

## **3.5 Neurobiologische Erkenntnisse zum Lernen und Schlussfolgerungen für das Lehren**

In den letzten Jahren häufen sich Publikationen über neurobiologische Forschungen, in denen auch das Lernen eine neue Bestimmung erhält (G. Roth 1997; G. Roth 2001; Singer 2002). Dabei werden die strukturgenetischen und konstruktivistischen Befunde über das Lernen bestätigt (Reich 2012). Im Folgenden werden zwei Phänomene skizziert, die im didaktischen Zusammenhang eine Rolle spielen.

3.5.1 Die Bedeutung der Wahrnehmung

Die Wahrnehmung kann als eine Basisfunktion individueller Lebenstätigkeit angesehen werden. Sie liegt allen Interaktionen zugrunde und steht mit dem Lernen in einem konstitutiven Zusammenhang. Der Begriff umfasst zwei Dimensionen: Wahrnehmung als Vollzug (= Wahrnehmungstätigkeit) und Wahrnehmung als Ergebnis. Wahrnehmung ist eine Tätigkeit des Gehirns.

Im Zuge der Evolution der menschlichen Spezies wurde das Gehirn an die komplexen Lebensumstände durch Herausbildung von kognitiven Systemen angepasst. Die daraus gezogene Schlussfolgerung, die kognitiven Systeme wären so optimiert worden, um ein möglichst allgemeingültiges Bild der wahrgenommenen Realität wiederzugeben, kann heute nur noch bedingt aufrechterhalten werden. Die These, Wahrnehmung sei eine Abbildung von Realität, wird somit brüchig. Wahrnehmung wird als Konstruktionsprozess und ihre Ergebnisse werden als Konstrukte bezeichnet (G. Roth 1997; Singer 2002).

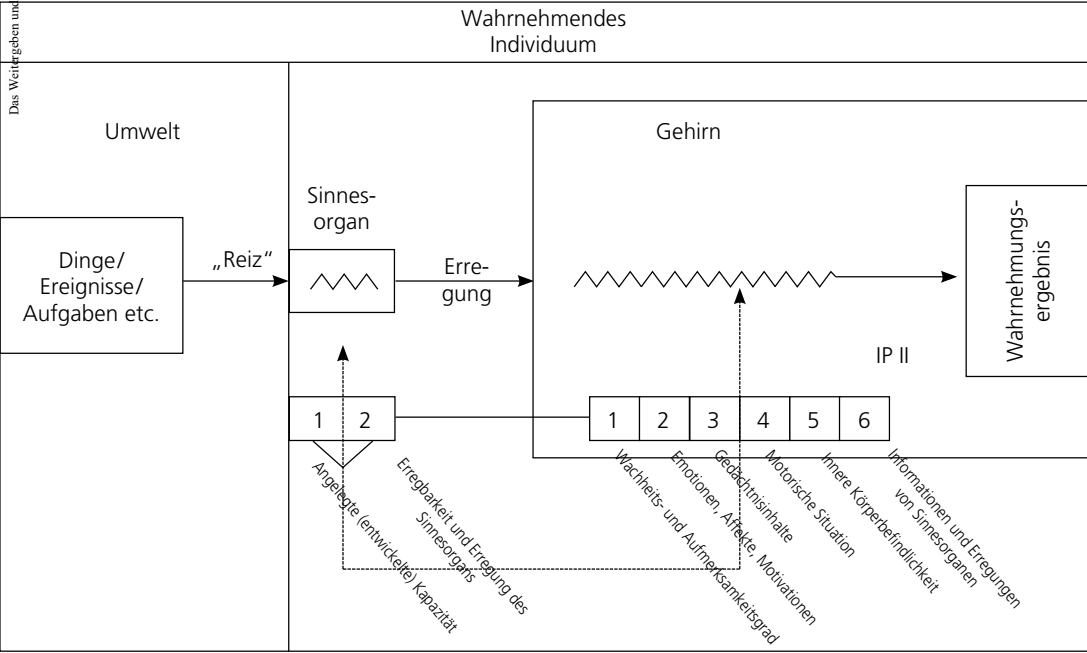
Die individualgenetischen und psychologischen Forschungen zum Wahrnehmungsprozess zeigen, dass Wahrnehmung als Konstruktion von Wirklichkeit bezeichnet werden kann.

„Uns stellt sich Wahrnehmung als ein hochaktiver, hypothesengesteuerter Interpretationsprozess dar, der das Wirrwarr der Sinnessignale nach ganz bestimmten Gesetzen ordnet und auf diese Weise die Objekte der Wahrnehmung definiert“ (Singer 2002, 80).



Wahrnehmung

Abb. 9: Struktur des Wahrnehmungs Vorgangs (Aselmeier 1994, 148)



Die Gesetzmäßigkeiten, die den Wahrnehmungsprozess als Konstruktionsprozess lenken, sind vielfältig (G. Roth 1997, 95ff u. 207ff). Im Folgenden soll in didaktischer Absicht der Versuch unternommen werden, diesen komplizierten und komplexen Vorgang zu verstehen und zu veranschaulichen.

Am Zustandekommen dieses Prozesses sind insbesondere das Gehirn und die Sinnesorgane beteiligt. Dabei spielt das Gehirn eine zentrale Rolle, insofern es die Funktion hat, „die von den Sinnesorganen kommenden Erregungen zu interpretieren. Dies geschieht nach sehr unterschiedlichen Prinzipien“ (G. Roth 1997, 249). Es kann in diesem Zusammenhang nicht auf die Prinzipien eingegangen werden, aufgrund derer das Gehirn die Sinneserregungen „interpretiert“ (ebd., 249ff). Für den vorliegenden Erörterungszusammenhang ist bedeutsam, dass diese Prinzipien als „bedeutungskonstituierende Regeln“ (ebd., 256) aufgefasst werden können, die aus den Vorerfahrungen des kognitiven Systems entwickelt worden sind. Die Wahrnehmungen werden durch Konstrukte geleitet und gefiltert, damit sie ihre Funktion zur Systemerhaltung der individuellen Wirklichkeit erfüllen. Auf diesen Ausführungen aufbauend, wird im Folgenden ein Modell vorgestellt, in dem die Struktur des Wahrnehmungsprozesses veranschaulicht wird.

Beim Wahrnehmungsprozess sind zwei Interventionspunkte (IP 1 und IP 2) festzustellen, durch die das Individuum die Bearbeitung der Reize, Stimuli und Einflüsse, die aus der Umwelt auf es zukommen, vornehmen und damit das Wahrnehmungsergebnis konstruktiv gestalten kann.

Der erste Interventionspunkt liegt im Bereich der Sinnesorgane, die aufgrund von Bau- und Funktionsplänen nur begrenzt, also selektiv wahrnehmen: Der Unterpunkt IP 1/1 ist durch subjektive Befindlichkeiten des Individuums bestimmt, die Reize verstärken oder abschwächen. Der Unterpunkt IP 1/2 betrifft die Umsetzung der organisch vermittelten Informationen in Erregungen, die zum Gehirn führen.

Der zweite Interventionspunkt (IP 2) liegt im Gehirn selbst bzw. in den verschiedenen Hirnregionen. Die dort eingehenden Erregungen werden neuronal verknüpft. Dabei werden die in den Erregungen transportierten Informationen bzw. Signale einer zentralen Intervention unterzogen, die sich auf sechs Dimensionen bezieht (IP 2/1 – 6):

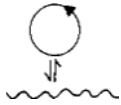
- 1) Der Wachheits- und Aufmerksamkeitsgrad des Individuums
- 2) Emotionen, Affekte, Motivationen
- 3) Gedächtnisinhalte
- 4) Die motorische Befindlichkeit und Situation des Individuums
- 5) Die innere körperliche Befindlichkeit
- 6) Erregungen und Informationen, die von anderen Sinnesorganen eingehen (Aselmeier 1994, 148ff).

Beim Wahrnehmungsprozess werden zuerst die Umweltreize über die Sinnesrezeptoren in innere Erregungszustände transformiert. Dabei „feuern“ die Sinneszellen in unterschiedlicher Intensität pro Zeiteinheit ihre Informationen ab. Die Informationen werden im Gehirn weiterverarbeitet. Da das Gehirn ein auf sich

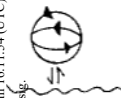


neuronales Netz

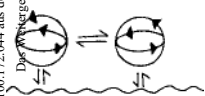
**Abb. 10:**  
Autopoietische  
Einheiten in Tätigkeit  
(Maturana/Varela  
1987, 192 u. 196)



Symbol für die  
Darstellung einer  
„zellulären“ oder  
„multizellulären“  
„autopoietischen  
Einheit“



Symbol für die  
Darstellung der  
Tätigkeit eines  
„Nervensystems“,  
das mit operationa-  
ler Geschlossenheit,  
aber als Bestandteil  
des Organismus  
arbeitet“



Symbolische  
Darstellung des  
Prozesses, in dem  
ein Organismus  
(als autopoietische  
Einheit) „in struktu-  
relle Koppelung mit  
anderen Organismen  
eintritt“

selbst bezogenes (=selbstreferenzielles) System ist, muss es durch differenzierte Prozesse die Informationen entschlüsseln. Dabei werden die vorhandenen neuronalen Netze aktiviert, die die neuen Signale „einordnen“. Damit aber die alten und die neuen Informationen nicht miteinander vermischt werden, werden sie an verschiedene Netzwerke weitergegeben, dort bearbeitet und wieder zusammengefügt.

Durch diese Prozesse entsteht ein differenziertes und zugleich sehr komplexes neuronales Netzwerk, in dem die Konstruktionen von Wirklichkeit repräsentiert sind. In ihrem Werk „Der Baum der Erkenntnis. Die biologischen Wurzeln menschlichen Erkennens“ (1987) zeigen Maturana und Varela diese Prozesse in symbolischen Darstellungen auf. Sie stellen dar, dass die Zelle eines Nervensystems eine autopoietische, d.h. sich selbst organisierende, Einheit ist (Abb. 10, 1). Sobald sie mit der Umwelt in Interaktion tritt, zeigt sie eine operationale Geschlossenheit, die unabhängig von der Umwelt arbeitet (Abb. 10, 2). Ein Gleiches geschieht auch, wenn zwei Zellen in eine strukturelle Koppelung treten (Abb. 10, 3). Die einzelnen Zellen arbeiten autopoietisch, aber auf der Grundlage von gegenseitigen Informationen.

Im Rückgriff auf Abbildung 9 ist zu sagen, dass auch Emotionen, Affekte und Motivationen sowie die damit verbundene gerichtete Aufmerksamkeit des Individuums eine Rolle spielen; ebenso Gedächtnisinhalte, also Erinnerungen, die mit Bewertungen und Bedeutungszuweisungen versehen sind. Diese kanalisieren die zukünftigen Wahrnehmungen. Jedes Kind geht auf diese Weise mit einer gerichteten Wahrnehmung auf die Suche in seiner Umwelt und auch im Unterricht und selektiert auf diese Weise die angebotenen Informationen.

Des Weiteren sind körperliche Befindlichkeiten wichtig, die schon in der symbolischen Interaktion von zwei Personen unterschiedlich sind und die zu nicht vorhersehbaren Interventionen führen können. Wahrnehmung ist daher immer selektiv und lückenhaft. So zeigt sich beim Menschen auch das Bedürfnis, die in seiner Wahrnehmung notwendigerweise auftretenden Lücken zu schließen. Dies geschieht, indem er Kausalbeziehungen zwischen einzelnen Elementen herstellt und damit in seinem Bewusstsein ein sinnvolles Ganzes konstruiert, das ihn handlungsfähig und überlebensfähig macht. Auf diese Weise werden Wissen, Emotionen, Bilder usw. konstruiert (Kap. 3.4). Als konstruktive, individuelle Wirklichkeiten sind sie stets unvollkommen und subjektiv, jedoch individuell und authentisch. Konstrukte sind daher auch nicht lehrbar (Klimsa 1998).

Die Schlussfolgerungen, die sich hieraus für das Lehren und Lernen ergeben, sind u.a. folgende (Klimsa 1998):

- Konstrukte können als subjektiv bedeutsame Lerninhalte verstanden werden.
- Lernen ist eine aktive, konstruktive Tätigkeit.
- Lerninhalte werden von den Lernenden individuell konstruiert.
- Lehren heißt demzufolge, Lernsituationen zu arrangieren, in denen Lernende konstruktiv tätig werden können.
- Lehrpläne – da sie bildungspolitisch nicht abzuschaffen sind – bedürfen der Transformation auf situatives Lehren und Lernen hin.

### 3.5.2 Die Funktionen des Gedächtnisses

„Das Gedächtnis ist unser wichtigstes Sinnesorgan“ (G. Roth 1997, 261). Wahrnehmungsprozesse aus der Sicht des neurobiologischen Konstruktivismus sind nicht nur durch die angeborenen und in der frühen Ontogenese „verfestigten“ Prozesse bestimmt, sondern auch durch Erfahrungen mit der Welt und mit uns selbst. Die dabei gewonnenen und z.T. zu Wissen verarbeiteten Informationen werden im Gedächtnis niedergelegt. Sie bestimmen die Wahrnehmungsprozesse mit. Insofern haben sie im übertragenen Sinn eine Funktion, die den Sinnesorganen vergleichbar ist. Lange Zeit wurde das Gedächtnis als eine Art Speicher angesehen, in den Wissen mengenmäßig eingebracht und aus dem es wieder hervorgeholt werden konnte. In den neueren psychologischen und neurobiologischen Theorien und Untersuchungen wird Gedächtnis hingegen als neuronales Zentrum aufgefasst, das mit den Wahrnehmungsprozessen verbunden ist. Man kann es sich auch als ein Netzwerk vorstellen. Es bildet die Grundlage des Lernens (Markowitsch 1996). Aktuelle Informationen hierzu mit Selbsterfahrung bietet die Internetadresse [www.regiosurf.net/supplement/gedaech/gedh.htm](http://www.regiosurf.net/supplement/gedaech/gedh.htm) an.

Die neuronale Organisation des Gedächtnisses und des Erinnerns hat eine Besonderheit, die kein technisches oder elektronisches Gerät und auch kein Computer oder Internet haben kann. Nach wiederholtem Erinnern sind die Engramme nicht mehr identisch mit denen, die beim vorangegangenen Erinnerungs- oder Lernprozess hinterlassen wurden (Singer 2002, 8). Jedes neue Erinnern zieht neue Spuren, die die Engramme verändern. Mit jeder Erinnerung wird der Kontext fortgeschrieben und dadurch verändert sich der Text, also das Wissen. Aufgrund dieser Erkenntnis ist auch das bekannte Phänomen von der Verblassung der Erinnerung zu erklären. Je häufiger man sich z. B. an einen geliebten verstorbenen Menschen erinnert, umso mehr verändert sich die Vorstellung. Man behält also kein zeitübergreifendes, allgemeingültiges Bild in Erinnerung, sondern ein durch vielfältige Rekonstruktion subjektiv bedeutsames Bild.

Für welche Inhalte und in Bezug auf welche Art von Lern- bzw. Wahrnehmungsprozessen gilt diese Erkenntnis? Es kann vermutet werden, dass bei narrativ organisierten Inhalten eine Fortschreibung von Text und Kontext stattfindet, hingegen bei kausal-rational organisierten Inhalten eine gewisse Konstanz angenommen werden kann. Da die beiden Organisationsformen des Lernens und Behaltens auch die Wahrnehmung und die Aufmerksamkeit beeinflussen, bestimmen sie auch als beeinflussende Elemente den Wahrnehmungsprozess mit, wie im Modell (Abb. 9) im Interventionspunkt IP/2 gezeigt worden ist.

Das Sich-Erinnern kann also weder als bloße Technik noch als das Hervorholen einer Episode aus einem als „Speicher“ definierten Gedächtnis verstanden werden. Aufgrund der neuronalen Organisation des Gedächtnisses wird das Erinnern und – so wird vermutet – auch das Vergessen neuronal mit- bzw. weitergeschrieben.

„Das liegt daran, dass neuronale Speicher als Assoziativspeicher ausgelegt sind, in denen Inhalte als dynamische Zustände weitverteilter, miteinander vernetzter Nervenzellverbände definiert sind und nicht wie in Computern einen adressierbaren Speicherplatz belegen [...].“



**neuronale  
Organisation**

**Erinnerung**

Was jedoch bei Assoziativspeichern zum Problem wird, ist das Überschreiben des Alten durch Neues. In Assoziativspeichern werden durch Lernprozesse Gruppen von Neuronen in immer neuen Konstellationen zusammengebunden, deren gemeinsame Aktivierung dann die Repräsentation für den jeweiligen Gedächtnisinhalt darstellt“ (Singer 2002, 84f).

Die synthetischen Leistungen des menschlichen Gehirns aufgrund neuronaler Prozesse und Organisationen bedingen die Konstruktionen von Wirklichkeit und ihre Speicherung im Gedächtnis. Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass Lern-techniken, z. B. die Mnemotechnik, das Abspeichern von Lerninhalten unterstützen können. Mnemotechniken beispielsweise können angewendet werden, um sich Lerninhalte zu merken, die wenig Anreize bieten. Dementsprechend handelt es sich um Verfahren zur „Förderung des Behaltens. Sie bewähren sich vor allem, wenn Material gelernt werden muss, dass zunächst nicht sinnvoll erscheint oder das zu einem späteren Zeitpunkt in einer bestimmten Reihenfolge wiederzugeben ist“ (Mietzel 2017, 343).

## Lerntechniken

### Lerntechniken im Unterricht

- (1) mündliches und schriftliches Wiederholen von überschaubaren Wissensinhalten und Fertigkeiten
- (2) Gruppieren und Organisieren von Inhalten und bestimmten Fertigkeiten oder Techniken in hierarchisch geordneten Strategieplänen, wie sie z. B. in guten Bedienungsanleitungen eines Computers anzutreffen sind
- (3) Codieren von Wissensinhalten und bestimmten Fertigkeiten nach binomischen Merkmalen, wie z. B. klein – groß, lang – kurz u. a. m.
- (4) Um- und Weiterverarbeitung von Informationen auf der Grundlage der Herausarbeitung von Oberbegriffen oder Prinzipien, wie dies u. a. beim Lesen von Texten der Fall ist
- (5) Nutzung der Prinzipien zur Gliederung und Strukturierung längerer Texte oder Gedankengänge
- (6) Herausfiltern und Speichern von Hauptideen, indem z. B. ein Schlüsselbegriff gefunden werden muss, um ihn in einer neuen Situation zur Lösung eines Problems anwenden zu können
- (7) Die Nutzung von Hinweisen beim Reproduzieren von komplexen Sachverhalten (hierzu werden einfache Hinweise gelernt, z. B. Begriffe, Bilder oder Vorstellungen, aufgrund derer dann die Lernumwelt abgesucht und geordnet wird)
- (8) Bildung von Superzeichen

Gedächtnisstrategien dieser Art können nur in Lernprozessen, die auf konkreten Situationen beruhen, eingeübt werden. Auch muss genügend Zeit vorhanden sein, um das Gelernte einzuprägen.

Zur Vertiefung der vorgestellten Forschungsergebnisse werden im Folgenden drei Formen des Gedächtnisses vorgestellt. Sie zeigen eine unterschiedliche Zeitstruktur, d. h. unterschiedliche Speicherzeiten und -mechanismen (Seel 2003, 41ff;

G. Roth 2001, 165ff). Es handelt sich dabei um das sensorische Gedächtnis, das Kurzzeit- und das Langzeitgedächtnis.

Das sensorische Gedächtnis wird auch Ultrakurzzeitgedächtnis genannt, denn es wird nur für wenige Sekunden reizspezifisch erregt. In dieser kurzen Zeitspanne werden die Erregungen auch mit anderen eintreffenden Reizen und mit inneren Zuständen verknüpft. Dank des sensorischen Gedächtnisses sind Menschen in der Lage, eben Erlebtes sofort wiederzugeben.

**sensorisches  
Gedächtnis**

Das Kurzzeitgedächtnis, auch Arbeitsgedächtnis genannt, ist eng mit dem Wahrnehmungsprozess verbunden und seine Kapazität ist begrenzt (Singer 2002, 81). Es dient dem Behalten und Verarbeiten aktueller Informationen zu Wissen und damit zur Bewältigung aktueller Situationen. Dabei kommt auch das Vergessen ins Spiel. Das Vergessen und seine psychoanalytisch erklärbaren Formen der Verdrängung, Verschiebung und Sublimation dienen dazu, nicht verwertbare und unaktivierte Inhalte im Unbewussten zu erhalten. Was der Mensch also einmal wahrgenommen hat, verliert er nicht.

**Kurzzeit-  
gedächtnis**

Das Langzeitgedächtnis hat eine sehr große Speicherkapazität. Es übernimmt vom Kurzzeitgedächtnis Gelerntes und hält es für weitere Aufgaben zur Verfügung. Der Prozess der Überführung von Gelerntem vom Kurzzeit- in das Langzeitgedächtnis wird als Konsolidierung bezeichnet. Er kann durch die Anwendung von Lerntechniken unterstützt werden. In das Langzeitgedächtnis gelangen allerdings nur Inhalte, die – wie bei der Wahrnehmung – bewusst registriert, d.h. der selektiven Aufmerksamkeit unterzogen worden sind.

**Langzeit-  
gedächtnis**

Die neuronale Organisation des aus Informationen konstruierten Wissens ist insofern bedeutsam, als sie es dem Menschen ermöglicht, über Einzelerinnerungen das benötigte Wissen aus dem Gedächtnis hervorzuholen und zu rekonstruieren. In diesem Prozess kann die Verwendung von Mnemotechniken eine Hilfe sein. So genügt z.B. die Erinnerung an einen Ort, an dem bestimmte Personen eine heiße Debatte geführt haben, um auf die Namen der Beteiligten aus dem Langzeitgedächtnis zurückgreifen zu können. Der Vorgang des Erinnerns ist mit einer Reihe kognitiver und auch emotionaler Vorstellungen verbunden.

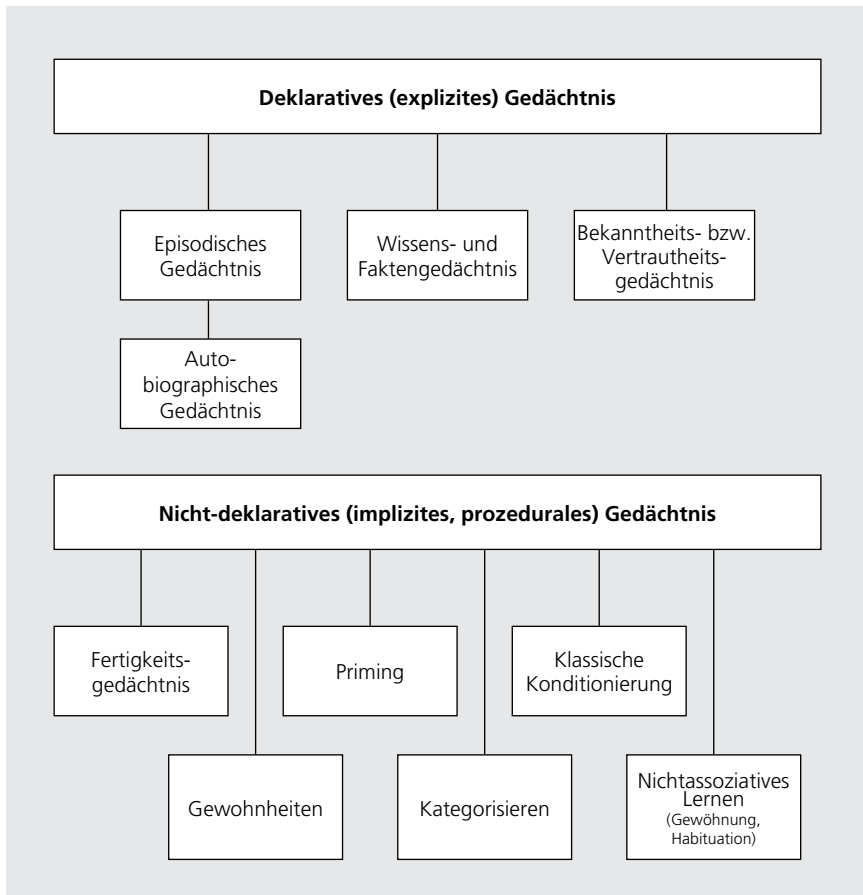
Die Leistungen des Gedächtnisses sind insbesondere durch die neurobiologischen Forschungen belegt (G. Roth 2001, 150ff). In der neueren Literatur wird zwischen „deklarativem“ und „prozeduralem“ Gedächtnis unterschieden (Abb. 11).



**deklaratives  
und prozedurales  
Gedächtnis**

Die zwei Grundfunktionen des Gedächtnisses beruhen auf der Tätigkeit von unterschiedlichen Zentren im Gehirn. *Das deklarative Gedächtnis* bezieht sich auf Inhalte, „die von *Bewusstsein* begleitet sein und *sprachlich berichtet* werden können“ (G. Roth 2001, 152). Es hat drei Teilfunktionen: 1. das „episodische“ Gedächtnis, das an die eigene Biografie gebunden ist. Es konstruiert das Erinnern (remembering); 2. das Faktengedächtnis, das Wissen konstruiert (knowing). Dieses Wissen muss keinen persönlichen Bezug haben. Viele Inhalte, die im Unterricht gelernt werden müssen, fallen unter diese Klasse von Wissen und werden mit dem Faktengedächtnis bewältigt. 3. Das Bekanntheits- oder Vertrautheitsgedächtnis (familiarity memory) hilft uns, Vertrautes und weniger Vertrautes voneinander zu unterscheiden und zu behalten. „Alle drei Gedächtnisse hängen hierarchisch miteinander zusammen“ (G. Roth 2001, 152f). An der Basis steht die dritte Gedächtnisform; die anderen Formen bauen darauf auf.

**Abb. 11:**  
Schema zu  
Leistungen des  
menschlichen  
Gedächtnisses in  
Bezug auf Wissen  
und Können  
(G. Roth 2001, 151)



Das *prozedurale Gedächtnis* zeigt eine größere Differenzierung. Es enthält ein implizites Wissen, das nicht notwendigerweise vom Bewusstsein begleitet und zur Sprache gebracht werden kann, das aber unser Handeln mitbestimmt. Im *Fertigkeitsgedächtnis* sind Leistungen einschließlich der kognitiven Erkenntnis von Fehlern versammelt, wie z.B. motorische Abläufe beim Klavierspielen oder Fahrradfahren.

Die Differenzierungen der Gehirnfunktionen in Bezug auf das Gedächtnis lassen erkennen:

- Die Leistungen des Gedächtnisses sind in der Regel auf Wissen und Können bezogen. Die vielfältigen Wissens- und Könnensklassen, die in unserer Kultur, z.B. in den Wissenschaften und in der Kunst, angeboten werden, entsprechen den differenzierten konstruktiven Leistungen unseres Gedächtnisses. Daher wird z.B. in der mediendidaktischen Literatur auch das Wissen den differenzierten Gedächtnisleistungen entsprechend klassifiziert. Dort ist z.B. von Fakten bzw. deklarativem und prozeduralem Wissen (Baumgartner/Payr 1999, 20ff)

oder von einer „Struktur des Wissens“ die Rede, die in gewisser Analogie zur Leistungsstruktur des Gedächtnisses gedacht wird (Mader/Stöckl 1999, 50).

- Zur Erklärung der Konstruktions- und Lernprozesse im menschlichen Gedächtnis sind verschiedene Lerntheorien erforderlich (Kap. 3.4).

Daraus folgt, dass differenziertes Lernen auch differenzierte Arrangements im Unterricht erforderlich macht.

