

Interventionsstudie zur Wirkung von schülerzentrierten Methoden auf Modellkompetenz und Fachwissen

Paul Engelschalt & Annette Upmeier zu Belzen

engelscp@hu-berlin.de - annette.upmeier@biologie.hu-berlin.de

Humboldt-Universität zu Berlin: Fachdidaktik und Lehr-/Lernforschung Biologie,
Unter den Linden 6, 10099 Berlin

Zusammenfassung

*Aufgrund der Befunde internationaler Vergleichsstudien wurden für den naturwissenschaftlichen Unterricht lehrergelenkte Unterrichtsmethoden (TcM) hinterfragt, während schülerzentrierte Methoden (SoM) in den Fokus der Aufmerksamkeit rückten. Lerntheoretischen Argumentationen folgend wird von SoM im Vergleich zu TcM ein größerer Effekt auf die Kompetenzentwicklung der Schüler*innen erwartet. Studien zu diesem Thema zeigen jedoch widersprüchliche Ergebnisse. Mit dem Ziel, einen Beitrag zur Klärung zu leisten, wurde eine Feldstudie im Pre-Post-Design mit Follow-Up in sieben Klassen der 7. Jahrgangsstufe (N = 146 Schüler*innen) an zwei Schulen durchgeführt. Dabei wurden jeweils drei Klassen in SoM und drei Klassen in TcM zum Thema „Modelle der Pflanzenzelle“ unterrichtet. Eine weitere Klasse bildete die Kontrollgruppe, die ohne eine Unterrichtsintervention an den Tests teilnahm. In den Testdurchgängen wurden jeweils die abhängigen Variablen Modellkompetenz und Fachwissen sowie einmalig die Kontrollvariablen Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit und intrinsische Motivation erhoben. Während in den Pretests und für die Kontrollvariablen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt wurden, wiesen die beiden Interventionsgruppen in den Posttests signifikant höhere Werte in Modellkompetenz und Fachwissen auf als die Kontrollgruppe. Dabei zeigte die SoM-Gruppe insbesondere bei der Modellkompetenz signifikant höhere Punktzahlen in den Posttest-Ergebnissen als die TcM-Gruppe. Diese Ergebnisse indizieren, dass SoM die Entwicklung von Modellkompetenz effektiver fördern können als TcM.*

Abstract

Based on findings of international comparative studies, teacher-centered methods (TcM) for scientific lessons were questioned whereas student-centered methods (SoM) gained attention. Following theoretical argumentations, SoM are expected to have greater effects

on students' competence development than TcM. However, recent studies revealed contradictory results. Aiming for clarification, we conducted a field study in a pre-post design with a four week follow-up in seven classes of grade 7 (N = 146 students) of two schools. In the experimental groups, three classes were taught in TcM, three in SoM, both referring to the topic "models of a plant cell". One further class served as a control group and took the tests without receiving any intervention. Within the tests, we measured the dependent variables model competence and content knowledge, as well as the control variables perceptual speed and intrinsic motivation. During pretests, and within the control variables, no significant differences were found between the groups, whereas both intervention groups showed significantly increased values in the post- and follow-up tests for model competence and content knowledge. Especially in context of model competence the SoM group reached a significant higher score than the TcM group. These results indicate that SoM promote the development of model competence more effectively than TcM.

1 Einleitung

Auf der Ebene der Sozialformen können Unterrichtsmethoden in lehrergelenkte Methoden (*teacher-centered methods*, kurz TcM) und in schülerzentrierte Methoden (*student-oriented methods*, kurz: SoM) kategorisiert werden (KILLERMANN, HIERING, & STAROSTA, 2013). In Anlehnung an konstruktivistische Argumentationen werden TcM oft mit dem Aufbau trägen Wissens verbunden (NERDEL, 2017, S. 95; RENKL, 2009), während von SoM der Aufbau von anwendbarem Wissen, sprich Kompetenz, erwartet wird (KILLERMANN et al., 2013; S. 199). Doch liefern Untersuchungen zur vergleichenden Wirkung dieser Unterrichtsmethoden auf den Lernerfolg im Kompetenzbereich Fachwissen für das Fach Biologie bisher widersprüchliche Ergebnisse. So schreiben einige Studien TcM den höheren Lernerfolg im biologischen Fachwissen zu (SCHAAL & BOGNER, 2005; STURM & BOGNER, 2008). Andere Untersuchungen berichten dagegen von vergleichbaren langfristigen Lernerfolgen beim Aufbau von Fachwissen durch schülerzentrierte oder lehrergelenkte Erarbeitungsphasen im Unterricht (z.B. GERSTNER, 2009). Wieder andere Studien lassen auf höhere Lernerfolge durch SoM schließen (z.B. LORD, 1997; RANDLER & HULDE, 2007). Die alleinige Operationalisierung des Lernerfolges in den beschriebenen Studien über den Zuwachs des deklarativen Wissens in verschiedenen fachlichen Domänen entsprechen dabei nicht vollständig den Zielen des kompetenzorientierten Biologieunterrichtes, zur naturwissenschaftlichen Grundbildung durch die Schulung der vier Kompetenzbereiche beizutragen (KMK, 2005). Um also die Wirkung verschiedener Unterrichtsmethoden im Sinne dieser Zielstellung beurteilen zu können, erscheint es sinnvoll, den Lernerfolg ergänzend zur Entwicklung des Fachwissens auch durch Konstrukte aus anderen Kompetenzbereichen zu operationalisieren. Dafür wird in dieser Studie

Modellkompetenz aus dem Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung (KMK, 2005) verwendet. Dabei bietet die Verwendung dieses Konstruktes die Möglichkeit, sowohl die Förderung als auch die Messung von der gleichen theoretischen Grundlage des Kompetenzmodells der Modellkompetenz (UPMEIER ZU BELZEN & KRÜGER, 2010) ausgehend zu operationalisieren. So ist Ziel dieser Studie die empirische Überprüfung der Wirkung von TcM und SoM auf die Entwicklung der Modellkompetenz und auf den Lernerfolg im Fachwissen über die Pflanzenzelle. Die Ergebnisse dieser Studie sollen einerseits Hinweise dafür liefern, wie Modellkompetenz effektiv gefördert werden kann. Andererseits stellt die Anlage der Untersuchung den Versuch dar, die Wirkung von SoM und TcM im Kontext der Zielstellung des kompetenzorientierten Biologieunterrichtes durch das Einbeziehen der Inhalts- (Kompetenzbereich Fachwissen) und der Handlungsdimension (Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung) zu bewerten.

2 Stand der Forschung

2.1 Schülerzentrierte Methoden (SoM) vs. lehrergelenkte Methoden (TcM)

Im Zuge des durch internationale Vergleichsstudien initiierten Paradigmenwechsels im naturwissenschaftlichen Unterricht wird gefordert, lehrergelenkte Ansätze durch stärker schülerzentrierte Methoden zu ergänzen (SCHALLIES, 2002; SEIFRIED, 2004). Als SoM werden diesbezüglich Methoden des Unterrichts mit einer hohen Selbstaktivität der Schüler*innen (im Folgenden mit „S*S“ abgekürzt) beschrieben, von denen Kompetenzzuwächse in Fach- und Sozialkompetenz erwartet werden (KILLERMANN et al., 2013, S. 199). Aus Sicht der Selbstbestimmungstheorie geht eine vermehrte Anwendung von SoM mit einer erhöhten intrinsischen Motivation der S*S einher (BLACK & DECI, 2000; DECI & RYAN, 2000). Darüber hinaus wird die Erwartung eines höheren fachlichen Kompetenzzuwachses der S*S in SoM auch dadurch begründet, dass SoM ein selbstgesteuertes, intuitives Auseinandersetzen mit Inhalten (SEIFRIED, 2004) und somit ein tiefes Verständnis (AUFSCHNAITER & AUFSCHNAITER, 2001) im Vergleich zu TcM ermöglichen. Dennoch zeigen empirische Studien zu Lernerfolgen im Bereich Fachwissen, dass nicht direkt-instruierte SoM einen geringeren Lernerfolg bei S*S erzielen als direkt-instruierte TcM (z.B. ALFIERI, BROOKS, ALDRICH, & TENENBAUM, 2011; FURTAK, SEIDEL, IVERSON, & BRIGGS, 2012). SCHUH (2004) weist diesbezüglich darauf hin, dass direkte Instruktionen zwar v.a. in TcM eingesetzt werden, diese Instruktionsstrategien in Form von direkten Arbeitsaufträgen aber auch in schülerzentrierten Unterrichtsphasen angewendet werden können. Naturwissenschaftsdidaktische Studien, die direkt-instruierte TcM mit direkt-

instruierten SoM vergleichen, weisen unterschiedliche Ergebnisse auf: Während STURM und BOGNER (2008) bei S*S der neunten Jahrgangsstufe verschiedener Sekundarschulformen von höheren langfristigen Lernerfolgen im Bereich Fachwissen, erzielt durch Frontalunterricht, im Vergleich zu einer instruierten schülerzentrierten Stationsarbeit berichten, stellt GERSTNER (2009) dagegen bei Gymnasiast*innen der fünften Jahrgangsstufe einen langfristig vergleichbaren Lernerfolg im Fachwissen bei Verwendung der gleichen Methoden fest. RANDLER und HULDE (2007), die in ihrer Studie die Wirkung von lehrergelenkten Demonstrationsexperimenten im Vergleich zu schülerzentrierten Experimenten in Gruppenarbeit auf ökologisches Fachwissen bei Realschüler*innen der fünften Jahrgangsstufe untersuchten, finden den größten Lernerfolg in der schülerzentrierten Gruppe. Bezüglich der Experimentierkompetenz wird berichtet (HOF, 2010), dass Schülerzentrierung diese besser fördert als das lehrergelenkte Experimentieren. Die Diversität der vorgestellten Studien sowohl in Bezug auf die Operationalisierung der Unterrichtinterventionen als auch mit Blick auf die einbezogenen S*S zeigt, dass diese Untersuchungen nur im geringen Maße miteinander vergleichbar sind. Dies mag die widersprüchlichen Ergebnisse teilweise erklären. Darüber hinaus schränkt eine alleinige Operationalisierung des Lernerfolges durch Fachwissenstests das Evaluierungspotential der Wirkung von Unterrichtsmethoden im Kontext eines Biologieunterrichtes, der mehrere Kompetenzbereiche schulen soll, ein. In Anbetracht dessen wird hier wie bei HOF (2010) der Versuch unternommen, den Lernerfolg zusätzlich anhand eines Konstruktes aus einem anderen Kompetenzbereich zu operationalisieren. Ein weiterer Vorteil der ergänzenden Verwendung dieser Konstrukte ist, dass diese zumeist kontextübergreifend geprüft werden können. Dies erhöht die Anschlussfähigkeit und Vergleichbarkeit solcher Studien und trägt dadurch zu einem breit fundierten Diskurs über die Wirkung von TcM und SoM bei.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde die über das Fachwissen hinausgehende zusätzliche Operationalisierung des Lernerfolges am Beispiel der Modellkompetenz umgesetzt. Dabei wird eine gute Validität der Ergebnisinterpretationen erwartet, weil sowohl Unterrichtsvorschläge (FLEIGE, SEEGER, UPMEIER ZU BELZEN, & KRÜGER, 2016) als auch Testinstrumente (GRÜNKORN & KRÜGER, 2012; KRELL & KRÜGER, 2010) vorliegen, die jeweils aus dem Kompetenzmodell (UPMEIER ZU BELZEN & KRÜGER, 2010) abgeleitet wurden.

2.2 Modellkompetenz im Biologieunterricht

Im Fach Biologie sind v.a. im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung Standards zum Umgang mit Modellen festgelegt, z.B. „Die Schülerinnen und

Schüler beurteilen die Aussagekraft eines Modells“ (KMK, 2005, S. 14, E13). Die Qualität der Reflexion über Modelle kann mit dem „Kompetenzmodell der Modellkompetenz“ von UPMEIER ZU BELZEN und KRÜGER (2010) untersucht und bewertet werden (GRÜNKORN, UPMEIER ZU BELZEN, & KRÜGER, 2014). Dabei wird in drei Level für fünf Teilkompetenzen (TK) unterschieden, wobei die Level I und II einen medialen Einsatz von Modellen indizieren und Level III auf einen methodischen Einsatz im Sinne der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung verweist. So kann die Entwicklung von Modellkompetenz gefördert werden, indem Modelle im Unterricht nicht nur als Medium sondern v.a. auch als Methode zur Erkenntnisgewinnung eingesetzt werden (FLEIGE et al., 2016; GÜNTHER, FLEIGE, UPMEIER ZU BELZEN, & KRÜGER, 2017). In Bezug auf diese Förderung ist jedoch zu beachten, dass Lernende Modelle vor allem als Medium verstehen (GROSSLIGHT, UNGER, JAY, & SMITH, 1991).

3 Fragestellungen und Hypothesen

Ausgehend von den beschriebenen Befunden zu den vorwiegend medial geprägten Konzepten Lernender rückt die Vermittlung und damit die Unterrichtsmethode in den Fokus. So geht die vorliegende Studie der Frage nach, in welchem unterrichtsmethodischen Ansatz (TcM, SoM) sich Modellkompetenz von S*S besser entwickeln kann.

Die Nutzung von Modellen als Methode zur Erkenntnisgewinnung führt bei S*S zu einer Steigerung der Modellkompetenz (FLEIGE et al., 2016; GÜNTHER et al., 2017) sowie zu Lernerfolg beim Fachwissen über das durch das Modell repräsentierte Original (GOBERT & PALLANT, 2004; KIM, PATHAK, JACOBSON, ZHANG, & GOBERT, 2015). Diese Verwendung eines Modelles kann sowohl im Sinne von TcM als auch SoM geschehen. So lautet die erste Hypothese dieser Studie:

*Hypothese 1 (H1): Sowohl TcM als auch SoM führen zu Lernerfolg der S*S bei Modellkompetenz (Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung) und beim Fachwissen zur Fotosynthese (Kompetenzbereich Fachwissen).*

Eine verbreitete Kritik an TcM ist das Risiko, durch eine geringe Eigenaktivität der S*S vor allem den Aufbau trägen Wissens zu fördern (NERDEL, 2017, S. 95; RENKL, 2009). Das bedeutet, dass einige S*S die durch TcM vermittelten Konzepte nicht annehmen, weil sie beispielsweise Erklärungen nicht intuitiv verstanden haben (AUFSCHNAITER & AUFSCHNAITER, 2001). In SoM hingegen sollen, theoretischen Annahmen folgend, durch eine hohe Eigenaktivität der S*S und eine intuitive Auseinandersetzung mit den Inhalten Konzepte eher

verstanden werden (AUFSCHNAITER & AUFSCHNAITER, 2001; SEIFRIED, 2004).
Folglich lautet die zweite Hypothese dieser Studie:

Hypothese 2 (H2): SoM führen zu höheren Lernerfolgen in Modellkompetenz und Fachwissen als TcM.

4 Methodik

4.1 Variablen

In dieser Studie wurden vier Variablen mit schriftlichen Tests gemessen (Tabelle 1). Die zwei Unterrichtsinterventionen, deren Operationalisierung in Kapitel 4.3 ausführlich dargestellt wird, repräsentieren die unabhängige Variablen der Studie. Die abhängigen Variablen sind Modellkompetenz und Fachwissen über die Pflanzenzelle. Die Kontrollvariablen sind intrinsische Motivation und kognitive Grundfähigkeiten der S*S.

Tabelle 1: Überblick der in der Studie verwendeten Testinstrumente.

Variable	Testinstrument	Itemformat
Modellkompetenz	Modellkompetenztest (MKT; GRÜNKORN & KRÜGER, 2012; GRÜNKORN, UPMEIER ZU BELZEN, & KRÜGER, 2014)	Offene Fragen
Fachwissen	Fachwissenstest (FWT; BERGAU, IXMEIER, LITZ, SCHÄFER, & WILMER-KLUMPP, 2013)	Offene und geschlossene Fragen
Motivation der S*S	Kurzskala der intrinsischen Motivation (WILDE, BÄTZ, KOVALEVA, & URHAHNE, 2009)	Likert-Skala
Kognitive Grundfähigkeiten	Zahlenverbindungstest (ZVT; OSWALD & ROTH, 1987)	Zahlen in Reihenfolge verbinden (limitierte Zeit)

Modellkompetenz

Die offenen Fragen des Modellkompetenztests (MKT) wurden schriftlich beantwortet. Im Anschluss an die Transkription der Antworten wurden diese mithilfe eines Kodierleitfadens auf der Grundlage des Kompetenzmodells der Modellkompetenz (KRELL & KRÜGER, 2016; UPMEIER ZU BELZEN & KRÜGER, 2010) den Teilkompetenzen und Niveaustufen des Modells zugeordnet. Wurden die offenen Items nicht beantwortet oder konnten die Antworten nicht den Kategorien zugeordnet werden (bspw. „Ich weiß es nicht“ oder „Weil es so ist“), so wurden diese Fälle als „Keine Antwort“ kodiert. Die individuell erreichten Niveaustufen in den Teilkompetenzen wurden ihrer Ausprägung entsprechend in einen metrischen Score überführt, um die Daten sowohl qualitativ als dann auch quantitativ auswerten zu können. In diesem Score konnten maximal 15 Punkte erreicht werden. Dabei wurde die Kategorie „Keine Antwort“ mit 0 Punkten in den Score eingerechnet. Eine unabhängige

Zweitkodierung von 20 % der Daten ergab eine „sehr gute“ Übereinstimmung (94 %; Cohen's $k \leq .79$ für alle Fälle; COHEN, 1960; WIRTZ & CASPAR, 2002) zwischen den Kodierern.

Fachwissen

Neben der Modellkompetenz wurde auch das grundlegende Fachwissen über die Pflanzenzelle vor und nach der Intervention erfasst. Im Zuge dessen wurde ein Fachwissenstest (FWT) aus Schulbuchaufgaben für die siebte Jahrgangsstufe (NACH BERGAU, IXMEIER, LITZ, SCHÄFER, & WILMER-KLUMPP, 2013) abgeleitet. Dieser umfasst zwei Aufgaben, die nicht über den Anforderungsbereich II (KMK, 2005) hinausgehen und mithilfe eines vorher erstellten Erwartungshorizonts ausgewertet werden. Die maximal erreichbare Punktzahl des FWT beträgt 13 Punkte. Wie im MKT wurden die erreichten Punkte als metrischer Score aufgefasst, der eine quantitative Auswertung ermöglicht.

Intrinsische Motivation

Da es Hinweise darauf gibt, dass intrinsische Motivation einen positiven Einfluss auf den Lernerfolg hat (BÄTZ, BECK, KRAMER, NIESTRADT, & WILDE, 2009; BLACK & DECI, 2000), wurde diese als Kontrollvariable einbezogen. Die von WILDE et al. (2009) übersetzte und validierte „Kurzskala der intrinsischen Motivation“ (KIM) (ursprünglich „*Intrinsic Motivation Inventory*“; DECI & RYAN, 2003) wurde verwendet, um die situative intrinsische Motivation der S*S während der beiden Unterrichtsinterventionen zu erfassen. Die KIM berichtet mithilfe einer fünf-stufigen Likert-Skala in den vier Subskalen „Interesse/Vergnügen“, „wahrgenommene Kompetenz“, „wahrgenommene Wahlfreiheit“ und „Druck/ Anspannung“ (WILDE et al., 2009) über die motivationale Qualität in den Unterrichtsinterventionen.

Kognitive Grundfähigkeit

Auch kognitive Grundfähigkeiten wie z.B. die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit, beeinflussen den individuellen Lernprozess und Lernerfolg (z.B. ACKERMAN, 1987; RINDERMAN & NEUBAUER, 2000). Die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit wurde standardisiert in einem „Gruppenversuch“ des Zahlen-Verbindungstests (ZVT, OSWALD & ROTH, 1987) erhoben.

4.2 Studiendesign und Sampling

Die durchgeführte Studie wurde als Feldexperiment mit Messwiederholungen im Pre-Post-Design mit Follow-Up (DÖRING & BORTZ, 2016) durchgeführt. Insgesamt nahmen sieben Klassen der 7. Jahrgangsstufe an der Studie teil (Tabelle 2).

Tabelle 2: Datengestützte Beschreibung der Stichprobe der Studie.

Stichprobe	SoM-Gruppe	TcM-Gruppe	Kontroll-Gruppe
Anzahl der Klassen	3	3	1
Unterrichtete Proband*innen (N)	75	81	31
Getestete Proband*innen (N)	56	62	28
Alter (Mittelwerte in Jahre (SD))	12 (0.4)	12 (0.4)	12 (0.5)

Drei Klassen wurden dabei in SoM, drei Klassen in TcM jeweils von der gleichen Lehrkraft unterrichtet. Die Kontrollgruppe (KG), bestehend aus einer Klasse, nahm ohne eine spezielle Unterrichtsintervention zum Thema Pflanzenzelle oder Modellkompetenz an den Messungen teil. Die Lehrkraft führte in dieser Klasse ihren regulär geplanten Unterricht in einem anderen Themenfeld durch. Dies sollte sicherstellen, dass etwaige Zuwächse im FWT und MKT in den Interventionsgruppen auch auf die Interventionen zurückzuführen sind. Im Pretest (t0) eine Woche vor den Interventionen wurden MKT, FWT und ZVT in allen Gruppen eingesetzt. Unmittelbar im Anschluss an die Unterrichtsinterventionen wurde die KIM mit den S*S der Interventionsgruppen durchgeführt. Der kurzfristige Lernerfolg wurde in dieser Studie durch die wiederholte Durchführung von MKT und FWT eine Woche nach den Unterrichtsinterventionen (bzw. zwei Wochen nach t0 für die KG) erfasst. Dies sollte vor Testmüdigkeit bzw. geringer Testmotivation schützen, da zuvor schon die 90-minütigen Unterrichtsintervention und Durchführung der KIM stattgefunden haben. Aus organisatorischen Gründen fand eine Follow-Up Erhebung (t2) vier anstatt der üblichen sechs Wochen nach der Intervention (bzw. fünf Wochen nach t0 für die KG) statt. Dafür wurden der MKT und der FWT erneut eingesetzt, um den längerfristigen Lernerfolg der S*S einzuschätzen. In Bezug auf die Modellkompetenz versicherten die Lehrkräfte aller teilnehmenden Klassen, dass es in den Folgestunden nach der Unterrichtsintervention keinen Bezug zu Modellen gab. Gleiches konnte aufgrund der schulinternen Curricula jedoch nicht im Bereich Fachwissen über die Pflanzenzelle für alle Klassen gewährleistet werden. Dies schränkt eine Aussage zur langfristigen Wirkung der Unterrichtsintervention im Bereich Fachwissen ein (s. Kapitel 6).

4.3 Operationalisierung der Unterrichtsinterventionen

Die Unterrichtsinterventionen wurden in Anlehnung an spezielle Unterrichtskonzepte zur Förderung von Modellkompetenz (FLEIGE et al., 2016) entwickelt. Dabei unterschieden sich die Unterrichtsinterventionen der SoM-Gruppe und TcM-Gruppe weder in Dauer noch struktureller Gliederung und nur geringfügig in den erstellten Lernprodukten. Aufgrund der tragenden Rolle, die eine direkte Instruktion im Lehr- und Lernprozess einnimmt (ALFIERI et al.,

2011; CLARK, KIRSCHNER, & SWELLER, 2013; FURTAK et al., 2012), wurden die Erarbeitungsphasen in beiden Interventionen direkt instruiert (Tabelle 3). Der Unterschied zwischen den Interventionen der beiden Lerngruppen lag in der Art und Weise, mit der die Lernprodukte erarbeitet wurden. In der SoM-Gruppe wurden die Lernprodukte nach ausschließlich schülerzentrierten Methoden, d.h. nach Handlungsmustern mit hoher Eigenaktivität der S*S (KILLERMANN et al., 2013), angefertigt. In der TcM-Gruppe hingegen wurden die Lernprodukte ausschließlich in Formen des Frontalunterrichts und somit in lehrergelenkten Methoden erstellt (KILLERMANN et al., 2013). Alle Interventionen umfassten zwei Unterrichtsstunden à 45 Minuten mit einer fünf- bis zehnminütigen Pause zwischen den Unterrichtsstunden und wurden vom Verfasser dieser Studie und zusätzlich unter Aufsicht der regulären Biologielehrkraft der jeweiligen Klasse durchgeführt. In beiden Unterrichtsinterventionen wurden Modelle zur Pflanzenzelle erstellt, Hypothesen aus den Modellen abgeleitet und durch das Mikroskopieren einer Pflanzenzelle geprüft (Tabelle 2). Auf diese Weise konnten alle Teilkompetenzen der Modellkompetenz thematisiert werden. Der Fokus wurde dabei in Anlehnung an GÜNTHER et al. (2017) auf die Teilkompetenzen, „Alternative Modelle“, „Testen von Modellen“ und „Ändern von Modellen“ gelegt.

Tabelle 2: Operationalisierung der Unterrichtsinterventionen (**Unterschiede hervorgehoben**).

Methodik der SoM-Intervention	Methodik der TcM-Intervention
• Einführung im Frontalunterricht	• Einführung im Frontalunterricht
• Struktur-Funktionstabelle der Bestandteile der Pflanzenzelle von den S*S in Gruppenarbeit erstellt	• Strukturfunktionstabelle der Bestandteile der Pflanzenzelle im fragend-entwickelnden Frontalunterricht erstellt
• Tabelle im Plenum vergleichen	• Tabelle von S*S auf das Arbeitsblatt übertragen
• Konstruktion des Modells zur Pflanzenzelle in Kleingruppen	• Konstruktion des Modells zur Pflanzenzelle im Frontalunterricht
• „Galeriegang“: S*S diskutieren über ihre Modelle	• Lehrergelenkte Plenumsdiskussion über das erstellte Modell
• Einführung zum Mikroskopieren im Frontalunterricht	• Einführung zum Mikroskopieren im Frontalunterricht
• Mikroskopieren & Hypothesenprüfung in Kleingruppen	• Mikroskopieren & Hypothesenprüfung in Plenumsdiskussion
• Zeichnung des Modells (Einzelarbeit)	• Zeichnung des Modells (im Plenum)
• Lückentext in Partnerarbeit bearbeitet	• Lückentext im fragend-entwickelnden Frontalunterricht bearbeitet

4.4 Datenerhebung und -auswertung

Es wurden nur Daten verwendet, zu denen Einverständniserklärungen vorlagen. Ein Pseudonymisierungsverfahren gewährleistete sowohl die Anonymisierung der Daten der S*S als auch eine personenbezogene Auswertung der Leistung zu

verschiedenen Messzeitpunkten (t0, t1 und t2). Die Daten wurden zunächst für alle Proband*innen individuell ausgewertet und anschließend über die Klassen und Gruppen gemittelt. Die quantitative Datenauswertung erfolgte mit SPSS Statistics (Version 25, SPSS Inc.). Das Programm MAXQDA (Version 2018.1, VERBI Inc.) diente der qualitativen Analyse der Daten aus dem MKT.

5 Ergebnisse

Die Gruppen der Studie unterschieden sich weder in der kognitiven Grundfähigkeit (SoM: $M = 2.28$ Bits/s ($SD = 0.37$); TcM: $M = 2.19$ 2.28 Bits/s ($SD = 0.48$); KG: $M = 2.18$ 2.28 Bits/s ($SD = 0.40$)), noch in den abhängigen Variablen Fachwissen und Modellkompetenz im t0 (Abbildung 1 und 2) statistisch signifikant voneinander. Darüber hinaus konnte kein signifikanter Unterschied in den Subskalen der KIM zwischen SoM- und TcM-Gruppe festgestellt werden (Abbildung 3). In t1 und t2 erreichten die S*S der beiden Interventionsgruppen signifikant höhere Punktzahlen in Fachwissen und Modellkompetenz (Abbildung 1 und 2) als die KG. Die höchste Punktzahl erreichte jeweils die SoM-Gruppe, wobei der Unterschied zur TcM-Gruppe im Kontext des Fachwissens nur im t2 statistisch signifikant ist (Abbildung 1). Bezüglich der Ergebnisse zum Fachwissen fällt auf, dass sich die SoM Gruppe von t1 zu t2 verbesserte, während die TcM-Gruppe in t1 im Vergleich zu t2 geringere Punktzahlen erzielte (Abbildung 1).

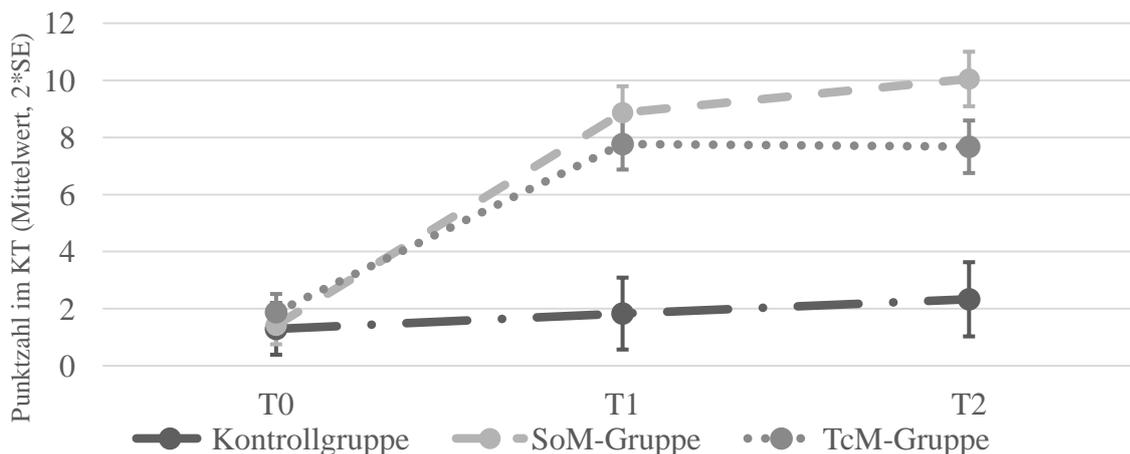


Abbildung 1: Ausprägung des Fachwissens zu den verschiedenen Messzeitpunkten in den Gruppen (Interaktionseffekt für Gruppe* Zeitpunkt: $F_{2, 128} = 37.80$; $p < .001$; $\eta^2_{\text{part.}} = .371$). Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen besteht in Fällen, in denen die Mittelwerte außerhalb des doppelten Standardfehlers (Fehlerbalken, $2*SE$ der anderen Gruppe liegen (LOFTUS, 1993; SEDLMEIER, 1996).

Im Bereich der Modellkompetenz sind sowohl die Unterschiede aus t1 als auch aus t2 zwischen den beiden Interventionsgruppen statistisch signifikant

(Abbildung 2). Über alle Testzeitpunkte wurde beobachtet, dass ein Teil der S*S Fragen des MKT nicht beantworteten (t0: 45,9 %; t1: 15,2 %; t2: 14,9 %). Während im t0 des MKT 86,3 % aller Antworten über alle Teilkompetenzen hinweg entweder in Level 1, in Level 0 oder in die Kategorie „Keine Antwort“ eingeordnet wurden, zeigten die S*S der Interventionsgruppen in den Posttests die größten Lernerfolge, v. a. in der Teilkompetenz „Alternative Modelle“.

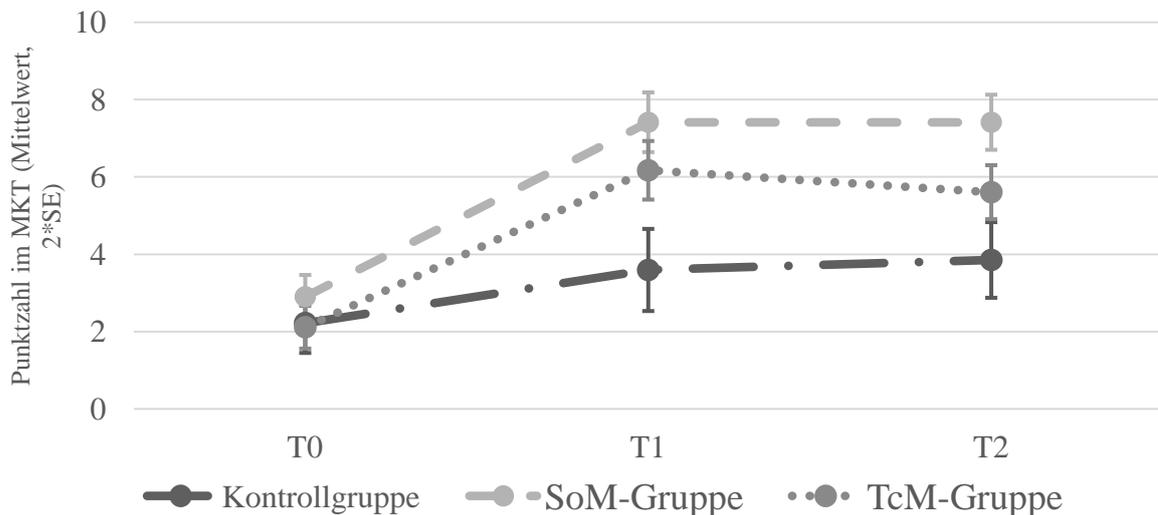


Abbildung 2: Ausprägung der Modellkompetenz zu den verschiedenen Messzeitpunkten in den Gruppen (Interaktionseffekt für Gruppe*Zeitpunkt: $F_{2, 128} = 139,47$; $p < .001$; $\eta^2_{\text{part.}} = .130$). Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen wie in Abbildung 1 über $2*SE$ angezeigt.

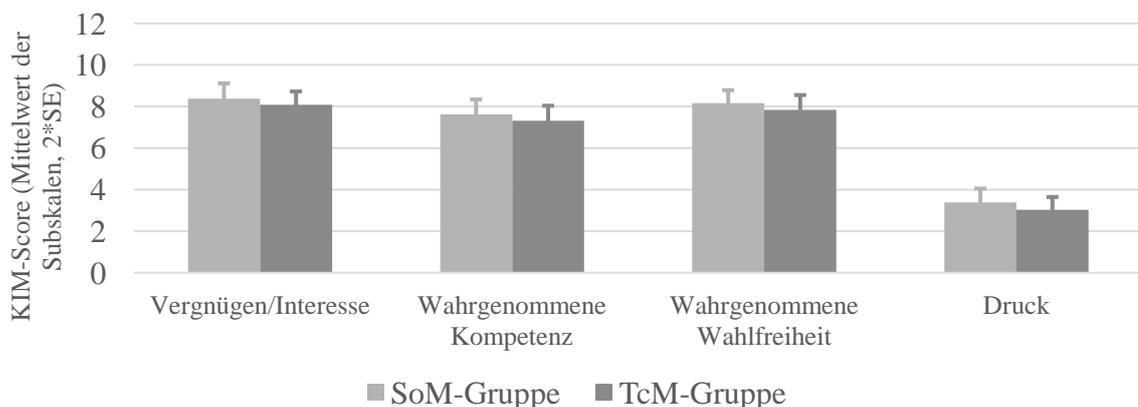


Abbildung 3: Gruppenvergleich bezüglich der motivationalen Qualität der Interventionen. Es wurden keine signifikanten Unterschiede in den Subskalen festgestellt ($N = 118$; maximal 12 Punkte pro Skala).

Wurden im Pretest die verschiedenen Modelle zur Pflanzenzelle mehrheitlich (51,9 %) von den S*S dadurch erklärt, dass es auch verschiedene Pflanzen oder Pflanzenzellen gebe (Niveaustufe 0 nach Kodierleitfaden), erklärten 44,4 % der S*S der SoM- und 44 % der TcM-Gruppe im t1, dass verschiedene Modelle aufgrund unterschiedlicher Vorstellungen zu einem Original zu erklären seien (Niveau 3 nach Kodierleitfaden). Im Follow-Up dieser Studie wurde das

Niveau 3 in dieser Teilkompetenz von 40,4 % der S*S der SoM- und von 36,2 % der TcM-Gruppe erreicht. In den anderen Teilkompetenzen wurde das Niveau 3 in den Interventionsgruppen vergleichsweise selten gezeigt: In den Teilkompetenzen „Eigenschaften von Modellen“ und „Ändern von Modellen“ erreichten weniger als 10 % der S*S der Interventionsgruppen das Level 3, in den übrigen Teilkompetenzen „Testen“ und „Zweck von Modellen“ weniger als 2 %. Dennoch äußerten die S*S der Interventionsgruppen auch in den Teilkompetenzen „Testen von Modellen“ (77,7 % der S*S der SoM und 59,3 % der TcM-Gruppe erreichten Level 2) und „Ändern von Modellen“ (72,2 % der S*S der SoM-Gruppe und 66,1 % der TcM-Gruppe erreichten Level 2) elaboriertere Modellkompetenz als im Pretest. Die S*S der KG zeigten vor allem in der Teilkompetenz „Ändern von Modellen“ (59,3 % der S*S erreichten Level 2 im t2) erhöhte Werte im Vergleich zum Pretest.

6 Diskussion

Beide Interventionen führten zu Lernerfolg im Bereich Fachwissen und Modellkompetenz im Vergleich zur KG. Dies stützt die erste Hypothese und steht im Einklang mit Ergebnissen anderer Autor*innen, die darlegen, dass der Einsatz von Modellen zur Erkenntnisgewinnung zum Aufbau von Modellkompetenz beiträgt und zur Steigerung des Fachwissens über das mit Hilfe des Modells repräsentierte Original führt (vgl. FLEIGE et al., 2016; GOBERT & PALLANT, 2004; GÜNTHER et al., 2017; KIM et al., 2015).

Bezüglich der intrinsischen Motivation ergab der Gruppenvergleich zwischen SoM- und TcM-Gruppe keinen signifikanten Unterschied in den Subskalen der KIM. Dies steht in Konflikt zu einigen Studien, die von einer erhöhten intrinsischen Motivation in SoM im Vergleich zu TcM berichten (z.B. STURM & BOGNER, 2008; SCHALL & BOGNER, 2005). Ursachen für diese verschiedenen Ergebnisse können in unterschiedlichen schülerzentrierten Unterrichtsformen liegen. Während in den Studien der o. g. Autor*innen im Handlungsmuster Stationsarbeit unterrichtet wurde, arbeiteten die S*S der SoM-Gruppe dieser Studie vor allem schülerzentriert in Kleingruppen. So berichten BERGER und HÄNZE (2004) zu Gruppenarbeit im Physikunterricht, dass eine erhöhte intrinsische Motivation von SoM im Vergleich zu TcM v. a. themengebunden auftritt.

Zum Fachwissen wurde festgestellt, dass S*S der SoM-Gruppe längerfristig besser abschnitten als S*S der TcM-Gruppe. Bei der Interpretation dieser Ergebnisse ist jedoch eine unterschiedliche Fortführung des Unterrichts in den Klassen in den beiden Versuchsgruppen zu berücksichtigen. Während alle Klassen der SoM-Gruppe in den Folgestunden nach Auskunft der Lehrkräfte

weiterhin im Themenfeld „Die Zelle – kleinste Funktionseinheit des Lebendigen“ (SENATSVERWALTUNG FÜR BILDUNG, 2017, S. 28) unterrichtet wurden, wechselte eine Klasse der TcM-Gruppe in den Folgestunden das Themenfeld zu „Lebensräume und ihre Bewohner – vielfältige Wechselwirkungen“ (SENATSVERWALTUNG FÜR BILDUNG, 2017, S.17). Diese Tatsache sowie weitere Ereignisse, wie z. B., dass in zwei SoM-Klassen vor t2 eine Klassenarbeit zum Thema geschrieben wurde, helfen den Anstieg im Fachwissen in der SoM-Gruppe von t1 zu t2 zu erklären. So ist davon auszugehen, dass diese Einflüsse in Bezug auf das im t2 gezeigte Fachwissen einen größeren Effekt hatten als die Unterrichtsintervention vier Wochen zuvor. Nach dieser Argumentation lassen die FWT-Werte im Follow-Up keine Rückschlüsse auf die Hypothese 2 zu.

Die Ergebnisse des MKT zeigen, dass die Reflexionen der S*S über Modelle sowohl vor als auch nach den Interventionen vergleichsweise selten das elaborierte Niveau 3 erreichten (vgl. GÜNTHER et al., 2017). Dennoch war es durch die 90-minütige Unterrichtsintervention in beiden Interventionsgruppen möglich, Kompetenzzuwächse v. a. in Bezug auf die Teilkompetenzen „Alternative Modelle“, „Testen von Modellen“ und „Ändern von Modellen zu erzielen, wenngleich S*S der SoM-Intervention etwas konsistenter ein höheres Level der Modellkompetenz erreichten als S*S, die lehrergelenkt unterrichtet wurden. Da sich die Folgestunden der Intervention in allen Klassen nicht auf Modelle bezogen, wird die Wirkung der Unterrichtsintervention auf die Follow-Up-Ergebnisse des MKT als hoch eingeschätzt. So stützen die Ergebnisse der Post-MKTs die zweite Hypothese. SoM zeigen demnach längerfristig höhere Effekte bei S*S bei Modellkompetenz als TcM. Der erhöhte Lernerfolg im Bereich Modellkompetenz der SoM- Gruppe kann aufgrund des mangelnden Unterschiedes in den Subskalen der KIM nicht auf eine erhöhte motivationale Qualität im Unterricht zurückgeführt werden. Eher könnte dieser darin begründet sein, dass durch die hohe Selbsttätigkeit der S*S in SoM eine intuitivere Auseinandersetzung mit den Modellen gewährleistet wurde als in TcM. Diese intuitiven kognitiven Prozesse können eher zu einem Verständnis (AUFSCHNAITER & AUFSCHNAITER, 2001) über die Verwendung des Modells als Methode und resultierend daraus zu einer höheren Modellkompetenz geführt haben.

Diesbezüglich müssen die Limitationen des offenen Aufgabenformats des MKT beachtet werden: So wurde festgestellt, dass über alle Testzeitpunkte S*S aller Gruppen unerwartet häufig nicht auf die Fragen antworteten. Darüber hinaus wurde im Allgemeinen in sehr kurzen Stichworten auf die offenen Fragen geantwortet. Dies führte stellenweise zu einem gewissen Interpretationsbedarf während der Kodierung. Dennoch spricht der Cohen's κ

von $\leq .79$ der Zweitkodierung für eine zufriedenstellende Objektivität der Interpretation (WIRTZ & CASPAR, 2002) von Kurzworten mithilfe des Kodierleitfadens. In Bezug auf die längerfristige Wirkung der Unterrichtsinterventionen muss kritisch hinterfragt werden, inwiefern eine Follow-Up-Messung nach vier Wochen Aufschluss über den längerfristigen Lernerfolg der S*S geben kann.

7 Fazit

Die vorgelegten Ergebnisse lassen vermuten, dass in dieser Studie SoM die Modellkompetenz effektiver förderten als TcM. Dies kann darin begründet sein, dass SoM den S*S eher die Möglichkeit der intuitiveren Auseinandersetzung mit Modellen als Methode der Erkenntnisgewinnung ermöglichen als TcM. Damit wurde eine Interventionsstudie im experimentellen Ansatz zur Evaluation von Unterrichtsmethoden vorgelegt, welche auf die Ziele des kompetenzorientierten Biologieunterrichtes Bezug nimmt. Die über das Fachwissen hinausgehende ergänzende Operationalisierung des Lernerfolges über das Konstrukt Modellkompetenz kann eine Anregung für weitere Studien in anderen Jahrgangsstufen und zu anderen Themenfeldern sein. Solche Studien können helfen, weitere Bedingungen zu identifizieren, unter denen Modellkompetenz in SoM effektiver gefördert werden als in TcM. Die Ergebnisse dieser Studie weisen darauf hin, dass instruierte SoM mit hoher Selbsttätigkeit der S*S im naturwissenschaftlichen Unterricht ihren Platz haben sollten.

Zitierte Literatur

- ACKERMAN, P. L. (1987). Individual differences in skill learning: An integration of psychometric and information processing perspectives. *Psychological Bulletin*, 102, 3.
- ALFIERI, L., BROOKS, P. J., ALDRICH, N. J., & TENENBAUM, H. R. (2011). Does discovery-based instruction enhance learning? *Journal of Educational Psychology*, 103(1), 1–18. <https://doi.org/10.1037/a0021017>
- AUFSCHNAITER, S. VON, & AUFSCHNAITER, C. VON. (2001). Eine neue Aufgabenkultur für den Physikunterricht. Was fachdidaktische Lernprozess-Forschung zur Entwicklung von Aufgaben beitragen kann. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 54(7), 409–416. (592518).
- BÄTZ, K., BECK, L., KRAMER, L., NIESTRADT, J., & WILDE, M. (2009). Wie beeinflusst Schülermitbestimmung im Biologieunterricht intrinsische Motivation und Wissenserwerb? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 15, 307–323.
- BERGAU, M., IXMEIER, R., LITZ, M., SCHÄFER, B., & WILMER-KLUMPP, C. (2013). *Arbeitsblätter Plus: Biologie 1, Differenzierend unterrichten*. Stuttgart: Klett.
- BERGER, R., & HÄNZE, M. (2004). Das Gruppenpuzzle im Physikunterricht der Sekundarstufe II - Einfluss auf Motivation, Lernen und Leistung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 205–219. (693946).

- BLACK, A. E., & DECI, E. L. (2000). The effects of instructors' autonomy support and students' autonomous motivation on learning organic chemistry: A self-determination theory perspective. *Science Education*, 84, 740–756.
- CLARK, R., KIRSCHNER, P. A., & SWELLER, J. (2013). Putting students on the path to learning: The case for fully guided instruction. *American Educator*, 36(1), 6–11.
- COHEN, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal Scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37–46.
- DECI, E. L., & RYAN, R. M. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *Am Psychol*, 55(1), 68–78.
- DÖRING, N., & BORTZ, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Berlin: Springer.
- FLEIGE, J., SEEGER, A., UPMEIER ZU BELZEN, A., & KRÜGER, D. (2016). *Modellkompetenz im Biologieunterricht 7-10: Phänomene begreifbar machen—In 11 komplett ausgearbeiteten Unterrichtseinheiten* (2.). Donauwörth: Auer.
- FURTA, E. M., SEIDEL, T., IVERSON, H., & BRIGGS, D. C. (2012). Experimental and quasi-experimental studies of Inquiry-based science teaching: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 82(3), 300–329.
- GERSTNER, S. (2009). *Eine empirische Studie zum Einsatz von schülerzentrierten Unterrichtsmethoden im Natur- und Technik-Unterricht zum Thema „Wasser—Grundlage des Lebens“* (Bayreuth, Univ., Diss., 2009.). Abgerufen von <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bvb:703-opus-6479>
- GOBERT, J., & PALLANT, A. (2004). Fostering students' epistemologies of models via authentic model-based tasks. *Journal of Science Education and Technology*, 13(1), 7–22.
- GRÜNKORN, J., & KRÜGER, D. (2012). Entwicklung und Evaluierung von Aufgaben im offenen Antwortformat zur empirischen Überprüfung eines Kompetenzmodells zur Modellkompetenz. In U. HARMS & F. X. BOGNER [Hrsg.], *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik 5 „Didaktik der Biologie—Standortbestimmung und Perspektiven“*, Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO, Bayreuth 2011 (S. S. 9-27). Innsbruck u.a.: Studien Verlag. (1021760).
- GRÜNKORN, J., UPMEIER ZU BELZEN, A., & KRÜGER, D. (2014). Assessing students' understandings of biological models and their use in science to evaluate a theoretical framework. *International Journal of Science Education*, 36(10), 1651–1684.
- GÜNTHER, S. L., FLEIGE, J., UPMEIER ZU BELZEN, A., & KRÜGER, D. (2017). Interventionsstudie mit angehenden Lehrkräften zur Förderung von Modellkompetenz im Unterrichtsfach Biologie. In C. GRÄSEL & K. TREMPER [Hrsg.], *Entwicklung von Professionalität pädagogischen Personals*. Wiesbaden: Springer.
- HOF, S. (2010). *Wissenschaftsmethodischer Kompetenzerwerb durch Forschendes Lernen—Entwicklung und Evaluation einer Interventionsstudie*. Kassel: kassel university press.
- KILLERMANN, W., HIERING, P., & STAROSTA, B. (2013). *Biologieunterricht heute: Eine moderne Fachdidaktik* (15.). Donauwörth: Auer.
- KIM, B., PATHAK, S. A., JACOBSON, M. J., ZHANG, B., & GOBERT, J. D. (2015). Cycles of Exploration, Reflection, and Consolidation in Model-Based Learning of Genetics. *Journal of Science Education and Technology*, 24(6), 789–802.
- KMK. (2005). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10): Beschluss vom 16.12.2004*. Abgerufen von <http://www.kmk.org>.
- KRELL, M., & KRÜGER, D. (2010). Diagnose von Modellkompetenz Deduktive Konstruktion und Selektion von geschlossenen Items. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 9, 23–38.
- LOFTUS, G. R. (1993). A picture is worth a thousand p values: On the irrelevance of hypothesis testing in the microcomputer age. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 25(2), 250–256.
- LORD, T. R. (1997). A comparison between traditional and constructivist teaching in college biology. *Innovative Higher Education*, 21(3), 197–216.
- NERDEL, C. (2017). *Grundlagen der Naturwissenschaftsdidaktik Kompetenzorientiert und aufgabenbasiert für Schule und Hochschule*. München: Springer.

- RANDLER, C., & HULDE, M. (2007). Hands- on versus teacher- centred experiments in soil ecology. *Research in Science & Technological Education*, 25(3), 329–338.
- RENKL, A. (2009). Why constructivists should not talk about constructivist learning environments: A commentary on Loyens and Gijbels (2008). *Instructional Science*, 37(5), 495–498.
- RINDERMANN, H., & NEUBAUER, A. (2000). Speed of information processing and success at school: Do basal measures of intelligence have predictive validity? *Diagnostica*, 46(1).
- SCHAAL, S., & BOGNER, F. X. (2005). Human visual perception—Learning at workstations. *Journal of Biological Education*, 40(1), 32–37.
- SCHALLIES, M. (2002). Naturwissenschaftlicher Unterricht im neuen Jahrhundert. Zur Diskussion. *Biologie in unserer Zeit*, 32(1), 50–57. (593723).
- SCHUH, K. L. (2004). Learner-centered principles in teacher-centered practices? *Teaching and Teacher Education*, 20(8), 833–846.
- SEDLMEIER, P. (1996). Jenseits des Signifikanztest-Rituals:Ergänzungen und Alternativen. *Methods of Psychological Research*, 1(4), 41–63.
- SEIFRIED, J. (2004). Schüleraktivitäten beim selbstorganisierten Lernen und deren Auswirkungen auf den Lernerfolg. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, (4), 569–584. (689043).
- SENATSVERWALTUNG FÜR BILDUNG, JUGEND UND FAMILIE. (2017). Rahmenlehrplan 1-10 kompakt Themen und Inhalte des Berliner Unterrichts im Überblick. Abgerufen von <https://www.berlin.de/sen/bildung/unterricht/faecher-rahmenlehrplaene/rahmenlehrplaene/>
- STURM, H., & BOGNER, F. X. (2008). Studentoriented versus Teachercentred: The effect of learning at workstations about birds and bird flight on cognitive achievement and motivation. *International Journal of Science Education*, 30(7), 941–959.
- UPMEIER ZU BELZEN, A., & KRÜGER, D. (2010). Modellkompetenz im Biologieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 41–57.
- WILDE, M., BÄTZ, K., KOVALEVA, A., & URHAHNE, D. (2009). Überprüfung einer Kurzsкала intrinsischer Motivation (KIM). *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 15, 31–45.
- WIRTZ, M. A., & CASPAR, F. (2002). *Beurteilerübereinstimmung und Beurteilerreliabilität: Methoden zur Bestimmung und Verbesserung der Zuverlässigkeit von Einschätzungen mittels Kategoriensystemen und Ratingskalen*. Göttingen: Hogrefe.

