

Neurodidaktik – Neue Impulse für den Informatikunterricht

Barbara Sabitzer
Alpen-Adria-Universität Klagenfurt
Universitätsstraße 65-67
9020 Klagenfurt
barbara@isys.uni-klu.ac.at
++43 (0) 463 2700 3517

Abstract: Die Neurodidaktik ist eine relativ junge Wissenschaft, die eine Schnittstelle zwischen kognitiven Neurowissenschaften und Didaktik darstellt. Ihre Aufgabe ist es, die Erkenntnisse der Hirnforschung in Bezug auf Lernen und Gedächtnis für die Didaktik aufzuarbeiten und für die Umsetzung im Unterricht nutzbar zu machen.

Diese Arbeit soll einen Einblick in die wichtigsten Ergebnisse geben und damit eine Anregung für neue Wege zu einem effizienten Informatikunterricht bieten.

Für viele sind diese Wege jedoch gar nicht so neu, denn die Ergebnisse der Hirnforschung belegen u.a. genau das, was Reformpädagogen seit Jahrhunderten fordern.

1 Neurodidaktik – eine interdisziplinäre Wissenschaft

Die Hirnforschung macht es möglich: verschiedene Untersuchungsmethoden, die in den letzten Jahrzehnten entwickelt wurden, wie die bildgebenden Verfahren der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT) oder der Positronenemissionstomographie (PET), erlauben es, dem Gehirn beim Lernen zuzusehen und wertvolle Erkenntnisse für die Lehr- und Lernforschung sowie für den schulischen Unterricht zu gewinnen. Daraus entstand ein neues Forschungsgebiet: die Neurodidaktik¹, eine wichtige Schnittstelle zwischen Neurowissenschaften und Didaktik sowie Pädagogik und Psychologie. Ihre Aufgabe ist es, die Erkenntnisse der Hirnforschung und Neurobiologie in Bezug auf Lernen und Gedächtnis zu erschließen und für Pädagogik und Didaktik aufzubereiten. Aus dem Wissen über Aufbau, Entwicklung und Funktionsweise des Gehirns sowie über die Bedeutung von Hormonen und Botenstoffen entstehen didaktische Prinzipien und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen (Westerhoff, 2008).

Doch nicht alles, was in populärwissenschaftlichen Arbeiten als „gehirngerecht“ dargestellt wird, basiert auf neurodidaktischen bzw. neurowissenschaftlichen Erkenntnissen. Gehirngerechtes Lernen ist kein Wundermittel, wie es manche Autoren suggerieren. Die Neurodidaktik bietet aber durchaus wertvolle Informationen und Erklärungen zu Lehr- und Lernprozessen, deren Beachtung viel zu einem gelingenden Unterricht sowie zu einem nachhaltigen Lernerfolg beitragen kann. Viele dieser Erkenntnisse sind jedoch nicht neu: neurowissenschaftliche Befunde belegen genau das, was Reformpädagogen seit

¹ Der Begriff *Neurodidaktik* (Neurowissenschaften + Didaktik) wurde vor etwas mehr als 20 Jahren von dem Mathematikdidaktiker Gerhard Preiß vorgeschlagen, um die interdisziplinäre Aufgabe dieses neuen Fachgebietes hervorzuheben (Preiß, 2010).

Jahrhunderten postulieren. Neu ist, dass nun erklärt und nachgewiesen werden kann, warum deren Grundsätze funktionieren (Herrmann, 2009).

Zum Einstieg in die Neurodidaktik seien hier ein paar Zitate bekannter Personen erwähnt, die neurowissenschaftlich belegt werden konnten.

Sag es mir, und ich vergesse es. Zeige es mir, und ich erinnere mich. Lass es mich tun, und ich behalte es. Konfuzius (551 –479 v. Chr.)

Docendo discimus. Seneca (um 4 v.Chr - 65 n.Chr.)

Weniger ist manchmal mehr. Nur wer ohne Angst lernt, lernt erfolgreich.
Erasmus von Rotterdam (1465 –1536)

Man kann einen Menschen nichts lehren, man kann ihm nur helfen, es in sich selbst zu entdecken. Galileo Galilei (1564 –1642)

Kinder sind von Natur aus wissbegierig. Jean Jacques Rousseau (1712 –1778)

Er [der Lehrer] muss passiv werden, damit das Kind aktiv werden kann. Hilf mir, es selbst zu tun. Maria Montessori (1870 –1952)

1.1 Gehirn und Gedächtnis

Lernen ist ein komplexer Vorgang, an dem sehr viele Faktoren beteiligt sind. Dementsprechend viel gilt es auch zu beachten, wenn man guten Unterricht bieten und nachhaltigen Lernerfolg erreichen will. Ein kurzer Einblick in Aufbau und Funktionsweise des Gehirns sowie das Gedächtnissystem kann daher nicht schaden.

Das Gehirn ist ein äußerst energieaufwändiges Organ, das ca. 100 Milliarden Nervenzellen (Neuronen) enthält. Drei Viertel davon befinden sich im *Neokortex* (Großhirnrinde), dem Sitz des Denkens und höherer kognitiver Leistungen. Die beiden Hälften des Gehirns sind durch einen Balken (Corpus callosum) miteinander verbunden, über den auch der Informationsaustausch stattfindet (Abb. 1).

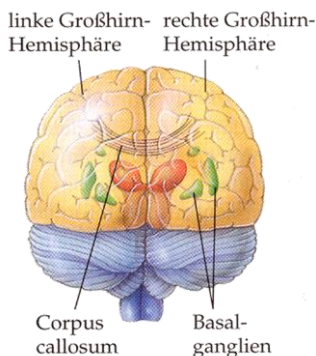


Abb. 1: Rückansicht des Gehirns. Quelle: <http://www.uni-heidelberg.de/institute/fak14/ipmb/phazb/VL-Skripte/Sinnesorgane.pdf>

Der Neokortex besteht beidseitig aus je vier Lappen (Frontal-, Parietal-, Okzipital- und Temporallappen) mit unterschiedlichen Funktionen, die aus Abb. 2 teilweise ersichtlich sind. Die Einteilung in eine logische, analytische Hemisphäre (links) sowie eine kreative, emotionale Seite (rechts), wie sie in manchen Konzepten gehirngerechten Lernens zu finden ist, stellt allerdings eine zu starke Vereinfachung dar: Bei fast allen Vorgängen im

Gehirn sind beide Hälften, wenn auch in unterschiedlichem Ausmaß beteiligt (Becker, 2009, S. 76).

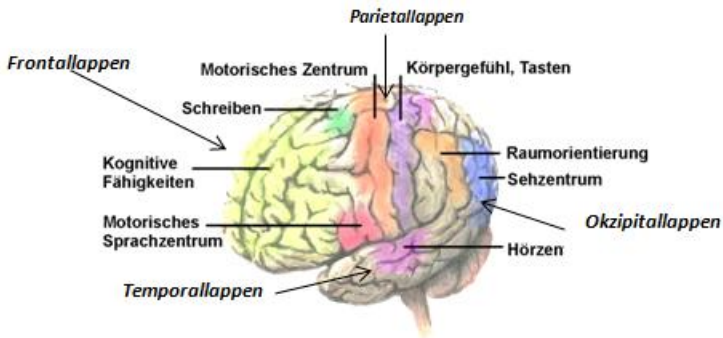


Abb. 2: Seitenansicht des Neokortex. Quelle: <http://www.airflag.com/Hirn/w3/w3Gehirn.html>

Wesentliche Bedeutung für Lernen und Gedächtnis hat das *limbische System* (Abb. 3), das aus mehreren anatomischen Strukturen rund um den Thalamus (in der Mitte) besteht. Viele der hier ablaufenden Prozesse sind unbewusst, können den Lernerfolg aber oft stark beeinflussen.

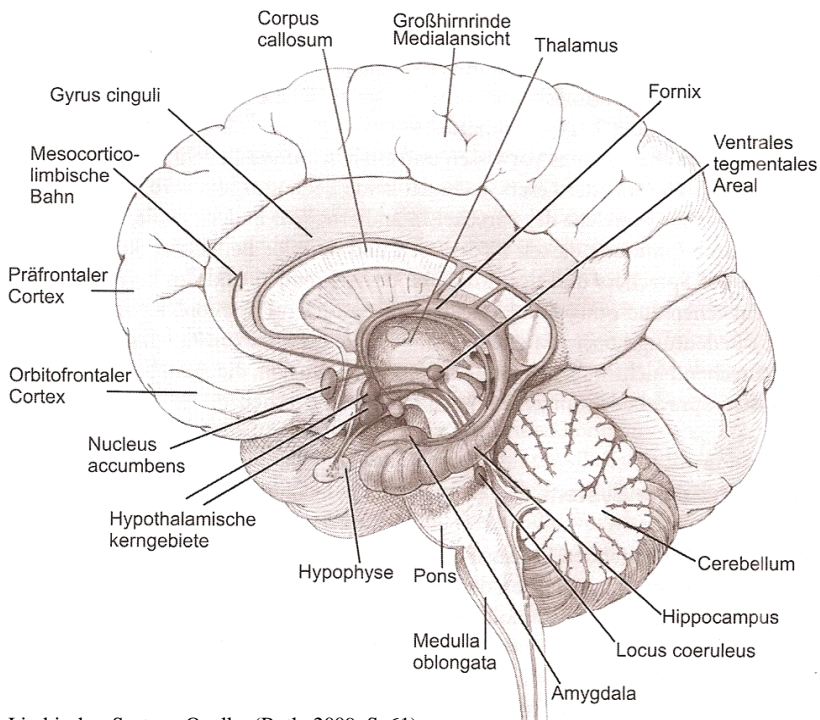


Abb. 3: Limbisches System. Quelle: (Roth, 2009, S. 61)

Die wichtigsten, für das Lernen relevanten Funktionen sind die folgenden:

- bewusste Emotionen, Handlungs- und Impulskontrolle (limbische Teile des Neokortex),
- die Organisation des deklarativen (also bewusstseinsfähigen) Gedächtnisses (Hippocampus),
- die emotionale Bewertung und Erinnerung von Situationen und Entstehung negativer Emotionen (Amygdala),
- die Belohnung durch hirneigene Opiate (Mesolimbisches System) und
- die Steuerung von Aufmerksamkeit, Motivation, Interesse, Lernfähigkeit (Neuromodulatoren Dopamin, Noradrenalin, Serotonin, Acetylcholin) (Roth, 2009, S. 60f).

Das Lernen ist aus der Sicht der Neurowissenschaften ein elektro-chemischer Vorgang, der die Struktur des Gehirns verändert. Das Gehirn enthält ca. 100 Milliarden Nervenzellen (Neuronen), die miteinander kommunizieren, indem sie Informationen in Form von elektrischen oder chemischen Signalen übertragen. Dies geschieht über sogenannte Synapsen (Nervenzellenverbindungen), die, entgegen früherer Meinungen, auch im Erwachsenenalter noch neu entstehen können.

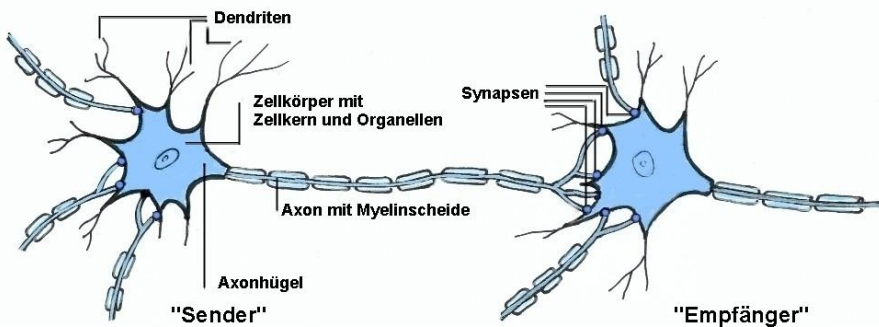


Abb. 4: Aufbau von Neuronen und Synapsen. Quelle: <http://www.airflag.com/Hirn/w3/w3Gehirn.html>

Je häufiger bestimmte Verbindungen benutzt werden, desto stärker werden sie. Das ist die neuronale Basis der uralten Weisheit „Übung macht den Meister“. Lernen passiert also durch das Wachstum neuer Synapsen oder die Stärkung der bereits bestehenden. Dadurch wird Wissen konstruiert und in verschiedenen Nervenzellen „abgespeichert“. Jedes Neuron *repräsentiert* d.h. *steht für* bestimmte Aspekte der Umgebung, für Fähigkeiten, Bedeutungen oder auch Gesichter und vieles mehr. Ähnliches wird durch Neuronen repräsentiert, die in räumlicher Nähe zueinander liegen. So entsteht eine Landkarte im Gehirn, wobei Häufiges durch mehr Neuronen repräsentiert wird als Seltenes (Spitzer, 2005).

Das Gedächtnis ist ein äußerst komplexes System, das auf keinen Fall mit einem statischen Datenspeicher zu vergleichen ist, auch wenn das Langzeitgedächtnis oft als solcher angesehen wird. Es ist vielmehr ein *Datengenerator*, der die Speicherung und Verknüpfung von Informationen organisiert und deren Bedeutungen konstruiert. Aus zeitlicher Sicht unterteilt man das Gedächtnis in Ultrakurzzeitgedächtnis bzw. sensorische Register sowie Kurzzeit- und Langzeitgedächtnis. Ebenfalls bekannt ist die hierarchische

Gliederung in episodisches, semantisches, perzeptuelles und prozedurales Gedächtnis sowie das *Priming*. Für Unterricht und Lernen sind neben dem Langzeitgedächtnis vor allem zwei Formen relevant und auch recht gut untersucht: das Arbeitsgedächtnis bzw. Working Memory und das *Priming* (Roth, 2009, S. 11).

Unter *Priming* versteht man „eine bessere Wiedererkennensleistung von zuvor unbewusst Wahrgenommenem“ (Brand & Markowitsch, 2009, S. 72). Es kann z. B. durch einen Stoffüberblick am Beginn der Stunde erreicht werden.

Das *Arbeitsgedächtnis* stellt einen aktiven Teil des Kurzzeitgedächtnisses dar und ist für die kurzzeitige Speicherung und Verarbeitung von Informationen zuständig, d. h. es kann Informationen gleichzeitig halten und verarbeiten. Als zentraler Teil des Gedächtnisses ist es nicht nur für die Verarbeitung von Input sondern auch für die Kommunikation mit dem Langzeitgedächtnis sowie schließlich für den Output zuständig. Es umfasst

- die *zentrale Exekutive*, die den Informationsfluss zwischen allen Gedächtnissystemen reguliert,
- die *phonologische Schleife*, die für akustische Verarbeitung und inneres Wiederholen, eine wichtige Lernstrategie, zuständig ist,
- den *visuell-räumlichen Notizblock* für das Verarbeiten von visuellen und räumlichen Informationen und
- den *episodischen Puffer*, der u.a. das sogenannte *Chunking* (Zusammenfügen von kleinen Einheiten zu größeren erledigt = wichtige Lernstrategie) (Hasselhorn & Gold, 2006, S. 74).

Das *Langzeitgedächtnis* ist in Bezug auf Zeit und Menge der Inhalte praktisch unbegrenzt. Nach der Art von Gedächtnisinhalten unterscheidet man zwischen deklarativem (erklärbarem) und prozeduralem Gedächtnis, das motorische Fähigkeiten und Routinen speichert. Das deklarative Gedächtnis kann weiter unterteilt werden in das episodische (biographische) und semantische Gedächtnis (Wissenssystem mit erlernbaren Fakten) (Brand & Markowitsch, 2009).

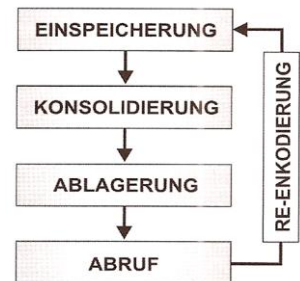


Abb. 5: Stufen der Gedächtnisverarbeitung. Quelle: (Brand & Markowitsch, 2009, S. 72)

Der Weg von der Aufnahme neuer Informationen bzw. Lerninhalte bis zu einer dauerhaften Speicherung im Langzeitgedächtnis ist aber lang. Von der Wahrnehmung durch alle Sinnesorgane über eine kurze Speicherung in den sensorischen Registern, die es für alle Sinnesorgane gibt, erfolgt die Selektion und Enkodierung der Informationen sowie die Weiterverarbeitung im Arbeitsgedächtnis, das Vorwissen integriert und die neuen Inhalte, wenn auch relevant sind, einspeichert. Danach erfolgt die sogenannte Konsolidierung bzw. Festigung der Inhalte (Lernen im Schlaf! Pausen, Entspannung) bis sie schließlich im Langzeitgedächtnis abgelagert werden. Durch einen späteren Abruf des Gelernten wird es re-encodiert und dadurch wieder neu eingespeichert. Daher sollte man Fehler von SchülerInnen möglichst sofort und vollständig korrigieren, um eine Re-Enkodierung und neuerliche Einspeicherung der falschen Informationen zu vermeiden (Brand & Markowitsch, 2009, S. 72ff).

Wo die verschiedenen Gedächtnisse im Gehirn lokalisiert werden können zeigt die folgende Grafik.

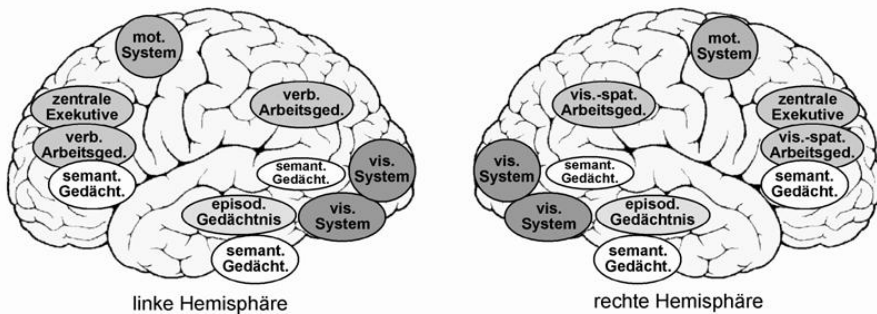


Abb. 6: Schematische Darstellung der funktionellen Neuroanatomie des semantischen, episodischen und Arbeitsgedächtnisses, des visuellen Wahrnehmungssystems und motorischen Systems. Quelle: (Kiefer, 2008, S. 88)

Nicht alle Dinge gelangen jedoch gleich schnell ins Langzeitgedächtnis. Unser zentrales Bewertungssystem in den limbischen Strukturen prüft jede neue Information bzw. Situation, ob sie neu/gut/vorteilhaft/lustvoll/bedeutsam oder alt/schlecht/nachteilig/schmerzhaft/unwichtig ist, wobei es auf das emotionale Erfahrungsgedächtnis zurückgreift. Dieser unbewusste Vorgang hat grundlegenden Einfluss auf den Lernerfolg: Bei einem positiven Ergebnis werden die Neuromodulatoren in Gang gesetzt (u.a. Dopamin für Antrieb und Neugier sowie Acetylcholin für gezielte Aufmerksamkeit), die schließlich die Konstruktion von neuem Wissen durch Anknüpfen an bereits vorhandene passende Gedächtnisinhalte ermöglichen. Je mehr Vorwissen zu einem bestimmten Lerninhalt also vorhanden ist, desto rascher werden neue Wissens-Netzwerke geschaffen (Roth, 2009, S. 60ff).

1.2 Gehirn, Alter und Geschlecht

In Bezug auf die Entwicklung und Reifung des Gehirns sowie geschlechtsspezifische Unterschiede gibt es einige interessante Befunde, die vieles, was wir im Unterricht beobachten können, erklären. Da kein Gehirn einem anderen gleicht, verläuft natürlich auch die Entwicklung und Reifung individuell, wobei noch zusätzlich Unterschiede zwischen männlichem und weiblichem Gehirn zu beobachten sind. Im Folgenden sollen nur die wichtigsten Befunde erwähnt werden, die vielleicht helfen, einige Phänomene im Unterricht besser zu verstehen.

Die Entwicklung des Gehirns geht vor allem in den ersten Lebensjahren relativ rasch vor sich. Bis zum dritten Lebensjahr wird graue Substanz, das primäre Gerüst für den Aufbau des Gehirns, im Überschuss produziert. So hat ein dreijähriges Kind ungefähr doppelt so viele Neuronen wie ein Erwachsener, die danach allerdings kontinuierlich wieder abgebaut werden (Textor, 2010).

Wachstum und Reifung des Gehirns erfolgen jedoch nicht gleichmäßig, sondern in verschiedenen Regionen zu unterschiedlicher Zeit. Im Alter von 3-6 Jahren kommt es vor allem zur Vermehrung der grauen Substanz in vorderen Gehirnbereichen, die für Planung, Organisation, neue Handlungen und Konzentration zuständig sind. Vom 6. bis 12. Lebensjahr entwickeln sich sprachliche Fähigkeiten und räumliche Intelligenz in hinteren Bereichen (Textor, 2010).

Ab dem 12. Lebensjahr geht die Sprachlernfähigkeit zurück und mit dem Eintritt in die Pubertät wird das Gehirn zur Großbaustelle: Einerseits steigt der Anteil an weißer Substanz, dem Myelin², was zu einer schnelleren Reizweiterleitung und damit zu einer schnelleren Informationsverarbeitung führt. Andererseits kommt es zu einem starken Verlust nicht genutzter grauer Zellen, dem *Pruning*, wobei bis zu 50 % der Synapsen gelöscht werden. Im präfrontalen Cortex dagegen entstehen viele neue Synapsen: er wird komplett neu organisiert (Fisch, 2007).

Neben der anatomischen Entwicklung hat auch die Veränderung im Hormonhaushalt Einfluss auf die kognitiven Leistungen. Vor allem Östrogene wirken sich auf verschiedene Fähigkeiten wie Lernen und Gedächtnisbildung aus. Ein hoher Östrogenspiegel wird mit einer hohen Sprachbegabung in Verbindung gebracht, das männliche Hormon Testosteron dagegen mit einer besseren räumlichen und mathematischen Intelligenz. Da sich bei Frauen der Hormonspiegel im Verlauf des monatlichen Zyklus ändert, kann das die Leistungen in den genannten Bereichen beeinflussen (Kraft, 2005).

Dies sind jedoch nicht die einzigen biologisch verankerten Geschlechtsunterschiede in Bezug auf Lernen und Gedächtnis. Die folgenden, z. T. sicher bekannten Fakten, sind ebenfalls von Bedeutung:

- Bei der Entwicklung und Reifung des Gehirns haben Mädchen bis zur Pubertät einen Entwicklungsvorsprung von ca. 1½ Jahren (Herrmann & Fiebach, 2004).
- Während Burschen eine bessere räumliche Intelligenz entwickeln, behalten Mädchen die Überlegenheit in der verbalen Begabung auch nach der Pubertät bei.
- Auch die Empathie ist eine eher weibliche Begabung, die durchaus Auswirkungen auf den Lernerfolg haben kann (Bischof-Köhler, 2002).
- Im Gehirn finden sich außerdem einige anatomische Unterschiede: Im weiblichen Gehirn ist z.B. das Corpus callosum (Balken) dicker und die wichtigsten Sprachzentren, das Wernicke- (semantische Sprachverarbeitung) und das Broca-Areal (motorisches Sprachzentrum) sind proportional größer. Außerdem verfügt es über mehr beidseitig angelegte Sprachregionen und eine höhere Neuronendichte im Wernicke-Areal. Auch die graue und weiße Hirnsubstanz sind unterschiedlich verteilt (Herrmann & Fiebach, 2004).

Dies bedeutet jedoch nicht, dass es signifikante Intelligenzunterschiede zwischen Frauen und Männern gibt: „Ihre Gehirne leisten dasselbe, nur auf unterschiedlichen Wegen“ (Kraft, 2005, S. 53).

2 Neurodidaktische Prinzipien

Was können wir nun aus den Ergebnissen der Neurowissenschaften für die praktische Umsetzung im Unterricht lernen? Wie schon eingangs erwähnt: Alles das, was Reformpädagogen seit Jahrhunderten anwenden. Daher werden die meisten der folgenden neurodidaktischen Prinzipien und Vorschläge vielen guten Lehrern schon bekannt vorkommen.

² Myelin = Fettschicht, die den Zellfortsatz (Axon) umhüllt (Abb. 4, S.3)

2.1 Die 12 Lehr-Lern-Prinzipien der Neurodidaktik

Margret Arnold (Arnold, 2009, S. 190ff) formuliert in Anlehnung an Caine (siehe Abb. 7), allerdings mit einigen Abweichungen, folgende zwölf Lehr-Lern-Prinzipien der Neurodidaktik, die die Grundlagen für effektives Lernen darstellen:

- 1) SchülerInnen müssen die Möglichkeit haben, konkrete Erfahrungen zu machen.
- 2) Wenn Lernprozesse in soziale Situationen eingebunden sind, sind sie effektiver.
- 3) Lernprozesse sind effektiver, wenn die Interessen und Ideen der Lernenden berücksichtigt werden.
- 4) Lernen ist effektiver, wenn das vorhandene Vorwissen mobilisiert wird.
- 5) Werden positive Emotionen in das Lernen eingebunden, ist es effektiver.
- 6) Verstehen SchülerInnen, wie die erlernten Details mit einem Ganzen zusammenhängen, können sie sich die Details besser einprägen.
- 7) Mit der entsprechenden Lernumgebung wird das Lernen intensiver.
- 8) Lernen wird verbessert, wenn Zeit zum Reflektieren bleibt.
- 9) Es wird besser gelernt, wenn SchülerInnen Informationen und Erfahrungen miteinander verbinden können.
- 10) Lernprozesse sind effektiver, wenn auf individuelle Unterschiede der Lernenden eingegangen wird.
- 11) SchülerInnen lernen besser, wenn sie eine unterstützende, motivierende und herausfordernde Umgebung haben.
- 12) Es wird effektiver gelernt, wenn Talente und individuelle Kompetenzen berücksichtigt werden.



Abb. 7: Die 12 Lehr-Lern-Prinzipien nach Caine. Quelle: www.cainelearning.com/files/Wheel.htm

2.2 Weitere neurodidaktische Prinzipien

Brand und Markowitsch (Brand & Markowitsch, 2009, S. 81ff) geben u.a. folgende Vorschläge für die Anwendung im Unterricht:

- Durch die Reduktion der Anforderungen während der Aufnahme neuer Inhalte soll die Aufmerksamkeit auf das Wesentliche fokussiert werden, was zu einer Erhöhung von Lern- und Gedächtnisleistungen beitragen kann.
- Ein Überblick zu Beginn des Unterrichts bzw. einer thematischen Einheit bereitet durch die Hervorhebung wichtiger Informationseinheiten das *Priming* vor (siehe Kapitel 1.1 *Gehirn und Gedächtnis*). Der Überblick und eine Vorstellung der Struktur der Lerneinheit fungieren als externe Einspeicherhilfe.
- Darüber hinaus sollen SchülerInnen das zu lernende Material aber auch selbst strukturieren, wobei die LehrerInnen durch Zwischenfragen bei der Organisation des Lernstoffs helfen können.
- Ein Bezug zu bekannten Themen sollte bei jedem neuen Lerninhalt hergestellt werden, da er so schneller mit bereits vorhandenen Inhalten verknüpft werden kann, was schließlich die Einspeicherung und Konsolidierung (Festigung) erleichtert. Ein persönlicher Bezug führt außerdem zu einer stärkeren und tieferen Verarbeitung im limbischen System.
- Brand und Markowitsch schlagen außerdem vor, Kleingruppen- und Projektarbeit zu integrieren sowie verschiedene Medien einzusetzen, die allerdings nicht zu häufig wechseln sollten. Durch den aus der Kognitionspsychologie bekannten Modalitätseffekt nach Moreno und Mayer³ kommt es zu einer besseren Verarbeitung und leichteren Einspeicherung neuer Inhalte.
- Wichtig ist zudem, dass LehrerInnen Begeisterung für ihr Fach zeigen, denn nur so kann man SchülerInnen positiv beeinflussen. Kann man sie „mitreißen“ und eine angenehme, entspannte Unterrichtsatmosphäre gestalten, wird sich vermutlich auch der gewünschte Lernerfolg einstellen.

Für Josef Kraus (Kraus, 2008) tragen teilweise ähnliche Faktoren zu einer Optimierung des Lernens bei:

- Unterricht muss in hohem Maße aktivierend sein, d. h. die SchülerInnen anregen, eine aktive Rolle zu übernehmen, wie z.B. beim Lernen durch Lehren, dessen Bedeutung schon Seneca (um 4 v.Chr - 65 n.Chr.) erkannte: „Docendo discimus“.
- Unterricht muss mehrkanalig sein, denn je mehr Sinneskanäle angesprochen werden, desto effektiver speichert das Gedächtnis.
- Weitere Grundsätze, wie Lernen braucht Entspannung, Neugier und Emotionen, wurden weiter oben schon erwähnt.

Die wichtigsten Einflussfaktoren für effektives Lehren und Lernen nach Gerhard Roth (Roth, 2009, S. 62) sind

- die Motiviertheit und Glaubhaftigkeit des Lehrenden,

³ Modalitätseffekt: gesprochener Text führt bei Text-Bild-Kombinationen in multimedialen Lernangeboten zu besseren Lernleistungen, weil die unterschiedlich kodierten Inhalte kognitiv besser integriert werden können (Herder, 2003)

- die individuellen kognitiven und emotionalen Lernvoraussetzungen der SchülerInnen,
- die allgemeine Motiviertheit und Lernbereitschaft der SchülerInnen,
- die spezielle Motiviertheit für einen bestimmten Stoff, Vorwissen und der aktuelle emotionale Zustand, sowie
- der spezifische Lehr- und Lernkontext.

2.3 Die Kernaussagen der Neurodidaktik

Das Allerwichtigste in Kürze wird meines Erachtens durch die folgende Behauptung von Gerhard Roth (2009, S. 58) wiedergegeben:

Wissen kann nicht übertragen werden; es muss im Gehirn eines jeden Lernenden neu geschaffen werden.

Dies mag zwar überraschend klingen und im Gegensatz zur klassischen Auffassung von Unterricht stehen (Der Lehrer soll den SchülerInnen etwas beibringen), ist aber neuro- und kognitionswissenschaftlich gut belegt: Wir können den Lernenden keinen Stoff *vermitteln*, wir können ihnen nur, frei nach Maria Montessori oder Galileo Galilei, *helfen, es selbst zu tun bzw. in sich selbst zu entdecken*. Die Anwendung dieses Prinzips führt unweigerlich zu einer Änderung der Unterrichtssituation und –organisation, und damit auch der LehrerInnenrolle. Es führt zu selbstorganisiertem, eigenverantwortlichen Lernen, das die Forderungen nach Individualisierung, Differenzierung oder Kreativitätsförderung etc. besser erfüllen kann, als ein traditioneller (Frontal)Unterricht mit strikten Stoffvorgaben und ständigen Leistungskontrollen. Laut Ulrich Herrmann erfüllt das selbstorganisierte Lernen „fast alle zentralen Anforderungen an eine moderne Schulpädagogik, die von der Gehirnforschung gelernt hat“ (Herrmann, 2006, S. 92).

Basis dieser Behauptung ist eine für das Lernen grundlegende Funktionsweise des Gehirns: die Mustererkennung⁴, denn das Gehirn ist, wie es Spitzer formuliert, eine Regelextraktionsmaschine (Spitzer, 2005, S. 5).

Das Gehirn erkennt und erzeugt Muster bzw. Kategorien und Regeln selbst.

Das heißt nun, dass wir den SchülerInnen nicht Regeln, sondern viele Beispiele geben sollen, anhand derer sie die darin enthaltenen Strukturen erfassen können. Auch dabei ist Selbsttätigkeit der Lernenden gefragt. Jérôme Seymour Bruner prägte für diese Unterrichtsform den Begriff *Entdeckendes Lernen*, das wie das eigenverantwortliche und selbstorganisierte Lernen ein Grundprinzip reformpädagogischer Ansätze darstellt.

Das Entdecken bzw. Erarbeiten neuer Inhalte gelingt außerdem umso besser, je mehr Vorwissen die SchülerInnen in dem betreffenden Bereich mitbringen. Denn:

Neue Inhalte werden immer an das dazu passende Vorwissen angeknüpft.

Dies gelingt am besten, indem man die Lebenswelt der Lernenden berücksichtigt, sowohl die private Umgebung als auch die schulische. Gelingt es den LehrerInnen, den Bezug der

⁴ „Mustererkennung ist die Fähigkeit, in einer Menge von Daten Regelmäßigkeiten, Wiederholungen, Ähnlichkeiten oder Gesetzmäßigkeiten zu erkennen“ (<http://de.wikipedia.org/wiki/Mustererkennung>).

Lerninhalte zur Praxis bzw. zur persönlichen Umwelt der SchülerInnen aufzuzeigen, werden diese eher erkennen, *warum* und *wofür* sie lernen sollen, d. h.:

Lernen ist effektiver, wenn es Sinn macht.

Dieses Sinn-Kriterium ist auch in den *Fundamentalen Ideen* von Bruner (1960) verankert, die von Schwill (1993) für den Informatikunterricht adaptiert wurden (Hartmann, Näf, & Reichert, 2006, S. 32).

Zum Abschluss sollen hier noch die wichtigsten Gedächtnisfunktionen zusammengefasst werden, die bei der Aufnahme (sensorische Register), Verarbeitung (Arbeitsgedächtnis) und Speicherung (Langzeitgedächtnis) von neuen Lerninhalten relevant sind. Diese können einerseits von den Lehrenden bei der Unterrichtsgestaltung berücksichtigt, aber auch von den SchülerInnen selbst als Strategien im Lernprozess bewusst genutzt werden:

- Priming (Überblick zu Beginn der Einheit)
- Vorwissen aktivieren
- Kognitive Effekte:
 - Reihenfolge: Die erste(n) und letzte(n) Einheit(en) werden am besten erinnert (Primacy- und Recencyeffekt). → Reihenfolge der Lerninhalte anpassen
 - Modalität: Gesprochener Text in Kombination mit passenden Bildern wird besser erinnert.
→ Material soll mehrere Sinne ansprechen
→ SchülerInnen erstellen selbst Material, z.B. mit Unterstützung eines mp3-Players, Stoffdatenbank mit Bildern
- Mustererkennung und Regelgenerator
 - viele Beispiele geben
 - Regeln entdecken lassen
- Chunking:
 - Verbinden kleiner Einheiten zu größeren, denn:
 - 7 ± 2 Einheiten werden am besten erinnert
- Phonologische Schleife
 - Inneres Wiederholen der neuen Lerninhalte → den SchülerInnen bewusst machen
- Integrieren
 - „Eselsbrücken“: Neues mit Vorwissen aus der Erfahrungswelt der Lernenden (auch wenn es nicht dazu passt) verknüpfen
 - Vernetzen → fächerübergreifender Unterricht
 - Motto: je emotionaler, lustiger oder überraschender, desto besser
- Einspeicherung
 - Strategien (Merken, Strukturieren, Generieren)
 - Effekte (Primacy, Recency, Modalität)
 - Üben
 - Achtung: Vergessenskurve!
- Konsolidierung
 - Pausen
 - Lernen im Schlaf
- Abruf = Re-Enkodierung
 - Lernen durch Lehren
 - Kooperative Lernformen (Gruppenpuzzle, Interviews...)

Mittlerweile gibt es die verschiedensten Ansätze und Konzepte im Bereich der Neurodidaktik, die alle auf wichtige, teilweise unterschiedliche Aspekte eingehen. Außerdem ist zu vermuten, dass die Neurowissenschaften in Zukunft noch weitere interessante Fakten liefern werden können. Was bisher in der Literatur fehlt, sind konkrete Vorschläge für die praktische fachspezifische Unterrichtsarbeit und ihre tatsächliche Umsetzung im Unterricht. Der folgende Punkt soll ein paar Anregungen für die Berücksichtigung von neurodidaktischen Grundsätzen im Informatikunterricht geben.

3 „Gehirngerechte“ Ideen für den Informatikunterricht

Gerade der Informatikunterricht bzw. auch der IKT-Unterricht mit seinem Praxisbezug bietet eine Fülle an Möglichkeiten, neurodidaktische Prinzipien zu integrieren. Dies kann auf zwei Ebenen geschehen:

- 1) Man betrachtet nur das Fach Informatik selbst sowie die im Lehrplan geregelten Inhalte.
- 2) Man sieht die Informatik aus fächerübergreifender Sicht, d. h. man „lehrt“ die geforderten Lehrplaninhalte, indem man den Stoff anderer Fächer als Basis für die eigenen Beispiele nimmt. So kann man z.B. das Thema *Relationale Datenbanken* anhand eines mehrsprachigen Wörterbuchs (Fremdsprachen) oder einer konkreten Firma (Betriebswirtschaft) erarbeitet.

Versucht man beide Sichtweisen zu integrieren, kann man einen sehr abwechslungsreichen Unterricht gestalten, der den Forderungen der Individualisierung und Differenzierung sowie des eigenverantwortlichen Arbeitens und vielen anderen gerecht wird.

Die folgenden Ideen und Beispiele sollen, ausgehend von verschiedenen Lerninhalten, ein paar Anregungen für einen neurodidaktisch geleiteten Informatikunterricht bieten, sowohl für die Einführung neuer Lerninhalte als auch für die Wiederholung und Anwendung bzw. praktische Umsetzung. Die zugrundeliegenden neurodidaktischen bzw. neurowissenschaftlichen Prinzipien werden in Klammern angegeben.

3.1 Neue Lerninhalte – Informatik, Angewandte, Wirtschaftsinformatik

Beispiel 1: Hardware-Komponenten, EVA-Prinzip

In diesem Beispiel sollen die SchülerInnen die verschiedenen Hardware-Komponenten eines Computers und das EVA-Prinzip kennenlernen. Allerdings ist zu beachten, dass der neue Stoff im Informatikunterricht nicht unbedingt für alle neu sein muss. In kaum einem anderen Fach gibt es so extreme Unterschiede in Bezug auf das Vorwissen wie hier (Hartmann, Näf, & Reichert, 2006, S. 83f). Darum bietet es sich an, den Unterricht offen zu gestalten, wie es viele BHS in Österreich bereits im Netzwerk „COOL – Cooperatives Offenes Lernen“⁵ praktizieren. In einem offenen Unterricht hat man die Möglichkeit, durch Arbeitsaufträge mit Pflicht- und Wahlaufgaben den individuellen Interessen und Kenntnissen der SchülerInnen entgegenzukommen.

Als Einstieg sollte man die Neugier der SchülerInnen wecken und das Vorwissen erkunden, z.B. durch Fragen wie „Wollen wir einen Computer kaufen? Wisst ihr, welchen? Welche gibt es denn? Was kann man eigentlich alles damit machen?“ Außerdem weiß die

⁵ weitere Informationen: COOL – Impulszentrum: <http://www.cooltrainers.at/>

Pädagogik: „Guter Unterricht, zumindest in den Naturwissenschaften, beginnt mit einer Frage“ (Stern, 2009, S. 63).

Für unser Beispiel könnte man folgenden Arbeitsauftrag ausgeben (die neurodidaktischen Hinweise in Klammern stehen natürlich nicht auf dem Blatt, das die SchülerInnen bekommen):

„Deine Eltern wollen einen Computer oder ein Notebook kaufen, kennen sich jedoch nicht aus (praktische Situation = Praxisbezug, persönlicher Bezug, Sinn). Sie bitten dich, verschiedene Angebote zu vergleichen, ihnen die Möglichkeiten, Vor- und Nachteile zu erklären (Lernen durch Lehren, Re-Enkodierung) und ihnen bei der Auswahl zu helfen (sozialer Kontext, Sinn). Damit du dich für einen PC oder eventuell noch andere Geräte entscheiden kannst, musst du natürlich wissen, was damit gemacht werden soll. Wollen deine Eltern damit arbeiten, schreiben oder rechnen? Oder zeichnest du gerne und möchtest auch Musik hören oder gar eigene Lieder aufnehmen? (Priming für EVA-Prinzip vorbereiten). Du suchst dir ein günstiges Angebot aus, das du eventuell mit einem Freund oder einer Freundin besprichst (Lernen durch Lehren, Re-Enkodierung) und schreibst es für deine Eltern mit allen notwendigen Angaben auf (Vorwissen, Individualisierung – SchülerInnen mit mehr Vorwissen können hier schon genauere Angaben ev. zu Prozessor, Speichergröße etc. machen).“

Um den Arbeitsauftrag auszuführen brauchen die SchülerInnen möglichst anschauliches und vielseitiges Material, z.B. verschiedene Prospekte mit Computern und Peripheriegeräten oder entsprechende Seiten im Internet. Falls die Schule neben einem Fachhändler liegt, könnte auch eine kurze Exkursion dorthin stattfinden (Praxisbezug).

Ausgehend von dem oben genannten Material sollen die SchülerInnen nun die angebotenen Computer und Peripheriegeräte sinnvoll ordnen. Teil 2 des Arbeitsauftrags könnte also folgendermaßen aussehen:

„Du hast jetzt einige Angebote von Computern und verschiedenen anderen Geräten gesehen. Du sollst deinen Eltern erklären, welche Möglichkeiten bzw. Vor- und Nachteile die einzelnen Angebote haben. Kannst du dafür alle Geräte ordnen und zu Gruppen zusammenfassen (Mustererkennung, Strukturieren)? Denk dabei daran, welche Funktion sie haben!“ (Zwischenfrage für Organisation des Lernstoffs, mit Vorwissen verknüpfen)

Weitere Ideen für neue Lerninhalte

An dieser Stelle sollen noch ein paar Anregungen für verschiedene Informatikinhalte, allerdings ausgehend von verschiedenen neurodidaktischen Prinzipien, gegeben werden.

Einen kreativen Zugang zu verschiedenen Informatikinhalten für alle Schulstufen bietet das Projekt Informatik erLeben (Bischof & Mittermeir, 2008), das den SchülerInnen durch die Beachtung verschiedener neurodidaktischer Grundsätze den Zugang zur Technik erleichtern und schmackhaft machen will. Folgende Prinzipien kommen in den Beispielen⁶ zum Tragen:

⁶ Von der Seite <http://informatik-erleben.uni-klu.ac.at/> können viele Beispiele kostenlos heruntergeladen werden.

Weitere Informationen: <http://www.informatik-verstehen.uni-klu.ac.at/>.

- *Neugier wecken:* Dies geschieht durch die Einbettung in spannende Geschichten wie beim Morsespiel, in dem „Detektive“ mit Taschenlampen und Morsealphabet das Konzept der Codierung erarbeiten.
- *Handlungsorientierung* wie in obigem Spiel: So werden z.B. in der Einheit *Schufden oder Denken* Sortierverfahren wie Mergesort erklärt, indem sie von Personen durchgespielt werden.
- *Emotionen:* Das Gehirn lernt immer ganzheitlich d.h. es nimmt auch die Umgebung bzw. Situation wahr und verknüpft damit den neuen Lerninhalt. Je motivierender die Situation ist, desto mehr positive Emotionen werden auch mit dem zu lernenden Thema verknüpft. Dadurch werden Botenstoffe für Antrieb, Aufmerksamkeit etc. aktiviert, die „Lust auf mehr“ machen können.
- *Mustererkennung und Regelerzeugung:* Die Aufgaben sind so konzipiert, dass sie entdeckendes Lernen (angeleitet durch einige Fragen) ermöglichen, sowohl für aktive SchülerInnen (oder besser SpielerInnen) als auch für eine Beobachtergruppe, wie im Morsespiel: „Ihr seid Geheimagenten und sollt herausfinden, was die anderen Kinder machen. [...] Bevor ihr mit der Beobachtung beginnt, solltet ihr aber noch etwas überlegen. Ihr sitzt von anderen Geheimagenten etwa drei Meter entfernt und dürft nicht sprechen, da ansonsten die geheime Botschaft abgehört wird. Wie könnt ihr also den anderen Agenten Nachrichten schicken, wenn ihr zusätzlich auch keinen Bleistift und kein Papier zur Verfügung habt.“ (Bischof & Mittermeir, 2008)

3.2 Wiederholung – Übung macht den Meister – Fächerübergreifende Projekte

Für die Wiederholung von Lerninhalten bieten sich verschiedenste kooperative Methoden an, da diese neben dem sozialen Aspekt auch die Vorteile des *Lernens durch Lehren* (Re-Enkodierung) beinhalten. Außerdem können so individuelle Interessen bzw. Vorkenntnisse der SchülerInnen berücksichtigt und sinnvoll eingesetzt werden. Durch fächerübergreifende Projekte werden „mehrere Fliegen mit einer Klappe getroffen“: Es werden Lerninhalte verschiedener Fächer wiederholt bzw. erarbeitet. Weiters werden soziales Lernen und Softskills wie Kommunikations- und Teamfähigkeit, Eigenverantwortung oder vernetztes Denken etc. gefördert. Durch das vernetzte Denken und Lernen werden im Gehirn mehr Synapsen zu einem Thema gebildet. Dies führt zu einer tieferen (weil mehrkanaligen) Verarbeitung im Arbeitsgedächtnis und dadurch zu einem nachhaltigen Lernerfolg.

Beispiel 2: Datenbank und Tabellenkalkulation – Mehrsprachiges Wörterbuch und Vokabeltrainer

Dieses Projekt wurde in einer 4. Klasse HLW mit sprachlichem Schwerpunkt erstellt, die ich sowohl in Wirtschaftsinformatik als auch in Spanisch betreute.

Die Ziele im WINF-Unterricht waren

- 1) die Wiederholung der Grundlagen von Tabellenkalkulation (Listen, einfache Funktionen, Formatieren, Sortieren, Filtern) und Datenbank (Tabellenentwurf, Formular, Bericht) sowie

- 2) die Einführung neuer Lerninhalte wie der Austausch zwischen den beiden Programmen, komplexe Abfragen, Makros, Autoexec in der Datenbank sowie verschachtelte Funktionen in der Tabellenkalkulation.

Das Ergebnis in der Tabellenkalkulation sah folgendermaßen aus:

Geben Sie ein deutsches Wort ein:		Es gibt insgesamt 304 Wörter	
<input type="text" value="heute"/>		Wählen Sie eine Nummer: <input type="text" value="60"/>	
Italiano:	<input type="text" value="oggi"/>	Das gesuchte Wort: Freunde treffen	Das ist:
Français	<input type="text" value="aujourd'hui"/>	Italiano: <input type="text" value="incontrare amici"/>	richtig
Español:	<input type="text" value="hoy"/>	Français: <input type="text" value="rencontrer des amis"/>	richtig
		Español: <input type="text" value="encontrar amigos"/>	leider falsch

Abb. 8: links: mehrsprachiges Wörterbuch, Ausgangssprache Deutsch, rechts: mehrsprachiger Vokabeltrainer, Excel.

Die Daten – 5-sprachige Vokabellisten – wurden mit den jeweiligen SprachlehrerInnen nach thematischen Vorschlägen der SchülerInnen gesammelt (Sinn, Praxisbezug, persönlicher Bezug, eigene Interessen einbringen = Motivation) und in die Tabellenkalkulationssoftware (Excel) eingegeben. Im Informatikunterricht wurden dann die Grundlagen wie Formatierung, einfache Funktionen etc. ausgehend von einem Arbeitsauftrag wiederholt. Die verschiedenen Lerninhalte wurden dazu auf „Expertengruppen“ aufgeteilt (Vorwissen nutzen, Individualisierung, Differenzierung), die ihren MitschülerInnen bei den betreffenden Themen hilfreich zur Seite stehen sollten (Lernen durch Lehren, Re-Enkodierung, neuerliche Einspeicherung).

Danach wurde ein Eingabeformular gestaltet und die neue Funktion SVERWEIS mit folgender Erklärung eingeführt: Diese Funktion Sucht VERsteckte Informationen, da sie WEISs, wo diese sich befinden (Vorstellung der Struktur, Priming auf Eingabe der Argumente, Eselsbrücke aus Lebenswelt der SchülerInnen). Welche Argumente für diese Funktion notwendig sind, wurde anhand ähnlicher Eselsbrücken erklärt: „Wir müssen dem Programm folgenden Befehl erteilen: Such (Suchkriterium) bitte das VERsteck (Matrix) und WEISE auf die Nummer der Spalte (Spaltenindex) hin, in der sich die gewünschte Information befindet!“

Die Vokabellisten wurden schließlich von der Datenbank (Access) importiert und weiterbearbeitet. Es wurde ein Startformular (autoexec) für die Auswahl der Ausgangssprache gestaltet sowie ein Eingabeformular, das das gesuchte Wort in allen verfügbaren Sprachen abfragen sollte.

LehrerInnen, die selbst kreativ sind, finden sicher viele Möglichkeit zu fächerübergreifenden Projekten. Hier noch ein paar Ideen in Stichwörtern, die ich selbst ausprobiert habe:

- *Webdesign: Survivre en France* Überlebenswortschatz und Phrasen für einen längeren Aufenthalt in Frankreich als Basis für Webdesign mit Dreamweaver.

- *Multimedia: MULIRO – Multi Lingua Info-Rom* – multimediale, mehrsprachige Visitenkarte für die Stadt St. Veit/Glan auf Minidisk incl. Businessplan (Fächer: WINF, Fremdsprachen, Deutsch, Betriebswirtschaft, Rechnungswesen)
- *Multimedia: Online-Italienischkurs für Anfänger* Audio, Videosequenzen, Übungen, Rätsel etc.
- *Datenbank und Tabellenkalkulation im Geografieunterricht* – Stoffsammlung, Fragenkatalog, Statistiken, Quiz mit Bewertung, Multiple-Choice-Test, Notenberechnung

3.3 Anwendung – Projektunterricht: EDV in einem Kleinbetrieb

Jahrgang: 5. Klasse HLW, 2. Semester, 1 Wochenstunde

Ziel: Wiederholung WINF-Inhalte aller Jahrgänge, neue Inhalte je nach Bedarf und Interesse.

Aufgabenstellung: „Ihr seid Unternehmensinformatiker und sollt ein Kleinunternehmen (beliebige Branche) oder einen bekannten Betrieb eurer Wahl z.B. aus eurem Familien- oder Bekanntenkreis (persönlicher Bezug) in Bezug auf einen sinnvollen Einsatz von Hard- und Software beraten (Lernen durch Lehren, Re-Enkodierung) sowie einige Beispielanwendungen erstellen. Natürlich könnt ihr auch selbst ein Unternehmen gründen! (Praxisbezug, persönlicher Bezug, Sinn, Schülerinteressen). Dabei sollt ihr die Informatikinhalte aller Jahrgänge wiederholen (Vorwissen einbeziehen, Abruf, Re-Enkodierung) und praktisch umsetzen (Praxisbezug) sowie bei Bedarf neue Anwendungsmöglichkeiten kennenlernen bzw. erarbeiten (Individualisierung, Differenzierung, Wissen erarbeiten). Bei Bedarf könnt ihr euch selbstverständlich auch an LehrerInnen anderer Fächer wenden (Vernetzen, individuelle Interessen).“

Mindestanforderungen (Individualisierung, Differenzierung, eigenverantwortliches Arbeiten, Schülerinteressen):

- Wiederholung der im Informatikunterricht bisher bearbeiteten Inhalte (Tabellenkalkulation, Datenbank, Präsentation, Webdesign, Bildbearbeitung, Layout),
- ein umfangreiches, praxisbezogenes Beispiel pro Anwendung,
- zwei neue Lerninhalte eurer Wahl (z.B. Makros, neue Software etc.),
- Projektdokumentation,
- Projekt-CD oder Website.

Ablauf: Das Projekt konnte als Einzel-, Paar- oder Kleingruppenarbeit durchgeführt werden und sich über das ganze Semester erstrecken. Am Beginn stand eine Unterrichtsstunde zur Projektbesprechung bzw. -grobplanung im Plenum (15 Schülerinnen) zur Verfügung. Danach sollten die Schülerinnen möglichst selbständig arbeiten und versuchen, etwaige Probleme in Zusammenarbeit mit ihren Kolleginnen zu lösen (kooperatives Lernen, Lernen durch Lehren, Selbstorganisation, individuelle Talente und Interessen fördern bzw. einsetzen). Meine Rolle als Lehrerin war dabei nur eine helfende und unterstützende (Montessori: „Hilf mir, es selbst zu tun!“).

Die nach eigenen Aussagen „nicht kreativen“ Schülerinnen hatten zwar anfangs Probleme, einen passenden Betrieb zu „gründen“ sowie eigene praktische Beispiele zu „erfin-

den“. Nach einigen Zwischenfragen in Bezug auf Hobbys und Interessen kamen aber doch recht gute Ergebnisse zustande.

Ein sehr umfangreiches Projekt, das auch tatsächlich in der Praxis eingesetzt wurde, war eine Familienpension. Es wurde von einer Schülerin für ihre Tante durchgeführt, die tatsächlich gerade eine Beratung in Bezug auf Computerkauf und passende Software brauchte (Praxisbezug, persönlicher Bezug, Sinn, sozialer Kontext, Lernen durch Lehren). Das Endprodukt beinhaltete u.a. folgende Punkte (Auszug aus der Projektdokumentation):

- Ausstattung (Hardware+Software): Beratung, Angebotsvergleich, Einkauf und Installation - PC, Monitor, Drucker, Scanner, Modem, Microsoft Office, Internetzugang,
- Publishing Software: Werbeprospekt, Visitenkarten,
- Webdesign: fünfsprachige Website (Dreamweaver + html),
- Bildbearbeitung für Website und Prospekt: Photoshop,
- Tabellenkalkulation: Einnahmen-Ausgabenrechnung, Zimmerbelegungsplan, Kalkulation, Angebotsvergleich, Rechnungsformular,
- Datenbank: Adressdatenbank, Zimmerbelegung,
- Textverarbeitung: Rechnungsformular (Serienbrief, Adressen aus Datenbank), Angebote, Einladungen, Projektdokumentation.

4 Zusammenfassung

Die Neurodidaktik als Schnittstelle zwischen Hirnforschung, Didaktik, Pädagogik und Psychologie beschäftigt sich, ausgehend von neurowissenschaftlichen Befunden, mit den Rahmenbedingungen des Lehrens und Lernens und bietet einige brauchbare Vorschläge für eine Steigerung der Effizienz des Unterrichts. Viele davon sind nicht neu, sondern bestätigen die Grundsätze der Reformpädagogik. Die wichtigsten Erkenntnisse sollte aber jeder Lehrer kennen und im Unterricht berücksichtigen. Wünschenswert wäre eine Verankerung der Neurodidaktik bereits in der Lehrerbildung sowie auch eine stärkere Unterstützung von Seiten der Schulpolitik bei der praktischen Umsetzung, denn gehirngerechtes Lernen – nämlich selbstorganisiertes, aktives Lernen sowie Individualisierung und Differenzierung – erfordert andere Rahmenbedingungen als die aktuellen. So widerspricht z.B. das „Zappen“ durch den Unterricht im 50-Minuten-Takt den Erkenntnissen der Gedächtnisforschung und verhindert eher eine Speicherung der Inhalte im Langzeitgedächtnis (Herrmann, 2009, S. 161).

Mittlerweile gibt es die verschiedensten Ansätze und Konzepte im Bereich der Neurodidaktik, die alle auf wichtige, teilweise unterschiedliche Aspekte eingehen. Außerdem ist zu vermuten, dass die Neurowissenschaften in Zukunft noch weitere interessante Fakten liefern werden können. Es bleibt zu hoffen, dass die bisher gewonnenen Erkenntnisse immer mehr Eingang in den alltäglichen Unterricht finden und nicht nur eine Domäne der Reformpädagogik bleiben.

5 Literaturverzeichnis

- Arnold, M. (2009). Brainbased learning and Teaching. In U. Herrmann, *Neurodidaktik: Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen* (S. 182-195). Weinheim, Basel: Beltz.
- Becker, N. (11 2009). Hirngespinnste der Pädagogik. *Psychologie Heute*, S. 72-77.

- Bischof, E., & Mittermeir, R. (2008). *Informatik erLeben*. Klagenfurt: Informatik-Systeme, Alpen-Adria Universität.
- Bischof-Köhler, D. (2002). *Von Natur aus anders*. Stuttgart, Berlin, Köln: Kohlhammer.
- Brand, M., & Markowitsch, H. J. (2009). Lernen und Gedächtnis aus neurowissenschaftlicher Perspektive - Konsequenzen für die Gestaltung des Schulunterrichts. In U. Herrmann, *Neurodidaktik: Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen* (S. 69-85). Weinheim, Basel: Beltz.
- Fisch, R. (8. 11 2007). *Adoleszenz - Fachtagung*. Abgerufen am 16. 8 2010 von Adoleszenz - Fachtagung:
http://www.kj pz.ch/fileadmin/media/Fachtagungen/Adoleszenz_11_2007.pdf
- Hartmann, W., Näf, M., & Reichert, R. (2006). *Informatikunterricht planen und durchführen*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Herder, M. (2003). *Der Modalitätseffekt und visuelle Aufmerksamkeit bei multimedialen Lehranimationen*. Abgerufen am 17. 8 2010 von http://www.iim.uni-giessen.de/home/news/Postertag03/Postertag_MiriamHerder.pdf
- Herrmann, C., & Fiebach, C. (2004). *Gehirn & Sprache*. Frankfurt am Main: Fischer Taschenbuchverlag.
- Herrmann, U. (2009). Gehirnforschung und die neurodidaktische Revision schulisch organisierten Lehrens und Lernens. In U. Herrmann, *Neurodidaktik: Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen* (S. 148-181). Weinheim, Basel: Beltz.
- Herrmann, U. (2006). Lernen findet im Gehirn statt. In R. Caspary, *Lernen und Gehirn*. Freiburg: Herder Verlag.
- Herrmann, U. (2009). *Neurodidaktik: Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen*. Weinheim, Basel: Beltz.
- Kiefer, M. (2008). Zusammenwirken kognitiver Systeme. *Psychologische Rundschau* (59(2)), S. 87-97.
- Klug, H. G., & Wendt, H.-J.: *Mensch und Realität*. Abgerufen am 23. 8 2010 von <http://www.airflag.com/Hirn/w3/w3Gehirn.html>
- Kraft, U. (2005). Die Macht des Weiblichen. *Gehirn & Geist Dossier: Wer bin ich?*, S. 50-55.
- Kraus, J. (2008). Was hat Bildung mit Gehirnforschung zu tun. Schule zwischen neurobiologischer Vision und bodenständiger Pädagogik. In R. Caspary, *Lernen und Gehirn* (S. 142-156). Freiburg im Breisgau [u.a.] : Herder.
- Preiß, G. (2010). *Zahlenland* ®. Abgerufen am 17. 8 2010 von <http://www.zahlenland.info/de/leitgedanken/>
- Roth, G. (2009). Warum sind Lehren und Lernen so schwierig? In U. Herrmann, *Neurodidaktik: Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen*. Weinheim, Basel: Beltz.
- Schirp, h. (2009). Wie "lernt" unser Gehirn Werte und Orientierungen? In U. Herrmann, *Neurodidaktik: Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen* (S. 246-260). Weinheim, Basel: Beltz.
- Spitzer, M. (2005). Gehirnforschung für lebenslanges Lernen. In OECD (Hrsg.), *Auf dem Weg zu einer neuen Lernwissenschaft* (S. 1-20). Stuttgart: Schattauer.
- Stern, E. (6 2009). Frischer Wind im Klassenzimmer. *Gehirn & Geist*, 60-65. (H. Hanser, & S. Ayan, Interviewer)
- Textor, M. R. (2010). *Gehirnentwicklung im Kleinkindalter - Konsequenzen für die Erziehung*. Abgerufen am 17. 8 2010 von Staatsinstitut für Frühpädagogik (IFP): <http://www.ifp.bayern.de/veroeffentlichungen/infodienst/textor-gehirnentwicklung.html>
- Westerhoff, N. (12 2008). Neurodidaktik auf dem Prüfstand. *Gehirn & Geist*, S. 36-43.