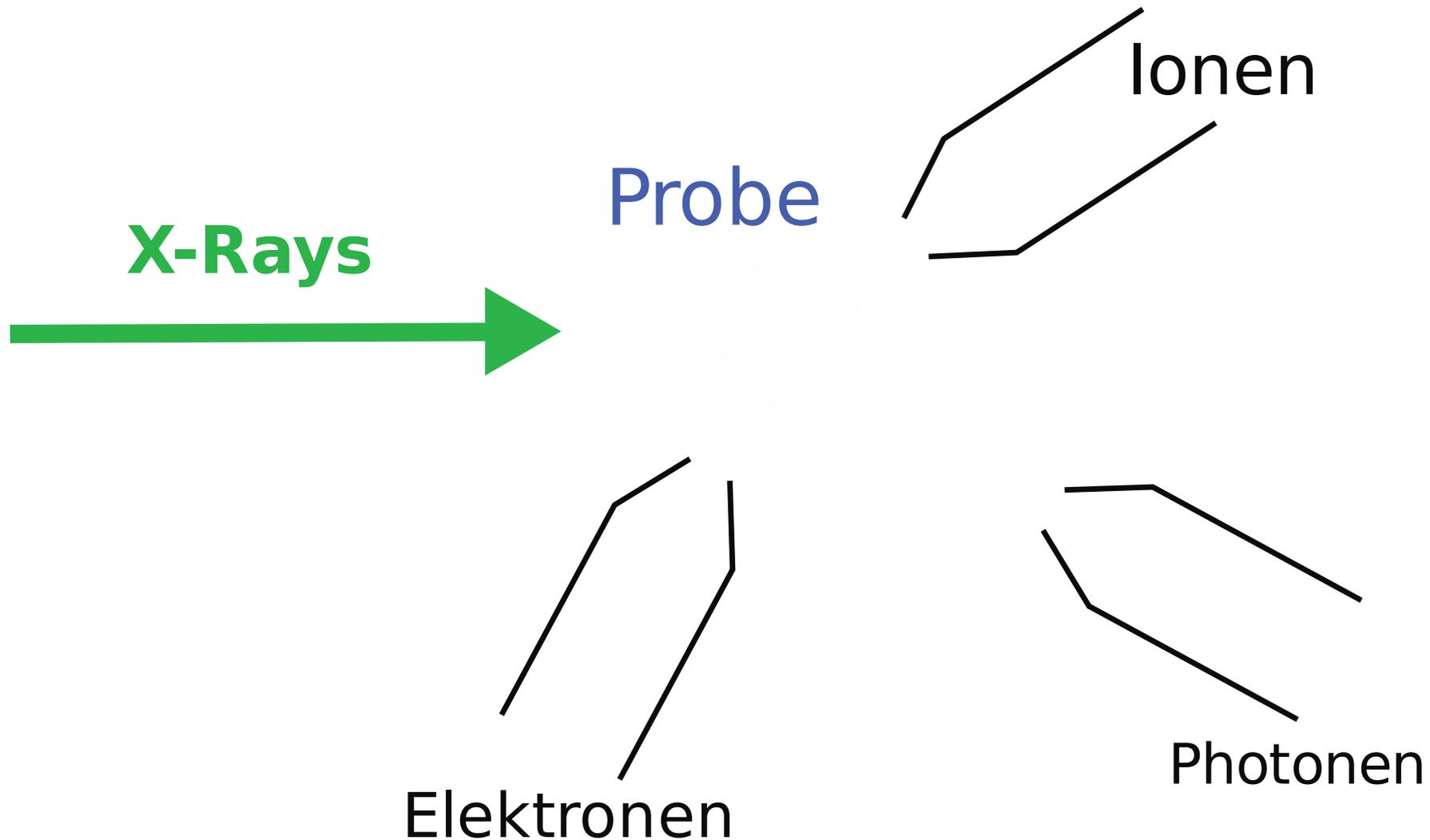


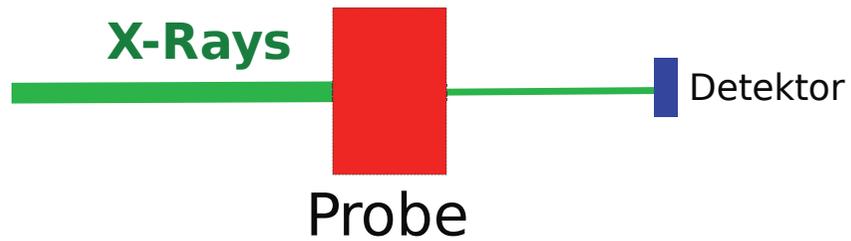
Experimentelle Methoden mit weicher Röntgenstrahlung



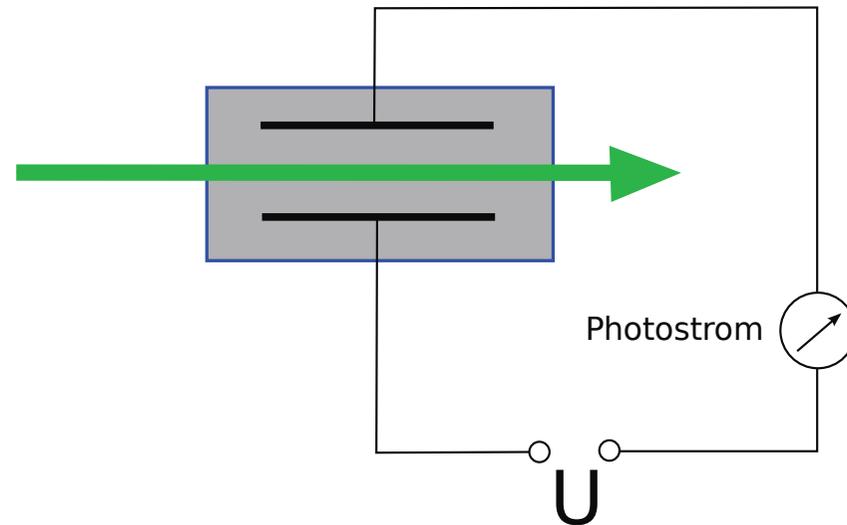
- Nachweis der möglichen Produkte nach der Photoionisation

Experimentelle Methoden – XAS

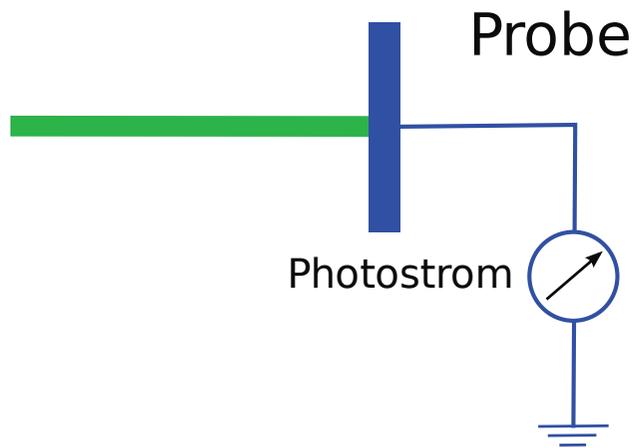
Klassische Absorption



Gaszelle



Total Electron Yield (TEY)

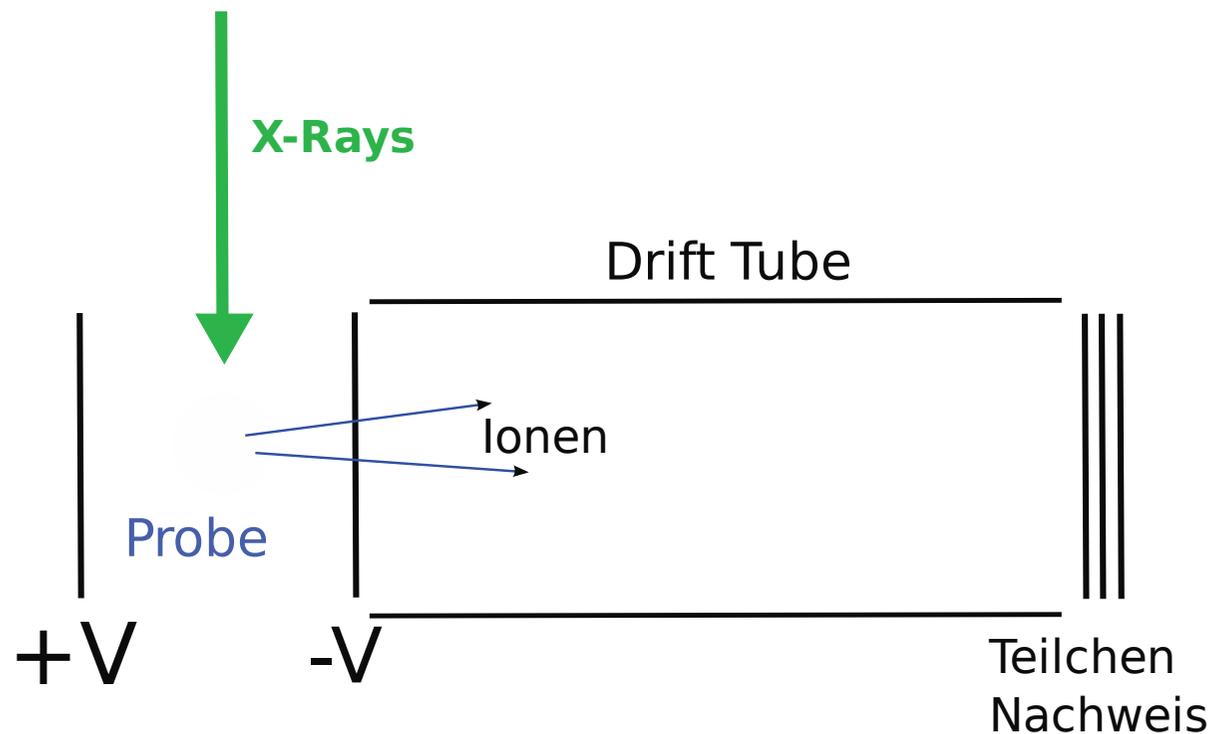


Lambertsches Gesetz $I = I_0 e^{-\alpha X}$

Experimentelle Methoden – Ionen

- Nachweis verschiedener Ionen über Massenspektroskopie
- Flugzeitmassenspektrometer (**T**ime **O**f **F**light – TOF)
- Arbeiten in einem gepulsten Betrieb

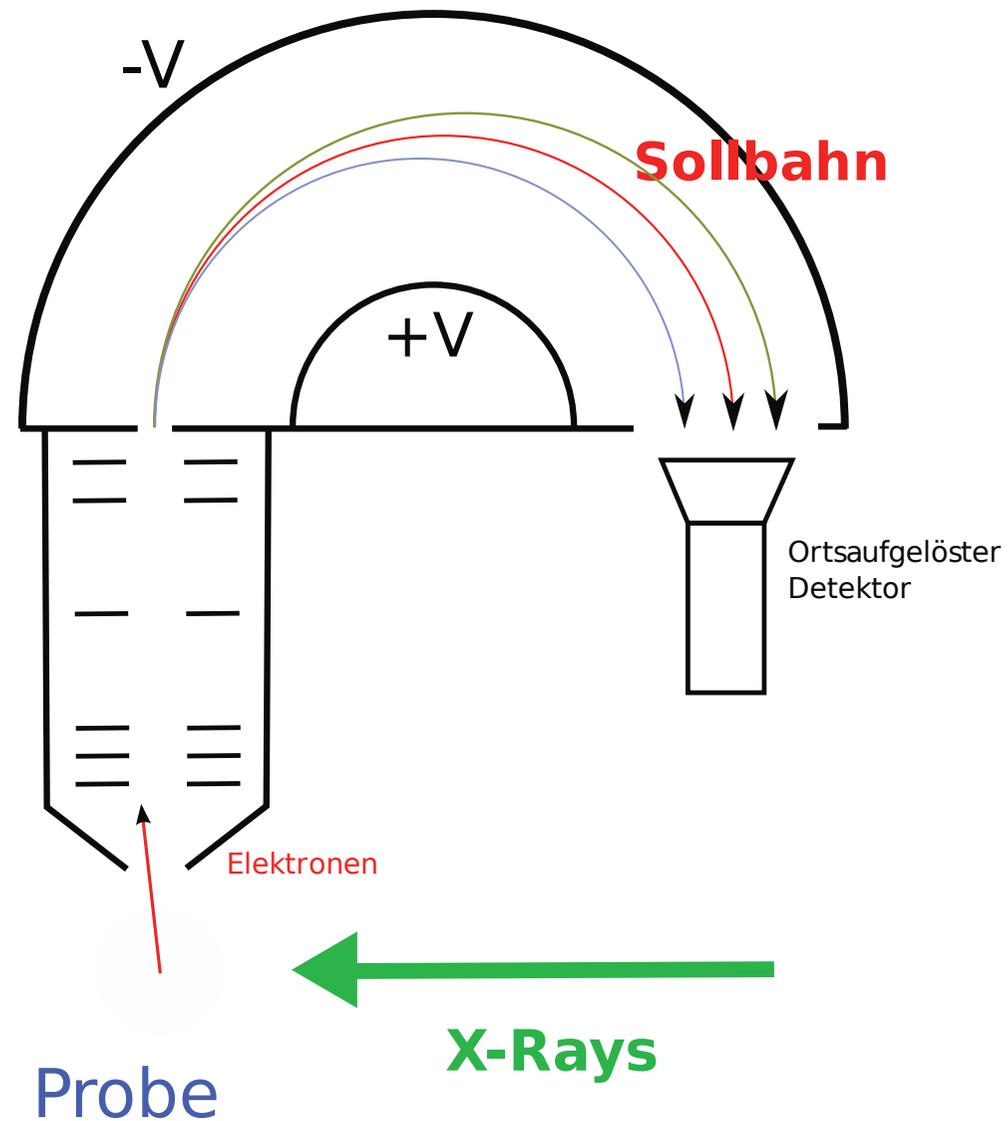
$$E_{kin} = \frac{1}{2} Mv^2 = \frac{1}{2} M \frac{s^2}{t^2} \Rightarrow M = \frac{2E_{kin}t^2}{s^2}$$



Experimentelle Methoden – Elektronen

- Verschiedene Analysatoren für Elektronen
 - Flugzeitelektronenspektrometer
Funktion, wie bei Ionen, nur wird jetzt die Energie bestimmt und nicht die Masse
Auflösungsvermögen $E/\Delta E \approx 100$
 - Hemisphärische Analysatoren
Auflösungsvermögen $E_s/\Delta E_s \approx 1000$ der Sollbahnenergie E_s
Elektronenoptik retardiert oder beschleunigt die Elektronen auf eine definierte Sollbahnenergie

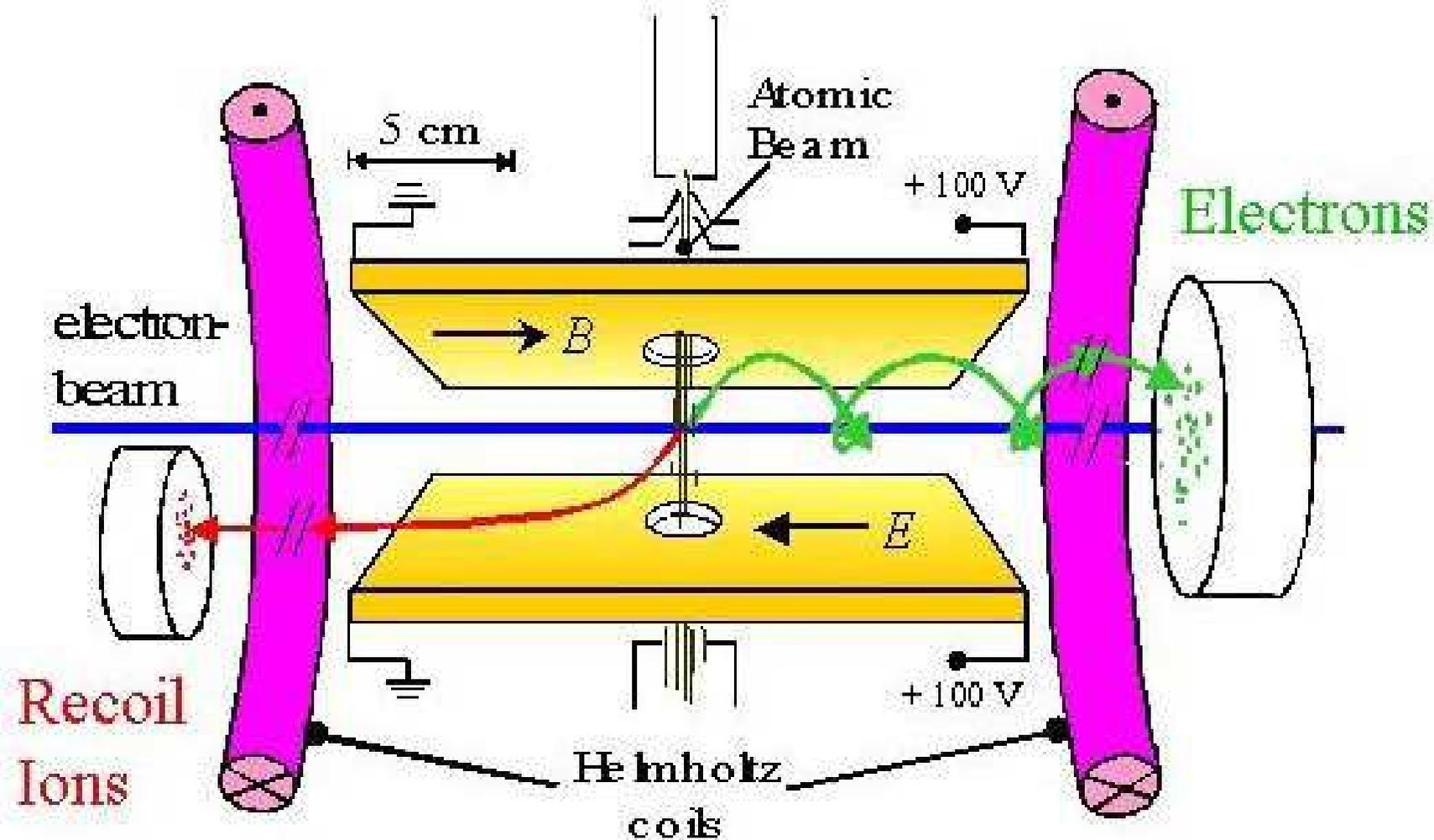
Experimentelle Methoden – Elektronen



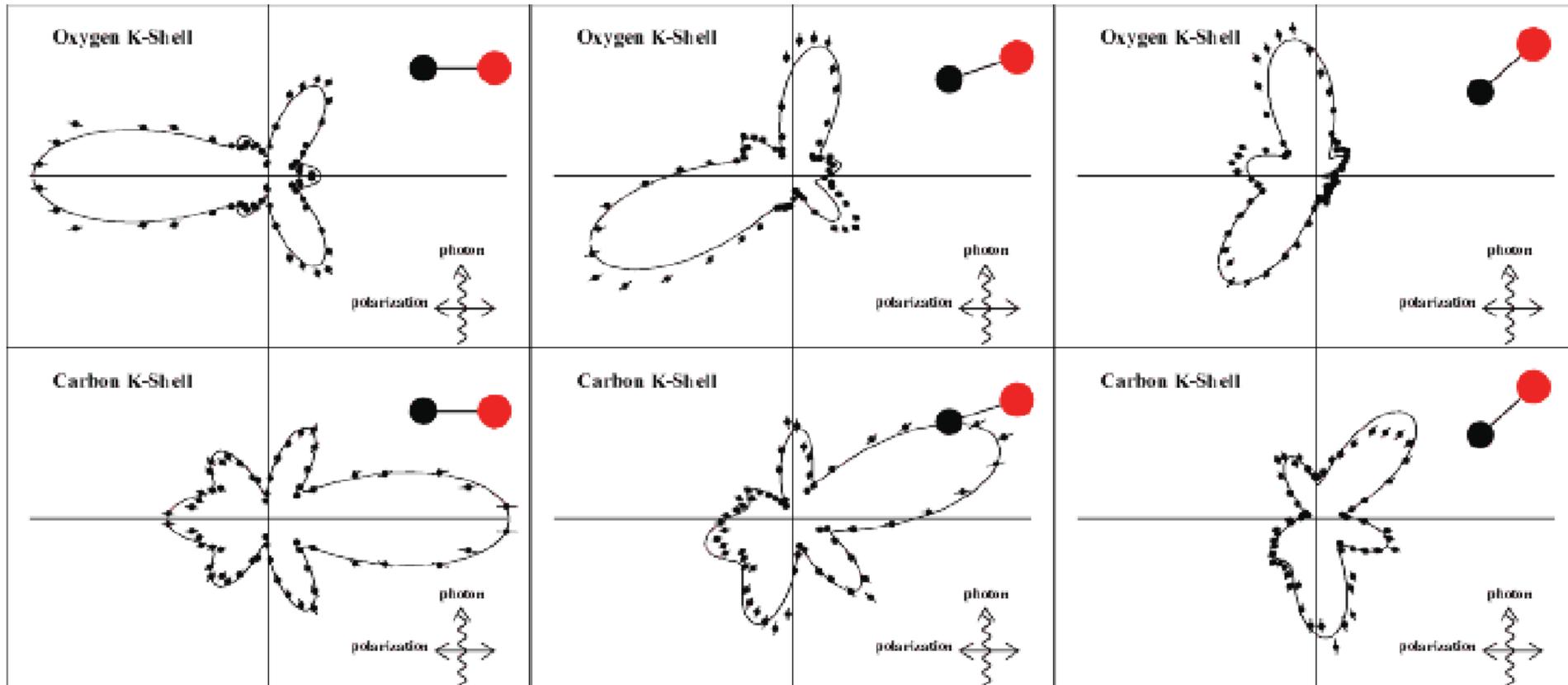
Reaktionsmikroskop

- Ein Reaktionsmikroskop (COLTRIMS) stellt ein sehr spezielles Mikroskop dar, um Reaktionen in Atomen und Molekülen vollständig, kinematisch zu messen
- Koinzidenter Nachweis aller Teilchen (Ionen, Elektronen), die bei dem Ionisationsprozeß entstehen
- Kombination aus einem Flugzeitelektronen und Flugzeitionenspektrometer
- Nachweis des Auftreffortes und der Flugzeit der Teilchen erforderlich
- Rückberechnung des Anfangsimpulses und der Anfangsenergie der Teilchen möglich
- Es darf immer nur ein Ionisationsprozeß im Wechselwirkungsvolumen auftreten

Reaktionsmikroskop – Prinzip



Reaktionsmikroskop – Beispiel



Teilchennachweis

- Wie können die entstehenden Elektronen, Ionen oder auch Photonen nachgewiesen werden ?
- Abhängig vom Experiment müssen einzelne Teilchen oder aber sehr viele gemessen werden
- Bis auf Photonen sind die Teilchen geladen → Strommessung
- Bei vielen Teilchen kann eine Strommessung mit einem modernen Elektrometer (Picoamperemeter) vorgenommen werden. Ströme bis ca. 10 fA (10^5 Elektronen) können gemessen werden, jedoch ist hier keine Zeitauflösung möglich (keine TOF's !)
- Bei einzelnen Teilchen muß eine Verstärkung erfolgen

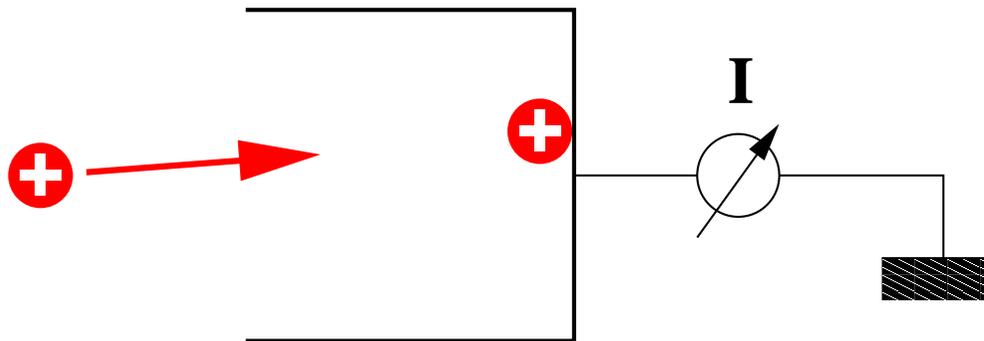
Detektoren

Typische Teilchendetektoren

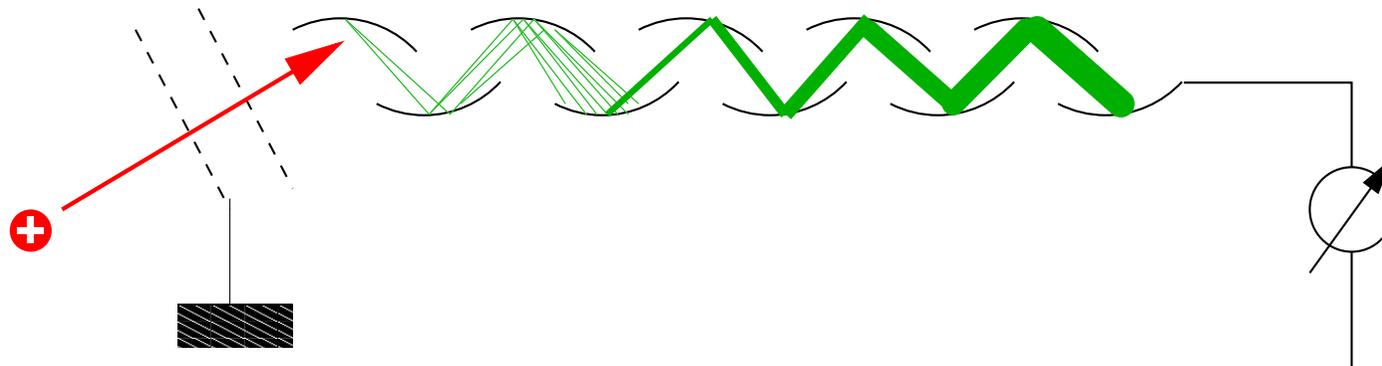
- Auffängerdetektor
- Sekundärelektronenvervielfacher
- Channeltron
- Mikrokanalplatte (Micro channel plate MCP)
- Konversionselektrode
- Delay Line-Detektor

Auffängerdetektor

- Einfachste Form des Nachweises
- Häufig wird eine Ausführung als *Faraday Becher* verwendet
- Mit diesen Detektoren können nur “viele” Teilchen nachgewiesen werden



Sekundärelektronenvervielfacher

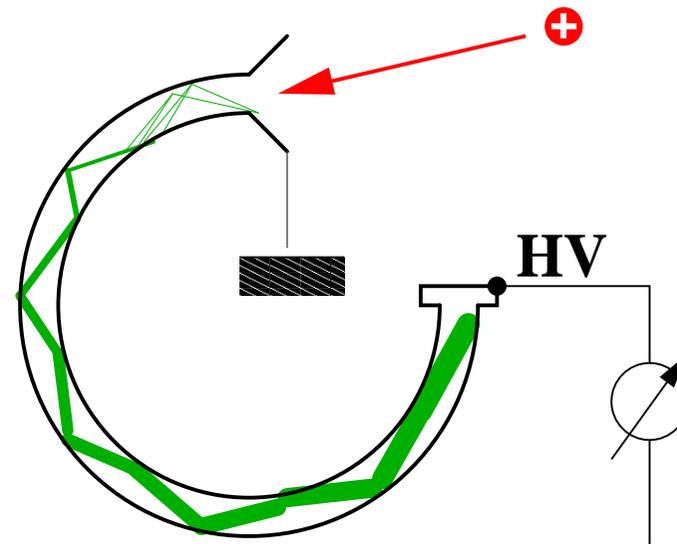


- Das einfallende Ion, Elektron oder auch Photon löst aus einer ersten Dynode Elektronen aus
- Die erste Dynode kann entsprechend beschichtet werden, daß sie besonders empfindlich auf Photonen (Photomultiplier) oder aber geladene Teilchen ist
- Die entstehenden Elektronen werden in einem elektrischen Feld zur nächsten Dynode beschleunigt und lösen dort weitere Elektronen aus . . .
- Bei n Dynoden ergibt sich typisch eine Verstärkung von 3^n
- Typische Verstärkungen sind $10^6 - 10^9$

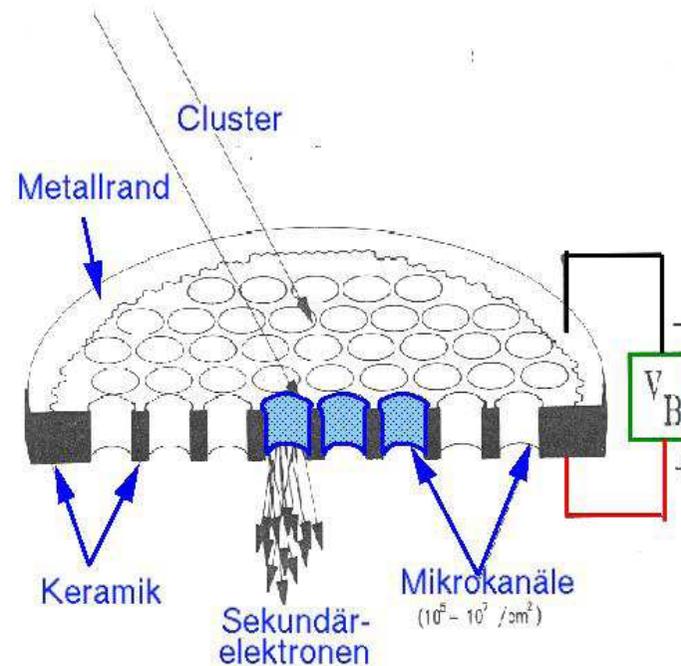
Channeltron

- Ein Channeltron ist eine spezielle Version eines Sekundärelektronenvervielfacher
- Dieses besteht nicht aus diskreten Dynoden, sondern aus einem Rohr, das mit einer hochohmigen Beschichtung versehen ist, aus der Sekundärelektronen emittiert werden können.
- Widerstand eines Channeltron liegt typisch bei $10^9 \Omega$, Typische Hochspannungen sind 3 kV

- Die Verstärkung liegt bei etwa 10^8
- Channeltrons sind i.A. recht robust und "preiswert"

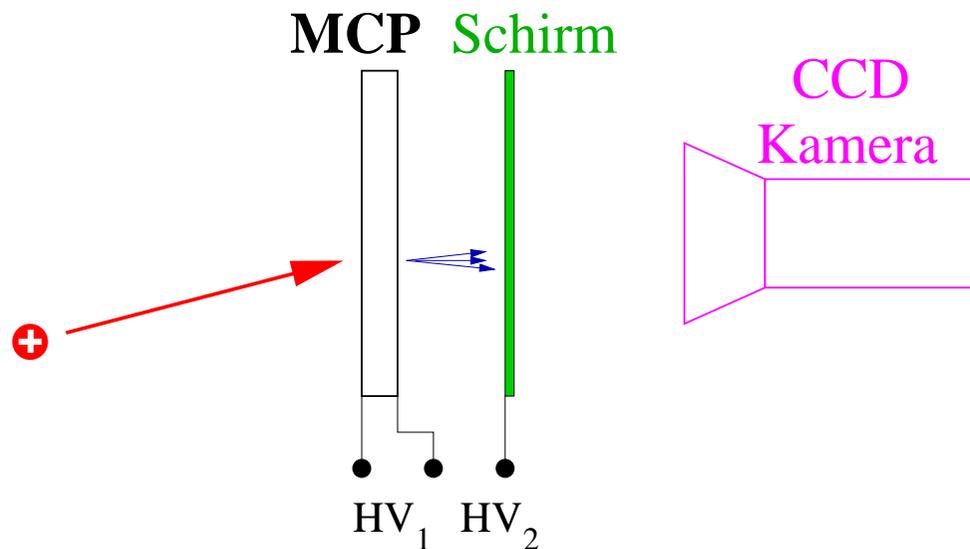


Micro channel plate – MCP



- Ein MCP kann als eine parallele Anordnung vieler Channeltrons angesehen werden. Dadurch wird eine große, empfindliche Oberfläche erreicht
- MCP's werden häufig hintereinander geschaltet, um eine größere Verstärkung zu erzielen

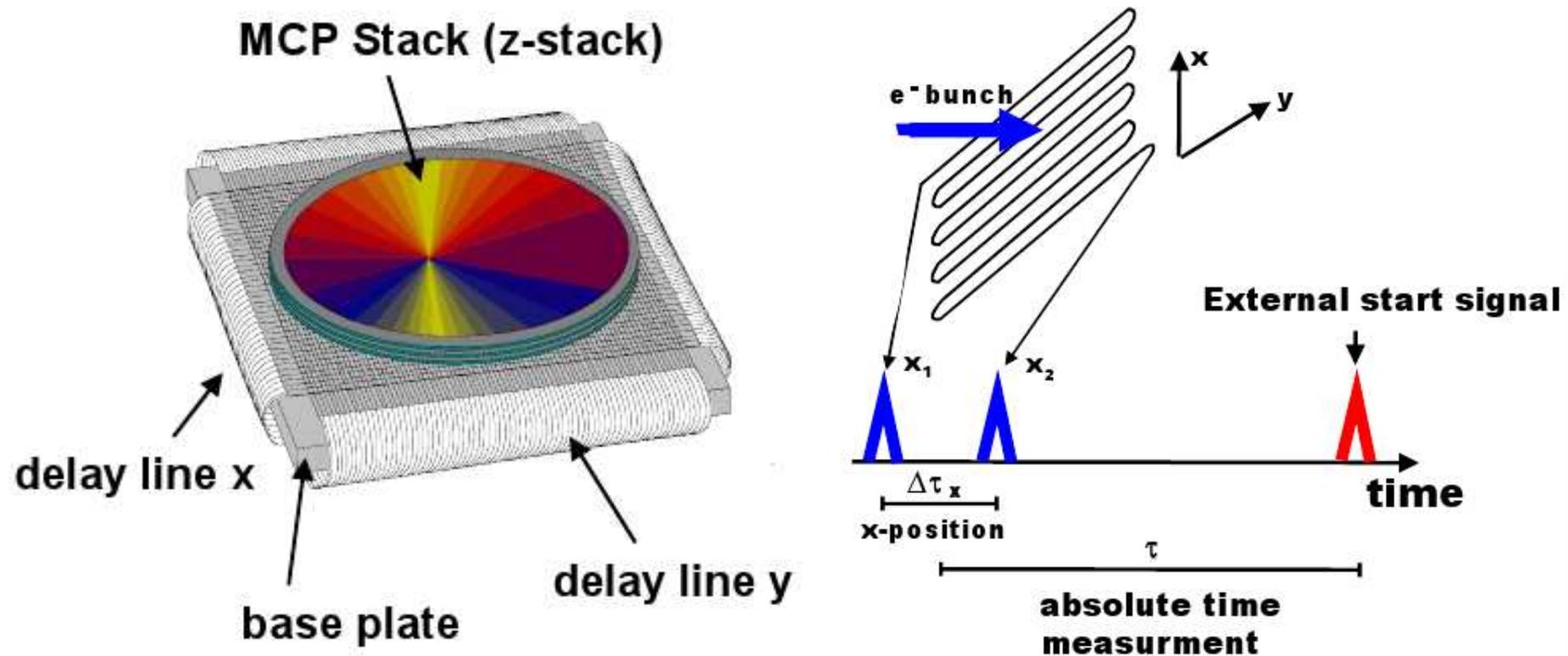
Konversionselektrode



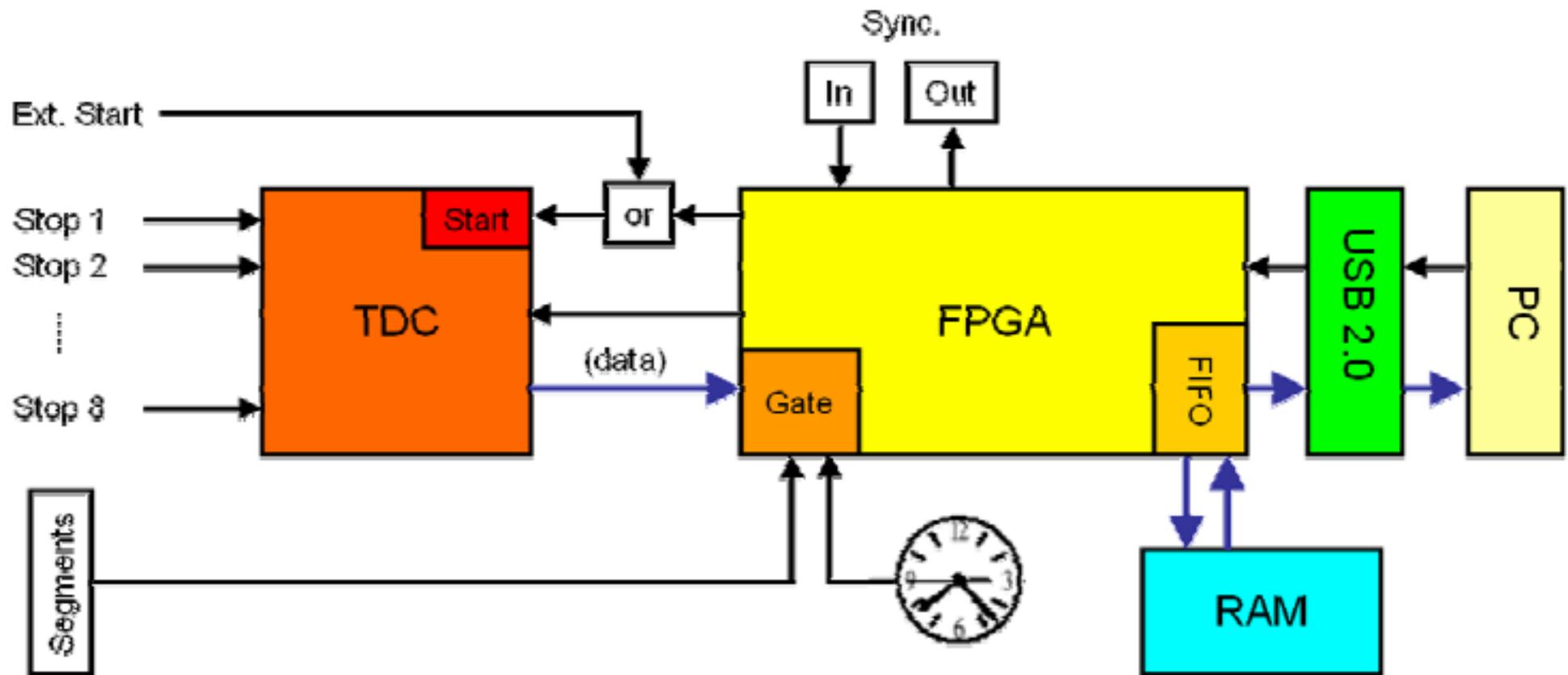
- Der von einem MCP erzeugte Elektronenschauer kann mittels einer weiteren Hochspannung HV_2 auf einen schnellen Phosphorschirm beschleunigt werden.
- Ein nachgewiesenes Teilchen erzeugt einen Leuchtpunkt auf dem Schirm, der mit einer CCD Kamera nachgewiesen werden kann
- Es ist somit ein ortsempfindlicher Nachweis der Ionen möglich
- Prinzip des Nachtsichtgerätes
- Nachteil: keine gute Zeitauflösung durch die CCD Kamera

Delay Line-Detektor

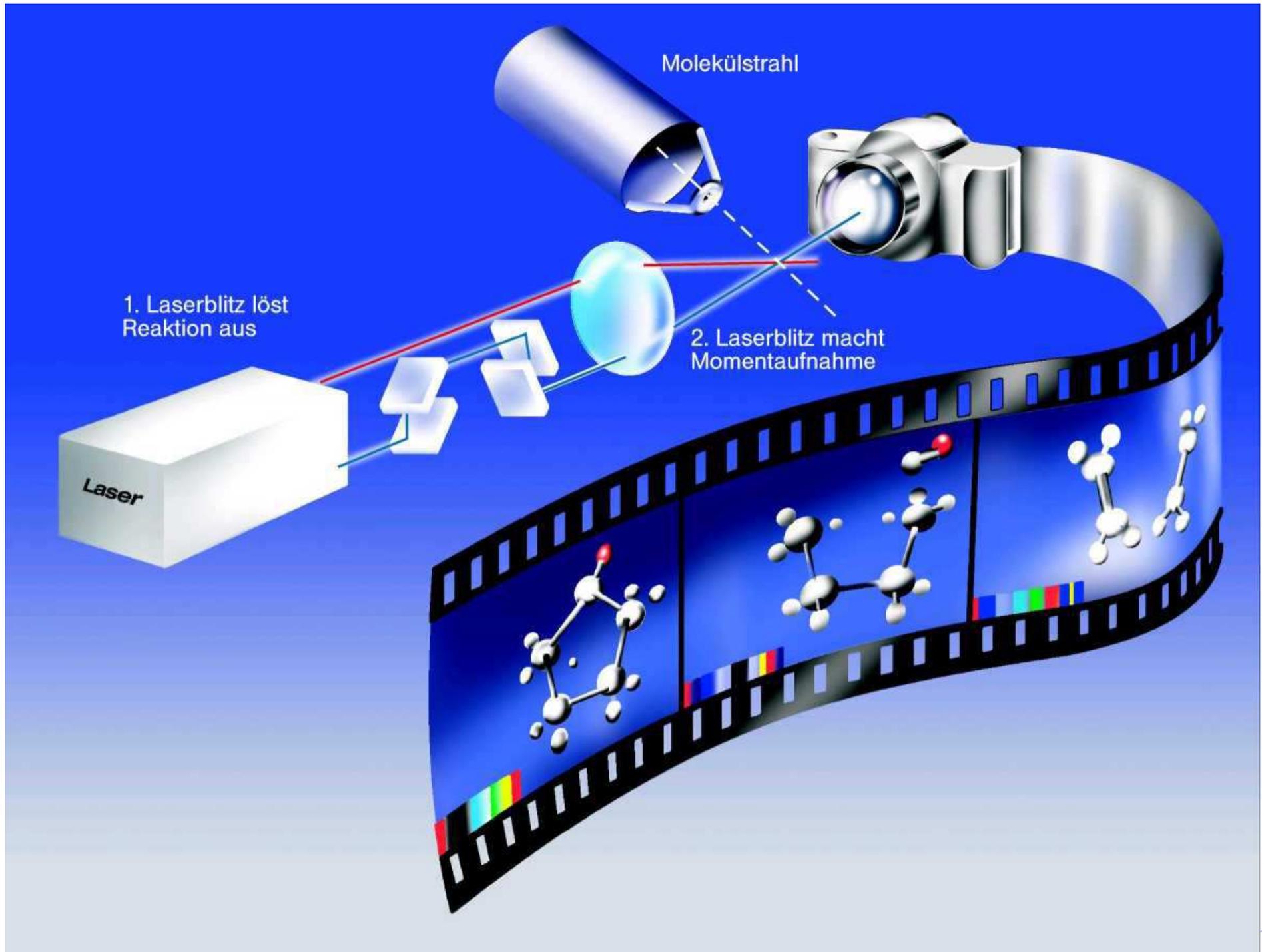
- Für, z.B., ein Reaktionsmikroskop wird ein sehr schneller, koinzidenzfähiger 2D Detektor benötigt
- Delay Line Detektoren



Delay Line-Detektor – Elektronik



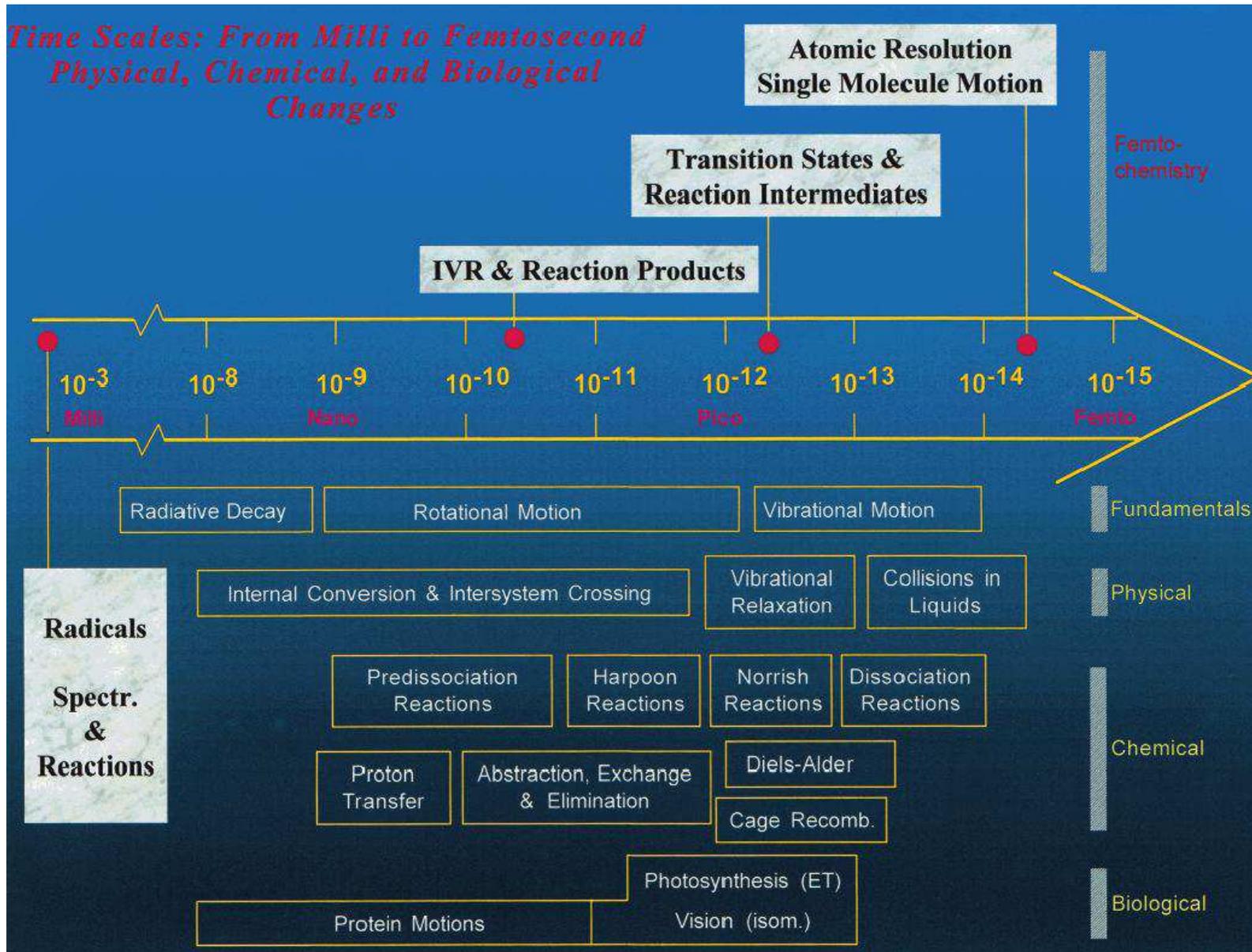
- Prinzip der Datenaufnahme mit einem Delay-Line Detektor der Firma Surface Concept



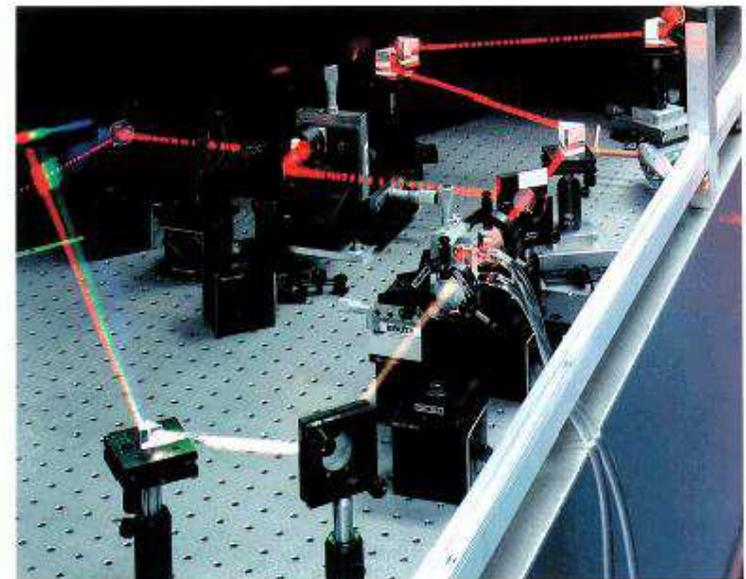
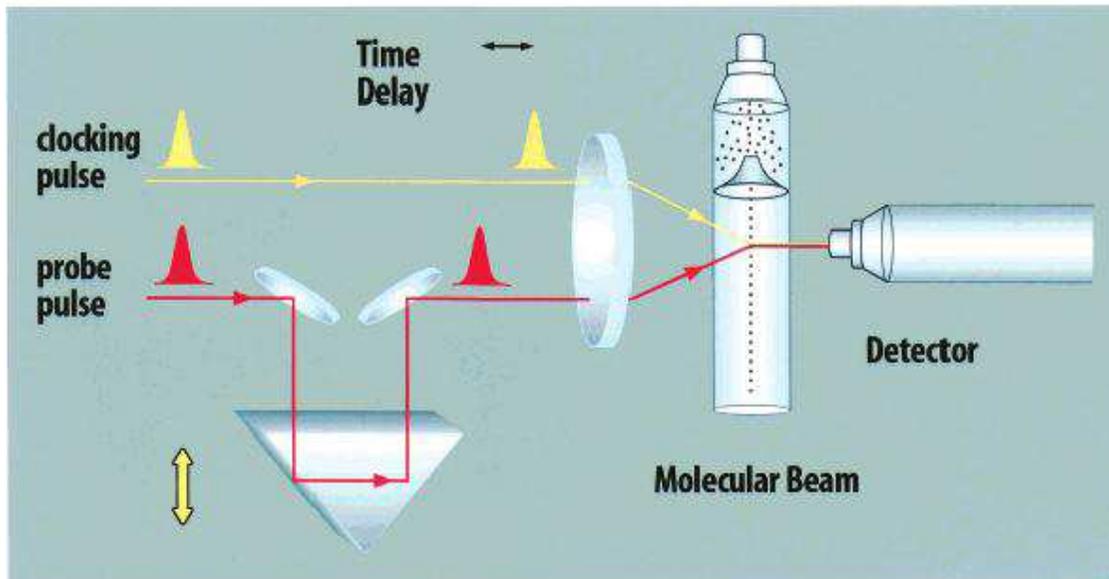
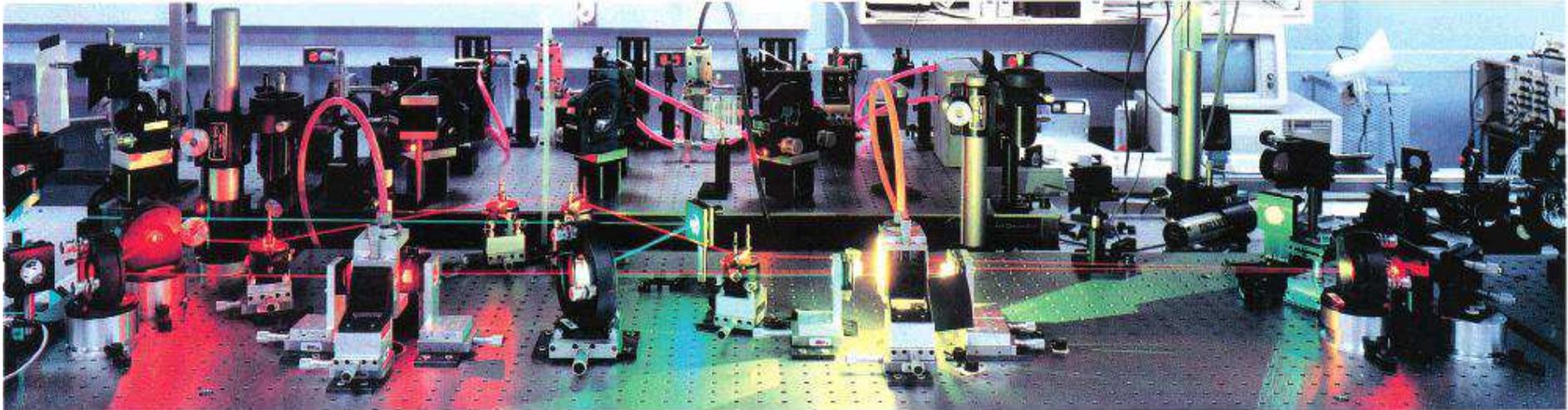
Pump-Probe Spektroskopie

- Untersuchung dynamischer Prozesse, die auf einer Zeitskala von 10^{-10} – 10^{-16} s ablaufen
- ⇒ Chemische Reaktionen
- Nobel-Preis 1999 für die Entwicklung dieser Methode an A. Zewail
 - Nutzung von Lasern mit ultrakurzen Pulsen im ps und fs Bereich

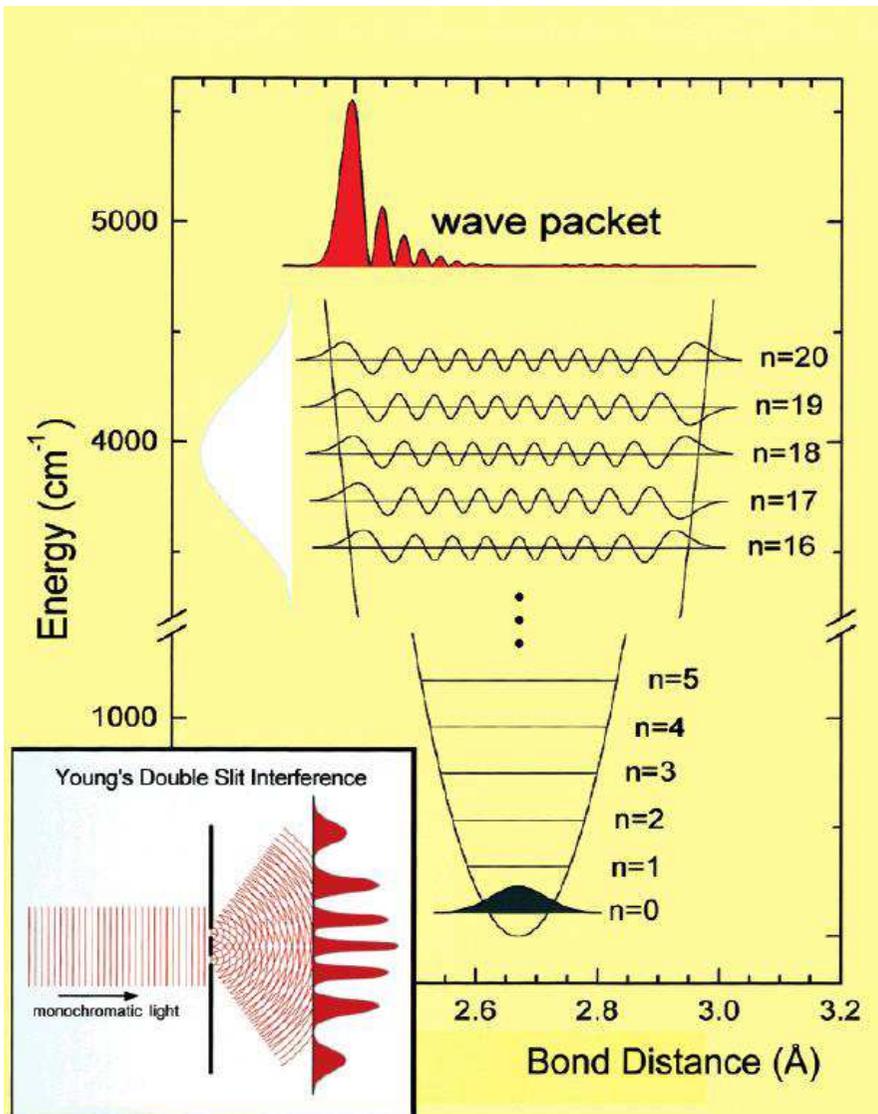
Pump-Probe Spektroskopie



Pump-Probe Spektroskopie

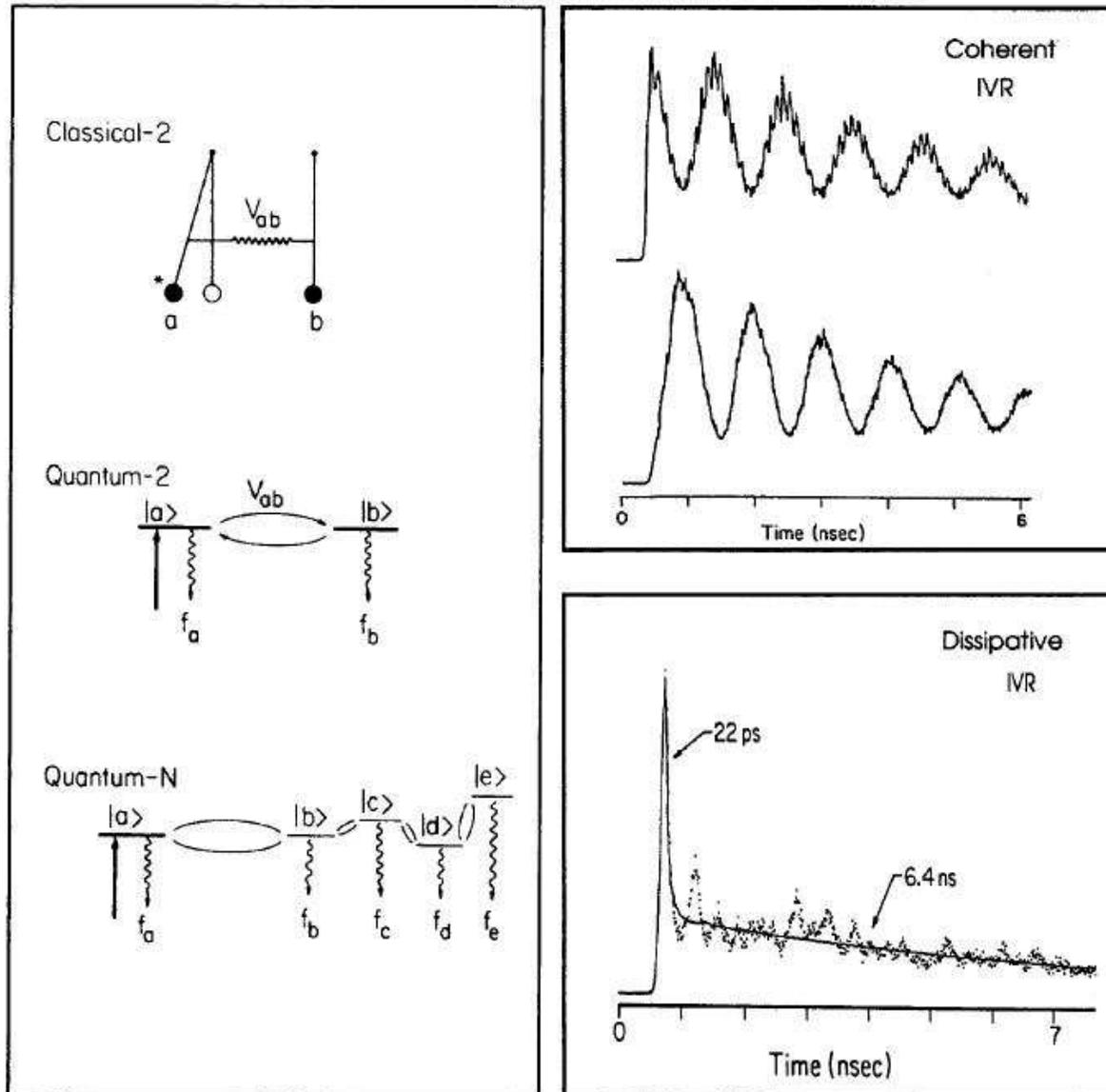


Pump-Probe Spektroskopie



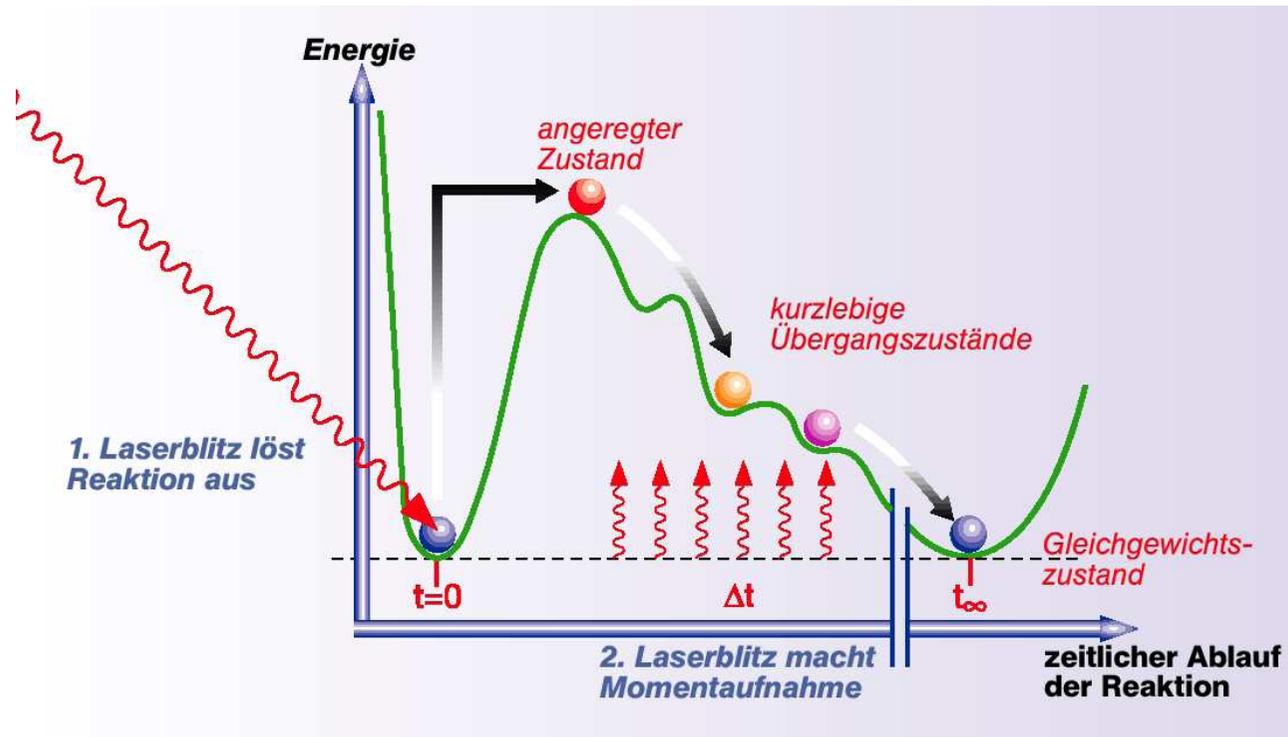
- Anregung eines Wellenpaketes durch kohärente Überlagerung von Eigenzuständen
- Wellenpaket oszilliert in dem Potential

Pump-Probe Spektroskopie



- Vergleich mit einem klassischen Oszillator
- Quantenmechanisches Analogon

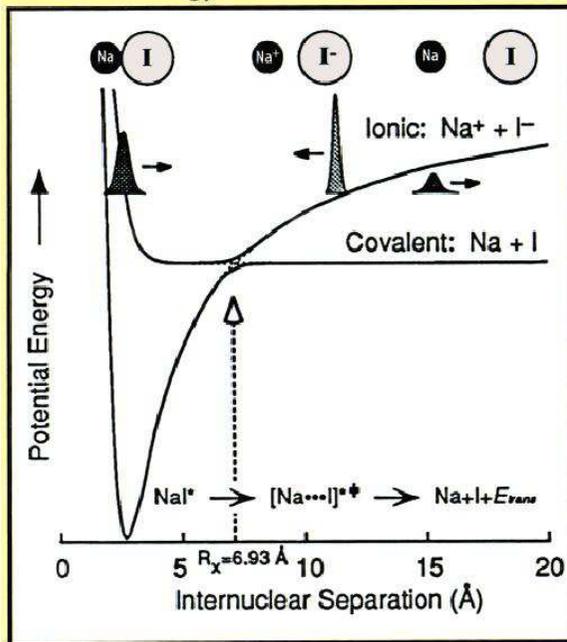
FEL – Pump-Probe Spektroskopie



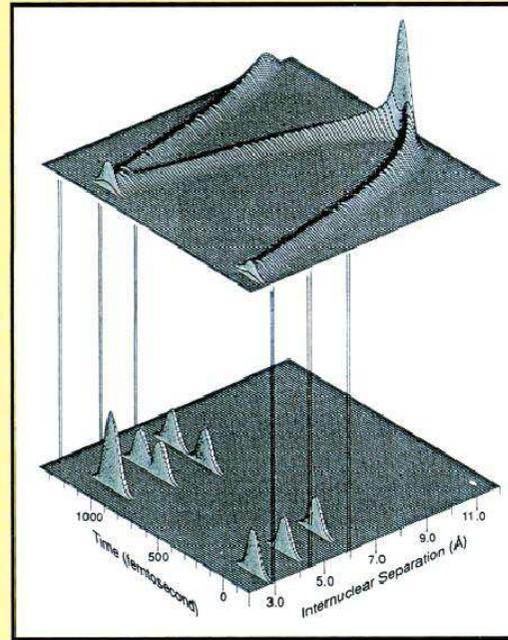
- System wird mit einem ersten Pumppulse angeregt und der Zustand des angeregten mit einem Probepuls nach einer definierten Zeit abgefragt.
Im optischen Bereich kann eine Zeitauflösung bis zu einigen fs erreicht werden.

Pump-Probe Spektroskopie – NaI Molekül

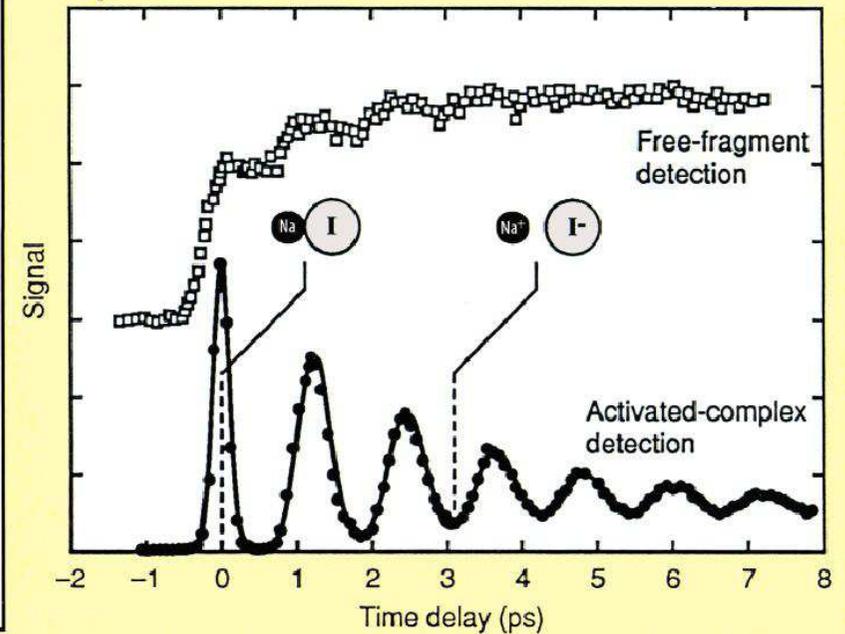
Potential Energy Surfaces



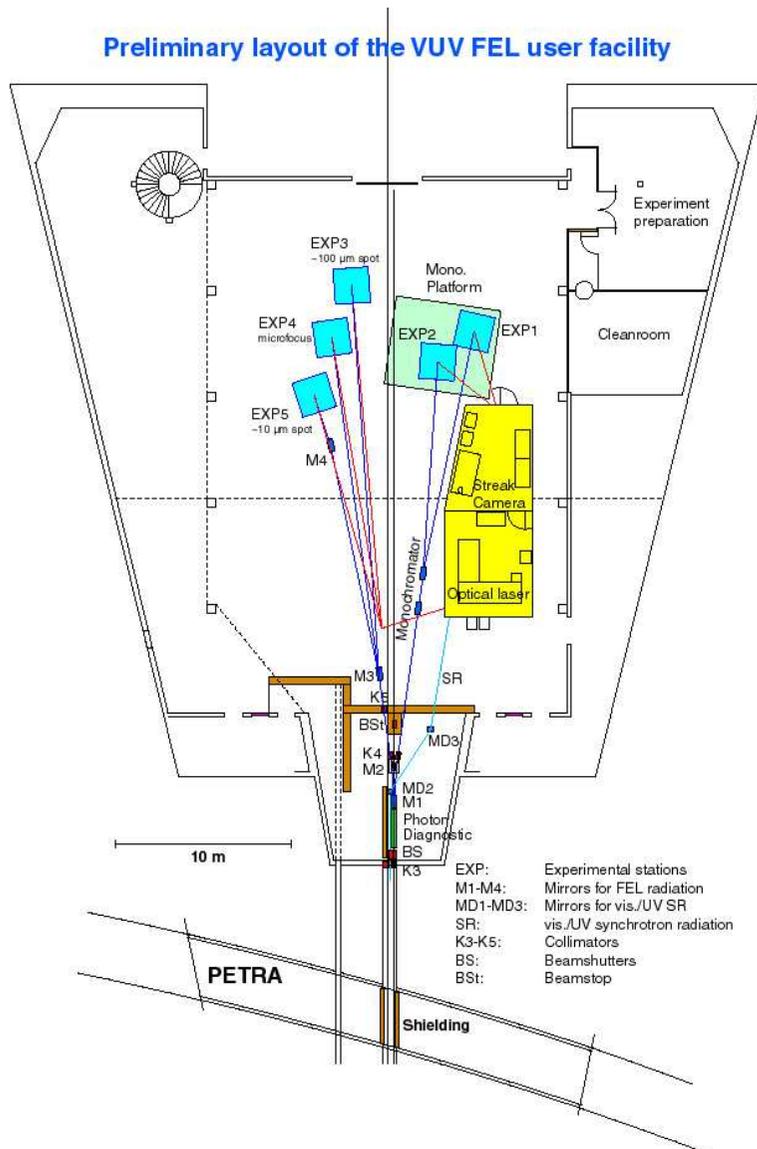
Trajectories R,t



Experimental



FEL – Pump-Probe Spektroskopie

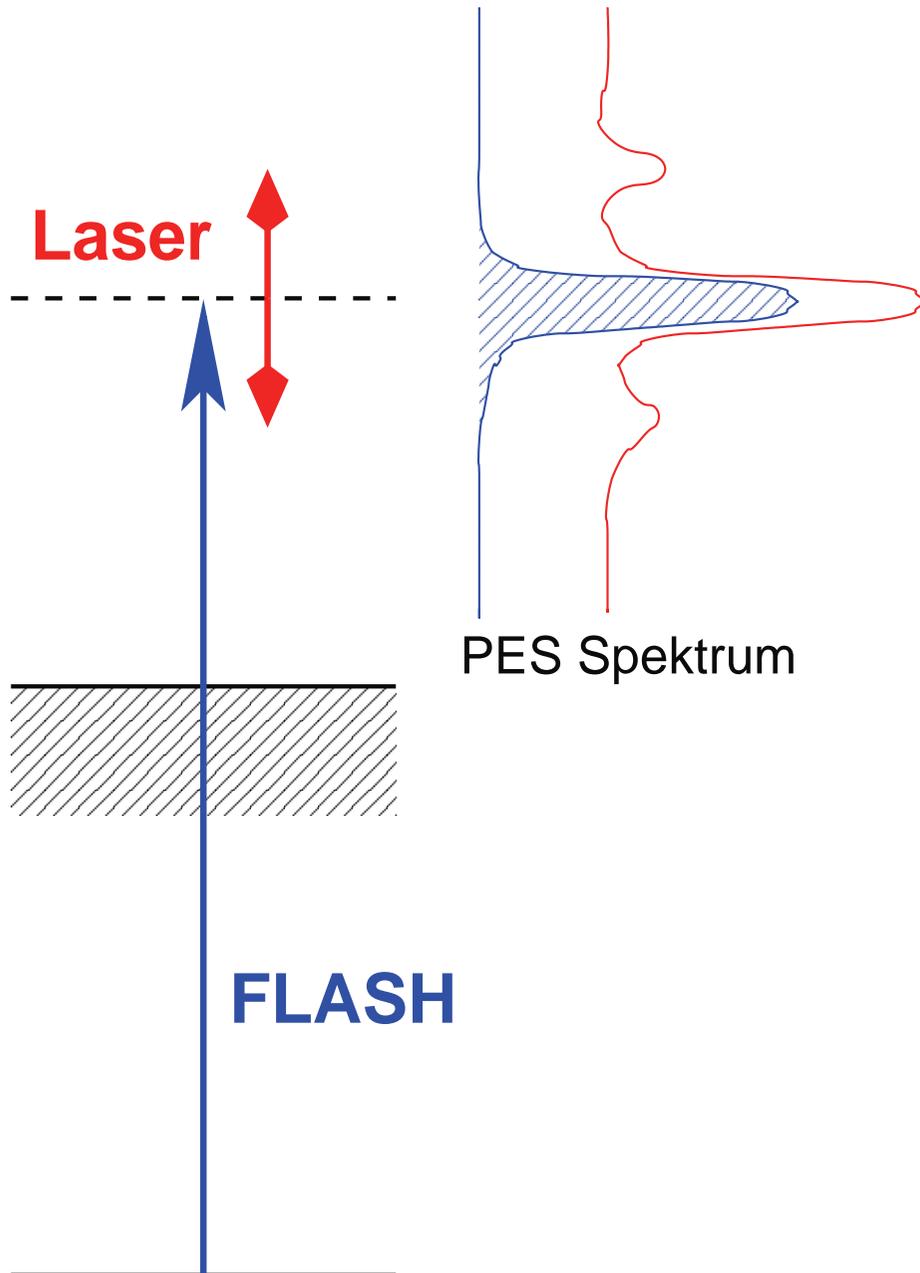


- FLASH hat eine Pulsdauer von ca. 10-100 fs
- Die FLASH Facility wird einen zum FEL synchronisierten Femtosekundenlaser bereitstellen
- Der fs-Laser wird im sichtbaren (VIS) und infraroten (IR) Bereich durchstimmbare sein
- Pump-Probe Experimente mit XUV und VIS Licht werden möglich
- Für XUV-XUV Pump Probe Experimente soll ein XUV Beamsplitter entwickelt werden

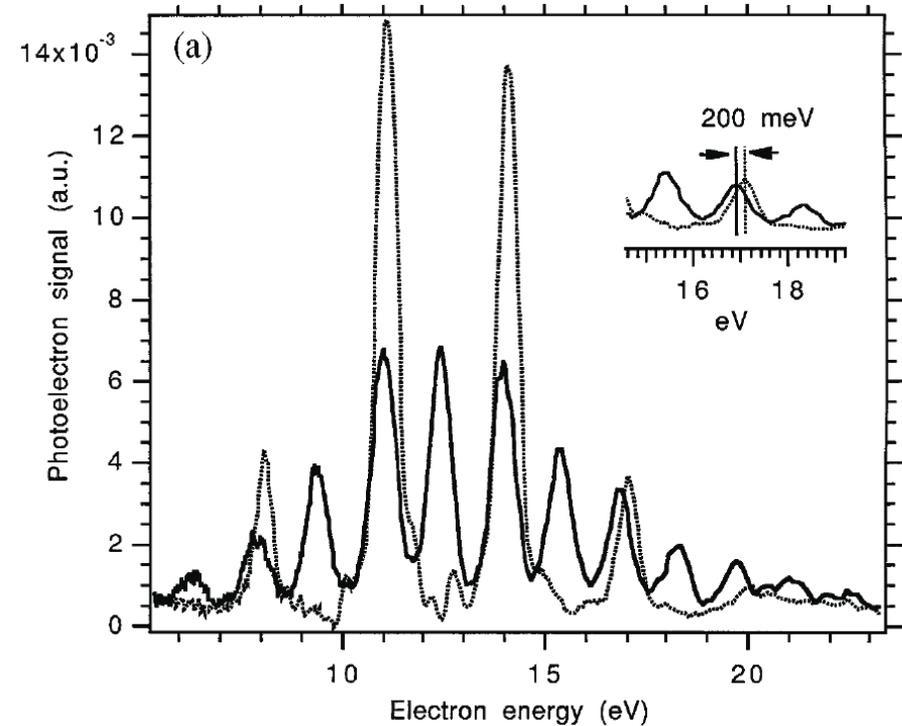
FEL – Pump-Probe Spektroskopie

- **Problem:** Synchronisation von fs-Laser und FEL und Festlegen des Delays zwischen den Laserpulsen
- Beide verwenden die gleiche Masterclock, aber der FEL hat einen nicht vorhersagbaren Jitter
- Thermische Schwankungen können leicht ein Delay verursachen
Abstand Elektronengun-Undulatorende: > 100 m
Abstand Undulatorende-Experiment: ca. 70 m 100 fs entsprechen $3 \cdot 10^{-5} \mu\text{m}$
- Eine Entfernung von mehr als 200 m müsste somit auf besser als $10 \mu\text{m}$ konstant gehalten werden.
- Elektronischer Jitter ist dann noch nicht enthalten
- Das Delay kann somit nicht eingestellt werden, wie bei *normalen* Pump-Probe Messungen, sondern muß nachträglich gemessen werden.
- **Wie ?**

Side Bands



- ATI: Above Threshold Ionization
- Seitenbänder (Site bands) in den Photoelektronenspektren

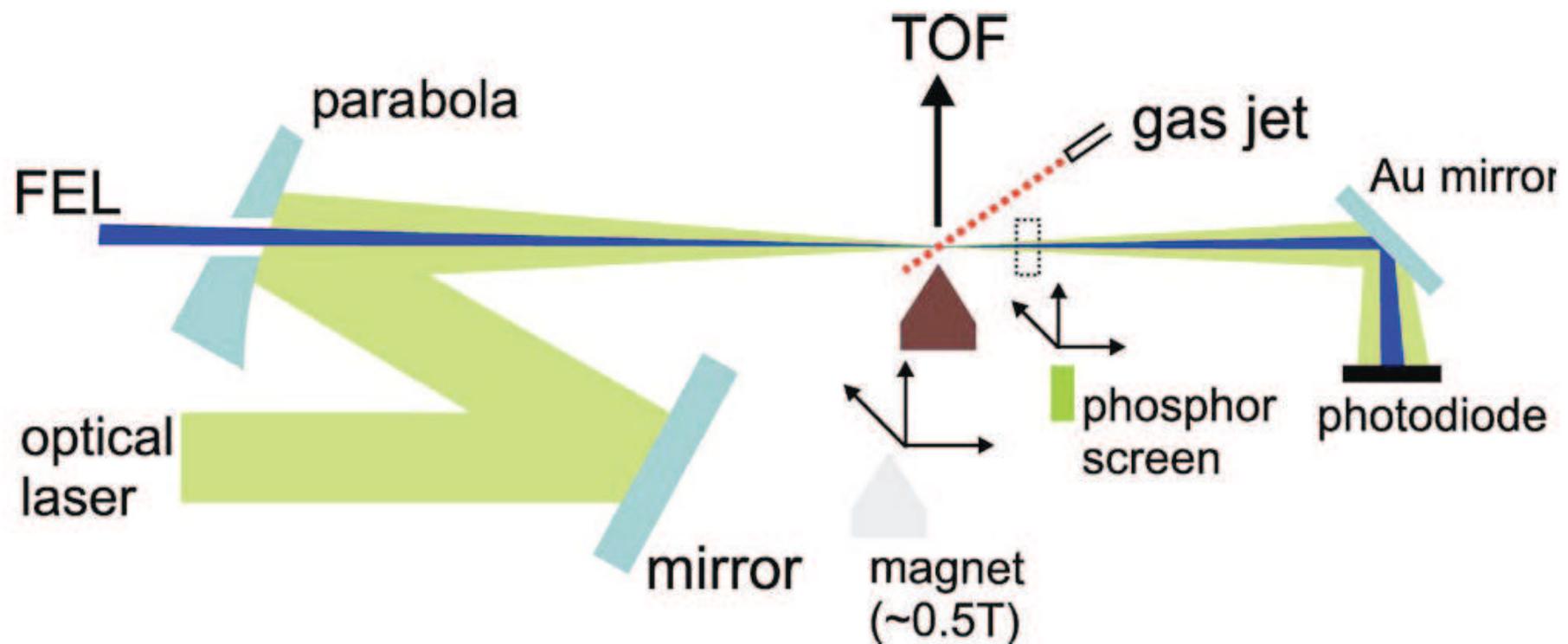


Glover

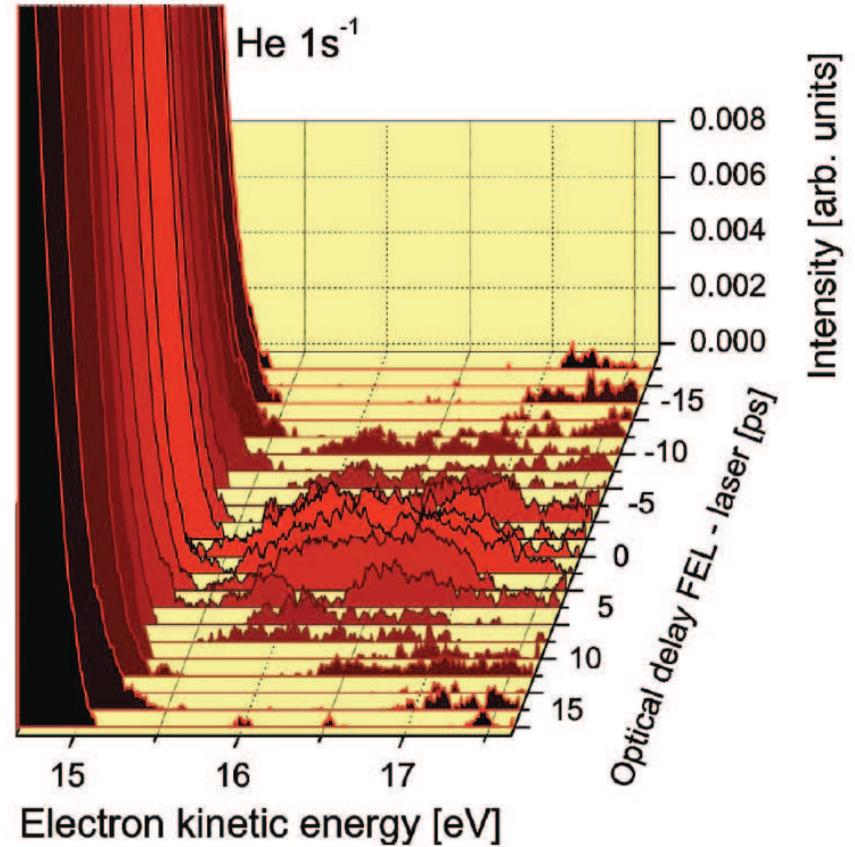
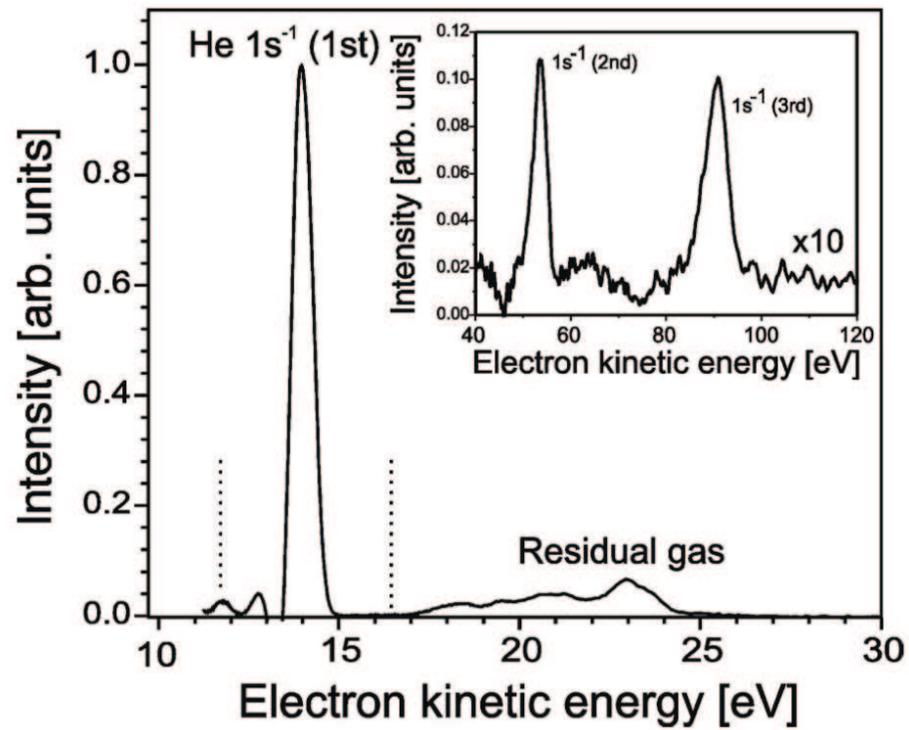
et al., Phys. Rev. Lett. **76**, 2468 (1996)

FLASH – Side Bands

- Seitenbänder treten nur bei einem Überlapp der FEL und der Laser Strahlung auf
- Finde den Überlapp !



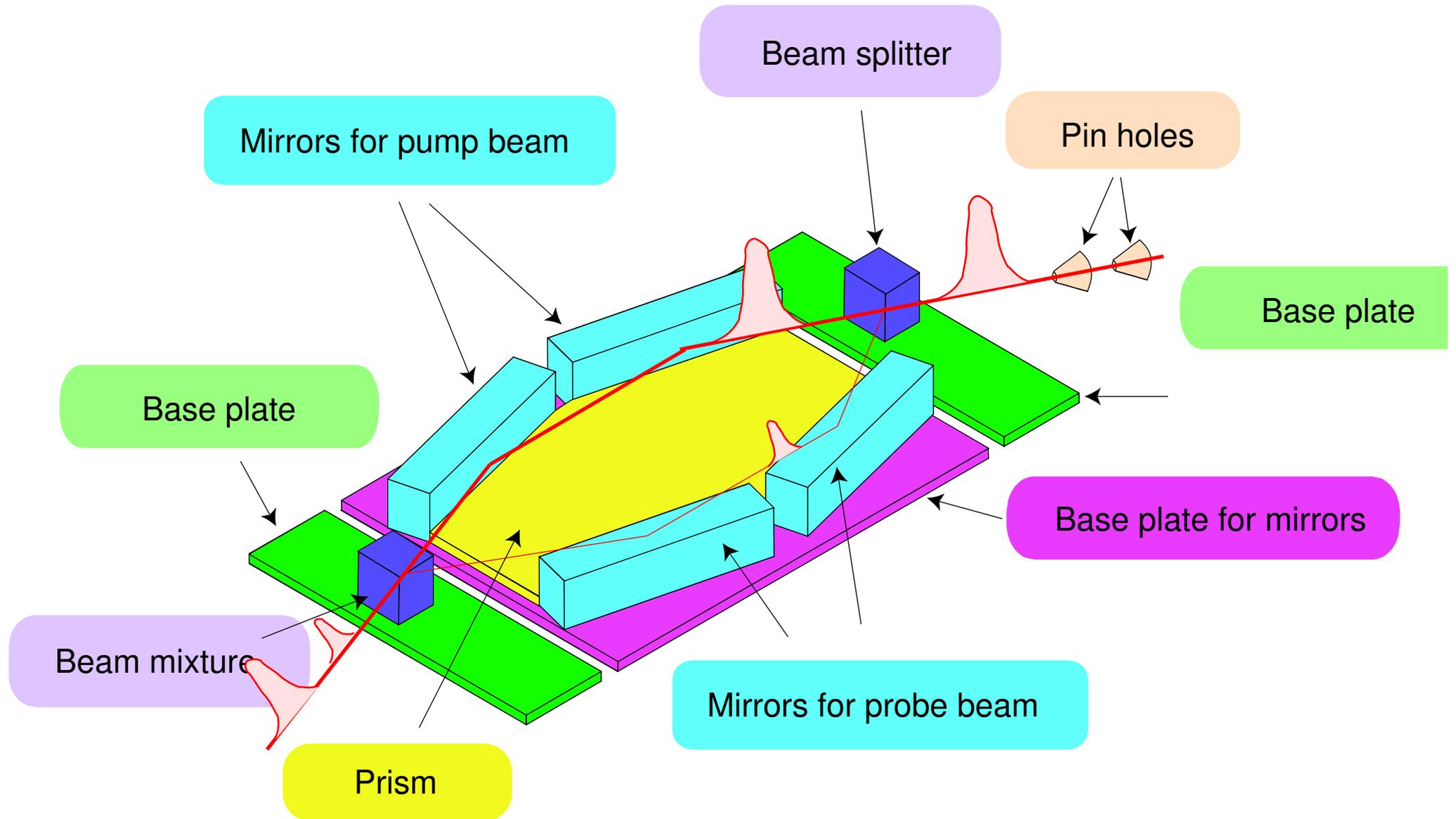
FLASH – Side Bands



FEL – Zeitaufgelöste Experimente

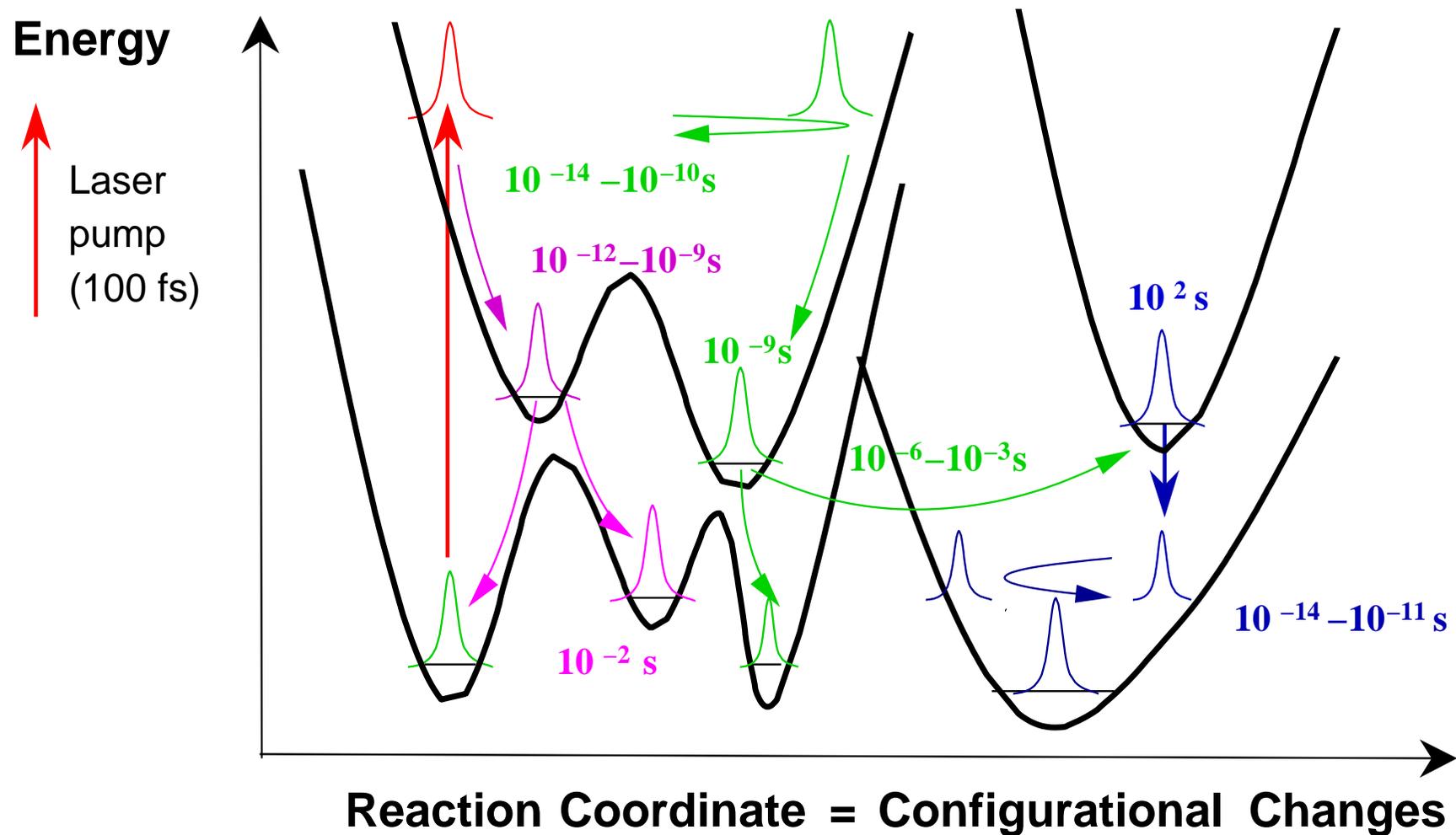
- Vorteil der Rumpfniveauanregung am FEL
Im Idealfall kann bei kleinen Molekülen elementspezifisch der Zustand jedes einzelnen Atoms abgefragt werden.
 - VUV und XUV: elektronischer Zustand
 - Röntgenbereich: geometrische Struktur über Beugung
- An Synchrotrons waren bis jetzt nur Experimente mit ca. 50-100 ps Zeitauflösung möglich
 - Für die allermeisten Prozesse, die untersucht werden sollen, ist das viel zu langsam !
 - Slicing Projekte (ALS Berkeley, BESSY II): zu wenige Photonen
- Was wird nun am FEL möglich sein ?
 - Zeitaufgelöste Röntgenbeugung
 - Wie laufen chemische Reaktionen ab
 - Dynamik des Photoionisationsprozesses
 - Dynamik magnetischer Systeme

XUV Beamsplitter



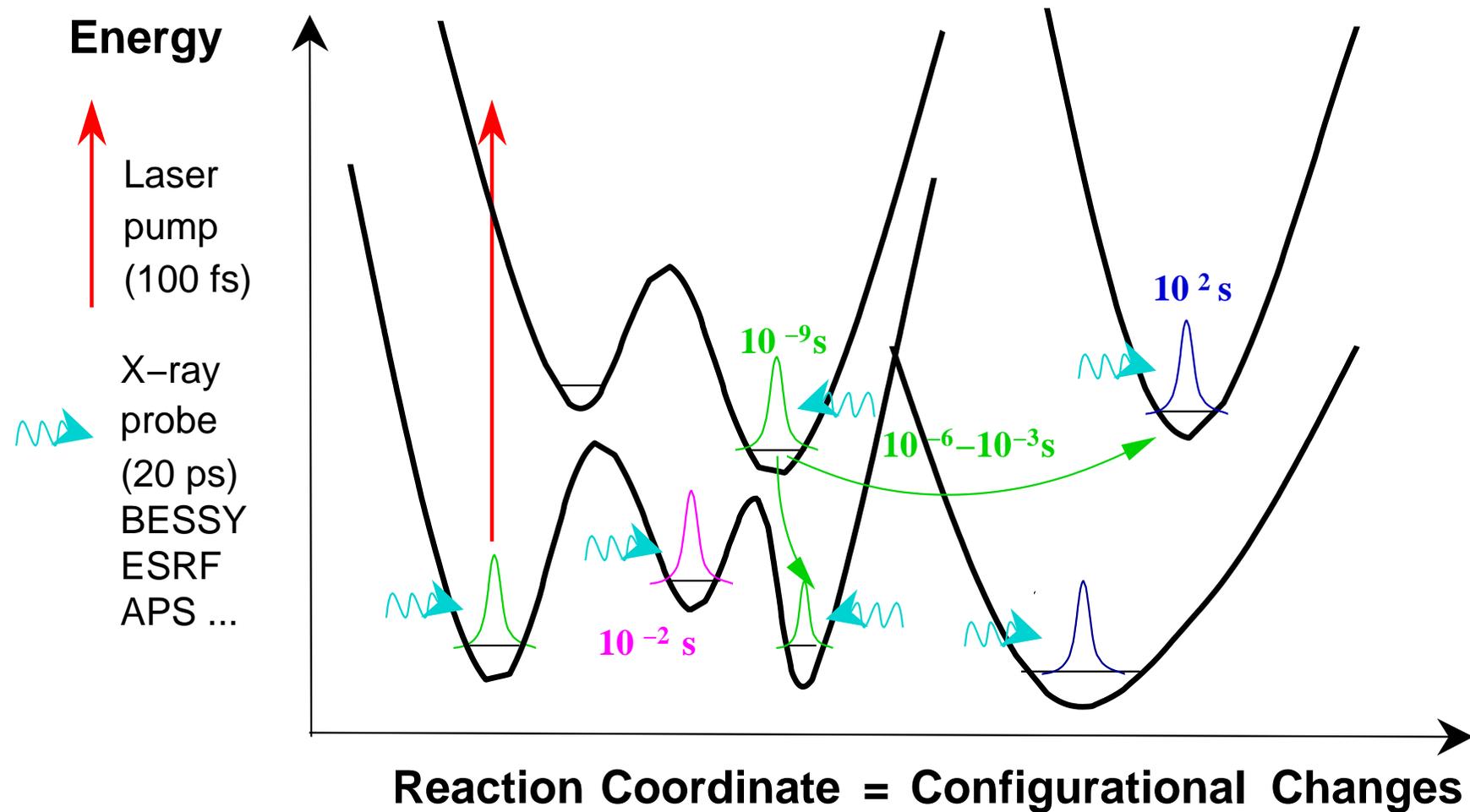
FEL – Chemische Reaktionen

In Situ Characterisation of a Chemical Reaction



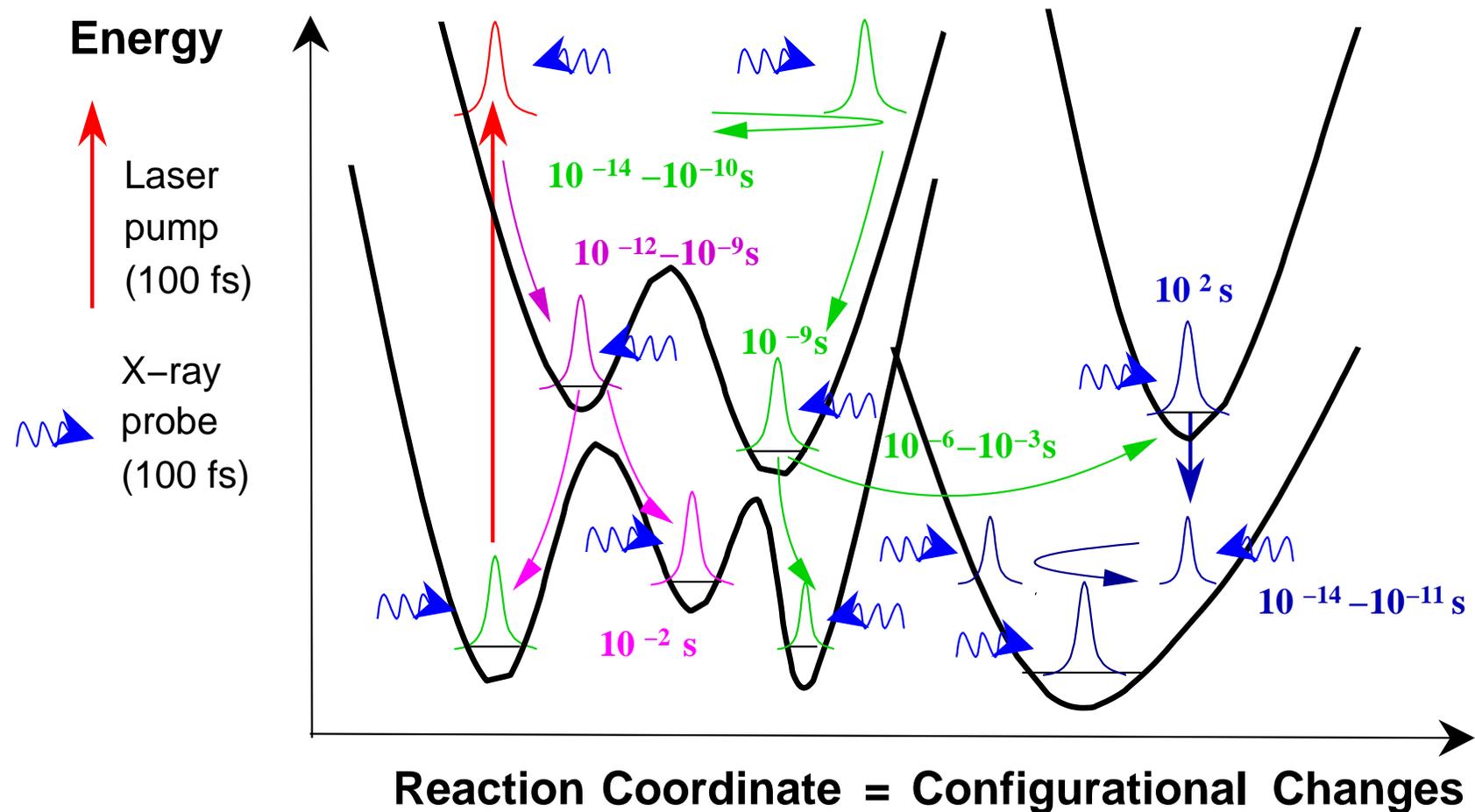
FEL – Chemische Reaktionen

In Situ Characterisation.... as seen by SR puls



FEL – Chemische Reaktionen

In Situ Characterisation.... as seen by X-ray puls



Zeitaufgelöstes ESCA

