

# Anforderungsanalyse für die nutzergerechte Gestaltung eines Bedienkonzepts für robotergestützte Telerehabilitationssysteme in der motorischen Schlaganfallrehabilitation

Ekaterina Ivanova<sup>1</sup>, Erik Freydank<sup>1</sup>, Josy Achner<sup>2</sup>, Jasmin Klemke<sup>2</sup>, Mareike Schrader<sup>3</sup>, Sarah Wernicke<sup>3</sup>, Beatrice Bryl<sup>3</sup>, Michael Schauer<sup>4</sup>, Henning Schmidt<sup>5</sup>, Michael Jöbges<sup>2</sup>, Stefan Hesse<sup>3</sup>, Jörg Krüger<sup>1, 5</sup>

Forschungsgruppe Rehabilitationsrobotik (IPK/TU Berlin), Fachgebiet Industrielle Automatisierungstechnik, Technische Universität Berlin<sup>1</sup>

Fachabteilung Neurologie, Brandenburg Klinik, Bernau bei Berlin<sup>2</sup>

Forschungsgruppe Neurologische Rehabilitation, Centrum für Schlaganfallforschung (CSB), Charité – Universitätsmedizin Berlin<sup>3</sup>

MEYTEC GmbH Informationssysteme, Werneuchen bei Berlin<sup>4</sup>

Forschungsgruppe Rehabilitationsrobotik (IPK/TU Berlin), Bereich Automatisierungstechnik, Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK)<sup>5</sup>

## **Zusammenfassung**

Die motorische Rehabilitationsbehandlung nach Schlaganfall ist sehr langwierig, eine Fortsetzung der Übungstherapiebehandlung nach Entlassung aus der Rehaklinik ist daher für jeden Patienten von großer Bedeutung für einen dauerhaften und nachhaltigen Therapieerfolg. Mangels geeigneter Möglichkeiten der häuslichen Therapiedurchführung und -unterstützung von Patienten, bestehen hierbei in der Praxis große Defizite. Eine Möglichkeit der Verbesserung dieser Situation bietet ein Telerehabilitationssystem. Dabei spielt ein intuitives Bedienkonzept, welches für den Patienten leicht verständlich und zugänglich ist, eine wichtige Rolle. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse der therapeutischen Anforderungsanalyse an das multimodale robotergestützte System für motorische Rehabilitation nach Schlaganfall in häuslicher Umgebung dargestellt.

# 1 Einleitung

Der Schlaganfall ist eine der dominierenden Ursachen für erworbene Behinderungen (Heuschmann et al., 2010). Das primäre Therapieziel nach einem Schlaganfall ist das Wiedererlangen der Willkürmotorik und damit verbunden das Wiedererlernen von Alltagsbewegungen, als Basis zur Rückkehr in die Selbstständigkeit des Patienten. Der Rehabilitationsprozess dauert oft mehrere Monate. Manchmal sind sogar Jahre notwendig, um eine bedeutende motorische Erholung zu erzielen. In stationären Rehakliniken durchlaufen die Patienten jeden Tag ein intensives Rehabilitationsprogramm. Nach der Entlassung aus den Kliniken haben schwerbetroffene Patienten in der Regel ein minimales Niveau der motorischen Funktionen erreicht. Allerdings muss zur weiteren motorischen Verbesserung so oft und intensiv wie möglich weiter trainiert werden, was in der häuslichen Umgebung oft nur bedingt möglich ist. Ohne selbstständiges Rehabilitationstraining im Anschluss an die Phase der stationären Klinik ist eine Verschlechterung der ADL (Activities of Daily Living) und der motorischen Funktionen zu beobachten (Langhammer et al., 2003). Eine hochqualitative und motivierende Telerehabilitation in häuslicher Umgebung kann eine Lösung dafür sein. In der systematischen Review von Johansson und Wild (2011) wird aufgezeigt, dass Telerehabilitation eine hohe Akzeptanz und Zufriedenheit bei Patienten und Therapeuten findet.

Die meisten existierenden Telerehabilitationssysteme basieren auf der Interaktion zwischen dem Patienten und Therapeuten durch Monitoring- und Videokonferenz-Software und/oder auf den Übungen in einer virtuellen Umgebung (Johansson & Wild, 2011; Laver et al., 2013). Diese Systeme basieren oft auf dem Prinzip: Der Patient bekommt Anweisungen vom Therapeuten und folgt den vorgeschriebenen Aktivitäten während eines vorbestimmten Zeitraums. Die ausgeführten Maßnahmen werden durch ein technisches System überwacht und die Ergebnisse für die therapeutische Beurteilung dargestellt. Nur wenige Telerehasysteme beinhalten ein haptisches Therapieübungsgerät für die häusliche Anwendung (Zhang et al., 2015; Weiss et al., 2014; Linder et al., 2013), obwohl das gerätgestützte Training eine zentrale Rolle in der modernen neurologischen Rehabilitation spielt und in mehreren Studien als sehr effektiv bestätigt wurde (Hesse et al., 2008; Prange et al., 2006).

Ivanova und Kollegen (2015) haben ein Konzept sowie das Design für ein multimodales robotergestütztes Telerehabilitationssystem vorgeschlagen. Das System wird von den Therapeuten in der Klinik und von den Patienten zu Hause angewendet und soll an beide Nutzergruppen angepasst werden. Dabei spielen die Anforderungen an das Bedien- und Navigationskonzept insbesondere für die Patientenstation eine entscheidende Rolle, da der Patient mit dem System in der häuslichen Umgebung möglichst selbständig umgehen soll. In der Regel sind, aufgrund des Schlaganfalls, die kognitiven und motorischen Fähigkeiten der Patienten eingeschränkt. Daher werden die Anforderungen für beide Stationen (Patienten- und Therapeutenstation) durch den Therapeuten ermittelt. Der Fokus dieses Beitrags liegt auf der Anforderungsanalyse eines Nutzerinterfaces für das vorhandene Rehabilitationssystem.

## Haptische Telerehabilitation

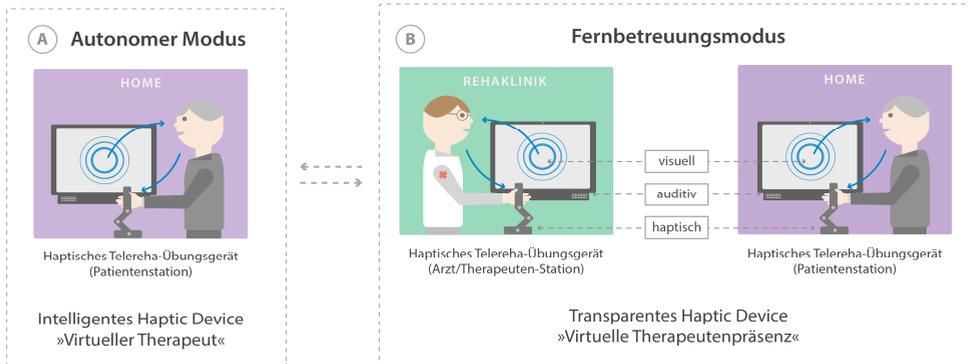


Abbildung 1: Konzept des haptischen robotergestützte Telerehabilitationssystem: A - Autonomer Modus; B - Fernbetriebsmodus

## 2 Multimodale Telerehabilitationssystem

Das Konzept des multimodalen robotergestützten Telerehabilitationssystems wird in Abbildung 1 veranschaulicht. Das System besteht aus der Patienten- (violett) und Therapeutenstation (grün). Jede der beiden Stationen beinhaltet ein haptisches Trainingsgerät, Anzeige- und Eingabegeräte sowie Software für eine haptische und audio-visuelle Interaktion. Für das motorische Training werden im System zwei verschiedene Therapiegeräte eingesetzt: i) Bi-Manu-Track (Hesse et al., 2003) und ii) Reha Slide (Hesse et al., 2008), beide von Fa. Reha-Stim Medtec, Berlin. Beide Geräte sind relativ kostengünstig und einfach zu bedienen, was für die häusliche Anwendung vorteilhaft ist. Die Therapeutenstation soll Software zum Monitoring des Patienten enthalten. Hierbei soll neben dem Therapiefortschritt und der Übungskonfiguration die Verwaltung der elektronischen Patientenakten implementiert werden. Die Patientenstation soll Spiele bzw. Übungen des Rehabilitationstraining und Feedback zur Trainingsleistung umfassen.

Das System kann vom Patienten im *Autonomen Modus* (Abbildung 1, links) oder in 1:1-Interaktion mit dem Therapeuten oder Arzt im *Fernbetriebsmodus* (Abbildung 1, rechts) verwendet werden. Da der Patient im Autonomen Modus zu Hause allein übt, ist es wichtig, dass neben einem benutzerfreundlichen Interface die Fähigkeiten des Patienten vom System erkannt und automatisiert adaptiv an seinen Lernfortschritt angepasst werden. Im Fernbetriebsmodus liegt der Fokus auf der transparenten Interaktion zwischen dem Patienten und dem Therapeuten. Durch eine haptische Echtzeit-Kopplung kann der Therapeut direkt mit dem Patienten üben, ihm die Bewegungen vorgeben und dabei „spüren“, wie die Bewegungen des Patienten ablaufen.

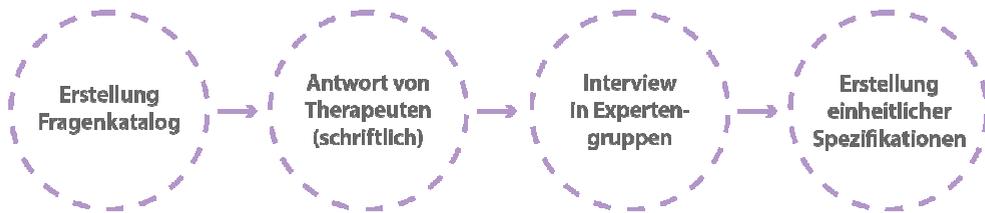


Abbildung 2: Methodische Vorgehensweise bei der Anforderungsanalyse

### 3 Methode

Das Konzept des beschriebenen Telerehabilitationssystems basiert auf den Vorarbeiten von Fraunhofer IPK und TU Berlin (Steingraber et al., 2013) und der Firma MEYTEC (Vogiatzaki et al., 2014) in den Bereichen Rehabilitationsrobotik und Telemedizin. Beide Systeme wurden im ersten Schritt analysiert, um anschließend ein Konzept zur Erfassung der therapeutischen Anforderungen zu entwickeln. Daraus entstand ein Zustandsdiagramm der jeweiligen Patienten- und Therapeutenstation, welches die Struktur des Systems, mögliche Zustände des Interfaces und Übergänge beschreibt. Um das System aus therapeutischer Sicht zu spezifizieren, wurden methodisch ein qualitatives, teilstandardisiertes Experten-Interview, sowie eine schriftliche Befragung gewählt. Die Vorgehensweise ist in Abbildung 2 schematisch zusammengefasst. Zunächst wurde ein Fragenkatalog mit offenen Antwortmöglichkeiten entwickelt, welcher alle Zustände und Funktionen des Zustandsdiagramms umfasst. Die Fragen aus dem Katalog wurden von fünf Therapeuten aus zwei Rehabilitationskliniken in schriftlicher Form beantwortet. Um die Ergebnisse möglichst genau zu erörtern und Missverständnisse zu vermeiden, wurden anschließend mündliche Interviews in zwei Experten-Gruppen (jeweils zwei bzw. drei Personen pro Gruppe) durchgeführt. Während der Befragung wurden die Antworten unter den Therapeuten der jeweiligen Gruppe diskutiert mit dem Ziel, einen Konsens zu erreichen. Die Ergebnisse beider Interviews wurden protokolliert und in einer Spezifikation zusammengefasst.

## 4 Ergebnisse der Anforderungsanalyse

### 4.1 Patientenstation

Grundsätzlich ist es bei der Patientenstation wichtig, die Navigation und Bedienung so einfach und verständlich wie möglich zu halten. Das System soll sich an die Fähigkeiten des Patienten adaptiv anpassen. Darüber hinaus soll die Parametrisierung und Kalibrierung des Systems automatisch erfolgen. Die Bedienung erfolgt durch Tasten oder über einen Touchscreen. Dabei besteht die Anforderung, die Bedienelemente und Schriftgrößen so darzustellen, dass auch Patienten mit Sehschwäche und motorischen Beeinträchtigungen das Interface problemlos

bedienen können. Zudem soll die Anzahl der Bedienelemente auf ein Minimum reduziert werden.

Die Patientenstation ist im autonomen Modus hauptsächlich darauf ausgelegt, den Patienten beim Training zu unterstützen. Vor jeder Übungseinheit wird eine Kalibrierung durchgeführt. Mit den erfassten Daten passt sich das System an die Leistungsstand des Patienten an und übermittelt zur weiteren Auswertung die Daten an den Therapeuten. Im Anschluss an den Test kann der Patient zwischen vordefinierten Übungen wählen. Als Instruktion folgt eine kurze Animation, welche die Übung beschreibt.

Während der Übung soll der Patient ein multimodales Feedback zu seiner Leistung erhalten, um das motorische Lernen zu fördern, die Motivation zu steigern und um falsche Körperhaltungen vorzubeugen. Während der Übung wird der Patient haptisch vom Rehabilitationsgerät unterstützt und erhält zusätzlich eine Leistungsrückmeldung, sowie visuelles Feedback durch eine Bewegungsvisualisierung.

Weiterhin soll dem Patienten eine mögliche fehlerhafte Körperhaltung aufgezeigt werden. Dabei ist es wichtig, das Feedback so zu gestalten, dass es für den Patienten zu keiner Verwirrung kommt. Nach dem Training soll es zur längerfristigen Motivation eine Rückmeldung (z.B. Sterne, Smileys) geben, welche die Patientenleistung abstrakt abbildet. Darüber hinaus gibt es eine Übungsstatistik, welche die Leistung der Patienten über mehrere Zeitabschnitte widerspiegelt.

Im Fernbetreuungsmodus ist zunächst nur die Erinnerung an den nächsten Onlinetermin zu sehen. Um die Privatsphäre des Patienten zu schützen, hat nur dieser die Möglichkeit den Therapeuten anzurufen. Während der Onlinesession befindet sich auf der Bedienoberfläche neben der Bewegungsvisualisierung ein Fenster für die Videokommunikation mit dem Therapeuten.

## 4.2 Therapeutenstation

Die Therapeuten-Bedienoberfläche sollte so gestaltet sein, dass der Therapeut zunächst eine Übersicht auf die Patientendaten, sowie die bereits vereinbarten Onlinetermine erhält.

Beim Anlegen eines Datenbankeintrags für einen neuen Patienten wird eine neue Patientenakte schrittweise ausgefüllt. Neben personenbezogenen Daten werden Diagnosen, Zielsetzungen und klinische Tests in das System eingetragen. Dabei wählt der Therapeut aus vordefinierten Listen aus, um die Patientenakte in kurzer Zeit und mit geringem Aufwand anzulegen. Nicht vordefinierte Informationen (beispielsweise Nebendiagnosen) lassen sich durch freie Textfelder in das System integrieren. Anschließend wird der Therapieplan erstellt und Trainingseinheiten konfiguriert, welche das System ebenfalls automatisiert vordefiniert. Der Therapeut hat jederzeit die Möglichkeit diese Übungen anhand der Parameter: Level, Einheiten, Anzahl und Kraft individuell zu gestalten.

Aus den Trainingseinheiten der Patienten werden Daten erhoben und analysiert. Erfasst werden: Bewegungsausmaß, Anzahl der Bewegungen, Kraft, Aktivität, Tempo, Symmetrie und Genauigkeit, welche in grafischer Form (z.B. Balkengramm) ausgegeben werden. Daraus sol-

len Mittelwerte gebildet werden, welche auf der Zeitachse skalierbar sind. Somit gelangt der Therapeut von der Wochenansicht über die Tagesansicht bis hin zur einzelnen Übung, um das Training des Patienten genau zu analysieren.

Im Fernbetreuungsmodus steht der Therapeut in audio-visueller, sowie haptischer Interaktion zum Patienten. Die Bedienoberfläche sollte modular aufgebaut sein, sodass der Therapeut das Videobild, die Patientenakte, die Statistikansicht, sowie den Übungskonfigurator in getrennten in getrennten Ansichten auf seinem Bildschirm verfügbar hat. Diese Fenster lassen sich Ein- und Ausblenden, damit trotz der Informationsfülle eine Übersichtlichkeit gewährleistet wird.

## 5 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde ein Konzept für die Telerehabilitation nach Schlaganfall dargestellt und die therapeutischen Anforderungen, Struktur eines Interfaces sowie die Bedienung und Navigation des Gesamtsystems, bestehend aus Patienten- und Therapeutenstation, zusammengefasst. Anforderungen wurden durch Einbeziehung zukünftiger Nutzer spezifisch für das dargestellte Konzept definiert. Das Vorgehen und die erstellte Spezifikation geben sowohl eine Struktur als auch allgemeine Leitlinien zur Gestaltung ähnlicher Systeme im Bereich der Telemedizin vor. Nach der Festlegung von Anforderungen werden zur Entwicklung des Interfaces im nächsten Schritt Klick-Prototypen erstellt, die frühzeitig sowohl mit klinischen Experten als auch mit Patienten als Endnutzern getestet werden.

### Literaturverzeichnis

- Hesse, S., Mehrholz, J., Werner, C. (2008). Roboter und gerätegestützte Rehabilitation nach Schlaganfall. *Deutsches Ärzteblatt*, 18, 330–336.
- 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. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 84(6), 915–920.
- Hesse, S., Werner, C., Pohl, M., Mehrholz, J., Puzich, U., Krebs, H.I. (2008). Mechanical arm trainer for the treatment of the severely affected arm after a stroke: a single-blinded randomized trial in two centers. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 87(10), 779–788.
- Heuschmann, P.U., Busse, O., Wagner, M., Endres, M., Villringer, A., Röther, J., Berger, K. (2010). Schlaganfallhäufigkeit und Versorgung von Schlaganfallpatienten in Deutschland. *Aktuelle Neurologie*, 37(07), 333–340.
- Ivanova, E., Steingraber, R., Schmid, S., Schmidt, H., Hesse, S., Krüger, J. (2015). Design and Concept of a Haptic Robotic Telerehabilitation System for Upper Limb Movement Training after Stroke. *Rehabilitation Robotics (ICORR), 2015 IEEE International Conference on*, (in press).
- Johansson, T., Wild, C. (2011). Telerehabilitation in stroke care - a systematic review. *Journal of telemedicine and telecare*, 17.1, 1-6.
- Langhammer, B., Stanghelle, J.K. (2003). Bobath or Motor Relearning Programme? A follow-up one and four years post stroke. *Clinical Rehabilitation*, 17(7), 731 – 734.

- Laver, K. E., Schoene, D., Crotty, M., George, S., Lannin, N. A., Sherrington, C. (2013). Telerehabilitation services for stroke. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 12.
- Linder, S. M., Reiss, A., Buchanan, S., Sahu, K., Rosenfeldt, A. B., Clark, C., Alberts, J. L. (2013). Incorporating robotic-assisted telerehabilitation in a home program to improve arm function following stroke: a case study. *Journal of neurologic physical therapy: JNPT*, 37(3), 125-132.
- Prange, G.B., Jannink, M. J., Groothuis-Oudshoorn, C.G., Hermens, H.J., Ijzerman, M. J. (2006). Systematic review of the effect of robot-aided therapy on recovery of the hemiparetic arm after stroke. *Journal of rehabilitation research and development*, 43(2), 171-184.
- Steingraber, R., Schmidt, H., Kruger, J. (2012). Optimal torque adaptation in bimanual assisted rehabilitation. *Humanoid Robots (Humanoids)*, 2012 12th IEEE-RAS International Conference on IEEE, 84-89.
- Vogiatzaki, E., Gravezas, Y., Dalezios, N., Biswas, D., Cranny, A., Ortmann, S., Langendorfer, P., Lamprinos, I., Giannakopoulou, G., Achner, J., Klemke, J., Jost, H. (2014). Telemedicine system for game-based rehabilitation of stroke patients in the FP7-“StrokeBack” project. *Networks and Communications (EuCNC)*, 2014 European Conference on, 1-5.
- Weiss, P., Heldmann, M., Gabrecht, A., Schweikard, A., Münte, T. M., Maehle, E. (2014). A low cost tele-rehabilitation device for training of wrist and finger functions after stroke. *Proceedings of the 8th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, 422-425.
- Zhang, S., Guo, S., Gao, B., Hirata, H., Ishihara, H. (2015). Design of a Novel Telerehabilitation System with a Force-Sensing Mechanism. *Sensors*, 15(5), 11511-11527.

### **Kontaktinformationen**

Ekatarina Ivanova

Technische Universität Berlin, Fachgebiet Industrielle Automatisierungstechnik

Pascalstr. 8-9, Sekr. PTZ 5, 10587 Berlin, Deutschland

ivanova@iwf.tu-berlin.de