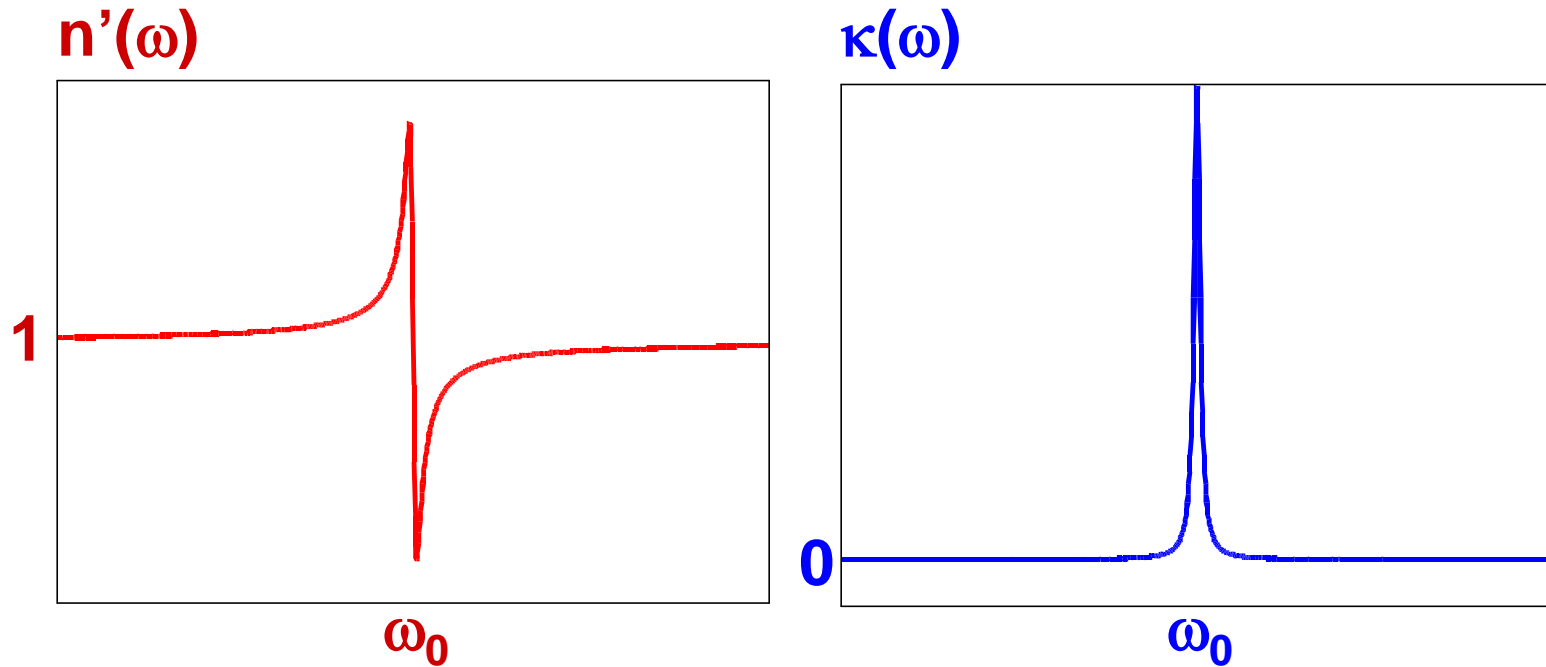


# Wiederholung: Brechungsindex



**Der Realteil des Brechungsindex entspricht der Brechzahl  $n$ , wie sie im Snellius'schen Brechungsgesetz auftritt**

**Der Imaginärteil entspricht der Energieabsorption im Medium**

# Wiederholung: Optik - Erhaltungssatz

Allgemein gilt in der Optik folgender Erhaltungssatz:

$$T + R + A + S = 1$$

T ... Transmission

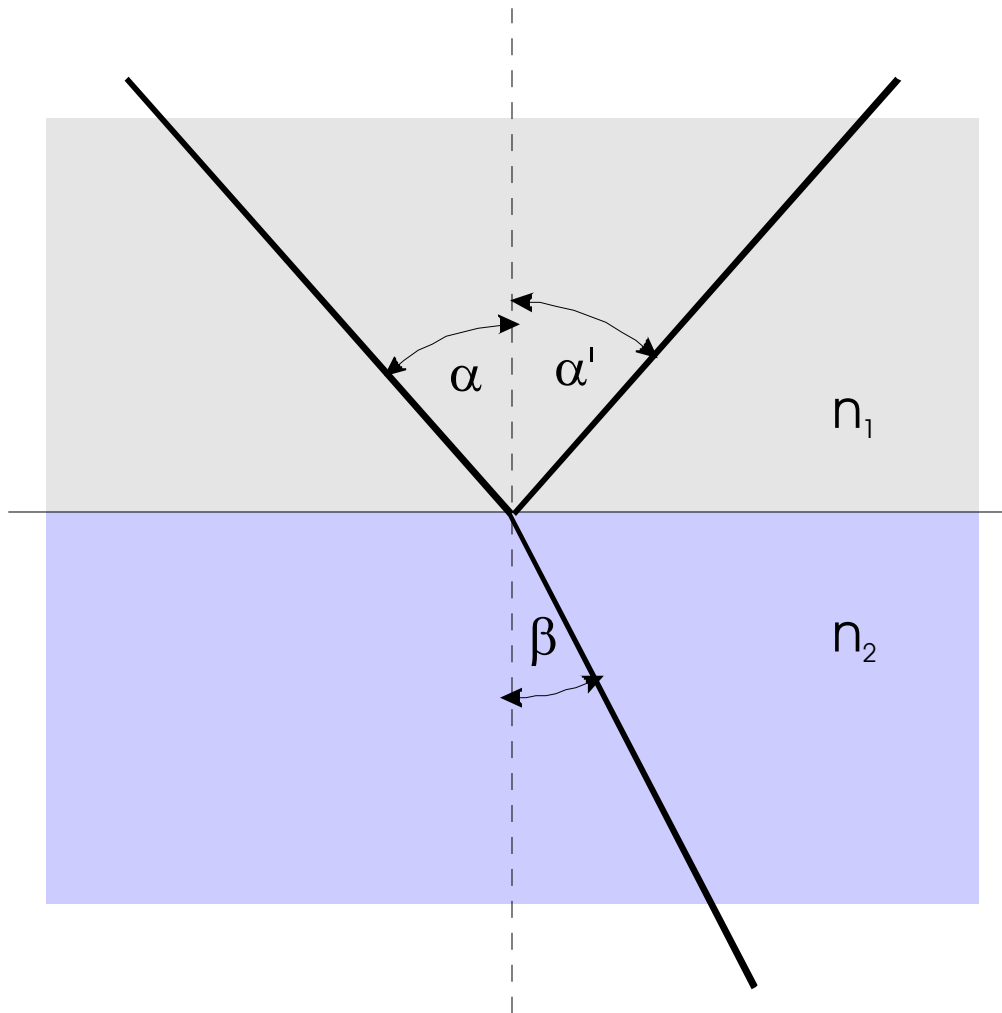
R ... Reflexion

A ... Absorption

S ... Streuung

In der geometrische Optik geht man weiters davon aus, daß der Brechungsindex  $n$  frequenzunabhängig ist.

# Wiederholung: Optik – Grenzflächen



**Reflexion:**

$$\alpha = \alpha'$$

**Brechung:**

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$$

**Wellenlänge:**

$$\lambda_i = \frac{\lambda_{\text{vak}}}{n_i}$$

# Wiederholung: Fresnel'sche Formeln

**2 Medien, Brechungsindizes  $n_1, n_2$ ,  
senkrechter Einfall, d. h.:  $\varphi_1 = \varphi_2 = 0^\circ$**

**Reflexion:**

$$r_k^p = r_k^n = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}$$

**Transmission:**

$$t_k^p = t_k^n = \frac{2n_1}{n_1 + n_2}$$

# Wiederholung: optische Schichtdicke

Elektromagnetische Strahlung geht vom **Vakuum** in ein **Medium mit Brechungsindex  $n$**  über:

Frequenz  $\omega$ :

$$\omega_n = \omega_{\text{Vak}}$$

Wellenlänge  $\lambda$ :

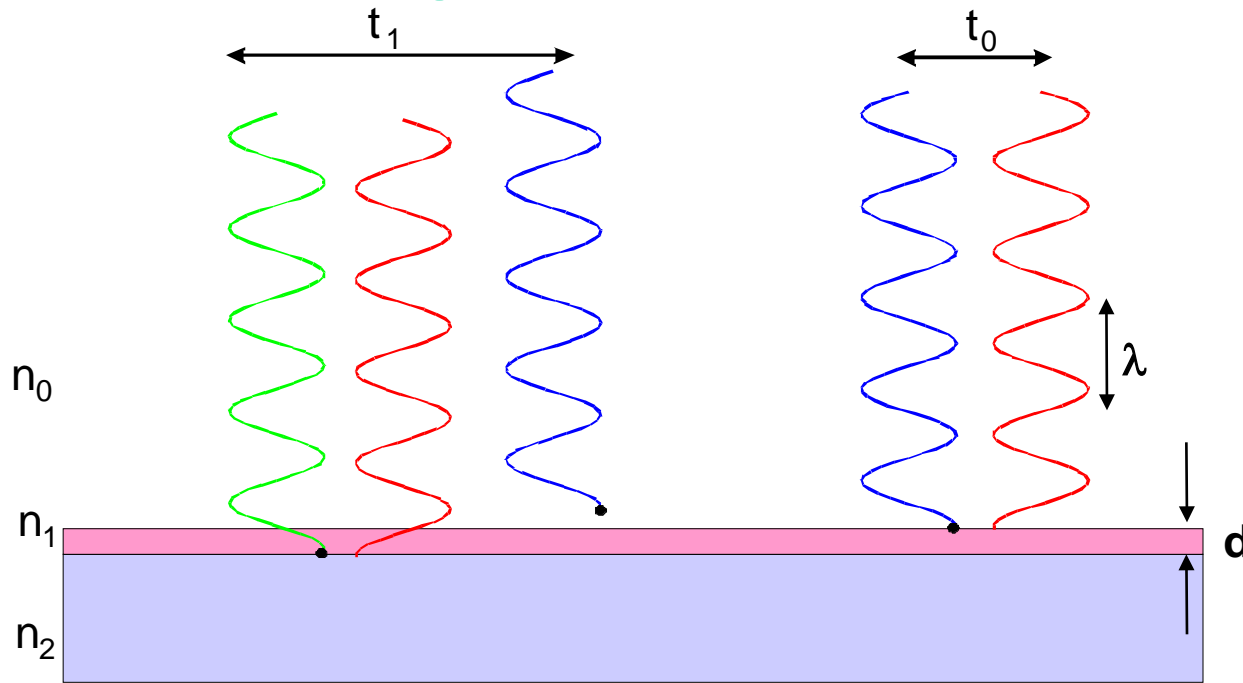
$$\lambda_n = \frac{\lambda_{\text{Vak}}}{n}$$

Wird eine Schichtdicke in Vielfachen der Wellenlänge gegeben, so ist  $\lambda_n$  **gemeint**. Diese Schichtdicke wird als "**optische Schichtdicke**",  $d_{\text{opt}}$  bezeichnet.

Es gilt:

$$d_{\text{Opt}} = n \cdot d$$

# Wiederholung: Reflexionsminderung



$$n_0 < n_1$$

$$n_1 > n_2$$

$$d = \lambda/4$$

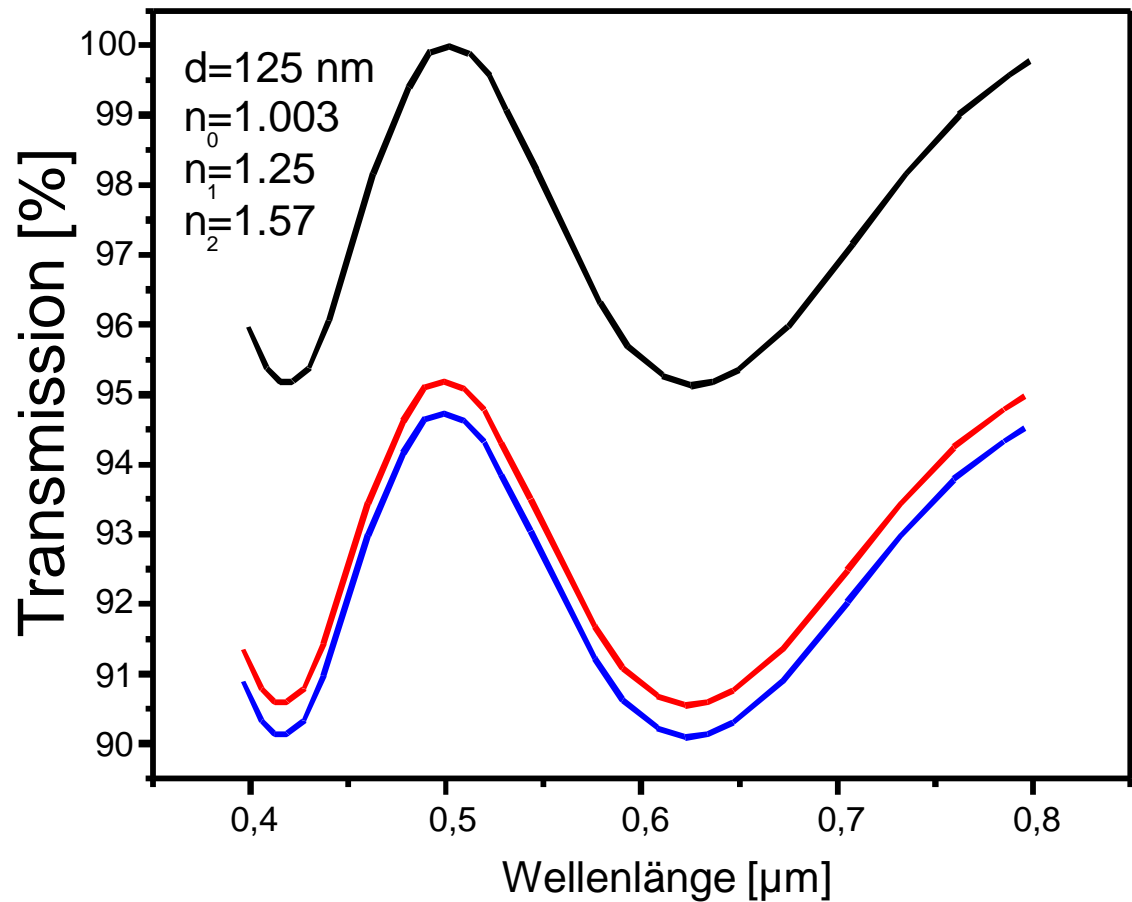
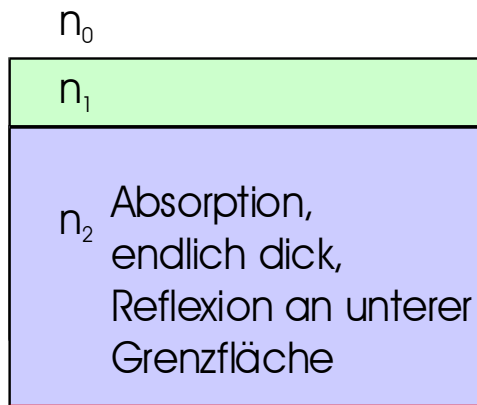
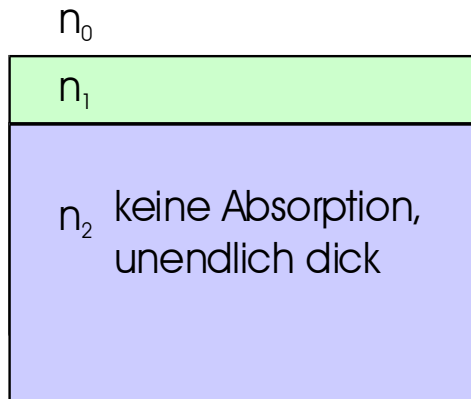
## Intensitäten der Reflektierten Strahlung:

$$I_r^0 = \frac{(n_0 - n_1)^2}{(n_0 + n_1)^2} \quad I_r^2 = \frac{(n_1 - n_2)^2}{(n_1 + n_2)^2}$$

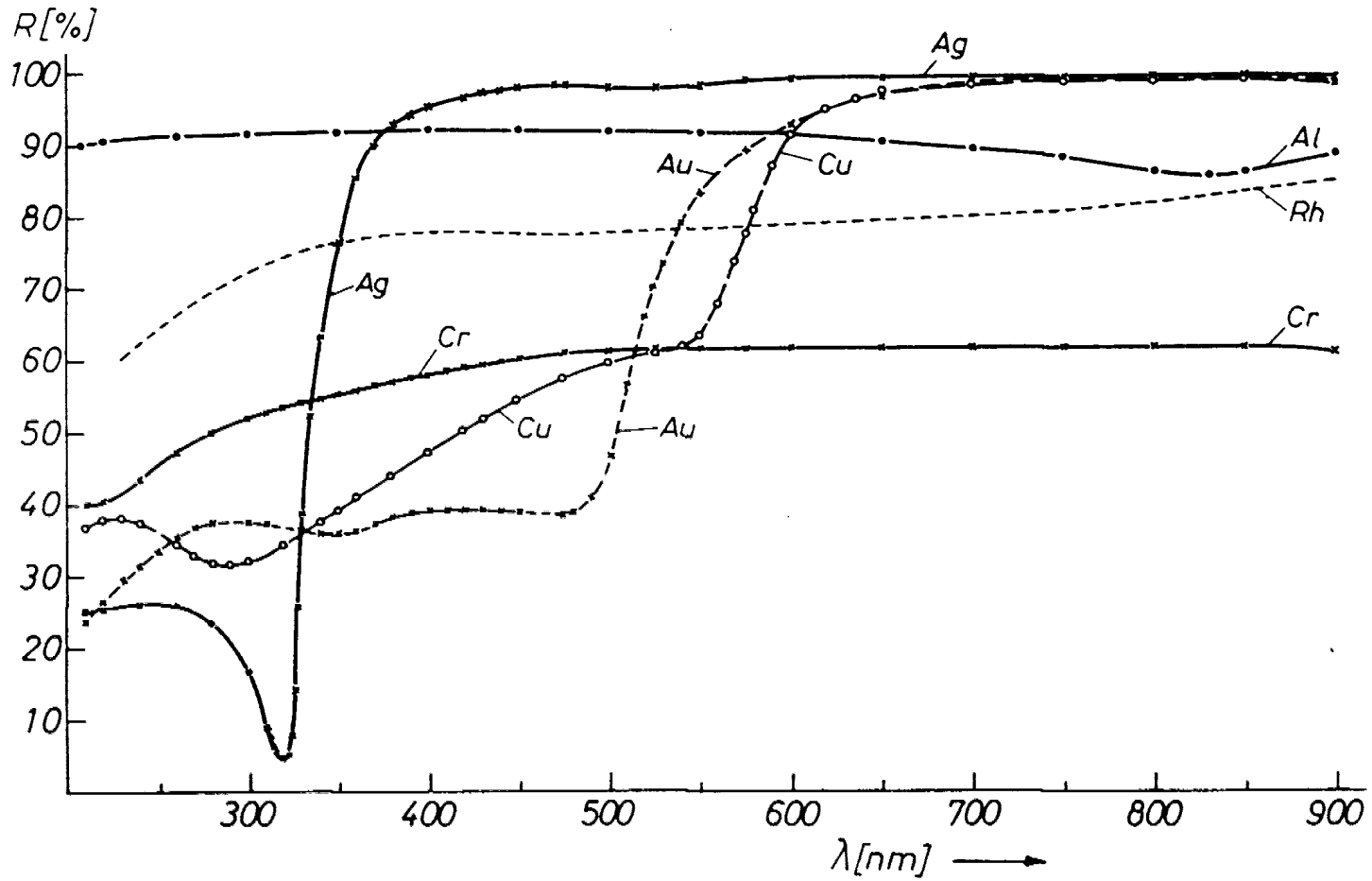
$$I_r^0 = I_r^2 \Rightarrow n_1 = \sqrt{n_0 \cdot n_2}$$

**Amplitudenbedingung**

# Wiederholung: Einschichtsystem



# Wiederholung: Reflexionserhöhung I





# Wiederholung: Reflexionserhöhung II

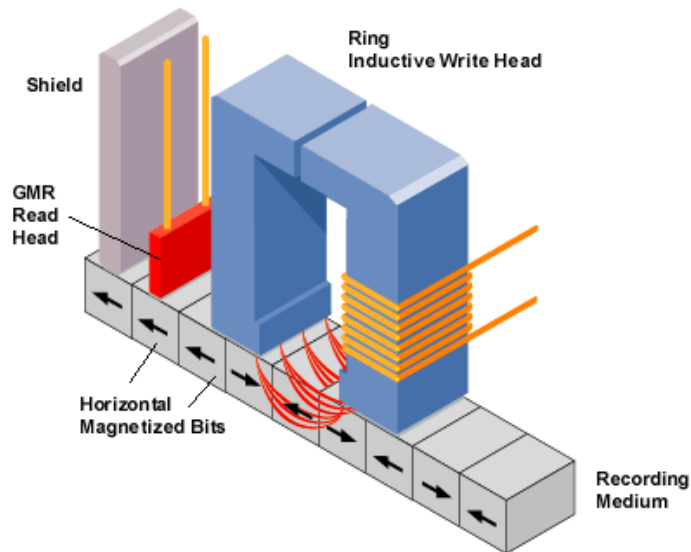
Als dielektrischer Spiegel wird eine Mehrschicht (Multilayer) aus hochbrechenden (H) und niedrigbrechenden (L)  $\lambda/4$ -Schichten bezeichnet.

Anzahl der Schichten	Reflexion in %	
	$n_L = 1,38$ $n_H = 2,3$ $n_s = 1,51$	$n_L = 1,47$ $n_H = 2,3$ $n_s = 1,51$
3	53,89	53,23
5	85,20	80,84
7	94,67	92,15
9	98,08	96,79
11	99,31	98,68
13	99,75	99,46
15	99,91	99,78
17	99,97	99,91
19	99,99	99,63

# Magnetische Eigenschaften I

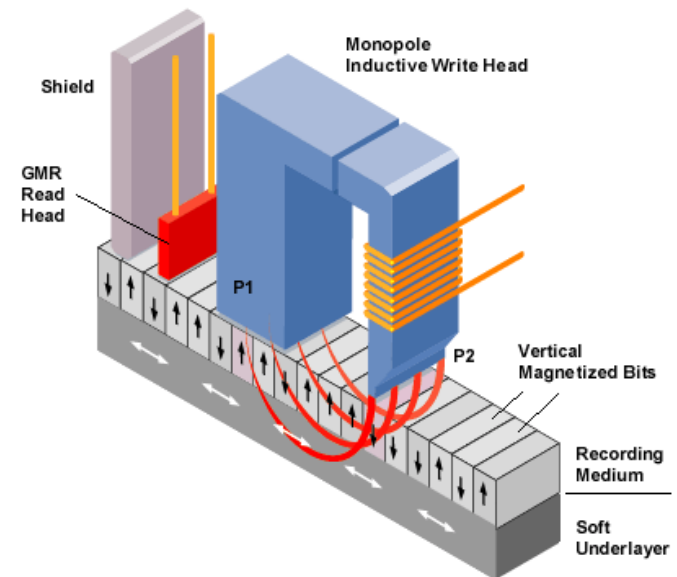
## Motivation: Permanente Datenspeicherung

From Computer Desktop Encyclopedia  
© 2006 The Computer Language Company Inc.



**Longitudinal Recording**

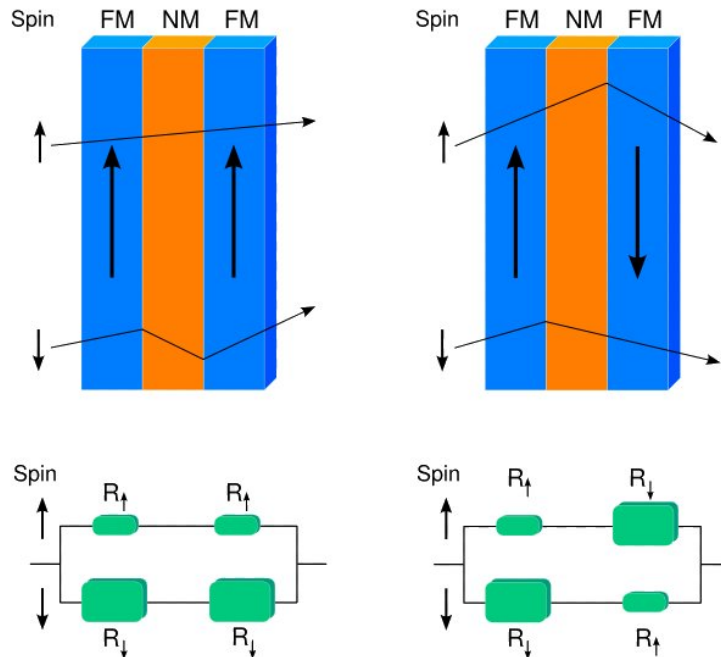
From Computer Desktop Encyclopedia  
© 2006 The Computer Language Company Inc.



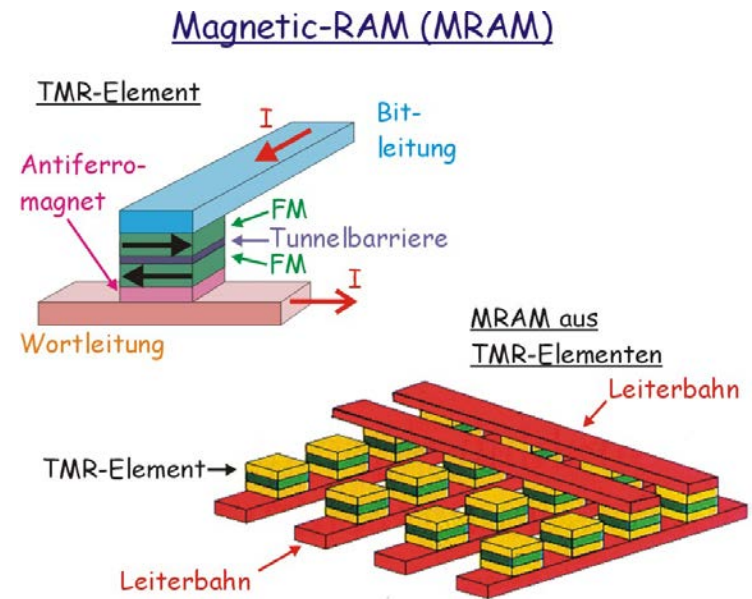
**Perpendicular Recording**

# Magnetische Eigenschaften II

## Motivation: Volatile Datenspeicherung



**Spin Valve**



**Magnetic Random Access Memory (MRAM)**

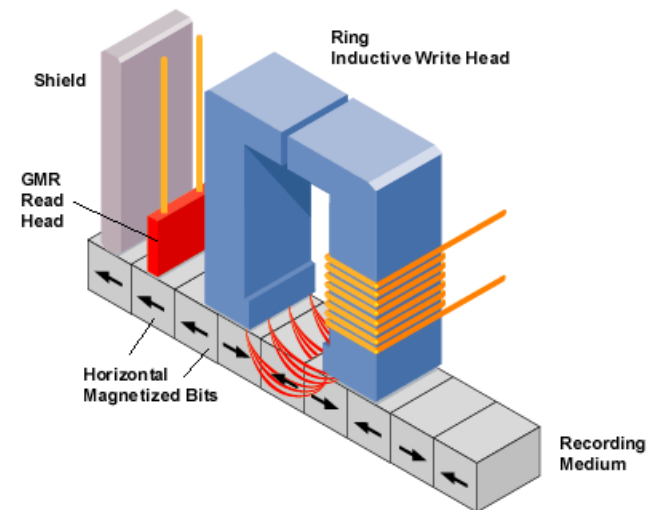
# Schalten ("Switching")

"Schalten" eines magnetischen Elementes bedeutet das völlige Umkehren der Magnetisierung  $M$  durch ein externes Feld  $H$ . Dazu muss die aus  $M$  und  $H$  resultierende Gesamtenergie  $E$  des Elementes in ein Minimum gebracht werden.

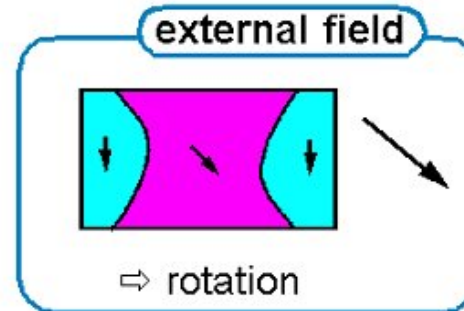
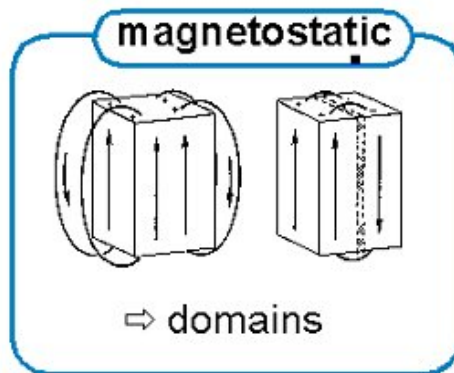
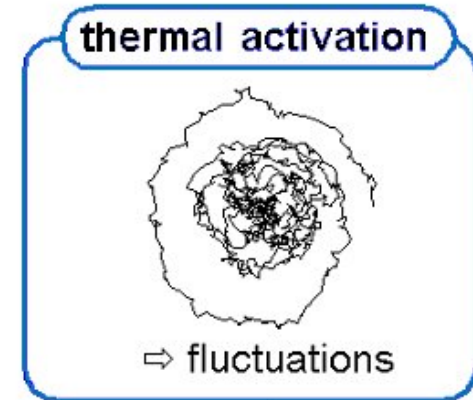
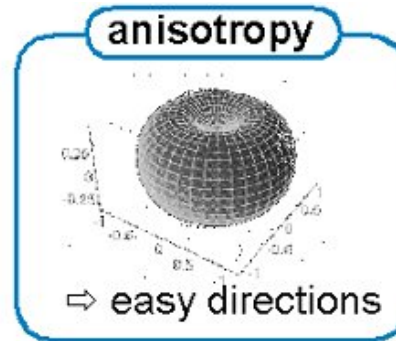
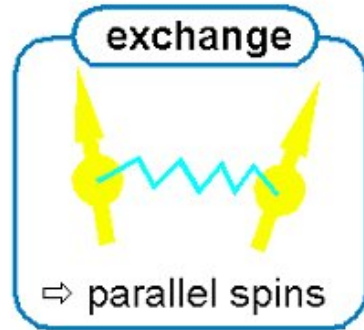
Energiebeiträge:

- Äusseres Feld
- Streufeld
- Anisotropie
- Austauschenergie
- Domänenwände

From Computer Desktop Encyclopedia  
© 2006 The Computer Language Company Inc.



# Energiebeiträge

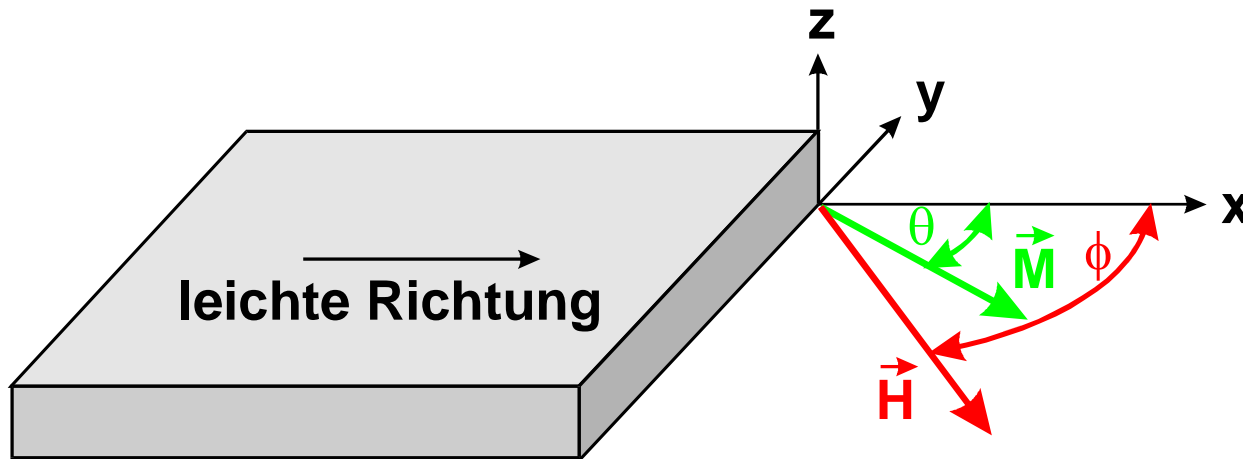


# Energiebetrachtung I

Konzentration auf folgende Energiebeiträge:

- Äusseres Feld
- Anisotropie

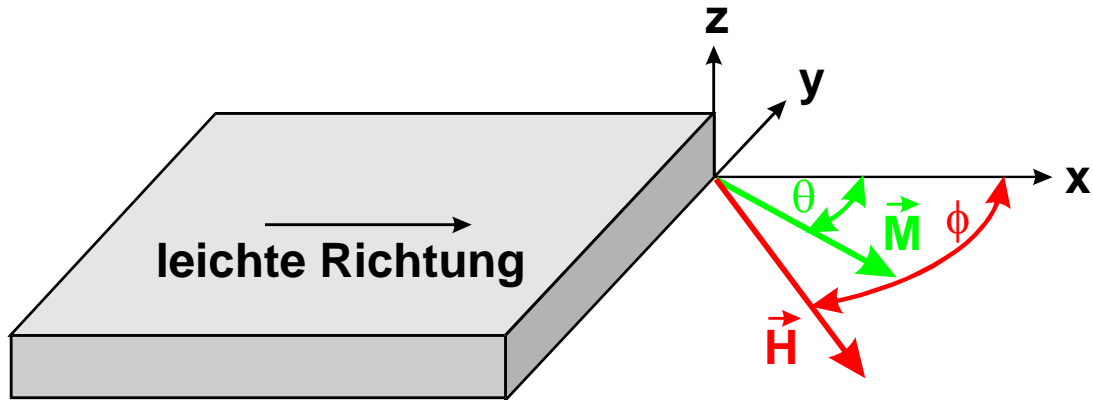
Magnetisch anisotropes Medium:



Magnetisierung rotiere kohärent!

# Energiebetrachtung II

Magnetische Gesamtenergie (bezogen auf Einheitsvolumen); Anisotropiekonstante  $K$ :



$$E = -\vec{M} \cdot \vec{H} + K \cdot \sin^2 \theta = -|\mathbf{M}| \cdot |\mathbf{H}| \cdot \cos(\phi - \theta) + K \cdot \sin^2 \theta =$$
$$= -M \cdot H_x \cdot \cos \theta - M \cdot H_y \cdot \sin \theta + K \cdot \sin^2 \theta$$

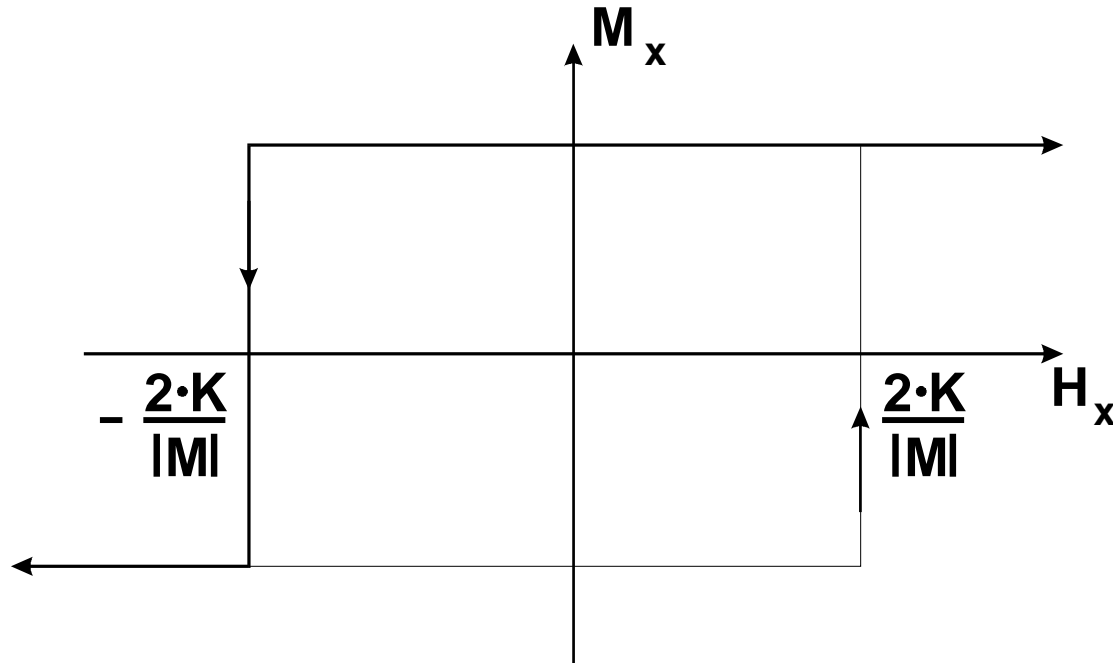
**Additionstheorem**

$$\cos(\phi - \theta) = \cos \theta \cdot \cos \phi + \sin \theta \cdot \sin \phi$$

$$H_x = |\mathbf{H}| \cdot \cos \phi \quad H_y = |\mathbf{H}| \cdot \sin \phi$$

# Ummagnetisierung I

H sei parallel zur leichten Richtung:



Es tritt eine **Hysterese** auf.

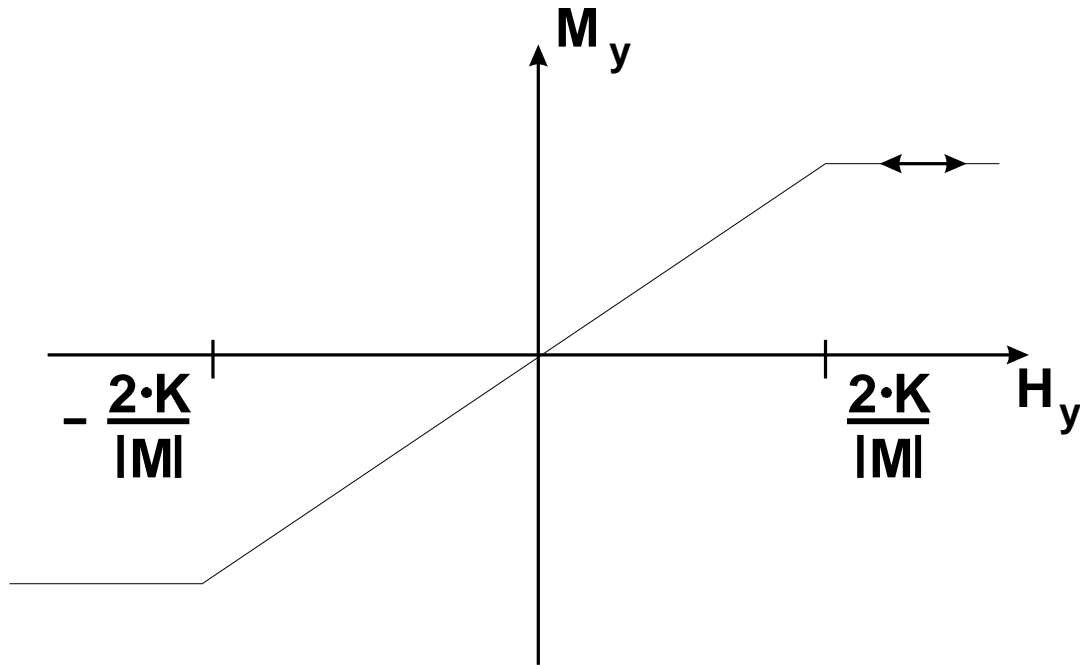
$$H_K = \frac{2 \cdot K}{|M|}$$

Externe Koerzitivität  $H_K$



# Ummagnetisierung II

H sei normal auf die leichte Richtung:



Es tritt keine **Hysterese** auf.  $M$  dreht sich kontinuierlich. Jede Zwischenposition ist stabil.

# Weitere Überlegungen

Ummagnetisierungsvorgänge erfolgen naturgemäss nicht ausschliesslich über kohärente Rotation von M. Weitere Einflussfaktoren sind:

- Nukleation von Domänen
- Domänenwandbeweglichkeit
- **Volumina der magnetisierten Bereiche**

→ **Superparamagnetisches Limit:**

Volumina der magnetisierten Bereiche (Bitgrösse) können so klein werden, dass die Anisotropieenergie durch thermische Fluktuationen überwunden werden kann → **Instabilität**

# Superparamagnetisches Limit

**Abschätzung:**

**Typische Anisotropieenergien:**

$$E_{\text{Anis}} = 10^4 - 10^5 \text{ J} \cdot \text{m}^{-3}$$

**Thermische Energie in einem Korn des Volumens V:**

$$k_B \cdot T = E_{\text{Anis}} \cdot V \Rightarrow V = l^3 = \frac{k_B \cdot T}{E_{\text{Anis}}} \Rightarrow l = \sqrt[3]{\frac{k_B \cdot T}{E_{\text{Anis}}}}$$

T = 300K :

$$l = 7.5 - 3.5 \text{ nm}$$

# Giant Magneto Resistance (GMR)

**Unter Magnetowiderstand (Magneto Resistance) versteht man die Beeinflussung des elektrischen Widerstandes durch die Magnetisierungsrichtung.**

**Dem Effekt liegt die verschiedene Streuwahrscheinlichkeit zwischen Elektronen gleichen und entgegengesetzten Spins zugrunde. Er findet seine technische Anwendung in:**

- **Festplattenleseköpfen**
- **Spin Valves**

# Chemische Zusammensetzung

Zur chemischen Analyse dünner Schichten sowie der Oberflächen von Bulkmaterialien existiert eine grosse Zahl physikalischer Analysemethoden.

Die meisten dieser Verfahren basieren auf dem Prinzip:

- + **Beschuss des Materials mit Sondenteilchen**
- + **Detektion der austretenden Strahlung bzw. Teilchen**

Nur elektronenoptische Methoden (TEM, LEED, RHEED) und die in den letzten Jahren immer häufiger angewendeten Rastersondenmethoden (STM, AFM, ...) bedienen sich nicht notwendigerweise dieses Prinzipes.

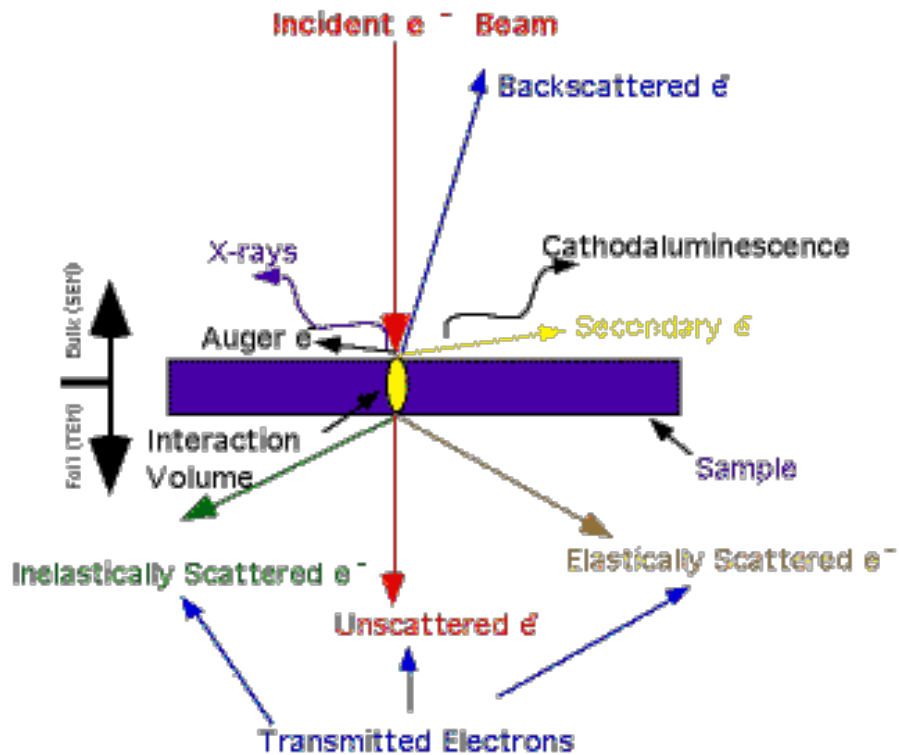
# Physikalische Analysemethoden - Übersicht

Anregung durch		Nachweis durch				
		Photonen		Elektronen		Ionen
		optisch	Röntgen			
Photonen	optisch	AA UV IR		ESCA	UPS	LIMA
	Röntgen		XRF XRD		XPS	
Elektronen			EPM	SEM TEM STM	AES SAM LEED RHEED	
Ionen		SCANIR	IIX			SIMS SNMS ISS IPM RBS

## Erklärung der Abkürzungen:

AA	Atomic Absorption
AES	Auger Electron Spectroscopy
EPM	Electron Probe Microanalysis
ESCA	Electron Spectroscopy for Chemical Analysis
IIX	Ion Induced X-Rays
IPM	Ion Probe Microanalysis
IR	Infrared Spectroscopy
ISS	Ion Scattering Spectroscopy
LEED	Low Energy Electron Diffraction
LIMA	Laser induced Ion Mass Analyzer
RBS	Rutherford Backscattering Spectroscopy
RHEED	Reflexion High Energy Electron Diffraction
SAM	Scanning Auger Microanalysis
SCANIR	Surface Composition Analysis by Neutral and Ion Impact Radiation
SEM	Scanning Electron Microscopy
SIMS	Secondary Ion Mass Spectrometry
SNMS	Secondary Neutrals Mass Spectrometry
STM	Scanning Tunnel Microscopy
TEM	Transmission Electron Microscopy
UPS	UV-Photoelectron Spectroscopy
UV	UV-Spectroscopy
XPS	X-Ray Photoelectron Spectroscopy
XRD	X-Ray Diffraction
XRF	X-Ray Fluorescence Spectroscopy

# Elektronenstrahlmikroanalyse



**Interaktionsvolumina:**

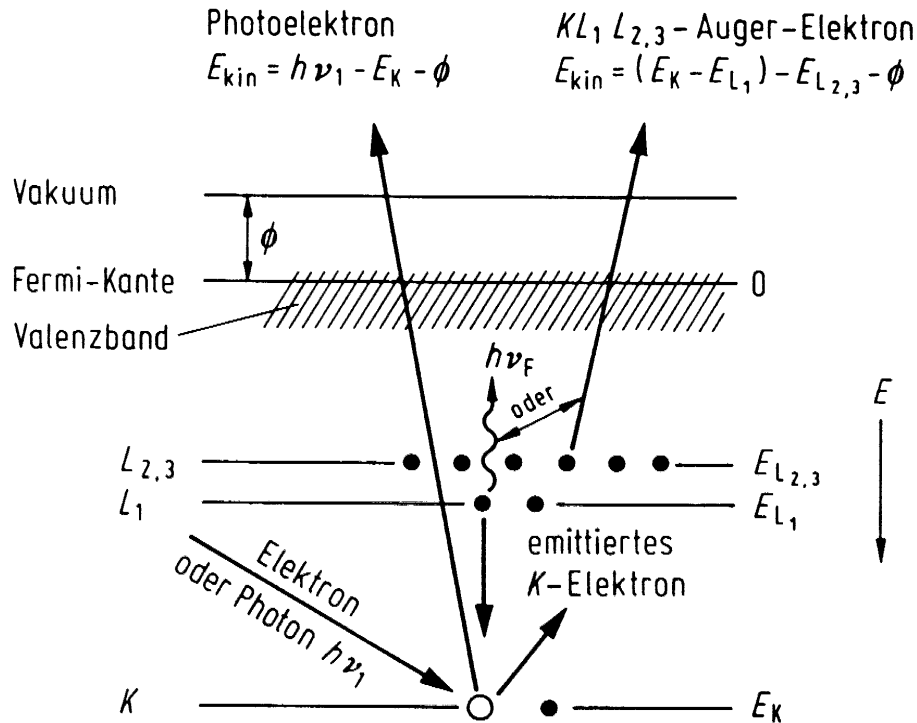
**Rückstreuelektronen:**  
ca. 1-5  $\mu\text{m}$  Austrittstiefe

**Sekundärelektronen:**  
Oberflächennah

**Augerelektronen:**  
ca. 10 nm Austrittstiefe

**Röntgenstrahlung:**  
ca. 1-5  $\mu\text{m}$  Austrittstiefe

# Auger-Elektronenspektroskopie (AES)



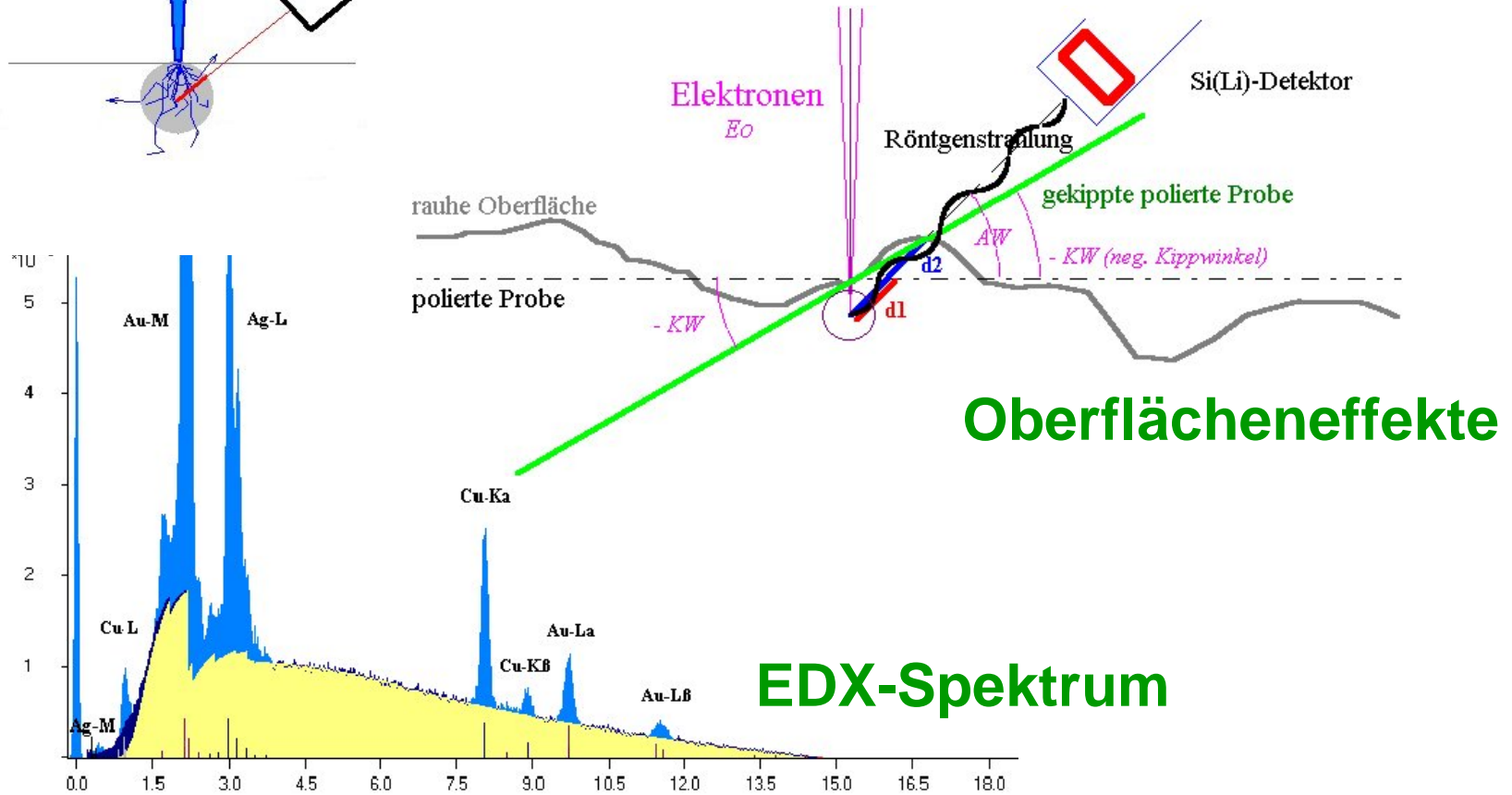
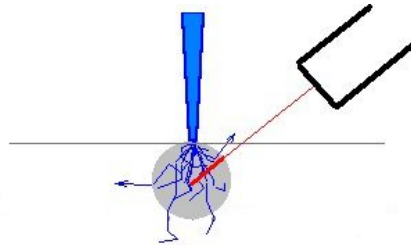
## Kennzeichen:

- + **Oberflächensensitiv (Austrittstiefe 1 – 10 nm)**
- + **Empfindlich für leichte Elemente**
- + **Nachweisgrenze: ca. 0.1 At%**



# Energiedispersive Röntgenanalyse (EDX)

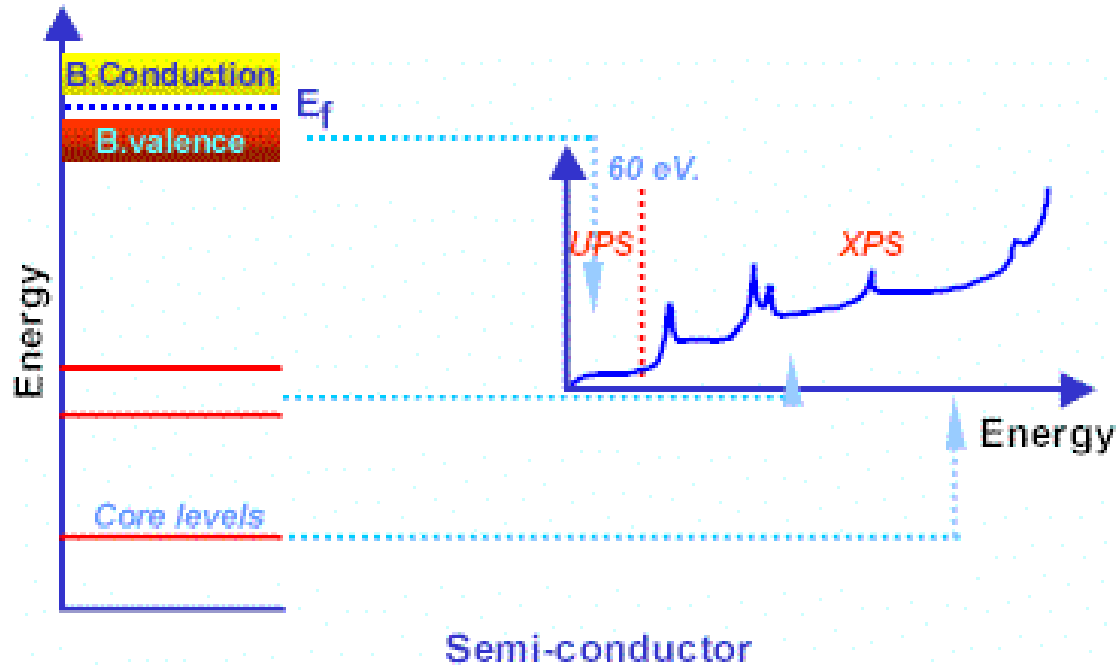
## Austrittsvolumen



**Nachweisgrenze: ca. 0.1 At%**

# XPS, UPS

**Photoelektronenspektroskopie** mittels Anregung durch Röntgenstrahlung (XPS) oder UV-Strahlung (UPS)

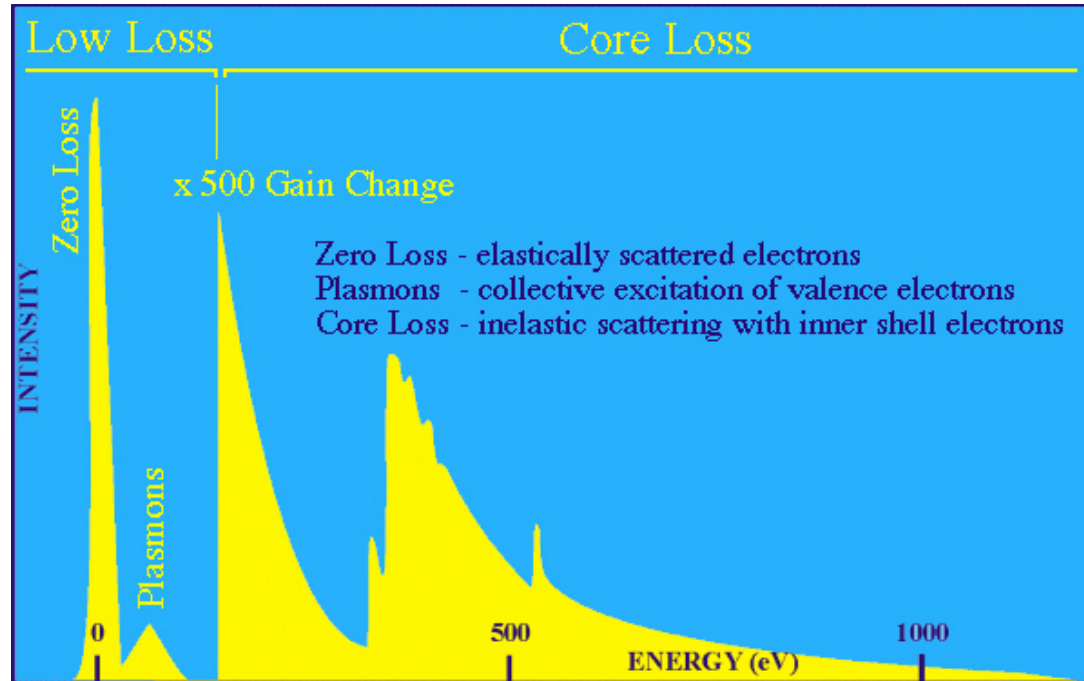


**Beobachtbare Festkörpereigenschaften:**

- + Elektronenaustrittsarbeit**
- + Zustandsdichte**

# EELS

## Electron Energy Loss Spectroscopy

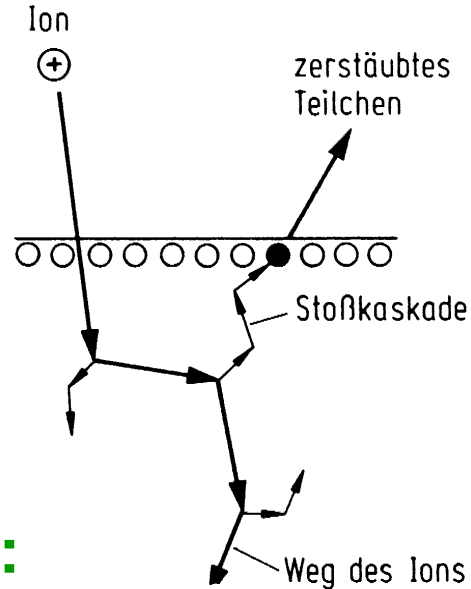


### Kennzeichen

- + Hohe laterale Auflösung (TEM)
- + Nachweisgrenze: ca. 1 At%
- + Möglichkeit der lokalen chemischen Abbildung

# SIMS, SNMS

**Secondary Ion Mass Spectroscopy (SIMS) oder Secondary Neutral Mass Spectroscopy (SNMS):**  
Massenspektroskopie von direkt gesputterten Ionen (SIMS) oder nachionisierten Neutralteilchen (SNMS)



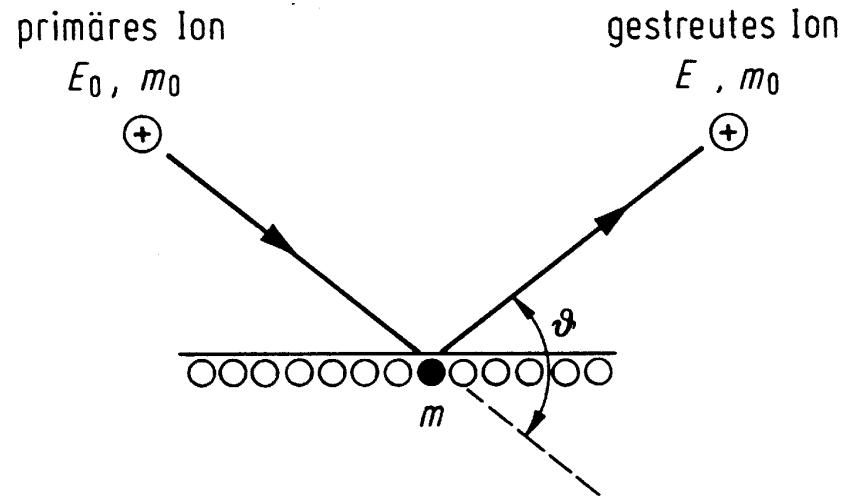
**Achtung:**  
Ionisationsquerschnitt  
im Festkörper entspricht  
nicht dem eines  
Einzelatoms  
→ " Matrixeffekt "

**Kennzeichen:**

- + Hohe chemische Sensitivität (Massenspektroskopie)
- + Quantifizierbarkeit (SNMS)
- + Nachweisgrenze: ppm

# LEISS

## Low Energy Ion Surface Spectroscopy



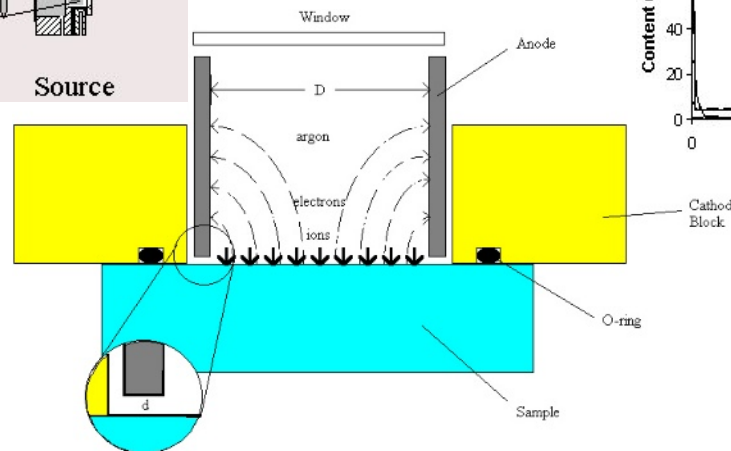
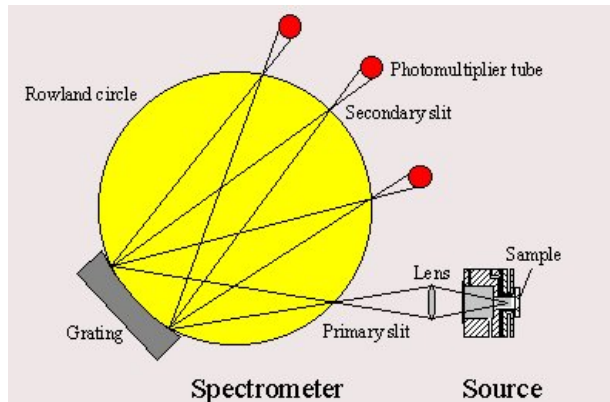
$$\frac{E}{E_0} = \frac{m_0^2}{(m_0 + m)^2} \left[ \cos \vartheta + \left( \frac{m^2}{m_0^2} - \sin^2 \vartheta \right)^{1/2} \right]^2$$

### Kennzeichen:

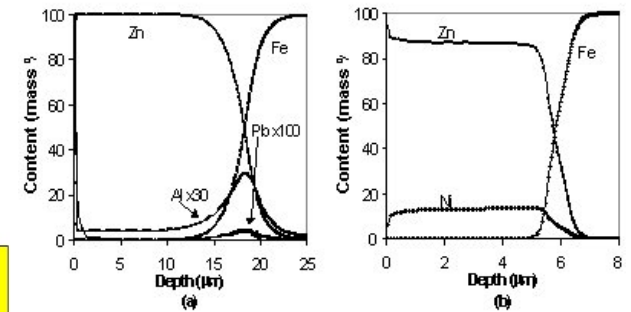
- + Hohe Oberflächensensitivität (1. Monolage)
- + Absolute Quantifizierbarkeit (einfacher Mechanismus)

# GDOS

## Glow Discharge Optical Spectroscopy



Examples of Quantitative Depth Profiles:  
(a) Galvanized Steel and (b) ZnNi Coated Steel

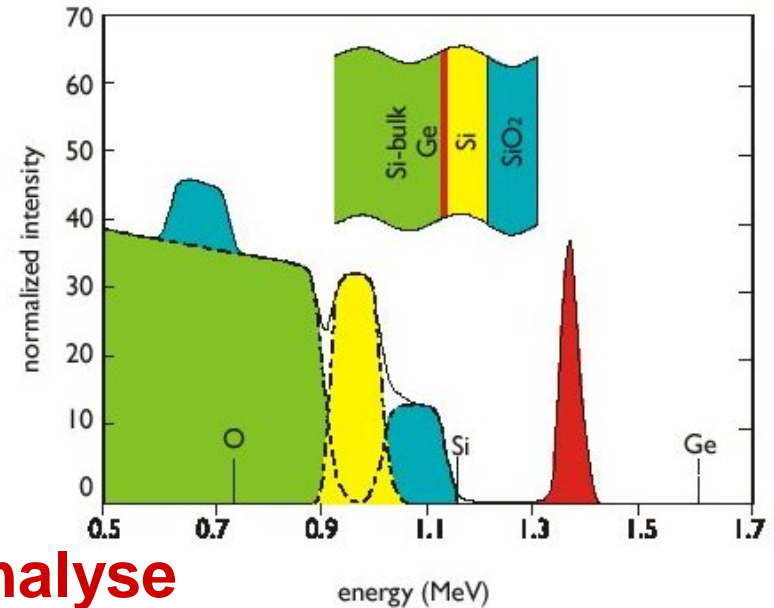
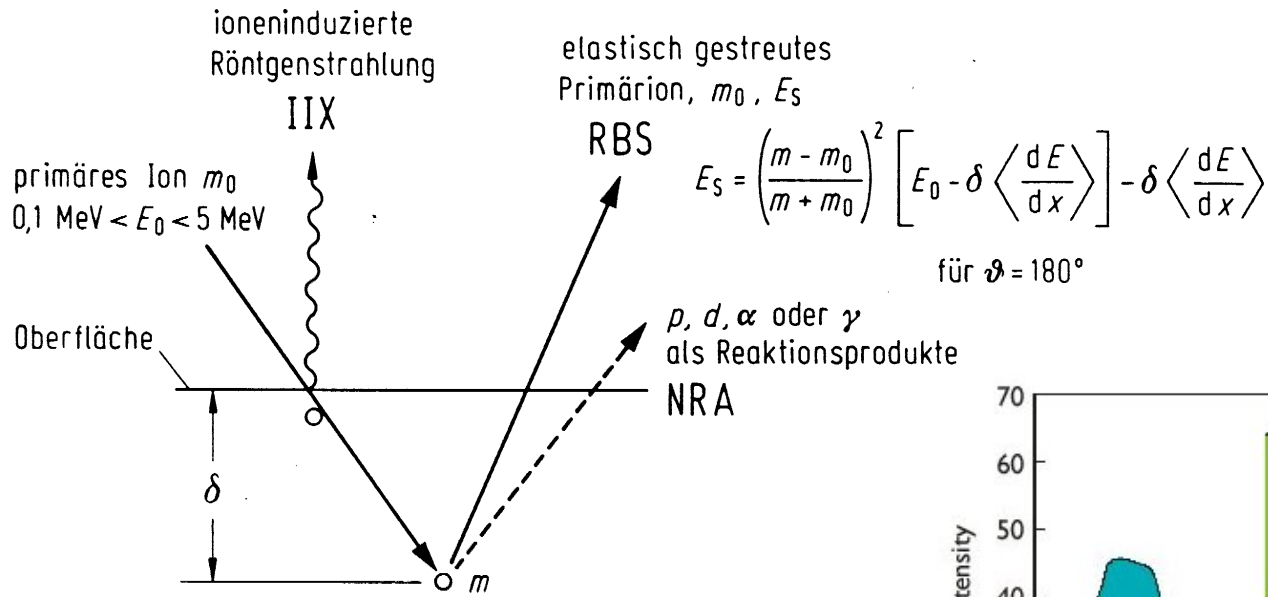


### Kennzeichen:

- + Rasche Tiefenprofilierung
- + Gute Chemische Sensitivität
- + Vernünftige Quantifizierbarkeit (Spektroskopie)

# RBS

## Rutherford Backscattering

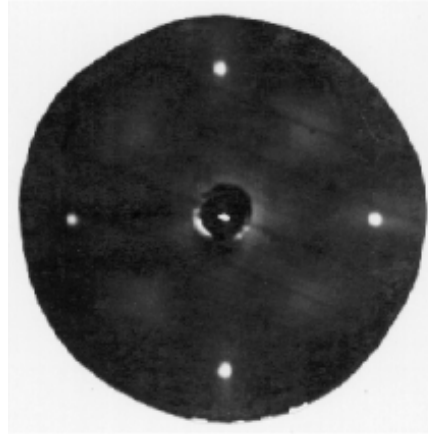
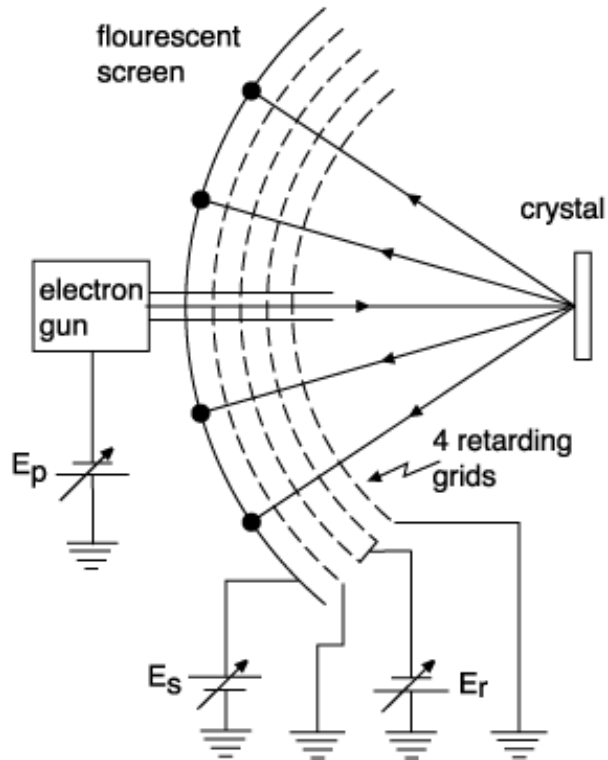


### Kennzeichen:

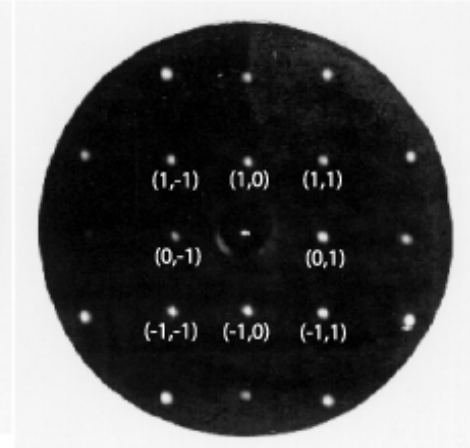
- + Zerstörungsfreie Tiefenanalyse
- + Quantifizierbarkeit

# LEED

## Low Energy Electron Diffraction



45 eV W(100)



145 eV

### Kennzeichen:

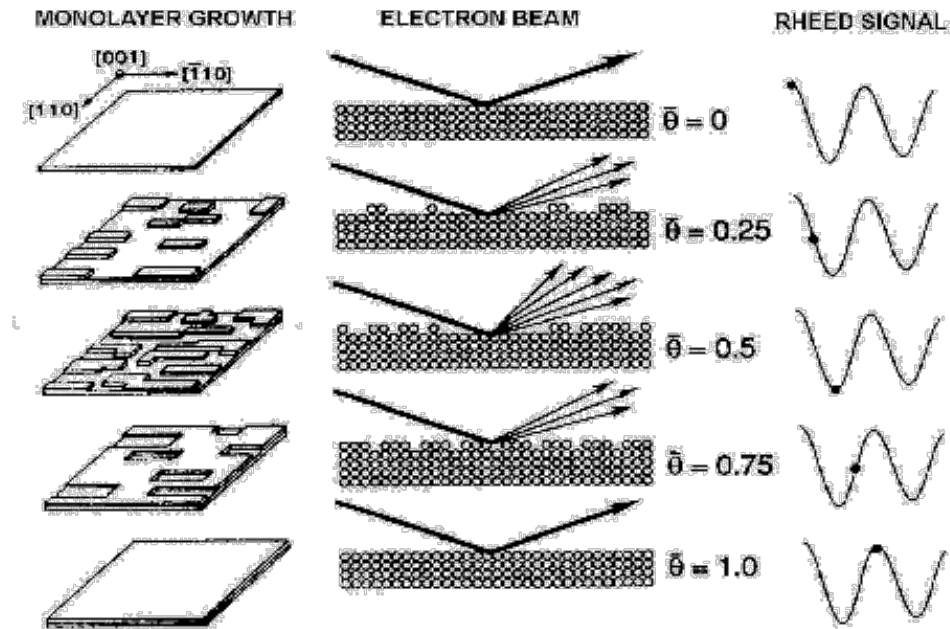
- + Oberflächensensitiv
- + Liefert Oberflächenkristallographie und Adsorbatpositionen



# RHEED

## Reflected High Energy Electron Diffraction

### Ideale Situation:



### Kennzeichen:

- + Oberflächensensitiv
- + Liefert Detailinformationen über Wachstumsmodi (Layer By Layer/Aufrauhung/Stochastisch)