

**Diese Folien wurden speziell für den Kurs „Naturwissenschaften II“, Kursteil „Physik des Wassers“ erstellt und sind zur Benutzung durch die Kursteilnehmer vorgesehen.**

Bei Abbildungen aus Büchern stehen die Zitate direkt unter den Abbildungen, bei Abbildungen von Web-Seiten nicht immer.

Eine Literaturliste mit benutzten Büchern und Web-Seiten kann separat heruntergeladen werden.

*Bärbel Fromme*

- Physiker und Chemiker sind Menschen.
- Menschen machen sich anschauliche Bilder (Modelle) von der Natur.

Aber:

Die Modelle *beschreiben* die Natur (einigermaßen) korrekt –  
**sie sind kein reales Abbild der Natur**

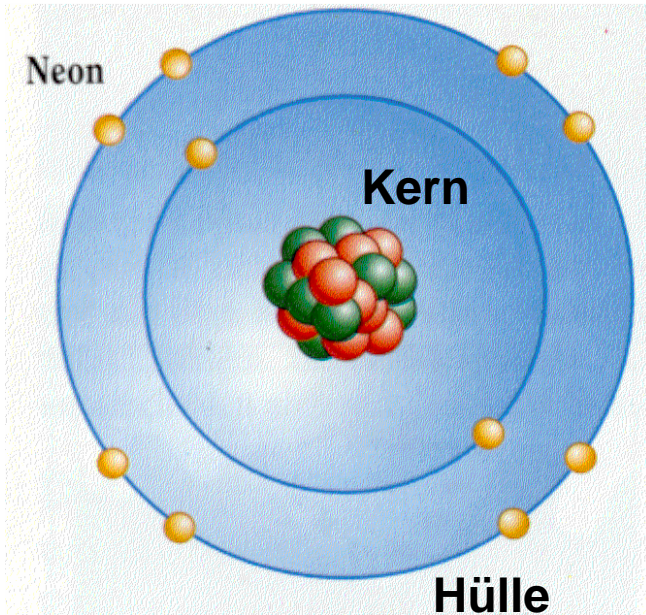
- Irgendwann merkt man, dass ein Modell bestimmte Phänomene nicht richtig beschreibt.

→ **neues Modell muss her**

Das gilt insbesondere für die gleich vorgestellten Atom- und Molekülmodelle: sie alle sind nur Bilder, die Atome und Moleküle vorstellbar machen und nicht immer alle Eigenschaften der Atome und Moleküle korrekt beschreiben.

**Atome und Moleküle gesehen hat niemand!**

# Wiederholung: Atomaufbau (hier: Bohrsches Atommodell)

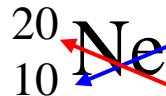


Atome bestehen aus:

**Kern**, enthält positiv geladene **Protonen** und ungeladene **Neutronen**

**Hülle**, enthält negativ geladene **Elektronen**, die den Kern umschwirren

Die Anzahl von Protonen und Elektronen ist gleich: das Atom ist nach außen elektrisch neutral.



**Kernladungszahl (Ordnungszahl):**

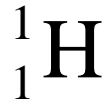
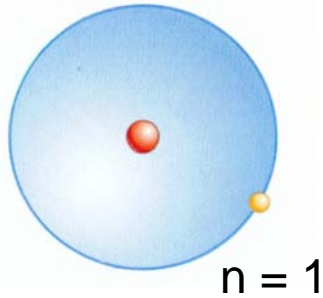
Anzahl von Protonen (Elektronen).

Bestimmt, um welches Element es sich handelt und damit das chemische Verhalten.

**Massenzahl:**

Anzahl der Kernbausteine  
(Protonen + Neutronen)

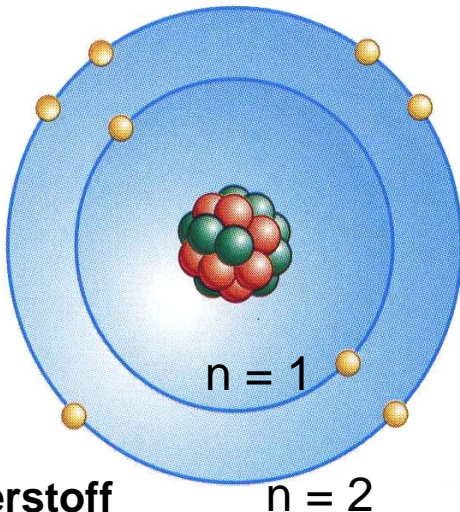
Wasserstoff



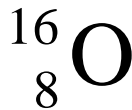
weitere Isotope:

Deuterium (1 Neutron)

Tritium (2 Neutronen)



Sauerstoff



verschiedene  
andere Isotope

n: Hauptquantenzahl

„Elektronenbahnen“ entsprechen festen Energieniveaus

⇔ Energie der Elektronen ist quantisiert

# Quantisierung des Drehimpulses der Elektronen

$$L = \sqrt{l(l+1)}\hbar$$

*mit :*

$$l = 0, 1, 2, 3, \dots, n - 1$$

<b>Drehimpuls l</b>	<b>Symbol</b>
0	s
1	p
2	d
3	f
4	g

# Richtungsquantisierung des Drehimpulses

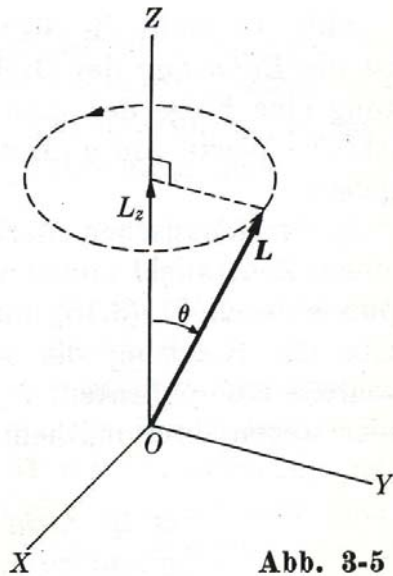


Abb. 3-5

$$L_z = m_l \hbar$$

mit :

$$m_l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$$

p-Elektronen

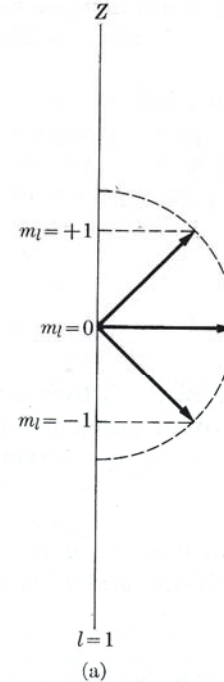
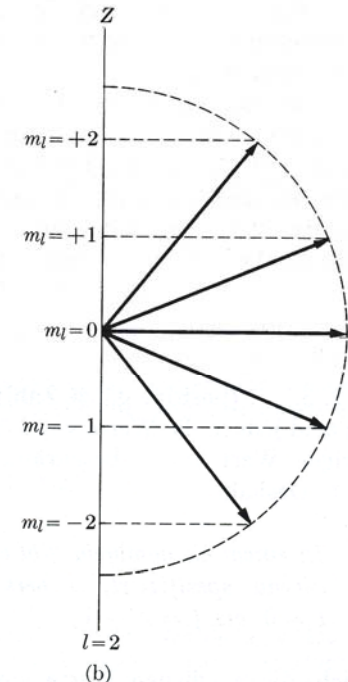


Abb. 3-6. Räumliche Quantisierung illustriert für  $l = 1$  und  $l = 2$ .

d-Elektronen

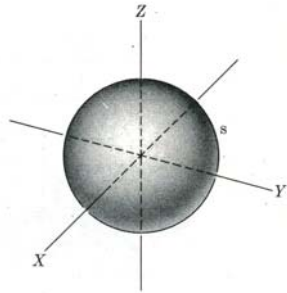


Betrag („Länge“) jeweils:

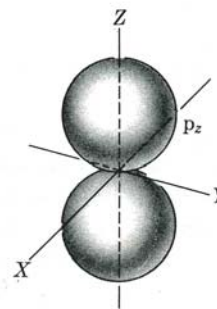
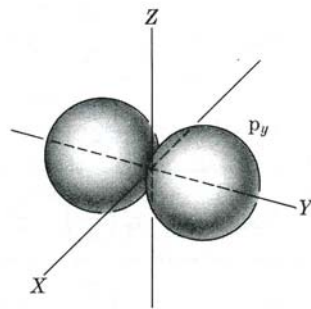
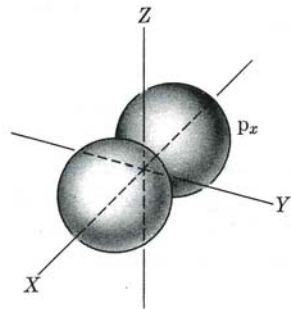
$$L = \sqrt{l(l+1)}\hbar$$

# Orbitale

= Bereiche in dem sich Elektronen bevorzugt aufhalten (drehimpulsabhängig)



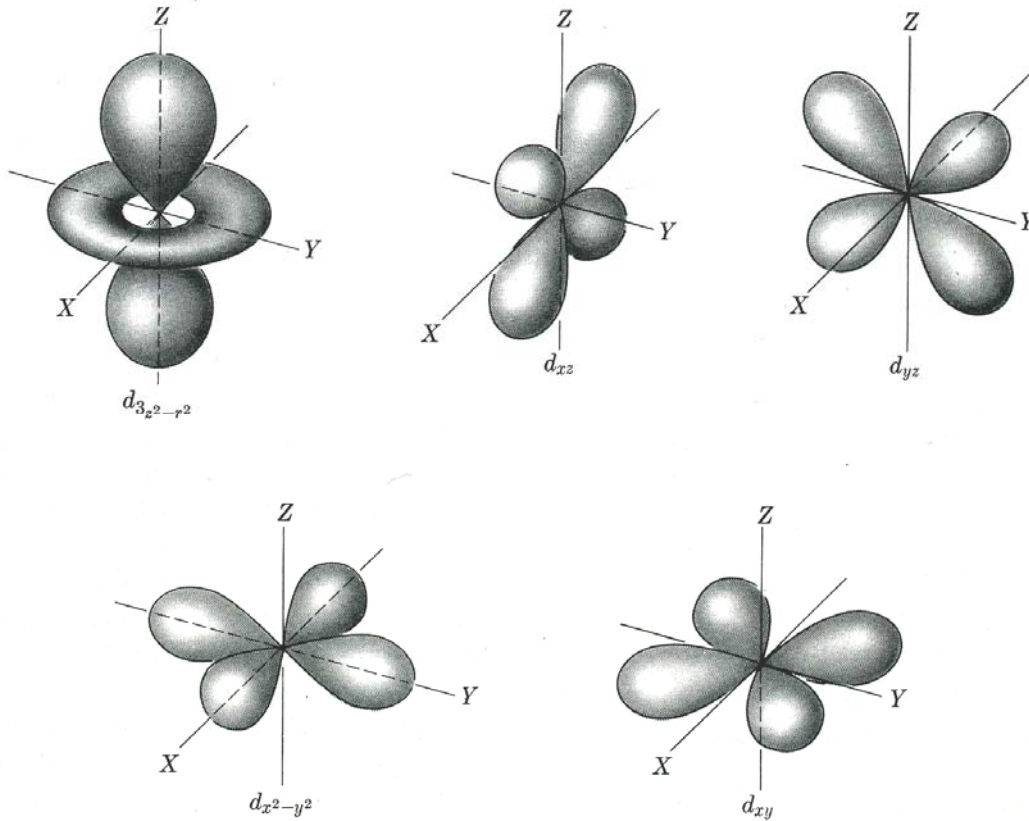
**s-Elektronen ( $l = 0, m_l = 0$ )**



**p-Elektronen ( $l = 1$ )**

**3 Orbitale:  $m_l = 0, \pm 1$**

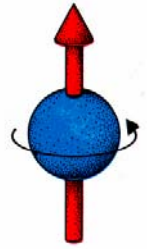
# Orbitale



**d-Elektronen ( $l=2$ )**

# Elektronenspin

= Eigendrehimpuls der Elektronen  $\vec{S}$



## Quantisierung:

Betrag:  $S = \sqrt{s(s+1)}\hbar$

s heißt **Spinquantenzahl**,  **$s=1/2$**

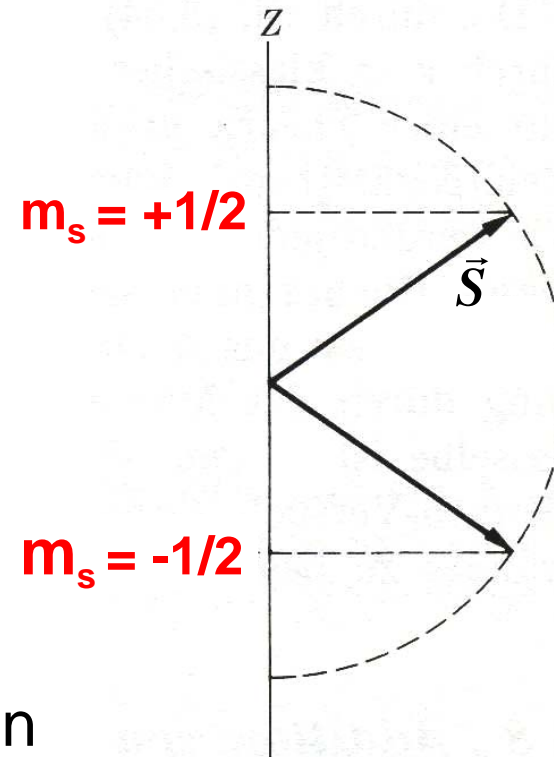
## Richtungsquantisierung der Z-Komponente

$$S_z = m_s \hbar$$

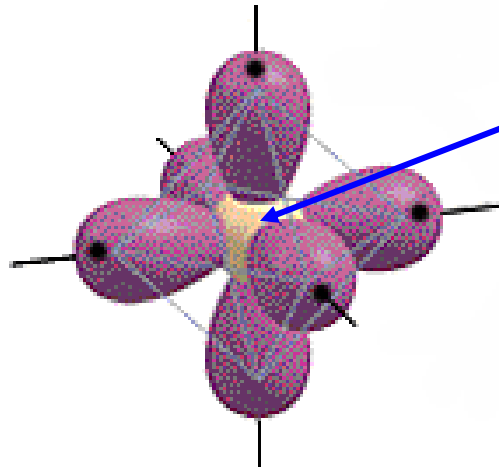
mit :

$$m_s = -1/2, +1/2$$

d.h.: 2 mögliche Orientierungen



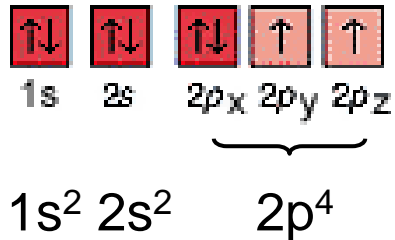
# Besetzung der Orbitale beim Sauerstoff



kugelsymmetrische  
1s und 2s-Orbitale

Besetzung der Orbitale nach der  
Hundschen Regel:

„möglichst viele Spins parallel“



⇒ Elektronen in allen p-Orbitalen

**Gruppe  
Ia**

1	1,008	<b>H</b>
2,2		
-252,9		
-259,1		
Wasserstoff 1s <sup>1</sup>		

**Ila**

3	6,941	<b>Li</b>
1,0		
1317		
179		
Lithium [He]2s <sup>1</sup>		

**Ila**

4	9,012	<b>Be</b>
1,5		
-1278		
Beryllium [He]2s <sup>2</sup>		

11	22,990	<b>Na</b>
1,0		
892		
97,8		
Natrium [Ne]3s <sup>1</sup>		

**Ila**

12	24,305	<b>Mg</b>
1,2		
1107		
651		
Magnesium [Ne]3s <sup>2</sup>		

Protonenzahl  
(Ordnungszahl)  
Elektronegativität  
nach Allred u. Rochow  
Siedetemperatur in °C  
Schmelztemperatur in °C

25	54,94	<b>Mn</b>
1,6		
2097		
1244		
Mangan [Ar]3d <sup>5</sup> 4s <sup>2</sup>		

Relative  
Atommasse<sup>1</sup>

Symbol<sup>2</sup>

Name

Elektronen-  
konfiguration

**IIIB IVB VB VIB VIIB VIIIB**

19	39,10	<b>K</b>	20	40,08	<b>Ca</b>	21	44,96	<b>Sc</b>	22	47,90	<b>Ti</b>	23	50,94	<b>V</b>	24	52,00	<b>Cr</b>	25	54,94	<b>Mn</b>	26	55,85	<b>Fe</b>	27	58,93	<b>Co</b>
0,9			1,2			1,3			1,5			1,6			1,6			1,7			1,7			1,8		
774			10,8			13,3			14,8			15,3			16,2			17,0			17,8			18,6		
63,7			~845			1539			1675			1890			1890			1244			1535			1495		
Kalium [Ar]4s <sup>1</sup>			Calcium [Ar]4s <sup>2</sup>			Scandium [Ar]3d <sup>1</sup> 4s <sup>2</sup>			Titan [Ar]3d <sup>2</sup> 4s <sup>2</sup>			Vanadium [Ar]3d <sup>3</sup> 4s <sup>2</sup>			Chrom [Ar]3d <sup>5</sup> 4s <sup>1</sup>			Mangan [Ar]3d <sup>5</sup> 4s <sup>2</sup>			Eisen [Ar]3d <sup>6</sup> 4s <sup>2</sup>			Cobalt [Ar]3d <sup>7</sup> 4s <sup>2</sup>		
37	85,47	<b>Rb</b>	38	87,62	<b>Sr</b>	39	88,91	<b>Y</b>	40	91,22	<b>Zr</b>	41	92,91	<b>Nb</b>	42	95,94	<b>Mo</b>	43	(98)	<b>Tc</b>	44	101,07	<b>Ru</b>	45	102,91	<b>Rh</b>
0,9			1,1			1,2			1,2			1,3			1,4			1,4			1,5			1,5		
686			10,8			12,9			14,2			14,9			15,7			16,5			17,0			17,9		
38,9			3337			1523			1852			2102			2610			5030			3900			1966		
Rubidium [Kr]5s <sup>1</sup>			Strontium [Kr]5s <sup>2</sup>			Yttrium [Kr]4d <sup>1</sup> 5s <sup>2</sup>			Zirkon [Kr]4d <sup>2</sup> 5s <sup>2</sup>			Niob [Kr]4d <sup>4</sup> 5s <sup>1</sup>			Molybdän [Kr]4d <sup>5</sup> 5s <sup>1</sup>			Technetium [Kr]4d <sup>5</sup> 5s <sup>1</sup>			Ruthenium [Kr]4d <sup>7</sup> 5s <sup>1</sup>			Rhodium [Kr]4d <sup>8</sup> 5s <sup>1</sup>		
55	132,91	<b>Cs</b>	56	137,33	<b>Ba</b>	57	138,91	<b>La</b>	72	178,49	<b>Hf</b>	73	180,95	<b>Ta</b>	74	183,85	<b>W</b>	75	186,21	<b>Re</b>	76	190,23	<b>Os</b>	77	192,22	<b>Ir</b>
0,9			1,0			1,1			1,2			1,3			1,4			1,5			1,5			1,6		
690			10,4			11,3			12,6			13,5			14,5			15,2			16,0			17,0		
28,5			725			920			2150			2996			3410			~5630			3045			2410		
Caesium [Xe]6s <sup>1</sup>			Barium [Xe]6s <sup>2</sup>			Lanthan [Xe]5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>			Hafnium [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>2</sup> 6s <sup>2</sup>			Tantal [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>3</sup> 6s <sup>2</sup>			Wolfram [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup>			Rhenium [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>5</sup> 6s <sup>2</sup>			Osmium [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>6</sup> 6s <sup>2</sup>			Iridium [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>7</sup> 6s <sup>2</sup>		
87	(223)	<b>Fr</b>	88	(226)	<b>Ra</b>	89	(227)	<b>Ac</b>	104	(261)	<b>Unq</b>	105	(262)	<b>Unp</b>	106	(263)	<b>Unh</b>	107	(262)	<b>Uns</b>						
0,9			1,0			1,0			1,1			1,1			1,1			1,1								
-			1140			1050			700			700			700			700								
Francium [Rn]7s <sup>1</sup>			Radium [Rn]7s <sup>2</sup>			Actinium [Rn]6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>			Element 104 [Un]104			Element 105 [Un]105			Element 106 [Un]106			Element 107 [Un]107								



**de Gruyter  
Naturwissenschaften**

Bergmann Schaefer Band 4

**VIIIA**

2	4,003	<b>He</b>
-		
-268,6		
-		
Helium 1s <sup>2</sup>		

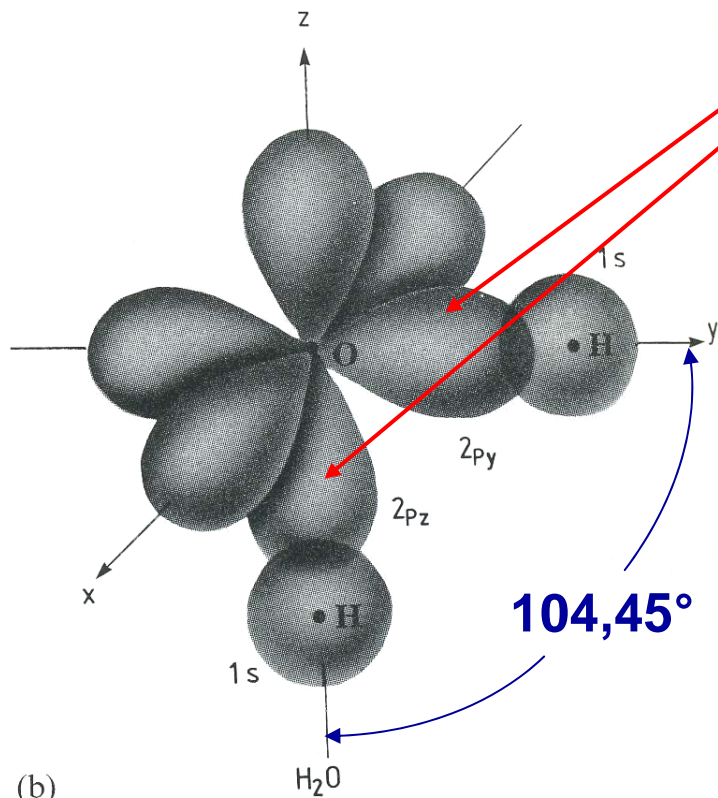
<sup>1</sup> Der eingeklammerte Wert bei radioaktiven Elementen ist die Nukleonenzahl (Massenzahl) des Isotops mit der längsten Halbwertszeit

<sup>2</sup> rot: gasförmig  
grün: flüssig  
schwarz: fest  
licht: alle Isotope radioaktiv

5	10,81	<b>B</b>	6	12,011	<b>C</b>	7	14,007	<b>N</b>	8	15,999	<b>O</b>	9	18,998	<b>F</b>	10	20,179	<b>Ne</b>									
2,0			2,5			3,1			3,5			4,1			4,0											
-2300			4827			-195,8			-183,0			-188,1			-246,1											
-			3550			-209,9			-218,4			-219,6			-248,7											
Bor [He]2s <sup>2</sup> 2p <sup>1</sup>			Kohlenstoff [He]2s <sup>2</sup> 2p <sup>2</sup>			Stickstoff [He]2s <sup>2</sup> 2p <sup>3</sup>			Sauerstoff [He]2s <sup>2</sup> 2p <sup>4</sup>			Fluor [He]2s <sup>2</sup> 2p <sup>5</sup>			Neon [He]2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup>											
13	26,982	<b>Al</b>	14	28,086	<b>Si</b>	15	30,974	<b>P</b>	16	32,06	<b>S</b>	17	35,453	<b>Cl</b>	18	39,948	<b>Ar</b>									
1,5			1,7			2,1			2,4			2,8			3,6											
2467			2355			280(Pa)			444			34,6			35,5											
660,4			1410			44(Pa)			114,6			-101,0			-185,7											
Aluminium [Ne]3s <sup>2</sup> 3p <sup>1</sup>			Silicium [Ne]3s <sup>2</sup> 3p <sup>2</sup>			Phosphor [Ne]3s <sup>2</sup> 3p <sup>3</sup>			Schwefel [Ne]3s <sup>2</sup> 3p <sup>4</sup>			Chlor [Ne]3s <sup>2</sup> 3p <sup>5</sup>			Argon [Ne]3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup>											
28	58,70	<b>Ni</b>	29	63,55	<b>Cu</b>	30	65,38	<b>Zn</b>	31	69,72	<b>Ga</b>	32	72,59	<b>Ge</b>	33	74,92	<b>As</b>	34	78,96	<b>Se</b>	35	79,90	<b>Br</b>	36	83,80	<b>Kr</b>
1,8			1,8			1,7			1,8			2,0			2,2			2,5			2,7			3,6		
2732			2666			907			2403			2830			280(Pa)			217			184,4			152,3		
1453			1083			419,6			29,8			937,4			44(Pa)			217			-7,2			-156,6		
Nickel [Ar]3d <sup>8</sup> 4s <sup>2</sup>			Kupfer [Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>1</sup>			Zink [Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup>			Gallium [Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>1</sup> 4p <sup>1</sup>			Germanium [Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>2</sup>			Arsen [Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>3</sup>			Selen [Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>4</sup>			Brom [Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>5</sup>			Krypton [Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>6</sup>		
46	106,4	<b>Pd</b>	47	107,87	<b>Ag</b>	48	112,41	<b>Cd</b>	49	114,82	<b>In</b>	50	118,71	<b>Sn</b>	51	121,75	<b>Sb</b>	52	127,60	<b>Te</b>	53	126,90	<b>I</b>	54	131,30	<b>Xe</b>
1,4			1,4			1,5			1,5			1,7			1,8			2,0			2,2			2,2		
3140			2212			765			2080			2270			1750			890			184,4			111,9		
1552			962			320,9			156,6			231,9			630,7			449,5			113,5			-107		
Palladium [Kr]4d <sup>10</sup>			Silber [Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>1</sup>			Cadmium [Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup>			Indium [Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>1</sup> 5p <sup>1</sup>			Zinn [Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>2</sup>			Antimon [Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>3</sup>			Tellur [Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>4</sup>			Iod [Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>5</sup>			Xenon [Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>6</sup>		
78	195,1	<b>Pt</b>	79	196,97	<b>Au</b>	80	200,59	<b>Hg</b>	81	204,37	<b>Tl</b>	82	207,2	<b>Pb</b>	83	208,98	<b>Bi</b>	84	(209)	<b>Po</b>	85	(210)	<b>At</b>	86	(222)	<b>Rn</b>
1,4			1,4			1,4			1,4			1,6			1,7			1,8			2,0			2,2		
~3830			2940			356,6			1457			1740			1560			962			2,0			-		
1772			1064			-38,9			303,5			327,5			271,3			254			-		-	-		
Platin [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>9</sup> 6s <sup>1</sup>			Gold [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>1</sup>			Quecksilber [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup>			Thallium [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>9</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>1</sup>			Blei [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>2</sup>			Bismut [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>3</sup>			Polonium [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>4</sup>			Astat [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>5</sup>			Radon [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>6</sup>		

58	140,12	<b>Ce</b>	59	140,91	<b>Pr</b>	60	144,24	<b>Nd</b>	61	(145)	<b>Pm</b>	62	150,4	<b>Sm</b>
1,1			1,1			1,1			1,1			1,1		
3257			3212			3127			~1080			1778		
798			931			1010			-			1072		
Cer [Xe]4f <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>			Praseodym [Xe]4f <sup>3</sup> 6s <sup>2</sup>			Neodym [Xe]4f <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup>			Promethium [Xe]4f <sup>5</sup> 6s <sup>2</sup>			Samarium [Xe]4f <sup>6</sup> 6s <sup>2</sup>		
90	232,038	<b>Th</b>	91	(231)	<b>Pa</b>	92	238,029	<b>U</b>	93	(237)	<b>Np</b>	94	(24	

# Wassermolekül im Orbitalmodell

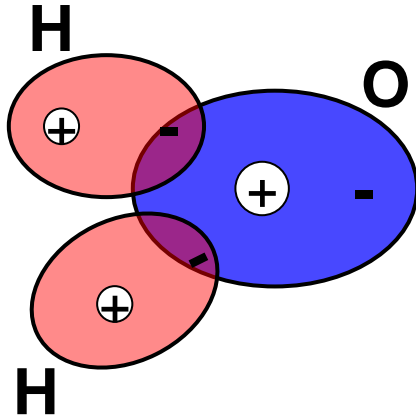


freie Plätze in senkrecht zueinander stehenden O 2p-Orbitalen können Elektronen aufnehmen

⇒ Wasseratome werden dort gebunden

**tatsächlicher Winkel wegen Wechselwirkung der Elektronen miteinander jedoch größer.**

# Wassermolekül: elektrischer Dipol



**Bindungselektronen werden stärker zum Sauerstoff gezogen**

**⇒ Elektrischer Dipol entsteht:**

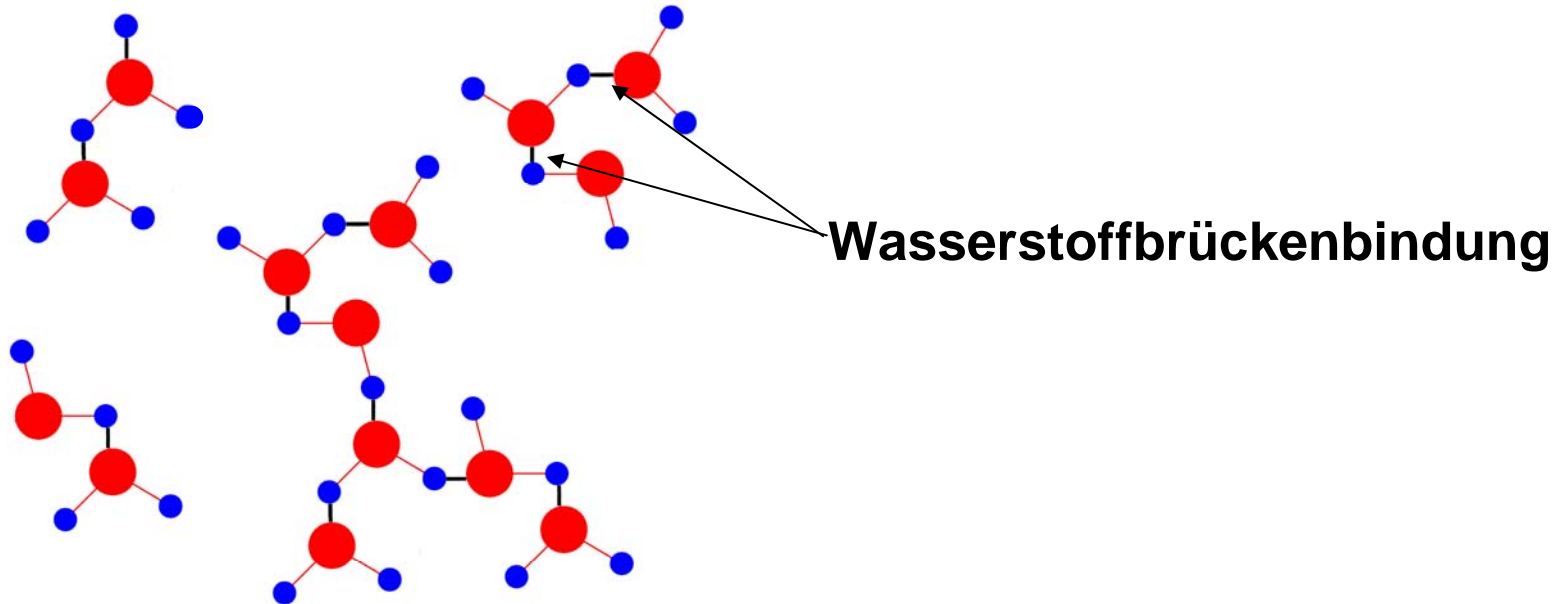
**leicht positive Ladung bei den H**

**leicht negative Ladung beim O**

**An der negativen Ladung des O kann sich ein leicht positiver H eines weiteren Wassermoleküls anlagern**

**⇒ Verbindung von Wassermolekülen über Wasserstoffbrücken entsteht („**Wasserstoffbrückenbindung**“)**

# Wasserstoffbrückenbildung



**Bindungsenergie in der Größenordnung der thermischen Energie bei Raumtemperatur**  $\Rightarrow$  Bindungen brechen auf und verbinden sich auch wieder, Moleküle finden sich in immer neuen Konstellationen zusammen und sind leicht verschiebbar.

**Wasser ist flüssig bei Raumtemperatur!**