

Werner Rieß, Christoph Mischo

Pädagogische Hochschule Freiburg (University of Education Freiburg)

Das Modell problemorientierten Lehrens und Lernens (MopoLL) - Auf dem Weg zu einem evidenzbasierten Unterrichtsverfahren zur Förderung komplexer dynamischer Problemlösefähigkeiten in der Biologie

The Model of problem oriented Teaching and Learning (MopoLL) - Towards an evidence-based teaching method for fostering complex and dynamic problem solving skills in biology

Die Förderung naturwissenschaftsbezogener Problemlösekompetenz ist ein wichtiges Ziel der naturwissenschaftlichen Ausbildung an Schulen und Hochschulen. Wie aber können entsprechende Kompetenzen evidenzbasiert gefördert werden? Die Autoren referieren zunächst wichtige Merkmale und Konzepte des Problemlösens in naturwissenschaftlichen Kontexten, stellen anschließend Ansätze und empirische Effekte instruktivistischer vs. konstruktivistischer Lehr-Lernverfahren zur Förderung von Problemlösefähigkeiten dar. Auf der Basis vielfach empirisch bewährter Lehr-Lernprinzipien und in Anlehnung an ein Lehr-Lernmodell von Van Merriënboer (2013) entwickeln die Autoren ein Modell problemorientierten Lehrens und Lernens (MopoLL), das die Kluft zwischen allgemeinen und bereichsübergreifenden Lehr-Lernmodellen einerseits und den Bedürfnissen praktisch Lehrender nach einer Konkretisierung für die Unterrichtsplanung andererseits überbrückt und als Ansatz zur evidenzbasierten Förderung dynamischer Problemlösekompetenz (zumindest) biologischer Inhalte gelten kann. Abschließend werden Desiderata für die weitere Forschung aufgezeigt.

Schlüsselwörter: Förderung von dynamischen Problemlösekompetenzen, kognitivistische Lernverfahren, konstruktivistische Lernverfahren, Problem-Based-Learning, Inquiry-based teaching.

Fostering problem solving skills in natural sciences is an important goal of education at schools and universities. But how can these skills be fostered? The authors describe relevant characteristics and concepts of problem solving in the context of natural science, present models and effectiveness of instructivist and constructivist approaches and discuss these empirical findings critically. Based on empirically valid principles of teaching and learning and taking Van Merriënboers (2013) instructional model as a starting point the authors develop a model of problem oriented teaching and learning, which is supposed to bridge the gap between general models which do not specify domain, context and addressee on the one hand and the need for concretion of teachers on the other hand. By doing so, the authors

propose and evidence-based model of fostering dynamic problem solving skills in the domain of biology. Finally, desiderata for prospective research are formulated.

Keywords: Fostering dynamic problem solving skills, cognitivist approaches, instructivist approaches, problem-based learning, inquiry-based teaching.

1 Einleitung

Die Fähigkeit zum Lösen fachlicher Probleme stellt innerhalb der Naturwissenschaften eine zentrale Kompetenz dar. Als Problem wird dabei eine Situation verstanden, in der ein angestrebtes Ziel nicht allein durch routinisierte Vorgehensweisen erreichbar ist (Klieme et al., 2001, 185; Mayer, 1997). Die Förderung von Problemlösekompetenzen in der Ausbildung an Schulen und Hochschulen ist zwar eine relativ alte Zielsetzung (z.B. Bruner 1961), sie erfährt aber seit den TIMS- und PISA-Studien erneut eine erhöhte Aufmerksamkeit. Für die Lehrenden in den Naturwissenschaften stellt sich dabei die Frage, wie entsprechende Kompetenzen gefördert werden können. Dass diese Frage nicht leicht zu beantworten ist, zeigen verschiedene langjährige Debatten in den Bildungswissenschaften, z.B. zwischen Befürwortern und Gegnern formaler vs. materialer Bildung (Weinert 1994) und instruktivistischer vs. konstruktivistischer Ansätze (Hmelo-Silver, Duncan & Chinn 2007; Kirschner, Sweller & Clark 2006), sowie die Expertise-Forschung (z.B. Boshuizen, Bromme & Gruber, 2004). In diesem Beitrag werden zunächst relevante Konzepte des Problemlösens und akzentuierend eher instruktivistische und konstruktivistische Fördermöglichkeiten vorgestellt und diskutiert. Trotz einer insgesamt heterogenen Befundlage können Lehr-Lernprinzipien abgeleitet werden, die als empirisch bewährt gelten können und ihren Niederschlag in allgemeinen Lehr-Lernmodellen finden. Diese müssen jedoch inhalts-, fach- und adressatenspezifisch ausgearbeitet werden, um für die konkrete Unterrichtsgestaltung herangezogen werden zu können. Eine entsprechende Konkretisierung ermöglicht das von den Autoren entwickelte Modell problemorientierten Lernens und Lehrens (MopoLL).

2 Problemlösen – Merkmale und Konzepte

2.1 Problemlösen aus der Perspektive der kognitiven Psychologie

Ausgangspunkt für Problemlöseprozesse ist ein Anfangszustand, der über den Einsatz verschiedener Operatoren (Strategien) in einen angestrebten Zielzustand überführt werden soll (Anderson, 2007). Probleme können nach Jonassen (2000) in gut-strukturierte (bspw. logische und algorithmische Probleme) und schlecht-strukturierte Probleme unterschieden werden. Zu den Letzteren zählen auch komplexe dynamische Probleme (Funke, 2006) mit hoher Komplexität, einem hohen Grad an Vernetztheit und Dynamik innerhalb des beobachteten Systems, einem hohen Grad der Intransparenz und einer oft gegebenen Polytelie (sich widersprechende Teilziele bei der Lösung). Unterschiedliche Problemtypen erfordern auch unterschiedliche Kompetenzen zu deren Lösung. Während bei gut-strukturierten und eher *analytischen* Problemen alle Informationen für die Problemlösung vorliegen oder erschlossen werden können, müssen bei *dynamischen* Problemen die Informationen erst durch die Interaktion mit dem System generiert werden (Leutner et al., 2012, S. 35). Aus dem Vergleich

von Problemlöseprozessen von Experten vs. Novizen ist bekannt, dass erstere über ein kohärentes, vernetztes und bereichsbezogenes Wissen verfügen, das sie in flexibler Art und Weise abrufen und für die Problemlösung nutzen können (Bromme et al., 2004; Gijbels et al., 2005). Nach Leutner et al. (2012, S. 36ff) sind für das Lösen dynamischer Probleme die Fähigkeit zur Beschaffung notwendiger Informationen, zur Reduktion überbordender Informationen, zur Bildung adäquater Situationsmodelle, zur Prognose und zur Bewertung der Zielsetzung und –erreichung nötig. Auf diesen Befunden können die Naturwissenschaftsdidaktiken aufbauen.

2.2 Problemlösen in naturwissenschaftlichen Domänen

Für die konkrete didaktische Umsetzung zur Förderung dynamischer Problemlösekompetenzen im naturwissenschaftlichen Unterricht müssen die bereichsunspezifischen Befunde aus der Problemlöseforschung konkretisiert werden. Dieser Aufgabe hat man sich in den Naturwissenschaftsdidaktiken insbesondere im letzten Jahrzehnt intensiv angenommen. So begreift beispielsweise Mayer den Prozess naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung als einen relativ komplexen, kognitiven, wissensbasierten Problemlöseprozess und formuliert ein Strukturmodell zum wissenschaftlichen Denken (scientific reasoning), welches ein Bündel an notwendigen kognitiven Fähigkeiten und Wissen bestimmt, die für die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung von Bedeutung sind (Mayer, 2007, S. 181). Solchen grundsätzlichen Überlegungen folgend wurde in den Naturwissenschaftsdidaktiken inzwischen eine größere Zahl an relevanten Kompetenzmodellen entwickelt und veröffentlicht (aus einer biologiedidaktischen Perspektive für naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung beispielsweise Mayer, 2007; Mayer et al., 2008; Wellnitz & Mayer, 2013; für experimentelle Problemlösefähigkeit Hammann et al., 2007; Neber & Anton, 2008; für Modellierungskompetenz Krell et al., 2014; für Beobachtungskompetenz: Kohlhauf et al., 2011). Speziell für die Erfassung und Förderung von Kompetenzen zum Lösen komplexer und dynamischer Probleme im naturwissenschaftlichen Unterricht wurden eigene Kompetenzmodelle entwickelt, die entweder Teilkompetenzen domänenspezifisch konkretisieren (bspw. für das Fach Chemie: Scherer, 2014) oder auf die systemtheoretische Rekonstruktion in den Fachwissenschaften Bezug nehmen (Rieß, 2013; Rieß et al., 2015; zu den generellen Prinzipien vgl. u.a. Bertalanffy, 1968; Imboden & Koch, 2008). Der letztgenannte Ansatz soll im Folgenden etwas näher dargestellt werden.

2.3 Problemlösen in der Biologie

In der Biologie können Lebewesen als komplexe Systeme verstanden werden, die wiederum Teile komplexerer Systeme (Populationen, Ökosystemen, Biosphäre) darstellen (vgl. Rieß, 2013). Die Komplexität von lebenden Systemen beruht dabei weniger auf der Zahl von Elementen, sondern auf den vielfältigen Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Elementen und ihrer strukturellen und funktionellen Integration in immer größere Gesamtsysteme. Aufgrund der vielen Einflussgrößen und Wechselwirkungen, der meist hohen Nichtlinearität und starken Abhängigkeit von Anfangs- oder Randbedingungen sind komplexe

dynamische lebende Systeme zumeist nicht exakt berechenbar und zeigen oft stochastische Züge. Hieraus resultieren u.a. eine zunehmende Individualität von lebenden Systemen und die Beobachtung, dass sie sich trotz gleicher äußerer Bedingungen unterschiedlich verhalten können. Die in den Systemwissenschaften formulierten und bewährten Methoden für die Bearbeitung komplexer dynamischer Probleme bilden nun den Ausgangspunkt für die Konzeptualisierung kognitiver Fähigkeiten zu deren Lösung in ökologischen, geographischen und nachhaltigkeitsrelevanten Kontexten (bspw. Rieß et al., 2015; Rieß & Mischo, 2010).

Unter dem Begriff systemisches Denken werden beispielsweise von Rieß und Mischo (2010) Teilfähigkeiten gefasst wie a) komplexe Wirklichkeitsbereiche als Systeme erkennen, beschreiben und mit Hilfe systemwissenschaftlicher Methodik modellieren können, b) zeitliche Dimensionen (Dynamiken) erfassen, und c) auf der Basis der eigenen systemischen Modellierungen Erklärungen geben, Prognosen treffen und *weiche* Technologien entwerfen können. Diese und weitere Fähigkeiten wurden in einem heuristischen Kompetenzstrukturmodell mit zunächst drei Dimensionen (deklaratives/konzeptuelles systemisches Wissen, Systemmodellierungsfähigkeit, Fähigkeit zur Nutzung von Systemmodellen beim Lösen von komplexen dynamischen Problemen) zusammengefasst. In jüngerer Zeit wird das Modell um die Dimension „Fähigkeit zur Einschätzung der Güte, Reichweite, und Validität von Systemmodellen und der auf der Basis der Modellierung gewonnenen Erkenntnisse“ erweitert (Rieß et al., 2015, S. 18).

Im Folgenden soll nun der Frage nachgegangen werden, wie entsprechende Problemlösefähigkeiten wirksam gefördert werden können.

3 Kognitivistische und konstruktivistischer Sichtweise auf das Lernen und den Erwerb von Problemlösekompetenzen

Lange Zeit dominierte in naturwissenschaftsdidaktischen Konzeptionen die Auffassung, dass allein schon die Konfrontation der Lernenden mit naturwissenschaftlichen Problemen im Unterricht zu einer Förderung der Problemlösekompetenzen beiträgt (Taconis, 1995; Taconis, Ferguson-Hessler & Broekkamp, 2001). Dieses Vorgehen hat sich jedoch als nicht sehr effektiv herausgestellt (Taconis et al., 2001). Domänenübergreifende Vorschläge zur Förderung von Problemlösekompetenzen lassen sich aus den kognitivistischen und konstruktivistischen Ansätzen ableiten.

3.1 Die kognitivistische Sichtweise

Die kognitivistische Lerntheorie entstammt der kognitiven Psychologie, die hinsichtlich der Entwicklung von Problemlösefähigkeiten den Aufbau von Wissen und individuelle Informationsverarbeitungsprozesse betont (bspw. Klauer & Leutner, 2007). Als notwendige Bestandteile der mentalen Repräsentation für Problemlösen werden deklaratives und prozedurales metakognitives (Fach-)Wissen, Wissen um Strategien und konditionales Wissen erachtet (Leutner et al., 2012). Die kognitivistische Auffassung hat zu einer Vielzahl von Lehr-/Lernansätzen geführt (Moseley et al., 2005). Ein prominenter Ansatz ist der Instructional-Design-(ID)-Ansatz, der durch eine systematische Planung und Realisierung des Lehrens und Lernens gekennzeichnet ist und insbesondere für die Entwicklung von

informationstechnologisch geprägten Lernumgebungen genutzt wird (Gagné, 1985; Seel, 1999). Zu den kognitivistischen Ansätzen können auch die Elaborationstheorie von Reigeluth (1979; Reigeluth und Stein, 1983), das Mastery-Learning (Bloom, 1968), die Instructional Transaction Theory von Merrill (2000), der Lernalgorithmus von Klauer und Leutner (2007) oder das Four Component Instructional Design Model (4C/ID) von Van Merriënboer (1997; Van Merriënboer & Kirschner, 2007) gerechnet werden.

Weil das zuletzt genannte Modell als eines der aktuellsten und am besten empirisch bewährten Lehr-Lernmodelle gelten kann und die Grundlage für unsere inhalts- und adressatenspezifische Konkretisierung und Adaption darstellt (Kapitel 3), wird es im Folgenden etwas ausführlicher dargestellt (s. Abb. 1).

Nach Van Merriënboer (2013) sind insbesondere beim Lösen von wiederkehrenden Problemen zwei kognitive Systeme von Bedeutung, nämlich ein durch Übung, Routine und zahlreiche Aufgabenbearbeitung entstehendes automatisches System (System 1) und ein auf Reflexion und bewussten Entscheidungsprozessen und Elaboration basierendes System 2. Für die Entstehung von automatisierten und routinisierten Fertigkeiten beim Problemlösen ist ein „prozedurales Feedback“, d.h. ein Feedback bei wiederkehrenden Tätigkeiten nötig. Andererseits erfordert das Problemlösen – gerade bei neuartigen Problemen - auch den Einsatz bewusster, reflexiver und elaborativer Entscheidungs- und Denkprozesse (System 2), beispielsweise beim Aufbau mentaler Modelle oder bei der Generierung von Problemlösestrategien. Bei der Entwicklung dieses Systems sind „unterstützende Informationen“ (Bereitstellung einer Wissensbasis bspw. durch Hypermedia oder einführende Präsentation) zum sinnstiftenden Aufbau von Bezügen sowie kognitives Feedback zur Einsicht in die Qualität der Problembearbeitung sinnvoll. Für den Erwerb von Problemlösekompetenzen ist nun die Bearbeitung von Lernaufgaben (learning tasks) zentral, die zunächst Probleme von geringerer Komplexität enthalten und bei denen die Lernenden zu Beginn ein höheres Ausmaß an Lenkung und Unterstützung erfahren sollten (scaffolding). Diese Unterstützung kann in einer instruktionalen (Strukturierung, Anleitung) und/oder prozeduralen Hilfestellung (konkrete Rückmeldung, Korrektur, Feedback) bestehen (grauer Anteil in den Kästchen, siehe Abbildung 1). Mit fortschreitendem Kompetenzerwerb innerhalb einer Dimension wird der Anteil an Unterstützung zurückgenommen (siehe den geringer werdenden grauen Anteil in den Kästchen). Zur Förderung der Automatisierung (System 1) sollten die Lernenden außerdem Teilaufgaben (part tasks practice) sich wiederholender Problemaspekte durch häufige Übung bearbeiten, damit automatisierte Fertigkeiten (bspw. im Anwenden von Routinen) entwickelt werden können.

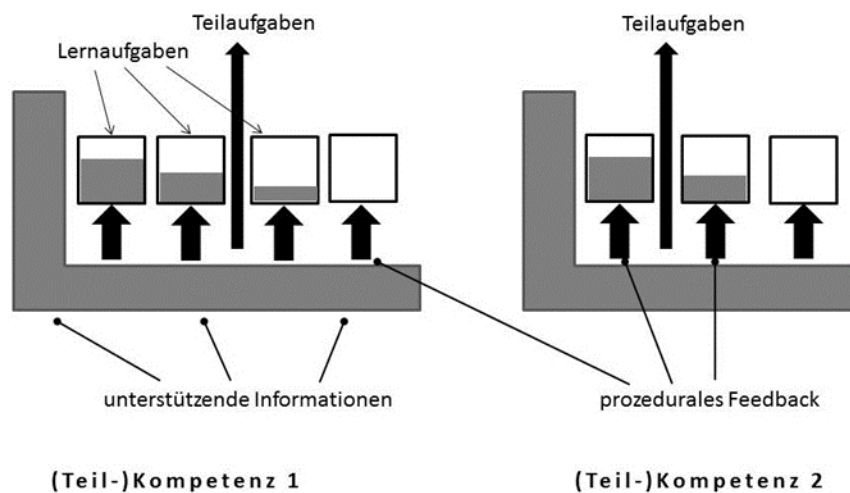


Abbildung 1: Das 4C-ID- Modell von Merriënboer (2013) - modifiziert

Eine verbindende Gemeinsamkeit der in diesem Subkapitel vorgestellten Ansätze ist die Idee des „meaningful learning“, also eines reflektierten, verstehenden Lernens, das durch eine lehrerseitige gut organisierten Vermittlung von sachlich wohl strukturiertem Wissen – bspw. zu Problemlösungen – gefördert werden kann (Leutner, 2001, 269). Diese Lehrstrategie wird auch als direkte Instruktion bezeichnet (Merrill, 2002). Die Lerntätigkeit wird in weiten Teilen durch die Lehrperson konzipiert und gesteuert, die u.a. die Lerninhalte auswählt, den Unterrichtsgang plant, die notwendigen Inhalte präsentiert und konzipiert, wann und wie Aufgaben und Probleme gelöst werden können, um dann im Rahmen von Übungen und Aufgaben das Maß an Eigenaktivität und den Selbstständigkeitsgrad auf Seiten der Lernenden zu erhöhen (Van Merriënboer, 2002). Daher werden im weiteren Verlauf dieses Beitrages die aus der kognitivistischen Position abgeleiteten Lehr-Lernansätze (akzentuierend) als instruktivistische Ansätze bezeichnet.

3.2 Die konstruktivistische Sichtweise

Diese Position betont, dass Wissenserwerb und Problemlösen individuellen Konstruktionsprozessen unterworfen und durch soziale Austauschprozesse beeinflusst sind (bspw. Harris & Alexander, 1998). In dieser Auffassung wird dem selbstregulierten und selbstgesteuerten Erlernen von Problemlösefähigkeiten eine zentrale Rolle zugesprochen. Weiterhin wird die Fähigkeit, erworbenes Wissen auf authentische Problemsituationen anwenden zu können, als zentrales Lernziel thematisiert (Jacobson & Spiro, 1995). Der Vorgang des Wissenserwerbs ist folglich eher eine Funktion der aktiven und selbstverantworteten Wissenskonstruktion und –transformation und weniger das Ergebnis des Erwerbs und der Ansammlung von Wissen (Loyens & Gijbels, 2008, 352). Auch Vertreter kognitivistischer Ansätze betrachten Lernende als kognitiv aktive Wissenskonstrukteure. Während aber in kognitivistischen Ansätzen der Lehrperson eine stärker lenkende, eher instruktionsorientierte Funktion zugeschrieben wird (*guided learning*), empfehlen Vertreter konstruktivistischer Ansätze in der „Reinform“ keine oder nur eine schwache Lenkung bzw.

eine nur moderierende Rolle durch die Lehrperson, wie beispielsweise beim forschenden bzw. forschend-entdeckendem Lernen der Schüler/innen (Mayer & Ziemek, 2006; Neber, 2001). Weitere konstruktivistische Varianten sind das situierte Lernen (Anderson et al. 1996), Anchored Instruction (Bransford, 1990), das fallbasierte Lernen (case-based learning) sowie das problembasierte (problem-based-learning) Lernen, bei denen die Lernenden an Hand authentischer Problemsituationen weitgehend selbstständig bzw. in Gruppen Lösungen finden sollen (im Überblick: Savery, 2006).

Einen Mittelweg zwischen instruktiv-direktiven und non-direktiven Verfahren stellen der Cognitive-Apprenticeship-Ansatz (Brown, Collins & Duguid, 1989; Collins, Brown & Newman, 1989; Wenger, 2007) sowie das problemorientierte Lernen nach Reinmann-Rothmeier und Mandl (2006) dar, das vom bereits dargestellten *problembasierten Lernen* zu unterscheiden ist. Der Cognitive-Apprenticeship-Ansatz orientiert sich an Prinzipien der *klassischen* Handwerkslehre und enthält die Merkmale des Vormachens (Modeling), der Unterstützung (Scaffolding), der Rückmeldung und Unterstützung (Coaching), der abnehmenden Unterstützung (Fading) und der Selbstreflexion und Exploration (Brown et al., 1989; Collins et al., 1989). Instruktive Anteile finden sich v.a. in den Elementen des Modeling und Scaffolding.

Das problemorientierte Lernen nach Reinmann-Rothmeier und Mandl (2006; Gretsch et al., 2010) geht zwar – wie das PBL von einem authentischen Problem aus, enthält aber in höherem Ausmaß instruktivistische und *steuernde* Anteile (vgl. genauer Gretsch et al. 2010, 4f).

Obwohl die die (Wissens-)Inhalte und konkreten Fertigkeiten (d.h. die Kompetenzmodelle) domänenspezifisch konzipiert werden (siehe Kapitel 1.2.), sind die Lehr-Lernprinzipien bzw. –modelle des Erwerbs dieses Wissens und dieser Kompetenzen jedoch domänenübergreifend konzeptualisiert.

3.3 Befunde zur Effektivität instruktivistischer und konstruktivistischer Ansätze

Vertreter der instruktivistischen Ansätze betonen – ausgehend von Befunden der Expertiseforschung – die Rolle des fachlichen Wissens als Voraussetzung für Problemlösen (Kirschner, 1992; Sweller et al., 2007), das effektiv im eher direktiven Unterricht erworben werden kann. Die in einer konstruktivistisch geprägten Lernumgebung hohen Anteile der Selbststeuerung überfordern jedoch gerade *Novizen* (Personen mit geringeren Kompetenzniveaus) und führen zu einer Überlastung des kognitiven Arbeitsspeichers und damit zu schlechteren Lernresultaten (Sweller, 1988). Anhänger der konstruktivistischen Ansätze kritisieren demgegenüber unter anderem das Unvermögen der Lernenden, instruktional vermittelte Lerninhalte auf neue Situationen anwenden zu können (*träges Wissen*) (vgl. Reinmann-Rothmeier & Mandl, 2006, 612f.). Wie aber ist die empirische Befundlage?

Viele (Meta-)Studien belegen die Effektivität instruktivistischen Vorgehens, bspw. des ID-Ansatzes, des Mastery Learning, der Elaborationstheorie oder der Instructional Transaction Theory (bspw. Adams & Engelmann, 1996; Chall, 2000; Hattie, 2009; Kirschner et al., 2006; Kulik et al., 1990; Mayer, 2004; Merrill, 2000, 2002; Moreno, 2004; Reigeluth, 1999; Renkl,

2014; Rosenshine, 2009; Seel, 1999; Walberg & Wang, 1987; Willett et al., 1983). Auch für das oben ausführlicher dargestellte 4C/ID-Modell von Van Merriënboer konnte in verschiedenen Studien eine gute Effektivität nachgewiesen werden (bspw. Hoogveld et al., 2003; Janssen-Noordman et al., 2006; Sarfo & Elen, 2008). In Bezug auf den *Transfer des Wissens* und des *Problemlösens* ist die Effektivität der instruktivistischen Ansätze jedoch (noch) weniger gut belegt.

Bezüglich der konstruktivistischen Vorgehensweisen wird im Folgenden stellvertretend der Forschungsstand zum PBL und zum Forschenden Lernens berichtet, da bei diesen Ansätzen die Förderung der Problemlösekompetenzen in naturwissenschaftlichen Domänen im Vordergrund steht und beide Ansätze vergleichsweise gut empirisch untersucht sind (zur Effektivität der hier übergangenen Ansätze vgl. beispielsweise Loyen & Gijbels, 2008, Kulak & Newton, 2015; für das situierte Lernen vgl. Zhen, 2010; für den Cognitive Apprenticeship-Ansatz Dennen & Burner, 2008; für das Scaffolding Girault & d'Ham, 2014 und Kleickmann et al., 2016, für den Anchored Instruction-Ansatz Blumschein, 2004 oder Zydney et al., 2010).

Die Befundlage über die Wirksamkeit des PBL muss insgesamt als widersprüchlich eingeschätzt werden. Die ersten Metanalysen von Albanese und Mitchell (1993), Vernon und Blake (1993) und Kalaian et al. (1999) zeigten, dass die Effekte des PBL auf den Erwerb von Grundlagenwissen im Vergleich zu traditionellen Lehrverfahren schwächer waren. Hinsichtlich des Erwerbs von anwendungsbezogenem Wissen und damit auch Problemlösefähigkeiten konnte für die Teilnehmer von PBL-Programmen vergleichbare, und in einigen Fällen sogar höhere Zuwächse festgestellt werden. Neuere Metaanalysen von Dochy et al. (2003), Gijbels et al. (2005), Leary et al. (2013) und Walker und Leary (2009) konnten diese Ergebnisse insgesamt bestätigen und zusätzlich den Einfluss moderierender Faktoren (bspw. der Domäne) nachweisen (kritischer in der Einschätzung: Colliver, 2000; Smits et al., 2002).

Hinsichtlich des forschenden Lernens (*inquiry based-learning*, *inquiry based-teaching*) zeigen Metaanalysen und andere Studien insgesamt eine im Vergleich zu traditionellem Unterricht höhere Wirksamkeit (bspw. Lott, 1983; Shymansky et al., 1990; Schroeder et al., 2007). Von Kritikern wurde allerdings eingewendet, dass sich die in den vorliegenden Analysen als *inquiry based-teaching* firmierenden Verfahren in wichtigen Merkmalen stark unterscheiden (Furtak et al., 2012a). Hinzu kommt, dass in den Analysen zumeist nicht zwischen den in den einzelnen Studien erfassten abhängigen Variablen (bspw. Wissenserwerb, Transfer, Problemlösen) unterschieden wird. In der aktuellsten uns vorliegenden Metaanalyse von Furtak et al. (2012b) wurden im Hinblick auf die Konzeptualisierung und Operationalisierung des *Forschenden Lernens* größere Anstrengungen unternommen. Über alle 37 einbezogenen Studien hinweg konnte in dieser Analyse eine mittlere Effektgröße von .50 ermittelt werden. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass zwar für einige, nicht jedoch für alle propagierten Lehr-Lernansätze belastbare empirische Wirkungsstudien vorliegen und die empirische Bewährung bei den Ansätzen durchaus variiert. Ausnahmen bilden bspw. der Cognitive Apprenticeship-Ansatz und das Problemorientierte Lernen, für die es keine oder nur eine unzureichende empirische Befundlage gibt. Für die meisten anderen gut untersuchten Verfahren gilt auch, dass eine wünschenswerte differenzierende Beurteilung der

Wirkungskomponenten und Wirkungsweisen der verschiedenen Realisierungsmöglichkeiten inzwischen vorgenommen werden kann (Hmelo-Silver et al., 2007).

3.4 Eine vergleichende Einschätzung der Wirksamkeit konkurrierender Ansätze

Leider kann derzeit noch keine abschließende *vergleichende Einschätzung* der *Wirksamkeit von Verfahrensgruppen insgesamt* (direktiv-instruktiver vs. non-direktiver, offener Verfahren) vorgenommen werden. Der Grund dafür ist darin zu sehen, dass derzeit noch nicht einmal für die Wirksamkeit einer *Verfahrensgruppe alleine* generalisierende Aussagen getroffen werden können, da wir es innerhalb einer Verfahrensgruppe mit einer Vielzahl an konkreten Realisierungsmöglichkeiten zu tun haben, die sich in ihren Effekten nicht gleichen werden (Klauer & Leutner, 2007, 157; Clark, 2009). Eine Tendenz aber scheint sich abzuzeichnen. Lernende, die bezüglich des Erwerbs einer Problemlösefähigkeit und damit auch im Umgang mit spezifischen Problemklassen eher am Anfang stehen, profitieren insbesondere von direktiv-instruktiven Verfahren. Die gleichen Verfahren können aber dann bei Experten dazu führen, dass Sie beim weiteren Lernen eher behindert werden (vgl. *expertise reversal effect*; Kalyuga et al., 2003). Für bereits fortgeschrittene Problemlöser gilt es demnach, das Maß an Lenkung zurückzunehmen und ihnen eine höheres Maß an Selbststeuerung zu ermöglichen (Van Merriënboer, 2013, S. 156). Von enormer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die Frage, wann im naturwissenschaftlichen Unterricht und Studium die Schüler/-innen und Studierenden die Novizen-Phase hinter sich gelassen und beispielsweise im Rahmen einer Unterrichtseinheit, eines Schuljahres bzw. eines Seminars oder gar eines Studiums zu *relativen* Experten (gemessen an der Lernzielerreichung für diese Lernergruppe) im Lösen naturwissenschaftlicher Problemstellungen geworden sind.

3.5 Fazit aus der Lehr-Lernforschung

Trotz der Heterogenität und auch trotz der nicht immer befriedigenden empirischen Datenbasis können einige allgemeine Prinzipien effektiven Lehrens und Lernens aus den vorliegenden Befunden abgeleitet werden (bspw. Merrill, 2002, 2008; Weinert, 1996):

- Ausgangspunkt für das Lernen sollte ein reales Problem sein.
- Der Erwerb von Wissen und die Aktivierung des Vorwissens sind fundamental.
- Neues Wissen bzw. neue Problemlösungen sollten präsentiert werden.
- Selbstständige Phasen des Lernens und Problemlösens sind wichtig, sollten aber durch Rückmeldungen und Hilfestellungen unterstützt werden.
- Die Reflexion des eigenen Lernprozesses ist bedeutsam für die Förderung eines zunehmend selbst gesteuerten Lernens.
- Übungen und die Entwicklung von Routinen führen (auch) zum Aufbau von Automatismen und fördern damit eine effektive Bearbeitung von Problemlösungen.

Diese Prinzipien sind jedoch sehr allgemein.

Für die konkrete Unterrichtspraxis muss der Einfluss der allgemeinen Lehr-/Lernforschung als gering eingeschätzt werden (bereits Terhart, 1995), was nicht zuletzt daran liegen mag,

dass aus einem forschungsbasierten „Erklärungswissen“ nicht direkt ein praktisch verwertbares „Veränderungswissen“ abgeleitet werden kann (Bromme & Kiehnues, 2014, S. 60). Wir vermuten, dass es insbesondere Anfänger im Lehramt (Lehramtsstudierende, Referendare, Junglehrer/-innen), die noch nicht über eine ausreichende und flexible Grundlage an „Veränderungswissen“ verfügen, schwerfällt, aus diesen allgemeinen Lehr-Lernprinzipien konkrete, inhalts- und adressatenspezifische Verfahren für den naturwissenschaftlichen Unterricht abzuleiten.

Daher sehen wir die Notwendigkeit, zusätzlich zu diesen Prinzipien und den vorliegenden allgemeinen Lehr-Lernverfahren fachspezifische Unterrichtsverfahren zu entwickeln und zu testen. Diese orientieren sich sinnvollerweise Weise an bewährten Lehr-Lernverfahren (bspw. 4C/ID; PBL), berücksichtigen aber zusätzlich die Gegebenheiten im Feld (bspw. die zur Verfügung stehende Unterrichtszeit), die Spezifika der Domänen, für welche die Problemlösefähigkeiten gefördert werden sollen (bspw. Lebewesen als Untersuchungsgegenstände in der Biologie), sowie weitere bedeutsame Aspekte einer effektiven fachspezifischen Unterrichtsplanung und –gestaltung (u.a. Sequenzierung, Aktivierung des Schülervorwissens, Motivation). Wir gehen davon aus, dass entsprechende Unterrichtsverfahren für die Lehrenden hilfreicher sind als die allgemeinen Lehr-Lernverfahren, weil sie a) die in der Unterrichtsplanung zu treffenden Entscheidungen in stärkerem Maße vorstrukturieren, konkretisieren und auch in Teilen reduzieren, b) aufgrund ihrer Spezifität enger, aber auch klarer in Richtung wirksamer Unterricht führen und c) leichter und mit geringerem Zeitaufwand an die kontextspezifischen Gegebenheiten adaptiert werden können.

Am Ende dieser Überlegungen wollen wir beispielhaft ein entsprechendes Unterrichtsverfahren zur Förderung von naturwissenschaftlichen Problemlösefähigkeiten entwickeln.

Als Vorgehensweise bei der Entwicklung entsprechender Unterrichtsverfahren bietet sich folgender Dreischritt an:

a) Zunächst gilt festzulegen, für welche Art (Typen) von naturwissenschaftlichen Problemen die Lernenden *Lösefähigkeiten* erwerben sollen. Anschließend sind für die zu fördernden Problemlösefähigkeiten Kompetenzmodelle zu entwickeln, die notwendige Komponenten (z.B. Wissen, Teilfähigkeiten) beschreiben. Die Naturwissenschaftsdidaktiken haben in den zurückliegenden Jahren diese Aufgabe intensiv bearbeitet und es liegen entsprechende Modelle vor. Aus Illustrationsgründen werden wir im Folgenden auf ein Kompetenzmodell zum systemischen Denken (stellvertretend für andere Problemlösefähigkeiten) zurückgreifen (Rieß et al., 2015).

b) Im Anschluss daran gilt es festzustellen, auf welchen Expertisegrad (im Hinblick auf die vorab unterschiedenen Kompetenzaspekte) man bei den Lernenden unterschiedlichen Alters, in Abhängigkeit von der besuchten Klassenstufe oder der Studiendauer usw., treffen wird. Anschließend gilt es festzulegen, welchen Expertisegrad die Lernenden bis wann erwerben sollen. Wir setzen den Fall, dass die Lernenden im Hinblick auf das systemische Denken und dem Umgang mit dynamischen Problemen in der Biologie noch Novizen sind.

c) In einem nächsten Schritt sind dann, ausgehend von den allgemeinen Lehr-Lernprinzipien und allgemeinen Lehr-Lernverfahren zur Förderung von Problemlösefähigkeiten, unter

anderem die Fragen der Sequenzierung, der Motivierung, der Relation zwischen selbstgesteuerten und angeleiteten Lernanteilen, nach lernförderlichen Feedbacks und Übungs- bzw. Routineanteilen zu klären. Unter Einbeziehung der in der Praxis gegebenen Randbedingungen wird dann ein Unterrichtsverfahren entwickelt und im Idealfall getestet. Diese Schritte von einem allgemeinen Lehr-Lernverfahren zu einem Unterrichtsverfahren sollen im Folgenden verdeutlicht werden.

4 Von allgemeinen zu konkreten und praxistauglichen Lehr-Lernmodellen: das Modell problemorientierten Lehrens und Lernens – MopoLL

Der Ausgang für die Entwicklung eines Unterrichtsverfahrens zur Förderung systemischen Denkens als komplexe dynamische Problemlösefähigkeit stellt das in Kapitel 2.2 vorgestellte 4C/ID-Modell von Van Merriënboer dar. Zuerst gilt es, die zu erwerbenden (Teil-)Kompetenzen zu spezifizieren. Im vorliegenden Falle greifen wir hierfür auf das in Kapitel 1.2 zumindest in seinen Umrissen präsentierte heuristische Kompetenzmodell zum systemischen Denken zurück (eine umfassende Vorstellung aller Teilfähigkeiten in den vier Dimensionen findet sich in Rieß et al. (2015)). Nun ist, wenn wir dem 4C/ID-Modell folgen, vor dem Hintergrund der gewählten Zielgruppe näher zu bestimmen, in welcher Abfolge die im Kompetenzmodell gefassten Fähigkeiten erworben werden sollen. Wir erachten für das systemische Denken eine Reihung der Kompetenzdimensionen von 1 bis 4 aufgrund sachlogischer Überlegungen (welche Fähigkeiten haben als Voraussetzung für andere zu gelten) für angebracht (Rieß et al., 2015). Anschließend ist für jede einzelne Kompetenzdimension bzw. Teilfähigkeit zu entscheiden, welche unterstützenden Informationen und *gedanklichen Gerüste* (supportive information) die Lernenden vor und während der Lerneinheiten erhalten sollen, um die Bearbeitung der Lernaufgaben (learning tasks) mit abnehmender Unterstützung zu bewältigen. Außerdem sind Routineaspekte bei Teilaufgaben einzuüben. An einem Beispiel verdeutlicht: Für die Förderung der Teilfähigkeit „qualitative Systemmodelle lesen, interpretieren und konstruieren können“ in der Kompetenzdimension 2 wird man im Vorfeld u.a. ein systemtheoretisches Grundwissen sowie Kenntnisse über Systemelemente und Wechselwirkungen, Wortmodelle und den grundlegenden Aufbau von Wirkungsgraphen (verwendete Symbole und ihre Bedeutung) vermitteln müssen. Bei den nun zu konzipierenden Lernaufgaben wird es deshalb auch darum gehen, für jeweils andere (neue) Realitätsbereiche Wirkungsgraphen zunächst mit Hilfestellung, dann aber zunehmend selbständig zu konstruieren. Außerdem werden Teilaspekte (beispielsweise die Darstellung und Interpretation von Rückkoppelungen) immer wieder intensiv geübt und die Lernenden erhalten dabei unmittelbare Rückmeldungen, damit entsprechende Routinen aufgebaut werden können.

Über diese in unmittelbarer Anlehnung an das 4C/ID-Modell zu bearbeitenden Aufgaben hinaus stehen Lehrkräfte vor der Herausforderung, eine klare Sequenzierung in aufeinanderfolgende Unterrichtsphasen vorzunehmen. Das Modell von Van Merriënboer legt eine zeitliche Abfolge nur im Hinblick auf eine grundlegende informative Einführung, den Einsatz der Lernaufgaben (von leicht zu schwer und mit abnehmender Unterstützung in der Zeit) sowie der zu fördernden Kompetenzen (zunehmendes Schwierigkeitsniveau) fest.

Unbeantwortet lässt das Modell die für Lehrende bedeutsamen Fragen, wann und wie der Lernstand der Schüler/-innen bestimmt, Schülervorwissen aktiviert, die Lernenden motiviert und über die zu erwerbenden Personenmerkmale (hier eine Teilfähigkeit des systemisches Denken) informiert werden sollen. Zudem ist zu klären wann welche fachliche Informationen anzubieten bzw. zu präsentieren sind, wann und wie ein Austausch zwischen den Schüler/-innen bzw. Arbeitsgruppen oder eine Reflexion initiiert werden sollen und an welcher Stelle sich eine Zusammenfassung des bisher Gelernten anbietet.

Eine beispielhafte Umsetzung dieser Aufgaben und Schritte sollen nun an Hand des Modells problemorientierten Lehrens und Lernens (MopoLL) veranschaulicht werden (s. Abb. 2). Mehrere konkrete Anwendungsbeispiele des MopoLLs für die Förderung systemischen Denkens bei Lehramtsstudierenden der Fächer Biologie und Geographie finden sich in Rieß et al. (2015).

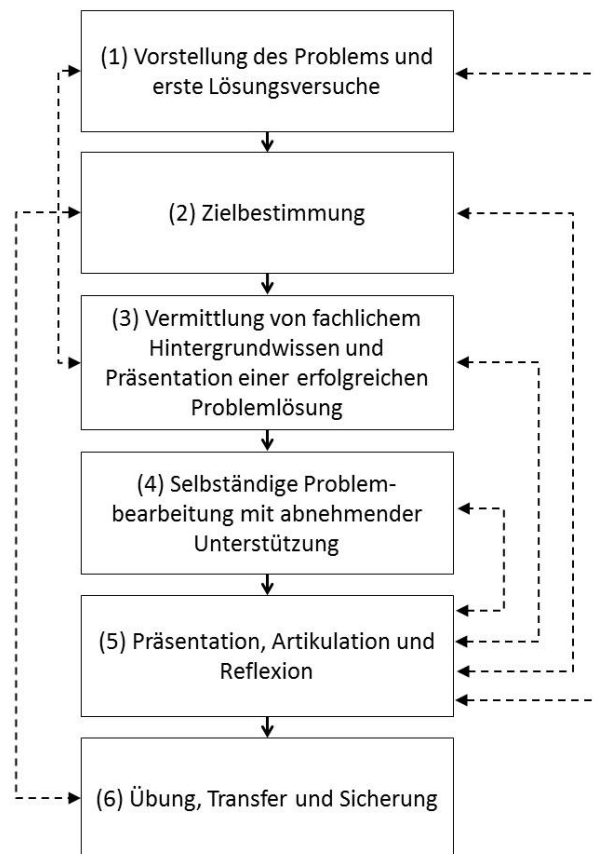


Abbildung 2: Modell problemorientierten Lehrens und Lernens

In Anlehnung an das Modell von Van Merriënboer (2013) werden im MopoLL folgende sechs aufeinanderfolgende Phasen unterschieden:

(1) *Vorstellung des Problems und erste Lösungsversuche*: Die Lernenden werden mit einem naturwissenschaftlichen Problem konfrontiert und versuchen - basierend auf ihrem Vorwissen - eine Lösung zu generieren. Dabei erkennen sie die Notwendigkeit, das eigene Wissen zu vertiefen sowie den Bedarf weiterer Fähigkeiten und Kompetenzen. Zudem ist zu erwarten, dass das Erkennen von eigenen Wissenslücken zu einem besseren Erfassen der in einer Instruktion angebotenen neuen Informationen führt (Holmes et al., 2014). Aus motivationaler

Perspektive wird erwartet, dass Probleme, die sich mit dem subjektiv vorhandenen Wissen nicht lösen lassen aber prinzipiell für den Lernenden als lösbar erscheinen, kognitive Konflikte und epistemische Neugier auslösen und zu erhöhter Aufmerksamkeit, situationalem Interesse und Lernaktivitäten führen (Rotgans & Schmidt, 2014).

(2) *Zielbestimmung*: Die Lernenden werden mit den Zielkriterien (bspw. Wissen und Kompetenzen) bekannt gemacht, die sie im Rahmen der Lerneinheit erwerben sollen. Es werden Gründe für den Erwerb dieser Merkmale angeführt sowie ein Überblick über die Struktur der Unterrichtseinheit gegeben. Erwartet wird, dass klare und transparente Lernziele sich positiv auf die Motivation und den Lernerfolg auswirken (Seidel et al., 2005; Krapp, 2002). Werden Schüler/-innen die zu erwerbenden Lernziele und die Struktur der Unterrichtseinheit in Form eines Advanced Organizer vorgestellt, führt dies häufig zu einer besseren und effizienteren Verarbeitung der im Unterricht präsentierten Lerninhalte (Barron et al., 1998). Zudem unterstützen klare und transparente Lernziele die Lernenden bei der individuellen Identifikation mit den Lerninhalten und der Bestimmung eigener Lernziele. Sie fördern somit auch selbstbestimmtes Lernen (Seidel et al., 2005).

(3) *Vermittlung von notwendigem fachlichen Hintergrundwissen und Präsentation einer erfolgreichen Problemlösung (Lernen am Modell und durch Instruktion)*: die Lehrperson (Experte) regt zunächst die Konstruktion einer adäquaten (Fach-)Wissensbasis (deklaratives, konzeptuelles fachliches Wissen) an. Dies erfolgt mittels instruktiver Erklärungen, die den Wissenskonstruktionsprozess erleichtern sollen (Berthold & Renkl, 2010). Von herausragender Bedeutung für eine wirksame Erklärung ist die Fokussierung auf die zentralen Konzepte und Prinzipien, die zur Lösung des Problems benötigt werden und wiederholte Aufforderungen (Prompts), beispielsweise in Form von Fragen und Hinweisen, die zu einer aktiven Verarbeitung der präsentierten Informationen anregen (bspw. Roelle et al., 2014). Anschließend demonstriert die Lehrperson die professionelle Vorgehensweise beim Lösen des vorgestellten Problems (s. Phase 1) und erläutert dabei ihre Denk- und Handlungsschritte (Van Merriënboer, 2013). Sie vermittelt dabei prozedurales, strategisches und situationales Wissen und stellt ein *Gerüst* zur Verfügung, das die folgenden selbständigen Problemlöseaktivitäten der Lernenden strukturiert und lenkt. Eine vertiefte Integration der neuen Informationen in die eigene Wissensbasis erfolgt in den folgenden Phasen.

(4) *selbständige Problembearbeitung mit abnehmender Unterstützung*: die Lernenden befassen sich in dieser Phase mit einer Serie von Problemen, die dem Ausgangsproblem gleichen (Lernaufgaben). Die im Zusammenhang mit der Bearbeitung des Problemtyps auszuführenden Tätigkeiten sollen den Lernenden bis zu dieser Phase hinreichend verständlich geworden sein. Zum Einsatz können hier variierte worked examples, ausgearbeitete Lösungsbeispiele, kommen (Van Merriënboer, 2013). Sie bestehen in ihrer vollständigen Form aus einer Formulierung der Problemstellung, Lösungsschritten sowie der korrekten Problemlösung. Man beginnt in der Problemserie mit einem voll ausgearbeiteten Lösungsbeispiel und reduziert von Aufgabe zu Aufgabe den Anteil an vorgegebenen Lösungsschritten und Antworthilfen bis die Lernenden das Problem komplett selbstständig, also ohne Hilfe lösen können. Durch den anfänglich aktiven Nachvollzug von vorgegebenen Lösungsschritten bei der Bearbeitung des Problems soll der Lernende dabei unterstützt werden, generalisierte Lösungen oder Schemata auszubilden und vor einem lernhemmenden

cognitive load (kognitive Überlastung) bewahrt bleiben (Van Merriënboer & Sweller, 2005). Anschließend übt der Lernende sich zunehmend in der selbständigen Anwendung dieser Schemata beim Lösen weiterer Probleme. Die Lernenden werden in dieser Phase auch gezielt vom Lehrenden unterstützt, der ihnen ein zeitnahes Feedback zu ihren Problemlöseversuchen gibt und sich dabei mit seinen Hilfestellungen immer mehr zurücknimmt. Als Alternative zu den worked examples können in dieser Phase auch completion problems (Vervollständigungsprobleme) eingesetzt werden. Hierbei handelt es sich um Aufgaben in welchen ein Problem, ein Ausgangszustand und der angestrebte Zielzustand sowie ein Teil der Lösung vorgegeben werden und die Lernenden die vollständige Lösung finden müssen (Van Merriënboer, 2013).

(5) *Präsentation, Artikulation und Reflexion*: Die Lernenden werden aufgefordert, die Ergebnisse vorzustellen und Denkprozesse und Problemlösestrategien zu artikulieren und reflektieren. Ziel dieser Phase ist es, den Lernenden die Möglichkeit zu geben, ihre Ergebnisse aus der Problembearbeitung vorzustellen, zu diskutieren und die gemachten Beobachtungen und Erfahrungen vertieft im Austausch und unter Rückbezug auf die vorausgegangenen Lernphasen zu elaborieren. Dabei werden auch die eigenen Problemlösungen der Kontrolle unterworfen und mögliche Wissenslücken festgestellt (Wild et al., 2001). Das Einüben entsprechender Techniken und Prinzipien der Selbstkontrolle und Lernregulation gilt als wichtige Komponente kognitiven Trainings (bspw. Klauer, 2001). In dieser Phase kann auch der Lernprozess als Ganzes noch einmal in den Blick genommen und reflektiert werden. Wie sah unser erster Problemlöseversuch aus, können wir nun entsprechende Probleme tatsächlich effektiv lösen, was waren entscheidende Hinweise und Hilfen? Die Reflektion des eigenen Lernprozesses, als eine Form hoher kognitiver Aktivierung, sollte den Langzeittransfer des Erlernten verbessern; außerdem bietet diese Phase der Lehrperson die Möglichkeit ein Feedback in einer Großgruppe (normale Klassengröße) zu geben.

(6) *Übung, Transfer und Sicherung*: Die Lernenden werden in Gruppen zu aktivem Explorieren und zu selbständigem Problemlösen in *inhaltsnahen* und zunehmend *inhaltsfernen* Bereichen angeregt. Zentrale Erkenntnisse werden festgehalten und die Lernenden erhalten über ihren jeweiligen Lernzuwachs unter Bezugnahme auf vorausgegangene Lernphasen Rückmeldung. In dieser Phase entwickeln die Lernenden Routinen für die Anteile an Problemlösungen, die durch häufige Übung zunehmend automatisiert bearbeitet werden können. Damit nehmen sowohl das Ausmaß an kompiliertem (hoch verdichtetem) Wissen und quasi automatisierten Problemlösekompetenzen (System 1 sensu Merriënboer, 2013) als auch die zu Fähigkeit zur reflexiven und überlegten Anwendung des Wissens auf neue Problemstellungen und zur elaborativen Herstellung neuer Sinnbezüge (System 2) zu (Van Merriënboer, 2013).

Nachdem ein Unterrichtsverfahren (hier: MopoLL) formuliert ist gilt es im weiteren Entwicklungs- und Forschungsprozess zu prüfen, ob ein gemäß dieses Verfahrens durchgeführter Unterricht überhaupt Wirkung zeigt, d.h. im Hinblick auf die Förderung einer gewünschten naturwissenschaftlichen Problemlösefähigkeit wirksam ist. Im Hinblick auf eine wirksame Förderung systemischen Denkens mit Hilfe des MopoLL liegen uns erste Ergebnisse vor (Rosenkränzer et al., 2016). Im Einzelnen kann grundsätzlich gefragt werden,

ob die ggf. beobachteten Veränderungen tatsächlich auf den modellgemäßen Unterricht zurückzuführen sind und wie hoch die Effektgröße als Indikator für die Intensität einer Wirkung ist. Im Anschluss hieran können, wie oben vorgeschlagen, das entwickelte Unterrichtsverfahren mit alternativen Verfahren vergleichend getestet werden. Dabei kann dann die Altersstufe der Lernenden, die Themengebiete und Fächer, der Ort ihres Einsatzes innerhalb von Lern- und Unterrichtseinheiten und die angestrebten Zielkriterien (zu fördernde Problemlösefähigkeiten) systematisch variiert werden. Die Erkenntnisse aus der Bearbeitung der unterschiedlichen Fragestellungen können dazu beitragen, sukzessive eine Theorie zur Förderung naturwissenschaftlicher Problemlösekompetenzen zu formulieren. Diese würde die Möglichkeit eröffnen prognostische und evidenzbasierte, empfehlende Aussagen treffen zu können, die insbesondere auch von Lehrenden eingefordert werden.

4.1 Desiderata für die Forschung in den Naturwissenschaftsdidaktiken?

Obwohl es nicht möglich ist, die Effektivität *der* konstruktivistischen Ansätze und *der* instruktivistischen Ansätze jeweils in ihrer Gesamtheit direkt miteinander zu vergleichen, so können doch zumindest einzelne und besonders (proto-)typische instruktivistische und konstruktivistische Vorgehensweisen in ihrer Effektivität miteinander verglichen werden. Erstaunlicherweise ist dies bis dato kaum unternommen worden. Bei vielen Studien ist dagegen ein kritischer Umgang mit der Variable „Lernbedingung“ festzustellen. In vielen Fällen werden Wirkungen eines zu testenden Verfahrens mit Wirkungen von *konventionellem Unterricht, traditionellem Lehren, der herkömmlichen Vorgehensweise* beim Unterrichten etc. verglichen (Strobel & van Barneveld, 2009; Furtak et al., 2012b). Die Anzahl an Realisierungsmöglichkeiten der Vergleichsbedingung *konventioneller Unterricht* etc. geht jedoch gegen unendlich. Anzustreben ist dagegen ein kontrollierter, experimenteller Vergleich der Wirksamkeit des favorisierten Verfahrens mit der Wirksamkeit eines konkurrierenden, gut beschriebenen und schon bewährten anderen Lernverfahrens. Die Suche nach entsprechenden experimentellen Studien lässt ein überraschendes Forschungsdefizit erkennen. Zu den wenigen Ausnahmen gehören die Studien aus der Arbeitsgruppe um Klahr (bspw. Klahr et al., 2001). Es ist von daher eine dringlich anstehende Aufgabe für die fachdidaktische Unterrichtsforschung, diesem Mangel zu begegnen.

Die Übertragbarkeit von Ergebnissen zur Wirksamkeit von Verfahren aus experimentellen Laborstudien mit anderen Zielgruppen, Expertisestufen und Rahmenbedingungen auf konkrete schulische Situationen ist dann jedoch in eigenen Studien nachzuweisen. Diese Studien sollten im Feld, also unter im Schulalltag gegebenen Unterrichtsbedingungen möglichst experimentell testen und die externe (ökologische) Validität (Gültigkeit und Brauchbarkeit für Unterricht) der empfohlenen Lehr-Lernverfahren nachweisen. Koedinger et al., (2013) empfehlen hierfür die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Naturwissenschaftlern, Lernforscher, Fachdidaktiker und Naturwissenschaftslehrer/-innen und betonen die Notwendigkeit zu Kompromissen zwischen dem Wunsch nach hoher Kontrolle auf Seiten der Wissenschaftler und der geforderten Flexibilität im Unterrichtsalltag.

Neben der Testung allgemeiner Lehr-Lernverfahren im Feld gilt es in unserer Einschätzung zusätzlich *neue* Unterrichtsverfahren zu entwickeln und zu testen. Entsprechende

Unterrichtsverfahren sollten Erkenntnisse aus der aktuellen Lehr-/Lernforschung integrieren, für die Förderung von erwünschten Problemlösefähigkeiten in spezifischen Domänen ausgelegt sein und eine Adaption auf die Gegebenheiten im Feld (Schulalltag) erleichtern. Werden dann diese Unterrichtsverfahren im Anschluss an ihre Entwicklung noch auf ihre Wirksamkeit hin überprüft, könnten sie bei Bewährung als Set evidenzbasierter Praktiken in der Aus- und Fortbildung von Lehrenden vermittelt werden (Merrill, 2002).

Dank

Die Autoren bedanken sich für anregende inhaltliche Diskussionen bei Prof. Dr. Elmar Stahl und Dr. Patrick Blumschein.

Literatur

- Adams, G.L. & Engelmann, S. (1996). *Research on direct instruction: 20 years beyond DISTAR*. Seattle, WA: Educational Achievement Systems.
- Albanese, M. A. & Mitchell, S. (1993). Problem-based learning: A review of literature on its outcomes and implementation issues. *Academic Medicine*, 68(1), 52-81.
- Anderson, J. R. (2007). *How can the human mind occur in the physical universe?* New York: Oxford University Press.
- Anderson, J.R., Reder, L.M. & Simon, H.A. (1996). Situated learning and education. *Educational Researcher*, 25(4), 5-11.
- Barron, B. J., Schwartz, D. L., Vye, N. J., Moore, A., Petrosino, A., Zech, L., Bransford, J. D. & The Cognition and Technology Group at Vanderbilt. (1998). Doing with understanding: Lessons from research on problem- and project-based learning. *The Journal of the Learning Sciences*, 7, 271-311.
- Bertalanffy, L. von (1968). *General System Theory: Foundations, Development, Applications*. New York: Braziller.
- Berthold, K. & Renkl, A. (2010). How to foster active processing of explanations in instructional communication. *Educational Psychology Review*, 22, 25-40.
- Bloom, B.S. (1968). Mastery learning. *Evaluation Comment*, 1(2), 1-12.
- Blumschein, P. (2004). *Eine Metaanalyse zur Effektivität multimedialen Lernens am Beispiel der Anchored Instruction*. Universität Freiburg [<http://www.freidok.uni-freiburg.de/volltexte/1546>].
- Boshuizen, H. P. A. & Bromme, R. & Gruber, H. (Eds.) (2004). *Professional learning: Gaps and transitions on the way from novice to expert*. Dordrecht: Kluwer Academic Press.
- Bransford, J. (1990). Anchored instruction: Why we need it and how technology can help. In D. Nix & R. Spiro (Hrsg.), *Cognition, education and multimedia*. Hillsdale/NJ: Erlbaum.
- Bromme, R. & Kienhues, D. (2014). Wissenschaftsverständnis und Wissenschaftskommunikation. In T. Seidel & A. Krapp (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (Kap. 3). Weinheim: Beltz.
- Bromme, R., Stahl, E., Bartholomé, T. & Pieschl, S. (2004). The case of plant identification in biology: When is a rose a rose? Development of expertise as acquisition and use of robust and flexible knowledge. In H. P. A. Boshuizen, R. Bromme & H. Gruber (Eds.), *Professional learning: Gaps and transitions on the way from novice to expert* (pp. 29-47). Dordrecht: Kluwer Academic Press.
- Brown, J. S., Collins, A. & Duguid, P. (1989). Situated Cognition and the Culture of Learning. *Educational Researcher*, 18(1), 32-42.
- Bruner, J. S. (1961). The act of discovery. *Harvard Educational Review*, 31, 21-32.
- Chall, J. S. (2000). *The academic achievement challenge*. New York: Guilford.
- Clark, R. E. (2009). Translating research into new instructional technologies for higher education: the active ingredient process. *Journal of Computing in Higher Education*, 21(1), 4-18.
- Collins, A., Brown, J. S. & Newman, S. E. (1989). Cognitive Apprenticeship: Teaching the Crafts of Reading, Writing and Mathematics. In L. B. Resnick (Ed.), *Knowing, Learning and Instruction* (pp. 453-494). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum.

- Colliver, J. A. (2000). Effectiveness of problem-based learning curricula: Research and theory. *Academic Medicine*, 75(3), 259-266.
- Dennen, V. & Burner, K. (2008.). The cognitive Apprenticeship model in educational practice. Handbook of research on educational communications and technology. Mahwah: Erlbaum.
- Dochy, F., Segers, M., Van den Bossche, P. & Gijbels, D. (2003). Effects of problem-based learning: a meta-analysis. *Learning and Instruction*, 13, 533-568.
- Feng, J.-Y., Chang, Y.-T., Chang, H.-Y., Erdley, W., Scott, L. & Chang, Y. (2013). Systematic review of effectiveness of situated e-learning on medical and nursing education. *Worldviews on Evidence-Based Nursing*, 10(3), 174-183.
- Funke, J. (2006). Komplexes Problemlösen. In J. Funke (Hrsg.), *Denken und Problemlösen* (=Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich C: Theorie und Forschung, pp. 375-446). Göttingen: Hogrefe.
- Furtak, E. M., Shavelson, R. J., Shemwell, J. T. & Figueroa, M. (2012a). To teach or not to teach through inquiry: Is that the question? In S. M. Carver & J. Shrager (Eds.), *The journey from child to scientist: Integrating cognitive development and the education sciences* (pp. 227-244). Washington, DC: American Psychological Association.
- Furtak, E.M., Seidel, T., Iverson, H. & Briggs, D.C. (2012b). Experimental and Quasi-Experimental Studies of Inquiry-Based Science Teaching: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 82(3), 300-329
- Gagné, R.M. (1985). *The conditions of learning and theory of instruction*. New York u.a.: Holt, Rinehart & Winston.
- Gijbels, D., Dochy, F., Van den Bossche, P. & Segers, M. (2005). Effects of Problem-Based Learning: A Meta-Analysis from the Angle of Assessment. *Review of Educational Research*, 75(1), 27-61.
- Girault, I. I. & d'Ham, C. (2014). Scaffolding a Complex Task of Experimental Design in Chemistry with a Computer Environment. *Journal of Science Education & Technology*, 23(4), 514-526.
- Gretsch, S., Hense, J. & Mandl, H. (2010). *Evaluation eines Schulungsprogramms zur Ausbildung von E-Tutoren*. In H.O. Mayer & W. C. Kriz (Hrsg.). *Evaluation von eLernprozessen*. München: Oldenbourg.
- Hammann, M., Phan, T.H. & Bayrhuber, H. (2007). Experimentieren als Problemlösen: Lasst sich das SDDS-Modell nutzen, um unterschiedliche Dimensionen beim Experimentieren zu messen? *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 10(8), 33-49.
- Harris, K. R. & Alexander, P. A. (1998). Integrated, constructivist education: Challenge and reality. *Educational Psychology Review*, 10, 115-127.
- Hattie, J. (2009). *Visible Learning. A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. London/New York: Routledge.
- Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R.G. & Chinn, C.A. (2007). Scaffolding and Achievement in Problem-Based and Inquiry Learning: A Response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist*, 42(2), 99-107.
- Holmes, N. G., Day, J., Park, A. H. K., Bonn, D. A. & Roll, I. (2014). Making the failure more productive: scaffolding the invention process to improve inquiry behaviors and outcomes in invention activities. *Instructional Science*, 42(4), 523-538.
- Hoogveld, A. W. M., Paas, F. & Jochems, W. M. G. (2003). Application of an instructional systems design approach by teachers in higher education: individual versus team design. *Teaching Teacher Educ.*, 19, 581-590.
- Jacobson, M. J. & Spiro, R. J. (1995). Hypertext learning environments, cognitive flexibility, and the transfer of complex knowledge: An empirical investigation. *Journal of Educational Computing Research*, 12(4), 301-333.
- Janssen-Noordman, A. M. B., van Merriënboer, J. J. G., van der Vleuten, C. P. M. & Scherpbier, A. J. J. A.. (2006). Design of integrated practice for learning professional competences. *Med. Teacher*, 28(5), 447-452.
- Jonassen, D. H. (2000). Toward a Design Theory of Problem Solving. *Educational Technology Research and Development*, 48(4), 63-85.
- Kalaian, Hripsime A., Mullan, Patricia B. & Kasim, Rafa M. (1999). What can studies of problembased learning tell us? Synthesizing and modeling PBL effects on National Board of Medical Examination

- performance: Hierarchical Linear Modeling meta-analytic approach. *Advances in Health Sciences Education*, 4, 209-221.
- Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P. & Sweller, J. (2003). The expertise reversal effect. *Educational Psychologist*, 38(1), 23–31.
- Kirschner, P. A. (1992). Epistemology, practicalwork and academic skills in science education. *Science and Education*, 1, 273–299.
- Kirschner, P. A., Sweller, J. & Clark, R. E. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist* 41(2), 75–86.
- Klahr, D., Chen, Z. & Toth, E.E. (2001). From cognition to instruction to cognition: A case study in elementary school science instruction. In K. Crowley, C.D. Schunn & T. Okada (Eds.), *Designing for science: Implications from everyday, classroom, and professional settings* (pp. 209–250). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Klauer, K.J. & Leutner, D. (2007). *Lehren und Lernen. Einführung in die Instruktionspsychologie*. Weinheim, Basel: Beltz PVU.
- Klauer, K.J. (2001). Trainingsforschung: Ansätze, Theorien, Ergebnisse. In K.J. Klauer (Hrsg.), *Handbuch Kognitives Training* (S. 3-66). Göttingen: Hogrefe.
- Kleickmann, T., Tröbst, S., Jonen, A., Vehmeyer, J. & Möller, K. (2016). The Effects of Expert Scaffolding in Elementary Science Professional Development on Teachers' Beliefs and Motivations, Instructional Practices, and Student Achievement. *Journal of Educational Psychology*, 108(1), 21–42.
- Klieme, E., Funke, J. Leutner, D., Reimann, P. & Wirth, J. (2001). Problemlösen als fächerübergreifende Kompetenz? Konzeption und erste Resultate aus einer Schulleistungsstudie. *Zeitschrift für Pädagogik*, 47, 179-200.
- Koedinger, K.R., Booth, J.L. & Klahr, D. (2013). Instructional complexity and the science to constrain it. *Science*, 342, 935-937.
- Kohlhauf, L., Rutke, U. & Neuhaus, B.J. (2011). Entwicklung eines Kompetenzmodells zum biologischen Beobachten ab dem Vorschulalter. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 17, 203-222.
- Krapp, A. (2002). Structural and dynamic aspects of interest development: theoretical considerations from an ontogenetic perspective. *Learning and Instruction*, 12(4), 383-409.
- Krell, M., Upmeyer zu Belzen, A. & Krüger, D. (2014). Student' s levels of understanding models and modelling in biology: Global or aspect-dependent? *Research in Science Education*, 44, 109-132.
- Kulak, V. & Newton, G. (2015). An Investigation of the Pedagogical Impact of Using Case-Based Learning in a Undergraduate Biochemistry Course. *International Journal of Higher Education*, 4(4), 3-24.
- Kulik, C.L.C., Kulik, J.A. & Bangert-Drowns, R.L. (1990). Effectiveness of mastery learning programs: A meta-analysis of findings. *Review of Educational Research*, 53(3), 397-414.
- Leary, H., Walker, A., Shelton, B.E. & Fitt, M.H. (2013). Exploring the Relationships between Tutor, Background, Tutor Training, and Student Learning: A Problem-based Learning Meta-Analysis. *Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning*, 7(1), 40-66.
- Leutner, D. (2001). Instruktionspsychologie. In D. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (S. 267-276). Weinheim: Beltz/PVU.
- Leutner, D., Fleischer, J., Wirth, J., Greiff, S. & Funke, J. (2012). Analytische und dynamische Problemlösekompetenz im Lichte internationaler Schulleistungsvergleichs-studien. *Psychologische Rundschau*, 63(1), 34–42.
- Lott, G. W. (1983). The effect of inquiry teaching and advance organizers upon student outcomes in science Education. *Journal of Research in Science Teaching*, 20, 437-451.
- Loyens, S. M. M. & Gijbels, D. (2008). Understanding the effects of constructivist learning environments: introducing a multi-directional approach. *Instructional Science*, 36, 351-357.
- Mayer, J. & Ziemek, H.-P. (2006). Offenes Experimentieren - Forschendes Lernen im Biologieunterricht. *Unterricht Biologie*, 317(30), S. 4-12.
- Mayer, J. (2007). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Handbuch der Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 177-186). Berlin/ Heidelberg: Springer.
- Mayer, R.E. (2004). Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? The case for guided methods of instruction. *American Psychologist*, 59, 14–19.

- Mayer, R. E. (1997). *Thinking, problemsolving, cognition*. New York: Freeman.
- Merrill, M. D. (2000). Instructional Transaction Theory (ITT): Instructional Design Based on Knowledge Objects. In C.M. Reigeluth (Ed.), *Instructional-Design Theories and Models: A New Paradigm of Instructional Theory* (pp. 397-424). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Merrill, M.D. (2002). First Principles of Instruction. *Educational Technology Research and Development* 50(3), 43-59.
- Merrill, M. D. (2008). Reflections on a four decade search for effective, efficient and engaging instruction. In M. W. Allen (Ed.), *Michael Allen's 2008 e-Learning Annual* (Vol. 1, pp. 141-167): Wiley Pfeiffer.
- Moreno, R. (2004). Decreasing cognitive load in novice students: Effects of explanatory versus corrective feedback in discovery-based multimedia. *Instructional Science*, 32, 99–113.
- Moseley, D., Baumfield, V., Elliott, J., Higgins, S., Miller, J. & Newton, D.P. (2005). *Frameworks for Thinking: A Handbook for Teachers and Learning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Neber, H. & Anton, M.A. (2008). Forderung präexperimenteller epistemischer Aktivitäten im Chemieunterricht. *Zeitschrift für pädagogische Psychologie*, 22 (2), 143-150.
- Neber, H. (2001). Entdeckendes Lernen. In D. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (S. 115-121). Weinheim: BeltzPVU.
- Reigeluth, C. M. (1999). The elaboration theory: guidance for scope and sequence decisions. In C.M. Reigeluth (Ed.), *Instructional-Design Theories and Models: A New Paradigm of Instructional Theory* (pp. 425–453). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Reigeluth, C.M. & Stein, F.S. (1983). The elaboration theory of instruction. In C.M. Reigeluth (Ed.), *Instructional design theories and models: An overview of their current status* (pp. 335-382). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Reigeluth, C.M. (1979). In search of a better way to organize instruction: The elaboration theory. *Journal of Instructional Development*, 2, 8-15.
- Reinmann-Rothmeier, G. & Mandl, H. (2006). Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In A. Krapp & B. Weidenmann, B. (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch* (S. 613 – 658). Weinheim: Beltz.
- Renkl, A., (2014). Towards an instructionally-oriented theory of example-based learning. *Cognitive Science*, 38, 1–37.
- Riess, W. & Mischo, C. (2010). Promoting systems thinking through biology lessons. *International Journal of Science Education*, 32 (6), 705-725.
- Rieß, W. (2013). Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) und Förderung systemischen Denkens. *AnliegenNatur* (35),55-64.
- Rieß, W., Schuler, S. & Hörsch, C. (2015). Wie lässt sich systemisches Denken vermitteln und fördern? Theoretische Grundlagen und praktische Umsetzung am Beispiel eines Seminars für Lehramtsstudierende. *Geographie aktuell und Schule*, 37(215).
- Roelle, J., Berthold, K. & Renkl, A. (2014). Two instructional aids to optimise processing and learning from instructional explanations. *Instructional Science*, 42(2), 207-228.
- Rosenkränzer, F., Kramer, T., Hörsch, C., Schuler, S. & Rieß, W. (2016). Promoting Student Teachers' Content Related Knowledge in Teaching Systems Thinking: Measuring Effects of an Intervention through Evaluating a Videotaped Lesson. *Higher Education Studies*, 6, 156-169.
- Rosenshine, B. (2009). The Empirical Support for Direct Instruction. In S. Tobias & T.M. Duffy (eds.), *Constructivist Instruction* (pp. 201-220). New York: Routledge.
- Rotgans, J.I. & Schmidt, H.G. (2014). Situational interest and learning: Thirst for knowledge. *Learning and Instruction*. 32, 37-50.
- Sarfo, F.K. & Elen, J. (2008). The moderating effect of instructional conceptions on the effect of powerful learning environments. *Instructional Science*, 36.137–153.
- Savery, J.R. (2006). Overview of Problem-based Learning: Definitions and Distinctions. *Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning*, 1(1), 9-20.
- Scherer, R. (2014). Komplexes Problemlösen im Fach Chemie: Ein domänenspezifischer Zugang. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 28, 181-192.
- Schroeder, C. M., Scott, T. P., Tolson, H., Huang, T.-Y. & Lee, Y.-H. (2007). A metaanalysis of national research: Effects of teaching strategies on student achievement in science in the United States. *Journal of Research in Science Teaching*, 44, 1436-1460.

- Seel, N.M. (1999). Instruktionsdesign: Modelle und Anwendungsgebiete. *Unterrichtswissenschaft*, 27, 2-11.
- Seidel, T., Rimmel, R. & Prenzel, M. (2005). Clarity and coherence of lesson goals as a scaffold for student learning. *Learning and Instruction*, 15(6), 539-556.
- Shymansky, J. A., Hedges, L. V. & Woodworth, G. (1990). A reassessment of the effects of inquiry-based science curricula of the 60's on student performance. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 127-144.
- Smits, P.B.A., Verbeek, J.H.A.M. & de Buissonjé, C.D. (2002). Problem based learning in continuing medical education: a review of controlled evaluation studies. *British Medical Journal*, 324, 153-156.
- Strobel, J. & van Barneveld, A. (2009). When is PBL More Effective? A Meta-synthesis of Meta-analyses Comparing PBL to Conventional Classrooms. In: *Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning* 3(1), 44-58.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12, 257-285.
- Sweller, J., Kirschner, P.A. & Clark, R.E. (2007). Why Minimally Guided Teaching Techniques Do Not Work: A Reply to Commentaries. *Educational Psychologist*, 42(2), 115-121.
- Taconis, R. (1995). *Understanding-based problem solving*. Doctoral dissertation, Eindhoven University of Technology, Eindhoven/Amsterdam, The Netherlands.
- Taconis, R. Ferguson-Hessler M.G.M. & Broekkamp H. (2001). Teaching Science Problem Solving: An Overview of Experimental Work. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(4), 442-468.
- Terhart, E. (1995). Unterrichtsforschung: Einflüsse, Entwicklungen, Probleme. *Zeitschrift für Pädagogik*, 33 (Beiheft), 197-209.
- Van Merriënboer, J. & Kirschner, P.A. (2007). *Ten Steps to Complex Learning - A Systematic Approach to Four-Component Instructional Design*. Lawrence Associates Publishers.
- Van Merriënboer, J. J. G. & Kester, L. (2008). Whole-task models in education. In J. M. Spector, M. D. Merrill, J. J. G. van Merriënboer, & M. P. Driscoll (Eds.), *Handbook of research on educational communications and technology*, (pp. 441-456). Mahwah, NJ: Erlbaum/Routledge.
- Van Merriënboer, J. J. G. & Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning: recent developments and future directions. *Educational Psychology Review*, 17, 147-177.
- Van Merriënboer, J.J.G. (1997). *Training complex cognitive skills*. Englewood Cliffs: Educational Technology Publications.
- Van Merriënboer, J. (2013). Perspectives on problem solving and instruction. *Computers & Education*, 64, 153-160.
- Van Merriënboer, J., Clark, R.E. & de Croock, M.B.M. (2002). Blueprints for Complex Learning: The 4C/ID-Model. *Educational Technology Research and Development*, 50(2), 39-64.
- Vernon, D. T. & Blake, R. L. (1993). Does problem-based learning work? A meta-analysis of evaluative research. *Academic Medicine*, 68(7), 550-563.
- Walberg, H.J. & Wang, M.C. (1987). Effective educational practices and provisions for individual differences. In M.C. Wang, M.C. Reynolds & H.J. Walberg (Eds.), *Handbook of special education* (pp. 113-128). Oxford: Pergamon Press.
- Walker, A. & Leary, H. (2009). A problem based learning meta-analysis: Differences across problem types, implementation types, disciplines, and assessment levels. *Interdisciplinary Journal of Problem Based Learning*, 3(1), 6-28.
- Wellnitz, N. & Mayer, J. (2013). Erkenntnismethoden in der Biologie – Entwicklung und Evaluation eines Kompetenzmodells. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 315-345.
- Weinert, F.E. (1996). Lerntheorien und Instruktionsmodelle. In F.E. Weinert (Hrsg.), *Psychologie des Lernens und der Instruktion*. Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich D, Serie I Pädagogische Psychologie, Band 2. (S. 11-48). Göttingen: Hogrefe.
- Wenger, E. (2007). 'Communities of practice. A brief introduction'. Communities of practice [<http://www.ewenger.com/theory/>. Accessed January 14, 2009].
- Wild, E., Hofer, M. & Pekrun, R. (2001). Psychologie des Lernalers. In A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 207-270). Weinheim: Beltz PVU.
- Willett, J.B., Yamashita, J.J.M. & Anderson, R.D. (1983). A meta-analysis of instructional systems applied in science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*. 20(5), 405-417.
- Zhen, R. (2010). Effects of situated learning on students' knowledge acquisition: An individual differences perspective. *Journal of Educational Computing Research*, 43(4), 467-487.

Zydney, J. M., Stegeman, C., Bristol, L. & Hasselbring, T.S. (2010). Improving a multimedia learning environment to enhance students' learning, transfer, attitudes, and engagement. *International Journal of Learning Technology*, 5, 147–165.

Kontakt

Prof. Dr. Werner Rieß
Institut für Biologie und ihre Didaktik, Pädagogische Hochschule Freiburg
Kunzenweg 21
79117 Freiburg
riess@ph-freiburg.de