

e+ / e- Betrieb.

Beschleuniger-Betriebsseminar 2013

Grömitz

Rainer Wanzenberg

DESY

Grömitz, 20.03.2013

e⁺ / e⁻ Betrieb bei PETRA

DESY 96-193
September 1996

ISSN 0418-9833

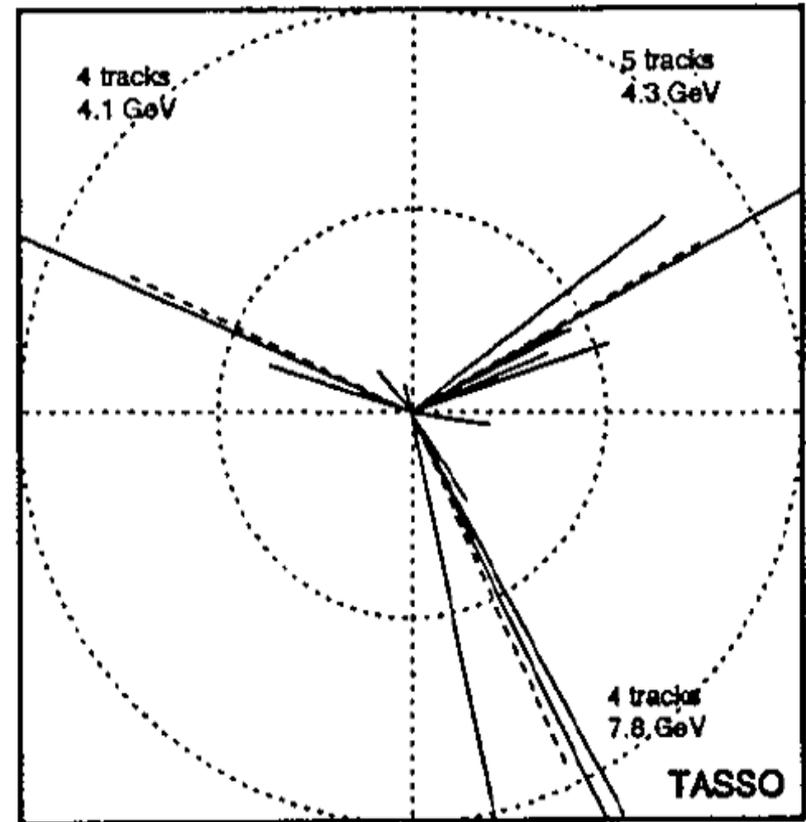
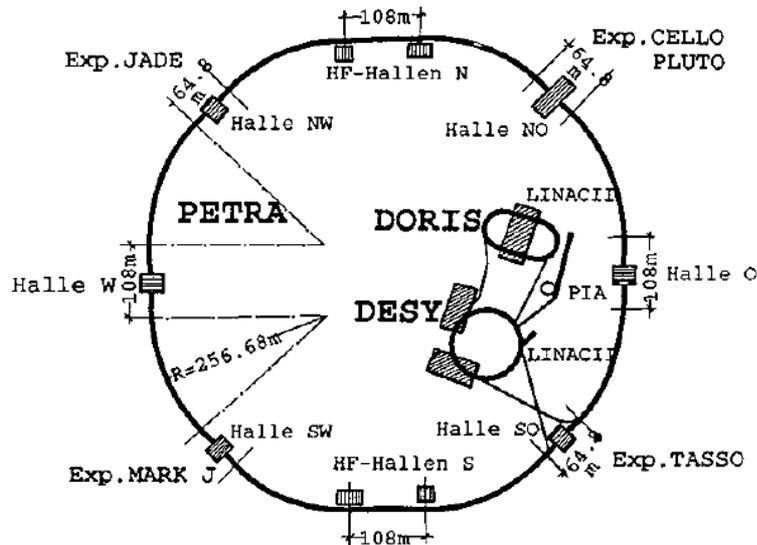
THE FIRST EVIDENCE FOR THREE-JET EVENTS IN e^+e^- COLLISIONS AT PETRA —FIRST DIRECT OBSERVATION OF THE GLUON

(Presented by Sau Lan Wu)

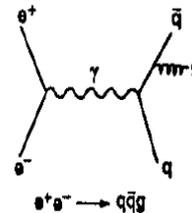
Paul Söding, Björn Wiik, Günter Wolf
DESY, Hamburg, Germany

Sau Lan Wu
University of Wisconsin-Madison, USA

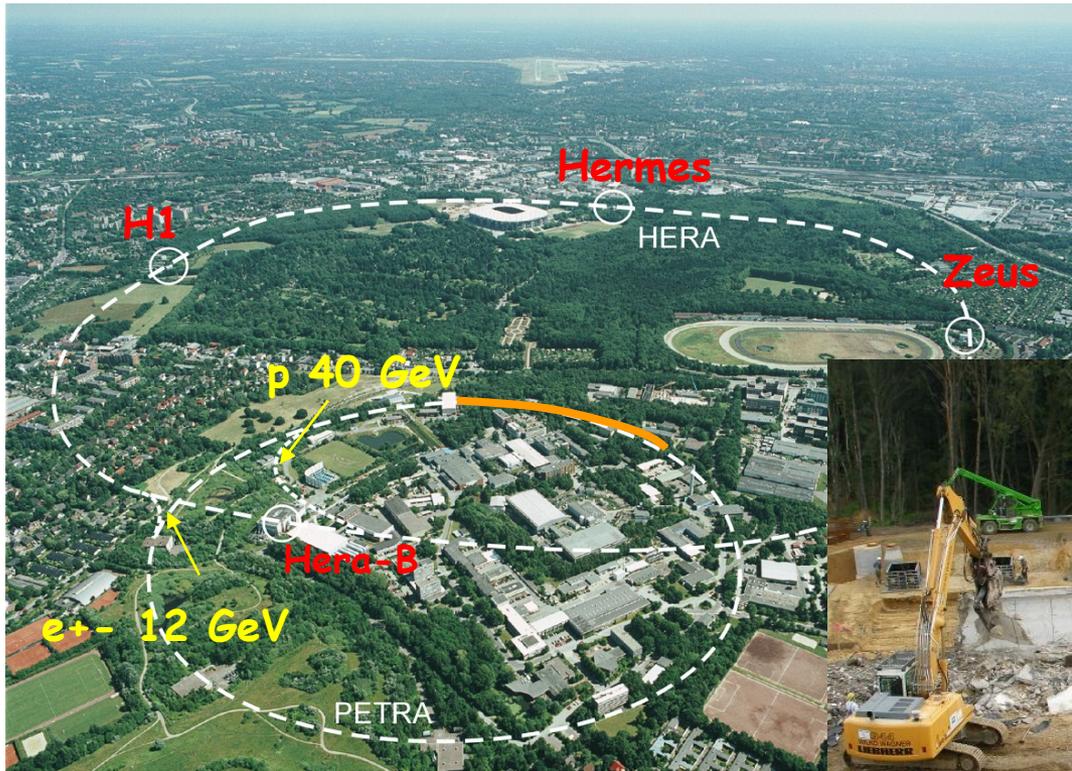
for the 1995 EPS High Energy and Particle Physics Prize.



(Konferenz Bergen,
Juni 1979)



PETRA als Vorbeschleuniger für HERA, 1988 - 2007

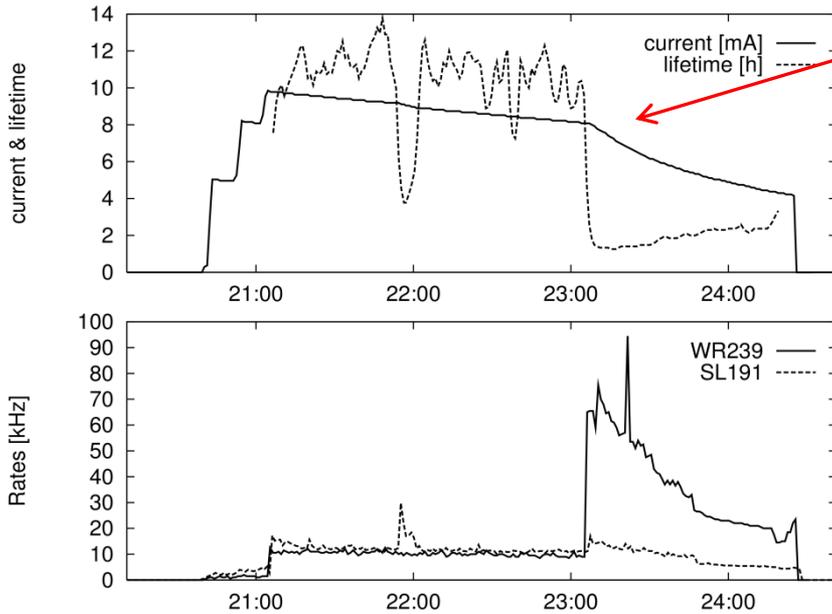


Sommer 2007,
Abriss des Tunnels
für das neue Achtel



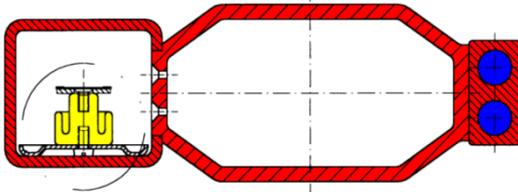
e- Betrieb bei HERA

D. R. C. Kelly, W. Bialowons, R. Brinkmann, H. Ehrlichmann, J. Kouptsidis
THE ELECTRON BEAM LIFETIME PROBLEM IN HERA, PAC 1995



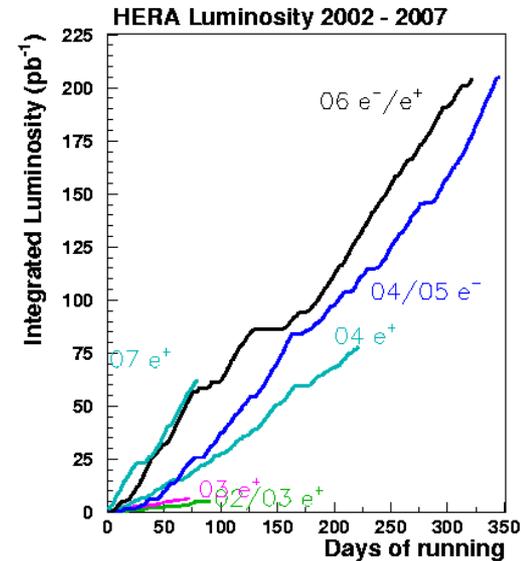
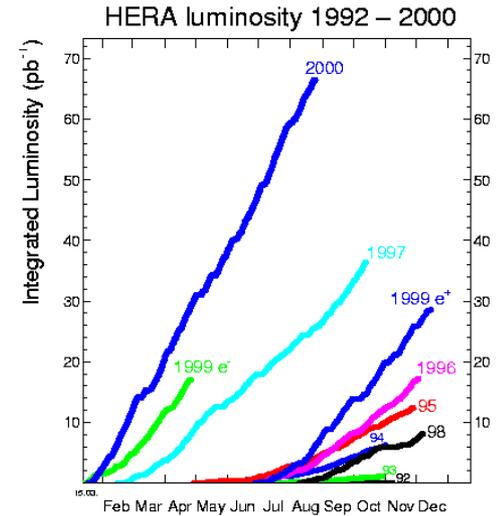
**Lebensdauer-einbruch,
 Ionisierter Staub**
 → **e+ Betrieb ab 1994**

(Oct 1994: Strom, Lebensdauer + Verlustmonitorrates)



**e- Betrieb: 1999
 nach dem Umbau der
 Pumpen**

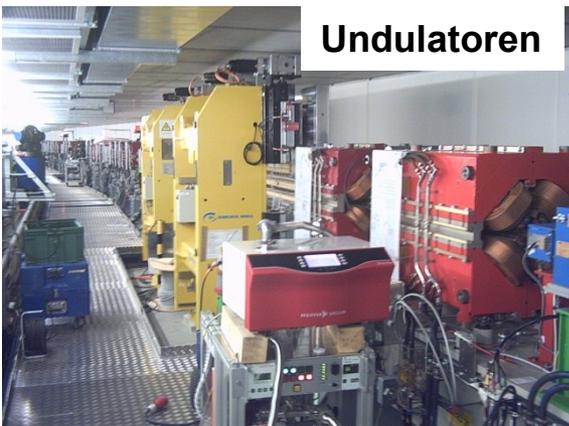
**Umbau Ion-Pumpen → NEG Pumpen
 Winter-shutdown 1997/1998**



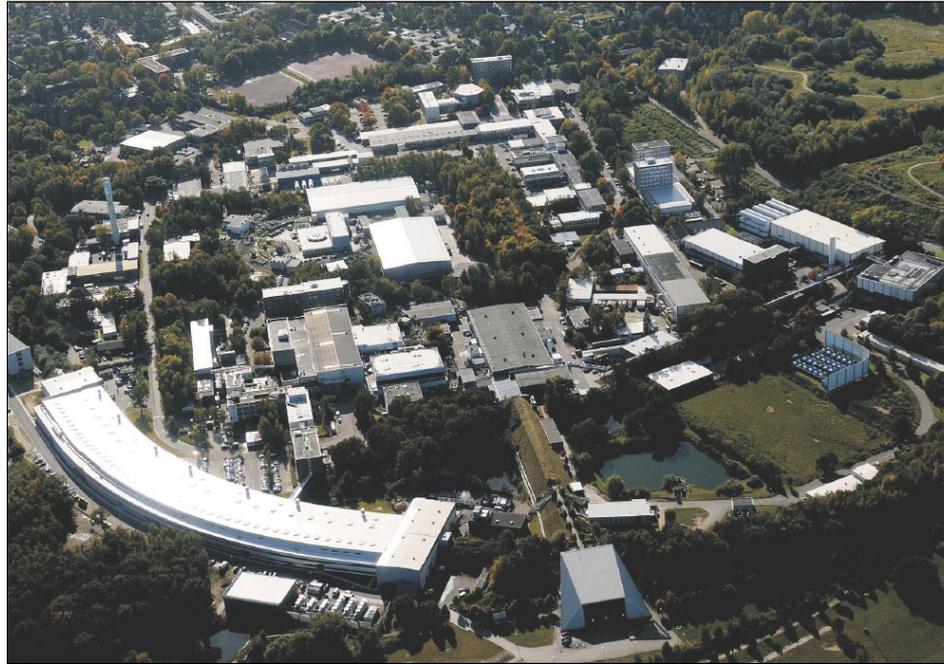
PETRA III



Bogen



Undulatoren



Parameter	PETRA III
Energie	6 GeV
Umfang	2304 m
Strahlstrom	100 mA
Horz. Emittanz	1 nm
Vert. Emittanz	~10 pm



Wiggler

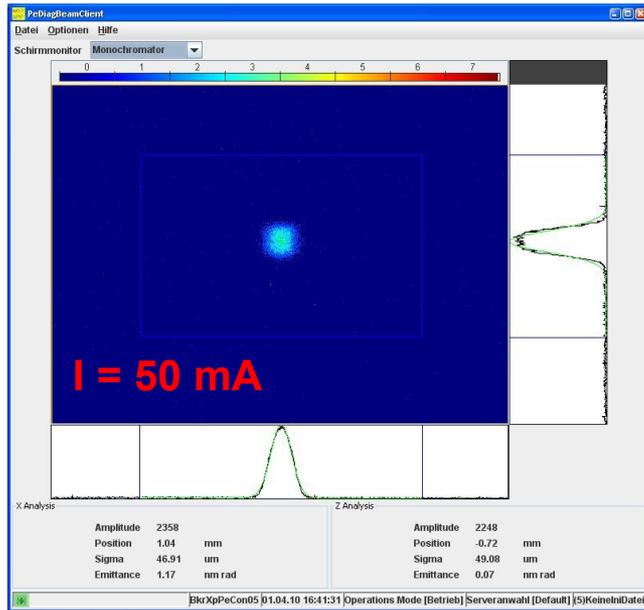
Regular cells in PETRA North

- > e⁺ Betrieb (2009 – 2012)
 - Eclouds / Emittanzvergrößerung
- > Vakuum
- > e⁻ Betrieb (seit Jan 2013)
 - Ioneneffekte
- > Einzelbuncheffekte e⁺ / e⁻

e+ Betrieb (2009 – 2012)

- Erster gespeicherter Strahl: 13 April 2009 (1 Bunch 20 μA d.h. $\sim 10^9$ e+)
- 2010 “friendly users”, Probleme bei kleinen Bunchabstand:

Bild von der Diagnostik-Beamline (2010)

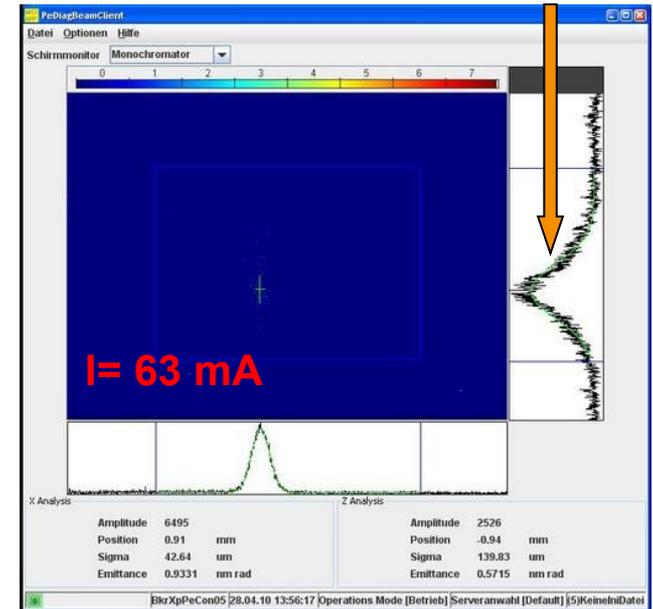


Emittanz Aufweitung

bei Füllschemata
mit kleinen Bunch-
Abstand

ecloud ! ?

Vertikale Emittanzvergrößerung



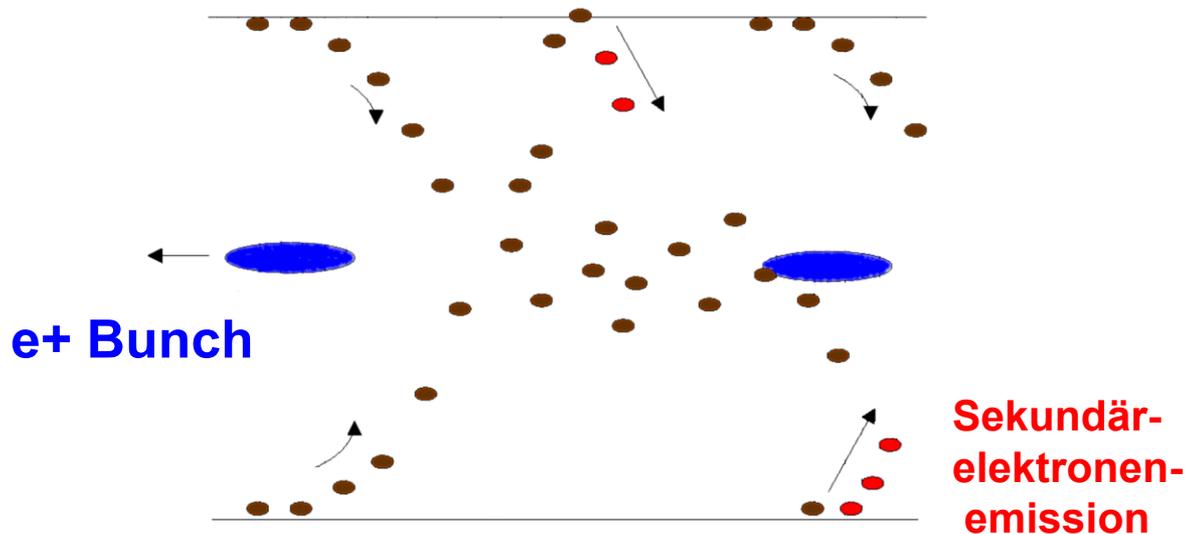
- 2010 Betrieb mit $40 \times 4 = 160$ / $60 \times 4 = 240$ Bunchen
- 2011 Betrieb mit $60 \times 4 = 240$ Bunchen / und 240×1 Bunchen (32 ns)
- 2012 Betrieb mit 240×1 / 320×1 Bunchen

Elektronen Wolken / eclouds

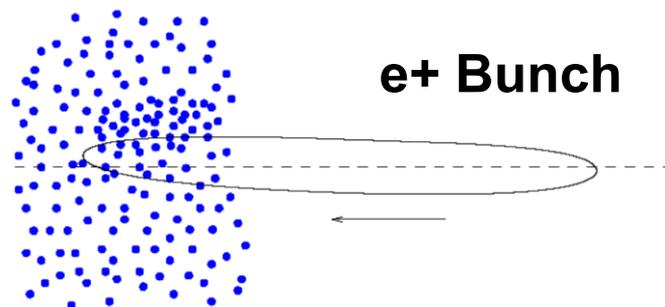
Entstehung:

- Synchrotronlicht
- Photoelektronen
- Beschleunigung durch e^+ Strahl
- Sekundärelektronen-emission
- Sekundärelektronen-vervielfachung

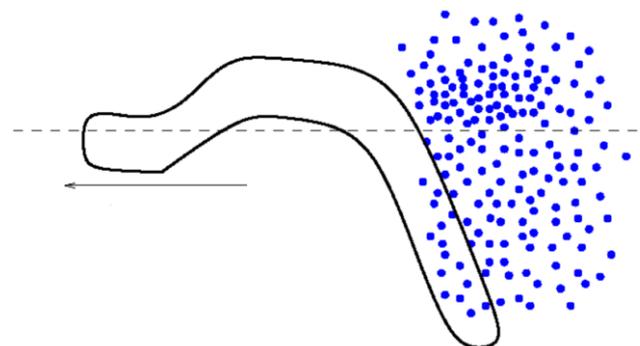
Photoelektronen



mögliche Effekte:



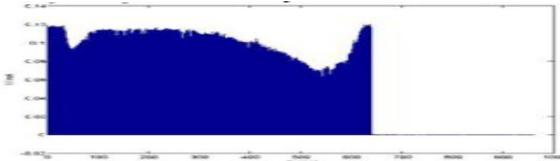
nach einigen Umläufen:



Vertikale Emittanzaufweitung (640 Bunche, 8ns Abstand)

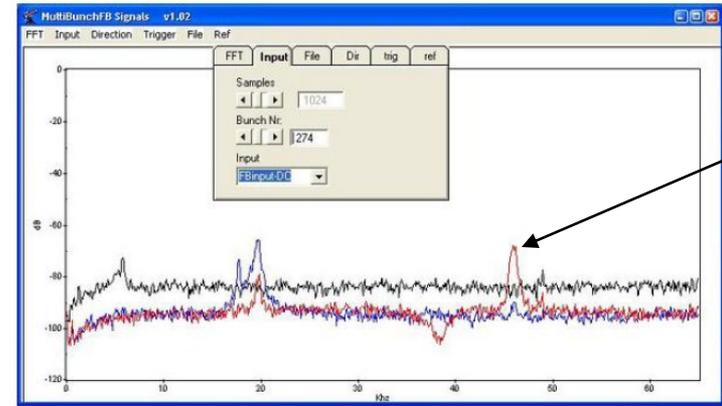
640 Bunche, 8 ns Bunchabstand + Lücke
 639 x 8 ns = 5112 ns, Lücke 2568 ns

Bunch-
strom



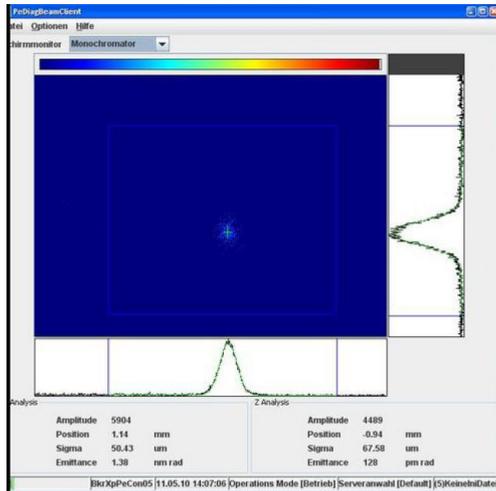
Harmonische Zahl: $h = 3840$
 Umlaufzeit : 7.68 μ s
 Bunchpositionen: 960 (8 ns Bunchabstand)

Tunespektrum, Bunch position #274



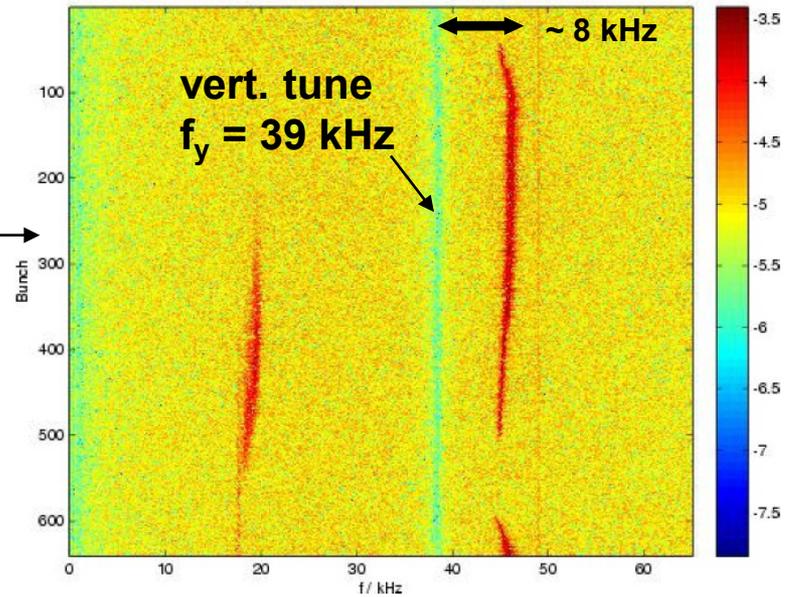
Oberes
Seiten-
band

Averaged Vertical Spectrum 11-May-2010 14:41:59



gemessene Emittanz am 11. Mai 2010
 Horz. 1.38 nm, Gesamtstrom 65 mA
Vert. 128 pm

#274



Füllmuster (2010 – 2011)

Harmonische Zahl: $h = 3840 = 4 \times 960 = 16 \times 240 = 64 \times 60 = 96 \times 40$

1 bucket = 2 ns

Bunche

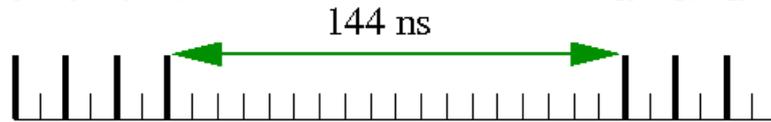
Füllungen mit 60 und 40 Bunchen zeigen keine Emittanzvergrößerungen

Filling scheme

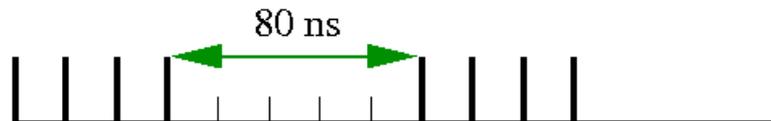
Bunch positions (8 ns spacing)

1 3 5 7 25 27 29 31 ... 960

40 x 4



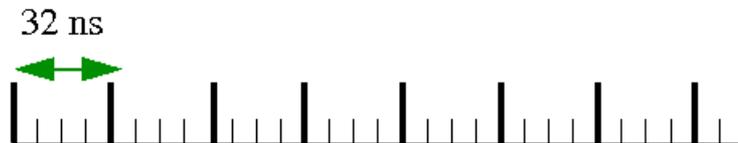
60 x 4



80 x 4



240 x 1



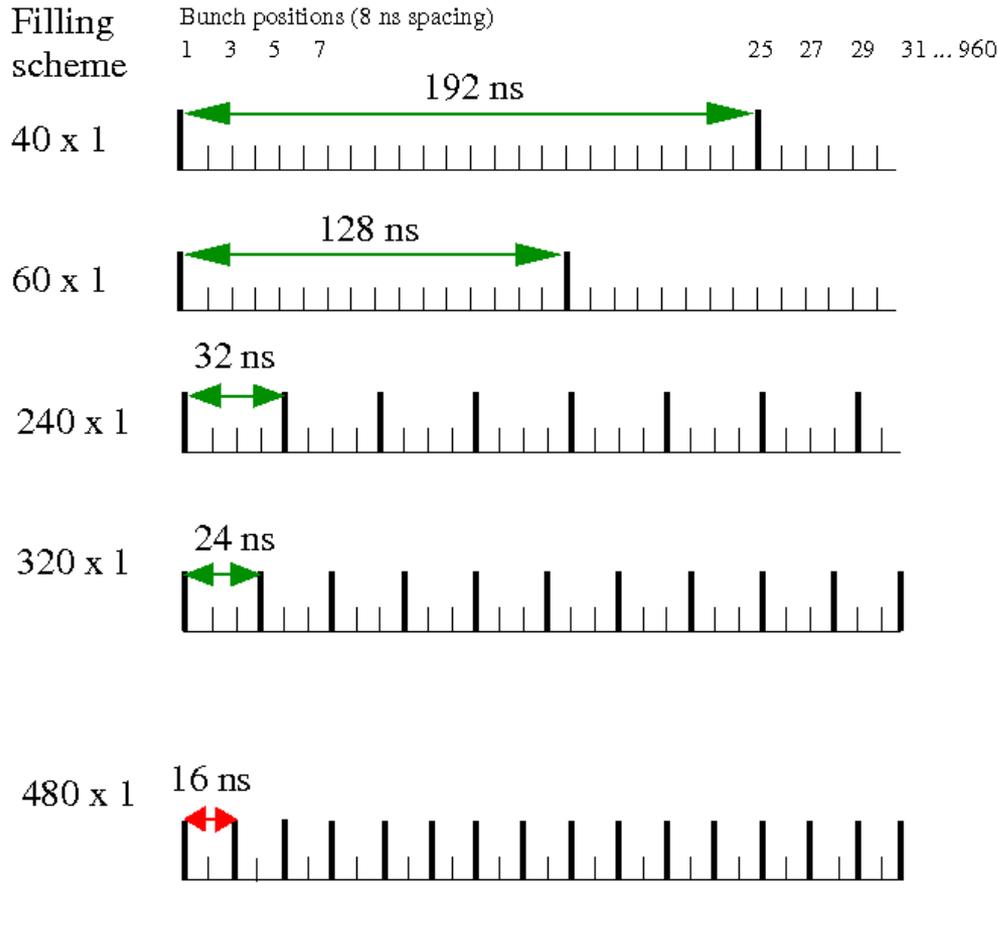
Mai, Juni 2010

2011

Integrierter Strom Mai 2010 → Mai 2011
133 Ah → 577 Ah



Füllmuster 2012



User runs

320 Bunche:
16.05 – 3.06.2012
14.11 – 5.12.2012

Scrubbing runs
3-4 und 10-11 März 2012

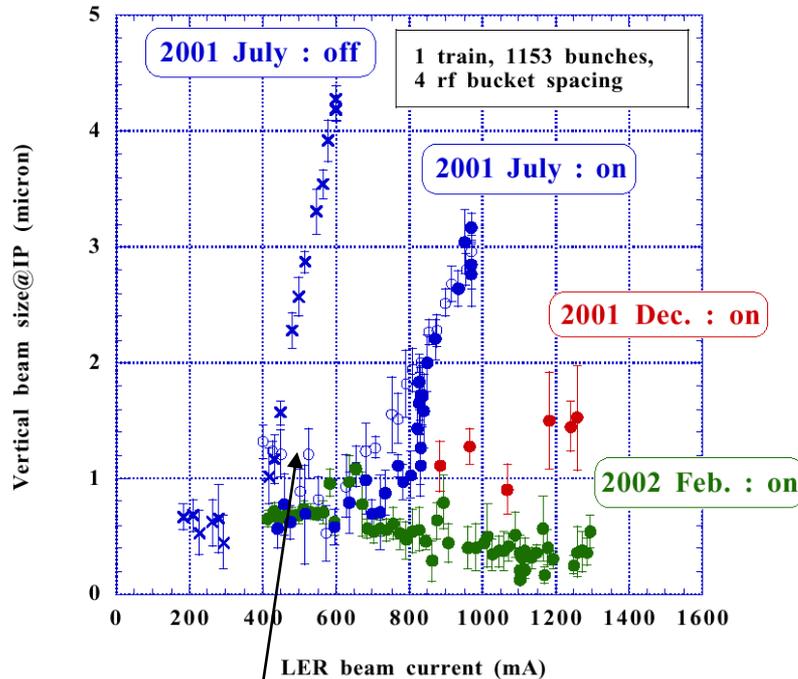
Integrierter Strom

Mai 2010 → Mai 2011 → Dez. 2011 → April 2012 → Dez. 2012
133 Ah → 577 Ah → 980 Ah → 1050 Ah → 1520 Ah



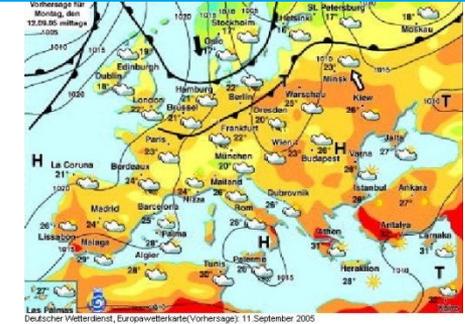
Wurden eclouds bei PETRA III erwartet ?

KEK B-factory:
Strahlgröße am Wechselwirkungspunkt
als Funktion des Strahlstroms



Effekte traten bei 400 mA
Strahlstrom auf.

PETRA III



1) JA
Simulation der Entstehung der
eclouds
(DESY M 03-02, December 2003)

Programm ECLOUD von CERN
F. Zimmermann, G. Rumolo
(damals version 2.3, heute 4.0)

2) Instabilität NEIN

Abschätzung mit Hilfe eines
Resonatormodells für das ecloud
“Wakefield“ im Bogen
(altes Achtel).

Dipolvakuumkammer: Sekundäremissionskoeffizient

IPAC 2011

Secondary Electron Yield of Al Samples from the Dipole chamber of PETRA III

D.R. Grosso, M. Commisso,
and R. Cimino,

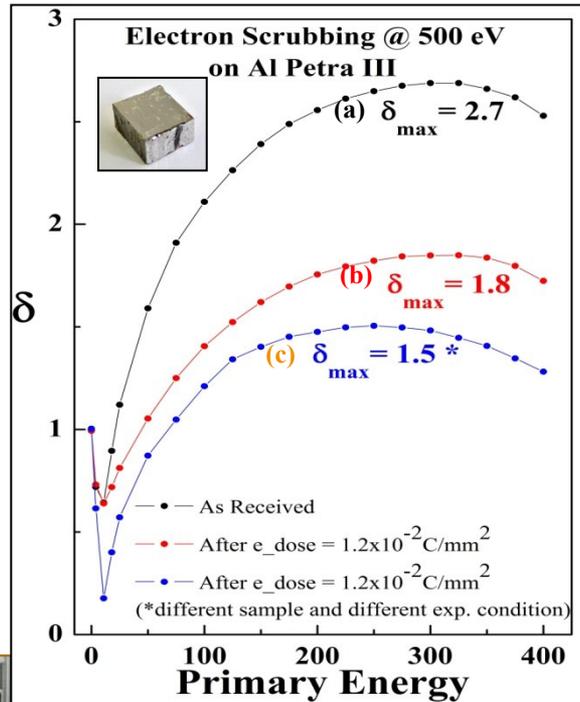
LNF-INFN, Frascati Italy

R. Flammini, CNR-IMIP,
Monterotondo, Italy

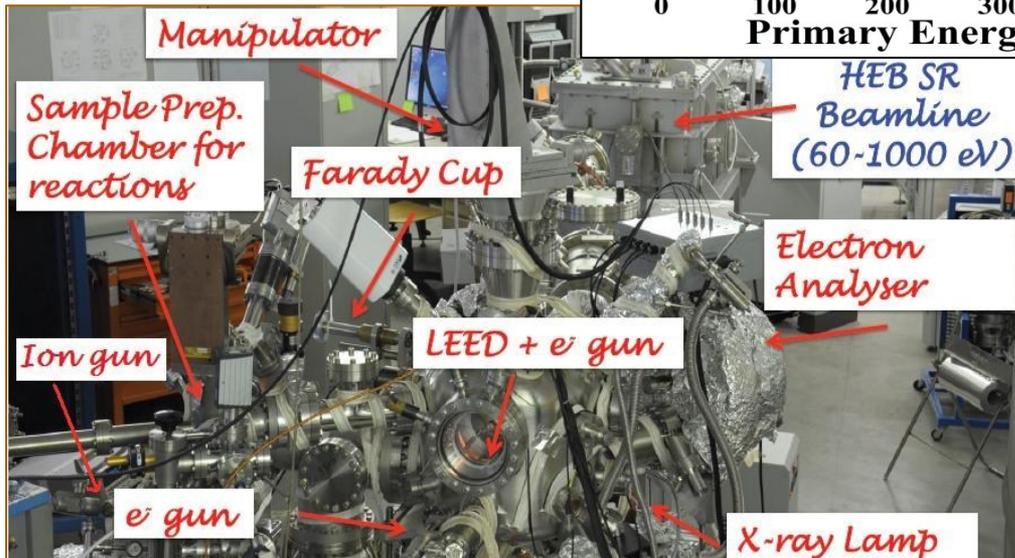
R. Larciprete, CNR-ISC, Rome, Italy

R. W., DESY, Hamburg, Germany

SEY hängt stark von den
Oberflächenoxidation ab !

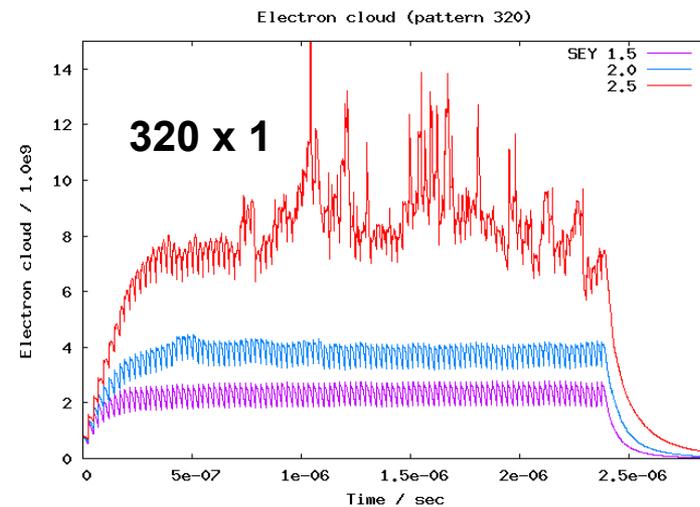
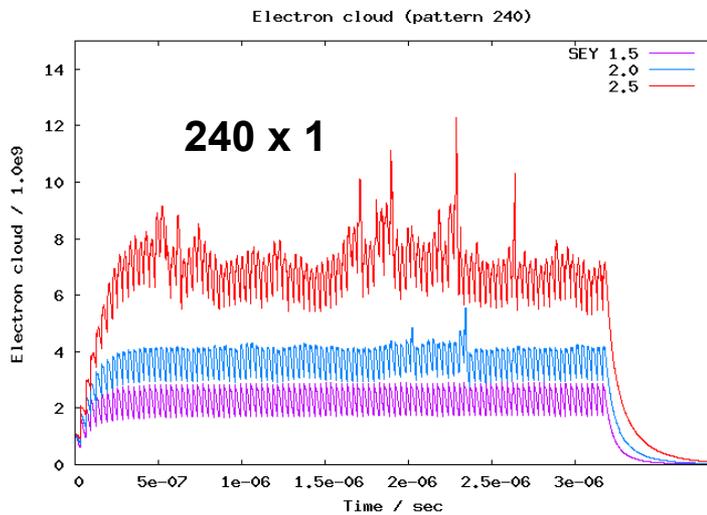
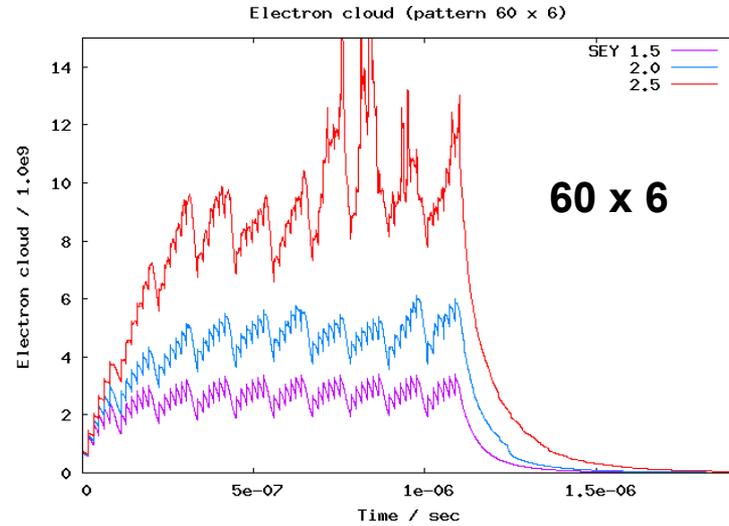
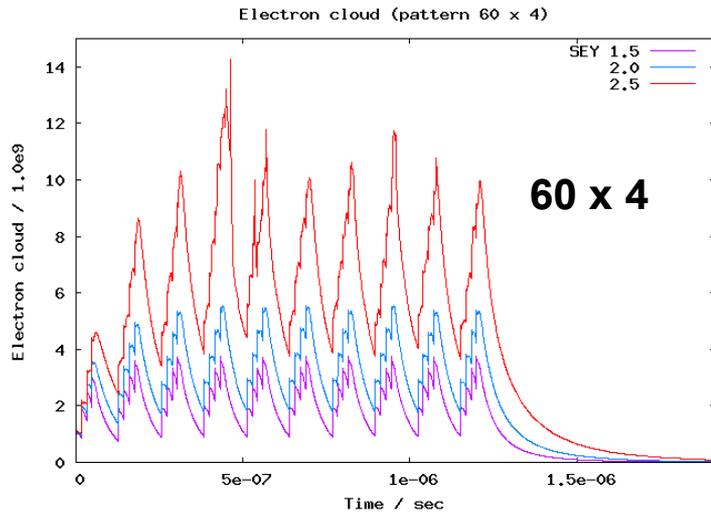


Al, 80 mm x 40 mm



Simulation mit ELOUD 4.0

PETRA III, 100 mA, verschiedene Füllmuster, SEY: 1.5, 2.0, 2.5



Instabilität: ecloud - Dichte

Model von K. Ohmi *)

Instabilitätsschwellendichte: $\rho_{e,th} = \frac{2\gamma v_s \omega_e \sigma_z / c}{KQ\sqrt{3}r_e\beta L}$

$$\omega_{e,y} = \sqrt{\frac{\lambda_+ r_e c^2}{\sigma_y(\sigma_x + \sigma_y)}}$$

	$K \sim \omega_e \sigma_z / c$
PETRA III (100 mA):	$\sim 1.4 \times 10^{12} \text{ m}^{-3}$

$Q \sim 5 < K$

λ_+ = Linienladungsdichte
im e+ bunch

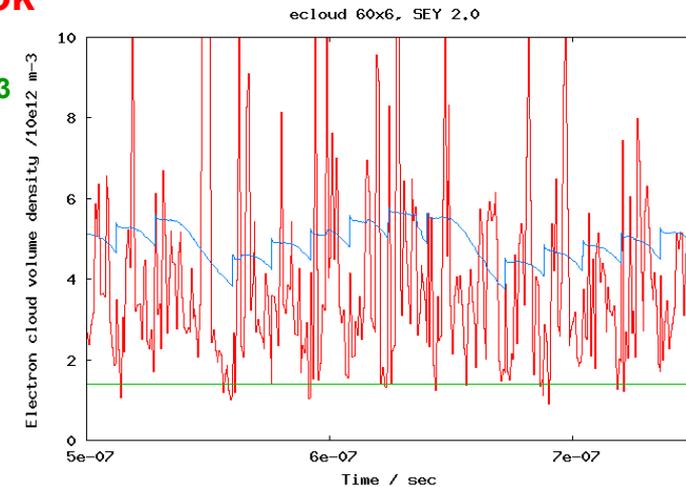
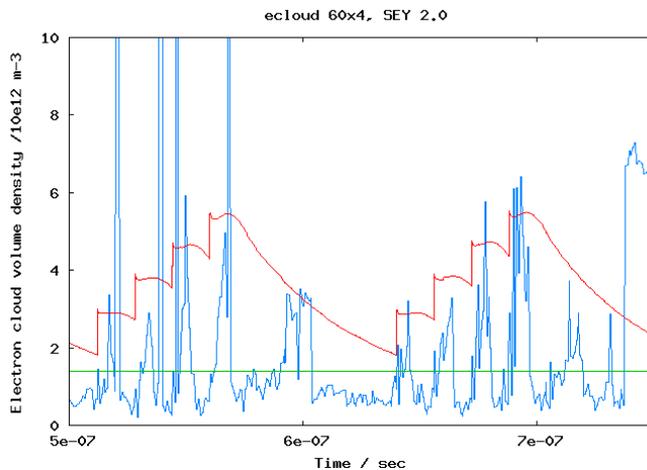
(L = Umfang des Ringes)

ECLLOUD Simulation der e- Dichte im Zentrum

100 mA 60 x 6 nicht ok

100 mA 60 x 4 ok

Schwelle $\sim 1.4 \times 10^{12} \text{ m}^{-3}$



*) K. Ohmi: Electron Cloud Effect in Damping Rings of Linear Colliders

31st ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on Electron-Cloud Effects "ECLLOUD'04"



Wechselwirkung: Bunch - Ecloud

Universität
Rostock

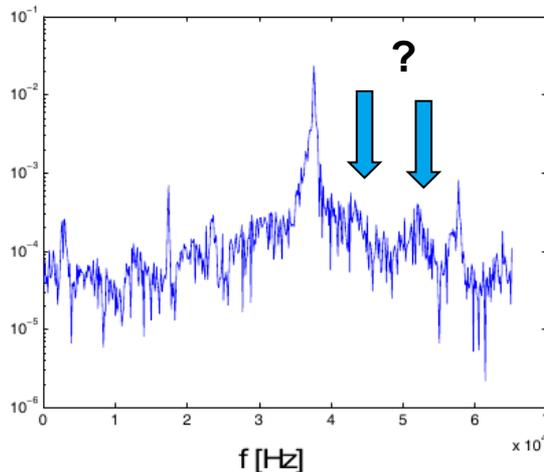
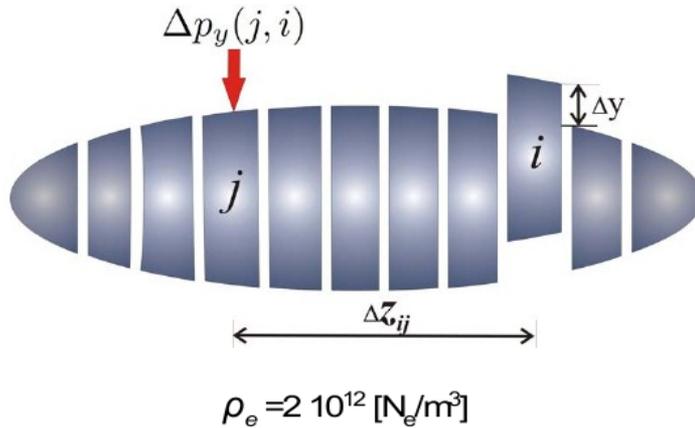


Traditio et Innovatio

Aleksandar Markovik, Ursula van Rienen

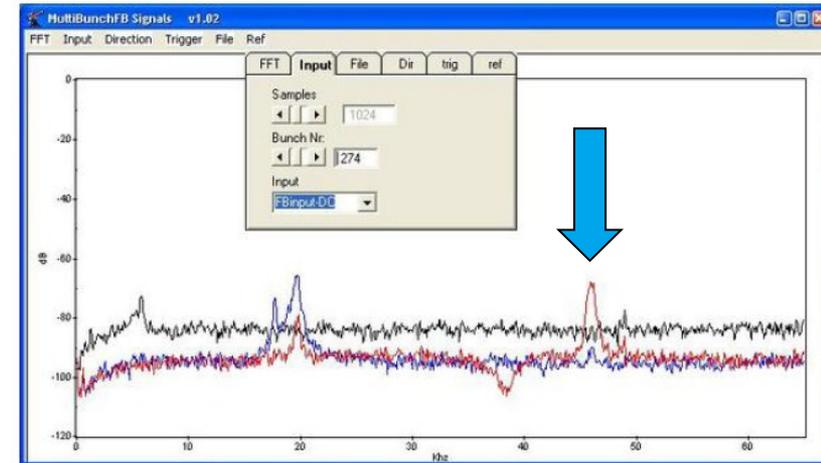
Beschleunigerseminar 29.01.2013

Berechnung eines „Wakepotentials“ mit
zwei Parametern (z_i, z_j) (Idee K. Ohmi)
und
anschliessenden Tracking



Tunespektrum

Simulation
und
Messung



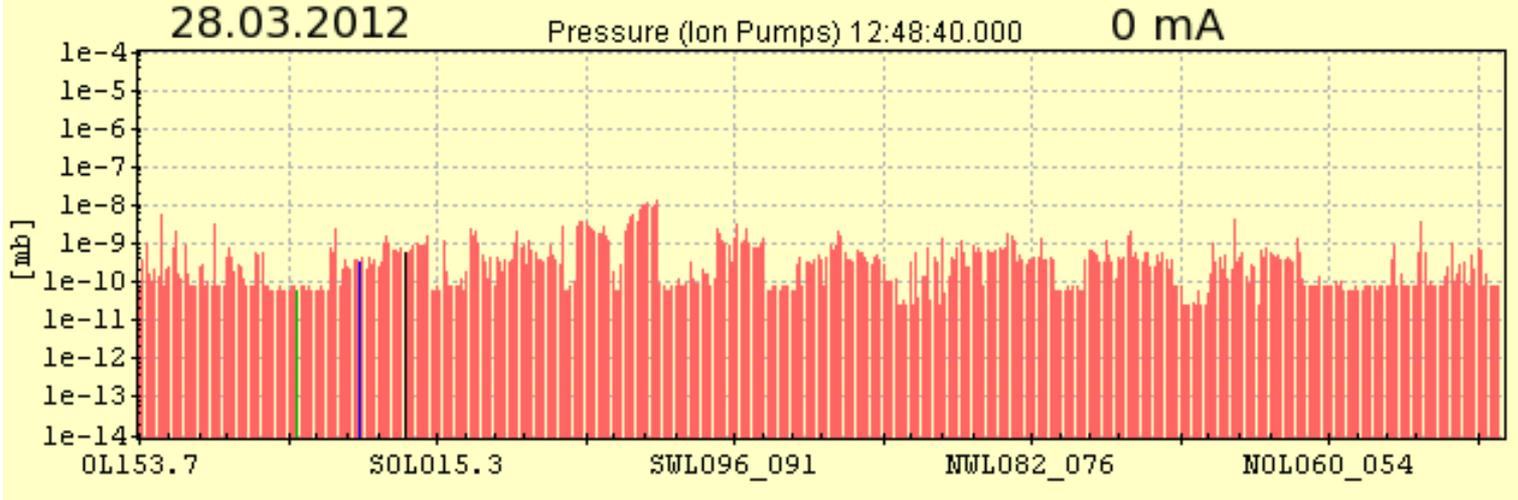
- > Eclouds / Emittanzvergrößerung**
- > 2012: > 1000 Ah + scrubbing**
 - 320 Bunche, 100 mA, 24 ns Bunchabstand**
- > Al - Kammer, Oxidation der Oberfläche**
 - SEY > 1.5, keine nachhaltige Verbesserung**
- > Oberes Seitenband im Tunespektrum NICHT verstanden**
 - Verbesserte Modellbildung**

(Zusammenarbeit mit der Uni Rostock)



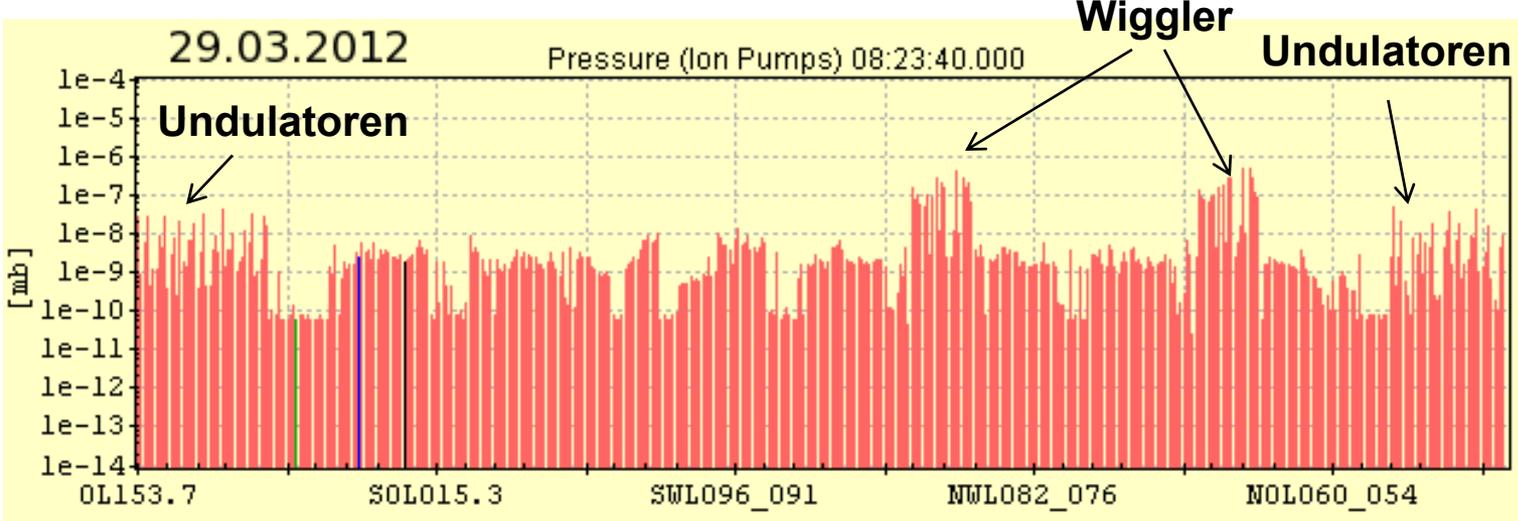
- > e⁺ Betrieb (2009 – 2012)
 - Eclouds / Emittanzvergrößerung
- > Vakuum
- > e⁻ Betrieb (seit Jan 2013)
 - Ioneneffekte
- > Einzelbuncheffekte e⁺ / e⁻

PETRA III: Vakuum 2012



Ohne Strahl

$\sim 6 \times 10^{-10}$ mb



Mit Strahl

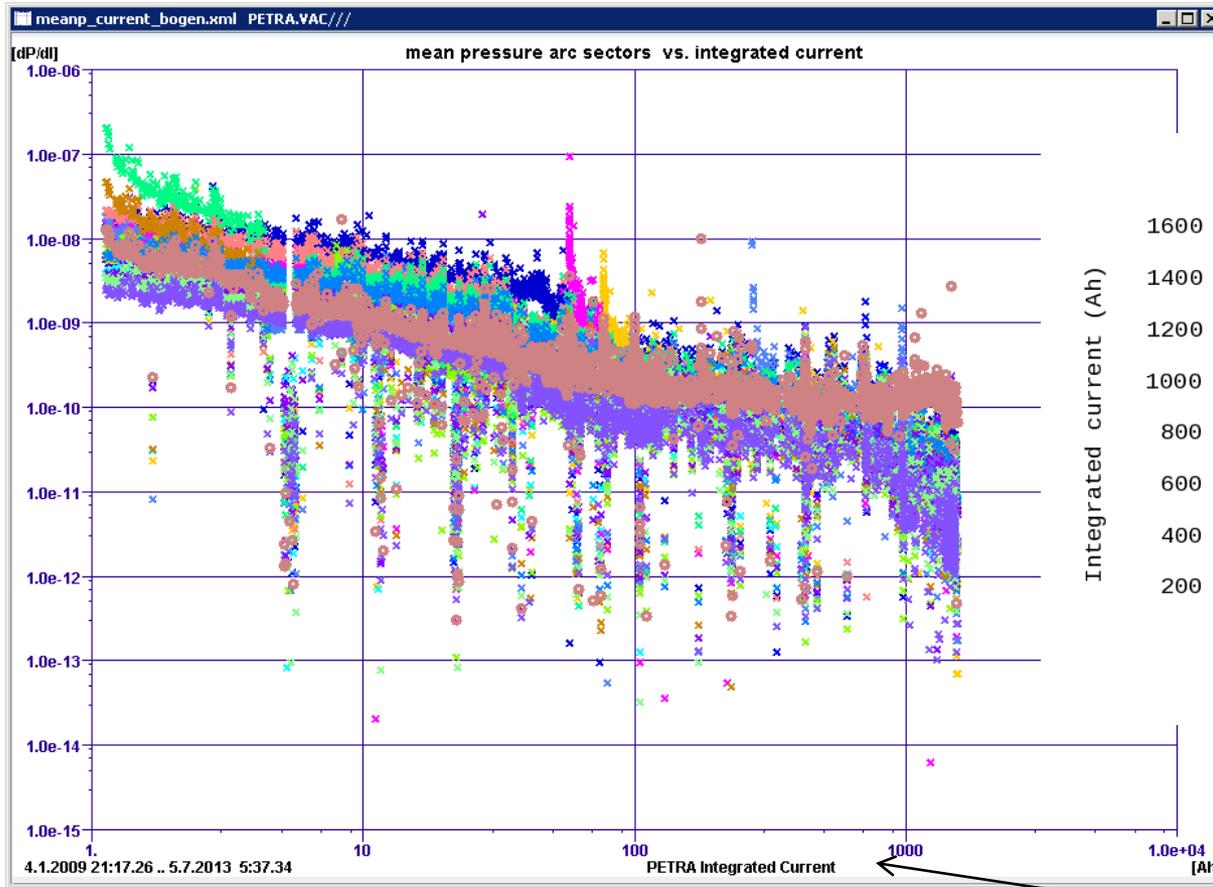
100 mA
240 Bunche

Bogen
 $\sim 3 \times 10^{-9}$ mb

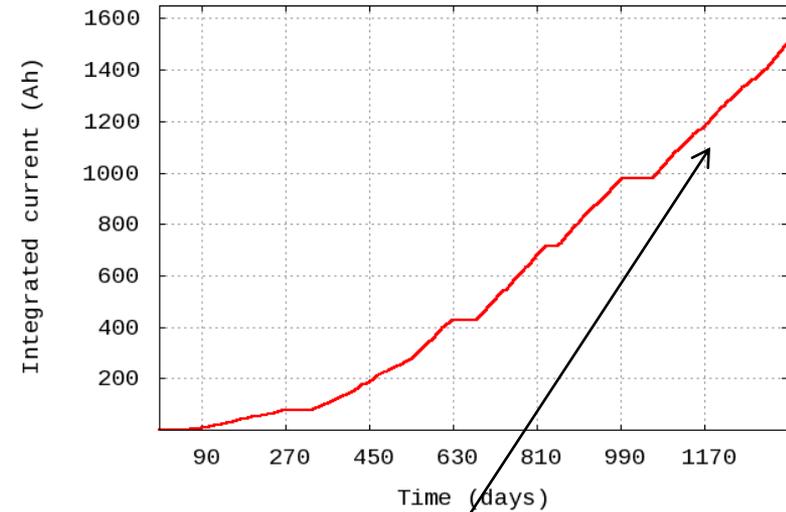
Ring
 $\sim 1.4 \times 10^{-8}$ mb



Dynamischer Druck in den alten Achtern



PETRA III Apr 1, 2009 - Dec 31, 2012



Integrierter Strom



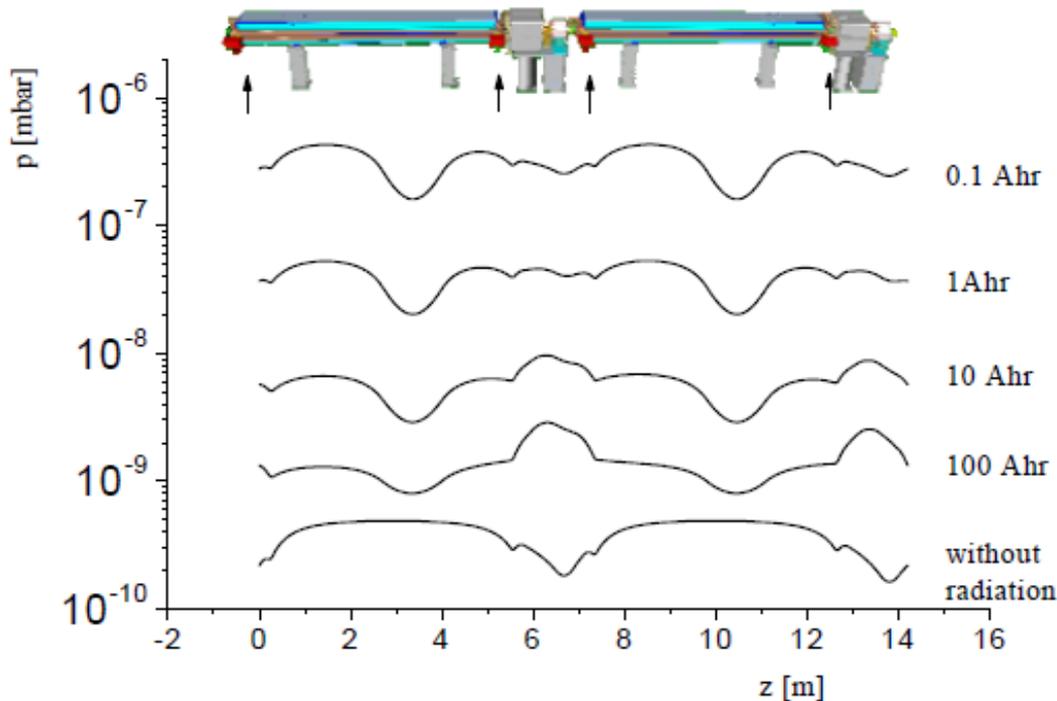
Druckverteilung in der FODO-Zelle

Journal of Physics: Conference Series **100** (2008) 092012

Vacuum System Design of the Third Generation Synchrotron

Radiation Source PETRA III

R Böspflug, J Boster, W Giesske, D Keese, R Köhler, N Mildner, B Nagorny, U Naujoks, H Remde, E Schulz, M Seidel, J Tiessen, H P Wedekind and K Zapfe



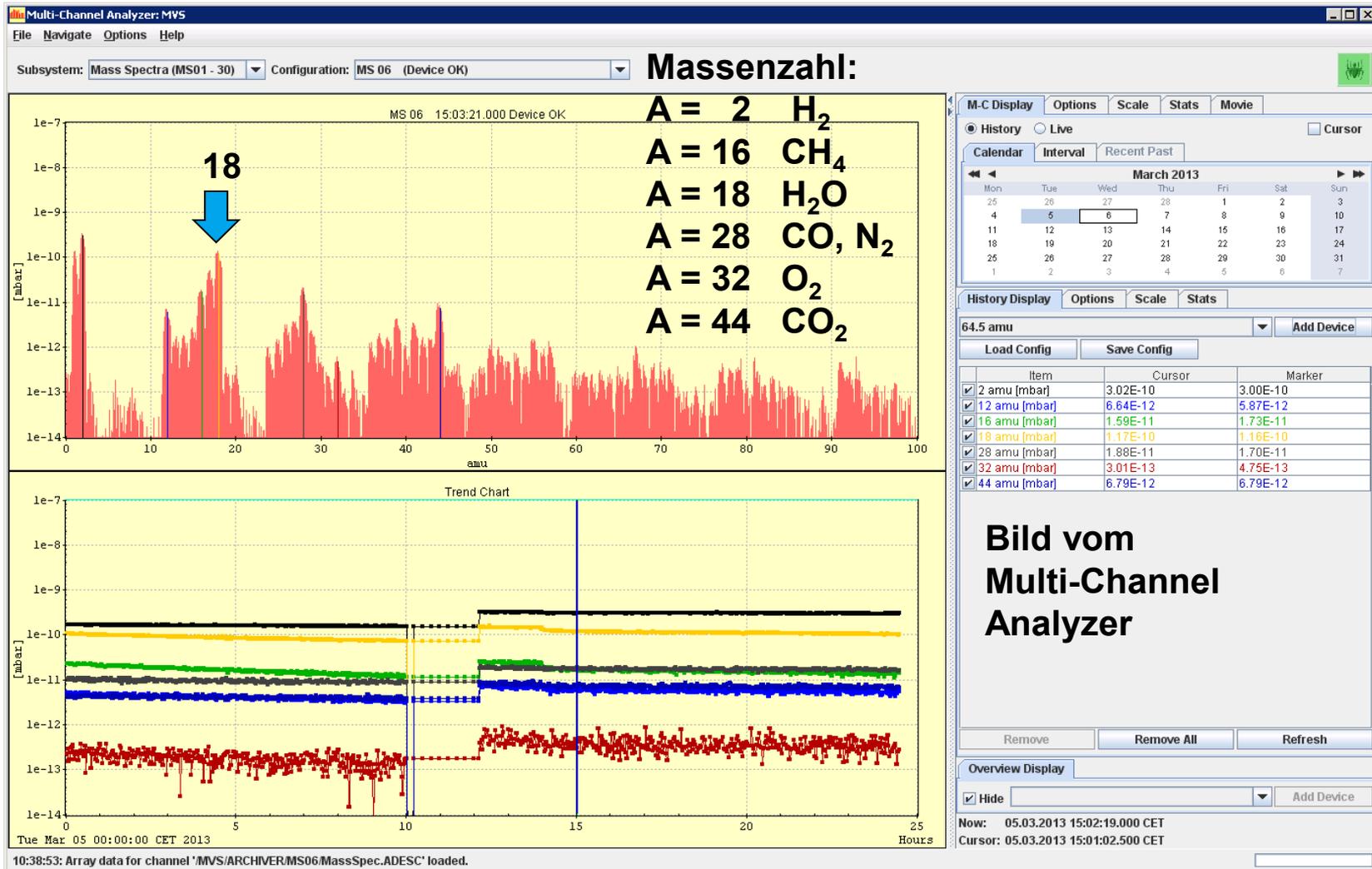
Restgasdichte:

$$d_{gas} = \frac{p_{gas} N_{Avo}}{R_{gas} 300 \text{ K}} = 24.14 \cdot 10^6 \text{ cm}^{-3}$$

$$p_{gas} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ mbar}$$

Massenspektrum (5.3.2013) SL 84 m

Gesamtdruck $\sim 3 \times 10^{-10}$ mb (Messung) / mit Strahl $\sim 2 \times 10^{-9}$ mb



>e+ Betrieb (2009 – 2012)

- Eclouds / Emittanzvergrößerung

>Vakuum

>e- Betrieb (seit Jan 2013)

- Ioneneffekte

>Einzelbuncheffekte e+ / e-

Ionendichte

Restgas:

$$d_{gas} = \frac{p_{gas} N_{Avo}}{R_{gas} 300 \text{ K}} = 24.14 \cdot 10^6 \text{ cm}^{-3}, \quad p_{gas} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ mbar}$$

Ionendichte:

$$\lambda_{ion} = d_{gas} \sigma_{ion} N_0 = 2 \text{ Mbarn } d_{gas} N_0$$

= 0.24 ions/cm nach einen bunch
mit 5×10^9 Elektronen
(100 mA, 960 Bunche)

Wirkungsquerschnitt

für die Ionisation:

$$2 \text{ Mbarn} = 2 \times 10^{-18} \text{ cm}^2$$

= 230 ions/cm nach 960 Bunchen
oder einen Umlauf

Ionen:

A = 2 H₂

A = 16 CH₄

A = 18 H₂O

A = 28 CO, N₂

A = 32 O₂

A = 44 CO₂

zum Vergleich

Bunchabstand 8 ns oder 2.4 m

20.8 x10⁶ Elektronen /cm



Ionen Optik: lineares Model

Drift

Quad (Strahllinse)

$$M = \begin{pmatrix} 1 & L_b \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -a & 1 \end{pmatrix}$$

$$\cos(\Phi) = \frac{1}{2} \text{Tr}(M) = 1 - \frac{a L_b}{2}$$

$$L_b = c \Delta t \quad a = N_b \frac{2 r_p}{\sigma_y (\sigma_x + \sigma_y)} \frac{1}{A}$$

Im Strahl gefangene Ionen:



kritische Ionenmassenzahl

$$A > A_c = N_b L_b \frac{r_p}{2 \sigma_y (\sigma_x + \sigma_y)}$$

N_b :	A_c		
960:	1	240:	16
480:	4	192:	26
320:	9	160:	37

N_b = Elektronen im Bunch

schlecht: viele Bunche
gut: wenige Bunche,

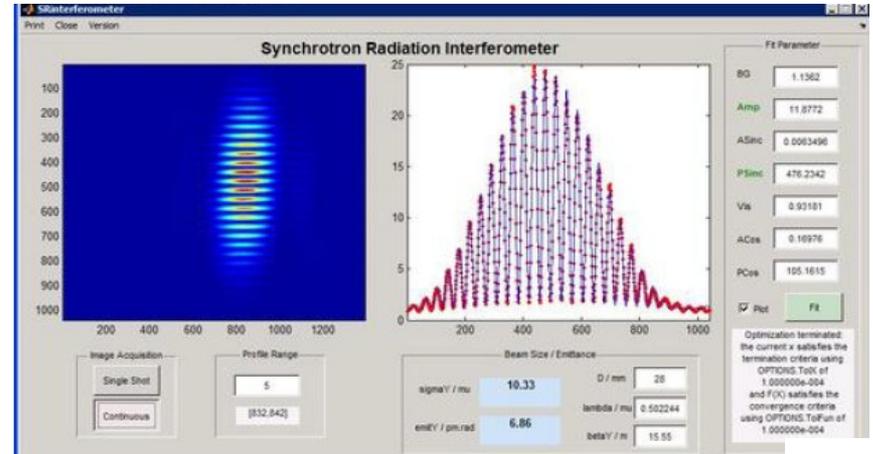
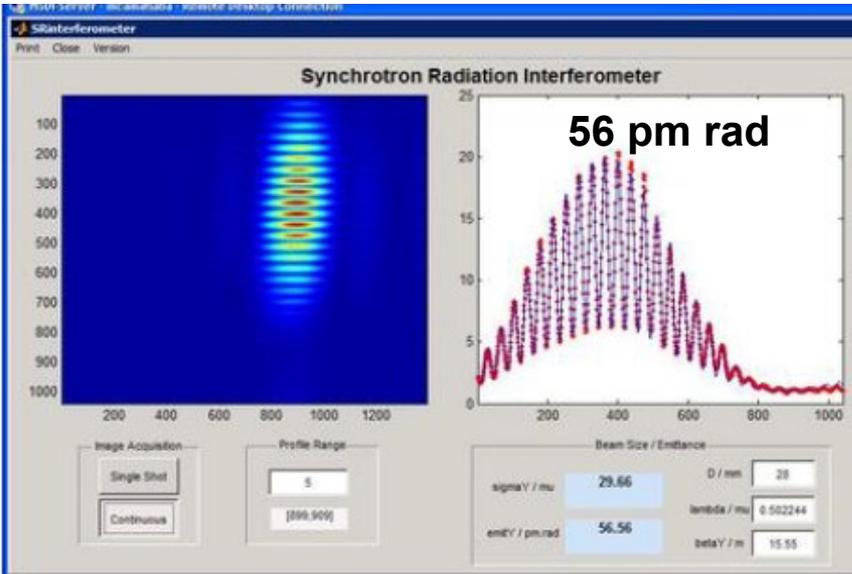
aber ...



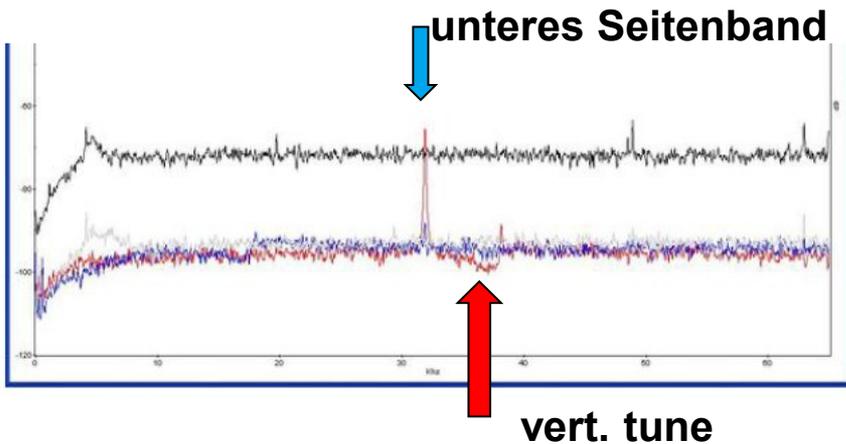
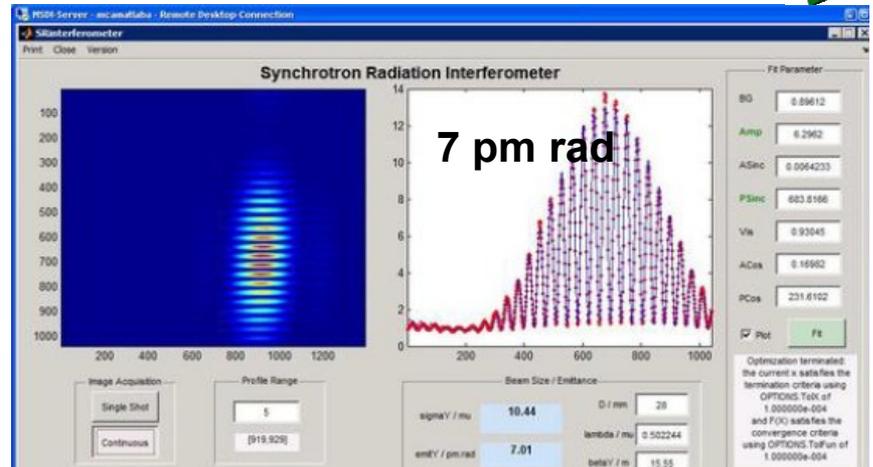
Ioneneffekte bei PETRA III

15.01.2013 240 Bunche, 100 mA

15.01.2013 480 Bunche, 100 mA



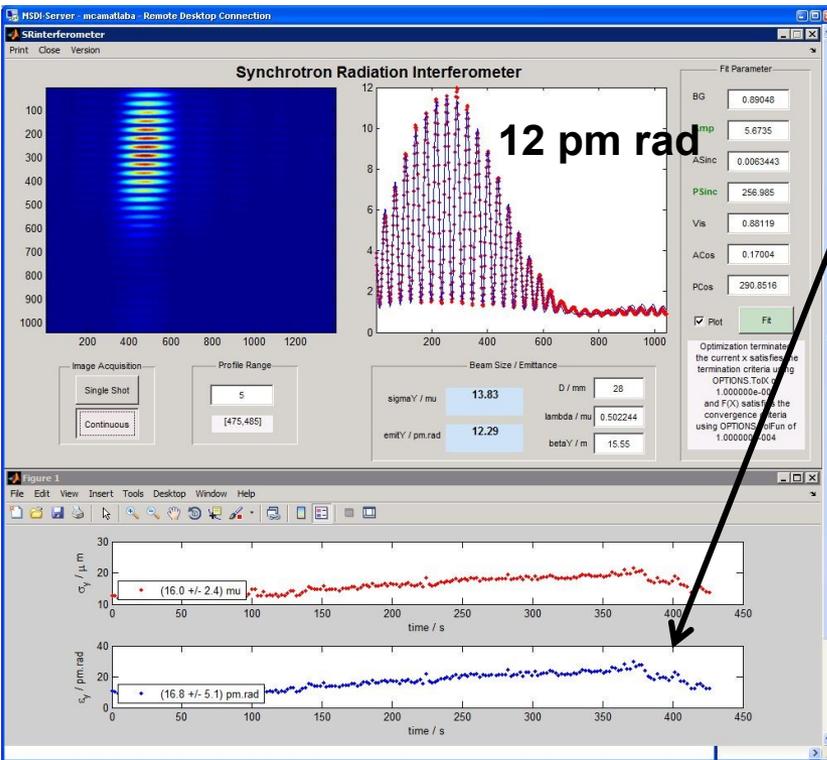
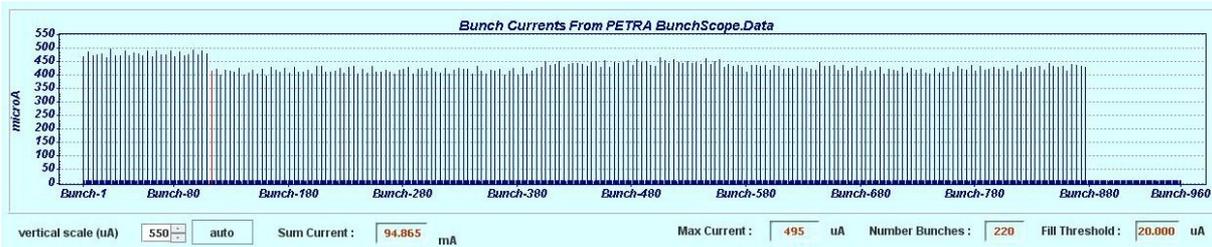
17.01.2013 960 Bunche, 100 mA



Schwellenstrom ~ 60 mA

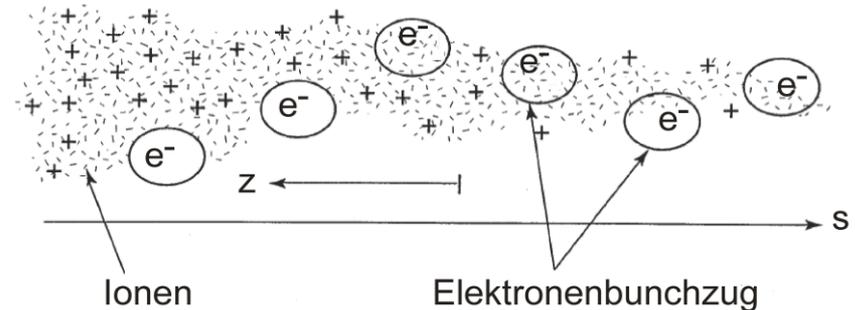


Ionen Effekte: Bunchzug mit Lücke, 220 Bunche



17.01.2013, 220 Bunche, 100 mA
Emittanz wächst zunächst, ist bei 100 mA
aber wieder gut.

Schnelle Ionen-Instabilität ?

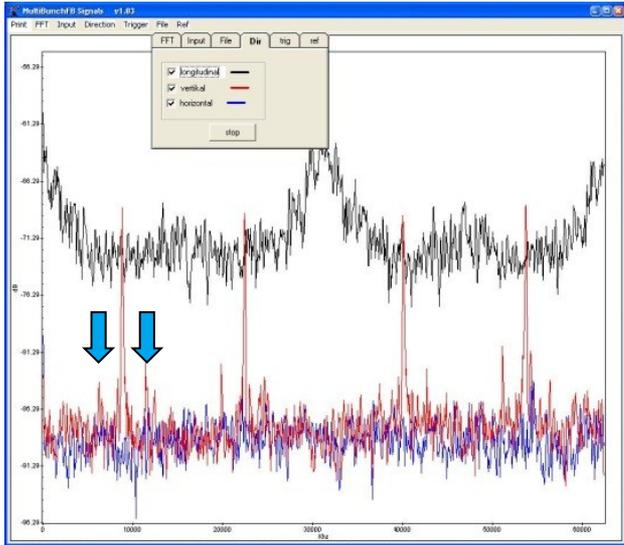


G. Xia et al., Ion Effect Issues in PETRA III,
PAC 2009, Vancouver



Ionen Effekte: Studien 7/8. März 2013

7.3.2013: 240 Bunche, 100 mA
Multibunchspektrum: (gain 4 -> 6 dB)

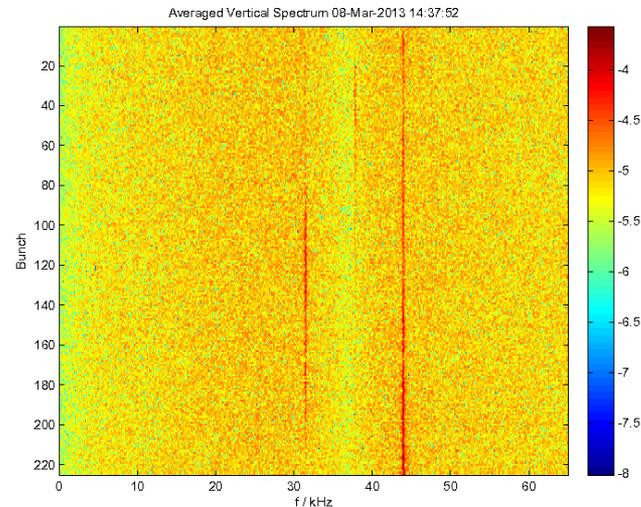


Füllungen mit Lücke

220 = 240 - 20 moderates Emittanzwachstum

225 Bunche, Lücke 15

Starkes Emittanzwachstum + Seitenbänder



Vert. Emittanzwachstum bei

320 = 960 / 3 Bunchen 68 mA

240 = 960 / 4 60 mA

192 = 960 / 5 58 mA

160 = 960 / 6 62 mA

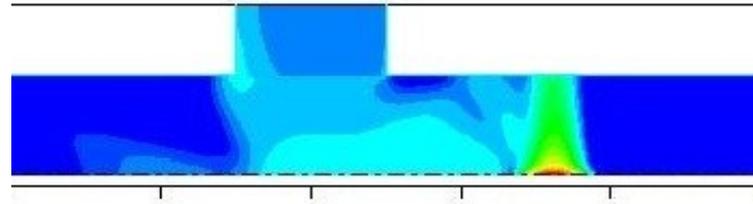
Auch kurze Bunchzüge zeigen bei höherer Einzelbunchintensität ein Emittanzwachstum

**Fazit: Nur wenige Füllmuster sind für User-Runs geeignet !
Wir haben Glück, 480 und 960 Bunche
zeigen keine Ioneneffekte**

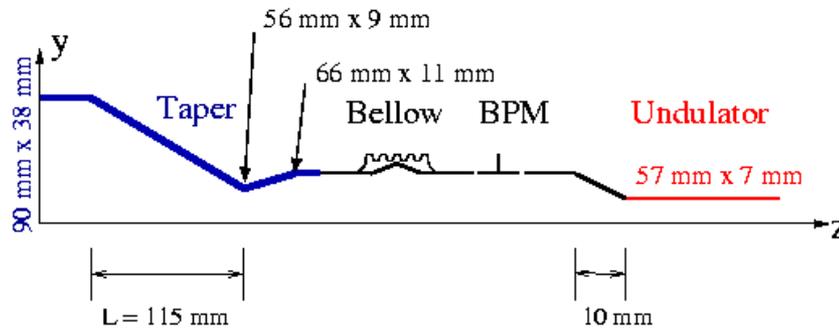
- > e⁺ Betrieb (2009 – 2012)
 - Eclouds / Emittanzvergrößerung
- > Vakuum
- > e⁻ Betrieb (seit Jan 2013)
 - Ioneneffekte
- > Einzelbuncheffekte e⁺ / e⁻

Einzelbuncheffekte: Wakefields und HOMs

Wakefields:

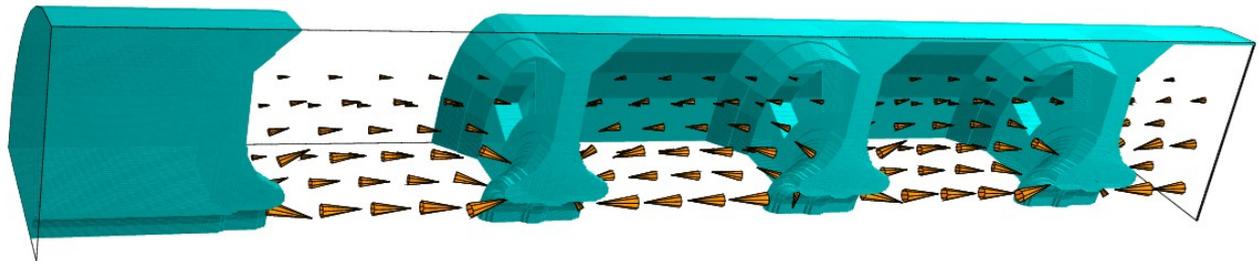


**Getaperter
Übergang
vor den
Undulatoren**



500 MHz Cavity

**Modell
3 ½ Zellen**



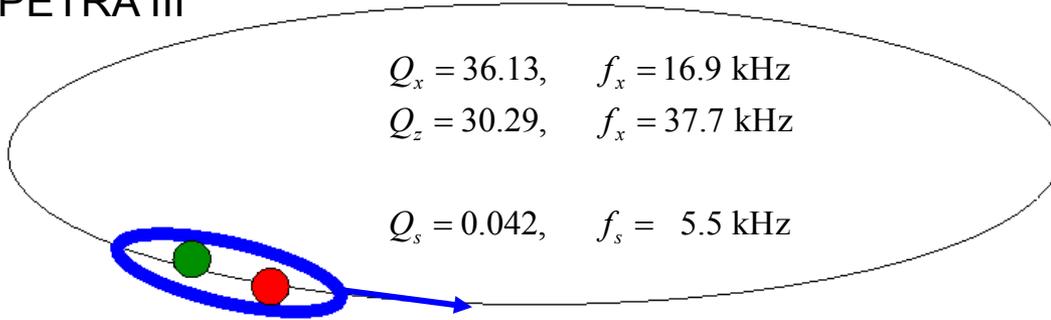
Einzelbunch - Instabilitäten

PETRA III

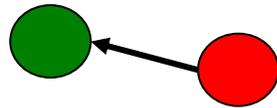
$$Q_x = 36.13, \quad f_x = 16.9 \text{ kHz}$$

$$Q_z = 30.29, \quad f_z = 37.7 \text{ kHz}$$

$$Q_s = 0.042, \quad f_s = 5.5 \text{ kHz}$$



Wakefield:
Tail ← Head



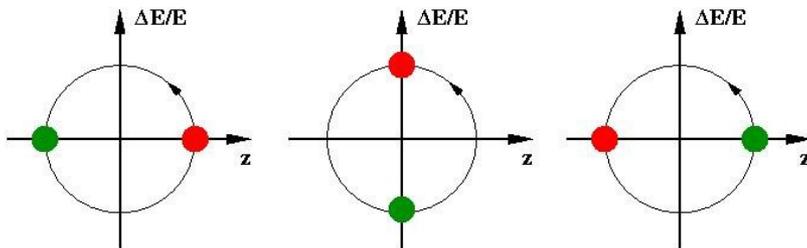
$$C = 2304 \text{ m}, \quad f_0 = 130 \text{ kHz}$$

$$T_0 = 7.68 \text{ } \mu\text{s}$$

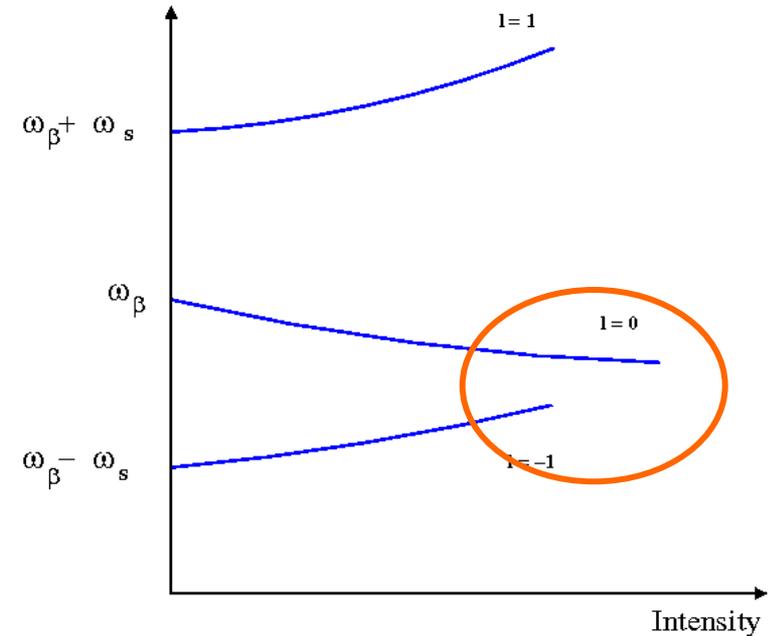
$$T_s = 182 \text{ } \mu\text{s} = 23.7 T_0$$

$$\sigma_z = 12 \text{ mm}, \quad \sigma_t = 40 \text{ ps}, \quad \sigma_\omega = 2\pi \cdot 3.98 \text{ GHz}$$

Synchrotronschwingungen



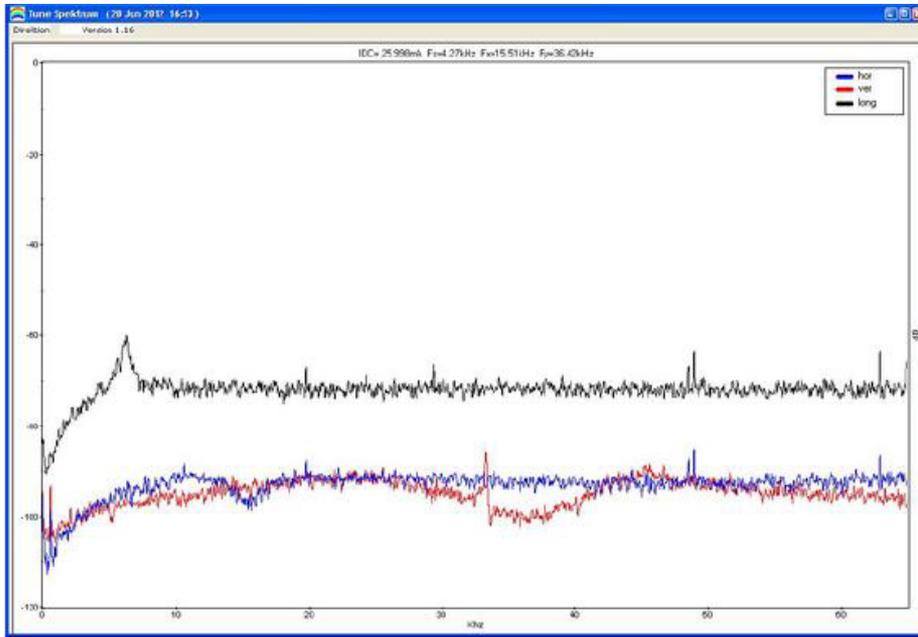
Modenkopplung



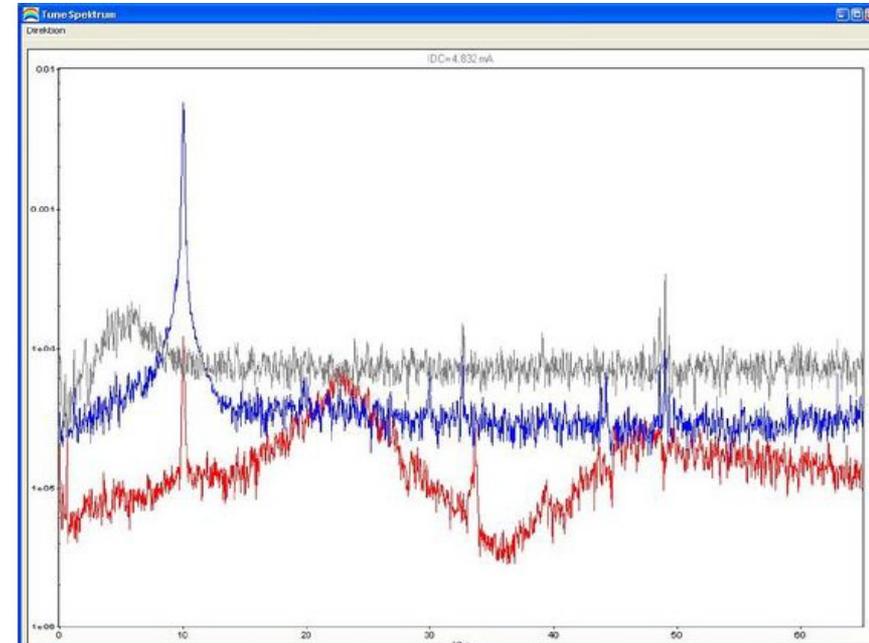
$$y_1 + y_2 \sim \exp\left(-i\left(\omega_\beta + l\omega_s \pm \frac{\phi\omega_s}{2\pi}\right)\right)$$

e+ Unteres Seitenband

20.06.2012 10 Bunche 26 mA

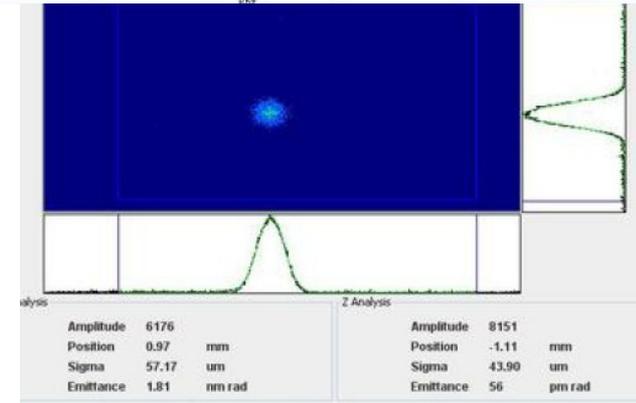


18.02.2011 1 Bunch 5 mA



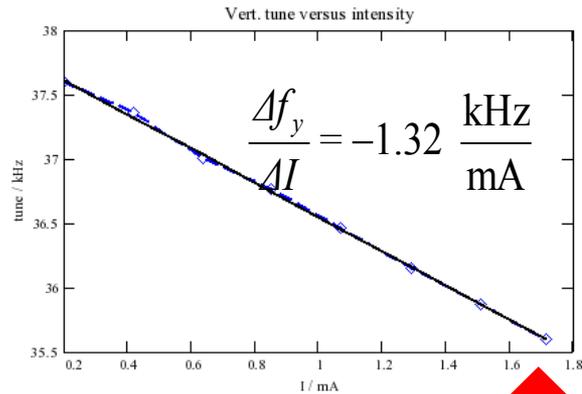
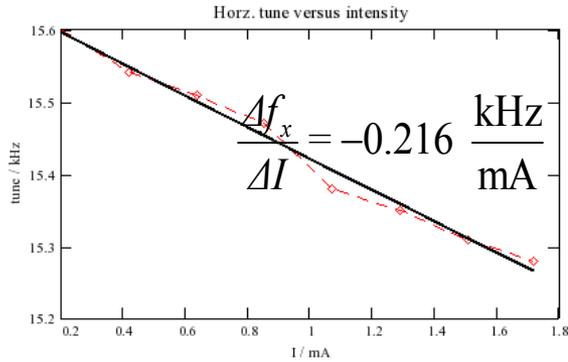
2012: 40 Bunche, 80 mA
10 Bunche, 26mA
mit grosser Chromatizitaet
(bis zu ~ 7 Einheiten)

2011:
maximal erreichter Einzelbunchstrom:
5 mA mit Emittanzaufweitung (vert. 56 pm rad)



Tuneshift

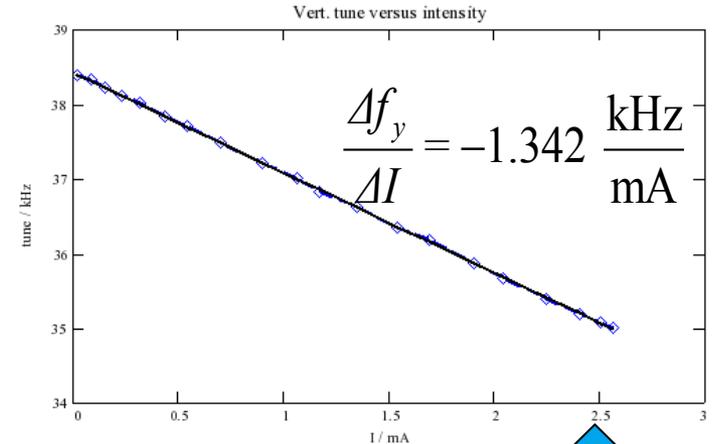
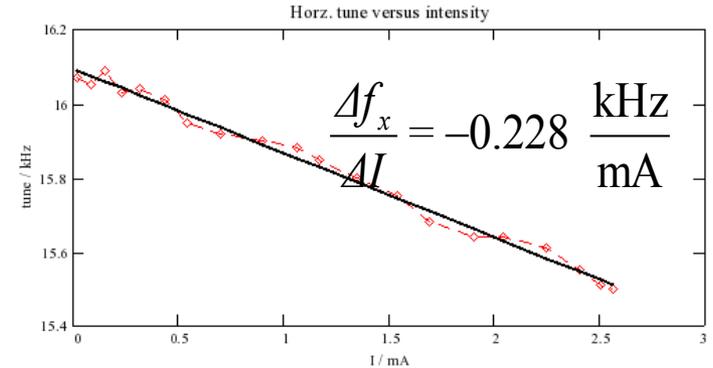
e+ 17.10.2012 Chromatizität +1 / +2



↑ 1.7 mA

**Tuneshift
gleich, aber
e+ wird eher
instabil bei
kleiner
Chromatizität**

e- 17.01.2013



↑ 2.5 mA

Erklärung: e+ auch ecloud Effekte im Einzelbunch ???

e- Inkoherenter Tunespread durch Ionen,
Landau Dämpfung ???



Bei PETRA III treten kollektive Effekte durch Eclouds und Ionen auf, die die möglichen Füllschemata für die Nutzer limitieren, folgende Füllmuster sind ok:

e⁺ : max. 320 Bunche

**e⁻ : 40, 60, ..., 120 Bunche und
480, 960 Bunche**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !