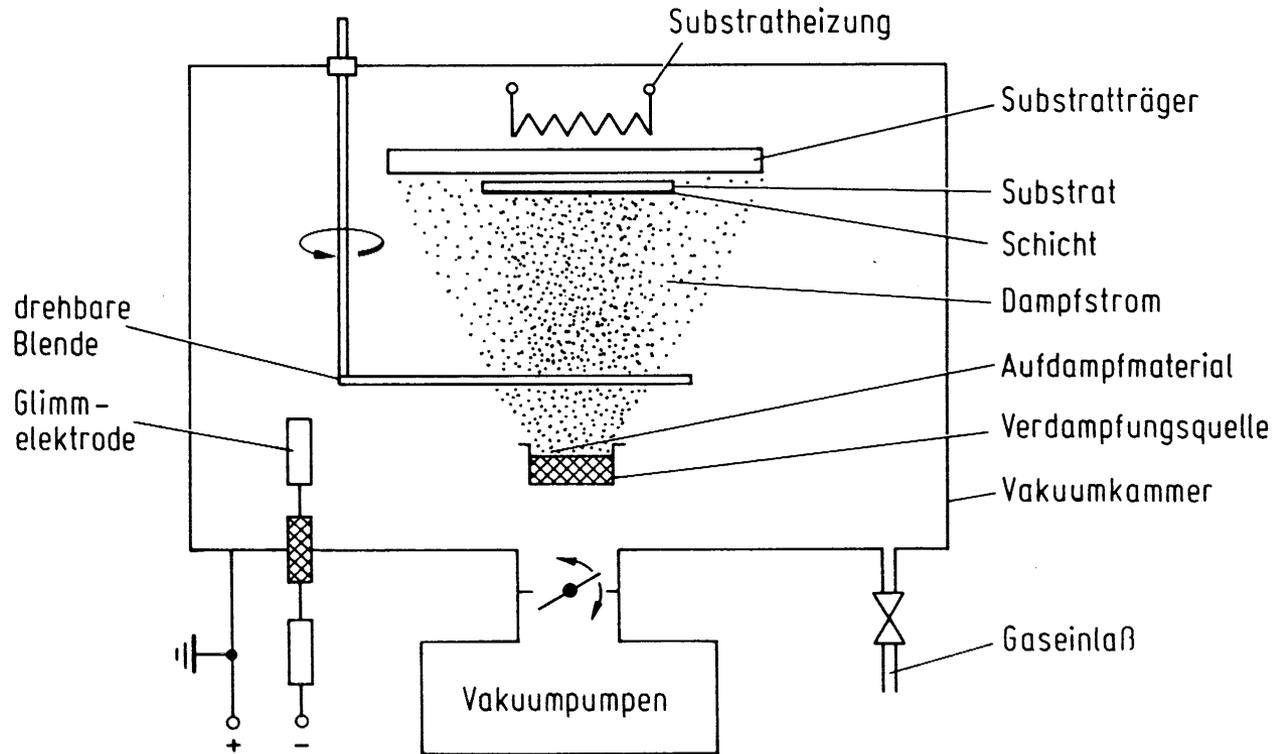


# Wiederholung: der Aufdampfprozess

## Schema:



# Wiederholung: Dampfstromdichte

## Hertz-Knudsen-Formel:

$$R(\alpha, \theta, r) = \frac{m_1}{\pi} \cos \alpha \cdot \frac{\cos \Theta}{r^2}$$

$\alpha$  ... Winkel Lot/Quelle

$\Theta$  ... Winkel Substratnormale/  
Aufpunkt

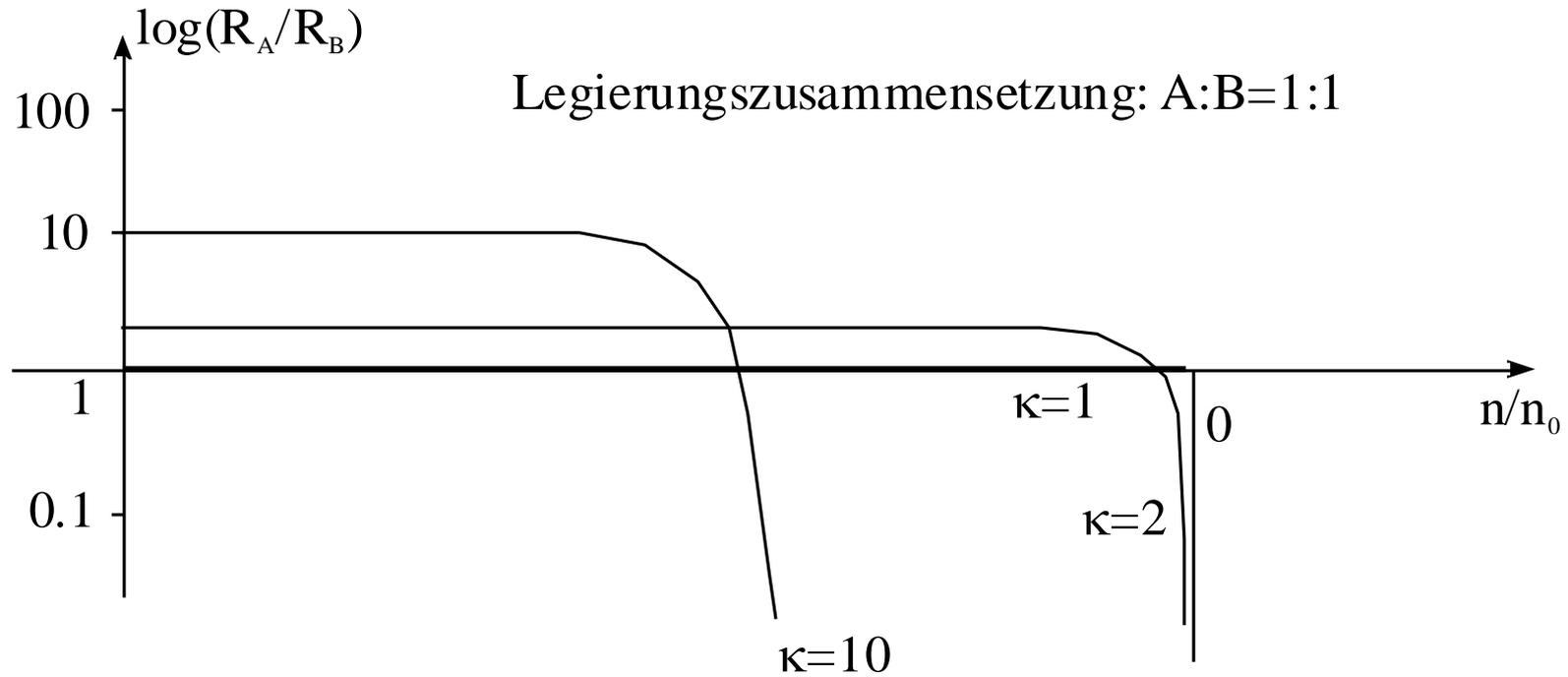
## Voraussetzungen:

- Punktförmige Quelle
- Line - of - Sight Prozess

## Spezielle Geometrien:

- Punktförmige Quelle – planes Substrat
- Halbkugel
- Knudsen-Kugel

# Wiederholung: Verdampfen von Legierungen



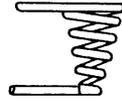
**Das Verdampfen einer Legierung entspricht einer fraktionierten Destillation. Grund dafür ist der Materialtransport in der Schmelze.**

# Wiederholung: Verdampfungsquellen

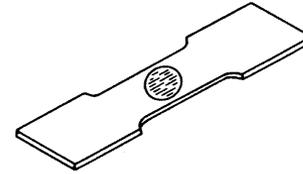
## Widerstandsgeheizte Quellen



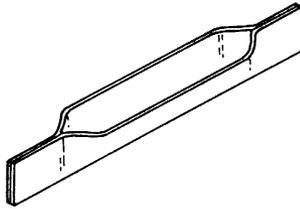
a



b



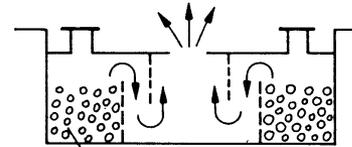
c



d



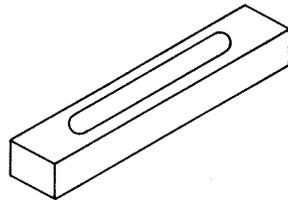
e



f



g



h

# Wiederholung: Aufdampfmaterialien

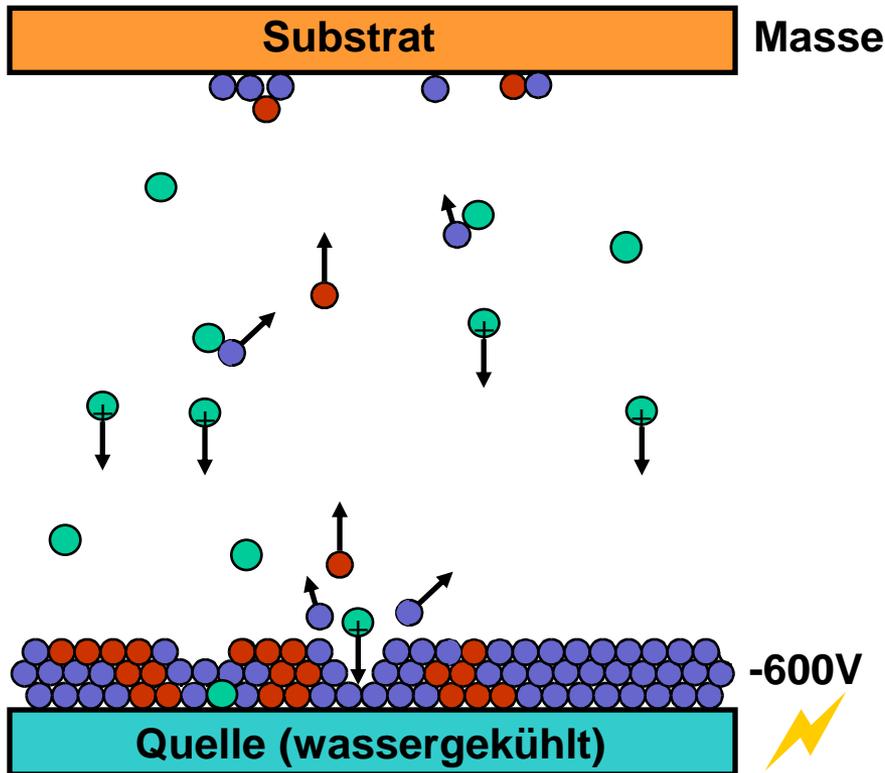
**Pulver**  
**Granulate**  
**Drähte**  
**Pellets**  
**Formteile**



***Es ist darauf zu achten, dass  
Quellenmaterial und Beschichtungsmaterial  
chemisch nicht miteinander reagieren!***

# Der Sputterprozess I

## Elementarprozesse:



- ● Beschichtungsgut
- ● Arbeitsgas, ionisiert oder neutral

## Besondere Kennzeichen:

- *Feste Quelle, d. h. beliebige Quellenform*
- *Geringe Abscheidetemperatur*
- *Hohe Abscheideraten erreichbar*
- *Weites Parameterfeld*
- *Schichtzusammensetzung = Quellenzusammensetzung*
- *Gute Schichthaftung*
- *Interessante Schichteigenschaften*

# Der Sputterprozess II

## Arten der losgelösten Teilchen:

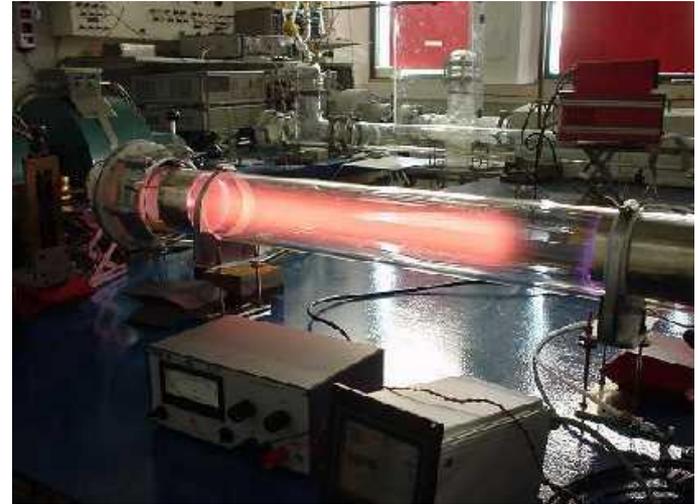
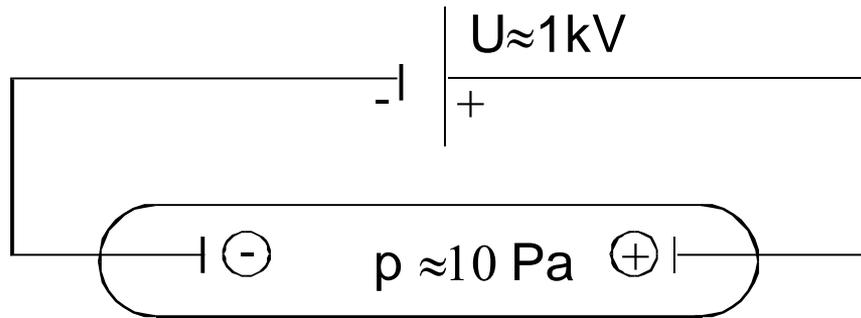
- Atome
- Ionen
- Cluster
- Moleküle

## Bereitstellung der Projektile:

- Gasentladung
- Ionenkanone

# Die Gasentladung

## Versuchsanordnung:



## Kriterien für eine selbstständige Gasentladung:

Eine Gasentladung kann dann aufrecht erhalten werden, wenn:

- die mittlere freie Weglänge der Elektronen groß genug ist, um bei gegebenem  $U$  neutrale Gasatome zu ionisieren  
→ **verdünntes Gas** notwendig
- genügend Gasatome vorhanden sind, um eine Ionisierungskaskade zu ermöglichen  
→ **kein "zu gutes" Vakuum** notwendig

# Die Sputterausbeute I

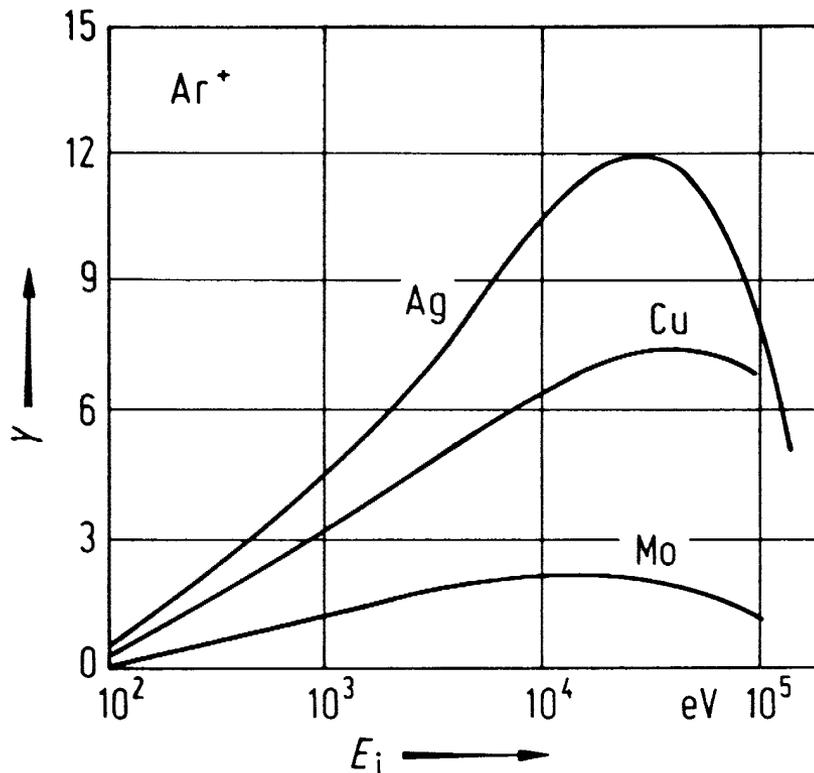
$$Y = \frac{\langle n \rangle}{n^+}$$

$\langle n \rangle$  = mittlere Anzahl der pro Einschluß emittierten Teilchen  
 $n^+$  = Anzahl der auftreffenden Ionen

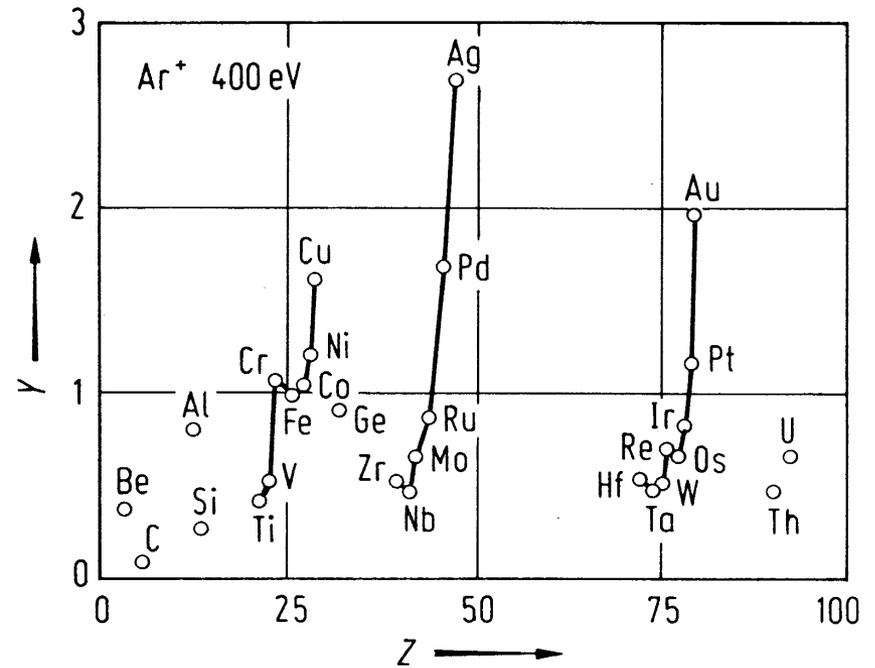
***Y hängt von mehreren Ionen- und Materialparametern ab.***

# Die Sputterausbeute II

**Abhängigkeit von:**



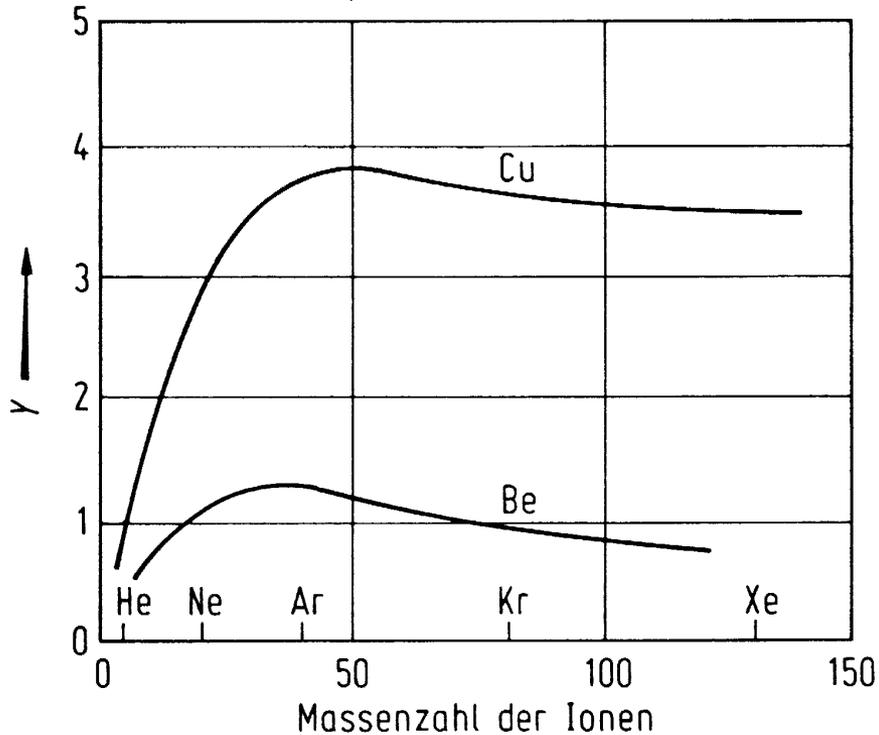
**Ionenergie**



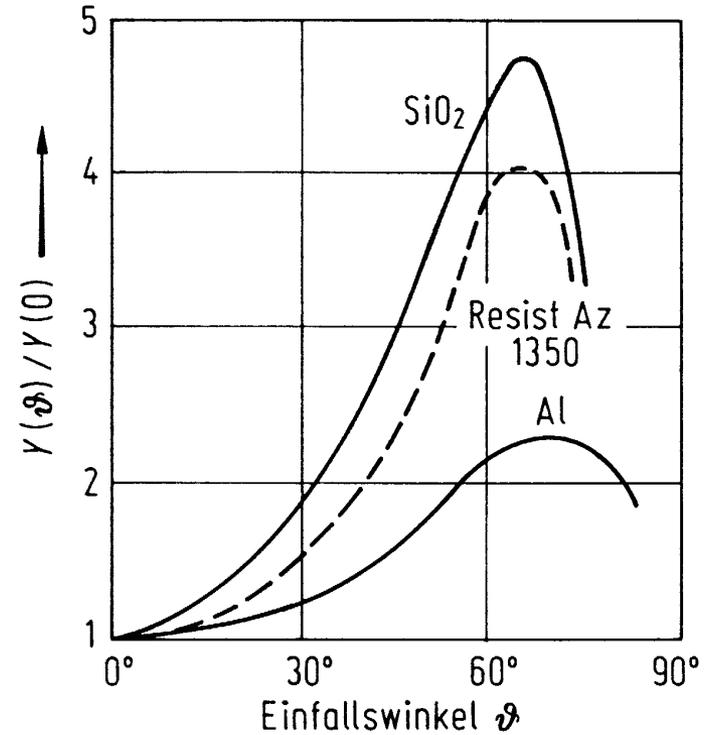
**Targetmaterial**

# Die Sputterausbeute III

**Abhängigkeit von:**

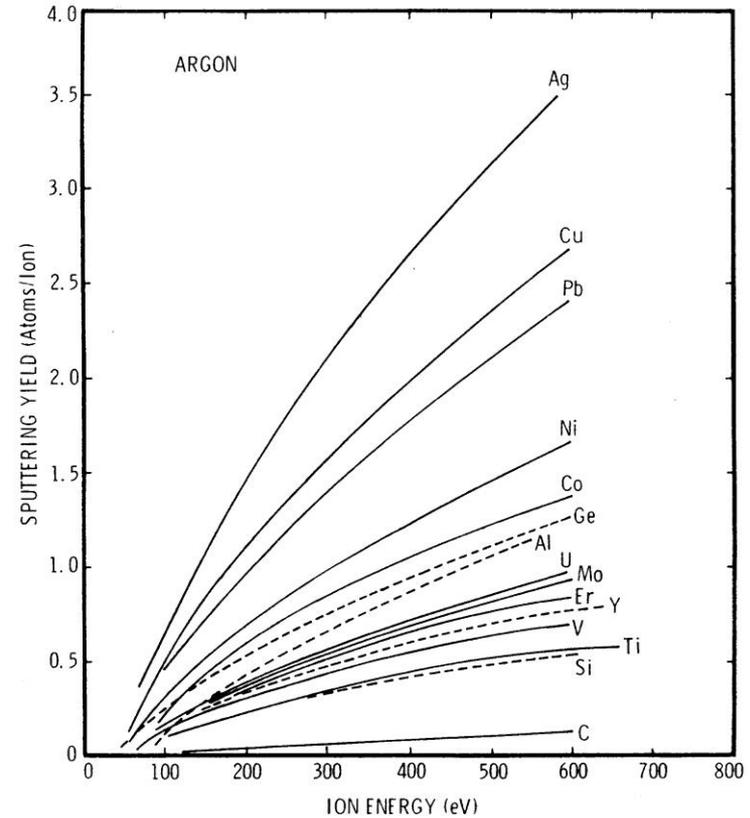
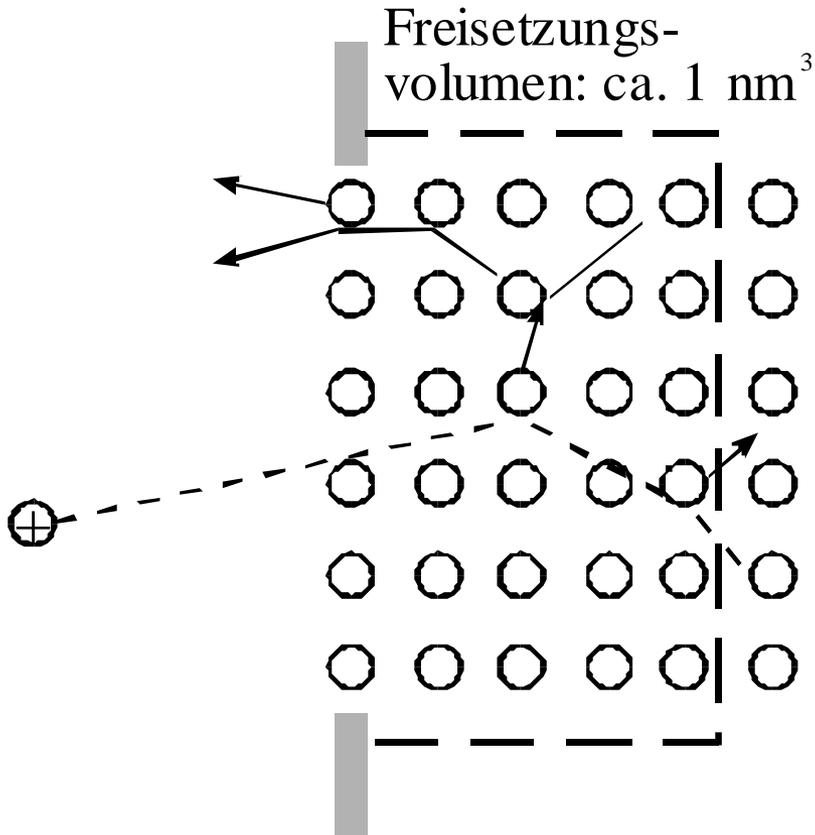


**Massenzahl der Ionen**



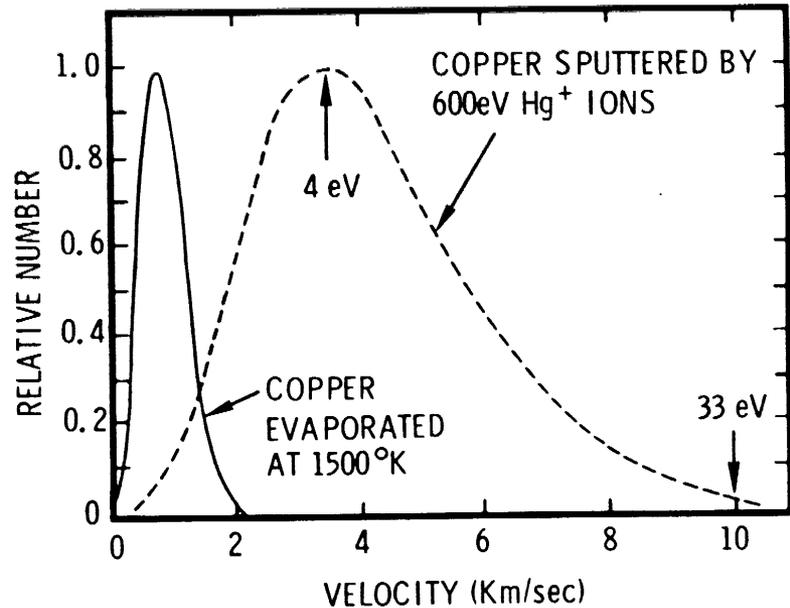
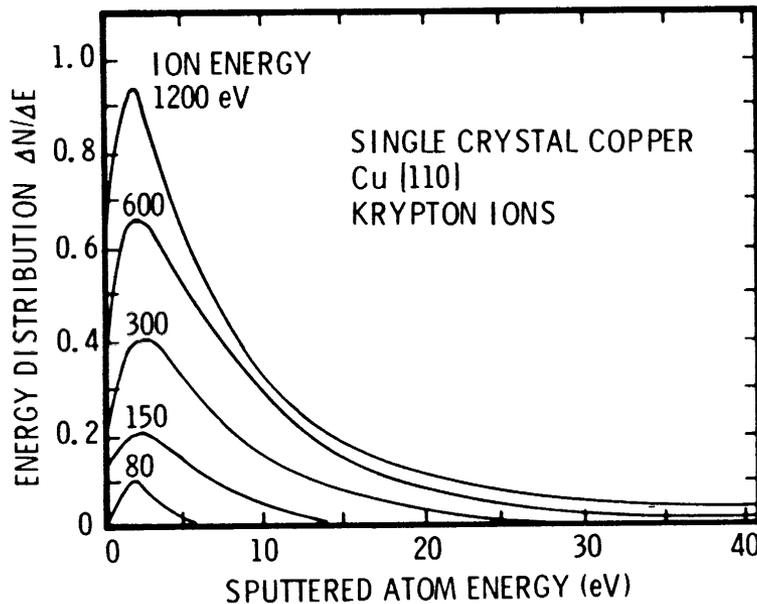
**Ioneneinfallswinkel**

# Lineare Stosskaskade: Globale Charakteristika



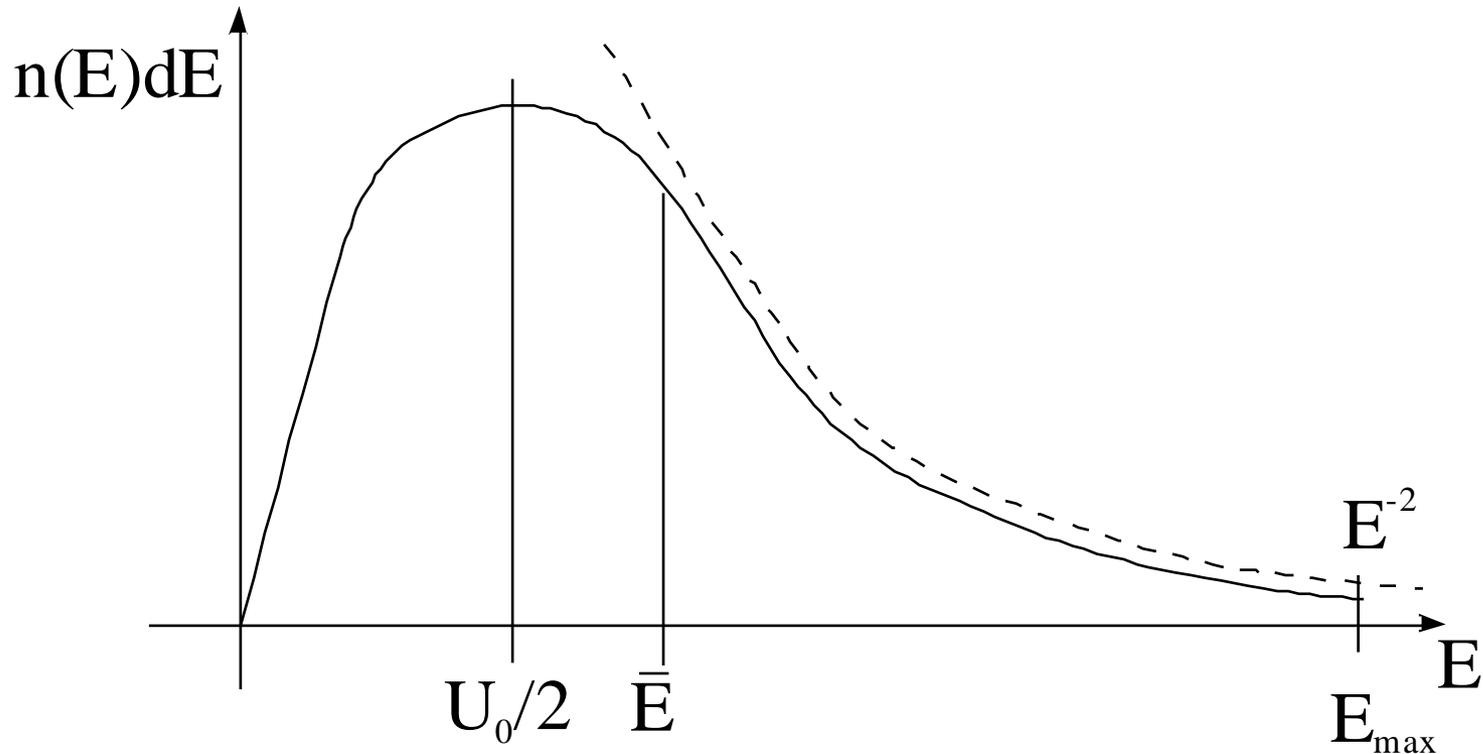
$$Y = 0,5 - 4$$

# Energieverteilung der emittierten Teilchen



***Die Energieverteilung gesputterter Teilchen unterscheidet sich deutlich von jener thermisch evaporierter Atome!***

# Lineare Stoskaskade: Energieverteilung

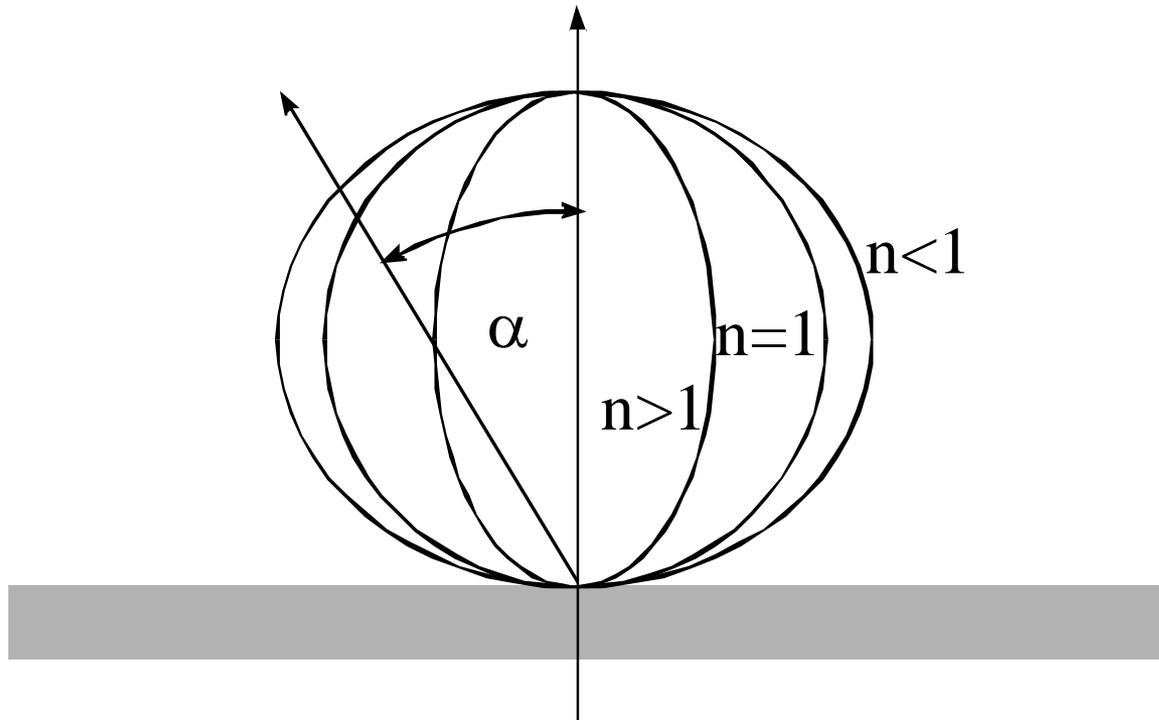


$$n(E)dE \propto \frac{E}{(E + U_0)^3} dE$$

$E_{\max}$  = Maximalenergie,  $E_{\max} \propto E^+$

$\bar{E}$  = mittlere Emissionsenergie

# Lineare Stosskaskade: Winkelverteilung

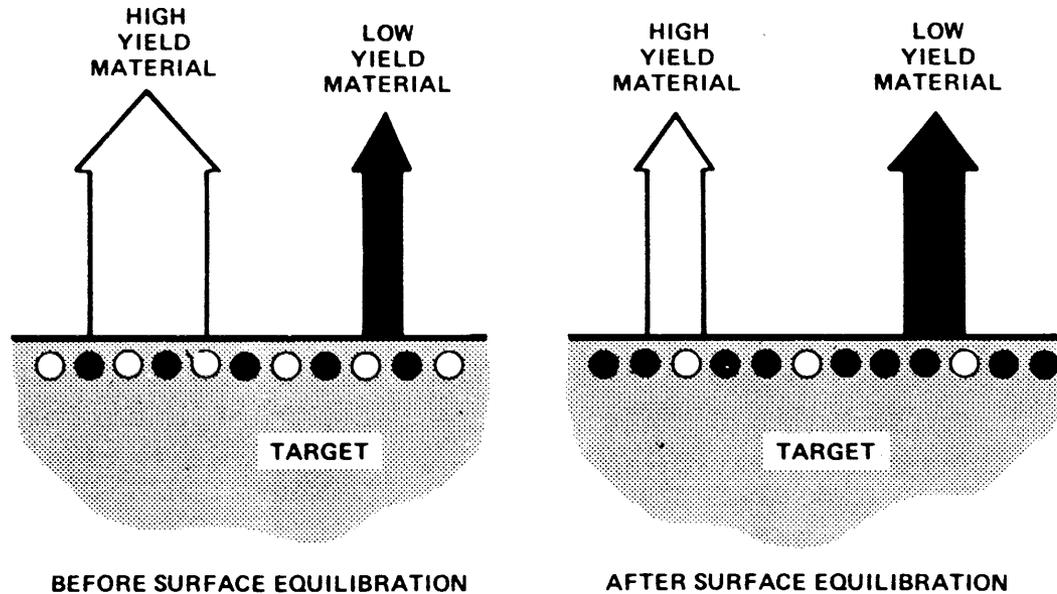


$$n(\alpha) \propto \cos^n \alpha$$

$$n \leq 1 \quad E < 1 \text{ keV}$$

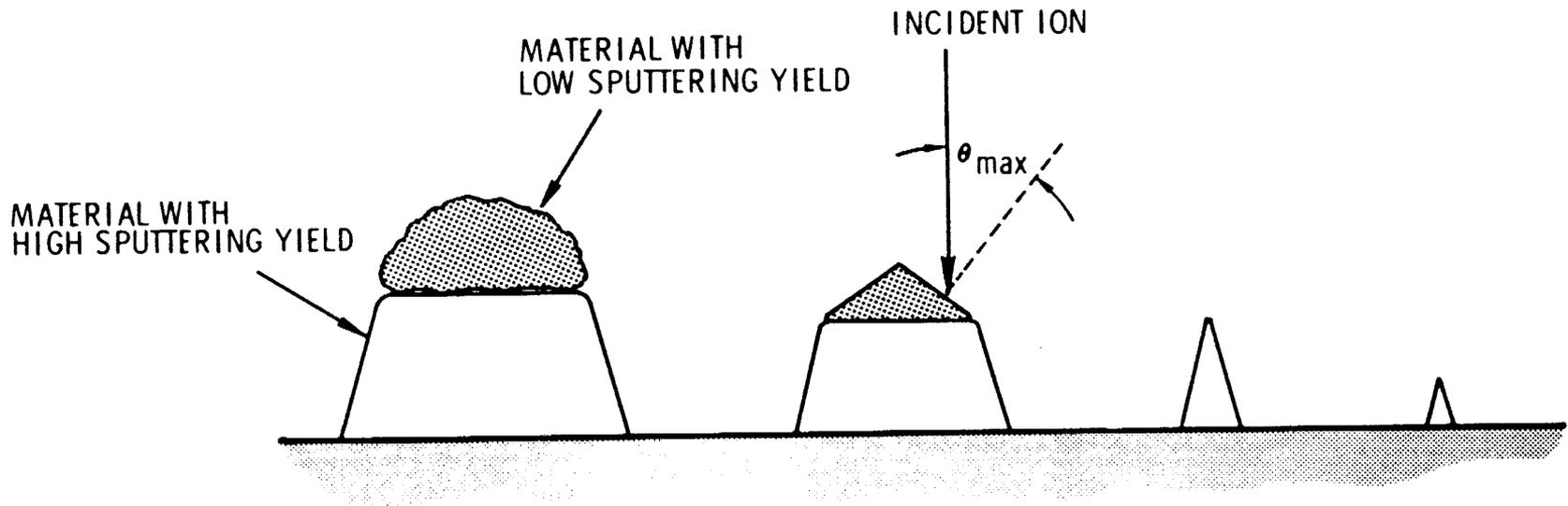
$$n > 1 \quad E > 1 \text{ keV}$$

# Sputtern von Legierungen: verschiedenes $\gamma$



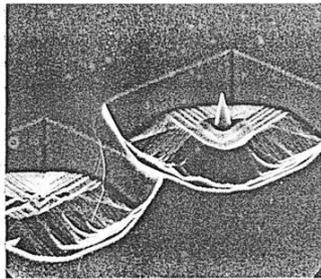
**Bei einer gleichmässigen Verteilung von Materialien verschiedener Sputterausbeuten entspricht (nach einer Einlaufphase) die Dampfstrahlzusammensetzung der ursprünglichen Targetzusammensetzung.**

# Sputtern von Legierungen: Konusbildung I

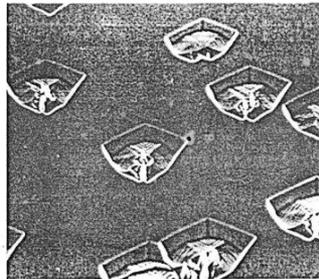


**Liegt Material einer geringeren Sputterausbeute in Form von grossen Ausscheidungen vor, so kommt es zur Konusbildung am Target.**

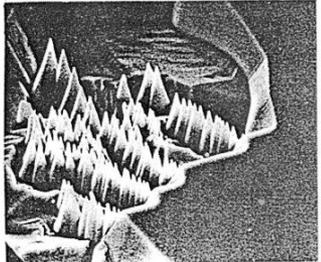
# Sputtern von Legierungen: Konusbildung II



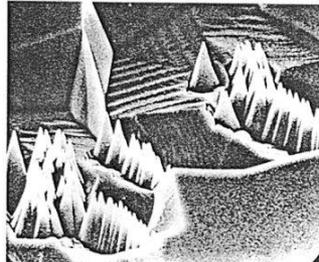
a X2000



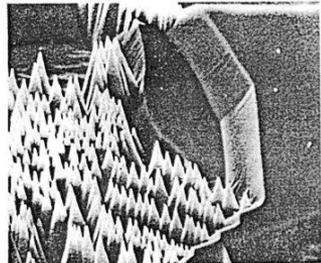
b X1000



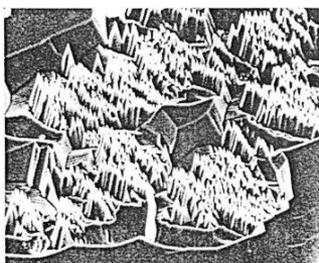
c X3000



d X3000



e X3000



f X1000

(113-1) Cu nach Fluence :  $1 \cdot 10^{19} \text{ 40keV/Ar}^+ \cdot \text{cm}^{-2}$

108



Fig. 4a X2000

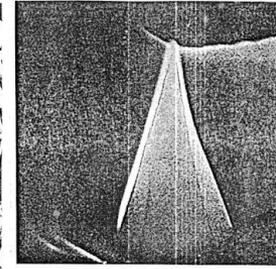
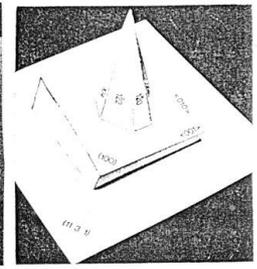


Fig. 4b X20,000



(113-1) Einkristall  
Cu,  $10^{19} \text{ 40keV/Ar}^+ \cdot \text{cm}^{-2}$

Pyramide

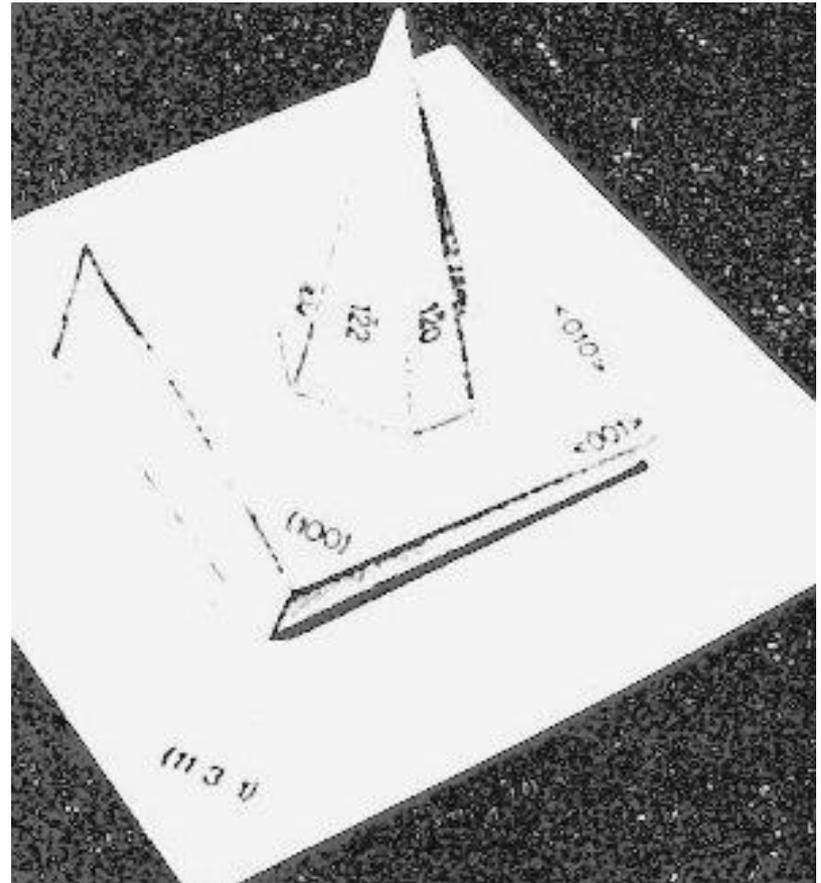
**Die Seitenflächen der Konusse sind oft kristallographische Oberflächen oder haben einen Neigungswinkel, der dem des maximalen Y entspricht.**

# Sputtern von Einkristallen: Sputterausbeute

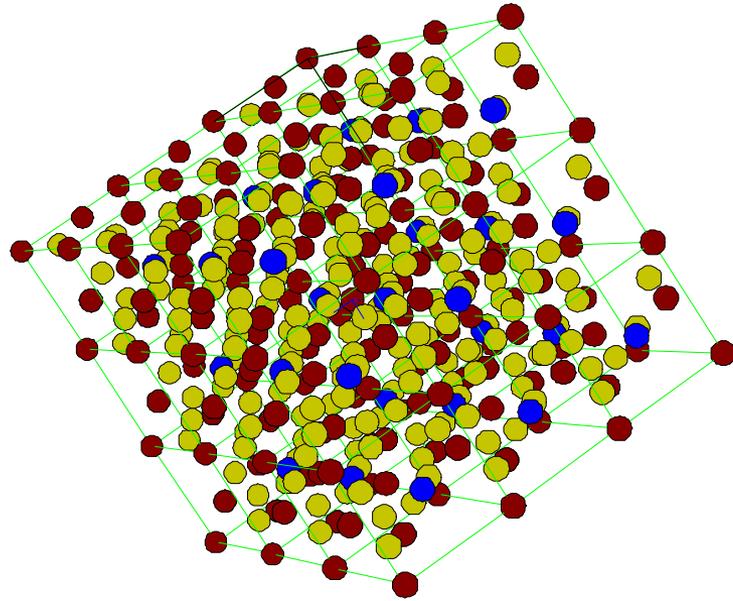
**Die Sputterausbeute ist abhängig vom kristallographischen Index einer Kristallebene.**

**Beispiel: Konusbildung**

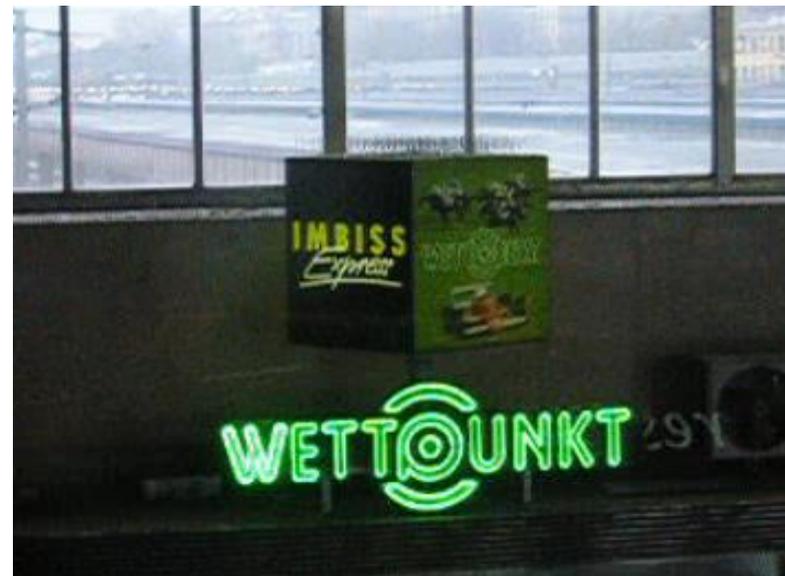
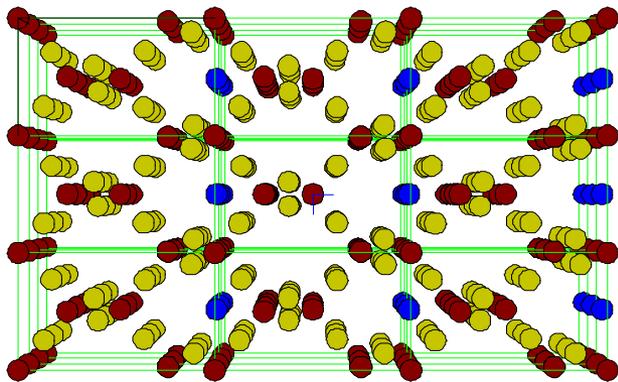
$$Y = Y(h, k, l)$$



# Sputtern von Einkristallen: Channelling

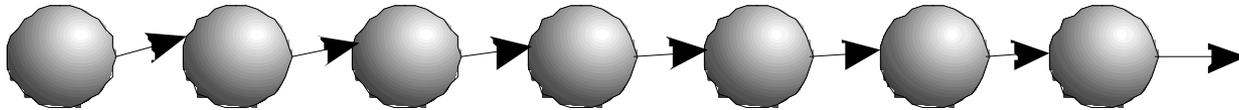


*Je nach Einfallsrichtung dringen Ionen mehr oder weniger tief in einen Einkristall ein.*



# Sputtern von Einkristallen: Wehner-Spots

***Stossfokussierung entlang dicht gepackter kristallographischer Richtungen:***



***Y = Maximum entlang dieser Richtungen!  
Positioniert man einen halbkugelförmigen Kollektor über einem einkristallinen Target, so entstehen dort "Wehner-Spots".***