

*Problemorientiertes Online-Lernen im
Biologieunterricht: Fähigkeitsselbstkonzept,
mentale Anstrengung und Vorwissen als
Prädiktoren für Wissenserwerbsprozesse
zwischen Instruktion und Konstruktion*

**Jörg Zumbach, Stephanie Moser, Ulrike
Unterbruner & Georg Pfligersdorffer**

**Zeitschrift für Didaktik der
Naturwissenschaften**

ISSN 0949-1147

ZfDN

DOI 10.1007/s40573-014-0004-6



Zeitschrift für die
**Didaktik der
Naturwissenschaften**

zfdn

 Springer Spektrum

 Springer

Your article is protected by copyright and all rights are held exclusively by Gesellschaft für Didaktik der Physik und Chemie (GDPCP). This e-offprint is for personal use only and shall not be self-archived in electronic repositories. If you wish to self-archive your article, please use the accepted manuscript version for posting on your own website. You may further deposit the accepted manuscript version in any repository, provided it is only made publicly available 12 months after official publication or later and provided acknowledgement is given to the original source of publication and a link is inserted to the published article on Springer's website. The link must be accompanied by the following text: "The final publication is available at link.springer.com".

Problemorientiertes Online-Lernen im Biologieunterricht: Fähigkeitsselbstkonzept, mentale Anstrengung und Vorwissen als Prädiktoren für Wissenserwerbsprozesse zwischen Instruktion und Konstruktion

Jörg Zumbach · Stephanie Moser ·
Ulrike Unterbruner · Georg Pfligersdorffer

Eingegangen: 23. Januar 2014 / Angenommen: 18. Februar 2014
© Gesellschaft für Didaktik der Physik und Chemie (GDPC) 2014

Zusammenfassung Ausgehend von zentralen Themen des Biologieunterrichts in Österreich wurden mehrere Online-Module zur Ökologie des Auwaldes entwickelt. Dabei wurden entweder instruktionsorientierte oder problemorientierte Komponenten in die Lernumgebung implementiert. In einem quasiexperimentellen Pre-Post-Design ($N=463$) wurde untersucht, welche Prädiktoren maßgeblichen Einfluss auf den Lernerfolg nehmen. Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass die Lernenden mehr durch primär instruktionales Vorgehen von der Lernumgebung profitieren als von problemorientierten Lernen. Eine Analyse der Prädiktoren für den Lernerfolg zeigt, dass dieser Effekt durch verschiedene Parameter beeinflusst wird. Die Ergebnisse deuten drauf hin, dass das Fähigkeitsselbstkonzept der Lernenden mit einer tieferen oder oberflächlichen Informationsverarbeitung zusammenhängt. Lernende mit einem hohen fachspezifischen Fähigkeitsselbstkonzept verwenden weniger mentale Anstrengung bei der Informationsverarbeitung. Sie zeigen eine geringere Lernleistung als Schüler (Im Interesse einer besseren Lesbarkeit verzichten wir auf die ausdrückliche Differenzierung von geschlechtsspezifischen Personenbezeichnungen. Die gewählte männliche Form schließt eine adäquate weibliche Form gleichberechtigt ein), welche über ein höheres Maß an mentaler Anstrengung berichten und ein weniger ausgeprägtes Fähigkeitsselbstkonzept verfügen. Spezifische Analysen zeigen einen Aptitude-Treatment-Interaktionseffekt, welcher deutlich macht, dass dieses Verhältnis bei der problemorientierten Bedingung stärker ausgeprägt ist als bei der instruktionsorientierten Lernumgebung.

Schlüsselwörter Biologieunterricht · Lernplattform · Online-Lernen · Instruktionsorientiertes Lernen · Problemorientiertes Lernen · Fähigkeitsselbstkonzept

Problem-oriented Online-Learning in the Biology Classroom: Ability Self-Concept, Mental Effort, and Prior Knowledge as Predictors for Knowledge Acquisition between Instruction and Knowledge Construction

Summary Based on central themes of the Austrian biology curriculum, we developed several online-modules addressing several concepts around the ecology of alluvial forests. These modules were either designed after principles of direct instruction or as problem-oriented learning environment. In a quasi-experimental pre-post-design ($N=463$) predictors of learning performance were analyzed comparing direct instruction with problem-oriented learning. Overall, results suggest that learners benefit more from direct instruction than from primarily self-directed problem-oriented learning. A more detailed analysis of predictors for learning performance within a linear regression analysis revealed that this effect is mediated by some other variables. It seems that the basic attitude of learners towards the learning environment influences either deep or narrow information processing. Learners with a high subject-related ability self-concept report about lower mental effort in information processing. This lower mental effort accompanies lower performance compared to learners with low-ability self-concept who invest a higher amount of mental effort and have a higher increase in knowledge acquisition from pre- to post-test. More specific analyses reveal an Aptitude-Treatment-Interaction-Effect showing that

J. Zumbach (✉) · S. Moser · U. Unterbruner · G. Pfligersdorffer
School of Education, Universität Salzburg,
Hellbrunner Str. 34, 5020 Salzburg, Österreich
E-Mail: joerg.zumbach@sbg.ac.at

this relation is rather distinctive in the problem-oriented condition than in the direct instruction condition.

Keywords Biology education · Learning platform · Online-learning · Direct instruction · Problem-oriented learning · Self-concept

Problemorientiertes Online-Lernen im Biologieunterricht: Prädiktoren für Wissenserwerbsprozesse zwischen Instruktion und Konstruktion

Mit dem Paradigmenwechsel von behavioristischen hin zu konstruktivistischen Auffassungen von Wissenserwerb in der Lehr- und Lernpsychologie und der damit einhergehenden Betonung der Eigenkonstruktion von Wissensstrukturen gewinnen problemorientierte Lernangebote immer mehr an Bedeutung (vgl. Zumbach 2012). Zwar dominieren in schulischen Unterrichtsszenarien nach wie vor gegenstandszentrierte Lernumgebungen, dennoch nehmen auch lernerzentrierte Konzepte immer mehr Raum ein (je nach didaktischer Überlegung sind Ansätze aus beiden Zugänge indiziert; vgl. Reiss und Hammer 2010). Aktivierende Unterrichtselemente, wie etwa das selbstgesteuerte Lernen anhand von Aufgaben und komplexen Problemstellungen, sind nicht mehr aus der gegenwärtigen Bildungslandschaft wegzudenken: Gerade im Rahmen der Diskussion um kompetenzorientiertes Unterrichten (vgl. z. B. BMUKK 2012) oder der Diskussion um Aptitude-Treatment-Interaktionseffekte (vgl. Snow und Farr 1987) sind solche Ansätze nicht nur unvermeidbar, sondern geradezu indiziert. Mit dem Zugang über die Wechselwirkung von individuellen Lernerigenschaften mit spezifischen Lernangeboten ist gemeint, dass Lernende nach bestimmten Kriterien nicht homogen betrachtet werden, sondern dass für alle Lernenden mit ihren jeweils individuellen Dispositionen und Zuständen eine spezifische, anregende Lernsituation erreicht werden kann (vgl. z. B. Rautenhaus 2007). Hinsichtlich des kognitiven Leistungsvermögens impliziert dies etwa, dass leistungstärkere und leistungsschwächere Schüler unterschiedlich auf bestimmte Lerngelegenheiten reagieren, weshalb unter Berücksichtigung beispielsweise des Vorwissens eine individuelle Unter- bzw. Überforderung vermieden werden sollte. Zudem sollten schlussendlich alle Schüler bestimmte Mindestanforderungen erfüllen können. Diese Anforderungen auf Durchschnittsniveau können im Zusammenhang mit der Einführung von Bildungsstandards auch als sog. „Regelstandards“ aufgefasst werden (vgl. Aff 2006; KMK 2004; Van Ackeren 2003).

Im Wesentlichen resultiert also ein solches Vorgehen entsprechend den Prinzipien der Aptitude-Treatment Inter-

action (vgl. Snow 1992; Snow und Farr 1987) darin, dass unterschiedliche Eigenschaften von Lernenden mit ein und derselben Intervention zu unterschiedlichen Ergebnissen führen können. Im Umkehrschluss lässt sich daraus ableiten, dass jeweils auf die Lernenden abgestimmte Lernangebote gemacht werden sollten, um ähnliche Ziele bei heterogenen Lernenden zu erreichen. Hierbei können unterschiedlichste Lernereigenschaften Berücksichtigung finden, neben dem Stand des Vorwissens (vgl. Kalyuga 2007) etwa Interesse (Krapp 1998) oder Leistungsmotiv (Köller 1998).

In der vorliegenden Studie ist die übergreifende Fragestellung, wie mit Lernplattformen solche Lernangebote für Lernende mit unterschiedlichen Voraussetzungen eingesetzt werden können. Hier sollen neben kognitiven Voraussetzungen (Vorwissen) vor allen Dingen auch motivational-kognitive Aspekte einbezogen werden. Insbesondere das Fähigkeitsselbstkonzept von Schüler und die mentale Anstrengung sollen dabei eine zentrale Rolle spielen. Im Folgenden wird näher auf diese Faktoren eingegangen.

Fähigkeitsselbstkonzept

Das Fähigkeitsselbstkonzept einer Person kann als die Beschreibung und Einschätzung der eigenen Fähigkeiten definiert werden, in welcher Vorstellungen über Höhe, Struktur und Stabilität dieser Fähigkeiten eingeschlossen sind (Stiensmeier-Pelster und Schöne 1998). Diese Beschreibungen und Einschätzungen können hinsichtlich schulischer Fähigkeiten entweder als global (bezogen auf allgemeine, fächerübergreifende schulische Fähigkeiten) oder fachspezifisch (z. B. mathematische oder sprachliche Fähigkeiten) gelten. Zur Messung des Fähigkeitsselbstkonzepts von Schülern finden sich in der Literatur häufig Selbstbeschreibungsforschungsbögen, wie etwa das Differentielle Selbstkonzept-Gitter (DISK-Gitter; Schillig et al. 2005) oder die Skalen zur Erfassung des schulischen Selbstkonzepts (SESSKO; Schöne et al. 2002). Verschiedene Studien zeigen, dass das Fähigkeitsselbstkonzept insbesondere bei längerfristigen Lernprozessen eine grundlegende Rolle spielt. So zeigt die Langzeitstudie von Guay et al. (2004), dass das Fähigkeitsselbstkonzept die Schulleistungen zehn Jahre später vorhersagen kann und dies noch besser als die Schulleistungen zum ersten Messzeitpunkt. Spinath und Stiensmeier-Pelster (2003) konnten zeigen, dass Lernende mit einem geringen fachspezifischen Fähigkeitsselbstkonzept ihren Lernerfolg gering einschätzen, wenn ihnen performanzorientierte Lernziele vorgegeben werden. Das Fähigkeitsselbstkonzept steht dabei in engem Zusammenhang mit der Leistungsmotivation (vgl. Dweck 1986, Dweck und Leggett 1988) und damit auch mit unterschiedlichen Attributionsmustern (z. B. Dickhäuser und Buch 2009). Lernende mit einem hohen Fähigkeitsselbstkonzept hingegen sind eher leistungsmotiviert und attribuieren Erfolg mehr auf eigene Anstrengung und

Fähigkeiten. So ist etwa auch bei der Förderung des Fähigkeitsselbstkonzepts die Förderung von Attribuierungen des Lernerfolgs auf hohe Anstrengungen und auf hohe Fähigkeiten erfolversprechend (vgl. Dresel und Ziegler 2006). Die hier skizzierten Studien und Befunde beziehen sich in der Regel auf übergreifende Längsschnittstudien in primär instruktionalen Unterrichtsumgebungen oder konkrete Analyse- und Förderexperimente, bei denen das Fähigkeitsselbstkonzept im Zentrum etwaiger Experimente steht. Offen bleibt die Frage, wie das Fähigkeitsselbstkonzept sich in problemorientierten Lernumgebungen auf die Nutzung und den Lernerfolg auswirkt. Hier ist es insbesondere fraglich, wie Lernende mit unterschiedlichem fachbezogenem Fähigkeitsselbstkonzept (fachbezogenes FSK, hier die Ausprägung des eigenen Fähigkeitsselbstkonzeptes innerhalb einer Disziplin) mit didaktisch unterschiedlich gestalteten Lernarrangements umgehen: So könnten Lernende mit geringerem fachbezogenem FSK mehr von instruktionalen Methoden profitieren, während Lerner mit hohem FSK ggf. einen Vorteil von problemorientierten Maßnahmen haben (z. B. Phillips und Gully 1997). Eine zentrale Rolle spielt dabei die mentale Anstrengung während des Lernens.

Mentale Anstrengung

Die mentale Anstrengung einer Person beschreibt den individuellen kognitiven Aufwand, der zur Erbringung einer bestimmten (Lern-)Leistung notwendig ist (Hart und Staveland 1988). Grundlegend sind hier Theorien zur kognitiven Belastung beim Lernen wie etwa die Cognitive Load Theory von Sweller et al. (1998): Diese geht zum Einen von stark begrenzter Kapazität des Arbeitsgedächtnisses aus (siehe u. a. Miller 1956) und zum Anderen von drei unterschiedlichen kognitiven Belastungen beim Lernen: der intrinsischen Belastung (die aufgabenspezifisch ist), der extrinsischen Belastung (die von der Gestaltung der Lernumgebung abhängt) und der lernbezogenen Belastung (die bei Verstehensprozessen auftritt, etwa der Integration von neuem Wissen in bereits bestehende Wissensstrukturen). Die mentale Anstrengung entspricht im Sinne dieser Theorie der Art von kognitiven Belastung, die von Lernenden bereitgestellt werden muss, um den Anforderungen der gestellten Lernaufgabe gerecht zu werden (Paas et al. 2003; Sweller et al. 1998). Verschiedene Studien konnten einen Einfluss der mentalen Anstrengung in unterschiedlichsten Lernsituationen feststellen. Salomon (1984) wies beispielsweise eine Interaktion von mentaler Anstrengung und der Beurteilung von Lernmaterialien nach. Demnach investieren Lernende mehr mentale Anstrengung, wenn sie mit Medien lernen, die sie eher als schwierig einschätzen, wohingegen als leichter eingeschätzte Medien eher zu weniger mentaler Anstrengung führten. Je geringer also die Anforderungen

der Lernumgebung wahrgenommen wurden, desto geringer war auch die mentale Anstrengung des Lernalers, während höhere wahrgenommene Anforderungen zu einer stärkeren mentalen Anstrengung führten. Eine größere mentale Anstrengung führt weiterhin zu tieferer Verarbeitung des Lerninhalts und damit zu besseren Lernergebnissen (Paas et al. 2004). Paas et al. (2005) stellen darüber hinaus einen positiven Zusammenhang zwischen mentaler Anstrengung, Motivation und Wissenszuwachs fest: je motivierter die Lernenden waren, je mehr sie sich also bei der Lernaufgabe engagierten, desto wahrscheinlicher ist es, dass größere mentale Anstrengung investiert und somit bessere Lernergebnisse erzielt werden. Es gibt mittlerweile eine Vielzahl an Verfahren zur Messung von kognitiver Belastung bzw. mentaler Anstrengung (für einen Überblick siehe Paas et al. 2003). Neben physiologischen Verfahren wie beispielsweise Herzfrequenzmessungen werden zur Erfassung der mentalen Anstrengung am häufigsten Fragebögen verwendet, welche die subjektiven Einschätzungen der Lernenden festhalten, wie viel kognitiven Aufwand sie beim Bearbeiten der Lernaufgabe eingebracht haben (de Jong 2010). Beispiele für solche Instrumente sind die eindimensionale Mental Effort Rating Scale (MERS, Paas und van Merriënboer 1994) oder der mehrdimensionale NASA-TLX (Hart und Staveland 1988). Neben der mentalen Anstrengung und dem Selbstkonzept ist das Vorwissen ein zentraler Faktor für den Wissenszuwachs von Lernenden.

Vorwissen

Das Vorwissen charakterisiert die Wissensbasis von Lernenden, die sie zu Beginn einer Lerneinheit haben, sei es nun zu Beginn einer Unterrichtsstunde, eines Semesters oder eines Wechsels in höhere Schulen. Kalyuga (2007) weist darauf hin, dass das Vorwissen von Lernenden als wichtige kognitive Komponente starken Einfluss auf den Lernerfolg nimmt. Auch Hattie (2013) konnte in seiner Metastudie den Einfluss des Vorwissens von Schülern auf deren Lernleistung zeigen: „Über das gesamte Ausbildungssystem erweist sich das vorhergehende Leistungsniveau als ein starker Prädiktor“ (S. 50). Vor allem bei großen Unterschieden im Vorwissen zwischen Lernenden, wie sie zwischen Experten und Novizen vorkommen, können ein und dieselbe Lernumgebung unterschiedliche Lernerfolge erzielen: was erfolgreiches Lernen bei Novizen auslöst, kann negative Konsequenzen bei fortgeschrittenen Lernenden haben (der sog. „Expertise-Reversal-Effekt“; vgl. Kalyuga 2007; Kalyuga et al. 2003). Kalyuga und Sweller (2004) stellten darüber hinaus fest, dass Lernende mit geringerem Vorwissen eher von gut strukturierten Lernumgebungen profitierten, während Lernende mit höherem Vorwissen mehr Lernerfolg in problemorientierten Umgebungen hatten.

Problemorientierte Lernangebote mit Hilfe neuer Informations- und Kommunikationstechnologien

Mit Hilfe von Neuen Medien, also digitalen Informations- und Kommunikationstechnologien, lässt sich der Lernort über den Horizont des Klassenzimmers hinaus deutlich erweitern. Durch verschiedene Technologien der Informations- und Kommunikationsangebote steht Lernenden eine nahezu unbegrenzte Anzahl an Lerngelegenheiten zur Verfügung, welche allerdings stark in ihrer didaktischen Struktur variieren können. Gerade mit einem Einsatz von Online-Lernangeboten, welche zumeist über sog. „Lernplattformen“ angeboten werden, verbinden sich verschiedenste positive, wenn auch häufig recht unflektierte Erwartungen. Denn der Einsatz solcher Lernangebote ist an sich noch keine didaktische Innovation, wie häufig propagiert wird, sondern ausschließlich ein Wechsel des Kommunikations- bzw. Präsentationsmediums (vgl. Unterbruner et al. 2008). Schulmeister (2003, S. 151) kritisiert genau diesen Aspekt und hält fest: „Lernplattformen sind aus didaktischer Sicht und gemessen an der Qualität der Präsenzlehre ein historischer Rückschritt“. Lernplattformen dienen oftmals lediglich als Ablage für Informationsmaterialien und Abgabeort für Hausaufgaben und werden dabei didaktisch kaum strukturiert, geschweige denn reflektiert. Nach Schulmeister (2003) dominiert häufig eine expositorische oder instruktionalistische Lehrform. Zur Verwendung von Lernplattformen im schulischen Unterricht liegen kaum fundierte empirische Untersuchungen vor, wohl aber zahlreiche Erfahrungsberichte. Engagierte Lehrer beschreiben den Einsatz von Lernplattformen jedoch als sinnvolle Ergänzung zum Unterricht, die tendenziell motivierend und förderlich für selbständiges Lernen sei und sich von Vorteil für leistungsschwächere Schüler erweisen würde (vgl. Häfele und Maier-Häfele 2004; Unterbruner et al. 2008). Gerade im schulischen Unterricht werden Online-Lernmaterialien in erster Linie als sog. „Blended Learning“-Angebote realisiert, d. h. in einer Verbindung von Online- und Präsenzlernphasen (Häfele und Maier-Häfele 2004; Reinmann-Rothmeier 2003; Reinmann 2005).

Die Förderung eines aktiven, primär selbstgesteuerten Lernens kann als ein zentrales Anliegen einer zeitgemäßen Didaktik angesehen werden. Problemorientiertes Lernen wird zumeist als individuelles, selbstgesteuertes Lernen anhand von authentischen Problemen verstanden (Gräsel 1998; Zumbach 2006). Charakteristisch für diese Lernform sind also Aufgaben, deren Ausgangslage und Lösungsweg für die Lernenden zunächst nicht eindeutig klar sind und auf eigenständige, selbstbestimmte Weise gelöst werden sollen (Funke und Zumbach 2006). In Abgrenzung zum problembasierten Lernen, in welchem die Arbeit in Kleingruppen unabdingbar ist, ist diese beim problemorientierten Lernen zwar möglich, jedoch nicht unbedingt erforderlich (Zumbach 2006).

Im Gegensatz zu instruktionalen Formen des Lehrens, die auf eher gegenstandsorientierten Ansätzen beruhen, handelt es sich beim problemorientierten Lernen also um einen lernerzentrierten Ansatz, der nicht die Wissensvermittlung durch die Lehrenden, sondern den individuellen Wissensaneignungsprozess der Lernenden in den Mittelpunkt rückt. Zentral ist dabei die eigenständige Bearbeitung (und Lösung) authentischer, komplexer wie zumeist schlecht-strukturierter Probleme, welche durch Lehrende vorgegeben werden (vgl. Gräsel 1998). Nun aber anzunehmen, dass es sich hierbei um komplett selbstgesteuertes und freies Lernen, also ohne etwaige Strukturierungs- und Organisationsmaßnahmen durch Lehrende handelt, ist falsch. Vielmehr handelt es sich um primär vorstrukturierte Lernangebote, welche auf die Unterrichtsziele angepasst sind. Dabei sind die Inhalte so aufbereitet, dass Lernende sowohl kognitiv als auch motivational die Möglichkeit haben, in erster Linie selbstgesteuert vorzugehen. Hannafin et al. (1999) folgend sind die Lernziele hier zwar extern spezifiziert und induziert, werden jedoch intern, d. h. vom Lernenden verfolgt. Dazu gehört auch, dass in problemorientierten Lernumgebungen neben inhaltlichen Lernprozessen, die Förderung von Problemlösekompetenzen und Metakognitionen verfolgt werden. Eine Problemorientierung wird daher unter mehreren theoretischen Blickwinkeln als förderlich für den Wissenserwerb betrachtet – etwa im Bereich des Biologieunterrichts insbesondere in der Umweltbildung, Gesundheitsförderung, im Ethikunterricht oder auch im Projekt- und Experimental-Unterricht (vgl. Unterbruner und Pfligersdorffer 2007b). Auch wenn diese konzeptuellen Überlegungen für den Einsatz problemorientierter Lernumgebungen sprechen, zeigen empirische Studien, dass die Verwendung dieses Ansatzes durch unterschiedliche innere und äußere Rahmenbedingungen des Lernens beeinflusst wird. So zeigen verschiedene Studien im Bereich der Gestaltung von Problemstellungen, dass diese maßgeblich das Lernverhalten beeinflussen (vgl. Zumbach 2003). Konkret können zu globale Problemstellungen dazu führen, dass Lernende eigene Lernziele verfolgen, welche etwa nur kaum oder gar nicht mit den intendierten Lehrzielen übereinstimmen (vgl. Dolmans et al. 1993; Mpofo, Das, Murdoch & Lanphear 1997). Hier können strukturiertere Problemvorgaben mit eingegrenzten Teilproblemen vermeiden, dass diese Passung zwischen subjektiven Lernzielen und intendierten Lehrzielen deutlich erhöht wird und die Gefahr eines „Vorbeilernens“ vermieden werden kann (vgl. Abrandt Dahlgren 2000; Bannert 1998). Auch die Strukturierung des Problemlöseprozesses selbst kann den Erfolg oder Misserfolg beim problemorientierten Lernen maßgeblich beeinflussen (eine kritische Betrachtung zeigen etwa Kirschner et al. 2006). Ist der Problemlöseprozess strukturiert und folgt etwa vorgegebenen Problemlöseschritten, so sind keine Nachteile durch eine etwaige kognitive Überlastung zu erwarten

(vgl. Hmelo-Silver et al. 2007; Schmidt et al. 2007). Eine solche Struktur kann vorgegeben werden (vgl. Zumbach 2006) oder/und durch betreuende Personen (Tutoren, Lehrer) realisiert werden. Gerade der Grad dieser Steuerung durch Lehrkräfte nimmt wiederum auch direkten Einfluss auf Lernprozesse und Lernerfolg beim problemorientierten Lernen. So zeigen van Berkel und Dolmans (2006), dass die tutorielle Förderung von selbstgesteuertem und aktivem Lernen sich positiv auf die Qualität der Bearbeitung von Problemstellungen auswirkt. Die Qualität von Problemstellungen wirkt sich wiederum selbst auf die erfolgreiche, hier kollaborative Zusammenarbeit von Lernenden aus und damit auch auf den Lernerfolg. Ähnliche Befunde berichten Zumbach und Spraul (2007), wobei fachliche versus nicht-fachliche Betreuung von Lernenden beim Problemlösen untersucht wurden. Deren Befunde zeigen, dass eine fachliche Unterstützung beim Problemlösen zu besseren Lernleistungen führte während ausschließlich moderierend unterstützten Lernende ihren tatsächlichen Leistungsstand systematisch unterschätzten und weniger mentale Anstrengung beim Bearbeiten einer Problemstellung investierten. Neben der Gestaltung und Steuerung problemorientierten Lernens spielt auch noch die Frage der Wissensüberprüfung eine zentrale Rolle bei dessen Bewertung. Verschiedene Metaanalysen kommen zu dem Befund, dass bei der Überprüfung deklarativen Wissens, instruktionsorientierte Lehrformen zu einer besseren Performanz von Lernenden führen als problemorientierte Ansätze (z. B. Dochy et al. 2003). Allerdings zeigen Gijbels et al. (2005), dass solche Befunde sehr stark von der Art der Messung der zu erfassenden Konstrukte abhängen. So zeigten sie in ihrer Studie, dass je nach unterschiedlicher Art der Wissensüberprüfung unterschiedliche Arten des Wissenserwerbs gemessen und dann in einschlägigen Metaanalysen vermischt werden. Analysiert man unterschiedliche Arten von Wissensqualität, so zeigt sich, dass problemorientiertes Lernen die größten Effekte hat (vgl. auch Schmidt et al. 2007). Neben diesen äußeren Faktoren nehmen auch noch andere Variablen Einfluss auf das problemorientierte Lernen. Van Den Hurk (2006) zeigt, dass Lernende mit einem höheren Maß an metakognitiven Kompetenzen wie etwa Zeitmanagement sowie Selbstregulation mehr von problemorientierten Lernangeboten profitieren als dies Lernende mit geringer ausgeprägten Kompetenzen in diesen Bereichen tun (vgl. auch Loyens et al. 2008). Auch lernbezogene Eigenschaften wie Lernzielorientierung und Selbstwirksamkeit nehmen positiven Einfluss auf problemösendes Lernen (Phillips und Gully 1997). Zusammenfassend zeigen die skizzierten Konzepte zwar, dass die Verwendung problemorientierten Lernens bei der Vermittlung biologischer Konzepte vielversprechend zu sein scheint, jedoch die Freiheitsgrade bei der Gestaltung als auch Umsetzung die Wirksamkeit und den Erfolg einer solchen Maßnahme in großem Maße beeinflussen können.

Forschungsfragen und Hypothesen

Mit der folgenden Studie sollte näher untersucht werden, welche Faktoren den Wissenserwerb beim problemorientierten Lernen mit einem internetbasierten Lernangebot beeinflussen und wie sich diese Faktoren von eher instruktionsorientierten Lernangeboten unterscheiden. Konkret sollte hier regressions- und korrelationsanalytisch untersucht werden, in welcher Relation die mentale Anstrengung von Lernenden bei der Bearbeitung des Lernmaterials, deren fachspezifisches Fähigkeitsselbstkonzept (FSK) und der Wissenszuwachs, also die Differenz zwischen individuellem Vorwissen und dem Ergebnis im Wissenstest nach dem Lernen zueinander stehen. Hier ist grundsätzlich anzunehmen, dass eine höhere mentale Anstrengung auch zu einer tieferen Verarbeitung und somit zu einem höheren Wissenszuwachs führt (vgl. Paas et al. 2004). Offen ist jedoch die Frage, wie dieser Prozess durch das jeweils subjektiv wahrgenommene fachspezifische Fähigkeitsselbstkonzept beeinflusst wird. Hier besteht zum einen die Möglichkeit, dass das FSK eine tiefere Auseinandersetzung mit den Lernmaterialien begünstigt (z. B. Dickhäuser und Buch 2009). Möglich wäre allerdings auch, dass ein hohes FSK zu einer oberflächlichen Bewertung der Schwierigkeit des Lernmaterials führt, welche ggf. als zu leicht empfunden wird. Als Konsequenz könnten Lernende hier weniger mentale Anstrengung investieren und somit weniger von den vorgegebenen Lernmaterialien profitieren (z. B. Zumbach et al. 2008). Dabei ist zudem varianzanalytisch zu prüfen, wie dies mit der Gestaltung der Lernumgebung interagiert. Stehen den Lernenden mehr Freiheitsgrade zur Verfügung, etwa beim problemorientierten Lernen, so könnte im Gegensatz zu einer instruktionsorientierten Lernumgebung eine oberflächliche Verarbeitung erfolgen, da ggf. nur Teillösungen für die zu bearbeitenden Problemstellungen erarbeitet werden. Dies wiederum könnte aus einer eingeschränkten bzw. oberflächlichen Bearbeitung der Lernressourcen resultieren.

Methode

Für die hier durchgeführte Studie wurde auf das Online-Lernangebot *natureLe@rn* zurückgegriffen (www.naturelearn.at). Dieses Lernangebot wurde so gestaltet, dass neben der Darstellung einer zeitgemäßen und aktuellen Ökologie sowohl dem Blended Learning-Ansatz als auch einer problemorientierten und situierten Vermittlung entsprochen werden konnte. Das zentrale Thema der Unterrichtseinheit für die 10. Schulstufe, die hier entwickelt wurde, ist die Ökologie des Auwalds in insgesamt acht moodle-Kursen. Die inhaltliche Darstellung folgt thematischen Schwerpunkten zur Aut-, Dem- und Synökologie. Hierbei kommen moderne ökologische Konzepte, wie Patchdynamics und Ungleich-

gewichtsökologie (vgl. Townsend et al. 2002) ebenso zum Tragen wie Aspekte der Nachhaltigen Entwicklung im Sinne der Agenda 21 (UNCED 1992).

Die Donauauen im oberösterreichischen Machland, einer der letzten „europäischen Dschungel“ und Natura 2000-Schutzgebiet, bilden den konkreten Ausgangspunkt für eine intensive Beschäftigung mit den Grundlagen der Ökologie. Am Beispiel dieses Lebensraumes sollen Lernende befähigt werden, sich mit der Gestaltung von Natur und Umwelt auseinander zu setzen, insbesondere um im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung über die Gestaltung (Erhaltung) von Natur wissenschaftsbasiert entscheiden zu können (vgl. z. B. Eggert und Bögeholz 2006).

Für die vorliegende Studien wurden drei Module des Lernangebots *natureLe@rn* in zwei Varianten ausgearbeitet, von denen eine instruktionsorientiert und die andere problemorientiert gestaltet war. Die übrigen Module wurden aus Gründen der zeitlich begrenzten Studiendauer nicht für diese Untersuchung gezielt variiert, sondern ausschließlich als Unterrichtsmaterial im Sinne einer Serviceleistung für interessierte Lehrer zur Verfügung gestellt. Die in der vorliegenden Studie vorgestellte Datenerhebung und Auswertung bezieht sich daher auf die Bearbeitung der ersten drei Module, da die restlichen fünf Module nur in problemorientierter Form ausgearbeitet und auch nicht untersucht wurden.

Stichprobe

An dieser Studie nahmen 21 Schulklassen österreichischer Gymnasien (10. Schulstufe) teil. Insgesamt waren dies 463 Teilnehmende (240 davon weiblich). Die Probanden waren im Durchschnitt etwa 16 Jahre alt ($M=15,87$; $SD=0,85$). Die Teilnahme erfolgte in regulären Unterrichtsstunden im Fach Biologie und Umweltkunde in einem Ausmaß von ca. 10 bis 11 Unterrichtsstunden. Das Fach Biologie und Umweltkunde hat die biologische Grundbildung der Schüler zum Ziel. Der Lehrplan sieht für die Oberstufe neben den zentralen Themen Mensch und Gesundheit, Weltverständnis und Naturerkenntnis sowie Biologie und Produktion auch die Beschäftigung mit Ökologie und Umwelt vor: „Die Schülerinnen und Schüler sollen Wissen und Kompetenzen erwerben, die sie für einen umweltbewussten, nachhaltigen Umgang mit unseren Lebensgrundlagen motivieren und befähigen. Die Bedeutung des Arten- und Biotopschutzes soll erkannt werden“ (BMUKK 2004, S. 1). Vor Beginn der Studie wurden die Lehrer in das Programm *natureLe@rn* eingeführt, anschließend führten sie die Lerneinheiten mit den Schülern selbst durch.

Untersuchungsmaterial und Variablen

Als Untersuchungsmaterial dienten drei Module der Lernumgebung *natureLe@rn* (Unterbruner und Pfligersdorffer

2007a). Dabei wurden diese Module jeweils in einer problemorientierten Variante und in einer instruktionsorientierten Variante ausgearbeitet. Als unabhängige Variable wurden diese zwei Versionen dann miteinander verglichen. Die Inhalte und Arbeitsunterlagen waren identisch und die Lernenden mussten beide Versionen weitgehend selbstständig bearbeiten. Alle Informationen und Aufgaben wie Texte, Internet-Recherchen und Videos wurden mittels der Lernplattform moodle präsentiert. Auch etwaige Aufgabenbearbeitungen mussten in der Lernplattform erfolgen. In beiden Varianten wurde mit denselben authentischen Problemstellungen gearbeitet, so wurde die Einheit „Zum Konzept der Ökologischen Nische“ mit folgender Problemstellung eingeleitet: „Seit etwa 10 Jahren tauchen in der Donau-Au Silberreiher auf, werden dort zunehmend heimisch und veränderten innerhalb weniger Jahre ihr Zugverhalten, teilweise sogar ihre Nahrungsgewohnheiten vom reinen Fischfänger hin zum Mäusefresser. Welche Faktoren sind es, die dieses veränderte Migrationsverhalten der Silberreiher hervorrufen?“. Die Aufgabe der Lernenden in der problemorientierten Bedingung war es, eigene Hypothesen für dieses Phänomen aufzustellen, sich Informationen allgemein-ökologischer Art (Ökologische Nische) wie auch über Biologie und Ökologie der Silberreiher im Besonderen zu erarbeiten. In weiteren Arbeitsschritten sollten die Lernenden ihre Überlegungen in einem Forum innerhalb der Lernplattform diskutieren und mit weiterer ökologischer Literatur absichern bzw. modifizieren. In der instruktionsorientierten Variante wurde das Vorkommen der Silberreiher in der Donau-Au ebenfalls zu Beginn des Kurses thematisiert. Gleichzeitig wurden dazu den Schülern aber auch die von Ökologen meist diskutierten Hypothesen „Klimawandel“ und „Populationsdruck“ präsentiert. In der instruktionsorientierten Bedingung stand somit die systematische Inhaltsvermittlung im Mittelpunkt, in der problemorientierten Bedingung hingegen die individuelle und selbstgesteuerte Auseinandersetzung mit der Thematik. In beiden Varianten standen dieselben Informationen zur Verfügung, wobei diese aber eben entweder in sachlogischer Sequenz präsentiert wurden (instruktionsorientiert) oder selbstgesteuert zur Problemlösung durch die Lernenden herangezogen werden mussten (problemorientiert). Die Bearbeitung aller drei Module beanspruchte durchschnittlich einen Zeitraum zwischen zehn und elf Unterrichtsstunden.

Neben dem Vergleich der problemorientierten und instruktionsorientierten Lernumgebung wurde als Moderatorvariable das fachspezifische Fähigkeitsselbstkonzept bezüglich schulischer Leistung im Bereich Biologie eingesetzt (Beispielitems: „In Biologie fallen mir viele Aufgaben schwer“, „Ich kann in Biologie viel“, „Ich bin für Biologie sehr begabt“) und mittels modifizierter Version der Skalen zur Erfassung des schulischen Selbstkonzepts erhoben (vgl. Schöne et al. 2002; Cronbachs' $\alpha=0,72$; verwendet

wurde eine fünfstufige Likert-Skala). Als abhängige Variable wurde der Wissenszuwachs durch einen Prä-Post-Vergleich erfasst (offene und Multiple-Choice-Fragen; Beispiel für eine geschlossene Frage, richtige Antwort *kursiv*: Was versteht man unter einem Habitat? A) Die Brutstätte von Greifvögeln; B) der Bereich, den eine Tierart für sich verteidigt; C) *der Ort, an dem eine Tier- oder Pflanzenart lebt*; D) ein Schutzgebiet für Tiere und Pflanzen; Beispiel für eine hier verkürzt dargestellte offene Frage: „Im Teufelsmoor nördlich von Bremen befindet sich ein größerer See mit dem Namen ‚Breites Wasser‘. Glaubst du, dass das Gebiet um das „Breite Wasser“ für Silberreiher geeignet wäre? Begründe Deine Entscheidung.“ Zur Beantwortung erhielt die Aufgabe eine detaillierte Beschreibung der Region Teufelsmoor sowie eine Angabe der dort beheimateten Vogelarten). Insgesamt wurden für jeden inhaltlichen Teil zwölf Fragen jeweils im Vor- und Nachtest erfasst (insgesamt 36 Items; *Cronbach's Alpha* = 0,67; mittlere Aufgabenschwierigkeit = 0,65). Die Aufgaben weisen alle Expertenvalidität auf, da sie im Vorfeld der Untersuchung inhaltlich durch zwei Expert aus dem Bereich Biologiedidaktik und Naturschutzsachkundigen hinsichtlich ihrer Eignung begutachtet wurden. Die Lernenden wurden unmittelbar nach jeder der drei Einheiten hinsichtlich ihrer mentalen Anstrengung befragt (mit einer adaptierten Version des NASA-TLX, Hart und Staveland 1988; *Cronbach's Alpha* = 0,70; verwendet wurde auch hier eine fünfstufige Likert-Skala; Beispielitems: „Es war anstrengend, die Inhalte der Lernumgebung zu verstehen“, „Beim Studieren/Lösen der Lernaufgaben musste ich mich geistig anstrengen“, „In der Lernumgebung zu navigieren, z. B. sich zurechtfinden, war anstrengend“). Auch die mentale Anstrengung wurde hier als Moderatorvariable erfasst.

Design und Verlauf der Untersuchung

Der Studie lag ein einfaktorielles, quasi-experimentelles Design zugrunde. Die Schulklassen wurden zufällig einer der beiden Bedingungen zugeteilt, d. h. die Bedingung innerhalb dieser Schulklassen war konstant entweder instruktionsorientiert oder problemorientiert. Zu Beginn der

Untersuchung wurden das Fähigkeitsselbstkonzept (FSK) und das Vorwissen erhoben. Nach jedem Modul gab es einen Wissensnachtest sowie die Erhebung der mentalen Anstrengung. Im Rahmen der Versuchsdurchführung wurden die Lernenden ausschließlich durch ihre Lehrkräfte betreut. Diese wurden im Vorfeld nicht über die quasi-experimentelle Versuchsanordnung informiert, wurden jedoch in den Umgang mit *natureL@rn* eingeführt und im Hinblick auf die Durchführung der Erhebungen instruiert. Dies erfolgte über schriftlichen Anleitungen, in denen der zeitliche Rahmen, der jeweilige didaktische Ansatz sowie die inhaltlichen Ziele erläutert wurden. Zudem wurden die Lehrkräfte angewiesen, die Lernenden selbstständig mit der jeweils verfügbaren Lernumgebung arbeiten zu lassen und nicht etwa selbst unterrichtliche Maßnahmen zum Thema durchzuführen. Über die Lernplattform gab es zusätzlich die Möglichkeit seitens der Lehrkräfte, Rückmeldungen zu den Lernumgebungen selbst, aber auch zur Untersuchung (z. B. etwaige Probleme etc.) zu geben. Hier wurden keine nennenswerten Kommentare zur Untersuchung abgegeben.

Ergebnisse

Für die Analyse der Lernergebnisse wurden die einzelnen Testitems zu einem Gesamtwert aggregiert. Bei den Wissenstests wurde jede richtig beantwortete Frage mit einem Punkt bewertet und anschließend der Summenwert gebildet. Für jedes Teilmodul konnten maximal 12 Punkte im Vor- oder Nachtest erreicht werden. Die deskriptiven Ergebnisse zeigen, dass die instruktionsorientierte Variante zu leicht besseren Ergebnissen im Wissensnachtest und insbesondere hinsichtlich des Wissenszuwachses zwischen Vor- und Nachtest führt (vgl. Tab. 1). Die mentale Anstrengung hingegen ist in den problemorientierten Lernumgebungen höher. In den folgenden Ergebnisdarstellungen werden zunächst die Unterschiede zwischen beiden Bedingungen analysiert, danach werden einzelne Faktoren innerhalb der Lernumgebungen identifiziert, welche das Lernresultat in welchem Ausmaß beeinflussen.

Tab 1 Mittelwerte in den unterschiedlichen Bedingungen (Maximalwerte bei den einzelnen Wissenstest sind jeweils 12 Punkte, bei der mentalen Anstrengung und dem fachspezifischen FSK ist der Maximalwert 5)

	Instruktionsorientiert			Problemorientiert		
	Vortest	Nachtest	Wissenszuwachs	Vortest	Nachtest	Wissenszuwachs
	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>
Wissenstest Modul 1	4,95 (1,95)	7,56 (1,63)	2,63 (1,98)	5,37 (2,01)	7,39 (1,67)	1,92 (2,17)
Wissenstest Modul 2	7,69 (2,24)	9,58 (2,20)	2,10 (2,71)	8,39 (1,91)	10,08 (1,98)	1,58 (2,19)
Wissenstest Modul 3	7,09 (1,75)	9,20 (1,78)	2,15 (2,11)	7,57 (1,67)	9,04 (1,84)	1,45 (2,03)
Mentale Anstrengung Modul 1		3,49 (0,90)			3,42 (0,93)	
Mentale Anstrengung Modul 2		3,11 (0,99)			3,33 (0,99)	
Mentale Anstrengung Modul 3		3,22 (1,00)			3,48 (0,97)	
Fachspezifisches Fähigkeitsselbstkonzept	2,36 (0,67)			2,38 (0,62)		

Tab 2 Unterschiede in den Entwicklungen der einzelnen Resultate nach der Bloom'schen Wissenstaxonomie

Modul		Vortest			Nachtest		
		Wissen	Verstehen	Anwenden	Wissen	Verstehen	Anwenden
		M (SD)	M (SD)	M (SD)	M (SD)	M (SD)	M (SD)
1	Instruktionsorientiert	1,94 (0,09)	2,89 (0,11)	0,43 (0,04)	3,12 (0,07)	3,69 (0,09)	0,76 (0,03)
	Problemorientiert	2,12 (0,07)	2,53 (0,11)	0,46 (0,04)	2,88 (0,07)	3,76 (0,08)	0,73 (0,04)
2	Instruktionmororientiert	4,07 (0,12)	2,12 (0,09)	1,30 (0,06)	4,69 (0,12)	3,19 (0,09)	1,70 (0,04)
	Problemorientiert	4,35 (0,11)	2,61 (0,09)	1,51 (0,05)	4,96 (0,09)	3,34 (0,09)	1,15 (0,04)
3	Instruktionsorientiert	2,11 (0,07)	4,11 (0,10)	0,83 (0,03)	3,31 (0,06)	5,05 (0,10)	0,84 (0,03)
	Problemorientiert	2,56 (0,08)	4,14 (0,10)	0,88 (0,03)	3,33 (0,06)	4,83 (0,10)	0,86 (0,03)

Eine Überprüfung des Zusammenhangs zwischen den Ergebnissen im Wissensvortest und –nachtest ergab einen positiven Zusammenhang beider Variablen (Modul 1: $r=0,36$; $p<0,01$; Modul 2: $r=0,30$; $p<0,01$; Modul 3: $r=0,28$; $p<0,01$), weshalb hier auf eine kovarianzanalytische Auswertung zurückgegriffen wurde. Die MANCOVA mit den Ergebnissen der Wissensvortests als Kovariaten und den Wissensnachtests sowie den Resultaten bei der mentalen Anstrengung als abhängige Variablen ergab einen signifikanten Haupteffekt für die unabhängige Variable ($F(7, 293)=3,57$; $p=0,001$; $\eta^2=0,08$) sowie einen signifikanten Einfluss der Kovariaten (Vorwissen Modul 1: $p<0,001$; $\eta^2=0,14$; Vorwissen Modul 2: $p=0,001$; $\eta^2=0,08$; Vorwissen Modul 3: $p=0,001$; $\eta^2=0,08$). Eine genauere Analyse der Einzeleffekte zeigt signifikante Unterschiede zwischen instruktionsorientiertem Lernmaterial und problemorientiertem Lernmaterial beim ersten ($F(1, 299)=11,83$, $p=0,03$; $\eta^2=0,02$) und beim dritten Wissensnachtest ($F(1, 299)=14,07$, $p=0,03$; $\eta^2=0,02$), nicht jedoch beim zweiten ($F(1, 299)=1,19$, $p=0,57$; $\eta^2=0,01$).

Eine Betrachtung der deskriptiven Ergebnisse zeigt in Tab. 1 in den Kategorien „Wissenszuwachs“, dass die instruktionsorientierte Bedingung zu besseren Lernresultaten führt als das problemorientierte Lernmaterial. Bei der mentalen Anstrengung zeigen sich keine signifikanten Unterschiede. Bei den Kovariaten zeigt sich ein allgemeiner signifikanter Einfluss des Vorwissenstests der ersten Teileinheit auf alle abhängigen Variablen (Wissenszuwachs Modul 1: $F(1, 300)=238,28$, $p<0,001$; $\eta^2=0,44$; Wissenszuwachs Modul 2: $F(1, 300)=11,50$, $p<0,001$; $\eta^2=0,04$; Wissenszuwachs Modul 3: $F(1, 300)=5,30$, $p=0,02$; $\eta^2=0,02$), die beiden anderen Vorwissenstests sind nur hinsichtlich des jeweils korrespondierenden Wissensnachtests signifikant (Wissensvortest Modul 2– Wissenszuwachs Modul 1: $F(1, 300)=3,03$, $p=0,08$; $\eta^2=0,01$; Wissenszuwachs Modul 2: $F(1, 300)=164,66$, $p<0,001$; $\eta^2=0,35$; Wissenszuwachs Modul 3: $F(1, 300)=2,28$, $p=0,13$; $\eta^2=0,01$; Wissensvortest Modul 3– Wissenszuwachs Modul 1: $F(1, 300)=0,61$, $p=0,44$; $\eta^2=0,002$; Wissenszuwachs Modul 2: $F(1, 300)=0,16$, $p=0,69$; $\eta^2=0,001$; Wissenszuwachs Modul 3: $F(1, 300)=5,25$, $p=0,02$; $\eta^2=0,02$).

In einer weiteren Post-Hoc Analyse wurden die Fragen in den Wissenstests der Bloom'schen Taxonomie folgend in Wissen (knowledge), Verständnis (comprehension) und Anwendung (application) unterschieden. Eine weitere Varianzanalyse ergab jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Bedingungen innerhalb dieser Kategorien ($p>0,05$; vgl. Tab. 2).

Zur Analyse des Einflusses des fachspezifischen Fähigkeitsselbstkonzepts in Biologie, der mentalen Anstrengung sowie des Vorwissens auf den Wissenserwerb wurde eine Regressionsanalyse berechnet. Als abhängige Variable wurde hier der gesamte Wissenszuwachs als Summe der Differenzen zwischen den drei Wissensvor- und –nachtest herangezogen. Um den spezifischen Einfluss der unabhängigen Variablen auf die einzelnen Bedingungen hin zu untersuchen, wurde eine Zentrierung der Variablen vor der Regressionsanalyse durchgeführt (vgl. Aiken und West 1991). Die kontinuierlichen unabhängigen Variablen wurden also zunächst zentriert, d. h. für jede Variable wurde die Differenz zwischen dem jeweiligen Wert der Teilnehmenden und dem Mittelwert gebildet. Zusätzlich wurde die Bedingung als unabhängige Variable jeweils mit „-1“ und „1“ kodiert. Der Interaktionswert wurde als Produkt aus der Bedingung und den zentrierten unabhängigen Variablen gebildet. Als abhängige Variable wurde der Wissenszuwachs eingeschlossen. Seufert et al. (2009) folgend wurde zur weiteren Untersuchung spezifischer ATI-Effekte in einer zusätzlichen Kodierung die Bedingung jeweils mit 0 für die instruktionsorientierte Bedingung kodiert und die problemorientierte Bedingung mit 1. In einem zweiten Durchgang wurde diese Kodierung umgekehrt vorgenommen und die Regression erneut berechnet.

Das insgesamt statistisch bedeutsame Gesamtmodell ($F(7, 352)=21,96$, $p<0,001$, $R^2=0,30$) zeigt signifikante Haupteffekte für alle unabhängigen Variablen (Vorwissen: $\beta=-0,51$; $t(377)=-10,78$; $p<0,001$; FSK: $\beta=-0,20$; $t(377)=-4,26$; $p<0,001$; Mentale Anstrengung: $\beta=0,16$; $t(377)=3,48$; $p=0,001$), nicht jedoch für die Interaktionen (Vorwissen: $\beta=-0,02$; $t(377)=-0,39$; $p=0,70$; FSK: $\beta=0,05$; $t(377)=1,00$; $p=0,33$; Mentale Anstrengung: $\beta=-0,03$; $t(377)=-0,52$; $p=0,60$).

Bei genauerer Betrachtung innerhalb der jeweiligen Bedingung zeigt sich das Modell für die instruktionsorientierte Bedingung in zwei von den drei Variablen als signifikant, wobei das Vorwissen der stärkste Prädiktor ist ($\beta = -0,35$; $t(378) = -7,18$; $p < 0,001$), gefolgt vom Fähigkeitsselbstkonzept ($\beta = -0,12$; $t(378) = -2,41$; $p = 0,02$) und die mentale Anstrengung das Signifikanzniveau gerade nicht erreicht ($\beta = 0,09$; $t(378) = 1,88$; $p = 0,06$). Das Modell weist eine Varianzaufklärung von $R^2 = 0,13$ auf und ist statistisch signifikant ($F(3, 377) = 18,95$, $p < 0,001$). Eine Analyse der Korrelationen der Ausgangswerte zeigt hier einen geringen, negativen Zusammenhang zwischen FSK und mentaler Anstrengung ($r = -0,26$; $p < 0,01$) und FSK mit Vorwissen ($r = -0,25$; $p < 0,01$), jedoch nicht zwischen FSK und Wissenszuwachs ($r = -0,12$; $p > 0,05$). Das Vorwissen korreliert negativ auf mittlerem Niveau mit dem Wissenszuwachs ($r = -0,57$; $p < 0,01$).

Die Überprüfung des Modells für die problemorientierte Bedingung zeigt einen signifikanten Einfluss von allen drei Variablen, wobei auch hier das Vorwissen der stärkste Prädiktor ist ($\beta = -0,38$; $t(377) = -7,51$; $p < 0,001$), gefolgt vom Fähigkeitsselbstkonzept ($\beta = -0,18$; $t(377) = -3,65$; $p < 0,001$) und der mentalen Anstrengung ($\beta = 0,14$; $t(377) = 2,80$; $p = 0,005$). Das Modell weist eine Varianzaufklärung von $R^2 = 0,15$ auf und ist statistisch signifikant ($F(3, 377) = 21,61$, $p < 0,001$). Eine genauere Betrachtung der Korrelationen zeigt hier einen geringen negativen Zusammenhang zwischen FSK und mentaler Anstrengung ($r = -0,26$; $p < 0,01$) und FSK mit Vorwissen ($r = -0,23$; $p < 0,01$) sowie zwischen FSK und Wissenszuwachs ($r = -0,19$; $p < 0,01$). Das Vorwissen korreliert auf mittlerem Niveau negativ mit dem Wissenszuwachs ($r = -0,54$; $p < 0,01$) und positiv mit der mentalen Anstrengung ($r = 0,31$; $p < 0,01$).

Diskussion

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass die Lernenden in den Wissensnachtests in zwei der drei Module in der instruktionsorientierten Bedingung besser abschneiden als die Lernenden in der problemorientierten Bedingung. Die Gründe für diesen Effekt können unterschiedlich sein, allerdings kann man hier vermuten, dass eine Ursache ggf. in einer Überforderung der Lernenden in der problemorientierten Bedingung zu suchen ist. Dieser dürfte weniger auf der inhaltlichen Ebene als vielmehr in der ungewohnten Methodik (problemorientierte Vorgehensweise) liegen. So weisen die deskriptiven Werte bei der mentalen Belastung der Lernenden höhere Werte in den problemorientierten Lernmodulen auf und auch bei den für jede Bedingung durchgeführten Regressionsanalysen ist die mentale Anstrengung ein signifikanter Prädiktor des Lernerfolges in der problemorientierten Bedingung, während dies bei der instruktiona-

len Bedingung nicht der Fall ist. Im Sinne der Cognitive Load Theory kann durch die Notwendigkeit des Problemlösens ggf. eine zusätzliche Lernbelastung im Sinne einer Dual-Task-Aufgabe für die Lernenden aufgetreten sein, mit der diese Unterschiede erklärt werden könnten (vgl. Paas et al. 2004; Sweller 1994). Das primär lineare Vorgehen in der instruktionsorientierten Bedingung kann bei den Lernenden als vertraut vorausgesetzt werden, wobei es hier dann wohl zu keiner zusätzlichen kognitiven Belastung gekommen sein mag. Einschränkend ist hier allerdings darauf hinzuweisen, dass die Effektstärken relativ gering sind und auch nur in zwei von dreien der hier getesteten Module ein statistisch bedeutsamer Effekt vorliegt. Hier wäre etwa eine längerfristige Intervention indiziert (z. B. über alle Module von *natureLe@rn*), um die Validität der Befunde zu stärken. Gerade hier liegt das Problem an dieser angewandten Feldforschung, da insbesondere solche umfassenderen Treatments in Schulen aufgrund der spezifischen Rahmenbedingungen kaum durchführbar sind. Dennoch sind die Befunde stabil und lassen sich hier auch gut in den Stand der Forschung einreihen. So argumentieren auch Kirschner et al. (2006), dass Lernende eher von direkter Anleitung profitieren als von einem problemlösenden Lernen mit einer höheren Anzahl an Freiheitsgraden beim Lernen. Allerdings ist hier kritisch festzuhalten, dass in allen Bedingungen und für jedes Teilmodul der erfasste Wissenszuwachs recht gering ausfällt. Auch wenn die Aufgaben zur Wissensüberprüfung sorgfältig aus fachdidaktischen Überlegungen heraus geplant waren, so hätten alle Lernenden durchaus das Potenzial gehabt sich noch weiter zu verbessern. Die statistischen Kennwerte deuten darauf hin, dass die verwendeten Fragen ein leicht erhöhtes Schwierigkeitsmaß aufweisen. Allerdings ist die Reliabilität des Verfahrens zufriedenstellend. Darüber hinaus zeigt die weitere Analyse hinsichtlich unterschiedlicher Ebenen innerhalb der Bloom'schen Wissenstaxonomie, dass sich beide Bedingungen auch nicht auf unterschiedliche qualitative Niveaus des Wissenserwerbs auswirken. Dies deutet insgesamt darauf hin, dass das Verfahren zur Überprüfung des Wissenszuwachses tatsächlich geeignet war, allerdings insgesamt beide Interventionen zu besseren Lernleistungen hätten führen können. Dies wird auch durch die weiteren Regressionsanalysen belegt.

Diese näheren Analysen der hier untersuchten Faktoren zeigt hier, dass das Vorwissen der Lernenden ein signifikanter Prädiktor für den Lernerfolg ist. Dies betrifft etwa die Kovariaten in der Kovarianzanalyse, aber auch die Regressionsanalysen: Je höher das Wissen im Vortest ist, desto höher ist auch das Wissen im Nachtest. Des Weiteren ist das Vorwissen ein negativer Prädiktor für den Wissenszuwachs in dieser Studie. Konkret bedeutet dies, dass wenn bereits ein gewisses Niveau an Vorwissen vorhanden ist, der reine Wissenszuwachs (operationalisiert durch die Differenz der Ergebnisse zwischen Wissensnach- und -vortest) geringer

ausfällt als bei Lernenden mit vergleichsweise geringem Vorwissen. Hier zeigt die Kovarianzanalyse, dass auch Letztere von den hier eingesetzten Lernumgebungen profitieren, was wiederum für eine Förderung von Lernenden mit heterogenem Vorwissensstand durch gezielte Interventionen spricht. Dieser Effekt zeigt sich bei den spezifischen Regressionsgleichungen: Hier unterstreicht die signifikante negative Korrelation, dass je höher das FSK ausgeprägt ist, umso geringer der reine Wissenszuwachs zwischen Vor- und Nachtest ist. Zudem besteht hier ein negativer Zusammenhang zwischen FSK und mentaler Anstrengung. Das heißt, dass die mentale Anstrengung zum Einen positiv mit dem Wissenszuwachs korreliert, also je mehr die Lernenden mentale Anstrengung in Verarbeitung der Informationen investieren, desto höher ist ihr Wissenszuwachs. Die negative Korrelation zwischen FSK und mentaler Anstrengung zeigt jedoch, dass genau die Lernenden mit einem recht hoch ausgeprägten schulbiologischen Fähigkeitsselbstkonzept weniger mentale Anstrengung aufbringen. Dies kann ein ähnlicher Effekt sein, wie von Zumbach et al. (2008) berichtet wird: Ein Appraisal-Effekt gegenüber Lernumgebung kann hier dazu geführt haben, dass diejenigen, die sich ohnehin als besonders leistungsstark in dieser Domäne betrachten, die Schwierigkeit des Lernmaterials systematisch unterschätzt und daher eine primär oberflächliche Verarbeitungsstrategie gewählt haben. Einschränkend ist hier allerdings festzuhalten, dass die hier skizzierten Korrelationen sich im unteren Bereich befinden, d. h. dass zwar ein Zusammenhang besteht, dieser aber eher gering ausfällt. Die unterschiedlichen Befunde der Regressionsanalysen deuten darauf hin, dass es sich hier um einen Aptitude-Treatment-Interaktionseffekt handeln könnte, denn nur bei der problemorientierten Bedingung sind sowohl mentale Anstrengung, Vorwissen als auch FSK signifikante Prädiktoren des generellen Wissenszuwachses. Eine mögliche Ursache könnte hier an der größeren Freiheit im Umgang mit der Lernumgebung liegen, welche Lernende ggf. zu einer eher oberflächlichen Informationsverarbeitung geführt haben könnte. In der instruktionsorientierten Bedingung wurden die Inhalte explizit vorgegeben, die Materialien mussten nach und nach durchgearbeitet werden und Lernende mussten nicht überlegen, welche Inhalte nun zentraler und welche weniger zentral sind. Das war in der problemorientierten Bedingung notwendig, wobei es hier durchaus möglich war, dass eben zentrale Inhalte weniger fokussiert wurden bzw. von den Lernenden als bereits bekannt angenommen wurden, was allerdings dann doch nicht der Fall war. Dieses Problem des „Vorbeilerns“ ist bereits aus der Forschung um Problembasiertes Lernen bekannt (vgl. z. B. Dolmans et al. 1993). Cohen-Schotanus et al. (2008) zeigen darüber hinaus, dass Absolventen aus problembasierten Studiengängen sich deutlich besser hinsichtlich ihrer Lern- und Problemlöseleistungen einschätzen, aber in direktem Vergleich

zu traditionellen, instruktionellen Studienprogrammen in ihren Leistungen nicht besser abschneiden. Zusammen genommen scheint es hier gerade in problemorientierten Lernangeboten notwendig zu sein, zusätzliche Fördermaßnahmen anzubieten. Dabei scheinen entgegen der ursprünglich hypothetisierten Annahme primär die Lernenden mit einem hohen Fähigkeitsselbstkonzept von Unterstützung zu profitieren, wenn sie problemorientierte Lernangebote bearbeiten.

Einschränkend muss erwähnt werden, dass in Vergleichen wie in dieser Studie verschiedene konfundierende Aspekte zu berücksichtigen sind. Zum einen ist das Verhalten der Lernenden innerhalb der Schulklassen hier nicht exakt kontrollierbar. Schon alleine der Zeitraum der Erhebung macht deutlich, dass eine saubere experimentelle Kontrolle wie in Laborstudien üblich, hier nicht gewährleistet werden kann. Zum anderen sind Stichprobeneffekte nicht auszuschließen. Auch wenn die teilnehmenden Klassen per Zufall den Bedingungen zugewiesen wurden, sind Gruppeneffekte bedingt durch die Klassenzusammensetzungen nicht auszuschließen. Hier wäre für eine Replikation und Erweiterung eine zufällige Zuweisung der Probanden auch innerhalb der Schulklassen notwendig bzw. die Verwendung von Mehrebenenanalysen. Eine weitere Einschränkung könnte sich aus der Validität der hier verwendeten Instrumente zur Erhebung des Wissensstandes ergeben. Hier wurde keine vorausgehende Pilotierung der verwendeten Maße vorgenommen und auch keine Gegenvalidierung mit weiteren Maßen wie etwa verbale Intelligenz oder Motivation der Lernenden vorgenommen. Dennoch weisen die Skalen befriedigende Werte hinsichtlich Schwierigkeit und zumindest Augenscheinvalidität auf. Auch die Tatsache, dass sich durch die Intervention gezielte Veränderungen nachweisen lassen, deutet auf ein valides Konstrukt hin, wenngleich eine zusätzliche Validierung hier durchaus indiziert gewesen wäre. Gerade etwa auch Faktoren wie die Lesekompetenz der Lernenden kann hier Einfluss auf die Güte der Aufgabenbearbeitung nehmen. Aufgrund der Teilrandomisierung ist aber anzunehmen, dass etwaige Fehler hier unsystematisch sind und die Befunde in ihrer Gesamtheit nicht verzerren. Trotz dieser Einschränkungen zeigen die Befunde eine hohe ökologische Validität, da genau solche ggf. störenden Eventualitäten in der schulischen Praxis auftreten. Weiterhin sind einige der hier berichteten Effektstärken recht gering, was teilweise die praktische Relevanz der vergleichenden Befunde anzweifeln lässt. Nichtsdestotrotz untermauern die hier geschilderten Ergebnisse, dass a) mit problemorientierten Lernangeboten eine heterogene Gruppe von Lernenden adressiert werden kann (vgl. Hannafin et al. 1999) und b) hier Lernfortschritte bei Lernenden mit unterschiedlichem Vorwissen gefördert werden können (z. B. Rautenhaus 2007). Des Weiteren zeigen die Befunde aber auch, dass die Bereitschaft, mentale Anstrengung zu

investieren, der Schlüssel zum Lernerfolg ist. Die Ergebnisse deuten hier an, dass die Berücksichtigung von Lernermerkmalen in unterschiedlichen Dimensionen und nicht nur hinsichtlich des individuellen Leistungsstandes notwendig ist. Die Frage bleibt, wie man Schüler mit unterschiedlichen Eingangsvoraussetzungen adäquat fördern und ihnen entsprechend zu individuellem Erfolg verhelfen kann. Da durch unterschiedliche Gestaltung von Lernumgebungen auch spezifische Aptitude-Treatment-Interaktionseffekte zu erwarten sind, müssen und können gezielte und spezifische Ansätze zur individuellen Förderung implementiert werden. Schließlich zeigen die hier skizzierten Befunde auch die Grenzen der hier gewählten Zugänge. Gerade der eingangs skizzierte Forschungsstand zeigt, welche unterschiedlichen Faktoren Einfluss auf Lernprozess und -ergebnis bei problemorientierten Lernumgebungen nehmen können. In dieser Studie konnten die Modelle gerade einmal 15 % der Varianz beim Wissenszuwachs erklären. Konkret bedeutet dies, dass es zusätzliche Varianzquellen für maßgebliche Lernprozesse und -resultate zu finden und zu erklären gilt. Ähnlich wie bei der Analyse instruktionsorientierten Unterrichts kann dies dazu beitragen, mehr über die Nutzung und Rezeption solcher Lernangebote zu erfahren und etwaige Mechanismen zu verstehen.

Literatur

- Abrandt Dahlgren, M. (2000). Portraits of PBL: Course objectives and students study strategies in computer engineering, psychology and physiotherapy. *Instructional Science*, 28, 309–329.
- Aff, J. (2006). Bildungsstandards versus Leistungsstandards in der beruflichen Bildung. *Wissenplus*, 24, 9–18.
- Aiken, L., & West, S. G. (1991). *Multiple regression: Testing and interpreting interactions*. Newbury Park: Sage.
- Bannert, M. (1998). Instructional design for problem-based learning: A case study in computer user training. In J. van Marrienoer & G. Koerkerke (Hrsg.), *Instructional Design for Problem-Based Learning. Proceedings of the Third Workshop of the EARLI SIG Instructional Design* (S. 75–98). University of Maastricht.
- BMUKK. (2004). *Lehrplan Biologie und Umweltkunde* (Juli 2004). http://www.bmukk.gv.at/medienpool/11860/lp_neu_ahs_08.pdf. Zugegriffen: 20. Jan. 2014.
- BMUKK. (2012). *Kompetenzorientiertes Unterrichten an berufsbildenden Schulen. Grundlagenpapier* (April 2012). http://www.bildungsstandards.berufsbildendes.ch.at/fileadmin/content/bbs/KU/Grundlagenpapier_KU_5_April_2012_DRUCK.pdf. Zugegriffen: 09. April 2012.
- Cohen-Schotanus, J., Muijtjens, A., Schönrock-Adema, J., Geertsma, J., & van der Vleuten, C. (2008). Effects of conventional and problem-based learning on clinical and general competencies and career development. *Medical Education*, 42, 256–265.
- Dickhäuser, C., & Buch, S. (2009). Leistung nach Misserfolg in Abhängigkeit von Zielorientierung und aufgabenspezifischem Fähigkeitsselbstkonzept. Eine experimentelle Studie. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 23, 247–258.
- 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.
- Dolmans, D. H., Gijbels, W. H., Schmidt, H. G., & Van der Meer, S. B. (1993). Problem effectiveness in a course using problem-based learning. *Academic Medicine*, 68, 207–213.
- Dresel, M., & Ziegler, A. (2006). Langfristige Förderung von Fähigkeitsselbstkonzept und impliziter Fähigkeitstheorie durch computerbasiertes attributionales Feedback. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 20, 49–63.
- Dweck, C. S. (1986). Motivational processes affecting learning. *American Psychologist*, 41, 1040–1048.
- Dweck, C. S., & Leggett, E. L. (1988). A social-cognitive approach to motivation and personality. *Psychological Review*, 95, 256–273.
- Eggert, S., & Bögeholz, S. (2006). Göttinger Modell der Bewertungskompetenz – Teilkompetenz „Bewerten, Entscheiden und Reflektieren“ für Gestaltungsaufgaben Nachhaltiger Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, 177–197.
- Funke, J., & Zumbach, J. (2006). Problemlösen. In H. Mandl & F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 206–220). Göttingen: Hogrefe.
- 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, 27–61.
- Gräsel, C. (1998). *Problemorientiertes Lernen*. Göttingen: Hogrefe.
- Guay, F., Larose, S., & Boivin, M. (2004). Academic self-concept and educational attainment level: A ten-year longitudinal study. *Self and Identity*, 3, 53–68.
- Hattie, J. (2013). *Lernen sichtbar machen* (W. Beywl & K. Zierer, Übers.). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren. (engl. *Visible Learning*. Abington 2009).
- Häfele, H., & Maier-Häfele, K. (2004). *101 e-Learning Seminarmethoden*. Bonn: ManagerSeminare Verlags GmbH.
- Hannafin, M., Land, S., & Oliver, K. (1999). Open learning environments: Foundations, methods, and models. In C. M. Reigeluth (Hrsg.), *Instructional Design Theories and Models* (S. 115–140). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of experimental and theoretical research. In P. A. Hancock & N. Meshkati (Hrsg.), *Human Mental Workload* (S. 230–250). Amsterdam: North Holland.
- 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, 99–107.
- de Jong, T. (2010). Cognitive load theory, educational research, and instructional design: Some food for thought. *Instructional Sciences*, 38, 105–134.
- Kalyuga, S. (2007). Expertise reversal effect and its implications for learner-tailored instruction. *Educational Psychological Review*, 19, 509–539.
- Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P., & Sweller, J. (2003). Expertise reversal effect. *Educational Psychologist*, 38, 23–33.
- Kalyuga, S., & Sweller, J. (2004). Measuring knowledge to optimize cognitive load factors during instruction. *Journal of Educational Psychology*, 96, 558–568.
- Kirschner, P., 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, 75–86.
- KMK (Kultusministerkonferenz) (2004). *Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz. Erläuterung zur Konzeption und Entwicklung* (16.12.2004). http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Konzeption-Entwicklung.pdf. Zugegriffen: 09. April 2012.
- Köller, O. (1998). *Zielorientierung und schulisches Lernen*. Münster: Waxmann.

- Krapp, A. (1998). Entwicklung und Förderung von Interessen im Unterricht. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 45, 186–203.
- Loyens, S. M., Magda, J., & Rikers, R. M. (2008). Self-directed learning in problem-based learning and its relationships with self-regulated learning. *Educational Psychology Review*, 20, 411–427.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 81–97.
- Mpofu, D. J., Das, M., Murdoch, J. C., & Lanphear, J. H. (1997). Effectiveness of problems used in problem-based learning. *Medical education*, 31(5), 330–334.
- Paas, F., & van Merriënboer, J. (1994). Measurement of cognitive load in instructional research. *Perceptual and Motor Skills*, 49, 419–430.
- Paas, F., Tuovinen, J. E., Tabbers, H., & van Gerven, P. W. M. (2003). Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educational Psychologist*, 38, 63–71.
- Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2004). Cognitive load theory: Instructional implications of the interaction between information structures and cognitive architecture. *Instructional Science*, 32, 1–8.
- Paas, F., Tuovinen, J. E., van Merriënboer, J., & Darabi, A. (2005). A motivational perspective on the relation between mental effort and performance: Optimizing learner involvement in instruction. *Educational Technology Research and Development*, 53, 25–34.
- Phillips, J. M., & Gully, S. M. (1997). Role of goal orientation, ability, need for achievement, and locus of control in the self-efficacy and goal-setting process. *Journal of Applied Psychology*, 82, 792–802.
- Rautenhaus, H. (2007). Differenzierung und Individualisierung. In K.-R. Bausch, H. Christ, & H.-J. Krumm (Hrsg.), *Handbuch Fremdsprachenunterricht* (S. 211–213). Tübingen: Francke.
- Reinmann, G. (2005). *Blended Learning in der Lehrerbildung. Grundlagen für die Konzeption innovativer Lernumgebungen*. Lengerich: Pabst.
- Reinmann-Rothmeier, G. (2003). *Didaktische Innovation durch Blended Learning*. Bern: Verlag Hans Huber.
- Reiss, K., & Hammer, C. (2010). *Grundlagen der Mathematikdidaktik*. Basel: Birkhäuser.
- Salomon, G. (1984). Television is “easy” and print is “tough”: The differential investment of mental effort in learning as a function of perceptions and attribution. *Journal of Educational Psychology*, 76, 647–658.
- Schilling, S. R., Sparfeldt, J. R., Rost, D. H., & Nickels, G. (2005). Schulische Selbstkonzepte – Zur Validität einer erweiterten Version des Differentiellen Selbstkonzept Gitters (DISK-Gitter). *Diagnostica*, 51, 21–28.
- Schmidt, H. G., Loyens, S. M., Van Gog, T., & Paas, F. (2007). Problem-based learning is compatible with human cognitive architecture: Commentary on Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist*, 42, 91–97.
- Schöne, C., Dickhäuser, O., Spinath, B., & Stiensmeier-Pelster, J. (2002). *Die Skalen zur Erfassung des schulischen Selbstkonzepts (SESSKO)*. Göttingen: Hogrefe.
- Schulmeister, R. (2003). *Lernplattformen für das virtuelle Lernen. Evaluation und Didaktik*. München: Oldenbourg.
- Seufert, T., Schütze, M., & Brünken, R. (2009). Memory characteristics and modality in multimedia learning: An aptitude-treatment-interaction study. *Learning and Instruction*, 19, 28–42.
- Snow, R. E. (1992). Aptitude theory: Yesterday, today, and tomorrow. *Educational Psychologist*, 27, 5–32.
- Snow, R., & Farr, M. (Hrsg.). (1987). *Aptitude, learning, and instruction*. Hillsdale: Erlbaum.
- Spinath, B., & Stiensmeier-Pelster, J. (2003). Goal orientation and achievement: The role of ability self-concept and failure perception. *Learning and Instruction*, 13, 403–422.
- Stiensmeier-Pelster, J., & Schöne, S. (2008). Fähigkeitsselbstkonzept. In W. Schneider & M. Hasselhorn (Hrsg.), *Handbuch der pädagogischen Psychologie* (S. 62–63). Göttingen: Hogrefe.
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty and instructional design. *Learning and Instruction*, 4, 295–312.
- Sweller, J., van Merriënboer, J., & Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10, 251–296.
- Townsend, C. R., Harper, H. L., & Begon, M. (2002). *Ökologie*. Heidelberg: Springer.
- UNCED. (1992). *AGENDA 21; Rio de Janeiro. Übersetzung hrsg. vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit*. <http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/agenda21.pdf>. Zugegriffen: 29. Jan. 2010.
- Unterbruner, U., & Pfligersdorffer, G. (2007a). natureLe@rn. Salzburg: School of Education an der Universität Salzburg und Oö. Akademie für Natur und Umwelt.
- Unterbruner, U., & Pfligersdorffer, G. (2007b). Problembasiertes Lernen im Biologieunterricht – Erfahrungen aus Schule und Lehrerinnen- und Lehrerbildung. In J. Zumbach, A. Weber & G. Olsowski (Hrsg.), *Problembasiertes Lernen – Konzepte, Werkzeuge und Fallbeispiele aus dem deutschsprachigen Raum* (S. 117–130). Bern: h.e.p. Verlag.
- Unterbruner, U., Pfligersdorffer, G., & Zumbach, J. (2008). natureLe@rn – Eine Studie zum problemorientierten Ökologieunterricht via Lernplattform „moodle“. In U. Harms & A. Sandmann (Hrsg.), *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik* (S. 199–218). Innsbruck: Studienverlag.
- Van Ackeren, I. (2003). ‚National curriculum tests‘ und ‚final examinations‘ – Zur nationalen Test- und Prüfungspraxis im englischen Schulsystem. *PÄD Forum*, 31/22, 275–278.
- van Berkel, H. J., & Dolmans, D. H. (2006). The influence of tutoring competencies on problems, group functioning and student achievement in problem-based learning. *Medical Education*, 40, 730–736.
- van Den Hurk, M. (2006). The relation between self-regulated strategies and individual study time, prepared participation and achievement in a problem-based curriculum. *Active Learning in Higher Education*, 7, 155–169.
- Zumbach, J. (2003). *Problembasiertes Lernen*. Münster: Waxmann.
- Zumbach, J. (2006). Problemorientiertes Lernen im Hochschulunterricht. Selbstgesteuertes Lernen anhand authentischer Probleme. In B. Berendt, H.-P. Voss, & J. Wildt (Hrsg.), *Neues Handbuch Hochschullehre* (C 1.4; S. 1–23). Berlin: Raabe.
- Zumbach, J. (2012). Problem-Based Learning in Österreich: eine Bestandsaufnahme. In M. Mair, G. Brezowar, G. Olsowski, & J. Zumbach (Hrsg.), *Problem-Based Learning im Dialog* (S. 15–25). Wien: facultas.
- Zumbach, J., & Spraul, P. (2007). The role of expert and novice tutors in computer mediated and face-to-face problem-based learning. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 2, 161–187.
- Zumbach, J., Reisenhofer, B., Czermak, S., Emberger, P., Landerer, C., & Schrangl, G. (2008). The role of attribution, modality, and supplantation in multimedia learning. In J. Zumbach, N. Schwartz, T. Seufert, & L. Kester (Hrsg.), *Beyond knowledge: The legacy of competence* (S. 237–246). Dordrecht: Springer.