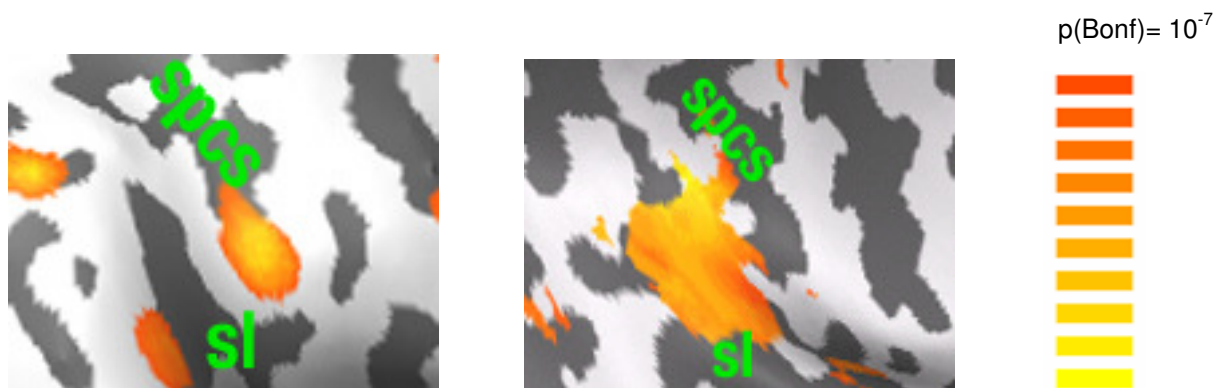
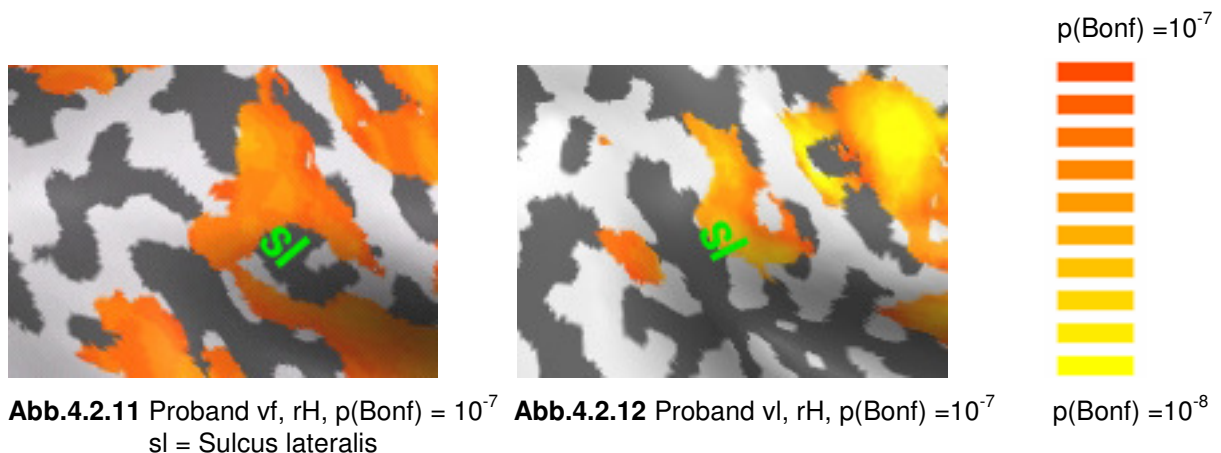


Abb.4.2.9 Proband vs, rH, $p(\text{Bonf}) = 10^{-7}$ **Abb.4.2.10** Proband vj, lH, $p(\text{Bonf}) = 10^{-7}$ $p(\text{Bonf}) = 10^{-8}$
sl = Sulcus lateralis, spcs = Sulcus postcentralis

Im Bereich des subcentralen Kortex befinden sich in der Gruppenanalyse bihemisphäriell Aktivierungen, wobei sich linkshemisphäriell ein Aktivierungsareal zeigt, welches grossflächig den dorsalen Anteil des Sulcus lateralis, den unteren Anteil des Sulcus postcentralis, sowie grosse Anteile des Gyrus postcentralis mit einschließt. Rechtshemisphäriell ist diese Areale etwas weiter nach dorsal gerichtet am dorsalen Ende des Sulcus lateralis ohne Einbezug des Gyrus postcentralis, jedoch nach ventral in Verbindung mit dem parietoinsulären Kortex stehend. In den Einzelanalysen zeigen rechtshemisphäriell acht, linkshemisphäriell sieben Probanden, davon sechs bihemisphäriell in diesem Bereich Aktivierungen. Die Ausdehnung der Aktivierungsareale weisen auch hier eine grosse Variabilität auf. Die folgenden

Abbildungen 4.2.11 und 4.2.12 sind Ausschnitte einzelner Probanden aus diesem Bereich.



In der Gruppenanalyse zeigt sich im Bereich der mittleren Insula nur rechtshemisphäriell eine Aktivierung, wohingegen in den Einzelanalysen linkshemisphäriell bei fünf Probanden Aktivierungen im Bereich der mittleren Insula zu finden sind, während es rechtshemisphäriell bei zehn von elf Probanden BOLD-Signalanstiege in diesem Bereich gibt. Auch hier erkennt man wieder individuelle Ausdehnungen der Aktivierung.

4.2.4 Temporaler Kortex

Im mittleren Anteil des superioren temporalen Gyrus am Übergang zu den Gyri temporales transversii befindet sich in der Gruppenanalyse linkshemisphäriell ein Aktivierungsareal, welches bei fünf Probanden linkshemisphäriell und bei zwei Probanden rechtshemisphäriell in den Einzelanalysen erkennbar ist.

4.2.5 Occipitaler Kortex

Im Bereich des occipitalen Kortex befinden sich in der Gruppenanalyse bihemisphärielle Aktivierungen im Bereich des Sulcus occipitalis lateralis. In den Einzelanalysen zeigen drei Probanden linkshemisphäriell und vier Probanden rechtshemisphäriell einen BOLD-Signalanstieg im diesem Bereich. Sowohl in der Gruppenanalyse als auch in den Einzelanalysen weisen diese Aktivierungen sowohl jeweils hemisphärielle als auch individuell grosse Unterschiede in der Ausdehnung und Lokalisation auf. Im Bereich des

Sulcus lunatus, sowie im Gyrus occipitalis superior zeigt sich in der Gruppenanalyse ein Aktivierungsareal, welches bei den Einzelanalysen wiederum sehr variiert.