

## Grundlagen und Anwendung des Spiegeltrainings

### Zusammenfassung

Ein neuer, innovativer Therapieansatz, der durch die Kombination von selbst initiiertem Bewegung und spezifischer visueller Stimuli eine Aktivierung der betroffenen Hemisphäre bewirkt, ist das ‚Spiegeltraining‘. Hierbei werden Bewegungen der nicht betroffenen Extremität über einen Spiegel als Bewegungen der betroffenen Extremität dargeboten.

Im Rahmen dieser Übersicht sollen die neurophysiologischen Grundlagen sowie praktische Aspekte bei der Implementierung dieses Ansatzes dargestellt werden. Die Evaluierung des vorgestellten Therapieprotokolls erfolgt aktuell im Rahmen einer randomisierten Studie am Neurologischen Rehabilitationszentrum Godeshöhe in Bonn.

### Schlagworte

Schlaganfall, Hemiparese, Rehabilitation, Spiegel, Therapie

### Das Prinzip des Spiegeltrainings

Das Spiegeltraining ist ein relativ neues Therapieverfahren für Patienten mit Halbseitenlähmung (Hemiparese bzw. -plegie), welches erstmals 1999 vorgestellt wurde [1]. Das Prinzip besteht darin, einen Spiegel in der Körpermitte des Patienten auf einem Tisch zu platzieren und die betroffene Extremität hinter dem Spiegel zu lagern (Abb. 1). Der Patient schaut in den Spiegel und sieht dort das Spiegelbild seiner nicht betroffenen Extremität, als wäre es die betroffene Extremität.



Abbildung 1:  
Prinzip des  
Spiegeltrainings

Die Idee zum Einsatz des Spiegels stammt ursprünglich aus der Beobachtung, dass sein Einsatz bei teilamputierten Patienten zu sensiblen Wahrnehmungen führte, die in die amputierte Gliedmasse lokalisiert wurden [2]. Im Rahmen der eingangs erwähnten Pilotstudie wurde dann die prinzipielle Wirksamkeit dieses Therapieverfahrens an neun Schlaganfall-Patienten im chronischen Stadium ihrer Erkrankung gezeigt [1]. Obwohl bei diesen Patienten erfahrungsgemäß nur noch ein geringes Potential an zerebraler Plastizität besteht, konnte gezeigt werden, dass durch das Spiegeltraining eine Verbesserung des klinischen Zustandsbildes erreicht werden konnte. Leider enthielt diese Publikation keine explizite Darstellung der Veränderungen mit statistischer Validierung. So ist die Art der erzielten Verbesserungen (Muskelkraft, -tonus, Funktionalität) unklar.

Nachfolgend wurden leider nur Fallbeschreibungen über den Einsatz dieses Verfahrens an einzelnen Patienten publiziert, die keinen Vergleich zu einer Kontrollgruppe enthielten [3-5]. Am Neurologischen Rehabilitationszentrum Godeshöhe wird aktuell die Wirksamkeit des Spiegeltrainings im Rahmen einer systematischen Patientenstudie evaluiert. Ergebnisse hierzu werden im Laufe des Jahres 2006 vorliegen. Somit liegt gegenwärtig keine Arbeit vor, die genaue Aussagen zur Patientenselektion und der Art der zu erzielenden Effekte macht.

Eine Durchsicht der Literatur zeigt, dass unter dem Begriff ‚Spiegeltherapie‘ verschiedene Durchführungsmodalitäten vorgestellt werden, die sich in bestimmten Aspekten erheblich unterscheiden. Auf diese Unterschiede wird in der Regel nicht näher eingegangen, obwohl es aus dem Bereich der Neurophysiologie gerade in letzter Zeit zahlreiche neue wegweisende Erkenntnisse gibt, die helfen können, die Wirkungsweise des Spiegeltrainings zu verstehen und auch zu optimieren. Nachfolgend sollen diese Überlegungen dargestellt und in Beziehung zum Therapieverfahren gesetzt werden. Dabei wird im Wesentlichen auf die obere Extremität eingegangen, prinzipiell gilt das Gesagte jedoch in ähnlicher Weise auch für die untere Extremität.

## **Theoretische Grundlagen**

### **Neurophysiologie der zerebralen Organisation von Bewegung**

Wesentliche Fortschritte im Verständnis der Organisation von Bewegung hat das Aufkommen der bildgebenden Verfahren (z.B. Positronen-Emissions-Tomographie, funktionelle Kernspintomographie, Magnetenzephalographie) gebracht, die es erlauben, menschliche Hirnaktivität nicht-invasiv abzubilden. Nachdem hiermit zunächst die Strukturen identifiziert werden konnten, die bei der Ausführung von Bewegung beteiligt sind, zeigten zahlreiche nachfolgende Studien, dass ähnliche zerebrale Aktivierungsmuster auch bei reiner Bewegungsbeobachtung [6], -imitation [7] oder -vorstellung [8, 9] zu beobachten sind (Übersicht z.B. bei [10]).

Dabei gibt es nur wenige Studien, die sich explizit mit der Frage auseinandersetzen, welche Unterschiede in den zerebralen Aktivierungen bei Benutzung der rechten oder linken Hand bestehen. Es gibt jedoch Hinweise, dass die visuelle Konfiguration einer Hand nur streng in der jeweils kontralateralen Hemisphäre repräsentiert ist [11]. Eine einseitige Aktivierung findet auch dann, wenn eine Hand bewegt, aber gespiegelt wahrgenommen wird, statt [12]. Dies ist auch bei einer vom Probanden beobachteten computergraphischen Repräsentation eines menschlichen Armes zu beobachten [13].

Somit demonstrieren diese Befunde übereinstimmend, dass die visuelle Konfiguration einer Hemisphäre wohl nur streng unihemisphärisch repräsentiert ist. Eine Spiegelung der visuellen Rückkopplung bei der Ausführung von Bewegung führt daher zu einer Aktivierung der jeweils kontralateralen Hemisphäre.

### **Neue Entwicklungen in der neurologischen Rehabilitation**

Der Fortschritt im Verständnis der zerebralen Organisation von Motorik hatte unmittelbare Auswirkungen auf die Entwicklung neuer rehabilitativer Strategien. So zeigte sich, dass schon alleine der Nichtgebrauch einer betroffenen Extremität durch die Verringerung der kortikalen Repräsentation zu einer Funktionsverschlechterung führt [14]. Basierend auf dieser Erkenntnis wurden Forced-Use-Strategien postuliert. Hierbei wird bei Patienten die nicht-betroffene Extremität immobilisiert, um auf diese Weise die Benutzung der betroffenen Extremität quasi zu „erzwingen“ [15]. Bei Patienten mit einem bestimmten Potential wiedergekehrter Funktionen in der betroffenen Extremität lassen sich auf diese Weise deutliche Verbesserungen erreichen – sowohl in klinischen Parametern als auch in neurophysiologischen Messungen [16].

Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass mentales Training von Bewegungen zu einer Verbesserung in der Ausführung realer Bewegungen führt [17-19]. Zudem wurden in letzter Zeit verschiedene Studien zum positiven Aspekt synchroner, bilateraler Bewegungen publiziert [20]. Aufgrund dieses eindeutigen Effektes gibt es auch Ansätze zur Implementierung eines maschinengestützten Therapieansatzes [21].

Somit ist der positive Effekt des Spiegeltrainings wohl im Wesentlichen durch zwei Faktoren zu erklären. Zum einen scheint die Spiegelung der visuellen Rückkopplung eine Aktivierung der Repräsentation der visuellen Konfiguration der jeweiligen Hand in der jeweils kontralateralen Hemisphäre zu bewirken – durchaus ähnlich den Vorgängen bei mentaler Simulation von Bewegung. Darüber hinaus scheint durch dieses Verfahren auch der erlernte Nichtgebrauch der betroffenen

Extremität „durchbrochen“ werden zu können. Ob die mögliche bilaterale Bewegungsausführung darüber hinaus einen weiteren Effekt hat, ist unklar.

### **Praktische Aspekte**

Aus den obigen Ausführungen zu den neurophysiologischen Grundlagen ergeben sich unmittelbar Implikationen für die Ausführung des Spiegeltrainings.

So ist die Durchführung des Spiegeltrainings in einem reizarmen Raum eine unabdingbare Voraussetzung. Die Spiegeltherapie sollte nur in Einzeltherapie und in Räumen ohne starke visuelle Distraktoren (z.B. Bilder oder durch Fenster sichtbare Bewegungen) durchgeführt werden, um eine größtmögliche Aufmerksamkeit auf die gespiegelte Extremität zu lenken.

Der prinzipielle Aufbau ist bereits in Abbildung 1 dargestellt. Die Ausmaße des Spiegels müssen dabei so groß gewählt werden, dass einerseits der Blick des Patienten auf seinen betroffenen Arm verhindert wird, andererseits aber auch großamplitudige Bewegungen im vollen Umfang im Spiegel sichtbar bleiben.

Die Halterung des Spiegels sollte dabei so stabil sein, dass sie unvorhergesehene oder abrupte Bewegungen des Patienten aushält. Sie darf auch nicht zu voluminös sein, um die Bewegungen des Patienten (auf der „sichtbaren“ Seite) nicht zu behindern. Für eine möglichst einfache Integration in den Therapiealltag sollte die Halterung zudem schnell und unkompliziert auf- und abbaubar sein. Aus diesen Gründen verwenden wir nicht die teilweise vorgeschlagene „Mirror Box“ [3, 4], sondern einen einfachen geschlitzten Holzblock, in den der Spiegel hineingesteckt wird (Abb. 1). Zur optimalen Lagerung der betroffenen Extremität ist ein höhenverstellbarer Tisch unerlässlich. Zudem empfiehlt sich die Benutzung von geeignetem Lagerungsmaterial, um auch bei hochgradigen Paresen eine physiologische Lagerung für den Zeitraum der Therapie zu ermöglichen.

Wie bereits erwähnt, gibt es verschiedene Durchführungsmodalitäten zur Ausführung des Spiegeltrainings. Diese unterscheiden sich in den folgenden zwei Punkten:

- a) Aufgabe für die nicht-betroffene Extremität
- b) Aktivität der betroffenen Extremität

Alle Protokolle sollten dabei in besonderer Weise zwei der fundamentalen Regeln motorischer Therapie berücksichtigen: Eine ausreichend hohe Zahl an Wiederholungen sowie eine jeweils optimale Anpassung der Aufgabe an das aktuelle Leistungsniveau des Patienten („Shaping“).

### **Was macht die nicht betroffene Extremität?**

Die Handlungsanweisung für die nicht-betroffene Extremität bestimmt das visuelle Perzept bei der Therapiedurchführung. Eine wesentliche Frage ist dabei, ob die Aufgabe in der Manipulation von Objekten (z.B. Greifen) oder in der Positionierung der Extremität an sich besteht, also ob transitive oder nicht-transitive Aufgaben verlangt werden. In den initialen Arbeiten wird kein Objektgebrauch beschrieben [1, 5], in den nachfolgenden Berichten kommen diese jedoch durchgängig zum Einsatz [3, 4, 22].

Diese Frage ist nicht trivial, denn die beiden Bewegungstypen scheinen auf kortikaler Ebene unterschiedlich repräsentiert zu sein [23]. Es gibt Hinweise, dass der Einsatz von Objekten in zusätzlichen Aktivierungen, vor allem im Bereich des parietalen Kortex resultiert [6]. Andererseits scheint die starke Aktivierung in der erwähnten Bildgebungsstudie zum Spiegeltraining darauf zu beruhen, dass die Aufmerksamkeit auf die Dekodierung des visuellen Körperschemas gerichtet war [12]. Außerdem erfordert beispielsweise die Umsetzung von Greifbewegungen mentale räumliche Koordinaten-Transformationen, deren Bewältigung für Patienten eine zusätzliche Schwierigkeit darstellen kann [24, 25].

Aus diesen Gründen verzichten die Autoren im Rahmen der aktuellen Studie vollständig auf den Einsatz von Objekten. Es wird ein Therapieprotokoll verwendet, das Grundbewegungen mit feinmotorischen Variationsmöglichkeiten kombiniert. Bestimmte Positionen bzw. Konstellationen werden durch Zahlen kodiert und müssen auf (überwiegend) verbale Anforderung eingenommen werden. Durch die Wahl der Anzahl der Variationen kann der behandelnde Therapeut den Grad der Anforderung dem aktuellen Leistungsniveau des Patienten anpassen und dokumentieren.

### **Was macht die betroffene Extremität?**

Die Handlungsanweisung für die nicht-betroffene Extremität bestimmt das kinästhetische Perzept bei der Therapiedurchführung. Auch hier existieren verschiedene Varianten der Therapiedurchführung:

- Passive Bewegung der betroffenen Extremität (in gleicher Art und Weise wie die nicht-betroffene Extremität)
- Aktive Bewegung der betroffenen Extremität „so gut wie es geht“
- Keine Bewegung der betroffenen Extremität

Streng genommen sind diese Unterschiede nur für die Patienten relevant, die eine mehr oder weniger ungestörte propriozeptive Wahrnehmung haben. Bei diesen Patienten kommen bei der (aktiven oder passiven) Mitbewegung der betroffenen Extremität zwei verschiedene Effekte zusammen, die, jeder für sich, bereits einen positiven Effekt zu haben scheinen: Die bilaterale Bewegung und die gespiegelte visuelle Rückkopplung. Letztere entspräche in ihrer Effektstärke in etwa der des mentalen Trainings. Ob die Summation beider Effekte einen zusätzlichen additiven

Effekt hat, ist unklar. Vorläufige Daten einer Düsseldorfer Studie zeigen interessanterweise keine Überlegenheit des bilateralen Spiegeltrainings gegenüber einer reinen mentalen Trainingsstrategie [26]. Auch zeigen beide eingangs erwähnten Bildgebungsstudien des Autors die klaren kontralateralen Aktivierungen bei völliger Immobilisierung der jeweils nicht aktiven Extremität [12, 13].

Zusätzlich ist zudem der Kontext des Einsatzes des Spiegeltrainings zu beachten. Soll die Wirksamkeit dieses Therapieverfahrens im Rahmen einer kontrollierten Studie nachgewiesen werden, muss sichergestellt werden, dass ein möglicher Unterschied zwischen beiden Therapiegruppen allein durch die visuelle Rückkopplung verursacht wird. Aus diesem Grund wurde in der aktuellen Studie auf den möglicherweise zusätzlichen Effekt der passiven Mitbewegung verzichtet. Schließlich bestehen auch rein pragmatische Randbedingungen. Eine passive Mitbewegung der Extremität durch den Therapeuten ist natürlich wesentlich anspruchsvoller und bindet möglicherweise Kapazitäten und Aufmerksamkeit, die andernfalls auf die Bewegungsausführung des Patienten gerichtet werden kann.

Aus diesen Gründen benutzen die Autoren im Rahmen der aktuellen Studie das Original-Protokoll von Altschuler [1], in dem die betroffene Extremität „so gut wie es geht“ aktiv mitbewegt wird. Die Erfahrungen sind durchaus positiv: Nicht wenige Patienten berichten, auch bei völliger Bewegungsunfähigkeit der betroffenen Extremität, bei Benutzung des Spiegels über ein Kribbelgefühl in der betroffenen Extremität – durchaus vergleichbar mit den sensiblen Empfindungen, die auch Ramachandran und Mitarbeiter für die armamputierten Patienten beschrieben [2].

### **Welche Patienten können profitieren?**

Der besondere Aspekt, den das Spiegeltraining in die motorische Rehabilitation einbringt, ist die gezielte Aktivierung des visuellen „Eingangskanals“. Daher ist dieses Verfahren vor allem für diejenigen Patienten interessant, bei denen über die traditionellen Therapieverfahren nur schwer eine Aktivierung der betroffenen Hemisphäre erreicht werden kann. Dies gilt insbesondere für schwer betroffene Patienten mit ausgeprägtem sensorischen Defizit.

Allerdings scheint die zerebrale Aktivierung in erheblichem Maße von der Aufmerksamkeit des Patienten abzuhängen. Daher ist ein sinnvoller Einsatz nur bei den Patienten möglich, die in der Lage sind, die Ausführungsanweisungen sinnvoll umzusetzen. Eine aphasische Störung ist dabei prinzipiell kein Hinderungsgrund, solange der Patient (beispielsweise durch Imitation) den Handlungsanweisungen folgen kann.

Die Rolle eines möglicherweise ebenfalls vorliegenden Neglects ist bislang unklar. Initial wurde das Spiegeltraining von der Arbeitsgruppe um Altschuler und Ramachandran explizit als Möglichkeit zur Therapie des Neglects postuliert, ohne dass

hierzu jedoch weitergehende Daten publiziert wurden [27]. In der praktischen Durchführung zeigt sich, dass der Neglect nicht so ausgeprägt sein darf, dass es dem Patienten nicht mehr möglich ist, seine Aufmerksamkeit auf die gespiegelte Extremität zu lenken. Ob das Spiegeltraining darüber hinaus einen zusätzlichen Effekt auf die Neglect-Symptomatik hat, soll die detaillierte neuropsychologische Testung im Rahmen der laufenden Studie der Autoren zeigen.

### **Zusammenfassung und Ausblick**

Das Spiegeltraining ist ein neues Therapieverfahren insbesondere für schwer betroffene Patienten. Es gibt mittlerweile viele verschiedene Untersuchungen, die helfen, seine Wirksamkeit zu verstehen. Es fehlen aber noch aussagekräftige Daten, gerade auch zur Optimierung des Therapieprotokolls und der geeigneten Patienten. Möglicherweise kann die von den Autoren aktuell durchgeführte Studie einige dieser benötigten Daten liefern.

### **Dank**

Die aktuellen Arbeiten werden durchgeführt mit finanzieller Unterstützung von „refonet“, dem Rehabilitations-Forschungsnetzwerk der LVA Rheinprovinz ([www.refonet.de](http://www.refonet.de) - Förderkennzeichen: 0315). Besonderer Dank gilt Herrn Dr. H. Pollmann und Herrn B. Wild für wichtige Anregungen im Design der aktuellen Studie sowie Herrn Dr. T. Wullen und Frau Dr. J. Küst für fundamentale Unterstützung bei der aktuellen Studiendurchführung.

## Literatur

- [1] Altschuler, E.L., Wisdom, S.B., Stone, L., Foster, C., Galasko, D., Llewellyn, D.M. & Ramachandran, V.S. (1999). Rehabilitation of hemiparesis after stroke with a mirror. *Lancet*, 353, 2035-2036.
- [2] Ramachandran, V.S. & Rogers-Ramachandran, D. (1996). Synaesthesia in phantom limbs induced with mirrors. *Proc Royal Soc London - B: Biol Sci*, 263, 377-386.
- [3] Stevens, J.A. & Stoykov, M.E. (2003). Using motor imagery in the rehabilitation of hemiparesis. *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation*, 84, 1090-1092.
- [4] Stevens, J.A. & Stoykov, M.E.P. (2004). Simulation of bilateral movement training through mirror reflection: A case report demonstrating an occupational therapy technique for hemiparesis. *Top Stroke Rehabil*, 11, 59-66.
- [5] Sathian, K., Greenspan, A.I. & Wolf, S.L. (2000). Doing it with mirrors: a case study of a novel approach to neurorehabilitation. *Neurorehabil Neural Repair*, 14, 73-76.
- [6] Buccino, G., Binkofski, F., Fink, G.R., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., Seitz, R.J., Zilles, K., Rizzolatti, G. & Freund, H.J. (2001). Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: an fMRI study. *Eur J Neurosci*, 13, 400-404.
- [7] Iacoboni, M., Woods, R.P., Brass, M., Bekkering, H., Mazziotta, J.C. & Rizzolatti, G. (1999). Cortical mechanisms of human imitation. *Science*, 286, 2526-2528.
- [8] Stephan, K.M., Fink, G.R., Passingham, R.E., Silbersweig, D., Ceballos-Baumann, A.O., Frith, C.D. & Frackowiak, R.S. (1995). Functional anatomy of the mental representation of upper extremity movements in healthy subjects. *J Neurophysiol*, 73, 373-386.
- [9] Decety, J., Perani, D., Jeannerod, M., Bettinardi, V., Tadary, B., Woods, R., Mazziotta, J.C. & Fazio, F. (1994). Mapping motor representations with positron emission tomography. *Nature*, 371, 600-602.
- [10] Grèzes, J. & Decety, J. (2001). Functional Anatomy of Execution, Mental Simulation, Observation and Verb Generation of Actions: A Meta-Analysis. *Hum Brain Map*, 12, 1-19.
- [11] Parsons, L.M., Gabrieli, J.D., Phelps, E.A. & Gazzaniga, M.S. (1998). Cerebrally lateralized mental representations of hand shape and movement. *J Neurosci*, 18, 6539-6548.
- [12] Dohle, C., Kleiser, R., Seitz, R.J. & Freund, H.-J. (2004). Body scheme gates visual processing. *J Neurophysiol*, 91, 2376-2379.
- [13] Dohle, C., Stephan, K.M., Kleiser, R., Valvoda, J.T., Tellmann, L., Hefter, H., Seitz, R.J., Zilles, K. & Freund, H.-J. (2002). Movements of a right or left virtual arm synchronous to one's own arm movements cause lateralized precuneal activations. In *Society for Neuroscience: Orlando*.
- [14] Liepert, J., Tegenthoff, M. & Malin, J. (1995). Changes of cortical motor area size during immobilization. *Electroenceph Clin Neurophysiol*, 97, 382-386.
- [15] Ostendorf, C. & Wolf, S.L. (1981). Effect of forced use of the upper extremity of a hemiplegic patient on changes in function. *J Amer Phys Ther Assoc*, 61, 1022-1028.
- [16] Bauder, H., Taub, R. & Miltner, W. (2001). *Behandlung motorischer Störungen nach Schlaganfall. Die Taubsche Bewegungsinduktionstherapie*. Hogrefe Verlag: Göttingen, Bern, Toronto, Seattle.
- [17] Yaguez, L., Nagel, D., Hoffman, H., Canavan, A.G., Wist, E. & Homberg, V. (1998). A mental route to motor learning: improving trajectorial kinematics through imagery training. *Behavioural Brain Research*, 90, 95-106.
- [18] Page, S.J., Levine, P., Sisto, S.A. & Johnston, M.V. (2001). Mental practice combined with physical practice for upper-limb motor deficit in subacute stroke. *Physical Therapy*, 81, 1455-1462.
- [19] Yoo, E., Park, E. & Chung, B. (2001). Mental practice effect on line-tracing accuracy in persons with hemiparetic stroke: a preliminary study. *Arch Phys Med Rehabil*, 82, 1213-1218.
- [20] Cauraugh, J. & Summers, J. (2005). Neural plasticity and bilateral movements: A rehabilitation approach for chronic stroke. *Prog Neurobiol*, 75, 309-320.
- [21] Hesse, S., Schulte-Tigges, G., Konrad, M., Bardeleben, A. & Werner, C. (2003). Robot-assisted arm trainer for the passive and active practice of bilateral forearm and wrist movements in hemiparetic subjects. *Arch Phys Med Rehabil*, 84, 915-920.
- [22] Rothgangel, A. & Morton, A. (2004). Schlaganfall-Rehabilitation: Spiegeltherapie. *Illusion mit Erfolg. physiopraxis*, 44-47.
- [23] Hanna-Pladdy, B., Daniels, S., Fieselman, M., Thompson, K., Vasterling, J., Heilman, K. & Foundas, A. (2001). Praxis lateralization: errors in right and left hemisphere stroke. *Cortex*, 37, 219-230.
- [24] Binkofski, F., Buccino, G., Dohle, C., Seitz, R.J. & Freund, H.J. (1999). Mirror agnosia and mirror ataxia constitute different parietal lobe disorders. *Ann Neurol*, 46, 51-61.
- [25] Ramachandran, V., Altschuler, E. & Hillyer, S. (1997). Mirror agnosia. *Proc Biol Sci*, 264, 645-647.
- [26] Müller, K., Bütefisch, C.M., Körber, B., Netz, J., Seitz, R.J. & Hömberg, V. (2005). Kraft durch Imagination: Über die Wirksamkeit von mentalem re-

petitiven Training. Gemeinsame Jahrestagung der DGNKN und der DGNR, München. P106.

- [27] Ramachandran, V.S., Altschuler, E.L., Stone, L., Al-Aboudi, M., Schwartz, E. & Siva, N. (1999). Can mirrors alleviate visual hemineglect? Medical Hypotheses, 52, 303-305.



Dr. Christian Dohle, M. Phil.  
Neurologisches Rehabilitationszentrum Godeshöhe  
Waldstraße 2-10, 53177 Bonn

E-Mail: [dohle@godeshoehe.de](mailto:dohle@godeshoehe.de)



Antje Nakaten  
Neurologisches Rehabilitationszentrum Godeshöhe  
Waldstraße 2-10, 53177 Bonn

E-Mail: [Therapieforschung@godeshoehe.de](mailto:Therapieforschung@godeshoehe.de)



Judith Püllen  
Neurologisches Rehabilitationszentrum Godeshöhe  
Waldstraße 2-10, 53177 Bonn

E-Mail: [Therapieforschung@godeshoehe.de](mailto:Therapieforschung@godeshoehe.de)



Dr. Christian Rietz  
Zentrum für Evaluation und Methoden  
Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn  
Bonner Talweg 57, 53113 Bonn

[www.zem.uni-bonn.de](http://www.zem.uni-bonn.de)

E-Mail: [ups138@psychologie.uni-bonn.de](mailto:ups138@psychologie.uni-bonn.de)



Prof. Dr. Hans Karbe  
Neurologisches Rehabilitationszentrum Godeshöhe  
Waldstraße 2-10  
53177 Bonn

E-Mail: [h.karbe@godeshoehe.de](mailto:h.karbe@godeshoehe.de)