

# Mößbauer-Spektroskopie

Vortrag zum apparativen Praktikum

SS 05

Hella Berlemann

Nora Obermann

# Übersicht:

- Mößbauer (1958): rückstoßfreie Kernresonanzabsorption von  $\gamma$ -Strahlen
- $\gamma$ -Strahlung: kurzwellige, hochenergetische, elektromagnetische Strahlung
- Anwendung: in der Festkörperchemie
  - Bindungsverhältnisse
  - Molekülgeometrie
  - Magnetische Erscheinungen

# Mößbauer-Effekt

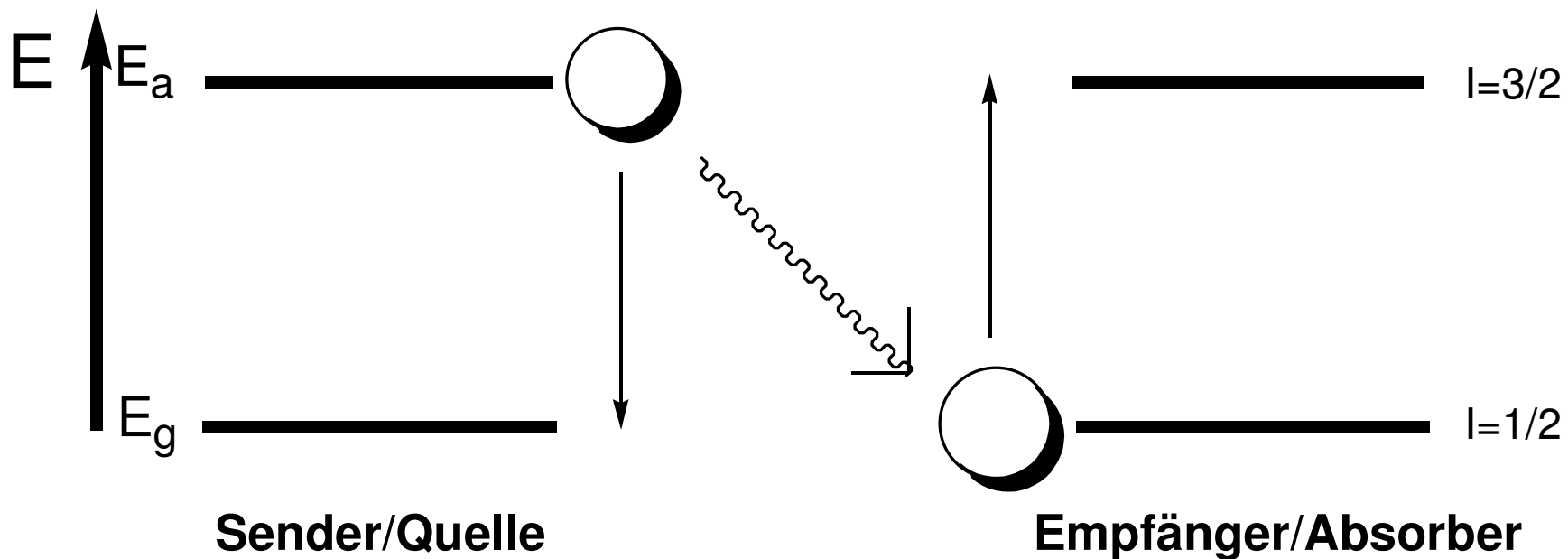
																	Edel- gas
IA											IIIA	IVA	VA	VIA	VII	He	
H	IIA											B	C	N	O	F	Ne
Li	Be											Al	Si	P	S	Cl	Ar
Na	Mg	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIIB	VIIIIB		IB	IIB							
${}_1\text{K}^1$	${}_1\text{Ca}^1$	Sc	Ti	V	Cr	Mn	${}_1\text{Fe}^2$	Co	${}_1\text{Ni}^1$	Cu	${}_1\text{Zn}^1$	Ga	${}_1\text{Ge}^2$	As	Se	Br	${}_1\text{Kr}^1$
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	${}_1\text{Tc}^1$	${}_2\text{Ru}^2$	Rh	Pd	Ag	Cd	In	${}_2\text{Sn}^2$	${}_1\text{Sb}^1$	${}_1\text{Te}^1$	${}_2\text{I}^2$	${}_2\text{Xe}^2$
${}_1\text{Cs}^1$	${}_1\text{Ba}^1$	${}_1\text{La}^1$	${}_4\text{Hf}^4$	${}_1\text{Ta}^2$	${}_4\text{W}^7$	${}_1\text{Re}^1$	${}_4\text{Os}^6$	${}_2\text{Ir}^4$	${}_1\text{Pt}^2$	${}_1\text{Au}^1$	${}_2\text{Hg}^2$	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac															
		Ce	${}_1\text{Pr}^1$	${}_1\text{Nd}^2$	${}_2\text{Pm}^2$	${}_6\text{Sm}^6$	${}_2\text{Eu}^4$	${}_6\text{Gd}^9$	${}_1\text{Tb}^1$	${}_4\text{Dy}^6$	${}_1\text{Ho}^1$	${}_5\text{Er}^5$	${}_1\text{Tm}^1$	${}_5\text{Yb}^6$	${}_1\text{Lu}^1$		
		${}_1\text{Th}^1$	${}_1\text{Pa}^1$	${}_3\text{U}^3$	${}_1\text{Np}^1$	${}_1\text{Pu}^1$	${}_1\text{Am}^1$	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lw		

${}_i\text{Fe}^{\bar{u}}$

i: Zahl der Isotope mit Mößbauereffekt,  $\bar{u}$ : Zahl der beobachteten Übergänge.

z.B:  ${}^{57}\text{Fe}$ ,  ${}^{119}\text{Sn}$ ,  ${}^{121}\text{Sb}$ ,  ${}^{151}\text{Eu}$

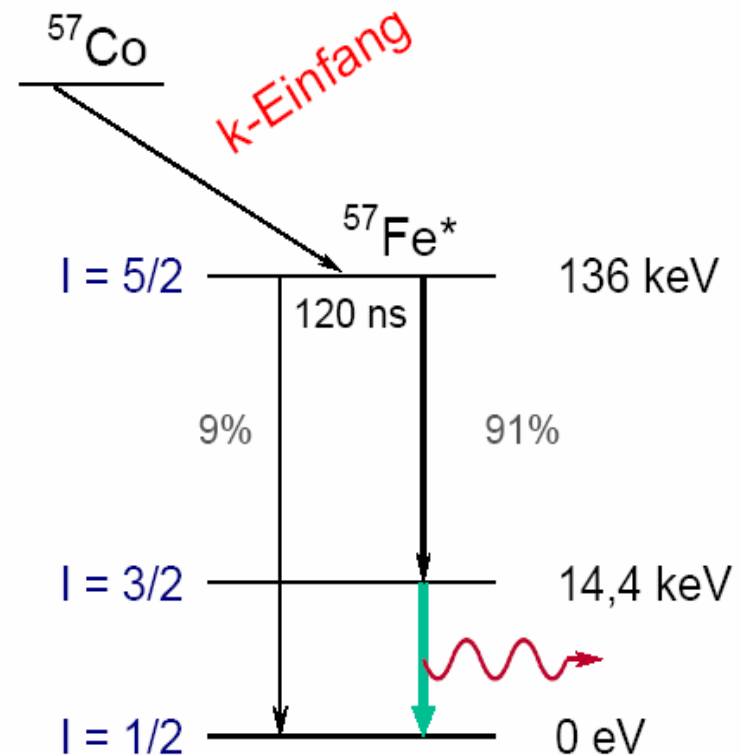
# Prinzip der Kernresonanzabsorption von $\gamma$ -Strahlen



Resonanzbedingung: Sender und Empfänger müssen die gleiche Kernart haben

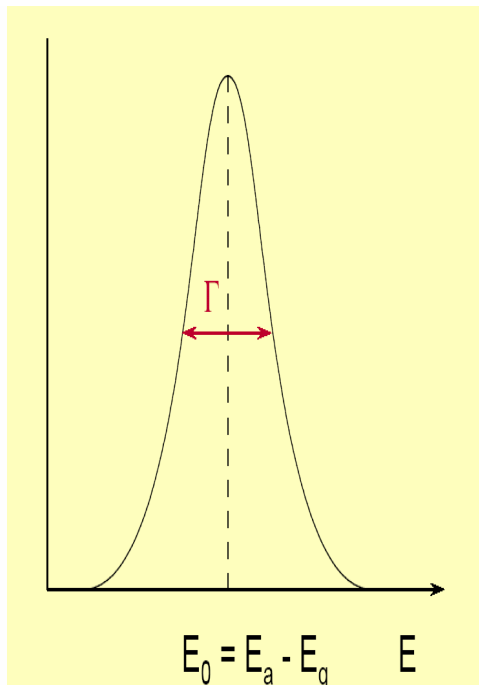
# K-Einfang

Spezielle  
Kernzerfallsreaktion, bei  
der der Atomkern ein  
Elektron aus der K-  
Schale (kernnächste  
Schale) einfängt und  
dabei seine  
Protonenzahl um eine  
Einheit erniedrigt



# Linienbreite

Übergänge unterliegen Gesetzen der Statistik



$\Gamma$ : Halbwertsbreite, resultiert aus der Heisenberg'schen Unschärferelation

$\Gamma_0$ : natürliche Linienbreite

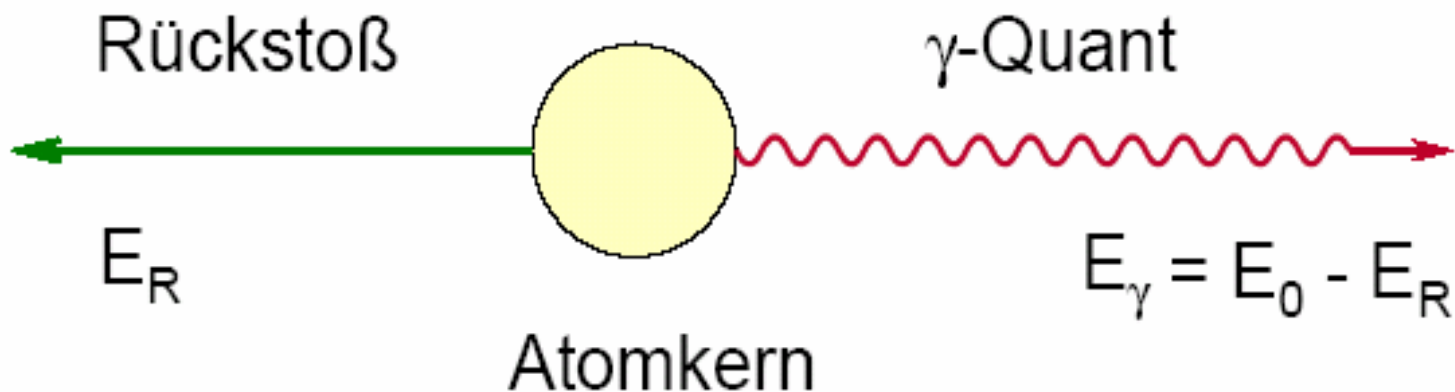
$\tau$ : Lebensdauer des angeregten Zustands

$$\Gamma_0 = \frac{h}{2\pi\tau}$$

**Die Voraussetzung für das Mößbauer-Experiment für möglichst großen Resonanzeffekt ist, dass die Emissions- und Absorptionslinien weitgehend überlappen**

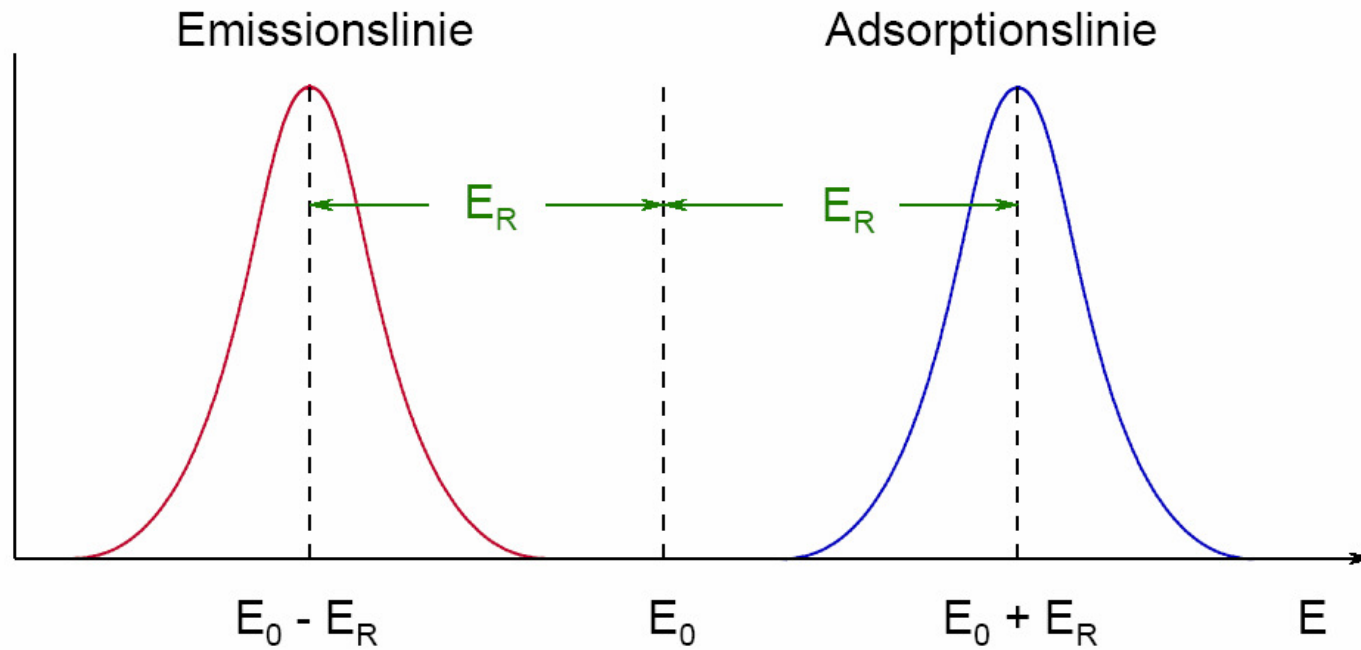
# Der Rückstoßeffekt

Ein energetisch angeregter Atomkern erfährt bei der Emission eines  $\gamma$ -Quanten aus Gründen des Impulserhaltungssatzes einen Rückstoß, dasselbe gilt für die Absorption



Folge dieses Rückstoßeffektes ist, dass Emissions- und Absorptionslinien nicht an der Stelle  $E_0$  auftreten, sondern jeweils um den Betrag  $E_R$  verschoben werden.

# Die Rückstoßenergie



$$E_{\gamma}^Q = E_0 - E_R$$

$$E_{\gamma}^A = E_0 + E_R$$

- Impuls des  $\gamma$ -Quants nach de Broglie:

$$p_{\gamma} = \frac{h}{\lambda} = \frac{h\nu}{\lambda\nu} = \frac{E_{\gamma}}{c} = p_{\gamma}$$

- Impulserhaltung:

$$p_{Kern} = -p_{\gamma}$$

- Somit gilt, falls der beobachtete Kern vor der Emission in Ruhe war:

$$E_R = \frac{1}{2}mv^2$$

mit  $p_{Kern} = mv \Leftrightarrow v = \frac{p_{Kern}}{m}$

$$E_R = \frac{1}{2}p_{Kern}v = \frac{p_{Kern}^2}{2m} = \frac{p_{\gamma}^2}{2m}$$

$$E_R = \frac{E_{\gamma}^2}{2mc^2}$$

# Der Lamb-Mößbauer-Faktor f

- f gibt den Anteil der rückstoßfrei emittierten bzw. absorbierten  $\gamma$ -Quanten an.
- $f=1$  entspricht 100%iger Wahrscheinlichkeit, dass kein Schwingungsübergang stattfindet
- Für einen harmonischen Oszillator gilt:

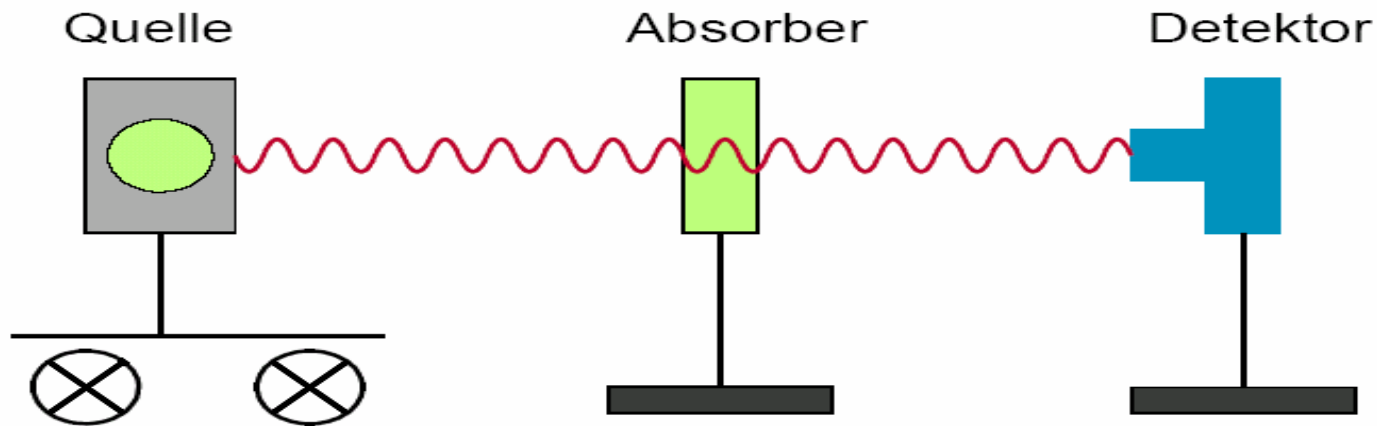
$$f = \exp\left(-\frac{E_\gamma^2}{(\hbar c)^2} \langle x^2 \rangle\right)$$

Möglichst klein  $f \rightarrow 1$       Möglichst klein, dann  $f \rightarrow 1$

- $\langle x^2 \rangle$  ist die mittlere quadratische Schwingungsamplitude des Kerns in Richtung des  $\gamma$ -Strahls.
- Bei tiefen Temperaturen ist die Auslenkung geringer

- In Flüssigkeiten und Gasen ist die Überlappung der beiden Linien praktisch nicht möglich
- Anders in Festkörpern, da dort die gesamte Rückstoßenergie vom gesamten Kristall aufgenommen wird.
- Auf den Kristall übertragene Rückstoßenergie kann zum Teil als Translationsenergie und zum Teil als zusätzliche innere Energie (zur Anregung von Gitterschwingung) in Erscheinung treten.
- Translationsenergie kann wegen der enormen Masse des Kristalls vernachlässigt werden.
- Es existiert eine endliche Wahrscheinlichkeit, dass im Festkörper  $\gamma$ -Absorption auftritt, ohne dass Schwingungsübergänge stattfinden. Diese Wahrscheinlichkeit ist gegeben durch den Lamb-Mößbauer-Faktor.

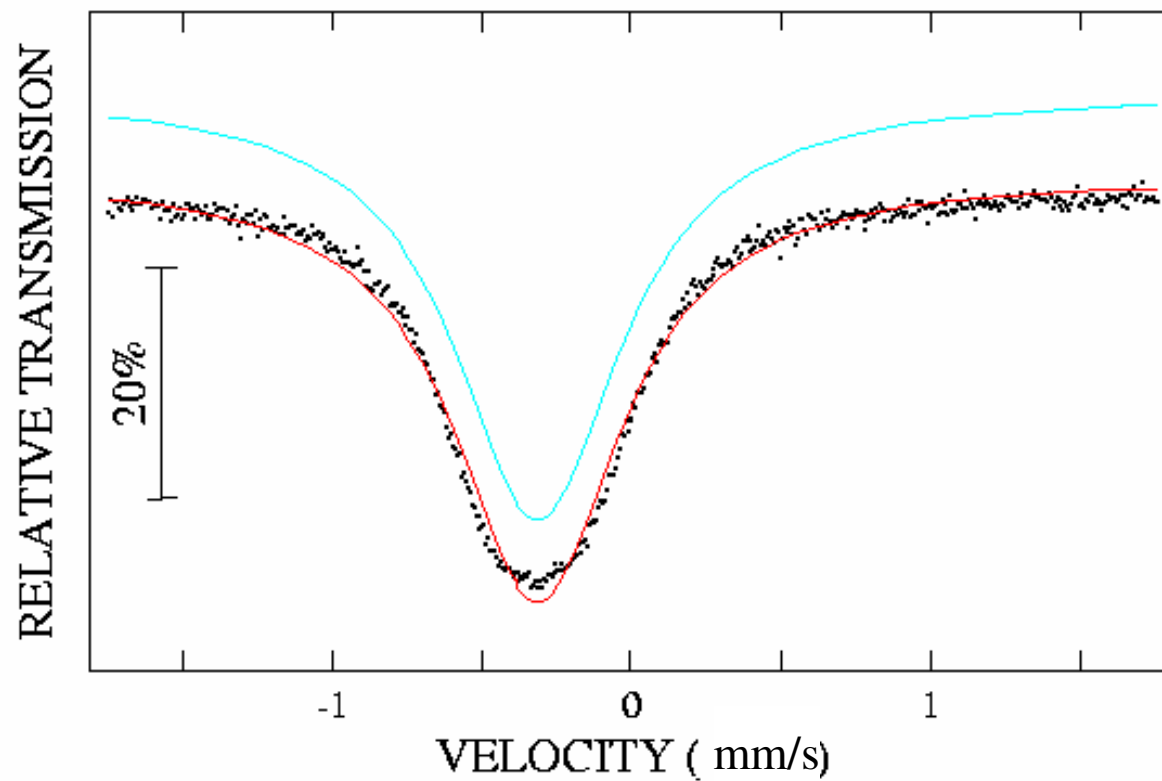
# Apparativer Aufbau



- **Doppler-Effekt**: Sendet eine Quelle Schallwellen oder elektromagnetische Wellen der Frequenz  $\nu_Q$  aus, dann nimmt ein Beobachter die Frequenz  $\nu_B > \nu_Q$  wahr, wenn sich die Quelle nähert, und die Frequenz  $\nu_B < \nu_Q$ , wenn sich die Quelle von ihm entfernt.

# Mößbauer-Spektrum

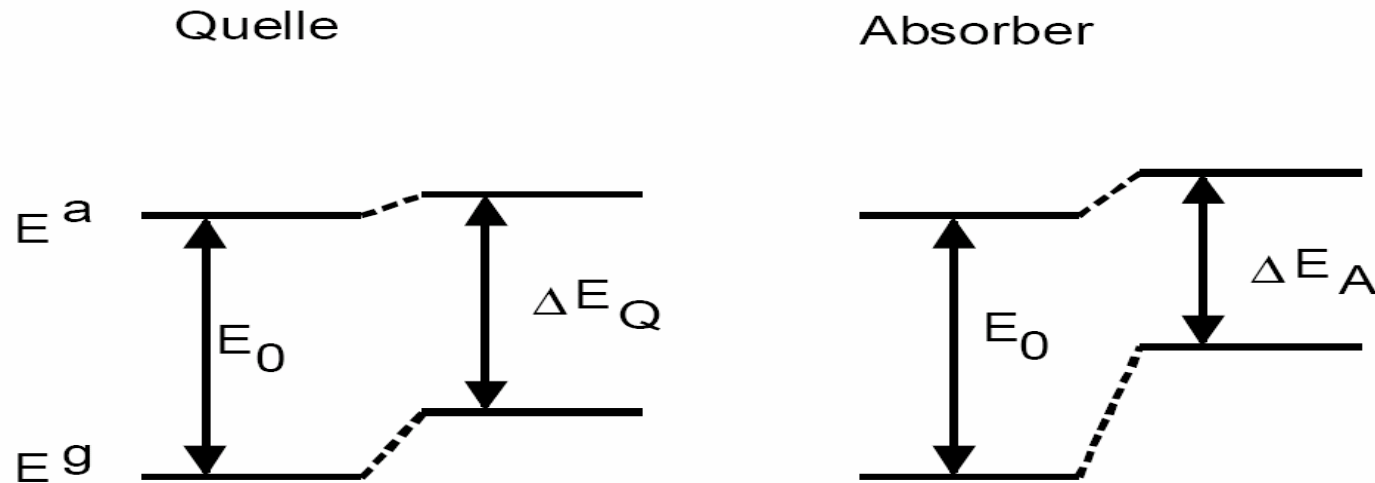
Stahl



# Mößbauer-Parameter und Wechselwirkungen

- Elektrische Hyperfeinwechselwirkungen
  - praktische Anwendung weniger Beobachtung des eigentlichen Effektes, sondern Auswirkungen der substanz eigenen inneren elektrischen und magnetischen Felder, die die Energien der Kernniveaus beeinflussen
- Isomerieverschiebung
- Quadrupolaufspaltung
- Magnetische Wechselwirkungen

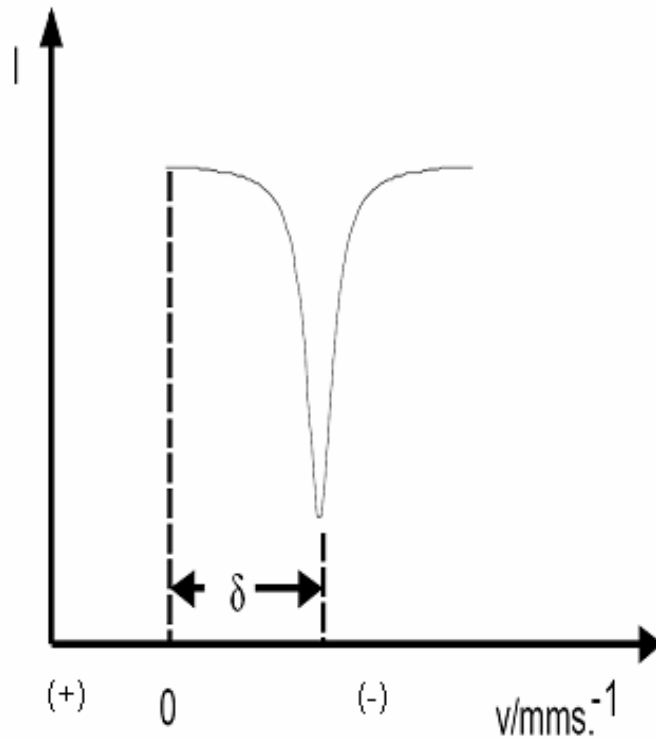
# Isomerieverschiebung



$$\delta = \text{const} \cdot \left\{ |\psi(0)|_A^2 - |\psi(0)|_S^2 \right\} (R_a^2 - R_g^2)$$

- Elektrische Monopolwechselwirkung zwischen Atomkern und Elektronen am Kernort (s-Elektronen)  
 → Änderung des Energiezustands des Atomkerns

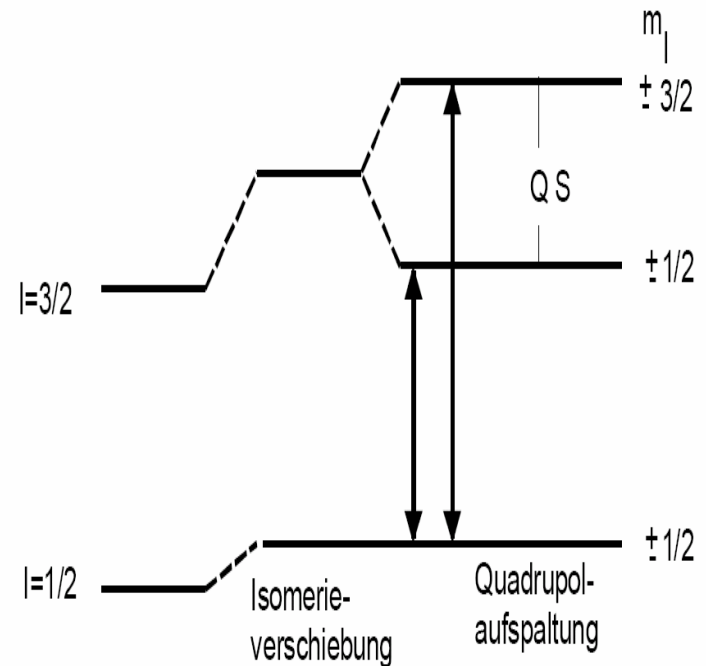
# Informationen für die Chemie



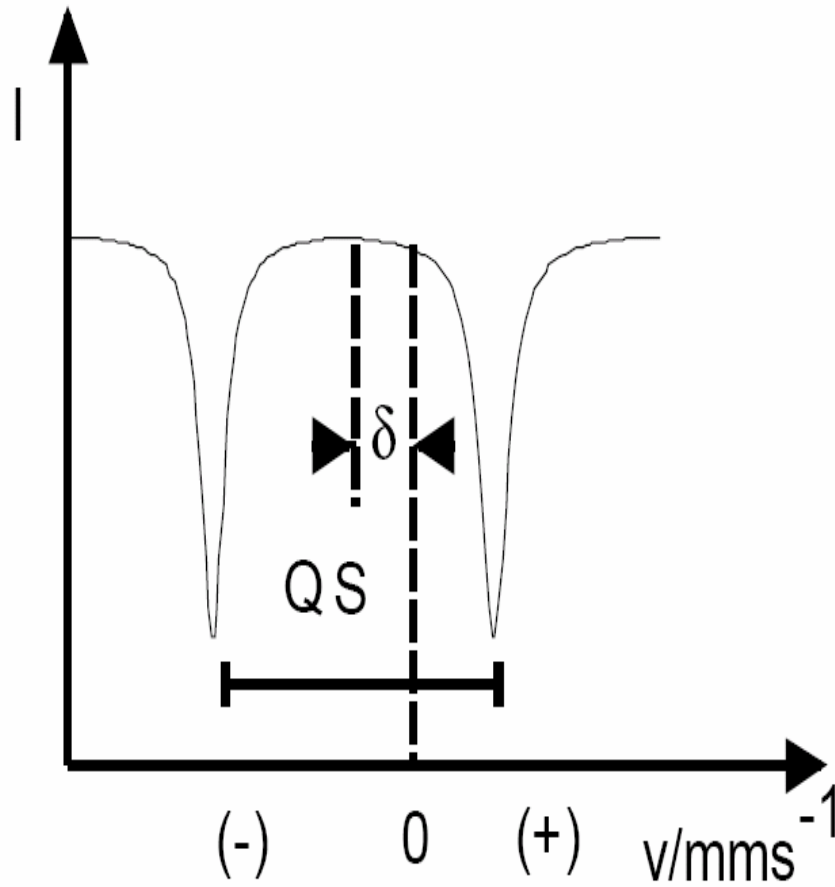
- Oxidationszustand
- Bindungseigenschaften
- Elektronegativität von Liganden

# Quadrupolaufspaltung $\Delta E_q$

- Ein inhomogenes elektrisches Feld am Kernort führt zu einer WW mit dem Quadrupolmoment des Kerns.
- Kernenergieniveaus (Spin  $I > 1/2$ ) spalten in  $(I+1/2)$  Subniveaus auf
- Aufspaltung hängt ab
  - vom Kern
  - von der Inhomogenität des Feldes am Kern



# Informationen für die Chemie



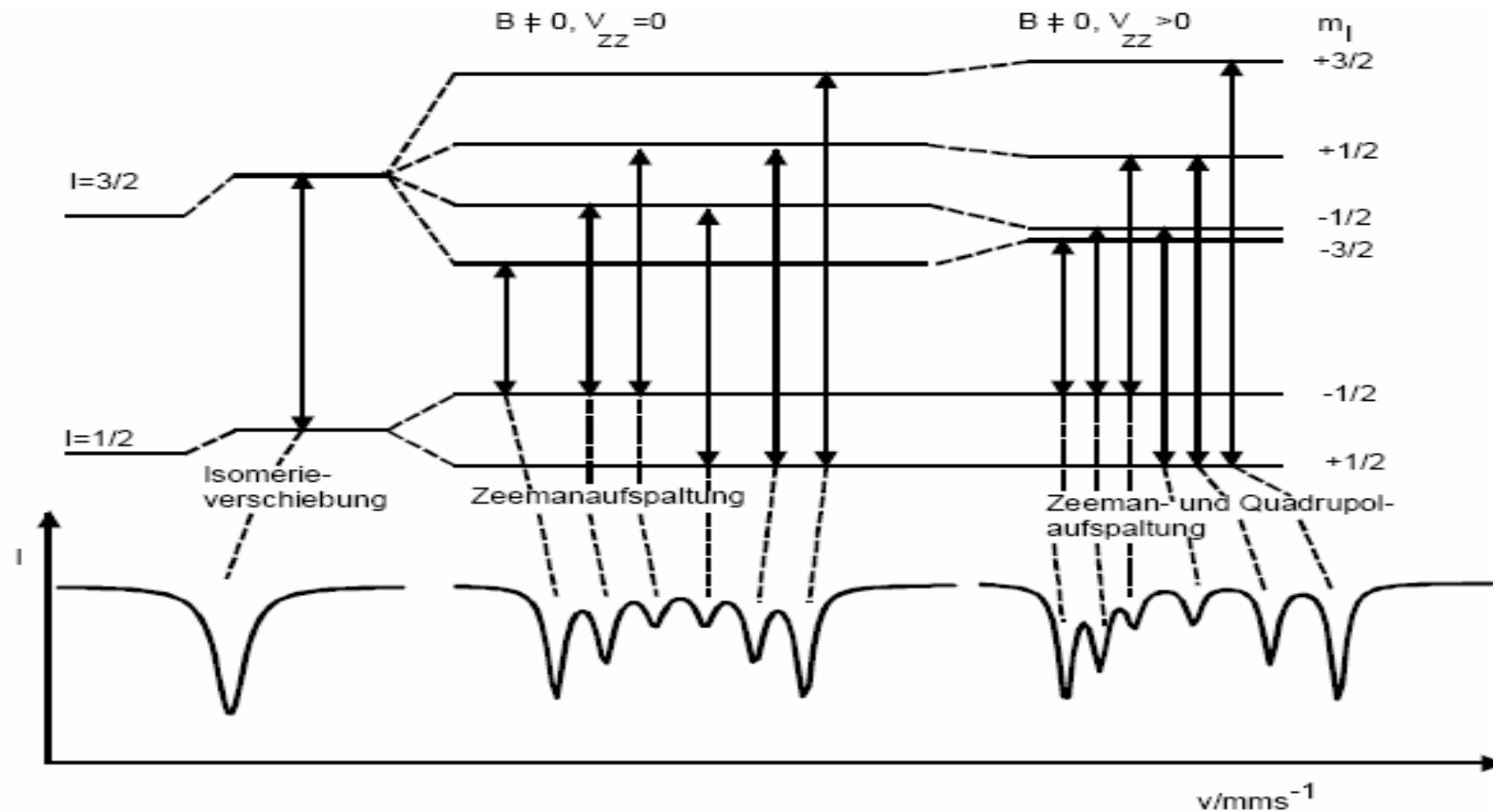
-Molekülsymmetrie

-Oxidationszustand

-Bindungseigenschaften

# Magnetische Wechselwirkung $\Delta E_M$

Magnetische Dipol WW zwischen dem magnetischen Dipolmoment des Kerns und einem magnetischen Feld am Kernort



- Komponente des kernmagnetischen Moments  $\mu$  in Feldrichtung:

$$\mu = \gamma \hbar I$$

- Die Energie der einzelnen Hyperfeinniveaus ist bestimmt durch:

$$E_{m_I} = -m_I \gamma \hbar B = -\mu \frac{m_I}{I} B$$

Aufspaltung hängt ab:

- von der Auswahlregel
- vom magnetischen Moment des Kerns
- Magnetfeld am Kernort (Eigenschaft der Elektronenhülle)

Informationen für die Chemie:

- magnetisches Verhalten (z.B. Ferro-, Antiferro-, Para-, Diamagnetismus)

# Übersicht der Parameter

Mößbauer-Parameter	Art der WW	Information für die Chemie
Isomerieverschiebung	Elektrische Monopol-WW	-Oxidationszustand -Bindungseigenschaften -EN von Liganden
Quadrupolaufspaltung	Elektrische Quadrupol-WW	-Molekülsymmetrie -Oxidationszustand
Magnetische Aufspaltung	Magn. Dipol-WW	-Magnetisches Verhalten

# Literatur

- Skript: „Mößbauer-Spektroskopie
- P. Gütlich, CHIUZ 4(1970), 133-144
- P. Gütlich, CHIUZ 5(1971), 131-141