

# Bewusst eingesetzt

**Motorisches Lernen mit dem Therapie-roboter** Die Robotik eröffnet neue Möglichkeiten in der motorischen Neurorehabilitation. Exoskelette unterstützen Patient\*innen nach Schlaganfall beim Gehen, andere Endeffektoren trainieren den betroffenen Arm spielerisch mit Exergames. Basis für die robotergestützte Therapie ist das Motorische Lernen. Der Transfer in den Alltag zeigt allerdings noch diverse Schwächen.

➔ Laut Robert-Koch-Institut ist ein Schlaganfall weltweit die zweithäufigste Todesursache und eine Hauptursache von Behinderung im Erwachsenenalter [1]. Für die Patient\*innen steht danach zumeist das Wiedererlernen von ehemals gekonnten Alltagsbewegungen im Vordergrund. Zur Rehabilitation von Funktion und Mobilität werden diverse Therapieansätze verfolgt. Die meisten Konzepte basieren heutzutage auf den Prinzipien des Motorischen Lernens (ML), das heute als integraler Bestandteil der modernen Neurorehabilitation gilt [2, 3]. Die Effektivität einer neurorehabilitativen Intervention wird vor allem dadurch bestimmt, inwieweit sie die „komplexe[n] und schwer fassbare[n] Prozesse“ des ML berücksichtigt und umsetzt [4].

Seit den 1990er Jahren werden unterschiedlichste Roboter für die Rehabilitation der oberen (OEX) und unteren Extremitäten (UEX) erforscht und eingesetzt [6]. Manche Geräte verfolgen einen therapeutischen Nutzen, indem sie die Therapiezeit verlängern, mehr Wiederholungen einer Bewegung ermöglichen, die Sicherheit der Patient\*innen gewährleisten und die körperliche Belastung der Therapeuten reduzieren [7]. Auch die robotergestützte Therapie



© Chudakov/stock.adobe.com

basiert auf Aspekten des ML – beispielsweise die Aufgabenspezifität, das Feedback oder das Engagement der Übenden [8].

## Neuroplastizität als Grundlage für das Motorische Lernen →

Lange galt das Paradigma, dass Läsionen des ZNS nicht oder kaum spontan heilen. Entsprechend fokussierte die Rehabilitation nach Schlaganfall oder Querschnittlähmung auf die Kompensation der beeinträchtigten Funktionen. Erst vor rund 20 Jahren führten Tierexperimente zum Umdenken [9]. Kernelement des Paradigmenwechsels ist die Neuroplastizität des ZNS; das heißt die lebenslange Fähigkeit des Gehirns, anatomisch und physiologisch auf Anforderungen der Umwelt – und damit auch auf Trainingsreize – reagieren und sich entsprechend anpassen zu können.

Für die Neuroreha der OEX richtungweisend waren die Arbeiten von Edward Taub und Gitendra Uswatte. Die Psychologen zeigten, dass Patient\*innen nach Schlaganfall ihren betroffenen Arm nicht mehr einsetzen, weil sie diesen nur unvollständig wahrnehmen. Schrittweise entwickelt sich ein „erlernter Nichtgebrauch“, also ein maladaptiver Lernprozess, der die Funktionsfähigkeit wei-



ABB. 1 Mobile Exoskelette ermöglichen das Gehen und Treppensteigen ohne örtliche Einschränkung. Allerdings ist die Gehgeschwindigkeit nur gering, und es besteht Sturzgefahr.

© Chudakov/stock.adobe.com

ter reduziert. Dieses Prinzip des Learned Non-Use nutzen Taub und Uswatte als Grundlage für ihre Constraint Induced Movement Therapy (CIMT) [10]. Bei der CIMT führen die Patient\*innen intensive und hochdosierte Bewegungsaufgaben mit Forced Use durch.

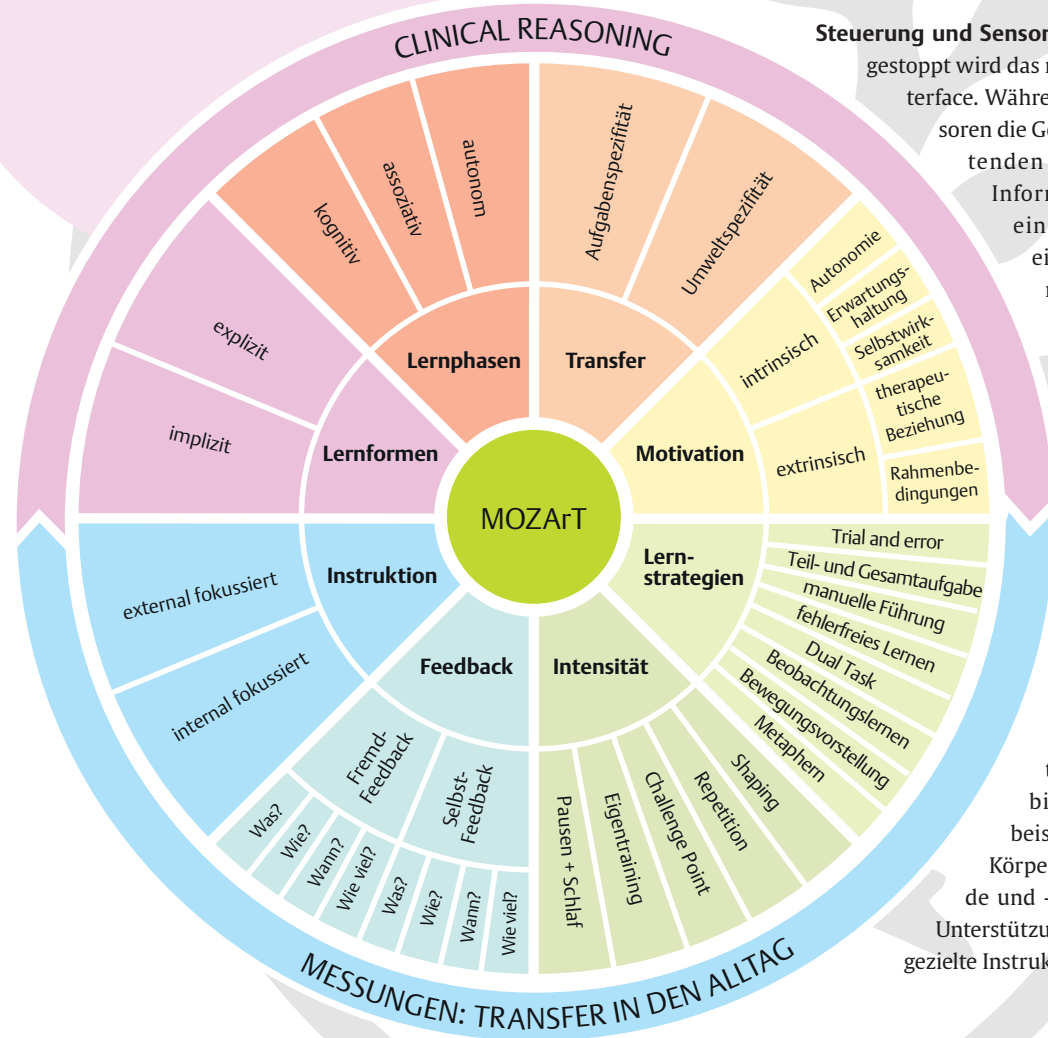
Auch hinsichtlich der Neuroreha der UEX führte Grundlagenforschung am Tier zur klinischen Anwendung am Menschen. Vor mehr als 30 Jahren zeigte der Neurologe Volker Dietz, dass sich die Central Pattern Generators, kurz CPGs, nicht nur bei Katzen, sondern auch bei Menschen mit Querschnittlähmung trainieren lassen [11]. CPGs sind Nervenzellverbände im Rückenmark, die auf externe Stimuli mit stereotyp rhythmischen Bewegungen reagieren. Die repetitiven Bewegungen gleichen jenen der Atmung oder der von Geh-, Schwimm- und Flugbewegungen, welche durch die komplexe Abfolge von Flexions- und Extensionsbewegungen der Beine gekennzeichnet sind [12]. Dementsprechend muss man für die Neuroreha der UEX die für die Steuerung des Gehens verantwortlichen neuronalen Zentren adressieren und mittels Forced Use trainieren. Das unterstützte Lokomotionstraining ist dann indiziert, wenn die Prognose auf eine maßgebliche Erholung der supraspinalen Kontrolle hinweist [13].

**Roboterassistierte Neurorehabilitation** → Die für die Neuroreha relevanten Prinzipien des ML werden im Folgenden anhand des jüngst entwickelten Lernrads dargestellt. Im Zentrum des Lernkreises stehen die Motorischen Ziele der Aktivitäts- respektive Teilhabe-Komponenten (MOZArT) (☞ ABB. 2, S. 34). Den inneren Ring im Lernrad bilden die acht Prinzipien des ML (☞ TAB., S. 36), der äußere Ring zeigt geeignete Methoden für deren Umsetzung.

**Robotik** → Die in der Neuroreha eingesetzten Roboter bestehen aus einer über Gelenke verbundenen Struktur, Antriebs-elementen, Sensoren und einer Kontrolleinheit mit Benutzerschnittstelle. Rehabilitationsroboter unterstützen das Training spezifischer Bewegungen, während Assistenzroboter ausgefallene Funktionen und Aktivitäten übernehmen.

Individuell gefertigte Exoskelette umfassen und führen jedes Körpersegment und Gelenk. Der hohe Grad an Bewegungskontrolle ist vor allem bei Schwerbetroffenen indiziert. Endeffektorgeräte führen dagegen nur Fuß oder Hand; die übrigen Gelenke müssen die Patient\*innen selbst kontrollieren.

ABB. 2 Das Lernrad als Bezugsrahmenmodell des Motorischen Lernens (ML) [5]. Die motorischen Ziele auf der Aktivitäts-respektive Teilhabeebene (MOZArT) bilden die Nabe, um die sich das Rad dreht.



**Bauart, Antrieb und Gerätetyp** → Die Roboter sind in der Regel aus Metall oder sehr festen Kunststoffen konstruiert. Die starre Struktur birgt das Risiko von Druckstellen und Distorsionen. Soft Robotics wie Anzüge bestehen aus weichen und elastischen Materialien. Sie übertragen die Kraftunterstützung der Antriebe auf den Körper und eignen sich für Patient\*innen mit deutlichen Restfunktionen oder Anwendungen mit geringem Kraftaufwand.

Die meisten Geräte werden durch Elektromotoren, pneumatische oder hydraulische Baueinheiten oder künstliche Muskeln angetrieben. Andere Roboter arbeiten passiv mit Gegengewichten oder Federn, die in einer Bewegungsphase gespannt werden und mit der gespeicherten kinetischen Energie die nachfolgende Bewegung unterstützen.

**Steuerung und Sensorik** → Gestartet, angepasst und gestoppt wird das robotische Training über ein Interface. Während des Trainings erfassen Sensoren die Gelenkpositionen und die auftretenden Kräfte und senden diese Informationen an eine Kontrolleinheit, welche die Antriebs-einheiten steuert. Über die Benutzerschnittstelle erhalten Patient\*innen und Therapierende ein unmittelbares Feedback zum Training, um dieses zu modifizieren und zu dokumentieren. Mit einigen Geräten lassen sich auch Bewegungsausmaß und Willkürkraft testen.

Wie bei anderen Trainingsgeräten ist erst die Kombination mit einem speziellen und spezifischen Trainingsprogramm wirkungsvoll [15]. Die Gestaltungsmöglichkeiten bei Rehabilitationsrobotern umfassen beispielsweise die Entlastung des Körpergewichts, Bewegungsamplitude und -geschwindigkeit, den Grad an Unterstützung, spezifische Feedbacks sowie gezielte Instruktionen.

### Rehabilitation der oberen Extremitäten

Geräte zur Rehabilitation der OEX ermöglichen das passive, aktiv-assistive oder aktive Trainieren eines oder beider Arme sowie das Betonen vor allem der proximalen Armbewegungen. Die Gelenke bei Endeffektorgeräten (MIT-Manus, InMotion ARM, Haptic Master etc.) entsprechen nicht den Gelenken des menschlichen Körpers.

Quelle: © M. Huber

Bei den Exoskeletten (z.B. Armeo Power, Armeo Spring, ARMin) hingegen ähneln die Gelenke und somit die Bewegungsachsen dem menschlichen Vorbild. Weil die Robotics das Eigengewicht des Arms reduzieren können, lässt sich die Flexorsynergie vermeiden und eine selektivere Bewegungskontrolle ermöglichen [20].

Paolucci beschrieb die Hauptfolgen für die OEX nach einer neurologischen Schädigung vor allem nach einem Schlaganfall mit:

- Learned Non-Use (erlernter Nichtgebrauch),
- Learned Bad Use (erlernter Falschgebrauch) und
- Forgetting Use (vergessener Gebrauch) [17].

Die roboterassistierte Therapie adressiert diese drei Aspekte und unterstützt das ML durch die hohe Intensität des Trainings, die Aufgabenorientierung und Herausforderung, das zielgerichtete Feedback und optimale Übungsniveau sowie die Möglichkeit zu Part Practice, erhöhter Motivation und *assist-as-needed* [16, 18]. Brown et al. betonen die Wichtigkeit des Challenge Point für eine wirksame Therapie [19]. Hierzu wird oft ein Exergame (Kofferwort aus Exercise und Game) gespielt, und die Armbewegungen der Patient\*innen sind eingebunden in Computerspiele.

**Evidenz** → Vor fünf Jahren resümierten Jan Mehrholz et al. in einem Review, dass die OEX-Robotik die Alltagsaktivitäten (ADLs) und Armfunktionen nach einem Schlaganfall verbessert [21]. Allerdings sei es „unwahrscheinlich, dass die Therapie unterstützt von Robotik zu besseren Resultaten führt als Therapie unterstützt von Menschen“. Mehrholz et al. merken an, dass die Robotik lediglich ein „Vehikel“ sei, um höhere Repetitionszahlen zu erzielen, dass das Feedback durch die Geräte die Motivation der Patient\*innen aber erhöhen kann.

Zwei Jahre später untersuchten Mehrholz et al., welcher Gerätetyp für die Neurorehabilitation der Arme nach einem Schlaganfall am effektivsten ist [22]. Die 55 in das Review inkludierten Studien verglichen eine aktive robotergestützte Intervention mit einer konventionellen aktiven Arm-/Handtherapie. Bei den Geräten wurde differenziert in distale oder proximale Endeffektoren und Exoskelette. Als primäre Outcomes dienten die ADLs sowie die Fugl-Meyer-Bewertungsskala zur Beurteilung der sensomotorischen Beeinträchtigung. Die Autoren entdeckten „keine systematischen Unterschiede zwischen den verschiedenen Ansätzen“ und schlussfolgerten, „dass der Gerätetyp nicht wichtig für die Outcomes“ sei [22].

## Rehabilitation der unteren Extremitäten

Rehabilitationsroboter für die UEX stimulieren die Lokomotionszentren im Rückenmark. Das Gehtraining unterstützt vor allem die alternierende Flexion- und Extensionsbewegung der Hüft-, Knie- und Sprunggelenke verbunden mit der Be- und Entlastung der Beine [11, 23]. Die Roboter unterscheiden sich leicht je nach Pathologie. Sie ermöglichen das dynamische Gehen über eine längere Distanz und sind indiziert bei Personen, die nur mit größter Mühe steh- und gehfähig sind [24]. Für den Transfer in den Alltag sollte das robotergestützte Training mit einem Steh- und Gehtraining auf ebenem Grund kombiniert werden [15].

**Exoskelette** → Stationäre Exoskelett-Systeme bestehen aus einem Laufband und einer Vorrichtung für die Körpergewichtsentlastung [25]. Sie helfen bei der Aufrechterhaltung der Körperposition und unterstützen beim Ausführen der Bewegungen. In der Regel werden die Trainingsfortschritte als Feedback auf einem Bildschirm angezeigt. Neuartige mobile Exoskelette ermöglichen das Gehen und Treppensteigen ohne örtliche Einschränkung [26]. Allerdings ist die Gehgeschwindigkeit nur gering, und es besteht Sturzgefahr. Die Geräte werden als Assistenzroboter vermarktet, die das Aufstehen vom Rollstuhl oder das Gehen ermöglichen sollen.

**Endeffektorgeräte** → Endeffektorgeräte für die UEX führen lediglich die Füße der Patient\*innen und nicht deren Knie- und Hüftgelenke. Sie eignen sich nur für Menschen, die auf wenig Unterstützung angewiesen sind. Das Training erfordert nur wenig patientenspezifische Einstellungen und lässt sich ohne aufwendige Vorbereitung starten. Hierzu unterstützen zyklisch bewegende



*Das Training mit Robotics muss individuell gestaltet werden, um effektiv zu sein.*

Fußplatten die Schreitbewegung beim Gehen, während eine spezielle Vorrichtung das Körpergewicht teilentlastet. Ungünstig erscheint, dass die afferenten Stimuli in der Schwungphase einen Druck auf den jeweiligen Fuß ausüben und diesen in der Standphase wieder reduzieren – dies widerspricht der Physiologie des Gehens.

**Evidenz** → Um plastische Vorgänge im ZNS im Sinne des ML auszulösen, müssen wir eine Bewegung mehrere hundert- bis tausendmal wiederholen. Beobachtungsstudien belegen, dass diese Intensität in der Neurorehabilitation der UEX – nicht zuletzt aufgrund des therapeutischen Zeitmangels – bei Weitem nicht erreicht wird [27]. Rehabilitationsroboter eröffnen die Möglichkeit für ein hochintensives Training, die Studienlage zur Effektivität zeigt sich jedoch heterogen [28]. Bis dato liefert keinerlei Studie klare Ergebnisse [29, 30]. Jüngst analysierten Mehrholz et al. 62 Studien mit 2440 Betroffenen und resümierten in ihrem Review, dass in erster Linie nicht gehfähige Patient\*innen in den ersten drei Monaten nach dem Schlaganfall vom robotergestützten Gehtraining profitieren [31]. Die Kombination mit Physiotherapie erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass die Betroffenen wieder gehen können. Ungeachtet dessen müssten acht Patient\*innen trainiert werden, um nur einen Fall von Geh-Abhängigkeit zu vermeiden [31].

**Der Konnex von Robotik und Motorischem Lernen** → In Bezug zum ML ermöglicht die robotergestützte Therapie implizites und explizites Lernen (☞ TAB., S. 36). Die Lernformen werden mittels Instruktion, Fremdfeedback und Lernstrategien realisiert. Wird auf die

Lernformen	Lernphasen <sup>1</sup>	Transfer des Gelernten <sup>2</sup>	Motivation
<b>implizites (unbewusstes) Lernen:</b> → WAS ist die Aufgabe? → erfordert relativ wenig kognitive Ressourcen <b>explizites (bewusstes) Lernen:</b> → WIE wird die Aufgabe durchgeführt? → erfordert mehr kognitive Ressourcen	<b>1. kognitive Lernphase:</b> → Verstehen der Aufgabe → erfordert hohe Aufmerksamkeit für die Bewegungsdurchführung <b>2. assoziative Lernphase:</b> → erfordert weniger Aufmerksamkeit für die Bewegungsdurchführung → teilweise erfolgreiche Bewegungsdurchführung → weniger Fehler <b>3. autonome Lernphase:</b> → erfordert nur geringe Aufmerksamkeit für die Bewegungsdurchführung → Bewegungsdurchführung mit sehr wenigen Fehlern → Dual-Task-Fähigkeit während der Bewegungsdurchführung	→ entscheidend für Therapieerfolg → Je mehr sich Aufgabe und Umwelt in der Therapiesituation der alltäglichen Anwendungssituation ähneln, desto höher die Transfertendenz.	<b>intrinsische Motivation:</b> → motiviert von innen → gefördert durch Autonomie der Patient*innen → erhöhte Erwartungshaltung und Selbstwirksamkeit <b>extrinsische Motivation:</b> → motiviert von außen → belohnungsgesteuert → beeinflusst durch therapeutische Beziehung und Rahmenbedingungen (Familie, Freunde etc.)

TAB. Die acht Prinzipien des Motorischen Lernens (ML). <sup>1</sup>Lernphasen entsprechend dem Modell von Fitts/Posner, <sup>2</sup>Übertragung des Gelernten in alltägliche Anwendungssituationen

erfolgreiche Durchführung der Bewegung fokussiert, dominiert impliziertes Lernen [32]. Explizites Lernen gelingt durch Exoskelette, bei denen die Patient\*innen einzelne Muskeln ansteuern, etwa die Oberschenkelmuskulatur, um das Knie in der Standbeinphase zu strecken.

Prinzipiell durchlaufen die Patient\*innen beim robotischen Training alle drei Phasen des ML. Je nach Lernphase werden unterschiedliche Feedbacks und Lernstrategien gewählt. Lerneffekte ergeben sich – neben dem Neu- oder Wiedererlernen von vormals gekonnten Bewegungsabläufen – auch durch das Erlernen des Umgangs mit dem Roboter [33]. In der Praxis dominiert das Wiedererlernen von Bewegung, und die Betroffenen können auf Erfahrungswissen zurückgreifen. Bei Veränderung von Wahrnehmung und Willkürkontrolle ganzer Muskelgruppen müssen neue Bewegungsstrategien erlernt werden.



*Bei der stationären Gehrobotik fehlt der visuelle Flow.*

**Problematischer Alltagstransfer vs. spielerische Motivation →**

Die Transferthematik bzw. Aufgaben- und Umweltspezifität erscheint als größte Problematik der Robotik [34]. Die Armrobotik arbeitet nicht mit realen Objekten, und die unterstützten Bewegungen unterscheiden sich von natürlichen Alltagsbewegungen. Beim Gehen im Exoskelett oder Endeffektor sind Körpergewicht und Körperschwerpunkt unnatürlich verlagert. Und während beim natürli-

chen Gehen ein visueller Flow entsteht, fehlt dieser bei der stationären Gehrobotik. Gleichzeitig werden lediglich gerade Schritte nach vorn durchgeführt, obwohl Kurven- oder Drehschritte im Alltag genauso wichtig sind [35].

Die Robotik zur Neuroreha nutzt Exergames und bietet den Patient\*innen damit ein hochmotivierendes Training. Förderlich erscheint die visuelle Rückmeldung des Trainingsstands – vergleichbar mit Computerspielen. Beim spielerischen Training ist die Aufmerksamkeit meist external, also auf den Effekt der Bewegung, fokussiert. Nicht gehfähige Patient\*innen können auch internal fokussieren, wenn sie auf ihr Körpergefühl beim für sie ungewohnten und anstrengenden Gehtraining im Roboter achten. Therapeutische Instruktionen unterstützen das interne Fokussieren auf dieses „neuartige und andere Gehen“.

**Fremdfeedback und Challenge Point →**

Die während des Trainings erhobenen Daten ermöglichen ein unmittelbares und umfangreiches Fremdfeedback und geben Rückmeldung im Sinne eines Knowledge of Results – beispielsweise zu Trainingsdauer, Zielgenauigkeit, Gehgeschwindigkeit, Anzahl der Schritte und Wiederholungen etc. Ist das Feedback auf die Art der Durchführung einer Bewegung bezogen – etwa wenn die oder der Übende durch eine bewusste Bewegungskontrolle die Kraftkurve eines Muskels beeinflusst –, ermöglicht dies ein Knowledge of Performance. Die Fähigkeit zum Selbstfeedback wird beim robotergestützten Training nicht gefördert.

Bei der Robotiktherapie werden zwar mehr Wiederholungen erreicht als in der konventionellen Therapie [36], aber erst das kontinuierliche Anpassen bzw. Shaping des Trainings und die Arbeit am Challenge Point machen den robotergestützten Therapieansatz ef-

Instruktion	Feedback	Intensität	Lernstrategien
<ul style="list-style-type: none"> <li>→ external fokussierte Aufmerksamkeit: Die Instruktion lenkt die Aufmerksamkeit auf den Effekt, den die Bewegung auf die Umwelt hat.</li> <li>→ internal fokussierte Aufmerksamkeit: Die Instruktion lenkt die Aufmerksamkeit auf die eigenen Körperbewegungen bzw. das Körpergefühl.</li> </ul>	<p><b>Fremdfeedback:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Rückmeldungen von einer externen Informationsquelle wie Therapeut*in, Gerät etc.</li> </ul> <p><b>Selbstfeedback:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Rückmeldung, die ein Mensch sich selbst gibt, bspw. bei einer Bewegung</li> <li>→ Richtige Selbsteinschätzung ist entscheidend für den Erfolg des ML.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ sehr relevanter Aspekt für das ML</li> <li>→ Intensität als Summe aus Repetition, Shaping und Training am Challenge Point [14]</li> <li>→ CAVE: Intensität ist mehr als bloße Repetition!</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Gezielter Einsatz von Lernstrategien fördert ML.</li> <li>→ Trial-and-Error-Learning, d. h. Fehler machen und aus diesen lernen</li> <li>→ fehlerfreies Lernen</li> <li>→ manuelle Führung</li> <li>→ Bewegungsbeobachtung</li> </ul>

fektiv. Zur Aktivierung motorischer Lernprozesse sollte die Trainingsintensität die Patient\*innen fordern bzw. herausfordern. Während des Trainings wird auf mentale und/oder körperliche Über- und Unterforderung geachtet und die Intensität optimal angepasst. Das Shaping lässt sich unter anderem über die Levels der Exergames, die Gehgeschwindigkeit oder die Entlastung des Körpergewichts realisieren.

Die Lernstrategien der Robotiktherapie gleichen jenen des ML. Einerseits ermöglichen Exoskelette und Endeffektoren – besonders bei der Neurorehabilitation der UEX – durch die maschinelle Führung einer physiologischen Bewegung ein fehlerfreies Lernen, andererseits werden hierbei auch Abweichungen toleriert, was wiederum das Trial-and-Error-Learning ermöglicht. Die manuelle Führung im ML (👁️ TAB.) wird bei der Robotik zur maschinellen Führung, die besonders für Schwerbetroffene sinnvoll ist. Manche Systeme nutzen das Lernen durch Bewegungsbeobachtung (👁️ TAB.). Beim robotergestützten Beobachtungslernen sollen die Patient\*innen ihre Bewegungen mit denen eines Avatars auf dem Bildschirm abgleichen.

**Chancen und Grenzen** → Die robotergestützte Neurorehabilitation berücksichtigt alle im Lernrad veranschaulichten Prinzipien des ML. Gleichzeitig eröffnen die hohen Repetitionszahlen, die Aspekte des Shapings sowie die Entlastung des Körpergewichts neue Chancen für die Therapie vor allem von Patient\*innen mit Schlaganfall. Die Gewichtsentslastung erlaubt selbst schwerbetroffenen Patient\*innen mit ausgeprägter Muskelschwäche das Durchführen von Bewegungen. Die permanente Datenerfassung der Robotics, ihr detailliertes Fremdfeedback und spielerisches Exergaming können die Therapiemotivation steigern.

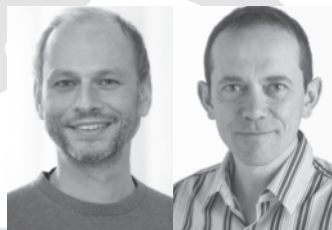
Größtes Manko der robotergestützten Neurorehabilitation ist zweifelsohne ihre limitierte Aufgaben- und Umweltspezifität. Und je mehr eine Bewegung maschinell unterstützt wird, desto mehr sinkt die physiologische Bewegungskontrolle. Überdies wird das Therapiesetting durch die Robotik verändert, was wiederum die Interaktion zwischen Patient\*in und Physiotherapeut\*in beeinflusst. Und nicht zuletzt können sich Probleme seitens der Patient\*innen hinsichtlich der Akzeptanz eines Roboters ergeben.

*Martin Huber und Markus Wirz*

#### 📖 Literaturverzeichnis

[www.thieme-connect.de/products/physiopraxis](http://www.thieme-connect.de/products/physiopraxis) > „Ausgabe 9/23“

#### ✍️ Autoren



**Martin Huber**, Physiotherapeut MSc, hat seit 1995 Berufserfahrung in der stationären und ambulanten Neurorehabilitation, unterrichtet im Bachelorstudiengang Physiotherapie an der ZHAW und ist Themenscout der physiopraxis.

**Prof. Dr. Markus Wirz** leitet

das Institut für Physiotherapie an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften. Seine Arbeits- und Forschungsschwerpunkte und Spezialkenntnisse umfassen Assessments und klinische Tests in der Physiotherapie, die Rehabilitation von Patient\*innen mit Querschnittslähmung sowie die Integration neuer Technologien in die Rehabilitation.