
Fachlehrpläne

Gymnasium: Chemie 12 (erhöhtes Anforderungsniveau)

gültig ab Schuljahr 2024/25

Der Lernbereich 1 bildet die Kompetenzerwartungen der Bildungsstandards für die allgemeine Hochschulreife ab und umfasst die Kompetenzbereiche Sach-, Erkenntnisgewinnungs-, Kommunikations- und Bewertungskompetenz. Diese vier Kompetenzbereiche durchdringen einander und beschreiben die Fachkompetenz im Fach Chemie. Jeder der vier Kompetenzbereiche erfordert jeweils bereichsspezifisches Fachwissen, das in den folgenden Lernbereichen den jeweiligen Kompetenzbereichen zugeordnet wird.

In den folgenden Lernbereichen sind die von Schülerinnen und Schülern zu erwerbenden Kompetenzen präzisiert dargestellt und Inhalten zugeordnet, an denen sie erworben werden können. Die Kompetenzerwartungen der Bildungsstandards werden in den folgenden Lernbereichen beispielhaft zugeordnet. Diese Zuordnung kann nach Aktivierung der Schaltfläche „Kompetenzbereiche anzeigen“ im Lehrplaninformationssystem per Mouseover angezeigt werden. Eine andere Zuordnung zu einem Lernbereich, in dem die Kompetenzen aus den Bereichen Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung schwerpunktmäßig erworben werden, ist denkbar.

Im Sinne der Berufs- und Studienorientierung sollen die Schülerinnen und Schüler zudem Hinweise auf Berufs- und Studienfelder der Chemie und angrenzender Disziplinen erhalten.

C12 Lernbereich 1: Wie Chemikerinnen und Chemiker denken und arbeiten

C12 1.1: Sachkompetenz

- Chemische Konzepte und Theorien zum Klassifizieren, Strukturieren, Systematisieren und Interpretieren nutzen
- Chemische Konzepte und Theorien auswählen und vernetzen
- Chemische Zusammenhänge qualitativ-modellhaft erklären
- Chemische Zusammenhänge quantitativ-mathematisch beschreiben

Kompetenzerwartungen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- beschreiben und begründen Ordnungsprinzipien für Stoffe und wenden diese an, um die Vielfalt der Stoffe und ihrer Eigenschaften zu erklären oder auf der Basis chemischer Strukturen und Gesetzmäßigkeiten vorauszusagen. Dabei unterscheiden sie konsequent zwischen Stoff- und Teilchenebene.
- nutzen ausgewählte Reaktionsmechanismen, die Umkehrbarkeit chemischer Reaktionen sowie das Donator-Akzeptor-Prinzip, um verschiedene Reaktionstypen zu bestimmen und zu erklären.
- nutzen verschiedene Typen chemischer Reaktionen und physikalischer Vorgänge, um Stoffkreisläufe in Natur oder Technik zu beschreiben.
- nutzen Modelle und Simulationen, um das dynamische Gleichgewicht zu beschreiben. Dabei grenzen sie den statischen Zustand auf Stoffebene vom dynamischen Zustand auf Teilchenebene ab und erklären Einflussfaktoren auf chemische Reaktionen auf Stoff- und Teilchenebene (Reaktionsbedingungen, Einsatz von Katalysatoren).
- interpretieren Phänomene der Stoff- und Energieumwandlungen bei chemischen Reaktionen. Dabei erklären sie unterschiedliche Reaktivitäten und Reaktionsverläufe durch die Veränderung von Teilchen sowie den Umbau chemischer Bindungen und entwickeln die zugehörigen Reaktionsgleichungen.
- wenden Modelle zur chemischen Bindung und zu intra- und intermolekularen Wechselwirkungen an und nutzen chemische Konzepte und Theorien zur Vernetzung von Sachverhalten innerhalb der Chemie sowie mit anderen Unterrichtsfächern.
- nutzen mathematische Verfahren, um erhobene oder recherchierte Daten quantitativ auszuwerten.

C12 1.2: Erkenntnisgewinnungskompetenz

- Fragestellungen und Hypothesen auf Basis von Beobachtungen und Theorien bilden
- Fachspezifische Modelle und Verfahren charakterisieren, auswählen und zur Untersuchung von Sachverhalten nutzen
- Erkenntnisprozesse und Ergebnisse interpretieren und reflektieren
- Merkmale wissenschaftlicher Aussagen und Methoden charakterisieren und reflektieren

Kompetenzerwartungen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- identifizieren ausgehend von Alltagssituationen mit naturwissenschaftlichen Methoden Fragestellungen, um theoriegeleitet Hypothesen aufzustellen.
- planen hypothesengeleitete qualitative und quantitative Untersuchungen, führen diese gemäß den Sicherheitsbestimmungen durch und protokollieren diese bzw. gehen modellbasiert vor, um Hypothesen, Aussagen oder Theorien zu prüfen.
- nutzen digitale Werkzeuge und Medien, um Messwerte aufzunehmen, darzustellen und auszuwerten sowie Berechnungen, Modellierungen und Simulationen durchzuführen.
- wählen geeignete Real- oder Denkmodelle (z. B. Atommodelle, Periodensystem der Elemente) aus und nutzen sie, um chemische Fragestellungen zu bearbeiten.
- bereiten erhobene oder recherchierte Daten auf, finden in diesen Trends, Strukturen sowie Beziehungen und interpretieren diese, um damit Hypothesen zu stützen bzw. zu falsifizieren und stellen dabei auch fachübergreifende Bezüge her.
- diskutieren Möglichkeiten und Grenzen von Modellen.
- reflektieren die eigenen Ergebnisse und den eigenen Prozess der Erkenntnisgewinnung.
- reflektieren Möglichkeiten und Grenzen des Erkenntnisgewinnungsprozesses sowie die Gültigkeit der gewonnenen Erkenntnisse (Reproduzierbarkeit, Falsifizierbarkeit, Intersubjektivität, logische Konsistenz, Vorläufigkeit).

C12 1.3: Kommunikationskompetenz

- Informationen erschließen
- Informationen aufbereiten
- Informationen austauschen und wissenschaftlich diskutieren

Kompetenzerwartungen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- recherchieren zu chemischen Sachverhalten in analogen und digitalen Medien und wählen Quellen zielgerichtet aus.
- wählen relevante und aussagekräftige Informationen und Daten zu chemischen Sachverhalten und anwendungsbezogenen

Fragestellungen aus und erschließen Informationen aus Quellen mit verschiedenen, auch komplexen Darstellungsformen.

- vergleichen verschiedene Quellen oder Darstellungsformen im Hinblick auf deren Aussagen sowie ihre Vertrauenswürdigkeit, um deren Validität zu beurteilen.
- bereiten chemische Sachverhalte und Informationen sach-, adressaten- und situationsgerecht auf, indem sie eine geeignete Auswahl treffen, diese in geeignete Darstellungsformen überführen und die Verwendung der jeweiligen Darstellungsform reflektieren. Dabei unterscheiden sie zwischen Alltags- und Fachsprache und verwenden Fachbegriffe und Fachsprache korrekt.
- strukturieren und interpretieren ausgewählte Informationen und leiten Schlussfolgerungen ab.
- erklären chemische Sachverhalte und argumentieren fachlich schlüssig.
- nutzen geeignete analoge und digitale Medien, um chemische Sachverhalte sowie Lern- und Arbeitsergebnisse sach-, adressaten- und situationsgerecht zu präsentieren.
- prüfen die Urheberschaft, belegen verwendete Quellen und kennzeichnen Zitate.
- tauschen sich mit anderen konstruktiv über chemische Sachverhalte aus, vertreten, reflektieren und korrigieren gegebenenfalls den eigenen Standpunkt.

C12 1.4: Bewertungskompetenz

- Sachverhalte und Informationen multiperspektivisch beurteilen
- Kriteriengeleitet Meinungen bilden und Entscheidungen treffen
- Entscheidungsprozesse und Folgen reflektieren

Kompetenzerwartungen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- betrachten Aussagen, Modelle und Verfahren aus unterschiedlichen Perspektiven und beurteilen diese sachgerecht auf der Grundlage chemischer Kenntnisse.
- analysieren die Inhalte von selbständig beschafften Quellen und Medien hinsichtlich fachlicher Relevanz, Vertrauenswürdigkeit sowie Intention des Autors/der Autorin, um ihre Eignung für den ausgewählten Sachverhalt zu beurteilen.
- beurteilen Informationen und Daten hinsichtlich ihrer Angemessenheit, Grenzen und Tragweite.

- entwickeln anhand relevanter Bewertungskriterien Handlungsoptionen in gesellschaftlich oder alltagsrelevanten Entscheidungssituationen mit fachlichem Bezug und wägen sie gegeneinander ab.
- beurteilen Chancen und Risiken sowie die Bedeutung ausgewählter Technologien, Produkte und Verhaltensweisen, um mit Hilfe fachlicher Kriterien begründete Handlungsoptionen in Alltagssituationen und Berufsfeldern abzuleiten.
- beurteilen Möglichkeiten und Grenzen chemischer Sichtweisen.
- bewerten die gesellschaftliche Relevanz und ökologische Bedeutung der angewandten Chemie.
- beurteilen grundlegende Aspekte zu Gefahren und Sicherheit in Labor und Alltag und leiten daraus begründet Handlungsoptionen ab.
- beurteilen Auswirkungen chemischer Produkte, Methoden, Verfahren und Erkenntnisse in historischen und aktuellen gesellschaftlichen Zusammenhängen, um diese im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung aus ökologischer, ökonomischer und sozialer Perspektive zu bewerten. Dabei reflektieren sie auch Auswirkungen des eigenen Handelns.
- reflektieren Kriterien und Strategien für Entscheidungen aus chemischer Perspektive.

C12 Lernbereich 2: Atombau und koordinative Bindung (ca. 17 Std.)

Kompetenzerwartungen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- leiten anhand von ausgewählten experimentellen Ergebnissen (z. B. Emissionsspektren und Flammenfarbe, erste Ionisierungsenergien von Hauptgruppen-Atomen) die Existenz von Unterenergiestufen (Haupt- und Nebenquantenzahl) ab.
- leiten aus der Existenz der Natrium-Doppellinie die Notwendigkeit zur Erweiterung der Quantenzahlen ab, um die Anordnung der Atome im vollständigen Periodensystem durch das Aufbauprinzip, das Pauli-Prinzip und die Hundsche Regel zu beschreiben.
- nutzen das Aufbauprinzip, das Pauli-Prinzip und die Hundsche Regel, um die Elektronenverteilung in Atomen und Atom-Ionen zu erklären.
- begründen häufig beobachtbare und abweichende Ionenladungszahlen bei den Atom-Ionen der Nebengruppenelemente

durch die energetisch begünstigten Elektronenkonfigurationen in halb- oder vollbesetzten d-Orbitalen.

- erläutern die Ausbildung von koordinativen Bindungen zwischen Zentralatom/-ion und Liganden mit der Existenz von unbesetzten Orbitalen im Zentralatom/-ion und freien Elektronenpaaren am Liganden.

Inhalte zu den Kompetenzen:

- experimentelle Hinweise auf den Feinbau der Elektronenhülle: z. B. Wasserstoff-Spektrum, weitere Emissionsspektren und Flammenfärbung, Natrium-Doppellinie, ggf. Zeeman-Effekt, Stern-Gerlach-Versuch
- Bau der Atomhülle: Hauptquantenzahl, Nebenquantenzahl, magnetische Quantenzahl, Spinquantenzahl
- Elektronenkonfiguration von Atomen und Atom-Ionen; Besetzungsregeln: Aufbauprinzip, Pauli-Prinzip, Hund'sche Regel; Kästchenschreibweise; Gang der Orbitalenergien (Merkschema), energetisch begünstigte halb- und vollbesetzte d-Orbitale (z. B. Kupfer(I)- und Kupfer(II)-Ionen, Eisen(II)- und Eisen(III)-Ionen)
- Aufbau des vollständigen Periodensystems: s-, p-, d-, f-Block, Hauptgruppen, Nebengruppen, Lanthanoide (Seltene Erden), Actinoide
- Bau von Komplexen: koordinative Bindung, Zentralatom/-ion als Elektronenakzeptor, Ligand als Elektronendonator, Koordinationspolyeder (oktaedrische, tetraedrische, quadratisch planare, lineare Anordnung), Koordinationszahl; keine vertiefte Behandlung der Bindungsverhältnisse und der Nomenklatur; Komplexstabilität (18-Elektronen-Regel, Chelateffekt), Ligandenaustausch
- Komplexverbindungen in Natur, Alltag und Technik: biologisch oder medizinisch wichtige Komplexe (Chlorophyll, Hämgruppe im Hämoglobin), farbige Komplexverbindungen in der Analytik und als Farbstoffpigmente (EDTA-Komplexe, Berliner Blau, Eisen(III)-thiocyanat), Komplexe bei der Wasserenthärtung (komplexometrische Titration und Wasserhärte)

C12 Lernbereich 3: Analytik (ca. 30 Std.)

Kompetenzerwartungen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- weisen Ionen experimentell nach, um die Zusammensetzung von Salzen und Salzgemischen sowie von sauren und basischen Lösungen qualitativ zu ermitteln und Informationen zur Zusammensetzung von Alltagsprodukten zu überprüfen.
- identifizieren mithilfe geeigneter qualitativer Nachweisreaktionen charakteristische funktionelle Gruppen bzw. Strukturelemente ausgewählter organischer Verbindungsklassen (Alkene, Alkohole, Aldehyde, Ketone, Carbonsäuren, Ester).
- beurteilen die Validität von naturwissenschaftlichen Untersuchungen unter Einbezug geeigneter Quellen, um Testergebnisse bezüglich ihres Erkenntniswertes einzuordnen.
- wenden chromatographische Analysemethoden an und werten Chromatogramme aus, um enthaltene Reinstoffe in einem Stoffgemisch zu identifizieren.
- führen Redox-Titrationen durch, um Konzentrationen von Elektronenakzeptoren oder -donatoren in wässrigen Lösungen zu bestimmen.
- führen komplexometrische Titrationen mit EDTA-Lösung durch, um Konzentrationen von Metall-Kationen in wässrigen Lösungen zu bestimmen.
- bestimmen Absorptionsmaxima geeigneter Lösungen und erstellen fotometrisch eine Kalibriergerade, um die Konzentration eines Reinstoffes in einer Lösung zu bestimmen, und beurteilen die Exaktheit einer quantitativen Gehaltsbestimmung.

Inhalte zu den Kompetenzen:

- Hinweise und Nachweise auf Ionen: Gasentwicklung (u. a. Carbonat-Ionen), Fällungsreaktionen (u. a. Chlorid-, Bromid-, Iodid- und Carbonat-Ionen), Farbreaktionen (u. a. Oxonium-, Hydroxid-, Ammonium-Ionen), Vergleich von Verbraucherinformationen und experimentellen Ergebnissen
- Nachweisreaktionen für Mehrfachbindungen (u. a. Bromwasser-Probe)
- Nachweisreaktionen für funktionelle Gruppen (Cer(IV)-ammoniumnitrat-Test, Dinitrophenylhydrazin-Test, Fehling-Probe, Tollens-Probe, Schiffsche Probe, Bromthymolblau-Test, Rojahn-Test)

- positive und negative Blindprobe, Unterscheidung von Hinweis und Nachweis
- chromatographische Analysemethoden: Dünnschichtchromatographie (DC), ggf. weitere, z. B. Hochdruck-Flüssigkeits-Chromatographie (HPLC), Gaschromatographie (GC); stationäre und mobile Phase; Wahl des Fließmittels
- Auswertung von Chromatogrammen: Sichtbarmachen der Banden; Identifikation (Co-Chromatographie, Retentionszeit, R_f -Wert); ggf. Quantifizierung über Peakfläche; ggf. computergestützte Auswertung
- Grundprinzip der Redox-Titration, Manganometrie
- Komplexometrische Titration: Wasserhärtebestimmung, ggf. weitere Beispiele
- quantitative Fotometrie: Absorptionsmaximum, Zusammenhang zwischen Absorption und Konzentration (Lambert-Beersches Gesetz), Kalibriergerade (Nutzung von Tabellenkalkulationen und computergestützten Messsystemen), graphische und rechnerische Konzentrationsbestimmung

C12 Lernbereich 4: Chemische Bindung (ca. 13 Std.)

Kompetenzerwartungen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- begründen die Antreffwahrscheinlichkeit für Elektronen mit der Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelation und erläutern das Ergebnis des Doppelspaltexperiments mit Hilfe des Welle-Teilchen-Dualismus der Elektronen vor dem Hintergrund des historischen Erkenntniswegs.
- beschreiben Orbitale als mögliche Lösungen der Wellenfunktion von Elektronen und als Betragsquadrate der Wellenfunktion und somit als Bereiche, in denen sich Elektronen mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit aufhalten.
- beschreiben den Zusammenhang zwischen den zweidimensionalen Darstellungen der Wellenfunktionen ψ bei Wasserstoff-Atomen und beim Wasserstoff-Molekül sowie den Darstellungen der Wahrscheinlichkeitsdichte $|\psi|^2$ in räumlichen Orbitaldarstellungen, um aus den zugehörigen Energieniveauschemata die Existenz von zweiatomigen Molekülen oder Molekül-Ionen aus Atomen der zweiten Periode abzuleiten.
- erläutern das Zustandekommen der Energieniveauschemata für einfache zweiatomige Element-Moleküle durch Linearkombination von Atomorbitalen vergleichbarer Energie und Symmetrie.

- beschreiben die Hybridisierung als Näherungsverfahren zur Linearkombination von Atomorbitalen am selben Atom und nutzen Hybridorbitale zur modellhaften Vorhersage der Bindungsverhältnisse in einfachen organischen Molekülen.
- stellen einfache organische Moleküle mit dem Hybridisierungsmodell sowie durch Molecular Modelling am Computer dar und vergleichen die Ergebnisse, um die Vor- und Nachteile der verschiedenen Modelle herauszuarbeiten.
- begründen abweichende Bindungslängen und Molekülgeometrien in einfachen organischen Molekülen auf Basis des EPA-Modells und des Hybridisierungsmodells.
- vergleichen die Eigenschaften von Stoffen aus den Stoffklassen Metalle, Nichtmetalle, molekulare Verbindungen und Salze und begründen die unterschiedlichen Eigenschaften über die Art und Anordnung der Teilchen, indem sie die Bindungs- und Wechselwirkungstypen näher betrachten.

Inhalte zu den Kompetenzen:

- Bindungstypen: Metallbindung (Elektronengasmodell), Elektronenpaarbindung (kovalente Bindung), koordinative Bindung, Ionenbindung
- Wechselwirkungstypen: London-Dispersions-Wechselwirkungen, Dipol-Dipol-Wechselwirkungen, Wasserstoffbrücken, Ion-Dipol-Wechselwirkungen
- Doppelspaltexperiment mit Elektronen: Interferenzmuster, Welle-Teilchen-Dualismus; Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation
- Orbitale: aus der Anziehung zu den Kernen und den übrigen Elektronen mathematisch ableitbare Wellenfunktion der Elektronen; Betragsquadrate der Wellenfunktionen ($|\psi|^2$): Aufenthaltswahrscheinlichkeiten für Elektronen, dreidimensional bildhafte Darstellungen von Atom- und Molekülorbitalen
- Molekülorbitale durch Linearkombination von Atomorbitalen (LCAO-Modell); Orbitalerhalt; bindende und antibindende Molekülorbitale
- Bildung von σ -Molekülorbitalen u. a. durch end-on-Überlagerung von Atomorbitalen; Bildung von π -Molekülorbitalen durch side-on-Überlagerung von p-Atomorbitalen; Bindungsverhältnisse in zweiatomigen Element-Molekülen (z. B. H_2 , F_2 , N_2 , O_2)
- Energieniveau-Schema der Bildung der σ - und π -Molekül-Orbitale für einfache Moleküle, höchstes besetztes und niedrigstes unbesetztes Energieniveau (HOMO/LUMO)
- Molecular Modelling: dreidimensionale Darstellung der bindenden und antibindenden Molekülorbitale

- Hybridisierung in Abhängigkeit von der Zahl der Bindungspartner: sp^3 -, sp^2 - und sp -Hybridorbitale; isolierte, kumulierte und konjugierte π -Bindungen, Mesomerie
- Überblick über die Stoffklassen; Vergleich ausgewählter Eigenschaften, u. a. elektrische Leitfähigkeit, Schmelz- und Siedetemperaturen; Metall- und Ionengitter

C12 Lernbereich 5: Kohlenwasserstoffe – Energieträger und Reaktionspartner (ca. 29 Std.)

Kompetenzerwartungen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- recherchieren und bewerten die Bedeutung fossiler und nachwachsender Rohstoffe als Energieträger und Grundstoffe im Sinn einer nachhaltigen Entwicklung.
- leiten angesichts der Abhängigkeit unserer Zivilisation von einigen wenigen, nur begrenzt zur Verfügung stehenden organischen Rohstoffen Maßnahmen zur Einsparung sowie zur Erschließung alternativer Rohstoff- und Energiequellen ab. Dabei überprüfen sie die Vertrauenswürdigkeit der verwendeten Quellen, indem sie die Urheberschaft prüfen und kennzeichnen.
- unterscheiden verschiedene Systeme, in denen chemische Reaktionen ablaufen, und beschreiben, dass die bei einer chemischen Reaktion im geschlossenen System (bei variablem Volumen) auftretende Energieänderung in Form von Wärme und Arbeit auftreten kann, um die Änderung der inneren Energie (Reaktionsenergie) von der Änderung der Enthalpie (Reaktionsenthalpie) abzugrenzen.
- begründen die Unterschiede von experimentell bestimmten oder vorgegebenen Reaktionsenthalpien auf der Grundlage der Bindungsverhältnisse und stufen Systeme als energiereich oder energiearm ein.
- charakterisieren Reaktionen als exo- oder endotherm, indem sie die Formel zur Berechnung von Standard-Reaktionsenthalpien aus tabellierten molaren Standard-Bildungsenthalpien anwenden.
- begründen die Reaktivität aromatischer Systeme, indem sie, auch anhand energetischer Aspekte, deren Bindungsverhältnisse mit Hilfe des Mesomeriemodells und des erweiterten Orbitalmodells beschreiben.

- verwenden mesomere Grenzstrukturen, um die Elektronenverteilung in aromatischen Kohlenwasserstoff-Molekülen darzustellen, und bewerten die Modellhaftigkeit dieser Darstellungsform.
- identifizieren die wahrscheinlichsten Grenzstrukturformeln, indem sie den energetischen Zustand von hypothetischen Grenzstrukturen bewerten.
- wenden induktive und mesomere Effekte an, um Acidität und Basizität ausgewählter Teilchen vergleichend zu begründen.
- vergleichen typische Reaktionen von gesättigten, ungesättigten und aromatischen Kohlenwasserstoff-Molekülen mit Halogen-Molekülen, indem sie die Änderung der Bindungsverhältnisse während des Reaktionsverlaufs als Reaktionsmechanismus darstellen.
- beschreiben die nukleophile Substitution als Reaktion eines Elektronenpaardonators (Nukleophil) mit einem Elektronenpaarakzeptor (Elektrophil).
- bewerten die Bedeutung aromatischer Verbindungen in Alltag und Industrie sowie die ggf. mit ihnen verbundene besondere Gesundheitsproblematik.
- recherchieren und bewerten den Einsatz von Halogenkohlenwasserstoffen in Alltag und Technik, indem sie Auswirkungen auf Mensch und Umwelt bei deren Freisetzung abwägen. Dabei prüfen sie die Vertrauenswürdigkeit der verwendeten Informationen, belegen diese durch Quellen und kennzeichnen Zitate.

Inhalte zu den Kompetenzen:

- Erdöl, Erdgas und Kohle, nachwachsende Rohstoffe, Power-to-Gas-Technologie: Grundstofflieferanten und Energieträger, Treibhauseffekt
- thermodynamische Systeme: offen, geschlossen, isoliert; Temperatur- und Volumenänderungen
- quantitative Betrachtung der Energie- und Enthalpieänderung bei chemischen Reaktionen: Reaktionswärme bei konstantem Volumen (Reaktionsenergie) und konstantem Druck (Reaktionsenthalpie)
- Prinzip der Kalorimetrie, Abschätzen des Zusammenhangs zwischen Molekülbau (Einfach- oder Mehrfachbindung, polare oder unpolare Elektronenpaarbindung) und Verbrennungswärme (Je-desto-Beziehungen, keine Berechnungen), Brennwert, Vergleich fossiler und nachwachsender Energieträger
- Standard-Reaktionsenthalpien: Berechnungen (Satz von Hess)
- Bindungsverhältnisse und Elektronenverteilung im Benzol-Molekül: Mesomerie-Energie, Grenzstrukturen, Elektronendichteoberfläche, Delokalisierung

- induktive und mesomere Effekte: Vergleich der Acidität von aliphatischen Alkoholen, Phenol und Carbonsäuren und der Basizität von aliphatischen Aminen und Anilin; Aufstellen mesomerer Grenzstrukturen
- Reaktivität bei Alkanen, Alkenen und Aromaten: Homolyse, Heterolyse, Radikal, Nukleophil, Elektrophil; Halogenierung durch radikalische Substitution, elektrophile Addition (u. a. als Nachweis von Doppelbindungen) und elektrophile aromatische Substitution (Übergangszustand und Zwischenprodukt); SSS- und KKK-Regel
- Nukleophile Substitution u. a. an Halogenalkanen
- Bedeutung, Umwelt- und Gesundheitsaspekte wichtiger aromatischer Verbindungen: u. a. Benzol, Benzoesäure, Styrol
- Halogenkohlenwasserstoffe in Alltag und Technik: Persistenz, Verwendung früher und heute, Umwelt- und Gesundheitsaspekt

C12 Lernbereich 6: Reaktionsgeschwindigkeit – Ermittlung und Deutung auf Teilchenebene (ca. 8 Std.)

Kompetenzerwartungen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- beschreiben die Reaktionsgeschwindigkeit als Änderung der Stoffmenge pro Zeiteinheit und bestimmen mittlere und momentane Reaktionsgeschwindigkeiten aus Diagrammen (z. B. Zeit-Volumen-Diagramm).
- beeinflussen die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen durch Wahl der Reaktionsbedingungen, planen hierzu hypothesengeleitet Experimente und führen diese durch.
- begründen auf Teilchenebene mithilfe der Stoßtheorie die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von den Reaktionsbedingungen.
- erläutern den Einfluss eines Katalysators auf eine chemische Reaktion auf Stoff- und Teilchenebene, um den Katalysatoreinsatz in technischen Prozessen aus ökologischer Sicht zu bewerten.

Inhalte zu den Kompetenzen:

- zeitlicher Verlauf chemischer Reaktionen, Ermittlung z. B. über Volumen-, Massen- oder Konzentrationsänderung; mittlere und momentane Reaktionsgeschwindigkeit

- Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von den Reaktionsbedingungen: Einfluss von Konzentration, Druck, Temperatur (RGT-Regel), Zerteilungsgrad, Katalysator
- Stoßtheorie: Orientierung, Geschwindigkeit und Anzahl der Teilchen, Maxwell-Boltzmann-Verteilung, Mindestenergie, Aktivierungsenergie
- Katalyse: Einfluss auf Mindestenergie und Aktivierungsenergie, heterogene und homogene Katalyse; Autoabgaskatalysator, Verminderung von Emissionen

C12 Lernbereich 7: Chemisches Gleichgewicht – Reversible Reaktion und dynamisches Gleichgewicht (ca. 18 Std.)

Kompetenzerwartungen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- charakterisieren auch mithilfe von Modellen chemische Gleichgewichte auf Stoff- und Teilchenebene, um den statischen Zustand auf Stoffebene vom dynamischen Zustand auf Teilchenebene abzugrenzen.
- leiten Möglichkeiten zur Erhöhung bzw. Erniedrigung der Produktkonzentrationen durch Außenfaktoren ab, indem sie das Prinzip von Le Chatelier auf ausgewählte technische Prozesse und chemische Gleichgewichte im Alltag anwenden.
- wenden das Massenwirkungsgesetz auf homogene Gleichgewichte an und nutzen die Gleichgewichtskonstante, um Aussagen bezüglich der Lage des Gleichgewichtes zu treffen.
- beschreiben Löslichkeitsgleichgewichte als dynamisches Gleichgewicht der Ionen zwischen ungelöstem Niederschlag und Lösung.
- wenden das Löslichkeitsprodukt als besondere Form der Gleichgewichtskonstante an, um die unterschiedlichen Löslichkeiten von Ionenverbindungen zu erklären.
- begründen durch mathematische Berechnungen die Lage eines Gleichgewichts und den Einfluss von Außenfaktoren auf die Lage eines Gleichgewichts, um Optimierungsmöglichkeiten für technische Prozesse abzuleiten.
- erläutern die technische, ökonomische und ökologische Bedeutung chemischer Gleichgewichte an gesellschaftlich relevanten Beispielen. Dazu wählen sie Informationen aus analogen und digitalen Quellen gezielt aus, prüfen deren Vertrauenswürdigkeit

unter Berücksichtigung der Urheberschaft und bezüglich der fachlichen Richtigkeit.

Inhalte zu den Kompetenzen:

- Modelle zur Einstellung eines chemischen Gleichgewichts: z. B. Computersimulationen
- reversible Reaktion, chemisches Gleichgewicht als dynamisches Gleichgewicht: geschlossenes System, Reaktionsgeschwindigkeit $v = 0$, gleiche Reaktionsraten der Hin- und Rückreaktion
- Störung und Neueinstellung von dynamischen Gleichgewichten: Prinzip von Le Chatelier, Beeinflussung von Gleichgewichtslage und Ausbeute durch Temperatur-, Druck- und Konzentrationsänderung; Katalysatoren
- Massenwirkungsgesetz: Massenwirkungsquotient Q , Gleichgewichtskonstante K_C ; Rechenbeispiele für homogene Systeme
- modellhafte Darstellung von Löslichkeitsgleichgewichten, gleichioniger Zusatz
- Löslichkeitsprodukt K_L (z. B. Unterscheidung von Silberhalogenid-Niederschlägen)
- Ammoniaksynthese (Haber-Bosch-Verfahren), Einfluss der Ozeane auf den Kohlenstoffdioxidgehalt der Atmosphäre, Kläranlage (Phosphatfällung), ggf. weitere Beispiele

C12 Lernbereich 8: Redoxgleichgewichte – Energetik und technische Anwendung (ca. 25 Std.)

Kompetenzerwartungen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- wenden das Energiekonzept auf Donator-Akzeptor-Reaktionen an und führen dazu thermometrische Messungen durch.
- erklären die räumliche Trennung von Oxidation und Reduktion in galvanischen Zellen als Voraussetzung für die Nutzung der Reaktionsenthalpie als elektrische Energie und ermitteln die von galvanischen Zellen leistbare elektrische Arbeit anhand von Spannungs- und Stromstärkemessungen.
- wenden das Prinzip von Le Chatelier zur Optimierung galvanischer Zellen an und begründen die Auswirkungen der gewählten Veränderungen auf Teilchenebene.
- treffen Vorhersagen über den Verlauf von Redoxreaktionen und ermitteln die Leerlaufspannung/Zellspannung galvanischer Zellen

mithilfe der elektrochemischen Spannungsreihe und der Nernst-Gleichung.

- übertragen das Bau- und Funktionsprinzip galvanischer Zellen auf im Alltag und in der Technik verwendete Primärzellen und beurteilen Vor- und Nachteile unterschiedlicher Batterietypen aus fachlicher und gesellschaftlicher Sicht.
- beschreiben die Unmöglichkeit, Wärme vollständig in Arbeit umzuwandeln, um Alltagsbegriffe wie "Energieverbrauch" und "Energieverlust" zu erklären.
- vergleichen und bewerten die Energieumwandlung in Brennstoffzellen und Verbrennungskraftwerken unter Einbezug ökologischer, ökonomischer und sozialer Perspektiven.
- schätzen die Entropieänderung bei ausgewählten chemischen Reaktionen ab, indem sie die Verteilung von Energie und Teilchen als Maß für die Entropie verwenden.
- schätzen mit Hilfe der Gibbs-Helmholtz-Gleichung qualitativ den Einfluss von Enthalpie- und Entropie-Änderungen auf den freiwilligen Ablauf chemischer Reaktionen ab.
- berechnen mit Hilfe der Gibbs-Helmholtz-Gleichung den Einfluss von Enthalpie- und Entropieänderungen auf die Richtung chemischer Reaktionen.
- treffen Vorhersagen zur Freiwilligkeit des Ablaufs chemischer Reaktionen sowie zur Möglichkeit der Gleichgewichtseinstellung, indem sie die Gibbs-Helmholtz-Gleichung anwenden.
- erklären die Bedeutung der energetischen Kopplung einer endergonen mit einer exergonen Reaktion und interpretieren die dabei auftretenden Energieunterschiede als Entropieerzeugung.
- recherchieren und beschreiben das Bauprinzip und erläutern die Funktionsweise sowie die Energetik von im Alltag verwendeten Sekundärzellen und bewerten deren Einsatzmöglichkeiten. Dabei prüfen sie die Vertrauenswürdigkeit und Urheberschaft der verwendeten Quellen und kennzeichnen Zitate.
- bewerten Elektromobilität hinsichtlich ihrer Effizienz aus energetischer, ökonomischer und ökologischer Sicht. Dabei berücksichtigen sie die Herkunft und Validität von Informationen.

Inhalte zu den Kompetenzen:

- Energieumsätze bei der Reaktion von Metallen mit Salzlösungen: Elektronenübergänge bei der Reaktion von Metall-Atomen mit Metall-Kationen, korrespondierende Redoxpaare, Reaktionsenthalpie, elektrische Arbeit
- galvanische Zellen als elektrochemische Spannungsquellen: Halbzellen, Leerlaufspannung/ Zellspannung als Potentialdifferenz,

- Stromstärke, Optimierung (Elektrodenoberfläche, Elektrodenmaterial, Konzentration, Kombination von Halbzellen)
- Standardwasserstoffhalbzelle, Standardpotential, elektrochemische Spannungsreihe
 - Konzentrationsabhängigkeit des Redoxpotentials: Konzentrationszelle, Nernst-Gleichung
 - Primärzellen aus Alltag und Technik: Zink-Luft-Batterie, mindestens ein weiterer Typ (z. B. Zink-Braunstein-Batterie, Zink-Silberoxid-Batterie, Lithium-Batterie); Brennstoffzelle
 - Wertigkeit von Energieformen, Energieumwandlung bei Brennstoffzelle und Verbrennungskraftwerk (1. Hauptsatz der Thermodynamik)
 - gebundene Energie ($T \cdot \Delta S$) als Differenz zwischen Reaktionsenthalpie und nutzbarer Arbeit, Entropie als Maß für die Verteilung von Energie und Teilchen (2. Hauptsatz der Thermodynamik)
 - Gibbs-Helmholtz-Gleichung: Triebkraft chemischer Reaktionen (Enthalpieminimierung, Entropiemaximierung), exergone und endergone Reaktionen, Freie Enthalpie G , Bedeutung von $\Delta G = 0$
 - Elektrolyse als endergone Reaktion, „Energieverlust“ durch Entropieerzeugung
 - Sekundärzellen: Laden und Entladen als endergone und exergone Prozesse, Anwendungsbeispiele (u. a. Lithium-Ionen-Akkumulator, Blei-Akkumulator)
 - Rohstoff-, Werkstoff- und Energiebereitstellung für Elektromobilität, ökonomische und ökologische Aspekte