

## Gedanken zu den Elektronenkonfigurationen der f-Elemente oder Lutetium und Lawrencium, die armen Heimatlosen

Die Beschäftigung mit dem Periodensystem ist mir zum Hobby geworden.

Anders als man es von den Nebenquantenzahlen 0, 1 und 2 her kennt, folgt die Besetzung der Lanthanoide und Actinoide etwas eigenwilligen, um nicht zu sagen chaotischen Regeln.

Lanthanoide			Actinoide		
57 La	[Xe]	5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>	89 Ac	[Rn]	6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>
58 Ce	[Xe]	4f <sup>1</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>	90 Th	[Rn]	6d <sup>2</sup> 7s <sup>2</sup>
59 Pr	[Xe]	4f <sup>3</sup> 6s <sup>2</sup>	91 Pa	[Rn]	5f <sup>2</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>
60 Nd	[Xe]	4f <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup>	92 U	[Rn]	5f <sup>3</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>
61 Pm	[Xe]	4f <sup>5</sup> 6s <sup>2</sup>	93 Np	[Rn]	5f <sup>4</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>
62 Sm	[Xe]	4f <sup>6</sup> 6s <sup>2</sup>	94 Pu	[Rn]	5f <sup>6</sup> 7s <sup>2</sup>
63 Eu	[Xe]	4f <sup>7</sup> 6s <sup>2</sup>	95 Am	[Rn]	5f <sup>7</sup> 7s <sup>2</sup>
64 Gd	[Xe]	4f <sup>7</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>	96 Cm	[Rn]	5f <sup>7</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>
65 Tb	[Xe]	4f <sup>9</sup> 6s <sup>2</sup>	97 Bk	[Rn]	5f <sup>9</sup> 7s <sup>2</sup>
66 Dy	[Xe]	4f <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup>	98 Cf	[Rn]	5f <sup>10</sup> 7s <sup>2</sup>
67 Ho	[Xe]	4f <sup>11</sup> 6s <sup>2</sup>	99 Es	[Rn]	5f <sup>11</sup> 7s <sup>2</sup>
68 Er	[Xe]	4f <sup>12</sup> 6s <sup>2</sup>	100 Fm	[Rn]	5f <sup>12</sup> 7s <sup>2</sup>
69 Tm	[Xe]	4f <sup>13</sup> 6s <sup>2</sup>	101 Md	[Rn]	5f <sup>13</sup> 7s <sup>2</sup>
70 Yb	[Xe]	4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup>	102 No	[Rn]	5f <sup>14</sup> 7s <sup>2</sup>
71 Lu	[Xe]	4f <sup>14</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>	103 Lr	[Rn]	5f <sup>14</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> oder [Rn] 5f <sup>14</sup> 7s <sup>2</sup> p <sup>1</sup>

Die „reguläre“ Besetzung im PSE würde ja so aussehen, dass nach Erreichen der beiden äußersten s-Elektronen bei Barium bzw. Radium der Aufbau in der Schale n-2 fortgesetzt würde, d.h. mit 4f<sup>1</sup> bzw. 5f<sup>1</sup>. Auffällig ist aber, dass in dieser Hinsicht einige Elemente aus der Reihe tanzen, nämlich La, Ce, Gd, Lu, Ac bis Np, Cm und Lr. Bei diesen Elementen promoviert offenbar ein f-Elektron in die nächsthöhere d-Periode, bei Thorium sind es sogar zwei.

Dies hat frühere Autoren des PSE dazu veranlasst, diese Erscheinung als den Regelfall statt als Abnormität zu betrachten. So kommt es, dass ich bereits in der Schule lernen musste, dass die Auffüllung der f-Perioden erst beginnt, nachdem *ein* d-Elektron dazwischengeschoben worden ist. Lanthan und Actinium wurden (und werden) also in den d-Perioden angesiedelt, und die f-Perioden beginnen mit Cer bzw. Thorium. Diese Darstellung ist nicht nur unschön, da die Unterperioden mit geraden Ordnungszahlen beginnen, sondern sie führt auch dazu, dass am Ende dieser Perioden jeweils ein Freiplatz bleibt, der notgedrungen mit Lutetium bzw. Lawrencium besetzt wird. Auf diese Weise entstehen jeweils 15 Elemente, was aber schlicht und einfach nur falsch sein kann.

Man kann Gemeinsamkeiten an diesen Abnormitäten finden, nämlich dass es die Konfiguration f<sup>8</sup> überhaupt nicht gibt und f<sup>1</sup> nicht isoliert (bei den Actinoiden auch nicht f<sup>2</sup> bis f<sup>5</sup>). Ab f<sup>6</sup> ist der Aufbau – abgesehen von f<sup>8</sup> – wieder regelmäßig. Dass bei f<sup>7</sup> eine Zäsur besteht, ist nicht überraschend, denn es die Position der Halbbesetzung der Perioden und erinnert an die Besonderheiten bei d<sup>5</sup> (z.B. Mangan). Offenbar ist auch hier wieder der Zustand maximalen Spins entsprechend den Hundschen Regeln besonders stabil.

Eigentlich müsste man ja all die Elemente, die mit einem d<sup>1</sup>-Elektron ausgewiesen sind, in der Tabelle irgendwie übereinanderlegen. Dann würden also z.B. Lanthan, Gadolinium und Lutetium alle am selben

Platz stehen – das Kästchen müsste dann dreigeteilt dargestellt werden. Beim Thorium würde das sogar die  $6d^2$ -Position betreffen. Ob das PSE dadurch übersichtlicher würde, ist sehr fraglich.

Stellen wir uns vor, die Elemente wären Persönlichkeiten. Das Lanthan zum Beispiel ist bekannt für seine Flegelhaftigkeit. Es sagt „Was, ich soll ein f-Element sein? Da wusst' ich von! Nein, ich gehe gleich eine Etage weiter. Ich bin  $5d^1$ “. Auch das Gadolinium würde sich in diesem Sinne äußern. Der gute Mann, der das PSE zusammenstellen soll, ist aber ein rückgratloser Schlappschwanz und gibt um des lieben Friedens willen sofort nach. Nicht nur das, er verlangt auch noch, dass sich alle übrigen 13 Elemente anschließen, und packt sie alle an Position  $5d^1$  übereinander. Allenfalls sagt er gönnerisch, dass sie „eigentlich“ beinahe eine eigene Periode bilden können, nennt sie Lanthanoide und hängt sie verschämt unten im PSE an. Der Platz  $d^1$  bleibt dann leer und enthält nur einen Zeiger auf diese Lanthanoidenleiste. Das Lutetium, ein Aufmucker unter den Elementen, beschwert sich lautstark, es hätte hier in diesem Verein gar nichts zu suchen. Es sei das einzige Element mit legalem Anspruch auf die d-Ebene. Aber es nützt ihm nichts. Es wird notorisch immer wieder untergebuttert und spielt die Rolle des 15-ten Rads am Wagen. Ähnlich geht es auch dem Lawrencium eine Etage höher.

Da muss mal jemand ein Machtwort sprechen. Meines Erachtens ist die Anordnung im PSE viel klarer, wenn man sich zu folgenden Regeln entschließt:

1. Der Aufbau geschieht gemäß der Diagonalfolge, wie man sie auch von den Gruppen davor kennt. Das bedeutet, dass Lanthan und Actinium den ihnen gebührenden ersten Platz innerhalb der f-Perioden einnehmen.
2. Lutetium und Lawrencium gehören hingegen *nicht* zu den f-Perioden. Denn es besteht hierzu absolut kein Grund, da die Maximalzahl von 14 bereits bei Ytterbium und Nobelium erreicht ist. Lutetium und Lawrencium besetzen vielmehr die Beginnpositionen der folgenden d-Perioden. Sie mögen wegen ihrer chemischen Eigenschaften weiterhin zu den Lanthanoiden bzw. Actinoiden gerechnet werden. Es mag dann eine Frage der chemischen Interpretation sein, konsequenterweise auch Scandium und Yttrium zu den Lanthanoiden zu zählen (insgesamt 17).
3. Alle Abweichungen von der regulären Elektronenbesetzung werden als Ausnahmen betrachtet und evtl. in der Darstellung durch Fußnoten o.ä. hervorgehoben.

Was man hierdurch gewonnen hat:

Die f-Perioden beginnen ebenso wie die anderen Unterperioden (s, p und d) mit ungeraden Ordnungszahlen. Dies ist nicht nur eine Frage der Ästhetik, sondern auch der Systematik und der Klarheit.

Es gibt, wie oben dargelegt, gewisse Ausnahmen. Diese werden jedoch auf ein Minimum reduziert. Nicht die Mehrheit der f-Elemente bilden Ausnahmen, sondern eigentlich nur noch La, Gd, Ac und Cm. Diese lassen sich leicht quantentheoretisch einordnen. Daneben gibt es noch richtige Exoten wie Ce und Th, aber die gibt es in der Chemie immer. Das ist ja das Schöne an ihr.

Es gibt kein Rätselraten mehr, wieviele Elemente diese Perioden umfassen: Es sind jeweils 14, wie es sich gehört. Punkt. Auch Lutetium und Lawrencium, die in der herkömmlichen Darstellung irgendwie als lästige Anhängsel am Ende erschienen, haben jetzt ihren wohldefinierten angestammten Platz. Ihre Heimatlosigkeit ist damit beendet.

Ich bin mit dieser Anordnung, wie ich sie auch in meinem Elaborat über die Gesamtansicht (s.u.) dargelegt habe, sehr zufrieden.

## PSE – Gesamtansicht

	s <sup>1</sup>	s <sup>2</sup>																																
1	1 H	2 He	p <sup>1</sup>	p <sup>2</sup>	p <sup>3</sup>	p <sup>4</sup>	p <sup>5</sup>	p <sup>6</sup>																										
2	3 Li	4 Be	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	d <sup>1</sup>	d <sup>2</sup>	d <sup>3</sup>	d <sup>4</sup>	d <sup>5</sup>	d <sup>6</sup>	d <sup>7</sup>	d <sup>8</sup>	d <sup>9</sup>	d <sup>10</sup>																
3	11 Na	12 Mg	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	f <sup>1</sup>	f <sup>2</sup>	f <sup>3</sup>	f <sup>4</sup>	f <sup>5</sup>	f <sup>6</sup>	f <sup>7</sup>	f <sup>8</sup>	f <sup>9</sup>	f <sup>10</sup>	f <sup>11</sup>	f <sup>12</sup>	f <sup>13</sup>	f <sup>14</sup>		
4	19 K	20 Ca	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	g <sup>1</sup>	
5	37 Rb	38 Sr	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	121 ?	
6	55 Cs	56 Ba	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn																
7	87 Fr	88 Ra	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og																										
8	119 ?	120 ?																																

Ausnahmen in der Elektronenkonfiguration

Dies ist die „Superlangdarstellung“ des PSE.

In ihr wird von der üblichen Sitte Abstand genommen, die Edelgase untereinander anzusiedeln. Dies ist mir eigentlich immer schon zwanghaft erschienen, denn was hat schon Helium elektronisch mit den p<sup>6</sup>-Elementen zu tun? Doch nur, dass hier die Unterschalen mit den Nebenquantenzahlen 0 und 1 komplettiert worden sind. Konsequenterweise müsste man dann aber eher He, Ne, Zn und Yb untereinander darstellen. Auch Quecksilber und Copernicium würden hierher gehören, da diese infolge des „inerten s-Elektronenpaars“ typischerweise ebenfalls einen gewissen Edelgascharakter haben. Umgekehrt schreibt man ja den Wasserstoff in dieselbe Gruppe wie die Alkalimetalle, weil alle die Konfiguration s<sup>1</sup> haben. Ansonsten besteht weiß Gott keine Ähnlichkeit.

In der vorliegenden Darstellung hingegen sind alle Elemente streng gemäß ihrer Elektronenkonfiguration untereinander angeordnet. Dies hat den Vorteil, dass sich die parabolische Entwicklung der Periodenlängen gemäß der Formel  $MaxAnzahl = 2 \times n^2$  plastisch erkennen lässt. Wenn eines Tages die g-Elemente hinzukommen, die nach Glenn Seaborg wahrscheinlich „Superactinoide“ heißen werden und mit Ordnungszahl 121 („Unbihonium“) beginnen, wird die Horizontale um weitere 18 Positionen länger. Man ist dann bei maximal  $2 \times 5^2 = 50$  Elektronen angekommen, und es wird bereits die R-Schale mit Hauptquantenzahl 8 begonnen haben.

Der Nachteil ist dann natürlich, dass diese Darstellung kaum noch als Wandschmuck geeignet sein wird. Bei einer Kästchenbreite von sagen wir 6cm wird das Ungetüm, wenn man noch ein bisschen Platz lässt, etwa 3,20 Meter breit sein und in keinen üblichen Bilderrahmen passen. Aber schön ist es doch!

### Ein Postscriptum:

Zu den Superactinoiden ist noch zu erwähnen, dass sich hier vielleicht sensationelle Raritäten anbahnen. Z.B. sagt man dem *Unbihexium* mit der Ordnungszahl 126 wegen der „magischen Nukleonenzahlen“ eine ungewöhnlich hohe Halbwertszeit voraus.

Vielleicht sollte man sich davon schon mal ein paar kg vorbestellen. Es hält sich ja möglicherweise drei Tage.