

Glossar

Stoff – Teilchen – Struktur – Eigenschaften

Fachbegriffe im Bildungsplan Chemie 2016¹

Stand: 15.07.2016

¹ Dieses Dokument basiert auf der Handreichung „Knotenpunkte der Naturwissenschaften“, 2006, Landesinstitut für Schulentwicklung Stuttgart. Es passt die Beschreibungen für Begrifflichkeiten im Hinblick auf ihre Bedeutung und Verwendung im Bildungsplan 2016 Chemie an bzw. erweitert diese.

Teilchen- und Atommodelle im Chemieunterricht Klasse 8-10

Der diskontinuierliche Aufbau der Materie ist eines der Schlüsselkonzepte zum Verständnis der modernen wissenschaftlichen Sichtweise unserer Welt. Die Vorstellung vom Aufbau der Materie (Kontinuum-Diskontinuum-Konzept, Stoffteilchen-Konzept) spielt in allen naturwissenschaftlichen Fächern eine zentrale Rolle, allerdings in verschiedenen Klassenstufen mit unterschiedlichen Zielsetzungen und Sichtweisen. Modellvorstellungen sind hierzu unverzichtbar.

Überblick über relevante Teilchen- und Atommodelle Klasse 8 - 10

Ein mögliches didaktisches Problem ergibt sich oft daraus, dass „Stoffteilchen“ im Sinne des Stoffteilchenmodells oft mit Atomen gleichgesetzt werden und auch in vielen Schulbüchern diese beiden Betrachtungsebenen nicht deutlich unterschieden werden. Die Bezeichnung "klein(st)e Teilchen" hat dieses falsche Verständnis noch gefördert.

Das „Teilchenmodell“ ist kein wohl definierter Begriff und wird in unterschiedlichen Zusammenhängen auch unterschiedlich verwendet. Es wird deshalb vorgeschlagen, die Modelle spezifischer zu benennen (siehe folgende Tabelle).

Modelle	Betrachtete Objekte	Unterrichtseinsatz
1) Stoffteilchenmodell (undifferenziert)	Teilchen, das eine Masse, eine Form und eine Größe hat.	BNT: kein Teilchenbegriff verlangt Ch ab Klasse 8
Stoffteilchenmodell (differenziert)	Atome, Moleküle, Ionengruppen (Formeleinheiten aus Ionen)	Ch ab Klasse 8
2) Kern-Hülle-Modell	Atomkern und Atomhülle und deren Aufbau aus Protonen, Neutronen und Elektronen	Ch ab Klasse 8
3) Schalenmodell	Differenzierung der Atomhülle: Aufbau aus Elektronen, die verschiedenen Kugelschalen zugeordnet werden können	Ch ab Klasse 9/10
4) Energiestufenmodell	Differenzierung der Atomhülle: Aufbau aus Elektronen die verschiedenen Energiestufen zugeordnet werden können	Ch ab Klasse 9/10 <i>Eine parallele Einführung von Schalen- und Energiestufenmodell ist sinnvoll. Damit werden die Kugelschalen als eine räumliche Darstellung von Energiestufen verstanden.</i>

Fachbegriffe zum Bereich „Teilchen- und Atommodelle“

Für das Verständnis der Modellvorstellungen ist die Bedeutung der verwendeten Fachbegriffe von großer Bedeutung und soll im Folgenden näher erklärt werden.

Begriffe der Stoffebene

Stoffe werden umgangssprachlich auch als Material oder Substanz bezeichnet. Gegenstände / Körper bestehen aus Stoffen. Eine bestimmte Menge eines Stoffes benennt man mithilfe des Begriffs "Stoffportion", z.B. eine Eisenportion von 10 g. Stoff ist der Überbegriff für Reinstoffe und Gemische, wird aber im späteren Unterricht oft mit „Reinstoff“ gleichgesetzt.

Reinstoffe: Sie bestehen aus einer einzigen Sorte von Stoffteilchen.

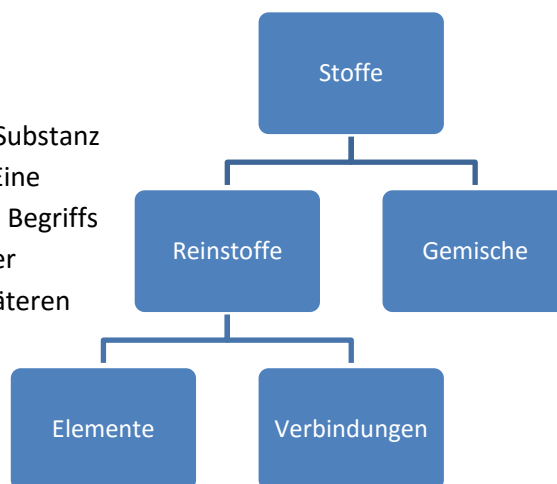
Elemente: Reinstoffe, die durch eine chemische Reaktion nicht in verschiedene Reinstoffe zerlegt werden können (z.B. Sauerstoff, Ozon). Alle Elemente finden sich im Periodensystem der Elemente, falls es die Modifikationen eines Elements aufführt.

Reinstoffe, deren Stoffteilchen nur aus Atomen einer einzigen Sorte aufgebaut sind, heißen Elemente. Sie sind alle im Periodensystem der Elemente aufgeführt. Beispiele: Helium: He, Sauerstoff: O₂, Schwefel: S₈

Verbindungen (nicht zu verwechseln mit Bindung!): Reinstoffe, die chemisch in mindestens 2 verschiedene Elemente (Reinstoffe) zerlegt werden können (z.B. Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff).

Reinstoffe, deren Stoffteilchen aus unterschiedlichen Atomarten aufgebaut sind, heißen Verbindungen. Beispiele: H₂O, NaCl, C₂H₆O

Gemische: Mischung mehrerer Reinstoffe. (Nicht „Stoffgemische“, da Stoff der Überbegriff ist)



Begriffe der Teilchenebene

Die Stoffteilchen

sind die charakteristischen Teilchen eines Reinstoffes. Zu Beginn des Chemieunterrichts sind Stoffteilchen oft undifferenziert; alle Reinstoffe sind aus jeweils gleichen kleinen Teilchen aufgebaut. Dies wird im Chemieunterricht oft als Teilchenmodell bezeichnet. Da die damit gemeinten Teilchen in der Regel keine Atome sind, diese aber üblicherweise kugelig gezeichnet werden, ist die frühere Bezeichnung „Kugel-Teilchenmodell“ aus dem Bildungsplan verschwunden, um keine Teilchenverwechslungen bei den Schülern zu produzieren.

Stoffteilchen haben dabei folgende Eigenschaften

- Sie haben eine Masse.
- Sie haben eine Form und Größe.
- Sie zeigen auf Entfernung schwache gegenseitige Anziehungskräfte.
- Sie haben eine Eigenbewegung, die temperatur-, d.h. energieabhängig ist.
- Zwischen ihnen ist keine Materie.

Im weiteren Verlauf des Unterrichts wird diese Modellvorstellung weiter ausdifferenziert: Stoffteilchen unterschiedlicher Reinstoffe unterscheiden sich oft auch in der Art der kleinen Teilchen. Sie sind die charakteristischen kleinen Teilchen eines Reinstoffes, sozusagen die kleinste „Teilcheneinheit“ des jeweiligen Reinstoffes.

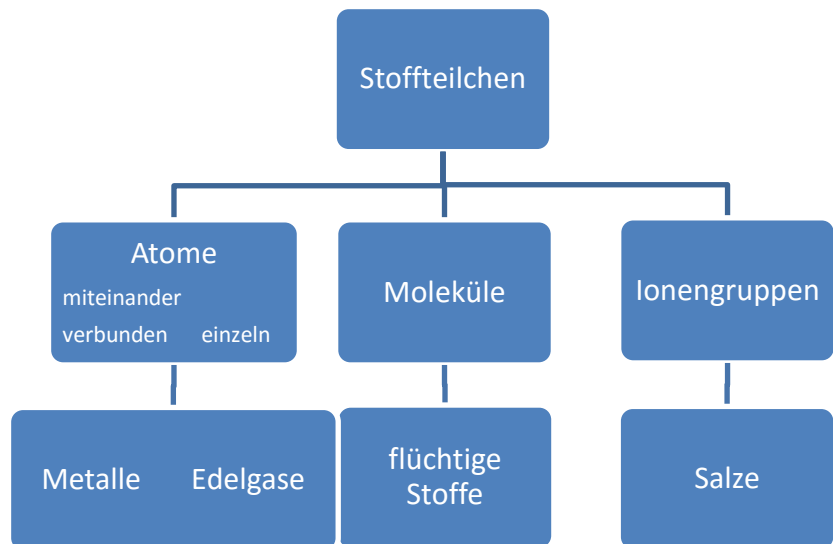
Stoffteilchen sind...

- selten **Atome** (bei Metallen – Atome im Gitterverband, bei Edelgasen – einzelne Atome, d.h. nur bei ca. 100 Stoffen),
- in den häufigsten Fällen aus noch kleineren Bausteinen zusammengesetzt:
 - meistens **aus Atomen** aufgebaute **Moleküle** (bei ca. 10 Millionen bekannten vorwiegend organischen Stoffen),
 - häufig **aus Ionen** aufgebaute **Ionengruppen** (bei ca. 100000 vorwiegend anorganischen Stoffen).

Wird später die Formelsprache eingeführt, beschreibt die chemische Formel eines Stoffes genau sein Stoffteilchen.

Atome

- Jedes der ca. 118 Elemente ist durch eine Atomart charakterisiert (mit einer bestimmten Anzahl an Protonen und Elektronen; Isotope (Atome) einer Atomart unterscheiden sich in der Anzahl der Neutronen und dadurch in der Atommasse).



- Jede Atomart wird durch das entsprechende Atomsymbol symbolisiert, das auch als Elementsymbol bezeichnet wird. (H, O, Fe, Ne)
- Atome kann man mit chemischen Mitteln nicht erschaffen oder zerstören, wohl aber leicht verändern, wenn es mit anderen Atomen Bindungen eingeht.
- Es gibt genauso viele Atomarten wie es chemische Elemente gibt (zurzeit etwa 118).
- Die Atome eines Elements haben die gleiche Masse (Isotope werden zunächst nicht betrachtet) und die gleiche Größe. Atome unterschiedlicher Elemente unterscheiden sich in ihrer Masse und Größe.
- Atome werden durch Atomsymbole dargestellt. Das sind Großbuchstaben des lateinischen Alphabets oder Kombinationen aus zwei Buchstaben, z.B. O (Sauerstoff-Atom), H (Wasserstoff-Atom), oder Cu (Kupfer-Atom), Cl (Chlor-Atom).

Moleküle

Moleküle sind elektrisch ungeladene Stoffteilchen aus mindestens 2 gebundenen Nichtmetall-Atomen. Diese Bindung zwischen 2 Atomen wird als Elektronenpaarbindung bezeichnet. Moleküle können Stoffteilchen von Elementen (O_2 , H_2 , ...) oder Verbindungen (CO_2 , H_2O , ...) sein.

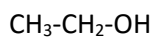
Moleküle werden durch verschiedene Darstellungen beschrieben:

- Die *Molekülformel* (früher auch *Summenformel*) gibt die Zusammensetzung des Moleküls aus den Atomen an, z. B. H_2 , H_2O , C_2H_6O (Ethanol). Die Buchstaben geben die Atomarten an, die Indizes geben die Anzahl der Atome der davorstehenden Atomarten im Molekül an.
- Die *Halbstrukturformel* und die *Strukturformel* sind Darstellungen in der Ebene. Sie beinhalten Informationen über die Anordnung der Atome und die Bindungen zwischen ihnen, d.h. den räumlichen Bau der Moleküle.
- Das dreidimensionale *Kugel-Stab-Modell* gibt die räumliche Lage der Atomrümpfe (Atom ohne Valenzelektronen) zueinander an.
- Das *Kalottenmodell* gibt die Raumerfüllung des Moleküls an, die durch die Elektronenhüllen der Atome bedingt wird.

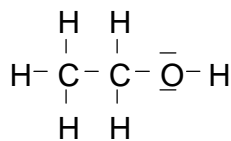
Für das Ethanol-Molekül sind die verschiedenen Darstellungen angegeben:

Molekülformel: C_2H_6O oder C_2H_5OH

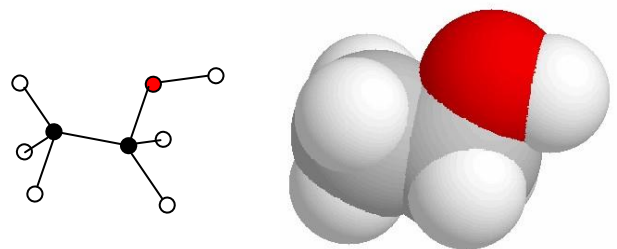
Halbstrukturformel:



Strukturformel:



Kugel-Stab-Modell: Kalotten-Modell:



Ionen und Ionengruppen

- Ionen sind elektrisch geladene Teilchen. Es gibt einfache Ionen, die aus einer Atomart bestehen und „Molekül-Ionen“, bei denen Elektronenpaarbindungen (wie bei Molekülen) vorliegen, z. B. Hydroxid-Ionen (OH^-) oder Ammonium-Ionen (NH_4^+).
- Die Ladungen werden oft zu den einzelnen Ionenarten dazugeschrieben, z. B. Na^+Cl^- , $Na^+(HCO_3)^-$.
- Ionen bilden ein Ionengitter, in dem die Gesamtzahl der positiven und der negativen elektrischen Ladungen gleich ist und in der Summe Null ergibt.
- Ein Ion ist ein elektrisch geladenes Teilchen mit unterschiedlicher Elektronen- und Protonenzahl. Es ist Baustein eines Stoffteilchens von Salzen.

Erläuterung: Ionenverbindungen (Salze) bestehen immer aus mindestens 2 Ionenarten (positiv geladenes Ion, negativ geladenes Ion). Die Bindung zwischen ihnen wird als Ionenbindung bezeichnet und wirkt in alle Raumrichtungen. Daher bilden sie meist regelmäßige, räumliche Strukturen (Ionengitter). Aus diesem Grund existieren eigentlich keine eindeutig gegeneinander abgrenzbaren Stoffteilchen im Sinn des einfachen Teilchenmodells. Das Stoffteilchen bei Salzen kann

man sich aus den beiden Ionenarten im kleinsten passenden Anzahlverhältnis denken. Man nennt diese **gedachten Einheiten Ionengruppen** ("Formeleinheiten" oder "Elementargruppen"). Um dem Eindruck entgegenzuwirken, es handle sich um tatsächlich existierende einzelne Gruppen oder um dasselbe wie Elementarzellen, wird der Ausdruck "**Ionengruppe**" bevorzugt. Die Verhältnisformel einer Ionenverbindung beschreibt genau ein solches gedachtes „Stoffteilchen“.

Schreibweisen:

Ionen: z.B. Na^+ , Cl^- , NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-}

Ionengruppen/Verhältnisformel: z.B. NaCl , NH_4NO_3 oder $(\text{NH}_4)(\text{NO}_3)$, Na_2SO_4 oder $\text{Na}_2(\text{SO}_4)$

parallel zur Verhältnisformel kann die Ionenformel angegeben werden, wobei die Ladung der beiden Ionenarten zusätzlich notiert wird, um dem Anfänger den Unterschied zu Molekülen zu verdeutlichen: Na^+Cl^- , $\text{Na}^+\text{HCO}_3^-$, $\text{Ca}^{2+}\text{O}^{2-}$, $\text{Na}^+_2\text{SO}_4^{2-}$ oder $(\text{Na}^+)_2(\text{SO}_4^{2-})$.

Überlegungen zum Stoffteilchen- und Teilchen-Begriff am Beispiel von „Säure und Base“.

Da der Begriff „Säure“ historisch gewachsen ist und seine inhaltliche Bedeutung von der Stoffebene auf die Teilchenebene gewandert ist, müssen im Schulunterricht Begriffe möglichst klar zugeordnet werden. Hierbei wird auch der Vorteil der Differenzierung zwischen Stoffteilchen und anderen Teilchen deutlich. Im Folgenden findet sich ein Vorschlag für eine begriffliche Differenzierung im Bereich „Säure-Base“

„Stoff – Teilchen – Struktur – Eigenschaften“

1. Reinstoffe und ihre Stoffteilchen

Ein Stoff wirkt als **Säure**, wenn er zusammen mit Wasser eine saure Lösung bildet. Seine **Stoffteilchen** sind dabei entweder H^+ -Geber (HCl) oder OH^- -Nehmer (z. B. CO_2).

Ein Stoff wirkt als **Alkalie** (*neuer Begriff, da bisher eine Bezeichnung dieser Stoffe fehlt*), wenn er zusammen mit Wasser eine alkalische Lösung bildet. Seine **Stoffteilchen** sind entweder OH^- -Geber (KOH) oder H^+ -Nehmer (NH_3).

Ein Stoff wirkt als **pH-neutraler Stoff** (besserer Begriff bekannt?), wenn er mit Wasser eine neutrale Lösung bildet. Seine **Stoffteilchen** sind weder H^+ - noch OH^- -Nehmer bzw. -Geber (CH_4 , O_2)

2. Wässrige Lösungen und ihre charakteristischen Teilchen

Es gibt drei Arten wässriger Lösungen: alkalische, neutrale, saure Lösungen. Sie werden charakterisiert durch die Bilanz der **Teilchen** H_3O^+ und OH^-

Eine **saure Lösung** ist charakterisiert durch einen Überschuss an Oxonium-Ionen.

Eine **neutrale Lösung** hat weder einen Überschuss von Oxonium- noch von Hydroxid-Ionen.

Eine **alkalische Lösung** hat einen Überschuss an Hydroxid-Ionen.

„Chemische Reaktion“ auf der Teilchenebene

Als **Brönsted-Säure** bezeichnet man dasjenige **Teilchen** (Molekül oder Ion), das bei der betrachteten Reaktion ein Proton abgibt.

Als **Brönsted-Base** bezeichnet man dasjenige **Teilchen** (Molekül oder Ion), das bei der betrachteten Reaktion ein Proton aufnimmt.

Als **amphoterer Teilchen** bezeichnet man dasjenige **Teilchen** (Molekül oder Ion), das je nach Reaktionspartner in einer Reaktion ein Proton aufnimmt oder abgibt.

Atomsymbol

Kurzschreibweise für ein Atom eines Elements, z.B. O bedeutet: 1 Sauerstoffatom oder Sauerstoffatome.

Elementsymbol

Chemisches Symbol / Zeichen zur Abkürzung einer Atomart (eines Elementnamens, wenn „Element“ als Atomsorte verstanden wird. Für Stoffnamen sind keine Abkürzungen üblich.).

chemische Formel

Kurzschreibweise für die Zusammensetzung eines Stoffteilchens. Z. B. O₂ bedeutet: das Stoffteilchen von Sauerstoff ist ein Molekül und besteht aus 2 (leicht veränderten, da miteinander verbundenen) Sauerstoffatomen.

Bindung (nicht zu verwechseln mit „Verbindung“)

Es gibt drei Sorten chemischer Bindungen: Ionenbindung, Elektronenpaarbindung, Metallbindung.

Nicht mehr verwendete Begriffe:

- Atombindung
- klein**st**es Teilchen

Beschreibungen der Modellvorstellungen

1. Stoffteilchenmodell

a) undifferenziertes Stoffteilchenmodell

In diesem Modell stellt man sich unter einem Stoffteilchen den kleinsten charakteristischen „Baustein“ eines Reinstoffes vor.

Dieses Modell kann erklären:

- Die unterschiedliche Zusammensetzung der Stoffteilchen verschiedener Stoffe aus den Atomarten (d.h. **Formeln** von Stoffen)
- **Kristallform**: Sie ist durch eine festgelegte Anordnung der Stoffteilchen gegeben.
- **Aggregatzustände und Phasenübergänge**: Sie beruhen auf dem Wechselspiel zwischen der energieabhängigen Eigenbewegung und den Anziehungskräften zwischen den Stoffteilchen.
- **Lösevorgänge**: Beim Auflösen verteilen sich die (Stoff-)Teilchen des zu lösenden Stoffes zwischen den Stoffteilchen des Lösemittels.
- **Diffusion**: Die Ausbreitung eines Stoffes (v.a. Gases) im zur Verfügung stehenden Raum (auch ohne Konvektion) bis zur gleichmäßigen Verteilung lässt sich auf die ungerichtete Eigenbewegung der Stoffteilchen zurückführen.
- **Osmose**: Die Stoffteilchen des gelösten Stoffes können die semipermeable Membran nicht durchdringen. Die Folge ist die Netto-Diffusion des reinen Lösungsmittels durch die Membran.

- **Brownsche Bewegung:** Sie ist die sichtbare Bewegung mikroskopisch kleiner Objekte und lässt sich durch die Eigenbewegung der Stoffteilchen des flüssigen Lösemittels erklären.

Chemische Reaktionen: Bei chemischen Reaktionen wandeln sich die Stoffteilchen der Ausgangsstoffe in Stoffteilchen der Endstoffe um. (Dies erklärt die Reaktion nicht, sondern beschreibt Anfangs- und Endzustand auf der Teilchenebene.)

Grenzen des Modells: Dieses Teilchenmodell kann nicht erklären:

- Die unterschiedlich starke Anziehung zwischen den Stoffteilchen verschiedener Stoffe/Stoffklassen (d.h. die unterschiedlich hohen Schmelz- und Siedetemperaturen),
- die unterschiedliche Reaktivität von Stoffen,
- die Zusammensetzung von Molekülen, den Stoffteilchen flüchtiger Stoffe (Molekülformeln)
- die Zusammensetzung von Ionengruppen, den Stoffteilchen der Salze (Ionenformeln/Verhältnisformeln)
- die Bildung von Ionen bzw. die Ionenladung der jeweiligen Ionen.

b) differenziertes Stoffteilchenmodell

Auf der Grundlage der Eigenschaften untersuchter und klassifizierter Stoffe (flüchtige Stoffe, Salze, Metalle/Edelgase) können Moleküle, Ionengruppen und Atome, als unterschiedliche Arten von Stoffteilchen im Chemie-Anfangsunterricht eingeführt und zugeordnet werden. Eine genauere Beschreibung dieser differenzierten Stoffteilchen ist jedoch erst nach Einführung des Kern-Hülle-Modells möglich.

Mit Hilfe des Periodensystems der Grundbausteine lassen sich dann auch die Formeln von Salzen ableiten, ohne dass die Ionenbildung und die Edelgasregel eingeführt wurde.

2. Kern-Hülle-Modell

Das Atom hat einen komplizierten Feinbau, dessen Kenntnis es erlaubt, den Aufbau von Molekülen und Ionen zu verstehen.

- Ein Atom besteht aus einer Hülle und einem Kern.
- Die Hülle besteht aus Elektronen, der Kern aus Protonen und Neutronen (Ausnahme: H).
- Die Elektronen sind räumlich nicht auf Bahnen fixiert, sondern umgeben den Atomkern ohne scharfe äußere Begrenzung („Elektronenwolke“).
- Ionen entstehen durch Aufnahme oder Abgabe von Elektronen.
- Moleküle bestehen aus mehreren Atomen. Sie entstehen in den meisten Fällen durch Bildung einer gemeinsamen Elektronenwolke.
- Erweiterter Elementbegriff: Ein Element besteht aus Atomen mit feststehender Anzahl von Protonen; Die Zahl seiner Elektronen kann je nach Bindungszustand leicht variieren. Isotope einer Atomart unterscheiden sich in der Anzahl der Neutronen und dadurch in der Atommasse (Präzisierung der früheren Aussage).
- Chemische Reaktionen beruhen auf Änderungen in der Elektronenhülle.
- Kernreaktionen (Spaltung, Fusion) beruhen auf Änderungen im Atomkern.

3. Schalenmodell und Energiestufenmodell

Das Schalenmodell erweitert das Kern-Hülle Modell um eine differenzierte Vorstellung vom Aufbau der Atomhülle. Nach dem Schalenmodell ist die Atomhülle in kugelförmige Aufenthaltsbereiche (Schalen) um den Kern aufgeteilt. Jede Schale fasst eine bestimmte Anzahl an Elektronen, die mit folgender Formel ermittelt werden kann: Zahl der Elektronen = $2n^2$ (n = Nummer der Schale).

Elektronen der K Schale: $2 \times 1^2 = 2$ Elektronen

Elektronen der L-Schale: $2 \times 2^2 = 8$ Elektronen

Elektronen der M-Schale: $2 \times 3^2 = 18$ Elektronen

Wenn eine Schale zur Valenzschale (mit Elektronen besetzte Außenschale) wird, kann sie maximal 8 Valenzelektronen aufnehmen.

Mit dieser Modellvorstellung kann zusätzlich zum Kern-Hülle-Modell Folgendes veranschaulicht werden:

- Anzahl der Valenzelektronen einer Atomart
- Stellung des Elements im Periodensystem (aufgrund der Anzahl der Valenzelektronen eines Atoms; für Hauptgruppenelemente)
- Die Edelgaskonfiguration (Edelgasregel für Elemente der 2. Periode)

Grenzen des Modells: Dieses Modell kann nicht erklären:

- Den räumlichen Bau von Molekülen

Probleme zum Einsatz des Schalenmodells:

Das Schalenmodell suggeriert einen räumlichen Aufbau der Atomhülle. Nach diesem stellt man sich ein Uranatom mit 92 Elektronen auf sieben „Schalen“ verteilt häufig viel größer als ein Lithiumatom mit drei Elektronen auf zwei „Schalen“ verteilt vor. Der mittlere Atomabstand ist jedoch nahezu gleich!

Für ein tieferes Verständnis des Aufbaus der Elektronenhülle ist es unerlässlich, das Schalenmodell als **Energiestufenmodell** zu verstehen, das die Energiestufen in Form von räumlichen Schalen darstellt. Eine parallele Einführung von Schalen- und Energiestufenmodell ist daher sinnvoll:

- Die Elektronenhülle ist energetisch differenziert. Je höher die Energiestufe eines Elektrons, desto weniger Energie ist nötig, um das Elektron aus dem Atom zu entfernen.

Zusammen mit den Regeln der Lewis- bzw. Valenzstrich-Schreibweise lassen sich Strukturformeln mit bindenden und nichtbindenden Elektronenpaaren formulieren.

Ausblick – Modelle und der räumliche Bau von Molekülen

Der Bildungsplan 2016 Chemie macht keine Aussagen über den Einsatz einer bestimmten Modellvorstellung zum Verständnis des räumlichen Baus von Molekülen.

Mithilfe des EPA-(Elektronenpaarabstoßungs-)Modells oder auch der Kimballschen Kugelwolken Modellvorstellung kann eine ausreichende Erklärung für den räumlichen Bau von Molekülen gegeben werden. An eine Einführung des Orbitalmodells ist im Unterricht bis einschließlich Klasse 10 nicht gedacht.

„Nanopartikel“ im Chemieunterricht Kl. 8 - 10

Nanopartikel werden im Bildungsplan Chemie Kl. 8 - 10 an zwei Stellen erwähnt:

A) *3.2.1.1 Stoffe und ihre Eigenschaften*

(7) die Änderung der Stoffeigenschaften in Abhängigkeit von der Partikelgröße an einem Beispiel beschreiben (Nanopartikel, Verhältnis Oberfläche zu Volumen)

Als Erweiterung der Betrachtung des Zerteilungsgrades als Einflussfaktor für den Verlauf chemischer Reaktionen bietet sich die Betrachtung nanoskaliger Partikel als extreme Form der Zerteilung an. Aufgrund der minimalen Partikelgröße weisen nanoskalige Stoffe andere oft erstaunliche Eigenschaften auf als derselbe Stoff in geringerem Zerteilungsgrad.

Passende Experimente:

- Pyrophores Eisen: Verglühen von Eisen ohne Zufuhr von Energie
- Lotuseffekt: Abperlen von Wasser vom Blatt der Kapuzinerkresse

B) *3.2.1.2 Stoffe und ihre Teilchen*

(4) die Größenordnungen von Teilchen (Atome, Moleküle, Makromoleküle), Teilchengruppen (Nanopartikel) und makroskopischen Objekten vergleichen

Nanopartikel lassen sich in Bezug auf die Größenordnung zwischen die Stoff- und die Teilchenebene eingruppiert. Aufgrund ihrer Größe, die in etwa der Wellenlänge des sichtbaren Lichtes entspricht, zeigen sie insbesondere hinsichtlich ihrer Farbe andere Eigenschaften als der makroskopische Stoff.

Passendes Experiment:

- Die Goldfolie des Rutherford'schen Streuversuchs ist im Grenzbereich der Größenordnung von Nanopartikeln. Blattgold hat ca. 400 Goldatomschichten
- Synthese von Nano-Gold durch Reduktion von Gold(III)-chlorid

Anhang: Werkzeuge zum Aufbau der Formelsprache in Chemie

A) Hinweise zum PSE³

Dieses Periodensystem ermöglicht es, die Trennung der stofflichen Ebene von der Teilchenebene im Chemieunterricht zu schärfen. Wenn es darum geht, die kleinen Teilchen eines Stoffes zusammen mit den Stoffeigenschaften und den Eigenschaften der Atomarten zu erfassen, kann die fehlende Trennschärfe im herkömmlichen Periodensystem den Schülerinnen und Schülern (SuS) Probleme bereiten. Da die kleinen Teilchen eines Stoffes im herkömmlichen Periodensystem nicht direkt abgelesen werden können, müssen die SuS im Anfangsunterricht Formeln von Elementen oft auswendig lernen.

Das PSE³ ermöglicht es SuS von Beginn an bewusst folgende Ebenen im Periodensystem zu unterscheiden:

- die Atomart mit deren spezifischen Eigenschaften
- die kleinen Teilchen eines Stoffes mit den spezifischen Eigenschaften
- die charakteristischen Eigenschaften auf stofflicher Ebene

Beispiel:

VI		
16		
16,0	0	2,18
8		3,5

Auf der Ebene des Atoms:

Sauerstoff: Sauerstoff als Atom besitzt eine mittlere Atommasse von 16u, eine Ordnungszahl von 8, die erste Ionisierungsenergie beträgt 2,18 aJ und die Elektronegativität beträgt 3,5

O ₂	249	O ₃	202
	121		128

Auf der Ebene der Stoffteilchen:

kann dem PSE³ entnommen werden, dass die Stoffteilchen des Stoffs Sauerstoff Moleküle sind (Sauerstoff-Molekül O₂ oder Ozon Moleküle O₃). Entsprechend den jeweiligen Molekülen kann die Atomisierungsenergie und Bindungslänge abgelesen werden.

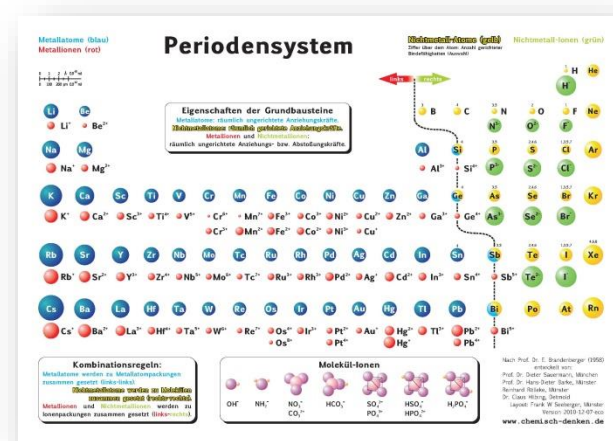
Sauerstoff	Ozon
-183	-111
-219	-193
Sauerstoff	

Auf stofflicher Ebene:

kann dem PSE³ die Eigenschaften des Stoffs Sauerstoff entnommen werden. An der Farbe ist abzulesen, ob es sich um ein Metall, Halbmetall oder Nichtmetall handelt. Gibt es verschiedene Modifikationen, so werden die bedeutendsten dargestellt: Am Beispiel Sauerstoff sind die Siede- und

Schmelztemperatur getrennt für Sauerstoff und Ozon abzulesen.

B) Hinweise zum Periodensystem der Grundbausteine



[Die folgenden Hinweise beziehen sich auf die Internetseite <http://www.chemischdenken.de/>. Dort finden sich ausführliche Informationen zum Periodensystem der Grundbausteine und zum fachlichen und fachdidaktischen Hintergrund.]

Grundsätzlich stellt sich die Frage, warum neben einem herkömmlichen Periodensystem oder dem PSE³ ein weiteres Periodensystem in der Mittelstufe eingeführt werden soll. Beim genaueren Vergleich der jeweiligen Periodensysteme werden deutliche Unterschiede sichtbar. Während ein herkömmliches Periodensystem keine Informationen über die kleinen Teilchen enthält, das PSE³ in einer Ebene die kleinen Teilchen von Elementen beschreibt, legt das Periodensystem der Grundbausteine den Schwerpunkt auf die Bausteine der Salze, die Ionen. Es lassen sich dabei Ionenladungen, Ionenradien sowie im Vergleich die Atomradien ablesen.

Nach traditionellem Unterrichtsgang ist es SuS erst möglich selbständig mit Ionen bzw. Ionenladungen zu arbeiten und Verhältnisformeln aufzustellen, wenn bereits ein vertieftes Verständnis vom Aufbau der Atomhülle vorhanden ist und die Edelgasregel eingeführt und angewendet wird. Aus diesem Grund ist es für SuS im Anfangsunterricht Chemie fast unmöglich, die Veränderung der Stoffteilchen (Bildung von Ionen) bei der chemischen Reaktion von Metallen mit Nichtmetallen zu erfassen.

Mit einer frühen Einführung des Periodensystems der Grundbausteine besteht auch im Anfangsunterricht die Möglichkeit, dass SuS Ionen als „gegebene“ Teilchen kennenlernen, die Bausteine der Salze sind und durch chemische Reaktionen aus Atomen bzw. aus Atomen in Molekülen gebildet werden. Mit der Kenntnis des Periodensystems und den dazugehörigen Kombinationsregeln sind SuS in der Lage:

- den Informationsgehalt einer Verhältnisformel eines Salzes zu beschreiben,
- Verhältnisformeln/Ionenformeln selbständig aufzustellen.

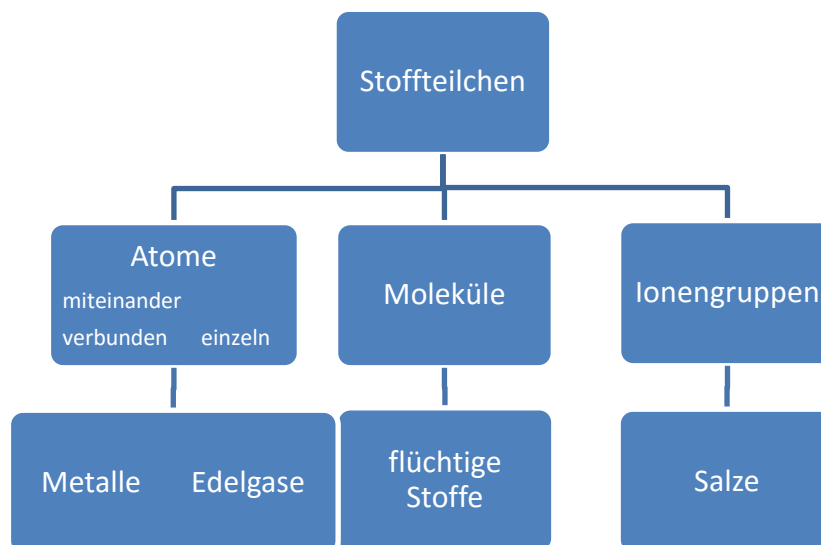
C) Das Zusammenspiel der „chemischen Werkzeuge“ im Anfangsunterricht Chemie

1. undifferenziertes Stoffteilchenmodell

Die Einführung des undifferenzierten Stoffteilchenmodells ermöglicht eine Betrachtung der Aggregatzustände auf Modellebene. Den Schülerinnen und Schülern (SuS) genügt dafür eine einfache Vorstellung von kleinen Teilchen (z.B. Teilchen in verschiedenen Formen). Die Schwierigkeit für SuS besteht in der Vorstellung des Diskontinuums, d.h. dass alle Stoffe aus kleinen Teilchen aufgebaut sind. Dies steht im Widerspruch mit dem Präkonzept zum kontinuierlichen Aufbau der Materie. Ein möglicher Versuch zur Visualisierung des Diskontinuums ist z.B. das „molekulare Sieben“ mit Cellophan-Folie, Tinte und Iod-Stärke-Komplex. (Vgl. Lernbox: Stoffe bestehen aus kleinen Teilchen)

2. differenziertes Stoffteilchenmodell und Teilchenarten

Die Einführung von Teilchenarten im Chemieunterricht, ermöglicht es den SuS, die kennengelernten Stoffe (Ausgangsstoffe und Reaktionsprodukte bei chemischen Reaktionen) in eine übergeordnete Struktur einzuordnen. Durch eine frühzeitige Einführung dieses Ordnungsprinzips (vor der Einführung eines Atommodells) gelten die Teilchenarten für die SuS als „gegebene“, schon existierende Teilchen, deren Entstehung dabei zunächst nicht im Fokus ist. Erst mit der Einführung eines Kern-Hülle Modells und der Elementarteilchen werden Unterschiede zwischen Atomen, Molekülen und Ionengruppen für SuS begreifbar.



Durch die frühzeitige Einführung der Teilchenarten (noch vor der systematischen Bearbeitung der chemischen Reaktion), können SuS in Kombination mit dem Stoffteilchenmodell zu einer differenzierten Vorstellung der Stoffe auf Teilchenebene gelangen. Sie können Ausgangsstoffe und Reaktionsprodukte aufgrund ihrer Eigenschaften den entsprechenden Teilchenarten zuordnen. Dabei ist es plausibel, dass wenn man Stoffe aufgrund ihrer ähnlichen Eigenschaften in Stoffklassen einteilen kann, sich auch ihre Teilchen in ihren Eigenschaften ähnlich sind.

3. Das PSE³

Im PSE³ können SuS nach dessen Einführung selbstständig Informationen über die Stoffeigenschaften und Teilchenarten der **Ausgangsstoffe** entnehmen, da es dabei meist um Elemente handelt. Z.B. können SuS über eine farbliche Codierung Metalle von Nichtmetallen unterscheiden. Auch können SuS auf Teilchenebene entnehmen, dass Metalle aus Atomen, die im Gitter angeordnet sind und Nichtmetalle v.a. aus Molekülen aufgebaut sind. Nur selten findet man auch einzelne Atome als kleine Teilchen: bei den Edelgasen.

4. Das Periodensystem der Grundbausteine

Das Periodensystem der Grundbausteine ermöglicht es SuS sich über die **Reaktionsprodukte** einer chemischen Reaktion zu informieren. Dabei handelt es sich im Anfangsunterricht meist um Verbindungen aus Metallen und Nichtmetallen. Über die im Periodensystem vermerkten Kombinationsregeln können die SuS ermitteln, ob bei einer chemischen Reaktion mit gegebenen Ausgangsstoffen Moleküle oder Ionengruppen (Ionenpackungen) entstehen. Damit ist das Aufstellen einer Verhältnisformel, die der Ionengruppe entspricht) relativ leicht nachzuvollziehen und für einen Großteil der SuS eigenständig zu bewältigen. Bei Auswahlmöglichkeiten von Ionen (z.B. Cu^+ und Cu^{2+}) kann die richtige Ionensorte von SuS nicht ermittelt werden und muss von der Lehrperson vorgegeben werden.

Exemplarisches Vorgehen im Unterricht: Einsatz der „chemischen Werkzeuge“ **PSE³** und **Periodensystem der Grundbausteine** mit dem Ziel der Ermittlung der Verhältnisformel des Reaktionsproduktes:

