

Chancen von akustischem Feedback für die motorische Rehabilitation am Beispiel des „Guidance-Effekt“

Dominik Fuchs, Martin Knauer, Petra Friedrich

Hochschule für angewandte Wissenschaften, 87435 Kempten

E-Mail: dominik.fuchs@hs-kempten.de

Motorisches Lernen

Motorisches Lernen ist die relativ dauerhafte Veränderung eines Bewegungsablaufes infolge körperlicher Übung [1]. Eine zentrale Rolle kommt dem Bewegungslernen und dem damit einhergehenden Prinzip neuronaler Plastizität in der neurologischen Rehabilitation zu, etwa beim Wiedererlernen des Gehens oder bei der Sturzprophylaxe durch Gleichgewichtstrainings [2]. Bei jeglicher Form körperlichen Übens ist der Lernende auf sensorische Informationen angewiesen, anhand derer er erkennt, ob er sein Ziel erreicht hat, und die ihm die Basis liefern, Änderungen an der Bewegung vorzunehmen und dadurch folgende Bewegungsausführungen zu verbessern.

Arten von Feedback

Dabei wird zwischen intrinsischem und extrinsischem Feedback unterschieden [1; 3]. Während ersteres die inhärenten Rückmeldungen ohne äußere Hilfsmittel meint, bezeichnet das extrinsische (engl.: augmented) Feedback die externe Erweiterung der Bewegungsinformation. Diese können beispielsweise von einem Therapeuten oder einem medizintechnischen Gerät bereitgestellt werden. Ist das intrinsische Feedback durch einen Unfall oder eine Erkrankung, wie etwa einen Schlaganfall, eingeschränkt, wird als Unterstützung für die Wiedererlangung motorischer Fähigkeiten in der Therapie (z.B. Physiotherapie) häufig auf erweitertes Feedback zurückgegriffen. Diese Form der Rückmeldung – wenn sie parallel zur Übung (im Gegensatz zu hinterher) bereitgestellt wird – kann erwiesenermaßen das Erlernen motorischer Fähigkeiten beschleunigen, indem es zusätzliche Informationen zum Bewegungsablauf bietet und so die Fehlerrate signifikant verringern kann [4–6].

Der Guidance-Effekt

Bei der Bereitstellung von zusätzlichen Informationen stellt sich naturgemäß die Frage nach deren Anwendung, etwa der Häufigkeit, Genauigkeit oder der Sinnesmodalität, in der die Rückmeldung gegeben werden soll. Hierbei kommt den Transfer- und Retentionstests (in klinischen Studien: Follow Up) eine wichtige Bedeutung zu, da sich in ihnen zeigt, ob und in welchem Umfang der Lerneffekt aus dem Training mit erweitertem Feedback auch noch in einer Transfersituation nach dem Lernen zu erkennen ist [7]. In diesem Zusammenhang spricht man vom Guidance-Effekt (auch Leiteffekt), wenn die Bereitstellung von zu viel externem, verstärktem Feedback während der Lernphase dazu führt, dass der Lernende eine Abhängigkeit von dieser Feedback-Quelle entwickelt. Dies kann zwar zu einer besseren Leistung während des Trainings, aber zu verminderter Leistung bei nachgeschalteten Überprüfungen

führen [7; 8], da Lernende sich mitunter zu sehr auf das extrinsische Feedback verlassen und eine signifikante Verschlechterung der Performance zeigen, sobald das Feedback entfernt wird (Abbildung 1). Darüber hinaus kann es sein, dass das Lernen mit intensivem erweiterten Feedback an ganz bestimmte Konditionen gebunden ist und sich dadurch nicht übertragen lässt [1; 4].

Der Lernende verlässt sich oft auf das vermeintliche hilfreichste Feedback (häufig das zusätzliche), weil ihm das bereits vorgibt, was der optimale Bewegungsvorgang ist und wie er selbst davon abweicht [9]. Bei motorischen Lernen ist dies aber problematisch, weil dadurch körpereigenes Feedback – etwa die Tiefensensibilität, bzw. Propriozeption – vernachlässigt wird. Damit motorisches Lernen aber dauerhaft ist, sollte körpereigenes Feedback Teil der Repräsentation der zu lernenden Bewegung sein – schließlich ist das diejenige Sinnesmodalität, auf die sich der Lernende nach der Übung verlassen muss. Dementsprechend gibt es Studien, die zeigen, dass bei Übungen, bei denen das erweiterte Feedback nur stellenweise gegeben wurde, bzw. die Informationsfrequenz geringer war, der Lernvorgang zwar langsamer ist, der Lerneffekt danach jedoch länger anhält [10–12].

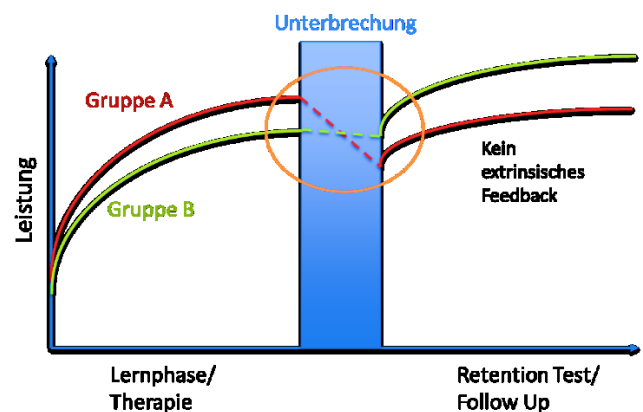


Abbildung 1: Schematische Darstellung eines potentiellen Guidance-Effektes im Verlauf einer Studie mit zwei Gruppen: Gruppe 1 (rot) „Visuelles Feedback“ und Gruppe 2 (grün) „Akustisches Feedback“.

Audiofeedback in motorischer Rehabilitation

Relevante experimentelle Forschung über die Wirkung von erweitertem Feedback fußt meist auf Arbeiten mit der visuellen Sinnesmodalität oder verbalen Anweisungen eines Trainers/Therapeuten [4]. Die Annahme, dass die Langzeitwirkung von Feedback basierend auf der sensorischen Modalität, in der es präsentiert wird, variieren kann, ist eine relativ neue [16]. Auch in der motorischen

Rehabilitation spielt akustisches Feedback im Vergleich zu visuellem Feedback derzeit noch eine marginale Rolle. Dabei gibt es gerade in der Neuroreha häufig Patienten, die ohnehin bereits eine visuelle Abhängigkeit – über die geläufige Dominanz des Sehsinnes hinaus – aufweisen. Diese äußert sich bei den Patienten in der Verwendung visueller Fixpunkte zur Orientierung und durch Gleichgewichtsprobleme, sobald diese Fixpunkte nicht mehr vorhanden sind, etwa bei Dunkelheit oder in Menschenmengen [13]. Häufig zeigen Studien in Retentionstests bessere Erfolge, wenn Probanden zunächst mit geöffneten und später mit geschlossenen Augen trainiert haben [14].

Visuelle Wahrnehmung ist – anders als auditive Sinneswahrnehmung – zudem ein fester Bestandteil von Motorik, was sich etwa in seiner zentralen Rolle für den Erhalt des Gleichgewichtes zeigt [15]. Verwendet man mithin Klänge als Modalität extrinsischen Feedbacks, so können diese dem Patienten potentiell zusätzliche Informationen liefern, ohne die Aufmerksamkeit des visuellen Apparates in Anspruch zu nehmen. Bei visuellem Feedback muss der Patient zudem meist auf einen Bildschirm oder den Therapeuten blicken und kann seine Bewegung oder Lage im Raum nicht visuell einschätzen [16; 17].

Klanginformation wird des weiteren unabhängig von den meisten intrinsischen Feedbackquellen wahrgenommen, so dass sie den Lerner weniger von seiner natürlichen Bewegungs- und Körpereigenwahrnehmung ablenkt. Die Bandbreite der Rückmeldung wird bei der Verwendung von Klängen also im Idealfall erweitert, ohne bereits vorhandenes intrinsisches Feedback zu überdecken [18].

Neben einer potentiellen Verringerung des Guidance-Effekt, und somit einem länger anhaltenden Lerneffekt, kann akustische Rückmeldung – insbesondere, wenn diese auch über musikalische Aspekte verfügt – aufgrund emotional-affektiver Wirkungen einige weitere Vorteile für therapeutisches Bewegungstraining haben, darunter eine gesteigerte Motivation und Compliance der Patienten [19; 20].

Eigene Testreihen

Im Rahmen des vom Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) geförderten Verbundprojektes BalThaSAR (ZF4021401ED5, Laufzeit 7/15 – 2/18) wurde ein Rehabilitationssystem weiterentwickelt, das neurologische Patienten bei der Wiederherstellung der reaktiven Balance unterstützen soll. Ein interdisziplinäres Team an der Hochschule für angewandte Wissenschaften in Kempten befasste sich im Zuge dessen mit der Entwicklung und Evaluation von Audiofeedback zur Rückmeldung der Körperschwerpunktlage der Anwender. Je nach Art des Therapieprogrammes erhielten Probanden ein visuelles und/oder akustisches Feedback für das Balancetraining. In bestimmten Teilübungen trainierten die Probanden mit geschlossenen Augen.

Zur Erzeugung des auditiven Feedbacks und der Entwicklung geeigneter Klangmodelle wurde zunächst ein

System aus Hard- und Softwarekomponenten anwendungsspezifisch bewertet und zusammengestellt. Dies bestand aus dem TheraTrainer „coro“ der Firma medica Medizintechnik zur sensorischen Erfassung des Körperschwerpunktes, der Software Python, welche die Messdaten in das Open Sound Control (OSC) Content Format konvertierte und zur akustischen Klangerzeugung weitergab. Die hieraus in Echtzeit generierten Audiosignale konnten dem Patienten über Kopfhörer zugeführt werden.

Ende 2016 und in der ersten Jahreshälfte 2017 wurden verschiedene Audiomodelle und Therapiemodule für das Balancetraining in mehreren Versuchsreihen mit 10, respektive 20 gesunden Teilnehmern evaluiert und optimiert. Im September 2017 folgten darauf aufbauend Machbarkeitstests mit Schlaganfallpatienten in einer neurologischen Klinik in Bad Aibling (siehe Abbildung 3), die zeigen konnten, dass der Ansatz auch im klinischen Kontext eine hohe Akzeptanz von Therapeuten und Patienten erfährt.

Im Zuge der Tests mit 10 gesunden Probanden wurde ersichtlich, dass unabhängig vom Klangmodell die Dauer für die Zielfindung mit visueller Unterstützung zwar von Beginn an kürzer war (d.h. eine schnellere Zielfindung), es jedoch weitgehend auf diesem Stand blieb, wohingegen die Zielfindung ohne visuelle Unterstützung zwar zu Beginn länger dauerte, aber stetig besser wurde, was in einer steileren Lernkurve mündete und womöglich auf einen stärkeren Lerneffekt bei einem Training ohne Visus deutet (siehe Abbildung 2). Dies hätte jedoch mit einem Transfertest untersucht werden müssen, was in diesem Fall aber nicht die Forschungsfrage war.

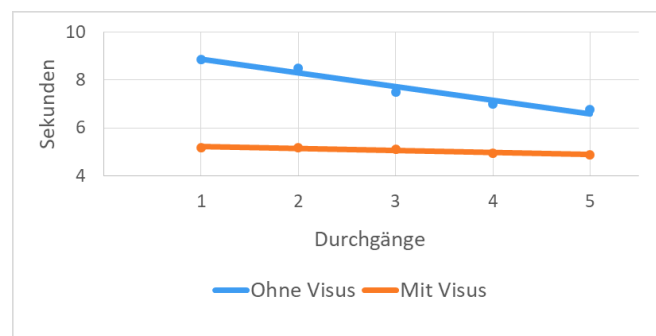


Abbildung 2: Lernkurve im zeitlichen Verlauf. Testreihe mit zehn Probanden.

Deutlich mehr als die Hälfte der Probanden und Patienten aller Testreihen meldeten verbal oder schriftlich zurück, dass sie beim Training mit visueller Unterstützung voll und ganz auf den Bildschirm fokussiert waren und die Übung von Beginn an als eher einfach empfunden wurde. Bei rein auditivem Feedback wurden Übungen hingegen häufig (und vor allem zu Beginn) als anstrengender wahrgenommen. Der Proband musste sich mehr konzentrieren und sich zusätzlich zum extrinsischen Feedback auch auf das körpereigene Feedback stützen.



Abbildung 3: Ein Patient trainiert sein Gleichgewicht ohne Visus und nur mit akustischer Rückmeldung. Das Bild entstand in der Schön Klinik in Bad Aibling.

Fazit

Bei der Verwendung von extrinsischem – und dabei vor allem visuellem – Feedback in der motorischen Rehabilitation ist darauf zu achten, dass der Proband oder Patient keine Abhängigkeit vom Feedback aufbaut, da dies den Lerneffekt (Transfer) negativ beeinflusst. Audiofeedback hat in der motorischen Rehabilitation ein großes Potential, da es nicht wie visuelles Feedback fester Bestandteil der Motorik ist und als erweitertes Feedback die Informationsbandbreite für den Lernenden erhöhen kann, ohne dabei intrinsisches Feedback zu unterdrücken.

Optimale Verfahren für die Anwendung von erweitertem Feedback sind noch nicht abschließend geklärt und können je nach Art der Aufgabe und der Feedback-Modalität stark variieren. Der Guidance-Effekt ist bei der Verwendung von akustischer Bewegungsinformation noch nicht hinreichend untersucht und es Bedarf größerer kontrollierter Studien, um die Lernvorteile von akustischem Feedback gegenüber anderen Sinnesmodalitäten zu belegen.

Danksagung

Die Arbeiten sind im Rahmen des ZIM Projekts BalThaSAR entstanden und wurden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert (ZF4021401ED5).

Für die Zusammenarbeit, Unterstützung und den technischen Support danken die Autoren der medica Medizintechnik GmbH aus Hochdorf, Feo Elektronik GmbH aus Ravensburg, sowie der Schön Klinik in Bad Aibling.

Literatur

- [1] Magill, R. A. und Anderson, D. J.: Motor learning and control: Concepts and applications. 10. Auflage. [New York, NY]: McGraw-Hill 2014.
- [2] Dobkin, B. H.: Strategies for stroke rehabilitation, *The Lancet Neurology* 3 (2004) H. 9. S. 528–536.
- [3] Schmidt, R. A. und Lee, T. D.: Motor control and learning: A behavioral emphasis. Champaign, Ill.: Human Kinetics 2011.
- [4] Sigrist, R.; Rauter, G.; Riener, R. und Wolf, P.: Augmented visual, auditory, haptic, and multimodal feedback in motor learning: A review, *Psychonomic bulletin & review* 20 (2013) H. 1. S. 21–53.
- [5] Todorov, E.; Shadmehr, R. und Bizzi, E.: Augmented Feedback Presented in a Virtual Environment Accelerates Learning of a Difficult Motor Task, *Journal of Motor Behavior* 29 (1997) H. 2. S. 147–158.
- [6] Wang, C.; Kennedy, D. M.; Boyle, J. B. und Shea, C. H.: A guide to performing difficult bimanual coordination tasks: Just follow the yellow brick road, *Experimental brain research* 230 (2013) H. 1. S. 31–40.
- [7] Salmoni, A. W.; Schmidt, R. A. und Walter, C. B.: Knowledge of results and motor learning: A review and critical reappraisal, *Psychological bulletin* 95 (1984) H. 3. S. 355–386.
- [8] Winstein, C. J.; Pohl, P. S. und Lewthwaite, R.: Effects of physical guidance and knowledge of results on motor learning: Support for the guidance hypothesis, *Research quarterly for exercise and sport* 65 (1994) H. 4. S. 316–323.
- [9] Ernst, M. O. und Bühlhoff, H. H.: Merging the senses into a robust percept, *Trends in cognitive sciences* 8 (2004) H. 4. S. 162–169.
- [10] Schmidt, R. A. und Wulf, G.: Continuous concurrent feedback degrades skill learning: Implications for training and simulation, *Human factors* 39 (1997) H. 4. S. 509–525.
- [11] Anderson, D. I.; Magill, R. A.; Sekiya, H. und Ryan, G.: Support for an explanation of the guidance effect in motor skill learning, *Journal of Motor Behavior* 37 (2005) H. 3. S. 231–238.
- [12] Winstein, C. J. und Schmidt, R. A.: Reduced frequency of knowledge of results enhances motor skill learning, *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 16 (1990) H. 4. S. 677–691.
- [13] Schädler, S.: Visuelle Abhängigkeit. In: Gleichgewicht und Schwindel (2016). S. 159–168: Elsevier 2016.

- [14] Hafström, A.; Malmström, E.-M.; Terdèn, J.; Fransson, P.-A. und Magnusson, M.: Improved Balance Confidence and Stability for Elderly After 6 Weeks of a Multimodal Self-Administered Balance-Enhancing Exercise Program: A Randomized Single Arm Crossover Study, *Gerontology & geriatric medicine* 2 (2016). 2333721416644149.
- [15] Horak, F. B.: Postural orientation and equilibrium: What do we need to know about neural control of balance to prevent falls?, *Age and ageing* 35 Suppl 2 (2006). ii7-ii11.
- [16] F. Dyer, J.; Stapleton, P. und W. M. Rodger, M.: Sonification as Concurrent Augmented Feedback for Motor Skill Learning and the Importance of Mapping Design, *The Open Psychology Journal* 8 (2015) H. 1. S. 192–202.
- [17] Kramer, G.; Walker, B. und Bargar, R.: Sonification report: Status of the field and research agenda. [Place of publication not identified]: [International Community for Auditory Display] 1999.
- [18] Stein, B. E. und Meredith, M. A.: *The merging of the senses*. Cambridge, Mass.: MIT Press 1993.
- [19] Altenmüller, E.; Scholz, D. S. und Rollnik, J. D.: Musiktherapie in der Schlaganfallrehabilitation, *neuroreha* 10 (2018) H. 01. S. 9–16.
- [20] Sihvonen, A. J.; Särkämö, T.; Leo, V.; Tervaniemi, M.; Altenmüller, E. und Soinila, S.: Music-based interventions in neurological rehabilitation, *The Lancet Neurology* 16 (2017) H. 8. S. 648–660.