**Kapitel 9: Lösungshinweise zu den Aufgaben**

*Vorbemerkung: Die hier vorgestellten Lösungshinweise sind keine Musterlösungen, sondern beispielhafte Lösungsskizzen und -ideen. Adäquate alternative Lösungen sind natürlich möglich.*

*Zu einigen Aufgaben können keine Lösungshinweise angegeben werden. Meist handelt es sich dann um sehr individuelle Reflexionen oder Rechercheergebnisse.*

A9.1 Gehen Sie die Antwort von Marko aus dem Einstiegsbeispiel durch und erklären Sie, was Markos Lehrkraft an seinem Text bemängelt. Belegen Sie Ihre Aussage an Beispielen aus dem Text.

*Die Lehrkraft bemängelt, dass der Schüler sprachlich nicht zwischen den Ebenen Stoff, Teilchen und Formel unterscheidet. So schreibe er nur Formeln, meine aber Stoffe. Beispiele: „NaCl-Lösung“, „30%ige NaOH.“, „PTFE ist nur für Na+ und H2O durchlässig“, „Anode aus Ti mit einem Ru-Überzug“, „das gelbgrüne Cl2 [...] Kathode aus Ni bildet sich aus H2O H2.“ Der Schüler verwendet die Formelschreibweise als Abkürzung für Stoffe und trennt damit nicht sprachlich zwischen Stoff und den Teilchen, aus denen eine Stoff aufgebaut ist.*

A9.2 Nehmen Sie begründet Stellung zu den Positionen der Lehrkräfte Gunnar und Jutta.

*Argumentationsaspekte:*

*Gunnar:*

* *Eine sprachliche Differenzierung der Ebenen Stoff, Teilchen und Formel für eine fachlich angemessene Kommunikation wichtig und trägt zur Eindeutigkeit der Darstellung bei.*
* *Formelsymbole sollten nur für konkrete Teilchen angegeben werden, sind Stoffe gemeint, sollte man die Namen der Stoffe ausschreiben; chemische Formeln seien keine Abkürzungen für Stoffe*

*Jutta:*

* *Trennung der Ebenen ist nicht so wichtig, weil sich aus dem Kontext die Ebene erschließt*

*Gunnars Position ist nachvollziehbar und in sich schlüssig; leistungsstarke Lernende haben ggf. weniger Probleme mit der sprachlich nicht klaren Trennung der Ebenen, aber für leistungsschwächere Lernende kann die Vermischung der Ebenen Stoff und Teilchen ggf. zu Verstehensbarrieren führen. Daher sollte man sich der Position von Gunnar anschließen.*

A9.3 Nach Ainsworth (1999) umfasst die *representational competence* vier kognitive Anforderungen. (1) Lernende müssen die Art der Repräsentation verstehen und erkennen, wofür sie steht. (2) Ihnen muss die Beziehung bzw. der Zusammenhang zwischen der Darstellung und dem Fach ersichtlich sein. (3) Sie müssen aus mehreren Darstellungen die für den Sachverhalt geeignete auswählen und / oder (4) eine angemessene Repräsentation erstellen können. Die *representational competence* beschreibt damit eine Entwicklung vom Verständnis von Repräsentation bis hin zur eigenen Gestaltung einer fachlich angemessenen Repräsentation. Erläutern Sie die genannten Anforderungen jeweils an einem selbst gewählten Beispiel.

*Zu 1 und 2) Eine Lehrkraft präsentiert die Strukturformel (Valenzstrichformel) für das Ethanol-Molekül. Die Lernenden müssen die Buchstaben als Atomsymbole für die Atome von Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H) und Sauerstoff (O) erkennen, die Striche zwischen den Atomen als Elektronennpaarbindungen und die Striche neben dem O-Atom als freie Elektronenpaare. Sie müssen also zusätzlich zur Art der Formelschreibweise die Atomsymbole kennen. Zudem müssen die Lernenden aus der Schreibweise ableiten, dass es sich um ein Molekül handelt und dass das O-Atom mit einem H-Atom eine Hydroxy-Gruppe bildet. Kenntnisse zu funktionellen Gruppen sind damit auch inhaltliche Voraussetzung für das erlesen der Repräsentation.*

*Den Lernenden muss über die Art der Formelschreibweise klar sein, dass es sich um eine chemische Verbindung handelt und daher das Fach Chemie adressiert.*

*Zu 3) In einer Leistungskontrolle sollen die Lernenden den Mechanismus der säurekatalysierten Veresterung einer Carbonsäure mit einem Alkohol in einer ihnen geeignet erscheinenden Formelschreibweise formulieren. Hierbei müssen die Lernenden erkennen, dass sie mit der Darstellung von Valenzstrichformeln eine sehr geeignete Repräsentation ist. Molekülformeln oder die einfache Verwendung von Worten für die Teilchen sind hingegen ungeeignet für die Aufgabe.*

*Zu 4) Für das o. g. Beispiel müssen die Lernenden die Valenzstrichformeln der Teilchen zeichnen können und mit weiteren Kenntnissen über polare Gruppen und reaktive Teilchen verknüpfen. Auch Kenntnisse über die Darstellung der Elektronenverschiebungen über Pfeile (normale Pfeilspitze, kein Harpunenpfeil) sind nötig.*

A9.4 Ordnen Sie folgende Wörter den Repräsentationsebenen zu und begründen Sie Ihre Zuordnung: Praxis, Versuche, Dingwelt, Experimente, Sinneswelt, Denken im Kontinuum, Theorie, Interpretation, Denkwelt, Stoffportion, Stoffbaustein, Eisen, Cu, Erklärung.

*Makroskopische Ebene: Praxis, Versuche, Dingwelt, Experimente, Sinneswelt, Denken im Kontinuum. Stoffportion, Eisen, Erklärung, (Theorie), Interpretation*

*Submikroskopische Ebene: Theorie, Interpretation, Denkwelt, Stoffbaustein, Cu, Erklärung*

*Begründungen:*

* *Begriffe der makroskopischen Ebene sind gegenständlich wahrnehmbar, anfassbar, direkt erfahrbar (Ausnahme: Denken im Kontinuum; dies ist eine Sicht auf die Materie, die den Aufbau von Materie als einheitlich betrachtet und eine Lernendenvorstellung sein kann)*
* *Begriffe auf der submikroskopischen Ebene kennzeichnen den Bausteincharakter der Materie (Denken im Diskontinuum) (> Cu, Stoffbaustein). Da die submikroskopische Ebene nur über Denkmodelle (Vorstellungen) für uns zugänglich ist, ist diese Ebene interpretativ und begründet sich auf Theorien und Modelle zum Aufbau von Stoffen*
* *Doppelt vorkommende Begriffe wie Erklärung, Theorie, Interpretation sollen verdeutlichen, dass auch Phänomene auf der makroskopischen Ebene theoriegeleitet interpretiert und erklärt werden.*

A9.5 Lesen Sie den Einstiegstext erneut. Ordnen Sie soweit möglich einzelnen Aussagen die Repräsentationsebenen zu. Reflektieren Sie im Anschluss Ihre Ausführungen zu den Aufgaben 9.1 und 9.2.

*Die Reflexion ist individuell und von der jeweiligen Lösung zu den Aufgaben 9.1 und 9.2 abhängig. Daher kann keine allgemeingültige Lösung formuliert werden. Im Kern sollte jedoch der Argumentation von Gunnar zugestimmt werden, da gerade die sprachliche und symbolische Trennung der Ebenen Stoff und Teilchen für das Verständnis chemischer Sachverhalte wichtig ist.*

A9.6 Analysieren Sie für die Formeldarstellungen in Abb. 9.4 a) bis f), welche inhaltlichen Voraussetzungen Lernende für das „Lesen“ der verschiedenen Formeldarstellungen abrufen müssen. Benennen Sie jeweils auch die Arten der Formeldarstellungen (vgl. Tab. 9.1).

*a) Kalottendarstellung: Atommodell nach Dalton, Farbcodierung für Atomdarstellungen*

*b) Kugel-Stab-Darstellung: mind. Atommodell nach Dalton (dann nur „Bindigkeit“ von Atomen), besser diff. Atommodell (Energiestufenmodell) und Modell zur Elektronenpaarbindung (Bindungswinkel hier wie auch bei a) nicht ableitbar)*

*c) vgl. b), jedoch mit dargestellten freien Elektronenpaaren in Anlehnung an das Kugelwolkenmodell: diff. Atommodell (Energiestufenmodell) und Modell zur Elektronenpaarbindung, EPA-Modell (VSEPR-Modell) oder Kugelwolkenmodell*

*d) Kugel-Stab-Darstellung in Elektronendichteverteilungsfunktion: vgl. c), zusätzlich polare Elektronenpaarbindung, Elektronegativität und die Auswirkung auf die Elektronendichte am jeweiligen Atom*

*e) Strukturformel (Valenzstrichformel, veraltet: Lewis-Formel) mit Symbolen für Teilladungen: vgl. c), jedoch abstraktere Darstellung, Kenntnisse über Formelschreibweisen (Buchstaben, Striche) (vgl. Lösung zu Aufgabe 9.3), zusätzlich polare Elektronenpaarbindung, Elektronegativität und die Auswirkung auf die Bindungspolarität*

*f) Molekülformel (veraltet: Summenformel): Atommodell von Dalton, Molekülbegriff, Elementsymbole, Regeln für das Setzen von Indices*

A9.7 Mahaffy (2006) erweiterte das „Chemische Dreieck“ zu einem „Chemischen Tetraeder“. Recherchieren Sie die Unterschiede zwischen den beiden genannten Einteilungen. Diskutieren Sie, inwiefern es sich bei der Ergänzung von Mahaffy um eine Repräsentationsebene handelt.

*Mahaffy ergänzte die drei Ebenen des „Chemischen Dreiecks“ um die sog. menschliche Komponente („human element“). Mahaffy meinte damit, das historische und moderne Entwicklungen der Wissenschaft und auch der Einfluss der Chemie auf den Menschen sowie der Gesellschaft im Chemieunterricht mitbetrachtet werden müssten. Aus diesem Grund wird die vierte Ebene häufig vereinfacht als Kontextbezug oder Alltagsbezug bezeichnet.*

*Mit Blick auf den Unterricht mag der „Chemische Tetraeder“ das „Spielfeld“ umschreiben, in dem Lernende und Lehrkräfte sich im Chemieunterricht bewegen, doch ist das „human element“ im Kern keine Repräsentationsebene.*

A9.8 Zur Reflexion: Denken Sie an Ihren eigenen Chemieunterricht als Lernende:r oder auch an Ihren selbst erteilten Chemieunterricht und reflektieren Sie Ihre Erfahrungen mit den o. g. Repräsentationsebenen.

*Zu dieser Aufgabe können keine allgemein gültigen Lösungshinweise gegeben werden, da die Angaben auf der Basis einer individuellen Reflexion erfolgen.*

A9.9 Beurteilen Sie die Abb. 9.7 in Bezug auf die Darstellung der Repräsentationsebenen. Machen Sie ggf. einen Vorschlag zur Optimierung.

*Die Darstellung stellt sog. „Becherglasmodelle“ dar. Durch die Verwendung von Symbolschreibweisen als Repräsentation der submikroskopischen Ebene soll der Fokus der Lernenden direkt auf die submikroskopische Ebene gelenkt werden. Das Problem jedoch ist, dass die „Bechergläser“ selbst nicht ebenengerecht symbolisiert sind, was Lernende hinterfragen könnten bzw. durch die sie sogar verunsichert werden könnten. Eine mögliche Optimierung bestünde hier aus stilisierten Lupen (Teilchenlupen), in denen die Repräsentanten für die submikroskopische dargestellt sind, während Becherglas und Tropfen über Symboliken für die makroskopische Ebene gezeichnet sind (Stil vgl. Abb. 9.5., Abb. 9.6 rechts)*

A9.10 Ordnen Sie die folgenden Begriffe der Ebene der Stoffe bzw. der Ebene der Stoffbausteine zu oder kennzeichnen Sie den Begriff als Hybrid. Begründen Sie Ihre Zuordnung.

Atom, Molekül, Ion, Ionenverbindung, Molekülverbindung, Teilchen, Reinstoff, Stoffgemisch, Partikel, Brönsted-Säure/Brönsted-Base, saure / alkalische Lösung, Lauge, Arrhenius-Säure/Arrhenius-Base, Reduktionsmittel/Oxidationsmittel, Reduktion, Oxidation, Redoxreaktion, Oxidbildung, Verbrennung, Elektronenübertragung, Donator-Akzeptor-Konzept

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***Ebene der Stoffe*** | ***Ebene der Stoffbausteine*** | ***Hybrid*** |
| *Reinstoff, Stoffgemisch, saure/alkalische Lösung, Lauge, Verbrennung, Oxidbildung* | *Atom, Molekül, Ion, Brönsted-Säure, Brönsted-Base, Teilchen, Elektronenübertragung, Donator-Akzeptor-Konzept* | *Ionenverbindung, Molekülverbindung, Partikel, Arrhenius-Säure, Arrhenius-Base, Reduktionsmittel, Oxidationsmittel, Reduktion, Oxidation, Redoxreaktion* |
| *Begriffe beziehen sich eindeutig auf die makroskopische Ebene (anfassbar, greifbar, sinnlich erfahrbar)* | *Bezeichnungen beziehen sich eindeutig auf die submikroskopische Ebene (es sind konkrete Stoffbausteine gemeint oder Vorgänge beschrieben, bei denen Bestandteile von Atomen übertragen werden)* | *Hybridbegriffe, da sie a) im Wort beide Ebenen ansprechen (z. B. Ionenverbindung) oder b) je nach Theoriegebäude den jeweiligen Ebenen zugeordnet werden können (z. B. Oxidation: Sauerstoffebene Stoff; Elektronenebene Stoffbaustein* |

A9.11 In einer Aufgabe für Lernende des 12. Jahrgangs finden Sie die nachfolgenden Angaben. Analysieren Sie die Aufgabenstellung auf der Basis der vorherigen Ausführungen und stellen Sie die Unterschiede im Grad der verwendeten mathematischen Repräsentationen gegenüber der Beispielaufgabe heraus.

*„Autofahrer können mithilfe verschiedener „CO2-Rechner“, die im Internet verfügbar sind, den Kohlenstoffdioxidausstoß ihres Fahrzeugs ermitteln.*

*Berechnen Sie ohne Nutzung eines solchen Rechners die CO2-Emission eines mit Normalbenzin betriebenen Fahrzeugs, das eine durchschnittliche Fahrleistung von 35.000 Kilometern pro Jahr und einen Kraftstoffverbrauch von 5,7 Litern pro 100 Kilometer aufweist. Berücksichtigen Sie dabei, dass pro Liter Benzin 2,3 kg Kohlenstoffdioxid freigesetzt werden.*

*Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit dem Ergebnis der Berechnung eines CO2-Rechners.“* (Arnold und Dietrich 2010, 443)

*Angewendet auf die Schritte 1 bis 5 aus dem Beispiel 9.1 ergibt sich, dass die Lernenden zwar das Problem verstehen müssen (Schritt 1), jedoch eine Übertragung auf das chemische Modell (Schritt 2) für die Aufgabenlösung gar nicht nötig ist. Aufgrund der Angabe der pro Liter Benzin freigesetzten Masse an Kohlenstoffdioxid liegt nur eine rechnerische Anforderung vor, da kein Bezug zu einer Reaktionsgleichung hergestellt werden muss. Der Grad der Mathematisierung (Schritt 3) ist damit ebenfalls deutlich geringer, da nur das für 35 000 km Jahresfahrleistung nötige Kraftstoffvolumen durch Multiplikation mit dem Faktor 0,057 L/km berechnet werden muss. Über die Angabe der pro Liter Kraftstoff freigesetzten Kohlenstoffdioxidmasse lässt sich die auf die Jahresfahrleistung bezogene Kohlenstoffdioxidmasse leicht durch Multiplikation errechnen. Eine Plausibilitätsprüfung des errechneten Wertes (Schritt 4) ist ebenfalls nicht nötig. Allenfalls können die Lernenden noch Teile von Schritt 5 leisten. Allerdings ist dies nicht explizit in der Aufgabenstellung gefordert. Die Lernenden setzen sich in dieser Aufgabe daher vorwiegend mit mathematischen Repräsentationen auseinander. Die Verknüpfung von Chemie und Mathematik ist hier sehr gering.*

A9.12 Im Anfangsunterricht erarbeiten Sie mit Ihrer 7. Klasse den Dichte-Begriff. Die Lernenden sollen die Dichte von Cola und von Cola-Light bestimmen. Wenden Sie den in Beispiel 9.1 zur Berechnung der Kohlenstoffdioxid-Emission geschilderten Weg auf dieses Problem an. Identifizieren Sie die für die Lernenden wichtigen gedanklichen Schritte und die notwendigen mathematischen Vorkenntnisse.

*Schritt 1: Verstehen des Phänomens*

*Die Lernenden beobachten, dass die Dose eines Cola-Getränks in Wasser sinkt, während eine Dose eines Cola-light-Getränks im Wasser schwimmt. Hieraus können sie die Hypothese ableiten, dass bei gleichem Volumen an Getränk die Cola schwerer sein muss als die Cola-light.*

*Schritt 2: Übertragung auf das chemische Modell*

*Für die Prüfung der Hypothese müssen nun die Massen und die Volumina von Cola-Getränken betrachtet werden. Beim Öffnen der Dosen erkennen die Lernenden, dass beide Getränke schäumen und der Schaum das Messergebnis stark beeinträchtig. Die Getränke werden stehen gelassen, damit die „Kohlensäure“ entweicht und man nur noch die Flüssigkeit hat (Alltagserfahrung Schalwerden von Sprudelgetränken).*

*Schritt 3: Mathematisieren und mathematisch arbeiten*

*Die Lernenden entwickeln eine Vorgehensweise zur Ermittlung der Massen von Getänkevolumina (Spritzen leer wiegen, 10 mL des Getränks aufziehen, Spritze erneut wiegen, Differenzbildung, Vorgang mit 8 mL, 6 mL, 4 mL, 2 mL des Getränks wiederholen, Wertepaare notieren). Die Lernenden können hier sicherlich nur die Grundidee entwickeln (bestimmtes Volumen in Gefäß einfüllen, Probe wiegen); die genaue Vorgehensweise ist nicht Bestandteil des Erfahrungsraumes der Lernenden. Experimentelle Bestimmung erfolgt mit dem Cola-Getränk, dem Cola-light-Getränk und mit Wasser (Vergleich; Bezug zum Schwimmen und Sinken der Dosen)*

*Analyse der Daten: Auftragung der Wertepaare in einem Massen-Volumen-Diagramm (Kenntnisse zum Anfertigen von Liniendiagrammen sind hier nötig); Ergebnis: Drei Ursprungsgeraden mit unterschiedlicher Steilheit (Begriff Steigung ist nicht abrufbar); Lernende ermitteln für jedes Wertepaar den Quotienten m/V und erhalten pro Getränk annähernd konstante Werte; Erkenntnis, dass Quotient aus Masse und Volumen eine stoffspezifische Größe ist; Einführung des Begriffs Dichte.*

*Schritte 4 und 5: Übertragung auf die Chemie / Interpretation des Ausgangsphänomens*

*Herstellen des Bezugs zum Ausgangsphänomen (Schwimmen von Cola-light, Sinken von Cola in Wasser); Erkenntnis: Stoffe und Gegenstände, deren Dichte kleiner als die von Wasser ist, schwimmen im Wasser, solche, deren Dichte größer als 1 ist, sinken in Wasser ab. Dichte liefert plausible Erklärung für Schwimm-Sink-Verhalten.*

A9.13 Suchen Sie weitere Beispiele für chemische Inhalte, zu denen Ihre Schülerinnen und Schüler ein Stop-Motion-Erklärvideo anfertigen sollten. Planen Sie für eines Ihrer Beispiele ein Unterrichtsszenario und beschreiben Sie, was Sie bei der praktischen Umsetzung im Unterricht bedenken sollten

*Beispielhafte Lösung: Lösen von Zucker in Tee, Aggregatzustandsänderungen (Teilchenmodell), Vorstellung zum Ablauf der Verbrennung von Kohle (Atommodell nach Dalton), Ablenkung eines Wasserstrahls in einem inhomogenen elektr. Feld (polare Bindung), Lösen von Salzen in Wasser (Elektronenpaarbindung, Ionenbindung), Ablauf einer Protolyse (Brönsted-Theorie), Verlauf von Reaktionsmechanismen (z. B. radikalische Substitution)...*

*Beispielhaftes Unterrichtsszenario: Ablenkung eines Wasserstrahls als Anwendung der dipolaren Eigenschaften des Wasser-Moleküls*

*Lernvoraussetzungen: Elektronenpaarbindung, VSEPR-Modell, dipolare Eigenschaften des Wasser-Moleküls, Elektronegativität, Teilladungen*

*Lernende führen das Experiment durch (Reiben eines Ballons am Pullover, Ballon wird einem Wasserstrahl aus einer Pipette genähert), Besprechen der Beobachtungsergebnisse, Übergang zur Gruppenarbeit mit Arbeitsauftrag der Visualisierung des Vorgangs mit einem Stop-Motion-Video (Ziel: Vorstellungen der Lernenden zum Vorgang erfassen); kurze Einführung in die Stop-Motion-Technik und zur App-Bedienung über Präsentation durch Lehrkraft; Lernende erhalten vorbereitete Symbole für Wasser-Moleküle (mit Schneideplotter ausgeschnitten) und ein Stativ für die Tablets/Smartphones, Lernende fertigen Stop-Motion-Video an; Sicherung durch Vorstellen einzelner Videos (2 – 3) und Herausarbeiten der Erklärung (elektrostatische Anziehung und Abstoßung > Ausrichtung der Wasser-Moleküle, Ausüben einer Kraft auf die Moleküle > Ablenkung); erst danach Beurteilung der Videoqualität (vgl. dazu Onlinematerial zu Kapitel 14 (Bewertungsbogen Erklärvideo); Hausaufgabe: Vertonung des Videos, ggf. Korrektur des Videos*

*Hinweis: Das Stop-Motion-Video dient hier als Diagnoseinstrument, inwiefern das Wesen der polaren Elektronenpaarbindung und die dipolaren Eigenschaften des Wasser-Moleküls erfasst wurden und auf einen anderen Kontext übertragen werden konnten. Bei der Präsentation und dem Feedback zu den Videos sollten mit den Lernenden transparente Beurteilungskriterien erarbeitet werden oder ihnen zuvor vorgelegt werden.*

A9.14 Die Kugel für ein Sauerstoff-Atom hat in vielen Molekülbaukästen zwei Möglichkeiten der Verknüpfung mit anderen Kugeln, die Kugel für ein Stickstoff-Atom drei dieser Möglichkeiten. Die Verknüpfungsmöglichkeiten weisen auch vorgegebene Bindungswinkel auf. Diskutieren Sie Vor- und Nachteile dieser Vorgabe. Entwickeln Sie aus dem Ergebnis Ihrer Diskussion eine Unterrichtsskizze zur Einführung der Raumstruktur von einfachen Molekülen.

*Vorteile: Schnelle Konstruktion von Kugel-Stab-Modellen zur Visualisierung der Vorstellungen zum räumlichen Bau von Molekülen möglich; Abschätzung/Messung der Bindungswinkel leicht möglich*

*Nachteile: Vorgabe der Bindungswinkel verhindert die zentrale Erkenntnis der abstoßenden Wirkung der bindenden Elektronenpaare am zentralen Atom eines Moleküls und damit dem Wesen des Elektronenpaar-Abstoßungs-Modells (EPA-Modell); freie Elektronenpaare in einfachen Molekülbaukästen nicht dargestellt*

*Fazit: Einsatz des Molekülbaukastens erst nach der Erarbeitung des Wesens des EPA-Modells, nicht zur Ableitung des EPA-Modells geeignet.*

*Beispielhafte Unterrichtsskizze (90 min):*

* *Einstieg: Präsentation der Valenzstrichformel eines Methan-Moleküls; Lernende beschreiben die Form der Formeldarstellung (flach, zweidimensional); Impuls: Moleküle nehmen einen Raum ein. Problemformulierung: Welche Struktur hat das Methan-Molekül?*
* *Hypothesenbildung: Explorative Entwicklung möglicher Strukturen für das Methan-Molekül; Lernende erhalten verschiedene Materialien (u. a. Knete, Zahnstocher, Trinkhalmabschnitte, Styroporkugeln, Stecknadeln)*
* *Zwischensicherung: Vorstellen der hypothetischen Strukturen und Begründung der Strukturen (antizipiert: 1) Struktur wie Valenzstrichformel; H-C-H-Bindungswinkel 90° und 180°; 2) Struktur mit gleichen Bindungswinkeln, Begründung über Abstoßung der H-Atome und / oder der Elektronenpaare; 3) Struktur pyramidenähnlich, C-Atom als Spitze, H-Atome als quadratische Grundfläche; wichtig ist hier die „Wolkenvorstellung“ vom bindenden Elektronenpaar und die Hinweise auf die Ladung der Elektronenwolken;*
* *Metareflexion I: Rückblick auf Stundenfrage und Darlegen des bisherigen Standes der Erarbeitung > bisher rein hypothetische Strukturen entwickelt; plausible Struktur mit gleichen H-C-H-Bindungswinkeln und gleichem Abstand der bindenden Elektronenpaare*
* *Präsentation des H-C-H-Bindungswinkels in einem Methan-Molekül (109,5°)); SuS messen Winkel im plausibelsten Modell; Bestätigung der plausiblen Hypothese*
* *Sicherung I: Lernende notieren ein Ergebnis (Raumstruktur des Methan-Moleküls wird durch die Abstoßung der vier bindenden Elektronenpaare im Methan-Molekül bestimmt; Elektronenpaare stoßen sich aufgrund der gleichen Ladung so ab, dass ein größtmöglicher Abstand vorliegt); Vortrag der Lehrkraft: EPA-Modell, Tetraederstruktur, Bindungswinkel Tetraederwinkel*
* *Vertiefung: Lehrkraft präsentiert Valenzstrichformeln der Moleküle von Ammoniak und Wasser und gibt den H-N-H- und den H-O-H-Bindungswinkel an; Lernende konstruieren arbeitsteilig unter Anwendung des EPA-Modells die räumlichen Strukturen*
* *Präsentation der Strukturen (antizipiert: Ammoniak-Molekül als dreiseitige Pyramide mit N-Atom als Spitze und freiem EP darauf; Wasser-Molekül als Winkel mit zwei freien EPs am O-Atom; Schwierigkeiten ergeben sich für die Darstellung der freien EPs); Problematisierung: Warum sind die Winkel kleiner als beim Methan-Molekül? Diskussion um die Darstellung und die Lage der freien EPs (Darstellung der freien EPs über Knete oder Stecknadeln sinnvoll)*
* *Sicherung II: Lernende ergänzen die Angaben zum EPA-Modell um die Rolle der freien Elektronenpaare am zentralen Atom (ggf. durch die Lehrkraft zusammengefasst)*
* *Ggf. Metareflexion II: Lernende fassen den Erkenntnisweg der Stunde zusammen*
* *Hausaufgabe: Anwendung und Übung zum EPA-Modell*

A9.15 Im *Electronic Supplementary Material* steht ein editierbares Arbeitsmaterial zur Abschätzung der Aussagekraft verschiedener Formelschreibweisen zum Download bereit. Füllen Sie das Arbeitsmaterial exemplarisch für die in Tabelle 9.1 aufgeführten Formelschreibweisen des Butan-1-ol-Moleküls aus. Leiten Sie daraus ab, welche Formeldarstellung für welche Sachzusammenhänge geeignet ist.

*Siehe Lösungsskizze zum Arbeitsmaterial.*

A9.16 Zeichnen Sie die Fischer-Projektionsformel für D-Glucose und wandeln Sie diese Schreibweise in die Haworth-Formeln für die beiden Anomere α-D-Glucose und β-D-Glucose um. Zeichnen Sie ebenfalls die Valenzstrichformel für das Cyclohexan-Molekül und leiten Sie daraus die Sessel- und die Wannen-Konformation für dieses Molekül ab. Beschreiben Sie, was die jeweiligen Formeldarstellungen zeigen und was nicht.

*Fischer-Projektionsformel zu Haworth-Formel:*

**

*(Bildquelle: van Nek, Schulte-Coerne, Sieve (2018): Chemie heute SII – Gesamtband, S. 385)*

*Die Fischer-Projektionsformel zeigt die Chiralitätszentren eines Moleküls sehr gut. Damit lassen sich die D- und L-Formen gut unterscheiden und Enantiomere und Diastereomere identifizieren. Problematisch ist an der Darstellung, dass bei Glucose nur ein verschwindend kleiner Teil der Glucose-Moleküle in der offenkettigen Form vorliegt und die Ringform dominiert.*

*Die Haworth-Formel stellt das Produkt der intramolekularen nucleophilen Addition als Ringschlussreaktion dar und ist im Prinzip eine auf die Seite gelegte und aufgerollte Fischer-Projektion. In dieser Darstellung erkennt man die Pyranose-Form des D-Glucose-Moleküls. Ein weiterer Vorteil ist, dass durch diese Darstellung die Bildung der beiden Anomere α-D-Glucose und β-D-Glucose nachvollziehbar wird.*



*Skelettformel des Cyclohexan-Moleküls: Das Molekül erscheint als flaches Sechseck, was einen C-C-C-Bindungswinkel von 120° zufolge hätte und damit ein gehöriges Maß an Ring- und Torsionsspannung. Diese Darstellung ist jedoch im einführenden Unterricht geeignet, um die Existenz ringförmiger Moleküle zu zeigen.*



*Fachlich korrekt ist die Darstellung des Cyclohexan-Moleküls in der Sesselkonformation (99 % der Moleküle liegen bei Raumtemperatur in dieser Konformation vor), in der Bindungswinkel näherungsweise einen Tetraederwinkel bilden. Diese Darstellung kommt auch dem Nachbau von Cyclohexan-Molekülen mit dem Molekülbaukasten nahe. Die häufig in Schulbüchern noch zu findende Aufgabe zur Umwandlung der Sessel- in die Wannenkonformation (eigentlich Bootkonformation) ist in der Theorie sinnvoll, hinsichtlich der energetischen Hürden, die für die Bildung der Bootkonformation beim Cyclohexan-Molekül bestehen, jedoch fachlich wenig plausibel. Es sollte besser die Bildung einer Twistkonformation nachgestellt werden, die energetisch betrachtet deutlich wahrscheinlicher ist als die Bootkonformation.*

*(Abbildungen gemeinfrei)*