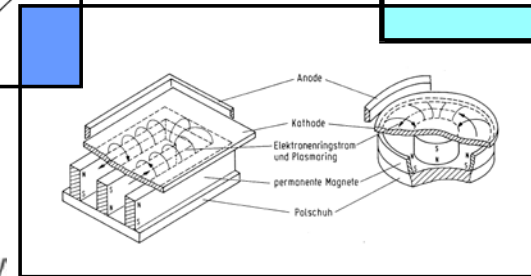
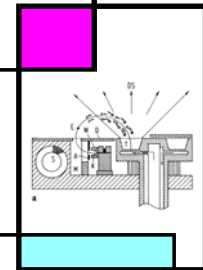
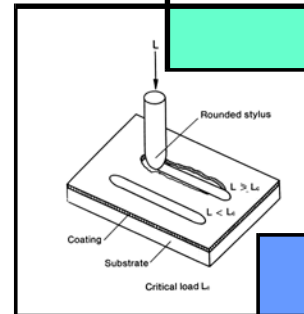
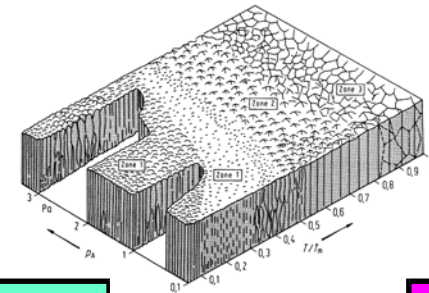
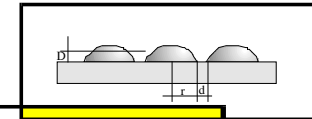
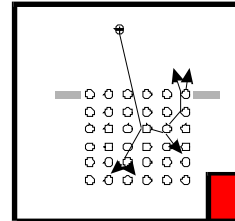


# Einleitung

## "Physik Dünner Schichten"

Dr. C. Eisenmenger-Sittner  
LVA Nr.: 138.032



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna University of Technology

# Details zur Vorlesung

## **LVA Nr. 138 032, "PHYSIK DÜNNER SCHICHTEN"**

**Kataloge: Master TPH, Kataloge: C, D, Master EMT, Katalog: B  
Master Materialwissenschaften, Modul Struktur- und Funktionswerkstoffe  
Christoph Eisenmenger-Sittner**

**Ort: Seminarraum DB gelb 07, 7.OG, Gelber Bereich  
Zeit: 11:00-13:00**

## ***INHALT***

- 1. Einführung: Geschichte, Begriffe***
- 2. Physikalische Grundlagen der Vakuumbeschichtungsverfahren***
- 3. Physik der Schichtbildung***
- 4. Dünnschichtphysik***
- 5. Grundlagen der physikalischen Analytik***

# Verweise I

## **LVA Nr. 138 030, "TECHNOLOGIE DÜNNER SCHICHTEN"**

**Kataloge: Ba TPH Ma TPH (D), Ma MW**  
Christoph Eisenmenger-Sittner

**Ort: Seminarraum DB gelb 07, 7.OG, Gelber Bereich**  
**Zeit: 11:00-13:00**

### ***INHALT***

- 1. Einführung: Geschichte, Begriffe***
- 2. Beschichtungsverfahren: PVD, CVD, Elektrochemie, ...***
- 3. Schichtaufbau: Empirische Modelle***
- 4. Schichteigenschaften und Charakterisierung: mechanische, elektrische und optische Eigenschaften sowie deren Messung***

# Verweise II

## **LVA Nr. 138 035, "PHYSIK DÜNNER SCHICHTEN - UE"**

**Kataloge: Ma TPH (C, D), Ma EMT (B)**

**Christoph Eisenmenger-Sittner**

**Ort: IFP, 7.OG, Gelber Bereich**

**Termin: Nach Vereinbarung**

**Dauer: 2.5 Tage**

## ***INHALT***

- 1. Praktische Grundlagen der Vakuumtechnik***
- 2. Selbstständiges Arbeiten an Beschichtungsanlagen***
- 3. Charakterisierung von Schichteigenschaften: Dicke, Morphologie, optische Eigenschaften***

# Dünne Schichten im Netz

[https://static.ifp.tuwien.ac.at/homepages/Personen/duenne\\_schichten/](https://static.ifp.tuwien.ac.at/homepages/Personen/duenne_schichten/)

Google™ Suchbegriffe: thin film group vienna  
→ 1st Hit

## ***DORT GIBT ES:***

- ***Informationen zur Vorlesung (Termine, Verschiebungen etc.)***
- ***Informationen zu aktuellen Arbeitsrichtungen***
- ***Generelle Neuigkeiten***

***Ad-Hoc Informationen zur Vorlesung und zum Kurzpraktikum (Terminänderungen, endgültiger Praktikumstermin etc.) werden über TISS an alle Angemeldeten kommuniziert.***

# Historisches I

- ~1650: Beobachtung und Erklärung von Interferenzerscheinungen an dünnen Schichten (beispielsweise Ölfilm auf Wasser) durch R.Boyle, R.Hooke, I.Newton.**
- ~1850: Beginn der Entwicklung der Beschichtungstechniken (M.Faraday; W.Grove; T.A.Edison) und der Schichtdickenmeßverfahren (Arago, Fizeau; Wernicke; Wiener)  
Galvanotechnik: kommerzieller Einsatz für Vergoldung von Uniformteilen.**
- ~1940: Industrielle Erzeugung von Dünnschichtsystemen für optische, elektronische, mechanische und dekorative Anwendungen (zumeist im Rüstungsbereich).**
- ~1965: Dünnschichttechnologie ermöglicht den Beginn der Massenfertigung in der Halbleiterindustrie und in der optischen Fabrikation.**
- ~1990: Dünne Schichten für High Tc-Supraleiter.**
- ~1995: Einsatz von Beschichtungsverfahren für die gezielte Herstellung atomarer und mesoskopischer Strukturen („Quantum-Dots“ durch PVD, „Cu-Technologie“ durch Galvanotechnik in der  $\mu$ P-Technik).**

# Historisches II

- ~2000: Herstellung nanokristalliner Materialien definierter Zusammensetzung und Struktur für den Einsatz als tribologische und protektive Schichten. Abscheidung geordneter Systeme von Objekten mit Grössen im Nanometerbereich.**
- ~2004: Hochskalierung komplexer reaktiver Beschichtungsprozesse für Industrielle Anwendungen (Glasbeschichtung, thermal Management). Kombinatorische Untersuchung ternärer und quartärner Materialien.**
- ~2006: Untersuchung und Charakterisierung organischer Schichten führt zu ersten Erfolgen in organoscher Elektronik (OLED, "printable circuits")**
- ~2009: Kontrolliertes Wachstum von Nanotubes, Nanowires und nanoskaligen Heterostrukturen. Realisierung grossflächiger Graphenschichten.**

# Definition einer Dünnen Schicht

- ***Eine Lineardimension ist deutlich kleiner als die beiden Anderen***
- ***Eigenschaften unterscheiden sich deutlich von denen des 3d Festkörpers ("Bulk")***
- ***Eigenschaften können durch Schichtdicke und-Struktur beeinflusst werden***
- ***Für gleiche Materialien können verschiedene Schichtdicken verschiedene Anwendungsbereiche definieren***

***Beispiel: Indiumoxid,  $\text{In}_2\text{O}_3$ :***  
 ***$d = 300 \text{ nm}$ : Infrarotreflektor***  
 ***$d = 2 \text{ nm}$ : Josephson - Effekt***



# Anwendungen Dünner Schichten, I

## Maschinenbau/Verfahrenstechnik

- ... Tribologische Anwendungen: Schutzschichten gegen Verschleiß, Erosion, Korrosion; Reibungsarme Schichten
- ... Hartstoffschichten für Schneid- und Stanzwerkzeuge
- ... Oberflächenpassivierung
- ... Schutz gegen Hochtemperaturkorrosion
- ... Freitragende Schichten aus refraktären Metallen für Raketendüsen, Tiegel, Rohre
- ... Dekorative Schichten
- ... Katalysatorschichten

## Optik

- ... Antireflexionsschichten ("Multicoated Optics")
- ... Hochreflektierende Schichten (Laserspiegel)
- ... Interferenzfilter
- ... Strahlenteiler und Dünnschicht-Polarisatoren
- ... Integrierte- und Laser-Optik

## Optoelektronik

- ... Photodetektoren
- ... Bildübertragung
- ... Optische Speicher
- ... LCD/TFT

# Anwendungen Dünner Schichten, II

## Elektronik

- ... Passive Dünnschichtelemente (Widerstände, Kondensatoren, Kontakte)
- ... Aktive Dünnschichtelemente (Transistoren, Dioden)
- ... Integrierte Schaltkreise (VLSI, Very Large Scale Integrated Circuit)
- ... CCD (Charge Coupled Device)

## Kryotechnik

- ... Supraleitende Dünne Schichten, Schalter und Speicher
- ... SQUIDS (Superconducting Quantum Interference Device)

## Neue Werkstoffe

- ... Extrem harter Kohlenstoff ("Diamant")
- ... Amorphes Silizium
- ... Metastabile Phasen: Metallische Gläser
- ... Ultrafeine Pulver (Durchmesser < 10nm)
- ... Sphäroidisierung hochschmelzender Werkstoffe (Durchmesser 1-500µm)
- ... Hochreine Halbleiter (GaAs)

## (Alternative) Energietechnik

- ... Solarkollektoren und Solarzellen
- ... Wärmedämmung durch Beschichtung von Architekturglas und Folien
- ... Thermische Isolation (metallbeschichtete Folien)

# Anwendungen Dünner Schichten, III

## Magnetische Anwendungen

- ... Audio-, Video- und Computerspeichermedien
- ... Magnetköpfe

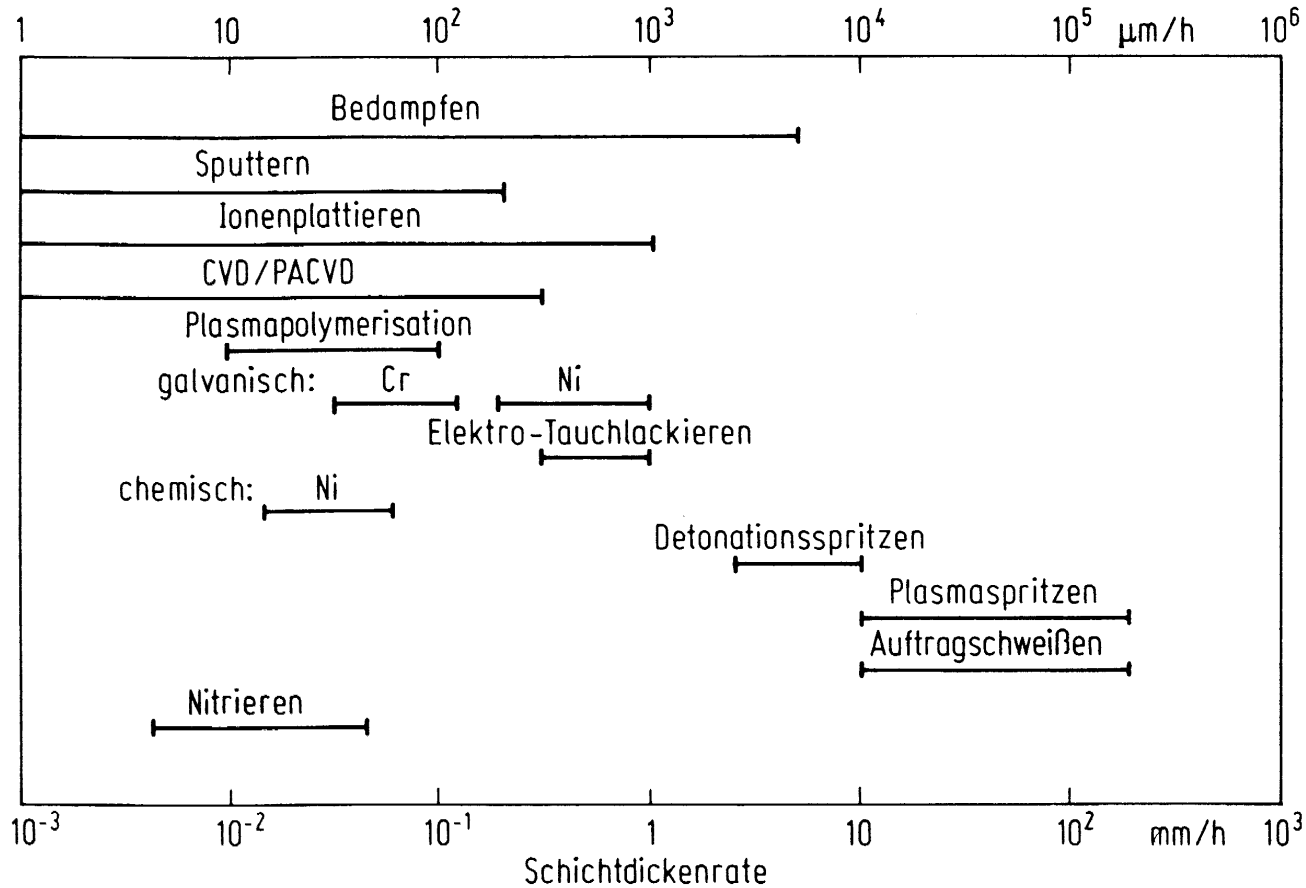
## Sensorik

- ... Messwerterfassung in aggressiven Umgebungen und Medien
- ... Telemetrie
- ... Biologische Sensorik

## Biomedizin

- ... Biologisch kompatible Implantatbeschichtungen
- ... Neurologische Mikrosonden
- ... Hüllen für Depotpharmaka

# Erzielbare Beschichtungsraten



# Physikalische Beschichtungsverfahren

## Wesentliche Kennzeichen:

- **Definierte Trennung von Quelle, Transport und Abscheidung.**
- **Schichtbildung erfolgt Atom für Atom.**
- **Prozess findet in einer Vakuumumgebung statt.**

# Physikalische Beschichtungsverfahren – Überblick

## PVD (Physical Vapour Deposition)

**Aufdampfen**

**Sputtern**

**Dioden-System**

**Trioden-System**

**Magnetron-System („balanced/unbalanced“)**

**Ionenstrahl-System**

**Ionenplattieren**

**DC-Glimm-Entladung**

**HF-Glimm-Entladung**

**Magnetron-Entladung**

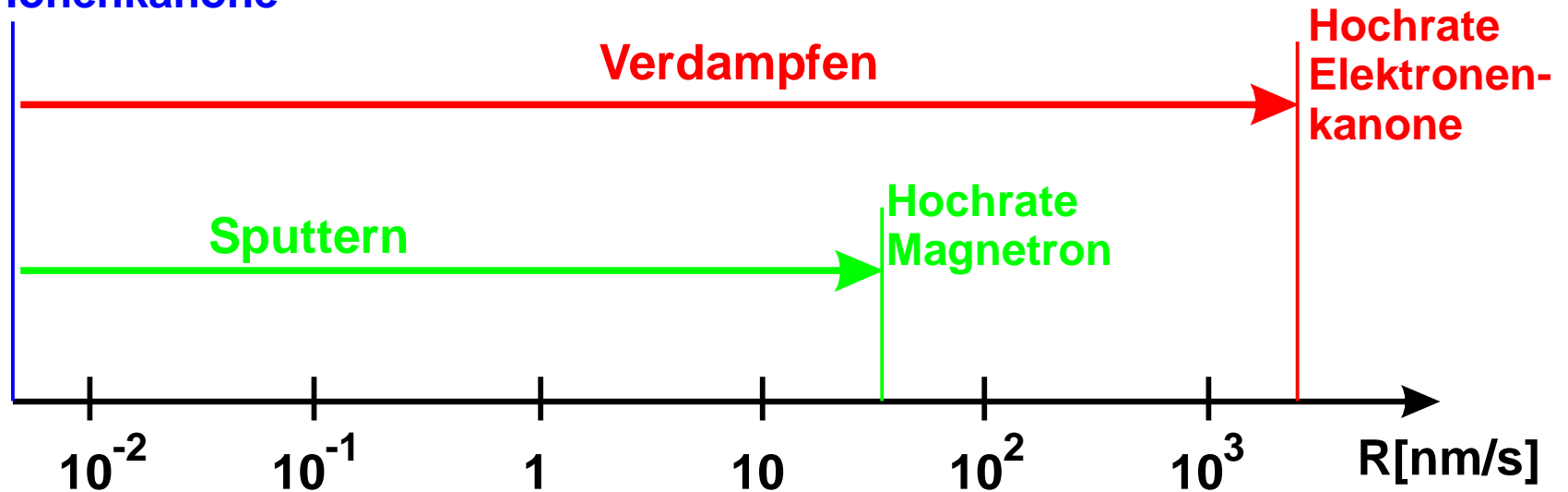
**Bogen (Arc)-Entladung**

**Ionen-Cluster-Strahl**

**Reaktive Varianten der obigen Verfahren**

# Erzielbare Beschichtungsraten - PVD

Effusionszelle,  
Ionenkanone



# Definitionen PVD

- **Substrat:** Objekt, auf dem eine Schicht aufgebracht wird. Das Substrat kann **plan** oder **geometrisch komplex** geformt sein (Glasplättchen oder Messingzahnrad). Weiters kann es **einkristallin** (Si-Wafer), **polykristallin** (Metall) oder **amorph** (Glas) sein.
- **Monolage:** eine **dicht gepackte Atom- oder Moleküllage** auf dem Substrat. Bei einem **Atomdurchmesser** von **ca. 0.3 nm** entspricht dies etwa  **$10^{15}$  Atomen/cm<sup>2</sup>** in **einfacher quadratischer Anordnung**. Für **Moleküle** müssen andere Durchmesser und **geometrische Anordnungen** gewählt werden.



# Grundlegende Thermodynamik PVD I

- **Anahme 1:** Bis zur Bildung einer Monolage hat ein Atom Zeit, um eine thermodynamisch günstige Position zu erreichen.
- **Annahme 2:** Teilchen die am Substrat auftreffen haben eine Energie  $E$  von ca. 1 eV. Das entspricht einer Temperatur  $T$  von etwa

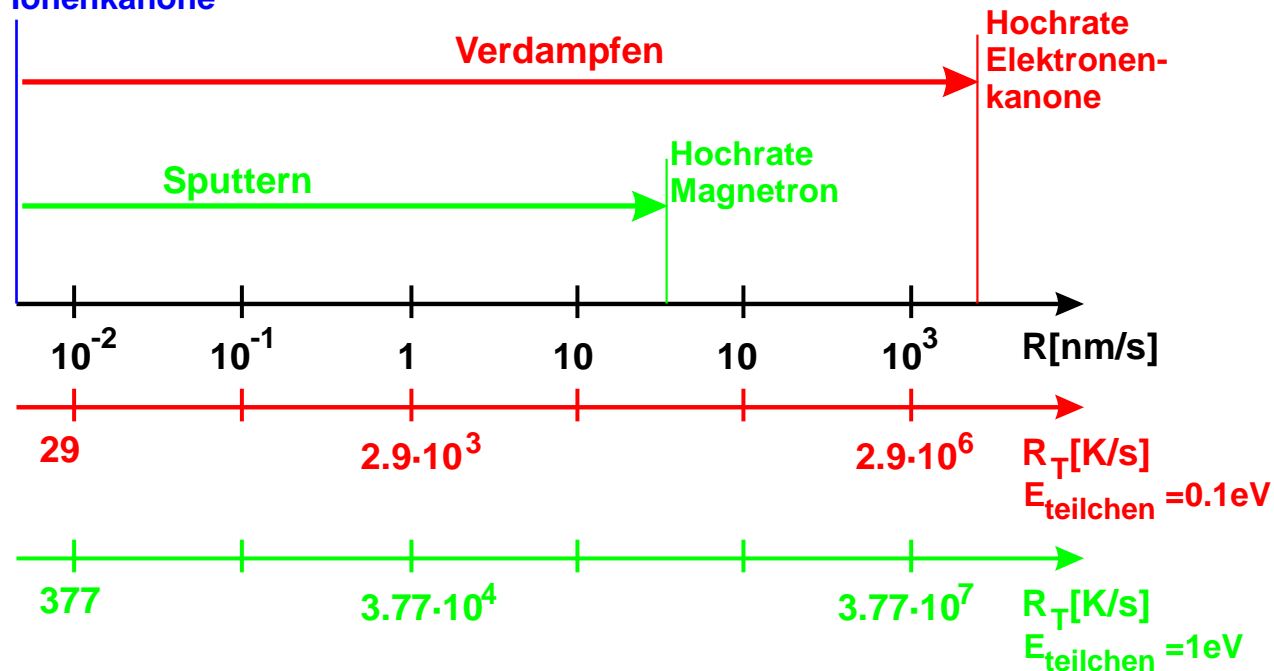
$$T \approx \frac{E}{k_B} = \frac{1.602 \cdot 10^{-19} [\text{J}]}{1.38 \cdot 10^{-23} [\text{J} / \text{K}]} = 11600 \text{ K}$$

# Grundlegende Thermodynamik PVD II

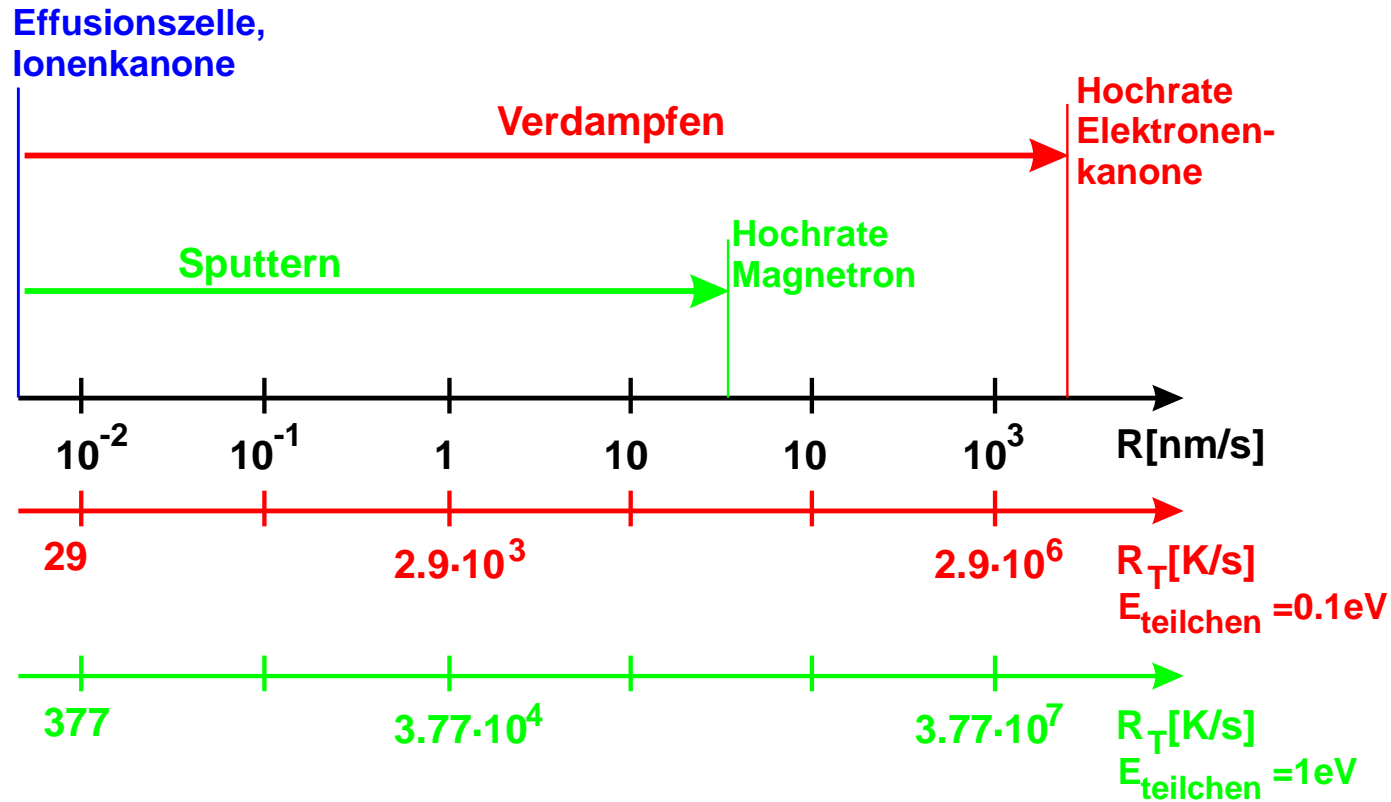
**Abkühlrate:** Die vorhergehenden Annahmen erlauben die Berechnung einer Abkühlrate  $R_T$ :

$$R_T [\text{K} / \text{s}] = \frac{(E_{\text{teilchen}} [\text{J}] - E_{\text{substrat}} [\text{J}]) \cdot R [\text{nm} / \text{s}]}{k_B [\text{J} / \text{K}] \cdot 0.3 [\text{nm}]}$$

Effusionszelle,  
Ionenkanone



# Grundlegende Thermodynamik PVD III



**Diese extrem hohen erzielbaren Abkühlraten zeigen, dass PVD - Prozesse (abgesehen vom direkten Übergang Gasphase  $\rightarrow$  Festkörper) oft als Nichtgleichgewichtsprozesse gesehen werden können.**

# Abkühlraten im Vergleich

**Amorphe Metalle erzielbar bei:  $10^4$  K/s**

**Bleigiessen: 600K  $\rightarrow$  300K:  $10^3 - 10^4$  K/s**

**Melt Spinning:  $10^6$  K/s**

**Splat Cooling:  $10^8$  K/s**

**PVD:  $10^1 - 10^7$  K/s**

**Mittels PVD lassen sich nicht nur sehr hohe Abkühlraten erzielen, sondern die Wahl der Abscheiderate  $R$  ermöglicht auch das Überstreichen eines sehr grossen Abkühlratenbereiches.**