

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Der Nutzen Interaktiver Simulationen im
Chemieunterricht im Sinne einer metakognitiven
Förderung des Abstraktionsvermögens auf molekularer
Ebene“

verfasst von / submitted by

David Prorok BEd

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Education (MEd)

Wien, 2023 / Vienna 2023

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

UA 199 504 525 02

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet::

Masterstudium Lehramt Sek (AB) Unterrichtsfach Chemie
Unterrichtsfach Psychologie und Philosophie Lehrverbund

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Michael Alfred Anton

Abstract

Diese Arbeit untersucht den Nutzen Interaktiver Simulationen (IS) für den Chemieunterricht bei der Förderung des Abstraktionsvermögens. Chemische Phänomene und deren Gesetzmäßigkeiten auf molekularer Ebene abstrahieren zu können gehört zu den Grundpfeilern chemischer Bildung. Zu diesem Zweck werden die Formen modellhafter chemischer Abstraktionen auf didaktischer, wissenschaftstheoretischer und erkenntnistheoretischer Ebene beleuchtet, um sie unter dem Begriff Metakognition in einem umfassenden Lernmodell zusammenzuführen.

Im Weiteren werden IS als Unterrichtsmethode differenziert und didaktisch beleuchtet. Ziel ist eine auf den Lernkontext fokussierte Darstellung des konkreten Lerngeschehens. Aus diesem lassen sich Formen der Implementierung ableiten. Ob IS einen Nutzen für das Abstraktionsvermögen haben, hängt wesentlich von dem zugrundeliegenden didaktischen Konzept ab.

Eine Umfrage unter Lehrkräften liefert zudem Einblicke in deren Einstellungen zu digitalen Unterrichtsmedien im Allgemeinen sowie zu IS speziell. Die Ergebnisse zeigen, dass IS das abstrakte Denkvermögen nur dann verbessern können, wenn sie in geeignete didaktische Konzepte eingebettet werden und ihre spezifischen Eigenschaften bewusst genutzt werden.

Inhaltsverzeichnis

I. Einleitung	1
II. Abstraktionsvermögen und Modellieren.....	2
II.1. Chemedidaktische Einordnung der Repräsentationsebenen	3
II.1.1. Johnston Dreieck	3
II.1.2. Mahaffy Tetraeder.....	5
II.2. Molekulare Ebene als zentrale Herausforderung für gelingenden Chemieunterricht.....	6
II.2.1. Modelldenken aus wissenschaftstheoretischer Sicht	8
II.2.2. Modelldenken aus erkenntnistheoretischer Sicht	11
II.2.3. Modelldenken aus metakognitiver Sicht.....	19
III. Interaktive Simulationen (IS) im Chemieunterricht.....	25
III.1. IS im Vergleich mit anderen Unterrichtsmedien	26
III. 1.1. Medien als Mittler von Zeichen	26
III.1.2. Eigenschaften von IS	29
III.2. Lernkontext beim Einsatz von IS	32
III.2.1. Interaktive Simulationen	35
III.2.2. Aufgabe	39
III.2.3. Heuristiken	40
III.2.4. Umgebung.....	43
IV. Politische und soziale Implikationen von digitalen Schulmedien	45
IV.1. Implementierung neuer Technologien im System Schule.....	45
IV.2. Ministerialer Masterplan für Digitalisierung	46
V. Umfrage zu digitalen Unterrichtsmethoden und IS	49
V.1. Methodik der Umfrage	49
V.1.1. Ablauf	49
V.1.2. Messinstrumente und Auswertung	49
V.1.3. Stichprobenbeschreibung.....	52
V.2. Ergebnisse der Umfrage.....	53
V.2.1. Deskriptive Statistik.....	53
V.2.2. Interpretation der Ergebnisse	60
VI. Diskussion	62
VII. Verzeichnisse	66
VII.1. Literaturverzeichnis	66
VII.2. Abbildungsverzeichnis.....	73
VII.3. Tabellenverzeichnis	74
VIII. Anhang	75
VIII.1. Fragebogen.....	75
VIII.1.1. Soziodemografische Daten	75
VIII.1.2. Einstellungen zu digitalen Unterrichtsmedien.....	75
VIII.1.3. Einstellungen zu IS	76
VIII.2. Auswertung der Umfrage	79
VIII.2.1. Soziodemografische Daten	79
VIII.2.2. Einstellungen zu digitalen Unterrichtsmedien.....	79
VIII.2.3. Einstellungen zu IS	81

I. Einleitung

Das Bild von Schule und Unterricht wird zunehmend von digitalisierten Medien geprägt und spiegelt einen gesamtgesellschaftlichen Transformationsprozess wider (Naisbitt & Naisbitt, 2019). Um Lernprozesse zu komplexen und abstrakten naturwissenschaftlichen Konzepten zu optimieren, bieten digitale Medien neue Möglichkeiten im Bereich der Darstellungs- und Interaktionsformen. Ziel dieser Arbeit ist es, den potenziellen Nutzen Interaktiver Simulationen (IS) für das Abstraktionsvermögen im Chemieunterricht zu untersuchen.

Die Fähigkeit, verschiedene Darstellungsebenen eines Phänomens zu überblicken und miteinander zu kombinieren, kann zusammenfassend als Abstraktionsvermögen bezeichnet werden. Für die Entwicklung dieses Vermögens spielt in der Chemie der molekulare Raum eine herausragende Rolle. Die molekulare Ebene, als zentrale Erklärungsebene, bildet das Fundament für das Verständnis chemischer Abstraktionen (Johnston, 2000; Stieff & Wilensky, 2003).

Es ist Aufgabe der Lehrkraft, die IS in ein didaktisches Konzept zu kleiden, um Lehr- und Lernprozesse auf diesem Gebiet gewinnbringend zu gestalten (Gutbrod, 2020). Die Entwicklung metakognitiver Kompetenzen ist für das Modellverständnis von elementarer Bedeutung. Metakognition, als die Fähigkeit, über das Denken selbst nachzudenken (Kaiser, 2018), erfordert ein Zusammenspiel von wissenschafts- und erkenntnistheoretischen Inhalten.

Zur Ergänzung der theoretischen Grundlagen wurden Lehrkräfte zu ihren Einstellungen gegenüber digitalen Unterrichtsmedien im Allgemeinen sowie IS im Speziellen befragt. Die Ergebnisse dieser Umfrage liefern aufschlussreiche Einblicke in die gegenwärtige Haltung der Lehrkräfte. Die Lehrkräfte fungieren dabei als Experten, die dieses Unterrichtsmedium bewerten.

Abschließend werden die gewonnenen Erkenntnisse zusammengeführt, um zu einem Resümee zu gelangen. Dabei wird betont, dass IS das Abstraktionsvermögen nur dann verbessern können, wenn sie in ein geeignetes didaktisches Konzept eingebettet sind, das ihre spezifischen Eigenschaften bewusst nutzt.

II. Abstraktionsvermögen und Modellieren

Chemische Phänomene können als ein komplexes Bündel an Informationen betrachtet werden, welches sich anhand der unterschiedlichen Abstraktionsebenen entwirren lässt. Zusammengenommen zeichnen die Ebenen den Weg vom konkreten Phänomen hin zur mentalen Abstraktion nach. Ein tiefes Verständnis für die Zusammenhänge der unterschiedlichen Ebenen ist notwendig, um ein Abstraktionsvermögen entwickeln zu können (Anton, 2018).

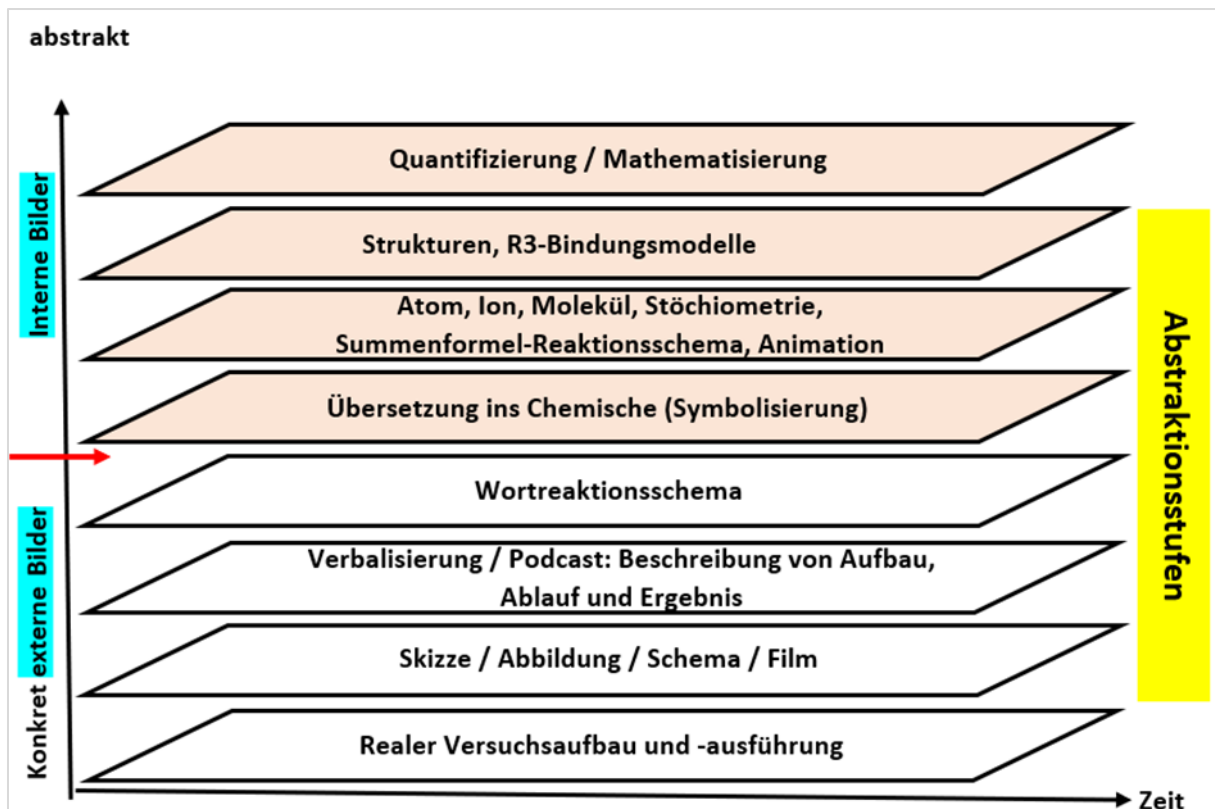


Abbildung 1 Abstraktionsebenen (Leisen, 2015; zitiert nach Anton, 2018, S. 242)

Dieses Modell macht erkennbar, dass zwischen vierter und fünfter Ebene ein "qualitativer Lernsprung" stattfindet, der den Abruf interner Bilder erfordert (Lenz & Meretz, 1995, S. 108-109). Interne Bilder dieser Art sind kennzeichnend für das Abstraktionsvermögen. Eine kleinschrittige Begleitung durch die Lehrkraft ist erforderlich, um als Lernender diesen Sprung meistern zu können (Anton, 2018).

II.1. Chemiedidaktische Einordnung der Repräsentationsebenen

Die vorgestellten Repräsentationsebenen sollen in ein didaktisches Arbeitsmodell überführt werden, welches den Herausforderungen der Lernenden und der Lehrkraft gerecht wird. Der dynamische Charakter, welcher die Bewegungen zwischen den Ebenen und somit das Denken in der Chemie kennzeichnet (Justi et al., 2009), muss Kern eines solchen Modells sein, um der unterrichtlichen Praxis gerecht zu werden.

II.1.1. Johnston Dreieck

Johnston (2000) unterscheidet drei miteinander verbundene Repräsentationsebenen im Chemieunterricht: die molekulare, makroskopische und symbolische Ebene. Die Kombination der drei Ebenen ermöglicht über das konkrete Phänomen hinaus, das nicht Wahrnehmbare erschließbar zu machen (Stern, 2002, S.37).

Johnston (2000) plädiert für einen ausdifferenzierten und kleinschrittigen Umgang mit den verschiedenen Repräsentationsebenen im Unterricht. Ein zu schneller und unreflektierter Wechsel zwischen den Ebenen ist, wegen der begrenzten Kapazität des Arbeitsgedächtnisses, ein Garant zur Überforderung chemischer Laien. Neben der Menge der Informationen ist es wichtig, die Nachvollziehbarkeit und Niederschwelligkeit der Inhalte im Blick zu behalten.

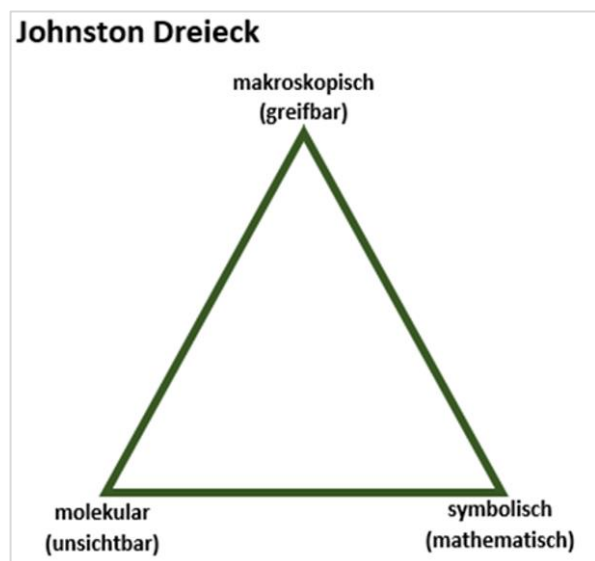


Abbildung 2 Die drei Ebenen des Johnston Dreiecks nach Schnitker (2016, S. 393)

Die drei Ebenen fanden zum Dreieck zusammengefasst ihren Einzug in die didaktische Literatur und sind heute fester Bestandteil der Chemiedidaktik (de Jong et al., 2013).

Die *molekulare Ebene*, auch Teilchenebene, umfasst den modellhaft beschriebenen submikroskopischen Raum. Teilchen ist hier ein undifferenzierter Sammelbegriff für Atome, Moleküle, Ionen, Elementarteilchen, etc. (Sieve, 2015, S. 32).

Die *makroskopische Ebene* bzw. Phänomenebene (Barke, 2002, S. 45), Erfahrungswelt (Mikelskis-Seifert et al., 2005, S. 30) oder Mesokosmos (Vollmer, 1975, S. 161) ist die Ebene des sinnlich erfahrbaren Phänomens.

Die *symbolischen Ebene*, auch Formel oder Symbolebene genannt, enthält den Kanon chemischer und mathematischer Symbole und deren Beziehungen (z.B. Formeln, Reaktionsgleichungen, etc.) zueinander (Sieve, 2015, S. 32).

Die Inhalte der molekularen und der makroskopischen Ebene können in verschiedenen Darstellungsformen zum Ausdruck kommen, wobei sich die symbolische Ebene im Regelfall nur in mathematischen Sinnzusammenhängen erfassen lässt (Justi et al., 2009).

Für das Grundverständnis chemischer Prozesse und Konzepte ist die Fähigkeit, alle Darstellungsebenen zu erfassen und zwischen diesen hin und her zu wechseln, unerlässlich (Johnstone, 2000; Gilbert & Treagust, 2009; Justi et al., 2009; Eilks & Bindernagel, 2008; Talanquer, 2011; Farida et al., 2017). Ein Grundverständnis über das Zusammenspiel dieser drei Ebenen ermöglicht neben der Nachvollziehbarkeit der Eigenschaften von Materie auch einen Blick in generelle wissenschaftliche Methodiken (Justi et al., 2009).

Die drei Ebenen müssen, durch Hervorheben der Unterschiede, bei der Vermittlung auseinandergehalten und für den Lernenden transparent dargestellt werden (Johnstone, 2000). Weiters müssen die Ebenen sinnvoll miteinander verbunden werden (Justi et al., 2009; Farida et al., 2017). Dieser Aspekt wird im Unterricht häufig vernachlässigt (Farida et al., 2017).

Sieve (2012, S. 42) merkt in diesem Zusammenhang an, dass die molekulare Ebene aufgrund ihres modellhaften Charakters der Symbolebene zugeordnet werden sollte. Die Besonderheit der molekularen Ebene, so Sieve (2015, S. 33-34), liegt in dem Grad der Komplexität und des Abstraktionsniveaus der verwendeten Modelle. Dieser Überlegung folgend, würde das Dreieck einer linearen Anordnung zweier entgegengesetzter Pole weichen.

Im weiteren Verlauf wird ein Schwerpunkt auf die besondere Bedeutung der modellhaft erlebbaren molekularen Ebene gelegt. Es ist deshalb sinnvoll, die modellhaft vermittelte molekulare Ebene gesondert von der symbolischen Ebene zu betrachten.

Diese Trennung kann jedoch nur schemenhaft erfolgen, da gewisse Überschneidungen unvermeidlich sind.

II.1.2. Mahaffy Tetraeder

Mahaffy knüpft an die Überlegungen Johnston's an und erweiterte das Johnston Dreieck um die menschliche Domäne. Ziel ist den Lernenden, mit seinen Vorstellungen und Überlegungen sowie dessen Alltagsbezug zum festen Bestandteil des Modells zu machen, wobei das zweidimensionale Dreieck einer dreidimensionalen Tetraederform weicht (Schnitker, 2016).

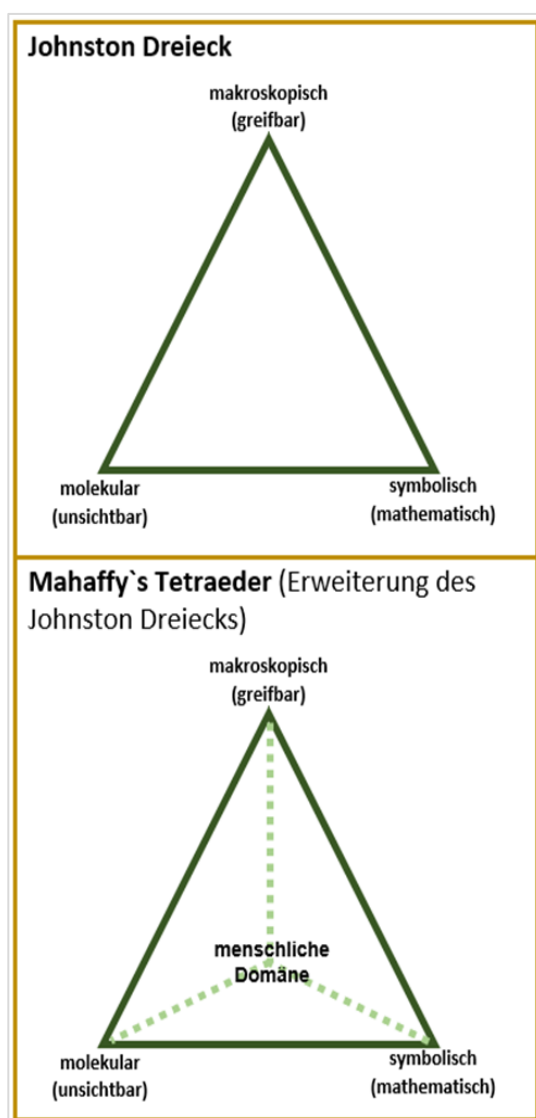


Abbildung 3 Vom Johnston Dreieck zu Mahaffy's Tetrader durch Erweiterung um die menschliche Domäne

Die Erweiterung des Dreiecks um die menschliche Domäne eröffnet neue Möglichkeiten für die Betrachtung von Unterricht. Neben den rein fachlichen Herausforderungen rücken die Bedürfnisse und Interessen der Lernenden sowie die kognitiven, psychologischen, sozialen und emotionalen Aspekte des Lernens in den Vordergrund. Lernen wird als dynamischer und interaktiver Prozess verstanden, was ein ganzheitlicheres Bild von Unterricht ermöglicht.

Jegliches Lernen im Chemieunterricht kann als eine Bewegung innerhalb dieses Tetraeders verstanden werden. Unterricht, der einzelne Ebenen und somit gewisse Räume innerhalb des Tetraeders vernachlässigt, hat ein mangelhaftes Lernergebnis zur Folge. Chemie kann nur begreifbar gemacht werden, wenn ein Sachverhalt auf unterschiedlichen Darstellungsebenen betrachtet wird (Justi et al., 2009; Schnitker, 2016).

Die Konfrontation der Lernenden mit den verschiedenen Repräsentationsebenen ist notwendig, um sie zu befähigen, auf submikroskopischer Ebene zu argumentieren.

Das ist die Grundlage für die Fähigkeit, Modellvorstellungen sinnvoll auf die symbolische Ebene übertragen zu können (Justi et al., 2009; Barke, 2019).

II.2. Molekulare Ebene als zentrale Herausforderung für gelingenden Chemieunterricht

Die folgenden Ausführungen arbeiten das Verhältnis zwischen der makroskopischen, der molekularen und der menschlichen Domäne heraus (Abb. 4). Das Wechselspiel zwischen diesen drei Domänen stellt eine besondere Herausforderung für das Gelingen des Chemieunterrichts dar.

Wie Studien zeigen konnten, ist der Wechsel zwischen der makroskopischen und der molekularen Ebene eine große Hürde für Lernende des Chemieanfangsunterrichts (Özmen, 2011; Bilgin et al., 2017).

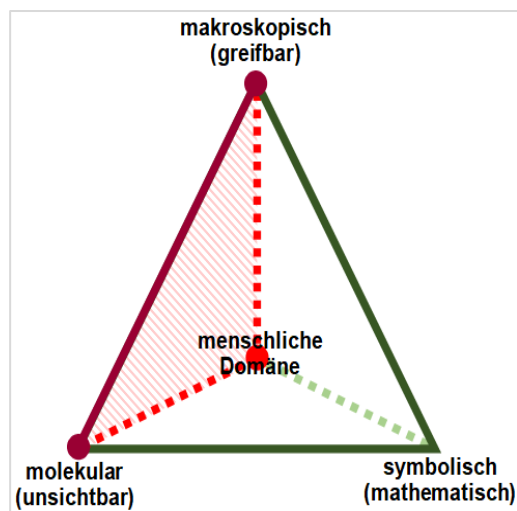


Abbildung 4 Eingrenzung der spezifischen Herausforderungen im Bezug auf das Spannungsverhältnis zwischen molekularer und makroskopischer Ebene anhand des Mahaffy Tetraeders.

Paradoxerweise neigen Lehrbücher (Bucat & Mocerino, 2009) und Lehrkräfte erstens dazu, sich in ihrem Unterricht sehr stark auf die makroskopische und symbolische Ebene zu beschränken (Gabel, 1999; Farida et al., 2017) und zweitens, sich über die verschiedenen Darstellungsebenen hinwegzubewegen, ohne ihre Interkonnektivität hervorzuheben. Die Lehrkräfte gehen implizit davon aus, dass die Lernenden die Verbindungen selbstständig herstellen können (Farida et al., 2017).

Ruft sich die Lehrkraft die Inhalte der unterschiedlichen Ebenen ins Bewusstsein, erscheinen sie ihr aufgrund der eigenen Expertise immer im größeren Kontext. Die Informationen sind für sie im jeweiligen Themengebiet lokalisierbar und erscheinen ihnen immer vor einer Matrix logischer Sinnzusammenhänge. Diesen Zustand als Norm zu empfinden, kann die Lehrkraft jedoch daran hindern, die Probleme der Lernenden nachzuempfinden (Anton, 2018, S. 311).

Es besteht die Gefahr, dass die molekulare Ebene mit ihrem Potential für die Verständlichmachung chemischer Phänomene ins Hintertreffen gerät, obwohl die Einsicht, dass chemische Prozesse Vorgänge sind, „bei denen Materie ihre

Eigenschaften deshalb ändert, weil sich im submikroskopischen Bereich die Bausteine unter energetischen Veränderungen neu orientieren (können)“ (Hoffmann, 1997; zitiert nach Anton, 2018, S. 92), ein zentrales Charakteristikum chemischer Grundbildung ist (Anton, 2018, S. 92).

Gerade die molekulare Ebene spielt für die Nachvollziehbarkeit chemischer Fachinhalte eine Schlüsselrolle. Sie ist jene Ebene, die versucht, die Materie in seiner tatsächlichen Verfasstheit darzustellen (Johnston, 2000; Stieff & Wilensky, 2003) und hat eine erklärend beschreibende Funktion in Bezug auf die anderen Ebenen.

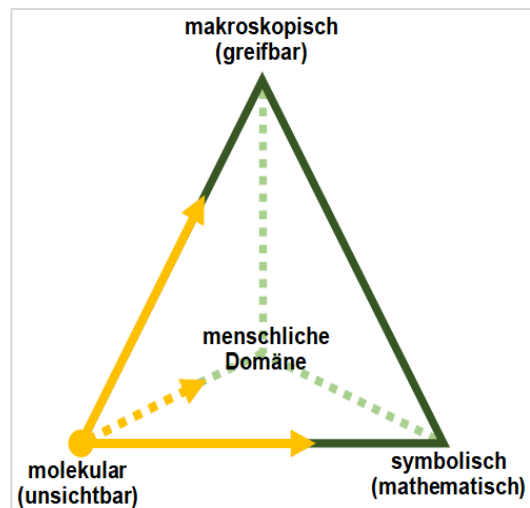


Abbildung 5 Die molekulare Ebene als beschreibend und erklärende Ebene

Die Natur der Materie als didaktischer Stolperstein

Die molekulare Ebene für den Unterricht zugänglich zu machen, scheint eine wesentliche Herausforderung darzustellen. Dies erfordert die Kombination von Modellen und Vorstellungskraft, wobei die direkte Beobachtung nicht ausreicht (Schnitker, 2016; Mikelskis-Seifert et al., 2005).

Tabelle 1 Vier zentrale Konzepte der Teilchenstruktur von Materie (Schnitker, 2016, S. 393)

Diskrete Natur der Materie: Materie lässt sich nicht als ununterbrochene Masse darstellen. Begreifbar wird sie erst durch die Zergliederung in Atome, Ionen und Moleküle.

Quantenmechanische Natur der Materie: Die atomare und subatomare Welt unterliegt Gesetzmäßigkeiten, welche nicht aus der direkten Beobachtung des makroskopischen Phänomens abgeleitet werden können.

Dynamische Natur der Materie: Teilchen sind kein starres Gebilde, sondern sie sind ununterbrochen in Bewegung.

Wechselwirkungen zwischen den Teilchen der Materie: Konzepte der molekularen Ebene beschreiben in der Regel Wechselwirkungen mehrerer Teilchen miteinander und betrachten nicht das einzelne (isolierte) Teilchen.

Schnitker (2016, S. 393) umreißt für diesen Zweck die besondere Beschaffenheit dieser Ebene. Die „vier zentralen Konzepte der Teilchenstruktur von Materie“ machen das Spannungsfeld zwischen den fachlichen Inhalten und den Lernenden sichtbar.

Es zeigt sich, dass die *diskrete Natur der Materie* ein besonderes Problem für die Lernenden darstellt. Trotz großer Bemühungen, die einzelnen Bestandteile von Materie zu betonen, scheinen die Lernenden erhebliche Schwierigkeiten zu haben, die Vorstellung von einem ununterbrochenen Kontinuum der Materie zu überwinden (Bucat & Mocerino, 2009; Tsarpalis & Sievert, 2013).

Die *quantenmechanische Natur* wie die Ladungsdichteverteilung von chemischen Bindungen ist mit dem klassischen Teilchenmodell nicht ausreichend darstellbar (Bader, 2000; Schnitker, 2016).

Die *dynamische Natur* und die *Wechselwirkungen zwischen den Teilchen* kann mit klassischen Unterrichtsmedien (z.B. Schulbuch, Arbeitsblatt, Tafel, etc.) nur unzureichend dargestellt werden. Der Eindruck der Starrheit von Materie wird verfestigt, wenn die Lernenden nicht ausreichend auf den dynamischen Charakter hingewiesen werden und diesen aktiv mitdenken (Schmitz, 2009, S. 7).

II.2.1. Modelldenken aus wissenschaftstheoretischer Sicht

Der Modellbegriff selbst ist kulturell geprägt und mit entsprechend vielen Bedeutungen besetzt. In der Alltagssprachlichen Verwendung steht die Abbildung des Aussehens eines Zielobjekts im Vordergrund. Die Nachzeichnung von Funktionen und abstrakten Strukturen im Sinne der Hervorhebung von Merkmalen, tritt in den Hintergrund. Der Modellbegriff selbst enthält ein unübersichtliches Gewirr an Bedeutungen. Im Folgenden soll eine Entwirrung des Modellbegriffs in Bezug auf die chemische Fachwissenschaft und Didaktik erfolgen (Mikelskis-Seifert et al., 2005).

Um ein Modell verstehen und einordnen zu können, muss seine Natur diskutiert und seine Entstehung dargestellt werden. Die erkenntnistheoretische Natur von Modellen muss im naturwissenschaftlichen Unterricht reflektiert werden. In Modellen zu denken, bedeutet nicht bloß, eine Theorie auf ein Phänomen anzuwenden. Eine solche Einsicht ermöglicht einen besseren Umgang mit der Vielfalt von Modellen und den damit verbundenen Widersprüchen (Mikelskis-Seifert et al., 2005, Justi et al., 2009).

Definition fachwissenschaftlicher Modelle

Fachwissenschaftliche Modelle können gemäß van Driel und Verloop (1999) anhand der folgenden sieben Punkte definiert werden:

1. Sie sind *repräsentativ* für einen Zielbereich, das Modellobjekt bzw. den zu modellierenden Prozess.
2. Als *Forschungswerkzeug* machen sie Informationen zugänglich, die sich der direkten Beobachtbarkeit und Messbarkeit entziehen.
3. *Keine direkte Interaktion* zwischen Modell und repräsentiertem Zielbereich. Bildgebende Verfahren erzeugen in diesem Sinne keine Modelle.¹
4. Die *Analogisierbarkeit*, zwischen Modell und Zielbereich, ermöglicht die Ableitung von Hypothesen aus dem Modell, welche anschließend direkt am Zielbereich überprüft werden können.
5. *Größtmögliche Einfachheit* des Modells durch bewusstes Weglassen von bestimmten Aspekten des Zielbereichs wird angestrebt.
6. Bei der Gestaltung eines Modells muss ein *Kompromiss* zwischen den Analogien und Unterschieden in Bezug auf den Zielbereich gefunden werden. Die konkreten Forschungsfragen fungieren bei diesem Prozess als Leitlinien.
7. Ein *interaktiver Prozess*, bei dem empirische Befunde des Zielbereichs in eine geeignete Repräsentation, das konkrete Modell, überführt werden, kennzeichnet den Vorgang der Modellierung.

Fachwissenschaftliche Modelle versus illustrative Lehrmodelle

Einerseits besitzen Modelle eine abstrahierende Funktion und können daher nicht alle Eigenschaften von Objekten vollständig abbilden. Andererseits haben Modelle auch Eigenschaften, die nicht auf das Phänomen, welches sie bildhaft machen, anwendbar sind. Beispielsweise sind Atommodelle in der Regel grafische und farbliche Darstellungen, obwohl Farben als begrenzbarer Bereich des elektromagnetischen Spektrums selbst makroskopische Phänomene sind (Mikelskis-Seifert et al., 2005).

Modelle haben neben der Erkenntnisfunktion zwischen Individuum und Modell auch eine kommunikative Funktion. Individuen können ihre Gedanken und Einschätzungen durch Modelle zum Ausdruck bringen und sie so in den wissenschaftlichen Diskurs

¹ Wie Schnitker (2016) anmerkt gibt es zwar bildgebende Verfahren (z.B. Rastertunnelmikroskop) um Elemente der molekularen Ebene sichtbar zu machen aber sie tragen aufgrund der unübertragbaren Gesetzmäßigkeit der submikroskopischen Welt auf die makroskopische Welt nicht zur Verständlichmachung dieser bei.

einbringen. Vor dem Hintergrund dieses Diskurses kann das Modell verglichen und getestet werden, um seine Belastbarkeit zu prüfen (Driel & Verloop, 1999, Justi et al., 2009). Die kommunikative Funktion von Modellen steht im Chemieunterricht vor besonderen zielgruppenspezifischen Herausforderungen.

In der Chemiedidaktik muss zwischen fachwissenschaftlichen Modellen und illustrativen Lehrmodellen unterschieden werden (Eilks & Bindernagel, 2008). Erstere dienen der Hypothesengenerierung oder zur Erklärung forschungsrelevanter Bereiche und zweite ermöglichen Hilfe bei der Erklärung bzw. Hinführung fachwissenschaftlich anerkannter Modelle.² Illustrative Lehrmodelle, welche auch in der wissenschaftlichen Welt akzeptiert sind, können als Konsensmodelle bezeichnet werden (Justi & Gilbert, 2002).

Fachwissenschaftliche Modelle haben im Gegensatz zu illustrativen Lehrmodellen nicht zwangsläufig die Aufgabe Erkenntnis zu visualisieren (de Jong & Taber, 2007). Ihr Nutzen bemisst sich an der Exaktheit ihrer Vorhersagen und sind aus diesem Grund häufig rein mathematischer Natur (Eilks & Bindernagel, 2008).

Die Trennung zwischen der symbolischen und molekularen Ebene ist aus diesem Grund aus fachwissenschaftlicher Sicht wesentlich schwieriger. Die Trennung wird erst durch die Überführung des fachwissenschaftlichen Modells hin zum illustrativen Lehrmodell erleichtert.

Bei der Überführung kommt es zu absichtlichen, aber auch unabsichtlichen Veränderungen des fachwissenschaftlichen Modells. Eine absichtliche Veränderung, die Vereinfachung fachlicher Inhalte im Unterricht und den entsprechenden Unterrichtsmedien, hat zum Ziel die Inhalte zu strukturieren, einen Bezug zum Vorwissen aufzubauen (Taber, 2008) und den Anforderungen des Arbeitsgedächtnisses gerecht zu werden (van Merriënboer & Sweller, 2005).

Unbeabsichtigten Veränderungen können jedoch, je nach fachlicher Kompetenz und Sorgfalt der Lehrkraft, Verkürzungen und Verzerrungen beinhalten, die den Gehalt und die Verständlichkeit selbst beeinflussen. Diese Manipulationen stellen eine weitere und bedauerlicherweise kaum zu verhindernde Hürde dar, wenn die Lernenden versuchen, die Informationen aufzunehmen (Taber, 2008).

² Klassisches Beispiel eines Lehrmodells, wäre das Bohrsche Atommodell, welches für die Forschung kaum Relevanz besitzt (Eilks & Bindernagel, 2008).

Die wesentliche Herausforderung besteht im bewussten Umgang mit Informationen. Diese sinnvoll zu selektieren und zu verknüpfen ist für den Umgang mit Modellen unerlässlich. Diese Lernleistung soll im nächsten Abschnitt genauer beleuchtet werden.

II.2.2. Modelldenken aus erkenntnistheoretischer Sicht

Die Entwicklung des abstrakten Denkens

Der Fähigkeit des Menschen, aus der Fülle des unmittelbar Wahrnehmbaren herauszutreten, um diese auf logisch erfassbare Muster zu verdichten, sind ganze Anthropologien gewidmet. Abstraktes Denken ist wiederum die Grundlage für das Denken in Modellen.

Piaget plädiert für die Vorstellung, dass die Entwicklung des Menschen von einem Wechselspiel zwischen Akkommodation und Assimilation gekennzeichnet ist. Nach dieser Vorstellung werden äußere Informationen in die eigene Vorstellungswelt integriert (Assimilation), aber auch bereits internalisierte Informationen an die Außenwelt angepasst (Akkommodation). Produkte dieser Prozesse sind konstruierte Schemata, welche sukzessive die Reflexe ablösen (Gerrig, 2015, S. 379-383). Piaget unterscheidet vier Stadien der kognitiven Entwicklung (Huitt & Hummel, 2003, S. 2):

- 1) *Stadium der sensomotorischen Intelligenz*: Es wird im Säuglingsalter durchlaufen und gliedert sich in sechs Ebenen. In diesem Stadium entwickeln sich grundlegende Fähigkeiten der Wahrnehmung und Motorik.
- 2) *Stadium der präoperationalen Intelligenz*: Es wird in der frühen Kindheit durchlaufen und umfasst die rudimentäre Nutzung von Symbolen. Das Denken ist jedoch vom Egozentrismus geprägt.
- 3) *Stadium der konkret-operationalen Intelligenz*: Das Kind kann logisch und systematisch Symbole in Bezug auf ein Zielobjekt manipulieren. Es entwickelt also operationales Denken, und der Egozentrismus wird verringert.
- 4) *Stadium der formal-operationalen Intelligenz*: Symbole können logisch in Bezug auf abstrakte Konzepte angewendet werden. Dieses Stadium kann ab dem 11ten Lebensjahr durchlaufen werden, wobei es vom Großteil der jungen Erwachsenen nicht durchlaufen wird.

Die ersten drei Stadien werden in der Regel vor dem zehnten Lebensjahr durchlaufen. Wann die Stadien vom Individuum genau durchlaufen werden, ist von Individuum zu

Individuum unterschiedlich. Das vierte Stadium wird lediglich von ca. 35% der Heranwachsenden erreicht (Huitt & Hummel).

Dies zeigt, dass die Entwicklung bis zum abstrakten Denken von einer großen Menge an Vorbedingungen abhängig ist, die nicht selbstverständlich erreicht werden. Das vierte Stadium nach Piaget wird nicht von allen Erwachsenen erreicht, was die Herausforderung einer metakognitiven Arbeitsweise verdeutlicht. Die Lehrkraft kann nicht annehmen, dass alle Lernenden die entsprechenden Fähigkeiten besitzen.

Vom konkreten Phänomen zum konstruierten Modell

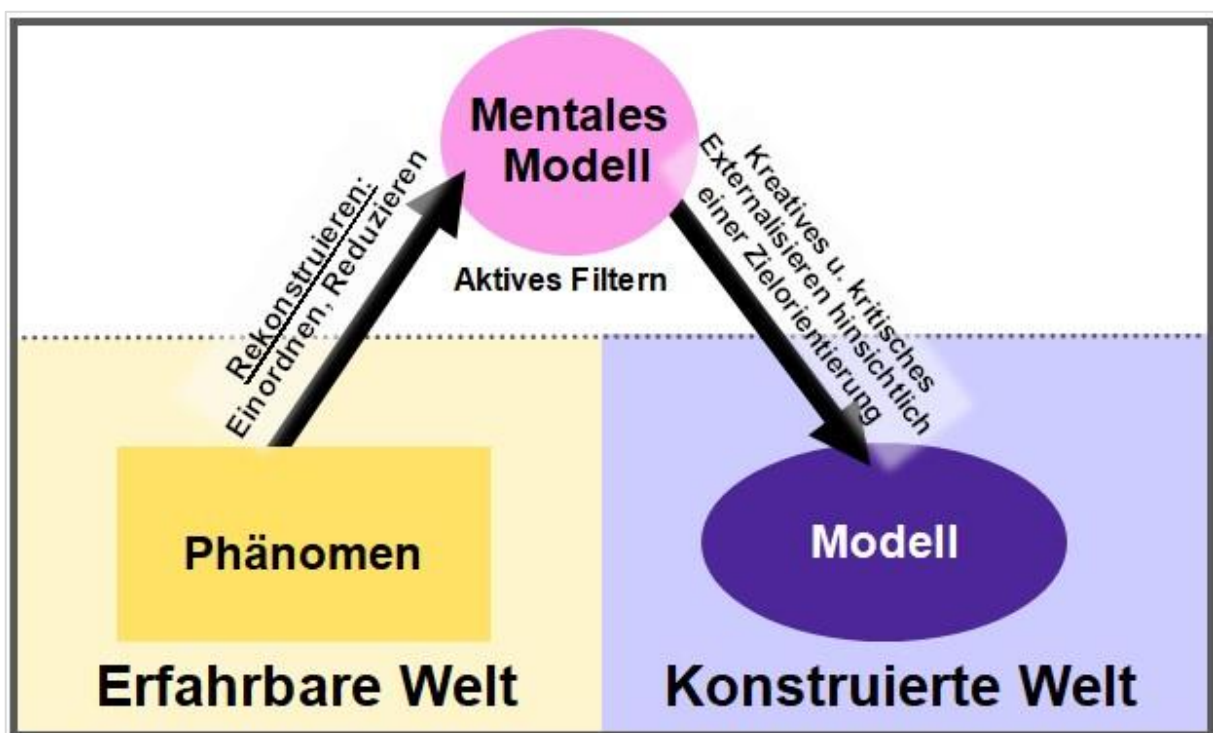


Abbildung 6 „Der Weg von der erfahrbaren Welt über das mentale Modell zur konstruierten Welt“ nach Mikelskis-Seifert et al. (2005, S. 33)

Mikelskis-Seifert et al. (2005) zeichnen den Weg vom erfahrbaren Phänomen hin zum konstruierten Modell nach (Abb. 6). Wie in der Grafik dargestellt, ist der Ausgangspunkt das unmittelbar in Erscheinung tretende Phänomen der erfahrbaren Welt. Die Wahrnehmung und Interpretation dieses Phänomens ist eine kognitive Herausforderung, welche mit einer Veränderung und Strukturierung des ursprünglichen Phänomens verbunden ist. Resultat dieses Prozesses ist ein mentales Modell im Kopf des Betrachtenden, welches als Informationsfilter fungiert und durch den Erfahrungs- und Erkenntnishintergrund geprägt ist.

Der Begriff des „mental Modells“ wird unterschiedlich verwendet, wobei zwei Richtungen unterschieden werden können (Mikelskis-Seifert et al., 2005, S. 32):

1. Eine mentale bildhafte Repräsentation
2. Eine „interne semantische Repräsentation“

Die zweitgenannte Repräsentation besitzt im Gegensatz zur erstgenannten einen fluiden prozesshaften Charakter, welcher sich aus der fortlaufenden Wahrnehmung und Denkleistung der Rezipienten speist (Mikelskis-Seifert et al., 2005). Die Lernenden sollen im naturwissenschaftlichen Unterricht möglichst ähnliche und inhaltlich korrekte mentale Modelle entwickeln (Justi et al., 2009).

Bei der Externalisierung wird das mentale Modell, abhängig von der jeweiligen Zielsetzung, in eine kommunizierbare Form überführt, das konstruierte Modell (Mikelskis-Seifert et al., 2005; Justi et al., 2009). Der Erfahrungshintergrund und die Kreativität des Übersetzenden sind in diesem Schritt von zentraler Bedeutung. Das mentale Modell wird in den engen Rahmen des sinnlich Erfahrbaren eingepackt, wodurch sich das mentale vom konstruierten Modell zwangsläufig unterscheidet (Mikelskis-Seifert et al., 2005).

Der Weg vom erfahrbaren Phänomen zum konstruierten Modell ist durch eine doppelte Übersetzung charakterisiert. Es ist erforderlich, dass alle drei Formen der Repräsentation auf sinnvolle Weise ineinander übertragen werden können, obwohl sie in ihrer Wesensart nicht deckungsgleich sind und stets nur eine Analogie zueinander darstellen.

Vom konstruierten Modell zum konkreten Phänomen

Chemielernende können den Weg vom Phänomen zum konstruierten Modell über das mentale Modell nicht direkt „von links nach rechts“ gehen. Das Unvermögen, geeignete mentale Modelle zu entwerfen, zwingt in der Folge dazu, den Weg „von rechts nach links zu gehen“ (Barke et al., 2018, S. 253).

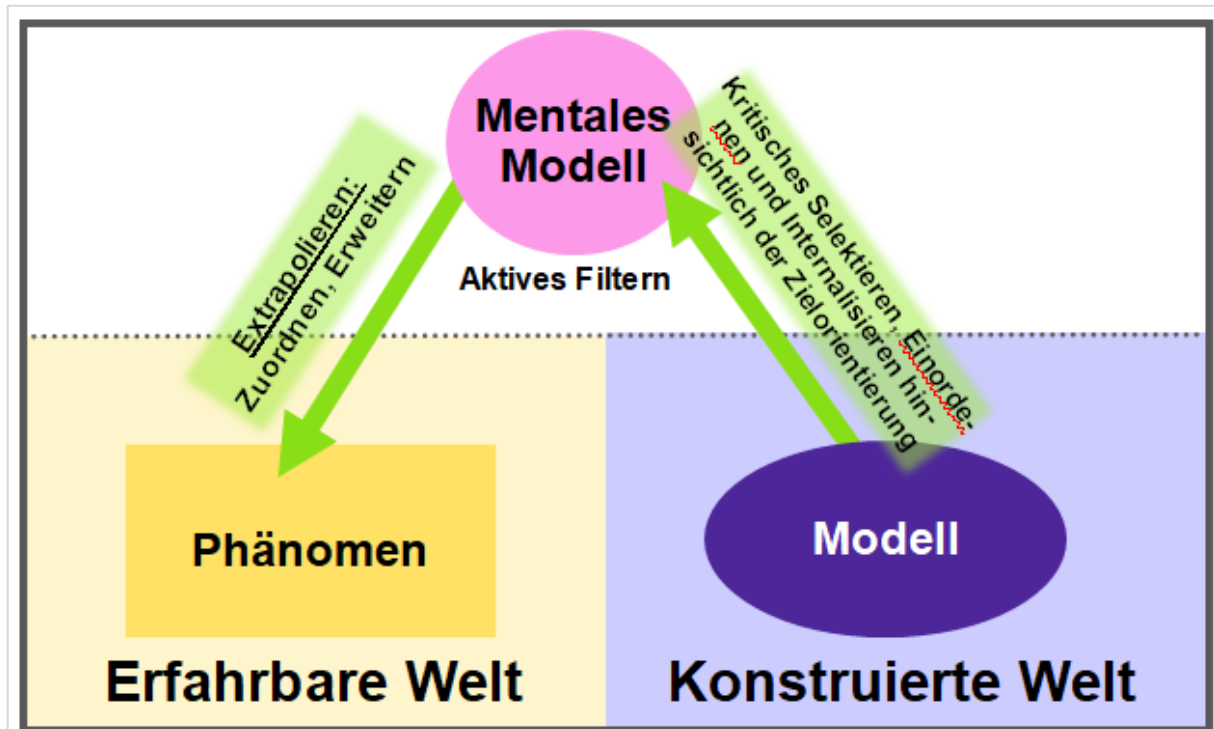


Abbildung 7 Umkehrung des Weges nach Mikelskis-Seifert et al. (2005, S. 33). Der Weg von der konstruierten Welt über das mentale Modell hin zur erfahrbaren Welt.

Wie der Grafik zu entnehmen ist (Abb. 7) sehen sich die Lernenden mit der Aufgabe konfrontiert, aus dem konstruierten Modell ein mentales Modell abzuleiten, welches Rückschlüsse auf das konkrete Phänomen zulässt.

Das makroskopisch vorliegende konstruierte Modell ist ein Paket von Informationen, das selektiert werden muss (Justi et al., 2009; Barke et al., 2018). Die Darstellung von Modellen in Formen und Farben widerspricht unter anderem der quantenmechanischen Natur von Materie (Tab. 1). Der Lernende muss befähigt werden, die Informationen in Bezug auf die Zielorientierung so zu wählen, dass ein geeignetes mentales Modell entworfen werden kann (Barke et al., 2018).

Diese Selektionsfähigkeit muss von der Lehrkraft gezielt gefördert werden (Justi et al., 2009), wobei die Kapazitäten und die Funktionsweise des Arbeitsgedächtnisses sowie die kleinschrittige Begleitung des Lernprozesses von zentraler Bedeutung sind.

Cognitive-Load-Theory

Diese Theorie hat die begrenzten Kapazitäten des Arbeitsgedächtnisses im Blick (van Merriënboer & Sweller, 2005). Im Umgang mit Modellen bleibt zu bedenken, dass es sich um den bewussten Umgang mit Informationen handelt. Die Belastbarkeit und die Grenzen des Arbeitsgedächtnisses sind hier von besonderer Bedeutung. Sweller (2003) unterscheidet zu diesem Zweck drei Arten von Belastungen, denen das Arbeitsgedächtnis bei der Verarbeitung von Informationen ausgesetzt ist.

Tabelle 2 Drei Arten von Belastungen für das Arbeitsgedächtnis im Unterricht nach Sweller (2003).

Intrinsische Belastung: Sie kommt aus dem Lernenden selbst und beschreibt die individuellen Herausforderungen des Lerninhalts und dessen Komplexität.

Extrinsische Belastung: Sie wird auch lernirrelevante Belastung genannt und umfasst die Gestaltung der Lernumgebung. Es kann sich dabei z.B. um lernirrelevante Informationen handeln, welche das Lernmaterial enthält, die den Lernzuwachs behindern.

Lernrelevante Belastung: Sie umfasst die Beanspruchung des Arbeitsgedächtnisses bei der Aufnahme und Verarbeitung neuer Informationen.

Um die kognitiven Ressourcen optimal nutzen zu können, muss die Aufgabenstellung und die Lernsituation so gestaltet sein, dass lernirrelevante kognitive Belastungen möglichst reduziert werden (Mukhametov et al., 2023). Die Lernleistung wird durch das "hypothesentestende Gehirn" in Gang gesetzt. Es findet ein kontinuierlicher Abgleich zwischen Erwartung und Wahrnehmung statt. Wenn die Erwartung von der Wahrnehmung abweicht, benötigt das Gehirn aufgrund der Störung Energie (Hobson & Friston, 2012).

Eine gezielte Aktivierung des Vorwissens ermöglicht eine Verringerung der Störung, was die Aufmerksamkeit erhöht und die Hypothesenbildung beschleunigt. Naturgemäß sind die Erwartungen der Lernenden unspezifisch, was die Aufgabe der Lehrkraft unterstreicht, optimale Bedingungen für das Lernen zu schaffen (Roth, 2012; zitiert nach Anton, 2018, S. 41).

Small-Step-Teaching

Es ist die Aufgabe der Lehrkraft, den Lernweg zu überblicken und ihn möglichst niederschwellig zu strukturieren. Hürden der einzelnen Lernstationen können minimiert und die Inhalte im Sinne einer konstruktivistischen Aufschlüsselung didaktisch aufbereitet werden. Diese Lernetappen lassen sich schematisch in acht Stufen unterteilen (Anton, 2018, S. 242).

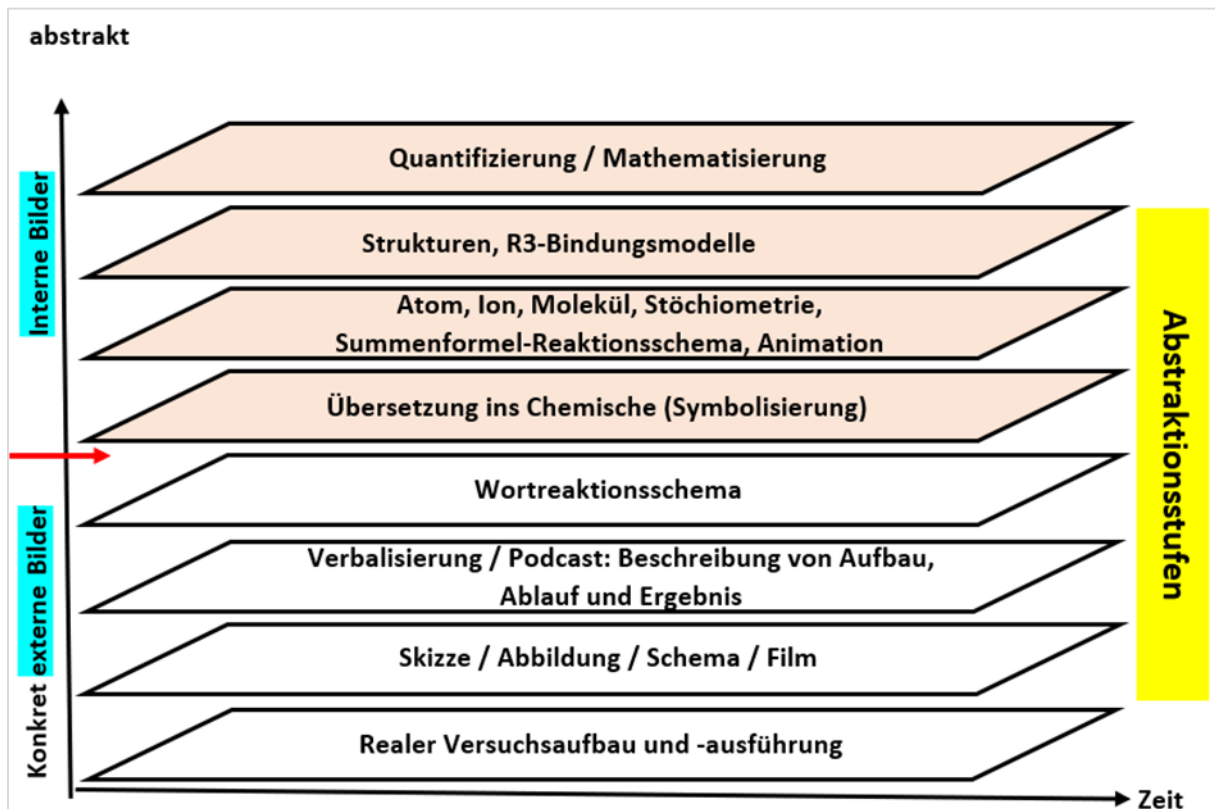


Abbildung 8 „Abfolge von vier erfahrungs- und vier Vorstellungsbasierten Denkebenen und -leistungen eines Lerners im Fach Chemie. Der rote Pfeil markiert den qualitativen Lernsprung“ als Wechsel vom Konkreten zum Abstrakten, auch vom eher Alltagsrelevanten zum Fachspezifischen“ (Anton, 2018, S. 242)

Zwischen der vierten und fünften Etappe (Abb. 8) findet ein "qualitativer Lernsprung" (Lenz & Meretz, 1995; zitiert nach Anton, 2018, S. 243) statt. Die Inhalte der ersten vier Etappen beziehen sich auf konkrete externe Bilder, wobei ab der fünften Etappe interne Bilder bzw. mentale Modelle zur Verständnisbildung herangezogen werden müssen. Dieser „Sprung“ kann von den Lernenden nicht ohne schrittweise Anleitung durch die Lehrkraft erfolgen (Anton, 2018, S. 242-243).

Anhand der einzelnen Etappen kann der individuelle Lernweg nachgezeichnet werden. Die Lehrkraft kann den Lernenden die Möglichkeit geben, eine nachvollziehbare Standortbestimmung im Sinne der Entwicklung metakognitiver Fähigkeiten vorzunehmen (Anton, 2018, S. 242).

Die Ausbildung eines chemischen Grundverständnisses sollte einen sprunghaften Wechsel zwischen diesen Ebenen, wobei sie bewusst Etappen auslassen können, ermöglichen. Dies erlaubt den Lernenden einen gezielten Zugriff auf Inhalte bestimmter Etappen, ohne die Inhalte anderer Etappen abrufen zu müssen. So kann die extrinsische Belastung reduziert und das Arbeitsgedächtnis optimal für die intrinsische Belastung genutzt werden (Anton, 2018, S. 254).

Ziel ist es, die Lernenden zu einem reflektierten Umgang mit Modellen zu befähigen. Die entsprechenden Anforderungen können als drei hierarchisch angeordnete Anforderungsniveaus dargestellt werden.

Anforderungsniveaus beim Modelldenken

Grosslight et al. (1991) konnten anhand ihrer Untersuchungen zum Modellverständnis von Naturwissenschaftslernenden drei hierarchisch angeordnete Niveaus ausmachen. Im Regelfall durchlaufen Lernende bei der Schulung im Umgang mit Modellen diese Niveaus, wobei Niveau 1 die niedrigste und Niveau 3 die höchste Stufe des Modellverständnisses darstellt.

Niveau 1: Modelle haben die Funktion reale Objekte oder Vorgänge abzubilden. Es können jedoch bestimmte Teile der Realität im Modell ausgeklammert werden, was bei den Lernenden zu Unklarheiten führt.

Niveau 2: Die Zweckhaftigkeit von Modellen und deren bewusste Entwicklung in Verbindung mit absichtsvoller begrenzter Veränderung realer Objekte. Das Modell muss auf seine Praktikabilität getestet werden und nicht zwangsläufig auf die ihm zu Grunde liegenden Ideen. Der Zugang liegt aber immer noch bei der Nachempfindung der Realität und nicht auf einem modellhaft abstrakten Zugang.

Niveau 3: Dieses Niveau umfasst insgesamt drei Komponenten:

- I. Die Entwicklung und Testung stehen bei der Konzeption von Modellen im Vordergrund und nicht die Abbildung von Realität.
- II. Hintergrund und Zielsetzung erfordern das aktive Eingreifen des Modellentwicklers. Design und Inhalt werden auf ihre Funktionalität bewertet und bewusst gewählt.
- III. Die Manipulierbarkeit und Testbarkeit von Modellen dienen der Ideenentwicklung und bilden einen zyklisch-konstruktiven Prozess der Informationsverarbeitung ab.

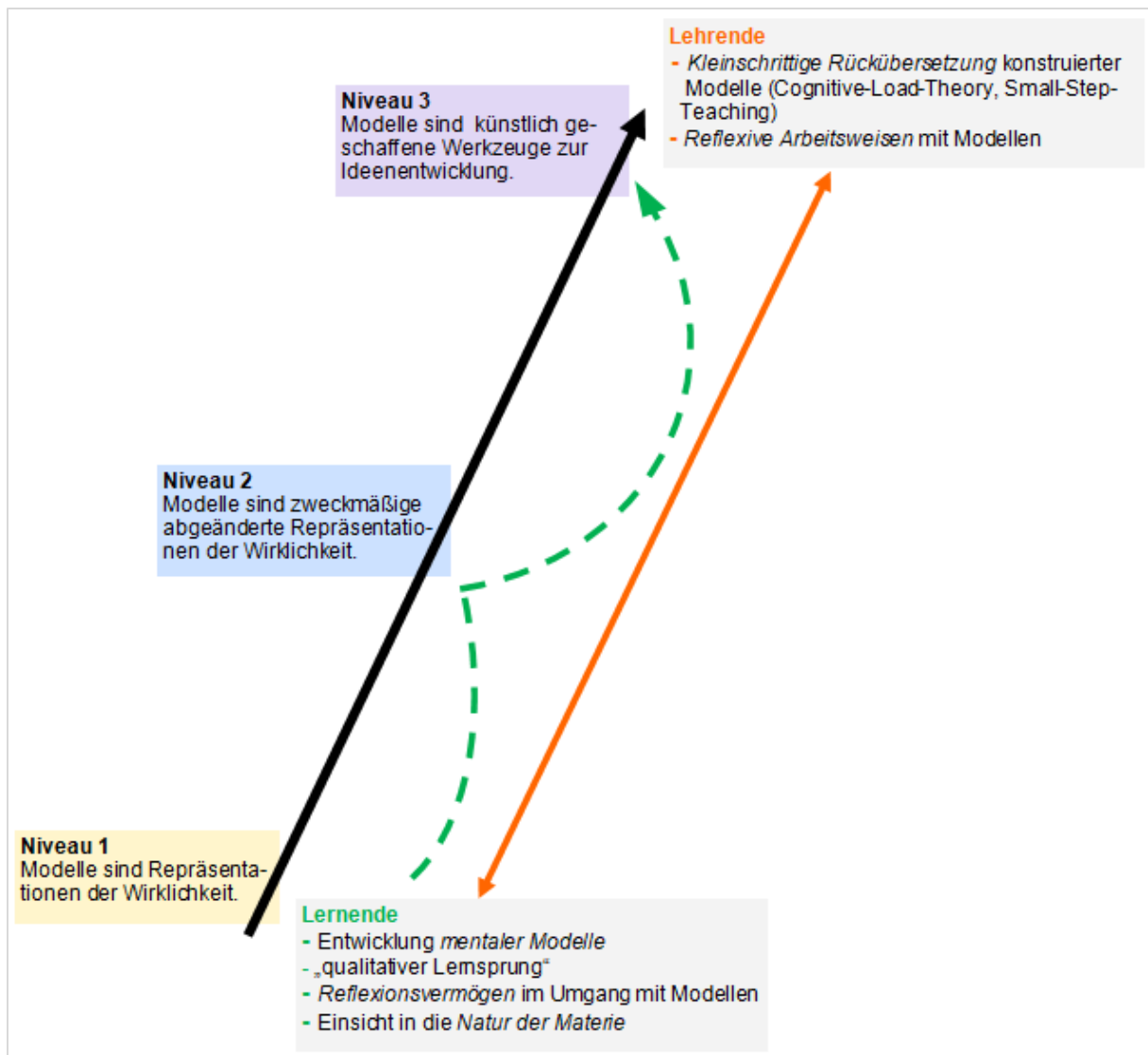


Abbildung 9 Verbindung der Anforderungsniveaus (Grosslight et al., 1991, S. 15) mit den didaktischen und wissenschaftstheoretischen Inhalten (Sweller, 2003; Mikelskis-Seifert et al., 2005; Schnitker, 2016).

Wie der Grafik (Abb. 9) zu entnehmen ist, sollte die Lehrkraft vom höchsten Niveau aus zwischen den Anforderungen und den Bedürfnissen der Lernenden vermitteln. Orientierung bietet das Arbeitsgedächtnis und der eigene reflexive Umgang mit Modellen.

Die Lehrkraft muss in Bezug auf die Niveauebenen Lehrmodelle wählen, welche dem Entwicklungsstand sowie dem Leistungsvermögen des Lernenden entsprechen und an das Vorwissen anknüpfen. In der Folge muss es anschließbar sein, um an immer komplexere Modelle heranzuführen zu können (de Jong & Taber, 2007).

Die Lernenden können den Weg zum dritten Niveau also nicht direkt gehen. Aufgabe der Lehrkraft ist eine kleinschrittige Begleitung, um dem etappenweisen Charakter des Weges gerecht zu werden.

II.2.3. Modelldenken aus metakognitiver Sicht

Modelldenken versus Naiver Realismus

Diesem vom Lernenden zu gehenden und von der Lehrkraft zu begleitenden Weg steht eine naiv realistische Sichtweise des Lernenden und manchmal auch der Lehrkraft gegenüber (Mikelskis-Seifert et al., 2005; van Driel & Verloop, 1999; Eilks & Bindernagel, 2008).

Naiver Realismus vertritt die Annahme, dass unsere Wahrnehmungen von der Welt eine direkte und unmittelbare Abbildung der Wirklichkeit sind. Diese Sichtweise entspricht dem ersten Niveau und zu Teilen auch noch dem zweiten Niveau beim Modelldenken. Bei dieser Sichtweise wird übersehen, dass unsere Wahrnehmungen von Erfahrungen, Erwartungen oder anderen kognitiven Faktoren, beeinflusst werden (Mikelskis-Seifert et al., 2005).

Eine Fallstudie von Eilks und Bindernagel (2008) konnte zeigen, dass neun von vierzehn befragten Lehrkräften, in Bezug auf ihr Modellverständnis, dem Niveau 2 der drei Anforderungsniveaus (Grosslight et al., 1991), zugeordnet werden mussten.

Lernende haben in der Regel von Grund auf Vorstellungen, die einer naiven realistischen Denkweise entsprechen. Sie betrachten Modelle in der Regel als exakte Kopien der Realität, wenn auch auf einer mit dem bloßen Auge nicht sichtbaren Größenordnung (van Driel & Verloop, 1999). Modelle werden im Chemieunterricht auch meist „informativ-darlegend“ eingeführt, wenngleich der Entschluss, sie als Illustration zu betrachten, nahe liegt (Eilks & Bindernagel, 2008).

Dabei wird übersehen, dass alle Vorstellungen des submikroskopischen Raums Modelle und keine Beschreibungen des Raums an sich sind. Bucat und Mocerino (2009) weisen deshalb darauf hin, dass es für gelingenden Chemieunterricht wichtig ist zu beachten, wie man über diese Ebene spricht und wie man sie vom makroskopischen Raum abgrenzt.

Der naive Realismus kann als problematische Position betrachtet, werden, die wie erwähnt, einigen Einschränkungen unterliegt. Mit diesem simplifizierenden erkenntnistheoretischen Zugang werden die Widersprüche zwischen den Modellen unüberwindbar und können sich zu einer Hürde für die naturwissenschaftliche Erkenntnis entwickeln (Mikelskis-Seifert et al., 2005).

Fehlen uns diese Zusammenhänge stellen sich Modelle als bloße Behauptungen dar die nicht verstanden, sondern nur gelernt werden können. Modelle sind zwar in sich logisch aber ohne Einbettung völlig unplausibel.

Wie wir bereits gesehen haben, erreichen nicht alle Lernenden das vierte Stadium der kognitiven Entwicklung nach Piaget (Huitt & Hummel, 2003). Es ist anzunehmen, dass es nicht allen Lernenden möglich ist sich vollständig von einer naiv-realistischen Sichtweise zu lösen. Es gibt jedoch Anzeichen dafür, dass ältere Lernende verstehen, dass Modelle für spezifische Zwecke entwickelt werden, und dass sich Modelle im Laufe der Zeit ändern können (van Driel & Verloop, 1999). Um diese Anlage zu stärken plädieren Mikelskis-Seifert et al. (2005, S. 35) für die Explikation des Modellbegriffs: „Ein Modell ist ein Gegenstand oder theoretisches Konstrukt, das von einem Subjekt für einen entsprechenden Zweck geschaffen bzw. verwendet wird. Dabei bestehen zwischen bestimmten Entitäten des präsentierten Objekts Analogien.“

Die Möglichkeit der Analogisierbarkeit erfordert eine kritische Bewusstmachung über die möglichen Funktionen und Eigenschaften von naturwissenschaftlichen Modellen. Die Vorteile solcher Reflexionsprozesse sollten nicht mit einem umgehenden Zuwachs an Fachwissen gemessen werden, sondern sollen als Grundlage zur Erleichterung bei der Erlangung von Fachwissen darstellen (Mikelskis-Seifert et al., 2005).

Das Konzept der Metakognition

Der Begriff der Metakognition kann als "Denken über das Denken" umschrieben werden, was die Reflexion der eigenen Denkprozesse zum Inhalt hat. Das Ziel ist es, die "Informationsverarbeitungskompetenz" zu steigern. Hinter diesem Ansatz steht die Annahme, dass Lehrkräfte in ihrem Unterricht zu stark auf die Vermittlung von Einzelinhalten fokussiert sind, was das Lernen auf das kurzfristige Behalten isolierter Informationen reduziert. Eine metakognitive Ausrichtung des Unterrichts bedeutet also, diesen zu öffnen, um reflektive Lernprozesse und Lernstrategien bewusst einzubauen (Kaiser, 2018).

Die Übertragung von Modellvorstellungen auf makroskopische Phänomene ist ein zentraler Aspekt der chemischen Grundbildung und erfordert ein tiefgehendes Verständnis der Zusammenhänge zwischen verschiedenen Abstraktionsebenen (Anton, 2018, S. 178).

Ebenso wichtig ist das Vermögen, makroskopisch wahrnehmbare chemische Phänomene auf allgemeine Muster zu reduzieren und in Beziehung zu setzen. Diese Fähigkeiten bilden die Basis für metakognitive Kompetenzen, die es ermöglichen, Prinzipien zu verstehen und das Anforderungsniveau zu steigern, um die eigenen Fähigkeiten zu vervollkommen (Anton, 2018, S. 178).

In diesem Fall ist es wichtig zu untersuchen, wie Metakognition und Abstraktionsvermögen in der Chemiebildung zusammenwirken, um gezielt das chemische Verständnis und die Lernleistung zu verbessern.

Metakognition als chemiedidaktisches Instrument

Metakognition kann in Bezug auf den Chemieunterricht wie folgt dargestellt werden. Es stehen sich das Theoriefeld und das Praxisfeld gegenüber, wobei das Reflexionsfeld als Brücke zwischen diesen beiden Feldern fungiert.

Die Unterteilung in die unterschiedlichen Felder verdeutlicht die Heterogenität der verschiedenen Lehr- und Lernleistungen im Fach Chemie (Anton 2018, S. 176-177).

Der Schwerpunkt des **Theoriefeldes** ist vornehmlich inhaltlicher Natur. Es realisiert sich im Unterricht durch kognitionsorientierte Argumentationsfähigkeiten, wie dem Einsatz von Fachsprache, verstehen von Gesetzmäßigkeiten und dem Umgang mit Modellvorstellungen (Anton, 2018, S. 177).

Das **Praxisfeld** konzentriert sich im Wesentlichen auf handlungsbezogene Aspekte, wie manuelle Fertigkeiten, den Umgang mit Gerätschaften, die Einhaltung von Sicherheitsvorgaben und die Anwendung der Regeln des empirischen Erkenntnisgewinns (Anton 2018, S. 177).

Das **Reflexionsfeld** bietet eine Vogelperspektive auf das logisch-empirische naturwissenschaftliche



Abbildung 10 "Grobe Unterscheidbarkeit der drei Unterrichtsfelder" (Anton, 2018, S. 176).

Denken selbst. Ziel ist das Erkennen und kritische Hinterfragen von Unsicherheiten, Grenzen, und Optionen empirischer natur-wissenschaftlicher Erkenntnisse aber auch die Überprüfung der eigenen Überzeugungen, die Registrierung des Kompetenzzuwachses ist Bestandteil dieses Feldes. In diesem Sinne muss zwischen Kognition und Metakognition unterschieden werden (Anton, 2018, S. 178).

Tabelle 3 "Charakterisierung der Unterrichtsfelder" nach Anton (2018, S. 179)

Theoriefeld ► Argumentation/ Fähigkeiten <i>instruktiv</i> -Fachsprache -Modelle -Definitionen -Ordnungssysteme -Gedächtnis für Modelle und Begriffe -Wissen zur Kontrolle der Einzelbeobachtung	Nawi- Unterrichtsfelder Reflexionsfeld ► Metakognition/ Fähigkeitsselbstkonzept <i>konstruktiv-strategisch</i> -Lern-, Merk- & Abrufstrategien -Kompetenzzuwachs -Zielkontrolle -Inhalt-Methodik-Anpassung	Praxisfeld ► Handlungsorientierung/ Fertigkeiten <i>explorativ</i> -Geräte-, Stoff-, Technikkunde, Sicherheit -Modelle -Experimentierstufen -Forschungszyklus -Handlungsmuster (Nachweise, Experimentierprotokolle, etc.) -Gedächtnis für Phänomene -Erfahrung zur Kontrolle von Begriffen und Modellen
---	---	---

Der Umgang mit Modellen bildet eine natürliche Schnittmenge zwischen dem Theoriefeld und dem Praxisfeld. Ein sicherer Umgang ist notwendig, um in beiden Bereichen Lernzuwächse schaffen zu können (Anton, 2018, S. 178). In Bezug auf Mahaffys-Tetraeder kann die Fähigkeit, sich innerhalb des Tetraeders frei bewegen zu können, mit der Metakognition gleichgesetzt werden. Ein sicherer Umgang mit Modellen stellt die Basis für ein solches Vorhaben dar.

Der Nutzen für die Lernwirksamkeit von metakognitiven Unterrichtsdigns ist empirisch gut belegt. Neben Hattie (2013), der diesen einen hohen Effektstärke attestiert, gibt es eine Reihe von Studien, die zu einem ähnlichen Ergebnis kommen (Justi et al. 2009; Donker et al., 2014; Zepeda et al., 2015).

Stärkung der Metakognition

Justi et al. (2009) trugen zu der Frage, welche didaktischen Methoden hilfreich sind, um metakognitive Kompetenzen in Bezug auf das Modelldenken zu fördern, einige wichtige Faktoren zusammen:

- Wenn die empirischen Befunde der Lernenden verwendet werden können, um selbstständig Vermutungen über die molekulare Ebene anzustellen und in weiterer Folge eigene Modelle entwickelt werden konnten.
- Fragen der Lehrkraft, welche Vorwissen aktivieren und eine schrittweise Rückübersetzung der Ideenentwicklung erlauben.
- Die Bewusste Einbindung von Vorstellungen der Lernenden.
- Die Modelle in verschiedenen Formen darzustellen. Dies half den Lernenden besser auf ihre mentalen Modelle zuzugreifen und diese auszudrücken.
- Die Diskussion der Modelle mit der gesamten Klasse.

Kaiser (2018, S. 51) schlägt allgemein vor metakognitive Kompetenzen durch "Lautes Denken" zu stärken. Dies bedeutet im Wesentlichen, Denkprozesse bei der Bearbeitung von Inhalten und Aufgaben zu verbalisieren. Die Verbalisierung setzt bei den Sprechenden, aber auch bei den Zuhörenden, Reflexionsprozesse in Gang. Das Ziel besteht darin, das Denken selbst in eine kommunizierbare Form umzusetzen und es für Lernende und Lehrende zugänglich zu machen.

Um die metakognitiven Kompetenzen im Bezug auf das Modelldenken zu stärken, muss die Zusammenführung von Modell und Phänomen in der unterrichtlichen Praxis gelingen. In diesem Fall scheint es sinnvoll den Lehr- und Lernweg „zweischienig“ zu organisieren. Die Zwei Schienen nach Barke et al. (2018, S. 254):

- 1) „Phänomen und Laborerfahrung“
- 2) „Strukturmodelle und Modellvorstellungen“

Bei diesem Ansatz wird die symbolische Ebene bewusst vernachlässigt, damit die Fähigkeit Phänomene anhand von Modellen zu diskutieren bewusst gefördert wird.

Die Intensivierung dieser Transferleistung erfordert einen regelmäßigen Anstoß entsprechender Reflexionsprozesse durch die Lehrkraft. Barth et al. (2022) betiteln

solche Aufgaben als „metakognitive Fragen“, welche bewusst in den Unterricht integriert werden.

Das Ziel besteht darin, Denkprozesse offenzulegen. Dies erfordert neben einer reflektierten Herangehensweise an das naturwissenschaftliche und modellhafte Denken auch eine bewusste Implementierung metakognitiver Elemente im Unterricht. Dies ist erforderlich, da Lernende solche Reflexionsprozesse in der Regel nicht ohne Hilfe durchlaufen können (Zepeda et al., 2015).

Eine wesentliche Rolle bei der Stärkung von metakognitiven Kompetenzen spielt die Rückmeldung der Lehrkraft, welche die Aufgabe hat, den Lernerfolg eindeutig aufzuzeigen. Die eigene Wissensgenese reflektierend sichtbar gemacht zu bekommen in Verbindung mit dem Aufzeigen von nachvollziehbaren Begründungen sowie konstruktiven Alternativen ermöglicht (Anton 2018, S.25).

III. Interaktive Simulationen (IS) im Chemieunterricht

Interaktive Simulationen (IS) sind computergestützte Programme, welche es erlauben, mit den digital dargestellten Inhalten zu interagieren (Clark et al., 2009). Das Zusammenspiel zwischen Informationen und Funktionen variiert in Anwendbarkeit, Komplexität und den technischen Anforderungen. Gemeinsames Ziel dieser Anwendungen ist die Zusammenführung theoretischer Inhalte mit praktischen Anwendungen. Sie erlauben also die Manipulation spezifischer Variablen, wobei die Folgen dieser Manipulation direkt beobachtet werden können (Wörner et al., 2022).

IS können auf Laptops, Tablets oder anderen Endgeräten, die mit den entsprechenden Softwarelösungen kompatibel sind, angewendet werden (Wörner et al., 2022). Zusammenfassend kann die IS als „ein Programm, das einen Prozeß [sic] oder ein natürliches oder künstliches System mit deren bestimmenden Parametern nachbildet und dem Lernenden ein gefahrloses Experimentieren und Simulieren in einer artifiziellen Lernumgebung erlaubt“ (Urhahne et al., 2000, S. 165) beschrieben werden.

Geläufige Ausdrücke für IS sind „Virtuelle Experimente“ (Wörner et al., 2022), „Simulation“ (Stinken-Rösner, 2020; Olympiou et al., 2013), „Computersimulation“ (Urhahne et al., 2000), "virtuelles Labor" (Kapici et al., 2019) sowie "physische und virtuelle Manipulative" (Wang & Tseng, 2018).

Ob diese neuen Programme im Unterricht Anwendung finden, scheint unabhängig vom Alter und der Lehrerfahrung zu sein, was darauf schließen lässt, dass eine vielfältige Gruppe von Lehrkräften IS nutzt. Lediglich zwischen den Unterrichtsfächern selbst scheint es signifikante Unterschiede zu geben, da Physiklehrkräfte IS häufiger nutzen als Chemielehrkräfte (Stinken-Rösner, 2020; Perkins et al., 2014).

Stinken-Rösner und Abels (2019, S. 738) konnten jedoch bei einer Befragung norddeutscher Chemielehrkräfte zeigen, dass diese im Schnitt nur wenige Anbieter von IS kennen. Die bekanntesten Plattformen scheinen Planet Schule³, LEIFI Physik⁴, Chemie-interaktiv⁵ und PhET⁶ zu sein. Die angebotenen IS decken ein breites

³ Verfügbar unter <https://www.planet-schule.de/index.html> [23.04.2023]

⁴ Verfügbar unter <https://www.leifiphysik.de/> [23.04.2023]

⁵ Verfügbar unter <https://www.planet-schule.de/index.html> [23.04.2023]

⁶ Verfügbar unter <https://phet.colorado.edu/en/simulations/filter?sort=alpha> [23.04.2023]

Spektrum an naturwissenschaftlichen Themen ab, wobei bei den genannten Anbietern alle IS speziell für den naturwissenschaftlichen Unterricht programmiert wurden.

III.1. IS im Vergleich mit anderen Unterrichtsmedien

IS erfordern eine klare Abgrenzung zu anderen Unterrichtsmedien. Allen Medien ist gemein, dass sie die Funktion haben Informationen zu vermitteln. Die Aufgabe der Mediendidaktik besteht darin, die spezifischen Funktionen und Wirkungen verschiedener Unterrichtsmedien in Bezug auf bestimmte Lehr- und Lernziele zu bestimmen (Barke et al., 2018, S. 79-80).

III. 1.1. Medien als Mittler von Zeichen

In der Mediendidaktik gelten Medien „als Mittler [...] durch die in kommunikativen Zusammenhängen potenzielle Zeichen mit technischer Unterstützung übertragen, gespeichert, wiedergegeben, angeordnet oder verarbeitet und in abbildhafter und/oder symbolischer Form präsentiert“ (Tulodziecki & Dichanz, 2004, S. 18) werden.

Die "Zeichen" können alle Sinne der rezipierenden Person ansprechen und von ihr in einen logischen Sinnzusammenhang übersetzt werden. Im Chemieunterricht sind der Seh- und Hörsinn sowie der Tast- und Geruchssinn von besonderer Bedeutung.

Tabelle 4 Klassifizierung der Unterrichtsmedien nach Art der Sinneserfahrung und Art der Erfahrungsebene nach Barke et al. (2018, S. 80).

Unterrichtsmedien				
Art der Sinneserfahrung			Art der Erfahrungsebene	
visuell	auditiv	audiovisuell	Primärerfahrungen	Sekundärerfahrungen
Dia, Foto	Radio	Ton-Dia-Serie	Tiere, Pflanzen	Präparate
Schulbuch	Tonband	Tonfilm	Substanzen, Kristalle	Nachbildungen
Transparent	CD	Fernsehen	Experimente	Aufzeichnungen
Schultafel	Kassette	Video	Sternenhimmel	Planetarium
Computer	Sprachlabor	Multimedia	Exkursion	Film, Video

Neben der konkreten sinnlichen Erfahrung lässt auch die Erfahrungsebene eine Differenzierung zu. Hier wird zwischen Primär- und Sekundärerfahrung unterschieden (Barke et al., 2018, S. 156). Die Naturwissenschaften beziehen sich zwangsläufig auf

die äußere Natur, weshalb ihre Gegenstände stets einen Bezug zu einer makroskopisch erfahrbaren Realität haben, der Primärerfahrung. In diesem Sinne ist die Sekundärerfahrung immer eine abstrahierte Form der Primärerfahrung.

Sprache, Gestik und andere menschliche Ausdrucksformen können ebenfalls als Medien betrachtet werden. Im Folgenden werden jedoch ausschließlich "apersonale Unterrichtsmedien" berücksichtigt (Barke et al., 2018, S. 80). Diese können im Wesentlichen drei didaktische Funktionen erfüllen (Kerres, 2000, S. 6-9):

1. Wissenswerkzeug für Kooperation und Kommunikation
2. Wissenspräsentation
3. Wissensvermittlung und Steuerung von Lernprozessen

IS als Multimedia-Anwendungen können alle drei didaktischen Funktionen erfüllen (Barke et al., 2018, S. 158). Im Folgenden soll der Begriff der "Neuen Medien" verwendet werden, um IS innerhalb dieser Medien abzugrenzen.

Neue Medien

Unterrichtsmedien können weiter zwischen „Klassischen Medien“ und „Neuen Medien“ unterschieden werden. Unter dem Begriff „Neue Medien“ versammeln sich jene Unterrichtsmedien, welche digitale und computertechnische Grundlagen verwenden. Mit jeder technischen Neuerung erweitert sich der Bestand an „Neuen Medien“ (Barke et al., 2018, S. 156), welcher wie folgt charakterisiert werden kann (Stadtfeld, 2011, S. 73-74):

- **Multimedialität:** Große Menge verschiedener Daten kann verarbeitet werden (Text, Grafiken, Animationen, etc.).
- **Multicodalität:** Die digitale Technik ermöglicht die Darstellung verschiedener Zeichen (Wörter, Bilder, etc.).
- **Multimodalität:** Verschiedene Sinneserfahrungen können verbunden werden.
- **Hypermedialität:** Inhalte können vernetzt werden und müssen nicht zwingend in einer linearen Abfolge wiedergegeben werden.
- **Interaktivität:** Die Steuerung von multimedialen Inhalten kann Adaptivität ermöglichen, was die Individualisierung und Diagnose von Lernprozessen erleichtern könnte.

Die konkreten Anwendungen der „Neuen Medien“ im Unterricht bieten einen Überblick über die Art der didaktischen Implementierung entsprechender Programme (LSW, 1999; zitiert nach Stadtfeld, 2011, S.74-75):

- **Lernprogramme:** Programme, mit denen ein Nutzer neue Inhalte zu einem bestimmten Themenbereich erarbeiten kann.
- **Übungsprogramme:** Programme, die bereits erarbeitete Lerninhalte in individueller Weise üben, festigen oder automatisieren, oft mit spielerischen Elementen.
- **Offene Lernsysteme:** Systeme, die didaktisch und hypermedial aufbereitete Inhalte zu einem spezifischen Themengebiet bereitstellen, häufig mit einzelnen Werkzeugen.
- **Lernspiele:** Pädagogisch gestaltete Spiele, die Situationen präsentieren, in denen die Lernenden verschiedene Handlungsmöglichkeiten haben, um bestimmte Situationen zu gestalten oder zu verbessern.
- **Werkzeuge:** Themenunabhängige Programme zur Erzeugung, Gestaltung oder Bearbeitung visueller, auditiver oder audiovisueller Produkte in abbildhafter oder symbolischer Form (z.B. Textverarbeitung, Tabellenkalkulation, etc.).
- **Experimentier- und Simulationsumgebungen:** Umgebungen, in denen Prozesse simuliert oder mit modellierten Prozessen experimentiert werden kann.
- **Kommunikations- und Kooperationsumgebungen:** Umgebungen, die eine Infrastruktur für Erfahrungs- und Meinungsaustausch sowie die gemeinsame Bearbeitung von Produkten bereitstellen.

Die Art der Implementierung verweist nicht nur auf die Qualitäten des verwendeten Programms, sondern auch auf die konkrete Zielsetzung der Lehrkraft, welche diese in ein didaktisches Konzept einarbeitet.

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Anwendung als Experimentier- und Simulationsumgebung, wobei die Anwendung immer auch von der konkreten Unterrichtssituation und den verfolgten didaktischen Zielen abhängig ist. In diesem Sinne können sich die Anwendungen auch überschneiden. Je nach Programm können aber auch einzelne Anwendungen ausgeschlossen werden.

III.1.2. Eigenschaften von IS

IS im Spannungsfeld zwischen Handlungsbezug und Kognition

Der technische Fortschritt im Bereich der digitalen Medien ermöglicht die wissenschaftlich fundierte simulative Visualisierung des submikroskopischen Raums (Schnitker, 2016; Stieff & Wilensky, 2003). Die zunehmende Rechenleistung digitaler Endgeräte birgt die Möglichkeit, komplexe Sachverhalte in neuen und nachvollziehbareren Formen darzustellen (Mikelskis-Seifert et al., 2005).

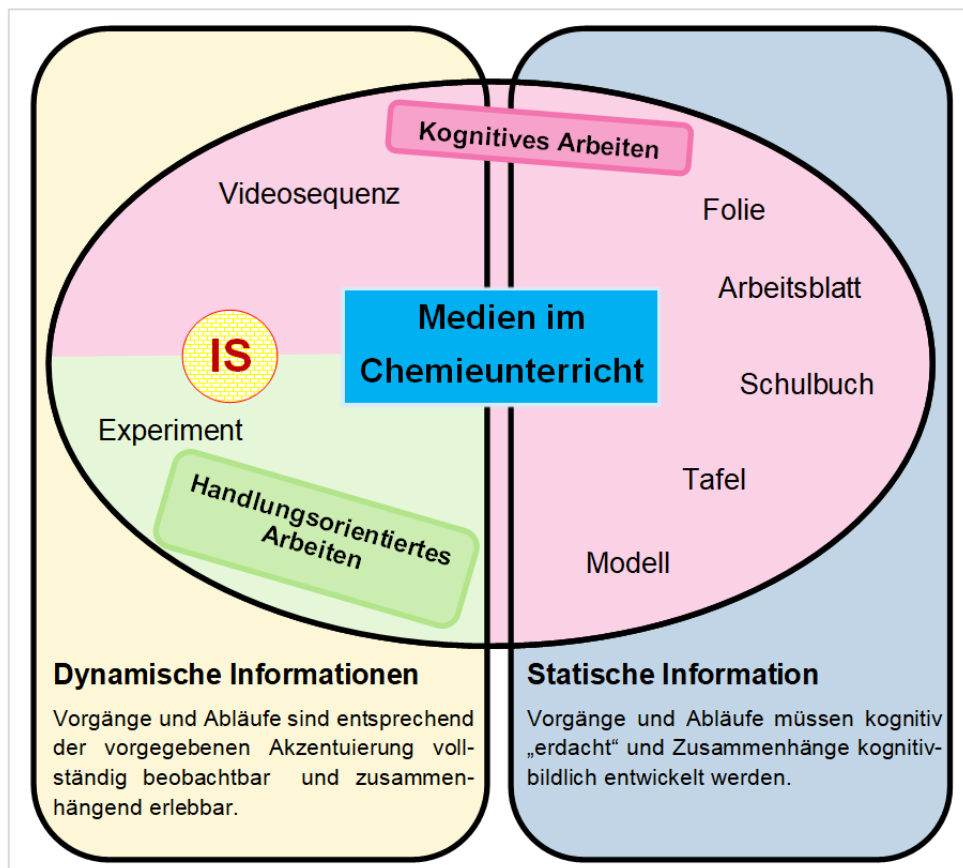


Abbildung 11 „Gegenüberstellung von Medien mit dynamischer und statischer Informationsvermittlung“ nach Schmitz (2009, S. 8) mit Einordnung der IS.

Die beiden häufigsten Ziele bei der Verwendung von IS sind die Visualisierung naturwissenschaftlicher Phänomene und möglicher Repräsentationen (Perkins et al., 2014; Stinken-Rösner, 2019) sowie die Entwicklung eines konzeptuellen Verständnisses (Perkins et al., 2014).

Schmitz (2009, S. 7) weist darauf hin, dass im Chemieunterricht überwiegend statische Informationen verwendet werden, die der dynamischen Natur molekularer Vorgänge nur schwer gerecht werden können. Die Lehrkraft neigt dazu, das Abstraktionsvermögen der Lernenden zu überschätzen und geht implizit davon aus, dass diese in der Lage sind, den dynamischen Charakter chemischer Zustände und Vorgänge bei

statischen Informationen mitzudenken. Tatsächlich ist die Erfassung des dynamischen Charakters eine spezifische Lernleistung, welche individuell von den Lernenden erbracht werden muss.

Wie in Abbildung 11 ersichtlich wird, befindet sich die IS als manipulierbares Computerprogramm an der Grenze zwischen Handlungsorientierung und Kognition. Diese Überlappung bedeutet, dass mit IS sowohl deklaratives als auch prozedurales Wissen aufgebaut werden kann (Urhahne & Harms, 2006). IS sind das einzige Unterrichtsmedium, das chemische Informationen dynamisch darstellen und gleichzeitig für direkte Interaktion zugänglich machen kann.

Die Verdeutlichung der dynamischen Natur von Materie, ein Kernelement der molekularen Ebene (Tab. 1), ist nach Schnitker (2016) das zentrale Potenzial von IS. Traditionelle Unterrichtsmaterialien vermitteln die Vorstellung eines starren Gebildes. Systeme oberhalb des absoluten Nullpunkts sind jedoch durchgehend in Bewegung, was erhebliche Auswirkungen auf die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Systeme hat. Zusätzlich unterliegen die Teilchen dauernden Wechselwirkungen untereinander.

Die dynamische Darstellung chemischer Fachinhalte in Verbindung mit direkter Interaktion ist eine einzigartige Eigenschaft von IS. Der interaktive Charakter von IS birgt zudem weitere Potenziale für reflexive Arbeitsweisen im Sinne der Metakognition.

Interaktiver Charakter

Durch den interaktiven Charakter haben die Lernenden die Möglichkeit, aktiv in das simulierte Geschehen einzugreifen. Die zeitliche Kontrolle von Lernprozessen ist ein charakteristisches Merkmal dieser Medien (Kerres, 2000, S. 6-9; Huwer & Banerji, 2020). Insbesondere erhalten die Lernenden durch die sichtbare Beeinflussung der IS direkte Rückmeldung zu ihrem Handeln. Das Bereitstellen von Rückmeldung kann die Motivation steigern und somit zur Verbesserung der Lernleistung beitragen (Urhahne & Harms, 2006).

Die Interaktion zwischen Lernenden und IS hat das didaktische Potenzial, reflexive Prozesse in Bezug auf die Inhalte anzuregen. Diese reflexiven Prozesse können durch den Vergleich unterschiedlicher Modellvorstellungen sowie durch den Vergleich von Modell und Realität vertieft werden (Eilks et al., 2004).

Darüber hinaus ermöglichen IS häufig die Erstellung mehrerer Darstellungen eines Phänomens. Dadurch können Lernende verschiedene Perspektiven einnehmen und funktionale Zusammenhänge unmittelbar visualisieren (Kollöffel & de Jong, 2013; Mc Elhaney & Linn, 2011). Die Verwendung von IS ermöglicht es, komplexe Zusammenhänge und Abhängigkeiten zwischen Variablen zu veranschaulichen, was den Lernprozess unterstützt und das kognitive Verständnis fördert.

Im Unterschied zu herkömmlichen Experimenten ermöglicht die Interaktivität von IS zusätzlich die Beschleunigung und wiederholte Durchführung von Versuchen (Zacharia et al., 2008) sowie präzise Messungen. Dadurch eröffnet sich die Möglichkeit, relevante konzeptionelle Aspekte herauszuarbeiten (Pyatt & Sims, 2012; Trundle & Bell, 2010).

Veränderbare Parameter

Vor allem die Veränderbarkeit der Parameter ist gemäß Eilks et al. (2004) der primäre Nutzen von IS. Die Parameter der untersuchten Systeme können angepasst werden, wodurch die entsprechenden Reaktionen unter verschiedenen Umständen ablaufen können. Das Potenzial von IS beschränkt sich nicht nur auf das Lernen mit bewegten Bildern, sondern ermöglicht auch das experimentell entdeckende Lernen. Es kann jedoch herausfordernd sein, bestimmte Ergebnisse mit IS zu erzielen, weshalb eine angemessene Integration und dosierte Anleitung erforderlich sind (Urhahne & Harms, 2006).

Eilks et al. (2004) argumentieren, dass Lernende ohne Vorwissen dazu neigen, auf Nebensächlichkeiten der Darstellungen zu achten und deshalb keine eigenständigen Hypothesen daraus ableiten können. Urhahne und Harms (2006) betonen daher die Bedeutung angemessener Instruktionen bei der Interaktion mit IS. Sie vermuten das didaktische Potential der IS in der Schulung des Modelldenkens selbst. In diesem Sinne erfüllen die IS nicht die Funktion der bloßen Repräsentation der molekularen Ebene, sondern sind Ausgangspunkt wissenschaftstheoretischer Überlegungen im Sinne einer metakognitiven Beschäftigung mit Modellen (Eilks et al., 2004; Urhahne & Harms, 2006).

Erschließung neuer fachspezifischer Bereiche

IS eröffnen Möglichkeiten, Fachbereiche wie die theoretische Chemie zugänglich zu machen. Eine Studie von Stamer et al. (2018) zeigt, dass eine gezielte Nutzung von IS dazu führen kann, Einblicke in die moderne chemische Forschung zu bieten und somit den Zugang zu potenziellen Berufsfeldern, im Sinne der Entwicklung der „Berufswahlreife“, in der Chemie zu ermöglichen. Sie betont jedoch die Notwendigkeit einer gut strukturierten und angeleiteten Arbeit mit entsprechend komplexen IS, aber betont auch das Potential, den Lernenden einen Einblick in die aktuellen Arbeitsweisen chemischer Forschung zu gewähren.

Chemische Arbeitsweisen, die für den regulären Unterricht zu teuer oder zu komplex sind, können durch entsprechende Programme im Unterricht zugänglich gemacht werden (Urhahne & Harmus, 2006). Stinken-Rösner (2020) hielt fest, dass neben der Visualisierung von nicht sichtbaren Prozessen vor allem die Kompensation von fehlenden, defekten oder gefährlichen Experimentalutensilien ein Hauptgrund für Lehrkräfte ist, IS in ihrem Unterricht anzuwenden. Außerdem stellte sie fest, dass IS im Unterricht eher nicht zur Verdrängung klassischer Experimente führen, sondern eher als Erweiterung und nicht als Ersatz empfunden werden.

III.2. Lernkontext beim Einsatz von IS

Blended Learning statt E-Learning

Der Lernkontext, in dem IS Anwendung finden, ist als multimediales „Lernarrangement“, welches durch den Einsatz interaktiver und für den Lernprozess strukturierter Computerprogramme gekennzeichnet ist (Eilks et al., 2004, S. 122). Im Folgenden wird dieses Lernarrangement im Sinne des Blended Learning beschrieben. Blended Learning ist eine Weiterentwicklung des E-Learning, bei der versucht wird, E-Learning und klassische Lernumgebungen zu kombinieren, um die Vorteile beider Unterrichtsformen bestmöglich nutzen zu können. Es hat sich gezeigt, dass die Kombination beider Lernumgebungen zahlreiche Vorteile für den Unterricht mit sich bringt (Tayebini & Puteh, 2012):

- Engagement durch persönliche Kommunikation
- Gemeinschaftssinn
- Verbesserte Leistungen

- Angemessenes Feedback
- Aktive Teilnahme
- Etc...

Eine konkrete Blended Learning Situation in der IS Anwendung finden kann als abstrahiertes Schema dargestellt werden (Abb. 12), um das komplexe Wechselspiel der verschiedenen Unterrichtsfaktoren sichtbar zu machen (Rehn et al., 2013).

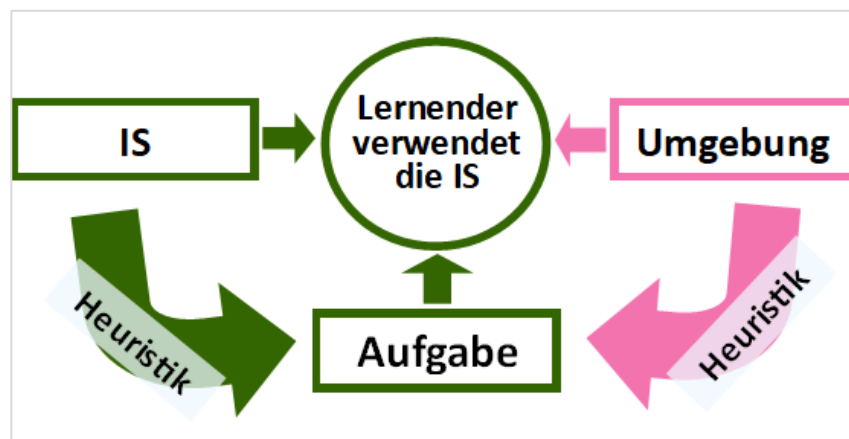


Abbildung 12 Der Lernkontext eines multimedialen Lernarrangement mit IS als multimediales Element nach Rehn et al. (2013).

Im Zentrum steht die Interaktion des Lernenden mit der IS. Aufgabe, IS und Umgebung wirken als äußere Faktoren auf die Interaktion ein. Die Lehrkraft kann verschiedene Heuristiken nutzen, um über die Aufgabe zwischen Umgebung und IS zu vermitteln. Die Aufgabe ist somit das zentrale didaktische Werkzeug, um mithilfe einer IS ein erfolgreiches Lernereignis zu generieren (Rehn et al., 2013).

Von der Lerntechnik zur Lernmethode

Die Aufgabe sollte im Rahmen des didaktischen Konzepts und der zugehörigen Heuristik entwickelt werden, um die IS in einen Rahmen einzubetten, der eine produktive Nutzung ermöglicht. IS können auf vielfältige Weise in den Chemieunterricht integriert werden, angefangen bei der Erarbeitung theoretischer Aufgaben über die Unterstützung bei der Laborarbeit bis hin zum freien Spiel. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Möglichkeiten zur Implementierung vielfältig sind (Schnitker, 2016; Wieman et al., 2010).

Eine selbstständige Programmierung ermöglicht den höchsten Grad an zielgruppengerechter Individualisierung (Kerres, 2020). Dies ist insbesondere bei

H5P-Videos möglich, die mit relativ geringem technischem Vorwissen erstellt werden können (Zeller et al., 2021).

Ob IS einen Mehrwert für den Unterricht darstellt, hängt in erster Linie von dem dahinterstehenden didaktischen Konzept ab. Sie sind kein Selbstzweck, sondern ihre Funktionen müssen einen für den Lernenden nachvollziehbaren Zweck im Lerngeschehen erfüllen. Aufgrund dieser Einsicht liegt der Schluss nahe, dass IS nur dann einen Mehrwert für den Unterricht bringen kann, wenn ihre spezifischen Eigenschaften die Grundlage der didaktischen Einbettung bilden (Urhahne & Harms, 2006; Höffler & Leutner, 2007; Wörner et al., 2022).

Dem gegenüber steht der Umstand, dass die festgeschriebenen fachlichen Curricula bei der Planung von Chemieunterricht meist im Fokus stehen und die Unterrichtsmethoden häufig spontan und situationsbedingt und nicht auf Basis gründlicher didaktischer Überlegungen gewählt werden. (Anton, 2018, S. 181).

Es ist wichtig zu beachten, dass ohne ein solides didaktisches Fundament IS lediglich Lerntechniken sind. Die Fähigkeit, solche Techniken anzuwenden, bedeutet nicht automatisch, die fachlichen Hintergründe zu verstehen. Man kann beispielsweise einen Zirkel verwenden, ohne über die Geometrie des Kreises Bescheid zu wissen (Gutbrod, 2020).

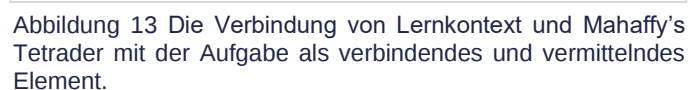
Aus diesem Grund muss die Lehrkraft die Lerntechnik bewusst in eine Lernmethode überführen (Gutbrod, 2020), die die IS als einen Teil der Lernumgebung begreift und das Zusammenspiel aller Faktoren in einem solchen Lernkontext berücksichtigt.

Verbindung des Lernkontextes mit Mahaffy-Tetraeder

Der Lernkontext, der auf den Lernenden ausgerichtet ist, wird mit dem Mahaffy Tetraeder in Verbindung gebracht (Abb. 13). Die Lehrkraft spielt dabei eine Rolle bei der Strukturierung der Lernumgebung, wobei die Aufgabe als zentrales didaktisches Werkzeug zwischen dem Tetraeder und dem Lernenden positioniert ist.

Für chemische Laien ist eine Anleitung erforderlich, um sich innerhalb des Tetraeders zu bewegen, wobei die Aufgabe als Wegweiser dient. Gemeinsam mit einer entsprechenden Heuristik hat die Aufgabe das Ziel, die IS in eine effektive Lernmethode zu integrieren.

Die Lehrkraft lenkt die Aufmerksamkeit der Lernenden und steuert somit die Bewegung innerhalb des Tetraeders über die Aufgabe. Obwohl die IS fachliche Inhalte unterschiedlicher Ebenen enthalten, lenkt die Aufgabe die Aufmerksamkeit des Lernenden, weshalb die IS nicht das zentrale Element für die Bewegung innerhalb des Tetraeders sind, sondern die Aufgabe selbst. Selbst bei einem "freien" Erkunden der IS im Unterricht wird eine Heuristik und somit eine konkrete Aufgabe vorausgesetzt.



III.2.1. Interaktive Simulationen

35

zeigen konnte, werden IS im Unterricht eher als Ergänzung als Ersatz von klassischen Experimenten verwendet.

Wörner et al. (2022) kamen durch die Analyse mehrerer Vergleichsstudien, welche die Lernleistung durch klassische und simulierte Experimente untersuchten, zu der Annahme, dass nur die Kombination von Beiden sinnvoll ist. Um den Unterricht gut ergänzen zu können, muss aufgezeigt werden, was bei der Wahl einer solchen IS zu beachten ist.

Gütekriterien für IS

Das Fehlen „guter“ IS ist einer der Hauptgründe, warum Lehrkräfte auf deren Einsatz verzichten (Stinken-Rösner, 2020). Die qualitativen Aspekte, welche es zu berücksichtigen gilt, sind vielfältig. Dies zeigt sich an befragten Naturwissenschaftslehrkräften, welche angehalten wurden, Eigenschaften guter IS anzugeben (Stinken-Rösner, 2020, S. 30-31). Ergebnis waren sechs hierarchisch (1 höchste – 6 niedrigste) angeordnete Eigenschaften.

1. Klarheit/Intuitive Bedienung
2. Kompatibilität mit technischen Ressourcen
3. Wissenschaftliche Korrektheit
4. Didaktische Reduktion der Inhalte
5. Visuelle Gestaltung
6. Visuelle Ähnlichkeit mit dem Alltagsleben

Von geringerer Bedeutung für die Lehrkräfte ist dagegen die Berücksichtigung kultureller Vielfalt, eine geschlechtersensible Sprache oder auch Mehrsprachigkeit der IS (Stinken-Rösner, 2020, S. 30-31).

Um chemischen Laien den Umgang mit IS zu erleichtern ist auf eine gute grafische Benutzeroberfläche zu achten. Sowohl das Starten des Programms als auch die Ein- und Ausgabe von Daten müssen benutzerfreundlich und nachvollziehbar gestaltet sein (Stamer et al., 2018). Zusätzlich sollte man beachten, dass zu viele Interaktionsmöglichkeiten Lernende überfordern können (Perkins et al., 2011), und dass die jeweiligen Repräsentationsebenen deutlich unterscheidbar sind (Barke et al., 2018, S. 174-175).

Ein erleichterter Umgang ermöglicht es, die IS praktisch zu erleben und daher zu erforschen, Fragen zu stellen oder Zusammenhänge zu erkennen, wobei es sich um die Grundlagen produktiver wissenschaftlicher Erkundung handelt (Perkins et al., 2014).

Beispiele für IS

Es gibt verschiedene Arten von IS, die sich im Grad der möglichen Funktionen und in der Benutzeroberfläche stark unterscheiden. Eine Möglichkeit sind H5P-Videos (Abb. 14), welche im Vergleich zu anderen Programmen relativ einfach erstellt werden können. Die Universität Wuppertal stellt aber auch bereits fertig erstellte IS auf der Homepage "Chemie Interaktiv", eine der bekanntesten Plattformen dieser Art unter Chemielehrkräften (Stinken-Rösner, 2020), zur Verfügung, welcher dieses Beispiel entnommen ist

Die Möglichkeit der individuellen Programmierung ermöglicht eine gezielte Anpassung der Inhalte an den eigenen Unterricht. Zeller et al. (2021) konnten zeigen, dass Lehramtsstudierende auch mit geringem Vorwissen H5P-Videos erstellen und somit ihre Kompetenzen im Umgang mit interaktiven Lernelementen verbessern konnten.

An einem Beispiel aus der Elektrochemie soll ein solches H5P-Video dargestellt werden. Die IS bildet eine galvanische Zelle, bestehend aus einer Zink- und einer Kupferelektrode, welche in eine Sulfatlösung getaucht sind.

Die IS bietet die Funktion den Stromkreis zu schließen bzw. zu unterbrechen. Ist der

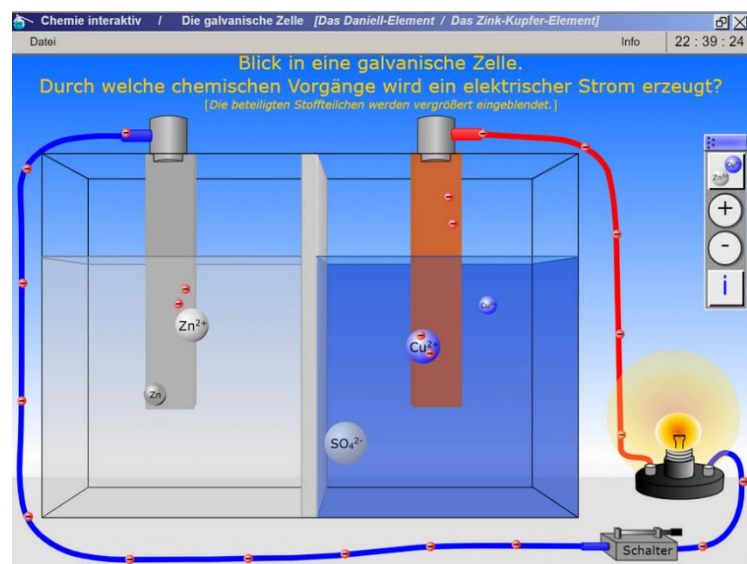


Abbildung 14 Die IS „Blick in die galvanische Zelle“ von „Chemie-interaktiv“ der bergischen Universität Wuppertal.

Stromkreis geschlossen kann der Elektronenfluss durch die Apparatur verfolgt werden. In der galvanischen Zelle wird die Wanderung der jeweiligen Ionen in Form eines Teilchenmodells verdeutlicht. Die IS selbst zeigt den Fluss der entsprechenden

Teilchen und verdeutlicht den dynamischen Charakter dieses Vorgangs. Der Unterschied zu einer herkömmlichen IS liegt in der Manipulation des Stromkreises.

Das Schließen des Stromkreises zeigt wie die entsprechenden elektrochemischen Prozesse im Inneren der Zelle starten und durch Öffnen des Stromkreises unterbrochen werden können.

Ein weiteres Beispiel wird der Homepage der University of Colorado Boulder entnommen. Die in Abbildung 15 und 16 dargestellte IS ist dem Themenbereich Säure/Basen entnommen. Hierbei liegt der Fokus auf der Veränderbarkeit der Parameter. Es besteht die Möglichkeit, die Molarität sowie die Säurestärke/Basenstärke einzustellen.

Nuraida et al. (2021) nutzten in einer Untersuchung diese Simulation um den Unterschied zwischen starken und schwachen Basen sowie dem pH-Wert zu verdeutlichen. Ein großer Stolperstein bei der Erlangung chemischer Grundkenntnisse. Sie konnten zeigen, dass IS dabei helfen können die Unterschiede verständlicher zu machen.

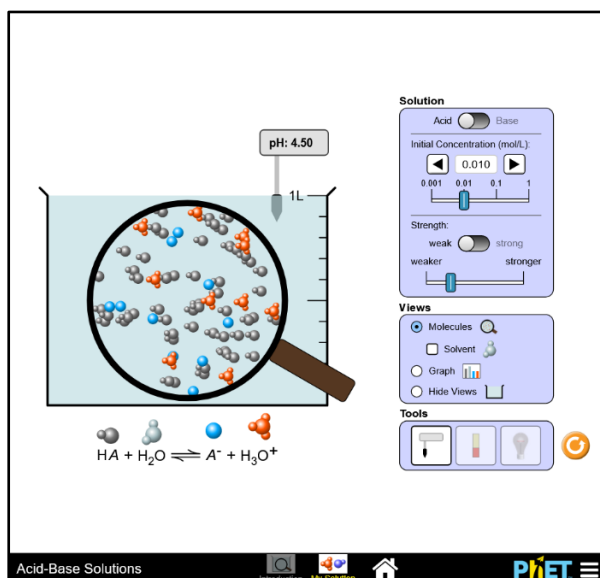


Abbildung 15 Die IS „Acid-Base Solutions“ von „PhET“ der University of Colorado Boulder.

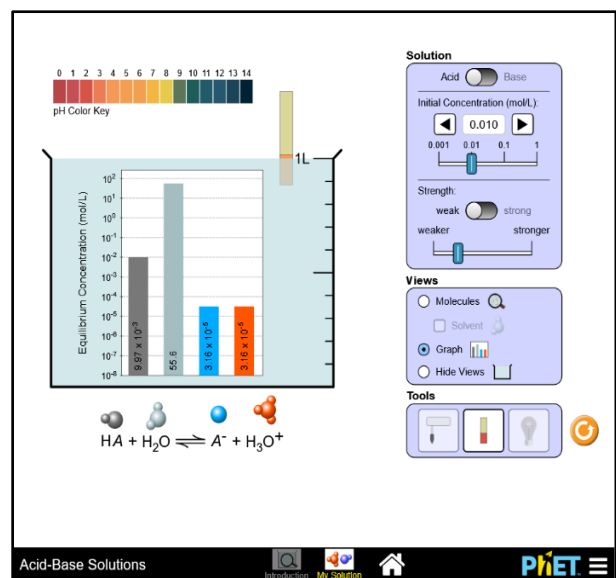


Abbildung 16 Die IS „Acid-Base Solutions“ von „PhET“ der University of Colorado Boulder.

Es können verschiedene Darstellungsebenen ausgewählt werden. Der pH-Wert der Lösung kann entweder mittels pH-Papier oder einem pH-Meter gemessen werden. Darüber hinaus kann die elektrische Leitfähigkeit mithilfe einer Glühbirnenapplikation veranschaulicht werden.

Nuraida et al. (2021) nutzten in einer Untersuchung diese Simulation um den Unterschied zwischen starken und schwachen Basen sowie dem pH-Wert zu verdeutlichen. Sie konnten zeigen, dass IS dabei helfen können die Unterschiede verständlicher zu machen.

Dieser Einblick verdeutlicht das breite Spektrum an Funktionen der IS. Sie ist weniger auf einen einzelnen Aspekt fokussiert, sondern strebt vielmehr eine möglichst umfassende Darstellung eines Themas an. Eine Vielzahl an Informationen und Funktionen birgt zweifellos zahlreiche Möglichkeiten für die Implementierung, jedoch geht damit auch die Gefahr der Unübersichtlichkeit einher.

III.2.2. Aufgabe

Die Integration von Lernprogrammen in den Unterricht erfordert eine sorgfältige Abwägung zwischen strukturierenden Elementen und herausfordernden Elementen. Zu den strukturierenden Elementen zählen die Instruktion und die Steuerung des Lernprozesses. Herausfordernde Elemente zeichnen sich durch Offenheit und Komplexität aus (Urhahne & Harms, 2006; Eilks et al., 2004).

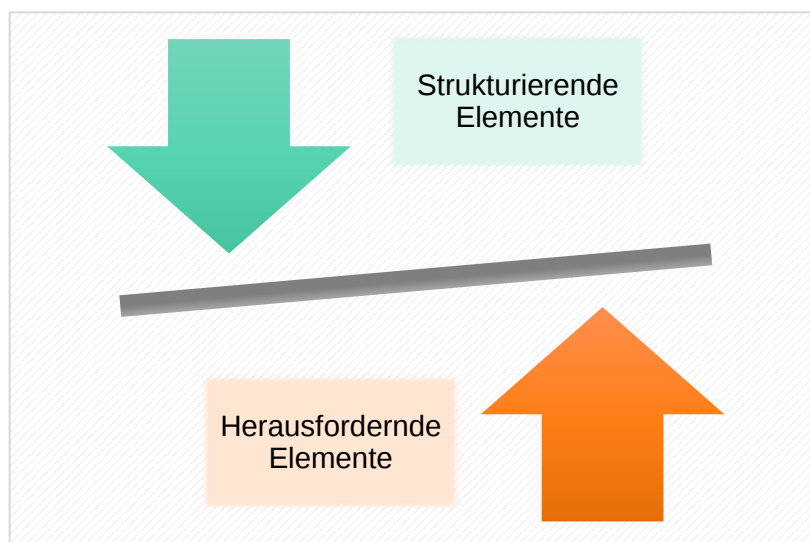


Abbildung 17 Abwägung zwischen strukturierenden und herausfordernden Elementen

Gelingt dieser Balanceakt im Umgang mit multimedialen Informationen nicht, ist die Folge entweder Unterforderung oder Überlastung in Form von Desorientierung und kognitiver Überlastung (Eilks et al., 2004).

Am häufigsten scheinen IS in der Unterrichtspraxis für Demonstrationszwecke (lehrkraftzentriert) und für Gruppenarbeiten genutzt zu werden (Stinken-Rösner, 2020; Perkins et al., 2014).

Moore et al. (2014) umreißen einen gewinnbringenden Aufbau einer Aufgabenstellung für den Einsatz von IS. Im Falle einer schriftlichen Aufgabenstellung mit geführter Befragung sollen folgende Punkte beachtet werden:

- (1.) Identifikation von zwei bis drei zu der IS passenden Lernzielen
- (2.) Nutzung der IS spezifischen Funktionen
- (3.) Möglichst wenige konkrete Aufgabenstellungen
- (4.) Strukturierende Elemente, die den Erkenntnisweg bei der Erkundung der IS festhalten
- (5.) Vermeidung expliziter technischer Nutzungsanweisungen wie "Verschieben des Schiebereglers nach links".

Allgemein kann für die Benutzung der IS empfohlen werden, auf direkte Anweisungen zur Manipulation zu verzichten und stattdessen allgemeine Anweisungen zu geben. Bei zu genauen Anweisungen konnte beobachtet werden, dass sich die Lernenden ausschließlich auf das zeitweise blinde Befolgen der Anweisungen konzentrieren (Perkins et al., 2011).

Das verhindert die selbstständige Erforschung und das Lernen aus der IS. Die Lehrperson muss zwar die Arbeitsphase koordinieren, aber sie sollte sparsam mit Anweisungen umgehen und gegebenenfalls punktuell in das Lerngeschehen eingreifen, da dabei die Gefahr besteht, dass der "Anweisungsfolge"-Modus der Lernenden ausgelöst wird (Perkins et al., 2011). Eine gänzlich selbstständige Erarbeitung einer Aufgabe zur Erarbeitung chemischer Konzepte scheint andererseits ebenfalls nicht zielführend zu sein (Mayer, 2004).

III.2.3. Heuristiken

Rehn et al. (2013) haben eine Reihe von Heuristiken erarbeitet, welche im Unterricht Anwendung finden. Die jeweiligen Heuristiken können sich zum Teil überschneiden und sollen in ihrer Abgrenzung vor allem einen Überblick bieten.

1. Verschiedene Formen der Darstellung koordinieren
2. Diskussion vermitteln
3. Spielähnliche Situationen schaffen
4. „Vorhersagen, Beobachten erklären“

Heuristik 1: Verschiedene Formen der Darstellung koordinieren.

Diese Heuristik fungiert als Vermittler zwischen den IS und der Aufgabe. Die Lernenden werden ermutigt, bereits behandelte Inhalte mit den IS zu verknüpfen. Abstrakte Darstellungen wie Tabellen und Grafiken können in einen Kontext eingebettet werden. Es können Bezüge und Unterschiede zwischen verschiedenen Modellen herausgearbeitet werden, einschließlich fachlich unterschiedlicher Modelle sowie analoger und digitaler Modelle.

Diese Heuristik entspricht einem der Hauptziele für den Einsatz von IS im Unterricht (Perkins et al., 2014). Die Fähigkeit, verschiedene Darstellungsformen eines Phänomens in ein allgemeines Muster zu verdichten, ist auch ein Ziel der Metakognition (Anton, 2018, S. 178), weshalb diese Heuristik als Förderung der Metakognition angesehen werden kann.

Heuristik 2: Die Diskussion vermitteln.

Es kann der Diskurs zwischen den Lernenden angeregt werden, Die IS wird hierfür als gemeinsame Gesprächsbasis vorgestellt. Das Gespräch kann ihnen helfen die Bedeutung der IS auszuhandeln und diese zu interpretieren, um Gemeinsamkeiten und Unterschiede in den eigenen Vorstellungen herauszuarbeiten. Je nach Umgebung und IS braucht es neben dem Diskurs nur minimale oder gar keine konkreten Aufgabenstellungen (Rehn et al., 2013).

Diese Heuristik eignet sich um die von Kaiser (2018, S. 51) propagierte Methode des „Lauten Denkens“ anzuwenden. Die Denkprozesse können direkt verbalisiert und der Gesamtgruppe zugänglich gemacht werden. Es bleibt jedoch zu bedenken, dass die Verbalisierung Vorwissen und auch metakognitive Kompetenzen, welche die Lernenden befähigt in den Diskurs eintreten zu können. Das komplexe Zusammenspiel zwischen Lernumgebung, IS, Aufgabe und den Lernenden erfordert eine für die Lernenden nachvollziehbare Moderation durch die Lehrkraft.

Vor allem das gezielte Stellen von Fragen ist ein wichtiger Baustein bei der Arbeit mit verschiedenen Darstellungsformen. Die Lehrkraft muss die Vorstellungen und Zweifel der Lernenden berücksichtigen. Fragen eignen sich in diesem Zusammenhang dazu Vorwissen gezielt zu aktivieren und Reflexionsprozesse über die Entwicklung von Ideen nachzuzeichnen und diskutierbar zu machen (Justi et al., 2009).

Heuristik 3: Spielähnliche Situationen schaffen

Eine Studie von Podolefsky et al. (2013) konnte zeigen, dass eine 5-10 minütige spielerische Implementierung zu Beginn der Einheit das ganze weitere Unterrichtsgeschehen beeinflussen kann.

Eine Physikklasse wurde angehalten, ohne jegliche weiterführenden Instruktionen mit der IS, welche im Anschluss anhand eines „inquiry-based-worksheets“ erarbeitet werden soll, einfach zu „spielen“. Die Spielphase selbst wird zwar nicht direkt von der Lehrkraft angeleitet, aber begleitet. Lernende die meinen etwas Interessantes entdeckt zu haben werden eingeladen ihre Beobachtungen mit der Klasse zu teilen. Im weiteren Unterrichtsgeschehen zeigte sich, dass der Lehrende einen stärkeren Bezug auf die Vorstellungen und das Vorwissen der Lernenden einging, wenn der Einheit eine Spielphase vorausging als ohne einer solchen (Podolefsky et al., 2013).

Eine Interviewstudie in der Mittelstufe von Perkins et al. (2011) in der Mittelstufe konnte zeigen, dass die Lernenden sehr schnell und unvermittelt beginnen mit der IS zu interagieren. Der natürliche Spieltrieb entsprechender Klassenstufen sollte bei der Implementierung solcher Programme nicht unterschätzt werden.

Der interaktive Charakter der IS macht eine solche Spielphase niederschwellig und prädestiniert solche Programme für diesen Einsatz. Die einfache Reproduzierbarkeit von Beobachtungen macht es einfach sie der gesamten Klasse zu präsentieren und lädt andere Lernenden dazu ein an anderen Beobachtungen anzuknüpfen. Wobei zu beachten bleibt, dass IS auch Anwendungen zulassen können (z.B. ein Smiley-Gesicht aus Isotopen) die sich nicht sinnvoll in den Fachunterricht übersetzen lassen (Perkins et al., 2011).

Die zentrale Aufgabe der Lehrkraft ist es die spielerisch freigesetzten Impulse in fachlich korrekte Sinneszusammenhänge zu überführen. Dies erfordert eine Übersetzung aber auch Sortierung der Impulse, um diese im Unterricht verwerten zu können.

Heuristik 4: „Vorhersagen, Beobachten, Erklären“

Lernende sollen Vorhersagen treffen und diese anschließend mit ihren Beobachtungen mit der IS vergleichen, wobei Unterschiede geklärt werden können (Rehn et al., 2013).

IS zur Visualisierung der molekularen Ebene einzusetzen, liegt auf der Hand und wurde auch von den meisten Lehrenden als Hauptziel angegeben. In einer Studie von Nuraida et al. (2021) wurde der Nutzen der IS anhand dieser Heuristik untersucht. Die IS hatte die Funktion den Unterschied zwischen starken und schwachen Basen sowie Säuren zu verdeutlichen. Die Verwechslungsgefahr zwischen Säurestärke und pH-Wert ist ein bekannter Stolperstein im Chemieunterricht. Sie konnten zeigen, dass IS dabei helfen können die Unterschiede verständlicher zu machen.

Diese Heuristik zeichnet einen basalen Forschungszyklus nach. Hier gilt zu Bedenken, dass die Fähigkeit Hypothesen aus einem Themengebiet abzuleiten, welche sich zusätzlich mit den Funktionen der IS decken eine große Herausforderung für die Lernenden ist. Der Lehrkraft muss bei der Erstellung der Aufgabe eine kleinschrittige und nachvollziehbare Heranführung gelingen. Die Lernenden müssen so an die IS herangeführt werden, dass sie die wesentlichen Informationen der IS von den unwesentlichen unterscheiden können. Auf der anderen Seite muss das Format der Aufgabe so erstellt werden, dass genug Freiraum bleibt wirklich eigene Vorhersagen zu treffen und diese nicht als vorweggenommen empfunden werden.

III.2.4. Umgebung

Dieser Abschnitt beleuchtet die Teile der Umgebung, welche von der räumlichen Dimension eines solchen Lernarrangements charakterisiert sind. Nach Rehn et al. (2013) kann die Umgebung wie folgt gegliedert werden.

1. Andere Lernende: Jeder einzelne Klassenmitglied, welches die IS nutzt, wird durch die anderen Klassenmitglieder beeinflusst.
2. Materielle Ressourcen: Sie stellen jene Ressourcen dar die im Laufe der Aufgabe Anwendung finden. Dies können physische Modelle, Arbeitsmaterialien (Stift, Heft, Taschenrechner, Schulbuch, Tafelbild, etc.) sein.

3. Organisation der Umgebung: Hier wird in den Blick genommen wie die technischen und andere Ressourcen sowie die Klassenmitglieder zueinander im Raum organisiert sind.
4. Umgebungsnormen: Typische Verhaltensweisen und/oder Gewohnheiten (Erwartung der Lehrkraft, Stundenrituale, etc.), die in der Umgebung etabliert sind und das Verhalten der Lernenden während der Aktivität beeinflussen.

Die Organisation der Umgebung ist in vielen Schulen bereits von der Digitalisierung geprägt. Die Verringerung des Gewichts von Laptops und der vermehrte Einsatz von Tablets ermöglicht eine flexible Nutzung der entsprechenden Unterrichtstools. Vor allem auch die in den letzten Jahren zu beobachtende Reduktion der Kosten entsprechender Geräte ermöglicht eine umfangreiche Medienausstattung der Schulen (Barke et al., 2018).

Vorteile computergestützter Unterrichtstools zu klassischen haptischen Modellen ist ihre Flexibilität. Sie können unabhängig von der Klassengröße und den Räumlichkeiten angewendet werden und bereiten keine Umstände im Transport und können, wenn sie bereits auf den entsprechenden Endgeräten installiert sind, offline eingesetzt werden. Vorausgesetzt die entsprechenden Endgeräte sind in ausreichender Anzahl vorhanden (Schnitker, 2016), eine mangelnde technische Ausstattung konnte Stinken-Rösner (2020) als Hauptgrund für den Verzicht auf IS im naturwissenschaftlichen Unterricht ausmachen.

Sie können auch als Tools für den Einsatz an Außerschulischen Lernorten oder als zusätzliches Lehrangebot für z.B. Lerngelegenheiten am Nachmittag Anwendung finden (Stamer et al., 2018).

IV. Politische und soziale Implikationen von digitalen Schulmedien

Der Einsatz von digitalen Medien, wie IS, lässt sich nicht nur didaktisch, sondern auch ökonomisch und politisch rechtfertigen. Die Digitalisierung kann als gesamtgesellschaftliches Phänomen betrachtet werden, welches in die meisten gesellschaftlichen Domänen bereits tief eingedrungen ist. Hatten im Jahr 2002 33,5% der österreichischen Haushalte einen Internetanschluss, so sind es im Jahr 2022 schon 93,2% der Haushalte (Statistic Austria, 2022).

Digitalisierung wird häufig als rein technischer Begriff gebraucht, wobei die Dimension des gesellschaftlichen Wandels nicht berücksichtigt wird. Digitale Medien können allgemein als „elementare Kulturtechnik“ (Kerres, 2000, S.3) betrachtet werden und die Digitalisierung selbst als transformatorischer Megatrend (Naisbitt & Naisbitt, 2019).

Die Ausdehnung von Kommunikations- und Informationstechnologien sind durch erhebliche Veränderungen in den politischen, sozialen, kulturellen und wirtschaftlichen Gesellschaftsstrukturen gekennzeichnet (Peter & Steiner, 2019).

Für den Bildungsbereich nicht unwesentlich ist der Umstand, dass Smartphones und Internet den Eindruck geschaffen haben, dass „sie beinahe die ganze im Bewusstsein repräsentierte Welt auf historisch beispiellose Weise verfügbar gemacht haben [...] immer nur ein oder zwei Klicks entfernt (Rosa, 2019, S.85).“ Dieser Eindruck lässt außer Acht, dass lediglich Informationen über Smartphones abrufbar sind. Wissen kann immer nur ein Produkt einer Interaktion zwischen einer Person und Informationen sein (Knoblauch, 2014).

Es ist kaum verwunderlich, dass Forderungen nach Digitalisierung der Schule besonders laut sind. Im Folgenden sollen die Dimensionen der Veränderung der Institution Schule als Folge der Digitalisierung und konkrete politischen Forderungen, die der Staat Österreich an die Schulen stellt, nachgezeichnet werden.

IV.1. Implementierung neuer Technologien im System Schule

Der gesellschaftliche Auftrag der Institution Schule äußert nach Gutbrod (2020, S. 146) darin, dass sich die Lernenden „nach dem Verlassen der Schule mit ihrem sachlichen und sittlichen Wissen als mündige Bürger in die Gesellschaft eingliedern können.“

Dieser Auftrag ist formaler Natur und beinhaltet die assimilativen Fähigkeiten, welche die Befähigung darstellen, sich in die Gesellschaft sinnvoll integrieren zu können.

Die Schule einer digitalisierten Gesellschaft muss die strukturierte und sinnhafte Übersetzung digitaler Sozialisierung und Pädagogik in die analoge Welt sein (Thiersch & Wolf, 2022). Was nicht nur bedeutet, mit digitalen Medien zu arbeiten, sondern auch über die Digitalisierung selbst zu lernen. Neben der Veränderungen sozialer Interaktion birgt die Digitalisierung auch ökologische (z.B. Handyakkus) und ökonomische (z.B. Datenhandel) Herausforderungen, die in der Schule kritisch betrachtet werden müssen (Huwer & Banjerji, 2020).

Im Bereich der schulischen Sozialisierung zeichnen Thiersch & Wolf (2022) anhand ihrer Untersuchungen einen Generationenkonflikt nach. Hier wird die Autorität der Lehrkraft, insofern sie mangelndes Wissen über digitale Geräte und ihre Funktionen besitzt, durch die junge technisch affine Generation herausgefordert. Zum anderen assoziieren die Lernenden digitale Geräte im Wesentlichen mit Unterhaltungsgegenständen, was konträr zum formalen Selbstverständnis der Schule steht (Thiersch & Wolf, 2022).

Thiersch und Wolf (2017) kommen in diesem Zusammenhang zu dem Schluss, dass die Schule in der Digitalisierung gefordert ist zu ihrem Kerngeschäft zurückzukehren, die Disziplinierung. Diese Aufgabe ergibt sich zwangsläufig durch die Implementierung digitaler Medien in die „notwendig konservative Interaktionsstruktur“ der Schule.

IV.2. Ministerialer Masterplan für Digitalisierung

2018 begann das Ministerium für Bildung Wissenschaft und Forschung (BMfBWF) an einem „Masterplan“ für die Digitalisierung des Bildungswesens zu arbeiten. Dieser Masterplan versteht sich als Großoffensive, um die Digitalisierung an österreichischen Schulen voranzutreiben und soll im Wesentlichen bis 2023 abgearbeitet werden. Gerade im Bereich der vorhandenen Hardware führt das Ministerium Zahlen, an die einen Handlungsbedarf suggerieren sollen (BMfBWF, 2018a).

Interessant ist, dass der Masterplan dezidiert auf die Notwendigkeit didaktischer Kompetenzen für den Einsatz von digitalen Medien hinweist. Er beruft sich auf die OECD, welche anhand von Pisa-Daten zu dem Schluss kam, dass die „Verfügbarkeit entsprechender Geräte bzw. Investitionen nicht automatisch zu besseren

Lernergebnissen führt. Für eine gute, sinnvolle Nutzung von IKT an Schulen braucht es v.a. die richtigen pädagogischen Ansätze.“ Vor diesem Hintergrund kann der Masterplan in drei Teilprojekte gegliedert werden (BMfBWF, 2018a, S. 2).

Tabelle 5 Handlungsfelder des "Masterplans" für Digitalisierung (BMfBWF, 2018a, S. 2)

Teilprojekte des Masterplans		
1. Lehr- und Lerninhalte	2. Aus-, Fort- und Weiterbildung von Pädagoginnen und Pädagogen	3. Infrastruktur und moderne Schulverwaltung
- Überarbeitung der Lehrpläne/Umfassende Berücksichtigung digitaler Kompetenzen und Inhalte in den Lehrplänen aller Schulstufen und Schultypen - „Digitale Grundbildung“ - Entwicklung und Anschaffung von digitalen Lehr- und Lernutensilien für den Unterricht	- Schulinterne Fortbildung an Schulstandorten - Erarbeitung und Anwendung neuer Rahmencurricula	- Ausbau der technischen Infrastruktur in den Schulen - Ausrollen von digitalen Endgeräten (technisch & organisatorisch) - Vereinfachung der Schuladministration durch die Anwendung praxisorientierter Programme und Tools - Serviceportal Digitale Schule

Die Handlungsfelder lassen den Anspruch auf Ganzheitlichkeit des Vorhabens erkennen. Innerhalb dieses weiten Arbeitsfeldes kreist der „Masterplan“ Zielfelder wie digitale Grundbildung, den digitalen Unterricht erleichtern, Ausbau des Bildungsangebots an den BHS und FHs sowie die materielle Ausstattung der Bildungsstandorte, ein (BMfBWF, 2018a).

Das Ziel der digitalen Grundbildung wird der Autonomie der jeweiligen Schule überlassen und die restlichen Punkte werden eher technisch abgearbeitet. Konkretere Zielsetzungen finden sich hingegen im „Vortrag an den Ministerrat“ (BMfBWF, 2018b, S. 3):

1. Innovation in Methodik und Didaktik durch pädagogisch versierte Nutzung der digitalen Möglichkeiten im Unterricht
2. Altersadäquate Förderung der digitalen Kompetenzen und Wissen sowie kritische Bewusstseinsbildung in allen Schularten und Schulstufen entlang klarer pädagogischer Leitlinien

3. Steigerung des Interesses an Technologie und Technologieentwicklung, insbesondere unter Mädchen
4. Verlässliche Vermittlung der digitalen Fertigkeiten, Kompetenzen und Wissen, die für einen erfolgreichen Übertritt in den Arbeitsmarkt erforderlich sind
5. Förderung der mit der Digitalisierung verbundenen kreativen Potenziale unter den Schülerinnen und Schülern sowie Stärkung von Talenten“

Innerhalb dieser Zielsetzungen finden sich noch die Aspekte Interesse an Technik, Gleichstellung, ökonomische Überlegungen und die individuelle Förderung (BMfBWF, 2018b). Die didaktisch sinnvolle Implementierung von digitalen Lerninhalten kann als große Unbekannte verstanden werden, welche es noch zu definieren gilt.

V. Umfrage zu digitalen Unterrichtsmethoden und IS

V.1. Methodik der Umfrage

In Rahmen einer Umfrage wurden Chemielehrende zu dem Thema Digitalität und Schule befragt. Die Umfrage umfasste zwei Themenkomplexe. Zum einen befasst sich die Umfrage allgemein mit dem Thema Digitalisierung in der Schule und zum anderen mit dem Einsatz von IS im Chemieunterricht.

Bei der Umfrage handelt es sich um ein Computer Assisted Web Interview (CAWI), was ein Überbegriff für Online-Umfragen ist (Reinecke, 2022). Die Teilnehmenden wurde über E-Mail kontaktiert und um Ausfüllen gebeten.

V.1.1. Ablauf

Zielgruppe der Befragung waren Chemielehrende. Aus Gründen der Einfachheit und begrenzter zeitlicher Ressourcen, wurde für die Umfrage ein Onlinefragebogen erstellt. Mittels der datenschutzkonformen Plattform SoSci Survey wurde der Fragebogen 30 Tage lang, vom 26.01.2023 bis zum 24.02.2023, unter www.soscisurvey.de/DigiSimsChemie/ zur Verfügung gestellt.

Der Zugang erfolgte über einen Link, welcher an die Chemielehrenden übermittelt wurde. Die Umfrageteilnehmer wurden überwiegend mittels individueller Ansprache per E-Mail rekrutiert.

V.1.2. Messinstrumente und Auswertung

Anhand der soziodemografischen Daten und dem Verwendungsverhalten von IS (siehe Einstellungen zu IS) wurden verschiedene Untergruppe erstellt, welche mit der Gesamtgruppe verglichen wurden. Die Subgruppen erfassen Alter, Geschlecht, Dienstjahre und ob IS bereits im Unterricht verwendet wurden. Ein Vergleich der Subgruppe Schulform schien aufgrund der kleinen Gruppe MS-Lehrkräfte (N = 2) nicht sinnvoll.

Neben soziodemografischen Daten setzt sich die Befragung aus zwei zusammenhängenden Themenblöcken zusammen:

1. Einstellungen der Lehrkräfte zu dem Thema Digitalisierung und digitale Unterrichtsmethoden

2. Einstellungen der Lehrkräfte zum Einsatz von IS im Chemieunterricht.

Beide Themenblöcke enthalten coronaspezifische Ja/Nein Fragen bzw. Items. Diese wurden nur den Lehrkräften angezeigt, welche, seit mehr als vier Dienstjahren in der Schule beschäftigt sind.

Die Items wurden mittels der Software IBM SPSS Statistics (Version 27.0.0.0) und Excel ausgewertet.

Einstellungen zu digitalen Unterrichtsmethoden

Der Itemblock, welcher die Allgemeine Einstellung um Thema Digitalisierung und digitalen Unterrichtsmethoden in der Schule abfragt, umfasst 8 Items und für Lehrende mit mehr als vier Dienstjahren 9 Items. Alle Items wurden anhand einer 5teiligen Likert-Skala (1 trifft voll und ganz zu – 5 trifft nicht zu) erhoben. Gegenstände dieses Blocks sind:

- Rolle der Digitalisierung in der Bildungspolitik
- Technische Ressourcen in der Schule
- Datenschutzrechtliche Bedenken
- private Endgeräte der Lernenden
- Sicherheit im Umgang mit digitalen Medien
- Vorbereitung für das Berufsleben
- Ablenkbarkeit
- Nutzungsverhalten seit den Distance-Learning-Phasen der Corona Pandemie

Der Itemblock hat das Ziel die allgemeine Einstellung der Stichprobe im Hinblick auf Digitalisierung und digitale Schulmedien zu erheben. Er dient als Kontext für den folgenden Themenblock.

Einstellungen zu IS

Der zweite Themenblock umfasst insgesamt 7 Ja/Nein Fragen und 8 Item-Fragen und hat das Verhältnis der Teilnehmenden zu IS zum Thema. Inhalt der Ja/Nein Fragen ist:

Die befragte Lehrkraft hat...

- a. schon einmal IS im eigenen Unterricht verwendet.
- b. IS zum ersten Mal in den Distance-Learning-Phasen der Corona Pandemie verwendet.
- c. angegeben sich eine größere Auswahl IS zu wünschen.
- d. IS als Methode für den Chemieunterricht gekannt.
- e. durch die Umfrage Interesse an IS bekommen.
- f. vor in absehbarer Zukunft IS im eigenen Chemieunterricht einzusetzen.
- g. die Auffassung IS können mehr leisten als bisherige Unterrichtsmethoden.

Frage a. hat eine Filterfunktion und ermöglicht es in der Umfrage zwischen Lehrenden die IS bereits verwendet haben und Lehrenden die IS noch nicht verwendet haben zu unterscheiden.

Lehrende die IS bereits verwendet haben bekamen im Anschluss die Fragen b., c., f. und g. angezeigt, wobei Frage b. nur jenen Lehrenden angezeigt wurde, welche bereits, seit mehr als 4 Jahren unterrichteten.

Lehrende die IS noch nicht in ihrem Unterricht verwendet haben bekamen die Fragen d., e., f. und g. angezeigt.

Der Itemblock, welcher die Einstellung zum Thema IS im Chemieunterricht abfragt, umfasst 8 Items. Alle Items wurden anhand einer 5teiligen Likert-Skala (1 trifft voll und ganz zu – 5 trifft nicht zu) erhoben. Gegenstände dieses Blocks sind:

- Einbaubarkeit IS in den Chemieunterricht.
- IS als Bereicherung für den Chemieunterricht.
- Eignung für spielerische Heranführung an chemische Fachinhalte.
- IS als Vorbereitung für eine berufliche Laufbahn im MINT-Bereich.
- Darstellbarkeit molekularer Vorgänge durch IS.
- Gefahr der Verwirrbarkeit der Lernenden durch IS.
- Stärkung des konzeptuellen Verständnisses durch IS.
- Verhältnis von Aufwand durch IS und zu erwartender Mehrwert.

V.1.3. Stichprobenbeschreibung

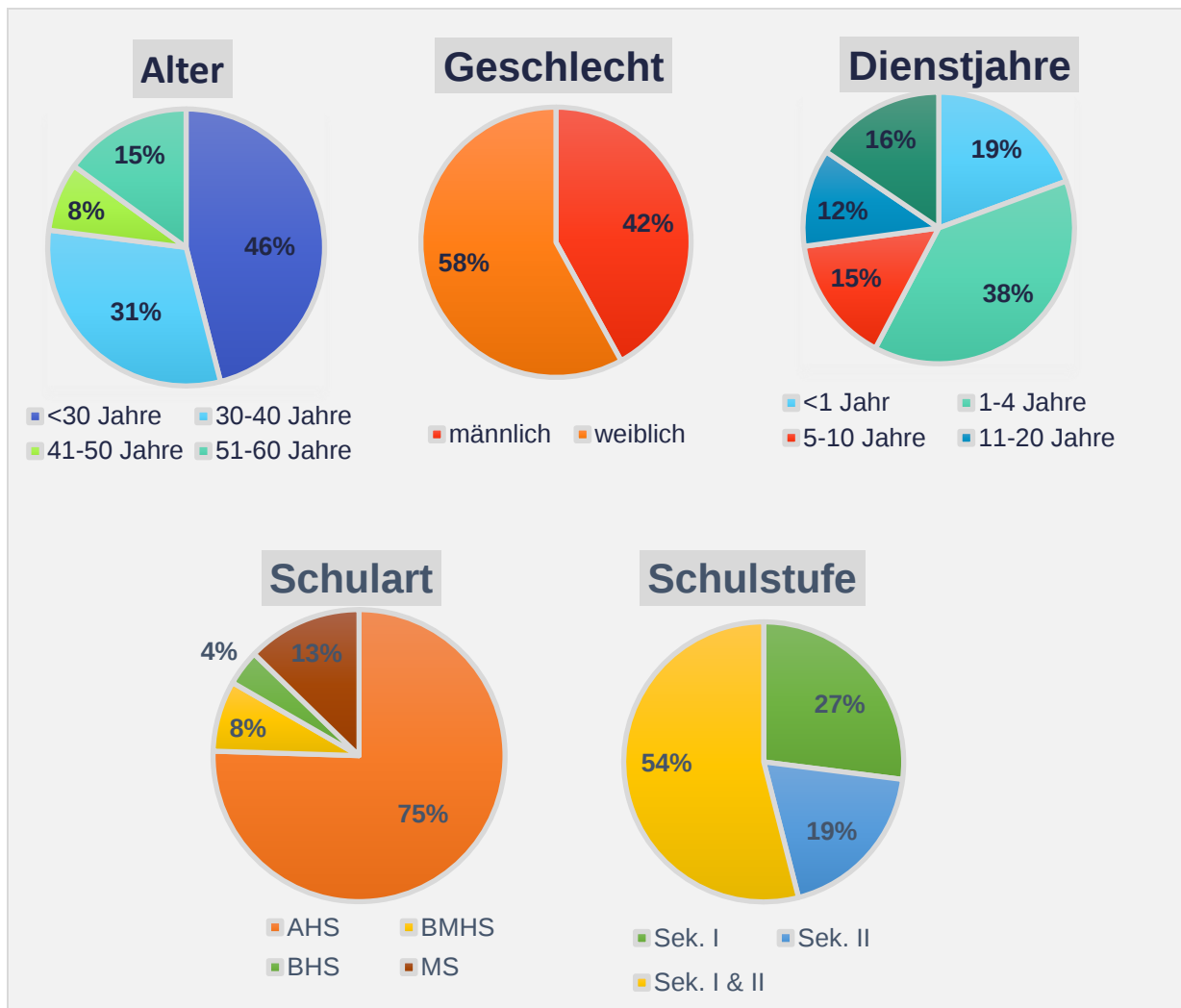


Abbildung 18 Alter, Geschlecht, Dienstjahre, Schulart und Schulstufe der unterrichtenden Lehrkräfte (N=26) in Prozent

Alter: Mit 46% ist die Alterskohorte, der unter 30-Jährigen am größten. Es folgt die Alterskohorte der 30 bis 40-Jährigen mit 31%. Die kleinsten Gruppen sind die der 41-50-Jährigen mit 8% und 51-60-Jährigen mit 15%. Lehrkräfte über sechzig haben an der Umfrage nicht teilgenommen.

Geschlecht: Es haben N = 26 Personen, davon 42% männlich, 58% weiblich und 0% divers, an der Onlineumfrage teilgenommen.

Dienstjahre: Der Anteil derer, welche sich im ersten Berufsjahr befinden, liegt bei 19%. Die größte Gruppe der Befragten (38%) unterrichtet seit 1-4 Jahren, demnach unterrichtet mehr als die Hälfte der Befragten (57%) weniger als 5 Jahre. Der Anteil der Befragten, welche 5-10 Jahre, 11-20 Jahre und über 20 Jahre unterrichten liegt bei Jeweils ca. 15%. Zusammengenommen machen jene Lehrkräfte, welche seit mehr als 5 Jahren unterrichten 43 Prozent aus.

Schulart: Der Großteil (75%) unterrichtet in Allgemein Höher Bildenden Schulen (AHS), 8% in der BMHS, 4% in der BHS und 13% in der MS.

Schulstufe: 54% der Lehrkräfte unterrichten sowohl in der Sekundarstufe I und II, 27% ausschließlich in der Sekundarstufe I und 19% in der Sekundarstufe II.

V.2. Ergebnisse der Umfrage

V.2.1. Deskriptive Statistik

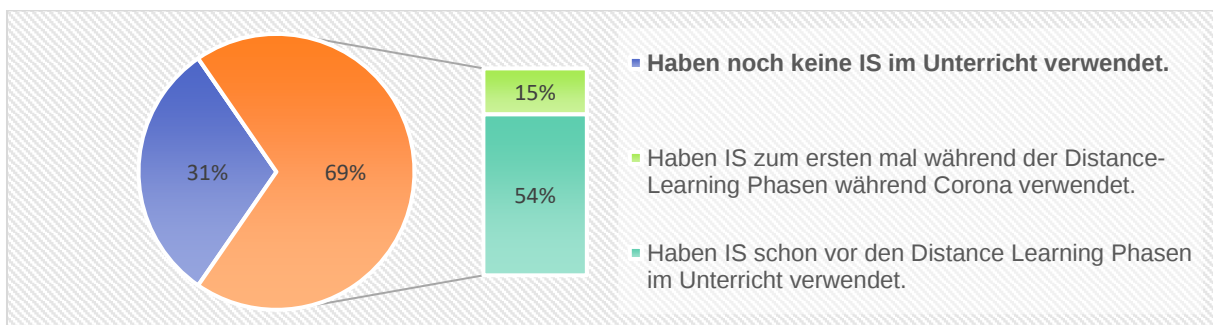


Abbildung 19 Verwendung von IS im Chemieunterricht als Tortendiagramm mit Ausschnitt

96% der Teilnehmenden kannten IS als Unterrichtsmethode für den Chemieunterricht. 31% haben noch keine IS im Unterricht verwendet. Es zeigt sich, dass der Großteil der Lehrkräfte, welche IS bereits im Unterricht im Einsatz hatten, diese bereits vor den Distance-Learning-Phasen der Corona Pandemie im Einsatz hatten.

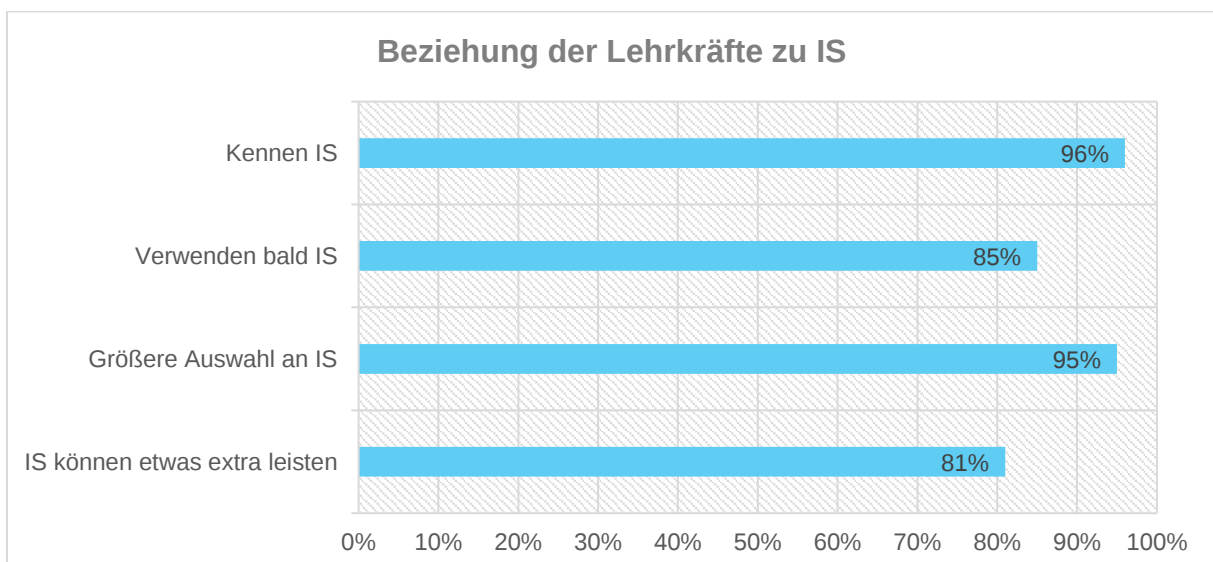


Abbildung 20 Beziehung der Lehrkräfte zu IS erhoben durch Ja/Nein Fragen

85% der Lehrkräfte gaben an IS in absehbarer Zukunft im Chemieunterricht zu verwenden und 95% gaben an, sich eine größere Auswahl an entsprechenden IS für den Chemieunterricht zu wünschen.

81% der Befragten sind der Meinung, dass IS etwas leisten können, was bisherige Unterrichtsmethoden nicht leisten können. Das entsprechende Modul gab die Möglichkeit, die Aussage zu begründen.

Allgemeine Einstellungen zu digitalen Unterrichtsmethoden

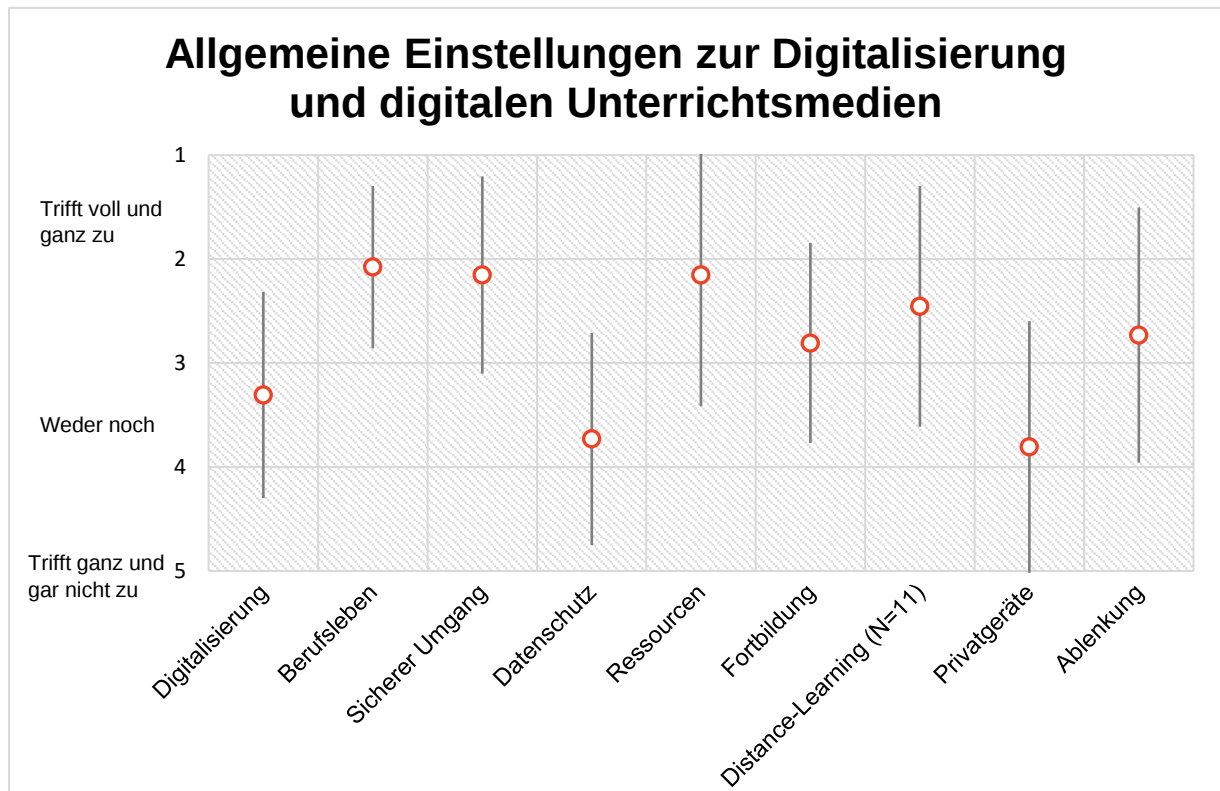


Abbildung 21 Die Neun Items des Themenblocks " Allgemeine Einstellungen zur Digitalisierung und digitalen Unterrichtsmethoden" dargestellt mit Mittelwert (M) und Standardabweichung (SD).

Tabelle 6 Die Neun Items des Themenblocks " Allgemeine Einstellungen zur Digitalisierung und digitalen Unterrichtsmethoden" dargestellt mit Mittelwert (M) und Standardabweichung (SD) der 5teiligen Likert-Skala (1 Trifft voll und ganz zu – 5 Trifft ganz und gar nicht zu).

M	3,3	2,1	2,2	3,7	2,2	2,8	2,5	3,7	2,7
SD	1,0	0,8	1,0	1,0	1,3	1	1,2	1,2	1,2
	Digitalisierung	Berufsleben	Sicherer Umgang	Datenschutz	Ressourcen	Fortbildung	Distance-Learning	Privatgeräte	Ablenkung

Auf die Frage ob der **Digitalisierung in der Bildungspolitik** generell eine zu große Bedeutung beigemessen wird wurde eher verneint ($M = 3,3$; $SD = 1,0$), wobei 38% der Lehrkräfte in diesem Punkt weder eine zustimmende noch eine ablehnende Haltung Angaben (siehe Abb. 23).

Die Lehrenden gaben im überwiegenden Maße an, dass der Einsatz von digitalen Medien im Unterricht eine sehr gute **Vorbereitung für das zukünftige Berufsleben** der Lernenden darstellt ($M = 2,1$; $SD = 0,8$).

Die Lehrenden gaben an sich im **Umgang mit digitalen Medien** sicher zu fühlen ($M = 2,2$; $SD = 1,0$) und keine starken **datenschutzrechtliche Bedenken**, beim Einsatz von digitalen Medien im Unterricht zu haben ($M = 3,7$; $SD = 1,0$).

Im zweiten Punkt zeigten Lehrkräfte, welche noch keine IS im Unterricht verwendet haben, eher Bedenken ($M = 4,4$; $SD = 0,5$) als ihre Kollegen ($M = 3,4$; $SD = 1,1$), welche noch keine IS im Unterricht verwendet haben (siehe Abb. 22).

Die Stichprobe gab im Mittel an, über genügend **technische Ressourcen** zu verfügen, um auch die Lernenden selbstständig mit Computerprogrammen arbeiten zu lassen ($M = 2,2$; $SD = 1,3$).

Wie in Abb. 22 dargestellt gaben Probanden, welche bereits IS in ihrem Unterricht verwendet hatten, eher an, über genügend technische Ressourcen zu verfügen ($M = 1,8$; $SD = 1,1$) als jene, welche noch keine IS in ihrem Unterricht verwendet hatten ($M = 3$; $SD = 1,1$).

Zwischen männlichen ($M = 2,9$; $SD = 1,5$) und weiblichen Probanden ($M = 1,6$; $SD = 0,6$) konnte ebenfalls ein Unterschied beobachtet werden.

Die Lehrkräfte gaben eher an, ein **größeres Fortbildungsangebot** aus dem Bereich digitaler Unterrichtsmethoden zu begrüßen ($M = 2,8$; $SD = 1$), es ließen dabei 38% der Lehrkräfte weder eine ablehnende noch zustimmende Haltung erkennen (siehe Abb. 23).

Die Lehrkräfte, welche bereits, seit mehr als vier Jahren im Dienst stehen, gaben an, seit der Corona-Pandemie und den damit einhergehenden **Distance-Learning-Phasen** **mehr digitale Medien** auch im Präsenzunterricht zu verwenden

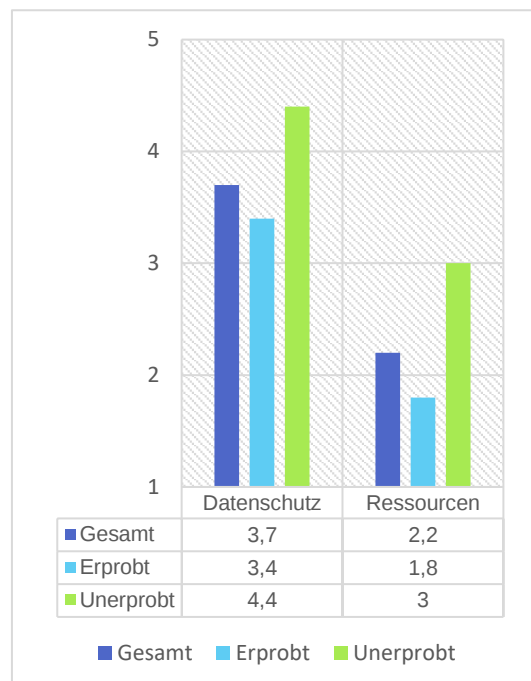


Abbildung 22 Unterschiede zwischen Lehrkräfte, welche IS bereits in ihrem Unterricht verwendet haben (Erprobt), mit Lehrkräften, welche noch keine IS im Unterricht verwendet haben (Unerprobt). Aufgetragen gegen die Werte der gesamten Stichprobe (Gesamt).

($M = 2,5$; $SD = 1,2$). Insgesamt stimmten diesem Punkt 64% der Lehrkräfte zu (siehe Abb. 23).

Die Stichprobe gab im Mittel an, eher keine großen Bedenken zu haben, die Schüler und Schülerinnen mit ihren **privaten Endgeräten** im Unterricht arbeiten zu lassen ($M = 3,7$; $SD = 1,2$).

Es lässt sich jedoch eine geschlechterspezifische und altersspezifische Differenz erkennen. Die weiblichen Lehrkräfte ($M = 4,1$; $SD = 1,0$) zeigten sich gelassener als die männlichen ($M = 3$; $SD = 1,1$) und Lehrkräfte über dem 40ten Lebensjahr gaben eher an, Bedenken ($M = 3$; $SD = 1,5$) zu haben als die jüngeren Lehrkräfte ($M = 4,1$; $SD = 1,0$).

Sie gaben jedoch auch eher an, dass sie denken, dass digitale Unterrichtsmethoden sehr leicht **vom eigentlichen Unterrichtsstoff Ablenken** können ($M = 2,7$; $SD = 1,2$).

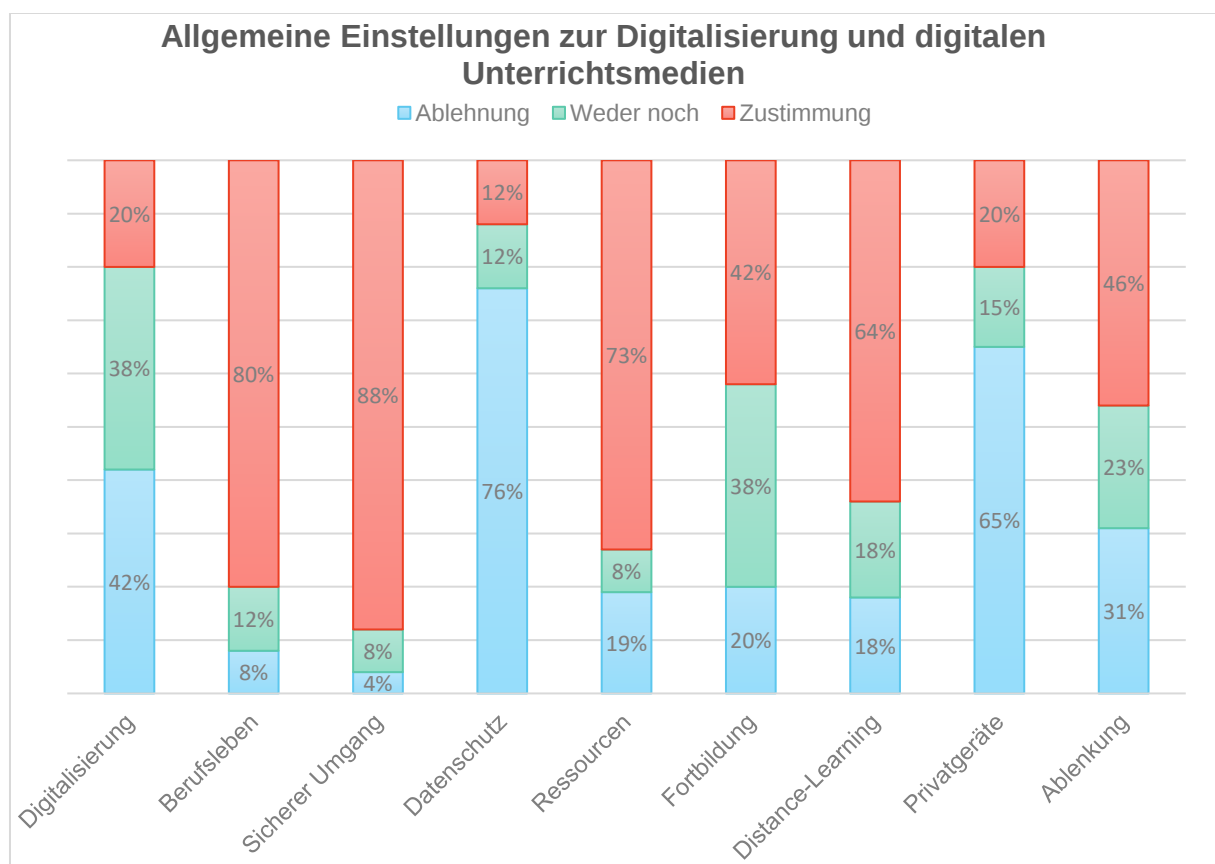


Abbildung 23 Die Items der "Allgemeinen Einstellungen" mit den Antwortender Lehrkräfte als prozentuelle Cluster der Likert Skala. "Trifft eher zu" und "Trifft voll und ganz zu" werden als Zustimmung und "Trifft eher nicht zu" und "Trifft ganz und gar nicht zu" als Ablehnung zusammengefasst.

Einstellungen zu IS

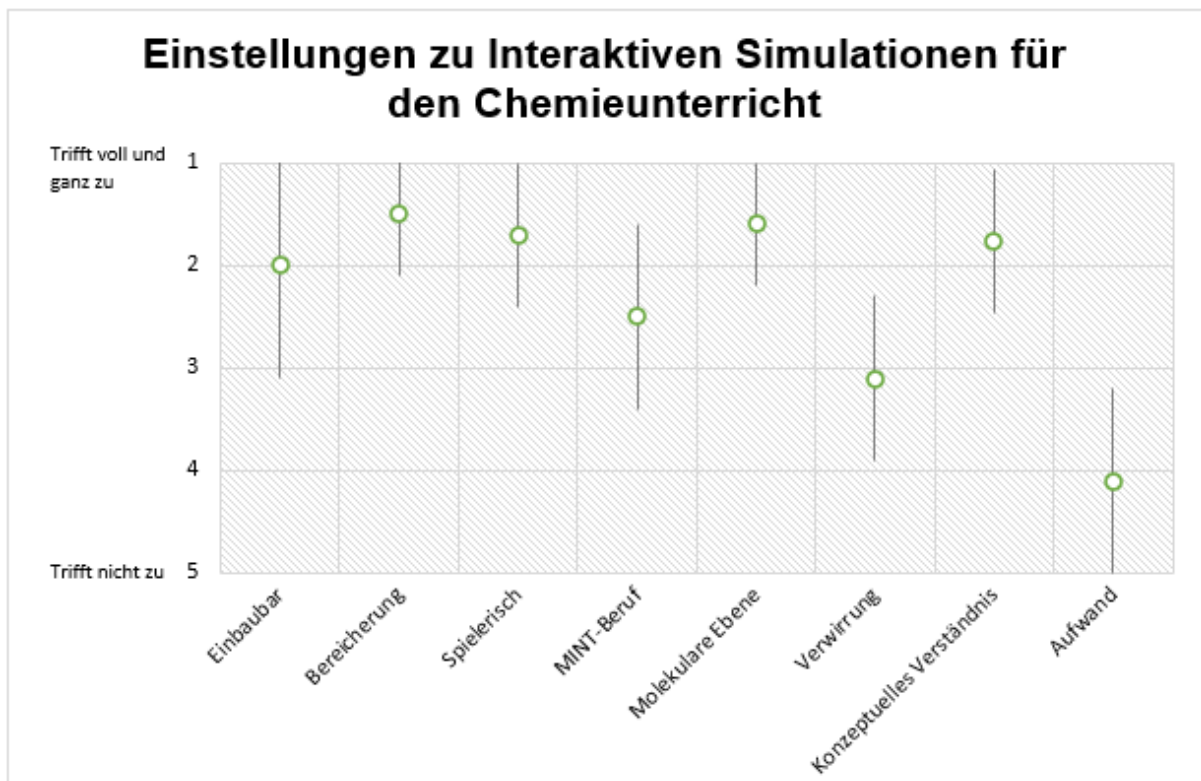


Abbildung 24 Acht Items des Themenblocks "Einstellungen zu IS" dargestellt mit Mittelwert (M) und Standardabweichung (SD)

Tabelle 7 Acht Items des Themenblocks "Einstellungen zu IS" dargestellt mit Mittelwert (M) und Standardabweichung (SD) der 5teiligen Likert-Skala (1 Trifft voll und ganz zu – 5 Trifft ganz und gar nicht zu).

M	2,0	1,5	1,7	2,5	1,6	3,1	1,8	4,1
SD	1,1	0,6	0,7	0,9	0,6	0,8	0,7	0,9
	Einbaubar	Bereicherung	Spielerisch	MINT-Beruf	Molekulare Ebene	Verwirrung	Konzeptuelles Verständnis	Aufwand

Die Stichprobe gab an IS **didaktisch sehr gut in den Unterricht einbauen** zu können (M = 2,0; SD = 1,1).

Hier zeigen sich jene Lehrenden, welche IS bereits in ihrem Unterricht verwendet hatten, erheblich sicherer (M = 1,6; SD = 0,7) als ihre unerprobten Kollegen (M = 3; SD = 1).

Die Befragten stimmten den Fragen zu, ob IS den Chemieunterricht **enorm bereichern** (M = 1,5; SD = 0,6) und ob sie überzeugt sind, dass diese sich gut für eine

spielerische Heranführung an chemische Fachinhalte eignen ($M = 1,7$; $SD = 0,7$). Bei beiden Items wurden keine tendenzielle Ablehnung angegeben (siehe Abb. 26).

Die Lehrenden stimmten eher zu, dass der Einsatz von IS Lernende viel besser auf eine **berufliche Laufbahn im MINT-Bereich** vorbereiten ($M = 2,5$; $SD = 0,9$).

Sie gaben an, dass sich IS sehr gut eignen, um chemische Phänomene auf **molekularer Ebene** nachvollziehbar darzustellen ($M = 1,6$; $SD = 0,6$) und auch bei diesem Item wurde keine tendenziell ablehnende Antwort gegeben (siehe Abb. 26).

In diesem Punkt zeigten sich Lehrende, welche IS bereits in ihrem Unterricht verwendet hatten, optimistischer ($M = 1,3$; $SD = 0,5$) als jene, welche noch keine verwendet haben ($M = 2$; $SD = 0,3$).

Den Bedenken, dass IS die große Gefahr bergen, Lernende zu **verwirren**, stimmten die Lehrkräfte nicht zu ($M = 3,1$; $SD = 0,8$).

Die Lehrkräfte stimmten allgemein der Annahme zu, dass IS einen großen Beitrag leisten können, den Lernenden ein **konzeptuelles Verständnis** chemischer Fachinhalte zu vermitteln ($M = 1,8$; $SD = 0,7$).

Der Aussage, dass der **Aufwand** für den Einsatz IS viel größer ist als der zu erwartende Mehrwert und sich deshalb der Einsatz nicht lohne, lehnten die Probanden ab ($M = 4,1$; $SD = 0,9$).

In diesem Punkt zeigten sich Lehrende, welche IS bereits in ihrem Unterricht verwendet hatten, optimistischer ($M = 4,6$; $SD = 0,5$) als ihre unerprobten Kollegen ($M = 3,1$; $SD = 0,8$).

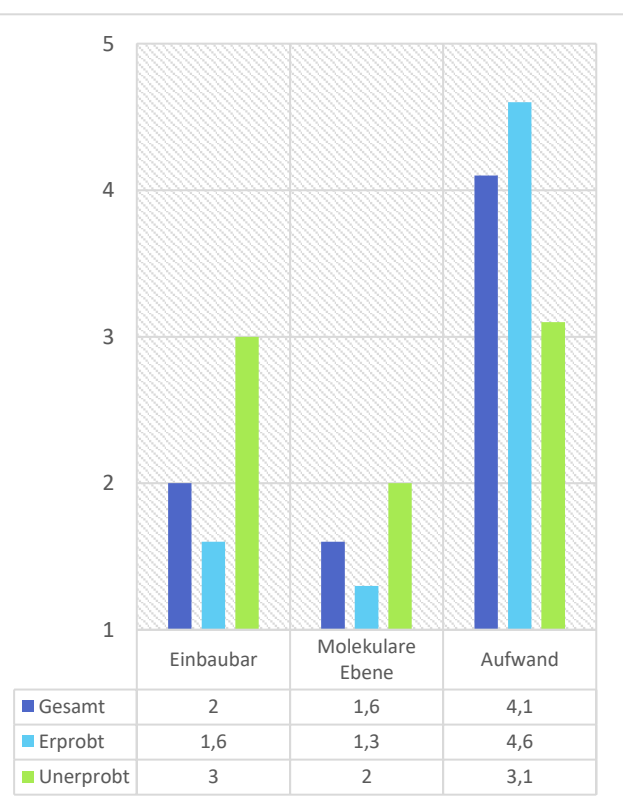


Abbildung 25 Unterschiede zwischen Lehrkräfte, welche IS bereits in ihrem Unterricht verwendet haben (Erprobt), mit Lehrkräften, welche noch keine IS im Unterricht verwendet haben (Unerprobt). Aufgetragen gegen die Werte der gesamten Stichprobe (Gesamt).

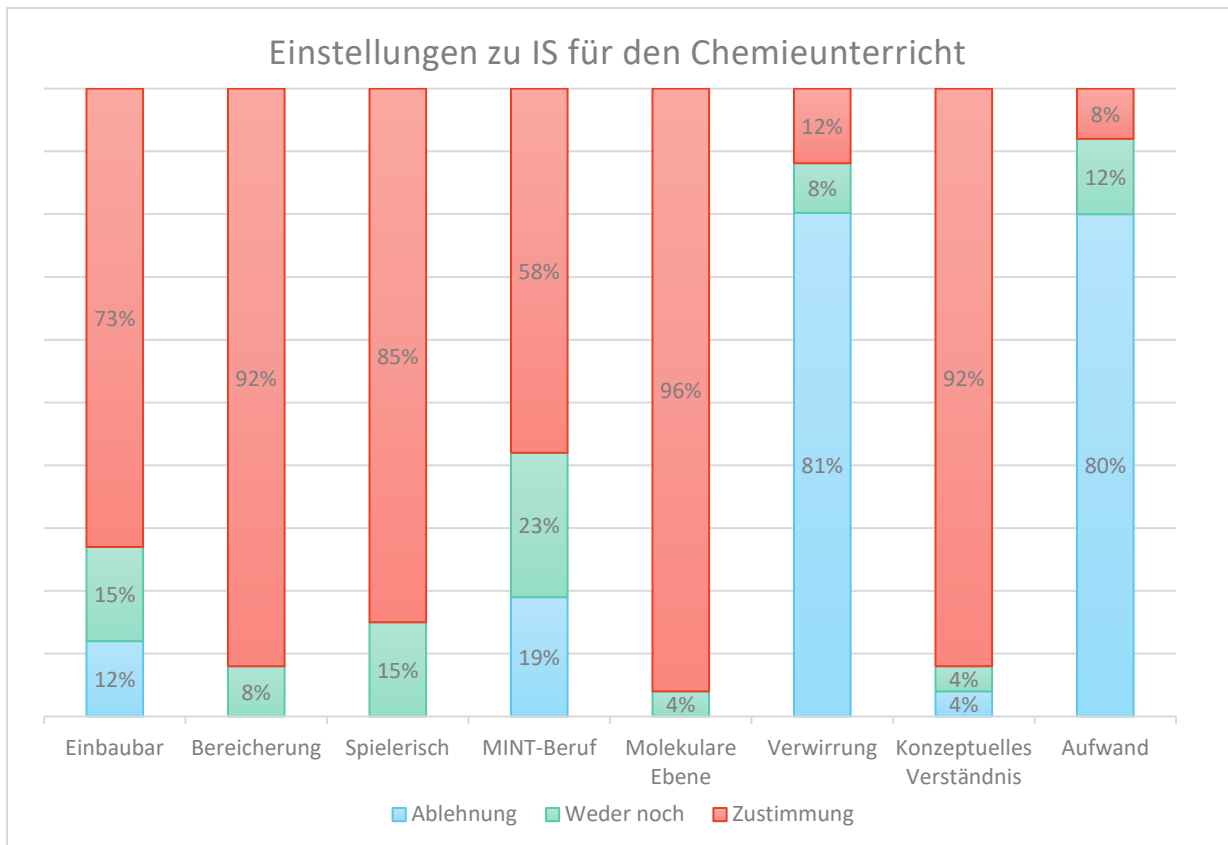


Abbildung 26 Die Items der "Allgemeinen Einstellungen" mit den Antworten der Lehrkräfte als prozentuelle Cluster der Likert Skala. "Trifft eher zu" und "Trifft voll und ganz zu" werden als Zustimmung und "Trifft eher nicht zu" und "Trifft ganz und gar nicht zu" als Ablehnung zusammengefasst.

Anmerkungen der Lehrkräfte

Die teilnehmenden Lehrkräfte hatten die Möglichkeit im Rahmen der Umfrage Anmerkungen zu hinterlassen. Die Anmerkungen waren in Inhalt und Form recht divers. Neben voll ausformulierten Argumentationen gab es auch Stichwortartige Anmerkungen. Das Feld war für die Teilnehmenden optional wurde aber von sieben Lehrkräften genutzt.

- Die Auffindbarkeit guter IS wurde in mehreren Kommentaren (N = 3) bemängelt.
- IS können und sollten auch keine klassischen Experimente ersetzen.
- IS können durch Animationen, Modelle (Molekülbaukasten, ...) Ablaufcomics, ... gleichwertig ersetzt werden.
- IS müssen ausführlich reflektiert werden und binden deshalb eine große Menge an zeitlichen Ressourcen im Unterricht.

V.2.2. Interpretation der Ergebnisse

Zwei Drittel der Befragten (69%) gab an, bereits IS im Unterricht verwendet zu haben. Dies deckt sich einigermaßen mit den Ergebnissen von Stinken-Rösner (2020) welche bei der Befragung von Naturwissenschaftslehrenden zu einem ähnlichen Ergebnis kam.

In der Befragung konnten keine signifikanten altersspezifischen Differenzen beim Einsatz von IS beobachtet werden. Diese Beobachtung deckt sich mit den Erkenntnissen von Stinken-Rösner (2020), welche ebenfalls bei einer norddeutschen Befragung von Naturwissenschaftslehrkräften (N = 76) zu demselben Ergebnis kam.

Der Pool der befragten Lehrkräfte äußerte sich überwiegend positiv zu digitalen Unterrichtsmedien. Auffallend war der Umstand, dass männliche Lehrkräfte eher einen Mangel bei den technischen Ressourcen ausmachten.

Die Lehrkräfte stimmten der Annahme zu, dass sich IS eignen, um die molekulare Ebene nachvollziehbarer zu machen. Wie mehrere empirische Befunde zeigen konnten, ist der Hauptgrund für den Einsatz von IS im Unterricht die Visualisierung nicht sichtbarer Phänomene (Perkins et al. 2014, Stinken-Rösner, 2020).

Ein Großteil der Befragten gab an, sich ein größeres Fortbildungsangebot für digitale Schulmedien zu wünschen. Krause et al., (2014) konnten zeigen, dass entsprechende Fortbildungsangebote die Einstellung zu digitalen Medien im Unterricht verbessern können. Sie konnten auch zeigen, dass Anfänger des Lehramtsstudiums eine weniger stark ausgeprägte Affinität zu den entsprechenden Medien haben als Studierende am Ende des Studiums. Gerade die Implementierung dieser Inhalte in das Studium scheint sich besonders stark auszuwirken. Möchte man eine größere Affinität für die entsprechenden Medien schaffen, sollte man entsprechende Fortbildungsangebote schaffen und sich auf die Lehramtsausbildung fokussieren.

Eine Lehrkraft äußerte Bedenken, dass IS keine realen Experimente ersetzen sollten. Stinken-Rösner (2020) stellte fest, dass die Entscheidung zwischen IS und klassischem Experiment im Wesentlichen von der Durchführbarkeit des klassischen Experiments abhängt (z.B. fehlende Materialien). Es zeigte sich keine signifikante, aber eine leichte Verschiebung zugunsten der IS bei der Häufigkeit des Einsatzes von klassischen Experimenten zwischen Chemielehrkräften, die IS im Unterricht verwenden, im Vergleich zu denen, die keine verwenden.

Im Fragebogen wurde teilweise angemerkt, dass die Verfügbarkeit und Auffindbarkeit entsprechender Simulationen im Netz ein Problem darstellen. Eine norddeutsche Befragung von Stinken-Rösner und Abels (2019; S. 738) kamen zu einem ähnlichen Ergebnis. Sie stellten fest, dass Chemielehrkräfte (N = 27) im Schnitt nur wenige Anbieter von Simulationen kennen und nutzen. Am stärksten vertreten war die Plattform Planet Schule, welche 52% der Befragten kannten (und 41% nutzten). Gefolgt von LEIFI Physik mit 33% (15%), Chemie-interaktiv 31% (23%) und PhET 12% (8%).

VI. Diskussion

Die vorliegende Arbeit untersucht die Beziehung zwischen IS und dem Abstraktionsvermögen im Chemieunterricht. Das Abstraktionsvermögen kann mithilfe des Mahaffy-Tetraeders (Schnitker, 2016) und seiner vier Ebenen in ein didaktisches Modell überführt werden. Die modellhaft vermittelte molekulare Ebene spielt aufgrund ihrer erklärenden Funktion eine Schlüsselrolle bei der Entwicklung des Abstraktionsvermögens (Johnston, 2000; Stieff & Wilensky, 2003). Aus diesem Grund wird angenommen, dass eine gezielte Verbesserung des Verständnisses dieser Ebene und des damit verbundenen Modell-Denkens das Abstraktionsvermögen steigern kann.

Die Fähigkeit, in Modellen zu denken, erfordert metakognitive Denkweisen, bei denen wissenschafts- und erkenntnistheoretische Inhalte zusammengeführt werden, um eine Reflexion des naturwissenschaftlichen Denkens selbst zu ermöglichen. Diese Denkweisen zeigen auch die Herausforderungen auf, denen sowohl die Lernenden als auch die Lehrkraft gegenüberstehen (Eilks & Bindernagel, 2008). Ein bewusster Umgang mit modellhaft vermittelten Informationen erfordert die Berücksichtigung des Arbeitsgedächtnisses, eine schrittweise Heranführung und die Anerkennung unterschiedlicher Leistungsniveaus, die es zu erreichen gilt. Eine erfolgreiche Heranführung äußert sich darin, dass die Lernenden in die Lage versetzt werden, verschiedene Handlungs- und Kognitionsbereiche der Chemie zu überblicken und zu verbinden, um so metakognitive Kompetenzen zu entwickeln (Anton, 2018, S. 178).

IS sind das einzige Unterrichtsmedium, das sowohl handlungs- als auch kognitionsbezogene Kompetenzen von sich aus vereint (Urhahne & Harms, 2006). Sie ermöglichen die Visualisierung der molekularen Ebene und bieten gleichzeitig die Möglichkeit zur direkten Interaktion. Diese beiden Komponenten bieten zusammen gezielte Anreize für Reflexionsprozesse, welche metakognitives Denken fördern können (Eilks et al., 2004). Das Ziel besteht darin, das Denken selbst für die Lernenden transparent und nachvollziehbar zu machen. Neben dem naturwissenschaftlichen Denken stehen auch die individuellen Denkweisen der Lernenden im Mittelpunkt.

Das Mahaffy-Tetraeder kann in diesem Zusammenhang als Modell zur Standortbestimmung dienen. Die Lehrkraft kann den Standpunkt der Lernenden nachvollziehen und gleichzeitig den Lernenden ihren eigenen Standpunkt verständlich

machen. Die Lehrkraft spielt daher eine entscheidende Rolle bei der effektiven Integration von IS in den Unterricht. Sie ist verantwortlich für die Gestaltung der Lernumgebung und dafür, die Lerntechnik der IS in eine Lernmethode zu überführen (Gutbrod, 2020). IS können nur dann metakognitive Kompetenzen fördern, wenn die Lehrkraft sie in entsprechende didaktische Konzepte einbettet.

Ein solches multimediales Lernarrangement bietet einen Lernkontext, der mit der menschlichen Domäne des Mahaffy-Tetraeders vergleichbar ist. Im Zentrum dieses Lernkontextes steht die individuelle Interaktion der Lernenden mit den IS (Rehn et al., 2013). Zwischen den restlichen fachlichen Ebenen des Tetraeders und der Interaktion der Lernenden steht die Aufgabe. Die Aufgabe dient der Lehrkraft dazu, den Lernweg der Lernenden im Raum des Tetraeders zu lenken. Die Aufgabe kann vielfältig gestaltet sein, doch es gilt zwei wesentliche Punkte zu beachten:

1. Sie muss gezielt metakognitive Kompetenzen fördern.
2. Sie muss die Verbindung von Interaktivität und Simulation gezielt nutzen.

IS können nur dann einen Mehrwert für den Chemieunterricht bieten, wenn sie nicht als Ersatz für bereits erfolgreich implementierte Methoden wie das klassische Experiment angesehen werden, sondern vielmehr als Erweiterung des Methodenbaukastens (Stinken-Rösner, 2020). Die Heuristiken dienen als Rahmen für eine erfolgreiche Implementierung und als Ankerpunkte für ein entsprechendes didaktisches Konzept.

In diesem Zusammenhang sind die Einstellungen der Lehrkräfte zu IS und digitalen Unterrichtsmethoden im Allgemeinen von zentraler Bedeutung. Aus diesem Grund wurde eine Umfrage unter Lehrkräften durchgeführt, bei der die Lehrkräfte als Experten zu diesen Themen befragt wurden.

Die Lehrkräfte stimmten im Wesentlichen der Annahme zu, dass IS dazu beitragen können, das Verständnis der molekularen Ebene und ein konzeptuelles Verständnis zu fördern. Lehrkräfte, die noch keine IS im Unterricht verwendet hatten, waren bei dieser Einschätzung pessimistischer als ihre erfahreneren Kollegen und Kolleginnen. Es wäre interessant zu untersuchen, ob Fortbildungen in diesem Bereich die Einstellungen verbessern können. Die Lehrkräfte zeigten sich auch recht optimistisch

hinsichtlich der Art der Implementierung, indem sie zustimmten, dass sie IS gut in den Unterricht integrieren können und dass diese eine Bereicherung für den Unterricht darstellen. Bei der Frage, ob die IS die Lernenden verwirren können, waren die Einschätzungen der Lehrkräfte weniger eindeutig. Dies könnte darauf hinweisen, dass der Einsatz von IS im Unterricht als Herausforderung empfunden wird.

Dieser Herausforderung kann möglicherweise mit der Stärkung metakognitiver Kompetenzen begegnet werden. Wie Eilks und Bindernagel (2008) bereits gezeigt haben, ist das Modelldenken auch für viele Lehrkräfte eine Schwierigkeit, und es bedarf einer bewussten Auseinandersetzung mit entsprechenden Inhalten, um von diesem erkenntnis- und wissenschaftstheoretischen Fundus im eigenen Unterricht zu profitieren. Wie bereits dargestellt, bieten metakognitive Arbeitsweisen die Möglichkeit, Denkweisen transparent darzustellen, wodurch möglichen Verwirrungen der Lernenden bewusst begegnet werden kann.

Etwa zwei Drittel der befragten Lehrkräfte gaben an, bereits IS im Unterricht eingesetzt zu haben, wobei der Großteil dieser Gruppe dies erstmals während der Phasen des Fernunterrichts während der Coronapandemie tat. Dies könnte darauf hinweisen, dass die Coronapandemie ein starker Treiber für die Digitalisierung in der Schule war.

Dieser Umstand würde sich eignen, um genauer zu untersuchen, wo die Grenzen, aber auch die Potentiale digitaler Unterrichtsmethoden liegen. Während des Fernunterrichts mussten viele Lehrkräfte, auch notgedrungen auf digitale Unterrichtsmedien, wie IS, zurückgreifen. Es dürfte ein reicher Erfahrungsschatz unterschiedlichster Lehrkräfte vorliegen, welchen es systematisch zu sammeln gilt. Die Aufbereitung könnte neue Einblicke in Probleme und Herausforderungen beim Einsatz von IS bieten.

Im Fragebogen wurde teilweise angemerkt, dass die Verfügbarkeit und Auffindbarkeit entsprechender IS im Netz ein Problem darstellen. Es gibt Sammlungen und Übersichten von entsprechenden Links, wie von der kirchlich pädagogischen Hochschule Wien/Krems.⁷ In diesem Zusammenhang zeigt sich, dass nicht das Fehlen

⁷ Die Liste ist unter der Homepage der ARGE Niederösterreich: <https://www.agchemie-noe.at/index.php/verschiedenes/> [07.02.2023] oder direkt unter folgendem Link abrufbar: https://www.agchemie-noe.at/wp-content/uploads/2020/04/links_distance_learning_nawihaus-kph-krems.pdf [07.02.2023]

entsprechender Register ein Problem ist. Die Problematik dürfte eher im Bereich des Informationsmanagements liegen.

Bei dem Thema digitale Unterrichtsmedien, muss stets die gesellschaftliche und politische Dimension kritisch mitgedacht werden. Ein starker gesellschaftlicher Druck, Schulen digital zu gestalten, könnte dazu führen, dass digitale Lehrinstrumente nicht ausreichend auf ihre Sinnhaftigkeit geprüft werden.

Es ist unvermeidlich, dass sich gesellschaftliche Megatrends, wie die Digitalisierung, auch auf die Schule auswirken. Schließlich hat die Schule unter anderem die Aufgabe, Lernende in entsprechende Kulturtechniken einzuführen, damit sie sich produktiv in die Gesellschaft einbringen können. Die Schule hat aber auch die Aufgabe eine möglichst lernförderliche Umgebung zu schaffen. Die offensive Förderung von Digitalisierungsmaßnahmen, könnte vielleicht auch unerwünschte Folgen haben. Die Aussicht auf die Möglichkeit, finanzielle Ressourcen durch Digitalisierungsmaßnahmen zu akquirieren, kann vielleicht dazu führen, dass Schulen vermehrt in diesen Bereich investieren, wodurch didaktische und personelle Ressourcen gebunden werden. Es könnte die Gefahr bestehen, dass nicht das Beste, sondern dasjenige umgesetzt wird, was gefördert wird (Gutbrod, 2020).

Insgesamt betont diese Arbeit die Bedeutung einer bewussten Integration von IS in den Unterricht und die Notwendigkeit einer differenzierten Betrachtung des Einsatzes digitaler Medien im Bildungskontext.

VII. Verzeichnisse

VII.1. Literaturverzeichnis

- Bader, F. (2000). Quantenmechanik macht Schule: Das Bohrsche Atommodell führt Schüler auf die falsche Fährte. *Physikalische Blätter*, 56, 65-67.
- Barke, H. (2019). Wasser siedet bei 100 Grad und hat einen Winkel. *Chemie konkret*, 26, 114-118.
- Barke, H. D., Harsch, G., Kröger, S., & Marohn, A. (2018). *Chemiedidaktik kompakt*. Berlin: Springer Spektrum.
- Barke, H.D. (2002). Das chemische Dreieck. *Unterricht Chemie*, 67, 45-46.
- Barth, A., Deuber, R., Frei, T., Hänger, B., Lipscher, J., Rubin, ... Zwyssig, A. (2022). *Selbstreflexion und Lernstandskontrolle: Metakognitive Fragen*. In R. Schumacher & E. Stern (Hrsg.). *Intelligentes Wissen und wie man es fördert: Kognitiv aktivierende Lernformen für den mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht*. (S. 229-255). Berlin: Springer.
- Bilgin, A. K., Yürükel, F. N. D., & Yigit, N. (2017). The effect of a developed react strategy on the conceptual understanding of students: "Particulate nature of matter". *Journal of Turkish Science Education*, 14, 65-81.
- Bucat, B., & Mocerino, M. (2009). *Learning at the sub-micro level: Structural representations*. In J. K. Gilbert, & D. Treagust (Hrsg.), *Multiple representations in chemistry education*. (S. 11-30). Dordrecht: Springer.
- Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung [BMBWF] (2018a). *Masterplan Digitalisierung*. Verfügbar unter file:///C:/Users/user/Downloads/masterplan_digitalisierung_pi.pdf [12.12.2022]
- Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung [BMBWF] (2018b). *Vortrag an den Ministerrat*. Verfügbar unter file:///C:/Users/user/Downloads/masterplan_digitalisierung_mrv-1.pdf [24.01.2023]
- Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung [BMBWF] (2020). *Folder Digitale Schule*. Verfügbar unter file:///C:/Users/user/Downloads/201015-2_Folder_Digitale_Schule_DINlang-1.pdf [24.01.2023]
- Clark, D., Nelson, B., Sengupta, P., & D'Angelo, C. (2009). Rethinking science learning through digital games and simulations: Genres, examples, and evidence. *Learning Science: Computer Games, Simulations, and Education Commissioned Papers*. Board on Science Education: Center for Education.
- de Jong, O., & Taber, K. (2007). *Teaching and learning the many faces of chemistry*: In S. K. Abell, & N. G. Lederman (Hrsg.), *Handbook of research on science education*. (S. 631-652). Abingdon: Routledge.

- de Jong, O., Blonder, R., & Oversby, J. (2013). *How to balance chemistry education between observing phenomena and thinking in models*. In I. Eilks, & A. Hofstein (Hrsg.), *Teaching Chemistry*. (S. 97-126). Rotterdam: Sense Publishers.
- Donker, A. S., de Boer, H., Kostons, D., van Ewijk, C. D., & van der Werf, M. P. (2014). Effectiveness of learning strategy instruction on academic performance: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 11, 1-26.
- Eilks, I., & Bindernagel, J. A. (2008). Modelle und Modelldenken im Chemieunterricht, *MNU-Dokumentation: 15. Fachleitertagung Chemie*, 2, 12-21
- Eilks, I., Flintjer, B., Krilla, B., Möllencamp, H., & Wagner, W. (2004). Computer und Multimedia im Chemieunterricht heute. Eine Einordnung aus didaktischer und lerntheoretischer Sicht. *Chemie konkret*, 11, 121-126.
- Farida, I., Liliasari, L., Sopandi, W., & Widyanoro, D. H. (2017). A web-based model to enhance competency in the interconnection of multiple levels of representation for pre-service teachers. *Ideas for 21st Century Education*, 1, 359–362.
- Gabel, D. (1999) Improving teaching and learning through chemistry education research: a look to the future. *Journal of Chemical Education*, 76, 548-554.
- Gerrig, R. J. (2015). *Psychologie*. Hallbergmoos: Pearson Deutschland GmbH.
- Gilbert, J. K., & Treagust, D. (2009). *Macro, submicro and symbolic representations and the relationship between them: Key models in chemical education*. In J. K. Gilbert, & D. Treagust (Hrsg.), *Multiple representations in chemistry education*. (S. 1-8). Dordrecht: Springer.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. L. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science teaching*, 28(9), 799-822.
- Gutbrod, J. (2020). Möglichkeiten und Grenzen der Digitalisierung von Schule und Unterricht aus allgemeinpädagogischer Sicht. *Pädagogische Rundschau*, 74(2), 145-154.
- Hobson, J. A. & Friston, K. J. (2012). Waking and dreaming consciousness: Neurobiological and functional considerations, *Progress in Neurobiology*, 98(1), 82-98.
- Höffler, T. N., & Leutner, D. (2007). Instructional animation versus static pictures: A meta-analysis. *Learning and instruction*. 17(6), 722-738.
- Huitt, W., & Hummel, J. (2003). Piaget's theory of cognitive development. *Educational psychology interactive*, 3(2), 1-5.
- Huwer, J., & Banerji, A. (2020). Corona sei Dank?! Digitalisierung im Chemieunterricht. *Chemie konkret*, 27(3), 105-106.
- Johnstone, A. H. (2000). Teaching of chemistry: Logical or psychological? *Chemistry Education Research and Practice Journal*. 1(1), 9–15.
- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). *Models and modelling in chemistry education*. In J. K. Gilbert, O. de Jong, R. S. Justi, D. F. Treagust, & J. H. Van Driel (Hrsg.),

Chemical Education: Towards Research-Based Practice. (S. 47–68). Dordrecht: Kluwer.

- Justi, R., Gilbert, J. K., & Ferreira, F. M. (2009). *The application of a 'model of modelling' to illustrate the importance of meta visualization in respect of the three types of representation.* In J. K. Gilbert, & D. Treagust (Hrsg.), *Multiple representations in chemistry education.* (S. 285-307). Dordrecht: Springer.
- Kaiser, R. (2018). *Das Konzept Metakognition.* In A. Kaiser, R. Kaiser, A. Lambert, & K. Hohenstein (Hrsg.), *Metakognition: die neue Didaktik: metakognitiv fundiertes Lehren und Lernen ist Grundbildung.* (S. 31-67). Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Kapici, H. O., Akcay, H., & de Jong, T. (2019). Using hands-on and virtual laboratories alone or together—Which works better for acquiring knowledge and skills? *Journal of Science Education and Technology*, 28(3), 231–250.
- Kerres, M. (2000). Medienentscheidungen in der Unterrichtsplanung zu Wirkungsargumenten und Begründungen des didaktischen Einsatzes digitaler Medien. *Bildung und Erziehung*, 53(1), 19-40.
- Knoblauch, H. (2014). *Wissenssoziologie.* Konstanz: Uni-Taschenbücher Verlag
- Kollöffel, B., & de Jong, T. (2013). Conceptual understanding of electrical circuits in secondary vocational engineering education: Combining traditional instruction with inquiry learning in a virtual lab. *Journal of Engineering Education*, 102(3), 375-393.
- Krause, M., Pietzner, V., & Eilks, I. (2014). Einstellungen und Selbstkonzept von angehenden Lehrkräften zur Nutzung von digitalen Medien im Chemieunterricht. *Heterogenität und Diversität–Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Bremen*, 681-683.
- Lancaster, K., Moore, E. B., Parson, R., & Perkins, K. K. (2013). *Insights from using PhET's design principles for interactive chemistry simulations.* In J. P. Suits & M. J. Sanger (Hrsg.), *Pedagogic roles of animations and simulations in chemistry courses.* (S. 97-126). Danvers: American Chemical Society.
- Lenz, A., & Meretz, S. (1995). *Neuronale Netze und Subjektivität: Lernen, Bedeutung und die Grenzen der Neuro-Informatik.* Braunschweig: Vieweg.
- Mayer, R. E. (2004). Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? The case for guided methods for instruction. *American Psychologist*, 59(1), 14–19.
- McElhaney, K. W., & Linn, M. C. (2011). Investigations of a complex, realistic task: Intentional, unsystematic, and exhaustive experimenters. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(7), 745-770.
- Mikelskis-Seifert, S., Thiele, M., & Wünscher, T. (2005). Modellieren: Schlüsselfähigkeit für physikalische Forschungs- und Lernprozesse. *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 1(4), 30-46.
- Moore, E. B., Chamberlain, J. M., Parson, R., & Perkins, K. K. (2014). PhET interactive simulations: Transformative tools for teaching chemistry. *Journal of Chemical Education*, 91(8), 1191-1197.

- Mukhametov, S., Wörner, S., Hoyer, C., Becker, S., & Kuhn, J. (2023). *Unterstützung von Experimenten zu Linsensystemen mit Simulationen, Augmented und Virtual Reality: Ein Praxisbericht* In J. Roth, K. Eilerts, G. Hornung, & T. Trefzger (Hrsg.), *Die Zukunft des MINT-Lernens*. (S. 63-76). Berlin: Springer.
- Naisbitt, J., & Naisbitt, D. (2019). *Mastering Megatrends: Understanding and leaverling the evolving new world*. New York: G&D.
- Nuraida, O., Akbar, G. S., Farida, I., & Rahmatullah, S. (2021). Using PhET simulation to learning the concept of acid-base. *Journal of Physics*, 1869(1), 12020
- OeAD, (2022). *Kriterienraster zur Bewertung von Lern-Apps durch Lehrpersonen*. Verfügbar unter <https://lernapps.oead.at/fileadmin/Medien/lernapps.oead.at/Kriterienraster> [24.01.2023]
- Olympiou, G., Zacharia, Z. C., & de Jong, T. (2013). Making the invisible visible: Enhancing students' conceptual understanding by introducing representations of abstract objects in a simulation. *Instructional Science*, 41(3), 575–596.
- Özmen, H. (2011). Turkish primary students' conceptions about the particulate nature of matter. *International journal of Environmental and Science Education*. 6(1), 99-121.
- Perkins, K. K., Moore, E. B., & Chasteen, S. V. (2014). Examining the use of PhET interactive simulations in US college and high school classrooms. *Proceedings of the 2014 Physics Education Research Conference*. 207-210.
- Perkins, K., Moore, E., Podolefsky, N., Lancaster, K., & Denison, C. (2011). Physical science in secondary school grade phet simulation research based strategies for the use of the right. *Physics Education Research Conference*, 1413, 295-298.
- Podolefsky, N. S., Rehn, D., & Perkins, K. K., (2013). Affordances of play for student agency and student-centered pedagogy. *AIP Conference Proceedings*, 1513(1), 306-309.
- Przywarra, T., & Risch, B. (2018). Modelleinsatz im Chemieunterricht Illustrativ, haptisch-interaktiv oder digital erweitert. *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Kiel*, 616-619.
- Pyatt, K., & Sims, R. (2012). Virtual and physical experimentation in inquiry-based science labs: Attitudes, performance and access. *Journal of Science Education and Technology*, 21, 133-147.
- Rehn, D. A., Moore, E. B., Podolefsky, N. S., & Finkelstein, N. D. (2013). Tools for high-tech tool use: A framework and heuristics for using interactive simulations. *Journal of Teaching and Learning with Technology*, 2(1), 31-55.
- Reid, N, (2019). A tribute to professor Alex H. Johnstone. *Chemistry Teacher International*, 1(1), 20180016.
- Reinecke, J. (2022). *Grundlagen der standardisierten Befragung*. In N. Baur & J. Blasius (Hrsg.), *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*. (S. 949-967). Wiesbaden: Springer.

- Reinhold, F., & Reiss, K. (2020). *Relevanz, Selbstwirksamkeit und Ängstlichkeit bezogen auf das Unterrichten von Mathematik mit digitalen Medien. Eine Interventionsstudie mit Lehrkräften aus Deutschland und Kolumbien*. In K. Kaspar, M. Becker-Mrotzek, S. Hofhues, J. König, & D. Schmeinck (Hrsg.), *Bildung, Schule, Digitalisierung*. (S. 96-102). Münster: Waxmann.
- Rosa, H. (2019). *Unverfügbarkeit*. Wien Salzburg: Resindenz.
- Saborowski, J. (2000). *Computervisualisierung und Modelldenken: Konzeptionelle Grundlagen und fachdidaktische Konsequenzen für den Chemieunterricht*. Köln: Jörg Saborowski Verlag.
- Schmitz, R. P. (2009). *Multimedia - Lehr- und Lerntools für Unterricht und Lehre* (Dissertation, Pädagogik). Wuppertal: Universitätsbibliothek Wuppertal.
- Schnitker, J. (2016). Das Unsichtbare sichtbar machen: Chemie lehren mit Simulationen auf der Teilchenebene. *MNU-Journal*, 6, 392-399.
- Sieve, B. (2012). Wirrwarr um die chemische Formelsprache. *Praxis der Naturwissenschaft-Chemie in der Schule*, 61(2), 41-45.
- Sieve, B. F. (2015). *Interaktive Tafeln im naturwissenschaftlichen Unterricht: Entwicklung und Evaluation einer Fortbildungsmaßnahme für Chemielehrkräfte*. Wiesbaden: Springer.
- Stadtfeld. (2011). Tradierte Lehrmittel, neue Medien, "moderner" Unterricht. *Bildung und Erziehung*, 64(1), 69–84.
- Stamer, I., Beiroth, F., Schwarzer, S., Hartke, B., Lindhorst, T. K., & Parchmann, I. (2018). Blick in die Zukunft: Computersimulationen ergänzen die Heranführung von Schülerinnen und Schülern an naturwissenschaftliche Arbeitsweisen. *Chemie konkret*, 25(7), 285-292.
- Statistik Austria, (2022). Europäische Erhebung über den IKT-Einsatz in Haushalten 2002 bis 2022. <https://www.statistik.at/statistiken/forschung-innovation-digitalisierung/digitale-wirtschaft-und-gesellschaft/ikt-einsatz-in-haushalten> [17.04.2023]
- Steinbuch, K. (1977). *Denken in Modellen*. In G. Schaefer, G. Trommer, & K. Wenk (Hrsg.), *Denken in Modellen*. (S. 10-17). Braunschweig: Westermann.
- Stern, E. (2002). *Wie abstrakt lernt das Grundschulkind?* In H. Petillon (Hrsg.), *Handbuch Grundschulforschung: Individuelles und soziales Lernen. Kinderperspektive und pädagogische Konzepte*. Opladen: Springer.
- Stieff, M., & Wilensky, U. (2003). Connected chemistry: Incorporating interactive simulations into the chemistry classroom. *Journal of Science Education and Technology*, 12(3), 285-302.
- Stinken-Rösner, L. (2020). Simulations in science education: status quo. *Progress in Science Education*, 3(1), 26-34.
- Stinken-Rösner, L., & Abels, S. (2019). Simulationen im Nawi-Unterricht: Erhebung des Status Quo. *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung in Wien*. 736-739.

- Sweller, J. (2003). Evolution of human cognitive architecture. *Psychology of Learning and Motivation*, 43(6), 216-266.
- Taber, K. S. (2008). Towards a curricular model of the nature of science. *Science and Education*, 17, 179-218.
- Talanquer, V. (2011). Macro, submicro, and symbolic: The many faces of the chemistry „triplet“. *International Journal of Science Education*, 33(2), 179-195.
- Tayebinik, M., & Puteh, M. (2012). Blended Learning or E-learning? *International Magazine on Advances in Computer Science and Telecommunications*, 3(1), 103-110.
- Thiersch, S., & Wolf, E. (2021). Schule zwischen Digitalisierung und Disziplinierung. Rekonstruktionen pädagogischer Generationsbeziehungen im digitalisierten Unterricht. *Bildung und Erziehung*, 74(1), 67-83.
- Trundle, K. C., & Bell, R. L. (2010). The use of a computer simulation to promote conceptual change: A quasi-experimental study. *Computers & Education*, 54(4), 1078-1088.
- Tsaparlis, G., & Sevia, H. (2013). *Concepts of matter: Complex to teach and difficult to learn*. In G. Tsaparlis, & H. Sevia, (Hrsg.), *Concepts of Matter in Science Education. Innovations in Science Education and Technology*. Dordrecht: Springer.
- Tulodziecki, G., Herzig, B., & Dichanz, H. (2004). *Handbuch Medienpädagogik 2*. In G. Tulodziecki, & B. Herzig, (Hrsg.), *Mediendidaktik: Medien in Lehr- und Lernprozessen*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Urhahne, D., & Harms, U. (2006). Instruktionale Unterstützung beim Lernen mit Computersimulationen. *Unterrichtswissenschaft*, 34(4), 358-377.
- Urhahne, D., Prenzel, M., von Davier, M., Senkbeil, M., & Bleschke, M. (2000). Computereinsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht: Ein Überblick über die pädagogisch-psychologischen Grundlagen und ihre Anwendung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 6, 157-186.
- Van Driel, J. H., & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education*, 21(11), 1141-1153.
- van Merriënboer, J. J. G., & Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions. *Educational Psychology Review*, 17(2), 147-177.
- Vollmer, G. (1975). *Evolutionäre Erkenntnistheorie*. Stuttgart: Hirzel.
- Wang, T. L., & Tseng, Y. K. (2018). The comparative effectiveness of physical, virtual, and virtual-physical manipulatives on third-grade students' science achievement and conceptual understanding of evaporation and condensation. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 16(2), 203-219.
- Wieman, C. E., Adams, W. K., Loeblein, P., & Perkins, K. K. (2010). Teaching Physics using PhET simulations. *Physics Teacher*, 48(4), 225-227.

- Wörner, S., Kuhn, J., & Scheiter, K. (2022). The best of two worlds: A systematic review on combining real and virtual experiments in science education. *Review of Educational Research*, 92(6), 911-952.
- Zacharia, Z. C., & Constantinou, C. P. (2008). Comparing the influence of physical and virtual manipulatives in the context of the Physics by Inquiry curriculum: The case of undergraduate students' conceptual understanding of heat and temperature. *American Journal of Physics*, 76(4), 425-430.
- Zeller, D., Gökkuş, Y., Kremer, R., & Bohrmann-Linde, C. (2021). H5P-Videos in der chemiedidaktischen Lehre. *Chemie konkret*, 28(6), 245-248.
- Zepeda, C. D., Richey, J. E., Ronevich, P., & Nokes-Malach, T. J. (2015). Direct instruction of metacognition benefits adolescent science learning, transfer, and motivation: An in vivo study. *Journal of Educational Psychology*, 107(4), 954–970.

VII.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Abstraktionsebenen (Leisen, 2015; zitiert nach Anton, 2018, S. 242)	2
Abbildung 2 Die drei Ebenen des Johnston Dreiecks nach Schnitker (2016, S. 393).....	3
Abbildung 3 Vom Johnston Dreieck zu Mahaffy's Tetrader durch Erweiterung um die menschliche Domäne	5
Abbildung 4 Eingrenzung der spezifischen Herausforderungen im Bezug auf das Spannungsverhältnis zwischen molekularer und makroskopischer Ebene anhand des Mahaffy Tetraeders.	6
Abbildung 5 Die molekulare Ebene als beschreibend und erklärende Ebene	7
Abbildung 6 „Der Weg von der erfahrbaren Welt über das mentale Modell zur konstruierten Welt“ nach Mikelskis-Seifert et al. (2005, S. 33)	12
Abbildung 7 Umkehrung des Weges nach Mikelskis-Seifert et al. (2005, S. 33). Der Weg von der konstruierten Welt über das mentale Modell hin zur erfahrbaren Welt.	14
Abbildung 8 „Abfolge von vier erfahrungs- und vier Vorstellungsbasierten Denkebenen und -leistungen eines Lernalters im Fach Chemie. Der rote Pfeil markiert den qualitativen Lernsprung“ als Wechsel vom Konkreten zum Abstrakten, auch vom eher Alltagsrelevanten zum Fachspezifischen“ (Anton, 2018, S. 242).....	16
Abbildung 9 Verbindung der Anforderungsniveaus (Grosslight et al., 1991, S. 15) mit den didaktischen und wissenschaftstheoretischen Inhalten (Sweller, 2003; Mikelskis-Seifert et al., 2005; Schnitker, 2016).	18
Abbildung 10 "Grobe Unterscheidbarkeit der drei Unterrichtsfelder" (Anton, 2018, S. 176).	21
Abbildung 12 „Gegenüberstellung von Medien mit dynamischer und statischer Informations-vermittlung“ nach Schmitz (2009, S. 8) mit Einordnung der IS.	29
Abbildung 13 Der Lernkontext eines multimedialen Lernarrangement mit IS als multimediales Element nach Rehn et al. (2013).....	33
Abbildung 14 Die Verbindung von Lernkontext und Mahaffy's Tetrader mit der Aufgabe als verbindendes und vermittelndes Element.	35
Abbildung 15 Die IS „Blick in die galvanische Zelle“ von „Chemie-interaktiv“ der bergischen Universität Wuppertal.	37
Abbildung 16 Die IS „Acid-Base Solutions“ von „PhET“ der University of Colorado Boulder.	38
Abbildung 17 Die IS „Acid-Base Solutions“ von „PhET“ der University of Colorado Boulder.	38
Abbildung 18 Abwägung zwischen strukturierenden und herausfordernden Elementen	39
Abbildung 19 Alter, Geschlecht, Dienstjahre, Schulart und Schulstufe der unterrichtenden Lehrkräfte (N=26) in Prozent	52
Abbildung 20 Verwendung von IS im Chemieunterricht als Tortendiagramm mit Ausschnitt.....	53
Abbildung 21 Beziehung der Lehrkräfte zu IS erhoben durch Ja/Nein Fragen	53
Abbildung 22 Die Neun Items des Themenblocks " Allgemeine Einstellungen zur Digitalisierung und digitalen Unterrichtsmethoden" dargestellt mit Mittelwert (M) und Standardabweichung (SD).	54
Abbildung 23 Unterschiede zwischen Lehrkräfte, welche IS bereits in ihrem Unterricht verwendet haben (Erprobt), mit Lehrkräften, welche noch keine IS im Unterricht verwendet haben (Unerprobt). Aufgetragen gegen die Werte der gesamten Stichprobe (Gesamt).	55
Abbildung 24 Die Items der "Allgemeinen Einstellungen" mit den Antwortender Lehrkräfte als prozentuale Cluster der Likert Skala. "Trifft eher zu" und "Trifft voll und ganz zu" werden als Zustimmung und "Trifft eher nicht zu" und "Trifft ganz und gar nicht zu" als Ablehnung zusammengefasst.....	56

Abbildung 25 Acht Items des Themenblocks "Einstellungen zu IS" dargestellt mit Mittelwert (M) und Standardabweichung (SD).....	57
Abbildung 26 Unterschiede zwischen Lehrkräfte, welche IS bereits in ihrem Unterricht verwendet haben (Erprobt), mit Lehrkräften, welche noch keine IS im Unterricht verwendet haben (Unerprobt). Aufgetragen gegen die Werte der gesamten Stichprobe (Gesamt).	58
Abbildung 27 Die Items der "Allgemeinen Einstellungen" mit den Antwortender Lehrkräfte als prozentuelle Cluster der Likert Skala. "Trifft eher zu" und "Trifft voll und ganz zu" werden als Zustimmung und "Trifft eher nicht zu" und "Trifft ganz und gar nicht zu" als Ablehnung zusammengefasst.....	59

VII.3. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Vier zentrale Konzepte der Teilchenstruktur von Materie (Schnitker, 2016, S. 393) _____	7
Tabelle 2 Drei Arten von Belsatungen für das Arbeitsgedächtnis im Unterricht nach Sweller (2003). _____	15
Tabelle 3 "Charakterisierung der Unterrichtsfelder" nach Anton (2018, S. 179) _____	22
Tabelle 4 Klassifizierung der Unterrichtsmedien nach Art der Sinneserfahrung und Art der Erfahrungsebene nach Barke et al. (2018, S. 80). _____	26
Tabelle 5 Handlungsfelder des "Masterplans" für Digitalisierung (BMfBWF, 2018) _____	47
Tabelle 6 Die Neun Items des Themenblocks " Allgemeine Einstellungen zur Digitalisierung und digitalen Unterrichts-methoden" dargestellt mit Mittelwert (M) und Standardabweichung (SD) der 5teiligen Likert-Skala (1 Trifft voll und ganz zu – 5 Trifft ganz und gar nicht zu). _____	54
Tabelle 7 Acht Items des Themenblocks "Einstellungen zu IS" dargestellt mit Mittelwert (M) und Standardabweichung (SD) der 5teiligen Likert-Skala (1 Trifft voll und ganz zu – 5 Trifft ganz und gar nicht zu). _____	57

VIII. Anhang

VIII.1. Fragebogen

VIII.1.1. Soziodemografische Daten

A1. Geschlecht	Männlich		Weiblich		Divers	
A2. Alter	<30; 30-40; 41-50; 51-60; >60					
A3. In welchen Schulstufen unterrichten Sie das Fach Chemie.	Sekundarstufe I			Sekundarstufe II		
A4. Seit wie vielen Jahren unterrichten Sie bereits das Fach Chemie.	<1 Jahr	1-4 Jahre	5-10 Jahre	11-20 Jahre	>20 Jahre	
A5. In welcher Schulform unterrichten Sie?	AHS	BHS	MS		BMHS	

VIII.1.2. Einstellungen zu digitalen Unterrichtsmedien

	Trifft voll und ganz zu (1)	Trifft eher zu (2)	Weder noch (3)	Trifft eher nicht zu (4)	Trifft nicht zu (5)
B1. Ich habe an meiner Schule mehr als genug technische Ressourcen, um die Lernenden selbstständig mit Computerprogrammen arbeiten zu lassen.					
B2. Ich glaube, der Digitalisierung wird in der Bildungspolitik eine viel zu große Bedeutung beigemessen.					
B3. Ich habe starke datenschutzrechtliche Bedenken beim Einsatz von digitalen Medien im Unterricht.					
B9. Ich würde ein größeres Fortbildungsangebot im Bereich digitaler Unterrichtsmethoden sehr begrüßen.					
B4. Ich habe große Bedenken, meine Schüler und Schülerinnen im Unterricht mit ihren privaten Endgeräten arbeiten zu lassen.					
B5. Ich fühle mich im Umgang mit digitalen Medien sehr sicher.					

B6. Ich denke, der Einsatz von digitalen Medien im Unterricht ist eine sehr gute Vorbereitung für das zukünftige Berufsleben der Lernenden.					
B7. Ich glaube digitale Unterrichtsmethoden können sehr leicht vom eigentlichen Unterrichtsstoff ablenken.					
B8. [Wenn A4 über 4 Jahre] Ich verwende seit den Distance-Learning-Phasen während der Corona-Pandemie viel mehr digitale Medien auch im Präsenzunterricht.					

VIII.1.3. Einstellungen zu IS

Acid-Base Solutions

Introduction My Solution Home

PHET

Oben abgebildet sehen sie eine Szene einer Interaktiven Simulation. Programme dieser Art sind für Chemielernende konzipiert. Interaktive Simulationen ermöglichen es, chemische Experimente nachzustellen. Bei diesem Beispiel können Parameter einer sauren/basischen Lösung verändert und die entsprechenden Zustände auf molekularer Ebene abgebildet werden.

	Ja	Nein
C1. Ich habe seitdem ich unterrichte, schon einmal Interaktive Simulationen in meinem Unterricht verwendet.		
[Wenn A4 über 4 Jahre] Wenn C1 ja/a – Ich habe während den Distance-Learning-Phasen der Corona-Pandemie Interaktive Simulationen zum ersten Mal verwendet.		

Wenn C1 ja/b - Ich würde mir wünschen, dass eine größere Auswahl Interaktiver Simulationen verfügbar wären.		
Wenn C1 nein/a - Ich kannte Interaktive Simulationen als Methode für den Chemieunterricht.		
Wenn C1 nein/b – Hat diese Umfrage ihr Interesse an Interaktiven Simulationen geweckt.		
C2. Ich werde in absehbarer Zukunft Interaktive Simulationen in meinem Chemieunterricht einsetzen.		

	Trifft voll und ganz zu (1)	Trifft eher zu (2)	Weder noch (3)	Trifft eher nicht zu (4)	Trifft nicht zu (5)
D1. Ich weiß, wie ich eine Interaktive Simulation didaktisch sehr gut in meinen Unterricht einbauen kann.					
D3. Ich denke, Interaktive Simulationen können den Chemieunterricht enorm bereichern.					
D4. Ich bin davon überzeugt, dass Interaktive Simulationen sich gut eignen, um Lernende spielerisch an chemische Fachinhalte heranzuführen.					
D5. Ich denke, der Einsatz von Interaktiven Simulationen kann Lernende viel besser auf eine berufliche Laufbahn im MINT-Bereich vorbereiten.					
D6. Interaktive Simulationen sind besonders gut geeignet, um chemische Phänomene auf molekularer Ebene nachvollziehbar darzustellen.					
D7. Der Einsatz Interaktiver Simulationen birgt die große Gefahr, die Lernenden zu verwirren.					
D8. Interaktive Simulationen können einen großen Beitrag leisten den Lernenden ein konzeptuelles Verständnis chemischer Fachinhalte zu vermitteln.					
D9. Der Aufwand für den Einsatz Interaktiver Simulationen ist viel größer als der zu erwartende Mehrwert und lohnt sich nicht.					

	Ja	Nein
E1. Interaktive Simulationen können etwas leisten, das bisherige Unterrichtsmethoden nicht leisten konnten.		
Wenn Ja. Was wäre das? <i>[Textfeld]</i>		

F1. Haben Sie noch Gedanken oder Anregungen zu dem Thema, dann tragen Sie sie gerne im unteren Feld ein.
<i>[Textfeld]</i>

VIII.2. Auswertung der Umfrage

VIII.2.1. Soziodemografische Daten

A1. Geschlecht	Männlich = 11 (42%) Weiblich = 15 (58%) Divers = 0 (0%)
A2. Alter	<30 = 12 (46%) 30-40 = 8 (31%) 41-50 = 2 (8%) 51-60 = 4 (15%) >60 = 0 (0%)
A3. In welchen Schulstufen unterrichten Sie das Fach Chemie.	Nur Sekundarstufe I = 7 (27%) Nur Sekundarstufe II = 5 (19%) Sekundarstufe I & II = 14 (54%)
A4. Seit wie vielen Jahren unterrichten Sie bereits das Fach Chemie.	<1 Jahr = 5 (19%) 1-4 Jahre = 10 (38%) 5-10 Jahre = 4 (15%) 11-20 Jahre = 3 (12%) >20 Jahre = 4 (15%)
A5. In welcher Schulform unterrichten Sie?	AHS = 19 (73%) MS = 3 (11%) AHS & MS = 1 (4%) BMHS = 1 (4%) BMHS & BHS = 1 (4%) Hochschule = 1 (4%)

VIII.2.2. Einstellungen zu digitalen Unterrichtsmedien

				Trifft voll und ganz zu (1)	Trifft eher zu (2)	Weder noch (3)	Trifft eher nicht zu (4)	Trifft nicht zu (5)
B1. Ich habe an meiner Schule mehr als genug technische Ressourcen, um die Lernenden selbstständig mit Computerprogrammen arbeiten zu lassen.				10	9	2	3	2
M = 2,2	M _M = 3,0	M _W = 1,6	M _E = 1,8	M _U = 3,0				
SD = 1,3	SD _M = 1,5	SD _W = 0,6	SD _E = 1,1	SD _U = 1,1				
B2. Ich glaube, der Digitalisierung wird in der Bildungspolitik eine viel zu große Bedeutung beigemessen.				1	4	10	8	3
M = 3,3	M _M = 3,4	M _W = 3,3	M _E = 3,6	M _U = 2,8				
SD = 1,0	SD _M = 1	SD _W = 1,0	SD _E = 0,8	SD _U = 1,1				

B3. Ich habe starke datenschutzrechtliche Bedenken beim Einsatz von digitalen Medien im Unterricht.					
	2	1	3	16	4
M = 3,7	M _M = 3,6	M _W = 3,8	M _E = 3,4	M _U = 4,4	
SD = 1,0	SD _M = 1,3	SD _W = 0,7	SD _E = 1,1	SD _U = 0,5	
B9. Ich würde ein größeres Fortbildungsangebot im Bereich digitaler Unterrichtsmethoden sehr begrüßen.					
	1	10	10	3	2
M = 2,8	M _M = 2,8	M _W = 2,8	M _E = 2,7	M _U = 3,1	
SD = 1,0	SD _M = 1,0	SD _W = 0,9	SD _E = 1,0	SD _U = 0,9	
B4. Ich habe große Bedenken, meine Schüler und Schülerinnen im Unterricht mit ihren privaten Endgeräten arbeiten zu lassen.					
	1	4	4	7	10
M = 3,7	M _M = 3,0	M _W = 4,5	M _E = 3,9	M _U = 3,6	
SD = 1,2	SD _M = 1,2	SD _W = 0,7	SD _E = 1,2	SD _U = 1,2	
B5. Ich fühle mich im Umgang mit digitalen Medien sehr sicher.					
	4	18	2	0	2
M = 2,2	M _M = 2,1	M _W = 2,2	M _E = 2,1	M _U = 2,4	
SD = 1,0	SD _M = 1,1	SD _W = 0,8	SD _E = 0,8	SD _U = 1,1	
B6. Ich denke, der Einsatz von digitalen Medien im Unterricht ist eine sehr gute Vorbereitung für das zukünftige Berufsleben der Lernenden.					
	5	16	3	2	0
M = 2,1	M _M = 2,1	M _W = 2,1	M _E = 2,0	M _U = 2,4	
SD = 0,8	SD _M = 0,8	SD _W = 0,8	SD _E = 0,7	SD _U = 0,9	
B7. Ich glaube digitale Unterrichtsmethoden können sehr leicht vom eigentlichen Unterrichtsstoff ablenken.					
	5	7	6	6	2
M = 2,7	M _M = 3,0	M _W = 2,6	M _E = 2,9	M _U = 2,4	
SD = 1,2	SD _M = 1,4	SD _W = 1,9	SD _E = 1,2	SD _U = 1,2	
B8. [Wenn A4 über 4 Jahre] Ich verwende seit den Distance-Learning-Phasen während der Corona-Pandemie viel mehr digitale Medien auch im Präsenzunterricht (N=11).					
	2	5	2	1	1
M = 2,5	M _M = 2,7	M _W = 2,2	M _E = 1,0	M _U = 1,1	
SD = 1,2	SD _M = 1,1	SD _W = 1,2	SD _E = 1,4	SD _U = 0,4	
M – Mittelwert der gesamten Stichprobe (N = 26) SD – Standardabweichung der gesamten Stichprobe (N = 26) M_M – Mittelwert der männlichen Probanden (N = 11) SD_M – Standardabweichung der männlichen Probanden (N = 11) M_W – Mittelwert der weiblichen Probandinnen (N = 15) SD_W – Standardabweichung der weiblichen Probandinnen (N = 15) M_E – Mittelwert jener Lehrkräfte, welche bereits IS in ihrem Unterricht verwendet haben (N = 18) SD_E – Standardabweichung jener Lehrkräfte, welche bereits IS in ihrem Unterricht verwendet haben (N = 18) M_U – Mittelwert jener Lehrkräfte, welche noch KEINE IS in ihrem Unterricht verwendet haben (N = 8) SD_U – Standardabweichung jener Lehrkräfte, welche noch KEINE IS in ihrem Unterricht verwendet haben (N = 8)					

VIII.2.3. Einstellungen zu IS

	Ja	Nein
C1. Ich habe seitdem ich unterrichte, schon einmal Interaktive Simulationen in meinem Unterricht verwendet.	18 (69%)	8 (31%)
[Wenn A4 über 4 Jahre] Wenn C1 ja/a – Ich habe während den Distance-Learning-Phasen der Corona-Pandemie Interaktive Simulationen zum ersten Mal verwendet (N = 18).	4 (22%)	14 (78%)
Wenn C1 ja/b - Ich würde mir wünschen, dass eine größere Auswahl Interaktiver Simulationen verfügbar wären.	25 (96%)	1 (4%)
Wenn C1 nein/a - Ich kannte Interaktive Simulationen als Methode für den Chemieunterricht (N = 8).	7 (87,5%)	1 (12.5%)
Wenn C1 nein/b – Hat diese Umfrage ihr Interesse an Interaktiven Simulationen geweckt.	14 (54%)	12 (46%)
C2. Ich werde in absehbarer Zukunft Interaktive Simulationen in meinem Chemieunterricht einsetzen.	22 (85%)	4 (15%)
E1. Interaktive Simulationen können etwas leisten, das bisherige Unterrichtsmethoden nicht leisten konnten.	21 (81%)	5 (19%)

				Trifft voll und ganz zu (1)	Trifft eher zu (2)	Weder noch (3)	Trifft eher nicht zu (4)	Trifft nicht zu (5)
D1. Ich weiß, wie ich eine Interaktive Simulation didaktisch sehr gut in meinen Unterricht einbauen kann.				10	9	4	2	1
M = 2,0	M _M = 2,5	M _W = 1,7	M _E = 1,6	M _U = 3,1				
SD = 1,1	SD _M = 1,2	SD _W = 0,9	SD _E = 0,7	SD _U = 1,1				
D3. Ich denke, Interaktive Simulationen können den Chemieunterricht enorm bereichern.				14	10	2	0	0
M = 1,5	M _M = 1,6	M _W = 1,5	M _E = 1,4	M _U = 1,9				
SD = 0,6	SD _M = 0,6	SD _W = 0,6	SD _E = 0,6	SD _U = 0,6				
D4. Ich bin davon überzeugt, dass Interaktive Simulationen sich gut eignen, um Lernende spielerisch an chemische Fachinhalte heranzuführen.				12	10	4	0	0
M = 1,7	M _M = 1,9	M _W = 1,5	M _E = 1,5	M _U = 2,1				
SD = 0,7	SD _M = 0,8	SD _W = 0,6	SD _E = 0,7	SD _U = 0,6				
D5. Ich denke, der Einsatz von Interaktiven Simulationen kann Lernende viel besser auf eine berufliche Laufbahn im MINT-Bereich vorbereiten.				3	12	6	5	0
M = 2,5	M _M = 2,5	M _W = 2,5	M _E = 2,4	M _U = 2,8				
SD = 0,9	SD _M = 1,0	SD _W = 0,9	SD _E = 1,0	SD _U = 0,8				
D6. Interaktive Simulationen sind besonders gut geeignet, um chemische Phänomene auf molekularer Ebene nachvollziehbar darzustellen.				12	13	1	0	0
M = 1,6	M _M = 1,7	M _W = 1,5	M _E = 1,3	M _U = 2,1				
SD = 0,6	SD _M = 0,4	SD _W = 0,6	SD _E = 0,5	SD _U = 0,3				
D7. Der Einsatz Interaktiver Simulationen birgt die große Gefahr, die Lernenden zu verwirren.				0	3	2	17	4

M = 3,1	$M_M = 4,2$	$M_W = 3,6$	$M_E = 3,9$	$M_U = 3,6$
SD = 0,8	$SD_M = 0,6$	$SD_W = 0,9$	$SD_E = 0,8$	$SD_U = 0,9$
D8. Interaktive Simulationen können einen großen Beitrag leisten den Lernenden ein konzeptuelles Verständnis chemischer Fachinhalte zu vermitteln.				
	9	15	1	1
				0
M = 1,8	$M_M = 2,1$	$M_W = 1,5$	$M_E = 1,7$	$M_U = 2,0$
SD = 0,7	$SD_M = 0,8$	$SD_W = 0,5$	$SD_E = 0,8$	$SD_U = 0,9$
D9. Der Aufwand für den Einsatz Interaktiver Simulationen ist viel größer als der zu erwartende Mehrwert und lohnt sich nicht.				
	0	2	3	11
				10
M = 4,1	$M_M = 4,0$	$M_W = 4,2$	$M_E = 4,6$	$M_U = 3,1$
SD = 0,9	$SD_M = 1,0$	$SD_W = 0,8$	$SD_E = 0,5$	$SD_U = 0,8$
M – Mittelwert der gesamten Stichprobe (N = 26) SD – Standardabweichung der gesamten Stichprobe (N = 26) M_M – Mittelwert der männlichen Probanden (N = 11) SD_M – Standardabweichung der männlichen Probanden (N = 11) M_W – Mittelwert der weiblichen Probandinnen (N = 15) SD_W – Standardabweichung der weiblichen Probandinnen (N = 15) M_E – Mittelwert jener Lehrkräfte, welche bereits IS in ihrem Unterricht verwendet haben (N = 18) SD_E – Standardabweichung jener Lehrkräfte, welche bereits IS in ihrem Unterricht verwendet haben (N = 18) M_U – Mittelwert jener Lehrkräfte, welche noch KEINE IS in ihrem Unterricht verwendet haben (N = 8) SD_U – Standardabweichung jener Lehrkräfte, welche noch KEINE IS in ihrem Unterricht verwendet haben (N = 8)				