

1 EINLEITUNG

Das Bildungssystem steht derzeit vor vielfältigen Herausforderungen, die auch die Professionalisierung von Lehrkräften betreffen. Neben den Auswirkungen der Coronavirus-Pandemie und von Fluchtbewegungen, die zu größerer sprachlicher Heterogenität in deutschen Schulklassen führen, wirken sich insbesondere aktuelle gesellschaftliche und strukturelle Krisen auf das Bildungssystem aus. Hierzu zählen beispielsweise der anhaltende Fachkräftemangel sowie die wachsenden Anforderungen an die Digitalisierung und Inklusion im Schulwesen (Walm & Wittek, 2023).

In diesem Kontext nehmen die MINT-Fächer eine besondere Rolle ein, da der Bedarf an Lehrkräften in diesen Bereichen besonders hoch ist (Güldener, 2023). Diese Entwicklungen stellen angehende Lehrkräfte, insbesondere in den naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern, vor große Herausforderungen. Sie müssen nicht nur fachlich kompetent sein, sondern auch über umfassende fachdidaktische und pädagogische Fähigkeiten verfügen, um den komplexen Anforderungen eines sich wandelnden Bildungssystems gerecht zu werden.

In den naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern und insbesondere in der Chemie ist das Wissen über Repräsentationen auf Schüler:innenebene für den Aufbau konzeptionellen Wissens von grundlegender Bedeutung. Durch externe Repräsentationen können nicht nur chemische Phänomene abgebildet, sondern auch erklärt werden (Treagust, 2018). Studien zeigen jedoch, dass Lernende häufig Schwierigkeiten beim Verständnis und der Verwendung externer Repräsentationen haben (Cheng & Gilbert, 2009). Umso wichtiger ist es daher, dass angehende Lehrkräfte auch auf diese fachlichen Herausforderungen vorbereitet und durch konkrete Maßnahmen unterstützt werden. Befunde deuten sogar darauf hin, dass angehende Lehrkräfte selbst Schwierigkeiten mit Repräsentationen aufweisen (Taskin et al., 2015a, 2015b; Taskin & Bernholt, 2012). Dies deutet auf einen Bedarf einer repräsentationsbezogenen Unterstützungsmaßnahme für angehende Lehrkräfte hin.

Im Rahmen der Lehrkräfteprofessionalisierung wird auch erforscht, wie Lehrkräfte aus- und fortgebildet werden können. Beispielsweise existieren Erkenntnisse zur Wirksamkeit von Fortbildungsmaßnahmen für Lehrkräfte (z. B.

Lipowsky, 2011). Verschiedene Studien betonen, dass insbesondere die Verbindung von fachbezogenem Professionswissen, also Fachwissen und fachdidaktischem Wissen, sowie die professionellen Überzeugungen entscheidende Einflussfaktoren auf die Unterrichtsqualität darstellen (Kunter et al., 2011; Oser & Blömeke, 2012). Es ist jedoch unklar, inwieweit solche Befunde auf angehende Lehrkräfte im Vorbereitungsdienst übertragbar sind.

Bei der gezielten Förderung der professionellen und repräsentationsbezogenen Kompetenz kann der Einsatz von Feedback ein zentraler Hebel sein: Feedback wird als äußerst wirkungsvolles Instrument zur Unterstützung von Lernprozessen betrachtet, wobei seine Effektivität in hohem Maße von seiner Art und Quelle abhängt (Wisniewski, Zierer & Hattie, 2019):

*„Feedback, on average, is powerful, but some feedback is more powerful.“
(Wisniewski et al., 2019, S. 13)*

Während in der Regel jedoch das Feedback *durch* Lehrkräfte untersucht wird (Hattie & Timperley, 2007), wird der Einfluss von kollegialem oder tutoriellem Feedback in der Lehrkräftebildung bislang noch zu wenig berücksichtigt. Dabei kann Feedback nicht nur Auswirkungen auf das Professionswissen von Lehrkräften haben, sondern auch ihre Überzeugungen verändern – und somit letztlich auch ihr professionelles Handeln im Unterricht. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, inwieweit angehende Lehrkräfte von internem Feedback (Selbstfeedback) und/oder externem Feedback (Fremdfeedback) profitieren und wie diese Rückmeldungen in den Lernprozess von angehenden Lehrkräften integriert werden sollten, um den größten Lernerfolg zu erzielen. Es wird angenommen, dass die Wahrnehmung der Effektivität von Feedback eine entscheidende Rolle spielt und dass eine Kombination von internem und externem Feedback besonders förderlich für den Lernprozess ist (Brinko, 1993; Butler & Winne, 1995). Allerdings sind die Bedingungen und Wirkungen von Feedback im Vorbereitungsdienst noch nicht ausreichend untersucht und die bestehenden Studien zeigen teils inkonsistente Ergebnisse (Kapitel 2.3).

Um für die geschilderte Herausforderung angehender Chemielehrkräfte repräsentationsbezogene und feedbackgestützte Unterstützungsmaßnahmen zu entwickeln und erproben, wurde die vorliegende Forschungsarbeit durchgeführt.

Die Studie zielt darauf ab, das Professionswissen und die Überzeugungen von Lehramtsanwärter:innen im Umgang mit externen Repräsentationen zu fördern und zu verändern. Die gewonnenen Erkenntnisse dieser Arbeit können genutzt werden, um langfristig die zweite Phase der Lehrkräftebildung kontinuierlich zu verbessern.

Um das Forschungsanliegen systematisch zu untersuchen, wurde eine empirische und quantitative Studie durchgeführt, welche in der vorliegenden Dissertation dokumentiert wird. Die Dissertation ist klassisch und nach den Konventionen einer empirischen Forschungsarbeit der Chemiedidaktik aufgebaut. Zunächst werden in Kapitel 2 die Eigenschaften sowie der aktuelle Forschungsstand zu multiplen externen Repräsentationen, der Ausbildung von Chemielehrkräften im Vorbereitungsdienst und geeigneten Feedbackansätzen dargestellt. Darauf aufbauend werden in Kapitel 3 die konkreten Forschungsfragen und Hypothesen formuliert. Im anschließenden Kapitel 4 wird das Studiendesign der feedbackgestützten Intervention beschrieben. In Kapitel 5 werden die Ergebnisse der Hauptstudie berichtet und analysiert. Abgeschlossen wird die Arbeit in Kapitel 6 mit einer Zusammenfassung der zentralen Befunde und den daraus abgeleiteten Implikationen für die Praxis und zukünftige Forschung.

2 THEORETISCHER HINTERGRUND

2.1 Multiple externe Repräsentationen in der Chemie

2.1.1 Relevanz und kognitive Verarbeitung von Repräsentationen

Repräsentationen sind Wiedergaben von originalen Objekten, Phänomenen oder Prozessen mit unterschiedlichem Abstraktionsgrad (Ainsworth, 2006; Schnotz, 2014). Diese können beispielsweise ein originalgetreues Foto eines Versuchsaufbaus oder ein abstrahiertes Molekülmodell eines d-Orbitals sein.

Kognitionspsychologisch betrachtet, spielen Repräsentationen beim Lernen eine wichtige Rolle. Lerntheorien bauen auf dem Ansatz auf, dass neue Informationen (externe Repräsentationen) von Lernenden sensorisch aufgenommen und kognitiv verarbeitet werden, sodass in ihrer Kognition neues Wissen konstruiert wird (interne Repräsentationen). Zu den Theorien zählen beispielsweise die kognitive Theorie des multimedialen Lernens (Mayer, 2014a) sowie das integrative Modell des Text- und Bildverstehens (Schnotz, 2014), welche auf essenzielle Lerntheorien des Kognitivismus und Konstruktivismus zurückgreifen (z. B. Baddeley et al., 2015; Clark & Paivio, 1991; Piaget, 1948; Sweller et al., 2011; Wittrock, 1989).

Relevant ist die Unterscheidung zwischen abbildenden bzw. depiktionalen (bildlichen) und beschreibenden bzw. deskriptiven (textlichen) Repräsentationen. Deskriptive Repräsentationen bestehen aus Symbolen, die durch eine willkürliche Struktur gekennzeichnet sind. Konventionen legen fest, welches Objekt ein Symbol repräsentiert. Typische Beispiele sind Texte und mathematische Gleichungen. Im Gegensatz dazu bestehen bildliche Repräsentationen aus ikonischen Zeichen. Während realistische Bilder (z. B. Fotografien, Zeichnungen) dem dargestellten Objekt ähnlich sind, sind logische Bilder (z. B. Graphen, Diagramme) eher abstrakt (Schnotz, 2002a).

Anhand der Annahmen der Lerntheorien kann nicht nur abgeleitet werden, wie externe Repräsentationen bzw. Informationen verarbeitet werden, sondern auch durch welche Eigenschaften und Gestaltungen der Repräsentationen der Lernprozess unterstützt werden kann. Grundlegend kann festgehalten werden, dass Lernen aus Text-Bild-Kombinationen effektiver ist als das Lernen mit nur einem Text oder einer Abbildung (Eilam & Poyas, 2008; Levie & Lentz, 1982; Mayer, 2009a). Eine Erklärung bietet beispielsweise das integrative Modell des Text-

und Bildverstehens, welches das Lernen auf kognitiver Ebene veranschaulicht (Abbildung 1; Schnotz, 2014): Wenn Lernenden Repräsentationen dargeboten werden, erfolgt zunächst eine sensorische Aufnahme der Informationen und anschließend eine Selektion und Überführung in das Arbeitsgedächtnis. Dabei werden alle Gedächtnisleistungen in zwei Subsysteme unterteilt, da Texte und Bilder aufgrund ihrer deskriptiven und depiktionalen Struktur unterschiedlich aufgenommen und verarbeitet werden. Dabei wird der Text erst im deskriptiven Subsystem verarbeitet und erst anschließend mit dem depiktionalen Subsystem abgeglichen. Für Bilder erfolgt der Prozess in umgekehrter Weise. Beim abschließenden Aufbau des mentalen Modells bzw. der internen Repräsentation wird das neu gelernte Wissen in das Langzeitgedächtnis integriert. Letztlich werden beide externen Repräsentationen getrennt verarbeitet, gehen aber ineinander über und ergänzen sich gegenseitig. Ist im Lernprozess nur eine Variante von Repräsentationen enthalten (d. h. nur Text oder Bild), so kann kein gegenseitiger Abgleich und keine Ergänzung stattfinden. Das entstandene Modell wäre somit nur bedingt ausgereift und vollständig (Schnotz, 2014).

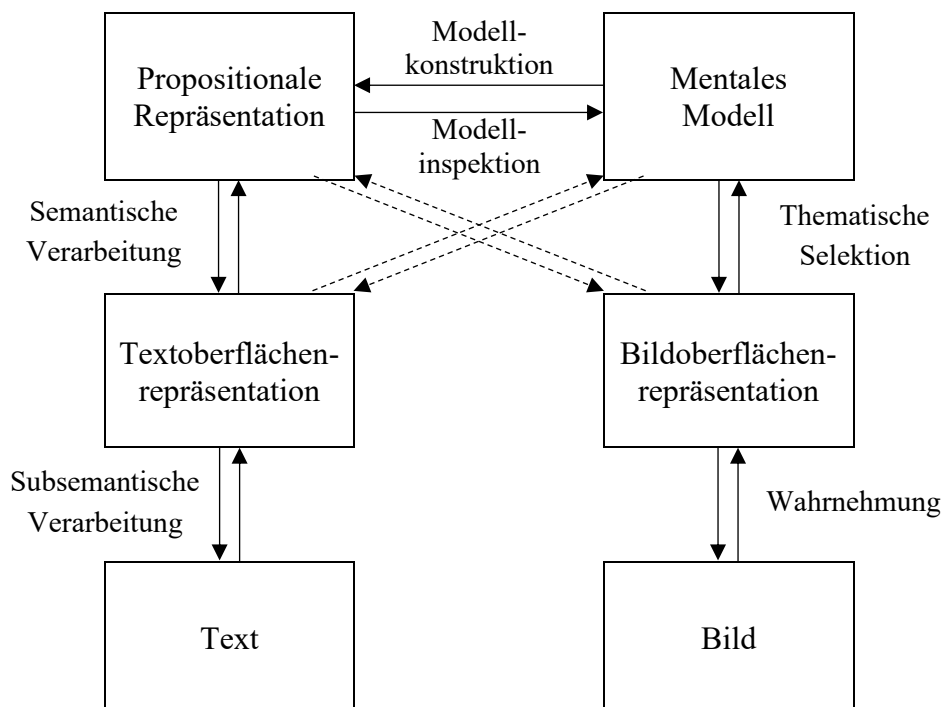


Abbildung 1: Modell des integrativen Text- und Bildverstehens (Schnotz, 2014; Schnotz et al., 2022)

In der Chemie ist es üblich, verschiedene Formen externer Repräsentationen zu kombinieren. Chemische Phänomene oder Prozesse sind meist so komplex und vielfältig, dass sie durch eine Repräsentationsform nicht ausreichend abgebildet werden können (Permatasari et al., 2022). Unterkategorien, wie Informationstexte, Versuchsanleitungen, chemische und mathematische Formeln, aber auch Teilchenabbildungen und verschiedene Arten von Diagrammen helfen, diese chemischen Phänomene und Prozesse aus möglichst vielen Perspektiven zu beleuchten (Tippett, 2016; Treagust et al., 2017). Beispielsweise ist die verbale Erklärung von Aggregatzuständen ohne Einsatz von Molekülabbildungen schwer vorstellbar, genauso wie das Darstellen einer Säure-Base-Titration ohne zugehörige Reaktionsgleichungen und Titrationskurven. Durch derartige Kombinationen von mindestens zwei Repräsentationsformen zum selben oder ähnlichen Sachverhalt entstehen multiple externe Repräsentationen (Ainsworth, 2006, 2018; Seufert, 2003). Im Folgenden werden diese Kombinationen und deren Eigenschaften anhand von Beispielen aus der Chemie veranschaulicht.

Eine funktionale Klassifikation von multiplen externen Repräsentationen, welche auf den benannten Lerntheorien aufbaut, erfolgt in den Arbeiten von Ainsworth (Abbildung 2; z. B. Ainsworth, 1999, 2006, 2018). In Abhängigkeit zu ihrer konkreten Gestaltung können multiple Repräsentationen die Lernenden abholen, indem sie an ihr Vorwissen anknüpfen und sie nicht durch ihre Komplexität überfordern. Lehrkräfte stehen somit vor der Aufgabe, multiple Repräsentationen auf einem angemessenen Anspruchsniveau zu präsentieren, so dass einerseits die kognitive Belastung möglichst gering ist und andererseits Lernprozesse auf einem förderlichen Niveau aktiviert werden. Folgende Merkmale können zur Änderung des Anforderungsmaßes variiert werden (Ainsworth, 2006):

- die Formen der eingesetzten Repräsentationen (z. B. Text, Formel, Diagramm, Abbildung),
- die Anzahl der kombinierten Repräsentationen,
- die Schnittmenge an Informationen, die die einzelnen Repräsentationen liefern,
- die Reihenfolge bzw. Anordnung der Repräsentationen,
- die Funktion der Verknüpfung der einzelnen Repräsentationen untereinander.

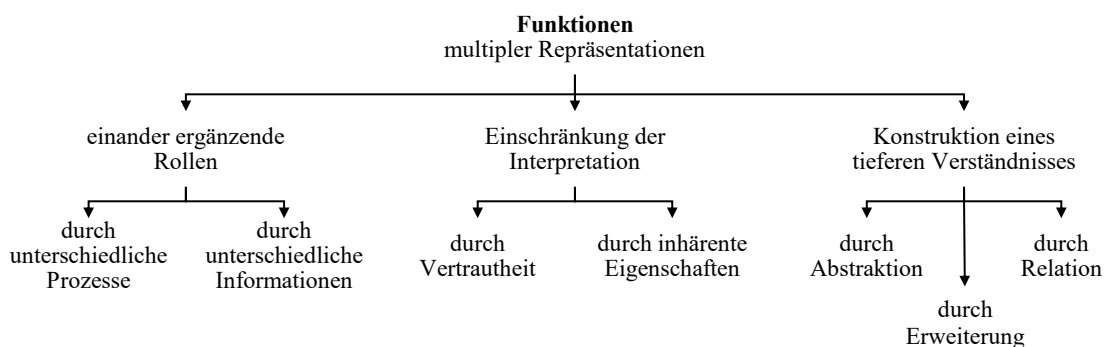


Abbildung 2: Funktionale Taxonomie multipler externer Repräsentationen (Ainsworth, 1999; übersetzt nach Krey & Schwanewedel, 2018)

Ein Parameter, der eine wesentliche Rolle bei der Zusammenführung mehrerer einzelner Repräsentationen zu einer multiplen Repräsentation spielt, ist die Funktion der Verknüpfung. In der funktionalen Taxonomie multipler Repräsentationen werden drei Arten unterschieden, wie einzelne Repräsentationen miteinander inhaltlich wechselwirken können (Ainsworth, 1999). Maßgeblich für die Kategorisierung ist der Grad der inhaltlichen Redundanz: Ergänzung (hoch), Einschränkung (partiell), Konstruktion (gering). Einzelne Repräsentationen können komplementäre Informationen enthalten, um beispielsweise die Komplexität eines anspruchsvollen Lerngegenstands zu reduzieren. Je nach Jahrgangsstufe und Lernziel kann dies zum Beispiel die Einführung des einfachen Teilchenmodells sein, indem eine Abbildung das Modell zeigt und im Text die Annahmen des Modells erläutert werden. Bei der Einschränkungsfunktion dient eine Repräsentation dazu, die Interpretation einer zweiten Repräsentation zu lenken (Ainsworth, 2006). Dies ist beispielsweise der Fall, wenn eine Repräsentationsform den Lernenden bereits vertraut ist (z. B. Strukturformeln) und dabei hilft, eine neue Repräsentationsform (z. B. die Nomenklatur der organischen Chemie) einzuführen. Im dritten Fall können multiple Repräsentationen bei einem bereits bestehenden Grundverständnis der Lernenden eingesetzt werden, um das Wissen mit einem tieferen Verständnis zu ergänzen (Ainsworth, 2006). Eine Erweiterung liegt beispielsweise vor, wenn das chemische Gleichgewicht eingeführt werden soll. Ein klassischer Versuch hierzu erfolgt, indem Lernende eine Gleichgewichtsreaktion durchführen, danach die Konzentrationsveränderungen in Abhängigkeit zum Zeitverlauf in einer Tabelle auflisten und die Daten anschließend auf einem Punkt-Liniendiagramm analysieren.

2.1.2 Repräsentationsformen und -ebenen in der Chemie

In Bezug auf den Einsatz und Gebrauch von Repräsentationen, weist das Fach Chemie, wie auch die anderen naturwissenschaftlichen Fächer, eine Besonderheit auf (Permatasari et al., 2022). In der Chemie finden einerseits Repräsentationen Anwendung, die einen hohen Alltagsbezug aufweisen oder fachunabhängig genutzt werden (z. B. Texte, Fotografien) und mehrheitlich in weiteren naturwissenschaftlichen Disziplinen zum Einsatz kommen (z. B. Diagramme, mathematische Formeln). Andererseits wird die Chemie als ein abstraktes und schwieriges Fachgebiet wahrgenommen, in dem eine Vielzahl von facheigenen, komplexen Repräsentationsformen zum Einsatz kommt (Gilbert & Treagust, 2009b; Hoffmann & Laszlo, 1991; Santos & Arroio, 2016). Beispielsweise werden Diagramme nicht nur verwendet, um den Zusammenhang zwischen zwei Variablen zu veranschaulichen (z. B. Phasendiagramm, Energiediagramm), sondern auch, um energetische Verhältnisse in organischen Molekülen darzustellen (z. B. Frost-Muslin-Diagramm). Daneben stellen chemische Formeln eine Repräsentationsform dar, die so fachtypisch, detailorientiert und markant ist, dass sie aufgrund ihrer Komplexität und Besonderheiten als eine Art „Sprache für sich selbst“ betrachtet werden können (Fluck, 1996; Hoffmann & Laszlo, 1991). Generell lässt sich festhalten, dass Repräsentationen mit dem steigenden fachlichen Anspruch der chemischen Inhalte spezifischer und komplexer werden (Hoffmann & Laszlo, 1991). Eine zusammenfassende Übersicht über die in der Chemie verwendeten Repräsentationsformen ist in Abbildung 3 zu finden.

Je nachdem welche Repräsentationsform ausgewählt wird, um ein Original (Objekt, Phänomen oder Prozess) abzubilden, ändert sich der Abstraktionsgrad. So können die Repräsentationen, je nach ihrer Funktion, das Original unterschiedlich stark abstrahieren oder nur bestimmte Aspekte des Originals wiedergeben (Treagust & Tsui, 2013a). Das Foto einer Blauen Lotusblume in Abbildung 4 hat zum Beispiel die größte Ähnlichkeit mit der Originalblüte. Form, Farben und Größenverhältnisse der Blüte und Blütenbestandteile sowie einige Blätter und ein Teil des Sees sind zu erkennen. Das (Blüten-)Diagramm enthält hingegen nur die spezifischen Merkmale der Lotusart und kann daher jeden Blaue Lotus im Allgemeinen darstellen. Eine Gleichung bzw. mathematische Formel, die die

Höhe der Blume in Abhängigkeit zum Zeitverlauf angibt, steht in keiner ikonischen Beziehung zum Original. Dennoch drückt die Formel ein Merkmal der Pflanze bzw. ihre Wachstumshöhe aus, auch wenn der Abstraktionsgrad so hoch ist, dass der Zusammenhang nicht direkt erkennbar ist (Roth & Pozzer-Ardenghi, 2013).

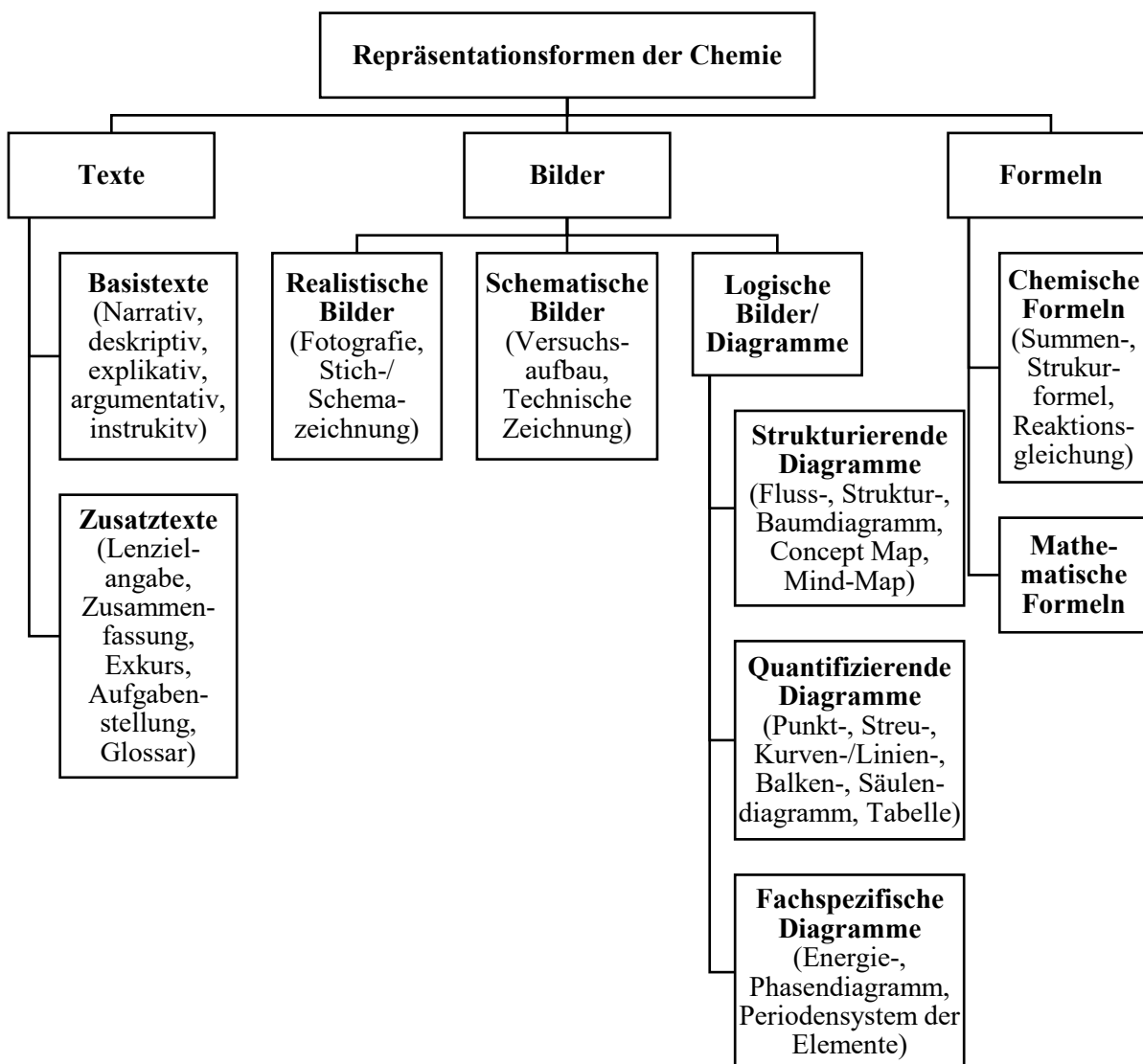


Abbildung 3: Repräsentationsformen in der Chemie mit ausgewählten Beispielen (erstellt nach Gilbert & Treagust, 2009b; Lachmayer et al., 2007; Leisen, 2005; Mangold, 2015; Nerdel, 2017; Peterson, 1996; Treagust et al., 2017; Treagust & Tsui, 2013b; Weidenmann, 1988)

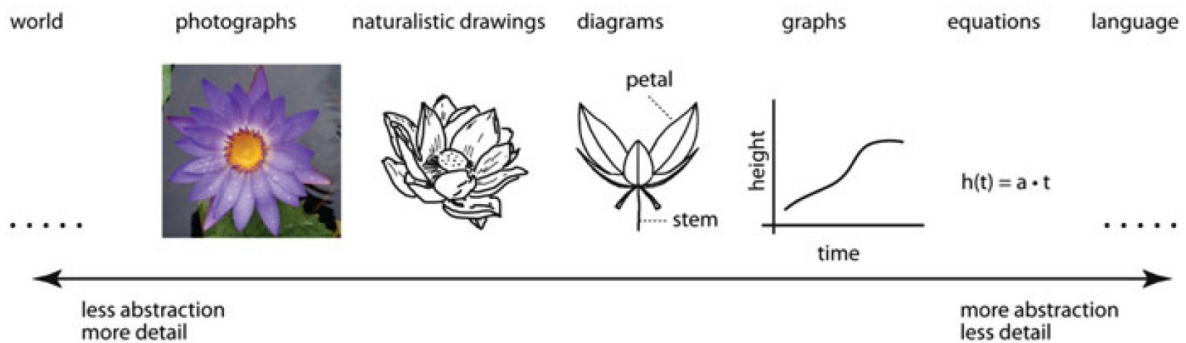


Abbildung 4: Abstraktionsgrade von externen Repräsentationen in den Naturwissenschaften am Beispiel des Blauen Lotus (verändert nach Roth & Pozzer-Ardenghi, 2013)

Ein weiteres fachspezifisches Merkmal multipler Repräsentationen sind die drei Repräsentationsebenen der Chemie (Permatasari et al., 2022). Lehrkräfte nutzen die Ebenen im Unterricht, um den Schüler:innen die chemischen Phänomene aus unterschiedlichen Perspektiven nahezubringen. Welche Ebene sich dabei eignet, hängt vom Leistungstand der Lernenden und dem konkreten Lernziel ab. Dabei wird zwischen der makroskopischen bzw. phänomenologischen Ebene, der submikroskopischen bzw. Modell-Ebene sowie der symbolischen Ebene unterschieden (Gilbert & Treagust, 2009a). Bei der Entwicklung eines Verständnisses von naturwissenschaftlichen Konzepten ist es aus fachlicher Sicht notwendig, zwischen diesen verschiedenen Abstraktionsebenen zu unterscheiden. Ebenen von Repräsentationen geben an, aus welcher Perspektive das Phänomen oder der Prozess dargestellt wird. Diese Klassifizierung geht auf Johnstone (2000) zurück und wurde mehrfach neu interpretiert und angepasst (z. B. Farida et al., 2018; Talanquer, 2011).

Auf der *makroskopischen* Ebene werden Objekte und Prozesse dargestellt, die mithilfe der Sinneswahrnehmung registriert werden können. Dazu zählen Stoffe und Objekte, wie Feststoffe, Flüssigkeiten, Gase, Kolloide, Aerosole und deren Eigenschaftsveränderungen, wie Farbumschläge und Lösungsvorgänge. Ebenso werden auf der makroskopischen Ebene die messbaren Eigenschaften von Stoffen dargestellt, wie die Masse, Dichte, Konzentration und Temperatur (Gilbert & Treagust, 2009a). Prozesse und Phänomene, bei denen die Informationen auf der makroskopischen Ebene nicht erklärbar sind, können durch die *submikroskopische* Ebene modellhaft dargestellt und dadurch erklärt werden. Oft werden