

Wann flockt die Milch im Kaffee?

Mit „Mysteries“ zu differenziertem Forschenden Lernen im Chemieunterricht

KLASSENSTUFE:	8. Klasse
SCHULFORM:	Gymnasium
THEMA:	Säureeigenschaften von Kaffee, welche zum Ausflocken von Sojamilch führen
LERNZIELE:	Anwendung des Wissens über Säuren und Basen; Einstieg in Forschendes Lernen
METHODE:	Mystery-Konzept

Wie lassen sich Schülerinnen und Schüler für das Erforschen naturwissenschaftlicher Phänomene begeistern? Wie können sie motiviert werden, naturwissenschaftliche Konzepte zu lernen? Diesen Ansprüchen stellen sich viele Chemielehrerinnen und -lehrer im täglichen Unterricht. Empfehlungen der KMK (2004) [1], der Europäischen Kommission [2] oder des National Research Council [3] sehen vor, dass Naturwissenschafts- bzw. Chemieunterricht über das Fachlernen hinausgeht und den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit gegeben wird, möglichst selbstständig forschend zu lernen. Es geht beim Forschenden Lernen darum, ergänzend zum Fachwissen auch Kompetenzen im methodischen, sozialen und personalen Bereich zu stärken [4]. Schülerinnen und Schüler sollen schrittweise die notwendigen Kompetenzen erwerben, um zunehmend selbstständig naturwissenschaftliche Fragen bearbeiten zu können. Drei Ziele stehen beim Ansatz des Forschenden Lernens (engl. *Enquiry-based Science Education*) im Vordergrund [5]:

- Naturwissenschaftliche Inhalte zu lernen,
- zu lernen, naturwissenschaftliche Untersuchungen durchzuführen,

- über die Vorgehensweisen naturwissenschaftlicher Untersuchungen zu reflektieren.

Im Rahmen des EU-Projekts „*Teaching Enquiry¹ with Mysteries Incorporated*“, kurz TEMI² (s. auch <http://teachingmysteries.eu/en/>), sollen Schülerinnen und Schüler durch sogenannte Mysteries motiviert werden, auf naturwissenschaftliche Fragestellungen selbstständig Antworten zu finden und so an das Lernen naturwissenschaftlicher Konzepte herangeführt werden. Mysteries sind aus Schülerinnen- und Schülersicht spannende und unerwartete naturwissenschaftliche Phänomene, die erforscht werden wollen, die Neugierde und das Bedürfnis des „Wissenwollens“ auslösen. Unerwartet heißt, dass die Erklärung des Phänomens nicht mit den bisher gelernten naturwissenschaftlichen Konzepten vereinbar ist. Abhängig vom Alter, individuellen Vorwissen und Interesse sind unterschiedliche Phänomene als Mysteries einzustufen und auszuwählen.

Die Sojamilch flockt im Kaffee – ein Mystery

Anhand des Beispiels „Wann flockt die Milch im Kaffee?“ wird im Folgenden illustriert, wie Schülerinnen und Schülern im Chemieunterricht über ein Mystery der Einstieg ins Forschende Lernen ermöglicht werden kann. Es werden Varianten aufgezeigt, wie der sich anschließende „Forschungsprozess“ differenziert gestaltet und begleitet werden kann.

Dieser Kontext soll die Schülerinnen und Schüler motivieren, ins „Forschen“ einzusteigen. Entsprechend motivierend sollte die Story vorge-

tragen werden. Je authentischer eine Geschichte und je besser sie zur jeweiligen Schule und Klasse passt, desto wahrscheinlicher ist es, dass bei den Schülerinnen und Schülern Begeisterung geweckt wird. Begleitend zu dieser einleitenden Story kann den Schülerinnen und Schülern das Phänomen als Realexperiment durchgeführt oder auch ein kurzes Video gezeigt werden, das jeweils mit der Frage endet, warum die Sojamilch³ flockt (s. **Material 1**, S. 38)

Vielleicht kennen die Schülerinnen und Schüler dieses Phänomen von schlecht gewordener Milch. Dies ist hier als Ursache auszuschließen. Woran liegt es dann, dass die Sojamilch flockt und wie kann man das Ausflocken vermeiden? Die Gründe für das Phänomen sollen in Kleingruppen erforscht werden.

Der Forschungsprozess

Die „Forscher“ und „Forscherinnen“ sollen Vermutungen aufstellen und diese mit selbst geplanten Experimenten überprüfen. Als Hilfestellung kann je nach Erfahrung und Vorwissen der Schülerinnen und Schüler schon während oder auch erst nach der Hypothesenbildung ein vorbereiteter Materialtisch mit unterschiedlichen Geräten (Bechergläser, Messbecher, Thermometer, Heizplatten, pH-Meter, pH-Papier etc.), Chemikalien (z. B. Essig- und Zitronensäure, Salz und Zucker) sowie verschiedenen Kaffee- und Milchsorten dienen. Es sollte sowohl frisch zubereiteter als auch abgestandener warm gehaltener Kaffee zur Verfügung stehen. Die Lernenden können den Kaffee außerdem unter dem Wasserhahn oder im Eisbad selbst abkühlen. In der Unterstufe wird der Materialtisch weniger Dinge aufweisen als in der

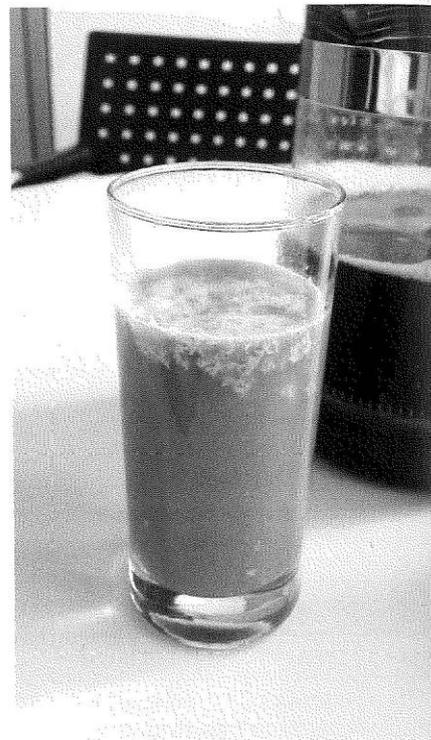
Name: _____

Datum: _____

Thema: _____

Was bringt die Sojamilch zum Flocken?

Die Schülerinnen und Schüler der Klasse 8 a haben während eines Schulprojekts ein Schülercafé eingerichtet. Die Idee kommt bei den Mitschülerinnen und Mitschülern richtig gut an. Da immer mehr Schülerinnen und Schüler Kuhmilch nicht vertragen oder sich vegan ernähren, entscheiden die Schülerinnen und Schüler, auch Kaffee mit Sojamilch anzubieten. Am Tag der Eröffnung bereiten die Schülerinnen und Schüler den Kaffee noch vor der ersten Stunde vor. In der zweiten großen Pause wird das Café eröffnet. Nach kurzer Zeit kommen Beschwerden, weil die Sojamilch im Kaffee Flocken bildet. Die Schülerinnen und Schüler sind ratlos. Die Milch war doch ganz frisch!



Was nun? Kannst du helfen und die Eröffnung des Schülercafés noch retten?

Finde heraus:

Was bringt die Sojamilch zum Flocken?

Oberstufe. Je spezifischer der Materialtisch vorbereitet ist, desto einfacher und stringenter lässt sich die Aufgabe (s. **Material 1**) lösen. Je umfangreicher der Materialtisch, desto mehr Ideen werden angeregt (**Abb. 1**), desto komplexer wird die Aufgabe aber auch. Je nach Kreativität der Lernenden kann das zur Verfügung gestellte Material auch noch nach den

Ideen der Schülerinnen und Schüler ergänzt werden.

Bei der Erprobung im eigenen Unterricht in der 8. Klasse eines Wiener Gymnasiums wurden von den Schülerinnen und Schülern folgende Vermutungen geäußert:

- „Das Eiweiß in der Milch beginnt, durch die hohe Temperatur zu flocken.“

- „Die Milch flockt, weil man sie nicht umrührt.“
- „Weil heißer Kaffee sich mit kalter Milch nicht verträgt.“
- „Weil im Kaffee noch etwas anderes drinnen ist.“
- „Weil der Kaffee schlecht wird, wenn er steht.“
- „Weil die Milch schon lange offen ist.“

Erleichtert werden kann das Formulieren durch Satzanfänge, wie z. B. „Die Milch flockt, weil ...“ (s. **Schülerversuch 1**) oder „Der Grund für das Ausflocken der Milch ist ...“. Für Anfänger und Anfängerinnen im Bereich des Forschenden Lernens können auch diverse Vermutungen vorgegeben werden. Die Schülerinnen und Schüler wählen dann aus, welche Vermutungen ihnen am plausibelsten erscheinen und planen entsprechend ein Experiment.

Das geplante Experiment sollte vor der Durchführung mit der Lehrperson besprochen werden. Die Schülerinnen und Schüler sollten begrün-

SCHÜLERVERSUCH 1

Warum flockt die Sojamilch im Kaffee?

Stellt zwei bis drei Vermutungen auf.

Die Milch flockt, weil ...

Die Milch flockt, weil ...

Die Milch flockt, weil ...

Wählt eine Vermutung aus, die ihr überprüfen wollt!



1 | Materialien zur Untersuchung des Mysterys „Wann flokkt die Milch im Kaffee?“

den können, warum das Experiment ihre Vermutung bestätigen oder widerlegen kann. Sie stellen Beobachtungen an, werten Daten aus und interpretieren diese in Bezug auf ihre Vermutungen. Ein Arbeitsblatt steuert den Forschungsprozess.

Die Vorgehensweisen und die Schlussfolgerungen der Lernenden können dann kreativ und abhängig von der zur Verfügung stehenden Zeit präsentiert werden. Der gesamte Forschungsprozess hat bei der Erprobung in der 8. Klasse zwei Schulstunden in Anspruch genommen.

Die in **Abbildung 2** (s. S. 40) dargestellten Schritte sollten in einem Forschungszyklus durchlaufen werden, jedoch nicht unbedingt linear. Es kann viele Umwege, Irrwege und Schleifen geben, die zu einem Forschungsprozess dazu gehören, was explizit mit den Schülerinnen und Schülern reflektiert werden sollte.

Die Schülerinnen und Schüler sollten den Forschungszyklus möglichst selbstständig durchlaufen können.

Dazu müssen sie in geeigneten Lernumgebungen die Möglichkeit erhalten, die benötigten Kompetenzen Schritt für Schritt zu erwerben. Hilfreich für einen schrittweisen Kompetenzaufbau kann die Orientierung an der Einteilung des Forschenden Lernens in vier Level sein (**Tab. 1**).

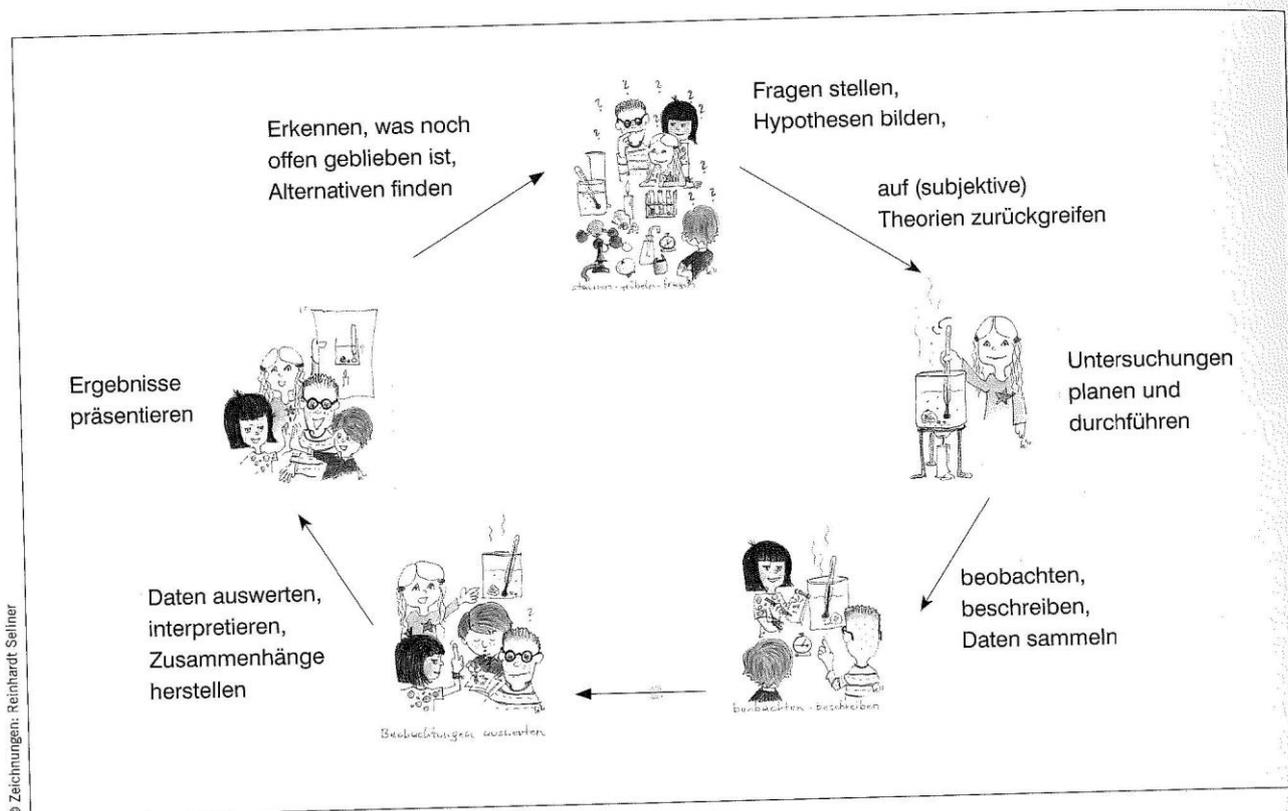
Die Level stehen für eine zunehmende Verantwortungsübernahme durch die Schülerinnen und Schüler. Je nach Erfahrungsstand führen sie mehr oder weniger Schritte im Forschungszyklus eigenständig durch. Beim Mystery „Sojamilch flokkt im Kaffee“ ist nur die Fragestellung vorgegeben. Es ist also ein Beispiel für Forschendes Lernen auf Level 2. Welches der optimale Level ist, muss aber je nach Thema, Vorwissen und der bereits vorhandenen Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler entschieden werden. Level 3 ist also nicht als Optimum zu verstehen. Seitens der Lehrperson wird mit jedem Level die Vertiefung anderer bzw. weiterer Unterrichtsziele angestrebt.

Der Prozess des Forschenden Lernens ist sehr komplex und es werden verschiedene Kompetenzen benötigt, um eine Fragestellung erfolgreich bearbeiten zu können. Durch die sukzessive Öffnung hat die Lehrperson nun die Möglichkeit, die Schülerinnen und Schüler schrittweise und durch gezielte Schwerpunktsetzungen an das eigenständige Erforschen heranzuführen. **Abbildung 3** (s. S. 41) ist demzufolge nicht als Kompetenzstufenmodell zu verstehen, sondern soll Anregungen liefern für Schwerpunktsetzungen und Strukturierungen innerhalb des Forschungs- und Lernprozesses.

Durch Fokussierung auf unterschiedliche Schwerpunkte können jeweils ausgewählte Kompetenzen spezifisch gefördert werden. Durch diese Komplexitätsreduktion soll eine Überforderung der Lernenden verhindert und ihre Motivation gefördert werden, sich mit der jeweiligen Fragestellung intensiv zu beschäftigen.

	Source of the Question	Data Collection Methods	Interpretation of Results
Level 0: Verification	Given by teacher	Given by teacher	Given by teacher
Level 1: Structured Inquiry	Given by teacher	Given by teacher	Open to student
Level 2: Guided Inquiry	Given by teacher	Open to student	Open to student
Level 3: Open Inquiry	Open to student	Open to student	Open to student

Tab. 1 | Level beim Forschenden Lernen [6]



2 | Schritte in einem Forschungszyklus

Insbesondere das Stellen von „Forschungsfragen“ (Level 3) hat sich für Schülerinnen und Schüler als sehr herausfordernd erwiesen [7]. Deshalb sind die Mysterien im TEMI-Projekt alle auf Level 2 angesetzt, bei dem die Fragestellung vorgegeben ist. Durch die Vorgabe von Vermutungen oder Satzanfängen, Materialien, Versuchsanleitungen oder vorstrukturierten Protokollen lässt sich das Level variieren. Diese Dinge können auch als optionale Hinweiskarten angeboten werden, um den Lernenden einen differenzierten Zugang zu ermöglichen. So können verschiedene Schülerinnen und Schüler gleichzeitig am gleichen Thema auf unterschiedlichen Levels (vgl. **Abb. 3**) des Forschenden Lernens arbeiten.

Die Schülerinnen und Schüler können außerdem die Aufgabe erhalten, bei der Präsentation der Ergebnisse weitere Fragen zu benennen, die während des Forschungsprozesses aufgetaucht sind, z.B. ob auch Kokosmilch oder Haselnussmilch im Kaffee ausflocken oder wie sich Säure und Hitze auf andere Eiweißsorten

auswirken. Diese können als Einstieg in *Open Inquiry* genutzt werden, bei dem die Fragen von den Lernenden selbst entwickelt werden.

Der fachliche Hintergrund

Und warum flockt nun die Sojamilch im Kaffee? Kaffee enthält eine Reihe von Säuren wie die Chlorogensäure und Fruchtsäuren wie Zitronensäure oder Apfelsäure. Je nach Röstverfahren, Komposition der Kaffeemischung und Art der Zubereitung, weist das frisch gebrühte Kaffeetrink einen pH-Wert im leicht sauren Bereich auf (ca. pH5). Das Warmhalten von Kaffee über mehrere Stunden lässt den pH-Wert um ca. 0,3 Einheiten sinken. Säure ist neben Hitze eine der Ursachen für die Denaturierung der Proteine in der Milch – ein Vorgang, der sich auf der Phänomenebene als „Flocken der Milch“ beobachten lässt. Die Faltenstruktur der Proteinmoleküle wird dabei durch eine Ladungsverschiebung, die zum Lösen von Wasserstoffbrücken und zur Entladung der Carboxylatgruppe führt, zerstört. Dadurch verändert sich die Löslichkeit der Proteine und sie fallen

aus. Milch (Kuhmilch, Sojamilch, Kokosmilch etc.) setzt sich aus diversen Proteinen mit verschiedenen Eigenschaften zusammen. Findet man eine geeignete Kaffee-Milch-Konstellation, so lässt sich der Effekt schön zeigen, dass bei frisch zubereitetem Kaffee die Milch nicht ausflockt, jedoch im warm gehaltenen Kaffee zu flocken beginnt. Wir haben den magenschonenden Kaffee von Eduscho in relativ schwacher Konzentration (30g Kaffee auf 1l Wasser) gewählt und 30ml der Sojamilch light von Alpro zu 150ml Kaffee gegeben. Wir raten hier jedoch dringend zum Ausprobieren vor Ort, da Faktoren wie die Eigenschaften des Leitungswassers oder die Art der Kaffe Zubereitung ebenfalls Einfluss auf das Phänomen haben.

Und warum flockt nun die Sojamilch eher aus als die Kuhmilch? Die verwendete Sojamilch hat mit einem pH-Wert von ca. 6,9 einen etwas höheren pH-Wert als Kuhmilch (ca. 6,5). Auch die isoelektrischen Punkte (Punkt geringster Löslichkeit) der Proteine in Kuhmilch und Sojamilch unterschieden sich (Sojamilchproteine: ca. 4,5; Caseine in der Kuhmilch:

ca. 4,6). Hinzu kommen noch strukturelle Unterschiede der Proteine in beiden Milchsorten. Die Caseine der Kuhmilch bilden Micellen, die durch Calciumphosphatbrücken sowie hydrophile, nach außen gerichtete Moleküle stabiler gegenüber einem sauren Milieu sind als die globulären Sojamilchproteine, die an ihrer Oberfläche durch den Herstellungsprozess der Sojamilch stark aufgefaltet sind. Aus diesem Grund flocken die Proteine der Sojamilch bei einem etwas höheren pH-Wert aus als diejenigen der Kuhmilch.

Kommt dieses Beispiel bei der Einführung des Forschenden Lernens zur Anwendung, so ist kein besonderes chemisches Vorwissen erforderlich. Es eignet sich zum Beispiel zum Einstieg in das Kapitel „Säuren und Basen“. In höheren Schulstufen ermöglicht es die sukzessive Erweiterung der Unterrichtsziele bis hin zu den Kapiteln der organischen und analytischen Chemie. Vertiefte Kenntnisse über die Wechselwirkung zwischen Proteinen und Säuren zu gewinnen, kann ebenso ein Ziel sein, wie adäquate experimentelle Methoden im Forschungsprozess (vgl. **Abb. 2**) zu integrieren.

Ausblick

Im EU-Projekt TEMI wurden und werden derzeit viele weitere solcher Beispiele für die Fächer Chemie, Physik, Biologie und Mathematik entwickelt. In zweitägigen Fortbildungen für Lehrerinnen und Lehrer werden die Mysteries erprobt und der Ansatz des Forschenden Lernens erfahren. Die Universität Bremen bietet Fortbildungen in Deutschland an, die Universität Wien in Österreich.

Anmerkungen

- 1 In der Schreibweise des Britischen Englisch ist der Anfangsbuchstabe dieses Wortes ein ‚e‘, in der amerikanischen Schreibweise ein ‚i‘. Da das Projekt von London aus initiiert wurde, wird im Titel das ‚e‘ verwendet, international hat sich jedoch zumeist das ‚i‘ durchgesetzt.
- 2 Seit 01. Februar 2013 ist die Universität Wien, vertreten durch das AECC Chemie, Partner im EU-Projekt „Teaching Enquiry with Mysteries Incorporated“

(TEMI; Grant Agreement No. 321403). Koordiniert wird das 3,5 Mio. € Projekt von der Queen Mary University in London, England. 13 Institutionen aus 11 Ländern kooperieren im Projekt. <http://teachingmysteries.eu/en/> [04.02.2014]

- 3 Wir haben das Experiment mit der Sojamilch light von Alpro durchgeführt. <http://www.alpro.com/de/faq> [14.02.2014]

Literatur

- [1] KMK: Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss 2004. Retrieved 22.09.2009, from http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Chemie.pdf
- [2] Europäische Kommission: Naturwissenschaftliche Erziehung jetzt: Eine erneuerte Pädagogik für die Zukunft Europas (2007). Retrieved 23.10.2008, from http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_de.pdf
- [3] National Research Council: National science education standards (1996). Retrieved 21.02.2012, from http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=4962&page=20
- [4] Ziener, G.: Bildungsstandards in der Praxis. Kompetenzorientiert unterrichten. Kallmeyer Verlag in Verbindung mit Klett. Seelze 2010
- [5] Abrams, E.; Southerland, S. A.; Evans, C.: Introduction. Inquiry in the classroom: Identifying Necessary Components of a Useful Definition. In E. Abrams, S. A. Southerland & P. Silva (Eds.), *Inquiry in the classroom. Realities and Opportunities* (pp. xi-xlii). Charlotte, North Carolina 2008: Information Age Publishing.
- [6] Blanchard, M. R.; Southerland, S. A.; Osborne, J. W.; Sampson, V. D.; Annetta, L. A.; Granger, E. M.: Is Inquiry Possible in Light of Accountability?: A Quantitative Comparison of the Relative Effectiveness of Guided Inquiry and Verification Laboratory Instruction. *Science Education*, 94/2010(4), S. 577–616
- [7] Hofstein, A.; Navon, O.; Kipnis, M.; Mamlok-Naaman, R.: Developing Students' Ability to Ask More and Better Questions Resulting from Inquiry-Type Chemistry Laboratories. *Journal of Research in Science Teaching*, 00(2005), S. 1–16

Bei Level 0 liegt der Schwerpunkt auf folgenden Unterrichtszielen:

- mit Geräten vertraut sein (pH-Meter, Thermometer ...)
- bestimmte Methoden durchführen können (Titrieren, Filtrieren ...)
- Sicherheitsrichtlinien befolgen können
- Versuchsbeschreibungen befolgen können

Bei Level 1 liegt der Schwerpunkt zusätzlich auf:

- Beobachten können
- Beobachtungen notieren und im Team interpretieren können
- Wissen anwenden, um Schlüsse ziehen und bewerten zu können
- Schlüsse argumentativ vertreten können
- Ergebnisse präsentieren und diskutieren können

Bei Level 2 liegt der Schwerpunkt zusätzlich auf:

- Hypothesen generieren können
- Experimente planen und anschließend durchführen können
- mögliche Einflussfaktoren, z. B. zu verwendende Mengen, gewählte Geräte, etc. berücksichtigen und Entscheidung begründen können
- Variablen kontrollieren können
- Untersuchungsdesign argumentativ vertreten können
- Ergebnisse mit Hypothesen abgleichen können
- Untersuchungsdesign ggf. begründet verändern können

Bei Level 3 liegt der Schwerpunkt zusätzlich auf:

- naturwissenschaftliche Fragen stellen können
- Verantwortung für den gesamten Forschungsprozess übernehmen können

- 3 | Ziele bei der schrittweisen Einführung des Forschenden Lernens