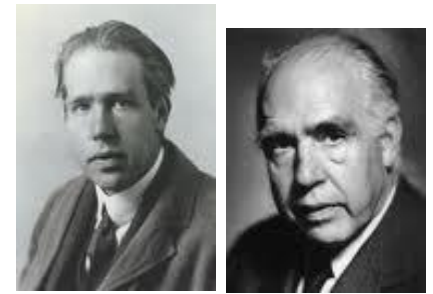


Niels Bohr und sein Atommodell (Schalenmodell)



Niels Bohr: 1885 – 1962, dänischer Physiker. 1922 erhielt er den Nobelpreis für Physik für seine Verdienste um die Erforschung der Struktur der Atome. Er war befreundet mit Rutherford, Plank, Einstein, Heisenberg, Schrödinger, u. a.

Ionen können dadurch entstehen, dass Elektronen von einer Hülle in eine andere Hülle wechseln.

Aber Elektronen werden ja von den Protonen im Kern angezogen: diese Anziehungskraft muss überwunden werden.

Bohr untersuchte systematisch, welche Energiemenge notwendig ist, um ein Elektron aus seiner Hülle zu lösen.

Da dabei Ionen entstehen, nennt man diese Energie Ionisierungsenergie E_{Ion} .



Messergebnisse für sämtliche Elektronen eines Magnesiumatoms:

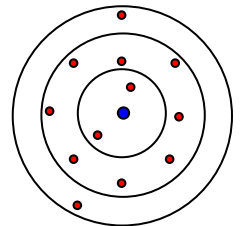
1.e	2.e	3.e	4.e	5.e	6.e	7.e	8.e	9.e	10.e	11.e	12.e	
7,6	15	80	109	141	187	225	264	328	368	1762	1963	Energieeinheiten
Sprung						Sprung						
Außen		Mitte						Innen				

Deutung der Messergebnisse:

Es gibt 2 größere Energiesprünge! Sie deuten auf eine Struktur hin.

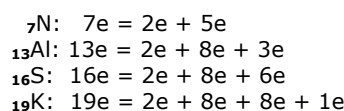
(Die Energie steigt an: je weniger e, desto größer ist die Kraft zwischen den 12 p und den restlichen e.)

- Die 12 Elektronen bilden offenbar 3 Gruppen mit unterschiedlichem Kernabstand.
- Die Hülle der Mg-Atome ist offenbar in 3 Bereiche unterteilt → Schalen.
- Innerhalb eines Bereichs sind die Elektronen in etwa gleich weit vom Kern entfernt die unregelmäßige Steigerung der Energiewerte deutet auf eine noch feinere Struktur hin:
 - • Kugelwolkenmodell → • Orbitalmodell → • Hyperfeinstruktur
- Der äußere Bereich enthält 2e, der mittlere Bereich enthält 8e, der innere Bereich enthält 2e.
- Die beiden ersten e sind offensichtlich weit weg vom Kern: je größer der Abstand, desto kleiner ist die Kraft.
- Die beiden letzten e sind offensichtlich nahe am Kern: je kleiner der Abstand, desto größer ist die Kraft.



Ergebnis: **Die Hülle besitzt eine Struktur.**

Weitere Messungen ergeben: Bsp.



Beobachtungen:

- Schale: max. 2 e
- Schale: max. 8 e
- Schale: max. 18 e

Heisenberg (Unschärferelation)

Es ist prinzipiell unmöglich, den genauen Ort oder die genaue Bahn eines Elektrons 100%ig exakt zu messen.

Es lässt sich nur ungefähr der Bereich angeben, in dem es sich aufhält.

Zusammenhänge:

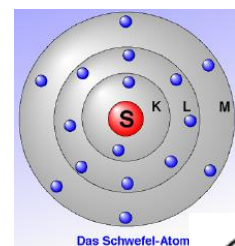
Ort des Elements im PSE ⇔ Atomstruktur

- Nummer der Periode im PSE = Anzahl der Schalen im Atom
- Nummer der Hauptgruppe = Anzahl der Außen-E im Atom (Ausnahme: Helium)

Beispiel: Schwefel S

S im PSE S-Atom
 3. Periode 3 Schalen
 VI. Gruppe 6 AE

Das PSE ist ein exaktes Spiegelbild der Hüllenstruktur.



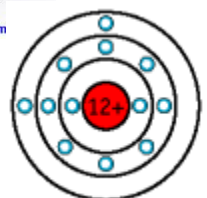
Anwendungen des Schalenmodells:

Entstehung von Ionen: warum entstehen gerade Mg^{2+} - Ionen?
 warum entstehen gerade S^{2-} - Ionen?

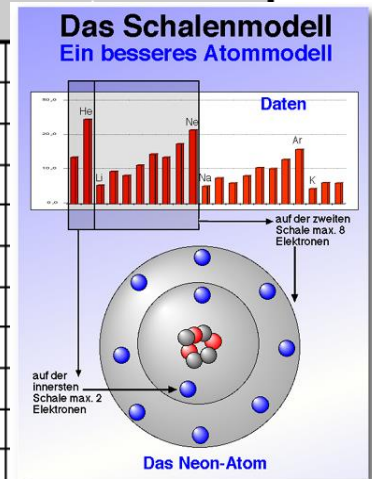
Erkenntnis:

Atome streben nach Stabilität. Diese ist bei einer vollständigen Außenschale erreicht.

- Metalle haben nur wenige AE, diese geben sie ab. Die dann vorhandenen Schalen sind komplett voll.
- Nichtmetalle haben viele AE, sie nehmen weitere Elektronen auf, bis ihre Außenschale komplett voll ist.
- Edelgase reagieren nicht. Sie haben bereits eine vollständige Außenschale und sind daher stabil.



Nr.	Symbol	<i>Ionisierungsenergie in eV*</i>														
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.
		abgespaltenes Elektron														
1	H	13.6														
2	He	24.6	54.4													
3	Li	5.4	75.6	122.5												
4	Be	9.3	18.2	153.9	217.7											
5	B	8.3	25.2	37.9	259.4	340.2										
6	C	11.3	24.4	47.9	64.5	392.1	490.0									
7	N	14.5	29.6	47.5	77.5	97.9	552.1	667.0								
8	O	13.6	35.1	54.9	77.4	113.9	138.1	739.3	871.4							
9	F	17.4	35.0	62.7	87.1	114.2	157.2	185.2	953.7	1103.1						
10	Ne	21.6	41.0	63.5	97.1	126.2	157.9	207.3	239.0	1195.8	1362.2					
11	Na	5.1	47.3	71.6	98.9	138.4	172.2	208.5	264.2	299.9	1465.1	1648.7				
12	Mg	7.6	15.0	80.1	109.2	141.3	186.5	224.9	265.9	328.0	367.5	1761.8	1962.6			
13	Al	6.0	18.8	28.4	120.0	153.7	190.5	241.4	284.6	330.2	398.6	442.1	2085.9	2304.0		
14	Si	8.1	16.3	33.5	45.1	166.7	205.0	246.5	303.2	351.1	404.4	476.1	523.5	2437.7	2673.1	
15	P	10.5	19.7	30.2	51.4	65.0	220.4	263.2	309.4	371.7	424.5	479.6	560.4	611.9	2816.9	3069.8
16	S	10.4	23.4	35.0	47.3	72.5	88.0	281.0	328.8	379.1	447.1	504.8	564.6	651.6	707.1	3223.8
17	Cl	13.0	23.8	39.9	53.5	67.8	97.0	114.2	348.3	400.1	455.6	529.3	592.0	656.7	749.7	809.4
18	Ar	15.8	27.6	40.9	59.8	75.0	91.3	124.0	143.5	422.4	478.7	539.0	618.2	686.0	755.7	854.8
19	K	4.3	31.8	45.7	60.9	83.0	100.0	117.6	155.0	176.0	503.4	564.1	629.1	714.0	787.1	861.8
20	Ca	6.1	11.9	50.9	67.0	84.4	108.8	127.7	147.2	188.5	211.3	591.3	656.4	726.0	816.6	895.1



Markiere in der Tabelle die Sprünge!

- Die Schalen wurden mit Buchstaben benannt:
- die 1. Schale heißt K-Schale
 - die 2. Schale heißt L-Schale
 - die 3. Schale heißt M-Schale
 - die 4. Schale heißt N-Schale, usw.

Anwendungen des Schalenmodells:

Entstehung von Ionen: warum entstehen gerade Mg^{2+} - Ionen? Warum entstehen gerade S^{2-} - Ionen?

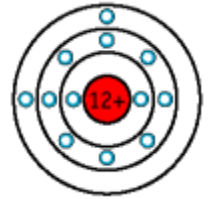
Warum machen Stoffe und damit Atome überhaupt etwas?

Allgemeines phys. Prinzip:

Alle Stoffe streben einen Zustand mit einem möglichst geringen Energieinhalt an, den stabilen Zustand.

Beispiele

-) aus Bauklötzen einen Turm bauen; wenn er wackelt oder zusammenfällt, ist er instabil
-) baufällige Häuser sind instabil
-) wenn eine Eisfläche trägt, ist sie stabil



Erkenntnis: Auch Atome streben nach **Stabilität**, wenn sie reagieren.

Edelgase reagieren nicht. Das bedeutet, dass sie bereits den stabilen Zustand haben.

Offenbar ist eine vollständige Außenschale ein Zeichen für **Stabilität**.

- Metalle haben nur wenige AE. Wenn diese weg sind, dann sind die noch vorhandenen Schalen komplett voll.
- Nichtmetalle haben viele AE. Wenn weitere Elektronen dazukommen, dann ist ihre Außenschale komplett voll.

Die Wertigkeit gibt bei den Metallen die Zahl der (abgebaren) Außenelektronen AE an und bei den Nichtmetallen die Zahl der freien Plätze in der Außenschale. Daraus folgt dann die Ladungszahl der Ionen.

Aber beachte:

Messergebnisse für sämtliche Elektronen eines Magnesiumatoms:

1.e	2.e	3.e	4.e	5.e	6.e	7.e	8.e	9.e	10.e	11.e	12.e	
7,6	15	80	109	141	187	225	264	328	368	1762	1963	Energieeinheiten

Die Elektronen gehen nicht freiwillig weg – es ist Energie aufzuwenden!

Aber die Bildung von MgS ist exotherm. Dabei wird viel E frei, mehr als zum Ablösen der beiden äußeren Elektronen erforderlich ist.

Aber nicht genug, dass auch das 3. Elektron abgelöst werden könnte. Deswegen hört das Ablösen nach dem 2. Elektron auf.

Konsequenzen des Schalenmodells für die Chemie

Wenn Stoffe reagieren, dann reagieren ihre Atome. Chemische Vorgänge können beginnen, wenn Atome sich treffen, wobei der Kontakt an ihren äußeren Bereichen stattfindet.

Die Außenelektronen **AE** sind also diejenigen Teile der Atome, die direkt an chemischen Reaktionen beteiligt sind, die für Bindungen zwischen den Atomen verantwortlich sind (--> Moleküle/Ionen).

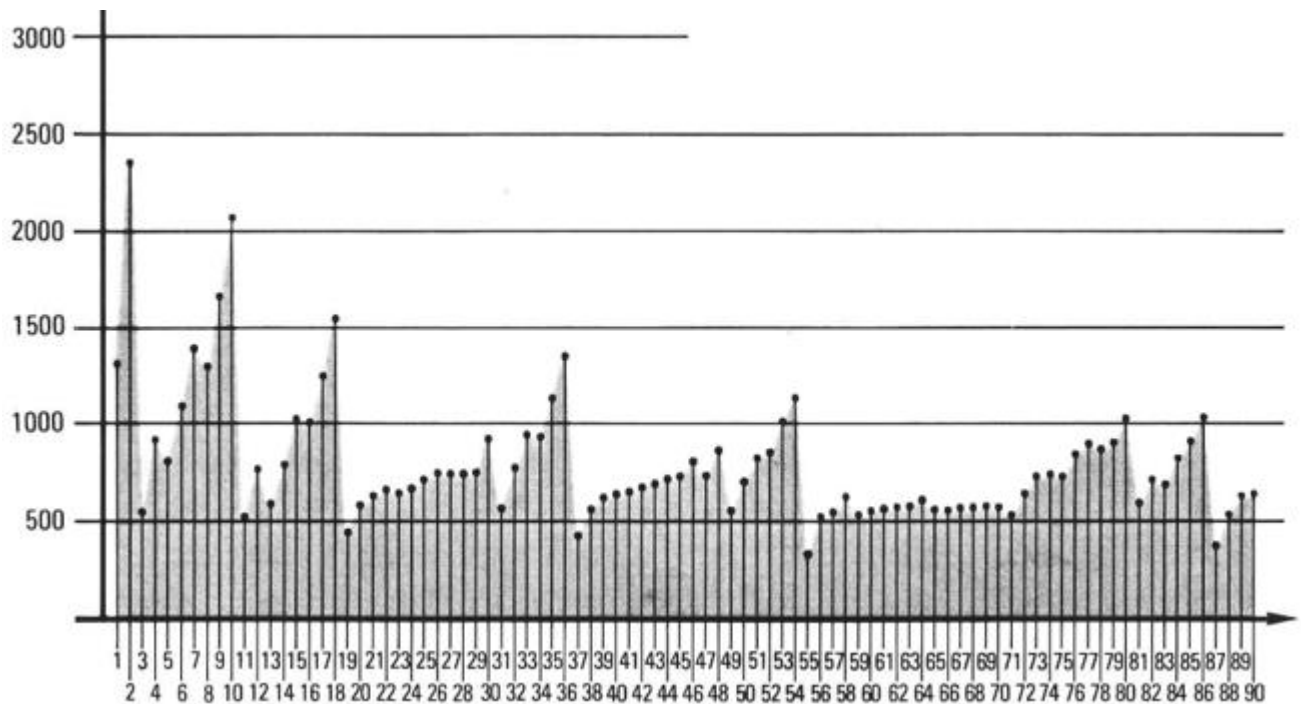
Wie leicht / schwer AE durch andere Atome beeinflusst werden, hängt u.a. davon ab, wie stark sie vom Kern angezogen/festgehalten werden. Hier spielt das **Coulombsche** Gesetz eine entscheidende Rolle.

Das PSE ermöglicht einen systematischen Überblick, wichtig sind die Begriffe Ionisierungsenergie
Atomvolumen
Elektronegativität

Das folgende Diagramm zeigt, wie sich bei den Elementen des PSE die E-Ion ändern.

Die Ionisierungsenergie E-Ion ist ein Maß dafür, wie stark Elektronen vom Kern festgehalten werden.

Dargestellt sind die Werte der ersten Ionisierungsenergie der Elemente von Nr. 1 bis Nr. 90



Dargestellt sind die Energiewerte, die erforderlich sind, um jeweils das 1. Elektron eines Atoms abzutrennen.

Das Schaubild hat Hochpunkte und Tiefpunkte.

Die Edelgase haben die höchsten Werte, bei ihnen ist die Abtrennung am schwierigsten.

Die Elemente der 1. Hauptgruppe haben die niedrigsten Werte, bei ihnen ist es am leichtesten.

Die Energiewerte der Edelgase bilden die Maxima, die der Alkali-Elemente die Minima der Funktion.

Die E-Ion-Werte steigen vom Minimum bis zum Maximum nicht gleichmäßig an, sondern es gibt dazwischen

lokale Maxima: Elemente, deren E-Ion höher ist als die E-Ion der Nachbarelemente ---> es gibt eine Feinstruktur der Hülle!!

Dies sind: 4-Be und 7-N in der 2. Periode und 12-Mg und 15-P in der 3. Periode.

Kurze Info zur Feinstruktur:

Es stellte sich heraus, dass jede Schale nochmals unterteilt ist. Jede Hauptschale enthält Nebenschalen.

Je höher die Nummer der Hauptschale ist, desto mehr Nebenschalen enthält sie.

Genauer: die Nummer der Hauptschale ist gleichzeitig die Anzahl der Nebenschalen in ihr.

Bsp.: die 2. Hauptschale enthält 2 Nebenschalen, die 3. Hauptschale enthält 3 Nebenschalen, usw.

Statt *Nebenschale* sagt man meist *Energieniveau*.

Das Modell der Feinstruktur ist sehr differenziert, was den alltäglichen Gebrauch zu umständlich macht.

Es wurden daher noch weitere Modelle erfunden, die einige wichtige Eigenschaften der Hülle genauer darstellen als das Schalenmodell, aber trotzdem noch gut handhabbar sind -> Kugelwolkenmodell KWM.

Zusatz:

Die Maxima der Energiewerte liegen bei den Elementen vor, deren Atome eine abgeschlossene Schale haben.

Wenn jeweils 1 Elektron entfernt wurde, dann haben die Ionen der Alkali-elemente (1. HG: Li⁺, Na⁺, K⁺, usw.) eine vollbesetzte Schale.

Daher sind die Energiewerte der Alkali-elemente die Maxima, wenn man die 2. Ionisierungsenergien darstellt (die E-Ion zum Ablösen des 2. Elektrons).

Atomvolumen

Messergebnisse zu der **Atomgröße**:

- a) Atome sind verschieden groß
- b) die Volumenänderung unterliegt im PSE einer Regelmäßigkeit

Erklärung mit dem Coulombschen Gesetz: $F = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$

Atomvolumina in einer Periode

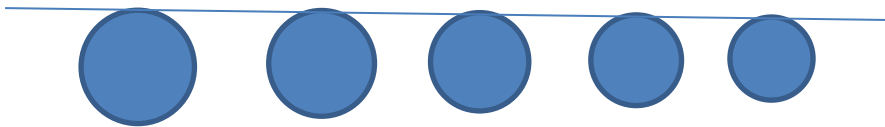
Li Be B C N O F Ne

- ° Innerhalb einer Periode haben alle Atome dieselbe Anzahl an Schalen, d.h. Durchmesser/Radius $r \sim$ konstant
- ° Von Element zu Element nimmt die Anzahl an p und e zu, die Ladungsmenge innerhalb des Atoms steigt.







"Je größer die Ladungsmenge, desto größer die Kraft." ---> die Kraft zwischen Kern und e^- nimmt zu.

Die e^- geben dieser stärkeren Anziehungskraft etwas nach, sie sind dann näher am Kern, r sinkt etwas

-> Das Atomvolumen wird in einer Periode von links nach rechts etwas kleiner: **Volumenkontraktion**



Atomvolumina in einer Gruppe

Li		Zwei gegensätzliche Effekte:
Na		° Die Zahl der p und e^- steigt --> die Anziehungskraft wird größer --> r wird etwas kleiner
K		° Die Zahl der Schalen steigt ---> r wird deutlich größer
Rb		----> Das Atomvolumen wird in einer Gruppe von oben nach unten deutlich größer .
Cs		
Fr		

Auswirkung der Volumenänderung auf die E-Ion

Änderung der E-Ion in einer **Periode**: Zunahme von links nach rechts (mit leichten Schwankungen)

Änderung der E-Ion in einer **Gruppe**: Abnahme von oben nach unten

Periode:

Atomvolumen sinkt --> Abstand (Kern-AE) sinkt --> Anziehungskraft steigt --> E-Ion steigt

Gruppe:

Atomvolumen steigt --> Abstand (Kern-AE) steigt --> Anziehungskraft sinkt --> E-Ion sinkt

Diese beiden Atomeigenschaften (Atomgröße und Ionisierungsenergien) haben entscheidende Auswirkungen auf die In/Stabilität eines Atoms und damit auf seine Reaktionsbereitschaft.

Exotherme Reaktionen liefern eine Energiemenge, die ausreicht, um die Elektronen der äußeren Schale abzulösen, aber nicht mehr. Daher ist die Kenntnis, wie hoch diese Ionisierungsenergien sind, von Wichtigkeit.

Wenn Atome Elektronen aufnehmen, muss genauso die Energieänderung betrachtet werden: **Elektronenaffinität**.

Linus Pauling errechnete für jedes Element aus den Zahlenwerten von Atomvolumen, Ionisierungsenergie bzw. Elektronenaffinität eine neue Größe, die er **Elektronegativität** EN nannte.

Damit lässt sich die Reaktionsfähigkeit eines Elements mit Hilfe einer einzigen charakteristischen Zahl angeben.

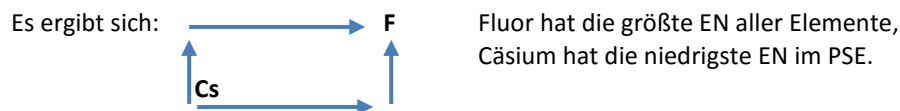
Die EN ist ein Maß für die Fähigkeit eines Atoms (Kerns), im Außenbereich (auch fremde) Elektronen anzuziehen.

zunehmende Elektronegativität →

abnehmende Elektronegativität ↓

H 2,1							He
Li 1,0	Be 1,5	B 2,0	C 2,5	N 3,0	O 3,5	F 4,0	Ne
Na 0,9	Mg 1,2	Al 1,5	Si 1,8	P 2,1	S 2,5	Cl 3,0	Ar
K 0,8	Ca 1,0	Ga 1,6	Ge 1,8	As 2,0	Se 2,4	Br 2,8	Kr
Rb 0,8	Sr 1,0	In 1,7	Sn 1,8	Sb 1,9	Te 2,5	I 2,5	Xe
Cs 0,7	Ba 0,9	Tl 1,8	Pb 1,8	Bi 1,9	Po 2,0	At 2,2	Rn

Die Werte der EN ändern sich im PSE natürlich auch regelmäßig.



Eine sehr hohe EN bedeutet, dass die Fähigkeit eines Atoms, fremde Elektronen an sich zu reißen, um den stabilen Zustand zu erreichen, extrem hoch ist.

Eine sehr niedrige EN bedeutet, dass ein Atom kaum Widerstand entgegensetzt, wenn die AE abgelöst werden.

Fluor und Cäsium sind die reaktionsfähigsten Elemente im PSE.

Wenn zwei Elemente miteinander reagieren, dann ist die Höhe ihrer beider EN – quasi die Differenz ΔEN – entscheidend, was läuft und wie es läuft.

Die Reaktion zwischen Fluor und Cäsium ist extrem heftig, bei Fluor und Sauerstoff verläuft sie gedämpft.

Man sieht: Die EN der Metalle ist kleiner als 1,8 Die EN der Nicht-Metalle ist größer als 2,0

Die Elektronegativitäts-Werte ...

- sind ein Maß für den Einfluss eines Atoms auf Partneratome in einem Verband (Molekül/Ion/Gitter)
- sind relevant bei der Überlegung, welche Teilchen entstehen (Moleküle/Ionen)
- sind relevant bei der Überlegung, welche Bindungen zwischen Atomen entstehen (kovalente Bdg./Ionen-Bdg.)
- sind relevant bei der Überlegung, welche Eigenschaften die Moleküle haben

Bei Reaktionen zwischen Elementen gibt es folgende Kombinationen:

- Me-Me: Metalle (Gitteranordnung, freie Elektronen im Gitter)
- Me-NiMe: Ionen (Na^+Cl^- Elektronen-Wechsel) $\Delta EN > 1,5!$ ($3,0 - 0,9 = 2,1$)
- NiMe-NiMe: Moleküle (O_2 , kovalente Bindung = gemeinsame Verwaltung der e^-)

Fragen zum **Atomvolumen**:

- 1) Vergleiche bei den Atomen **11-Na** Natrium und **19-K** Kalium die Durchmesser der ersten 3 Schalen und die Atomgrößen miteinander.
 - b) Vergleiche bei den Atomen **11-Na** Natrium und **19-K** Kalium die Durchmesser der K- und L-Schalen.
(die 1. Schale heißt K-Schale, die 2. Schale heißt L-Schale)
 - 2) Betrachte **9-F** Fluor und **11-Na** Natrium.
Durch welchen Vorgang können diese beiden Atome zu einem stabilen Zustand gelangen?
 - 3) In der 3. Periode stehen die Elemente: 11Na 12Mg 13Al 14Si 15P 16S 17Cl 18Ar
Welche Gemeinsamkeiten / Unterschiede gibt es in den Hüllen ihrer Atome? (Skizzen!)
 - 4) Vergleiche die Schalen Nr. **x** und Nr. (**x+1**). Wie viele Elektronen haben auf der höheren Schale mehr Platz?
 - 5) Wie ändert sich das Atomvolumen in einer Gruppe bzw. in einer Periode? Genaue Begründung.
 - b) **11Na 12Mg 19K 20Ca** Ordne diese vier Atome ihrer Größe nach und begründe Deine Anordnung.
 - 6) Welches Teilchen der folg. Paare ist jeweils das größere? a) (Na - Mg) b) (Al - Al³⁺) c) S - S²⁻)
-

Fragen zur **Ionisierungsenergie**:

- 1) Mg - Mg²⁺: Vergleiche die Größe der beiden Teilchen.
Bei welchem Teilchen ist die E-Ion für das nächste abzuspaltende Elektron größer?
 - 2) Wie ändert sich die jeweils erste **Ionisierungsenergie** im PSE?
Beschreibe den Verlauf des Schaubildes (steigen/fallen)
Welche Elemente bilden die Maxima, welche die Minima? Begründe dies.
 - b) Die 2. E-Ion gibt die Energie für die Ablösung des 2. Elektrons eines Elements an.
In welcher Gruppe stehen die Elemente, deren E-Ion jetzt die Minima bilden?
-

Fragen zur **Elektronegativität**:

- 1) Wie ändern sich die EN-Werte in einer Periode / Gruppe?
 - b) Es gilt die Regel: Metall + Nichtmetall gibt Ionenbindung". Betrachte die Elemente der 3. Periode.
Wie groß ist die EN-Differenz mindestens, wenn eine Ionenverbindung entsteht?
 - c) Warum gibt es für die Edelgase keine EN-Werte?
-

Allgemein

- a) Welche Bestätigungen existieren für das "Schalenmodell"?
- b) Was versteht man unter dem Begriff "Volumenkontraktion"?
- c) Nenne drei verschiedene Atommodelle und beschreibe sie kurz.