

Schöllhorn, W. I. (2019), Übe niemals das Richtige, um richtig gut zu werden, in: EPTA-Dokumentation 2017/2018 "Klavier und Bewegung", Düsseldorf: Staccato, ISBN 978-3-932976-77-3, S. 50–57.

Wolfgang I. Schöllhorn

Übe niemals das Richtige, um richtig gut zu werden

Traditionell wird Lernen mit endlosen Wiederholungen und dem Nachahmen von Vorbildern assoziiert. Dies verwundert nicht nur zunehmend im Sport, sondern auch im Bereich der Musik, werden hier doch die überlieferten Kompositionen selbst auf höchstem Niveau sehr individuell und in großer Vielfalt interpretiert. In der Folge lassen sich die einzelnen Interpreten beim selben Musikstück anhand ihres individuellen Spiels in Ton und Bewegung, ähnlich wie an einem Fingerabdruck, sehr verlässlich erkennen (Albrecht et al 2014). Im Bereich des Sports führten die Analysen von Weltklasseathleten in verschiedensten Disziplinen nicht nur zur nahezu eindeutigen Identifikation der Athleten anhand der Bewegungsdaten von 200 ms, sondern auch zu der Erkenntnis, dass es trotz vieler Wiederholungen im Training zu keiner identischen Wiederholung im Wettkampf oder später mehr kommt (Schöllhorn und Bauer 1998). Gleiches zeigt sich bei der Analyse von Gangdaten, und dies, obwohl der Gang wohl die am häufigsten ausgeführte Bewegung ist und von daher die meisten Wiederholungen aufweist. Sind jedoch die Vorbilder in Form von Spitzenathleten individuell erkenn- und unterscheidbar und besteht zusätzlich noch eine verschwindend geringe Wahrscheinlichkeit, jemals zwei identische Bewegungen zu machen, stellt dies das traditionelle, an Vorbildern orientierte Lernen mit umfangreichen Wiederholungen, nicht nur im Sport, grundsätzlich in Frage.

Bemühen wir uns um Alternativen und halten Ausschau nach lebenden Systemen, die effektiv lernen, so landen wir über kurz oder lang bei Kleinkindern während der ersten Lebensjahre. In dieser Zeit lernen Kinder nicht nur überdurchschnittlich viel, sondern auch ungemein schnell. Beobachtet man Kinder beim „vermeintlichen Lernen“, so fällt zunächst auf, dass sie selten den sie Umgebenden zuhören oder gar gehorchen, dann, dass sie fast nur spielen, und zuletzt, dass sie in wachem Zustand bei zu vielen Wiederholungen schnell quengelig werden. Sind Kleinkinder hingegen müde, scheinen sie Wiederholungen in Form von Ritualen, regelmäßigem Schwingen oder Ähnlichem zu bevorzugen. Auch das Vorlesen der immer gleichen Bücher am Abend ist nicht außergewöhnlich. Dies unterstützt Kinder beim Übergang aus dem „sicheren“ Bereich des Tages in die „unsichere“ Nacht. Strukturell nutzen wir bei Kindern also Wiederholungen, um ihnen Sicherheit zu geben, damit sie entspannen und einschlafen können. Inwiefern dies als Methode der Wahl in der Mehrzahl unserer Schulen zu betrachten ist, kann in diesem Zusammenhang hinterfragt werden. Es liegt nahe, auch hier analoge Motivationen im Lehrerverhalten zu vermuten.

Auf der Suche nach Ansätzen bzw. Modellen, die helfen, das (Lern)verhalten bei Kleinkindern besser abzubilden oder zu erklären als lineare, unidirektionale Lehrmodelle, sind wir im Bereich der Systemdynamik und der Neurophysiologie auf Hinweise gestoßen, die der Notwendigkeit eines Überdenkens traditioneller Lehr- und Lernmodelle nicht entgegenstehen.

Auf neurophysiologischer Ebene sind dies zwei mittlerweile mehrfach experimentell bestätigte Phänomene. Das erste Phänomen wird umschrieben als „Potentialgesetz der Anpassung“ und ist bei repetitiver Stimulation von Neuronen und deren sukzessiv abnehmender Reaktion beobachtbar (Drew und Abbott 2006). Hiernach finden die größten Anpassungen während der ersten drei Stimulationen statt, danach sind die Reaktionen nur noch minimal. Das zweite Phänomen geht auf eine Beobachtung von Hubel und Wiesel bei Experimenten zum visuellen System bei Katzen zurück. Neben der neuronalen Plastizität deuteten die Befunde darauf hin, dass das zentrale Nervensystem stets nur das strukturiert und klassifiziert, was ihm in Form von Stimuli angeboten wird. Wird das visuelle System von neu geborenen Kätzchen in den ersten sechs Lebenswochen lediglich mit horizontalen Linien stimuliert, so werden sie danach keine vertikalen Linien mehr erkennen können (Hubel und Wiesel 1959). Übertragen auf die Problematik des Lernens resultiert beim Wiederholungslernen die Schwierigkeit, dass Abweichungen von dem Wiederholten keine adäquate Repräsentation im ZNS finden. Speziell in Verbindung mit dem motorischen Lernen bei Kindern kommt es hier zu einer grundlegenden Problematik des Wiederholungslernens, wenn man die ständige Veränderung von Kindern und Jugendlichen in Form von Größenwachstum und Gewichtszunahme berücksichtigt. Aus biomechanischer Sicht ist schwer nachvollziehbar, weshalb man zum Lernen Wiederholen empfiehlt, wenn die biomechanischen Bedingungen in Kürze sowieso völlig verändert sind.

Im Bereich der Systemdynamik waren es vor allem Modelle zur Adaptation von dissipativen Systemen, die zahlreiche Phänomene des Lernens bei Kindern einbinden konnten (Goldfield 1993). Im Unterschied zur statischen Systemtheorie, die in erster Linie Zustände zum Forschungsgegenstand wählt, befasst sich die dynamische Systemtheorie primär mit den dazwischenliegenden Übergängen. Charakteristisch für dissipative Systeme sind hierbei, neben dem Austausch von Energie und Material mit der Umgebung, ständige Schwankungen, die während der Übergänge noch zunehmen. Spezifische Information zur Lösung bzw. zur Ordnung wird nicht bereitgestellt, um ein hohes Maß an Selbstorganisation zu erzielen. Im Sinne der ursprünglich von Bertalanffy entwickelten Allgemeinen Systemtheorie (Bertalanffy 1968) erfolgt die Beschreibung des Systemverhaltens dabei in relativ abstrakter Form, um unabhängig von der Wissenschaftsdisziplin auf verschiedenste Bereiche anwendbar zu sein. Konkret kann demnach Lernen als eine zeitlich überdauernde Verhaltensänderung systemdynamisch

misch folgendermaßen betrachtet werden: Ausgehend von einem relativ stabilen Zustand mit wenig Schwankungen wechselt das System über einen instabilen Übergang mit vergrößerten Schwankungen in einen anderen stabilen Zustand, der wiederum weniger Schwankungen aufweist. Schwankungen um einen (oder Abweichungen von einem) vorgegebenen Wert werden demnach nicht mehr als destruktiv oder Fehler betrachtet, sondern als konstruktiver Hinweis auf Lernpotential. In den Bereichen, in denen das System stärkere Schwankungen aufweist, kann es als instabil angesehen werden. In diesem Zustand wird damit weniger Energie benötigt, um den Zustand des Systems zu verändern, als wenn sich das System in einem stabilen Zustand befindet. In der praktischen Konsequenz gilt es demnach, das lernende System erst aus dem stabilen Zustand herauszubringen, es instabil zu machen, damit es dann von sich aus wieder selbst in einen neuen stabilen Zustand findet. Das Potential der Destabilisierung kann als eine Grundlage differenziellen Lernens und daraus abgeleiteter Ansätze wie der „Nonlinear Pedagogy“ oder dem „constraints-led-approach“ betrachtet werden.

Inwiefern die Prinzipien der Systemdynamik konkret auf (motorisches) Lernen übertragbar waren, hing von zwei Bedingungen ab, die es zu überprüfen galt. Zum einen war zu klären, inwiefern sich ständige Schwankungen beobachten lassen bzw. im umgekehrten Falle, inwiefern sich überhaupt identische Bewegungen ohne jegliche Schwankungen finden lassen. Zum anderen war zu überprüfen, inwiefern eine Verstärkung der Schwankungen zu einem neuen stabilen Zustand führt, der sich in Form eines erfolgreichen Lernprozesses widerspiegelt.

Neben der Identifikation von Personen anhand ihrer Bewegungsmuster bestätigten dieselben Studien, dass es nahezu unmöglich ist, zwei identische Bewegungswiederholungen auszuführen (Schöllhorn et al 2002). Es zeigte sich sogar, dass die bislang als unkontrollierte Schwankungen angenommenen Abweichungen grundlegende Informationen über individuelle Ausprägungen von Emotionen (Janssen et al 2008) und Ermüdung (Janssen et al 2011) enthalten. Es lassen sich auch systematische Veränderungen an verschiedenen (Horst et al 2016) und an denselben (Horst et al 2017) Tagen identifizieren. Sämtliche Untersuchungen zur Erkennung von Bewegungsmustern deuten darauf hin, dass sich das System Mensch nicht nur während der Kindheit, der Pubertät oder im Alter verändert, sondern lebenslang, von Minute zu Minute, in jedem Moment. Inwiefern dies den bislang fehlenden Methoden zuzuschreiben ist, soll an anderer Stelle geklärt werden, es scheint jedoch, dass die alten Weisheiten von Heraklit („Du steigst niemals zweimal in denselben Fluss“) und Laotse („Das einzig Konstante ist die Veränderung“) hier späte Bestätigung finden. Obwohl schon lange davon ausgegangen wurde, dass identische Wiederholungen nahezu unmöglich sind und wir uns ständig an die sich verändernden Bedingungen anpassen müssen, wurden daraus nur selten Konsequenzen für das (motorische) Lernen gezogen. Die Strategie der anfänglich großen Variationen, die mit zunehmendem Fortschritt und

Alter in monotonen Einschleifen mündet, basiert auf der Annahme, dass das System anfänglich noch unbekannt, jedoch nahezu unveränderlich stabil ist. Nimmt man in die Annahme auf, dass sich das System kontinuierlich mehr oder weniger schnell verändert, so muss von Beginn an mit größeren Schwankungen aufgewartet werden, um mit den Änderungen des Systems Schritt halten zu können. Und genau dies scheinen Kleinkinder und Kinder intuitiv zu wissen, wenn sich auf körperlicher Ebene die Proportionen ständig ändern und deshalb keine übersteigerte Lust an wiederholendem Lernen aufkommt. Dieser Sachverhalt scheint jedoch nicht nur bei Kindern existent, vielmehr bleibt er lebenslang bestehen. Ein alternativer Vorschlag zum Umgang mit den ständigen Schwankungen in Verbindung mit der Individualität wird vom Differenziellen Lernen (Schöllhorn 1999) unterbreitet, indem es auf ein zweites Prinzip der Systemdynamik zurückgreift, das der Zunahme von Fluktuationen an einem Phasenübergang.

Zur Überprüfung der Effekte dieser Bedingung wurden die Schwankungen der jeweils zu erlernenden Bewegung exemplarisch verstärkt. Im Rahmen eines der ersten Experimente sollte die Annahme beim Volleyball von Jugendlichen erlernt werden (Römer et al 2003). Hierzu wurde der Ball nur mit dem rechten Unterarm angenommen, mit dem linken Oberarm, mit gestreckten Beinen, in der tiefen Hocke, im Ausfallschritt, mit zur Seite geneigtem Kopf etc. Charakteristisch war hierbei, bis zum Extrem zu gehen, indem keine Wiederholungen ausgeführt wurden. Und um die Fremdsteuerung durch den Lehrer zu minimieren bzw. maximale Selbstorganisation zu erlangen, wurde auch keine externe Rückmeldung in Form von Ergänzungsinformation durch den Lehrer geliefert. Unterstützung erfuhren die Vorteile des Unterlassens von Ergänzungsinformation durch Studien von Silvermann (1994) und Swinnen (1996), die eine Abhängigkeit des Erfolges von „augmented feedback“ und der damit verbundenen „knowledge-of-result-(KR)-Forschung“ in den speziell dafür entworfenen Versuchsanordnungen zeigten. Die grundlegende Frage, die der KR-Forschung zu Grunde lag, wozu ein lernendes System überhaupt Ergänzungsinformation benötigt (Farfel 1962), führte zu einer weiteren Bestätigung dieser Strategie. Demnach macht externe Rückmeldung nur Sinn, wenn der Lernende nicht selbst die Wirkung wahrnimmt, die seine eigene Aktivität bedingt. Dies zu fühlen, wird durch Wiederholung deutlich erschwert, da der Lernende ja den Versuch in der Absicht unternimmt, Gleiches zu reproduzieren. Es scheint, dass der Nutzen von externer Rückmeldung an das Lernen mittels Wiederholungen gekoppelt ist. Anders lassen sich die großen Lernraten von Kleinkindern schwer erklären, die nur in den seltensten Fällen das Krabbeln oder Gehen mit Hilfe von Ergänzungsinformation durch die Eltern lernen. Aus biomechanischer Sicht wurden die Schwankungen durch Variationen der Gelenkwinkel, der Gelenkwinkelgeschwindigkeit, der Gelenkwinkelbeschleunigung oder durch rhythmische Variationen erzielt. In der praktischen Realisation wurde dies aus pädagogisch-didaktischer Sicht mittels

Metaphern umgesetzt, das Volleyballspiel in verschiedensten Tierformen auszuführen („spielt wie ein Tiger, ein Elefant, eine Schlange ...“). Im Resultat waren nach vierwöchiger Intervention in beiden Gruppen Lernfortschritte zu beobachten, die in der differenziellen Lerngruppe jedoch signifikant größere Steigerungsraten aufwiesen als in der Kontrollgruppe, die anhand von Wiederholungen und Korrekturen lernte.

Im Rahmen einer Folgestudie zum Kugelstoßen wurde neben der Aneignung zusätzlich die Nachhaltigkeit der Interventionen, das eigentliche Lernen, untersucht (Beckmann und Schöllhorn 2006). Die Ergebnisse bestätigten nicht nur die vorangegangenen Studien zur Aneignung, sondern überraschten auch in Bezug auf die Nachhaltigkeit. Während die leitbildorientierte Gruppe mittels Wiederholungslernen schon nach zwei Wochen Pause wieder auf ihrem Ausgangsniveau angelangt war, konnte sich die differenzielle Gruppe noch bis zu vier Wochen nach Beendigung der Intervention weiter steigern.

Mittlerweile konnten die Vorteile differenziellen Lernens nicht nur in zahlreichen Studien zu verschiedenen Sportarten bestätigt werden (vgl. Serrien et al 2018), sondern zeigen auch in der Physio- und Ergotherapie bei der Verbesserung des Gleichgewichtsverhaltens (James 2014) und bei der Rehabilitation von Herzinfarktpatienten (Repsaite et al 2014) vergleichbare Resultate. Ähnliche Effekte sind auch beim Schreiberwerb von Erstklässlern schon nach vierwöchiger Intervention mit 2×25 Minuten pro Woche zu beobachten (Vehof et al 2009).

Betrachten wir nun traditionelle Lernansätze unter dem Aspekt von Schwankungen, so fällt auf, dass auch beim Wiederholungslernen, bei methodischen Übungsreihen oder beim Kontext-Interferenz-Lernen stets Schwankungen zunehmenden Umfangs auftreten. Mit jedem neuen Ansatz sind ferner nicht nur zunehmende Schwankungen, sondern auch steigende Lernraten festzustellen. Es scheint demnach, dass wir auch beim traditionellen Wiederholungslernen schon immer anhand der Schwankungen bzw. Differenzen gelernt haben, nur dass diese Schwankungen zu klein sind, um effektiv zu lernen. Betrachten wir die unterschiedlichen Lernansätze in einem fiktiven Diagramm, das den Schwankungsumfang gegen die Lernraten aufträgt, so lässt sich dies in einer Optimumskurve darstellen, die bei Überschreiten eines optimalen Maßes an Schwankung wieder zu reduzierten Lernraten führt. Ein Modell, das zur Beschreibung eines solchen Verhaltens in der Biologie und Physik häufig Anwendung findet, ist das Modell der Stochastischen Resonanz. Bei diesem Modell wird zu einem bestehenden Signal zusätzliches Rauschen (meist in Form von weißem Rauschen) addiert, das dann zur Verstärkung/Resonanz vereinzelter Frequenzen des Signals führt. Im optimalen Fall wären also den stochastischen Variationen unserer Bewegungen stochastische Übungen hinzuzufügen, die zur Verstärkung individueller Stär-

ken führen. Metaphorisch kann dies verstanden werden in der Form, dass beim Anbieten einer Vielzahl von Übungen sich die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass für einzelne Lernende eine ihnen entsprechende Übung dabei ist. Das Verfolgen einer solchen Strategie führt dann auch zu einer verbesserten individuellen Förderung im Rahmen von Gruppenunterricht. Werden einer Gruppe hingegen nur wenige Übungen angeboten, so werden auch nur wenige Lernende in Resonanz mit diesen gehen. Dies konnte im Rahmen einer Kugelstoßstudie bestätigt werden, bei der das Training der differenziellen Gruppe für die große Mehrzahl der Athleten zu Leistungssteigerungen führte, wohingegen in der Gruppe mit reduzierter Übungsauswahl, jedoch vielen Wiederholungen und vielen Korrekturen sich nur ein geringer Teil verbesserte – der Rest stagnierte oder verschlechterte die Leistung (Beckmann und Schöllhorn 2006).

Hinweise auf deutlich unterschiedliche Gehirnaktivitäten nach zehn- bis fünfzehnminütigem „Üben“ auf der Basis von vier verschiedenen Lernansätzen lieferten Studien von Henz et al (2017/2018). Während die Aneignung eines Badmintonaufschlags mittels Wiederholung das Gehirn weitestgehend im Bereich der Beta-Frequenzen ließ, führte das kontext-interferenzbasierte Wechseln zwischen Vor- und Rückhandaufschlag zu einer deutlichen Erhöhung im Gamma-Frequenzbereich, dem auch höhere kognitive Leistungen und Stress zugeschrieben werden. Im Unterschied hierzu zeigte graduelles DL, bei dem systematisch z.B. zunächst am linken, dann am rechten Sprunggelenk, dann am linken, gefolgt vom rechten Knie, variiert wird, eine deutliche Verschiebung der Frequenzen in den Alpha-Bereich, vor allem im Frontallappen. Eine noch stärkere Veränderung mit zusätzlichen Theta-Frequenzen waren beim chaotischen DL zu beobachten. Interessanterweise werden die Alpha- und Theta-Frequenzen als wesentlich bei der Konsolidierung von Gelerntem betrachtet. Es scheint demnach, dass durch das DL die Kontrollinstanz des Frontallappens, dem überwiegend Funktionen im Bereich der Planung, des Vergleichs und der Beurteilung zugeschrieben werden, von Gamma- und Beta- auf Alpha- und Theta-Frequenzen heruntergefahren wird, um dadurch Zugriff auf größere Bereiche des Großhirns zu bekommen.

Unabhängig von all den mittlerweile vorliegenden positiven Befunden und Erklärungen von Phänomenen, die in bisherige Lernkonzepte nicht zu integrieren waren, sind noch viele Fragen ungeklärt und bedürfen weiterer Forschung. Vor allem zum stärkeren Experimentieren in der eigenen Praxis sei hier aufgefordert, um Lernen noch individueller und situativ angepasster zu gestalten, um etwas wiederzubekommen, was wir alle schon mal am Anfang unseres Lebens hatten: Spaß am effektiven Lernen.

Literatur

- Albrecht S, Janssen D, Quarz E, Newell KM, Schöllhorn WI (2014): „Individuality of movements in music. Finger and body movements during playing the flute“, in: *Human Movement Science* 35, 131–144.
- Beckmann H, Schöllhorn WI (2006): „Differenzielles Lernen im Kugelstoßen“, in: *Leistungssport* 4, 44–50.
- Bertalanffy L (1968): *General System Theory. Foundations, Development, Applications*, New York, revidierte Ausgabe 1976.
- Bischof N (1995): *Struktur und Bedeutung. Eine Einführung in die Systemtheorie*, Bern, revidierte Ausgabe 2016.
- Drew PJ, Abbott LF (2006): „Models and properties of power-law adaptation in neural systems“, in: *Journal of Neurophysiology* 96, 826–833.
- Farfel VS (1962): „Wege zur Vervollkommnung der sportlichen Technik. Das methodische Prinzip der Schnellinformation“, in: *Teorija i praktika fizioskoj kulture* 5, 23–28.
- Goldfield EC (1993): „Dynamic systems in development. Action systems“, in: Smith LB, Thelen E (Hg.): *A dynamic systems approach to development. Applications*, Cambridge MA, 51–70.
- Henz D, John A, Merz C, Schöllhorn WI (2018): „Post-task effects on EEG brain activity differ for various Differential Learning and Contextual Interference protocols“, in: *Frontiers in Human Neuroscience*, frontiersin.org, 31. Januar.
- Henz D, Schöllhorn WI (2017): „EEG brain activity in dynamic Health Qigong training. Same effects for mental practice and physical training?“, in: *Frontiers in Psychology. Movement Science and Sport Psychology*, frontiersin.org, 7. Februar.
- Horst F, Kramer F, Schäfer B, Eekhoff A, Hegen P, Nigg BM, Schöllhorn WI (2016): „Daily changes of individual gait patterns identified by means of support vector machines“, in: *Gait & Posture* 49, 309–314.
- Horst F, Eekhoff A, Newell KM, Schöllhorn WI (2017): „Intra-individual gait patterns across different time-scales as revealed by means of a supervised learning model using kernel-based discriminant regression“, in: *PLoS ONE*, journals.plos.org, 15. Juni.
- Hubel DH, Wiesel TN (1959): „Receptive fields of single neurones in the cat’s striate cortex“, in: *The Journal of Physiology* 148, 574–591.
- James EG (2014): „Short-term differential training decreases postural sway“, in: *Gait & Posture* 39, 172–176.
- Janssen D, Schöllhorn WI, Lubienetzki J, Fölling K, Kokenge H, Davids K (2008): „Recognition of emotions in gait patterns by means of artificial neural nets“, in: *Journal of Nonverbal Behavior* 32, 79–92.
- Janssen D, Schöllhorn WI, Newell KM, Jäger JM, Rost F, Vehof K (2011): „Diagnosing fatigue in gait patterns by support vector machines and self-organizing maps“, in: *Human Movement Science* 30, 966–975.
- Repšaitė V, Vainoras A, Berškienė K, Baltaduonienė D, Daunoravičienė A, Sendžikaitė E (2015): „The effect of differential training-based occupational therapy on hand and arm function in patients after stroke. Results of the pilot study“, in: *Neurologia i Neurochirurgia Polska* 49, 150–155.
- Römer J, Schöllhorn WI, Jaitner T, Preiss R (2003): „Differenzielles Lernen bei der Aufschlagannahme im Volleyball“, in: Krug J, Müller T (Hg.): *Messplätze. Messplatztraining. Motorisches Lernen*, Sankt Augustin, 129–133.
- Schöllhorn WI (1999): „Individualität – ein vernachlässigter Parameter?“, in: *Leistungssport* 2, 7–11.

Schöllhorn WI, Bauer HU (1998): „Identifying individual movement styles in high performance sports by means of self organizing Kohonen maps“, in: Riehle H, Vieten M (Hg.): *XVI. International Symposium on Biomechanics in Sports*, Konstanz, 574–577.

Schöllhorn WI, Nigg BM, Stefanyshyn D, Liu W (2002): „Identification of individual walking patterns using time discrete and time continuous data sets“, in: *Gait & Posture* 15, 180–186.

Serrien B, Tassignon B, Baeyens JP, Clijsen R (2018): „A critical review on the theoretical framework of differential motor learning and meta-analytic review on the empirical evidence of differential motor learning“, in: *Open Science Framework*, osf.io, 29. Mai.

Silverman S (1994): „Communication and motor skill learning. What we learn from research in the gymnasium“, in: *Quest* 46, 345–355.

Swinnen SP (1996): „Information feedback for motor skill learning. A review“, in: Zelaznik HN (Hg.): *Advances in motor learning and control*, Champaign ILL, 37–66.

Vehof K, Janssen D, Schöllhorn WI (2009): „Handwriting acquisition in primary school by means of the differential learning approach“, in: Araújo D, Cabri J, Barreiros J (Hg.): *3rd European Workshop on Movement Science*, Lissabon, 45.

Schöllhorn, W. I. (2019), Übe niemals das Richtige, um richtig gut zu werden, in: EPTA-Dokumentation 2017/2018 "Klavier und Bewegung", Düsseldorf: Staccato, ISBN 978-3-932976-77-3, S. 50–57.