

*Kodiermanual zur Operationalisierung eines **situativen mentalen Modellbildungsansatzes**
(SIMBA) im Fachbereich Chemie*

Diese Kodiermanual strukturiert ein mentales Modell anhand von vier Komponenten (Proposition, Relation, Implikation und Konzeption), die anhand der drei Ebenen chemischen Denkens (makroskopische, submikroskopische und symbolische Ebene) (Johnstone, 1991) konkretisiert wurden. Mit Hilfe dieser Komponenten kann nachvollzogen werden, welche Informationen Lernende nutzen, um ein chemisches Phänomen zu verstehen und letztlich zur Bildung einer Hypothese heranziehen.

Es besteht aus einer Kodieranleitung, die Kodierprozesse für die Datentypen Concept Maps (CM), leitfadengestütztes Interview bzw. Transkripte und schriftlichen Hypothese detailliert beschreibt und einem spezifischen Kategoriensystem für den jeweiligen Datentyp. Jedes Kodierereignis wird lediglich einer Kategorie zugeordnet.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| 1. Übersicht - Allgemeines und Kodierregeln | 1 |
| 1.1 Einführung und Theorie | 1 |
| 1.2 Aufbau des Manuals | 2 |
| 1.3 Vorgehen in MaxQDA | 3 |
| 1.4 Auswahlinheit | 3 |
| 1.5 Analyseinheit | 3 |
| 1.6 Übergeordnete Kodierregeln | 4 |
| 2. Kodiermanuale | 10 |
| 2.1 Kodiermanual zur Operationalisierung der SIMBA-Komponenten (Analyse der CM) | 10 |
| 2.2 Kodiermanual zur Analyse der Interviews | 32 |
| 2.3 Kodiermanual zur Analyse der Hypothesen | 67 |
| 3. Tabellarische Übersicht über die Reliabilitäten der Manuale | 84 |
| 3.1 Reliabilitäten für das Kodiermanual zur Operationalisierung der SIMBA-Komponenten (Analyse der CM) | 84 |
| 3.2 Reliabilitäten für das Kodiermanual zur Analyse der Leitfadeninterviews | 86 |
| 3.3 Reliabilitäten für das Kodiermanual zur Analyse der Hypothesen | 91 |
| 4. Literatur | 94 |

1. Übersicht - Allgemeines und Kodierregeln

Im Folgenden wird das Kategoriensystem zur Operationalisierung des situativen mentalen Modells (SIMBA) im Fachbereich Chemie vorgestellt. Hierfür wird in einer Einführung die theoretische Entwicklung des Manuals beschrieben. Im Anschluss werden der grundlegende Aufbau des Manuals vorgestellt, übergeordnete Kodierregeln eingeführt, das ausführliche Manual präsentiert und Reliabilitäten für alle Kategorien angegeben.

1.1 Einführung und Theorie

Das vorliegende Kodiermanual wurde zur Operationalisierung einer „situativen mentalen Modellbildung (SIMBA)“ im Fachbereich Chemie entwickelt. Die Konstruktion erfolgte deduktiv und orientiert sich grundlegend an dem mathematikdidaktischen Modellverständnis nach Lesh, Hoover, Hole, Kelly & Post (2000). Die Autor:innen unterteilen ein Modell in vier Komponenten, die als Elements, Relations, Operations und Rules bezeichnet werden. Unter Elements sind die kleinsten Sinneinheiten zu verstehen, die einem mentalen Modell zugrunde liegen. Hierbei kann es sich um Größen oder Objekte handeln, die ein Phänomen charakterisieren bzw. hervorrufen. Relations geben hingegen eine Beziehung zwischen den Elements an. Diese Beziehung kann als Verhältnis zwischen den Elements betrachtet werden, die beispielsweise auf Mengen-, Ladungs- oder Energieverhältnisse abzielen können. Unter Operations sind Wechselwirkungen zu verstehen, die beschreiben, wie die Elements aufgrund der Relations miteinander agieren. Rules stellen nach Lesh et al. (2000) formal gesehene Regeln oder Muster dar, die auf die Relations oder Operations angewendet werden können. Hierbei kann es sich um naturwissenschaftliche Gesetzmäßigkeiten (z.B.: Gleiches löst sich in Gleichem) oder auch um Vorhersagen handeln.

Für die Domäne Chemie konnte in einer Vorarbeit, die das Ziel der Charakterisierung der Modellkomponenten nach Lesh und Kollegen (2000) im Problemlöseprozess der Chemie hatte (Scheide, 2018), gezeigt werden, dass die Komponenten Elements und Relations in einer deskriptiven Weise von Proband_innen gebraucht werden, um ein chemisches Phänomen zu verstehen, und den Komponenten Operations und Rules eine eher kausale Funktion zugeschrieben werden kann. Diese Erkenntnisse wurden um kognitionspsychologische Befunde erweitert, die zeigen, dass mentale Modelle ausschließlich kognitive Konstrukte darstellen, als Mittel des Verstehens und Erklärens angesehen werden können, der Informationsverarbeitung dienen und somit notwendige Bestandteile von Problemlösen und Erkenntnisgewinnung darstellen. Darüber hinaus sind sie als personenspezifisch und situationsabhängig zu betrachten (Dörner, 1987, 1989; Ifenthaler, 2006; Johnson-Laird, 1983, 2006, 2010; Knauff & Knoblich, 2017; Seel, 1991, 2003, 2006). Allerdings stellen die originalen Bezeichnungen der Modellkomponenten ein Hindernis für eine Übernahme in die deutschsprachige Chemiedidaktik dar. So kommt es zu sprachlichen Dopplungen, beispielsweise durch den chemischen oder didaktischen und methodischen Sprachgebrauch. Neben sprachlichen Aspekten stellen auch inhaltliche Aspekte einen Grund zur Anpassung dar. Somit wurde die Komponente Elements in den Term Proposition transferiert. Relation wurde als Begrifflichkeit beibehalten. Operations wurde mit dem Begriff Implikation versehen und Rules wurde in Konzeption umbenannt. Eine ausführliche Erläuterung kann der Dissertation

(Nave, 2022) entnommen werden. Alle Erkenntnisse über ein situatives mentales Modell wurden in Abb. 1 zusammengefasst.

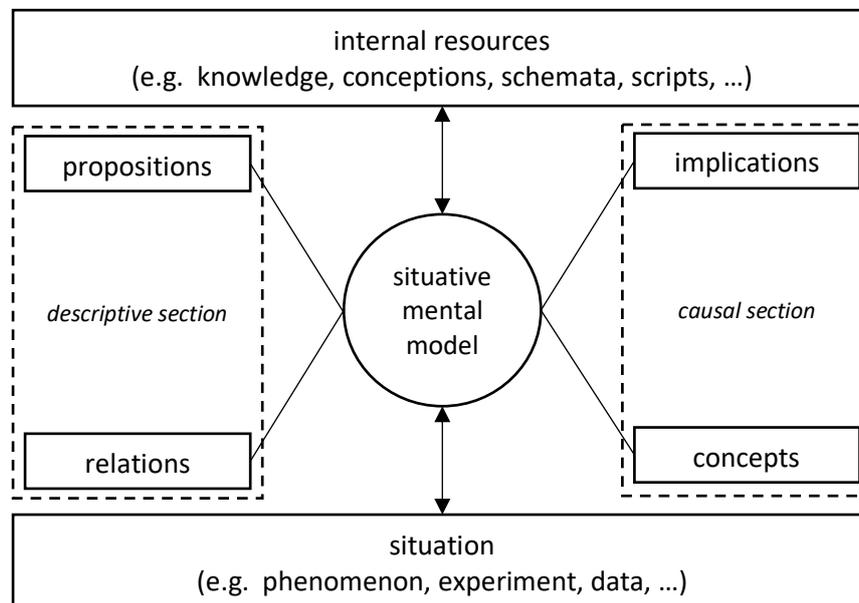


Abbildung 1 Kognitive Architektur für ein situatives mentales Modell (SIMBA) (Tiemann, Rost & Nave, submitted)

Zudem wurden die Annahmen über das SIMBA-Modell in dem Promotionsprojekt (Nave, 2022) um die Ebenen des chemischen Denkens nach Johnstone (1991) erweitert. Nach Johnstone (1991) existieren für die Domäne Chemie drei Ebenen, anhand der ein chemisches Phänomen zunächst auf der makroskopischen Ebene beobachtet werden kann. Mithilfe von modellhaften Vorstellungen kann dieses Phänomen dann auf der submikroskopischen Ebene interpretiert werden. Anhand geeigneter Symbole können dann Beziehungen zwischen der makroskopischen und der submikroskopischen Ebene dargestellt werden (Sumfleth & Nakoinz, 2019). Demnach differenzieren die drei Ebenen nach Johnstone (1991) in diesem Manual die Modellkomponenten Proposition, Relation und Implikation. Die Ausnahme bildet die Komponente Konzeption, da diese in dem Promotionsprojekt (Nave, 2022) als Phase der Hypothesenbildung angesehen wird.

1.2 Aufbau des Manuals

Das Manual gliedert sich in drei Teilmanuale, die jeweils unterschiedliches Datenmaterial (Concept Maps, Hypothese und Leitfadeninterviews) beschreiben (siehe Abb. 1).

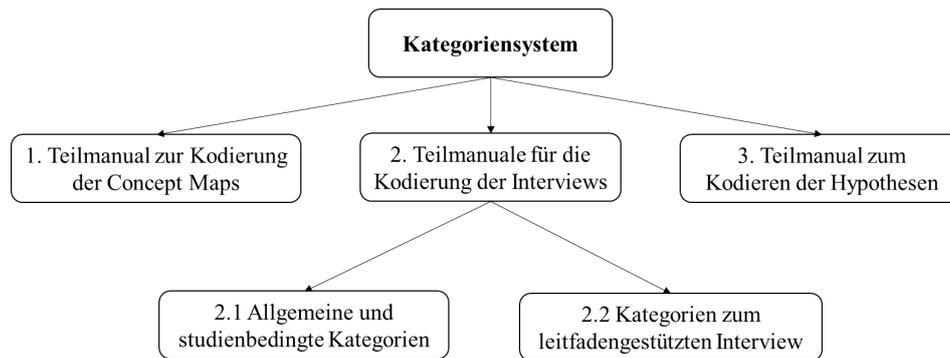


Abbildung 1 Übersicht über die Teilmanuale des Kategoriensystems zur Erfassung eines situativen mentalen Modells.

Alle drei Teilmanuale hatten dabei das Ziel, das situative mentale Modell von Proband:innen zu beschreiben. Zusätzlich enthalten alle drei Teilmanuale Kategorien, die das Datenmaterial (Concept Maps, Hypothese und Leitfadeninterviews) charakterisieren. Jeder Kategorie liegt eine theoretische Beschreibung zugrunde sowie ein Ankerbeispiel und eine bzw. mehrere Quellenangaben.

1.3 Vorgehen in MaxQDA

Es werden lediglich die Unterkategorien kodiert und nicht zusätzlich die Oberkategorien. Dies ist eine notwendige Voraussetzung für Analysen, die anhand des Manuals erfolgen (Kuckartz, 2018; Rädiker & Kuckartz, 2019). Für eine visuelle Gliederung wurden alle Oberkategorien im Manual dunkelgrau unterlegt. Die Hierarchie der Unterkategorien wird durch eine Abstufung von dunkelgrau zu hellgrau visualisiert.

1.4 Auswahleinheit

Es werden 18 Concept Maps, 18 Hypothesen und 18 Interviews von Proband:innen dreier unterschiedlicher Gymnasien kodiert.

1.5 Analyseeinheit

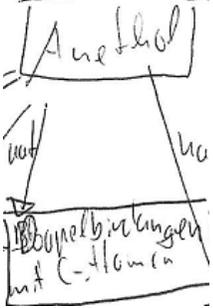
Als Analyseeinheit wird der jeweilige Datentyp (Concept Map, Hypothese und Interview) einer Proband:in definiert. Aufgrund der Vielfältigkeit der Daten wurden Teilmanuale für jeden Datentyp entworfen. Die Zugehörigkeit des Manuals zum Datentyp wurde in der jeweiligen Überschrift des Manuals expliziert. Die folgende Tabelle (Tab. 1) gibt einen Überblick über die Kodiereinheit, Kontexteinheit und übergeordnete Kodierregeln des jeweiligen Datentyps. Dabei beschreibt die Kodiereinheit den minimalen Textbestandteil, der ausgewertet wird und die Kontexteinheit den größten zu interpretierenden Textbestandteil. Spezielle Kodierregeln, die eine eindeutige Zuordnung der einzelnen Codes sicherstellen, sind im Manual aufgeführt und wurden mit dem Vermerk „Hinweis“ angegeben.

1.6 Übergeordnete Kodierregeln

Tabelle 1 Übersicht über die Kodiereinheit, Kontexteinheit und übergeordnete Kodierregeln des jeweiligen Datentyps.

| Analyseeinheit | Kodiereinheit | Kontexteinheit | Besonderheiten und übergeordnete Kodierregeln |
|----------------|---|---|---|
| Concept Map | Als Kodiereinheit gelten bei den Concept Maps einzelne Wörter (Knoten) und beschriftete Pfeile. | Die Kontexteinheit stellt eine Einheit, bestehend aus zwei Knoten und einem beschrifteten Pfeil, dar. | <p>Allgemeines Vorgehen:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Schritt: Identifikation und Kodierung aller Proposition 2. Schritt: Identifikation und Kodierung aller Relation 3. Schritt: Identifikation und Kodierung aller Implikation <p>Kodierregel für Proposition:</p> <p>Als Proposition werden einzelne Knoten aber auch eine Einheit, bestehend aus 2 Knoten, die durch einen beschrifteten Pfeil miteinander verbunden sind, kodiert. Die Kodierung erfolgt sinngemäß und eventbasiert.</p> <p>Kodierregel für Relation:</p> <p>Als Relation können einzelne Knoten aber auch eine Einheit, bestehend aus 2 Knoten, die durch einen beschrifteten Pfeil miteinander verbunden sind, kodiert werden. Die Kodierung erfolgt sinngemäß und eventbasiert.</p> <p>Kodierregel für Implikation:</p> <p>Als Implikation wird eine Einheit, bestehend aus mind. 2 Knoten, die durch einen beschrifteten Pfeil miteinander verbunden sind, kodiert. Die Kodierung erfolgt sinngemäß und eventbasiert.</p> |

| | | | |
|--|--|--|---|
| | | | <p>Übergeordnete Kodierregeln zum Kodieren der Concept Maps:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Die Kategorien (Proposition, Relation und Implikation) bilden jeweils definierte Zusammenhänge auf der Map ab.2. Die Kodierung erfolgt in hierarchischen Schritten, da sich die Kategorien gegenseitig voraussetzen (siehe Abschnitt „Allgemeines Vorgehen“). Es wird so kodiert, dass der nächste hierarchische Schritt, eine neue Information enthalten muss.3. Es werden nur Bestandteile der Concept Map kodiert, die als technisch richtig gelten. Um dies zu überprüfen, soll sich streng an das „Trainingsprogramm zum Erstellen von Concept Maps“ gehalten werden (Neuroth, 2007; Sumfleth, Neuroth, & Leutner, 2010). Nicht korrekt beschriftete Knoten und Pfeile werden der Kategorie „Unkorrekte Beschriftung von Map-Bestandteilen“ zugeordnet. Hierbei werden Knoten und Pfeile separat kodiert.4. Inhaltlich nicht zu interpretierende Map-Bestandteile werden der Kategorie „Inhaltlich nicht interpretierbar“ zugeordnet. Sind Bestandteile der Map fachlich nicht korrekt, obliegt die Code-Vergabe dem Kodierenden und es ist zu prüfen, inwiefern ein Code sinnvoll vergeben werden kann.5. Wurden von den Proband:innen Klammern verwendet, die beispielsweise einen Knoten näher beschreiben sollen, werden diese vernachlässigt, da es sich um eine nicht korrekte |
|--|--|--|---|

| | | | |
|------------------|--|--|---|
| | | | <p>Beschriftung handelt. Der Knoten wird ohne Berücksichtigung der Klammer kodiert.</p> <p>6. Es soll sinnvoll und zusammenhängend kodiert werden. Bezieht sich beispielsweise eine chemische Bindung auf einen Stoff, so wird der Stoff mitkodiert. Das folgende Beispiel soll dies verdeutlichen:</p>  <p>(Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O)</p> <p>7. Es muss darauf geachtet werden, einen (fortlaufenden) Rückbezug zu den Problem-initiiierenden Videos herzustellen. Dies soll einer stark interpretativen Kodierung entgegenwirken.</p> |
| <p>Interview</p> | <p>Als Kodiereinheit gelten bei den Interviews einzelne Wörter bzw. Wortgruppen oder Teilsätze, die mit Hilfe einer Konjunktion (z.B.: und, oder, aber, sondern) oder eines Kommas (z.B.</p> | <p>Als Kontexteinheit gilt ein Satz, bzw. ein Absatz. Wenn ein Satz nicht interpretiert werden kann und ihm dadurch kein Code zugeordnet werden kann, so wird der Code „sonstige</p> | <p>Übergeordnete Kodierregeln zum Kodieren der Interviews:</p> <p>1. Prinzipiell wird jede Information einzeln kodiert. Das bedeutet, dass ein Satz bzw. Absatz in semantische Einheiten zerlegt wird (hier wird im Folgenden von Segmenten gesprochen). Es werden somit vorherrschend Satzteile kodiert, die durch eine Konjunktion (z.B.: und) oder durch ein Komma</p> |

| | | | |
|--|--|--|---|
| | <p>bei Aufzählungen oder Teilsätzen) eigenständige zu interpretierende Sinneinheiten ergeben.</p> <p>Es wird somit sinngemäß und eventbasiert kodiert. Dies ist notwendig, um alle Informationen eines Satzes zu erfassen.</p> | <p>Äußerung der Proband:innen“ vergeben.</p> | <p>getrennt sind und einzelne, sinnhafte Abschnitte (Segmente) ergeben. Es soll keine Information verloren gehen.</p> <p>2. Die Konjunktion wird im darauffolgenden Teilsatz mitkodiert, da sich die Konjunktion semantisch auf den Inhalt des darauffolgenden Teilsatzes bezieht.</p> <p>Beispiel:</p> <p>... was jetzt so die Strukturformel angeht“ ... (KEES2699_O_Interview, Pos. 12)</p> <p>... und keine Ahnung äh halt dieser Ethanolgehalt, ... (KEES2699_O_Interview, Pos. 12)</p> <p>Kommas trennen die Teilsätze semantisch. Aus diesem Grund wird das Komma in dem zu kodierenden Teilsatz mitkodiert.</p> <p><u>Hinweis:</u> Beide Codes entstammen aus demselben Absatz. In dem zweiten Code, der semantisch durch ein Komma getrennt wurde, wird das Komma mitkodiert.</p> <p>3. Kann einem Satz eindeutig nur ein Code zugeordnet werden, so kann der ganze Satz als Sinneinheit aufgefasst werden.</p> <p>4. Leitfragen und Rückfragen der Interviewer:in werden absatzweise kodiert bzw. satzübergreifend, sodass jede</p> |
|--|--|--|---|

| | | | |
|-----------|--|--|---|
| | | | <p>Leitfrage bzw. jeder Rückfrage nur ein Code zugeordnet wird (Auch, wenn sie sich über mehrere Sätze erstrecken)</p> <p>5. Klammern (z.B.: zu Angaben von Zeiten über Pausen oder lachen) werden einzeln kodiert und mit dem Code „sonstige Äußerungen des Proband:innen“ oder „sonstige Äußerungen der Interviewer:in“ versehen.</p> |
| Hypothese | Als Kodiereinheit gelten bei den Hypothesen einzelne Wörter. | Die Kontexteinheit kann eine Wortgruppe oder einen ganzen Satz darstellen. | <p>Übergeordnete Kodierregeln zum Kodieren der Hypothese:</p> <p>Kodierung der Qualität der Hypothesen:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Die Hypothesen werden Absatzweise bzw. Satzweise kodiert. 2. Jede Information wird einzeln kodiert, hierbei kann es zu Überlagerungen von Codes innerhalb eines Absatzes kommen. 3. Jede Hypothese wird mit dem vollständigen Manual zur Kodierung der Hypothesen kodiert. <p>Kodierung der SIMBA-Komponenten:</p> <p>Bei der Kodierung der SIMBA-Komponenten werden einzelne Wörter oder Wortgruppen kodiert:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Jedes Wort wird in einer Hypothese einzeln kodiert. 2. Es werden zwei Wörter zusammenkodiert, wenn es sich um einen Verbund aus Adjektiv und Verb oder Adjektiv und Substantiv handelt. |

| | | | |
|--|--|--|---|
| | | | <ol style="list-style-type: none">3. Für Verbklammern wird nur ein Code vergeben. Das bedeutet, dass das Verb was die Verbklammer beginnt, mit der SIMBA-Komponente kodiert wird, die die Verbklammer vorgibt. Das Ende der Verbklammer wird mit dem Code „Sonstiges“ kodiert, da es sonst zu Doppelungen kommt.4. Alle Wörter, die nicht explizit einem Code der Kategorie „Nutzen der SIMBA-Komponenten“ zugeordnet werden können, werden mit dem Code „Sonstiges“ kodiert.5. Punkte und Leerzeichen werden nicht mitkodiert.6. Auch Satzzeichen werden nicht kodiert.7. Können einem Wort mehrere Codes zugeordnet werden, dann kann der Inhalt des Satzes zur Codevergabe herangezogen werden. Die Vergabe des Codes obliegt dann dem Kodierer. |
|--|--|--|---|

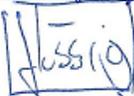
2. Kodiermanuale

2.1 Kodiermanual zur Operationalisierung der SIMBA-Komponenten (Analyse der CM)

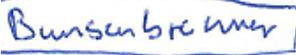
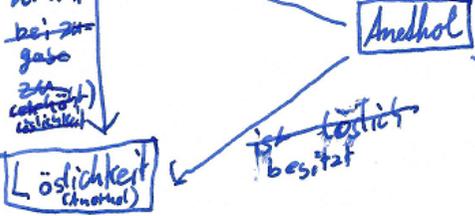
Kategorien für die SIMBA-Komponenten Proposition, Relation und Implikation

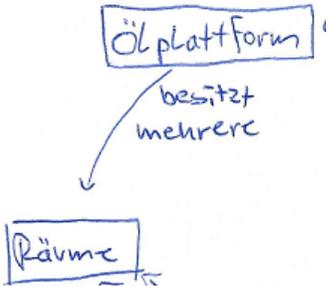
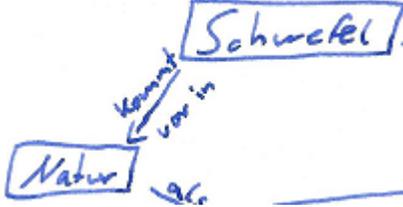
| Code Nr. | Kategorie | Beschreibung, Definition und spezielle Kodierregel | Ankerbeispiel | Literatur |
|----------|-------------------------|---|---------------|---|
| | Proposition | Proposition beschreiben die kleinsten sinntragenden Einheiten eines chemischen Phänomens. Sie sind abhängig von dem Vorwissen einer Person und der Situation, in der sie gebildet werden. Ein Subjekt muss eine Entscheidung darüber treffen, welche Proposition dem vorgestellten chemischen Phänomen zu Grunde liegt. Wenn die Form eines Schneekristalls den chemischen Problemgegenstand darstellt, so können der Stoff Wasser, die räumliche Anordnung der Moleküle oder einzelne Atome oder Atomgruppen, aus denen Wasser besteht, zur Erklärung herangezogen werden und als Proposition aufgefasst werden. | | (Lesh, Hoover, Hole, Kelly, & Post, 2000; Rost, 2021; Scheide, 2018) |
| | Makroskopisch | Beschreibung erfahrbarer, sichtbarer bzw. beobachtbarer Eigenschaften von Stoffen und sensorisch wahrnehmbare Phänomene. Eigenschaften und Zustände, die durch Konzepte wie Temperatur, Druck, Dichte oder den pH-Wert sichtbar und erfahrbar gemacht werden können. Hierunter werden Stoffeigenschaften und deren Veränderungen verstanden (Temperaturänderung, Druckänderung bei einem Experiment). | | (Gilbert & Treagust, 2009b; Jaber & BouJaoude, 2012; Johnstone, 1982, 1991, 1993, 2000; Nakoinz, 2015; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Taber, 2009, 2013) |
| CM 1 | Stoff oder Stoffgemisch | Die Proband:in nennt sichtbare Materie auf Stoffebene. Dabei kann es sich um einen Stoff handeln, der | | (Johnstone, 1982, 1991, 1993, 2000; Nyachwaya & Wood, |

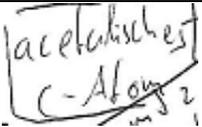
| | | | | |
|------|--------------------|---|---|---|
| | | <p>aus einem Element besteht (Gold) oder einem Stoffgemisch. Es kann sich um einen Feststoff, um eine Flüssigkeit oder um ein Gas handeln.</p> <p>Hinweis: Der Stoff muss sensorisch wahrnehmbar sein (er ist entweder sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar – auf das Schmecken wird in der Chemie grundsätzlich verzichtet)</p> | <p><u>Erdöl</u></p> <p>(Vorstudie, Proband:in: IRIM1564_E)</p> | <p>2014; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Taber, 2013; Talanquer, 2011; Treagust & Chandrasegran, 2009; Tsaparlis, 2009)</p> |
| CM 2 | Stoffeigenschaften | <p>Es wird eine oder es werden mehrere Stoffeigenschaften eines Stoffes beschrieben.</p> <p>Es können Physikalische Stoffeigenschaften (wie Härte, Schmelztemperatur, Wasserlöslichkeit, Oberflächenspannung, elektrische Leitfähigkeit oder optische Aktivität) oder chemische Stoffeigenschaften (wie Brennbarkeit, Explosivität oder Angreifbarkeit durch Säuren oder Laugen) genannt werden.</p> <p>Hinweis: Die Stoffeigenschaft muss sensorisch wahrnehmbar sein (er ist</p> | <p><u>brennbar</u></p> <p>(Vorstudie, Proband:in: ALNS1183_E)</p> | <p>(Jaber & BouJaoude, 2012; Johnstone, 1982, 1991, 1993, 2000; Sumfleth & Nakoinz, 2019)</p> |

| | | | | |
|------|-------------------------------|--|--|---|
| | | entweder sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar) | | |
| CM 3 | Aggregatzustand | Beschreibung des Aggregatzustandes eines Stoffes, der entweder sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar ist. |  (Vorstudie, Proband:in: STAS2663_E) | (Bucat & Mocerino, 2009) |
| CM 4 | Benennung einer Zustandsgröße | Benennung einer Zustandsgröße wie Energie, Temperatur, Masse, Druck, Konzentration oder Dichte. Hinweis: Die Zustandsgröße muss sensorisch wahrnehmbar sein (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar). Der Code wird nicht vergeben, wenn eine Veränderung der Zustandsgröße beschrieben wird. Wird dies beschrieben, muss der CM 29 vergeben werden. |  (Vorstudie, Proband:in: IRIM1564_E) | (Nakoinz, 2015; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Taber, 2009; Talanquer, 2011; Treagust & Chandrasegran, 2009) |
| CM 5 | pH-Wert | Bezifferung oder Benennung des pH-Wertes. Hinweis: Der Code wird nicht vergeben, wenn eine numerische Veränderung der pH-Wertes |  (Vorstudie, Proband:in: TAAN1234_S) | (Nakoinz, 2015; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Treagust & Chandrasegran, 2009) |

| | | | | |
|------|---------------|--|--|--|
| | | beschrieben wird. Wird dies benannt, wird der Code CM 30 gegeben. | | |
| CM 6 | pH-Indikator | <p>Es wird entweder die Existenz eines Indikators benannt oder der Universalindikator in Farben beschrieben.</p> <p>Hinweis: Wird eine farbliche Veränderung des Indikators beschrieben, wird der Code CM 31 gegeben.</p> | <p>pH-Indikator</p> <p>(Vorstudie, Proband:in: JAAN2926_E)</p> | (Treagust & Chandrasegran, 2009; van Berkel, Pilot, & Bulte, 2009) |
| CM 7 | Säuren/ Basen | <p>Die Proband:in benennt eine Säure oder Base auf Stoffebene.</p> <p>Hinweis: Der Stoff muss sensorisch wahrnehmbar sein (er ist entweder sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar – auf das Schmecken wird in der Chemie grundsätzlich verzichtet)</p> | <p>Säure</p> <p>(Vorstudie, Proband:in: JAAN2926_E)</p> | (van Berkel et al., 2009) |
| CM 8 | Salze | <p>Die Proband:in benennt ein Salz auf Stoffebene.</p> <p>Hinweis: Der Stoff muss sensorisch wahrnehmbar sein (er ist entweder sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar – auf das Schmecken wird in der Chemie grundsätzlich verzichtet)</p> | | (Tan, Goh, Chia, & Treagust, 2009) |

| | | | | |
|-------|---------------------------|---|---|--------------------------|
| CM 9 | Das Labor | Die Proband:in benennt das Labor oder einzelne Ausstattungsstücke oder Labortätigkeiten, die sie visuell oder taktil wahrnehmen kann. |  (Vorstudie: Proband:in: ALNS1183_E) | (Tsaparis, 2009) |
| CM 10 | Löslichkeit eines Stoffes | Die Proband:in benennt, dass sich ein Stoff in einem anderem löst (oder nicht), ohne dabei auf den zu lösenden Stoff oder das Lösungsmittel einzugehen. Hinweis: Beschreibt die Proband:in, dass sich ein Stoff besser oder schlechter in einem Lösemittel löst, dann wird der Code CM 32 vergeben. Dieser Vorgang muss sensorisch wahrnehmbar sein (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar). |  (Vorstudie, Proband:in: FRAS1632_O) | (Bucat & Mocerino, 2009) |
| CM 11 | Verbrennung/Explosion | Die Proband:in benennt oder beschreibt explizit eine Verbrennung oder Explosion. Hinweis: Dieser Vorgang kann sensorisch wahrgenommen werden (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar). |  (Vorstudie, Proband:in: IRIM1564_E) | Induktiv entwickelt |

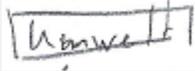
| | | | | |
|------------------|---|--|--|--|
| <p>CM 12</p> | <p>Örtliche Voraussetzung des Phänomens/Experiments</p> | <p>Die Proband:in benennt oder beschreibt eine Örtlichkeit, in der das Phänomen oder Experiment gesichtet werden kann. Hierbei kann es sich um eine Laborumgebung oder um eine nicht chemiespezifische Örtlichkeit handeln.</p> <p>Hinweis: Dieser Vorgang kann sensorisch wahrgenommen werden (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar).</p> |  <p>(Vorstudie, Proband:in: ALNS1183_E)</p> | <p>Verändert nach: (Tsaparlis, 2009)</p> |
| <p>CM 13</p> | <p>Herstellung</p> | <p>Die Proband:in benennt oder beschreibt die Herstellung eines Stoffes, ohne dabei auf chemische Verfahrensweisen oder chemische Reaktionen einzugehen.</p> <p>Hinweis: Dieser Vorgang kann sensorisch wahrgenommen werden (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar).</p> |  <p>(Vorstudie, Proband:in: STAS2663_E)</p> | <p>Induktiv entwickelt</p> |
| <p>CM 14</p> | <p>Vorkommen</p> | <p>Die Proband:in benennt oder beschreibt das Vorkommen eines Stoffes.</p> <p>Hinweis: Dieser Vorgang kann sensorisch wahrgenommen werden</p> |  | <p>Induktiv entwickelt</p> |

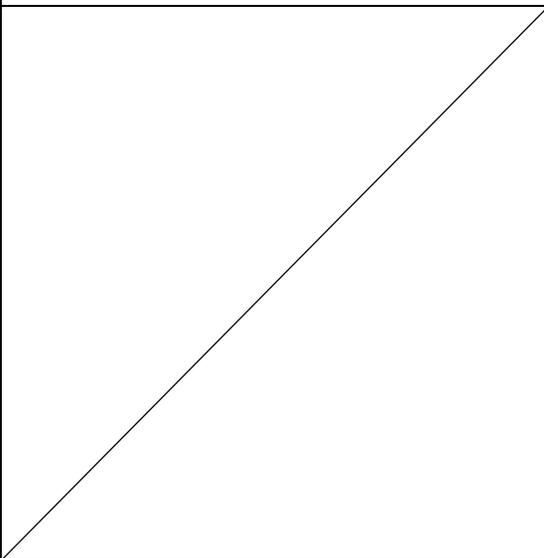
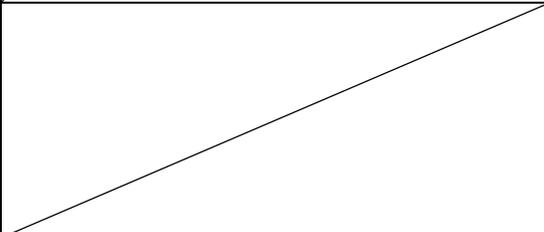
| | | | | |
|------------------|---------|--|--|--|
| | | (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar). | (Vorstudie, Proband:in: TAAN1234_S) | |
| Submikroskopisch | | Die submikroskopische Ebene basiert auf einer Beschreibung auf Teilchenebene und dient zur Erklärung chemischer Phänomene. Die Konzepte, die zur Erklärung herangezogen werden, sind nur auf der Teilchenebene interpretierbar. Beispielsweise können für diese Ebene chemische Bindungen, Atome, Ionen und Moleküle sowie Wechselwirkungen von Teilchen angeführt werden. | | (Gilbert & Treagust, 2009a; Jaber & BouJaoude, 2012; Johnstone, 1982, 1991, 1993, 2000; Nakoinz, 2015; Sumfleth & Nakoinz, 2019) |
| CM 15 | Atom | Die Proband:in benennt ein Atom oder Atomgruppen. |  (Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O) | (Ben-Zvi, Eylon, & Silberstein, 1988; Johnstone, 1982, 1993; Nakoinz, 2015; Nyachwaya & Wood, 2014; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Taber, 2009, 2013; Treagust & Chandrasegran, 2009) |
| CM 16 | Molekül | Die Proband:in benennt ein Molekül oder mehrere Moleküle. Hinweis: Werden Bindungen oder zwischen-molekulare Kräfte anhand eines Moleküls besprochen, dann |  (Vorstudie, Proband:in: STAS2663_E) | (Ben-Zvi et al., 1988; Johnstone, 1982, 1993, 2000; Nakoinz, 2015; Nyachwaya & Wood, 2014; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Taber, |

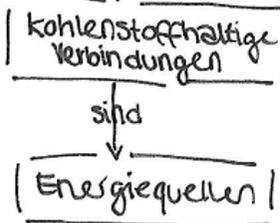
| | | | | |
|------------|---------------|---|--|--|
| | | wird entweder der Code CM 45 oder der Code CM 46 vergeben. | | 2009; Treagust & Chandrasegran, 2009) |
| CM 17 | Ion | Die Proband:in benennt ein oder mehrere Ionen. Der Code wird auch vergeben, wenn die Proband:in über ein elektrisch geladenes Teilchen, schreibt/spricht. | | (Johnstone, 1982, 1993, 2000; Nakoinz, 2015; Nyachwaya & Wood, 2014; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Taber, 2009; Treagust & Chandrasegran, 2009) |
| CM 18 | Elektron | Die Proband:in benennt ein oder mehrere Elektronen. | | (Taber, 2009, 2013) |
| Symbolisch | | Die symbolische Ebene dient der Kommunikation zwischen der makroskopischen und submikroskopischen Ebene. Sie kann somit als Mediator angesehen werden. Sie dient der Visualisierung. Aus diesem Grund werden hierzu alle Arten symbolischer Darstellungsweisen gezählt, wie Modelle (visualisiert), Symbole, Grafiken, Diagramme, mathematische Zeichen und Reaktionsgleichungen, die makroskopische oder submikroskopische Zusammenhänge grafisch darstellen. | | (Jaber & BouJaoude, 2012; Johnstone, 1982, 1991, 1993, 2000; Nakleh & Krajcik, 1994; Nakoinz, 2015; Sieve, 2012; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Taber, 2009; Treagust, Chittleborough, & Mamiala, 2003) |
| CM 19 | Elementsymbol | Die Proband:in benennt ein chemisches Symbol. | | (Johnstone, 1982, 1993, 2000; Nakoinz, 2015; Nyachwaya & Wood, 2014; Sumfleth |

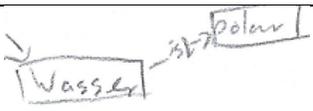
| | | | | |
|----------|--|--|--|--|
| | | | | & Nakoinz, 2019; Taber, 2009, 2013; Treagust & Chandrasegran, 2009) |
| CM 20 | Benennung eines Orbitals | Die Proband:in benennt ein Orbital (s,p,d,f usw.) als Aufenthaltswahrscheinlichkeit für ein Elektron oder gibt Orbitale als modellhafte Vorstellung an. Es kann auch lediglich über die Existenz eines Orbitals berichtet werden. | | (Taber, 2009, 2013) |
| CM 21 | Benennung einer Schale (Schalenmodell) | Es wird angegeben, auf welcher Schale (K, L, M usw.) sich ein Elektron befindet oder es wird die modellhafte Vorstellung über die Existenz von Schalen geäußert. Hinweis: Wenn berichtet wird, dass sich Elektronen auf verschiedenen Schalen aufhalten und diese miteinander verglichen werden, dann wird der CM 37 vergeben. | | (Taber, 2009) |
| CM 22 | Ordnungszahl | Es wird eine Ordnungszahl bzw. die Kernladungszahl verbal oder schriftlich als Formelzeichen (Z) angegeben. Es kann auch lediglich | | (Taber, 2009) |

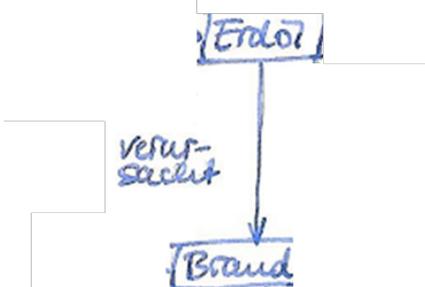
| | | | | |
|----------|--|--|--|--|
| | | über die Existenz der Ordnungszahl berichtet werden. | | |
| CM 23 | Atommasse (Atomgewicht) | Die Proband:in beziffert die Atommasse oder benennt lediglich deren Existenz. Diese kann als absolute Atommasse oder als relative Atommasse angegeben werden. | | (Taber, 2009) |
| CM 24 | Chemisches oder mathematisches Formelzeichen | Angabe eines <u>einzelnen</u> chemischen oder mathematischen Formelzeichens, wie der Stoffmenge (n). Hinweis: Wenn eine chemische oder mathematische Formel bzw. Gleichung angegeben wird, dann wird der CM 52 vergeben. | | (Nakoinz, 2015; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Taber, 2009) |
| CM 25 | Naturwissenschaftliche Konstanten | Angabe einer einzelnen Naturkonstante, wie der absolute Nullpunkt der Temperatur. Hinweis: Wird eine Naturkonstante in einer mathematischen bzw. chemischen Formel angegeben, so wird der Code CM 52 vergeben. | | (Taber, 2009) |
| CM 26 | Angaben von Oxidationszahlen | Die Proband:in benennt die Existenz von Oxidationszahlen oder gibt einzelne Oxidationszahlen von | | (Taber, 2009) |

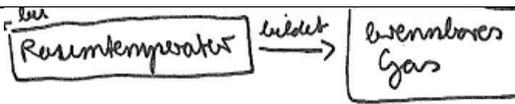
| | | | | |
|---------------|-----------------------|--|--|--|
| | | <p>Komponenten in einer chemischen Verbindung an.</p> <p>Hinweis: Wenn die Proband:in zwei Oxidationszahlen miteinander vergleicht, wird der Code CM 38 vergeben.</p> <p>Zielt die Betrachtung auf eine Redoxreaktion ab, dann wird der Code CM 55 vergeben.</p> | | |
| CM 27 | Proposition Sonstiges | <p>Unter diese Kategorie fallen alle sensorisch wahrnehmbaren Äußerungen (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar), der keinem eindeutige chemischen Kontext zugeordnet werden kann.</p> |  (Vorstudie, Proband:in: JAAN2926_E) | Induktiv entwickelt |
| Relation | | <p>Unter Relation werden Beziehungen verstanden, die den Propositionen zu Grunde liegen. Die Relation setzen somit eine Identifikation der Proposition voraus. Sie können beispielsweise eine unterschiedliche Ladungsverteilung in einem Wassermolekül darstellen oder verschiedene Zahlenverhältnisse, wie auch im Verhältnis zueinander verschiedene physikalische Größen abbilden. Relation bilden somit eine formale Gegenüberstellung zweier Größen ab.</p> <p>Auch die Relation sind abhängig von dem Vorwissen einer Person und der Situation, in der sie gebildet werden.</p> | | (Lesh et al., 2000; Rost, 2021; Scheide, 2018) |
| Makroskopisch | | | | |

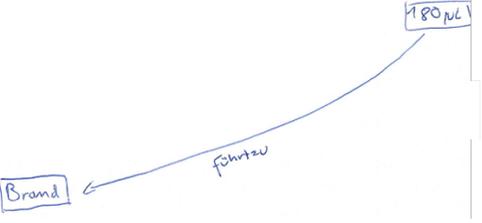
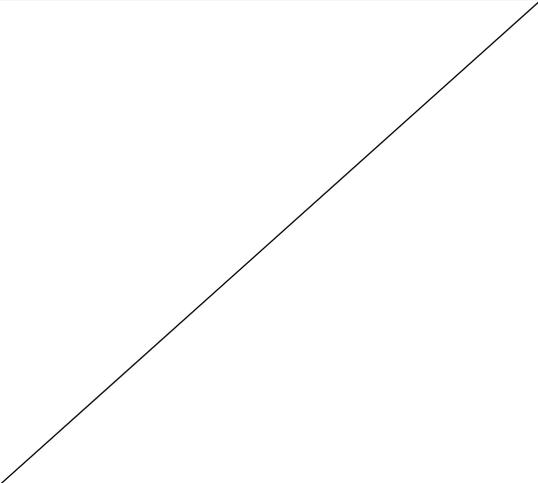
| | | | | |
|------------------|---------------------------------------|---|---|--|
| <p>CM 28</p> | <p>Änderung des Aggregatzustandes</p> | <p>Es wird nur die Veränderung von beispielsweise fest zu flüssig beschrieben ohne, dass eine Ursache bzw. Einwirkung benannt wird.</p> <p>Hinweis: Begründet die Proband:in die Änderung des Aggregatzustandes mit Hilfe eines externen Einflusses, dann wird der Code CM 42 vergeben.</p> | <p> (Vorstudie, Proband:in: IRIM1564_E)</p> | <p>(Bucat & Mocerino, 2009)</p> |
| <p>CM 29</p> | <p>Änderung einer Zustandsgröße</p> | <p>Die Proband:in beschreibt eine Änderung einer Zustandsgröße. Dies kann unter anderem die Abgabe oder Aufnahme von Licht oder Wärme, die Änderung der Masse, Konzentration oder die Änderung des Drucks sein.</p> <p>Hinweis: Diese Änderung konnte sie sensorisch wahrnehmen, beispielsweise visuell (Lichtblitz) oder einen Temperaturunterschied anhand eines Thermometers ablesen.</p> |  | <p>(Bucat & Mocerino, 2009; Nakoinz, 2015; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Taber, 2009; Talanquer, 2011; Treagust & Chandrasegran, 2009)</p> |
| <p>CM 30</p> | <p>Änderung des pH-Werts</p> | <p>Die Proband:in stellt eine numerische Änderung des pH-Wertes fest.</p> <p>Hinweis: Nur kodieren, wenn die Proband:in eine numerische Gegenüberstellung des pH-Werts</p> |  | <p>(Nakoinz, 2015; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Treagust & Chandrasegran, 2009)</p> |

| | | | | |
|------------------|---|--|---|---|
| | | vornimmt oder eine explizite Änderung betont. | | |
| CM 31 | Umschlag eines pH-Indikators | Es wird ein farblicher Umschlag eines pH-Indikators festgestellt. |  <p>(Hauptstudie, Proband:in: CLRT2557_sR)</p> | (Treagust & Chandrasegran, 2009; van Berkel et al., 2009) |
| CM 32 | Löslichkeitsverhalten von Stoffen | <p>Die Proband:in beschreibt, dass sich ein Stoff besser oder schlechter in einem Lösemittel löst.</p> <p>Hinweis: Dieser Vorgang muss sensorisch wahrnehmbar sein (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar).</p> |  <p>(Vorstudie, Proband:in: FRAS1632_O)</p> | (Bucat & Mocerino, 2009) |
| Submikroskopisch | | | | |
| CM 33 | Energetischer Zustand eines Teilchens/ Moleküls | Die Proband:in macht Angaben über den energetischen Zustand eines Teilchens oder Moleküls. Sie beschreibt beispielsweise, dass Teilchen durch Zufuhr von Energie in einen angeregten Zustand übergehen. Die Proband:in spricht Teilchen oder |  | (Bucat & Mocerino, 2009; Taber, 2013) |

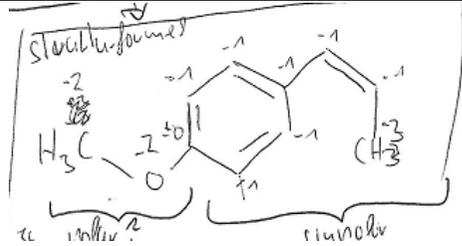
| | | | | |
|------------|--|---|---|--|
| | | Molekülen unterschiedliche Energielevel zu. | (Hauptstudie, Proband:in: BELD3536_sR) | |
| CM 34 | Ladungsverteilung im Molekül | Die Proband:in beschreibt eine Ladungsverteilung in einem Teilchen oder benennt diese ausdrücklich (beispielsweise ein Dipol oder eine Polarität). |  (Vorstudie, Proband:in: JAAN2926_O) | (Bucat & Mocerino, 2009) |
| Symbolisch | | | | |
| CM 35 | Summenformel/ Molekülformel | Die Proband:in setzt die Art und die Anzahl von Atomen <u>innerhalb</u> einer chemischen Verbindung in ein Verhältnis. |  (Hauptstudie, Proband:in: CLRT2557_sR) | (Johnstone, 1982, 1993, 2000; Taber, 2009, 2013; Treagust & Chandrasegran, 2009) |
| CM 36 | Molarität/ Stoffmengenkonzentration | Die Proband:in nimmt eine quantitative Beschreibung über die Zusammensetzung eines Stoffgemisches vor. <u>Hinweis:</u> Wenn die Proband:in allerdings eine Formel angibt ($c=n/V$) wird der Code CM 52 vergeben. | / | (Taber, 2009, 2013) |
| CM 37 | Elektronenkonfiguration | Die Proband:in macht Angaben über die Verteilung von Elektronen auf verschiedenen Energiezuständen bzw. Schalen (Schalenmodell) und damit gleichzeitig über | / | (Taber, 2009) |

| | | | | |
|---------------|---|--|--|---|
| | | unterschiedliche Aufenthaltsräume (Atomorbitale). | | |
| CM 38 | Vergleich von Oxidationszahlen | Die Proband:in vergleicht zwei Oxidationszahlen miteinander. | | (Taber, 2009) |
| CM 39 | Relation Sonstiges | Unter diese Kategorie fallen alle Beziehungen, die den Relation zu Grunde liegen, und keinem eindeutigen chemischen Kontext zugeordnet werden können. | | Induktiv entwickelt |
| Implikation | | Implikation kennzeichnen eine Wechselwirkung oder einer Veränderung, die sich auf Basis der Proposition und Relation ergibt. Beispielsweise kann eine Wasserstoffbrückenbindung als Implikation bezeichnet werden, die sich aus dem molekularen Aufbau des Wassers (Proposition) und der daraus resultierenden unterschiedlichen Ladungsverteilung im Molekül (Relation) ergibt. | | (Lesh et al., 2000; Rost, 2021; Scheide, 2018) |
| Makroskopisch | | | | |
| CM 40 | Benennung eines beobachtbaren Phänomens/ Experiments | Die Proband:in benennt oder beschreibt ein zu beobachtendes Phänomen oder Experiment. Es kann auch eine experimentierende Tätigkeit beschrieben werden. Dabei tritt eine Veränderung der Stoffe etc. auf. Hinweis: Das Experiment/Phänomen muss sensorisch wahrnehmbar sein |  | Verändert nach: (Johnstone, 1991; Nyachwaya & Wood, 2014; Tsaparlis, 2009) |

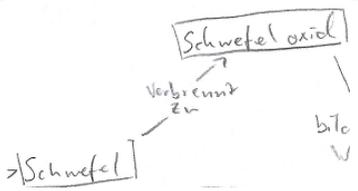
| | | | | |
|-------|--|---|--|--------------------------|
| | | (es ist entweder sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar). Es werden auch Phänomene kodiert, die fachlich nicht richtig sind. | (Hauptstudie, Proband:in: VEEN2854_E) | |
| CM 41 | Entropie | Es wird eine Übertragung bzw. eine Änderung der Entropie bei Zufuhr oder Abfuhr von Wärme beschrieben bzw. benannt. Hinweis: Wird nur kodiert, wenn die Proband:in kenntlich macht, dass eine Wärmeübertragung stattgefunden hat und dies sensorisch wahrnehmbar ist (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar). | | (Talanquer, 2011) |
| CM 42 | Änderung des Aggregatzustandes durch externen Einfluss | Die Proband:in beobachtet eine Änderung des Aggregatzustandes eines Stoffes und begründet dies durch einen externen Einfluss. Hinweis: Die Änderung muss sensorisch wahrnehmbar sein (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar). |  <p>(Hauptstudie, Proband:in: LYRK3125_E)</p> | (Bucat & Mocerino, 2009) |

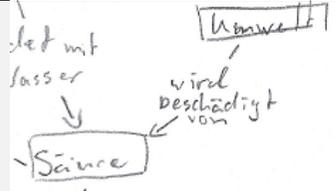
| | | | | |
|------------------|---|---|--|--|
| CM 43 | Sichtbare chemische Reaktion oder Redoxreaktion | Die Proband:in beschreibt eine sichtbare chemische Reaktion bzw. eine sichtbare Redoxreaktion. Hinweis: Dieser Vorgang muss sensorisch wahrnehmbar sein (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar). |  <p>(Vorstudie, Proband:in: ALNS1183_E)</p> | (Tan et al., 2009) |
| CM 44 | Explosionsgrenzen | Die Proband:in stellt einen Zusammenhang zwischen einer bestimmten Konzentration an brennbaren Gasen, Dämpfen oder Stäuben mit Luft und der Explosionsfähigkeit her. |  <p>(Vorstudie, Proband:in: ALNS1183_E)</p> | Induktiv entwickelt |
| Submikroskopisch | | | | |
| CM 45 | Wechselwirkungen von Teilchen | Die Proband:in beschreibt eine Wechselwirkung zwischen Teilchen. Hierbei kann es sich um Intra- oder Intermolekulare Wechselwirkungen handeln. Hinweis: Es muss zwischen einer Wechselwirkung und einer chemischen Bindung unterschieden werden. Unter Wechselwirkungen können Wechselwirkungen zwischen permanenten oder induzierten |  | (Gilbert & Treagust, 2009a; Jensen, 1998a, 1998b; Johnstone, 1982, 1991, 1993, 2000; Sumfleth & Nakoinz, 2019) |

| | | | | |
|----------|---|--|--|--|
| | | Dipolen, sowie Van der Waals Kräfte verstanden werden. | | |
| CM 46 | Chemische Bindung | Die Proband:in beschreibt einen Zusammenhalt von Teilchen in chemischen Stoffen. Hinweis: Chemische Bindungen sind von Wechselwirkungen abzugrenzen. Unter chemischen Bindungen werden Atombindungen, Metallbindungen und Ionenbindungen verstanden. |  <p>(Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O)</p> | (Johnstone, 1982, 1993, 2000; Nakoinz, 2015; Sumfleth & Nakoinz, 2019) |
| CM 47 | Säure-Base Theorie | Säuren und Basen werden als Teilchen beschrieben, zwischen denen eine Übertragung von Protonen (H^+) stattfindet (Theorie nach Brønsted). |  <p>(Hauptstudie, Proband:in: BELD3536_sR)</p> | (van Berkel et al., 2009) |
| CM 48 | Einfluss auf die Reaktionsgeschwindigkeit | Die Proband:in beschreibt auf Teilchenebene einen Einfluss auf die Reaktionsgeschwindigkeit. Hinweis: Unter Reaktionsgeschwindigkeit versteht | | (Johnstone, 1982, 1993; Taber, 2009) |

| | | | | |
|------------|---|--|--|--|
| | | man den Umsatz von Teilchen pro Zeit. | | |
| CM 49 | Teilchenbewegung | Die Proband:in beschreibt, dass sich Teilchen unterschiedlich schnell bewegen können. Dies ist abhängig von der ihnen zugefügten Energie. | | (Bucat & Mocerino, 2009) |
| Symbolisch | | | | |
| CM 50 | Orbitalmodell | Die Proband:in nutzt das Orbitalmodell für Erklärungen. Beispielsweise für die Erläuterung von chemischen Bindungen. | | (Taber, 2009) |
| CM 51 | Strukturformel | Die Proband:in beschreibt oder skizziert eine Strukturformel. Hinweis: Zu den Strukturformeln gehören Elektronenformeln, Valenzstrichformeln, Keilstrichformeln und Skelettformeln. |  <p>(Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O)</p> | (Johnstone, 1993, 2000; Taber, 2009, 2013; Treagust & Chandrasegran, 2009) |
| CM 52 | Mathematische Gleichungen/ Chemische Gleichung | Die Proband:in beschreibt oder skizziert eine mathematische bzw. chemische Gleichung bzw. Formel. Hinweis: Hierbei kann es sich um eine mathematisch korrekte Formel aber auch um eine inkorrekte Formel | | (Johnstone, 1982, 1993, 2000; Taber, 2013; Treagust & Chandrasegran, 2009) |

| | | | |
|----------|--------------------|---|---|
| | | handeln. Es muss aber ein nachvollziehbarer Zusammenhang zwischen mathematischen Objekten geschaffen werden. Dies kann auch anhand von chemischen Schreibweisen erfolgen. | |
| CM 53 | Stöchiometrie | <p>Die Proband:in leitet aus einer Reaktionsgleichung quantitative Informationen ab oder macht Angaben über ein stöchiometrisches Verhältnis.</p> <p><u>Hinweis:</u> Es werden auch Versuche kodiert, die keine korrekte stöchiometrische Betrachtung erkennen lässt.</p> | (Johnstone, 1982, 1993, 2000) |
| CM 54 | Graphen/ Diagramme | <p>Die Proband:in beschreibt oder skizziert einen Graphen im Sinne einer mathematischen Funktion oder ein Diagramm bzw. ein grafisches Schaubild, das Daten oder Informationen in einen grafischen Zusammenhang bringt.</p> <p><u>Hinweis:</u> Dieser Code wird auch vergeben, falls die Proband:in keine</p> | (Johnstone, 1982, 1993, 2000; Nakoinz, 2015; Nyachwaya & Wood, 2014; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Taber, 2013) |

| | | | | |
|-------|--|---|--|--|
| | | mathematisch korrekte Skizze/Beschreibung erkennen lässt. | | |
| CM 55 | Reaktionsgleichungen/ Redoxreaktionen | <p>Die Proband:in stellt in Form einer Wortgleichung oder in Symbolschreibweise eine chemische Reaktionsgleichung auf. Es werden Edukte, Produkte sowie ein Reaktionspfeil bei einer Stoffumwandlung angegeben. Die Proband:in macht durch eine Beschreibung oder eine Skizze eine Übertragung von Elektronen zwischen zwei Reaktionspartnern deutlich</p> <p>Hinweis: Es werden auch Versuche kodiert, die keine korrekte Reaktionsgleichung erkennen lassen.</p> |  <p>(Vorstudie, Proband:in: JAAN2926_E)</p> | (Johnstone, 1982, 1993, 2000; Nakoinz, 2015; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Taber, 2009, 2013; Treagust & Chandrasegran, 2009) |
| CM 56 | Modellhafte Visualisierungen und Ikonische Darstellung | <p>Die Proband:in erstellt eine Zeichnung/Skizze oder eine bildliche Darstellung/Repräsentation von Molekülen oder chemischen Reaktionen, die die submikroskopische Ebene <u>erklären</u>.</p> | | <p>(Sumfleth & Nakoinz, 2019; Talanquer, 2011; Treagust & Chandrasegran, 2009)</p> <p>(Chandrasegran, Treagust, & Mocerino, 2007; Gilbert & Treagust, 2009b;</p> |

| | | | | |
|----------|---|--|--|--|
| | | Hinweis: Die Proband:in muss die Darstellung explizit oder implizit als Erklärung nutzen. | | Nakoinz, 2015; Treagust et al., 2003) |
| CM 57 | Operation Sonstiges | Unter diese Kategorie fallen alle Wechselwirkungen, die sich auf Basis der Proposition und Relation ergeben und keinem eindeutigen chemischen Kontext zugeordnet werden können. |  <p>(Vorstudie, Proband:in: JAAN2926_E)</p> | Induktiv entwickelt |
| CM 58 | Unkorrekte Beschriftung von Map-Bestandteilen | Bestandteile der Map (Knoten oder beschriftete Pfeile) werden dieser Kategorie zugeordnet, wenn die Beschriftung nicht korrekt war. Hinweis: Abgleich mit den Regeln zur Erstellung einer Concept Map (Neuroth, 2007; Sumfleth et al., 2010) |  <p>(Vorstudie, Proband:in: COON2231_O)</p> | Induktiv entwickelt |
| CM 59 | Inhaltlich nicht interpretierbar | Dieser Code wird vergeben, wenn die Proband:in eine Einheit (bestehend aus zwei Knoten und einem beschrifteten Pfeil) zwar technisch richtig beschriftet hat, diese aber inhaltlich nicht auswertbar ist. |  <p>(Vorstudie, Proband:in: IRIM1564_E)</p> | Induktiv entwickelt |

2.2 Kodiermanual zur Analyse der Interviews

Allgemeine und studienbedingte Kategorien

| Code Nr. | Kategorie | Beschreibung, Definition und spezielle Kodierregel | Ankerbeispiel | Literatur |
|----------|-------------------------------------|--|---|---|
| I 1 | Beginn der Kodierung | Die Kodierung beginnt durch das Vorlesen der ersten Frage des Leitfadens durch die Interviewer:in. <u>Hinweis:</u> Siehe Interviewleitfaden (S. 230-231) | Ok, dann fangen wir an und zwar mit der ersten Frage. Könntest du mir beschreiben, wie du beim Erstellen der Concept-Map vorgegangen bist? (Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O) | (Doran, Lawrenz, & Helgeson, 1994; Gerling, 2013; Sonnenschein, 2019) |
| I 2 | Leitfragen durch die Interviewer:in | Die Interviewer:in stellt der Testperson gemäß dem Leitfaden eine Frage, die die Testperson beantworten soll. <u>Hinweis:</u> Siehe Interviewleitfaden (S. 230-231) | Ok, könntest du chronologisch beschreiben, wie du vorgegangen bist? (P: ähhh) Also, was du zuerst aufgeschrieben hast, was kam danach? (Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O) | Verändert nach: (Gerling, 2013; Sonnenschein, 2019) |
| I 3 | Rückfragen der Interviewer:in | Die Interviewer:in stellt der Testperson Fragen, die über den Leitfaden hinaus gehen. Dies können Rückfragen zum Verständnis sein oder aber weiterführende Fragen, die sich auf eine von der Testperson zuvor getätigten Aussage beziehen. | Wie meinst du das, ob die zu kurz kommen? (Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O) | Induktiv entwickelt |

| | | | | |
|-----|--|---|--|---|
| | | <u>Hinweis:</u> Siehe Interviewleitfaden (S. 230-231) | | |
| I 4 | sonstige Äußerungen der Interviewer:in | Die Interviewer:in macht Äußerungen oder Kommentare, die weder als Leitfrage (hierfür siehe Interviewleitfaden), noch als Rückfrage gewertet werden kann. | Ja. (Hauptstudie, Proband:in: CLRT2557_sR) | Verändert nach: (Sonnenschein, 2019) |
| I 5 | Sonstige Äußerungen die Proband:innen | Die Proband:in macht Aussagen oder Phrasen, die unspezifisch sind und keine Leitfrage gezielt beantworten. | Das könnte zum Beispiel ein Grund sein. (Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O) | Verändert nach: (Sonnenschein, 2019) |
| I 6 | Ende der Kodierung | Die Kodierung endet mit Verlesen der letzten Leitfrage. Diese ist nicht mehr Teil der Kodierung. Hinweis: siehe Interviewleitfaden (S. 230-231) | Ja. Ok. Ähm wie gehst du denn normalerweise vor, um dir beispielsweise irgendwelche unbekanntes chemisch-chemische Phänomene zu erklären? Also sei es jetzt im Alltag oder auch im Unterricht. Hast du da eine Strategie oder bestimmte (unv.). (Hauptstudie, Proband:in: BART1695_O) | Induktiv entwickelt |

Kategorien zum leitfadengestützten Interview

| Code Nr. | Kategorie | Beschreibung, Definition und spezielle Kodierregel | Ankerbeispiel | Literatur |
|---|-------------------------|---|---|---|
| Vorgehen beim Erstellen der Concept Map | | | | Leitfaden Interview |
| Chronologisches Vorgehen | | | | Leitfaden Interview |
| Identifikation der Proposition | | | | |
| Makroskopisch | | <p>Beschreibung erfahrbarer, sichtbarer bzw. beobachtbarer Eigenschaften von Stoffen und sensorisch wahrnehmbare Phänomene.</p> <p>Eigenschaften und Zustände, die durch Konzepte wie Temperatur, Druck, Dichte oder den pH-Wert sichtbar und erfahrbar gemacht werden können. Hierunter werden Stoffeigenschaften und deren Veränderungen verstanden (Temperaturänderung, Druckänderung bei einem Experiment).</p> | | (Gilbert & Treagust, 2009b; Jaber & BouJaoude, 2012; Johnstone, 1982, 1991, 1993, 2000; Nakoinz, 2015; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Taber, 2009, 2013) |
| I 7 | Stoff oder Stoffgemisch | <p>Die Proband:in nennt sichtbare Materie auf Stoffebene. Dabei kann es sich um einen Stoff handeln, der aus einem Element besteht (Gold) oder einem Stoffgemisch. Es kann sich um einen Feststoff, um eine Flüssigkeit oder um ein Gas handeln.</p> <p>Hinweis: Der Stoff muss sensorisch wahrnehmbar sein (er ist entweder sehbar, hörbar, riechbar</p> | <p>Also wir hatten ja als zentralen Element zentrales Element halt diesen Ouzo sozusagen ...</p> <p>(Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O)</p> | (Johnstone, 1982, 1991, 1993, 2000; Nyachwaya & Wood, 2014; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Taber, 2013; Talanquer, 2011; Treagust & |

| | | | | |
|------|-------------------------------|---|---|--|
| | | oder fühlbar – auf das Schmecken wird in der Chemie grundsätzlich verzichtet) | | Chandrasegran, 2009; Tsaparlis, 2009) |
| I 8 | Stoffeigenschaften | <p>Es wird eine oder es werden mehrere Stoffeigenschaften eines Stoffes beschrieben.</p> <p>Es können physikalische Stoffeigenschaften (wie Härte, Schmelztemperatur, Wasserlöslichkeit, Oberflächenspannung, elektrische Leitfähigkeit oder optische Aktivität) oder chemische Stoffeigenschaften (wie Brennbarkeit, Explosivität oder Angreifbarkeit durch Säuren oder Laugen) genannt werden.</p> <p>Hinweis: Die Stoffeigenschaft muss sensorisch wahrnehmbar sein (er ist entweder sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar)</p> | <p>... dass ne alle Flüssigkeiten ne mit Ausnahme von Anethol ne durchsichtig sind ne.</p> <p>(Hauptstudie, Proband:in: SAIO2326_O)</p> | (Jaber & BouJaoude, 2012; Johnstone, 1982, 1991, 1993, 2000; Sumfleth & Nakoinz, 2019) |
| I 9 | Aggregatzustand | <p>Beschreibung des Aggregatzustandes eines Stoffes, der entweder sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar ist.</p> | <p>... und fest ähm bei Raumtemperatur.</p> <p>(Hauptstudie, Proband:in: BEAN2144_sR)</p> | (Bucat & Mocerino, 2009) |
| I 10 | Benennung einer Zustandsgröße | <p>Benennung einer Zustandsgröße wie Energie, Temperatur, Masse, Druck, Konzentration oder Dichte.</p> <p>Hinweis: Die Zustandsgröße muss sensorisch wahrnehmbar sein (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar).</p> | <p>... dass das noch 40 % sozusagen Teil von Ouzo ist.</p> <p>(Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O)</p> | (Nakoinz, 2015; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Taber, 2009; Talanquer, 2011; Treagust & |

| | | | | |
|------|---------------------------|--|---|---|
| | | Der Code wird nicht vergeben, wenn eine Veränderung der Zustandsgröße beschrieben wird. | | Chandrasegran, 2009) |
| I 11 | pH-Wert | Bezifferung oder Benennung des pH-Wertes. Hinweis: Der Code wird nicht vergeben, wenn eine numerische Veränderung der pH-Wertes beschrieben wird. Wird dies benannt, wird der Code I 20 gegeben. | ... das es halt ein pH Wert von ungefähr 7 ist 8 gibt ... (Hauptstudie, Proband:in: BELD3536_sR) | (Nakoinz, 2015; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Treagust & Chandrasegran, 2009) |
| I 12 | pH-Indikator | Es wird entweder die Existenz eines Indikators benannt oder der Universalindikator in Farben beschrieben. Hinweis: Wird eine farbliche Veränderung des Indikators beschrieben, wird der Code I 21 gegeben. | ... dass halt der äh der pH Indikator ... (Hauptstudie, Proband:in: BELD3536_sR) | (Treagust & Chandrasegran, 2009; van Berkel et al., 2009) |
| I 13 | Das Labor | Die Proband:in benennt das Labor oder einzelne Ausstattungsstücke oder Labortätigkeiten, die sie visuell oder taktil wahrnehmen kann. | Äh ich habe probiert den Versuchsaufbau möglichst äh zwar detailliert aber auch möglichst übersichtlich darzustellen ... (Hauptstudie, Proband:in: BART1695_O) | (Tsaparlis, 2009) |
| I 14 | Löslichkeit eines Stoffes | Die Proband:in benennt, dass sich ein Stoff in einem anderem löst (oder nicht), ohne dabei auf den zu lösenden Stoff oder das Lösungsmittel einzugehen. | Danach kam sozusagen äh die Löslichkeit. (Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O) | (Bucat & Mocerino, 2009) |

| | | | | |
|------------------|--|---|--|---|
| | | Dieser Vorgang muss sensorisch wahrnehmbar sein (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar). | | |
| I 15 | Verbrennung/ Explosion | Die Proband:in benennt oder beschreibt explizit eine Verbrennung oder Explosion. Hinweis: Dieser Vorgang kann sensorisch wahrgenommen werden (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar). | ... wie die Explosion und den Brand (Hauptstudie, Proband:in: NART2928_E) | Induktiv entwickelt |
| I 16 | Örtlichkeit des Phänomens/ Experiments | Die Proband:in benennt oder beschreibt eine Örtlichkeit, in der das Phänomen oder Experiment gesichtet werden kann. Hierbei kann es sich um eine Laborumgebung oder um eine nicht chemiespezifische Örtlichkeit handeln. Hinweis: Dieser Vorgang kann sensorisch wahrgenommen werden (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar). | Also wie es in der Ölplattform zu dem Leck kam. (Hauptstudie, Proband:in: MAER3101_E) | Verändert nach: (Tsaparlis, 2009) |
| I 17 | Vorkommen | Die Proband:in benennt oder beschreibt das Vorkommen eines Stoffes. Hinweis: Dieser Vorgang kann sensorisch wahrgenommen werden (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar). | ... und ähm dass Erdöl zum Teil aus Petrolether besteht. (Hauptstudie, Proband:in: MAER3101_E) | Induktiv entwickelt |
| Submikroskopisch | | Die submikroskopische Ebene basiert auf einer Beschreibung auf Teilchenebene und dient zur Erklärung chemischer Phänomene. Die Konzepte, die zur Erklärung herangezogen werden, sind nur auf der Teilchenebene interpretierbar. Beispielsweise können für diese Ebene | | (Gilbert & Treagust, 2009b; Jaber & BouJaoude, 2012; |

| | | | | |
|------|---------|---|---|---|
| | | chemische Bindungen, Atome, Ionen und Moleküle sowie Wechselwirkungen von Teilchen angeführt werden. | | Johnstone, 1982, 1991, 1993, 2000; Nakoinz, 2015; Sumfleth & Nakoinz, 2019) |
| I 18 | Atom | Die Proband:in benennt ein Atom oder Atomgruppen. | ... also dem der OH-Gruppe zusammenhängt ... (Hauptstudie, Proband:in: VEAS1984_O) | (Ben-Zvi et al., 1988; Johnstone, 1982, 1993, 2000; Nakoinz, 2015; Nyachwaya & Wood, 2014; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Taber, 2009, 2013; Treagust & Chandrasegran, 2009) |
| I 19 | Molekül | Die Proband:in benennt ein Molekül oder mehrere Moleküle. Hinweis: Werden Bindungen anhand eines Moleküls besprochen, dann wird der Code I 29 vergeben. | Also das ist zum Beispiel ähm aus kurzkettigen Kohlenwasserstoff mm besteht ... (Hauptstudie, Proband:in: ANYU1851_sR) | (Ben-Zvi et al., 1988; Johnstone, 1982, 1993, 2000; Nakoinz, 2015; Nyachwaya & Wood, 2014; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Taber, 2009, 2013; Treagust & |

| | | | | |
|-----------------------------|---|---|--|--|
| | | | | Chandrasegran, 2009) |
| Identifikation der Relation | | | | |
| Makroskopisch | | | | |
| I 20 | Änderung des pH-Werts | Die Proband:in stellt eine numerische Änderung des pH-Wertes fest. Hinweis: Nur kodieren, wenn die Proband:in eine numerische Gegenüberstellung des pH-Werts vornimmt oder eine explizite Änderung betont. | ... die Flüssigkeit ist halt sauer am Ende. (Hauptstudie, Proband:in: CLRT2557_sR) | (Nakoinz, 2015; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Treagust & Chandrasegran, 2009) |
| I 21 | Umschlag eines pH-Indikators | Es wird ein farblicher Umschlag eines pH-Indikators festgestellt. | ... und dass ähm es einen Farbumschlag nach dem Schwenken gibt, ... (Hauptstudie, Proband:in: CLRT2557_sR) | (Treagust & Chandrasegran, 2009; van Berkel et al., 2009) |
| Submikroskopisch | | | | |
| I 22 | Energetischer Zustand von Stoffen | Die Proband:in macht Angaben darüber, dass bestimmte Stoffe als Energiequelle genutzt werden und implizit eine Angabe darüber, dass andere Stoffe keine Energiequelle darstellen. | ... also Energiequellen ... (Hauptstudie, Proband:in: BELD3536_sR) | Verändert nach: (Bucat & Mocerino, 2009; Taber, 2013) |

| | | | | |
|--------------------------------|---|---|--|---|
| I 23 | Ladungsverteilung im Molekül | Die Proband:in beschreibt eine Ladungsverteilung in einem Teilchen oder benennt diese ausdrücklich (beispielsweise ein Dipol oder eine Polarität). | ... und das hab ich dann immer in Verbindung gebracht mit dem unpolar und polar. (Hauptstudie, Proband:in: KORD0695_O) | (Bucat & Mocerino, 2009) |
| Identifikation der Implikation | | | | |
| Makroskopisch | | | | |
| I 24 | Benennung eines beobachtbaren Phänomens | Die Proband:in benennt oder beschreibt ein zu beobachtendes Phänomen oder Experiment. Es kann auch eine experimentierende Tätigkeit beschrieben werden. Dabei tritt eine Veränderung der Stoffe etc. auf. Hinweis: Das Experiment/Phänomen muss sensorisch wahrnehmbar sein (es ist entweder sehbar , hörbar , riechbar oder fühlbar). Es werden auch Phänomene kodiert, die fachlich nicht richtig sind. | Und das wenn man dann Ethanol nochmal ran nochmal dazu macht das es dann wieder klar wird. (Hauptstudie, Proband:in: KORD0695_O) | Verändert nach: (Johnstone, 1991; Nyachwaya & Wood, 2014; Tsaparlis, 2009) |
| I 25 | Löslichkeit in Abhängigkeit der Polarität | Die Proband:in beschreibt die Löslichkeit in Abhängigkeit der Polarität der zu lösenden Stoffe. | ... also man weiß ja das Wasser generell so ein Lösungsmittel für ähm für polare Stoffe ist sozusagen ... (Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O) | Induktiv entwickelt |

| | | | | |
|------------------|--|---|---|--|
| I 26 | Änderung des Aggregatzustandes durch externen Einfluss | Die Proband:in beobachtet eine Änderung des Aggregatzustandes eines Stoffes und begründet dies durch einen externen Einfluss. Hinweis: Die Änderung muss sensorisch wahrnehmbar sein (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar). | ... dass es verdunstet bei Raumtemperatur ... (Hauptstudie, Proband:in: LYRK3125_E) | (Bucat & Mocerino, 2009) |
| I 27 | Sichtbare chemische Reaktion oder Redoxreaktion | Die Proband:in beschreibt eine sichtbare chemischer Reaktion bzw. eine sichtbare Redoxreaktion. Hinweis: Dieser Vorgang muss sensorisch wahrnehmbar sein (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar). | ... und darunter geschrieben was für eine Reaktion dabei zu sehen war. (Hauptstudie, Proband:in: MIYA3173_E) | (Tan et al., 2009) |
| Submikroskopisch | | | | |
| I 28 | Säure-Base Theorie | Säuren und Basen werden als Teilchen beschrieben, zwischen denen eine Übertragung von Protonen (H^+) stattfindet (Theorie nach Brønsted). | ... und diese ist ja nötig für die Säure Base Reaktion, (Hauptstudie, Proband:in: SIAL0629_sR) | (van Berkel et al., 2009) |
| I 29 | Chemische Bindung | Die Proband:in beschreibt einen Zusammenhalt von Teilchen in chemischen Stoffen. | ... und äh von dem Anethol weiß ich dass es ein ähh diese Brückenbindung über f von einem C-Atom zum äh nächsten C-Atom über so eine O-Bindung hat. | (Johnstone, 1982, 1993, 2000; Nakoinz, 2015; |

| | | | | |
|---|----------------|---|---|--|
| | | Hinweis: Chemische Bindungen sind von Wechselwirkungen abzugrenzen. Unter chemischen Bindungen werden Atombindungen, Metallbindungen und Ionenbindungen verstanden. | (Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O) | Sumfleth & Nakoinz, 2019) |
| Symbolisch | | Die symbolische Ebene dient der Kommunikation zwischen der makroskopischen und submikroskopischen Ebene. Sie kann somit als Mediator angesehen werden. Sie dient der Visualisierung. Aus diesem Grund werden hierzu alle Arten symbolischer Darstellungsweisen gezählt, wie Modelle (visualisiert), Symbole, Grafiken, Diagramme, mathematische Zeichen und Reaktionsgleichungen, die makroskopische oder submikroskopische Zusammenhänge grafisch darstellen. | | (Jaber & BouJaoude, 2012; Johnstone, 1982, 1991, 1993, 2000; Nakleh & Krajcik, 1994; Nakoinz, 2015; Sieve, 2012; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Taber, 2009; Treagust et al., 2003) |
| I 30 | Strukturformel | Die Proband:in beschreibt oder skizziert eine Strukturformel. Hinweis: Zu den Strukturformeln gehören Elektronenformeln, Valenzstrichformeln, Keilstrichformeln und Skelettformeln. | Das hat diesen zyklischen Schluss. (Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O) | (Johnstone, 1993, 2000; Taber, 2009, 2013; Treagust & Chandrasegran, 2009) |
| Besonders wichtige Informationen für das Problemverständnis | | | | Leitfaden Interview |

| | | | | |
|---------------|---|---|---|--|
| I 31 | Aufbereitung von Stoffen | Die Proband:in beschreibt, dass ein Stoff in einem bestimmten Verfahren aufbereitet wird. | ... dass es ähm vielleicht schlecht für die Motoren sein kann wenn eine Säure dort ran kommt in die, ... Getriebe. Ja. (Hauptstudie, Proband:in: SIAL0629_sR) | Induktiv entwickelt |
| I 32 | Es wurde nichts als besonders wichtig erachtet. | Die Proband:in beschreibt, dass sie verwirrt ist und nichts als besonders wichtig extrahieren konnte. | | Induktiv entwickelt |
| Proposition | | | | |
| Makroskopisch | | | | |
| I 33 | Stoff oder Stoffgemisch | Die Proband:in nennt sichtbare Materie auf Stoffebene. Dabei kann es sich um einen Stoff handeln, der aus einem Element besteht (Gold) oder einem Stoffgemisch . Es kann sich um einen Feststoff , um eine Flüssigkeit oder um ein Gas handeln. Hinweis: Der Stoff muss sensorisch wahrnehmbar sein (er ist entweder sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar – auf das Schmecken wird in der Chemie grundsätzlich verzichtet) | Aber jetzt in dem Beispiel war es natürlich auch wichtig zu wissen welche Stoffe, ... (Hauptstudie, Proband:in: KORD0695_O) | (Johnstone, 1982, 1991, 1993, 2000; Nyachwaya & Wood, 2014; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Taber, 2013; Talanquer, 2011; Treagust & Chandrasegran, 2009; Tsaparlis, 2009) |
| I 34 | Stoffeigenschaften | Es wird eine oder es werden mehrere Stoffeigenschaften eines Stoffes beschrieben. | Also ich glaube am wichtigsten ist ähm die Eigenschaften der verschiedenen Flüssigkeiten, ... | (Jaber & BouJaoude, 2012; Johnstone, 1982, |

| | | | | |
|------|-------------------------------|--|--|---|
| | | <p>Es können physikalische Stoffeigenschaften (wie Härte, Schmelztemperatur, Wasserlöslichkeit, Oberflächenspannung, elektrische Leitfähigkeit oder optische Aktivität) oder chemische Stoffeigenschaften (wie Brennbarkeit, Explosivität oder Angreifbarkeit durch Säuren oder Laugen) genannt werden.</p> <p>Hinweis: Die Stoffeigenschaft muss sensorisch wahrnehmbar sein (er ist entweder sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar)</p> | (Hauptstudie, Proband:in: SUAS0758_O) | 1991, 1993, 2000; Sumfleth & Nakoinz, 2019) |
| I 35 | Aggregatzustand | <p>Beschreibung des Aggregatzustandes eines Stoffes, der entweder sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar ist.</p> | <p>... dass sich halt Moleküle gasförmig in dem geschlossenen Raum ansammeln.</p> <p>(Hauptstudie, Proband:in: MAER3101_E)</p> | (Bucat & Mocerino, 2009) |
| I 36 | Benennung einer Zustandsgröße | <p>Benennung einer Zustandsgröße wie Energie, Temperatur, Masse, Druck, Konzentration oder Dichte.</p> <p>Hinweis: Die Zustandsgröße muss sensorisch wahrnehmbar sein (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar).</p> | <p>... also von der Konzentration zum Brand, ...</p> <p>(Hauptstudie, Proband:in: VEEN2854_E)</p> | (Nakoinz, 2015; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Taber, 2009; Talanquer, 2011; Treagust & Chandrasegran, 2009) |

| | | | | |
|------|--------------|--|---|---|
| | | Der Code wird nicht vergeben, wenn eine Veränderung der Zustandsgröße beschrieben wird. Wird dies beschrieben, muss der I 46 vergeben werden. | | |
| I 37 | pH-Wert | Bezifferung oder Benennung des pH-Wertes. Hinweis: Der Code wird nicht vergeben, wenn eine numerische Veränderung der pH-Wertes beschrieben wird. Wird dies benannt, wird der Code I 47 gegeben. | ... neutral und sauer. (Hauptstudie, Proband:in: BELD3536_sR) | (Nakoinz, 2015; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Treagust & Chandrasegran, 2009) |
| I 38 | pH-Indikator | Es wird entweder die Existenz eines Indikators benannt oder der Universalindikator in Farben beschrieben. Hinweis: Wird eine farbliche Veränderung des Indikators beschrieben, wird der Code I 48 gegeben. | Ähm also pH Indikator wurde ja auch nochmal als extra so ein Feld und ... (Hauptstudie, Proband:in: BEAN2144_sR) | (Treagust & Chandrasegran, 2009; van Berkel et al., 2009) |
| I 39 | Das Labor | Die Proband:in benennt das Labor oder einzelne Ausstattungstücke oder Labortätigkeiten, die er visuell oder taktil wahrnehmen kann. | ... dass es verschlo verschlossen wird durch einen Stopfen, ... (Hauptstudie, Proband:in: CLRT2557_sR) | (Tsaparlis, 2009) |

| | | | | |
|------|--|--|--|--|
| I 40 | Verbrennung/ Explosion | Die Proband:in benennt oder beschreibt explizit eine Verbrennung oder Explosion. <u>Hinweis:</u> Dieser Vorgang kann sensorisch wahrgenommen werden (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar). | Erster Raum hat Brennung. (Hauptstudie, Proband:in: MIYA3173_E) | Induktiv entwickelt |
| I 41 | Örtlichkeit des Phänomens/ Experiments | Die Proband:in benennt oder beschreibt eine Örtlichkeit, in der das Phänomen oder Experiment gesichtet werden kann. Hierbei kann es sich um eine Laborumgebung oder um eine nicht chemiespezifische Örtlichkeit handeln. <u>Hinweis:</u> Dieser Vorgang kann sensorisch wahrgenommen werden (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar). | ... also das zum Beispiel Raum A und B in der Nähe voneinander waren. (Hauptstudie, Proband:in: NART2928_E) | Verändert nach: (Tsaparlis, 2009) |
| I 42 | Vorkommen | Die Proband:in benennt oder beschreibt das Vorkommen eines Stoffes. <u>Hinweis:</u> Dieser Vorgang kann sensorisch wahrgenommen werden (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar). | ... das es in Erdöl vorkommt, ... (Hauptstudie, Proband:in: CLNS2860_sR) | Induktiv entwickelt |

| Submikroskopisch | | | | |
|------------------|---------|---|---|---|
| I 43 | Atom | Die Proband:in benennt ein Atom oder Atomgruppen. | ... und wie gesagt die OH-Gruppe. (Hauptstudie, Proband:in: VEAS1984_O) | (Ben-Zvi et al., 1988; Johnstone, 1982, 1993, 2000; Nakoinz, 2015; Nyachwaya & Wood, 2014; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Taber, 2009, 2013; Treagust & Chandrasegran, 2009) |
| I 44 | Molekül | Die Proband:in benennt ein Molekül oder mehrere Moleküle. | Dann kohlenstoffhaltige Verbindungen, ... (Hauptstudie, Proband:in: BELD3536_sR) | (Ben-Zvi et al., 1988; Johnstone, 1982, 1993, 2000; Nakoinz, 2015; Nyachwaya & Wood, 2014; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Taber, 2009, 2013; Treagust & Chandrasegran, 2009) |
| Relation | | | | |

| Makroskopisch | | | | |
|---------------|-----------------------------------|---|---|--|
| I 45 | Energetischer Zustand von Stoffen | Die Proband:in macht Angaben darüber, dass bestimmte Stoffe als Energiequelle genutzt werden und implizit eine Angabe darüber, dass andere Stoffe keine Energiequelle darstellen. | ... Energiequellen ... (Hauptstudie, Proband:in: BELD3536_sR) | Verändert nach: (Bucat & Mocerino, 2009; Taber, 2013) |
| I 46 | Änderung einer Zustandsgröße | Die Proband:in beschreibt eine Änderung einer Zustandsgröße. Dies kann unter anderem die Abgabe oder Aufnahme von Licht oder Wärme, die Änderung der Masse, Konzentration oder die Änderung des Drucks sein. Hinweis: Diese Änderung konnte er sensorisch wahrnehmen, beispielsweise visuell (Lichtblitz) oder einen Temperaturunterschied anhand eines Thermometers ablesen. | ... wenn ich jetzt da wirklich nochmal recht viel Wasser drauf macht das ich dann sozusagen diese Prozentzahlen auch schon deutlich verschieben werden ... (Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O) | (Bucat & Mocerino, 2009; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Taber, 2009; Talanquer, 2011; Treagust & Chandrasegran, 2009) |
| I 47 | Änderung des pH-Werts | Die Proband:in stellt eine numerische Änderung des pH-Wertes fest. Hinweis: Nur kodieren, wenn die Proband:in eine numerische Gegenüberstellung des pH-Werts vornimmt oder eine explizite Änderung betont. | Das ähm das Wasser vorher im Erlenmeyerkolben neutral ist. (Hauptstudie, Proband:in: CLRT2557_sR) | (Nakoinz, 2015; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Treagust & Chandrasegran, 2009) |

| | | | | |
|------------------|---|---|--|---|
| I 48 | Umschlag eines pH-Indikators | Es wird ein farblicher Umschlag eines pH-Indikators festgestellt. | Also der Farbumschlag rot zeigt mir halt an, ... (Hauptstudie, Proband:in: CLRT2557_sR) | (Treagust & Chandrasegran, 2009; van Berkel et al., 2009) |
| I 49 | Löslichkeitsverhalten von Stoffen | Die Proband:in beschreibt, dass sich ein Stoff besser oder schlechter in einem Lösemittel löst. Hinweis: Dieser Vorgang muss sensorisch wahrnehmbar sein (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar). | ... dass das vermutlich wirklich nur mit Löslichkeit zu tun hat. (Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O) | (Bucat & Mocerino, 2009) |
| Submikroskopisch | | | | |
| I 50 | Ladungsverteilung im Molekül | Die Proband:in beschreibt eine Ladungsverteilung in einem Teilchen oder benennt diese ausdrücklich (beispielsweise ein Dipol oder eine Polarität). | ... beziehungsweise weil ja auch äh gesagt wurde auch auf diesen polaren und den unpolaren Aspekt eingegangen wurde habe ich mir halt auch in der äh Map das notiert, ... (Hauptstudie, Proband:in: BART1695_O) | (Bucat & Mocerino, 2009) |
| Implikation | | | | |
| Makroskopisch | | | | |
| I 51 | Reaktion in Abhängigkeit der Stoffkonzentration | Die Proband:in beschreibt die Reaktion in Abhängigkeit der eingesetzten Stoffkonzentration. | ... obwohl man mit gleichen ähm Mittel experimentiert hat eine andere Reaktion zu sehen war. (Hauptstudie, Proband:in: MIYA3173_E) | Induktiv entwickelt |

| | | | | |
|------|--|---|---|---|
| I 52 | Benennung eines beobachtbaren Phänomens | <p>Die Proband:in benennt oder beschreibt ein zu beobachtendes Phänomen oder Experiment. Es kann auch eine experimentierende Tätigkeit beschrieben werden. Dabei tritt eine Veränderung der Stoffe etc. auf.</p> <p>Hinweis: Das Experiment/Phänomen muss sensorisch wahrnehmbar sein (es ist entweder sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar).</p> <p>Es werden auch Phänomene kodiert, die fachlich nicht richtig sind.</p> | <p>... weil sozusagen das auf jeden Fall erstmal überhaupt die Beobachtung zumindestens erklären kann, ...</p> <p>(Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O)</p> | <p>Verändert nach: (Johnstone, 1991; Nyachwaya & Wood, 2014; Tsaparlis, 2009)</p> |
| I 53 | Änderung des Aggregatzustandes durch externen Einfluss | <p>Die Proband:in beobachtet eine Änderung des Aggregatzustandes eines Stoffes und begründet dies durch einen externen Einfluss.</p> <p>Hinweis: Die Änderung muss sensorisch wahrnehmbar sein (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar).</p> | <p>... weil es in der Raum Raumtemperatur schon verdunstet.</p> <p>(Hauptstudie, Proband:in: ANYU1851_E)</p> | <p>(Bucat & Mocerino, 2009)</p> |
| I 54 | Sichtbare chemische Reaktion oder Redoxreaktion | <p>Die Proband:in beschreibt eine sichtbare chemischer Reaktion bzw. eine sichtbare Redoxreaktion.</p> | <p>... dass es dann mit Sauerstoff reagiert.</p> <p>(Hauptstudie, Proband:in: SIAL0629_sR)</p> | <p>(Tan et al., 2009)</p> |

| | | | | |
|---|-----------------------|--|---|---|
| | | Hinweis: Dieser Vorgang muss sensorisch wahrnehmbar sein (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar). | | |
| Symbolisch | | | | |
| I 55 | Strukturformel | Die Proband:in beschreibt oder skizziert eine Strukturformel. Hinweis: Zu den Strukturformeln gehören Elektronenformeln, Valenzstrichformeln, Keilstrichformeln und Skelettformeln. | Ich weiß jetzt halt sozusagen es gibt ja diese Strukturformeln mit den bin ich jetzt nicht so bekannt, ... (Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O) | (Johnstone, 1993, 2000; Taber, 2009, 2013; Treagust & Chandrasegran, 2009) |
| I 56 | Graphen/ Diagramme | Die Proband:in beschreibt oder skizziert einen Graphen im Sinne einer mathematischen Funktion oder ein Diagramm bzw. ein grafisches Schaubild, das Daten oder Informationen in einen grafischen Zusammenhang bringt. Hinweis: Dieser Code wird auch vergeben, falls die Proband:in keine mathematisch korrekte Skizze/Beschreibung erkennen lässt. | ... da war sozusagen dieser Graph zu sehen mit dem äh Ethanolgehalt ... (Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O) | (Johnstone, 1982, 1993, 2000; Nakoinz, 2015; Nyachwaya & Wood, 2014; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Taber, 2013) |
| Individuelles Vorgehen zum Aufstellen einer Hypothese | | | | |
| Abfrage Definition einer Hypothese | | | | |

| | | | | |
|------|---------------------------------|---|---|---|
| I 57 | Definition richtig | <p>Die Proband:in benennt, dass eine Hypothese eine begründete Vermutung ist und ein Zusammenhang zwischen Variablen untersucht werden soll.</p> <p><u>Hinweis:</u> Die in dieser Arbeit verwendete Definition einer Hypothese lautet: Eine Hypothese ist eine begründete Vermutung über einen bisher unbekanntem Zusammenhang. Zumeist bezieht sich die Vermutung auf einen Zusammenhang zwischen (mindestens) zwei Variablen.</p> | <p>P: Also ähm die Def. in der Hypothese möchte ich sozusagen meine Vermutung äußern und ich möchte die Hypothese so äußern, dass sie sozusagen klar verifizierbar ist ähm klar man klar erkennen kann ob es richtig oder falsch ist sozusagen, ob ich das irgendwie anhand praktischer Daten testen kann und ich möchte sozusagen ähm verhindern, dass ich sozusagen mehrere Einflussvariablen hat.</p> <p>(Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O)</p> | <p>Verändert nach: (Döring & Bortz, 2016; Hartmann & Lois, 2015; Langlet, 2013; Popper, 1935; Sommer & Pfeier, 2019)</p> |
| I 58 | Definition teilweise richtig | <p>Die Proband:in beschreibt nur Teile der Definition (siehe Definition Hypothese). Hierbei kann sie entweder nur beschreiben, dass eine Hypothese eine begründete Vermutung darstellt oder sie beschreibt einen Zusammenhang von Variablen, der untersucht werden soll.</p> | <p>Eine Hypothese ist eine Annahme, die ich zu einem Sachverhalt tätige von dem ich noch den Ausgang noch nicht weiß aber ne Vermutung was passieren könnte.</p> <p>(Hauptstudie, Proband:in: BART1695_O)</p> | <p>Induktiv entwickelt</p> |

| | | | | |
|---|-------------------------|--|---|--|
| I 59 | Definition falsch | Keine der genannten Aspekte zur Definition einer Hypothese wird benannt. | Äh halt was man erstmal denkt oder seiner eigenen Gedanken zu dem, zu der Fragestellung die man erst aufstellt, ohne sich jetzt wirklich, vorher intensiv damit befasst zu haben was die Antwort ist. (Hauptstudie, Proband:in: BEAN2144_sR) | Induktiv entwickelt |
| Vorgehen zum Aufstellen einer Hypothese | | | | |
| Nutzen von Proposition | | | | |
| Makroskopisch | | | | |
| I 60 | Stoff oder Stoffgemisch | Die Proband:in nennt sichtbare Materie auf Stoffebene. Dabei kann es sich um einen Stoff handeln, der aus einem Element besteht (Gold) oder einem Stoffgemisch . Es kann sich um einen Feststoff , um eine Flüssigkeit oder um ein Gas handeln. <u>Hinweis</u> : Der Stoff muss sensorisch wahrnehmbar sein (er ist entweder sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar – auf das Schmecken wird in der Chemie grundsätzlich verzichtet) | ... und Ethanol, ... (Hauptstudie, Proband:in: HEBY1898_O) | (Johnstone, 1982, 1991, 1993, 2000; Nyachwaya & Wood, 2014; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Taber, 2013; Talanquer, 2011; Treagust & Chandrasegran, 2009; Tsaparlis, 2009) |
| I 61 | Stoffeigenschaften | Es wird eine oder es werden mehrere Stoffeigenschaften eines Stoffes beschrieben. | ... desto schneller wird es brennbar ... (Hauptstudie, Proband:in: MAER3101_E) | (Jaber & BouJaoude, 2012; Johnstone, 1982, 1991, 1993, 2000; |

| | | | | |
|------|-------------------------------|--|--|---|
| | | <p>Es können physikalische Stoffeigenschaften (wie Härte, Schmelztemperatur, Wasserlöslichkeit, Oberflächenspannung, elektrische Leitfähigkeit oder optische Aktivität) oder chemische Stoffeigenschaften (wie Brennbarkeit, Explosivität oder Angreifbarkeit durch Säuren oder Laugen) genannt werden.</p> <p>Hinweis: Die Stoffeigenschaft muss sensorisch wahrnehmbar sein (er ist entweder sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar)</p> | | Sumfleth & Nakoinz, 2019) |
| I 62 | Benennung einer Zustandsgröße | <p>Benennung einer Zustandsgröße wie Energie, Temperatur, Masse, Druck, Konzentration oder Dichte.</p> <p>Hinweis: Die Zustandsgröße muss sensorisch wahrnehmbar sein (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar).</p> <p>Der Code wird nicht vergeben, wenn eine Veränderung der Zustandsgröße beschrieben wird.</p> | und mit Experimenten mit 60 µl ähnlich ist, ... (Hauptstudie, Proband:in: MIYA3173_E) | (Nakoinz, 2015; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Taber, 2009; Talanquer, 2011; Treagust & Chandrasegran, 2009) |

| | | | | |
|------|--|---|---|--|
| I 63 | pH-Wert | <p>Bezifferung oder Benennung des pH-Wertes.</p> <p>Hinweis: Der Code wird nicht vergeben, wenn eine numerische Veränderung der pH-Wertes beschrieben wird. Wird dies benannt, wird der Code I 69 gegeben.</p> | <p>... und sauer.</p> <p>(Hauptstudie, Proband:in: BELD3536_sR)</p> | <p>(Nakoinz, 2015; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Treagust & Chandrasegran, 2009)</p> |
| I 64 | pH-Indikator | <p>Es wird entweder die Existenz eines Indikators benannt oder der Universalindikator in Farben beschrieben.</p> | <p>Ähm also pH Indikator wurde ja auch nochmal als extra so ein Feld und ...</p> <p>(Hauptstudie, Proband:in: BEAN2144_sR)</p> | <p>(Treagust & Chandrasegran, 2009; van Berkel et al., 2009)</p> |
| I 65 | Verbrennung/ Explosion | <p>Die Proband:in benennt oder beschreibt explizit eine Verbrennung oder Explosion.</p> <p>Hinweis: Dieser Vorgang kann sensorisch wahrgenommen werden (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar).</p> | <p>... und dann noch ähm die Verbrennung,</p> <p>(Hauptstudie, Proband:in: BELD3536_sR)</p> | <p>Induktiv entwickelt</p> |
| I 66 | Örtlichkeit des Phänomens/ Experiments | <p>Die Proband:in benennt oder beschreibt eine Örtlichkeit, in der das Phänomen oder Experiment gesichtet werden kann. Hierbei kann es sich um eine Laborumgebung oder um eine nicht chemiespezifische Örtlichkeit handeln.</p> | <p>... es könnte halt auch einfach Petrolether in den anderen Raum gedrungen sein.</p> <p>(Hauptstudie, Proband:in: VEEN2854_E)</p> | <p>Verändert nach: (Tsaparlis, 2009)</p> |

| | | | | |
|------------------|---------|---|--|---|
| | | Hinweis: Dieser Vorgang kann sensorisch wahrgenommen werden (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar). | | |
| Submikroskopisch | | | | |
| I 67 | Atom | Die Proband:in benennt ein Atom oder Atomgruppen. | Ich weiß nicht genau warum, aber ich habe mich ziemlich auf diese OH-Gruppe fixiert ... (Hauptstudie, Proband:in: VEAS1984_O) | (Ben-Zvi et al., 1988; Johnstone, 1982, 1993, 2000; Nakoinz, 2015; Nyachwaya & Wood, 2014; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Taber, 2009, 2013; Treagust & Chandrasegran, 2009) |
| I 68 | Molekül | Die Proband:in benennt ein Molekül oder mehrere Moleküle. | Einmal ähm dass mit je mehr Moleküle sich ansammeln ... (Hauptstudie, Proband:in: MAER3101_E) | (Ben-Zvi et al., 1988; Johnstone, 1982, 1993, 2000; Nakoinz, 2015; Nyachwaya & Wood, 2014; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Taber, 2009, 2013; |

| | | | | |
|---------------------|-----------------------------------|---|---|---|
| | | | | Treagust & Chandrasegran, 2009) |
| Nutzen von Relation | | | | |
| Makroskopisch | | | | |
| I 69 | Änderung des pH-Werts | Die Proband:in stellt eine numerische Änderung des pH-Wertes fest. Hinweis: Nur kodieren, wenn die Proband:in eine numerische Gegenüberstellung des pH-Werts vornimmt oder eine explizite Änderung betont. | ... ähm dann mit den pH-Werten von sauer und neutral ... (Hauptstudie, Proband:in: BELD3536_sR) | (Nakoinz, 2015; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Treagust & Chandrasegran, 2009) |
| I 70 | Löslichkeitsverhalten von Stoffen | Die Proband:in beschreibt, dass sich ein Stoff besser oder schlechter in einem Lösemittel löst. Hinweis: Dieser Vorgang muss sensorisch wahrnehmbar sein (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar). | ... dass die Löslichkeit von Anethol mit ne zu mit der Erhöhung der Ethanolkonzentration ansteigt ne ... (Hauptstudie, Proband:in: SAIO2326_O) | (Bucat & Mocerino, 2009) |
| Submikroskopisch | | | | |
| I 71 | Ladungsverteilung im Molekül | Die Proband:in beschreibt eine Ladungsverteilung in einem Teilchen oder benennt diese ausdrücklich | ... also unpolar und polar heißt nicht vermischt. (Hauptstudie, Proband:in: KORD0695_O) | (Bucat & Mocerino, 2009) |

| | | | | |
|------------------------|--|---|---|--|
| | | (beispielsweise ein Dipol oder eine Polarität). | | |
| Nutzen von Implikation | | | | |
| Makroskopisch | | | | |
| I 72 | Benennung eines beobachtbaren Phänomens | <p>Die Proband:in benennt oder beschreibt ein zu beobachtendes Phänomen oder Experiment. Es kann auch eine experimentierende Tätigkeit beschrieben werden. Dabei tritt eine Veränderung der Stoffe etc. auf.</p> <p>Hinweis: Das Experiment/Phänomen muss sensorisch wahrnehmbar sein (es ist entweder sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar).</p> <p>Es werden auch Phänomene kodiert, die fachlich nicht richtig sind.</p> | <p>Dann ist mir natürlich ähm als was sozusagen direkt bei dem Video ja aufgefallen ist halt sozusagen dieser ähm, ...</p> <p>(Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O)</p> | <p>Verändert nach:</p> <p>(Johnstone, 1991; Nyachwaya & Wood, 2014; Tsaparlis, 2009)</p> |
| I 73 | Änderung des Aggregatzustandes durch externen Einfluss | <p>Die Proband:in beobachtet eine Änderung des Aggregatzustandes eines Stoffes und begründet dies durch einen externen Einfluss.</p> <p>Hinweis: Die Änderung muss sensorisch wahrnehmbar sein</p> | <p>... und ähm ja gasförmig bei Raumtemperatur.</p> <p>(Hauptstudie, Proband:in: VEEN2854_E)</p> | <p>(Bucat & Mocerino, 2009)</p> |

| | | | | |
|------------------|---|--|--|--|
| | | (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar). | | |
| I 74 | Sichtbare chemische Reaktion oder Redoxreaktion | Die Proband:in beschreibt eine sichtbare chemische Reaktion bzw. eine sichtbare Redoxreaktion. Hinweis: Dieser Vorgang muss sensorisch wahrnehmbar sein (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar). | ... wenn Schwefel halt verbrannt wird dann entsteht was ... (Hauptstudie, Proband:in: CLRT2557_sR) | (Tan et al., 2009) |
| I 75 | Reaktion in Abhängigkeit der Stoffkonzentration | Die Proband:in beschreibt die Reaktion in Abhängigkeit der eingesetzten Stoffkonzentration. | ... wenn Verhältnis so bestimmt. (Hauptstudie, Proband:in: MIYA3173_E) | Induktiv entwickelt |
| Submikroskopisch | | | | |
| I 76 | Säure-Base Theorie | Säuren und Basen werden als Teilchen beschrieben, zwischen denen eine Übertragung von Protonen (H^+) stattfindet (Theorie nach Brønsted). | ... dann entsteht Schwefelsäure, ... (Hauptstudie, Proband:in: SIAL0629_sR) | (van Berkel et al., 2009) |
| Symbolisch | | | | |
| I 77 | Graphen/ Diagramme | Die Proband:in beschreibt oder skizziert einen Graphen im Sinne einer mathematischen Funktion oder ein Diagramm bzw. ein grafisches | ... und dann habe ich halt sozusagen sehr viel mit Abbildung 2 gearbeitet ... (Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O) | (Johnstone, 1982, 1993, 2000; Nakoinz, 2015; Nyachwaya & |

| | | | | |
|------|--|---|--|--|
| | | <p>Schaubild, das Daten oder Informationen in einen grafischen Zusammenhang bringt.</p> <p>Hinweis: Dieser Code wird auch vergeben, falls die Proband:in keine mathematisch korrekte Skizze/Beschreibung erkennen lässt.</p> | | <p>Wood, 2014; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Taber, 2013)</p> |
| I 78 | <p>Reaktionsgleichungen/ Redoxreaktionen</p> | <p>Die Proband:in stellt in Form einer Wortgleichung oder in Symbolschreibweise eine chemische Reaktionsgleichung auf. Es werden Edukte, Produkte sowie ein Reaktionspfeil bei einer Stoffumwandlung angegeben. Die Proband:in macht durch eine Beschreibung oder eine Skizze eine Übertragung von Elektronen zwischen zwei Reaktionspartnern deutlich</p> <p>Hinweis: Es werden auch Versuche kodiert, die keine korrekte Reaktionsgleichung erkennen lassen.</p> | <p>... die dann zusammen so reagieren, ... (Hauptstudie, Proband:in: MAER3101_E)</p> | <p>(Johnstone, 1982, 1993, 2000; Nakoinz, 2015; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Taber, 2009, 2013; Treagust & Chandrasegran, 2009)</p> |
| I 79 | <p>Orientierung an Concept Map</p> | <p>Die Proband:in beschreibt, dass sie sich beim Erstellen der Hypothese an seiner Conecpt Map orientiert hat.</p> | <p>Ja ich habe mcih natürlich viel ähm an der Concept-Map äh orientiert. (Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O)</p> | <p>Induktiv entwickelt</p> |

| | | | | |
|------|--|--|---|--|
| I 80 | Orientierung an Fragestellung oder Video | Die Proband:in beschreibt, dass sie sich zum Aufstellen der Hypothese an der Fragestellung oder am Video orientiert hat. Hierbei kann entweder ein Bezug zur Fragestellung oder Video benannt werden oder es werden Ausschnitte paraphrasiert oder direkt benannt. Hinweis: Vergleiche mit den Fragestellungen oder Videos. | ... dass ich nochmal die Aufgabenstellung gelesen habe. (Hauptstudie, Proband:in: BEAN2144_sR) | Verändert nach: (Arndt, 2016; Sonnenschein, 2019) |
| I 81 | Orientierung an einer naturwissenschaftlichen Regel/ Gesetzmäßigkeit | Die Proband:in aktiviert ihr Vorwissen, in dem sie ihre Gedanken mit einer ihr bereits bekannten naturwissenschaftlichen Regel oder Gesetzmäßigkeit abgleicht. Dies ermöglicht es ihr eine Hypothese zu formulieren. | ... und ne da ist mir eines des ersten Gesetze, ... (Hauptstudie, Proband:in: SAIO2326_O) | Verändert nach: (Sonnenschein, 2019) |
| I 82 | Formulierung eines Ergebnisses | Die Proband:in beschreibt explizit, dass sie sich überlegt hat, was das Ergebnis für die Fragestellung sein könnte und so die Hypothese aufgestellt hat. | ... ich habe mir einfach überlegt was möglich sein könnte als Ergebnis ... (Hauptstudie, Proband:in: LYRK3125_E) | Induktiv entwickelt |
| I 83 | Aufbereitung von Stoffen | Die Proband:in beschreibt, dass ein Stoff in einem bestimmten Verfahren aufbereitet wird. | Ähm also zum das Reinigen von Erdölen in den Entschwefelungsanlagen ... (Hauptstudie, Proband:in: BELD3536_sR) | Induktiv entwickelt |

| Hilfe der Concept Map beim Generieren einer Hypothese | | | | |
|---|--|--|---|--|
| I 84 | <p>Visualisierung/ Ordnen von Informationen</p> <p>(Reduzierung des Extraneous Cognitive Load¹)</p> | <p>Die Proband:in beschreibt, dass sie anhand der Concept Map sehen kann, wie die einzelnen Bestandteile/ Informationen im Zusammenhang stehen. Dies ermöglicht auch Beziehungen zu identifizieren, die sonst nicht sichtbar geworden wären.</p> <p>Hierunter fallen auch Aussagen, die sich auf das Herausschreiben von wichtigen Informationen beziehen, wenn hierdurch die Klarheit und Strukturierung des Lerngegenstandes verbessert wird</p> | <p>... also mit Hilfe der Concept-Map mmh konnte ne ich einen besseren Überblick über meine verschiedenen Kriteriumspunkte ne erlangen ne ich wusste zwar so ungefähr wo bestimmte Gemeinsamkeiten zwischen den verschiedenen Stoffen auftraten äh jedoch ne hat es mir sehr geholfen, ...</p> <p>(Hauptstudie, Proband:in: SAIO2326_O)</p> | <p>Verändert nach:</p> <p>(Schroeder, Nesbit, Anguiano, & Adesope, 2018; Sweller, van Merriënboer, & Paas, 1998)</p> |
| I 85 | <p>Fokussierung auf das Wesentliche</p> <p>(Reduzierung des Extraneous Cognitive Load)</p> | <p>Die Proband:in beschreibt, dass sie sich durch die Concept Map besser auf die wesentliche Information fokussieren oder konzentrieren kann.</p> | <p>und dadurch konnte ich mich auch besser darauf konzentrieren was jetzt ne wirklich wichti wichtiger ist ne wozu ich mehr ne Schlüsse ziehen konnte, ...</p> <p>(Hauptstudie, Proband:in: SAIO2326_O)</p> | <p>Verändert nach:</p> <p>(Schroeder et al., 2018; Sweller et al., 1998)</p> |

¹ Allgemein beschreibt die *Cognitive Load* Theorie die kognitive Belastung beim Lernen und ist auf John Sweller (1998) zurückzuführen. Hierbei beschreibt der *Extraneous Cognitive Load* die kognitive Belastung, die sich auf die Klarheit, die Strukturierung und die Darbietung des Lerngegenstandes bezieht. Hierunter können auch Lerninstruktionen fallen. Unter *Germane cognitive load* kann der eigentliche Lernprozess verstanden werden.

| | | | | |
|--|--|---|---|---|
| I 86 | Anknüpfen an Vorwissen (Germane cognitive load) | Die Proband:in beschreibt explizit, dass sie anhand der Concept Map an ihr bereits vorhandenes Wissen anknüpfen kann. | ... und dann hat man sozusagen jetzt zum Beispiel wusste ich sozusagen konnte ich jetzt beim Ethanol wieder mit meinem Wissen anknüpfen und hatte dann sozusagen solche Anknüpfungspunkte, ... (Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O) | Verändert nach: (Sweller et al., 1998) |
| I 87 | Concept Map war keine Hilfe | Die Proband:in beschreibt, dass ihr die Concept Map beim Erstellen der Hypothese nicht geholfen hätte. | ... und deswegen musste ich dann beim Hypothesen aufschreiben gar nicht mehr so sehr auf die Concept Map gucken. (Hauptstudie, Proband:in: KORD0695_O) | Induktiv entwickelt |
| Schwierigkeiten beim Erstellen einer Hypothese | | | | |
| I 88 | Fehlende praktische Übungen | Die Proband:in beschreibt, dass das Hypothesen aufstellen so schwer fällt, weil es im Unterricht selten gemacht wird. | ... dass die im Unterricht einfach kaum gemacht wurde. (Hauptstudie, Proband:in: SUAS0758_O) | Induktiv entwickelt |
| I 89 | Fehlendes fachliches Vorwissen | Die Proband:in beschreibt, dass ihr fachliches Vorwissen fehlt, um eine Hypothese zu generieren und eine Untersuchung planen zu können. | ... fehlt mir einfach Vorwissen. (Hauptstudie, Proband:in: VEAS1984_O) | (Stiller, Allmers, Habigsberg, Stockey, & Wilde, 2020; Weber & Upmeier zu Belzen, 2022) |
| I 90 | Konkrete Formulierung einer Hypothese schwierig | Die Proband:in beschreibt, dass die konkrete Formulierung einer Hypothese schwer ist. | ... was man jetzt aufschreiben soll ... (Hauptstudie, Proband:in: CLRT2557_sR) | Verändert nach: (Döring & Bortz, 2016; Hartmann & Lois, 2015; |

| | | | | |
|------|---|--|--|--|
| | | | | Langlet, 2013; Sommer & Pfeier, 2019; Sonnenschein, 2019; Weber & Upmeier zu Belzen, 2022) |
| I 91 | Das zugrunde liegende Problem wird nicht verstanden | Die Proband:in beschreibt, dass die Formulierung einer Hypothese schwerfällt, weil das Problem, das der Hypothese zu Grunde liegt, nicht verstanden wird. | ... weil man nicht weiß was das Problem sein könnte. (Hauptstudie, Proband:in: LYRK3125_E) | Induktiv entwickelt |
| I 92 | Unsicherheiten im weiteren Vorgehen des Untersuchungsverlaufs | Die Proband:in beschreibt, dass die konkrete Planung einer Untersuchung anhand der Hypothese schwer ist. Die Proband:in macht keine Äußerungen darüber, dass die Hypothese auf unterschiedliche naturwissenschaftliche Arbeitsweisen abzielen kann. <u>Hinweis:</u> Implizit wird hiermit die Funktion einer Hypothese angesprochen, denn mit Hilfe einer Hypothese können Untersuchungen | ... sondern man muss sich ja sehr klar werden was man überhaupt testen muss ... (Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O) | Verändert nach: (Döring & Bortz, 2016; Hartmann & Lois, 2015; Langlet, 2013; Sonnenschein, 2019; Weber & Upmeier zu Belzen, 2022) |

| | | | | |
|---------------------------------|--|---|---|--|
| | | geplant und Ergebnisse von Experimenten vorhergesagt werden. | | |
| I 93 | Einbezug von Qualitätsmerkmalen schwierig | Die Proband:in beschreibt, dass der Einbezug der Qualitätsmerkmale einer Hypothese schwierig ist. Hinweis: Eine Hypothese muss theoriebasiert, logisch und widerspruchsfrei und widerlegbar sein. | ... also so aus dem Bauchgefühl fast schon heraus, (Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O) | Verändert nach: (Döring & Bortz, 2016; Hartmann & Lois, 2015; Langlet, 2013; Weber & Upmeier zu Belzen, 2022) |
| Hypothesenbildung im Unterricht | | | | |
| Individuelles Vorgehen | | | | |
| I 94 | Einbezug von Vorwissen durch den Schüler | Die Proband:in beschreibt, dass sie als erstes bereits bekannte Wissens-Einheiten sucht, an die sie anknüpfen kann, um eine Hypothese zu bilden. | ... die ich irgendetwas schon gehört habe, ... (Hauptstudie, Proband:in: VEAS1984_O) | Verändert nach: (Weber & Upmeier zu Belzen, 2022) |
| Vorgehen im Unterricht | | | | |
| I 95 | Hypothesenbildung findet durch die Lehrkraft statt | Die Proband:in beschreibt, dass die Lehrer:in die Hypothesen größtenteils im Unterricht bilden und somit den Schüler:innen vorgeben. | ... und dann hat der Lehrer es dann meistens formuliert. (Hauptstudie, Proband:in: KORD0695_O) | Verändert nach: (Weber & Upmeier zu Belzen, 2022) |

| | | | | |
|------|---|--|--|--|
| I 96 | Hypothesenbildung findet durch die Schüler statt | Die Proband:in beschreibt direkt oder indirekt, dass sie größtenteils selbstständig (oder mindestens teilweise selbstständig) Hypothesen im Unterricht aufstellt. Dies kann allein oder kooperativ in Gruppenarbeit erfolgen. | ... also quasi direkte äh Einschätzungen von dem was man gesehen hat. (Hauptstudie, Proband:in: BART1695_O) | Verändert nach: (Weber & Upmeier zu Belzen, 2022) |
| I 97 | Hypothesenbildung wurde im Vorhinein häufig geübt | Die Proband:in beschreibt, dass das Bilden von Hypothesen grundsätzlich im Unterricht geübt wird. Hinweis: Das Vorgehen zum Erstellen einer Hypothese ist in Kapitel 2.2.5 der Arbeit ausführlich beschrieben. | Manche Fächer geben einen zum Beispiel in Gruppenarbeiten Zeit, ... (Hauptstudie, Proband:in: BART1695_O) | Verändert nach: (Weber & Upmeier zu Belzen, 2022) |
| I 98 | Hypothesenbildung wurde im Vorhinein selten geübt | Die Proband:in beschreibt, dass das Bilden von Hypothesen eher selten bis gar nicht im Unterricht geübt wurde. Hinweis: Das Vorgehen zum Erstellen einer Hypothese ist in Kapitel 2.2.5 ausführlich beschrieben. | Also irgendwie mache ich das nicht so oft. (Hauptstudie, Proband:in: MAER3101_E) | Verändert nach: (Weber & Upmeier zu Belzen, 2022) |

2.3 Kodiermanual zur Analyse der Hypothesen

| Code Nr. | Kategorie | Beschreibung, Definition und spezielle Kodierregel | Ankerbeispiel | Literatur |
|-------------------------------|-------------|--|--|--|
| Konzeption | | Unter Konzeption kann man eine Verknüpfung der drei Kategorien (Proposition, Relation und Implikation) verstehen, die eine Vorhersage in Form einer Hypothese zur Erklärung des chemischen Problemgegenstands erlaubt. Aus diesem Grund wird sich in diesem Teil des Kategoriensystems der Hypothesenbildung gewidmet. | | (Lesh et al., 2000; Rost, 2021; Scheide, 2018) |
| Hypothesenformulierung | | Die Proband:in_in formuliert eine Hypothese, in dem eine auf die Fragestellung bezogene Antwortvermutung aufgestellt wird. Diese ist logisch, widerspruchsfrei, widerlegbar und mindestens theoretisch überprüfbar. | | Sonnenschein (2019) nach: (Arndt, 2016; Döring & Bortz, 2016; Popper, 1994) |
| Angestrebte Erkenntnismethode | | | | |
| H 1 | Experiment | Die Hypothese zielt auf ein naturwissenschaftliches Experiment ab und ist dadurch gekennzeichnet, dass eine unabhängige Variable einen Einfluss auf eine abhängige Variable hat. | Je höher der Anteil an polarem Wasser im Gemisch ist, desto schlechter löst sich das Anethol. (Hauptstudie, Proband:in: SUAS0758_O) | Verändert nach: (Sonnenschein, 2019) |
| H 2 | Beobachtung | Die Hypothese zielt auf eine naturwissenschaftliche Beobachtung ab und wird durch mindestens ein | Unpolares löst sich in Unpolarem. (Hauptstudie, Proband:in: SUAS0758_O) | (Sonnenschein, 2019; Wellnitz & Mayer, 2008) |

| | | | | |
|----------------------------|-----------------------------|---|---|--|
| | | operationalisiertes Merkmal X, das eine Ausprägung aufweist, gekennzeichnet. „System A zeigt das Merkmal X in der Ausprägung x“ (Wellnitz & Mayer, 2008) | | |
| H 3 | Vergleich | Die Hypothese zielt auf einen naturwissenschaftlichen Vergleich ab und wird dadurch gekennzeichnet, dass verschiedene Merkmalsausprägungen untersucht werden und diese sich entweder gleichen oder unterscheiden. „Die Systeme A und B gleichen sich im Merkmal X und unterscheiden sich im Merkmal Y.“ (Wellnitz & Mayer, 2008) | | (Sonnenschein, 2019; Wellnitz & Mayer, 2008) |
| H 4 | Sonstige Hypothese | Die Hypothese lässt sich keiner der obigen Erkenntnismethoden zuordnen. | Wenn Petrolether mit Feuer in Berührung kommt, dann reagieren dessen Kohlenwasserstoffe damit. (Hauptstudie, Proband:in: LYRK3125_E) | (Sonnenschein, 2019) |
| Formulierung der Hypothese | | | | |
| Bezug zur Fragestellung | | | | |
| H 5 | ... ist vollständig gegeben | Die Hypothese ergibt sich aus der Fragestellung. Das bedeutet, dass die | Anhand der Fragestellung zu beurteilen. | (Gerling, 2013; Weber & Upmeyer zu Belzen, 2022) |

| | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|---|---|--|
| | | <p>Äußerung einer begründeten Antwortvermutung entspricht.</p> <p>Hinweis: Siehe SuS-Aufgaben-Bogen zum entsprechenden Themengebiet (Vgl. S. 227).</p> | | |
| H 6 | ... ist teilweise gegeben. | <p>Die Hypothese bezieht sich auf eine Teilmenge der Fragestellung oder steht mit ihr in Verbindung.</p> <p>Hinweis: Siehe SuS-Aufgaben-Bogen zum entsprechenden Themengebiet (Vgl. S. 227).</p> | Anhand der Fragestellung zu beurteilen. | (Gerling, 2013) |
| H 7 | ... ist nicht gegeben. | <p>Die Hypothese wird ohne jeglichen Bezug zur Fragestellung formuliert.</p> <p>Hinweis: Siehe SuS-Aufgaben-Bogen zum entsprechenden Themengebiet (Vgl. S. 227).</p> | Anhand der Fragestellung zu beurteilen. | (Gerling, 2013; Weber & Upmeier zu Belzen, 2022) |
| Formulierung eines Konditionalsatzes | | | | |
| H 8 | Formulierung eines Konditionalsatzes | <p>Die Hypothese ist in Form eines Konditionalsatzes formuliert:</p> <p>Wenn ..., dann</p> <p>Je ..., desto</p> | <p>Je höher der Anteil an polarem Wasser im Gemisch ist, desto schlechter löst sich das Anethol.</p> <p>(Hauptstudie, Proband:in: SUAS0758_O)</p> | (Weber & Upmeier zu Belzen, 2022) |

| | | | | |
|---------------------------|--|---|---|-----------------------------------|
| H 9 | Keine Formulierung eines Konditionalsatzes | Die Hypothese ist nicht in Form eines Konditionalsatzes formuliert. | Unpolares löst sich in Unpolarem (Hauptstudie, Proband:in: SUAS0758_O) | (Weber & Upmeier zu Belzen, 2022) |
| Einbezug von Variablen | | | | |
| H 10 | Identifikation von (abhängiger und unabhängiger) Variablen | Die Proband:in benennt/beschreibt Variablen. Es ist zu erkennen welche Variable als abhängig und welche Variable als unabhängig genutzt wird | Je höher der Wasseranteil im Ethanol-Wasser-Gemisch, desto geringer die lösliche Menge Anethol (Abb 2) desto milchiger die Lösung dies lässt sich darauf zurückführen, dass das Anethol milchig trüb ausfällt. (Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O) | (Arndt, 2016) |
| H 11 | Es kann keine Variable eindeutig identifiziert werden | Die Proband:in benennt/ beschreibt keine eindeutigen Variablen | Unpolares löst sich in Unpolarem (Hauptstudie, Proband:in: SUAS0758_O) | Induktiv entwickelt |
| Komplexität der Hypothese | | | | |
| H 12 | Hypothese enthält nicht zusammenhängende Fakten | Die Hypothese ist dadurch gekennzeichnet, dass sie Fakten enthält, die sich nicht aufeinander beziehen bzw. nicht zusammenhängen. | Je mehr Schwefel im fossilen Brennstoff enthalten ist, desto schwieriger ist die Energiegewinnung aus diesem. (Hauptstudie, Proband:in: CLNS2860_sR) | (Weber & Upmeier zu Belzen, 2022) |

| | | | | |
|-------------------------------------|--|---|--|-----------------------------------|
| H 13 | Hypothese enthält zusammenhängende Fakten | Die Hypothese ist dadurch gekennzeichnet, dass sie sich auf einen oder mehrere Zusammenhänge zwischen Variablen bezieht. | Je polarer ist der Stoff, desto geringer ist die Löslichkeit von Anethol in sie. (Hauptstudie, Proband:in: HEBY1898_O) | (Weber & Upmeier zu Belzen, 2022) |
| H 14 | Hypothese enthält zusammenhängende Fakten und übergeordnetes Konzept | Die Hypothese ist dadurch gekennzeichnet, dass die in ihr enthaltene Variable sich auf ein übergeordnetes Konzept beziehen. Dies lässt einen Transfer oder eine Anwendung zu. | „Wenn ein unpolarer Stoff mit einem unpolaren Stoff oder Stoff mit unpolarem Anteil vermischt wird, dann löst sich dieser gut“. (Hauptstudie, Proband:in: KORD0695_O) | (Weber & Upmeier zu Belzen, 2022) |
| Art des Zusammenhangs der Hypothese | | | | |
| H 15 | korrelativ | In der Hypothese werden zwei Variablen beschrieben, die vermutlich im Zusammenhang stehen. Dabei wird die Art des Zusammenhangs nicht berücksichtigt. | Je mehr Schwefel im fossilen Brennstoff enthalten ist, desto schwieriger ist die Energiegewinnung aus diesem. (Hauptstudie, Proband:in: CLNS2860_sR) | (Weber & Upmeier zu Belzen, 2022) |
| H 16 | kausal | In der Hypothese wird ein Gefüge bestehend aus Ursache und Wirkung beschrieben. Die Hypothese enthält sowohl eine unabhängige als auch eine abhängige Variable. | Je höher der Wasseranteil im Ethanol-Wasser-Gemisch, desto geringer die lösliche Menge Anethol (Abb 2) desto milchiger die Lösung dies lässt sich darauf zurückführen, dass das Anethol milchig trüb ausfällt. | (Weber & Upmeier zu Belzen, 2022) |

| | | | | |
|--|-------------------------------|--|---|-----------------------------------|
| | | | (Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O) | |
| H 17 | Nicht zuzuordnen | Die Hypothese enthält keinen Zusammenhang zwischen den Variablen. | Unpolares löst sich in Unpolarem (Hauptstudie, Proband:in: SUAS0758_O) | (Weber & Upmeier zu Belzen, 2022) |
| Berücksichtigung von Qualitätsmerkmalen | | | | |
| Einbezug von (Vor)Wissen in die Formulierung | | | | |
| H 18 | Einbezug von (Vor)Wissen | In die Formulierung der Hypothese werden Fakten einbezogen, die nicht explizit im Video genannt wurden. Hinweis: Siehe Informationstafeln sowie den Text zur Einführung ins Phänomen im Video. Vorwissen wird explizit einbezogen, wenn Informationen für die Hypothese genutzt werden, die nicht in den Informationstafeln eingeblendet wurden. | Anhand des jeweiligen Videos beurteilen. | (Weber & Upmeier zu Belzen, 2022) |
| H 19 | Kein Einbezug von (Vor)Wissen | In die Formulierung der Hypothese werden nur Fakten einbezogen, die explizit im Video genannt wurden. Hinweis: Siehe Informationstafeln sowie den Text zur Einführung ins Phänomen im Video. Es wird nicht explizit Vorwissen einbezogen, wenn ausschließlich Informationen genutzt für die Hypothese | Anhand des jeweiligen Videos beurteilen. | (Weber & Upmeier zu Belzen, 2022) |

| | | | | |
|--|---|---|---|-----------------------------------|
| | | werden, die den Informationstafeln entnommen werden können. | | |
| Empirische und intersubjektive Nachprüfbarkeit (Überprüfbarkeit) | | | | |
| H 20 | Empirisch und intersubjektiv nachprüfbar | Hypothese ist sowohl empirisch als auch intersubjektiv nachprüfbar. | „Je höher der Wasseranteil im Ethanol-Wasser-Gemisch, desto geringer die lösliche Menge Anethol (Abb 2) desto milchiger die Lösung dies lässt sich darauf zurückführen, dass das Anethol milchig trüb ausfällt“. (Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O) | (Weber & Upmeier zu Belzen, 2022) |
| H 21 | Empirisch nachprüfbar, nicht intersubjektiv nachprüfbar | Hypothese ist grundsätzlich empirisch nachprüfbar, allerdings nicht intersubjektiv nachprüfbar. | „Wenn Petrolether mit Feuer in Berührung kommt, dann reagieren dessen Kohlenwasserstoffe damit.“ (Hauptstudie, Proband:in: LYRK3125_E) | (Weber & Upmeier zu Belzen, 2022) |
| H 22 | Die Hypothese ist nicht überprüfbar | Hypothese ist empirisch nicht nachprüfbar. | Je mehr Schwefel im fossilen Brennstoff enthalten ist, desto schwieriger ist die Energiegewinnung aus diesem. (Hauptstudie, Proband:in: CLNS2860_sR) | (Weber & Upmeier zu Belzen, 2022) |
| Falsifizierbarkeit | | | | |

| | | | | |
|----------------------|-----------------------|--|--|---|
| H 23 | ... ist gegeben | Hypothese ist falsifizierbar. | Je höher der Wasseranteil im Ethanol-Wasser-Gemisch, desto geringer die lösbare Menge Anethol (Abb 2) desto milchiger die Lösung dies lässt sich darauf zurückführen, dass das Anethol milchig trüb ausfällt. (Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O) | (Weber & Upmeier zu Belzen, 2022) |
| H 24 | ... ist nicht gegeben | Hypothese ist nicht falsifizierbar. | Je mehr Schwefel im fossilen Brennstoff enthalten ist, desto schwieriger ist die Energiegewinnung aus diesem. (Hauptstudie, Proband:in: CLNS2860_sR) | (Weber & Upmeier zu Belzen, 2022) |
| Widerspruchsfreiheit | | | | |
| H 25 | ... ist gegeben | Die Hypothese ist logisch und widerspruchsfrei formuliert. | Je höher der Wasseranteil im Ethanol-Wasser-Gemisch, desto geringer die lösbare Menge Anethol (Abb 2) desto milchiger die Lösung dies lässt sich darauf zurückführen, dass das Anethol milchig trüb ausfällt. (Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O) | (Döring & Bortz, 2016; Hartmann & Lois, 2015) |

| | | | | |
|--|-------------------------|---|---|---|
| H 26 | ... ist nicht gegeben | Die Hypothese enthält eine oder mehrere unlogische Formulierungen und ist somit nicht widerspruchsfrei. | „Je mehr H ₂ O zum Ouzo dazugegeben wird desto kleiner ist die Wirkung der OH-Gruppe des Moleküls auf den Molekülrest. Dadurch wird die Löslichkeit im polaren H ₂ O beeinflusst“. (Hauptstudie, Proband:in: VEAS1984_O) | (Döring & Bortz, 2016; Hartmann & Lois, 2015) |
| Nutzen der SIMBA-Komponenten zum Formulieren einer Hypothese | | | | |
| Nutzen von Proposition | | | | |
| Makroskopisch | | | | |
| H 27 | Stoff oder Stoffgemisch | Die Proband:in nennt sichtbare Materie auf Stoffebene. Dabei kann es sich um einen Stoff handeln, der aus einem Element besteht (Gold) oder einem Stoffgemisch . Es kann sich um einen Feststoff , um eine Flüssigkeit oder um ein Gas handeln. Hinweis: Der Stoff muss sensorisch wahrnehmbar sein (er ist entweder sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar – auf das Schmecken wird | ... Ethanol-Wasser-Gemisch ... (Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O) | (Johnstone, 1982, 1991, 1993, 2000; Nyachwaya & Wood, 2014; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Taber, 2013; Talanquer, 2011; Treagust & Chandrasegran, 2009; Tsapalis, 2009) |

| | | | | |
|------|-------------------------------|---|---|---|
| | | in der Chemie grundsätzlich verzichtet) | | |
| H 28 | Stoffeigenschaften | <p>Es wird eine oder es werden mehrere Stoffeigenschaften eines Stoffes beschrieben.</p> <p>Es können physikalische Stoffeigenschaften (wie Härte, Schmelztemperatur, Wasserlöslichkeit, Oberflächenspannung, elektrische Leitfähigkeit oder optische Aktivität) oder chemische Stoffeigenschaften (wie Brennbarkeit, Explosivität oder Angreifbarkeit durch Säuren oder Laugen) genannt werden.</p> <p>Hinweis: Die Stoffeigenschaft muss sensorisch wahrnehmbar sein (er ist entweder sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar)</p> | <p>... milchig ...</p> <p>(Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O)</p> | <p>(Jaber & BouJaoude, 2012; Johnstone, 1982, 1991, 1993; Sumfleth & Nakoinz, 2019)</p> |
| H 29 | Aggregatzustand | <p>Beschreibung des Aggregatzustandes eines Stoffes, der entweder sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar ist.</p> | <p>... gasförmig ...</p> <p>(Hauptstudie, Proband:in MAER3102_E)</p> | <p>(Bucat & Mocerino, 2009)</p> |
| H 30 | Benennung einer Zustandsgröße | <p>Benennung einer Zustandsgröße wie Energie, Temperatur, Masse, Druck, Konzentration oder Dichte.</p> | <p>... Wasseranteil ...</p> <p>(Hauptstudie, Proband:in KEES2699_O)</p> | <p>(Nakoinz, 2015; Sumfleth & Nakoinz, 2019;</p> |

| | | | | |
|------|---|---|--|--|
| | | Hinweis: Die Zustandsgröße muss sensorisch wahrnehmbar sein (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar). | | Taber, 2009; Talanquer, 2011; Treagust & Chandrasegran, 2009) |
| H 31 | pH-Wert | Bezifferung oder Benennung des pH-Wertes. Hinweis: Der Code wird nicht vergeben, wenn eine numerische Veränderung der pH-Wertes beschrieben wird. | ... basisch ... (Hauptstudie, Proband:in BEAN2144_sR) | (Nakoinz, 2015; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Treagust & Chandrasegran, 2009) |
| H 32 | Verbrennung/ Explosion | Die Proband:in benennt oder beschreibt explizit eine Verbrennung oder Explosion. Hinweis: Dieser Vorgang kann sensorisch wahrgenommen werden (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar). | ... Explosion ... (Hauptstudie, Proband:in: LYRK3125_E) | Induktiv entwickelt |
| H 33 | Örtlichkeit des Phänomens/ Experiments | Die Proband:in benennt oder beschreibt eine Örtlichkeit, in der das Phänomen oder Experiment gesichtet werden kann. Hierbei kann es sich um eine Laborumgebung oder um eine nicht | ... <i>Raum</i> ... (Hauptstudie, Proband:in: MIYA3173_E) | Verändert nach: (Tsaparlis, 2009) |

| | | | | |
|------------------|---------------------------|---|--|--------------------------|
| | | <p>chemiespezifische Örtlichkeit handeln.</p> <p>Hinweis: Dieser Vorgang kann sensorisch wahrgenommen werden (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar).</p> | | |
| H 34 | Löslichkeit eines Stoffes | <p>Die Proband:in benennt, dass sich ein Stoff in einem anderem löst (oder nicht), ohne dabei auf den zu lösenden Stoff oder das Lösungsmittel einzugehen.</p> <p>Hinweis: Beschreibt die Proband:in, dass sich ein Stoff besser oder schlechter in einem Lösemittel löst, dann wird der Code H 38 vergeben.</p> <p>Dieser Vorgang muss sensorisch wahrnehmbar sein (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar).</p> | <p>... löst ...</p> <p>(Hauptstudie, Proband:in: SUAS0758_O)</p> | (Bucat & Mocerino, 2009) |
| H 35 | Das Labor | <p>Die Proband:in benennt das Labor oder einzelne Ausstattungsstücke oder Labortätigkeiten, die er visuell oder taktil wahrnehmen kann.</p> | <p>... Zylinder ...</p> <p>(Hauptstudie, Poband: MIYA3173_E)</p> | (Tsaparlis, 2009) |
| Submikroskopisch | | | | |

| | | | | |
|---------------------|---------|---|--|---|
| H 36 | Atom | Die Proband:in benennt ein Atom oder Atomgruppen. | ... OH-Gruppe ... (Hauptstudie, Poband: VEAS1984_O) | (Ben-Zvi et al., 1988; Johnstone, 1982, 1993, 2000; Nakoinz, 2015; Nyachwaya & Wood, 2014; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Taber, 2009, 2013; Treagust & Chandrasegran, 2009) |
| H 37 | Molekül | Die Proband:in benennt ein Molekül oder mehrere Moleküle. | ... Petrolethermoleküle ... (Hauptstudie, Proband:in: MAER3102_E) | (Ben-Zvi et al., 1988; Johnstone, 1982, 1993, 2000; Nyachwaya & Wood, 2014; Sumfleth & Nakoinz, 2019; Taber, 2009, 2013; Treagust & Chandrasegran, 2009) |
| Nutzen von Relation | | | | |
| Makroskopisch | | | | |

| | | | | |
|------------------|-----------------------------------|---|--|--|
| H 38 | Löslichkeitsverhalten von Stoffen | Die Proband:in beschreibt, dass sich ein Stoff besser oder schlechter in einem Lösemittel löst. Hinweis: Dieser Vorgang muss sensorisch wahrnehmbar sein (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar). | ... schlechter löst ... (Hauptstudie, Proband:in: SUAS0758_O) | (Bucat & Mocerino, 2009) |
| Submikroskopisch | | | | |
| H 39 | Ladungsverteilung im Molekül | Die Proband:in beschreibt eine Ladungsverteilung in einem Teilchen oder benennt diese ausdrücklich (beispielsweise ein Dipol oder eine Polarität). | ... polarem ... (Hauptstudie, Proband:in: SUAS0758_O) | (Bucat & Mocerino, 2009) |
| H 40 | Energetischer Zustand von Stoffen | Die Proband:in macht Angaben darüber, dass bestimmte Stoffe als Energiequelle genutzt werden und implizit eine Angabe darüber, dass andere Stoffe keine Energiequelle darstellen. | ... Energiegewinnung ... (Hauptstudie, Proband:in: CLNS2860_sR) | Verändert nach: (Bucat & Mocerino, 2009; Taber, 2013) |
| Symbolisch | | | | |
| H 41 | Summenformel/ Molekülformel | Die Proband:in setzt die Art und die Anzahl von Atomen <u>innerhalb</u> einer chemischen Verbindung in ein Verhältnis. | ... H ₂ O ... (Hauptstudie, Proband:in: VEAS1984_O) | (Johnstone, 1982, 1993, 2000; Taber, 2009, 2013; Treagust & |

| | | | | |
|------------------------|--|---|---|--|
| | | | | Chandrasegran, 2009) |
| Nutzen von Implikation | | | | |
| Makroskopisch | | | | |
| H 42 | Benennung eines beobachtbaren Phänomens | <p>Die Proband:in benennt oder beschreibt ein zu beobachtendes Phänomen oder Experiment. Es kann auch eine experimentierende Tätigkeit beschrieben werden. Dabei tritt eine Veränderung der Stoffe etc. auf.</p> <p>Hinweis: Das Experiment/Phänomen muss sensorisch wahrnehmbar sein (es ist entweder sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar).</p> <p>Es werden auch Phänomene kodiert, die fachlich nicht richtig sind.</p> | <p>... Experiment ...</p> <p>(Hauptstudie, Proband:in: MIYA3173_E)</p> | <p>Verändert nach:</p> <p>(Johnstone, 1991; Nyachwaya & Wood, 2014; Tsaparlis, 2009)</p> |
| H 43 | Änderung des Aggregatzustandes durch externen Einfluss | <p>Die Proband:in beobachtet eine Änderung des Aggregatzustandes eines Stoffes und begründet dies durch einen externen Einfluss.</p> <p>Hinweis: Die Änderung muss sensorisch wahrnehmbar sein</p> | <p>... bei Raumtemperatur verdunstet ...</p> <p>(Hauptstudie, Proband:in: LYRK3125_E)</p> | <p>(Bucat & Mocerino, 2009)</p> |

| | | | | |
|------------------|---|---|---|--|
| | | (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar). | | |
| H 44 | Sichtbare chemische Reaktion oder Redoxreaktion | Die Proband:in beschreibt eine sichtbare chemischer Reaktion bzw. eine sichtbare Redoxreaktion. Hinweis: Dieser Vorgang muss sensorisch wahrnehmbar sein (sehbar, hörbar, riechbar oder fühlbar). | ... reagiert ... (Hauptstudie, Proband:in: NART2928_E) | (Tan et al., 2009) |
| H 45 | Reaktion in Abhängigkeit der Stoffkonzentration | Die Proband:in beschreibt die Reaktion in Abhängigkeit der eingesetzten Stoffkonzentration. | ... Reaktion ... (Hauptstudie, Proband:in: NART2928_E) | Induktiv entwickelt |
| Submikroskopisch | | | | |
| H 46 | Säure-Base Theorie | Säuren und Basen werden als Teilchen beschrieben, zwischen denen eine Übertragung von Protonen (H ⁺) stattfindet (Theorie nach Brønsted). | ... Schwefelsäure ... (Hauptstudie, Proband:in: SIAL0629_sR) | (van Berkel et al., 2009) |
| Symbolisch | | | | |
| H 47 | Reaktionsgleichungen/ Redoxreaktionen | Die Proband:in stellt in Form einer Wortgleichung oder in Symbolschreibweise eine chemische Reaktionsgleichung auf. Es werden Edukte, Produkte sowie ein | ... entsteht ... (Hauptstudie, Proband:in: LYRK3125_E) | (Johnstone, 1982, 1993, 2000; Nakoinz, 2015; Sumfleth & Nakoinz, 2019; |

| | | | | |
|------|--------------------------|--|--|---|
| | | <p>Reaktionspfeil bei einer Stoffumwandlung angegeben. Die Proband:in macht durch eine Beschreibung oder eine Skizze eine Übertragung von Elektronen zwischen zwei Reaktionspartnern deutlich</p> <p>Hinweis: Es werden auch Versuche kodiert, die keine korrekte Reaktionsgleichung erkennen lassen.</p> | | <p>Taber, 2009, 2013; Treagust & Chandrasegran, 2009)</p> |
| H 48 | Aufbereitung von Stoffen | Die Proband:in beschreibt, dass ein Stoff in einem bestimmten Verfahren aufbereitet wird. | ... Entschwefelungsanlagen ... (Hauptstudie, Proband:in: BELD3536_sR) | Induktiv entwickelt |
| H 49 | Sonstiges | Die Proband:in beschreibt in der Hypothese etwas, was den SIMBA-Komponenten nicht eindeutig zugeordnet werden kann. | ... Je ... (Hauptstudie, Proband:in: KEES2699_O) | Induktiv entwickelt |



3. Tabellarische Übersicht über die Reliabilitäten der Manuale

3.1 Reliabilitäten für das Kodiermanual zur Operationalisierung der SIMBA-Komponenten (Analyse der CM)

| Kategorien | Anzahl der Übereinstimmungen | Anzahl der Nicht-Übereinstimmung | Fälle gesamt | Prozentuale Übereinstimmung [%] | κ_n |
|--|------------------------------|----------------------------------|--------------|---------------------------------|------------|
| Proposition | | | | | |
| Makroskopisch | | | | | |
| Stoff oder Stoffgemisch | 24 | 12 | 36 | 66,67 | .56 |
| Stoffeigenschaften | 10 | 3 | 13 | 76,92 | .69 |
| Aggregatzustand | 0 | 3 | 3 | 0,00 | -.33 |
| Benennung einer Zustandsgröße | 6 | 0 | 6 | 100,00 | 1.00 |
| pH-Wert | 4 | 0 | 4 | 100,00 | 1.00 |
| pH-Indikator | 2 | 0 | 2 | 100,00 | 1.00 |
| Säuren/ Base | - | - | - | - | - |
| Salze | - | - | - | - | - |
| Das Labor | 4 | 0 | 4 | 100,00 | 1.00 |
| Löslichkeit eines Stoffes | 6 | 1 | 7 | 85,71 | .81 |
| Verbrennung/ Explosion | 0 | 4 | 4 | 0,00 | -.33 |
| Örtlichkeit des Phänomens/ Experiments | 0 | 3 | 3 | 0,00 | -.33 |
| Herstellung | 4 | 0 | 4 | 100,00 | 1.00 |
| Vorkommen | 2 | 0 | 2 | 100,00 | 1.00 |
| Submikroskopisch | | | | | |
| Atom | 4 | 0 | 4 | 100,00 | 1.00 |
| Molekül | 8 | 3 | 11 | 72,73 | .64 |
| Ion | - | - | - | - | - |
| Elektron | - | - | - | - | - |
| Symbolisch | | | | | |
| Elementsymbol | - | - | - | - | - |
| Benennung eines Orbitals | - | - | - | - | - |
| Benennung einer Schale (Schalenmodell) | - | - | - | - | - |
| Ordnungszahl | - | - | - | - | - |
| Atommasse (Atomgewicht) | - | - | - | - | - |
| Chemisches oder Mathematisches Formelzeichen | - | - | - | - | - |



| | | | | | |
|--|----|---|----|--------|------|
| Naturwissenschaftliche Konstante | - | - | - | - | - |
| Angaben von Oxidationszahlen | - | - | - | - | - |
| Elements Sonstiges | | | | | |
| Elements Sonstiges | 6 | 1 | 7 | 85,71 | .81 |
| Relation | | | | | |
| Makroskopisch | | | | | |
| Änderung des Aggregatzustandes | 4 | 0 | 4 | 100,00 | 1.00 |
| Änderung einer Zustandsgröße | - | - | - | - | - |
| Änderung des pH-Werts | - | - | - | - | - |
| Umschlag eines pH-Indikators | - | - | - | - | - |
| Löslichkeitsverhalten von Stoffen | - | - | - | - | - |
| Submikroskopisch | | | | | |
| Energetischer Zustand eines Teilchens/ Moleküls | 2 | 0 | 2 | 100,00 | 1.00 |
| Ladungsverteilung im Molekül | 10 | 0 | 10 | 100,00 | 1.00 |
| Symbolisch | | | | | |
| Summenformel/ Molekülformel | - | - | - | - | - |
| Molarität/ Stoffmengenkonzentration | - | - | - | - | - |
| Elektronenkonfiguration | - | - | - | - | - |
| Vergleich von Oxidationszahlen | - | - | - | - | - |
| Relations Sonstiges | | | | | |
| Relations Sonstiges | - | - | - | - | - |
| Implikation | | | | | |
| Makroskopisch | | | | | |
| Benennung eines beobachtbaren Phänomens | - | - | - | - | - |
| Entropie | - | - | - | - | - |
| Änderung des Aggregatzustandes durch externen Einfluss | 8 | 1 | 9 | 88,89 | .85 |
| Sichtbare chemische Reaktion oder Redoxreaktion | 2 | 0 | 2 | 100,00 | 1.00 |



| | | | | | |
|--|-----|----|-----|--------|------|
| Explosionsgrenzen | - | - | - | - | - |
| Submikroskopisch | | | | | |
| Wechselwirkungen von Teilchen | | | | | |
| Chemische Bindung | 2 | 0 | 2 | 100,00 | 1.00 |
| Säure-Base Theorie | 2 | 0 | 2 | 100,00 | 1.00 |
| Einfluss auf die Reaktionsgeschwindigkeit | - | - | - | - | - |
| Teilchenbewegung | - | - | - | - | - |
| Symbolisch | | | | | |
| Orbitalmodell | - | - | - | - | - |
| Strukturformel | 2 | 0 | 2 | 100,00 | 1.00 |
| Mathematische Gleichung/ Chemische Gleichung | - | - | - | - | - |
| Stöchiometrie | - | - | - | - | - |
| Graphen/ Diagramme | - | - | - | - | - |
| Reaktionsgleichungen/ Redoxreaktionen | - | - | - | - | - |
| Modellhafte Visualisierungen und Ikonische Darstellung | - | - | - | - | - |
| Implikation Sonstiges | | | | | |
| Implikation Sonstiges | 2 | 0 | 2 | 100,00 | 1.00 |
| Unkorrekte Beschriftung von Map-Bestandteilen | | | | | |
| Unkorrekte Beschriftung von Map-Bestandteilen | 6 | 11 | 17 | 35,29 | .14 |
| Inhaltlich nicht interpretierbar | | | | | |
| Inhaltlich nicht interpretierbar | 6 | 3 | 9 | 66,67 | .56 |
| <Total> | 126 | 45 | 171 | 73,68 | .73 |

3.2 Reliabilitäten für das Kodiermanual zur Analyse der Leitfadeninterviews

| Kategorien | Anzahl der Übereinstimmungen | Anzahl der Nicht-Übereinstimmung | Fälle gesamt | Prozentuale Übereinstimmung [%] | κ_n |
|--|------------------------------|----------------------------------|--------------|---------------------------------|------------|
| Leitfragen des Interviews | 42 | 4 | 46 | 91,30 | .88 |
| Rückfragen der Interviewer:in | 50 | 2 | 52 | 96,15 | .95 |
| Sonstige Äußerungen der Interviewer:in | 14 | 0 | 14 | 100,00 | 1.00 |



| | | | | | |
|--|-----|----|-----|--------|------|
| Sonstige Äußerungen der Proband:innen | 280 | 46 | 326 | 85,89 | .81 |
| Vorgehen beim Erstellen der Concept Map | | | | | |
| Chronologisches Vorgehen | | | | | |
| Identifikation der Proposition | | | | | |
| Makroskopisch | | | | | |
| Stoff oder Stoffgemisch | 18 | 1 | 19 | 94,74 | .93 |
| Stoffeigenschaften | 12 | 1 | 13 | 92,31 | .90 |
| Aggregatzustände | 2 | 0 | 2 | 100,00 | 1.00 |
| Benennung einer Zustandsgröße | - | - | - | - | - |
| pH-Wert | - | - | - | - | - |
| pH-Indikator | - | - | - | - | - |
| das Labor | 8 | 1 | 9 | 88,89 | .85 |
| Löslichkeit eines Stoffes | 0 | 1 | 1 | 0,00 | -.33 |
| Verbrennung/ Explosion | 2 | 0 | 2 | 100,00 | 1.00 |
| Örtlichkeit des Phänomens/ Experiments | 4 | 3 | 7 | 57,14 | .43 |
| Vorkommen | 2 | 1 | 3 | 66,67 | .56 |
| Submikroskopisch | | | | | |
| Atom | - | - | - | - | - |
| Molekül | 0 | 3 | 3 | 0,00 | -.33 |
| Identifikation der Relation | | | | | |
| Makroskopisch | | | | | |
| Änderung des pH-Wertes | - | - | - | - | - |
| Submikroskopisch | | | | | |
| Energetischer Zustand von Stoffen | - | - | - | - | - |
| Ladungsverteilung im Molekül | - | - | - | - | - |
| Identifikation der Implikation | | | | | |
| Makroskopisch | | | | | |
| Benennung eines beobachtbaren Phänomens | 12 | 4 | 16 | 75,00 | .67 |
| Löslichkeit in Abhängigkeit der Polarität | - | - | - | - | - |
| Änderung des Aggregatzustandes durch externen Einfluss | 2 | 0 | 2 | 100,00 | 1.00 |
| Änderung des pH-Wertes durch externen Einfluss | - | - | - | - | - |



| | | | | | |
|---|---|---|---|--------|------|
| Sichtbare chemische Reaktion oder Redoxreaktion | 4 | 0 | 4 | 100,00 | 1.00 |
| Submikroskopisch | | | | | |
| Säure-Base-Theorie | - | - | - | - | - |
| Chemische Bindung | - | - | - | - | - |
| Symbolisch | | | | | |
| Strukturformel | - | - | - | - | - |
| Besonders wichtige Informationen | | | | | |
| Aufbereitung von Stoffen | 2 | 1 | 3 | 66,67 | .56 |
| Es wurde nichts als besonders wichtig erachtet | - | - | - | - | - |
| Proposition | | | | | |
| Makroskopisch | | | | | |
| Stoff oder Stoffgemisch | 0 | 1 | 1 | 0,00 | -.33 |
| Stoffeigenschaften | 2 | 2 | 4 | 50,00 | .33 |
| Aggregatzustand | 0 | 1 | 1 | 0,00 | -.33 |
| Benennung einer Zustandsgröße | 0 | 1 | 1 | 0,00 | -.33 |
| pH-Wert | 0 | 1 | 1 | 0,00 | -.33 |
| pH-Indikator | 4 | 0 | 4 | 100,00 | 1.00 |
| Das Labor | 0 | 1 | 1 | 0,00 | -.33 |
| Verbrennung/ Explosion | 0 | 1 | 1 | 0,00 | -.33 |
| Örtlichkeit des Phänomens/ Experiments | - | - | - | - | - |
| Submikroskopisch | | | | | |
| Atom | - | - | - | - | - |
| Molekül | 4 | 3 | 7 | 57,14 | .43 |
| Relation | | | | | |
| Makroskopisch | | | | | |
| Energetischer Zustand von Stoffen | - | - | - | - | - |
| Änderung einer Zustandsgröße | - | - | - | - | - |
| Änderung des pH-Wertes | 2 | 1 | 3 | 66,67 | .56 |
| Löslichkeitsverhalten von Stoffen | - | - | - | - | - |
| Submikroskopisch | | | | | |
| Ladungsverteilung im Molekül | 4 | 0 | 4 | 100,00 | 1.00 |
| Implikation | | | | | |
| Makroskopisch | | | | | |



| | | | | | |
|--|----|---|----|--------|------|
| Reaktion in Abhängigkeit der Stoffkonzentration | 0 | 1 | 1 | 0,00 | -.33 |
| Benennung eines beobachtbaren Phänomens | 10 | 4 | 14 | 71,43 | .62 |
| Änderung des Aggregatzustandes durch externen Einfluss | - | - | - | - | - |
| Sichtbare chemische Reaktion/ Redoxreaktion | - | - | - | - | - |
| Symbolisch | | | | | |
| Strukturformel | 0 | 1 | 1 | 0,00 | -.33 |
| Graphen/ Diagramme | - | - | - | - | - |
| Individuelles Vorgehen zum Aufstellen einer Hypothese | | | | | |
| Abfrage Definition einer Hypothese | | | | | |
| Definition richtig | - | - | - | - | - |
| Definition teilweise falsch | 8 | 0 | 8 | 100,00 | 1.00 |
| Definition falsch | - | - | - | - | - |
| Vorgehen zum Aufstellen einer Hypothese | | | | | |
| Nutzen von Implikationen | | | | | |
| Makroskopisch | | | | | |
| Stoff oder Stoffgemisch | 2 | 0 | 2 | 100,00 | 1.00 |
| Stoffeigenschaften | - | - | - | - | - |
| Benennung einer Zustandsgröße | - | - | - | - | - |
| Verbrennung/ Explosion | 0 | 2 | 2 | 0,00 | -.33 |
| Örtlichkeit des Phänomens/ Experiments | - | - | - | - | - |
| Submikroskopisch | | | | | |
| Atom | - | - | - | - | - |
| Molekül | 4 | 0 | 4 | 100,00 | 1.00 |
| Nutzen von Relation | | | | | |
| Makroskopisch | | | | | |
| Änderung einer Zustandsgröße | - | - | - | - | - |
| Änderung des pH-Wertes | - | - | - | - | - |
| Löslichkeitsverhalten von Stoffen | - | - | - | - | - |
| Submikroskopisch | | | | | |
| Ladungsverteilung im Molekül | - | - | - | - | - |
| Nutzen von Implikationen | | | | | |
| Makroskopisch | | | | | |



| | | | | | |
|--|----|---|----|--------|------|
| Benennung eines beobachtbaren Phänomens | - | - | - | - | - |
| Änderung des Aggregatzustandes durch externen Einfluss | - | - | - | - | - |
| Sichtbare chemische Reaktion oder Redoxreaktion | 2 | 0 | 2 | 100,00 | 1.00 |
| Reaktion in Abhängigkeit der Stoffkonzentration | 0 | 2 | 2 | 0,00 | -.33 |
| Submikroskopisch | | | | | |
| Säure-Base-Theorie | - | - | - | - | - |
| Symbolisch | | | | | |
| Graphen/ Diagramme | - | - | - | - | - |
| Reaktionsgleichung/ Redoxreaktion | - | - | - | - | - |
| Orientierung an der Concept Map | 8 | 3 | 11 | 72,73 | .64 |
| Orientierung an der Fragestellung oder Video | 10 | 0 | 10 | 100,00 | 1.00 |
| Orientierung an einer naturwissenschaftlichen Regel | - | - | - | - | - |
| Formulierung eines Ergebnisses | - | - | - | - | - |
| Aufbereitung von Stoffen | - | - | - | - | - |
| Hilfe der Concept Map beim Generieren von Hypothesen | | | | | |
| Visualisierung/ Ordnen von Informationen | 10 | 2 | 12 | 83,33 | .78 |
| Fokussierung auf das Wesentliche | 2 | 3 | 5 | 40,00 | .20 |
| Anknüpfen an Vorwissen | 0 | 1 | 1 | 0,00 | -.33 |
| Concept Map war keine Hilfe | 2 | 3 | 5 | 40,00 | .20 |
| Schwierigkeiten beim Erstellen einer Hypothese | | | | | |
| Fehlende praktische Übung | - | - | - | - | - |
| Fehlendes fachliches Vorwissen | 6 | 5 | 11 | 54,55 | .39 |
| Konkrete Formulierung einer Hypothese schwierig | 0 | 2 | 2 | 0,00 | -.33 |



| | | | | | |
|---|-----|-----|-----|--------|------|
| Das zugrunde liegende Problem wird nicht verstanden | - | - | - | - | - |
| Unsicherheiten im weiteren Vorgehen des Untersuchungsverlaufs | 4 | 0 | 4 | 100,00 | 1.00 |
| Einbezug von Qualitätsmerkmalen schwierig | 0 | 2 | 2 | 0,00 | -.33 |
| Hypothesenbildung im Unterricht | | | | | |
| Individuelles Vorgehen | | | | | |
| Einbezug von Vorwissen durch den Schüler | 2 | 4 | 6 | 33,33 | .11 |
| Vorgehen im Unterricht | | | | | |
| Hypothesenbildung findet durch die Lehrkraft statt | - | - | - | - | - |
| Hypothesenbildung findet durch die Schüler statt | 18 | 5 | 23 | 78,26 | .71 |
| Hypothesenbildung wurde im Vorhinein häufig geübt | 0 | 3 | 3 | 0,00 | -.33 |
| Hypothesenbildung wurde im Vorhinein selten geübt | 8 | 4 | 12 | 66,67 | .56 |
| <Total> | 578 | 127 | 705 | 81,99 | .82 |

3.3 Reliabilitäten für das Kodiermanual zur Analyse der Hypothesen

| Kategorien | Anzahl der Übereinstimmungen | Anzahl der Nicht-Übereinstimmung | Fälle gesamt | Prozentuale Übereinstimmung [%] | κ_n |
|---|------------------------------|----------------------------------|--------------|---------------------------------|------------|
| Angestrebte Erkenntnismethode | | | | | |
| Experiment | 4 | 8 | 12 | 33,33 | .11 |
| Vergleich | 0 | 3 | 3 | 0,00 | -.33 |
| Beobachtung | 6 | 7 | 13 | 46,15 | .28 |
| Sonstige Hypothese | 0 | 2 | 2 | 0,00 | -.33 |
| Formulierung der Hypothese | | | | | |
| Bezug zur Fragestellung | | | | | |
| ... ist vollständig gegeben | 6 | 7 | 13 | 46,15 | .28 |
| ... ist teilweise gegeben | 10 | 7 | 17 | 58,82 | .45 |
| ... ist nicht gegeben | - | - | - | - | - |
| Formulierung eines Konditionalsatzes | | | | | |
| Formulierung eines Konditionalsatzes | 28 | 0 | 28 | 100,00 | 1.00 |



| | | | | | |
|---|----|---|----|--------|------|
| Keine Formulierung eines Konditionalsatzes | 2 | 0 | 2 | 100,00 | 1.00 |
| Einbezug von Variablen | | | | | |
| Identifikation von abhängiger und unabhängiger Variablen | 6 | 6 | 12 | 50,00 | .33 |
| Es kann keine Variable eindeutig identifiziert werden | 12 | 6 | 18 | 66,67 | .56 |
| Komplexität der Hypothese | | | | | |
| Hypothese enthält nicht zusammenhänge Fakten | 2 | 1 | 3 | 66,67 | .56 |
| Hypothese enthält zusammenhänge Fakten | 16 | 6 | 22 | 72,73 | .64 |
| Hypothese enthält zusammenhänge Fakten und übergeordnetes Konzept | 0 | 5 | 5 | 0,00 | -.33 |
| Art des Zusammenhangs der Hypothese | | | | | |
| Korrelativ | 4 | 5 | 9 | 44,44 | .26 |
| Kausal | 14 | 4 | 18 | 77,78 | .70 |
| Nicht zuzuordnen | 2 | 1 | 3 | 66,67 | .56 |
| Berücksichtigung von Qualitätsmerkmalen | | | | | |
| Einbezug von Vorwissen in die Formulierung | | | | | |
| Einbezug von Vorwissen | 0 | 2 | 2 | 0,00 | -.33 |
| Kein Einbezug von Vorwissen | 26 | 2 | 28 | 92,86 | .90 |
| Empirische und intersubjektive Nachprüfbarkeit (Überprüfbarkeit) | | | | | |
| Empirisch und intersubjektiv nachprüfbar | 22 | 2 | 24 | 91,67 | .89 |
| Empirisch nachprüfbar, nicht intersubjektiv nachprüfbar | 0 | 2 | 2 | 0,00 | -.33 |
| Hypothese ist nicht nachprüfbar | 4 | 1 | 5 | 80,00 | .73 |
| Falsifizierbarkeit | | | | | |
| ... ist gegeben | 18 | 3 | 21 | 85,71 | .81 |
| ... ist nicht gegeben | 6 | 3 | 9 | 66,67 | .56 |
| Widerspruchsfreiheit | | | | | |
| ... ist gegeben | 22 | 2 | 24 | 91,67 | .89 |
| ... ist nicht gegeben | 4 | 2 | 6 | 66,67 | .56 |
| Nutzen der SIMBA-Komponenten | | | | | |
| Nutzen von Proposition | | | | | |
| Makroskopisch | | | | | |



| | | | | | |
|--|----|----|----|--------|------|
| Stoff oder Stoffgemisch | 58 | 3 | 61 | 95,08 | .93 |
| Stoffeigenschaften | 4 | 1 | 5 | 80,00 | .73 |
| Benennung einer Zustandsgröße | 20 | 10 | 30 | 66,67 | .56 |
| pH-Wert | - | - | - | - | - |
| pH-Indikator | - | - | - | - | - |
| Verbrennung/ Explosion | 8 | 4 | 12 | 66,67 | .56 |
| Örtlichkeit des Phänomens/ Experiments | 4 | 0 | 4 | 100,00 | 1.00 |
| Löslichkeit eines Stoffes | - | - | - | - | - |
| Submikroskopisch | | | | | |
| Atom | 2 | 2 | 4 | 50,00 | .33 |
| Molekül | 0 | 1 | 1 | 0,00 | -.33 |
| Nutzen von Relation | | | | | |
| Makroskopisch | | | | | |
| Änderung des pH-Wertes | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Löslichkeitsverhalten von Stoffen | 12 | 0 | 12 | 100,00 | 1.00 |
| Submikroskopisch | | | | | |
| Energetischer Zustand von Stoffen | 0 | 1 | 1 | 0,00 | -.33 |
| Ladungsverteilung im Molekül | 30 | 0 | 30 | 100,00 | 1.00 |
| Symbolisch | | | | | |
| Summenformel | - | - | - | - | - |
| Nutzen von Implikation | | | | | |
| Makroskopisch | | | | | |
| Benennung eines beobachtbaren Phänomens | 6 | 12 | 18 | 33,33 | .11 |
| Änderung des Aggregatzustandes durch externen Einfluss | 2 | 0 | 2 | 100,00 | 1.00 |
| Sichtbare chemische Reaktion/ Redoxreaktion | 4 | 9 | 13 | 30,77 | .08 |
| Reaktion in Abhängigkeit der Stoffkonzentration | 0 | 6 | 6 | 0,00 | -.33 |
| Submikroskopisch | | | | | |
| Säure-Base-Theorie | 0 | 2 | 2 | 0,00 | -.33 |
| Symbolisch | | | | | |
| Graphen/ Diagramme | - | - | - | - | - |
| Reaktionsgleichung/ Redoxreaktion | 0 | 5 | 5 | 0,00 | -.33 |



| | | | | | |
|---------|-----|-----|-----|-------|-----|
| <Total> | 646 | 169 | 815 | 79,26 | .79 |
|---------|-----|-----|-----|-------|-----|

4. Literatur

- Arndt, K. (2016). *Experimentierkompetenz erfassen. Analyse von Prozessen und Mustern am Beispiel von Lehramtsstudierenden der Chemie*. Berlin: Logos Verlag.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B.-S., & Silberstein, J. (1988). Theories, principles and laws. *Education in Chemistry*, 25(3), 89-92.
- Bucat, B., & Mocerino, M. (2009). Learning at the Sub-micro Level: Structural Representations. In J. K. Gilbert & D. Treagust (Eds.), *Multiple representations in chemical education. Models and modeling in science education* (pp. 11-30). Dordrecht: Springer Verlag.
- Chandrasegran, A. L., Treagust, D., & Mocerino, M. (2007). An Evaluation of a Teaching Intervention to Promote Students Ability to Use Multiple Levels of Representation When Describing and Explaining Chemical Reactions. *Research in Science Education*, 38(2), 237-248.
doi:10.1007/s11165-007-9046-9
- Doran, R. L., Lawrenz, F., & Helgeson, S. (1994). Research on assessment in science. In D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning. A project of the National Science Teachers Association* (pp. 388-442). New York: Macmillan.
- Döring, N., & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (Vol. 5). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Dörner, D. (1987). *Problemlösen als Informationsverarbeitung* (Vol. 3). Stuttgart: Verlag W. Kohlhammer.
- Dörner, D. (1989). *Die Logik des Misslingens: Strategisches Denken in komplexen Situationen*. Hamburg: Rowohlt Verlag.
- Gerling, I. (2013). *Entwicklung und Testung eines Kodiermanuals zur Abbildung naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen von Lehramtsstudierenden in freien Experimentiersituationen*. (Masterarbeit). Humboldt Universität zu Berlin, Berlin.
- Gilbert, J. K., & Treagust, D. (2009a). Introduction: macro, submicro and symbolic representations and the relationship between them: key models in chemical education. In J. K. Gilbert & D. Treagust (Eds.), *Multiple representations in chemical education. Models and modeling in science education*. Dordrecht: Springer Verlag.
- Gilbert, J. K., & Treagust, D. (2009b). *Multiple Representations in Chemical Education* (Vol. 4). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Hartmann, F. G., & Lois, D. (2015). *Hypothesen testen: Eine Einführung für Bachelorstudierende sozialwissenschaftlicher Fächer*. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Ifenthaler, D. (2006). *Diagnose lernabhängiger Veränderung mentaler Modelle: Entwicklung der SMD-Technologie als methodologisches Verfahren zur relationalen, strukturellen und semantischen Analyse individueller Modellkonstruktionen*. (Dissertation). Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Breisgau, Deutschland.
- Jaber, L. Z., & BouJaoude, S. (2012). A Macro–Micro–Symbolic Teaching to Promote Relational Understanding of Chemical Reactions. *International Journal of Science Education*, 34(7), 973-998. doi:10.1080/09500693.2011.569959
- Jensen, W. B. (1998a). Logic, history and the chemistry textbook: II. Can we unmuddle the chemistry textbook? *Journal of Chemical Education*, 75(7), 817. doi:<https://doi.org/10.1021/ed075p817>
- Jensen, W. B. (1998b). Logic, history, and the chemistry textbook: I. Does chemistry have a logical structure? . *Journal of Chemical Education*, 75(6), 679.
doi:<https://doi.org/10.1021/ed075p679>
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models. Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.



- Johnson-Laird, P. N. (2006). Mental Models, Sentential Reasoning, and Illusory Inferences. In C. Held, H. Knauff, & G. Vosgerau (Eds.), *Mental Models and the Mind* (pp. 27-51). Amsterdam, Boston: Elsevier.
- Johnson-Laird, P. N. (2010). Mental models and human reasoning. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America PNAS*, 107(43), 18243-18250. doi:10.1073/pnas.1012933107
- Johnstone, A. H. (1982). Macro-and micro-chemistry. *School Science Review*, 64(1), 377-379.
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75-83.
- Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching. A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701-705. doi:<https://doi.org/10.1021/ed070p701>
- Johnstone, A. H. (2000). Teaching of chemistry - logical or psychological? . *Chemistry Education Research and Practice*, 1(1), 9. doi:<https://doi.org/10.1039/A9RP90001B>
- Knauff, M., & Knoblich, G. (2017). Denken und Problemlösen. In J. Müssler & M. Rieger (Eds.), *Allgemeine Psychologie* (Vol. 3). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Kuckartz, U. (2018). *Qualitative Inhaltsanalyse: Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (Vol. 4). Weinheim, Basel: Beltz Juventa.
- Langlet, J. (2013). Kultur der Naturwissenschaften. In H. Gropengießer, U. Harms, & U. Kattmann (Eds.), *Fachdidaktik Biologie* (pp. 80-97). Halbergmoos: Aulis Verlag.
- Lesh, R., Hoover, M., Hole, B., Kelly, H., & Post, T. (2000). Principles for Developing Thought-Revealing Activities for Atudents and Teachers. In A. Kelly & R. Lesh (Eds.), *Handbook of Research Design in Mathematics and Science Education*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Nakleh, M. B., & Krajcik, J. (1994). Influence of levels of information as presented by different technologies on students' understanding of acid, base, and pH concepts. . *Journal of Research in Science Teaching*, 31(10), 1077-1096.
- Nakoinz, S. (2015). *Untersuchung zur Verknüpfung submikroskopischer und makroskopischer Konzepte im Fach Chemie*. (Dissertation). Universität Duisburg-Essen, Deutschland.
- Nave, K. (2022). *Charakterisierung situativer mentaler Modellkomponenten in der Chemie und die Bildung von Hypothesen - Eine qualitative Studie zur Operationalisierung mentaler Modellkomponenten für den Fachbereich Chemie*. (Doktorarbeit). Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin.
- Neuroth, J. (2007). *Mapping als Lernstrategie : eine Interventionsstudie zum Chemielernen aus Texten*. Berlin: Logos Verlag.
- Nyachwaya, J. M., & Wood, N. B. (2014). Evaluation of chemical representations in physical chemistry textbooks. *Chemistry Education Research and Practice*, 15, 720-728.
- Popper, K. (1935). *Logik der Forschung*. Wien Springer Verlag.
- Popper, K. (1994). *Logik der Forschung (Die Einheit der Gesellschaftswissenschaften)* (Vol. 4). Tübingen: Mohr Siebeck Verlag.
- Rädiker, S., & Kuckartz, U. (2019). *Analyse qualitativer Daten mit MAXQDA*. Wiesbaden: Springer VS.
- Rost, M. (2021). *Modelle als Mittel der Erkenntnisgewinnung im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. Entwicklung und quantitative Dimensionalitätsanalyse eines Testinstruments aus epistemologischer Perspektive*. Berlin: Logos Verlag.
- Scheide, K. (2018). *Charakterisierung von mentalen Modellkategorien im Problemlöseprozess der Chemie*. Humboldt Universität zu Berlin, Berlin.
- Schroeder, N. L., Nesbit, J. C., Anguiano, C. J., & Adesope, O. O. (2018). Studying and Constructing Concept Maps: a Meta-Analysis. *Educational Psychology Review*, 30(1), 431-455. doi:10.1007/s10648-017-9403-9
- Seel, N. (1991). *Weltwissen und mentale Modelle*. Göttingen, Toronto, Zürich: Hogrefe Verlag für Psychologie.
- Seel, N. (2003). *Psychologie des Lernens: Lehrbuch für Pädagogen und Psychologen* (Vol. 2). München, Basel: Ernst Reinhardt Verlag.



- Seel, N. (2006). Mental Models in Learning Situations. *Advances in Psychology*, 138(1), 85-107. doi:10.1016/S0166-4115(06)80028-2
- Sieve, B. F. (2012). Wirrwarr um die chemische Formelsprache. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule*, 61(2), 41-45.
- Sommer, K., & Pfeifer, P. (2019). Experiment und Erkenntnis. In K. Sommer, J. Wambach-Laicher, & P. Pfeifer (Eds.), *Konkrete Fachdidaktik Chemie* (Vol. 2, pp. 70-88). Hannover: Aulis Verlag in Friedrich Verlag GmbH.
- Sonnenschein, I. (2019). *Naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsprozesse Studierender im Labor*. (Doktorarbeit). Humboldt Universität zu Berlin, Berlin.
- Stiller, C., Allmers, T., Habigsberg, A., Stockey, A., & Wilde, M. (2020). Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften: Von der Hypothese zur Theorie. *Zeitschrift für Schul- und Professionsentwicklung*, 2(2), 28-39. doi:<https://doi.org/10.4119/pflb-3302>
- Sumfleth, E., & Nakoinz, S. (2019). Chemie verstehen – beobachtbare makroskopische Phänomene auf submikroskopischer Ebenemodellbasiert interpretieren. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften ZfDN*, 25(1), 231-243. doi:<https://doi.org/10.1007/s40573-019-00101-x>
- Sumfleth, E., Neuroth, J., & Leutner, D. (2010). Concept Mapping – eine Lernstrategie muss man lernen. *Chemkon*, 17(1), 66-70.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251-296.
- Taber, K. (2009). Learning at the symbolic level. In J. K. Gilbert & D. Treagust (Eds.), *Multiple representations in chemical education. Models and modeling in science education* (pp. 75-105). Dordrecht: Springer Verlag.
- Taber, K. (2013). Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *The Royal Society of Chemistry*, 14, 156-168.
- Talanquer, V. (2011). Macro, submicro, and symbolic: the many faces of the chemistry “triplet”. *International Journal of Science Education*, 33(2), 179-195.
- Tan, K. C. D., Goh, N. K., Chia, L. S., & Treagust, D. F. (2009). Linking the Macroscopic, Sub-microscopic and Symbolic Levels: The Case of Inorganic Qualitative Analysis. In J. K. Gilbert & D. Treagust (Eds.), *Multiple representations in chemical education. Models and modeling in science education* (pp. 137-150). Dordrecht: Springer Verlag.
- Treagust, D. F., & Chandrasegran, A. L. (2009). The Efficacy of an Alternative Instructional Programme Designed to Enhance Secondary Students’ Competence in the Triplet Relationship. In J. K. Gilbert & D. F. Treagust (Eds.), *Multiple representations in chemical education. Models and modeling in science education* (pp. 151-168). Dordrecht: Springer Verlag.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1353-1368.
- Tsaparlis, G. (2009). Learning at the Macro Level: The Role of Practical Work. In J. K. Gilbert & D. F. Treagust (Eds.), *Multiple representations in chemical education. Models and modeling in science education* (pp. 109-136). Dordrecht: Springer Verlag.
- van Berkel, B., Pilot, A., & Bulte, A. M. W. (2009). Micro–Macro Thinking in Chemical Education: Why and How to Escape. In J. K. Gilbert & D. F. Treagust (Eds.), *Multiple representations in chemical education. Models and modeling in science education* (pp. 31-54). Dordrecht: Springer Verlag.
- Weber, J., & Upmeyer zu Belzen, A. (2022). Qualitäts- und Situationsausprägungen in nach Denk- und Arbeitsweisen strukturierten Erkenntnisprozessen - Kodiermanual - (Publication no. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6378694>).
- Wellnitz, N., & Mayer, J. (2008). Evaluation von Kompetenzstruktur und -niveaus zum Beobachten, Vergleichen, Ordnen und Experimentieren. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 7, 129-143.