

# Einführung

Ute Strehl

*»Die Behandlung und Rehabilitation neurologischer Erkrankungen mit verhaltensmedizinischen Methoden ist ein besonders erfolgreicher Abschnitt der Lernpsychologie. Allerdings mehr in wissenschaftlicher Hinsicht als in der Verbreitung der Anwendung, die häufig trotz nachgewiesener Effizienz an mangelnden Kenntnissen und Fertigkeiten der in Neurologie und Psychologie Tätigen scheitert« (Birbaumer et al. 2001, S. 45).*

Mit diesem Zitat beziehen sich Birbaumer und Mitarbeiter in erster Linie auf das Biofeedback im Allgemeinen und das Neurofeedback im Besonderen. Biofeedback ist eine Methode, mit deren Hilfe eine Selbstkontrolle physiologischer Vorgänge erworben werden kann. Der Therapeut<sup>1</sup> begleitet einen Lernprozess, der es ermöglicht, die gestörte Regulation einer anfangs willentlichen, später vermutlich automatischen Kontrolle zu unterwerfen. In der Folge kann die Störung/Erkrankung behoben oder in ihrer Symptomatik verringert werden. Auch wenn die Mehrzahl dieser physiologischen Prozesse prinzipiell wahrnehmbar ist, wird die gezielte Kontrolle insbesondere im Fall der gestörten Regulation erst durch eine technisch vermittelte Rückmeldung möglich. Damit benötigt der Therapeut eine Art »Doppelqualifikation«, deren Mangel Birbaumer in dem o.a. Zitat beklagt.

Seit diesem Zitat sind gut zehn Jahre vergangen und das Neurofeedback setzt sich als »neue« Methode der Therapie bei Störungen mit bekannten neurobiologischen Korrelaten zunehmend durch. Ursachen sind zum einen die begrenzten Möglichkeiten und Nebenwirkungen herkömmlicher Therapien (z. B. Stimulantien bei ADHS), die daraus resultierende Nachfrage nach anderen Behandlungsmöglichkeiten, die sich kontinuierlich verbessernde Basis wissenschaftlicher Evidenz und auch das bessere Angebot an notwendiger Technik. Entsprechend wächst auch die Nachfrage seitens interessierter Therapeuten, die Neurofeedback in ihrer Praxis einsetzen möchten. Bislang gibt es nur ein Weiterbildungsangebot verschiedener Fachgesellschaften oder durch Anbieter von Geräten, systematische deutschsprachige Publikationen fehlen weitgehend. Zielsetzung des Buches ist es daher, dem Therapeuten ein Werk zur Hand zu geben, in dem er die theoretischen Grundlagen, das praktische Vorgehen und die wissenschaftliche Evidenz nachlesen kann. Gleichzeitig soll er in die Lage versetzt werden, über neue Anwendungen und Techniken zu urteilen bzw. deren Entwicklungen kritisch zu verfolgen.

---

1 Zur besseren Lesbarkeit wird der Begriff »Therapeut« mit dem Begriff »Therapeutin« gleichgesetzt. Ebenso verhält es sich, wenn nicht ausdrücklich anders angegeben, mit allen weiteren Bezeichnungen: Es wird im Buch wo nötig auf geschlechtsneutrale Formulierungen verzichtet, wobei die verwendeten Formulierungen sich ausdrücklich auf beide Geschlechter beziehen.

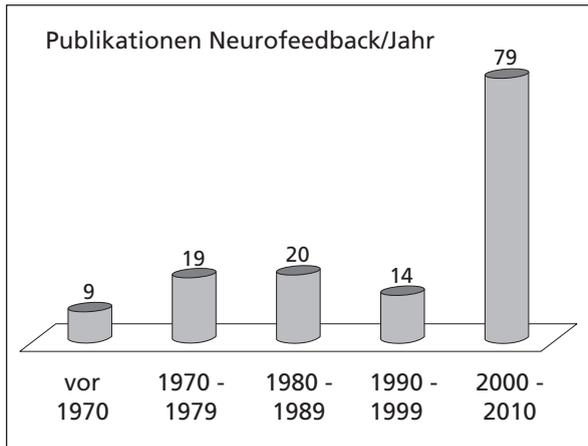
In Teil I werden die Grundlagen der Anwendung von Neurofeedback vorgestellt. Lerntheoretische Grundlagen und Befunde werden auf ihren Beitrag zur Erklärung der Vorgänge beim Erwerb von Selbstkontrolle von Hirnaktivität hin untersucht, um daraus Hinweise für die Gestaltung dieses Prozesses abzuleiten. Dabei wird gezeigt, dass einerseits gesicherte Erkenntnisse zu wenig oder gar nicht berücksichtigt werden, andererseits für viele Entscheidungen in Ermangelung einer theoretischen Fundierung oder empirischen Überprüfung nur das Kriterium »Best Practice« gilt. Weiteres Grundlagenwissen ist die neurophysiologische Basis des Neurofeedbacks, sensu EEG-Feedback. Je nach Vorbildung des Therapeuten können hier Wissens- (oder Erinnerungs-)Lücken gefüllt werden. Kenntnisse des spontanen EEG, seiner Genese, Funktion und Analyse sind unabdingbare Voraussetzung für ein Feedback von EEG-Frequenzen. Ein Verständnis der ereignisbezogenen Potentiale – häufig dem ärztlichen Therapeuten weniger bekannt als dem (kognitiven) Neuropsychologen – ist erforderlich, wenn man ein Feedback der langsamen Potentiale durchführen möchte. Diese Anwendung gewinnt zunehmend an Bedeutung. Das zweite, auf das EEG bezogene Kapitel setzt sich mit der Frage auseinander, inwieweit eine quantitative Betrachtung des EEG unter Hinzuziehung von Normen im Sinne einer individualisierten Medizin für den Einzelnen maßgeschneiderte Neurofeedback-Behandlungen ermöglicht. Im Grundsatz wird dieses Vorhaben als sinnvoll angesehen, allerdings unter den derzeitigen Anwendungen und Techniken als nicht gegeben bewertet. Der erste Teil des Buches schließt mit einer Beschreibung der Techniken und Prinzipien der Verarbeitung von EEG-Signalen. Nicht nur, um mit Anbietern kommunizieren zu können, sondern vor allem auch um zu wissen, welche Daten man wie gewinnt und dem Patienten rückmeldet, ist dieses Kapitel eine weitere, unabdingbare Voraussetzung für die therapeutische Arbeit.

Teil II beinhaltet die Anwendungen. Bei der Auswahl wurden nur solche Störungen berücksichtigt, für die es für die Methode des Neurofeedbacks eine wissenschaftliche Evidenz gibt bzw. man sich erkennbar um wissenschaftliche Evidenz bemüht. Dabei ist es unbenommen, dass der Praktiker bei entsprechender Einarbeitung und Erfahrung sich auch auf Neuland begeben kann oder weniger gut untersuchte Störungen (z. B. Tinnitus, Sucht, Depression, Ängste . . .) mit NF behandeln möchte. Ebenso wird nicht auf sogenannte Lifestyle-Anwendungen eingegangen (z. B. Peak-Performance, Neuroenhancement, Hochleistungssport).

In den Kapiteln von Teil II werden die theoretischen und empirischen Grundlagen, das praktische Vorgehen und die Literatur zur empirischen Evidenz vorgestellt. Offene Fragen und Schwierigkeiten werden ebenso angesprochen wie die konkrete Gestaltung von Sitzungen und der Ablauf der Therapie samt etwaigen Variationen. Auch der Stellenwert des Neurofeedbacks im Rahmen anderer Interventionen wird gegebenenfalls erörtert.

Die einzelnen Beiträge sind bewusst nicht nach einem identischen Schema aufgebaut, weil die Etablierung des Neurofeedbacks (noch) sehr unterschiedlich entwickelt oder aber auch aus grundsätzlichen Erwägungen verschieden ist. Entsprechend unterscheiden sich die Beiträge in dem Ausmaß der Ausführungen zum praktischen Vorgehen. Dort, wo diesem Thema viel Raum gegeben wird,

können sich die Aussagen und Empfehlungen der Autoren durchaus auch einmal widersprechen, da unterschiedliche Erfahrungen gemacht wurden. Nicht nur aus diesem Grund handelt es sich bei diesem Buch um *Work in Progress*. Nicht nur der Schatz an Erfahrungen wächst, sondern auch die wissenschaftliche Begleitforschung. Wie aus **Abbildung 1** ersichtlich, ist dieses Wachstum exponentiell, auch wenn es im Vergleich zu der Zahl von Publikationen etwa zur medikamentösen Behandlung von ADHS oder Epilepsie verschwindend gering ist.



**Abb. 1:** Anzahl der jährlichen Publikationen zum Neurofeedback (nach Lofthouse et al. 2012).

Dass sich Neurofeedback als therapeutisches Angebot noch entwickelt, wird auch anhand von Teil III deutlich. Hier wird nämlich Neurofeedback aus der Perspektive des praktisch arbeitenden Therapeuten vorgestellt. Die Beiträge in diesem Abschnitt sollen dazu dienen, die ganz praktischen Schritte bei der Einführung von NF in die Praxis zu reflektieren. Was wird an Know-how, Ausstattung und wo-man-power benötigt? Ändern sich die Abläufe durch höherfrequentes Training im Vergleich zur üblichen Therapie einmal pro Woche? Wie wird abgerechnet? Wie ist der Vorlauf, was sollte in dieser Zeit passieren? Ein Kapitel schildert besonders eindrücklich, zu welchen grundsätzlichen Veränderungen die Einführung von Neurofeedback im therapeutischen Vorgehen führt. Mit dem Neurofeedback wird erstmals auch ein sehr direkter »Zugriff« auf die sogenannte »O«-(Organismus-) Variable im verhaltenstherapeutischen Analyseschema möglich. Es ist aber auch denkbar, die dysfunktionale physiologische Aktivität als »R«-(Problem«verhalten«) in den Mittelpunkt der Arbeit zu stellen. »*Verhaltenstherapie ohne Neurobiologie ist wie Psychoanalyse ohne Unbewusstes!*« wird sehr treffend in dem Beitrag von Hohn (► **Kap. 12**) formuliert. Nicht nur in diesem Beitrag wird auch deutlich, dass Neurofeedback im Sinne von EEG-Feedback nur *ein* Ansatz des Biofeedbacks ist. Andere Methoden der Rückmeldung neuronaler Aktivität befinden sich in der Entwicklung (► **Kap. 2**) und für andere (periphere) Biofeedback-Verfahren wurde die Wirksamkeit für verschiedene Störungen bereits nachgewie-

sen (vgl. Rief und Birbaumer 2011). EEG-Feedback ergänzt das Spektrum, seine Anwendung sollte stets in sorgfältiger Abwägung der Indikation, wissenschaftlichen Evidenz und Kenntnis der »Best Practice« erfolgen. Entsprechend schließt das Buch mit Informationen zur Ausbildung und Überlegungen zu Leitlinien, um die Qualität der therapeutischen Arbeit auch (und gerade) in diesem jungen Feld zu gewährleisten.

## Literatur

- Birbaumer N, Strehl U, Kübler K, Kotchoubey B, Flor H (2001) Verhaltensmedizin neurologischer Erkrankungen. In: Flor H, Hahlweg K, Birbaumer N (Hrsg.) Enzyklopädie der Psychologie. Anwendungen der Verhaltensmedizin. Göttingen: Hogrefe. S. 45–96.
- Lofthouse A, Arnold E, Hersch S, Hurt E, DeBeus R (2012) Review of Neurofeedback Treatment for Pediatric ADHD. *J Attention Disorders* 16(5): 351–372.
- Rief W, Birbaumer N (Hrsg.) (2011) Biofeedback. 3. Auflage. Stuttgart: Schattauer.

# Teil I – Grundlagen



# 1 Lerntheoretische Grundlagen und Überlegungen zum Neurofeedback

Ute Strehl

## 1.1 Einleitung

»Monkeys meditate for marshmallows« – so der Titel eines Berichts im NewScientist im September 2011 (<http://www.newscientist.com/article/dn20989-monkeys-meditate-for-marshmallows.html>). Der Bericht bezieht sich auf ein Experiment von zwei holländischen Kollegen, die Affen trainiert haben, in einer bestimmten Frequenz ihres Elektroenzephalogramms (EEG) mehr Aktivität zu zeigen (Philippens und Vanwersch 2010). Damit wurde erstmals seit Wyrwicka und Sterman (1968) wieder gezeigt, dass (auch) Tiere lernen können, ihre Gehirnaktivität gezielt zu verändern. (Auf in jüngster Zeit publizierte Tierversuche zum Neurofeedback [Schafer et al. 2012; Koralek et al. 2012] wird weiter unten noch eingegangen.) Der Mechanismus, der diesem Lernen zugrunde liegt, ist die *operante Konditionierung*.

Die Möglichkeit, Hirnaktivität beim Menschen durch operante Konditionierung zu verändern, wurde erstmals von Kamiya im Jahr 1962 (vgl. Kamiya 2011) untersucht. Kamiya interessierte sich für die Frage, inwieweit internale Vorgänge wahrgenommen werden können. Seine Probanden konnten nach kurzer Zeit mit nahezu hundertprozentiger Sicherheit angeben, ob sie gerade einen Alpha-Burst hatten oder nicht. Jede richtige Antwort war während des Trainings vom Versuchsleiter entsprechend bestätigt worden. In einer weiteren Studie konnte er zeigen, dass es möglich ist, die Alpha-Frequenz (heute würde man vermutlich von der individuellen Alpha-Peak-Frequenz sprechen) nach oben und nach unten zu regulieren (Kamiya 1966 nach Kamiya 2011).

Neben den Prinzipien des operanten Konditionierens gibt es weitere Lernmechanismen bzw. Lernmodelle, wie das klassische Konditionieren, das Modell zum Erwerb von Fertigkeiten (Lang 1975; Lang und Twentyman 1974, 1976; zitiert nach Neumann 2001) und die Zwei-Prozess-Theorie nach Lacroix (Lacroix 1981, 1986; Lacroix und Gowen 1981; zitiert nach Neumann 2001), die beim Erlernen der Selbstkontrolle physiologischer Parameter eine Rolle spielen (► **Tab. 1.1**).

Zunächst werden nachfolgend die verschiedenen Ansätze und die daraus ableitbaren Hinweise für die Gestaltung einer Behandlung mit Neurofeedback vorgestellt. Im letzten Teil dieses Kapitels soll dann die Frage erörtert werden, welche Kenntnisse über den *Verlauf von Lernprozessen*, wie sie in einer Behandlung mit Neurofeedback stattfinden, zur Optimierung der Verfahren herangezogen werden können.

**Tab. 1.1:** Theorien des Lernens von physiologischer Selbststeuerung, ihre Lernmechanismen und Faktoren, die Einfluss auf das Lernen haben (in Anlehnung an Neumann 2001 mit Ergänzungen).

Perspektive	Mechanismus	Faktoren
Operantes Konditionieren	Zielverhalten entsteht durch Versuch und Irrtum	Verstärker; Verstärkung
Klassisches Konditionieren	Zielverhalten ist mit Umgebungreizen assoziiert	Transferübungen
2-Prozess-Theorie	1. Lernprozess: Identifizieren von Strategien, operante Konditionierung 2. Lernprozess: Erstellung eines Reaktionsbildes durch wiederholte Paarung von Feedbacksignal mit interozeptiven Reizen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instruktion/Strategien</li> <li>• Verstärker bzw. Knowledge of results</li> <li>• Übung</li> <li>• Feedback</li> </ul>
Erwerb von Fertigkeiten	Motorisches Lernen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Übung</li> <li>• Knowledge of Results</li> <li>• möglichst präzises Feedback (shaping)</li> <li>• individuelle Differenzen</li> </ul>

## 1.2 Lerntheoretische Grundlagen und ihre Berücksichtigung beim Neurofeedback

In diesem Abschnitt orientieren wir uns an der Übersicht in ► **Tabelle 1.1**. Diese verweist auf Überlegungen und Befunde aus verschiedenen lerntheoretischen Perspektiven, die Hinweise auf die Gestaltung von Lernprozessen zur Selbstkontrolle physiologischer Signale geben. Die verschiedenen Ansätze schließen einander nicht aus. Es können mehrere Mechanismen beteiligt sein, gleichzeitig können gleiche Faktoren bei den unterschiedlichen Mechanismen eine Rolle spielen.

### 1.2.1 Feedback, Verstärkung und Ergebniswissen

Das grundlegende Prinzip des Biofeedbacks ist, dass der Proband in Echtzeit eine Rückmeldung über die Veränderung des infrage stehenden physiologischen Signals erhält. Eine Veränderung in die gewünschte Richtung (= Erfolg) ist in sich belohnend, gelingt diese nicht (= Misserfolg), ist dies in sich bestrafend. Dieser grundlegende Wirkmechanismus des operanten Konditionierens beim Biofeedback wird im Fall des *Neurofeedbacks* dadurch »behindert«, dass wir keine Rezeptoren für die Wahrnehmung der neurophysiologischen Aktivität unseres Gehirns haben. Während wir den Tonus von Muskeln und Gefäßen, die Temperatur und die

Schweißdrüsenaktivität wahrnehmen können, weil uns entsprechende Rezeptoren zur Verfügung stehen, können wir unsere Hirnaktivität allenfalls vermittelt über kognitive oder emotionale Zustände erfassen bzw. »nachvollziehen«. Deshalb ist der Erwerb von Selbstkontrolle der Hirnaktivität unbedingt an die apparative vermittelte visuelle und/oder akustische Rückmeldung gebunden. Es stellt sich stärker als beim peripheren Feedback die Frage, ob und inwiefern eine Selbstkontrolle jemals ohne dieses apparativ vermittelte Feedback funktionieren kann, oder ob vielleicht das Lernen auch ohne entsprechende Rezeptoren möglich ist.

Hier hilft der Blick auf die eingangs genannten Tierstudien. Die Tiere erhielten keine Rückmeldung über die Veränderung ihrer Hirnaktivität, die operante Komponente bestand ausschließlich aus Belohnungen. In vier 30-minütigen Sitzungen wurden die Affen in der Studie von Philippens und Vanwersch (2010) immer dann, wenn sie eine Aktivität zwischen 10 und 14 Hz zeigten, mit einem »Marshmallow« belohnt. Der Affe, der am schnellsten gelernt und die stärkste Veränderung im betreffenden Frequenzband erreicht hatte, erhielt in der letzten Sitzung keine Belohnung. Ein Video zeigt deutlich, wie dieses Tier die Belohnung erwartet, also eine Kontingenz zwischen dem gewünschten Zustand und der Belohnung herausgebildet hat. Koralek et al. (2012) trainierten Nagetiere (Ratten), zwei verschiedene Zellgruppen im primär-motorischen Kortex (M1) zu aktivieren, je nachdem, welches von zwei Zielen sie mithilfe eines Cursors erreichen sollten. Um das eine Ziel (Zuckerwasser) zu erreichen, musste die Aktivität in der einen Zellgruppe verstärkt, die in der anderen Zellgruppe gehemmt werden. Ein hoher Ton informierte über die Annäherung an dieses Ziel. Umgekehrt führte ein tiefer Ton zu dem Ziel »Futterpille«, wenn die jeweils andere Zellgruppe gehemmt bzw. verstärkt wurde. In diesem Experiment erhielten die Tiere also ein kontinuierliches Feedback ihrer Hirnaktivität. War die Belohnung zwei Tage lang nicht mehr kontingent zur Veränderung der Hirnaktivität, so verringerte sich die Antwortrate und Zahl der richtigen Durchgänge signifikant. Hatten die Tiere zuvor einen unbeschränkten Zugang zu Futter oder Zuckerwasser, war also eine Sättigung bezüglich einer der beiden Belohnungen herbeigeführt worden, verringerte sich die Antwortrate hinsichtlich des entsprechenden Ziels. Dies wird als Zeichen dafür gesehen, dass die Verhaltensänderung absichtsvoll und zielgerichtet ist. Die Tiere änderten ihr Verhalten nur, wenn die Konsequenz tatsächlich belohnend war. Einen Schritt weiter gingen Siniatchkin und Kollegen (2000; siehe auch ► **Kap. 8**). Sie gaben Kindern online ein falsches Feedback über ihre Gehirnaktivität, aber ein verbales Lob für die richtige Veränderung. Beide Studien weisen darauf hin, dass eine positive Verstärkung wichtiger sein kann als das Feedback selbst und die in ihm enthaltene operante Komponente. Im Widerspruch dazu stehen die Untersuchungen zum »Knowledge of Results« (Ergebniswissen) von Towbridge und Cason (1932). Bei der Einschätzung von Längen führte ein quantitatives Feedback (Ausmaß der Abweichung) am schnellsten zum Lernerfolg, gefolgt von einem qualitativen Feedback (gut/schlecht ...). Erhielten die Probanden kein Feedback oder sinnlose Silben als Rückmeldung, so verbesserten sie sich nicht. Eine positive Verstärkung für richtige Schätzungen erfolgte in keiner der Bedingungen. Vermutlich ist die Kombination von quantitativem Feedback plus positiver Verstärkung der Königsweg, allerdings sind dazu keine Studien bekannt. Für die Ge-

staltung eines Neurofeedback-Protokolls wäre die Konsequenz, dass eine *kontinuierliche Information über die Steuerung der Hirnaktivität und eine positive Verstärkung* (verbales oder visuell vermitteltes Lob, Token) gegeben werden sollten. Programme, die mit Videos arbeiten, die nur bei korrekter Veränderung der Hirnaktivität fortlaufen oder gut sichtbar sind, kommen dieser Kombination aus Rückmeldung und Verstärkung sehr nah. Dies gilt allerdings nur, wenn das Betrachten des Videos für den Patienten angenehm oder interessant, d. h. auch tatsächlich ein Verstärker ist.

Wenn das Betrachten von Videos aus dem genannten Grund sinnvoll sein kann, muss es im Hinblick auf das Phänomen der »Post-Reinforcement Synchronization« (PRS) allerdings infrage gestellt werden. PRS bezieht sich auf eine Synchronisierung des EEG nach der Gabe eines Verstärkers und steht in einem positiven Zusammenhang mit dem Lernerfolg. Entsprechende Beobachtungen im Tierversuch (vgl. Sherlin et al. 2011) wurden durch Hallschmid et al. (2002) auch beim Menschen bestätigt. Dies bedeutet, dass das Training eher diskontinuierlich ablaufen sollte. Viele kurze, durch kleine Pausen getrennte Durchgänge ermöglichen viele Male eine PRS und sollten den Lernerfolg verbessern. Von komplexen Spielen oder anderen kontinuierlichen Formen der Rückmeldung wird daher abgeraten, weil es möglicherweise die PRS unterbindet. Auch hierzu gibt es allerdings keine vergleichenden Studien.

Bezüglich des Feedbacks wurde auch untersucht, ob die Rückmeldung proportional oder binär erfolgen und in welcher Modalität (akustisch, visuell) und mit welcher zeitlichen Verzögerung es angeboten werden sollte. Hier ist die Befundlage recht eindeutig: die proportionale Rückmeldung ist der binären überlegen, visuelles Feedback führt zu besseren Erfolgen als das akustische und mit Zunahme der zeitlichen Verzögerung wird die Leistung schlechter (vgl. Übersicht in Neumann 2001).

Schließlich soll noch an die Bedeutung des zeitlichen Zusammenhangs zwischen dem erwünschten Verhalten und seiner positiven Verstärkung erinnert werden. Um die Kontingenz sicher auszubilden, sollte die Verstärkung möglichst zeitnah erfolgen. Dies ist in der Regel bei allen Programmen gewährleistet.

Alle hier genannten Aspekte der Gestaltung eines optimalen Biofeedback-Protokolls gelten nicht nur für das erwünschte Verhalten, sondern auch für unerwünschtes Verhalten. Wenn also das zurückgemeldete Signal und der nachfolgende Verstärker sich statt auf die Hirnaktivität auf z. B. Augenbewegungen, Atmung oder Schwitzen bezieht, lernt der Patient dieses Verhalten zu zeigen. Bei nicht physiologischen Artefakten (z. B. durch eine gelockerte oder defekte Elektrode) lernt der Patient überhaupt nichts, da er diese ja nicht beeinflussen kann. Möglicherweise führt dies sogar zu einem Gefühl des Kontrollverlusts oder gar gelernter Hilflosigkeit. Ohne eine gute Online-Artefaktkontrolle sollte daher kein Training durchgeführt werden.