

Lernwirksamkeit in der Lehrerausbildung

Lernwirksamkeit ist ein zentrales Qualitätsmerkmal des Unterrichts. Denn die Kompetenz des Gehirns wird weit mehr durch Lernen bestimmt als durch die millionenfach einfache genetische Veranlagung¹ (Heinrich 2013, Carmesin 1996). Für die Lernwirksamkeit ist die Kompetenz der Lehrkraft entscheidend (Hattie 2009). Diese Kompetenz ist hochkomplex und kann auf unterschiedlichen Wegen erreicht werden (Seelhorst 2012). Grundelemente dieser Kompetenz sind fundierte Fachkenntnisse (KMK 2008), professionell analysierte eigene Unterrichtserfahrungen (Hattie 2009) sowie eine ausgeprägte Persönlichkeit (Ludwig 2012). Zwei neuere wissenschaftliche Gebiete können helfen, diese Kompetenz besonders gezielt zu entwickeln: Erstens können empirische Studien und Metaanalysen welche Maßnahmen lernwirksam sind (Marzano 1998, Hattie 2009). Zweitens können neurowissenschaftliche Erkenntnisse uns zeigen, wie prinzipiell lernwirksame Maßnahmen im Gehirn wirksam werden können (Herrmann 2009)². Hier zeige ich mit Hilfe von Beispielen aus der Schule und dem Studienseminar, dass beide Gebiete zu kohärenten Ergebnissen kommen (s. Abb. 1 Teil (1)) und wie konkret Lernwirksamkeit erreicht werden kann. Dadurch entsteht eine neue fruchtbare Sichtweise: Wir verstehen wie Lernwirksames wirkt (s. Abb. 1 Teil (2)) und werden dadurch befähigt Lernwirksames individuell, fachspezifisch, sowie kontextbezogen konkret zu differenzieren, zu variieren und so zu steigern und zu optimieren (s. Abb. 1 Teil (3)). Hier präsentiere ich erprobte und konkret anwendbare Beispiele für die Ausbildung von Referendarinnen und Referendaren (s. Abb. 1 Teil (4)).

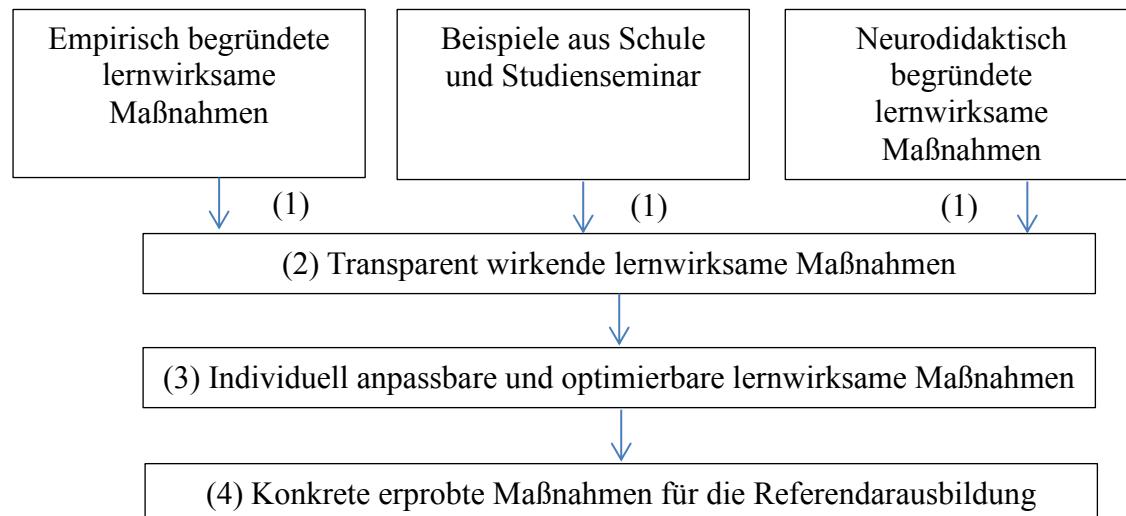


Abb. 1: Nutzung von Lernwirksamkeitsstudien, neurodidaktischen Erkenntnissen und konkreten Beispielen in der Referendarausbildung.

¹ Individuelle durch die genetische Veranlagung bedingte Besonderheiten sind auch aus neurowissenschaftlicher Sicht bei der Gestaltung von Lernprozessen zu berücksichtigen (Roth 2009).

² Neurowissenschaftliche Erkenntnisse sind nur begrenzt geeignet, offene pädagogische Fragen zu entscheiden (Schnabel 2013). Sie sind dagegen gut geeignet Funktionsweisen aufzuzeigen (Roth 2013).

Anwendung von transparent lernwirksamen Maßnahmen in der Referendarausbildung

Zur Lernwirksamkeit betrachte ich Metaanalysen, da diese sehr hohe Anzahlen von Versuchspersonen berücksichtigen und so zu besonders aussagekräftigen Ergebnissen kommen (Marzano 1998, Häußler u. a. 1998, Hattie 2009). Diese Studien ermitteln für in der Literatur diskutierte mögliche Ursachen hoher Lernwirksamkeit die sogenannte Effektstärke. Bei **Effektstärken über 0,4** kann man von einem wesentlichen Effekt ausgehen (Hattie 2009). Faktoren mit geringerer Effektstärke werden hier daher nicht beachtet, wogegen besonders hohe Effektstärken berücksichtigt werden.

Die Metaanalysen wende ich auf drei Arten in der Referendarausbildung an:

- Zunächst informiere ich die Referendarinnen und Referendare über Maßnahmen mit hoher Effektstärke und befähige sie, diese Maßnahmen im Unterricht umzusetzen.
- Einige Maßnahmen machen Aussagen über eine wirksame Lehrerausbildung und können unmittelbar auf die Referendarausbildung angewendet werden.
- Die Referendarinnen und Referendare sind selbst Lernende, so dass für ihren Lernprozess das Gleiche lernwirksam ist wie für Schülerinnen und Schüler.

Besonders lernwirksame Maßnahmen gliedere ich in fünf Gruppen I bis V. Diese Gruppen stellen wichtige Bedingungen für einen erfolgreichen Lernprozess dar. Zunächst muss eine kognitive, emotionale und gemeinschaftliche Bereitschaft für den Lernprozess hergestellt werden. Das entsprechende Erzielen hoher Lernwirksamkeit wird in Gruppe I behandelt. Die neuronale Struktur der Lernenden ist durch Sinne zum Kontakt mit der Außenwelt sowie durch hochgradige interne Vernetzung geprägt. Lernwirksame Vernetzungen werden in Gruppe II dargestellt. Wie die Lernwirksamkeit durch Einsicht in den Sinn und Zweck des Gelernten gesteigert wird, thematisiert Gruppe III. Das erkundende Lernen wird vom Kleinkind bis zum Wissenschaftler erfolgreich eingesetzt. Wie hierbei eine hohe Lernwirksamkeit zustande kommt, wird in Gruppe IV dargestellt. Das nachahmende Lernen ist durch seine Einfachheit und durch Spiegelneurone lernwirksam. Wirkmechanismen hierzu werden in Gruppe V ausgeführt. In allen fünf Gruppen stelle ich auch erprobte Anwendungsbeispiele aus der Referendarausbildung und dem Unterricht vor.

I. Bereit werden für den Lernprozess

Es ist nicht selbstverständlich, dass die Lerngruppe bereit ist zum Lernen, das gilt besonders für Schülerinnen und Schüler (Ludwig 2012). Zwei Dinge sind hier besonders wesentlich. Die Schüler wollen zu einer kognitiv glaubwürdigen Lehrkraft ein emotional vertrauensvolles Verhältnis haben. Auch ist eine funktionierende Klassengemeinschaft Grundlage für eine effektive Lernatmosphäre:

- Das **Lehrer – Schüler – Verhältnis** hat eine Effektstärke von 0,72 (Hattie 2009). Es ist neurowissenschaftlich erwiesen, dass das Gehirn selektiv lernt. Bei der Auswahl spielt das limbische System eine große Rolle. Es erstellt in Sekunden eine eigene Einschätzung der Glaubwürdigkeit der Lehrkraft, auch in Bezug auf das Thema (Roth 2009). Beispielsweise steigerte eine Schülerin ihre Mathematiknote von fünf auf zwei, nachdem ich ihr zeigte, wie sie persönlich Mathematik selbstständig entdeckend verstehen und für ihre noch fernliegenden beruflichen Wünsche nutzen kann (Carmesin 2011). Damit die Referendarinnen und Referendare als glaubwürdige Leiter des Lernprozesses erkennbar werden, lernen sie Lernprozesse entsprechend den berechtigten Schülerinteressen zu gestalten. Konkret lernen sie jede Phase kognitiv

für alle möglichst interessant, transparent, überzeugend, schülergerecht, nachvollziehbar, kompetenzfördernd und wirksam zu gestalten.

- Die Schülerinnen und Schüler fühlen sich nur dann frei zum Lernen, wenn eine Vertrauensbasis besteht. Fehlt das Vertrauen, so greift das Gehirn auf früh entwickelte Verhaltensmuster zurück: Angriff, Verteidigung oder Rückzug (Hüther 2009). Beispielsweise teilte mir eine neunte Klasse nach den Sommerferien in unserer ersten gemeinsamen Stunde mit, sie könnten sowieso alle nicht Mathematik. Ich stellte schnell fest, dass es eine Clique gab, die aktiv gegen eine Änderung dieses Zustands eintrat, indem Erfolge zurückgehalten wurden. Insofern war diese Gruppe ein Beispiel für das Verhalten Angriff, nachdem das Vertrauen in Mathematiklehrer verloren gegangen war. Durch besonders schülergerechte Beispiele und individuelle Maßnahmen verlor der Cliquenleiter seine Gefolgschaft, die sich von der anfänglichen Einheitsnote fünf auf Noten von vier bis zwei verbesserte. Der Cliquenleiter änderte sich als letzter und war später sogar in meinem Physik-Leistungskurs. In einem anderen Fall wurde ein Schüler außerhalb der Schule wegen angeblicher „Streberei“ erheblich unter Druck gesetzt. Er reagierte im Unterricht mit Rückzug und ging sogar eine Klassenstufe zurück. In dieser Klassenstufe traten die Schwierigkeiten nicht auf. Leider erfuhr ich erst später durch die Eltern von dem außerschulischen Druck. Umgekehrt kann ein besonders gutes Lehrer – Schüler – Verhältnis sehr viel bewirken: So geht aus Berichten von ehemaligen Schülerinnen und Schülern hervor, dass sie Überzeugungen und Einstellungen wirksam durch ein überzeugendes Vorbild entwickelt haben (Schirach u. a. 2013). Auch wird berichtet, dass Schüler durch Vorbilder bereit wurden für den Lernprozess. Bei der Referendarausbildung hat sich bewährt, Referendarinnen und Referendare für das Thema zu sensibilisieren. An geeigneter Stelle können Ausbilder oder Referendare authentisch erlebte Fallbeispiele beschreiben und daran zielführendes Vorgehen erläutern. Auch ist ein vertrauensvolles Ausbilder – Referendar – Verhältnis zu pflegen, als Vorbild für das Lehrer – Schüler - Verhältnis.
- Das **Verhalten im Klassenraum** hat eine Effektstärke von 0,8 (Hattie 2009). Denn ablenkendes Verhalten in der Klassengemeinschaft stört die Aufmerksamkeit. Die Aufmerksamkeitssteuerung ist aber eine wesentliche Komponente der neuronalen Verarbeitung (Roth 2009). Daher ist ein konstruktives gemeinschaftliches Verhalten der Klasse eine wichtige Voraussetzung für wirksames Lernen. Es hat sich bewährt, die Referendarinnen und Referendare für diese Tatsache zu sensibilisieren. Da Referendare kaum mit schwierigen Klassen konfrontiert werden, stehen bei der Referendarausbildung einfache Maßnahmen zur Stabilisierung und Fortentwicklung von gutem Verhalten der Klasse im Vordergrund: Oft verbessert sich das Lernverhalten der Klasse schon, wenn im Unterricht Kontexte genutzt werden, welche die Schülerinnen und Schüler besonders interessieren. Eine weitere einfache und wirksame Maßnahme besteht darin, Schülerinnen und Schülern mit Hilfe von Rollenspielen ihr suboptimales Verhalten durchspielen zu lassen. Meist genügt dieser Impuls zur Verbesserung des Verhaltens. Auch sind Exkursionen und Klassenfahrten gut geeignet um die Klassengemeinschaft fortzuentwickeln; daher empfehle ich Referendaren sich hieran nach Möglichkeit zu beteiligen.

II. Sinne, Vernetzung und passende Lernprozesse

Um die Bedeutung eines Sachverhalts zu vermitteln, kann eine Lehrkraft nur an Strukturen anknüpfen, die der Lernende bereits kennt (Roth 2009). Dem entspricht die Grundtatsache, dass das Gehirn vor allem ein Netzwerk ist und dass dieses Netzwerk hauptsächlich über die

Sinne mit der Außenwelt in Verbindung steht. Entsprechend sind auch für das Gedächtnis Sinneseindrücke essenziell (Brand 2009). Diese beiden neuronalen Grundtatsachen werden durch die Lernwirksamkeitsforschung bestätigt, während Fallbeispiele aus der Schulpraxis und Referendarausbildung zeigen, wie sie durch passende Lernprozesse zielführend nutzbar sind.

- Die **Selbsteinschätzung** der Lernenden hat eine Effektstärke von 1,44 (Hattie 2009). Diese Selbsteinschätzung ist aus neurowissenschaftlicher Sicht essenziell, weil die überwiegende Zahl der Nervenzellen im Gehirn nicht direkt an der Sinneswahrnehmung oder Kommunikation beteiligt ist. Daher kann die Lehrkraft die Bedeutung eines Sachverhalts den Lernenden nur indirekt vermitteln (Roth 2009). Für dieses indirekte Vermitteln von Sachverhalten muss die Lehrkraft möglichst genau wissen, wie der Lernende den Sachverhalt aktuell selbst einschätzt – die Selbsteinschätzung ist somit eine sehr hilfreiche Kompetenz für den Lernprozess.

Beispielsweise hatte ein Referendar Schülerbeiträge, die gehaltvolle Selbsteinschätzungen der aktuellen Schülerkompetenzen zum Sachverhalt enthielten, meist bestätigend beantwortet, anstatt Defizite zu analysieren. So waren zwar die Schüler kurzfristig zufrieden und der Referendar hatte seine gedankliche Arbeit entlastet, aber die Defizite wurden nicht aufgearbeitet. In Besprechungen analysierten wir sein Vorgehen. Dabei stellte sich heraus, dass ihm persönlich das effiziente und schnelle Rückmelden auf 30 Schülerinnen und Schüler noch überdurchschnittliche Schwierigkeiten bereitete. Ich gab dem Referendar die Anregung es ähnlich zu machen wie ein stotternder Jugendarbeiter, der mir unter vier Augen anvertraut hatte, dass er durch verlangsamende Gesprächsstrategien inzwischen eine perfekte und gehaltvolle Kommunikation mit großen Gruppen beherrsche. Anschließend steuerte der Referendar in seinem Unterricht bewusst das Gesprächstempo und steigerte so gezielt und systematisch seine Rückmeldekompetenz. Die Lernprozesse in seinem Unterricht wurden dabei deutlich wirksamer. Inzwischen ist der Referendar ein erfolgreicher Lehrer.

Entsprechend lernen die Referendarinnen und Referendare mit Hilfe der Reflexionsspirale zu lernen. Das heißt in einem Zyklus bereiten sie Unterricht schriftlich vor, führen diesen durch, schätzen ihn selbst ein und ziehen daraus Konsequenzen; auf der Basis des so erzielten Kompetenzzuwachses beginnt der nächste Zyklus. Auch lernen die Referendarinnen und Referendare mit Hilfe eines Lerntagebuchs oder Portfolios zu lernen. Das heißt in einem Zyklus nehmen sie sich Lernziele vor, schätzen selbst die Zielerreichung ein und ziehen daraus Konsequenzen; wie bei der Reflexionsspirale folgt der nächste Zyklus.

- Bei Unterrichtsbesuchen wird die Reflexionsspirale erweitert: Das heißt in einem Zyklus bereiten Referendarinnen und Referendare den Unterricht schriftlich vor und führt diesen in beobachteter Form durch. In der Besprechung schätzt er selbst den Unterricht und die Vorbereitung ein. Es folgen Einschätzungen von anwesenden Mitreferendaren oder Kollegen, Fachleitern sowie Ausbildern der allgemeinen pädagogischen, psychologischen und soziologischen Ausbildung. Auch werden Konsequenzen entwickelt. Wie oben beginnt der nächste Zyklus. Solche **Unterrichtsbesuche** haben in der Lehrerausbildung die besonders hohe Effektstärke von 0,88 (Hattie 2009). Zusammenfassend kann man feststellen, dass die Reflexionsspirale hervorragend geeignet ist, viele anspruchsvolle, individuelle und aus situativen Einsichten überzeugend erwachsene Lernprozesse sachgerecht, realitätsnah, transferierend sowie differenziert zu vernetzen. In Kombination mit Unterrichtsbesuchen werden zudem authentische Einsichten mit Erfahrungen sowie Theoriewissen von Mitlernenden und Experten vernetzt.

- Das **Vernetzen mit Vorwissen** hat in den Naturwissenschaften eine Effektstärke von 1,48 (Häußler 1998). Entsprechend konstatiert die Neurowissenschaft: „Klug wird man nur durch hochgradige Vernetzung des eigenen Wissens“ (Roth 2009). Beispielsweise konnte eine Schülerin im Physikleistungskurs im Unterricht alle Experimente verstehen und erklären, stand mündlich auf einer Eins und zeigte schriftlich allenfalls befriedigende Leistungen. In einem Gespräch unter vier Augen sagte ich ihr individuell angepasst etwas provozierend, dass sie ihre hervorragenden Kenntnisse gar nicht oder nur unzureichend auf schriftliche und mathematisierende Methoden übertrage und dass ich ihr empfehle, in Zukunft alles was sie sowieso weiß vollständig niederzuschreiben und zu mathematisieren. Anschließend schrieb sie in Physik nur noch Einsen und studierte Physik. Für sie war nur noch wesentlich, dass sie ihre naturwissenschaftlichen, sprachlichen und mathematischen Kompetenzen miteinander vernetzt. In der Referendarausbildung hat sich bewährt, die Referendare für das Problem zu sensibilisieren. Auch ist es günstig, Referendarinnen und Referendare im Rahmen der Reflexionsspirale zu treffenden, gehaltvollen und differenzierten Analysen der Lernvoraussetzungen und der Lerngruppen zu befähigen. Ferner hat sich eine Fachsitzung über die vertikale Vernetzung und die Langzeitplanung von Unterrichtseinheiten als zielführend erwiesen.
- Das Auswählen **begabungsgerechter Lernziele** hat eine Effektstärke von 0,77 bis 0,88 (Hattie 2009). Aus neurowissenschaftlicher Sicht können die Lernfähigkeit und das Gedächtnis modular gedeutet werden: So gibt es beim Lernen unterschiedliche Lernstile, durch Zuhören, durch Lesen, durch Überdenken, durch Handeln und dergleichen mehr. Beim Gedächtnis gibt es Module wie sprachliche Kompetenzen, mathematische Fähigkeiten, naturwissenschaftliches Können und dergleichen mehr. Die Leistungsfähigkeit dieser Module variiert individuell erheblich (Roth 2009). Beispielsweise haben eine Kollegin und ich mit einer siebten Klasse einen umfassenden Energietag veranstaltet (Carmesin 2009). Um der Sache gerecht zu werden sind wir binnendifferenziert vorgegangen. Einige haben experimentiert, einige haben Energiebilanzen erstellt und einige haben kaufmännische Bilanzen aufgestellt. Im Plenum wurden die Ergebnisse vorgetragen und vernetzt. Die Gruppen wurden begabungsgerecht gebildet. In einer Nachbesprechung sagte ein Schüler, der experimentiert hatte ganz glücklich, er sei froh, dass er experimentieren durfte und nicht Energien und Gewinne berechnen musste. Andere fanden es interessant, dass sie nun selbst ausrechnen können, wie viel eine Energietechnologie überhaupt erbringen kann, wie teuer das wird und was Biokraftstoffe für die Nahrungsmittelproduktion bedeuten.
- Bei der Referendarausbildung hat es sich bewährt, das Thema Binnendifferenzierung in Theorie und Praxis auszubilden. Auch werden die Referendarinnen und Referendare begabungsdifferenziert individuell beraten mit individueller Zielvereinbarung nach jeder Besprechung.
- Die **Klarheit des Lehrers** hat eine Effektstärke von 0,75 (Hattie 2009). Hierbei wurden Organisation, Erklärungen, Beispiele und betreute Übungen als wichtige Faktoren für Klarheit berücksichtigt und die Effekte waren noch größer, wenn die Klarheit durch die Lernenden bewertet wurde. Das zeigt, dass eine Lehrkraft diese Faktoren spezifisch an die Lerngruppe anpassen muss, um eine maximale Klarheit zu erzielen. Aus neurowissenschaftlicher Sicht ist bekannt, dass Bedeutungen von Sachverhalten nur indirekt vermittelt werden können, indem Neues mit den bestehenden Kompetenzen, Fähigkeiten, Kenntnissen und Strukturen der Lernenden vernetzt wird (Roth 2009). Beispielsweise habe ich in einer neunten Klasse einmal die Unterrichtseinheit zur Satzgruppe des Pythagoras mit Lernen an Stationen behandelt. Die Klassenarbeit fiel ebenso gut wie sonst aus. In einer anschließenden Befragung

sagten die Schülerinnen und Schüler aber, sie bevorzugten den üblichen Unterricht. Bei diesem greifen die obigen Komponenten aus Erklärungen, Beispielen und betreuten Übungen sachgerecht ineinander, wobei die Schüler zusätzlich viele Zusammenhänge selbst entdecken. Dagegen nutzt das Lernen an Stationen überwiegend Beispiele und schöpft das Repertoire zur Erzeugung von Klarheit nicht voll aus. Die Referendarinnen und Referendare lernen das fachspezifisch wirksame Repertoire zur Erzeugung von Klarheit anzuwenden. In Physik gehören beispielsweise vielfältige Experimente wesentlich dazu. Auch hat es sich bewährt, in Fachsitzungen gelegentlich Rollenspiele durchzuspielen, bei denen naheliegende Missverständnisse aufgedeckt werden. Ferner reflektieren die Referendarinnen und Referendare, dass sie die Bedeutung vieler fachdidaktischer Begriffe selbst erst nach eigenen Unterrichtserfahrungen angemessen erfassen. Beispielsweise sind die Begriffe verfügbare Lernvoraussetzung, angemessene didaktische Reduktion, vorhersehbare Lernschwierigkeit, vielfältige wirksame Lernhilfen oder schülergerechte Zieltransparenz in ihrer Bedeutung erst nach intensiver Interaktion mit der Lerngruppe erfassbar, nicht jedoch durch Vorträge oder Belehrungen.

III. Einsehen von Sinn und Zweck

Da die Lernenden zu jedem präsentierten Thema in Sekunden eine eigene Einschätzung erzeugen (Roth 2009), muss die Lehrkraft den Lernenden rechtzeitig den Sinn und Zweck eines Sachverhalts einsichtig machen.

- Das **Vermitteln von Zweck und Wert des Stoffs** hat eine Effektstärke von 1,37 (Marzano 1998, S. 108). Damit die Lernenden das aktuelle Thema als wesentlich einschätzen, muss die Lehrkraft relevanten Stoff auswählen. Hierzu lassen die Curricula genügend Freiraum, zumal die Lehrkraft die Kontexte meist frei wählen darf. Vorschläge für besonders relevante Themen gab Klafki durch epochal typische Schlüsselprobleme (Klafki 1993). Diese betreffen die Frage von Krieg und Frieden, die Frage nach Nationalität, spezifischer Kultur und Interkulturalität, die Frage nach Umwelt und Ökologie, die Frage nach dem Wachstum der Weltbevölkerung, die Frage nach sozial produzierter Ungleichheit (Arme/Reiche, Männer/Frauen, Migranten/Nichtmigranten, Arbeitslose/Arbeitende, Behinderte/Nichtbehinderte), die Frage nach der Fortentwicklung der Informationstechnologien, die Frage nach der Ich-Du-Beziehung und der Sexualität. Beispielsweise kann die Frage nach Umwelt und Ökologie gut im Physikunterricht behandelt werden, indem man Eigenschaften von Quantenobjekten mit dem Kontext der Solarenergie der dritten Generation untersucht (Carmesin u. a. 2012). Die Schülerbeteiligung und die Klausurergebnisse waren dabei überdurchschnittlich und die meisten Schüler bewerteten den Unterricht sehr positiv. Ähnlich kann man die Frage nach arm und reich im Mathematikunterricht mit dem Kontext Spieltheorie behandeln. So können die Schülerinnen und Schüler mit Hilfe von Nash-Gleichgewichten die seit Jahrhunderten angewandte ökonomische Doktrin von Adam Smith, dass eine Optimierung des Wohls des Einzelnen automatisch zu einer Optimierung des Wohls aller führe, selbstständig rechnerisch widerlegen (Carmesin 2004 b). Die Ausarbeitung von Unterrichtseinheiten für epochal typische Kontexte ist aufwändig und bietet aber für interessierte Referendare ein dankbares Betätigungsfeld (Carmesin u. a. 2012).

Besonders nützlich für die Schülerinnen und Schüler ist es, die eigenen Sinne für elementare sowie anspruchsvolle Dinge nutzen zu lernen, denn die Sinnesorgane stehen ihnen permanent zur Verfügung (Kircher u. a. 2001). Aus der Biologie, dem Sport, der bildenden Kunst, dem darstellenden Spiel oder der Musik sind die Sinne

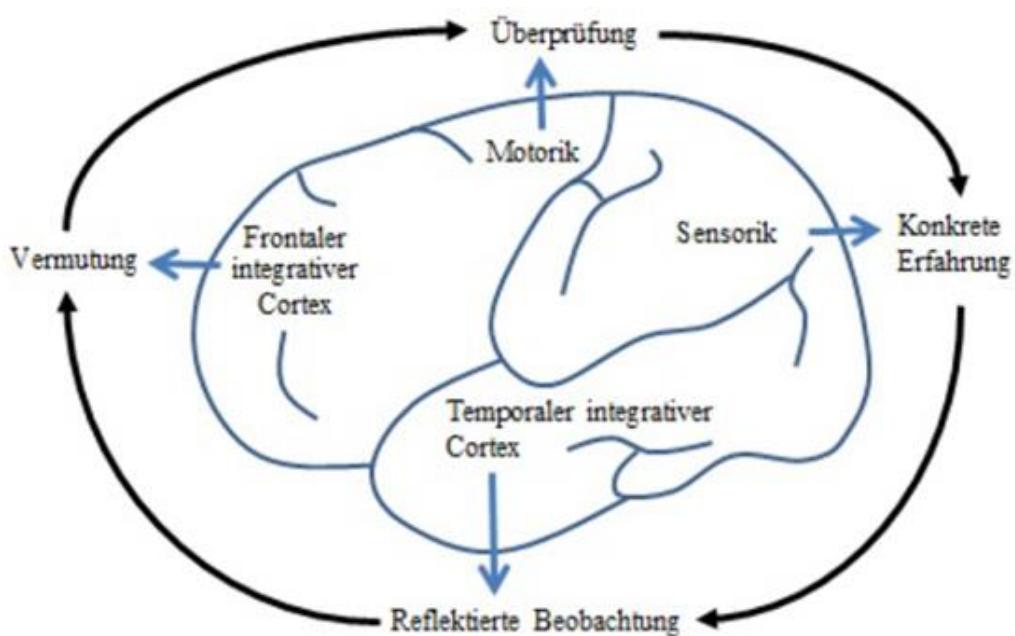
kaum wegzudenken. Aber auch in Physik und Mathematik kann man zentrale Themen wie die Energie (Carmesin 2001, Hattie 2012), die Zentripetalkraft (Carmesin 2004), das Auge (Carmesin 2004 c), die Wellenlehre (Carmesin 2003) oder die Potenzfunktion (hier eignet sich die Stevenssche Potenzfunktion der Sinneswahrnehmung) mit Hilfe menschlicher Sinne behandeln. Bei Unterrichtseinheiten, welche die Sinne einbeziehen, entwickeln die Schülerinnen und Schüler nicht nur die fachlichen Kompetenzen, sondern lernen auch bewusst und differenziert wahrzunehmen sowie diese Wahrnehmung mit den Fachbegriffen und fachlichen Zusammenhängen zu vernetzen.

Bei Fachsitzungen hat sich bewährt, dass die Referendarinnen und Referendare zum Beginn ihre zum Thema gemachten Erfahrungen nennen und dass die aktuelle Theorie auf diese Erfahrungen überzeugend angewendet wird. So wird der Sinn und Zweck didaktischer, pädagogischer, psychologischer und soziologischer Theorien durch authentische Erfahrungen erkennbar und überprüfbar. Zudem hat sich in Fachsitzungen und im Unterricht bewährt, Kompetenzen vertikal zu vernetzen, so dass die aktuell entwickelte Kompetenz auf bereits verfügbare Kompetenzen aufbaut und so der Nutzen der bisherigen Kompetenzen für die neuen bewusst gemacht wird. Auch wird dabei ein Absenken der Lernbarriere und der Lerndauer reflektiert. Ferner hat sich das Behandeln relevanter Kontexte in Fachsitzungen und im Unterricht dadurch sehr bewährt, dass die Lernenden immer davon überzeugt waren, etwas Interessantes zu lernen. Auch hilft die Behandlung lernwirksamer Maßnahmen den Referendarinnen und Referendaren, den Sinn und Zweck derselben einzusehen.

- Die **Metakognition** hat eine Effektstärke von 0,69 (Hattie 2009). Aus neurowissenschaftlicher Sicht ist die Metakognition weitgehend im Präfrontalhirn lokalisiert und essenziell, da sie die Motivation, die Aufmerksamkeit und die Handlungskonzeption wesentlich beeinflusst (Hüther 2009 b). Die Metakognition ist kaum abhängig von erblicher Veranlagung und kann nicht auswendig gelernt werden, sondern entwickelt sich hauptsächlich aus Erfahrung. Daher ist es sehr wichtig, dass Kinder Gelegenheiten erhalten Herausforderungen anzugehen und dabei eigene Erfahrungen zu machen. Hierbei entwickelt sich die Fähigkeit vorausschauend zu denken (strategische Kompetenz), die Fähigkeit Probleme zu durchschauen (Problemlösekompetenz), die Fähigkeit Folgen des Handelns abzuschätzen (Handlungskompetenz), Motivation, Konzentrationsfähigkeit sowie die Fähigkeit Fehler zu erkennen und daraus zu lernen (Einsichtsfähigkeit und Flexibilität), Frustrationstoleranz und Impulskontrolle (Hüther 2009 b). Ein Beispiel mit einem Schüler mit anerkannter ADHS-Symptomatik illustriert das: Er wollte mit Hilfe einer elektrischen Schaltung aus Solarzelle und Potentiometer optimale Wirkungsgrade ermitteln. Er hatte ein ähnliches Experiment früher schon einmal nach Anleitung durchgeführt. Nun wollte er es gerne übertragen. Zunächst plante er den Widerstand des Potentiometers messen. Er plante die Messung so, als ob das Potentiometer außerhalb der Schaltung isoliert vorläge und schloss konsequent ein Ohm-Meter parallel zum Potentiometer an. Damit zeigte er eine durchaus sinnvolle Planung, wenn auch zu einfach gedacht. Er merkte, dass die Messwerte nicht stimmen konnten. Entsprechend seiner ADHS-Symptomatik wurde er ungehalten. Er zeigte also geringe Impulskontrolle. Die anderen Schüler mieden ihn aus Vorsicht und weil sie etwas anderes zu tun hatten. Er wandte sich an mich. Er zeigte also durchaus Frustrationstoleranz. Ich wies ihn darauf hin, dass das Ohm-Meter einen parallelen Weg im Gesamtstromkreis darstellt, dass sich der Stromfluss nun in (für uns) unbekannter Weise auf das Potentiometer und das Ohm-Meter aufteilt und dass dies die merkwürdigen Messergebnisse verursacht. Er baute die Schaltung zum zweiten Mal in identischer Weise auf. Er zeigte also noch keine Einsicht. Er merkte jedoch,

dass die Messwerte wieder nicht stimmen konnten. Er wandte sich wieder an mich und redete so, als hätte ich einen Fehler gemacht und sein Unmut steigerte sich. Seine Impulskontrolle versagte also zunehmend. Seine Frustrationskontrolle funktionierte aber, denn er verbat sich, dass ich die Lösung präsentiere oder aufbaue – er wollte es selbst tun. Ich erläuterte erneut und zunehmend anschaulicher die Problematik. Dann baute er ein Amperemeter in Reihe und ein Voltmeter parallel ein. So konnte er die Spannung und die Stromstärke zugleich messen, den Quotienten berechnen und so den Widerstand bestimmen. Hierauf aufbauend konnte er alle weiteren Schritte selbstständig planen und durchführen sowie in einer Versuchsreihe den optimalen Widerstand finden. Er hatte also die Fachkompetenzen entwickelt die elektrische Schaltung als ganzheitliches System aufzufassen und in diesem System auch komplexe Messreihen zielführend zu planen, durchzuführen, auszuwerten und zu deuten. Zudem hat er sein Selbstwirksamkeitskonzept weiterentwickelt, indem er erlebt hat, wie er Probleme weitgehend selbstständig lösen kann. So hat er während der Problemlösung sowie in einem folgenden reflektierenden Gespräch mit mir viele metakognitive Entwicklungen erlebt. Auch die zuschauenden Mitschülerinnen und Mitschüler konnten sehen, in welchen Situationen der ADHS-Schüler gar nicht so gefährlich und unbelehrbar ist, wie sie oft meinen. Alle konnten dabei den Sinn und den Zweck der angewendeten fachlichen Methoden sowie des Problemlösevorgangs erkennen.

Die Referendarinnen und Referendare lernen, metakognitive Elemente in ihrem Unterricht vor allem am Stundenanfang in Planungsphasen und am Stundenende als Reflexion einzusetzen. Bei ihrem eigenen Lernprozess setzen Referendare Metakognition bei der Reflexionsspirale und ihren Varianten (s. o.) regelmäßig in der Stundenplanung und in der Stundenanalyse ein. Bei der Stundenbesprechung ist wichtig, dass den Referendaren ihre Erfolge realistisch bewusst werden, damit diese ihr Selbstwirksamkeitskonzept weiterentwickeln.



Das Erkunden als Urfähigkeit des Gehirns (nach Arnold 2009).

Erkunden

Lange bevor es Schulen gab konnte das Gehirn bereits erkundend lernen. Das erkundende Lernen stellt sogar eine gut entwickelte Urfähigkeit des Gehirns dar (Arnold 2009). Hierbei werden verschiedene Hirnfunktionen mit hohem Synergieeffekt koordiniert (s. Abb. 2). Zunächst wird das Erkundungsvorhaben hauptsächlich im frontalen Cortex geplant, wie oben im Abschnitt zur Metakognition beschrieben. Die Motorik steuert die Erkundungsaktion in der Außenwelt, während die Auswirkungen in koordinierter Weise sensorisch erfasst werden. Die Beobachtungen werden mit den Erwartungen reflektierend verglichen. In einem weiteren Zyklus kann eine neue Erkundungsschleife initiiert werden. Derartige Erkundungsschleifen werden bereits von kleinen Kindern beim konzentrierten Spielen durchgeführt und in verschiedenen schulischen und beruflichen Kontexten professionalisiert: In der Schule orientieren sich der Experimentalunterricht und problemlösende Lehrverfahren an solchen Erkundungsschleifen. In der Lehrerausbildung werden Erkundungsschleifen durch Reflexionsspiralen realisiert und erzielen in Form von Unterrichtsbesuchen eine Effektstärke von 0,88 (s. o). In empirischen Wissenschaften gehören experimentelle Erkundungsschleifen wesentlich zur Fachmethodik. In Schulen und Studienseminaren sind folgende Aspekte des erkundenden Lernens besonders wichtig:

- Das **Bilden und Testen von Hypothesen** durch die Lernenden hat eine Effektstärke von 1,14 (Marzano 1998, S. 93). Beim naturwissenschaftlichen Experimentieren wird dieses Grundprinzip in zwei Hauptvarianten eingesetzt:
 - Wenn eine Hypothese durch direkte Beobachtung oder Messung belegt werden kann, dann spricht man in der Fachdidaktik (Mikelskis 2007) vom induktiven Lernen. Beispielsweise können Schülerinnen und Schüler direkt beobachten, dass ein ins Wasser geworfener Stein Wasserwellen erzeugt. In der Erkenntnistheorie entspricht die Forderung nur solche Hypothesen zuzulassen im Wesentlichen dem Standpunkt des Positivismus (Störig 1985).
 - Wenn die Hypothese zwar nicht direkt beobachtbar oder messbar ist, aber prinzipiell überprüfbar oder falsifizierbar ist, dann spricht man in der Fachdidaktik (Mikelskis 2007) von der hypothetisch deduktiven Methode. Beispielsweise können Schülerinnen und Schüler im Unterricht mit Hilfe einer Elektronenbeugungsrohre überprüfen, dass sich Elektronen wellenartig ausbreiten, obwohl niemand Elektronenwellen direkt beobachten kann. In der Erkenntnistheorie entspricht dieses Vorgehen im Wesentlichen dem Standpunkt des kritischen Rationalismus (Störig 1985, Popper 1974).

Die bewusste Differenzierung dieser beiden Hauptvarianten der Erkundung hat sich im Unterricht und in Fachsitzungen als erfolgreich erwiesen. Diese Differenzierung ist eine metakognitive Aktion und hat entsprechend eine hohe Effektstärke (Hattie 2009).

- Die **Evaluation von eigenem Unterricht** mit anschließender Optimierung hat die hohe Effektstärke 0,9 (Hattie 2009). Auch hier bildet die Lehrkraft vor dem Unterricht einen Plan (Hypothese), testet diesen im Unterricht und zieht Konsequenzen. In der Referendarausbildung hat sich bewährt, dass die Referendarinnen und Referendare ihren Unterricht auch durch Kolleginnen und Kollegen sowie Schülerinnen und Schüler evaluieren lassen.
- Das **Problemlösen** hat eine Effektstärke von 0,61 (Hattie 2009). Da diese Effektstärke ein komplettes Lehrverfahren betrifft, ist sie sehr hoch. Denn bei komplexen Verfahren mitteln sich viele Einzeleffekte weg und es kommt nicht zu so hohen Effektstärken wie bei punktuellen Einzelmaßnahmen. Bei einem problemlösenden Lehrverfahren wird anfangs bei den Schülerinnen und Schülern eine Zieltransparenz erzeugt. Sodann planen die Lernenden ein zielführendes Vorgehen, führen dieses durch und sichern ihre erzielte Lösung. Anschließende reflektierende, festigende, verallgemeinernde und transferierende Phasen sind oft sinnvoll. Beispielsweise können Schülerinnen und

Schüler der Klassenstufe 11 das Problem der Entstaubung von Industrieabgasen selbstständig lösen. Dazu entwickeln sie den Plan, die Staubpartikel an zwei unter Hochspannung stehende Platten zu ziehen. Sodann überprüfen sie diesen Plan im selbst entwickelten Modellversuch. Dabei entdecken sie nebenbei das curricular vorgesehene Kraftgesetz und errechnen mit diesem, dass das Verfahren sehr kostengünstig ist. Hierbei entwickeln die Schülerinnen und Schüler neben Fachkompetenzen ihre Problemlösekompetenz (Chrost 2007, Chrost 2009, Hüther 2009 b) und ihr Selbstwirksamkeitskonzept (Hüther 2009 b), indem sie ein besonderes Kompetenzerlebnis erfahren. Das ist völlig gerechtfertigt, weil sie bei echtem Problemlösen eine hohe Selbstständigkeit erreicht haben. Daher hat es sich sehr bewährt, Referendarinnen und Referendare zu problemlösendem Unterricht zu befähigen. Hierbei müssen die Referendarinnen und Referendare vor allem lernen schülergerechte Probleme auszuwählen, Zieltransparenz in der gesamten Lerngruppe herzustellen und die Schülerinnen und Schüler zur selbstständigen Problemlösung eventuell auch im Team zu befähigen.

- Das Herstellen von **Zieltransparenz** hat eine Effektstärke von 0,97 (Marzano 1998). Diese Maßnahme ist grundlegend wirksam, denn erst wenn den Schülerinnen und Schülern das Ziel transparent ist, können sie überhaupt passende Hypothesen bilden sowie testen oder andere erfolgversprechende Pläne entwickeln und so zielführend selbstständig im Unterricht mitwirken. In der Referendarausbildung hat sich gezeigt, dass die Referendarinnen und Referendare auch die Entwicklung der Wegtransparenz bei Schülerinnen und Schülern bewusst mitgestalten sollten. Beispielsweise benötigen die Schülerinnen und Schüler zum Entwickeln des obigen Modellversuchs zum Staubfilter Hinweise zum verfügbaren Experimentiermaterial. Auch können individuelle Lernhilfen nach dem Prinzip der minimalen Hilfe bei einigen sinnvoll sein.

Nachahmen

Das Nachahmen gilt als besonders einfach. Schon deshalb sollte man es im Unterricht nutzen. Auch neurowissenschaftlich ist hierfür ein Wirkmechanismus bekannt: das Gehirn hat sogenannte Spiegelneurone, die Handlungen von Artgenossen zumindest neuronal imitieren (Bauer 2009). Daher ist das Nachahmen von Artgenossen, neben dem Erkunden, eine weitere zentrale Urfähigkeit des Gehirns. Hierbei sind folgende Faktoren wesentlich:

- Die Lehrverfahren des „**direkten Unterrichts**“ haben eine Effektstärke von 0,59 (Hattie 2009). Das ist für ein komplettes Lehrverfahren ein relativ hoher Wert (s. o. im Abschnitt zum Problemlösen). Hierbei ist wichtig, dass die zu entwickelnde Kompetenz zuerst nachvollziehbar vorgemacht oder instruiert wird und zweitens von den Lernenden aktiv nachgeahmt wird. Wenn Schülerinnen und Schüler beispielsweise die richtige Dateneingabe in den Taschenrechner lernen sollen, dann bietet sich das Vormachen und Nachahmen an. Auch beim Lernen der korrekten Aussprache einer Vokabel dürfte das Vormachen und Nachahmen sehr effizient sein. Ebenfalls bei der Vermittlung von Sicherheitsregeln kann Vormachen und Nachahmen passender sein als selbstständiges Erkunden. Die Referendarinnen und Referendare nehmen derartige Lehrverfahren dankbar an, weil sie besonders leicht erfassbar und anwendbar sind.
- Eine wichtige Variante sind **ausgearbeitete Beispiele**. Sie haben eine Effektstärke von 0,57 (Hattie 2009). Hierbei wird den Lernenden eine komplette Lösung präsentiert. Die Lernenden setzen sich mit dieser Lösung aktiv auseinander, indem sie diese erklären, variiieren, anwenden oder auf eine ähnliche Situation übertragen.

Beispielsweise kann man das Verfahren der schriftlichen Polynomdivision gut durch ein ausgearbeitetes Beispiel einführen. In der Referendarausbildung hat sich bewährt, dass die Referendarinnen und Referendare möglichst oft Unterricht erfahrener Kolleginnen oder Kollegen hospitieren und anschließend analysieren. Elemente des hospitierten Unterrichts können bei passender Gelegenheit auf eigenen Unterricht übertragen werden. Ferner hat es sich bewährt, den Referendarinnen und Referendaren ein Skript mit vielen ausgearbeiteten Unterrichtsbeispielen anzubieten. Dies wird wegen den vielfältigen und konkreten enthaltenen Anregungen sowie wegen der möglichen zeitlichen Entlastung dankbar angenommen.

- Generell bietet sich ein nachahmendes Verfahren an, wenn die Lernbarriere für ein problemlösendes Verfahren zu hoch wäre oder wenn es um Konventionen, Sicherheitsregeln oder Vorschriften geht.

Ergänzungen zur transparenten Lernwirksamkeit

Selbst wenn den angehenden Lehrkräften lernwirksame Maßnahmen und ihre Wirkmechanismen bekannt sind, kennen sie dadurch nicht zugleich die verschiedenen vorteilhaften und bewährten Unterrichtsmethoden, die diese Maßnahmen in den unterschiedlichen unterrichtlichen und thematischen Situationen herstellen können. Denn diese Methoden sind sehr vielfältig und werden beispielsweise von Meyer auf über 700 Seiten dargestellt (Meyer 1987). Durch das neuerdings ermöglichte empirische Erkennen von hochwirksamen Elementen und Wirkmechanismen von Unterrichtsmethoden wird allerdings ein flexibler und individuell zielführender Einsatz von Unterrichtsmethoden begünstigt.

Ähnlich verhält es sich mit den Fachdidaktiken der verschiedenen Fächer.

Beispielsweise stellen Kircher u. a. in ihrem Buch Physikdidaktik das Thema auf über 700 Seiten dar (Kircher u. a. 2001, Kircher u. a. 2002). Die Kenntnis lernwirksamer Maßnahmen und Wirkzusammenhänge ersetzt zwar auch nicht die Fachdidaktiken, aber diese Kenntnis befähigt Referendarinnen und Referendare ihr fachdidaktisches Wissen effizient anzuwenden. Das illustriert das obige Beispiel mit dem ADHS-Schüler. Die hohe Lernwirksamkeit der Metakognition zeigt, dass hier ein erfolgversprechender Weg vorliegt. Auf diesem Weg wird der neurodidaktische Wirkzusammenhang beachtet, indem die versagende Impulskontrolle kompensiert und die funktionierende Frustrationstoleranz, Konzentrationsfähigkeit und Planungskompetenz genutzt werden. So wird der Schüler mit Hilfe minimaler anschaulicher fachlicher Hinweise zur Problemlösung befähigt und kann sein Potenzial sich selbstständig positiv zu ändern wirksam nutzen sowie dieses Potenzial für zukünftige Herausforderungen effektiv weiterentwickeln³.

Die vorliegenden Studien zur Lernwirksamkeit befassen sich mit operationalisierbaren Maßnahmen. Für das schulische Lernen ist aber mehr wichtig. Beispielsweise können Schülerinnen und Schüler den Zweck von hoher Schülerselbstständigkeit begründen lernen. Auch können sie lernen zu erläutern, worin diese Selbstständigkeit in einem Sachgebiet besteht. Zudem können sie diese Selbstständigkeit in einem Sachgebiet entwickeln. Aus Berichten von ehemaligen Schülerinnen und Schülern geht aber hervor, dass einige Überzeugungen und Einstellungen eher durch ein überzeugendes Vorbild als durch prinzipiell mögliche kognitive Begründungen erreicht werden (Schirach u. a. 2013). Auch konstatiert die Neurowissenschaft, dass gerade zur Entwicklung von Planungskompetenz das Vorbild gefragt ist (Hüther 2009 b).

³ Es ist durchaus fundiert von einem solchen Potenzial auszugehen, da man es für begrenzte Fragestellungen neurowissenschaftlich berechnen kann (Carmesin 1996).

Übersicht

Als Konsequenz aus den dargestellten Maßnahmen lassen sich für die Referendarausbildung die folgenden Akzente setzen:

- 1) Referendarinnen und Referendare werden für den Lernprozess bereit.
 - a) Auszubildende und Ausbilder entwickeln ein Vertrauensverhältnis.
 - b) Auszubildende erkennen, dass Unterrichtskompetenzen optimal durch Unterrichten mit Unterrichtsbesuchen entwickelt werden.
- 2) Referendarinnen und Referendare vernetzen.
 - a) Auszubildende trainieren das Selbsteinschätzen.
 - b) Auszubildende erkennen durch Einschätzungen der Ausbilder, Schüler und Kollegen eigene Entwicklungspotenziale.
 - c) Auszubildende entwickeln progressiv ihre Kompetenzen durch das zielgerichtete Vernetzen von Einschätzungen und Theorien in der Reflexionsspirale.
- 3) Referendarinnen und Referendare entwickeln Einsicht.
 - a) Auszubildende erkennen Sinn und Zweck relevanter Kontexte.
 - b) Auszubildende erkennen den Zweck von Kompetenzen, die ihre Selbstwirksamkeit steigern.
 - c) Auszubildende erkennen den Zweck von aufeinander aufbauenden und vertikal vernetzten Kompetenzen.
- 4) Referendarinnen und Referendare erkunden bewusst.
 - a) Auszubildende arbeiten bewusst mit Ziel- und Wegtransparenz.
 - b) Auszubildende nutzen die Reflexionsspirale zum Erkunden eigener Stärken, Schwächen und Entwicklungspotenziale.
- 5) Referendarinnen und Referendare nutzen Nachahmung und Vorbilder.
 - a) Auszubildende erkennen ihre Entwicklungspotenziale mit Hilfe von Hospitationen.
 - b) Auszubildende erkennen ihre Entwicklungspotenziale mit Hilfe von Literatur und spezifischen Skripten.
 - c) Auszubildende erkennen die Bedeutung von Vorbildern für die Entwicklung komplexer Kompetenzen.

Zusammenfassung

Lernwirksamkeit ist ein essenzielles Kriterium für guten Unterricht. Neuerdings zeigen umfangreiche Metaanalysen empirisch auf, welche unterrichtlichen Maßnahmen besonders lernwirksam sind. Hier habe ich mit Hilfe von Beispielen aus der schulischen Praxis Zusammenhänge zu neurowissenschaftlichen Wirkmechanismen dieser Maßnahmen dargestellt. Durch diese Sichtweise können Lehrkräfte lernwirksame Maßnahmen effizient variieren und individuell anpassen, auch das illustrieren die Beispiele. Dieses flexible und zielführende Vorgehen ist auch für die Lehrerausbildung fruchtbar. Dazu habe ich erprobte Beispiele aus der Praxis vorgestellt.

Literatur

- Arnold, Margret: Brain Based Learning and Teaching – Prinzipien und Elemente. In: Herrmann, Ulrich (Hrsg.): Neurodidaktik. 2. Auflage, Weinheim, Beltz 2009, S. 182-197.
- Bauer, Joachim: Kleine Neuronen, große Gefühle – wie Spiegelneurone funktionieren. In: Herrmann, Ulrich (Hrsg.): Neurodidaktik. 2. Auflage, Weinheim, Beltz 2009, S. 49-57.
- Carmesin, Hans-Otto: Neuronal Adaptation. Frankfurt a. M.: Peter Lang. 1996.
- Carmesin, Hans-Otto: Einführung des Energiebegriffs mit Hilfe menschlicher Sinnesorgane. In: Deutsche Physikalische Gesellschaft, Tagungs-CD Fachdidaktik Physik, 2001.
- Carmesin, Hans-Otto: Messung von Beschleunigungen mit einer Bogenwasserwaage im Physikunterricht einer 11. Klasse. In: Nordmeier, Volker; Oberländer, Arne (Hrsg.): Tagungs-CD Fachdidaktik Physik. 2004. ISBN 3-86541-066-9.
- Carmesin, Hans-Otto: Das Nash-Gleichgewicht – Extremwertprobleme und Funktionenscharen im 11. Jahrgang. In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht, Jahrgang 57, Heft 7 (2004 b), S. 410-413.
- Carmesin, Hans-Otto: Entdecken fördert das Selbstbewusstsein. SchulTrends, 2, 2011.
- Carmesin, Hans-Otto; Martens, Klaus; Rösler, Karl: Fotovoltaik im Unterricht: Dreifacher Wirkungsgrad – eine Revolution in der Energietechnik? MNU 65/6, 2012, S. 340-348.
- Chrost, Gerhard; Gehrman, Kurt; Mundlos, Bernd; Rode, Michael und Schlobinski-Voigt, Ute: Kerncurriculum für das Gymnasium, Schuljahrgänge 5 - 10, Naturwissenschaften, Niedersachsen. Hannover: Niedersächsisches Kultusministerium, 2007.
- Chrost, Gerhard; Gehrmann, Kurt; Hampe, Ulf; Heider, Marion; Mannigel, Nicole; Marx, Gebhard; Müller, Jochen; Rode, Michael und Schlobinski-Voigt, Ute: Kerncurriculum für das Gymnasium - gymnasiale Oberstufe, die Gesamtschule - gymnasiale Oberstufe, das Fachgymnasium, das Abendgymnasium, das Kolleg, Physik, Niedersachsen. Hannover: Niedersächsisches Kultusministerium, 2009.
- Hattie, John: Visible Learning. London, Routledge 2009.
- Hattie, John: Visible Learning for Teachers. London, Routledge 2012.
- Häußler, Peter u. a.: Perspektiven für die Unterrichtspraxis. Kiel: IPN, 1998.
- Heinrich, Christian: Schaltplan des Gehirns. ZEIT, 1. August 2013, S. 28.
- Herrmann, Ulrich (Hrsg.): Neurodidaktik. 2. Auflage, Weinheim, Beltz 2009.
- Hüther, Gerald: Die Bedeutung sozialer Erfahrungen für die Strukturierung des Gehirns. In: Herrmann, Ulrich (Hrsg.): Neurodidaktik. 2. Auflage, Weinheim, Beltz 2009, S. 41-48.
- Hüther, Gerald: Die Ausbildung von Metakompetenzen und Ich-Funktionen während der Kindheit. In: Herrmann, Ulrich (Hrsg.): Neurodidaktik. 2. Auflage, Weinheim, Beltz 2009 b, S. 99-108.
- Kircher, Ernst u. a.: Physikdidaktik. 2. Aufl. Berlin: Springer, 2001. S. 55.
- Kircher, Ernst u. a.: Physikdidaktik in der Praxis. 2. Aufl. Berlin: Springer, 2002.
- Klafki, Wolfgang: Grundlinien einer gegenwarts- und zukunftsbezogenen Konzeption. Pädagogische Welt, 1993. S. 28-33.

KMK 2008: Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung. Beschluss der KMK vom 16.10.2008.

Ludwig, Claudia: Nicht ewig Lehrer. In: Seminar 4/2012. S. 52-58.

Marzano, Robert: A Theory-Based Meta-Analysis of Research on Instruction.
Aurora, Colorado: Mid-continent Educational Laboratory 1998.

Mikelskis-Seifert, Silke und Leisner-Bodenthin, Antje: Unterrichtsansätze zu den Methoden physikalischer Erkenntnisgewinnung. In: Mikelskis-Seifert, Silke und Rabe, Thorid: Physik Methodik, Berlin, Cornelsen Scriptor, 2007. S. 30.

Meyer, Hilbert: Unterrichtsmethoden I und II. Berlin, Cornelsen Scriptor, 1987.

Niedersächsisches Schulgesetz. Hannover 1996.

Popper, Karl: Objektive Erkenntnis. Hamburg: Hoffmann und Campe, 1974.

Roth, Gerhard: Warum sind Lehren und Lernen so schwierig? In: Herrmann, Ulrich (Hrsg.): Neurodidaktik. 2. Auflage, Weinheim, Beltz 2009, S. 58-68.

Roth, Gerhard: Der Weg ins Klassenzimmer ist dornig. ZEIT, 5. September 2013, S. 39.

Schirach, Ferdinand, von u. a.: Sie haben es mir beigebracht. ZEIT, 11. Juli 2013, S. 59-60.

Schnabel, Ulrich: Märchenhaftes Versprechen. ZEIT, 29. August 2013, S. 34.

Seelhorst, Bernhard: Lehrer werden – Wege wählen und Wege gehen. In: Seminar 4/2012. S. 59-65.

Störig, Hans-Joachim: Weltgeschichte der Philosophie. Stuttgart, Kohlhammer Verlag 1985, S. 566-569.

Zdarzil, Herbert: Pädagogische Anthropologie. 2. Auflage, Wien, Verlag Styria 1978, S. 215-226.