

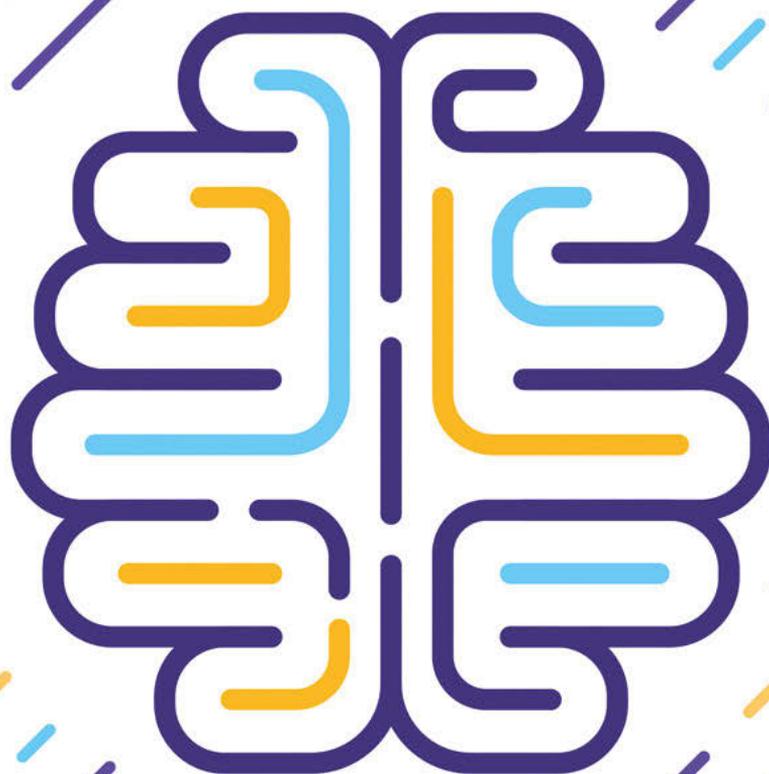
Ulrich Herrmann (Hrsg.)

PÄDAGOGIK

# Neurodidaktik

Grundlagen für eine  
Neuropsychologie des Lernens

3. Auflage



**BELTZ**

Ulrich Herrmann (Hrsg.)  
**Neurodidaktik**



Ulrich Herrmann (Hrsg.)

# Neurodidaktik

Grundlagen für eine Neuropsychologie des Lernens

3. Auflage

**BELTZ**

Prof. em. Dr. *Ulrich Herrmann* war Leiter des Seminars für Pädagogik der Universität Ulm. Er lehrte außerdem an den Universitäten Tübingen, Bern und Zürich.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme.



Dieses Buch ist erhältlich als:  
ISBN 978-3-407-25878-6 Print  
ISBN 978-3-407-25891-5 E-Book (PDF)

3., vollständig überarbeitete Auflage 2020

© 2006 Beltz Pädagogik  
in der Verlagsgruppe Beltz · Weinheim Basel  
Werderstraße 10, 69469 Weinheim  
Alle Rechte vorbehalten

Lektorat: Erik Zyber  
Umschlaggestaltung: Michael Matl  
Umschlagabbildung: getty images © ilyast

Satz und Herstellung: Michael Matl  
Druck und Bindung: Beltz Grafische Betriebe, Bad Langensalza  
Printed in Germany

Weitere Informationen zu unseren Autoren und Titeln finden Sie unter: [www.beltz.de](http://www.beltz.de)

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	8
<i>Ulrich Herrmann</i>	
Neue Wege des Lehrens und Lernens aus neurowissenschaftlicher Sicht .....	10
<b>I.</b>	<b>Grundlagen von Strukturen und Prozessen des Lernens in neuropsychologischer und -biologischer Sicht</b>
Vorbemerkung .....	24
<i>Friedrich Wilkening/Trix Cacchione</i>	
Theorien dynamischer Systeme in der Entwicklungspsychologie .....	25
<i>Norbert Sachser</i>	
Neugier, Spiel und Lernen: Verhaltensbiologische Anmerkungen zur Kindheit .....	35
<i>Anna Katharina Braun/Henning Scheich</i>	
Lernen in der Kindheit optimiert das Gehirn .....	48
<i>Sabina Pauen</i>	
Zeitfenster der Gehirn- und Verhaltensentwicklung: Modethema oder Klassiker? .....	67
<i>Gerald Hüther</i>	
Die Ausbildung von Metakompetenzen und Ich-Funktionen während der Kindheit .....	78

*Joachim Bauer*

Kleine Zellen, große Gefühle – wie Spiegelneurone funktionieren

Die neurobiologischen Grundlagen der »Theory of Mind« ..... 89

*Gerald Hüther*

Die Bedeutung sozialer Erfahrungen für die Strukturentwicklung  
des menschlichen Gehirns

Welche sozialen Beziehungen brauchen Schüler und Lehrer? ..... 99



## **II. Aspekte des Lernens in neurobiologischer und -psychologischer Perspektive**

Vorbemerkung ..... 110

*Martin Grunwald*

Homo Hapticus

Der Mensch als Kontaktwesen lernt mit allen Sinnen,  
exemplarisch dargestellt anhand des Tastsinnes

..... 111

*Andrea Beetz*

Das Potenzial tiergestützter Pädagogik für die Gestaltung  
positiver pädagogischer Beziehungen

Neurobiologie und Lernpsychologie im Dialog ..... 130

*Joachim Bauer*

Die pädagogische Beziehung:

Neurowissenschaften und Pädagogik im Dialog

Ein Überblick unter besonderer Berücksichtigung der Vorschulzeit ..... 139

*Joachim Bauer*

Erziehung als Spiegelung

Die pädagogische Beziehung aus dem Blickwinkel der Hirnforschung ..... 151

*Gerald Hüther*

Für eine neue Kultur der Anerkennung

Plädoyer für einen Paradigmenwechsel in der Schule ..... 159

### **III. Hinführungen zur Neuropsychologie des Lehrens und Lernens**

Vorbemerkung .....	170
<i>Ulrike Gleissner</i>	
Lern- und Gedächtnisstrategien des Gehirns – und wie es dabei unterstützt werden kann Entwicklungsneurologie, Entwicklungspsychologie und Lernpsychologie im Dialog .....	171
<i>Monika Brunsting</i>	
Exekutive Funktionen, Selbstregulation und ihre Bedeutung für die Neuropsychologie des Lernens .....	188
<i>Matthias Brand/Hans J. Markowitsch</i>	
Lernen und Gedächtnis aus neurowissenschaftlicher Perspektive Konsequenzen für die Gestaltung des Schulunterrichts .....	204
<i>Maja Storch</i>	
Hausaufgaben! Oder lieber nicht? Wie mit somatischen Markern Selbststeuerungskompetenz gelernt werden kann .....	222
<i>Margret Arnold</i>	
Brain-Based Learning and Teaching – Prinzipien und Elemente .....	245
<i>Ulrich Herrmann</i>	
Die neuropsychologische Revision des schulisch organisierten Lehrens und Lernens Aspekte und Chancen einer gemeinsamen interdisziplinären Erfolgsgeschichte .....	260
Die Autorinnen und Autoren dieses Bandes .....	297

## Vorwort zur dritten Auflage

Von der »Neurodidaktik« ist eine dritte Auflage erforderlich geworden – das erfreuliche äußere Zeichen dafür, dass dieses Studienbuch eine beträchtliche Resonanz gefunden hat. Damit verbindet sich der Wunsch von Herausgeber und Verlag, dass dies nach und nach auch Wirkung zeigen möge in einer neuropsychologisch angeleiteten Revision des schulischen Lehrens und Lernens. Dem stehen beträchtliche systemische Widerstände entgegen; denn – darin sind sich alle Fachleute einig – für eine solche Umstrukturierung mit dem Ziel der Optimierung von Lehren und Lernen muss die herkömmliche Betriebsförmigkeit von Schule und Unterricht aufgegeben werden: individuelle Lernstände erheben und Lernberatung ermöglichen erfordert Zeitfenster, die der Schulvormittag nicht enthalten kann; fächerverbindender und -übergreifender (Projekt-)Unterricht sprengt die Grenzen der Schulfächer; mit der Individualisierung des Lernens, nicht zuletzt eine unabwiesbare Folge der Kompetenzorientierung, muss man sich nach den Maßgaben der Neuropsychologie von der illusionären Vorstellung der synchronen Gleichschrittigkeit von Lernprozessen sowie der identischen Bedeutung und Wertigkeit des generierten Wissens bei Schülern verabschieden.

Diese und andere Gründe haben dazu geführt, dass sich die Hoffnung nicht erfüllt hat, in der dritten Auflage der »Neurodidaktik« mehr Beispiele aus der Schul- und Unterrichtspraxis präsentieren zu können. Demzufolge wurde dies Studienbuch inhaltlich umgestaltet zugunsten neuer Artikel zu grundsätzlichen und allgemeineren Aspekten der Neuropsychologie des Lernens. Der neue Untertitel soll dies auch nach außen kundtun und zugleich präzisieren, was mit »Neurodidaktik« gemeint ist: das Gebiet der Neuropsychologie (und auch -biologie) des Lernens. Damit keine Missverständnisse aufkommen: Es geht ausschließlich um Lernen und Gedächtnis, um deren neuronale Prozesse, Strukturen und Optimierung, aber auch deren Einbettung in psycho-soziale Beziehungen.

Es geht also um eine neue Sicht auf die Methodik des Lehrens und Lernens, ohne dass die Entwicklungsneuropsychologie schon gebührend einbezogen werden konnte. Alle weiterreichenden Dimensionen von Lehren und Lernen durch Unterricht, die sich auf die Auswahl der Inhalte oder den Aufbau spezifischer Kenntnisse und Fertigkeiten, Einstellungen und Haltungen sowie neuerdings auch Kompetenzen beziehen, fallen nicht in das Gebiet der Neuropsychologie des Lehrens und Lernens. Die gegenteilige Erwartung und die daraus entstandene Kritik

»der Pädagogik« an den angeblichen Ambitionen der Neurowissenschaften, pädagogische Entscheidungen treffen zu wollen (was nirgends angestrebt oder behauptet wurde), ergab sich aus der missverständlichen Bezeichnung »Neurodidaktik«.

Sie wurde im Haupttitel dieses Buches auf Wunsch des Verlags gleichwohl beibehalten, damit ein neuer Haupttitel nicht ein nächstes Missverständnis beim überraschten Käufer auslöst: als handle es sich um ein neues Buch zu einem neuen Fachgebiet. – Wo nicht anders vermerkt, wurden Beiträge unverändert aus der 2. Auflage übernommen.

*Tübingen, im Juli 2020*

*Ulrich Herrmann*

Ulrich Herrmann

# Neue Wege des Lehrens und Lernens aus neurowissenschaftlicher Sicht

## 1. »Neurodidaktik«: Neurobiologie und Neuropsychologie des Lehrens und Lernens

»Neurodidaktik« wurde als Bezeichnung eingeführt für ein neues methodisches Vorgehen im sonderpädagogischen Bereich bei Schülern mit Lern- und Verständnisschwierigkeiten (Friedrich 1995, Preiß 1996). Dieses Vorgehen beruht kognitionspsychologisch darauf, »Holzwege« im Denken und Verstehen bzw. »Fehler« dadurch zu umgehen, indem andere gedankliche Operationen zu dem ursprünglich gewünschten, aber verfehlten Ergebnis kommen. Die Bezeichnung mit *Neurodidaktik* war nicht glücklich, weil es sich eher um eine modifizierte *Methodik* des Lehrens und Lernens handelt. Traditionell wird nämlich unterschieden Didaktik als Begründung der Auswahl und Anordnung der *Lehrinhalte* und Methodik als Lehre von den *Lehr-Lern-Verfahren*. Korrekt müsste für Neurodidaktik die Bezeichnung Neurobiologie und Neuropsychologie des Lernens heißen, wobei die einschlägigen Beiträge eine Kombination beider Fachgebiete bieten; denn – wie Joachim Bauer einmal pointiert formuliert hat – »das Gehirn macht aus Information Biologie«, was nichts anderes besagen soll, dass Informationsaufnahme und -speicherung die neuronale Struktur des Gehirns auf eine je spezifische Weise physiologisch verändert. Dabei ist im Wesentlichen ungeklärt, wie das Zusammenspiel von elektrochemischen und neurophysiologischen Prozessen aus Impulsen sinnhafte und als solche abrufbare Gedächtnisinhalte strukturiert; ebenso verhält es sich mit den Gehirnprozessen, die wir Denken nennen. Daher kann es sich beim heutigen Stand des neurowissenschaftlichen Wissens auf dem Gebiet von Lernen und Gedächtnis nicht um mehr handeln als eine neue Sicht auf Voraussetzungen, Strukturen und Prozesse von Lernen und Gedächtnis, nicht aber auf höhere kognitive Verstehens- und Denkprozesse. Ebenso wenig – auch dies muss vorab betont werden – gibt es neurowissenschaftliche Einsichten, welche sachlichen Inhalte sich besonders Lernen und Gedächtnis anbieten, wohl aber darüber, welche formale Qualität sie haben und wie sie dargeboten werden sollten, um erfolgreiche Lern- und Ge-

dächtnisprozesse zu ermöglichen und damit die Grundlage zu legen für Denken und Verstehen.

Die neue Sicht der Neuropsychologie besteht – kurz gesagt – darin, dass Begünstigungen und Widrigkeiten beim organisierten schulisch-unterrichtlichen Lernen in ihren Voraussetzungen, Strukturen und Prozessen, soweit sie bekannt sind, aus neurowissenschaftlicher Sicht interpretiert und aufgrund neurowissenschaftlicher Einsichten modifiziert werden (Gasser 2008). Zur Beurteilung von Kontroversen zwischen Neurowissenschaftlern, (Kognitions-)Psychologen und Pädagogen über den Nutzen neurowissenschaftlicher Erkenntnisse für die Gestaltung von Lern- und Denkprozessen mögen folgende Klarstellungen dienen: Das »lernende Gehirn« ist aus der Sicht

- der Neurowissenschaften ein Objekt, in dem vor allem Zellstoffwechselprozesse studiert werden können, die dokumentieren, wie das Gehirn aus »Informationen« »Biologie« macht (Joachim Bauer): physiologisch-chemisch nachweisbare Veränderungen in den Nervenbahnen und Synapsen, das heißt von biologischen Strukturen im Gehirn;
- der Kognitionspsychologie eine »Agentur« von und für höhere(n) kognitive(n) Prozesse(n), (Denken, Verstehen usw.), die sich trotz der bisher neurowissenschaftlich nicht entschlüsselten Fähigkeit zur »Selbstreflexion« (Ich-Bewusstsein) für die Anleitung von Denk- und Verstehensprozessen nutzen lässt, da die Ordnung der zu lernenden intellektuellen Operationen das strukturellen Pendant zu »neuronalen Repräsentationen« darstellen (Aebli 1980/81);
- der Sozialpsychologie abhängig von atmosphärisch angstfreien, ermutigenden, Erfolgszuversicht signalisierenden Beziehungen und Botschaften, um optimale Lern- und Gedächtnisleistungen zu erbringen;
- von Erziehern und Lehrern (Pädagogen) die Grundlage für Unterstützungen und Hilfestellungen beim möglichst vielseitigen erfolgreichen Explorieren der Lebenswelt durch Kinder und junge Leute, weshalb sie Experten sein sollten für die »gehirngerechten Lehr-Lern-Arrangements«, »gehirn«-gerecht insofern, als es um die Berücksichtigung derjenigen Strukturen und Prozesse geht, die den Erfolg pädagogischer Interventionen begünstigen oder beeinträchtigen können.

Für die Vertreter all dieser Disziplinen gibt es daher breite Überschneidungsfelder, je nach Akzentuierung hinsichtlich der zu berücksichtigenden Voraussetzungen bzw. der zu gestaltenden Prozesse und Interventionen. Der Magdeburger Hirnforscher Henning Scheich hat schon 2003 zum Stand der Dinge mit Recht formuliert, dass die Hirnforschung bisher nicht mehr zutage gefördert habe, als erfahrene reflektierende Pädagogen schon wussten, jedoch könne die Hirnforschung jetzt begründen, warum sie Recht hatten. Um welche pädagogischen Erfahrungen handelt es sich, die jetzt eine neue Begründung erfahren?

## 2. Alte pädagogische Wahrheiten: die Lehren der internationalen Reformpädagogik

Was wissen Pädagogen schon seit dem ausgehenden 18. Jahrhundert über gelingende Lernprozesse (Anhänge zu Herrmann in diesem Band)? Die moderne Pädagogik von Erziehung und Unterricht wurde im 18. Jahrhundert von einer Anthropologie und Psychologie der menschlichen »Kräfte« her entwickelt. Im Mittelpunkt standen jene »Kräfte« des lernenden Kindes und diejenigen begünstigenden Umstände, durch die die Lernlust (Neugier) nicht erlahmt und wo durch Lernerfolg (Wohlbefinden) Lernmotivation erhalten und gefördert wird. Die wichtigsten damaligen, bis heute gültigen Einsichten in erfolgreiches Lernen, vor allem auch in der Form einer Problemlösung, sind:

- Es muss eine praktische Herausforderung bestehen, die bewältigbar ist und subjektiv Sinn macht.
- Lernen beruht auf Selbsttätigkeit. Gelernt wird, was getan wird, am besten mit hoher Selbständigkeit und Selbstverantwortlichkeit.
- Es dürfen keine Entmutigungen eintreten beim Versuch, etwas zu bewältigen bzw. ein Problem zu lösen; dieser Versuch sollte von positiven Gefühlen begleitet sein.
- Erfolgreiches Lernen basiert auf Vertrauensverhältnissen: zum einen auf der förderlichen Beziehung zwischen Lehrendem und Lernendem, zum andern, aufgrund von Erfahrung, in die eigene Problemlösebefähigung.
- In einer Gruppe verlaufen das Probieren und Experimentieren als Lernprozess stabiler als in einer Situation der Vereinzelung.
- Es muss für Sicherheit und Erfolgsgewissheit viel wiederholt und geübt werden; »Übung macht den Meister«.
- Lernen bedarf eines Wechsels von Anspannung und Entspannung.
- Anforderungen müssen individuell zugemessen werden: Unterforderung bewirkt Lernverdruss durch Langeweile, Überforderung mindert durch Druck Lernfähigkeit oder bewirkt durch fortgesetzte Misserfolge Lernunwilligkeit.
- Lernende müssen ihre Arbeits- als Lernzeiten individuell bestimmen können; Zeitdruck (Stress) erzeugt Versagensangst, das Gehirn wird »blockiert«.

Die internationale Reformpädagogik hat seit der Wende zum 20. Jahrhundert alte Einsichten wiederbelebt, neue hinzugefügt und sehr erfolgreich ein breites Spektrum von Lehr-Lern-Formen entwickelt, um die herkömmliche Buch- und Lernschule abzulösen. Deren Verfahren kann so zusammengefasst werden:

»1. Vortragen, Erklären, Zeigen, Vormachen des (vorgeschrieben) Unterrichtsinhaltes durch die Lehrperson

2. Nacherzählen, Nachschreiben, Nachmachen, Auswendiglernen, fragend-entwickelndes Erschließen und Üben des neuen Inhaltes

3. Überprüfung der Kenntnisse usw. durch die Lehrperson«. (Skiera 2003, S. 14)

Dies Verfahren war (und ist bis heute vielfach) eingebunden in eine starre Betriebsförmigkeit des Schul-, Unterrichts- und Lernbetriebs (zitiert nach ebd., S. 15 f.):

- Monokultur des Lehrens ohne Rücksicht auf die individuellen Interessen, Bedürfnisse und Fähigkeiten der Schüler
- Orientierung am Lehrplan und am Schulbuch bei starrem Zeittakt; Strukturierung des Unterrichts nach »Fächern«; Fremdsteuerung des Lernens und der Disziplin
- Gruppierung in Altersklassen ohne Rücksicht auf Entwicklungsabstände und Begabungsunterschiede
- Eingeschränkte Kommunikation der Schüler/innen untereinander.

Diese Unterrichts- bzw. Lernschule ist unwirksam, wie Hartmut von Hentig (bes. 1993, S. 196 ff.) und Gerhard Roth (2015, S. 30 f.) aus unterschiedlichen Gründen konstatieren, weil sie die elementaren Ziele der Persönlichkeitsentwicklung verfehlt. Reformpädagogen haben diese Schule, diesen Unterricht und das damit verbundene Lernen durch neue Gestaltungs- und didaktisch-methodische Prinzipien der Arbeits- und Lebensschule in ihren Neugründungen überwunden, und nicht nur Grundschulen, die durchweg die Montessori-Pädagogik befolgen, sondern auch viele Sekundarschulen praktizieren dies (zit. nach ebd., S. 22 f.):

### *Gestaltungsprinzipien*

- Orientierung an den Bedürfnissen und Interessen der Schüler/innen
- nicht nur akademisches Lernen, sondern Einbeziehung von Aktivität, Kreativität und Lebensnähe
- Schule als Lebensgemeinschaft, als ein Ort kooperativen, selbst- und mitverantwortlichen Lernens und Lebens
- Erziehung des »ganzen Menschen«, seiner Persönlichkeit und seines Charakters.

### *Didaktisch-methodische und organisatorische Momente*

- Gestaltung eines anregenden Lernmilieus
- Fächerübergreifende Lernbereiche, Unterrichtsprojekte
- Selbstbildungsmittel zur individuellen, Partner- und Gruppenarbeit
- Betonung der Eigenaktivität

- Lerngruppenbildung nach anderen Kriterien als dem Alter
- Öffnung der Schule zum sozialen und kulturellen Umfeld.

Neurowissenschaftler können in der Regel diese Praxis, soweit sie sie nämlich überhaupt *in praxi* nachvollziehen können, nur nachbuchstabieren und feststellen, was sich aus ihrer Sicht gut begründen lässt. Das heißt aber auch, dass (Schul-)Pädagogen Fragen an die Neurowissenschaftler stellen müssen, um von ihnen inszenierte Lehr-Lern-Arrangements soweit es geht untersuchen und überprüfen zu lassen.

In der umgekehrten Richtung – Pädagogen wehren sich gegen angebliche Übergriffe der Gehirnforscher bzw. Neurowissenschaftler – ist viel leeres Stroh gedroschen worden. Es beginnt schon damit, dass »Neuromythen« abgewehrt werden sollen, die nur in der Vorstellungswelt ihres Autors existieren (Madeja 2018). Oder dass eine Neuro»pädagogik« diskutiert wird (Göppel 2014, Speck 2008), die niemand vertritt und die die Neurobiologie und -psychologie auf ein Gebiet ausdehnen würde, für das sie nicht zuständig ist – was sie auch nie beansprucht hat. Richtig ist, dass der überkommenen Pädagogischen Anthropologie ein neurobiologisches Persönlichkeitsmodell gegenüber gestellt wurde, innerhalb dessen dann pädagogische Themen der Persönlichkeitsentwicklung mit neurowissenschaftlichen Aspekten konfrontiert und ins Gespräch gebracht werden. Dies hat bisher nur Gerhard Roth (2015) angeboten (siehe Kapitel 3). Ansonsten werden lediglich Empfehlungen oder auch Warnungen ausgesprochen (z.B. Speck 2008, S. 177; ausführlich Göppel 2014, S. 196 ff.; Hubrig u.a. 2015, S. 166 f.), und nur in einem Fall wird detailliert die Unterrichtspraxis dokumentiert (Koop in Roth/Koop 2015, S. 79 ff.).

### 3. Eine neue pädagogisch relevante Anthropologie

So wie das reformpädagogische Konzept des erfolgreich lernenden Schülers entworfen wurde von einer Anthropologie der Bedürfnisse und Kräfte, so ist die neurowissenschaftliche Konzeption des Lernens eingebettet in eine Anthropologie, die aus neurowissenschaftlicher Sicht beschreibt, welche Dimensionen der Persönlichkeitsentwicklung in Kindheit und Jugendalter zu bewältigen sind (in entwicklungspsychologischer Perspektive Fend 2000, neurobiologisch Roth 2015, siehe nächster Absatz) und wie das Gehirn dabei vorgeht. Eine anthropologische Rahmung ist deswegen ebenso wünschenswert wie die bildungstheoretische für Unterricht, weil Empfehlungen für Lernen und Entwicklung einer halbwegs stringenten Begründung ihrer Sinnhaftigkeit bedürfen. In der Schulpädagogik kann man sich z.B. beziehen auf die Bildungsziele der Elementarbildung und der »Grundlegenden Geistesbildung« (Flitner 1965/1997) oder auf die »Lernziele der Gesamtschu-

le« (Hentig 1971) oder auf »Schlüsselqualifikationen« (Klafki 1985/2007), und wenn auf »Bildungsstandards« oder an den heute gängigen »Kompetenz«-Katalogen, dann in der Version »Unsere Standards« des Schulverbunds »Blick über den Zaun« (2009) – oder schlicht auf den Bildungsauftrag, der mit Schulbesuch »im Haus des Lernens« generell verbunden sein sollte (Hentig 1993, 231 f.; Bildungskommission NRW 1995, S. 77 ff.). Angesichts der Entwicklung und des Einflusses der sogenannten Empirischen Bildungsforschung kann man sich des Eindrucks nicht erwehren, dass in PISA- und VERA-Zeiten das pädagogische Denken über Schule und Unterricht mehr und mehr abhandengekommen und durch die Orientierung an Schulnoten ersetzt worden ist (kritisch dazu Roth 2015, S. 30).

Gerhard Roth geht von der Grundthese aus, »dass Lehren und Lernen im Rahmen der Persönlichkeit des Lehrenden und des Lernenden geschieht, und dass über den Erfolg des Lehrens und Lernens die Merkmale der Persönlichkeit entscheiden, seien diese kognitiver, emotional-motivationaler oder psycho-sozialer Natur« (2015, S. 26). Er hat (mit anderen) ein Vier-Ebenen-Modell der Persönlichkeit entwickelt (ebd., S. 42 ff.; Roth/Koop 2015, S. 24 ff.). Das Netzwerk des limbischen Systems – »dem Entstehungsort von Affekten, Gefühlen, Motiven, Handlungszielen, Gewissen, Empathie, Moral und Ethik« (S. 42) – und der sprachlich-kognitiven Bereiche der Großhirnrinde – Sprache, Verstand, Intelligenz – wird von Neuromodulatoren gesteuert, die ihrerseits von genetischen und Umweltfaktoren beeinflusst sind. Dabei geht Roth von »sechs neurobiologisch-psychischen Grundsystemen« aus (2015, S. 50 ff.), die aus neurobiologischer Sicht die Grundlagen der erwünschten Ich-Entwicklung im Kindes- und Jugendalter bilden: Stressverarbeitung, Selbstberuhigung, Selbstbewertung und Motivation, Impulskontrolle, Bindung und Empathie, Realitätssinn und Risikokontrolle.

Die Einsichten und Anregungen der Hirnforschung können nicht direkt auf Schule und Unterricht im engeren Sinn von umstandslos einsetzbaren Anweisungen oder gar »Rezepten« übertragen werden. Die Brücke ist, wie oben angedeutet, das Repertoire der alternativen reformpädagogischen Lehr-Lern-Arrangements, die immer schon den Voraussetzungen von Lernerfolgen – Emotion (Interesse) und Motivation (Lust auf Erfolg) – Rechnung getragen haben.

Die hier folgende Zusammenfassung neurowissenschaftlicher Einsichten in das Funktionieren des lernenden Gehirns kann daher auch nicht mehr sein als der Ausgangspunkt individueller kritischer Reflexion der eigenen Unterrichtspraxis.

#### 4. Was wissen wir über das lernende Gehirn?

- Das Gehirn ist kein *Datenspeicher*, sondern ein *Datengenerator* durch die autonome Organisation der Speicherung und Verknüpfung von Informationen und deren Bedeutungen. Wissen kann nicht »übermittelt« werden, sondern wird ak-

tiv im Gehirn erzeugt. Wissensbestände und ihre Bedeutung haben immer eine individuelle Färbung und Wertigkeit.

- Am besten gelernt wird unter leichter Anspannung, leichtem Stress, und das Arbeitsergebnis muss etwas besser sein als erwartet. Diese Erwartung setzt Dopamin frei, es bewirkt die Motivation, an der gestellten Aufgabe motiviert zu arbeiten. Unerwartete Schwierigkeiten führen zu hohem Stress bzw. Versagensangst und blockieren oder mindern die erwünschten Gehirnleistungen.
- Neugier wird geweckt z.B. durch den Faktor »überraschende Neuigkeit«, »erklärungsbedürftiger Sachverhalt«, »unerwartetes Ereignis«, damit Aufmerksamkeit sich fokussieren kann und Konzentration möglich wird.
- Durch Entmutigung entsteht entweder Motivationsverlust oder gar Vermeidungsverhalten, in krassen Fällen als psychische Verletzung auch Leistungsverweigerung.
- Das Gehirn ist ein »soziales Organ« und sucht beständig nach Kooperationen: förderliche Beziehungen und freundliche Atmosphäre (Hüther und Bauer in diesem Band; Bauer 2007, 2008); »soziale Resonanz« (Beachtung, Zuwendung, Anerkennung) ist ein notwendiges »Überlebensmittel« für Menschen durch das dabei entstehende Zusammenspiel von motivationswirksamen Neuromodulatoren (Dopamin, endogene Opioide, Oxytozin) im körpereigenen »Belohnungssystem« (Bauer in diesem Band).
- Neuronale Netze müssen durch häufigen Gebrauch (Üben, Wiederholen) stabilisiert werden, so entsteht Gedächtnis. Lernen ist ein sehr langsamer und sehr fehleranfälliger Prozess (s.u.), wie jeder weiß, der es auf einem Gebiet zu einer gewissen Expertise oder gar Meisterschaft gebracht hat.
- Gedächtnis als verfügbares Vorwissen ist die beste Voraussetzung für das Lernen des Neuen. Sicheres Vorwissen ist neben Angstfreiheit die wohl wichtigste Voraussetzung für Problemlösen unter Stressbedingungen (Tests).
- Nachhaltige Informationsspeicherung ist auf Überprüfungs- und Sicherungszeiten angewiesen, das heißt auf einen zeitlichen Wechsel von Informationsaufnahme (Anspannung) und Informationssicherung (Entspannung, Konsolidierung) im Kontext bisheriger Informationsbestände.
- Jedes Gehirn hat als Organ seine individuelle erfahrungsgeschichtliche Prägung (Hüther). Jedes Gehirn schreibt daher neuen Informationen (Erfahrungen) zunächst einmal *seine* lebensgeschichtlich individuellen Bedeutungen zu.

## 5. Warum ist Lernen so schwierig?

In einem Beitrag zu diesem Thema mit der Kapitelüberschrift »Informationsverarbeitung – ein falsches Konzept« stellt Gerhard Roth (2004/2009) zwei Thesen voran: »Wissen kann nicht übertragen werden; es muss im Gehirn eines jeden

Lernenden *neu geschaffen* werden. (2) Wissensaneignung beruht auf Rahmenbedingungen und wird durch Faktoren gesteuert, die *unbewusst* ablaufen und deshalb nur schwer beeinflussbar sind.« (S. 58) Roth verdeutlicht dies am Beispiel der neuronalen und kognitiven Gelingensbedingungen sprachlicher Kommunikation, deren Versagen die bekannten Missverständnisse auslöst. Gerade dies weist darauf hin, dass im Verhältnis von »Sender« und »Empfänger« die Konstitution von Bedeutung ein autonomer kreativer neuronaler Prozess ist. Sein Beginn hängt von einer positiven Entscheidung des limbischen Systems als Filter (dazu der Beitrag von Braun in diesem Band) ab und die Fortsetzung vor allem von Vorwissen, an das der neue Bedeutungsinhalt anknüpfen kann; andernfalls wird er nach kürzerer oder längerer gehirnter Suchphase gelöscht. Dieser Prozess ist unserem Bewusstsein entzogen – wie die »Aha-Erlebnisse« belegen – und kaum zu beeinflussen sowie überdies höchst störanfällig.

Roth erläutert die Faktoren, die Lernprozesse erfolgreich in Gang setzen können (S. 62 ff.; auch Roth/Koop 2015, S. 38 ff.):

- »1. die Motiviertheit und Glaubhaftigkeit des Lehrenden,
  - 2. die individuellen kognitiven und emotionalen Lernvoraussetzungen der Schüler,
  - 3. die allgemeine Motiviertheit und Lernbereitschaft der Schüler,
  - 4. die spezielle Motiviertheit der Schüler für einen bestimmten Stoff, Vorwissen und der aktuelle emotionale Zustand,
  - 5. der spezifische Lehr- und Lernkontext.«
- (Die Punkte 1 [Herrmann 2018] und 5 verweisen auf Aspekte, die andernorts zu klären sind.)

Wenn man sich klar macht, dass die Sicherung von Informationen durch Verknüpfung mit vorhandenen nicht nur zu individuellen Konstruktionen von Bedeutungen führt, die unterschiedliche Zeit beanspruchen, dann liegt es auf der Hand, dass Lehren und Lernen mit der Erwartung von synchronen neuronalen Prozessen und identischen Bedeutungszuschreibungen z.B. bei allen Schüler/innen in einer Klasse die reine Illusion ist, weil überdies die individuellen Lernvoraussetzungen und die Vorwissensbestände unbekannt sind. Koop (in Roth/Koop 2015, S. 86) weist auf die Notwendigkeit hin, diese Bestände zu erheben, ehe neue Lernschritte eingeleitet werden, dass dies jedoch im Rahmen der heutigen Betriebsförmigkeit von Unterrichten und Lernen in der Schule *de facto* unmöglich ist, besonders wegen des hohen Drucks, mit dem »Stoff« durchzukommen und wegen fehlender Zeitfenster für individuelle Lernberatung. Dann ist die Folge: »In der Praxis werden von den Lehrenden nach deren eigenem Bekunden oft zwei Drittel der Schüler ›abgeschrieben‹, und man ist froh, wenn ein Drittel dem Unterricht gut folgen kann. Für den Wirkungsgrad schulischer Bildung allerdings wäre eine solche Praxis katastrophal« (ebd.). Sie *ist* es.

Solange hier nicht Abhilfe geschaffen wird – dies ist die beste pädagogische Begründung für die zeitliche Entzerrung des Unterrichts und Lernens in der sogenannten Ganztagschule –, torpediert das System alle Bemühungen von Lehrenden und Lernenden zur Optimierung der Lernerfolge (was sich bei Lehrpersonen im fortgeschrittenen Berufsalter in massiven psycho-sozialen Belastungen und Erkrankungen niederschlägt, dies häufig auch bei den Schüler/innen). Und deren Nachhaltigkeit ist nur gewährleistet, wenn in bestimmten Abständen wiederholt und geübt wird, weil alle neuronalen Verbindungen, die nicht in Benutzung bleiben, nach und nach abgebaut werden.

Schulisch organisiertes Lernen ist nicht nur schwierig, sondern wird durch äußere Bedingungen erschwert oder gar vereitelt. Die Resistenz und Persistenz dieser äußeren schulstrukturellen Verhältnisse sind denn auch der Hauptgrund dafür, dass sich eine neuropsychologische Revision des schulischen Lehrens und Lernens bisher nicht durchsetzen konnte.

## 6. Schlussfolgerungen

Hier werden die wichtigsten Informationen zusammengefasst, die das »neue Denken« des Lernens anregen sollen, damit das »neue Lernen« etabliert werden kann (zum Folgenden auch der Beitrag von Herrmann in diesem Band sowie Roth 2013, S. 125 ff.).

*Das limbische System* bewertet Informationen nach den Kriterien wichtig/unwichtig, wünschenswert/nicht wünschenswert, angenehm/unangenehm und ermöglicht ihre Speicherung in unserem emotionalen Erfahrungsgedächtnis. Sollen neue Informationen aufgenommen werden, dann sollten diese wichtig, wünschenswert (nützlich) und von angenehmen Gefühlen begleitet sein: »Es wird euch Spaß machen, was Ihr jetzt zu sehen und zum Knobeln bekommt!« »Altbekanntes in neuem Gewand: Erster Preis... für die Erklärung!«

*Neugierverhalten* als die Suche nach bedeutungsvollen Erfahrungen ist angeboren und erlahmt bei bedeutungslosen oder nicht erklärungsbedürftigen Sachverhalten. Das Nachlassen der Neugier als Lust auf Lernen wird durch selbstbestimmtes Erkunden und Aneignen vermieden: »Bearbeite einen dir wichtig erscheinenden Aspekt innerhalb des Rahmenthemas!« »Versuche herauszufinden, wie Wasser in die Spitze der Bäume kommt – und wo es dann bleibt!« »Wozu braucht ein Auto Stoßdämpfer: für den Fahrkomfort und/oder für die Fahrsicherheit?«

*Entspannte Atmosphäre, Spiel und Vertrauen* sind eine wichtige Voraussetzung dafür, dass sich Neugier und damit Kreativität entfalten kann; ohne Leistungsstress und ohne Versagensängste. »Probier mal herum und protokolliere sorgfältig, was du bemerkst!« Für Maria Montessori war selbstvergessenes Spiel eines kleinen

Kindes die Schlüsselszene für ihr pädagogisch-psychologisches Verständnis vom selbstbestimmten kindlichen Lernen.

Sich einlassen auf Neugier setzt *Vertrauen* voraus: nicht nur keine Furcht vor Misserfolg, vor Fehlern, vor Entmutigung durch negative Konsequenzen (Noten!), sondern die Erwartung auf Erfolg stärken, Suchbewegungen mit offenem Ausgang bekräftigen, die Hoffnung auf Belohnung wecken, das Selbstbewusstsein und die Selbstwirksamkeitsüberzeugung stärken. »Du kannst ruhig zeigen, was du noch nicht kannst: Wie soll ich dir sonst helfen können?« »Man kann nicht immer beim ersten Anlauf Erfolg haben.« »Lass dich nicht entmutigen! Du schaffst es schon!«

*Entspannung für Gedächtniskonsolidierung* während des Lernens ist eine wichtige Maßnahme, dem Gehirn die notwendige Zeit für die Einordnung von Informationen und Verknüpfung zu Bedeutungszusammenhängen zu geben. Der optimale Rhythmus von Anspannung und Entspannung ist nicht möglich in einem lehrerzentrierten Frontalunterricht, wo alle Gehirne im Gleichschritt funktionieren sollen, was sie gar nicht können. Beim Lernen in der Schule sind die unablässigen Lehrerfragen im fragend-entwickelnden Unterricht ein Störfaktor!

*Emotion und Kognition*: Das Gehirn kann bei einem elektro-chemischen Impuls Inhalt und Bedeutung nicht voneinander trennen – die Information ist auch immer zugleich ihre Bedeutung. Ein Erlebnis als bleibende Erfahrung ist durch eine besondere emotionale Weise ausgezeichnet. Die innere aktive Beteiligung der Schüler an ihrem Tun verstärkt deren Interesse und Engagement und führt dadurch zu besseren und nachhaltigeren Arbeits- und Lernergebnissen.

*Belohnung und »Spaß«* bewirken, dass das Gehirn umso besser funktioniert, je attraktiver die Lernsituation empfunden wird, und die Attraktivität bemisst sich – wie könnte es anders sein – an der Abschätzung des zu erwartenden Erfolgs. Sobald die Rahmenbedingungen für Erfolg besonders mit Rücksicht auf die großen individuellen Unterschiede bei den Lernfähigkeiten und Lernleistungen von den Schülern selbst gestaltet werden können, stellen sich generell erhöhte Lernbereitschaft und Motivation ein. Das gehirneigene »Belohnungssystem« bleibt intakt durch Spaß am Gelingen als Leistung. Nichts ist daher erfolgreicher als eine neurodidaktisch argumentierte »Spaßpädagogik«: eine lust- und spaßbesetzte Leistungsherausforderung, die Erfolgserlebnisse vermittelt!

Das Gehirn praktiziert verschiedene Verfahren, um Gedächtnisinhalte zu ordnen: das deklarative Gedächtnis für Fakten, das semantische für Bedeutungen, das prozedurale für Routinen, Abläufe und Fertigkeiten, das emotionale für Gefühle. Sie bilden einen Funktionszusammenhang, das heißt, sie stützen sich gegenseitig. Lehren im Sinne von angeleitetem Lernen soll den Funktionszusammenhang aller Gedächtnisformen aktivieren: Fakten werden eingebettet in einen Bedeutungsrahmen und in Verlaufsgeschichten mit emotional wirksamen Bedeutungsträgern. Geschichte muss ein »Gesicht« bekommen: Kaiser und Papst – »Canossa«; Völkermord – »Las Casas vor Karl V.«; Reformation – »Luther in Worms«; gewaltloser

Widerstand – »Mahatma Gandhi«; Aufstand des Gewissens – »Die weiße Rose«; Holocaust – »Anne Frank«.

*Musterwahrnehmung und -erzeugung* sind die Form der Wahrnehmung und des Erinnerns von Gesamtheiten und Teilen und deren regelgerechter Ergänzung zu (auch neuen bedeutungsvollen) Gesamtheiten. Kinder lernen die Muttersprache durch Hören und Nachsprechen, zugleich generiert ihr Gehirn die grammatischen Regeln, nach denen diese Sprache verfährt. Nachhaltige Prozesse der Vermittlung und Aneignung geschehen am besten auf der Grundlage des Angebots und der Aneignung von Mustern (Schemata): »Frankreich ist sechseckig«, »Sizilien ist dreieckig«, »Italien ist ein Stiefel«. Vertiefendes Lehren und Lernen sollte mit der Differenzierung und Generierung von Mustern beziehungsweise Begriffen einhergehen, weil dadurch unterschiedliche Bedeutungen des Wissens von unterschiedlichen neuronalen Repräsentationen zugänglich sind und »träges Wissen« vermieden wird. Die intellektuelle Förderung etwa durch Schachspielen beruht auf der Herausforderung, in den jeweils aktuellen Figurenkonstellationen bestimmte Muster für mögliche Züge für erfolgreiche neue Konstellationen zu antizipieren.

*Kommunikatives Handeln und Leistungsverstärkung* im Schülerarbeitsalltag bedingen sich gegenseitig, weil ein junger Mensch weder nur »Intelligenz« und auch nicht nur »Gehirn« ist, sondern eine Person, für deren Leben und Überleben, Lernen und Leisten sozial-emotionale Beziehungen unabdingbar sind. Die Reformpädagogik geht daher von der Isolierung des Schülers in der Sitzordnung und bei der Leistungserbringung ab, und die Kooperation beim Lernen in Gruppen erbringt einen Zugewinn an Wohlbefinden und damit an Leistungsbereitschaft und -fähigkeit. Beziehungen stiften muss daher ein Kerngeschäft des Lehrens sein, weil Beziehungslosigkeit und Nichtbeachtung als psychische Verletzung vom menschlichen Gehirn registriert werden – genau wie physischer Schmerz. Nichtbeachtung lähmt das Motivationssystem und erhöht das Aggressionspotenzial. So tritt auf einen Blick zutage, mit welchen Problemen Schulen mit großen Klassen (zu viele unbeachtete Schüler) und einem durch Gewinner und Verlierer auf Auslese getrimmten Betriebssystem (durch Noten und Sitzenbleiben gedemütigte Schüler) zu kämpfen haben.

## 7. Zum Stand der Diskussion

Eine neurowissenschaftliche pädagogisch relevante Lernforschung hat sich bisher nicht etablieren lassen. Neuartige Untersuchungs- und Analysemöglichkeiten besonders von Stoffwechselprozessen und der Wirkungsweisen von Botenstoffen im Gehirn sowie die bildgebenden Verfahren haben in den letzten drei Jahrzehnten jedoch zu Entdeckungen und Einsichten geführt, die unser Verständnis von einigen Funktionen des Gehirns, die für Lehren und Lernen bedeutsam sind, grundlegend verändert haben (Roth 2003/2018). Dies bezieht sich vor allem auf das

limbische System und das Zusammenwirken der Neuromodulatoren, die für gelingendes Lernen ausschlaggebend sind. Deshalb unterbietet z.B. die Darstellung und Kritik der »Neurodidaktik« von Terhart (2009, S. 89 ff.) den Stand unseres Wissens von den neurobiologischen Voraussetzungen erfolgreichen Lernens, und die kritische Durchsicht der Debatten um »Neurodidaktik« unter der Überschrift »Zum Verhältnis von Pädagogik und Neurowissenschaften« (Becker 2014) führt nicht weiter, wenn es dabei um das wissenschaftstheoretische »Selbstverständnis der Pädagogik« gehen soll – weil es eben darum gar nicht geht, sondern um Lernen und Gedächtnis.

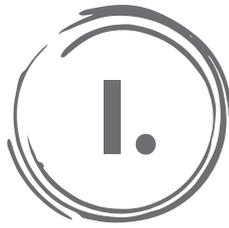
Roth resümiert den Stand des Dialogs der Neurowissenschaften mit Didaktik und Pädagogik dahingehend (2013, 131 f.), »dass die Einschätzung einiger Didaktiker bzw. Lernforscher, die Erkenntnisse der Neurowissenschaften seien bedeutungslos für Didaktik, Pädagogik und die Schulpraxis, nicht gerechtfertigt ist [...] die meisten heutigen Lehrenden sind in den Lehrerausbildungsstätten mit einer verwirrenden Vielfalt an didaktischen und pädagogischen Lehrmeinungen konfrontiert (...), deren wissenschaftliche Fundierung (sofern überhaupt vorhanden) sie nicht einschätzen können. [...] Viele Teile der gegenwärtigen Schulpraxis sind bestenfalls empirisch nicht gesichert, häufig jedoch wissenschaftlich fragwürdig bis widerlegt. Es fehlen die Didaktik- und Pädagogikkonzepte, die eine solide psychologische und neurowissenschaftliche Fundierung besitzen. Dabei haben vor allem die Pädagogische Psychologie, aber zunehmend auch die Neurowissenschaften, eine Vielfalt von Befunden erbracht, die nicht nur wissenschaftlich abgesichert, sondern auch gut für Unterricht und Erziehung in der Schule genutzt werden können [...] Die Neurowissenschaften müssen in Zusammenarbeit mit der Psychologie nicht unbedingt neue Lernformen entwickeln [...], aber sie können – ergänzend zum psychologischen Fachwissen – erklären, warum ein bestimmter Unterrichtsstil erfolgreicher ist als ein anderer.«

Für vertiefende Lektüre sei besonders auf Gasser (2008) und Roth (2015) verwiesen. Für die Neuropsychologie des Lernens ist weiterführend der Sammelband von Kubesch 2016 und eine Reihe einschlägiger Artikel im Lehrbuch der Kognitiven Entwicklungsneuropsychologie (Kaufmann u.a. 2007); auf diese Bücher gehen im vorliegenden Band die Beiträge von Brunsting und Gleissner zurück.

## Literatur

- Aebli, H. (1980/81): Denken – das Ordnen des Tuns. 2 Bde. Stuttgart: Klett.  
 Bauer, J. (2007/2014): Lob der Schule. Hamburg: Hoffmann & Campe, 7. Aufl.  
 Bauer, J. (2008/2014): Prinzip Menschlichkeit. Warum wir von Natur aus kooperieren. Hamburg: Hoffmann & Campe, 7. Aufl.  
 Becker, N. (2014): Mehr verstehen, besser handeln? Zum Verhältnis von Pädagogik und Neurowissenschaften. In: Zeitschrift für Pädagogik 60, Beiheft 60, S. 208-225.

- Bildungskommission NRW (1995): Zukunft der Bildung – Schule der Zukunft. Neuwied: Luchterhand.
- Fend, H. (2000): Entwicklungspsychologie des Jugendalters. Opladen: Leske & Budrich.
- Flitner, W. (1965/1997): Grundlegende Geistesbildung. Studien zur Theorie der wissenschaftlichen Grundbildung und ihrer kulturellen Basis. (Anthropologie und Erziehung, Bd. 15) Heidelberg: Quelle & Meyer; wiederabgedruckt in: Ders.: Gesammelte Schriften, Bd. 10: Gymnasium und Universität. Hrsg. von Hans Scheuerl und Ulrich Herrmann. Paderborn: Schöningh.
- Friedrich, G. (1995): Die Praktikabilität der Neurodidaktik. Ein Analyse- und Bewertungsinstrument für die Fachdidaktik. Frankfurt a.M.: Lang.
- Gasser, P. (2008): Neuropsychologische Grundlagen des Lehrens und Lernens. Bern: hep.
- Göppel, R. (2014): Gehirn, Psyche, Bildung. Chancen und Grenzen der Neuropädagogik. Stuttgart: Kohlhammer.
- Hentig, Hartmut von (1971): Allgemeine Lernziele der Gesamtschule. In: Deutscher Bildungsrat: Lernziele der Gesamtschule. (Gutachten und Studien der Bildungskommission, Bd. 12). Stuttgart: Klett, S. 13-43.
- Hentig, Hartmut von (1993): Die Schule neu denken. München/Wien: Hanser.
- Herrmann, Ulrich (2018): Ausbildungs- und Berufsziel »Lehrerpersönlichkeit«? In: Das Seminar 24, S. 5-20.
- Kaufmann, Liane, u.a. (2007): Kognitive Entwicklungsneuropsychologie. Bern: Hogrefe.
- Klafki, Wolfgang (1985/2007): Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Weinheim: Beltz, 6. Aufl.
- Kubesch, S. (Hrsg.) (2016): Exekutive Funktionen und Selbstregulation. Neurowissenschaftliche Grundlagen und Transfer in die pädagogische Praxis. Bern: Hogrefe, 2. Aufl.
- Madeja, M. (2018): Neuropädagogik? – Aber bitte ohne Neuromythen. In: PÄDAGOGIK, Heft 10/2018, S. 48 f.
- Preiß, G. (Hrsg.) (1996): Neurodidaktik. Theoretische und praktische Beiträge. Pfaffenweiler: Centaurus.
- Roth, G. (2003/2018): Fühlen, Denken und Handeln. Wie das Gehirn unser Verhalten steuert. Frankfurt/M.: Suhrkamp, 6. Aufl.
- Roth, G. (2004/2009): Warum sind Lehren und Lernen so schwierig? In: Zeitschrift für Pädagogik 50 (2004), S. 496-506; wiederabgedruckt in der 2. Auflage des vorliegenden Buches, Weinheim/Basel: Beltz 2009, S. 58-68.
- Roth, G. (2013): Welchen Nutzen haben die Erkenntnisse der Hirnforschung für die Pädagogik? In: Zeitschrift für Pädagogische Psychologie 27, S. 123-133.
- Roth, G. (2015): Bildung braucht Persönlichkeit. Wie Lernen gelingt. Stuttgart: Klett Cotta.
- Roth, G./Koop, M. (2015): Besser Lehren – Besser Lernen. Schulpraxis und Hirnforschung im Tandem. Stuttgart: Raabe.
- Scheich, H.: Lernen unter der Dopaminusche. In: DIE ZEIT, Nr. 39, 18.9.2003, S. 38.
- Schulverbund »Blick über den Zaun«: Unsere Standards. 2009. Volltext im Internet.
- Skiera, E. (2003): Reformpädagogik in Geschichte und Gegenwart. München/Wien: Oldenbourg.
- Speck, O. (2008): Hirnforschung und Erziehung. Eine pädagogische Auseinandersetzung mit neurobiologischen Erkenntnissen. München: Reinhardt.



**Grundlagen von  
Strukturen und Prozessen  
des Lernens  
in neuropsychologischer  
und -biologischer Sicht**

## Vorbemerkung

Dass das Gehirn »lernt«, mal besser, mal schlechter, manches auch gar nicht, vieles wird wieder rasch vergessen, anderes ein Leben lang nicht – das alles ist dem Alltagswissen geläufig; es gibt eine alte Tradition der Gedächtnis- und Lehr-Lern-Forschung; Erzieher und Lehrer sind damit immer schon jeweils auf ihre Weise mehr oder weniger klug und erfolgreich oder auch erfolglos umgegangen. Allem Anschein nach haben wir auf das natürliche (privilegierte) Lernen in frühester und früher Kindheit ohnehin nicht viel Einfluss, jedenfalls keinen beschleunigenden, im schlechten Fall einen immens hinderlichen oder gar unterdrückenden. Der Jammer beginnt für viele, allzu viele Schüler (und ihre Lehrer und Eltern nicht minder), wenn das nicht-privilegierte Lernen in und mit den Symbolsystemen unserer Kultur (Buchstaben, Zahlen) beginnt, denn dafür ist unser Gehirn, evolutionsgeschichtlich gesehen, nicht eingerichtet, aber – lernfähig!

Die neurowissenschaftliche Erforschung des natürlichen Lernens hat Ergebnisse zutage gefördert, die auch für das nicht-privilegierte Lernen aufschlussreich sind, jedenfalls was die Prozeduren und Strategien des Gehirns betrifft. Und die Erforschung des Funktionierens des Gehirns hat im letzten Jahrzehnt einen rasanten Aufschwung dadurch genommen, dass zum einen immer feinere Mess- und Analyseverfahren für die elektro-chemischen Prozesse im Gehirn entwickelt wurden, zum anderen durch die bildgebenden Verfahren dem Gehirn sozusagen bei der Arbeit zugeschaut werden kann. Dadurch sind unsere Kenntnisse über die Vorgänge im Gehirn, die mit Denken, Fühlen und Wollen, Sehen, Sprechen und Tasten, Behalten und Vergessen, Schlafen und Aktivitäten, Angst und Wohlbefinden usw. verbunden sind, außerordentlich erweitert und vertieft worden.

Neben der neurobiologischen und -psychologischen Hirnforschung (vgl. Gerhard Roth: Fühlen, Denken, Handeln. Wie das Gehirn unser Verhalten steuert, 62018) war es die Initiative *Social Brain*, die die Aufmerksamkeit darauf richtete, dass das Gehirn durch Wahrnehmung, Erfahrung und Lernen eine individuelle Funktionalität entwickeln muss, weil das jeweilige Wahrnehmungs-, Erfahrungs- und Lernumfeld spezifische Anpassungs-, das heißt Lern- als Überlebensleistungen erzwingt.

Die Beiträge in diesem ersten Kapitel des vorliegenden Buches erläutern diese Prozesse als Lernprozesse, die ablaufen und Lernen als solches strukturieren und optimieren und damit die Voraussetzungen für spätere Förderungen und Inszenierungen des organisierten Lernens darstellen. Der einleitende Beitrag von Wilkening und Caccione soll darauf aufmerksam machen, dass diese Prozesse sich in einem dynamischen System bewegen, so dass einfache lineare Kausalitätseffekte bei Impuls und Effekt nicht erwartet werden sollten, sondern eher Wechselwirkungsprozesse mit emergenten Effekten.

Friedrich Wilkening/Trix Cacchione

# Theorien dynamischer Systeme in der Entwicklungspsychologie

Die Entstehung und den Wandel von Strukturen zu erklären ist die Kernfrage, mit der sich alle Entwicklungswissenschaften beschäftigen. In Fachgebieten, die so unterschiedlich sind wie Physik, Biologie und Psychologie, konfrontiert das Phänomen der Entwicklung Forscher mit analogen Problemstellungen: Wie erklärt sich das Entstehen von Ordnung (Struktur) aus einem ursprünglich diffusen Ausgangszustand? Wie kommt es zur Zunahme von Komplexität über die Zeit? Wie lässt sich das Entstehen qualitativ neuer Strukturen erklären? Eine faszinierende Antwort darauf, wie komplexe Muster entstehen und sich über die Zeit verändern, bietet die Theorie der sich selbstorganisierenden dynamischen Systeme.

Das Ziel dieses Beitrags ist es, einen Einblick in die vielfältige Welt dynamischer Systeme zu bieten und einen Zugang zum systemtheoretischen Denken über entwicklungspsychologische Prozesse zu vermitteln. Zunächst ist zu betonen, dass es unterschiedliche dynamische Modelle der kognitiven Entwicklung und Anwendungen der Systemtheorie in den verschiedensten Inhaltsbereichen der Entwicklungspsychologie gibt. Eine Gemeinsamkeit besteht darin, dass so gut wie immer formale mathematische Eigenschaften dynamischer Modelle verwendet werden, um Entwicklungsphänomene zu modellieren (Newell/Molenaar 1998; van der Maas/Molenaar 1992; van Geert 1998; van Geert/Steenbeek 2005). Die Inhaltsbereiche, in denen bis heute mit systemtheoretischen Konzepten gearbeitet wurde, sind mannigfaltig.

## 1. Dimensionen von Entwicklung

### 1.1 Motorische und kognitive Entwicklung

In einer frühen Phase der Forschung konzentrierte man sich praktisch ausschließlich auf das motorische Verhalten von Kindern, speziell auf Phänomene der Entwicklung der Lokomotion in den ersten Lebensjahren. Daher sprach man bei den Modellierungen anfangs auch von einem *motor approach* (Thelen/Smith 1994). Damit verbunden war die Einschätzung, dass die Systemtheorie von Natur aus nicht-repräsentational sei; eine dynamische Betrachtung mentaler Repräsentati-

onen («überdauernder Strukturen») erschien als ein inhaltlicher Widerspruch. In der Folge dehnte dann die dynamische Feldtheorie den klassischen Ansatz auch auf kognitive Phänomene aus, zunächst besonders erfolgreich auf die Analyse des A-nicht-B-Fehlers (Thelen/Schöner/Scheier/Smith 2001), der in Piagets Theorie der kognitiven Entwicklung im Zusammenhang mit dem Konzept der Objektpermanenz eine besondere Rolle spielt. Dies gelang, indem man Repräsentationen neu als zeitlich mehr oder weniger überdauernde Muster konzeptualisierte, die ohne zentrale Exekutive durch Selbstorganisation emergieren (z.B. Smith 2005). Diese inhaltliche Öffnung führte zur Möglichkeit, den Ansatz auf eine Vielzahl von Entwicklungsphänomenen in anderen Feldern anzuwenden. Nur einige Beispiele seien im Folgenden genannt.

## 1.2 Soziale Entwicklung

Hier interessierte man sich z.B. für Faktoren und Prozesse der Selbstorganisation, die beim Zustandekommen von Peer-Groups im Vorschul- und Schulalter von Bedeutung sein könnten, insbesondere im Hinblick auf Geschlechterseparation und -integration (Martin/Fabes/Hanisch/Hollenstein 2005). Dabei zeigten sich die Vorteile einer holistischen Betrachtungsweise im Sinne der dynamischen Systemtheorien darin, dass Prozesse und Faktoren identifiziert werden konnten, die in den traditionellen Ansätzen schwer oder gar nicht erfassbar waren.

## 1.3 Emotionale Entwicklung

Ähnliche Schlüsse lassen sich für das Feld der Entwicklung des Ausdrucks von Emotionen ziehen. Diese zeichnen sich typischerweise durch ein hohes Ausmaß von Kontextspezifität sowie von intra- und interindividueller Variabilität aus. Traditionelle Erklärungsmodelle haben beträchtliche Schwierigkeiten, diese Variabilitäten zu integrieren, vor allem deshalb, weil sie in der Regel einer Top-down-Orientierung folgen. Wenn man dagegen, wie es sich im Rahmen des Ansatzes der dynamischen Systeme anbietet, Emotionen als emergente Phänomene konzeptualisiert, entfällt die Notwendigkeit der Postulierung von zentralen Kontrollstrukturen, die Emotionen nach einfachen Gesetzmäßigkeiten steuern (Camras/Witherington 2005).

## 1.4 Persönlichkeitsentwicklung

Nowak, Vallacher und Zochowski (2005) unternahmen den Versuch, den Prozess der Persönlichkeitsbildung aus der Perspektive der dynamischen Systeme zu mo-

dellieren. Aus diesem Blickwinkel geht es um die Frage, wie individuelle Gedanken, Gefühle und Handlungsdispositionen – psychische Entitäten mit inhärenter Instabilität und Dynamik – im Zusammenspiel interner und externer Faktoren im Verlauf der Entwicklung auf einen engeren, relativ stabilen Zustandsraum konvergieren, das heißt auf das, was man gemeinhin »Persönlichkeit« nennt. Hierfür schlagen sie ein Modell vor, in welchem basale dynamische Selbstorganisations-Prozesse zu höheren Eigenschaften mit größerer Stabilität führen, z.B. einem adäquaten Selbstkonzept.

## 2. Grundbegriffe der Systemtheorie: Konzepte und Definitionen

### 2.1 Dynamische Systeme

Ein System ist ein Gebilde aus verschiedenen Elementen, die geordnete Beziehungen zueinander aufweisen und damit dem Systemganzen ein bestimmtes Ordnungsmuster (Form) verleihen. Gemäß Newtonscher Thermodynamik streben grundsätzlich alle Systeme nach Unordnung. Das Universum nimmt im Verlauf der Zeit an Entropie zu. Aber viele Systeme – darunter alle biologischen Systeme und damit auch der Mensch – leben weit weg vom thermodynamischen Äquilibrium: Sie sind systemtheoretisch gesprochen »offene Systeme« und nehmen Energie aus ihrer Umwelt auf und steigern so im Zuge ihrer Entwicklung zumindest innerhalb eines Zeitfensters progressiv ihre Ordnung und Komplexität. Diese Systeme weisen eine Reihe besonderer Eigenschaften auf: Sie organisieren sich selber (das heißt die Systemkomponenten nehmen selber geordnete Beziehungen zueinander ein), sie können sich nichtlinear verändern, und sie sind sensibel für ihre Ausgangsbedingungen.

Komplexe Systeme, die Ordnungsmuster ausbilden und diese kontinuierlich verändern, heißen dynamische Systeme. In der uns umgebenden belebten wie unbelebten Natur finden wir viele Beispiele für solche Systeme. Jahreszeiten reihen sich in zyklischem Wechsel aneinander, Wolken bauen sich auf und entladen sich wieder, Schneeflocken bilden sich und schmelzen, Gebirge falten sich auf und erodieren. Ebenso durchlaufen Lebewesen wohlgeordnete Lebenszyklen: Tiere und Pflanzen wachsen in einer bestimmten Form und Größe, durchlaufen Veränderungen in verschiedenen Lebensabschnitten, soziale Systeme entstehen und lösen sich wieder auf.

Die Systemtheorie befasst sich mit der Frage, welche Prozesse die Musterbildung und -veränderung in einem System von Elementen konstituieren und wie es möglich ist, dass dabei qualitativ neue Eigenschaften entstehen. Ziel der Theorie

ist es, allgemeine, mathematisch formalisierbare Prinzipien zu definieren, die den Prozess der Musterbildung unabhängig vom materiellen Substrat des betrachteten Systems beschreiben. Überträgt man die systemtheoretische Perspektive auf die menschliche Entwicklung, so lässt sich die Grundfrage der Entwicklungspsychologie nach dem Entstehen und der Veränderung von Eigenschaften und Verhaltensweisen im Organismus in systemtheoretischen Begriffen neu formulieren: Der sich entwickelnde Mensch wird als ein System betrachtet, dessen Eigenschaften und Verhalten spezifische Ordnungsmuster darstellen, die sich aus der spontanen Interaktion aller beteiligten systeminternen und -externen Komponenten ergeben. Die Frage ist also, wie sich die Komponenten zu einem bestimmten Zeitpunkt zu einem spezifischen Muster zusammenschließen und welche Systemmanipulationen zu einer Reorganisation der Komponenten und damit zu einem neuen Ordnungsmuster führen.

Dynamische Systeme sind hierarchische Gebilde und bestehen aus sehr vielen heterogenen Komponenten (z. B. Moleküle, Zellen, Individuen, Spezies). Die Systemkomponenten schließen sich zu einem System zusammen, in dem sie geordnete Beziehungen zueinander einnehmen. Beispielsweise ist der Mensch aus sehr vielen heterogenen Teilen, Subsystemen und Prozessen auf verschiedenen Organisationsniveaus aufgebaut, angefangen bei den molekularen Komponenten der Zellen, über unterschiedliche Gewebetypen und verschiedene Organsysteme bis zu den funktionalen Subsystemen der Atmung, Verdauung, Bewegung oder Kognition. Durch das in geordneter Weise Zueinander-in-Beziehung-Treten der Komponenten ergibt sich auf der Systemebene ein bestimmtes Ordnungsmuster.

Der Kerngedanke der Systemtheorie ist, dass sich die Eigenschaften und Verhaltensweisen des Systems erst aus den Beziehungen aller Systemkomponenten untereinander ergeben und nicht bereits in den einzelnen Systemkomponenten angelegt sind. Das Systemganze ist *mehr als die Summe seiner Teile*, folglich benötigt man zur Beschreibung des Systemganzen andere Variablen als zur Beschreibung der einzelnen Komponenten. Variablen, mit denen man das Verhalten des Systemganzen beschreiben kann, nennt man *Ordnungsparameter* oder *kollektive Variablen*. Betrachtet man etwa den menschlichen Gang als Beispiel: Aus systemtheoretischer Sicht ist die Bewegungskonfiguration des Gehens ein Ordnungsmuster, an dessen Hervorbringung verschiedene Komponenten des menschlichen Organismus beteiligt sind. Auf der makroskopischen Ebene der Körperbewegung lassen sich Ordnungsparameter definieren, die die komplexe Kooperation der einzelnen Teile (Muskeln, Sehnen, neuronale Pfade, metabolische Prozesse usw.) relativ einfach beschreiben, z. B. die alternierenden Zyklen des Schwingens der Gliedmaßen. Die Form und die Charakteristika des Ganges sind dabei nicht schon in den einzelnen Systemkomponenten angelegt, sondern ergeben sich erst auf der übergeordneten Ebene der Bewegung. Die Frage ist nun, aufgrund welcher Prozesse sich in einem System bestimmte Ordnungsmuster herausbilden.

## 2.2 Selbstorganisation und Emergenz

Theoretisch betrachtet können die Bestandteile eines Systems in unendlich vielen Varianten kombiniert werden (das heißt die Freiheitsgrade sind sehr groß). Tatsächlich lassen sich empirisch nicht alle theoretisch denkbaren Kombinationsmöglichkeiten beobachten: Wenn sich Teile einmal zu einem System zusammengeschlossen haben, verändern sie wohl kontinuierlich ihre Ordnungsmuster, aber die Anzahl möglicher Kombinationsvarianten wird reduziert. Das System weist also eine gewisse Stabilität auf. Um beim Beispiel vom menschlichen Gang zu bleiben: Muskeln, Sehnen oder Gelenke könnten theoretisch in sehr vielen raumzeitlichen Mustern angeordnet werden. Der sich bewegende Körper muss also viele potenziell mögliche Zustände kontrollieren, um ein kohärentes Bewegungsmuster zu erzielen. Die Frage ist nun, wie die einzelnen Teile zu einem harmonischen Systemganzen orchestriert werden. Die Antwort auf dieses Problem heißt Selbstorganisation: Bewegungen sind Ordnungsmuster sich selbst organisierender dynamischer Systeme (Synergien). Die an der Bewegung beteiligten Körperkomponenten organisieren sich selber, *ohne* von irgendeiner übergeordneten exekutiven Instanz angeleitet zu werden. Es gibt kein in den Komponenten angelegtes festgeschriebenes Programm, vielmehr ergibt sich das Organisationsmuster der Bewegung *spontan* aus der Interaktion der Bewegungskomponenten. Diesen Ordnungsprozess nennt man *Selbstorganisation*.

Emergenz ist das Schlüsselprinzip der Selbstorganisation. Wenn in einem System durch systeminterne Reorganisationsprozesse qualitativ neue Eigenschaften und Verhaltensweisen auftreten, so nennt man diese Form der spontanen Veränderung *Emergenz*. Emergenz beschreibt den Wandel und die Entstehung neuer Ordnungsmuster in natürlichen Systemen. Veränderungen in einem oder mehreren Systemparametern oder in der Systemumwelt können zu einer Neuorganisation der Beziehungen zwischen den Systemkomponenten führen und damit zur Emergenz eines neuen Ordnungsmusters auf Systemebene.

Ein klassisches Beispiel für ein emergentes Schreitbewegungsmuster bei Säuglingen stammt von Thelen (1986): Kinder im Alter von drei bis acht Monaten machen normalerweise keine Schreitbewegungen, wenn sie aufrecht gehalten werden. Thelen stellte fest, dass Kinder in diesem Altersabschnitt durchaus in der Lage waren, Schreitbewegungen auszuführen, wenn sie über eine Tretmühle gehalten wurden. Sie passten ihre Eigenbewegung sogar der Bewegung (z. B. Geschwindigkeit) der Tretmühle an. Diese Bewegungen waren also nicht das Produkt eines fixen motorischen Programms oder eines Reflexes, weil sie nur in dieser spezifischen Situation und dabei in nicht stereotyper Form auftraten. Sie waren weder präformativ im Kind angelegt, noch in den Merkmalen der Umwelt (Tretmühle) festgeschrieben. Vielmehr waren diese Bewegungen das emergente Produkt aus der Interaktion des Kindes mit der Tretmühle. Diese Einsicht ist grundlegend für