

# Attosekunden - Horizonte

Marc Vrakking  
[vrakking@mbi-berlin.de](mailto:vrakking@mbi-berlin.de)



Impulsvortrag

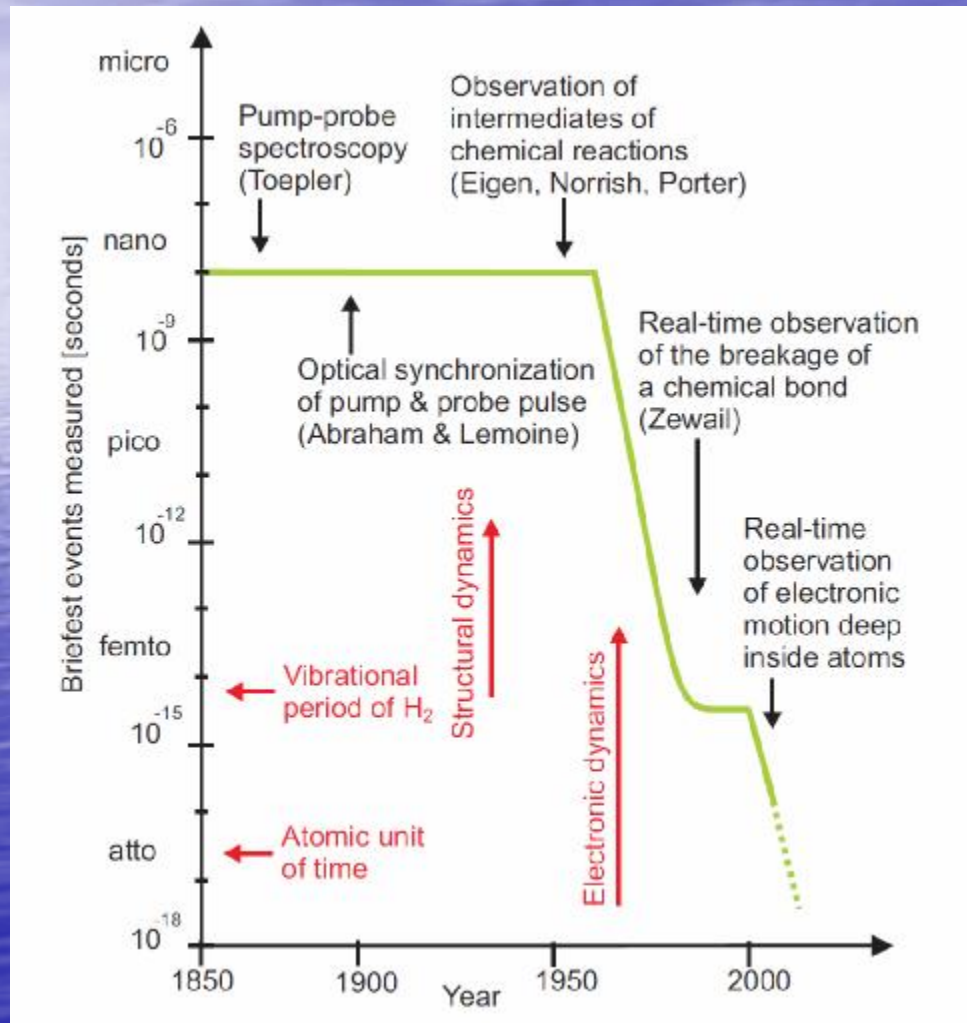
Photonik 2020 - Lösungen aus Licht, Berlin, 23-3-2010



Wo sind wir jetzt?

Wo wollen wir hin?

# Laser Pulse werden immer kürzer



Forschung :

à Femtochemie (Ahmed Zewail, Nobelpreis 1999)

à Attophysik (2001 - ....)

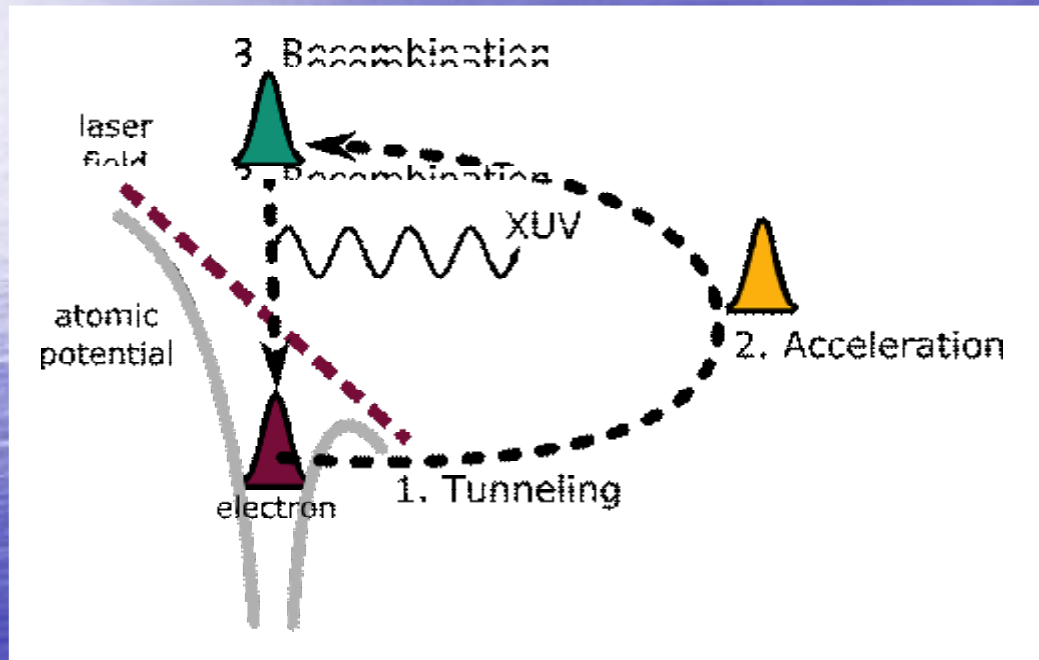
Wirtschaft:

à Laser micro-machining

à Medizin

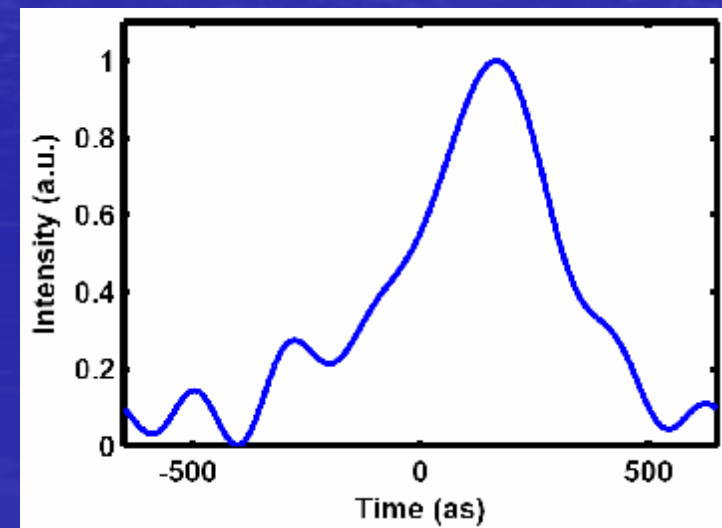
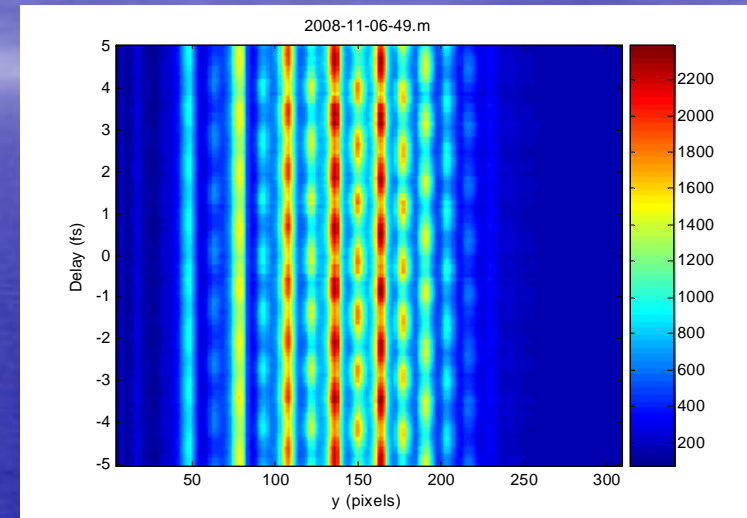
# Erzeugung von Attosekunden Pulsen

RABBITT-Messung

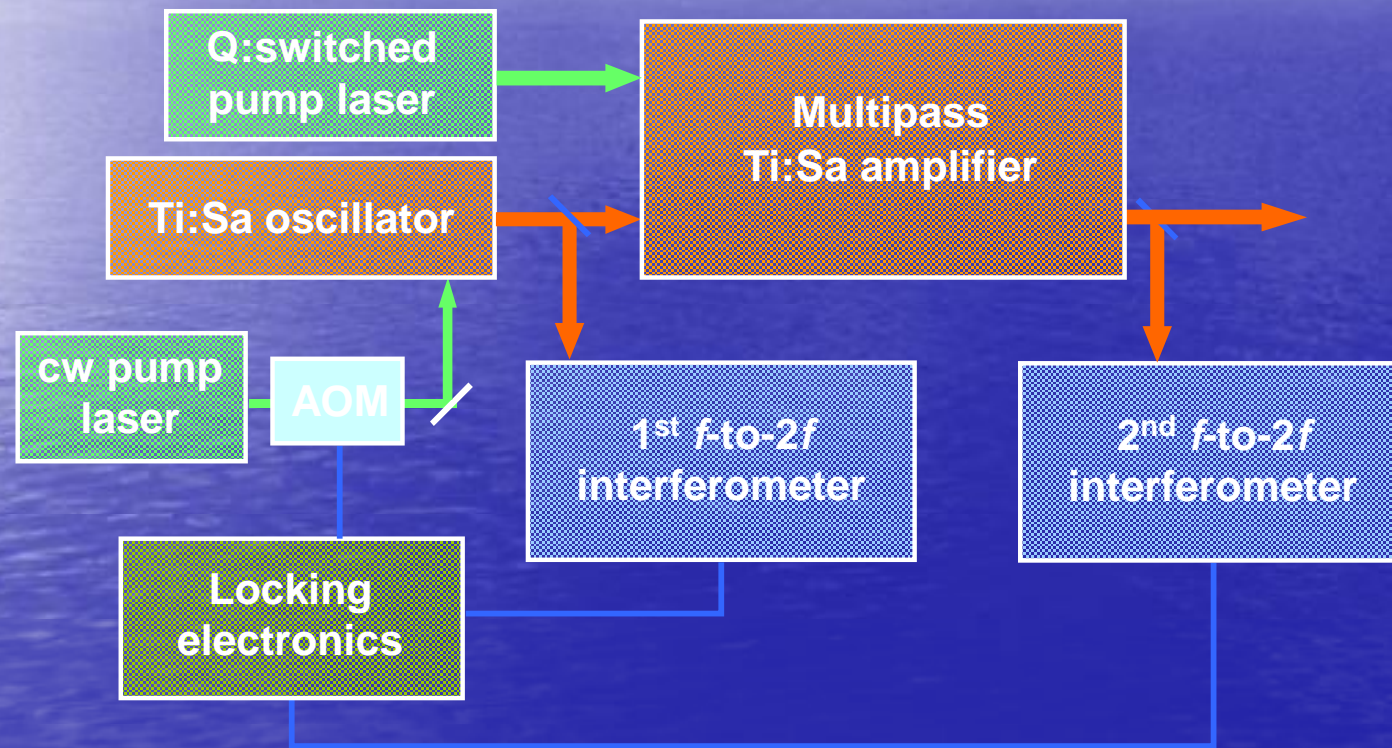


Erzeugung der Hohe-Harmonische-Strahlung

Attosekunde Puls

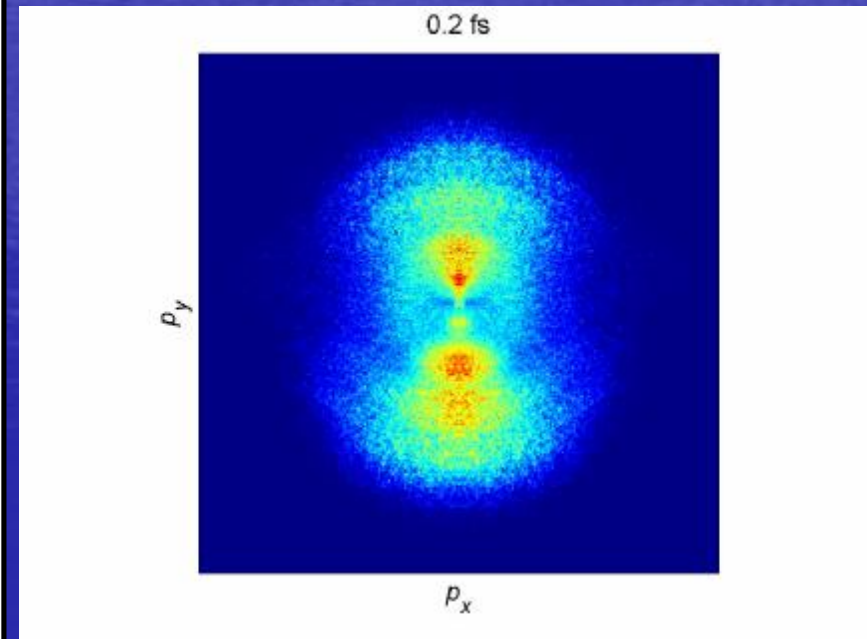
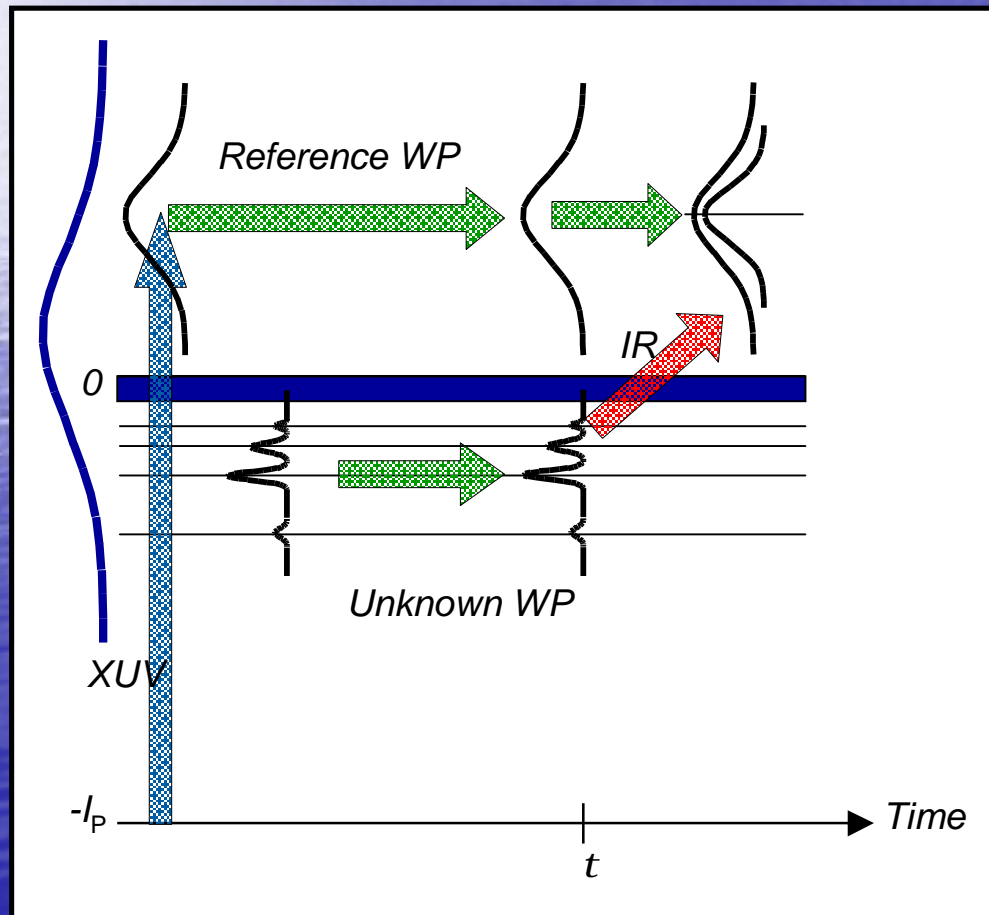


# CEP Stabilisierung von Femtosekunde Pulsen



# Ein Beispiel der Attophysik - 1

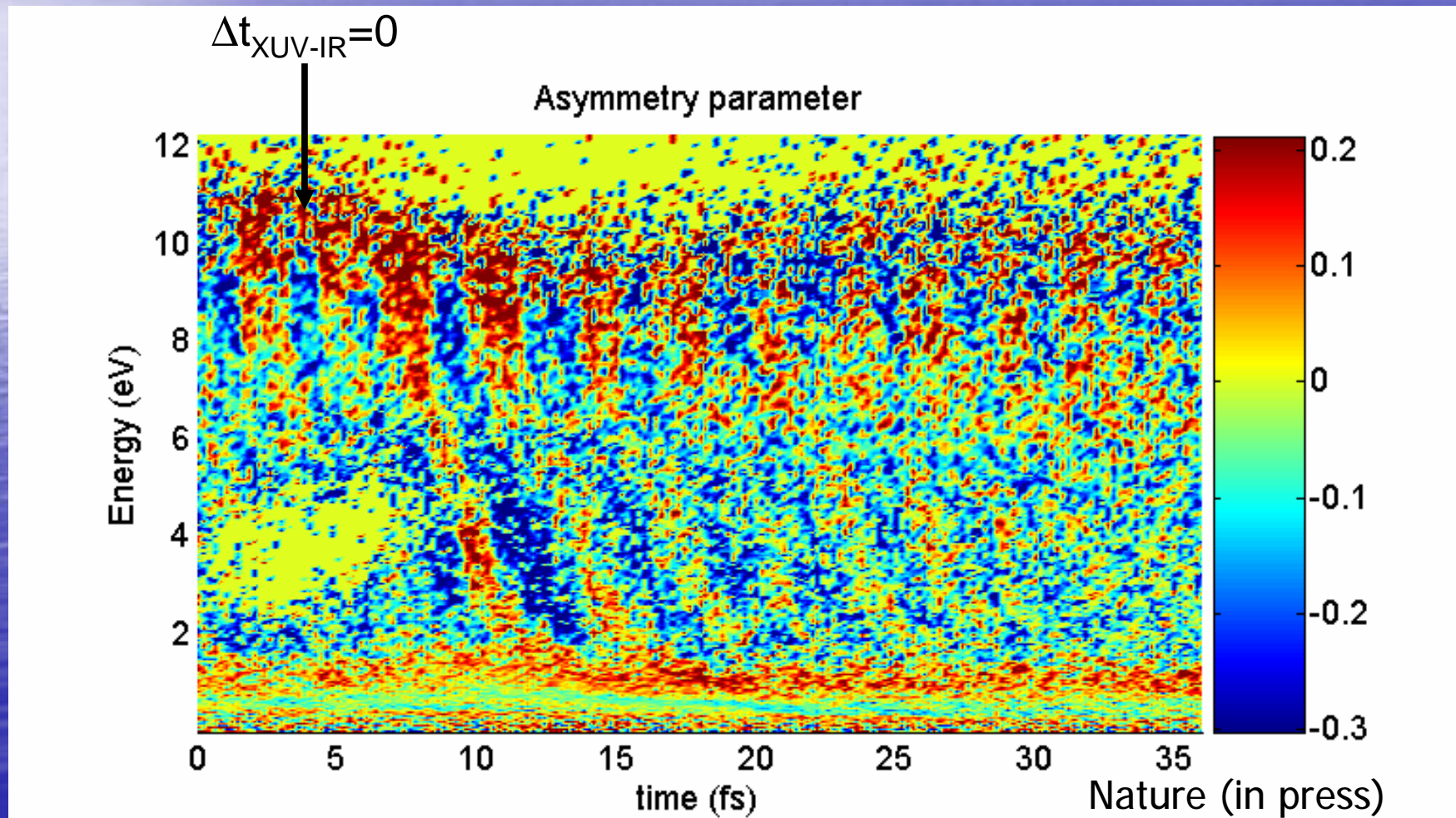
in ein Atom hineinschauen wie die Elektronen sich bewegen



Elektronen, die aus einem Helium Atom herausgezogen werden

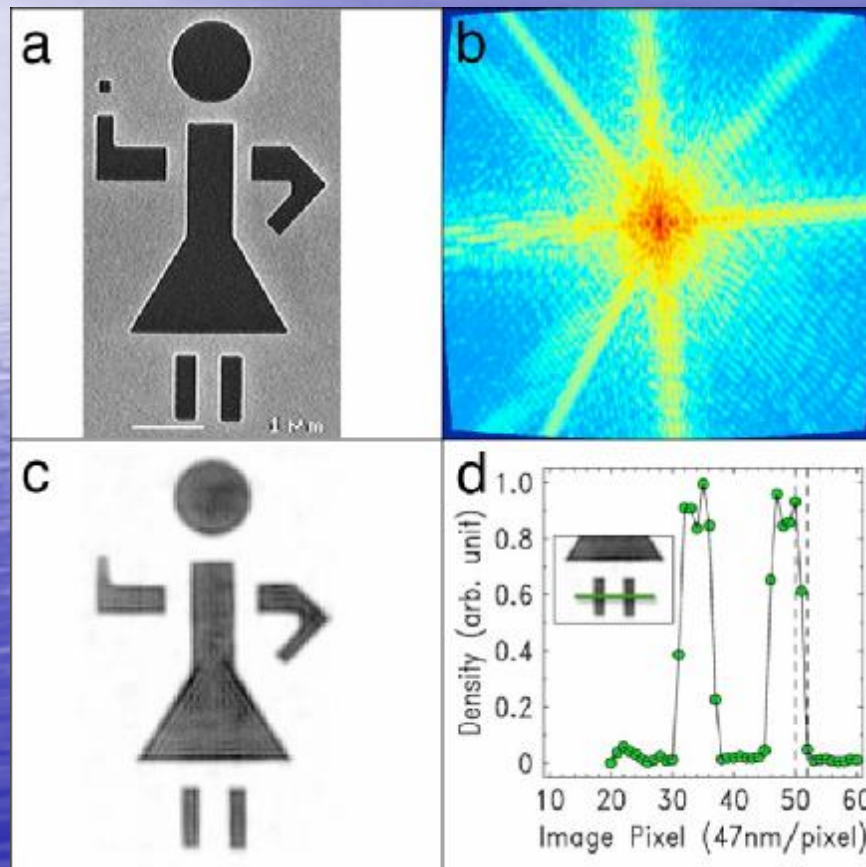
# Ein Beispiel der Attophysik - 2

Kontrolle über die Elektronen in ein Molekül



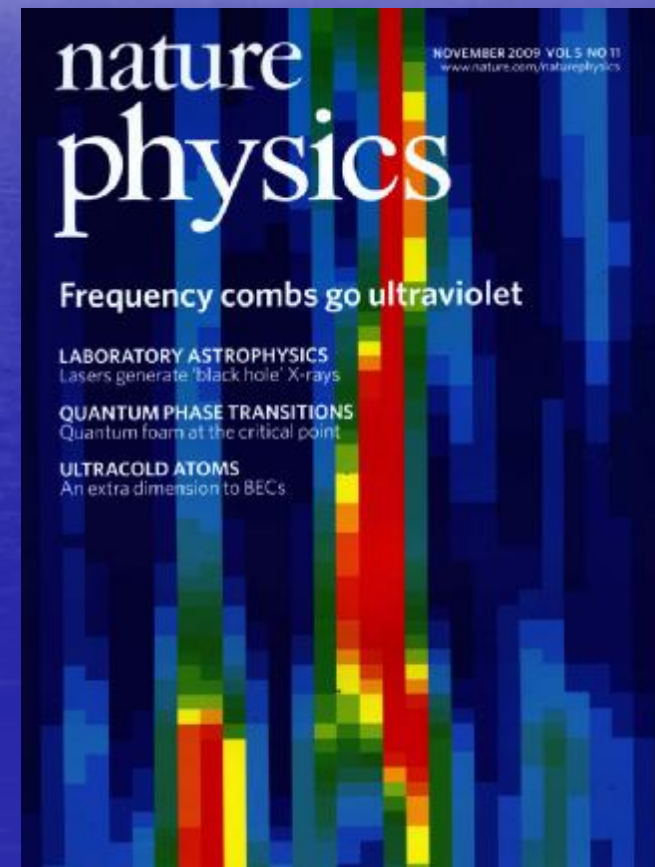
# Neue Anwendungen von HH Strahlung

## Lensless Imaging



H. Kapteyn & M. Murnane, PNAS 8, 24 (2008)

## XUV Metrologie



J. Ye et al., Nature Physics 5, 815 (2009)

# Was fehlt noch (eine etwas persönliche Liste)?

KHz Attosekunden Experiment  
Typ. Laser 1-5 KHz, 1-5 mJ,  
CEP-stabil, 30 fs  $\lambda$

Zwei-Farben Experimente (XUV+IR)  
Photon energy < 100 eV

## Photon-Energien

Für viele Anwendungen  
möchte man x-rays  $\geq 1\text{keV}$   
erzeugen

(XFEL im eigenen Labor)

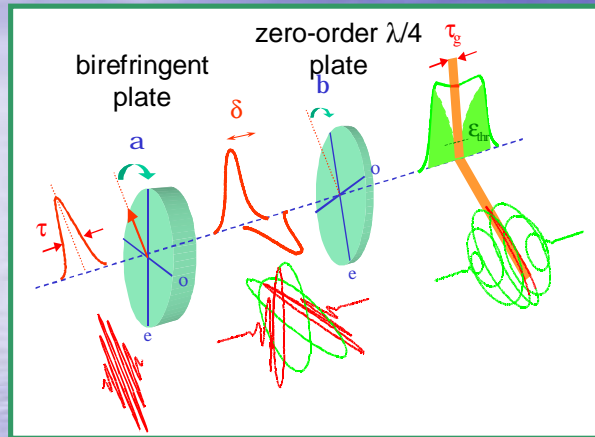
## Repetitionsfrequenz

Für Elektronen-Ionen  
Koinzidenz Messungen und  
Experimente an Oberflächen  
möchte man MHz Laser  
haben

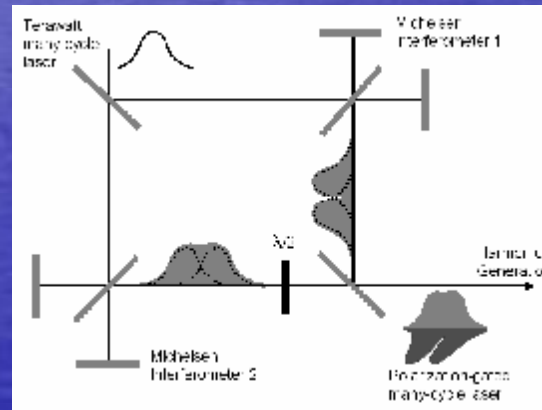
## Intensität

Für attosekunde Pump-  
attosekunde Probe  
Experimente braucht man  
viel intensivere attosekunde  
Pulse

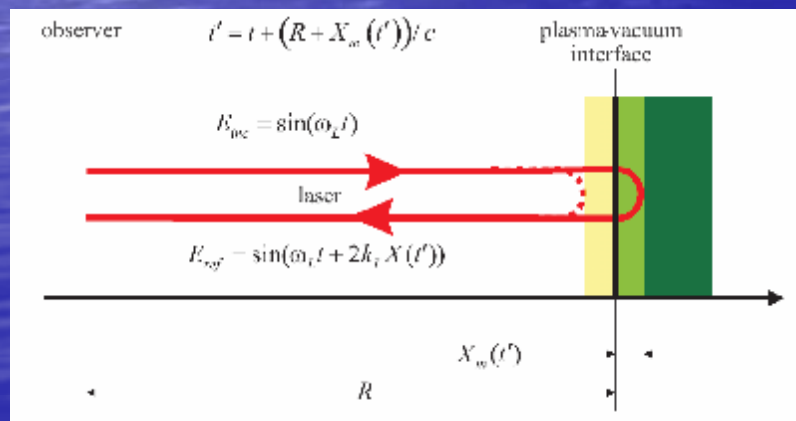
# Höhere Intensitäten - 1



Die Erzeugung von isolierten attosekunden Pulsen brauchte bisher IR Pulsen  $\ll 10$  fs (F. Krausz, M. Nisoli)

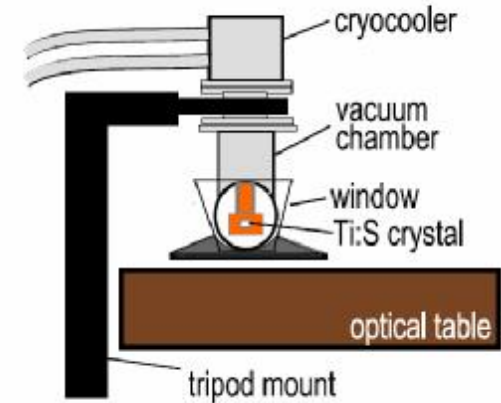
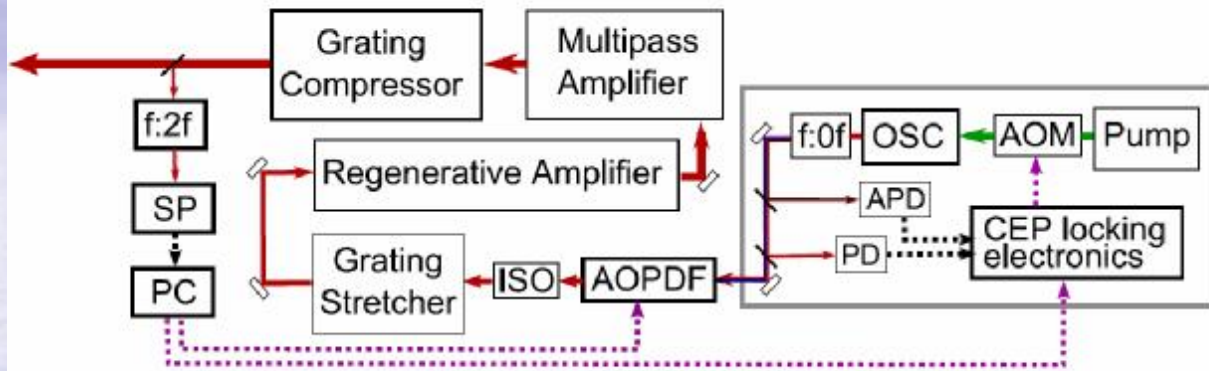


In der Zukunft geht das aber auch mit einem multi-Terawatt laser (P. Tzallas, Z. Chang)

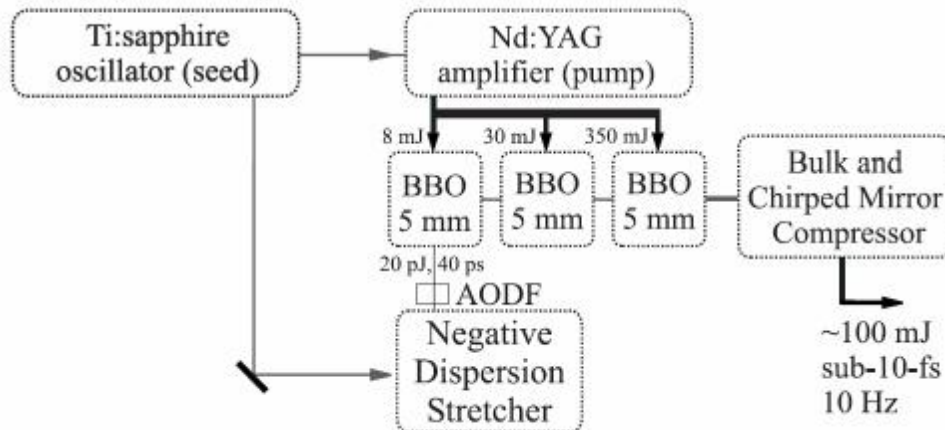


Die Erzeugung von attosekunde Pulsen auf Oberflächen bei  $I_{\text{laser}} \gg 10^{19}$  W/cm<sup>2</sup> (F. Krausz, G. Tsakiris)

# Höhere Intensitäten - 2



## OPCPA with Ti:Sapphire oscillator front-end

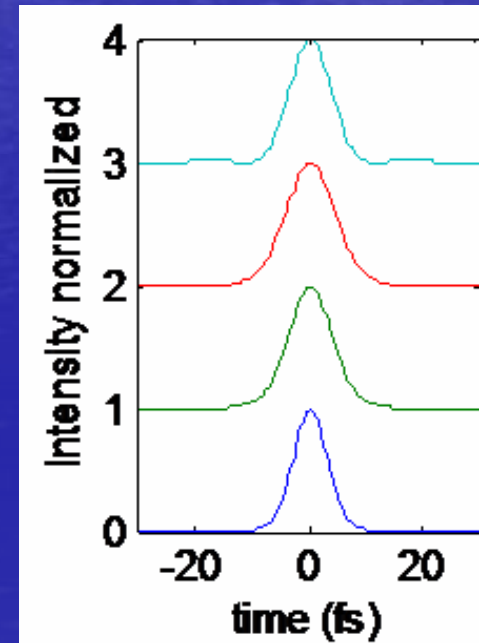
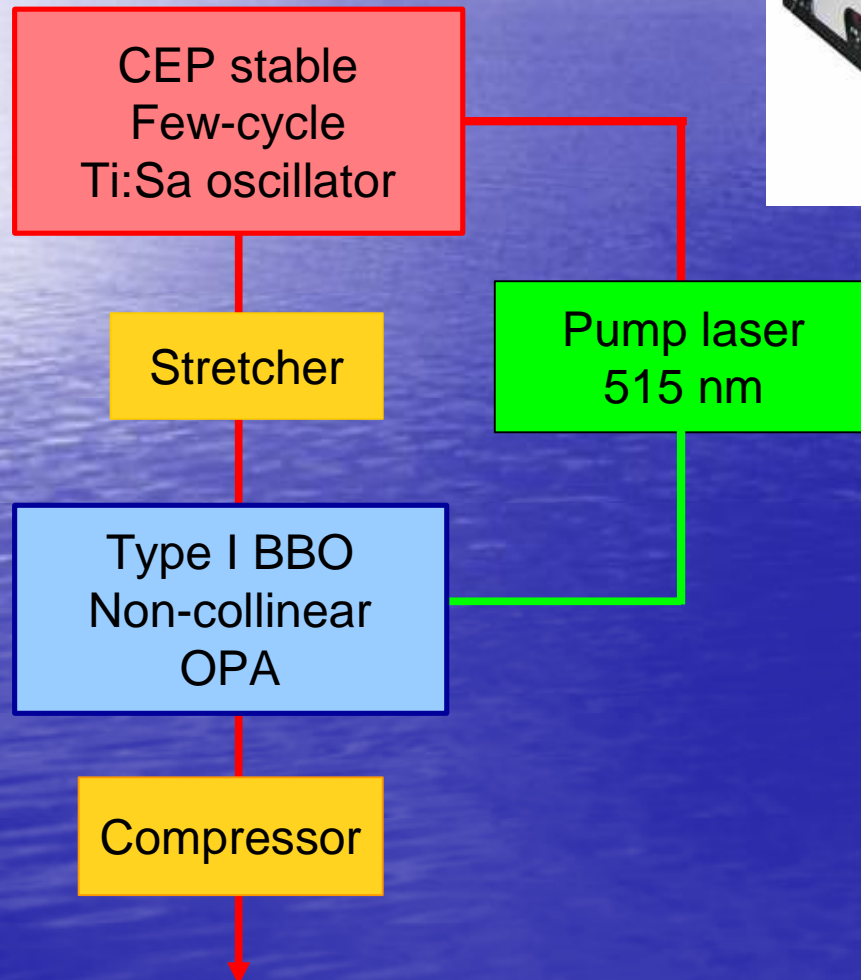


CPA (Fordell, 2009)

1 KHz, 6 mJoule/pulse

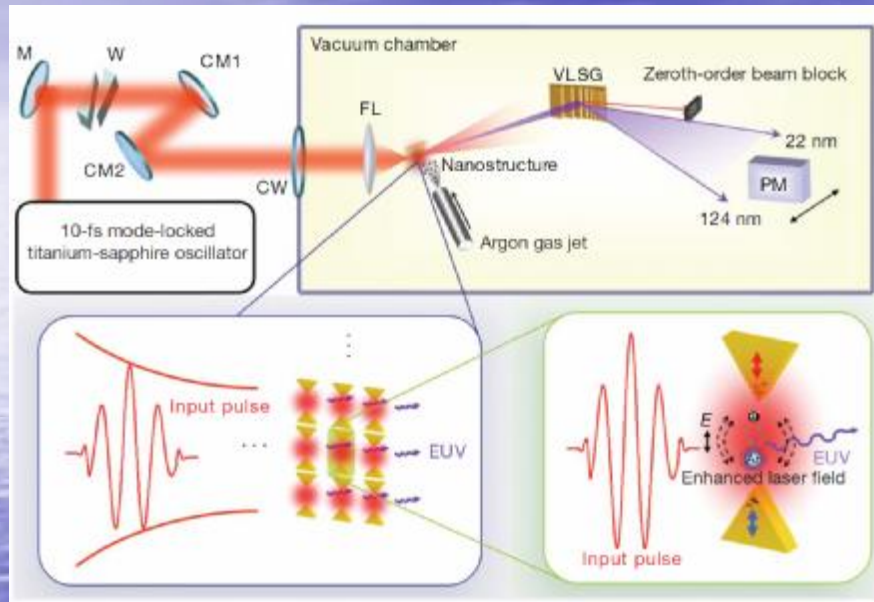
OPCPA (Tavella, 2007)

# MHz Repetitionsfrequenzen - 1

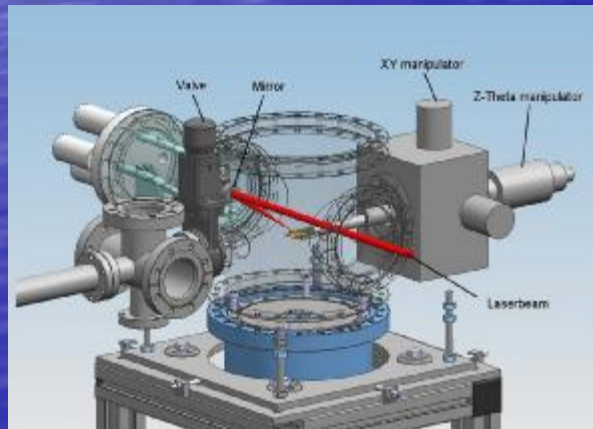
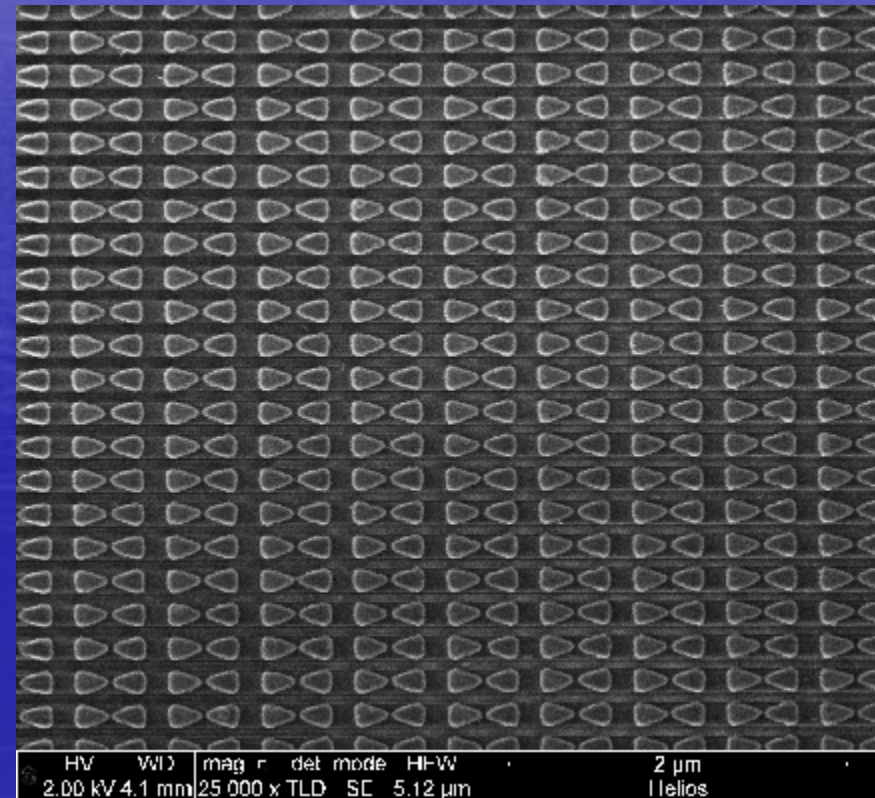


Erstes Ziel: 0.4 MHz, 8 fs, CEP-stabil, 2  $\mu$ J

# MHz Repetitionsfrequenzen - 2

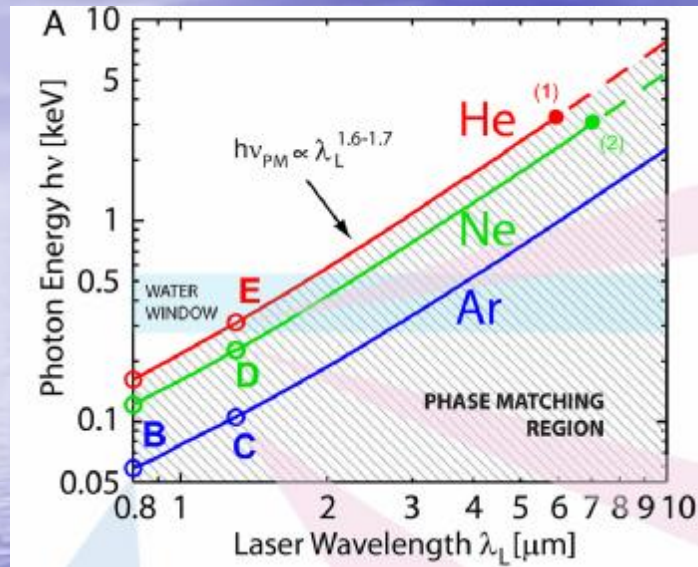


HHG in Bowtie-nanostrukturen  
Kim et al., Nature 453, 757 (2008)



Bowtie-nanostrukturen (AMOLF)

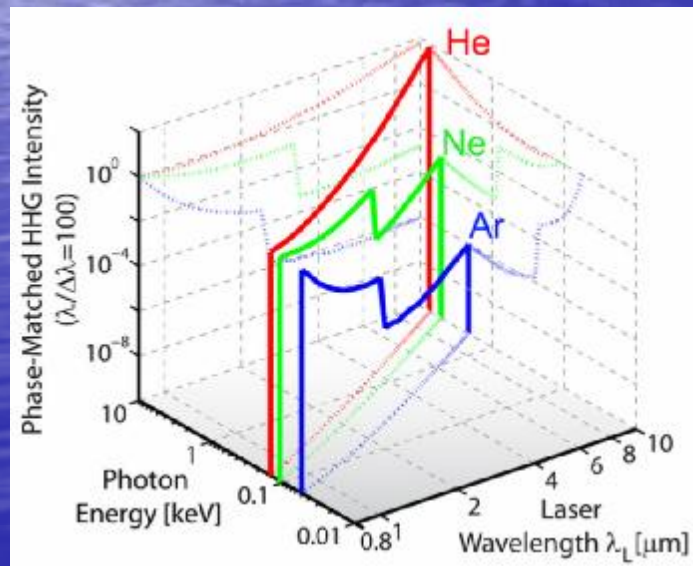
# Höhere Fotonenergien - 1



Die höchste Foton-energien in HH werden von der Wellenlänge des Treiberlasers entscheidet

→ Mid-infrarote Laser sind notwendig, die es  $\sim 25 \times 10^{10}$  W Einkopplung in ein Hohlleiter ermöglichen → etwa 2.5 mJoule/pulse bei 100 fs pulsen

→ Eine Alternative für Freie Electronen Laser (FELs) + mögliche seed für FELs



Scaling HHG to x-ray wavelengths  
Popmintchev et al., PNAS 106, 10516 (2009)

# Höhere Fotonenergien - 2

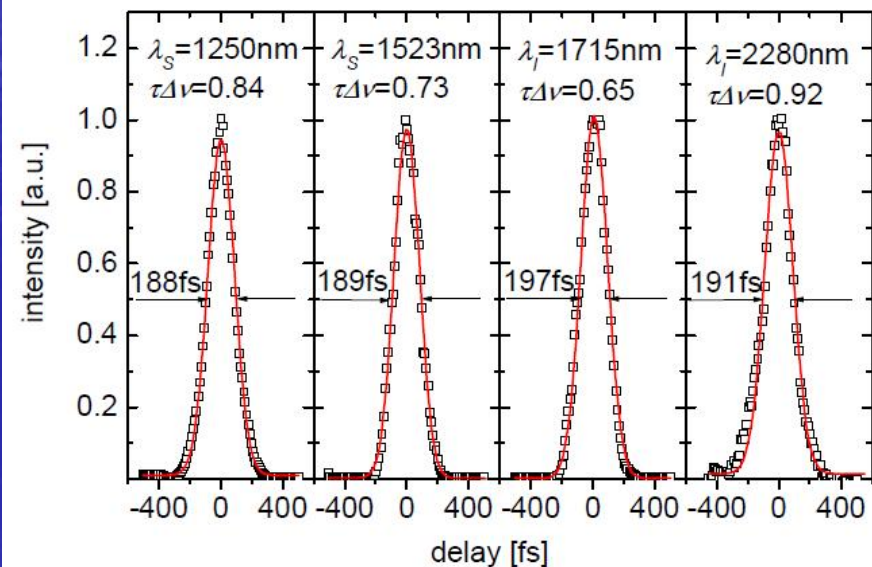
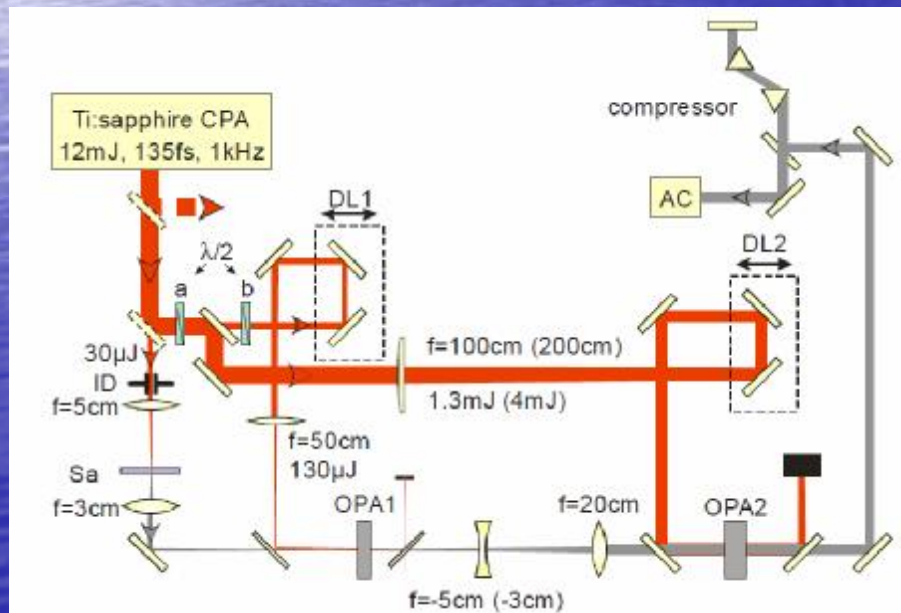
22 January 2007 / Vol. 15, No. 2 / OPTICS EXPRESS 556

## High-power Femtosecond Optical Parametric Amplification at 1 kHz in $\text{BiB}_3\text{O}_6$ pumped at 800 nm

Valentin Petrov, Frank Noack and Pancho Tzankov

Max-Born-Institute for Nonlinear Optics and Ultrafast Spectroscopy, 2A Max-Born-Str. D-12489 Berlin, Germany  
[petrov@mbl-berlin.de](mailto:petrov@mbl-berlin.de)

Ein Beispiel, bisher  
ca. 300  $\mu\text{Joule/pulse}$ ,  
nötig sind aber 3-5 mJoule



# Schlussfolgerungen

- HH Strahlung beeinflusst jetzt einen großen Teil der Optische Forschung i.b. die Attosekunde Spektroskopie
- Sie ist ebenfalls ein Treiber für neue Laser Technologien, die auch für die Wirtschaft wichtig sein können