

INJEKTION UND LEBENSDAUER

ASPEKTE NICHT LINEARER STRAHLDYNAMIK IN PETRA III

Alexander Kling

MPY - DESY

Grömitz

18. November 2008



1 PETRA III



- 1 PETRA III
- 2 INJEKTION - DYNAMISCHE APERTUR



- 1 PETRA III
- 2 INJEKTION - DYNAMISCHE APERTUR
- 3 LEBENSDAUER - IMPULSAKZEPTANZ



- 1 PETRA III
- 2 INJEKTION - DYNAMISCHE APERTUR
- 3 LEBENSDAUER - IMPULSAKZEPTANZ
- 4 ZUSAMMENFASSUNG



OUTLINE

- 1 PETRA III
- 2 Injektion - Dynamische Apertur
- 3 Lebensdauer - Impulsakzeptanz
- 4 Zusammenfassung



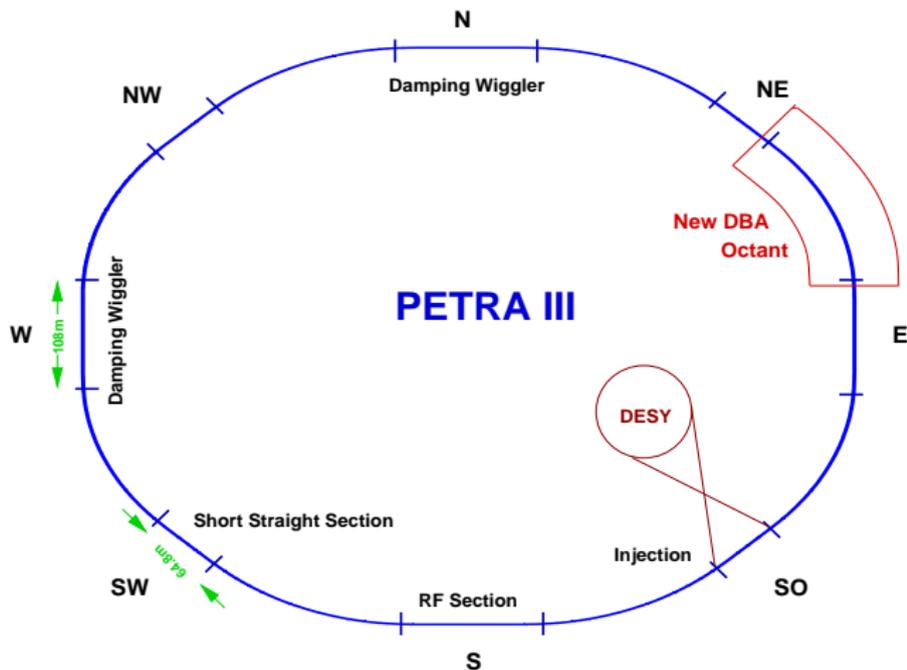


FIGURE: Schematische Darstellung von PETRA III mit der Verteilung der Hauptkomponenten in den geraden Abschnitten.



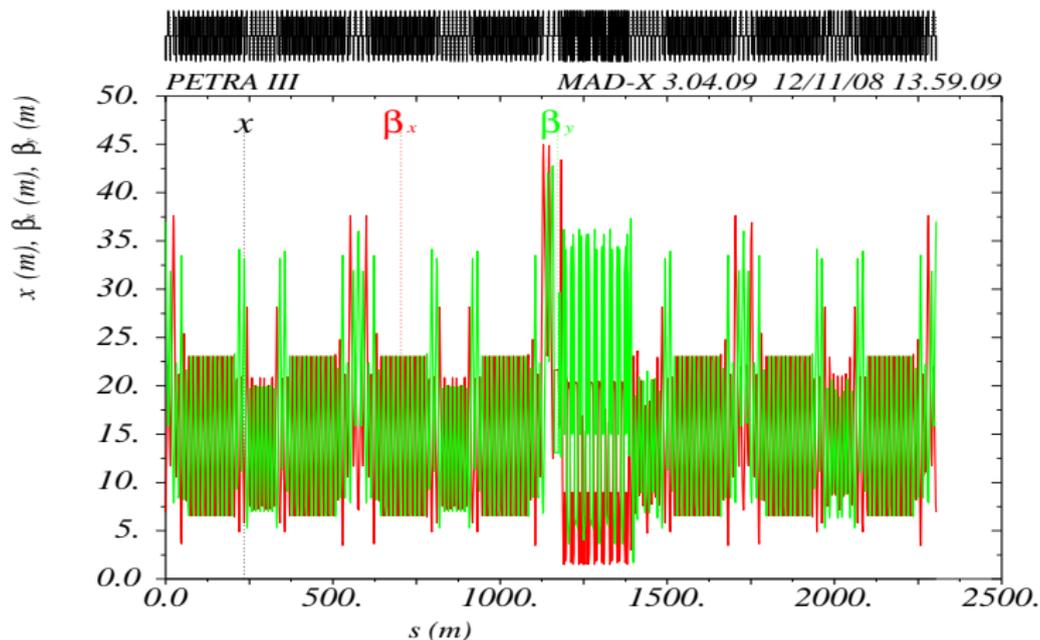


FIGURE: Horizontale und vertikale Betafunktionen in Petra III. Die Optik enthält keine Wiggler und Undulatoren.



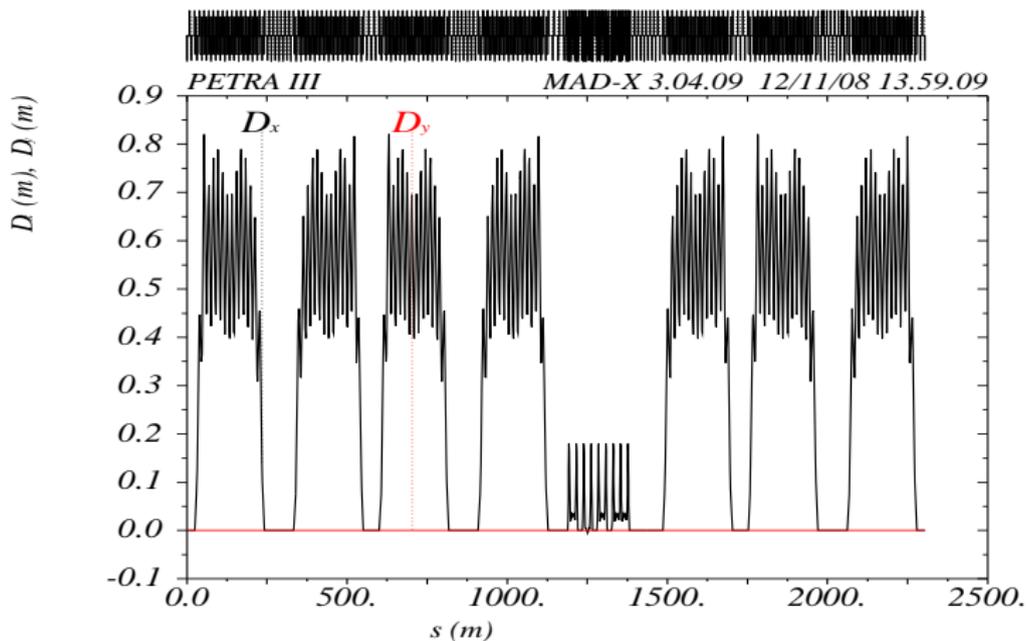


FIGURE: Horizontale Dispersion in Petra III .



OUTLINE

- 1 PETRA III
- 2 INJEKTION - DYNAMISCHE APERTUR**
- 3 Lebensdauer - Impulsakzeptanz
- 4 Zusammenfassung



RELEVANTE PARAMETER: DESY II - E-WEG - PETRA III

Parameter	Wert	Einheit
Hor. Emittanz DESY II	350	nm rad
Ver. Emittanz DESY II	35	nm rad
Hor. Emittanz PETRA III (o. Wiggler)	4.65	nm rad
Kopplung in PETRA III	0.01	
E-Weg Hor. Betafunktion am Petra Septum	12.98	m
E-Weg α_x am Petra Septum	-0.8563	
E-Weg Ver. Betafunktion am Petra Septum	9.5	m
E-Weg α_y am Petra Septum	0.61	
Petra III Hor. Betafunktion am Septum	19.0	m
Petra III α_x am Septum	-1.0087	
Petra III Ver. Betafunktion am Septum	9.5	m
Petra III α_y am Septum	0.6107	
Petra III Hor. Lage des Septums	-40	mm

TABLE: Einige für die Injektion in Petra III relevante Parameter.



HORIZONTALER PHASENRAUM AM SEPTUM

Petra III Injection – Horizontal Phase Space

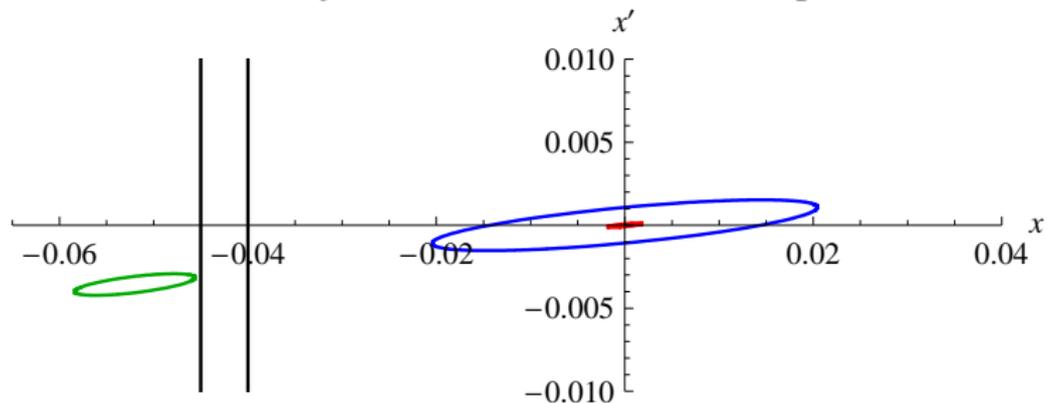


FIGURE: Injizierter (grün) und umlaufender (rot) Strahl am Septum ohne Injektions- bzw. Kicker-Beule. In blau ist die Akzeptanz des Ringes dargestellt. Die Größe des umlaufenden Strahls ist unter der Annahme einer Gleichgewichts-Emittanz von 4.65 nmrad berechnet.



HORIZONTALER PHASENRAUM AM SEPTUM

Petra III Injection – Horizontal Phase Space

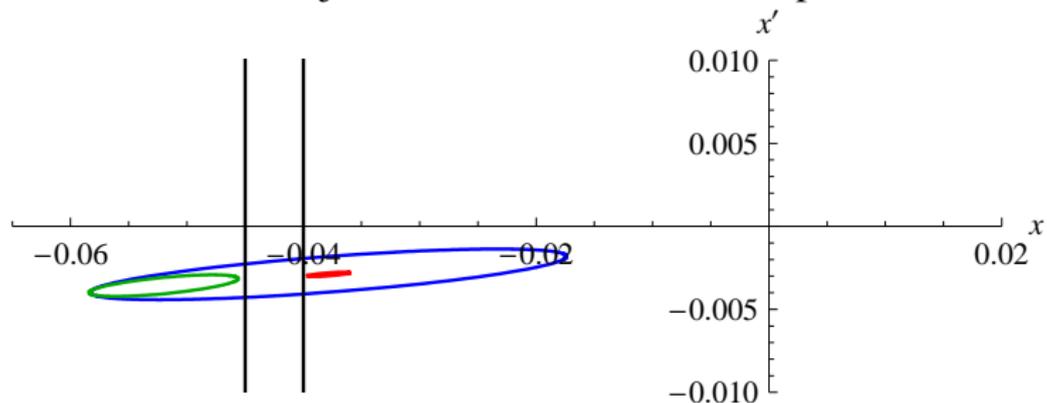
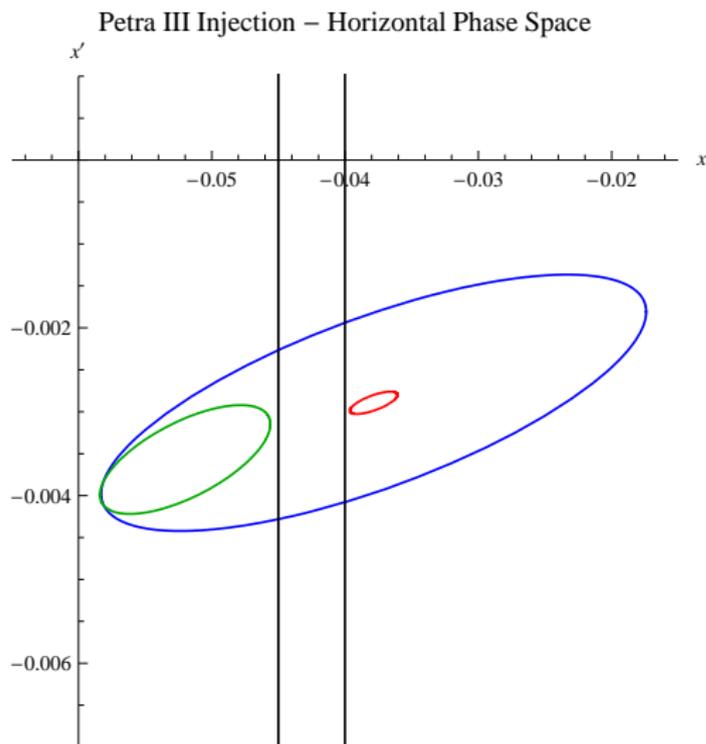


FIGURE: Injizierter (grün) und umlaufender (rot) Strahl am Septum mit einer gerechneten Kicker-Beule von 37.85mm Amplitude. Die in blau eingezeichnete Akzeptanz des Ringes reicht aus um den injizierten Strahl aufzunehmen.



HORIZONTALER PHASENRAUM AM SEPTUM

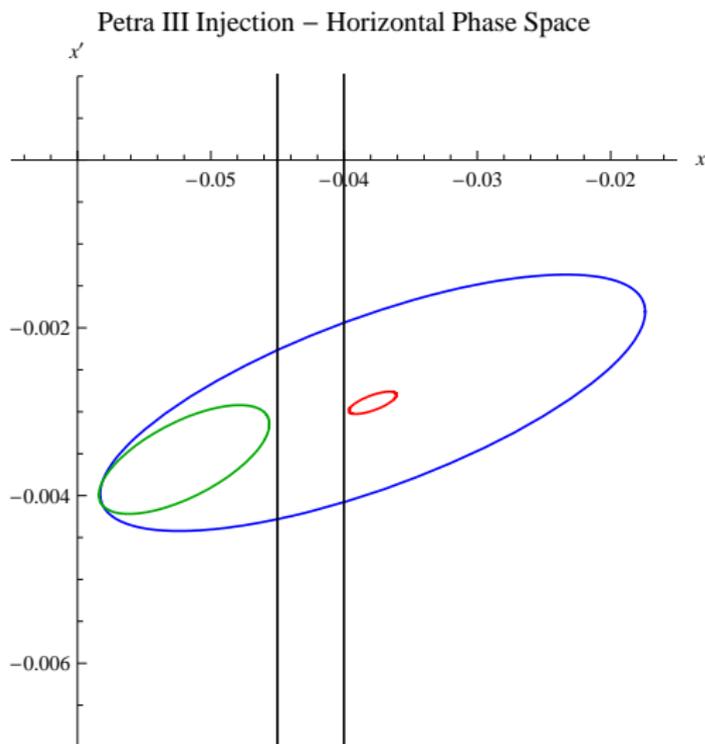


Im Detail:

- 6σ für den umlaufenden Strahl.
- Dicke des Septums: 5mm
- 3σ injizierter Strahl.



HORIZONTALER PHASENRAUM AM SEPTUM

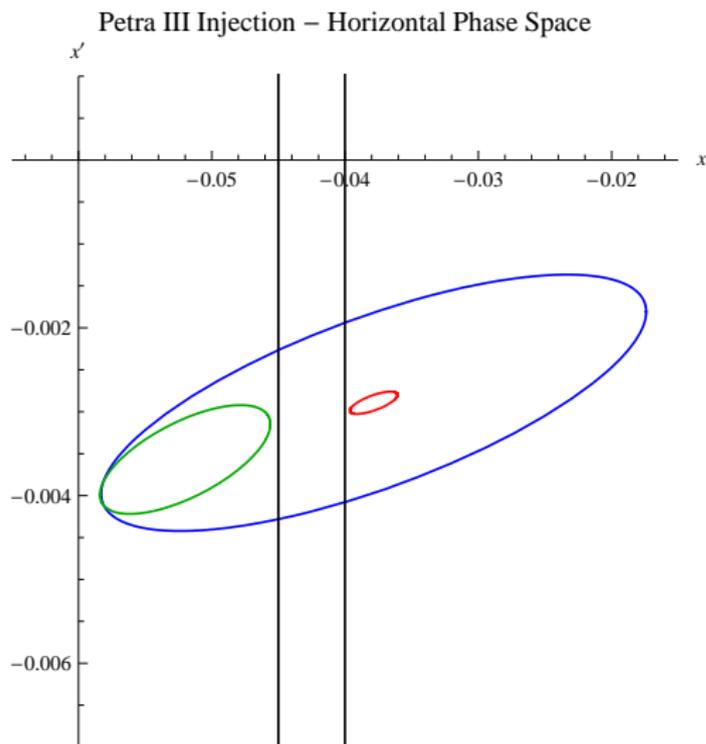


Im Detail:

- 6σ für den umlaufenden Strahl.
- Dicke des Septums: 5mm
- 3σ injizierter Strahl.
- Benötigte Akzeptanz: 22 mm mrad.



HORIZONTALER PHASENRAUM AM SEPTUM

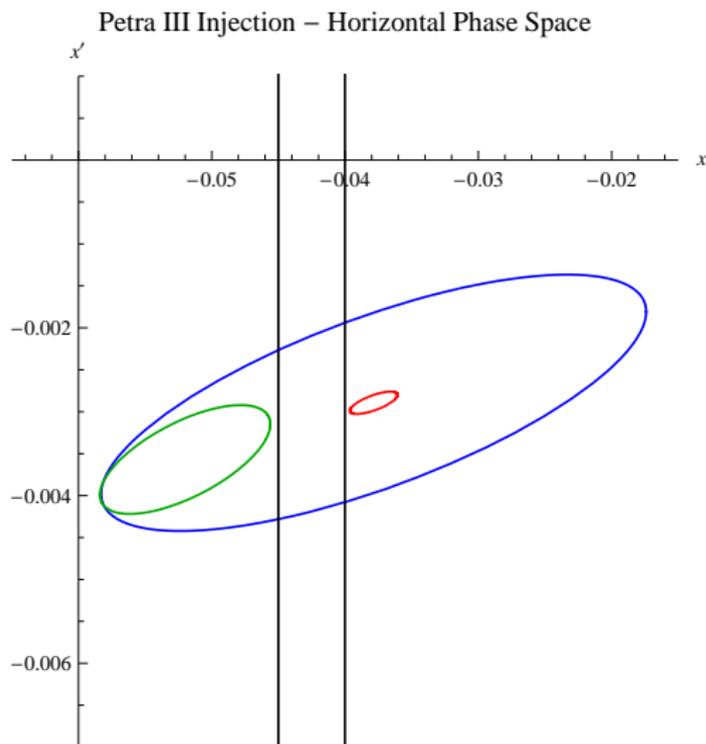


Im Detail:

- 6 σ für den umlaufenden Strahl.
- Dicke des Septums: 5mm
- 3 σ injizierter Strahl.
- Benötigte Akzeptanz: 22 mm mrad.
- Gewünschte Akzeptanz: 40 mm mrad.



HORIZONTALER PHASENRAUM AM SEPTUM



Im Detail:

- 6 σ für den umlaufenden Strahl.
- Dicke des Septums: 5mm
- 3 σ injizierter Strahl.
- Benötigte Akzeptanz: 22 mm mrad.
- Gewünschte Akzeptanz: 40 mm mrad.
- Mit Dämpfungswiggeln: 18/30 mm mrad.



VERTIKALER PHASENRAUM AM SEPTUM

Petra III Injection – Vertical Phase Space

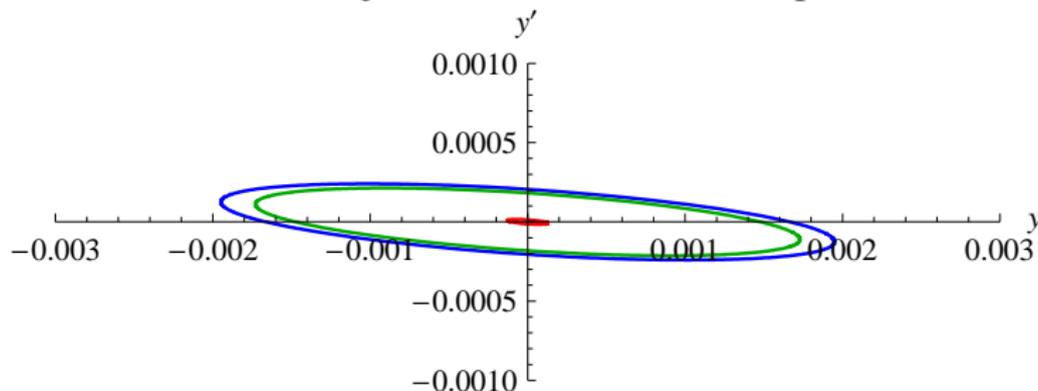


FIGURE: Injizierter (grün) und umlaufender (rot) Strahl am Septum. In blau ist die Akzeptanz des Ringes dargestellt. Die Grösse des umlaufenden Strahls ist unter der Annahme von 1% Kopplung bei einer Gleichgewichts-Emittanz von 4.65 nmrاد berechnet. Die benötigte Akzeptanz beträgt 0.4 mm mrad.



DYNAMISCHE APERTUR - ANFORDERUNGEN

Die Akzeptanz ergibt sich aus dem Minimum von **physikalischer Apertur** und **dynamischer Apertur**.

- Gute (und stabile) Injektionseffizienz erfordert ausreichend dynamische Apertur. Ohne Dämpfungswiggler ergibt sich:



DYNAMISCHE APERTUR - ANFORDERUNGEN

Die Akzeptanz ergibt sich aus dem Minimum von **physikalischer Apertur** und **dynamischer Apertur**.

- Gute (und stabile) Injektionseffizienz erfordert ausreichend dynamische Apertur. Ohne Dämpfungswiggler ergibt sich:
- Horizontal: 40 mm mrad (Minimum: 22 mm mrad).



DYNAMISCHE APERTUR - ANFORDERUNGEN

Die Akzeptanz ergibt sich aus dem Minimum von **physikalischer Apertur** und **dynamischer Apertur**.

- Gute (und stabile) Injektionseffizienz erfordert ausreichend dynamische Apertur. Ohne Dämpfungswiggler ergibt sich:
- Horizontal: 40 mm mrad (Minimum: 22 mm mrad).
- Vertikal: 1 mm mrad - besser 1.5 mm mrad (Minimum: 0.4 mm mrad).



DYNAMISCHE APERTUR - ANFORDERUNGEN

Die Akzeptanz ergibt sich aus dem Minimum von **physikalischer Apertur** und **dynamischer Apertur**.

- Gute (und stabile) Injektionseffizienz erfordert ausreichend dynamische Apertur. Ohne Dämpfungswiggler ergibt sich:
- Horizontal: 40 mm mrad (Minimum: 22 mm mrad).
- Vertikal: 1 mm mrad - besser 1.5 mm mrad (Minimum: 0.4 mm mrad).
- Physikalische Apertur:
 - Horizontal: < 50 mm mrad
 - Vertikal: < 2.2 mm mrad



DYNAMISCHE APERTUR - ANFORDERUNGEN

Die Akzeptanz ergibt sich aus dem Minimum von **physikalischer Apertur** und **dynamischer Apertur**.

- Gute (und stabile) Injektionseffizienz erfordert ausreichend dynamische Apertur. Ohne Dämpfungswiggler ergibt sich:
 - Horizontal: 40 mm mrad (Minimum: 22 mm mrad).
 - Vertikal: 1 mm mrad - besser 1.5 mm mrad (Minimum: 0.4 mm mrad).
- Physikalische Apertur:
 - Horizontal: < 50 mm mrad
 - Vertikal: < 2.2 mm mrad
- Insbesondere die sehr kleine vertikale physikalische Apertur in den Undulorkammern begrenzt die Akzeptanz \Rightarrow gute Kontrolle der Kopplung erforderlich.



DYNAMISCHE APERTUR - TRACKING

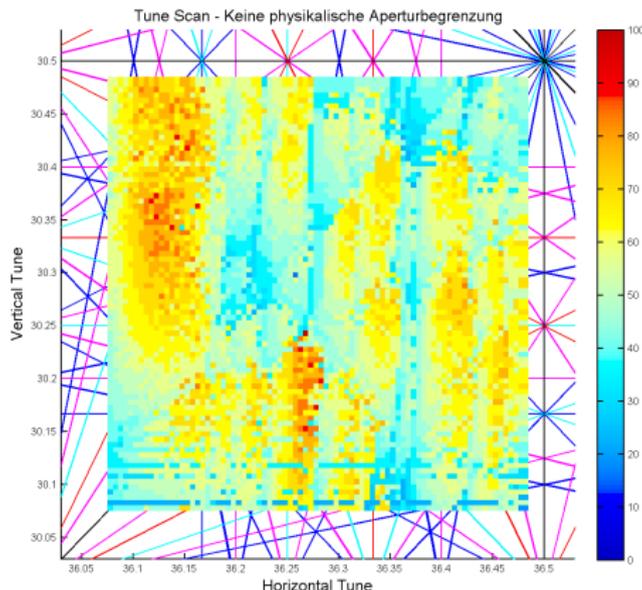


FIGURE: Bestimmung möglicher Arbeitspunkte mit guter dynamischer Apertur mittels Tracking. Die horizontale Amplitude wird für jeden Gitterpunkt im Tune-Raum erhöht bis das Teilchen verloren geht. Die vertikale Amplitude wird im Verhältnis von 5% mitgesteigert. Das Bild stellt die Verhältnisse in der idealen Maschine ohne Apertureinschränkungen dar.



DYNAMISCHE APERTUR - FREQUENCY MAP

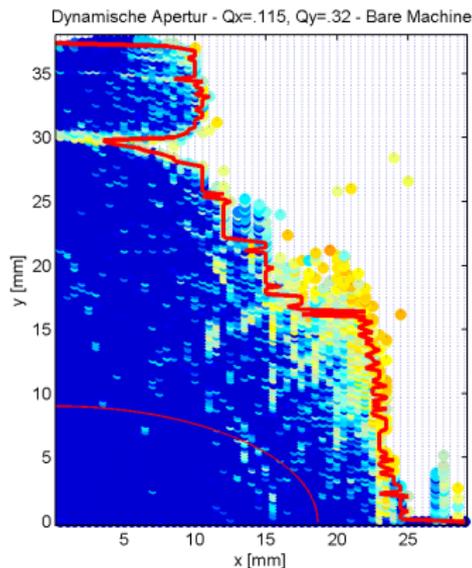


FIGURE: Dynamische Apertur der Idealen Maschine ohne Aperturbegrenzungen.



DYNAMISCHE APERTUR - FREQUENCY MAP

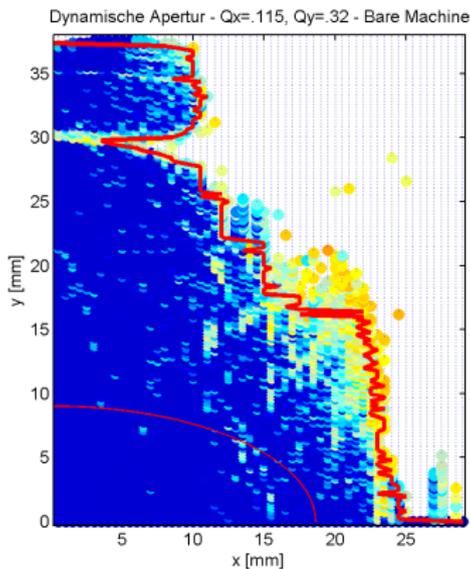


FIGURE: Dynamische Apertur der Idealen Maschine ohne Aperturbegrenzungen.

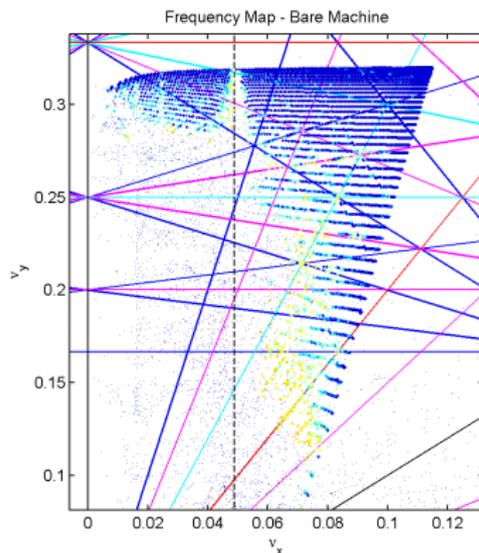


FIGURE: Frequency Map.



DYNAMISCHE APERTUR - FREQUENCY MAP

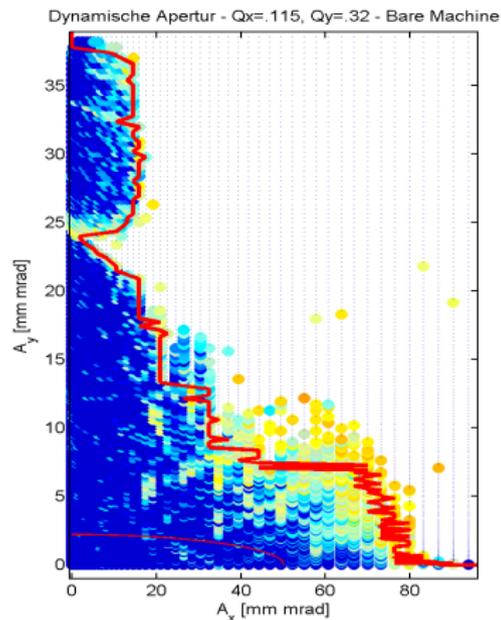


FIGURE: Dynamische Apertur der idealen Maschine ohne Aperturbegrenzungen.

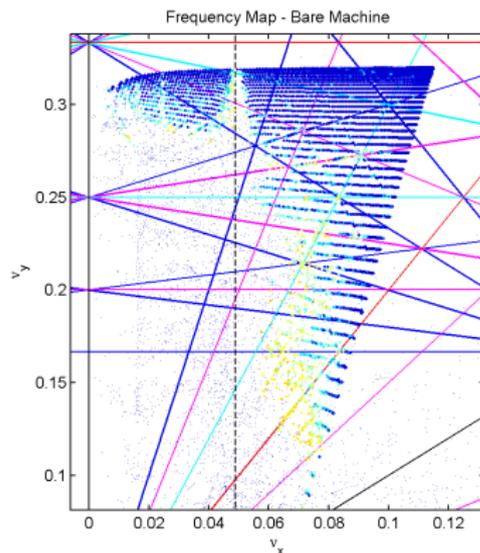


FIGURE: Frequency Map.



DYNAMISCHE APERTUR - FREQUENCY MAP

- Die dynamische Apertur der idealen Maschine ist natürlich gigantisch.
- Vertikal wird die dynamische Apertur durch das Kreuzen des ersten Satelliten der Integer-Resonanz begrenzt.
- Horizontal wird eine Reihe von Resonanzlinien unterschiedlicher Stärke gekreuzt.

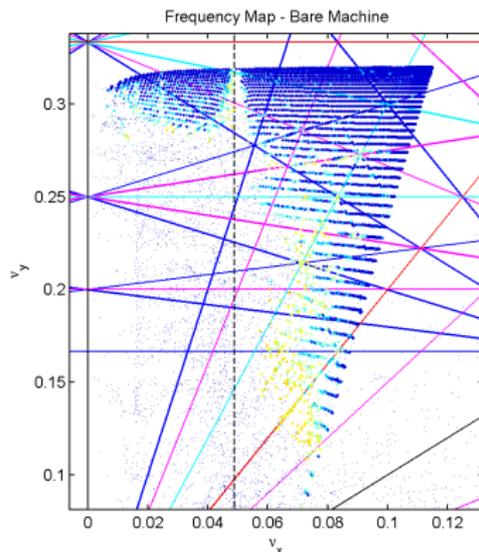


FIGURE: Frequency Map.



DYNAMISCHE APERTUR - FREQUENCY MAP

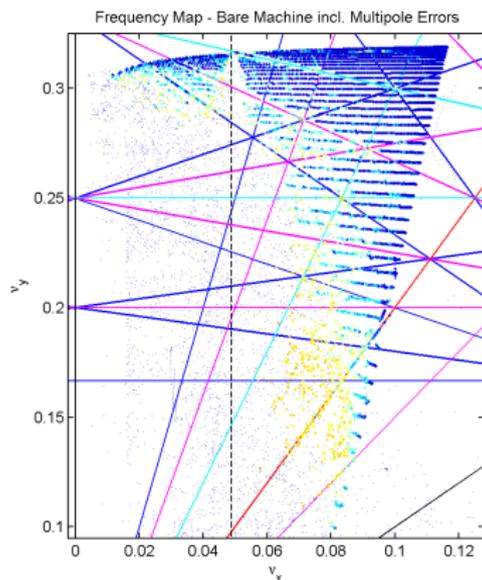


FIGURE: Frequency Map.

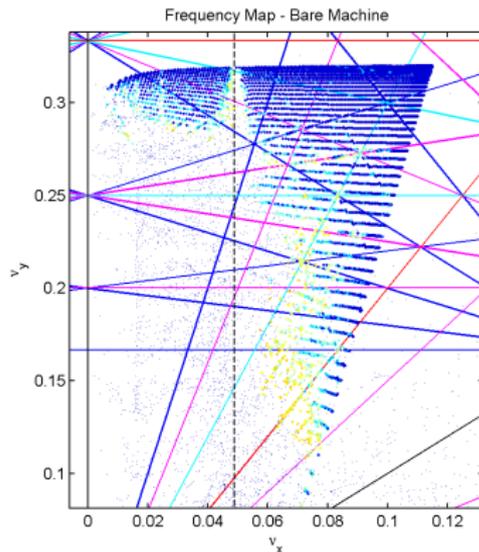


FIGURE: Frequency Map.



DYNAMISCHE APERTUR - FREQUENCY MAP

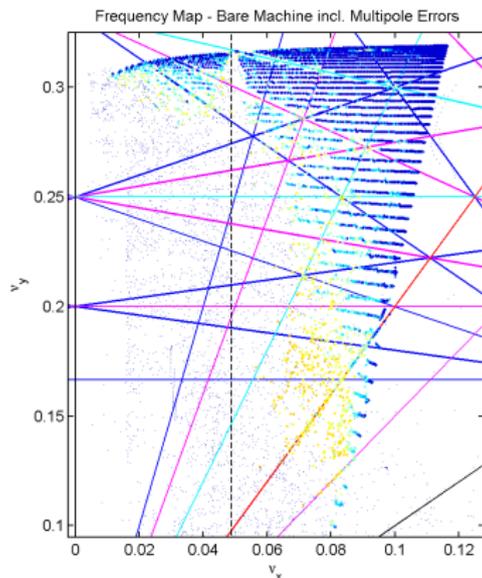


FIGURE: Frequency Map.

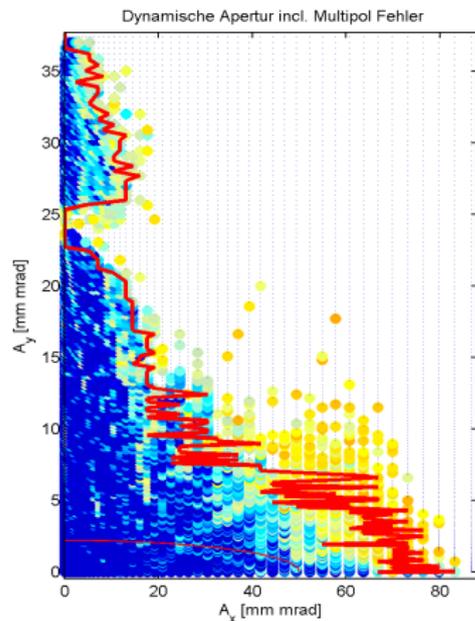


FIGURE: Dynamische Apertur mit Multipol-Fehlern, aber ohne Aperturbegrenzungen.



DYNAMISCHE APERTUR - FREQUENCY MAP

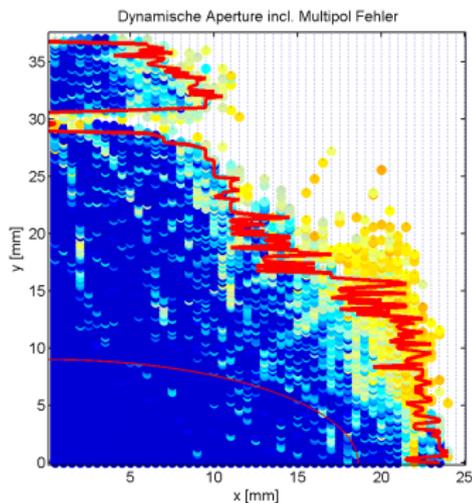


FIGURE: Dynamische Apertur mit Multipol-Fehlern, aber ohne Aperturbegrenzungen.

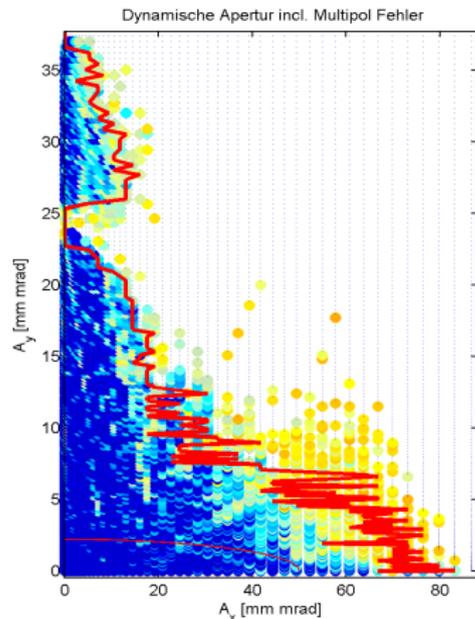


FIGURE: Dynamische Apertur mit Multipol-Fehlern, aber ohne Aperturbegrenzungen.



DYNAMISCHE APERTUR - TRACKING

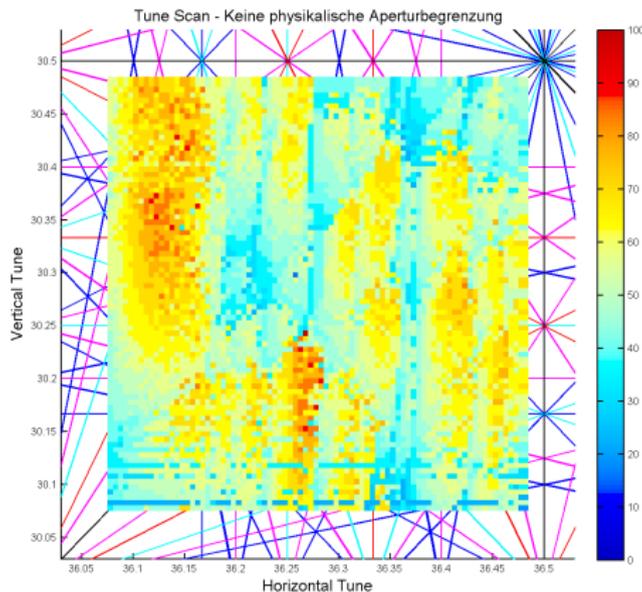


FIGURE: Bestimmung möglicher Arbeitspunkte mit guter dynamischer Apertur mittels Tracking. Die horizontale Amplitude wird für jeden Gitterpunkt im Tune-Raum erhöht bis das Teilchen verloren geht. Die vertikale Amplitude wird im Verhältnis von 5% mitgesteigert. Das Bild stellt die Verhältnisse in der idealen Maschine ohne Apertureinschränkungen dar.



DYNAMISCHE APERTUR - TRACKING

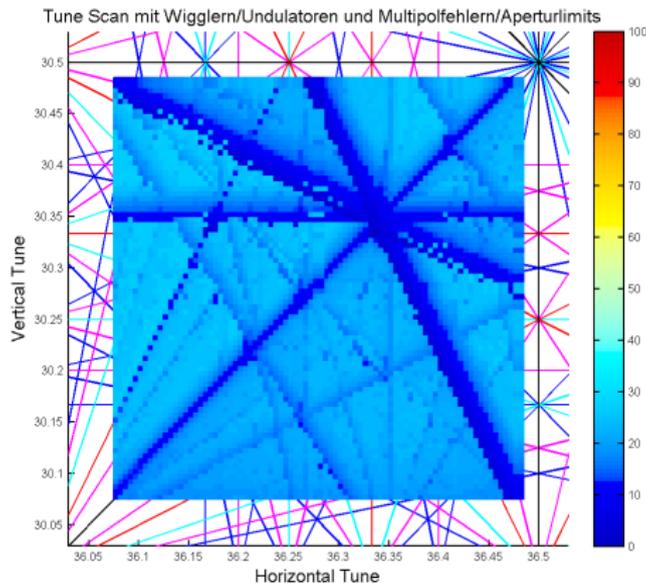


FIGURE: Tune Scan für PETRA III einschließlich aller Insertion Devices und unter Berücksichtigung von Multipolfehlern und Apertureinschränkungen.



DYNAMISCHE APERTUR - TRACKING

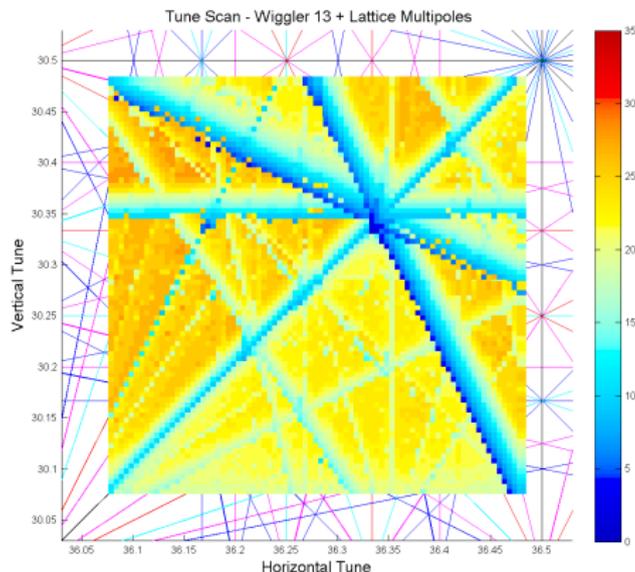


FIGURE: Tune Scan für PETRA III einschließlich aller Insertion Devices und unter Berücksichtigung von Multipolfehlern und Apertureschränkungen. Die Gebiete mit guten Verhältnissen bez. der dynamischen Apertur liegen in den selben Regionen wie bei der idealen Maschine. Es sind deutlich mehr Resonanzen angeregt.



OUTLINE

- 1 PETRA III
- 2 Injektion - Dynamische Apertur
- 3 LEBENSDAUER - IMPULSAKZEPTANZ**
- 4 Zusammenfassung



BEITRÄGE ZUR LEBENSDAUER/VERLUSTRATE

Schlechte Lebensdauer führt zu häufig notwendiger Injektion - selbst im Top-up Betrieb muss eine Mindestlebensdauer gegeben sein, um den Nutzerbetrieb nicht zu stören.

Beiträge zur Verlustrate/Lebensdauer:



BEITRÄGE ZUR LEBENSDAUER/VERLUSTRATE

Schlechte Lebensdauer führt zu häufig notwendiger Injektion - selbst im Top-up Betrieb muss eine Mindestlebensdauer gegeben sein, um den Nutzerbetrieb nicht zu stören.

Beiträge zur Verlustrate/Lebensdauer:

- Streuung an Restgasatomen - hängt von den Vakuumbedingungen ab.



BEITRÄGE ZUR LEBENSDAUER/VERLUSTRATE

Schlechte Lebensdauer führt zu häufig notwendiger Injektion - selbst im Top-up Betrieb muss eine Mindestlebensdauer gegeben sein, um den Nutzerbetrieb nicht zu stören.

Beiträge zur Verlustrate/Lebensdauer:

- Streuung an Restgasatomen - hängt von den Vakuumbedingungen ab.
- Streuung der Teilchen innerhalb eines Bunches:



BEITRÄGE ZUR LEBENSDAUER/VERLUSTRATE

Schlechte Lebensdauer führt zu häufig notwendiger Injektion - selbst im Top-up Betrieb muss eine Mindestlebensdauer gegeben sein, um den Nutzerbetrieb nicht zu stören.

Beiträge zur Verlustrate/Lebensdauer:

- Streuung an Restgasatomen - hängt von den Vakuumbedingungen ab.
- Streuung der Teilchen innerhalb eines Bunches:
 - Intra-Beam Scattering: Mehrfachstreuung mit kleinem Impulsübertrag \Rightarrow führt nicht zum Verlust von Teilchen sondern zur Emittanzänderung.



BEITRÄGE ZUR LEBENSDAUER/VERLUSTRATE

Schlechte Lebensdauer führt zu häufig notwendiger Injektion - selbst im Top-up Betrieb muss eine Mindestlebensdauer gegeben sein, um den Nutzerbetrieb nicht zu stören.

Beiträge zur Verlustrate/Lebensdauer:

- Streuung an Restgasatomen - hängt von den Vakuumbedingungen ab.
- Streuung der Teilchen innerhalb eines Bunches:
 - Intra-Beam Scattering: Mehrfachstreuung mit kleinem Impulsübertrag \Rightarrow führt nicht zum Verlust von Teilchen sondern zur Emittanzänderung.
 - Touschek Scattering: Einfachstreuung mit großem Impulsübertrag \Rightarrow führt zum Verlust von Teilchen, wenn die **Impulsakzeptanz** nicht ausreicht.



BEITRÄGE ZUR LEBENSDAUER/VERLUSTRATE

Schlechte Lebensdauer führt zu häufig notwendiger Injektion - selbst im Top-up Betrieb muss eine Mindestlebensdauer gegeben sein, um den Nutzerbetrieb nicht zu stören.

Beiträge zur Verlustrate/Lebensdauer:

- Streuung an Restgasatomen - hängt von den Vakuumbedingungen ab.
- Streuung der Teilchen innerhalb eines Bunches:
 - Intra-Beam Scattering: Mehrfachstreuung mit kleinem Impulsübertrag \Rightarrow führt nicht zum Verlust von Teilchen sondern zur Emittanzänderung.
 - Touschek Scattering: Einfachstreuung mit großem Impulsübertrag \Rightarrow führt zum Verlust von Teilchen, wenn die **Impulsakzeptanz** nicht ausreicht.
- Andere (exotische) Beiträge: Quantumlifetime, Compton-Scattering Lifetime, ...



DIE TOUSCHEK LEBENSDAUER

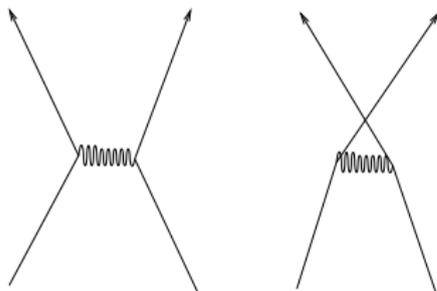


FIGURE: Beiträge zum Moeller-Streuquerschnitt (t-channel und u-channel, crossing symmetry). „Einfaches“ Resultat nur nach Summation über alle Spinzustände!
Polarisationsabhängigkeit der Touschek Lebensdauer!

Moeller-Streuquerschnitt:

$$d\sigma \propto \frac{(2\gamma^2 - 1)^2}{(\gamma^2 - 1)^2} \left[\frac{4}{\sin^4 \Theta} - \frac{3}{\sin^2 \Theta} + \frac{(\gamma^2 - 1)^2}{(2\gamma^2 - 1)^2} \left(1 + \frac{4}{\sin^2 \Theta} \right) \right]$$

Piwinski:

$$\frac{1}{T_l} = \left\langle \frac{r_e^2 c N}{8\pi\gamma^2 \sigma_s \delta_m^2 \sqrt{\sigma_x^2 \sigma_y^2 - \sigma_p^4 D_x^2 D_y^2}} F(\delta_m^2) \right\rangle$$

Flache Maschine: $D_y = D'_y = 0$

$$\frac{1}{T_l} = \left\langle \frac{r_e^2 c N}{8\pi\gamma^2 \sigma_s \sigma_x \sigma_y \delta_m^2} F(\delta_m^2) \right\rangle$$

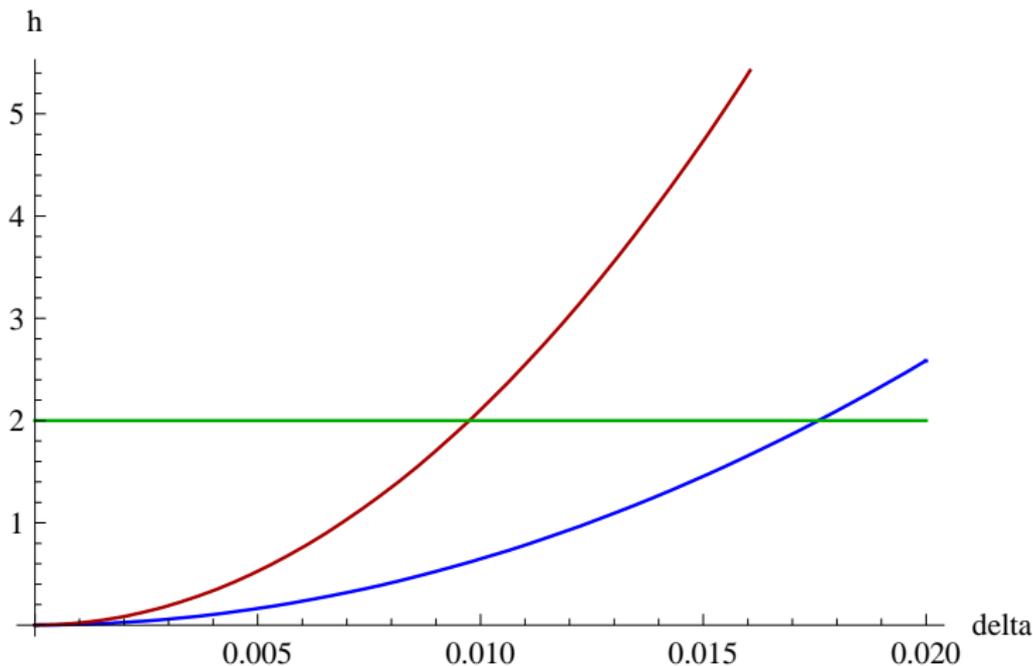
Bei 1nm Hor. Emittanz: Für eine Touschek Lebensdauer von 2 Stunden wird eine Impulsakzeptanz von ca. **1.6 Prozent** benötigt.



IMPULSAKZEPTANZ

Touschek Lebesdauer (Piwinski - grob gemittelt) für die Maschine ohne Insertion Devices (dunkelrot) bzw. mit Wigglern/Undulatoren (blau).

Touschek Lebesdauer



IMPULSAKZEPTANZ

Eine wesentlich Beschränkung der Impulsakzeptanz ist natürlich die Bucketgröße. Für PETRA III gilt:

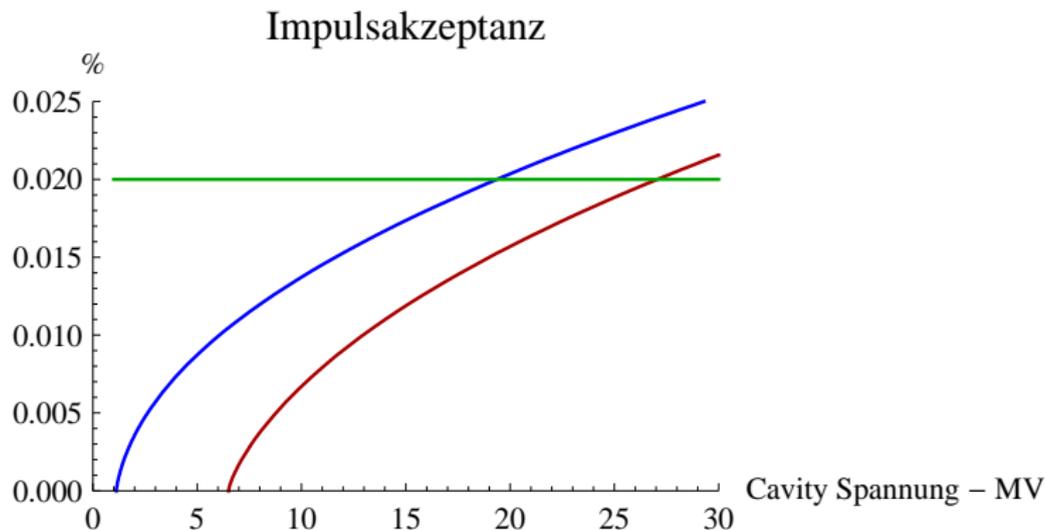
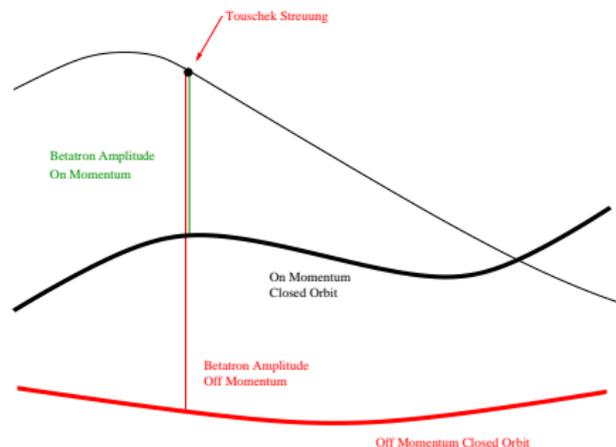


FIGURE: Bucket Größe in Abhängigkeit von der Cavity Spannung für Petra III ohne Insertion Devices (blau) bzw. mit Wigglern/Undulatoren (dunkelrot).



IMPULSAKZEPTANZ - INDUZIERTE BETATRON OSZILLATIONEN

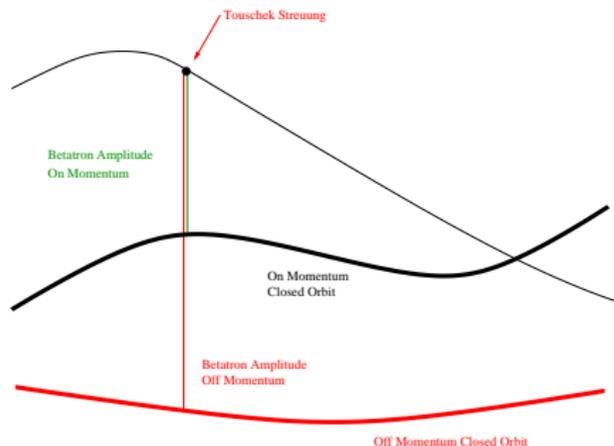


- Der closed Orbit des Touschek gestreuten Teilchen ändert sich instantan.

FIGURE: Touschek gestreute Teilchen und Off Momentum Dynamik.



IMPULSAKZEPTANZ - INDUZIERTE BETATRON OSZILLATIONEN

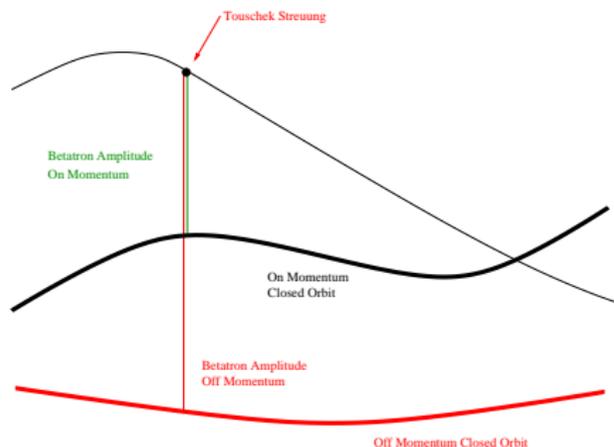


- Der closed Orbit des Touschek gestreuten Teilchen ändert sich instantan.
- Die induzierte Trajektorie hängt stark von den Off Momentum Eigenschaften des Ringes ab.

FIGURE: Touschek gestreute Teilchen und Off Momentum Dynamik.



IMPULSAKZEPTANZ - INDUZIerte BETATRON Oszillationen

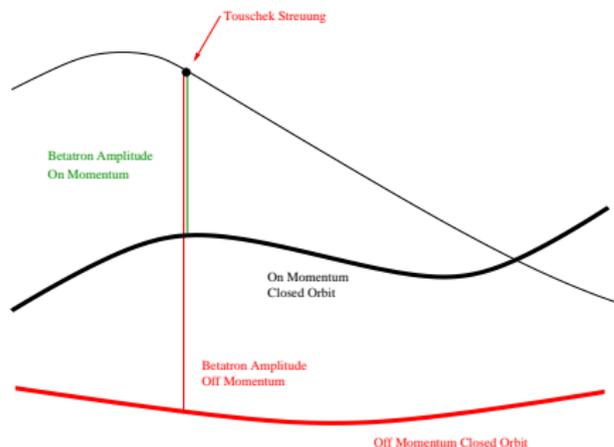


- Der closed Orbit des Touschek gestreuten Teilchen ändert sich instantan.
- Die induzierte Trajektorie hängt stark von den Off Momentum Eigenschaften des Ringes ab.
- $x_T \sim D(s) \delta + \sqrt{\beta H(s^*)} \delta$ mit

FIGURE: Touschek gestreute Teilchen und Off Momentum Dynamik.



IMPULSAKZEPTANZ - INDUZIerte BETATRON Oszillationen



- Der closed Orbit des Touschek gestreuten Teilchen ändert sich instantan.
- Die induzierte Trajektorie hängt stark von den Off Momentum Eigenschaften des Ringes ab.
- $x_T \sim D(s) \delta + \sqrt{\beta H(s^*)} \delta$ mit
- $H(s^*) = \beta(s^*)D'(s^*)^2 + 2\alpha(s^*)D(s^*)D'(s^*) + \gamma(s^*)D(s^*)^2$.

FIGURE: Touschek gestreute Teilchen und Off Momentum Dynamik.



IMPULSAKZEPTANZ - INDUZIERTE BETATRON OSZILLATIONEN

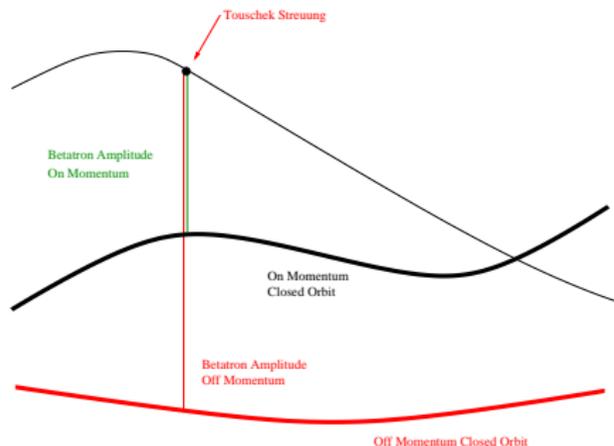


FIGURE: Touschek gestreute Teilchen und Off Momentum Dynamik.

- Der closed Orbit des Touschek gestreuten Teilchen ändert sich instantan.
- Die induzierte Trajektorie hängt stark von den Off Momentum Eigenschaften des Ringes ab.
- $x_T \sim D(s) \delta + \sqrt{\beta H(s^*)} \delta$ mit
- $H(s^*) = \beta(s^*)D'(s^*)^2 + 2\alpha(s^*)D(s^*)D'(s^*) + \gamma(s^*)D(s^*)^2$.
- Die induzierte transversale Bewegung kann die transversale Akzeptanz des Ringes überschreiten \Rightarrow Verlust des Teilchens!



IMPULSAKZEPTANZ - INDUZIERTE BETATRON OSZILLATIONEN

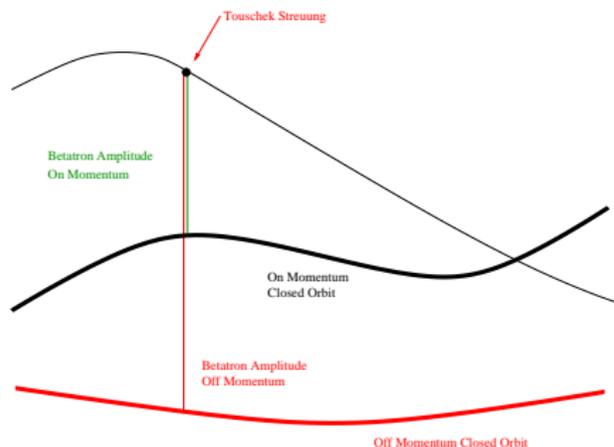


FIGURE: Tauschek gestreute Teilchen und Off Momentum Dynamik.

- Der closed Orbit des Tauschek gestreuten Teilchen ändert sich instantan.
- Die induzierte Trajektorie hängt stark von den Off Momentum Eigenschaften des Ringes ab.
- $x_T \sim D(s) \delta + \sqrt{\beta H(s^*)} \delta$ mit
- $H(s^*) = \beta(s^*)D'(s^*)^2 + 2\alpha(s^*)D(s^*)D'(s^*) + \gamma(s^*)D(s^*)^2$.
- Die induzierte transversale Bewegung kann die transversale Akzeptanz des Ringes überschreiten \Rightarrow Verlust des Teilchens!
- Bestimmung der **lokalen** Impulsakzeptanz mittels Tracking.



IMPULSAKZEPTANZ - TRACKING

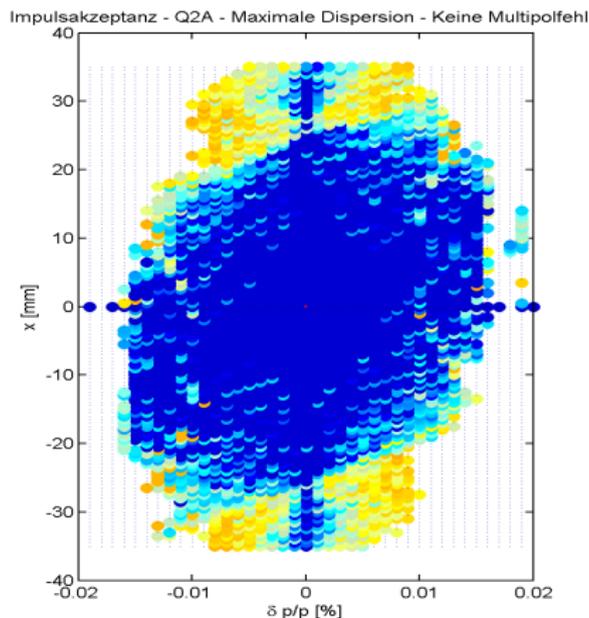


FIGURE: Tracking Simulation der Impulsakzeptanz an der Stelle maximaler Dispersion in Petra III (Q2A im Dispersion Suppressor). Für jede Impulsabweichung wird die horizontale Amplitude erhöht bis das Teilchen verloren geht. Die vertikale Amplitude wird im Verhältnis von 2% mitgesteigert.



IMPULSAKZEPTANZ - TRACKING

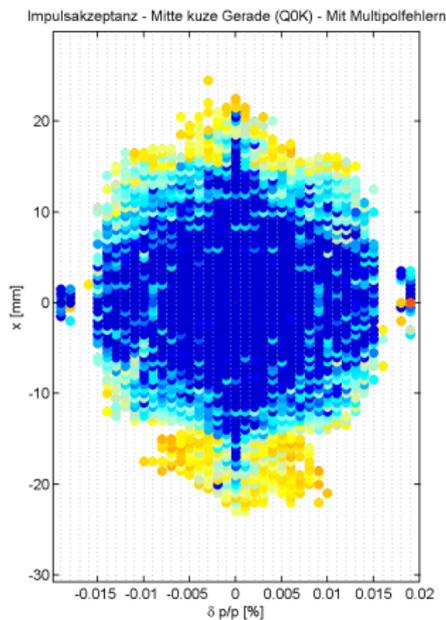


FIGURE: Impulsakzeptanz an einer Stelle mit verschwindender (linearen) Dispersion. Das Bild wird deutlich symmetrischer, weil sich der Closed Orbit an dieser Stelle kaum ändert.

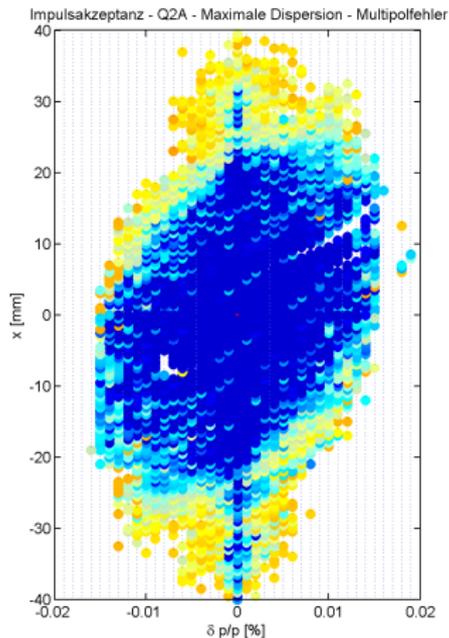


FIGURE: Impulsakzeptanz an einer Stelle mit maximaler (linearen) Dispersion. Die Multipolfehler führen zu Lücken, an denen Teilchen verloren gehen.

IMPULSAKZEPTANZ - TRACKING

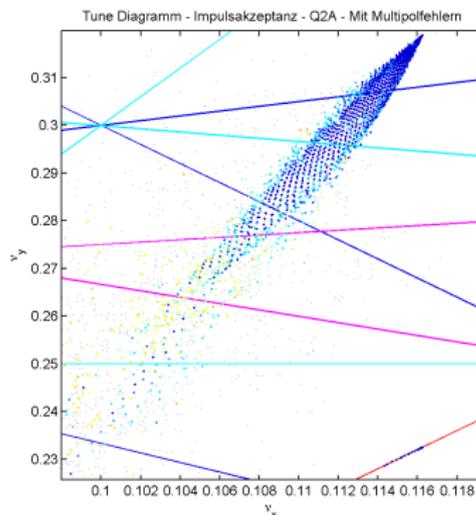


FIGURE: Die Abbildung der Impulsakzeptanz in den Frequenzraum erlaubt eine Identifikation der schädlichen Resonanzen.

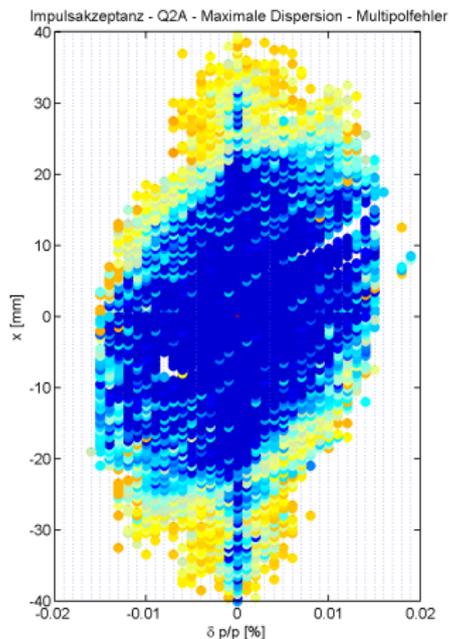


FIGURE: Impulsakzeptanz an einer Stelle mit maximaler (linearer) Dispersion. Die Multipolfehler führen zu Lücken, an denen Teilchen verloren gehen.



NICHTLINEARE DISPERSION I

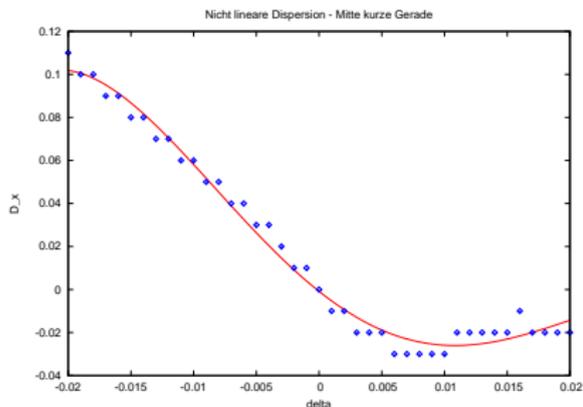


FIGURE: Die nichtlineare Dispersion in der Mitte der kurzen Geraden SW. Die Messpunkte beziehen sich auf Trackingsimulationen. Die ersten Fitkoeffizienten sind:

$$D(\delta) = 0.0 - 4.63\delta + 188\delta^2 + 4319\delta^3 - 193028\delta^4.$$

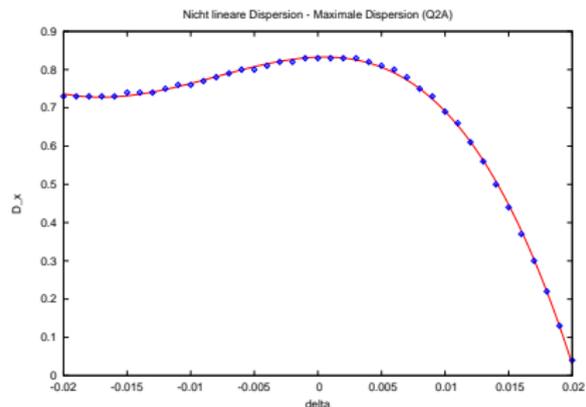


FIGURE: Die nichtlineare Dispersion an der Stelle mit maximaler Dispersion (Q2A). Die Messpunkte beziehen sich auf Trackingsimulationen. Die ersten Fitkoeffizienten sind:

$$D(\delta) = 0.83 + 1.04\delta - 1029\delta^2 - 46800\delta^3 - 235597\delta^4.$$



CHROMATISCHER BETABEAT

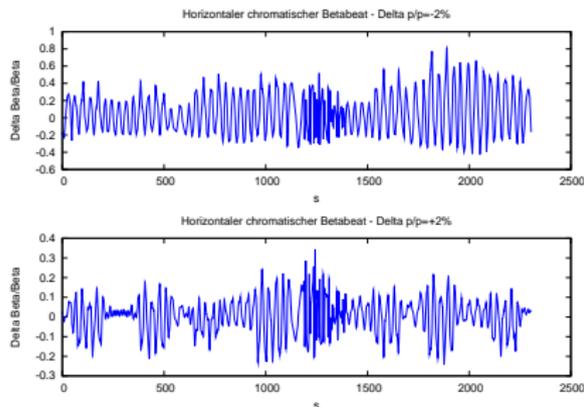


FIGURE: Der horizontale chromatische Betabeat für eine Impulsabweichung von -2% (oben) und +2% (unten). Teilchen mit Impulsabweichung gehen bevorzugt an Stellen mit großem Betabeat und kleiner physikalischer Apertur verloren.

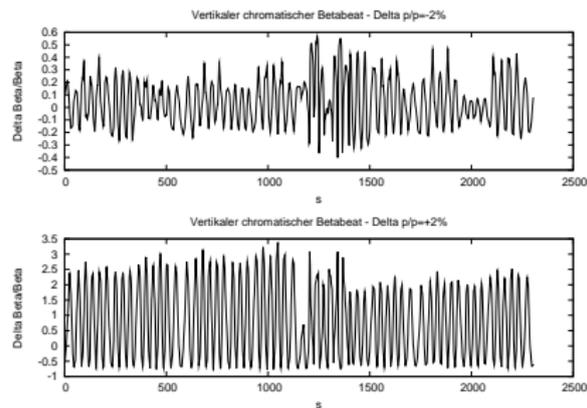
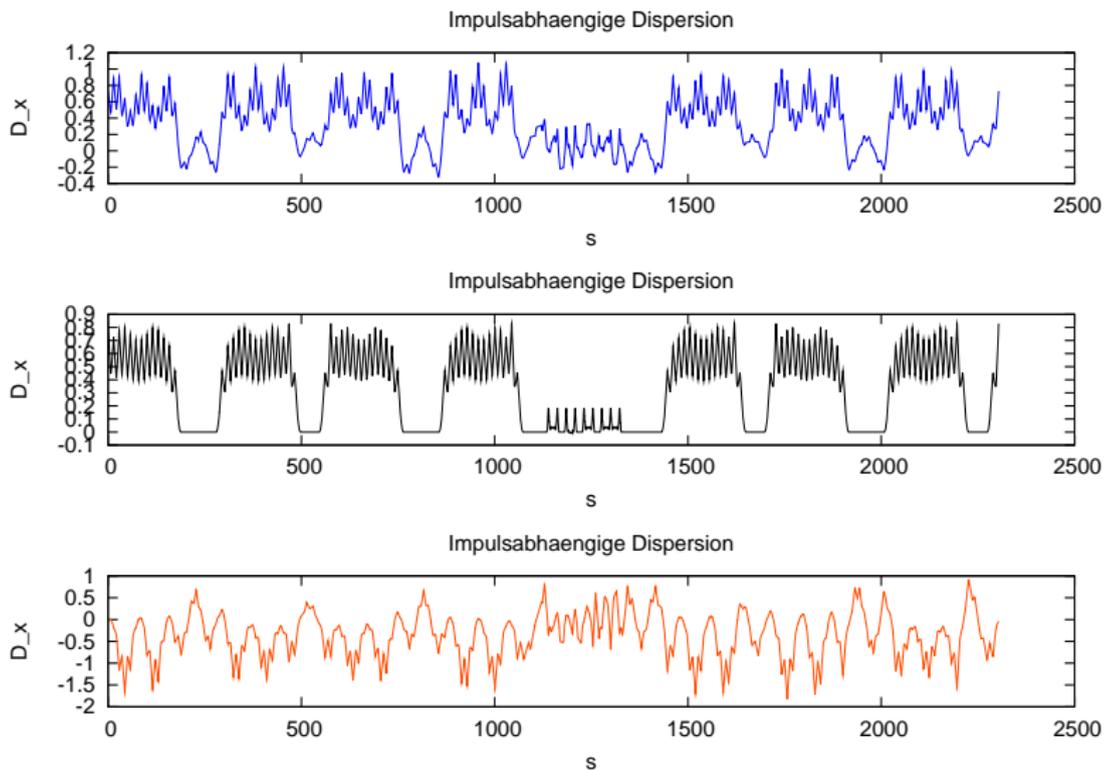


FIGURE: Der vertikale chromatische Betabeat für eine Impulsabweichung von -2% (oben) und +2% (unten). Teilchen mit Impulsabweichung gehen bevorzugt an Stellen mit großem Betabeat und kleiner physikalischer Apertur verloren (Wiggler und Undulatorkammern!).



NICHTLINEARE DISPERSION II



OUTLINE

- 1 PETRA III
- 2 Injektion - Dynamische Apertur
- 3 Lebensdauer - Impulsakzeptanz
- 4 **ZUSAMMENFASSUNG**



- Gute Injektionseffizienz verlangt ausreichend dynamische Apertur.
- Die dynamische Apertur wird wesentlich durch Nichtlinearitäten in der Maschine beschränkt.
- Sextupole, Wiggler und Undulatoren, Multipolfehler.
- Gutes Verständnis der nichtlinearen Dynamik ermöglicht eine gezielte Wahl von Maschinenparametern (z. B. Tunes), um die dynamische Apertur zu maximieren.



- Gute Lebensdauer ist wichtig für die Strahlstabilität, auch im Top Up Betrieb.
- Der Touschek Effekt stellt, insbesondere im 40 Bunch Mode, den wesentlichen Verlustmechanismus dar.
- Eine maximale Impulsakzeptanz ist daher wichtig für eine tragbare Touschek Lebensdauer.

