

Neurodidaktik

Von der Didaktik zur Mathetik

Transdisziplinarität im Lehr-/Lernmanagement

Traditionell ist die Lehr-/Lernkultur in Schulen durch das Paradigma der geisteswissenschaftlichen Pädagogik geprägt. Aus der Sicht der Didaktik – als Kernbereich der Professionalisierung von Lehrern – ist ein vorherrschendes didaktisches Modell, insbesondere geprägt durch die lehrtheoretische Didaktik, entstanden, das ich als „Objektives Modell“ (Objektive Didaktik) bezeichnen möchte.

Dieses durch die lehrtheoretische Didaktik geformte Lehrerleitbild ist einerseits durch einen hohen pädagogischen Anspruch – die systemische Verknüpfung von Ziel, Inhalt, Methode und Medium – andererseits aber durch zunehmende Überforderung der Lehrer gekennzeichnet. Bedingt durch die allumfassende Verantwortung des den Lernenden (in bester pädagogischer Absicht) verobjektivierenden Lehrers, und bedingt durch die zunehmende Divergenz und Komplexität von Lerngruppen und –situationen kommt es in Unterrichtssituationen immer häufiger zu einer völligen Überforderung des sich am objektiven Didaktik-Modell orientierenden Lehrers.

Im Zuge der Entwicklung einer neuen Reformpädagogik und der steigenden Bedeutung des E-Learnings entsteht zur Zeit ein alternatives, das Lehrerleitbild zunehmend prägendes, „Subjektives Didaktik-Modell“ (vgl. Kösel 1993). Dieses neue Modell wird in Anlehnung an Comenius als Mathetik bezeichnet und kann als „Lehre vom Lernen“ verstanden werden. „MATHETIK geht auf das griechische Verb ‚mathein‘ bzw. ‚manthanein‘ zurück. Beide Verbformen stehen im Infinitiv und bedeuten ‚lernen‘. ‚Manthanein‘ steht im Infinitiv Präsens und ‚mathein‘ im Infinitiv Aorist. Der zuerst genannte meint eine lineare, abfolgende Tätigkeit, während der zweite ein punktuell, plötzliches Tun bezeichnet. ‚Manthanein‘ weist also auf einen Prozess hin, während ‚mathein‘ auf ein plötzliches Erkennen deutet. Beide Verben bedeuten lernen um der Bildung willen. MATHETIK ist demnach die *Klärung des im Unterrichts stattfindenden Lerngeschehens – und zwar aus der Sicht des Schülers.*“ (Chott 1998, S. 392)

Auf dem Hintergrund neuer reformpädagogischer Überlegungen, gestützt durch konstruktivistisch-systemtheoretische Erkenntnisse und Erkenntnisse der Neurophysiologie und der Psychoneuroimmunologie (PNI) entwickelt sich ein Mathetik-Modell, das sich nicht mehr am Leitbild des allgegenwärtigen Lehrers orientiert, sondern weite Bereiche der Lernsituation in die Verantwortung der Lernenden überführt. Die Mathetik „(...) nimmt den Lernenden in die ‚Holflicht‘, verlangt Anstrengung und Leistung“ und „(...) ist gekennzeichnet durch eine nachhaltige Konsolidierung des konditionalen und metakognitiven Wissens und dient der Erprobung von Lernstrategien“. (Anton 2003, S. 76)

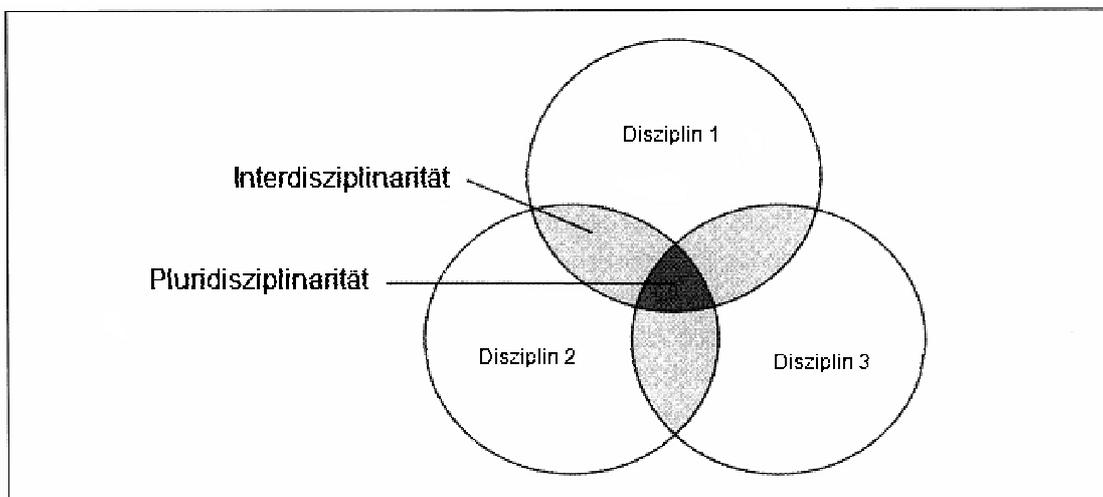
Wir haben es offensichtlich im Rahmen der allgemeinen Diskussion um die Schulentwicklung mit einem Paradigmenwechsel auch und vor allem in der didaktischen Modellkonstruktion zu tun. Dieser Paradigmenwechsel soll in dem folgenden Schaubild verdeutlicht werden:

ENTWICKLUNGSLINIEN PÄDAGOGISCHER THEORIEBILDUNG UND DIDAKTISCHER KONSTRUKTIONEN



Die Entwicklung einer Mathetik erfolgt nicht inter- oder pluridisziplinär, sondern transdisziplinär.

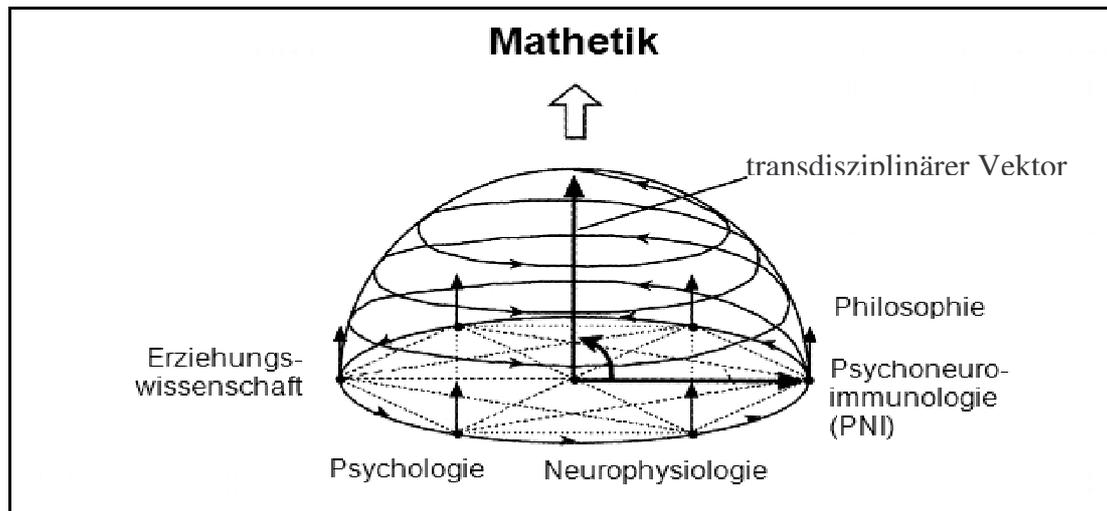
Neue übergreifende Forschungsbereiche können nicht einfach nur als eine Gruppe oder simple Kombination mehrerer verwandter wissenschaftlicher Disziplinen angesehen werden, da diese Konzepte der Inter- und Pluridisziplinarität nur auf einer zweidimensionalen Ebene angesiedelt sind.



vgl. Koizumi 2003, S. 113

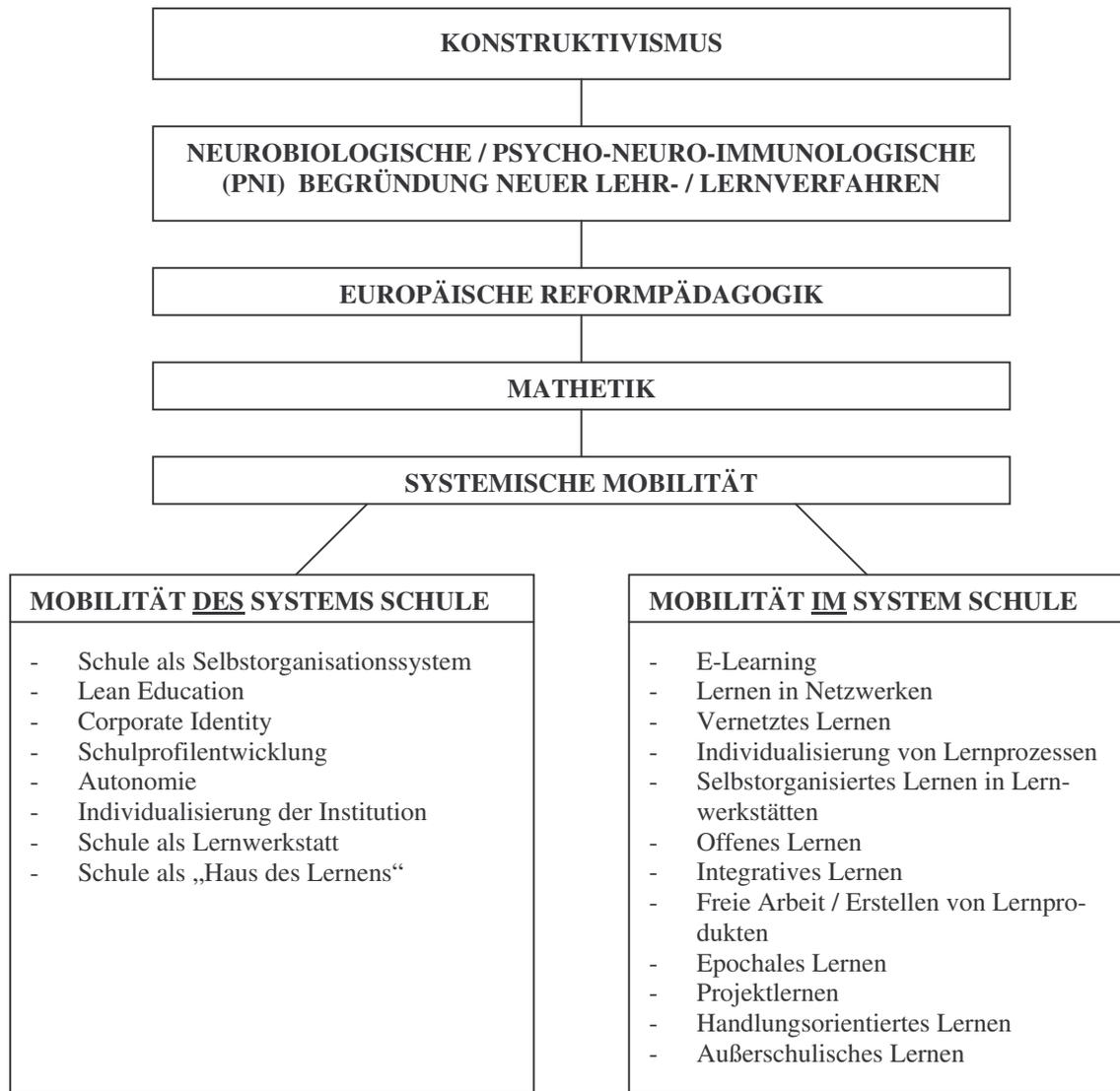
In solchen neuen Forschungsbereichen werden die Erkenntnisse zahlreicher Disziplinen herausgegriffen, um eine eigene konzeptuelle Struktur aufzubauen, die die Grenzen von Natur-, Sozial- und Geisteswissenschaften überschreiten kann.

Das Konzept der Transdisziplinarität füllt einen dreidimensionalen Raum aus. Dieses Konzept steht auf einer höheren hierarchischen Ebene, die auf den Verknüpfungen zwischen mehreren Disziplinen auf der niedrigeren hierarchischen Ebene aufbaut. Die Transdisziplinarität beinhaltet das Konzept des Brückenbauens zwischen vollkommen unterschiedlichen Disziplinen und deren Verschmelzung zu einem neuen Fachgebiet.



vgl. Koizumi 2003, S. 113

Im Weißbuch „Lehren und Lernen“ der EU-Kommission von 1995 finden wir bereits ähnliche Überlegungen bezüglich eines neuen Lehr-Lern-Modells. In diesem Weißbuch wird das Ziel „Einen Beitrag zur Entwicklung einer qualitativ hochstehenden Bildung (Lehrerbildung) in der EU“ zu leisten, formuliert. Qualitativ hochstehende Bildung wird - das ist aus Sicht der Erziehungswissenschaften/ Lehrerbildung ein längst überfälliger Umdenkungsprozess - als Ziel eines ganzheitlich-systemischen, vernetzten, lebenslangen Lernprozesses verstanden. Diese Forderung kann man durchaus im Sinne einer Reaktualisierung der entscheidenden Ideen der europäischen Reformpädagogik als gemeinsames europäisches pädagogisches Erbe verstehen. Aus neuer reformpädagogischer Sicht scheint uns im Weißbuch der EU ein wichtiges Bildungsziel deutlich zu werden, das wir als „**Systemische Mobilität**“ (selbstorganisierte Mobilität des lehrenden und lernenden Individuums in komplexen und vernetzten Bildungssystemen/-institutionen und selbstorganisierte Mobilität des Bildungssystems und dessen Institutionen) bezeichnen möchten.



Systemische Mobilität beschreibt den Versuch, schul- und unterrichtstheoretische Ziele zu definieren als Antwort auf die im Weißbuch der EU formulierten sog. drei großen Umwälzungen unserer Zeit:

1. Die Entwicklung hin zur Informationsgesellschaft
2. Die Globalisierung der Wirtschaft
3. Die sich immer schneller entwickelnde wissenschaftlich-technische Zivilisation.

„Systemisches Lernen“ als Weg zur systemischen Mobilität, die sich durch sieben im Weißbuch aufgezeigte Komponenten auszeichnet. (vgl. Weißbuch 1995, S.10-19). Diesen Komponenten als reine Sollensforderungen werden im Folgenden reformpädagogische Grundideen als mögliche Umsetzungshilfen in die pädagogische Praxis beispielhaft zugeordnet:

1. Die Bedeutung der Dinge erfassen durch ausreichende wissenschaftliche Bildung (Systemische Mobilität durch Reduktion von Systemkomplexität)
 Reformpädagogische Praxis:
 Reduktion von Sachkomplexität durch exemplarisches Lernen mit dem Ziel, fundamentale Strukturen des Wissensbereiches zu verdeutlichen (**Wagenschein**).

2. Verstehensvermögen durch selbstorganisiertes innovatives Handeln (Systemische Mobilität durch Produktion von Systemkomplexität)
 Reformpädagogische Praxis:
 Wochenplanarbeit, Arbeit in Lernwerkstätten, freier Ausdruck (**Freinet**)
 Selbsttätigkeit, Wahlfreiheit, Lernen am didaktischen Material (**Montessori**)
 Selbstorganisiertes Lernen in Orientierung an Assignments (**Parkhurst**)
 Individuelles Lernen in „Pädagogischen Situationen“ (**Petersen**)
3. Urteils- und Entscheidungsvermögen, das sich im Spannungsfeld vom Wissen über Vergangenes und Intuition der Zukunft entwickeln soll (Systemische Mobilität in der Gegenwart durch Reflektieren und Einordnen der eigenen Handlungen in den historischen Kontext)
 Reformpädagogische Praxis:
 Schule als Lebensgemeinschaft (**Petersen**)
 Sicherung der eigenen Tätigkeitsspuren im Fluss der Geschichte (**Freinet**)
4. Entwicklung der Eignung zur Beschäftigung und zur Erwerbstätigkeit durch bessere Verbindung von Allgemein- und Fachwissen und flexible und vielseitige Zugänge zur allgemeinen und beruflichen Bildung (Systemische Mobilität im Bildungsraum und Systemische Mobilität des Bildungsraums)
 Reformpädagogische Praxis:
 Arbeitsschulbewegung (**Dewey, Kerschensteiner, Gaudig, Blonskij, Oestreich, Freinet**)
5. Bildung in regionalen/europäischen Netzwerken (Systemische Mobilität durch Lernen in Netzwerken/vernetztes Lernen)
 Reformpädagogische Praxis:
 Community Education (**Morris**)
 Vernetzung von Schulen (**Freinet**)
6. Garantie des Zugangs zur lebenslangen Bildung - hier insbesondere die Nutzung sämtlicher Möglichkeiten der Informationsgesellschaft (Systemische Mobilität in virtuellen Netzen/ICT - Learning)
 Reformpädagogische Praxis:
 Selbsttätiges Lernen als Voraussetzung für einen selbstorganisierten lebenslangen Lernprozess (**alle Reformpädagogen**)
 Offener Unterricht als Voraussetzung für ICT-Learning (**alle Reformpädagogen**)
7. Der Erwerb von Fremdsprachen soll entscheidend gefördert werden (Systemische Mobilität in der vielsprachigen europäischen Gesellschaft)
 Reformpädagogische Praxis:
 „Sensible Phasen“/ „Absorbierender Geist“ – früher Fremdsprachenunterricht (**Montessori**)
 Internationale Vernetzung von Schulen (**Freinet**)

(vgl. Weißbuch der Kommission der Europäischen Gemeinschaft 1995)

Wenn die bisher geleistete Interpretation des Weißbuches richtig ist, dann müssen wir von einer nicht zu übersehenden Defizitstruktur der Lehr- / Lernkultur in Schulen ausgehen. Schulen verfügen bisher kaum über innovative Mathematik-Konzeptionen, die selbstorganisiertes Lernen fördern und fordern – sie verfügen somit weder über Systemische Mobilität der Eigenstruktur, noch lassen sie Systemische Mobilität des Lernenden entstehen.

Im folgenden Schaubild werden in kritischer Absetzung von der Objektiven Didaktik die zehn Begründungszusammenhänge zwischen der Mathematik, der Neurodidaktik und der reformpädagogischen Didaktik dargestellt:

OBJEKTIVE DIDAKTIK	MATHETIK	NEURODIDAKTIK PNI-DIDAKTIK	REFORMPÄD. DIDAKTIK
Erkenntnis als Abbildung	Erkenntnis als Konstruktion	Erkenntnis als subsymbolische neuronale Vernetzung	Experimentelles Tasten
Technologischer Machbarkeits- optimismus	Unterstützung von Selbstorganisation	Selbstorganisation von Neuronengruppen	Selbsttätiges Lernen in Anregenden Lernumgebungen
Informations- gesellschaft	Lern- und Kommunikations- gesellschaft	Strukturelle Kopplung	Lernen in der Gemeinschaft
Wissensvermittlung Steuerung	Selbstgesteuertes Lernen	Autopoietisches Lernsystem	Individuelle Lernwege
Verbindliche Wahrheiten	Pluralität der Wirklichkeits- konstruktionen	Differierende Verknüpfungsqualität neuronaler Netzwerke	Individuelle Lernergebnisse
Reduktionistisches Weltbild	Holistisches Weltbild	Multisensorische Integration	Ganzheitlichkeit von Lernsubjekt und -objekt
Vermittlung von Antworten	Anregung von Fragen	Perturbation des autopoietischen Systems	Sokratischer Dialog
Konsens Einheit	Differenz Vielfalt	Umwelteinflüsse als Zufallsgeneratoren unterschiedlicher neuronaler Vernetzung	Individuelle Lernme- thoden, Lernrhyth- men, Lernprodukte
Perfekte Lösungen	Irrtums- wahrscheinlichkeit	Hypothesenverifikation oder -falsifikation durch Interaktion von niederen und höheren Gehirnarealen	Entdeckendes und erforschendes Lernen Projektlernen
Kognition	Kognition und Emotion	Emotionen als Operatoren neuronaler Vernetzung	Lernen im positiven Lernklima Schule als Lebensraum

(vgl. Siebert 1999, S.15)

Im Folgenden werden die kritische Absetzung zur Objektiven Didaktik und die zehn Begründungszusammenhänge zwischen Subjektiver Didaktik, Neurodidaktik und Reformpädagogischer Didaktik näher erläutert.

1.

Objektive Didaktik:

Erkenntnis (Lernen) als Abbildung: Während der naive Realismus von einer Eins-zu-Eins-Abbildung der Wirklichkeit im Menschen ausgeht, spricht der kritische Realismus bereits von einem durch Vorwissen modifizierten Abbild der bestehenden Wirklichkeit. Die auf dem Neopragmatismus aufbauende Allgemeine Modelltheorie geht noch einen Schritt weiter indem sie formuliert, dass alle Erkenntnis Erkenntnis in Modellen oder durch Modelle ist. Interne Modelle des Menschen zeichnen sich nach Auffassung von Stachowiak (Stachowiak 1973) durch drei Hauptmerkmale aus:

1. Abbildungsmerkmal

„Modelle sind stets Modelle von etwas, nämlich Abbildungen, Repräsentationen natürlicher oder künstlicher Originale, die selbst wieder Modell sein können“ (ebenda S. 13).

2. Verkürzungsmerkmal

„Modelle erfassen im allgemeinen nicht alle Attribute des durch sie repräsentierten Originals, sondern nur solche, die den jeweiligen Modellerschaffern und/oder Modellbenutzern relevant scheinen“ (ebenda, S. 132).

3. Pragmatisches Merkmal

„Modelle sind ihren Originalen nicht per se eindeutig zugeordnet. Sie erfüllen ihre Ersetzungsfunktion.

a) für bestimmte – erkennende und/oder handelnde modellbenutzende Subjekte;

b) innerhalb bestimmter Zeitintervalle und

c) unter Einschränkung auf bestimmte gedankliche oder tatsächliche Operationen“ (ebenda, S. 132f).

„Über die abbildungsgemäße Originalbezogenheit hinaus ist mithin der allgemeine Modellbegriff dreifach pragmatisch zu relativieren. Modelle sind nicht nur Modelle von etwas. Sie sind auch Modelle für jemanden, Sie erfüllen dabei ihre Funktionen in der Zeit, innerhalb eines Zeitintervalls. Und sie sind schließlich auch Modelle zu einem bestimmten Zweck“ (ebenda, S. 133).

Aber auch dieser Ansatz, der schon konstruktivistische Züge trägt (vgl. Stachowiak 1983), bleibt letztlich dem Abbildungsgedanken verhaftet.

Mathetik:

Erkenntnis (Lernen) als Konstruktion: „Die Kernthese des Konstruktivismus lautet: Menschen sind autopoietische, selbstreferenzielle, operational geschlossene Systeme. Die äußere Realität ist uns sensorisch und kognitiv unzugänglich. Wir sind mit der Umwelt lediglich strukturell gekoppelt, das heißt, wir wandeln Impulse von außen in unserem Nervensystem „strukturdeterminiert“, das heißt auf der Grundlage biographisch geprägter psychophysischer kognitiver und emotionaler Strukturen, um. Die so erzeugte Wirklichkeit ist keine Repräsentation, keine Abbildung der Außenwelt, sondern eine funktionale, viable Konstruktion, die von anderen Menschen geteilt wird und die sich biografisch und gattungsgeschichtlich als lebensdienlich erwiesen hat“ (Siebert 1999, S. 5-6).

Der Begriff des autopoietischen Systems geht auf die chilenischen Neurobiologen Maturana und Varela zurück. Auopoietische Systeme sind strukturdeterminiert, von außen nicht direkt beeinflussbar und erzeugen sich selbst (vgl. Maturana/Varela 1987). Nach konstruktivistischer Auffassung entwickeln Menschen im Lernprozess viable Modelle, die es ihnen ermögli-

chen, sich in einer ihnen im Prinzip unzugänglichen Welt zu orientieren (vgl. von Glasersfeld 1995), oder um es im Sinne des verwandten Pragmatismus zu formulieren, Probleme zu lösen (Dewey-Projektunterricht).

Neurodidaktik

Erkenntnis (Lernen) als subsymbolische, neuronale Vernetzung: Neuronale Netze haben keine Regeln (Zuordnungsregeln) z.B. zur Mustererkennung „gespeichert“, sondern das „Regelwissen“ wird durch die Konstruktion neuronaler Vernetzungen bzw. durch die Verstärkung neuronaler Verbindungen repräsentiert (lernende Netzwerke). „..... dann erscheinen geistige Prozesse in einem ganz neuen Licht. Solche Prozesse sind nicht regelhaftes Hantieren mit Symbolen, sondern ein nur schwer mit Regeln beschreibbarer *subsymbolischer* Prozess, in dessen Verlauf interne Repräsentationen sich beständig verändern. *Regeln sind nicht im Kopf*, sie sind lediglich brauchbar, um bestimmte geistige Leistungen im nachhinein zu beschreiben“ (Spitzer 2000, S. 29).

Reformpädagogische Didaktik

Experimentelles Tasten: Insbesondere die Freinet-Pädagogik scheint eine gewisse innere „konstruktivistische“ Struktur zu besitzen, die sich in der systemischen Vernetzung von Arbeitsbedürfnis, Arbeitsstrukturen, Arbeitstechniken und Arbeitsdokumenten im Lernprozess widerspiegelt (vgl. Hagstedt 1997). Insbesondere der Begriff des „experimentellen Tastens“ bei Freinet scheint für eine konstruktivistische Interpretation besonders geeignet zu sein. „Zweifelsohne existieren Gemeinsamkeiten zwischen dem informationstheoretisch geschlossenen Modell der Kognition und dem Modell des *tâtonnement expérimental*. So ist z.B. auch der Theorie des experimentellen Tastens folgend Wissen nicht Abbildung sondern Konstruktion, wobei auch Freinet mit dem Aspekt der Homöostase bzw. der Aufrechterhaltung oder Wiederherstellung des inneren Gleichgewichts die große Bedeutung des subjektiven Faktors, d.h. die jeden Wahrnehmungs-, Interpretations- oder Konstruktionsprozess begleitende subjektiv-interpretative Komponente, herausstellt und damit genau wie Maturana (vgl. Maturana 1985, S. 29f) die Suche nach der Wahrheit und dem Absoluten, nach einer festen und sicheren Welt und nach letztmöglicher Stabilität durch Ausschluss allen Wandels aufgibt“ (Kock 2003, S. 51).

Darüber hinaus lassen sich konstruktivistische Elemente in den in reformpädagogischen Traditionen entwickelten Bereichen Freiarbeit, Wochenplanarbeit, entdeckendes Lernen und handlungsorientiertes Lernen wiederfinden.

2.

Objektive Didaktik

Technologischer Machbarkeitsoptimismus: Beispielsweise zeichnet sich die lehrerlerntheoretische Didaktik durch einen hohen Binnendifferenzierungsgrad im sogenannten Bedingungs- bzw. Entscheidungsfeld aus. Dieses bis in kleinste Detail gegliederte Faktorenfeld verführt leicht zu der Annahme, dass eine solche multifunktionale Didaktik Unterrichtsgeschehen präzise planbar macht.

Mathetik

Unterstützung von Selbstorganisation: Sowohl kognitive als auch soziale Systeme sind durch Nicht-Linearität und Selbststeuerung gekennzeichnet. Didaktisches Handeln kann daher Lernprozesse nur anregen, aber nicht determinieren. Diese Sichtweise hat weitreichende Auswirkungen auf didaktische Modelle. Der einzelne Lernende oder eine Gruppe Lernender kann somit nicht direkt durch Lehrende zu einem Verhalten bzw. zu einer Verhaltensänderung – als weiteste Umschreibung von Lernen – veranlasst werden. Komplexe Systeme (Lernende/Gruppen von Lernenden) können aus dieser Perspektive nur zu je eigenen – durch ihre interne Struktur vorgegebene – Operationen angeregt, aber nicht determiniert werden.

Hieraus leitet sich eine prinzipielle Unsicherheit didaktischen Handelns ab. Folgen wir dieser Orientierung, müssen wir als Lehrende akzeptieren, dass Lernende sich die angebotenen Lerninhalte nach ihren Regeln und Vorerfahrungen, nach ihren eigenen Verständniszugängen und im Kontext ihrer je individuellen Lebenswelt aneignen. Grundlage jeder didaktischen Handlungsmöglichkeit ist somit die prinzipielle Fähigkeit komplexer Systeme, mit der Umwelt zu interagieren und je eigene Modelle von Wirklichkeit zu konstruieren. Lehren (Lernmanagement) ist somit der Versuch, komplexe Systeme, die nach ihrer eigenen Logik operieren, anzuregen. Das heißt, es ist prinzipiell unmöglich (direkt) zu lehren, sondern es ist nur möglich, Lernprozesse zu aktivieren.

Selbstorganisiertes Lernen ist kein technokratisch zu planender und zu steuernder Prozess, sondern hier geht es um die verantwortliche Konstruktion von förderlichen Lernwelten.

Selbstorganisiertes Lernen erfordert die Überwindung einer Defizit- zu Gunsten einer Fähigkeitsorientierung. Die didaktische Herausforderung liegt hierbei in der Vermeidung einer überheblichen „Besserwisserdidaktik“ zu Gunsten einer konstruktiven Grundhaltung der Lehrenden.

Selbstorganisiertes Lernen überwindet gleichschrittiges, lehrzentriertes Lernen, das sich an der Illusion von homogenen Lerngruppen orientiert. Stattdessen wird die Entwicklung einer didaktischen Kultur der Lernförderung und Lernbegleitung und die damit verbundene Gestaltung von motivierenden Lernlandschaften für die Lernenden in ihrer Unterschiedlichkeit betont (vgl. Werning 1996).

Neurodidaktik

Selbstorganisation von Neuronengruppen: Spezielle systemische Funktionen des neuronalen Netzwerkes gepaart mit sich wiederholendem gleichbleibenden Input führen zu selbstorganisiertem Lernen. Jedes Neuron ist in säulenartigen Schichten mit jedem anderen Neuron dieser Schicht verbunden und erregt damit diese in der näheren Umgebung und hemmt entferntere. Bedingt durch diese Struktur kommt es zu einer Verstärkung der Systemverbindungen,„dass bestimmte Merkmale des Input in gesetzmäßiger Weise auf einen bestimmten Ort des Netzwerkes abgebildet werden.“ (Spitzer 2000, S. 104).

Reformpädagogische Didaktik

Selbsttätiges Lernen in anregenden Lernumgebungen:

Reformpädagogischer Unterricht öffnet sich gegenüber der Individualität der Lernenden. Nicht mehr der Lernende muss sich den Bedingungen und Anforderungen der Bildungseinrichtung anpassen, sondern die Bildungseinrichtung ist aufgefordert, möglichst für alle Lernenden eine lernförderliche Arbeitswelt zu werden (z.B. didaktische Materialien bei Montessori).

Reformpädagogischer Unterricht erfordert die Wahrnehmung und Berücksichtigung der Potenziale der Lernenden. Die didaktische Herausforderung liegt dabei in der Einbeziehung von Erlebnissen und Erfahrungen, von Ängsten, Wünschen und Hoffnungen der Lernenden (z.B. freier Ausdruck bei Freinet)

Reformpädagogischer Unterricht ist insbesondere durch Handlungsorientierung gekennzeichnet. Die Zielperspektiven heißen hier „Förderung eines positiven Selbstwertgefühls“ und „Förderung kooperativen, solidarischen Handelns“. Entscheidend ist hierbei die Realisierung von Handlungsprodukten, auf die sich Lernende und Lehrende gemeinsam einigen (z.B. Pädagogische Situation bei Petersen).

(vgl. Werning 1996)

3.

Objektive Didaktik

Informationsgesellschaft: Das sogenannte Sender-Empfänger-Modell verführt zu der falschen Vorstellung, dass der codierte Energiestrom (z.B. Schallwellen) bereits vom Sender mit Sinnhaftigkeit versehen wird, die der Empfänger nur aufnehmen muss.

Mathetik

Lern- und Kommunikationsgesellschaft: Nach konstruktivistischer Auffassung lernen wir rekursiv, d.h. zu Lernendes wird von bereits Gelerntem überformt, strukturdeterminiert. Im Kommunikationsprozess (Lernprozess) wird also nicht Sinn transportiert sondern dem eingehenden codierten Energiestrom wird vom Lernenden erst Sinn zugeordnet.

Neurodidaktik

Strukturelle Kopplung: Neuronale Netzwerke sind mit anderen neuronalen Netzwerken (mit der Umwelt) strukturell gekoppelt, das heißt interne Modelle werden mit anderen (externen) Modellen abgeglichen, es kommt zu einer koevolutiven Modellkonstruktion.

Reformpädagogik

Lernen in der Gemeinschaft: Insbesondere Peter Petersen hat den Gemeinschaftsbegriff in den Mittelpunkt seiner reformpädagogischen Bemühungen gestellt. „Wie muss diejenige Erziehungsgemeinschaft gestaltet werden, in welcher sich ein Menschenkind die für es beste Bildung erwerben kann, eine Bildung, die seinem in ihm angelegten und treibenden Bildungsdrange angemessen ist, die ihm innerhalb dieser Gemeinschaft vermittelt wird und die es reicher, wertvoller zur größeren Gemeinschaft zurückführt, es ihr als tätiges Glied wiederum übergibt. Oder kürzer: Wie soll die Erziehungsgemeinschaft beschaffen sein, in der und durch die ein Mensch seine Individualität zur Persönlichkeit vollenden kann“ (Petersen 1927).

4.

Objektive Didaktik

Wissensvermittlung – Steuerung: Im herkömmlichen lehrergesteuerten Unterricht richtet sich die Mehrzahl der Lehrerfragen an alle Schüler. Überwiegend verlangen diese Fragen Reproduktionsleistungen, wobei es zu einer Frageverdichtung von bis zu 80 Fragen/45 Minuten-Einheit kommt. Diese Didaktik ist seitens der Schüler primär durch Leistungszeit und nicht durch Lernzeit gekennzeichnet (vgl. Frey et. al. 1999, S. 339-340).

Mathetik

Selbstgesteuertes Lernen: „Selbstgesteuertes Lernen ist eine Form des Lernens, bei der die Person in Abhängigkeit von der Art ihrer Lernmotivation selbstbestimmt eine oder mehrere Selbststeuerungsmaßnahmen (kognitiver, volitionaler oder verhaltensmäßiger Art) ergreift und den Fortgang des Lernprozesses selbst (metakognitiv) überwacht, reguliert und bewertet“ (Konrad/Traub 1999, S. 13).

Neurodidaktik

Autopoietisches Lernsystem: Autopoietische Systeme sind strukturdeterminiert und können daher nicht von außen direkt beeinflusst werden, sie können lediglich perturbiert (gestört) werden.

Reformpädagogische Didaktik

Individuelle Lernwege: In fast allen reformpädagogischen Modellen sind ähnliche Schritfolgen selbstgesteuerten Lernens wiederzufinden: Lernzielprojektion, Lernprozessplanung, Lernprozessrealisierung, Lernprozessreflexion (Metakognition), Ergebnisevaluation.

5.

Objektive Didaktik

Verbindliche Wahrheiten: Im Sinne des Neopragmatismus kann die Konstruktion von Wissen nur von intentionshomogenen Gruppen in der Zeit und auf Zeit erfolgen. Das bedeutet eine grundsätzliche Absage an alle Wissensmodelle mit raum- und zeitübergreifendem Anspruch.

Mathetik

Pluralität der Wirklichkeitskonstruktionen: Menschen sind Menschen – Außenwelt – Rückkopplungssysteme, sie konstruieren ihre je eigenen internen Modelle der Wirklichkeit. „Das Subjekt-Objekt-Verhältnis ist relational interdependent und dynamisch. Der Konstruktivismus bestätigt die grundsätzliche **Anthropozentrik** und auch **Egozentrik** menschlicher Existenz“ (Siebert 1999, S. 7).

Neurodidaktik

Differierende Verknüpfungsqualität neuronaler Netzwerke: Werden bestimmte Input-Signale aus der je individuellen Stimulus-Welt des lernenden Individuums regelmäßig angeboten, kommt es zu einer Stabilisierung der Output-Struktur. „Die Hebbsche Lernregel besagt somit, dass immer dann, wenn zwei miteinander verbundene Neuronen gleichzeitig aktiv sind, die Verbindung zwischen ihnen stärker wird“ (Spitzer 2000, S. 44).

Reformpädagogische Didaktik

Individuelle Lernergebnisse: Die relative Offenheit von projektorientiertem Lernen (Dewey), von Ausgangslernen in pädagogischen Situationen (Petersen), von freien Ausdruckswegen (Freinet) führt zu je individuellen Lernprodukten, die sich in ihrer differierenden Vielfalt zu einem synergetischen Lernergebnis der Gemeinschaft formen.

6.

Objektive Didaktik

Reduktionistisches Weltbild: Primär fachlich/fachdidaktisch geprägte Lehrer neigen zwangsläufig zu didaktischen Reduktionsprozessen die zu formelhaften Wissensseparationen der Schüler führen.

Mathetik

Holistisches Weltbild: Die Konstruktion/erweiternde Konstruktion von inneren Modellen erfolgt auf der Grundlage unterschiedlicher und vielfältiger externer Stimuli und trifft dabei auf komplexe innere Vernetzungsstrukturen, die in keinster Weise einer einschränkenden fachstrukturellen Außenwelt entsprechen.

Neurodidaktik

Multisensorische Integration: Lernen mit allen Sinnen heißt nicht, dass es aufgrund eines vielfältigen Reizimpuls zu einer automatischen Verstärkung einer subsymbolischen Verbindung (Repräsentation) kommt, sondern dass unterschiedliche *Anschlussmöglichkeiten* geschaffen werden..

„Die aus verschiedensten Sinneskanälen einströmenden Informationen werden miteinander verglichen, d.h. z.B. auf Ähnlichkeiten, Gemeinsamkeiten und Widersprüchen hin „durchgecheckt“. Da wir über eine ganze Anzahl von Sinnen verfügen, über die wir Informationen aus der Umwelt und das eigene Selbst „hereinholen“, gestaltet sich dieser Prozess der Feststellung von Konkordanz und Diskonkordanz ganz schön aufwendig. Praktisch gleichzeitig werden alle diese Sinnesinformationen – je einzeln, aber auch das Ergebnis des gerade genannten „Durch-Checkens“ auf Passung untereinander – mit dem gesamten Bestand an früheren Erfahrungen abgeglichen, die in den diversen Speichersystemen vorgehalten werden. Je nach Passung zu diesen früheren Erfahrungen werden die neuen Informationen ab-

gewertet oder aufgewertet, umgruppiert, in die Zeitschiene als dringlich oder weniger dringlich eingeordnet, an frühere Erfahrungen „angedockt“ oder von diesen abgegrenzt abgespeichert.“ (Schusser 2002)

Reformpädagogische Didaktik

Ganzheitlichkeit von Lernsubjekt und –objekt: Die Reformpädagogen haben durchgängig die ganzheitliche Sicht des Lernenden und des zu Lernenden betont (z.B. die Handlungsorientierung in der Arbeitsschulpädagogik (Kerschensteiner), die Definition von fächerübergreifenden Lernbereichen: Gott, Natur und Mensch (Petersen) und die selbsttätige Schaffung von Ganzheiten durch die Schüler (Freinet).

7.

Objektive Didaktik

Vermittlung von Antworten: Martin Wagenschein hat schon früh kritisiert, dass herkömmliche Didaktik den genetischen Lernprozess des Lerners missachtet, in dem nicht der Dreischritt vom phänomeninitiierten, umgangssprachlichen Staunen über vorfachliches Formulieren zu präzisen Antworten vollzogen wird (vgl. Wagenschein 1962).

Mathetik

Anregung von Fragen: Die Präsentation (Existenz) von Phänomenen, die bestehende (zunächst viable) Modelle in Frage stellen, führen zu deren Umbau (Erweiterung).

Neurodidaktik

Perturbation des autopoietischen Systems: „Neue Situationen und Umgebungen können zu Perturbationen, das heißt zu Störungen führen. Dabei determiniert oder instruiert die Umwelt nicht das autopoietische System, sondern löst Veränderungen aus“ (Siebert 1999, S. 200).

Reformpädagogische Didaktik

Sokratischer Dialog: Reformpädagogischer Appell an Lehrer: Stellen Sie möglichst oft Fragen, die keine präzisen Reproduktionsleistungen erfordern, sondern formulieren Sie weitreichende Impulse, die konstruktiv-produzierende Schüleraktivitäten initiieren.

8.

Objektive Didaktik

Konsens-Einheit: Herkömmlicher Unterricht zielt auf die Vermittlung von raum- und zeitunabhängigem objektiven Wissens. Diese Vorgehensweise beruht auf einem Erkenntnisbegriff, der Wissen noch als Seinsverhältnis auffasst. Neopragmatismus und Konstruktivismus stellen dem einen multiplen, pragmatischen und intentionalen Erkenntnisbegriff entgegen.

Mathetik

Differenz-Vielfalt: „Der Konstruktivismus betont Differenzen, Heterogenität, Unterschiede, Vielfalt und weniger Konsens, Homogenität, Identität. Lernen setzt die Wahrnehmung von Differenzen, Fremdheit, anderen Perspektiven voraus“ (Siebert 1999, S. 198).

Neurodidaktik

Umwelteinflüsse als Zufallsgeneratoren unterschiedlicher neuronaler Vernetzung: „Während die Entwicklung der grundlegenden Struktur des Gehirns genetisch vorbestimmt ist, ist es verblüffend festzustellen, dass ein Großteil der elektrischen Aktivität, das Wachstum von Dendritenbäumen, die synaptischen Verbindungen zwischen den Neuronen, die Bildung einer Myelinscheide, die das Axon schützend umgibt und die für eine schnelle Reizwei-

terleitung verantwortlich ist, durch Erfahrung beeinflusst werden. Die lebenslange Veränderungsbereitschaft und –fähigkeit des Gehirns bei Erfahrungen mit der Umwelt, nennt man Plastizität ("plasticity"). Als Lehrer muss man wissen, dass mit Lernen kein „Füttern“ mit Informationen gemeint ist, sondern: Lehrer unterstützen Schüler darin, Neuronengruppen, die gleichzeitig feuern, zu entwickeln. Das Ergebnis davon ist die Entstehung von immer größeren und komplexeren neuronalen Netzwerken, die der Aneignung von Fertigkeiten und Ideen, die an Ziele und Sinnhaftigkeit gebunden sind, entsprechen“ (Arnold 2002, S. 122).

Reformpädagogische Didaktik

Individuelle Lernmethoden, Lernrhythmen, Lernprodukte: Ein Beispiel – Hugo Gaudigs Prinzip der freien Tätigkeit: „Selbsttätigkeit fordere ich für alle Phasen der Arbeitsvorgänge. Beim Zielsetzen, beim Ordnen des Arbeitsganges, bei der Fortbewegung zum Ziel, bei den Entscheidungen an kritischen Punkten, bei der Kontrolle des Arbeitsganges und des Ergebnisses, bei der Korrektur, bei der Beurteilung soll der Schüler freitätig sein. Der freitätige Schüler bedarf keiner Fremdeinwirkung, um den Antrieb zur Tätigkeit zu gewinnen. Er bedarf während der Arbeit keiner Erregung der Kraft von außen, er bedarf nicht der Wegführung, damit er den Weg zur Lösung seiner Aufgaben findet. Das Prinzip der Selbsttätigkeit beherrscht den gesamten Schulkursus, vom ersten bis zum letzten Tag. (Gaudig 1922, S. 93)

9.

Objektive Didaktik

Perfekte Lösungen: Objektive Didaktik dynamisiert Unterrichtsprozesse in Richtung auf das definierte Unterrichtsziel, wobei dem Schüler pseudo-perfekte Modelle viel zu schnell „übergestülpt“ werden, die häufig nur „Apportiercharakter“ und damit eine zu geringe Nachhaltigkeit besitzen.

Mathetik

Irrtumswahrscheinlichkeit: Wenn wir konstruktive, rekonstruktive und dekonstruktive Lernprozesse durchlaufen (vgl. Reich 1996), indem wir in der Lerngemeinschaft Hypothesen (Modelle) zur Lösung von Problemen konstruieren, die viabel oder nichtviabel sind, die verifiziert oder falsifiziert werden, dann haben wir – auch im Falle der Modellfalsifikation – vermutlich mehr gelernt.

Neurodidaktik

Hypothesenverifikation oder –falsifikation durch Interaktion von niederen und höheren Gehirnarealen: Nach Spitzer werden in sogenannten höheren Arealen des ZNS konstruierte Modelle mit dem sensorischen Input niederer Areale verglichen. „Dieser Vergleich ergibt entweder, dass der Input der von „oben“ kommenden „Interpretation“ vollständig entspricht oder dass noch ein Rest bleibt, der durch die vorgeschlagene Interpretation nicht „erklärt“ wird. Im ersten Fall hat das System einen stabilen Zustand erreicht; im zweiten Fall wird der noch nicht erklärte Rest von der tieferen Schicht zur höheren Schicht als neuer Input zur weiteren Bearbeitung (d.h. zum „Errechnen“ neuer „Interpretationsvorschläge“) zurückgemeldet. Diese Vorschläge werden in Form neuer Muster an die tiefere Schicht gemeldet, bis entweder der gesamte Input eine hinreichende „Interpretation“ gefunden hat oder die ursprüngliche Hypothese verworfen und eine neue Hypothese „probiert“ wird“ (Spitzer 2000, S. 140).

Reformpädagogische Didaktik

Entdeckendes und erforschendes Lernen, Projektlernen: Problemorientiertes Lernen – wie es Dewey und andere Reformpädagogen fordern – führt zu einer produktiven Unterrichtssituation, in der die Schüler konkurrierende Hypothesen entwickeln, die im Praxistest verifiziert oder falsifiziert werden, wobei auch der Weg zu einem nicht-viablen Modell hohes

Lernpotenzial enthält. „Doch in allen Bereichen des Lernens gilt das Prinzip, dass nicht unbedingt das Wissen, sondern vielmehr das Entdecken und das Forschen für die Entwicklung des Kindes von entscheidender Bedeutung sind“ (Eichelberger 2002, S. 54).

10.

Objektive Didaktik

Kognition: Obwohl in den einschlägigen objektiven Didaktiken immer wieder darauf hingewiesen wird, dass bei der Planung von Unterricht auch die emotionale Dimension zu berücksichtigen sei, so stellt doch die Alltagsdidaktik die kognitive Dimension eindeutig in den Vordergrund.

Mathetik

Kognition und Emotion: Der Konstruktivismus hat in seiner ersten Ausprägung die Interaktion zwischen Systemen primär auf der kognitiven Ebene zu erklären versucht. Es gilt inzwischen jedoch als relativ gesichert, dass jede kognitive Leistung von Emotionen begleitet oder von diesen beeinflusst wird.

Neurodidaktik

Emotionen als Operatoren neuronaler Vernetzung: „Es setzt sich immer stärker die Tendenz durch, Emotionen von ihrem neuronalen Ursprung her zu beschreiben. Emotionen sind, in diesem Licht gesehen, dann psychoneurale Prozesse, die besonders wirksam darin sind, die Intensität und Strukturierung von Handlungen im dynamischen Strom intensiver Interaktionen mit anderen Lebewesen oder Objekten zu regeln. Dabei besitzt jede Emotion ihren ganz speziellen Gefühlsunterton, der direkt erlebbar und der besonders wichtig bei der Speicherung des intrinsischen, lebenserhaltenden Werts dieser Interaktion ist. Im Rahmen der hier vertretenen Argumentation ist es notwendig hervorzuheben, dass gerade diese emotionalen Wertzuschreibungen bewirken, dass neuen Informationen besser gespeichert und bei späteren Gelegenheiten auch besser rekapituliert werden!“ (Arnold 2002, S. 43)

Ciampi hat in seiner sogenannten Affektlogik Emotionen als Motoren und Einflussfaktoren von kognitiven Prozessen bezeichnet.

„Affekte sind entscheidende Energielieferanten oder Motoren und Motivatoren einer kognitiven Dynamik. Affekte bestimmen andauernd den Fokus der Aufmerksamkeit. Affekte wirken wie Schleusen oder Pforten, die den Zugang zu unterschiedlichen Gedächtnisspeichern öffnen oder schließen. Affekte schaffen Kontinuität; sie wirken auf kognitive Elemente wie ein Leim oder Bindegewebe. Affekte bestimmen die Hierarchie unserer Denkinhalte. Affekte sind eminent wichtige Komplexitätsreduktoren“ (Ciampi 1997, S. 95-99)

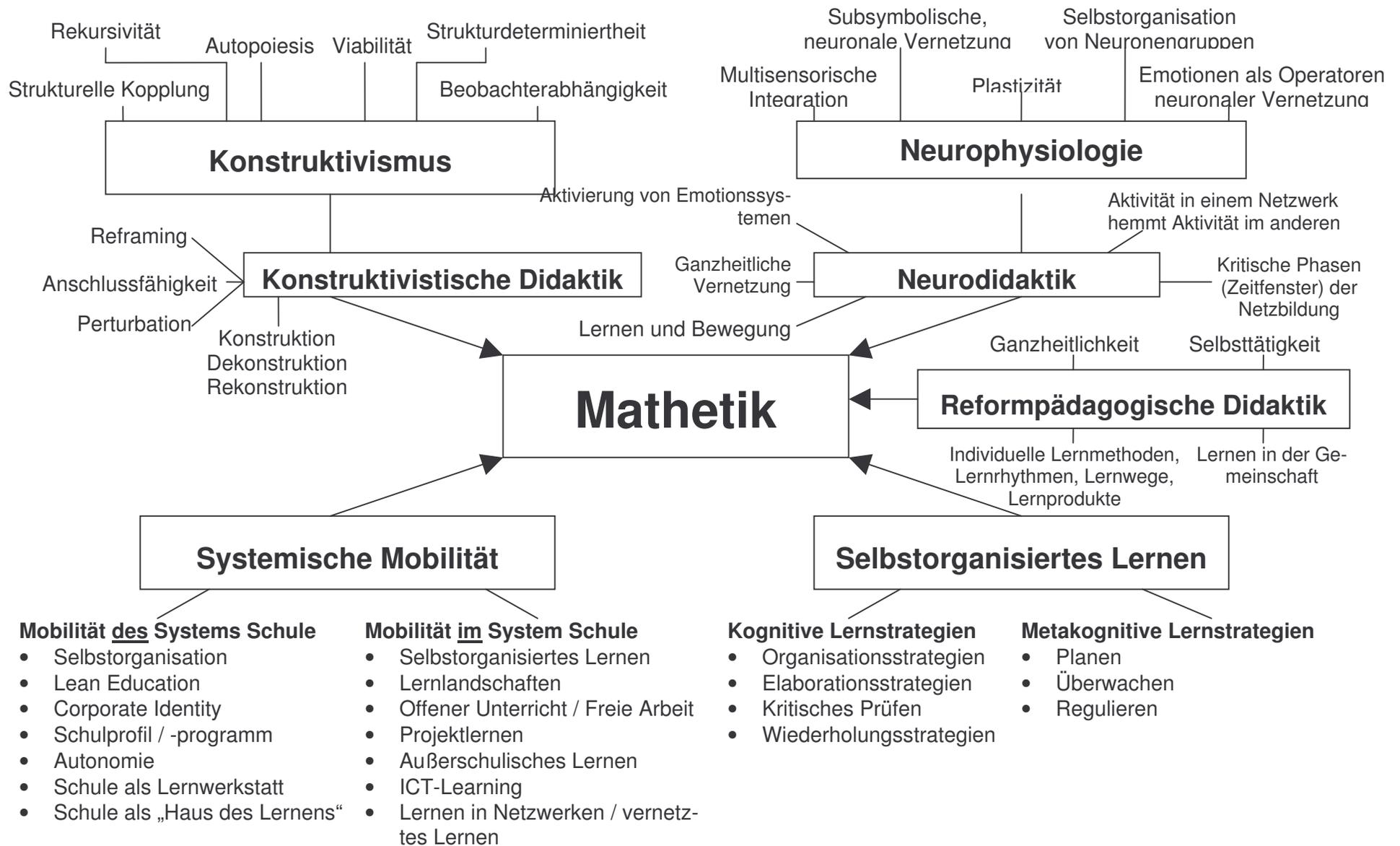
Reformpädagogische Didaktik

Lernen im positiven Lernklima, Schule als Lebensraum: Nicht nur Petersen hat immer wieder gefordert, die Lehr- und Lernanstalt in eine Lebensgemeinschaftsschule umzuwandeln. „Peter Petersen versteht die Schule als „*Lebensstätte*“ und nicht als Unterrichtsanstalt, weil letztere nur am Schüler interessiert sein kann, der Jenaplan aber an der „ganzen Person“ des Kindes. Der Klassenraum darf nicht länger „Belehrungszelle“ sein, er muss vielmehr zur „*Schulwohnstube*“ ausgestaltet werden, die den Kindern Geborgenheit bietet und zugleich reiche Möglichkeit zur Erweiterung des Horizonts. Peter Petersen zweifelt energisch daran, ob der „Fetzenstundenplan“ mit seinen permanent expandierenden Fächerkombinationen ein geeigneter Zugang zur Welt für Kinder sein kann. Er entwarf einen „*rhythmischen Wochenarbeitsplan*“, der die Woche für ein Kind sinnvoll gliedert ...“

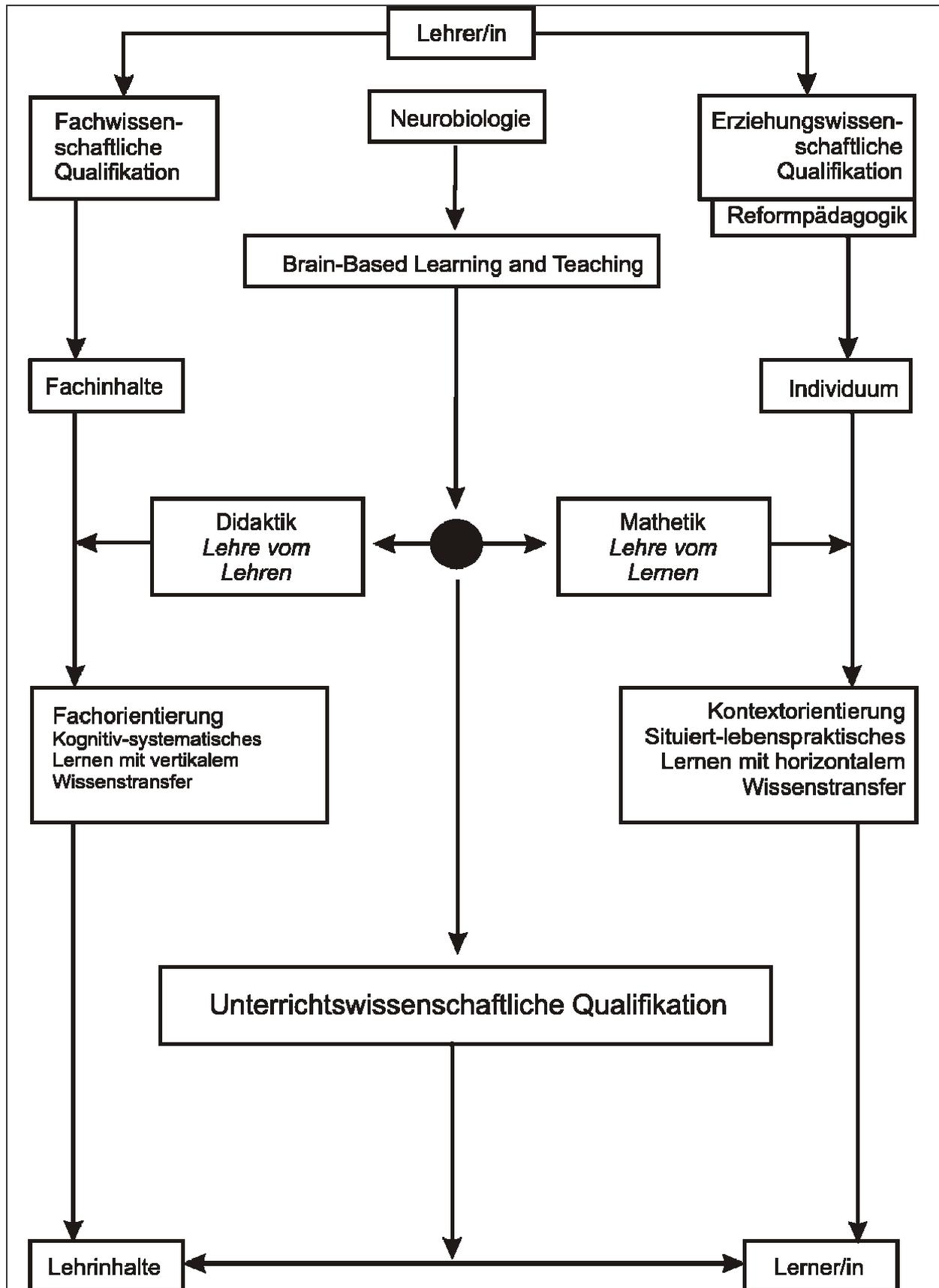
(Eichelberger 2002, S. 68)

konstruktivistische Verständnis von Lernen, das dieses als aktiven, selbst-organisierenden Prozess versteht, bei dem die je eigenen Wirklichkeiten des Individuums von diesem konstruiert werden“ (Chott 2003, S. 1).

Das folgende Schaubild verdeutlicht die bisher entwickelten konvergierenden Argumentationslinien bezüglich des Mathetikbegriffes:



In Anlehnung an Anton könnte man die Kohärenz von Didaktik und Mathematik im folgenden Schaubild darstellen:



(vgl. Anton 2003)

Der Zusammenhang von Didaktik (vertikaler Lerntransfer) und Mathetik (horizontaler Lerntransfer) wird ebenso von F. E. Weinert dargestellt: Weinert argumentiert, dass eine hohe Qualität von Lehr- und Lernprozessen unter den Bedingungen von z.B. lebenslangem Lernen in unmittelbarem Zusammenhang mit verschiedenen Bildungszielen stehe. Im Folgenden werden vier Bildungsziele Weinerts betrachtet. (vgl. Weinert 2000, S. 5 f.)

1. Bildungsziel
<p>Erwerb intelligenten Wissens erfordert vertikalen Lerntransfer enthält Anschlussfähigkeit für lebenslanges Lernen wird begünstigt durch lehrgesteuerten, aber schülerorientierten Unterricht.</p>

vgl. Weinert, 2000

Priorität misst der Verfasser dem „Erwerb intelligenten Wissens“ bei. Dazu führt Weinert aus, dass intelligentes Wissen sich dadurch auszeichne, dass es nicht nur materiales Wissen sei, sondern darüber hinaus auch flexibel nutzbare Fähigkeiten und Fertigkeiten sowie metakognitive Kompetenzen umfasse. (ebd.)

„Intelligentes Wissen zu besitzen heißt also, ein Wissen besitzen, das bedeutungshaltig und sinnhaft ist. Gut verstandenes Wissen ist ein Wissen, das nicht ´eingekapselt` ist, nicht tot im Gedächtnis liegt, nicht ´verlötet` ist, mit der Situation in der es erworben wurde, sondern das lebendig, flexibel nutzbar, eben intelligent ist.“ (Weinert 2000, S.5)

Weinert führt dazu weiter aus, dass anschlussfähiges, intelligentes Wissen in systematischer Weise erworben werden muss. Dies bedürfe einer Unterrichtsmethode, die sowohl durch den Lehrer gesteuert werde, als auch den Schüler ins Zentrum der Aufmerksamkeit rücke. Weinert argumentiert an dieser Stelle, dass es nicht in die Beliebigkeit des einzelnen Schülers gestellt sein könne, dieses Wissen zu erwerben. Es bedürfe daher der Verantwortlichkeit des Lehrers. (Weinert 2000, S. 6)

2. Bildungsziel
<p>Erwerb anwendungsfähigen Wissens durch situationsspezifische Erfahrungen erfordert horizontalen Lerntransfer wird begünstigt durch situationsspezifisches Lernen wird erleichtert durch Projektunterricht</p>

vgl. Weinert, 2000

Weinert betont in einem zweiten Bildungsziel den Erwerb von anwendungsfähigem Wissen. Dies impliziert den Widerspruch zwischen der Ausbildung von systematischem Wissen einerseits und situationsbezogenem, anwendungszentriertem Wissen andererseits.

Der Verfasser unterstreicht dabei die Bedeutung beider Aspekte und spricht sich für eine Ergänzung von lehrergesteuertem Unterricht durch projektiertes Arbeiten an sinnvollen, komplexen und transdisziplinären Problemen aus. (vgl. Weinert 2000, S.7)

3. Bildungsziel
<p>Erwerb variabel nutzbarer Schlüsselqualifikationen erlaubt vielfältige, flexible, variable Nutzung wichtiger Kompetenzen (konkrete und abstrakte Kompetenzen) erfordert vertikalen und horizontalen Lerntransfer wird begünstigt durch Kombination von lehrergesteuertem und schülergesteuertem Unterricht</p>

vgl. Weinert, 2000

Drittens stellt der Verfasser die Frage nach methodischem Wissen, Kenntnissen und Fertigkeiten, die in unterschiedlichen Tätigkeiten anwendbar sein können. Diese Schlüsselqualifikationen unterteilt Weinert in erstens konkrete Schlüsselqualifikationen und zweitens abstrakte Schlüsselqualifikationen:

Konkrete Schlüsselqualifikationen bezieht der Verfasser auf die sprachlichen Möglichkeiten des Lernalers (Ausdruck, Fremdsprachen) sowie Medienkompetenz.

Als abstrakte Schlüsselqualifikationen kategorisiert Weinert in Anlehnung an die OECD persönliche Merkmale; z. B. Autonomie und Selbstmanagement. (vgl. Weinert 2000, S. 8)

4. Bildungsziel
<p>Erwerb von Lernkompetenz (Lernen lernen) Erfordert Expertise über das eigene Lernen wird begünstigt durch lateralen Lerntransfer gefördert durch angeleitetes und selbstständiges Lernen und Reflexion über erfolgreiches Lernen</p>

Mit Blick auf die Anforderungen des lebenslangen Lernens unterstreicht Weinert viertens, die Bedeutung der Lernkompetenz von Lernenden. Lerner müssten dabei zu Experten ihrer eigenen Lernprozesse werden und also eigenes Lernen planen, Lerngegenstände strukturieren und den eigenen Lernprozess überwachen und evaluieren. (vgl. Weinert 2000, S. 9)

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Weinert mit seinen Bildungszielen sowohl eine didaktische Dimension aufzeigt (vertikaler Lerntransfer) als auch eine Sichtweise andeutet, die mathematisch orientiert ist (horizontaler Lerntransfer). Dabei flankieren die genannten Bildungsziele hinsichtlich Schlüsselqualifikationen und Lernkompetenz den vertikalen und horizontalen Lerntransfer auf der Ebene formaler Bildung.

Deutlich wird dabei, dass sich vertikaler und horizontaler Wissenstransfer ergänzen müssen, da diese beiden Bildungsziele nur in ihrer Summe sowohl für systematisch strukturiertes als auch anwendungsfähiges Wissen stehen.

Darüber hinaus sind die Bildungsziele betreffend Schlüsselqualifikationen und Lernkompetenz in direkter Weise auf eine Verschränkung von vertikalem und horizontalem Lerntransfer bezogen:

Schlüsselqualifikationen werden unter dieser Perspektive als konkrete und abstrakte Qualifikationen betrachtet, die bei Lernprozessen als Nebenprodukte entstehen. Metakognitive Kompetenzen des Lerners über sein eigenes Lernen rückt Weinert ebenso als lateralen Lerntransfer in den Fokus.

Die bisherigen Überlegungen zur Mathetik (Didaktik) sind in den 12 Prinzipien des „Brain-Based Learning and Teaching“ von Arnold systemisch zusammengefasst.

„Es geht darum, herauszufinden, wie das, was gelernt wird, mit dem verknüpft werden kann, was der Lernende schon weiß, und die Erfahrungen und Informationen verbunden werden können. Die wichtigste Aufgabe des Gehirns ist es, durch das Finden von gemeinsamen Strukturen und Beziehungen, sinnvolle Verbindungen zwischen vorherigen Erfahrungen und neuen Informationen herzustellen. Die Aufgabe eines Lehrers ist es folglich, dabei Hilfestellung zu geben. Die wesentlich Kriterien für „Brain-Based Learning and Teaching“ sind damit:

- Sinnvolles Lernen („meaningful learning“),
- Einbeziehung der Erfahrung des Schülers („capitalising on experience“).

Da ein Schüler ständig damit beschäftigt ist, Verbindungen auf vielerlei Ebenen zu suchen und herzustellen, ist es die primäre Aufgabe des Lehrers, die Erfahrungen, die der Schüler als Verständnishilfen benutzt, zu modellieren, zu orchestrieren („orchestrate the experiences“).

(Arnold 2002, S. 108)

Erstes Prinzip:

Der Mensch als wachsender (lernender) Organismus interagiert mit der Umwelt auf kognitiver, emotionaler und physiologischer Ebene. Dieser Wachstumsprozess (Lernprozess) kann nicht von außen gesteuert, sondern nur durch Perturbation beeinflusst werden.

Lernen und Handeln basieren auf der individuellen Konstruktion von Sinnhaftigkeit (vgl. Arnold 2002, S. 109 – 111).

Zweites Prinzip:

Der Mensch als lernender Organismus ist auf soziale Interaktion angewiesen. Interaktion (Kommunikation) kann als ein biologisch bedingter Prozess betrachtet werden, der sich im Spannungsfeld von internem (viablen, nichtviablen) Modell und Außenwelt vollzieht. Unterrichtswissenschaftliche Kompetenz von Lehrern ist demnach durch didaktisch begründete Forderung und mathetisch begründete Förderung gekennzeichnet (vgl. Arnold 2002, S. 111 – 112).

Drittes Prinzip:

Der Mensch als lernender Organismus ist ständig auf der Suche nach Sinn, nach sinnhaften Konstrukten, die das Überleben in einem umfassenden Sinne sichern sollen. Die Konstruktion von Sinn erfolgt je individuell. Aufgabe des Lehrers ist es daher, ein didaktisch/mathetisch anspruchsvolles Umfeld zu schaffen, in dem der Schüler seinem angeborenen Drang nach Sinnsuche nachgehen kann (vgl. Arnold 2002, S. 112 – 113).

Viertes Prinzip:

Der Mensch als lernender Organismus bildet (besitzt) neuronale Muster als sinnstiftende kategoriale Konstruktionen. „Meaningful Learning“ bedeutet, den multisensorischen Input einer vielseitigen Lernumwelt auf grundlegende Muster zurückzuführen. Es gilt: Reduktion von

Komplexität durch Produktion metakognitiver Kompetenzen, intelligenten Wissens (vgl. Arnold 2002, S. 113 – 115).

Fünftes Prinzip:

Der Mensch als lernender Organismus konstruiert übergeordnete Muster im kognitiv-emotionalen Interferenzprozess. Erfolgreiches Verstehen / nachhaltiges Lernen heißt daher, eine emotionale Beziehung zum Lerngegenstand ("felt meaning") aufzubauen (vgl. Arnold 2002, S. 115 - 116).

Sechstes Prinzip:

Der Mensch als lernender Organismus ist in seiner strukturellen Kopplung mit der Umwelt konstruktiv tätig. Dieser Konstruktionsprozess ist durch die Parallelität von Ganzheit und Detailanalyse im Wahrnehmungs- und Verarbeitungsbereich geprägt. „Brain-Based Learning and Teaching“ führt daher zu der Forderung nach einem vernetzten Lehr-/Lernangebot (vgl. Arnold 2002, S. 116 - 117).

Siebtens Prinzip:

Der Mensch als lernender Organismus konstruiert den primären Lerninhalt eingebettet in ein sekundäres Sensorfeld. Dieses Sekundärfeld darf in seiner Einflussnahme auf kognitive (primäre) Prozesse nicht unterschätzt werden. Hier gilt die Forderung nach Schaffung eines positiven Lernklimas (vgl. Arnold 2002, S. 117- 118).

Achstes Prinzip:

Der Mensch als lernender Organismus konstruiert Sinn emergent innerhalb kognitiver Netzwerke. Emergenzprozesse (zum Beispiel „Aha-Erlebnisse“) verlaufen auf der Zeitschiene und teilweise unbewusst, das heißt sie können in Lehr-/Lernsituationen häufig nur angestoßen werden (vgl. Arnold 2002, S. 118 – 120).

Neuntes Prinzip:

Der Mensch als lernender Organismus verfügt über zwei unterschiedliche Speichersysteme: Das "taxon memory system" ist auf Fakten – und nicht auf Strukturspeicherung ausgelegt und durch Übung und Rekapitulation gekennzeichnet. Das „local memory system“ ist auf vernetzte Speicherung ausgerichtet – Speicherung und Verarbeitung erfolgen in Erlebenskontexten. Lehr-/ Lernsituationen sollten so angelegt werden, dass beide System synergetisch zusammengeführt werden (vgl. Arnold 2002, S. 120 – 122).

Zehntes Prinzip:

Der Mensch als lernender Organismus entwickelt aufgrund der Plastizität des Gehirns permanent neue (größere) und leistungsfähigere neuronale Netzwerke. Neben einer anregenden Lernumgebung (horizontaler Lerntransfer) spielt die Eigenerfahrung der Lehrperson (vertikaler Lerntransfer) eine ebenso wichtige Rolle im Entwicklungsprozess von neuronalen Netzwerken (vgl. Arnold 2002, S. 122–123).

Elfte Prinzip:

Der Mensch als lernender Organismus kann durch hohe Herausforderungen ("high challenge") in einem positiven Lernklima zu optimalen Lernleistungen gelangen. Wichtig für den Lerner ist hierbei die Erfahrung der Selbstwirksamkeit. Negativ emotional besetzte Lehr-/Lernsituationen führen hingegen zur Reduktion von Selbstvertrauen ("downshifting") (vgl. Arnold 2002, S. 123-126).

Zwölftes Prinzip:

Der Mensch als lernender Organismus ist aufgrund zufälliger Wechselwirkungen zwischen der genetisch bedingten Netzwerkvorstruktur und der Vielfältigkeit des sensorischen Inputs ein einmaliges Konstrukt. Durch Beobachtung zweiter Ordnung (Analyse metakognitiver Strukturen) / Dekonstruktion können Lehrende je individuelle Lernwege der Lernenden ermöglichen (vgl. Arnold 2002, S. 126-127).

Auch Friedrich/Preiß haben sieben „Lehren“ aus der Neurowissenschaft für die Didaktik/Mathematik entwickelt (vgl. Friedrich/Preiß 2003)

1. Der hohe Grad der neuronalen Vernetzung (jedes Neuron kann im Prinzip mit jedem anderen Neuron kommunizieren) kann als Argument für eine ganzheitliche Erziehung und Bildung herangezogen werden.
2. Die Plastizität des ZNS liefert eine direkte Argumentation für lebenslanges lernen. Passivität des ZNS führt zu Abbau von Vernetzung, Aktivität führt zu Aufbau von Vernetzung.
3. Der mathematische Zugang zum Lernen fordert die Konzentration auf einen Lernkomplex, denn die Aktivität in einem neuronalen Netzwerk hemmt die Aktivität in anderen Netzwerken.
4. Das emotionale Umfeld von Lernsituationen wird parallel zu den kognitiven Inhalten mitgespeichert und bei der Reproduktion des Gelernten wieder mitgeliefert.
5. Bei der Entwicklung des ZNS stoßen Umweltsignale auf genetisch vorstrukturierte Netzwerke. Diese Weiterentwicklung der Netzwerke erfolgt durch Vielfalt und gleichzeitig durch stabile Ordnung (Wiederholung).
6. Nach Lurija kann das ZNS in drei Grundeinheiten aufgeteilt werden:
 - a. Steuerung des Tonus, der Wachheit und der psychischen Zustände.
 - b. Aufnahme, Verarbeitung und Speicherung von Informationen.
 - c. Programmierung, Steuerung und Kontrolle von Tätigkeiten.Alle drei Einheiten sind eng miteinander verbunden; diese Verbundenheit führt zu einer Optimierung von Lernprozessen (bewegtes Lernen, Handlungslernen).
7. Die Lateralität des ZNS beschreibt eine „Spezialisierung“ beider Hemisphären. Didaktisch/mathematisch wichtig ist hierbei die gleichmäßige Nutzung beider Hemisphären.

Schlussbemerkung:

Die pädagogisch-praktischen Konsequenzen aus einer Synthese von Didaktik und Mathematik sind nicht wirklich neu. Die Ergänzung (teilweise Ersetzung) des Lehrer-Instruktions-Modells durch das Schüler-Konstruktions-Modell (vgl. Herrmann 2006, S. 112) ist schon durch die Reformpädagogik realisiert worden. Neu ist jedoch der transdisziplinäre Begründungshintergrund bestehend aus konstruktivistisch-systemtheoretischen, neopragmatischen und neurophysiologischen (psycho-neuro-immunologischen) Modellen.

Literatur:

- Anton, M.A.: Lehrwissenschaftliche Qualifikationen. www.chemie.uni-muenchen.de/didaktik 2003
- Anton, M.A.: Erziehen und Sich-bilden – Lehren und Lernen – Didaktik und Mathetik. In: *Lernwelten* 2/2003
- Arnold, M.: Aspekte einer modernen Neurodidaktik. Emotionen und Kognitionen im Lernprozess. München 2002
- Chott, P.O.: Die Entwicklung des MATHETIK-Begriffs und seine Bedeutung für den Unterricht der (Grund-)Schule. In: *Pädagogisches Forum* Heft 4, 1998
- Chott, P.O.: www.schulpaed.de, 2003, S. 1
- Ciampi, L.: Die emotionale Grundlage des Denkens. Göttingen 1997. Zit. nach: Siebert, H.: *Pädagogischer Konstruktivismus*. Neuwied 1999, S. 29-31
- Eichelberger, H.: Die Bedeutung der Reformpädagogik. In: Kohlberg, W.D. (Hrsg.): *Europäisches Handbuch Reformpädagogischer Seminardidaktik*. Osnabrück 2002
- Freinet, C.: *Pädagogische Texte*. Reinbek 1980
- Friedrich, G.; Preiß, G.: BEITRÄGE UND BERICHTe - Neurodidaktik. Bausteine für eine Brückenbildung zwischen Hirnforschung und Didaktik. In: *Pädagogische Rundschau*. Bd. 57 (2003), Heft 2, Frankfurt (M): Lang S. 181 - 200
- Frey, K. et.al.: Biologische Hypothesen zum dominierenden Lehr-Lernverfahren in Schulen. In: *Bildung und Erziehung* Heft 3/1999
- Gaudig, H.: *Die Schule im Dienste der werdenden Persönlichkeit*. Leipzig 1922
- Glaserfeld, E.v.: Aspekte einer konstruktivistischen Didaktik. In: *Landesinstitut für Schule und Weiterbildung* (Hrsg.): *Lehren und Lernen als konstruktive Tätigkeit*. Soest 1995
- Hagstedt, H. (Hrsg.): *Freinet-Pädagogik heute*. Weinheim 1997
- Herrmann, U.: *Neurodidaktik*. Weinheim, Basel 2006.
- Kock, R.: Freinet – Ein Vorläufer konstruktivistischer Didaktik? In: *Fragen und Versuche* Heft 105, September 2003
- Koizumi, H.: In *OECD* (Hrsg.): *Wie funktioniert das Gehirn?* Paris: OECD Publikation, 2003. S. 113f.
- Konrad, K. / Traub, S.: *Selbstgesteuertes Lernen in Theorie und Praxis*. München 1999
- Kösel, E.: *Die Modellierung von Lernwelten*. Elztal-Dallau 1993
- Maturana, H./Varela, F.: *Der Baum der Erkenntnis*. München 1987
- Miketta, G.: *Netzwerk Mensch*. Reinbek 1997
- Petersen, P.: *Der Jena-Plan einer freien allgemeinen Volksschule*. Langensalza 1927
- Reich, K.: *Systemisch-konstruktivistische Pädagogik*. Neuwied, Kriftel 2000
- Schusser, G.: *Sensorische Integration*. Unveröffentlichtes Seminarmanuskript. Osnabrück 2002
- Siebert, H.: *Pädagogischer Konstruktivismus*. Neuwied 1999
- Spitzer, M.: *Geist im Netz: Modelle für Lernen, Denken und Handeln*. Heidelberg, Berlin 2000
- Stachowiak, H.: *Allgemeine Modelltheorie*. Wien 1973
- Stachowiak, H. (Hrsg.): *Modelle – Konstruktion der Wirklichkeit*. München 1983
- Wagenschein, M.: *Die Pädagogische Dimension der Physik*. Braunschweig 1962
- Weinert, F. E.: *Lehren und Lernen für die Zukunft - Ansprüche an das Lernen in der Schule*. Vortragsveranstaltungen mit Prof. Dr. Franz E. Weinert, Max-Planck-Institut für psychologische Forschung, gehalten am 29. März 2000 im Pädagogischen Zentrum in Bad Kreuznach
<http://66.249.93.104/search?q=cache:ySMEJgaVGsYJ:sform.bildung.hessen.de/gymnasium/skii/brauchtgrund/pool/weinert+weinert+%2B+lehren+und+lernen+f%C3%BCr+die+zukunft&hl=de>
Letzter Zugriff: 06.09.2005
- Weißbuch der Kommission der Europäischen Gemeinschaften zur allgemeinen und beruflichen Bildung „Lehren und Lernen“ (KOM(95) 590 endg.; Ratsdok. 125488/95)
- Werning, R.: Anmerkungen zu einer Didaktik des Gemeinsamen Unterrichtens. In: *Zeitschrift für Heilpädagogik* 11/96