

PZU - Unilac-Pulszentrale

Udo Krause
Peter Kainberger

Dieses Papier enthält die Beschreibung des Gerätemodells 'PZUS - Unilac-Pulszentrale' und den Entwurf der Gerätesoftware für dieses Gerät.

Änderungsprotokoll			
Datum	GM-Version	Name	Kommentar
07. Apr. 97	–	P. Kainberger	Beginn der Erstellung
07. Jul. 97	–	P. Kainberger	Zusammenfassung aller bisherigen Einzeldokumente
14. Jul. 97	–	P. Kainberger	Erstellung erst mal abgeschlossen
22. Nov. 97	–	U. Krause	100 Hz HLI gestrichen, Funktionsbeschreibung überarbeitet
29. Nov. 97	–	P. Kainberger	Überarbeitung der Propertybeschreibung
14. Jul. 98	–	P. Kainberger	Überarbeitung und Vervollständigung
08. Jan. 99	–	P. Kainberger	Korrektur
28. Jan. 99	–	P. Kainberger	Anpassungen für Hochstrom, neue Strahlwegkeys
18. Mär. 99	–	P. Kainberger	Änderung Quellentiming
23. Aug. 99	–	P. Kainberger	neue Property RFINFO
08. Sep. 99	–	P. Kainberger	neue Property ACCBLOCK, andere Anpassungen
Feb.2000	–	M. Kühn	Überarbeitete und erweiterte TeX-Source, die in PostScript als auch in HTML konvertiert werden kann.
06.Feb.2001	–	P. Kainberger	IQMODE neu, IQDESCR und IQINFO erweitert
12.Jul.2001	–	P. Kainberger	ACCDESCR erweitert und ACCT-RIGD neu Dokumentation der Signale in der Messstation
05.Sep.2001	–	P. Kainberger	Anpassungen an neue Choppersteuerung, neue Properties für HF-Konditionierung
25.Jan.2002	–	P. Kainberger	IQSDLEN neu, IQDESCR erweitert
08.Aug.2002	–	P. Kainberger	ACCBLOCK erweitert
11.Oct.2002	–	P. Kainberger	RFSTAB und RFCOND ergänzt um Untersetzung 0
09.Jan.2003	–	P. Kainberger	IQSTAT neu

Inhaltsverzeichnis

I	Funktionsbeschreibung	7
1	Begriffe	7
2	Einführung	9
2.1	Umfang der Pulszentrale	9
2.2	Design-Ziele	9
3	Grundlagen	9
3.1	Einteilung in Timing-Abschnitte	9
3.2	Unterteilung der Timing-Abschnitte	10
3.2.1	Motivation	10
3.2.2	Interlock-Abschnitte	10
3.2.3	Interlock-Unterabschnitte	11
3.2.4	Profilgitter-Abschnitte	12
3.3	Strahlwegbeschreibung	12
3.4	Einordnung der Events	13
4	Virtuelle Beschleuniger	15
4.1	Einteilung der virtuellen Beschleuniger	15
4.2	Örtliche Ausdehnung der Betriebsbeschleuniger	15
4.3	Aufbau der Betriebsbeschleuniger	16
4.4	Erhaltung der Abfolge der Betriebsbeschleuniger	17
4.5	Magneteinstellungen in Unilac-Zyklen ohne Strahl	18
5	Quellen-Abschnitte	18
5.1	Begriffsbestimmung	18
5.2	Aufbau des Quellen-Timings	18
5.3	Wiederholrate (Pulsrate)	21
6	Superzyklus	22
6.1	Betriebsbeschleunigerspezifische Ausführungshäufigkeit	22
6.1.1	Grundtakt der Ausführung: Quellentakt	22
6.1.2	Ausführungshäufigkeit: Strahlen ausserhalb des Transferkanals	22
6.1.3	Ausführungshäufigkeit: Strahlen im Transferkanal	23
6.2	Vorbereitungszeiten	24
6.3	Anforderung von Betriebsbeschleunigern	24
6.4	Prioritätssteuerung der Ausführung von Betriebsbeschleunigern	25
7	Vorbereitung eines Betriebsbeschleunigers: Transferkanal	26
7.1	Abschnitt TK (Transferkanal)	26
8	Event-Folgen der Betriebsbeschleuniger	28
9	Konditionierungs-Zyklen	29
10	Stabilisierungs-Zyklen	29
11	Therapie-Betrieb	30
12	Hochstrom	31

13	Unilac-Interlocksystem und -Choppersteuerung	31
13.1	Aufgaben	31
13.2	Steuerung der Quellen-Chopper	32
13.3	Anlagen-Interlocks	33
13.4	Reduktion der Strahlpulsleistung	33
13.5	Betriebsbeschleuniger ohne Strahl	34
13.6	Profilgitterschutz	34
13.7	Kennzeichnug des Anlagenzustandes	35
14	Zyklusmarkierung (Einzelschuss-Messwertaufnahme)	35
15	Sonstiges	36
15.1	Experiment-Synchronisierpulse (Targetrad-Synchronisation)	36
15.2	Betriebsstatistik	37
16	Optionen	37
16.1	Sparmechanismen	37
II	Die Realisierung in Hard- und Software	39
17	Umfang eines logischen Gerätes	39
18	Choppersteuerung/Interlocksystem	39
18.1	Zu verarbeitende Signale	39
18.2	Choppersteuerung (schnelle Signale)	40
18.3	Anlagen-Informationen (langsame Signale)	40
18.4	Datenaustausch mit der Pulszentrale	41
18.5	Austausch Choppersteuerung – Interlocksteuerung	41
19	Die Schnittstellen der Unilac-Pulszentrale	42
19.1	Der 50 Hz-Generator	44
19.2	Modulbuskomponenten der Unilac-Pulszentrale	45
19.2.1	Funktionscodes der Modulbus-Interfacekarte	45
19.2.2	I/O-Module der Unilac-Pulszentrale	46
19.2.3	Belegung der I/O-Module der Unilac-Pulszentrale	47
19.2.4	Die Schnittstelle des Event-Piggy	49
19.3	Die Schnittstelle zu Interlocksystem und Choppersteuerung	50
19.3.1	Geräteinterlocks	50
19.3.2	Abschnittstassen und EH-Strahlwege	52
19.3.3	Die Schnittstelle zur Choppersteuerung	55
20	Rahmenpulsgeneratoren in der Messstation	56
21	Konfigurationsabfrage	57
22	Die Kommunikation zwischen der Superzyklus- und den Zyklus-Pulszentralen	58
22.1	Austausch von Systemevents	58
22.2	Austausch von Zyklusinformationen	58

23 Die Software der Unilac-Pulszentrale	59
23.1 Berechnung der Eventfolgen und Eventabstände	59
23.1.1 Abhängigkeiten	59
23.1.2 Superzyklus-/Zyklus-Pulszentralen	59
23.1.3 Grundlage aller Berechnungen (50 Hz)	60
23.1.4 Berechnung des Timings (Quellen und Beschleuniger)	60
23.2 Superzyklus-Pulszentrale	66
23.2.1 Abschnittsmasken	66
23.2.2 Profilgitter-Abschnittsmasken	67
23.2.3 Anforderungsbedingungen	67
23.2.4 Beschleunigerzustände	69
23.2.5 Superzyklus-Berechnung	70
23.3 Zyklus-Pulszentralen	71
24 Events mit spezieller Bedeutung	71
24.1 Timingdiagramme	72
25 Besonderheiten	77
25.1 Besonderheiten für den Therapiebetrieb	77
III Das Gerätemodell	79
26 Die Repräsentation des Gerätes	79
26.1 Kennzeichnung des Gerätemodells	79
26.2 Die Master-Properties	79
26.2.1 POWER	80
26.2.2 STATUS	80
26.2.3 INIT	80
26.2.4 RESET	80
26.2.5 VERSION	80
26.2.6 INFOSTAT	80
26.2.7 PZINFO	82
26.2.8 ASYNCDAT	82
26.2.9 SUPCYCLE	83
26.2.10 PZMODE	83
26.2.11 ZEROMODE	84
26.2.12 EHDCACC	84
26.2.13 RFINFO	84
26.2.14 RFDESCR	85
26.2.15 RFSTAB	85
26.2.16 RFCOND	85
26.2.17 IQAVTYPE	86
26.2.18 IQINFO	86
26.2.19 IQTYPE	87
26.2.20 IQDESCR	88
26.2.21 IQACTIV	89
26.2.22 IQSEQU	89
26.2.23 IQLEN	89
26.2.24 IQSDLEN	91
26.2.25 IQMODE	91
26.2.26 IQSTAT	92

26.3	Die Slave-Properties	93
26.3.1	ACTIV	93
26.3.2	COPYSET	93
26.3.3	EQMERROR	93
26.3.4	ACCDEFLT	94
26.3.5	ACCDESCR	94
26.3.6	ACCACTIV	95
26.3.7	ACCSTATE	95
26.3.8	ACCMODE	96
26.3.9	ACCVIA	96
26.3.10	ACCSEQU	98
26.3.11	ACCLEN	98
26.3.12	ACCHC	99
26.3.13	ACCSTAT	99
26.3.14	ACCBLOCK	99
26.3.15	ACCTRIGD	100

Literatur	101
------------------	------------

Index	103
--------------	------------

Abbildungsverzeichnis

1	Überwachte Interlock-Abschnitte am Unilac	11
2	Hardwareübersicht Schnittstellen der Unilac-Pulszentrale	43
3	Signale des 50 Hz-Generators	44
4	Anschluß der Unilac-Interlock-Abschnitte	51
5	Anschluß der Interlock-Abschnitts-Tassen	53
6	Anschluß der Abschnitts-Tassen-Steuerung und der Experimentierplatz-Umschaltung	54
7	Anschluß der Choppersteuerung	55
8	Signale der Rahmenpulsgeneratoren in der Messstation	56
9	Reguläre Schwankungsbreite zwischen zwei 50 Hz-Triggern	60
10	Übersicht zu den Timinganforderungen der verschiedenen Quellentypen	61
11	Abhängigkeiten bei der Eventberechnung	64
12	Ergebnis einer Eventberechnung (Beispiel)	65
13	Abbildung der Strahlwege und Timingabschnitte auf eine Abschnittsmaske	66
14	Einteilung der Strahlwege in Profilgitterabschnitte	67
15	Ablauf einer SIS-Strahlanforderung	68
16	Beschleunigerzustände und mögliche Übergänge zwischen denselben	70
17	Signale des 50 Hz-Generators	73
18	Aktivitäten der Superzyklus-Pulszentrale bei der Berechnung des Superzyklus	74
19	Aktivitäten der Zyklus-Pulszentrale zu Beginn eines Zyklus	75
20	Aktivitäten der Zyklus-Pulszentrale am Ende eines Zyklus	76
21	Triggerpuls für Experimente	100

Teil I

Funktionsbeschreibung

1 Begriffe

Die hier aufgeführten Begriffe werden in *dieser* Notiz in der folgenden Bedeutung benutzt:

Anlagen-Interlock: Störungsmeldung einer Beschleunigerkomponente, die in das Unilac-Interlocksystem eingespeist wird und dazu führt, dass der Strahl vom Unilac-Interlocksystem ausgetastet wird.

Beschleunigungs-Abschnitt: Ein Timing-Abschnitt, der kein Quellen-Abschnitt ist. In einem Beschleunigungs-Abschnitt wird ein in einer Ionen-Quelle erzeugter Ionen-Puls (oder ein Teil davon) weitertransportiert und beschleunigt (oder gegebenenfalls nur weitertransportiert).

Beschleunigungs-Zyklus: Die Zeiteinheit, in der ein Strahlpuls beschleunigt wird. Sie beträgt derzeit immer 20 ms.

Betriebsbeschleuniger: Virtuelle Beschleuniger 0... 13. Nur diese virtuellen Beschleuniger stehen dem Betrieb zur Verfügung. Der virtuelle Beschleuniger 14 wird nur in den Quellen-Abschnitten und in den HF-Abschnitten benutzt. Der virtuelle Beschleuniger 15 dient ausschließlich internen Zwecken der Pulszentrale.

Quellenbeschleuniger / Konditionierungsbeschleuniger: Virtueller Beschleuniger 14. Dieser virtuelle Beschleuniger 14 wird in den Quellenabschnitten zum lokalen Betrieb der Quellen und in den HF-Abschnitten zum Konditionieren der HF-Anlagen benutzt.

Event-Folge: Die Abfolge von Events mit einem festen Zeitbezug. Hier ist nicht nur die Reihenfolge der Events, sondern auch der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Events festgelegt.

Event-Sequenz: Die Abfolge von Events in einer bestimmten Reihenfolge. Dabei ist der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Events unerheblich.

Globale Events: Events, die in allen Timing-Abschnitten verschickt werden, also im gesamten Unilac.

Interlock-Abschnitt: Abschnitt des Beschleunigers, in die dieser zur Ansteuerung des Unilac-Interlocksystems eingeteilt werden muss.

Interlock-Unterabschnitt: Unterteilung einiger Interlock-Abschnitte in Bereiche, die nur quasistatisch mit Strahl beliefert werden können. Zwischen diesen Abschnitten kann der Strahl zwar umgeschaltet werden, aber nicht von Puls zu Puls.

Lokale Events: Events, die nur in einzelnen Timing-Abschnitten verschickt werden, z. B. nur in den Quellen-Abschnitten.

Markierungs-Events: Diese Events dienen dazu, einzelne Ausführungen eines virtuellen Beschleunigers zu kennzeichnen, um Messwerte voneinander unabhängiger Geräte gleichzeitig aufnehmen zu können. Sie werden nicht bei jeder Ausführung eines virtuellen Beschleunigers verschickt, sondern jedes Verschicken muss einzeln angefordert werden.

Profilgitter-Abschnitt: Abschnitt des Beschleunigers, in die dieser zur Umsetzung des Profilgitter-Schutzes eingeteilt werden muss.

Quellen-Abschnitt: Ein Timing-Abschnitt, der eine Ionen-Quelle enthält.

Quellenpuls: Puls von geladenen Teilchen, den eine Ionen-Quelle liefert.

Quellen-Timing: Die Event-Folge in einem Quellen-Abschnitt.

Stabilisierungs-Zyklus: Unilac-Zyklen, in denen kein Betriebsbeschleuniger abläuft, in denen aber Events verschickt werden, so dass die Ionen-Quellen bzw. die HF-Anlagen getriggert werden. In den Stabilisierungs-Zyklen befindet sich *kein* Strahl in der Anlage.

Strahl-Pfad: Beschleuniger-Bereich, der eine von mehreren alternativen Wegen für den Strahl zu einem Strahl-Ziel darstellt.

Strahlpuls: Puls von geladenen Teilchen, der im Unilac beschleunigt wird. Ist in der Regel nur ein zeitlich begrenzter Ausschnitt des in einer Ionen-Quelle erzeugten Ionen-Pulses.

Strahl-Quelle: Beschleuniger-Bereich, der Ausgangspunkt eines Ionen-Strahles ist (der eine Ionen-Quelle enthält).

Strahl-Ziel: Beschleuniger-Bereich, in dem ein Ionen-Strahl planmäßig enden soll.

Superzyklus: Abfolge der virtuellen Beschleuniger.

Superzyklus-Pulszentrale: Die Synchronisierereinheit der Zyklus-Pulszentralen. Sie ist den Zyklus-Pulszentralen übergeordnet und steuert die Ausführung der virtuellen Beschleuniger der Zyklus-Pulszentralen und bestimmt damit unter anderem die Abfolge der virtuellen Beschleuniger in allen Timing-Abschnitten.

Therapie-Beschleuniger: Der für die Belieferung des Bestrahlungsplatzes vorgesehene Betriebsbeschleuniger. Festgelegt ist dafür der virtuelle Beschleuniger Nr. 0.

Timing: Die Folge der Events.

Timing-Abschnitt: Der Teil des Timing-Systems des Unilacs, der von einer Zyklus-Pulszentrale versorgt wird.

Unilac-Interlocksystem: System, das den Strahl möglichst nahe an der jeweiligen Ionen-Quelle unterbricht, wenn in einem der vom Strahl durchlaufenen Strahlweg-Abschnitte über ein Anlagen-Interlock eine Störung gemeldet wird.

Unilac-Zyklus: Die Zeitabschnitte, in denen der Unilac getaktet ist. Ein Unilac-Zyklus dauert derzeit immer 20 ms (abgeleitet aus den 50 Hz der Netzversorgung).

Vorbereitungs-Events: Events, die nicht Teil der Event-Folge eines virtuellen Beschleunigers sind. Sie werden von der Pulszentrale eingefügt und dienen zur Vorbereitung (und teilweise zur Nachbearbeitung) des Ablaufs eines virtuellen Beschleunigers.

Zyklus-Pulszentrale: Ein Eventgenerator der Unilac-Pulszentrale, der das Timing für einen Timing-Abschnitt erzeugt.

2 Einführung

In diesem Abschnitt sollen die Eigenschaften der Unilac-Pulszentrale zusammengestellt werden, soweit sie für die Überarbeitung und Neuentwicklung wichtig sind. Die hier zusammengetragenen Informationen wurden entwickelt aus Anforderungen, die in vielen Gesprächen mit Komponenten- und Anlagenverantwortlichen der Gruppen INJ, BBE, IQU, HFQ, SD und BEN ermittelt wurden. Besonders hervorgehoben seien dabei die ausführlichen Diskussionen mit J. Glatz. Eine sehr wertvolle Quelle für diese Notiz war die Analyse der in der von J. Glatz entwickelten Unilac-Pulszentrale implementierten Funktionalität, die von P. Kainberger ermittelt und zusammengestellt wurde (siehe [1]).

2.1 Umfang der Pulszentrale

Das Gerät *Unilac-Pulszentrale* dient primär zur Generierung des Timings, also der Erzeugung von Event-Folgen, im Unilac. Wie im Abschnitt 3.1 beschrieben, ist das Timingsystem des Unilac in unabhängige Abschnitte unterteilt. Jeder dieser Timing-Abschnitte wird von einer eigenen Zyklus-Pulszentrale versorgt. Die Abläufe auf den Zyklus-Pulszentralen werden durch *eine* Superzyklus-Pulszentrale koordiniert und über einen für alle Zyklus-Pulszentralen gemeinsamen Trigger synchronisiert.

Im folgenden werden die Superzyklus-Pulszentrale und die Zyklus-Pulszentralen unter dem Begriff *Pulszentrale* zusammengefasst. Soweit möglich, wird dabei nicht auf die Aufteilung der Aufgaben zwischen Superzyklus-Pulszentrale und Zyklus-Pulszentrale eingegangen. Ziel ist es, die Funktionalität der Pulszentrale als ganzes zu beschreiben. Daraus ergibt sich dann die Aufteilung der Funktionen auf die einzelnen Komponenten.

In dieser Aufstellung sollen nur die Eigenschaften des Gerätes „Pulszentrale“ behandelt werden. Es soll nicht darauf eingegangen werden, wie dieses Gerät zu bedienen ist. Aufbau und Funktion von Operating-Software zur Bedienung des Gerätes soll *nicht* Inhalt dieser Aufstellung sein.

2.2 Design-Ziele

Einige der zugrundeliegenden Ziele der Überarbeitung seien hier genannt:

- Die Bedienung der Pulszentrale soll allein über Properties erfolgen. Hardware-Einstellkomponenten (wie das Steckbrett) werden vermieden.
- Dem Betrieb soll eine möglichst große Anzahl von virtuellen Beschleunigern zur Verfügung stehen. Die feste Verwendung von virtuellen Beschleunigern für interne Zwecke der Pulszentrale ist auf das unbedingt nötige Maß zu beschränken. Grundsätzlich soll jeder virtuelle Beschleuniger für jede Aufgabe benutzt werden können.
- Wo immer es möglich ist, sollen die Eingaben für die Pulszentrale überprüft werden und unsinnige Eingaben zurückgewiesen werden. Dabei soll sich an physikalischen Grenzwerten der Anlage orientiert werden.

3 Grundlagen

3.1 Einteilung in Timing-Abschnitte

Das Timing-System des Unilac ist in sieben Timing-Abschnitte unterteilt. Dazu gibt es noch einen speziellen Timing-„Abschnitt“, der Sonderaufgaben für Experimentaufbauten übernimmt. Insgesamt gibt es folgende Timing-Abschnitte:

UL Quelle links
UR Quelle rechts
UQ Quelle im Hochladungsinjektor (HLI)
UN Hochladungsinjektor (HLI)
UH Hochstrominjektor (HSI)
AT Alvarez, Tunnel, Experimentierhalle
TK Transferkanal

Die Timing-Systeme der einzelnen Abschnitte sind voneinander unabhängig. Jeder Timing-Abschnitt wird von einer eigenen Zykluspulszentrale versorgt. Die einzelnen Zykluspulszentralen arbeiten synchron.

Der Unilac arbeitet in einem strengen 50 Hz-Raster, d. h. das Timing-System arbeitet mit Zeitscheiben von 20 ms Dauer (Unilac-Zyklus). Ein Beschleunigungszyklus dauert derzeit genau 20 ms, innerhalb einer solchen Zeitscheibe kann in jedem Timing-Abschnitt nur höchstens ein Beschleunigungszyklus ablaufen. Zu beachten ist, dass die Zykluslänge in den Quellen-Abschnitten vielfache des 20 ms Grundrasters betragen kann.

3.2 Unterteilung der Timing-Abschnitte

3.2.1 Motivation

Die Einteilung in Timing-Abschnitte ist noch nicht ausreichend. Innerhalb einiger Timing-Abschnitte gibt es Bereiche der Beschleuniger-Anlagen, die nur alternativ vom Strahl durchlaufen werden können (in einem Unilac-Zyklus wird entweder Strahl in den X-, den Y- oder den Z-Zweig der Experimentierhalle geliefert, niemals in mehrere zugleich). Für die Behandlung von Anlagen-Interlocks (Unilac-Interlocksystem) ist es aber von Bedeutung, welcher von mehreren möglichen Alternativen gerade vom Strahl durchlaufen wird.

ähnliches gilt für das Verfahren, durch den ein Schutz der Profiligitter gegen Zerstörung durch den Strahl realisiert werden soll. Deshalb ist eine Unterteilung des Beschleunigers in Interlock-Abschnitte (mit einer teilweisen Unterteilung in Unterabschnitte) sowie Profiligitterabschnitte erforderlich.

3.2.2 Interlock-Abschnitte

Interlock-Abschnitte sind die Unterteilung des Beschleunigers in einzelne Bereiche, die für das Unilac-Interlocksystem erforderlich sind. Dabei müssen nur die Bereiche betrachtet werden, die von Strahlen aus unterschiedlichen Ionen-Quellen durchlaufen werden können (z. B. der Alvarez-Bereich), oder die alternativ mit Strahl beliefert werden können (z. B. Materialforschungsmessplatz und Strahlführung vom HLI zum Unilac).

- Interlock-Abschnitte sind die größten zusammenhängenden Beschleuniger-Bereiche, von denen zur Behandlung von Anlagen-Interlocks bekannt sein muss, ob sie gerade von Strahl durchlaufen werden, und wenn, aus welcher Ionen-Quelle.
- Die einzelnen Interlock-Abschnitte können auf einer Puls-zu-Puls Basis weitgehend beliebig von Strahl durchlaufen werden. Zur korrekten Behandlung der Anlagen-Interlocks muss daher für jeden Beschleunigungs-Zyklus bekannt sein, ob ein Interlock-Abschnitt aktuell von Strahl (und aus welcher Quelle) durchlaufen werden.
- Die unterstützten Interlock-Abschnitte sind:

Interlock-Abs.	Timing-Abs.	Bedeutung
UN2/3	UQ	Strahlführung HLI (UN6MK1) bis Lasep-Magnet (US4MK1) Experimentierplatz Materialforschung
UN3/6	UN	
UN6/7	UN	
UU	UN	
UL	UL	
UR	UR	
UH1	UH	
UH/S	UH	
US/A	AT	
UA/E	AT	
UE/T1	AT	Stripper-Abschnitt bis Alvarez
UT2	AT	Alvarez bis Einzelresonatoren
UX	AT	Einzelresonatoren bis incl. Abzweig Transferkanal
UY	AT	Abzweig Transferkanal bis X-, Y-, Z-Verteilung
UZ	AT	Ex-Halle X-Zweig
TK	TK	Ex-Halle Y-Zweig
		Ex-Halle Z-Zweig
		Transferkanal

- Abbildung 3.2.2 auf Seite 11 zeigt die geographische Anordnung der Interlock-Abschnitte.

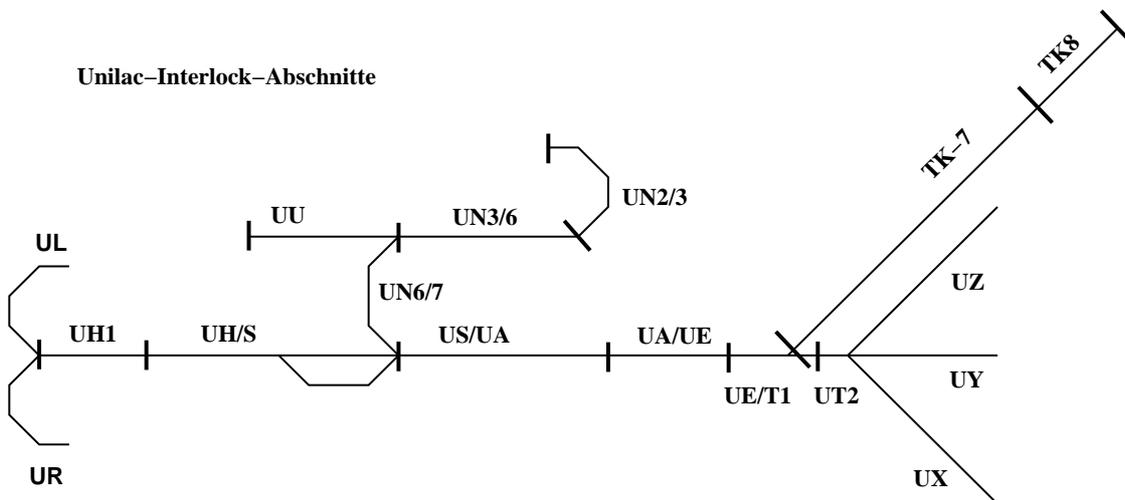


Abbildung 1: Überwachte Interlock-Abschnitte am Unilac

3.2.3 Interlock-Unterabschnitte

Für die Behandlung von Anlagen-Interlocks in der Experimentierhalle (Interlock-Abschnitte **UX**, **UY**, **UZ**) ist die Unterteilung in Interlock-Abschnitte noch zu grob. Hier ist als Unterteilung dieser Interlock-Abschnitte eine Aufteilung in die einzelnen Messplätze erforderlich, denn nur Anlagen-Interlocks in tatsächlich mit Strahl belieferten Messplätzen sollen behandelt werden.

- Ein Interlock-Unterabschnitt ist eine Unterteilung eines Interlock-Abschnittes.
- Unterschiedliche Interlock-Unterabschnitte innerhalb eines Interlock-Abschnittes können *nicht* von Puls-zu-Puls unterschiedlich von Strahl durchlaufen werden. Innerhalb eines Interlock-Abschnittes wird für eine Beschleuniger-Einstellung immer derselbe Interlock-Unterabschnitt mit Strahl beliefert.

Soll ein anderer Interlock-Unterabschnitt mit Strahl beliefert werden, muss der Beschleuniger umgestellt werden („Init-änderung“).

- Deshalb muss innerhalb eines Interlock-Abschnittes immer nur *ein* Interlock-Unterabschnitt betrachtet werden (nur der jeweils mit Strahl belieferte).

Bei einer Beschleuniger-Einstellung ist daher jeweils einer der Interlock-Unterabschnitte als *aktuell aktiver* Interlock-Unterabschnitt anzugeben.

- Derzeit werden nur Interlock-Unterabschnitte in den Interlock-Abschnitten **UX**, **UY** und **UZ** unterstützt.
- Die Interlock-Unterabschnitte werden bezeichnet durch:

Intl.-Unterabschn.	Intl.-Abschn.	Bedeutung
UX_x	UX	Strahlweg zum Experimentierplatz x im X-Zweig
UY_y	UY	Strahlweg zum Experimentierplatz y im Y-Zweig
UZ_z	UZ	Strahlweg zum Experimentierplatz z im Z-Zweig

- Zur Vereinfachung steht im folgenden bei unterteilten Interlock-Abschnitten die Bezeichnung des Interlock-Abschnittes jeweils für den gerade aktiven Interlock-Unterabschnitt.

3.2.4 Profilgitter-Abschnitte

Zur Realisierung des geplanten Profilgitter-Schutzes muss der Beschleuniger ebenfalls in einzelne Bereiche eingeteilt werden. Diese Bereiche hängen eng mit den Interlock-Bereichen zusammen. Allerdings ist einerseits eine teilweise feinere Unterteilung erforderlich, andererseits müssen für den Profilgitterschutz nicht nur die Bereiche betrachtet werden, die aus verschiedenen Quellen beliefert werden, sondern fast der gesamte Beschleuniger.

- Profilgitter-Abschnitte sind die größten zusammenhängenden Beschleuniger-Bereiche, von denen zur Realisierung des Profilgitter-Schutzes bekannt sein muss, ob sie gerade von Strahl durchlaufen werden, und gegebenenfalls, aus welcher Ionen-Quelle.
- Die unterstützten Profilgitter-Abschnitte sind:

Profilgitter-Abs.	Timing-Abs.	Bedeutung
UU	UN	Experimentierplatz Materialforschung
UN	UN	Hochladungsinjektor
UH	UH	Hochstrominjektor
UA	AT	Alvarez usw. bis incl. Abzweig Transferkanal
UT	AT	Abzweig Transferkanal bis Aufteilung in X-, Y-, Z-Zweig
UX	AT	Ex-Halle X-Zweig
UY	AT	Ex-Halle Y-Zweig
UZ	AT	Ex-Halle Z-Zweig
TK1	TK	Transferkanal (TK1 ... TK3)
TK4	TK	Transferkanal (TK4 ... TK7)
TK8	TK	Transferkanal (TK8 ... TK9)

3.3 Strahlwegbeschreibung

Es wäre sehr unübersichtlich und daher verwirrend, wenn Timing-Abschnitte, Interlock-Abschnitte (mit Interlock-Unterabschnitten) und Profilgitter-Abschnitte vom Operating parallel zu versorgen wären.

Die Zusammenhänge, die die Pulszentrale betreffen, kann man aus dem Weg ableiten, den ein Strahl im Beschleuniger nimmt. Daher genügt es (jedenfalls an den meisten Stellen), der Pulszentrale lediglich den Weg bekanntzugeben, den der jeweilige Strahl im Beschleuniger nimmt. Dieser Weg des Strahles ist ausreichend beschrieben durch Anfangspunkt (Strahl-Quelle), Endpunkt (Strahl-Ziel) und gegebenenfalls durch die Angabe, welcher von mehreren möglichen Wegen durchlaufen wird (Strahl-Pfad).

- Eine Strahl-Quelle ist ein Beschleuniger-Bereich, der Ausgangspunkt eines Ionen-Strahles ist (der eine Ionen-Quelle enthält).
- Ein Strahl-Ziel ist ein Beschleuniger-Bereich, in dem ein Ionen-Strahl endet.

In den meisten Timing-Abschnitten gibt es nur ein mögliches Strahl-Ziel. Diese Strahl-Ziele werden zur Vereinfachung gleich bezeichnet wie die Timing-Abschnitte, über die sie angeschlossen sind. Strahl-Quellen können nur die Ionen-Quellen „Quelle Links“, „Quelle Rechts“ und „Quelle HLI“ sein. Diese Strahl-Quellen werden gleich bezeichnet wie der Timing-Abschnitt, über die sie angeschlossen sind.

- Mögliche Strahl-Quellen sind:

Bezeichnung	Bedeutung
UL	Quelle links
UR	Quelle rechts
UQ	Quelle HLI

- Mögliche Strahl-Ziele sind:

Strahl-Ziel	Timing-Abschnitt	Bedeutung
UU	UN	Experimentierplatz Materialforschung
UN7	UN	Lasep-Magnet US4MK1 aus HLI
US3	UH	Lasep-Magnet US4MK1 aus UL/UR
TK	TK	Transferkanal
UXx	AT	Ex-Halle X-Zweig, Messplatz x
UYy	AT	Ex-Halle Y-Zweig, Messplatz y
UZz	AT	Ex-Halle Z-Zweig, Messplatz z

- Da bei einer Beschleuniger-Einstellung nur jeweils ein Messplatz im X-, Y- und Z-Zweig der Experimentierhalle aktiviert sein kann, gilt folgende Bezeichnungsweise: Das Strahl-Ziel **UX** bezeichnet das jeweils gerade im X-Zweig aktive Strahl-Ziel **UXx**. Entsprechendes gilt für die Strahl-Ziel Bezeichnung **UY** und **UZ**.

Man beachte, dass z. B. mit der Bezeichnung **UN** ein Timing-Abschnitt, ein Interlock-Abschnitt, ein Profiltgitter-Abschnitt oder ein Strahl-Ziel gemeint sein kann. Diese mehrdeutige Bezeichnungsweise kann verwirren, insbesondere, da die unterschiedlichen Bedeutungen jeweils etwas unterschiedliche Bereiche des Beschleunigers umfassen können! Es soll daher darauf geachtet werden, die Mehrdeutigkeit durch eine eindeutige Zuordnung der Begriffe „Timing-Abschnitt“, „Interlock-Abschnitt“, „Profiltgitter-Abschnitt“ oder „Strahl-Ziel“ aufzulösen.

3.4 Einordnung der Events

Die Übermittlung der Zeitinformationen geschieht über Events. Die Events sind nach verschiedenen Kriterien klassifiziert. Die wichtigste Unterscheidung ist die zwischen System-Events (Eventcodes ab 200 und größer) für interne Zwecke des Kontrollsystems und allgemeinen Events (Eventcodes unter 200) zur Steuerung der Geräte.

Für die im Unilac verwendeten allgemeinen Events wird im folgenden weiter unterschieden zwischen vier Klassen:

Globale Events: Das sind Events, die im gesamten Unilac, also in allen Timing-Abschnitten, benutzt werden und überall dort eine einheitliche Bedeutung haben. Es sind dies die Events:

Eventname	Code	Bedeutung
EVT_Start_RF	1	power to RF cavities
EVT_Prep_Beam_On	4	switch on chopper, read act. values
EVT_Beam_On	6	valid beam
EVT_Beam_Off	8	end of beam production
EVT_Stop_RF	12	switch RF off
EVT_Prep_Next_Acc	16	prepare next acc., write set values
EVT_Prep_Uni_Diag	19	prepare diagnostic devices, Unilac
EVT_Pretrig_Beam	28	magnets on flattop, PG trigger
EVT_Uni_End_Cycle	29	end of a UNILAC cycle

Lokale Events: Das sind Events, die nur in einzelnen Timing-Abschnitten von Bedeutung sind. Diese Events können nicht von beliebigen Geräten benutzt werden, sie werden nur für besondere Zwecke in einzelnen Timing-Abschnitten benutzt.

Es sind dies Events zum Betrieb der Ionenquelle sowie das zur Synchronisation mit dem SIS benutzte Event:

Eventname	Code	Bedeutung
EVT_Start_IQ	2	begin of beam production
EVT_IQ_Heating	3	begin of ion source arc, ECR RF
EVT_IQ_Gas_on	5	begin of ion source gas pulse
EVT_Stop_IQ	10	end of beam production
EVT_SD_Aux_Start	26	beam diagnostics aux start trigger
EVT_SD_Aux_Stop	27	beam diagnostics aux stop trigger
EVT_Ready_to_SIS	30	1 ms before beam transfer

Vorbereitungs-Events: Diese Events sind nicht Teil der Event-Sequenzen der virtuellen Beschleuniger. Sie werden bei Bedarf *einzel*n verschickt, um die spätere Ausführung eines virtuellen Beschleunigers vorzubereiten. Als Beispiel seien genannt die Vorbereitung der lang-samen TK-Magnete:

Eventname	Code	Bedeutung
EVT_Aux_Prp_Nxt_Acc	17	set values in magnet prep. cycles
EVT_RF_Prep_Nxt_Acc	18	begin of RF heating cycle
EVT_Magn_Down	25	set values in magnets to zero

Markierungs-Events: Diese Events sind nicht Teil der Event-Sequenzen der virtuellen Beschleuniger. Sie werden *nach Aufforderung einzel*n verschickt. Diese Events dienen zur Synchronisation der Messwertaufnahme bei voneinander unabhängig arbeitenden Geräten („Einzelschuss-Messung“).

Eventname	Code	Bedeutung
EVT_XXX_1	nn	Markierungs Event 1
EVT_XXX_2	nn	Markierungs Event 2
EVT_XXX_3	nn	Markierungs Event 3
EVT_XXX_4	nn	Markierungs Event 4

Namen und Codes der Markierungs-Events für den Unilac sind noch festzulegen!

4 Virtuelle Beschleuniger

4.1 Einteilung der virtuellen Beschleuniger

- Für das Operating stehen nur die virtuellen Beschleuniger Nr. 0... 13 zur Verfügung. Der virtuelle Beschleuniger Nr. 15 wird für interne Zwecke der Pulszentrale benutzt und ist für das Operating *nicht* zugänglich.
- Diese vom Operating nutzbaren virtuellen Beschleuniger Nr. 0... 13 werden im folgenden als *Betriebsbeschleuniger* bezeichnet.
- In jedem ablaufenden Betriebsbeschleuniger wird Strahl aus der Ionen-Quelle im zugeordneten Quellen-Abschnitt extrahiert und kann transportiert werden (wenn das nicht durch Störungen oder Operateurseingriff verhindert ist).
- In den Quellen-Abschnitten gibt es keine Puls-zu-Puls Umtastung wie im Rest der Anlagen. Die Abschnitte werden zwar gepulst betrieben, es gibt aber für alle Komponenten nur eine Einstellung. Die Quellen-Abschnitte erscheinen also als „gepulste nichtumtastbare Bereiche“. Da über den Timing-Bus in allen Nicht-Datenevents immer eine Nummer eines virtuellen Beschleunigers übertragen wird, muss auch immer eine definiert sein. Es wird daher intern der virtuelle Beschleuniger Nr. 14 verwendet. Diese Nummer tritt aber nach aussen hin *nicht* in Erscheinung.
- Darüberhinaus gibt es keine von vornherein festgelegte Zuordnung von Betriebsbeschleunigern zu Funktionalitäten oder zu Timing-Abschnitten. Jeder Betriebsbeschleuniger kann (von der Pulszentrale her) für beliebige Zwecke benutzt werden¹.

4.2 Örtliche Ausdehnung der Betriebsbeschleuniger

Die Betriebsbeschleuniger sind jeweils nicht im ganzen Unilac definiert. Events für diese virtuellen Beschleuniger werden nur in den Timing-Abschnitten verschickt, die benötigt werden, um den jeweiligen Strahl zu beschleunigen bzw. zu transportieren, sowie gegebenenfalls in dem zugeordneten Quellenabschnitt. Welche Timing-Abschnitte für die jeweiligen Betriebsbeschleuniger erforderlich sind, ist an der Pulszentrale einzustellen. Darüberhinaus benötigt das Unilac-Interlocksystem detailliertere Informationen, durch welchen Beschleuniger-Bereich innerhalb eines Timing-Abschnittes der jeweilige Betriebsbeschleuniger geht.

Die Einstellung geschieht, indem jedem Betriebsbeschleuniger eine Strahl-Quelle und ein Strahl-Ziel zugeordnet werden.

- Jedem Betriebsbeschleuniger sind eine Strahl-Quelle und ein Strahl-Ziel zuzuordnen. Mögliche Strahl-Quellen sind **UL**, **UR**, **UQ**, mögliche Strahl-Ziele sind **UH1**, **US3**, **UN1**, **UN7**, **UU**, **AT**, **TK**, und **UX**, **UY**, **UZ** bzw. genauer die jeweils angewählten Strahl-Ziele **UXx UYy UZz** (siehe Abschnitt 3.3).
- Über die Zuordnung von Strahl-Quelle und Strahl-Ziel ist jedem Betriebsbeschleuniger eine Kombination von Timing-Abschnitten zugeordnet, die die Komponenten der Strecke von Strahl-Quelle zu Strahl-Ziel mit Timing-Informationen versorgen. Die zugeordneten Timing-Abschnitte sind genau die Timing-Abschnitte, die gleichartig zusammenarbeiten müssen, um den jeweiligen Strahl zu produzieren.

¹Eine feste Zuordnung von virtuellen Beschleunigern zu Aufgaben kann aus vielerlei Gründen trotzdem sinnvoll sein.

- Über die Zuordnung von Strahl-Quelle und Strahl-Ziel sind jedem Betriebsbeschleuniger auch die Interlock-Abschnitte und die Profilgitter-Abschnitte zugeordnet, die vom Strahl in dem Betriebsbeschleuniger durchlaufen werden.
- Mehrere Betriebsbeschleuniger können *gleichzeitig* ausgeführt werden, solange sie sich nicht örtlich überlappen. Anders ausgedrückt: Wenn mehreren Betriebsbeschleunigern keine Timing-Abschnitte gemeinsam zugeordnet sind, können diese Betriebsbeschleuniger gleichzeitig ablaufen.
Beispiel: Sind zwei Betriebsbeschleunigern die Timing-Abschnitte **UN/AT/TK** bzw. **UL/UH** zugeordnet, können diese Betriebsbeschleuniger gleichzeitig ablaufen, d. h. in demselben Unilac-Zyklus.
- Die Betriebsbeschleuniger sind nur in den jeweiligen Beschleunigungs-Abschnitten definiert, nicht aber in den den Betriebsbeschleunigern zugeordneten Quellen-Abschnitten.
Die Quellen-Abschnitte werden als „gepulste nichtumtastbare Bereiche“ betrieben. Näheres siehe im Abschnitt 5.

Gültige Kombinationen von Strahl-Quelle und Strahl-Ziel mit den jeweils zugeordneten Timing-Abschnitten sind zum Beispiel:

Quelle	Ziel	Quellen-Abschnitt	Beschleunigungs-Abschnitte
UL	UX	UL	UH, AT
UL	US3	UL	UH
UN	TK	UQ	UN, AT, TK

4.3 Aufbau der Betriebsbeschleuniger

Für die Betriebsbeschleuniger gilt:

- Jeder Betriebsbeschleuniger hat eine zeitliche Länge von 20 ms.
- Sind Komponenten nicht schnell genug, um sie innerhalb der Zykluslänge von 20 ms rechtzeitig vor Beginn des Strahlpulses auf ihren Sollwert zu setzen, gilt:
 - Es sind hinreichend lange vor der Ausführung des Betriebsbeschleunigers Vorbereitungs-Events zu versenden, mit denen die langsamen Komponenten eingestellt werden.
 - Der vorbereitete Betriebsbeschleuniger darf erst nach einer Wartezeit ablaufen.
 - Diese Wartezeit kann mehrere 50 Hz-Takte betragen wie im Timing-Abschnitt **TK** oder auch entfallen, d. h. die Verschickung der Vorbereitungs-Events und die Ausführung des Betriebsbeschleunigers erfolgen in aufeinanderfolgenden Unilac-Zyklen.
 - Zwischen Verschickung des oder der Vorbereitungs-Events und dem Ablaufen des vorbereiteten Betriebsbeschleunigers darf kein anderer Betriebsbeschleuniger ablaufen.
- Alle Betriebsbeschleuniger enthalten dieselben globalen Events in einer fest vorgegebenen Reihenfolge (identische Event-Sequenzen). Lediglich die Abstände der globalen Events (also die Event-Folge) können von Betriebsbeschleuniger zu Betriebsbeschleuniger variieren (siehe Abschnitt 5).
- Für jeden Betriebsbeschleuniger ist die Event-Folge aller globalen Events in allen Timing-Abschnitten, die diesem Betriebsbeschleuniger zugeordnet sind, identisch, und zwar sowohl der Eventcode also auch die Abstände zwischen den Events.

Das heisst: Alle einem Betriebsbeschleuniger zugeordneten Zykluspulszentralen erzeugen für diesen Betriebsbeschleuniger *identische* Folgen *globaler* Events.

- Für den intern benutzten virtuellen Beschleuniger Nr. 15 gilt:
 - Der virtuelle Beschleuniger Nr. 15 kann für unterschiedliche Timing-Abschnitte unterschiedliche Event-Folgen enthalten.
 - Für den virtuellen Beschleuniger Nr. 15 gibt es aber keine Umtastung. Das bedeutet: Für jeden einzelnen Timing-Abschnitt läuft der interne Beschleuniger Nr. 15 immer identisch ab, wobei die jeweilige Event-Folge entweder fest ist oder nur abhängig ist von globalen Parametern (wie der Quelleneinstellung).
- Die Betriebsbeschleuniger umfassen nicht die Quellen-Abschnitte, d. h. wenn ein Betriebsbeschleuniger abläuft, werden dessen Events nicht in dem zugeordneten Quellen-Abschnitt verschickt.

Dabei muss natürlich das Timing der Betriebsbeschleuniger mit dem Quellen-Timing synchronisiert sein, damit der Strahlpuls korrekt übergeben werden kann.
- Nicht in jedem Unilac-Zyklus läuft in jedem Beschleunigungs-Abschnitt ein Betriebsbeschleuniger oder der interne virtuelle Beschleuniger Nr. 15 ab.

Läuft sonst kein virtueller Beschleuniger ab, werden Leerzyklen eingefügt, die nur das Kommando-Event (Event-Code: 255) sowie eventuell noch Vorbereitungsereignisse enthalten.

4.4 Erhaltung der Abfolge der Betriebsbeschleuniger

Der Unilac, oder genauer die Beschleunigungsstrukturen des Unilac, reagieren empfindlich auf Änderungen der Betriebstemperatur. Änderungen der Temperatur führen zu Änderungen der Feldverteilungen in den Beschleunigungsstrukturen, und die geänderten Feldverteilungen führen zu Energieänderungen. Diese Energieänderungen sind zwar klein, aber leider doch so groß, dass sie für den Beschleunigerbetrieb nicht toleriert werden können.

Die Temperatur der Beschleunigungsstrukturen stellt sich ein in Abhängigkeit von Amplitude und Folgefrequenz der einzelnen HF-Pulse.

Um die Temperatur der Beschleunigungsstrukturen weitgehend konstant zu halten, muss die mittlere eingespeiste HF-Leistung konstant gehalten werden. Leider gibt es (noch?) keine Verfahren, dieses bei wechselnden Folgefrequenzen *automatisch* sicherzustellen.

Daher bleibt als einziger Ausweg, die Pulsung der Beschleunigerstrukturen unverändert zu lassen. Daher gilt:

- Die Pulszentrale ändert eine einmal eingestellte Abfolge von Betriebsbeschleunigern nicht automatisch ab.
- Das gilt auch im Zusammenhang mit dem Unilac-Interlocksystem. Wenn in einem Beschleuniger-Bereich ein Anlagen-Interlock auftritt, so dass kein Strahl durch diesen Bereich gehen kann, laufen die entsprechenden Betriebsbeschleuniger unverändert weiter. Das Unilac-Interlocksystem sorgt lediglich dafür, dass in diesen Betriebsbeschleunigern kein Strahl erzeugt wird (durch Aktivierung eines Choppers nahe der jeweiligen Ionen-Quelle).
- Die einzige Möglichkeit, die Abfolge von Betriebsbeschleunigern ohne Neueinstellung der Pulszentrale zu ändern, ist die Anforderung von Betriebsbeschleunigern (Abschnitt 6.3).

Diese online-Eingriffe sind aber nur tolerabel, wenn die dadurch hervorgerufenen Änderungen der Abfolge der Betriebsbeschleuniger nur „gering“ sind. Das ist der Fall, wenn nur selten (wie vom SIS) angefordert wird.
- Die Pulszentrale überwacht *nicht* die Häufigkeit von Strahlanforderungen. Es ist Sache der Anforderer, Änderungen in Pulsfolgefrequenz sowie der Länge der Quellen- und Strahlpulse zu minimieren.

4.5 Magneteinstellungen in Unilac-Zyklen ohne Strahl

- Läuft in einem Timing-Abschnitt in einem Unilac-Zyklus *kein* Betriebsbeschleuniger ab, werden die gepulsten Magnete in diesem Unilac-Zyklus auf einen Pause-Sollwert gesetzt (der sinnvollerweise für alle Magnete als 0 A definiert sein sollte).
- Das Anfahren des Pause-Sollwertes wird nur in den Timing-Abschnitten *ausserhalb* des Timing-Abschnittes **TK** durchgeführt.

Im Timing-Abschnitt **TK** gilt dieser Pause-Sollwert nur, wenn es in diesem Timing-Abschnitt keinen Betriebsbeschleuniger gibt, der getaktet betrieben wird (siehe Abschnitt 7.1).

- Da neben dem Timing-Abschnitt **TK** nur der Timing-Abschnitt **AT** pulsare Magnete enthält, ist das Anfahren des Pause-Sollwertes derzeit nur im Timing-Abschnitt **AT** erforderlich.
- Das automatische Anfahren des Pause-Sollwertes ist abschaltbar.

5 Quellen-Abschnitte

5.1 Begriffsbestimmung

Um Missverständnisse zu vermeiden, ist statt eines allgemeinen Begriffs „Quelle“ klar zu unterscheiden zwischen:

- Ionen-Quelle: Das „Gerät“ Ionenquelle, also die physikalischen Komponenten zur Erzeugung von ionisierten Atomen. Eine Ionen-Quelle besteht in der Regel aus mehreren Einzelgeräten.
- Quellen-Abschnitt: Timing-Abschnitt, der eine Ionen-Quelle enthält (also **UL**, **UR** und **UN**). Von diesen Timing-Abschnitten (und nur von diesen) kann ein beschleunigter Strahl ausgehen.
- Strahl-Quelle: Beschleuniger-Bereich, der Ausgangspunkt eines Ionen-Strahles ist.
- Quellen-Timing: Timing (Event-Folgen, also Sequenzen der Events mit definierten Abständen) in einem Quellen-Abschnitt.

5.2 Aufbau des Quellen-Timings

Für den Aufbau des Timings in den Quellen-Abschnitten gilt, daß die Ionen-Quellen zwar *pulsbar* sein können, aber nicht *umtastbar*.

Das bedeutet: Die Ionen-Quellen können zwar einzelne Pulse erzeugen. Es ist aber nicht möglich, die Quellenpulse (Länge und Zündzeitpunkt) von einem Unilac-Zyklus zum nächsten zu ändern. Alle Triggersignale, die zur Erzeugung eines Ionen-Pulses erforderlich sind, werden also in den Quellen-Abschnitten streng periodisch identisch ausgeführt. Es werden lediglich unterschiedliche Timing-Informationen für die drei Fälle „Ionen-Puls wird erzeugt“, „Hilfspuls zur Quellenstabilisierung wird erzeugt“ (ohne dass ein Ionenpuls erzeugt wird) und „Quelle erhält keine Trigger“ (es werden nur Events verschickt, die die anderen Komponenten benötigen) erzeugt.

Die Pulsung der Ionen-Quellen muss natürlich in das Beschleuniger-Timing eingebunden sein. Ferner muss auch ein reiner DC-Betrieb möglich sein.

Für den Zusammenhang zwischen Timing in den Quellen-Abschnitten und dem Timing im Rest der Anlagen gilt:

- Es wird zwischen Quellen-Abschnitten (Timing-Abschnitt, der eine Ionen-Quelle enthält) und Beschleunigungs-Abschnitten (Timing-Abschnitt, in dem ein aus einem Quellen-Abschnitt angelieferter Ionen-Puls weitertransportiert und beschleunigt wird) unterscheiden.

- Das Timing der Quellen-Abschnitte und das Timing der Beschleunigungs-Abschnitte wird unterschiedlich gehandhabt.

Es ist dabei sicherzustellen, dass für die Übergabe eines Ionen-Pulses aus einem Quellen-Abschnitt an den im Strahlweg folgenden Beschleunigungs-Abschnitt das Timing so synchronisiert ist, dass der Ionen-Puls korrekt übergeben wird.

- Mehrere Betriebsbeschleuniger können dieselbe Strahl-Quelle zugeordnet haben und damit dieselbe Ionen-Quelle benutzen, also Strahlpulse beschleunigen, die aus derselben Ionen-Quelle stammen.
- Alle Zeitinformationen, die für die Erzeugung eines Ionen-Pulses erforderlich sind, sind (für jede Ionen-Quelle getrennte) *Master*-Eigenschaften. Sie sind damit gegebenenfalls einstellbar, können also verändert werden, sind aber nicht von Puls zu Puls umtastbar.

Bei einer Einstellung gelten sie also für alle Ionen-Pulse aus einer Ionen-Quelle, unabhängig davon, in welchem Betriebsbeschleuniger der Strahlpuls dann weiterbeschleunigt wird.

- Damit der Ionen-Puls synchronisiert von einem Quellen-Abschnitt an den folgenden Beschleunigungs-Abschnitt übergeben werden kann, sind die Zeitinformationen in den Timing-Abschnitten nicht unabhängig:

Die den Strahlpuls betreffenden Zeitinformationen (Beginn und zeitliche Länge des Strahlpulses) sind für alle aus einer Ionen-Quelle belieferten Betriebsbeschleuniger abhängig vom im Quellen-Abschnitt eingestellten Timing (Beginn und zeitliche Länge des Quellenpulses), da der Strahlpuls immer innerhalb des Quellenpulses liegen muss. Näheres siehe Abschnitt 8.

Für das eigentliche Quellen-Timing gilt:

- Alle Einstellwerte für das Timing in einem Quellen-Abschnitt sind Master-Werte. Für jeden Quellen-Abschnitt gibt es also jeweils nur eine Einstellung, es können nur gleichartige Ionen-Pulse erzeugt werden.
- Obwohl alle Einstellungen nicht umtastbar sind, werden die Quellen-Abschnitte gepulst betrieben. Das bedeutet, dass auch in den Quellen-Abschnitten die verschickten Timing-Informationen in Zyklen zusammengefasst werden².
- Die zeitliche Länge der Zyklen in den Quellen-Abschnitten ist abhängig von der jeweiligen Einstellung des Quellen-Timings.

Die zeitliche Länge der Quellen-Zyklen kann Vielfache eines Unilac-Zyklus betragen, also 20 ms, 40 ms, 60 ms,

- Die zeitliche Länge eines Quellen-Zyklus wird so gewählt, dass alle zur Erzeugung eines Quellenpulses erforderlichen Aktionen innerhalb eines Quellen-Zyklus ausgeführt werden können.

Dadurch können Triggersignale für die Ionen-Quelle beliebig lange vor Beginn eines Quellenpulses (Beginn der Erzeugung des Ionen-Strahles) erzeugt werden³. Längere Quellen-Zyklen als der im Unilac übliche 20 ms Takt könnten z. B. einmal im Afterglow-Modus der EZR-Quelle erforderlich werden oder bei Penning-Quellen mit einem Gashilfspuls.

- Die maximal mögliche zeitliche Länge eines Quellenpulses ist von der aktuell eingestellten Quellen-Taktrate (siehe Abschnitt 5.3) abhängig.

²Nicht alle Ionen-Quellen werten diese Zeitinformationen auch aus – reine DC-Quellen benötigen keine Triggerpulse.

³Der Vorlauf etwaiger Triggersignale vor dem eigentlichen Quellenpuls ist also nicht auf 15 ms begrenzt, wie es ein strenges 20 ms-Raster erfordern würde.

Die zeitliche Länge eines Quellenpulses kann nur so gross gewählt werden, dass zwei Quellenpulse direkt aufeinander folgen. Eine weitere Vergrößerung würde die Quellenpulse überlappen lassen, da die Quellen-Taktrate vorgegeben ist. Bei einer Quellentaktrate von 25 Hz (Untersetzung 2, siehe Abschnitt 5.3) beträgt die maximal mögliche Länge eines Quellenpulses also 40 ms.

- In den Quellen-Abschnitten wird unterschieden zwischen Zyklen mit Strahl (in diesen Zyklen wird ein Ionen-Puls erzeugt) und Zyklen ohne Strahl (in diesen Zyklen werden Hilfsaktionen ausgeführt, aber keine Ionen-Pulse erzeugt).
- Die Zyklen mit Strahl laufen jeweils identisch ab (abhängig von der Einstellung des Quellen-Abschnittes).
- Zyklen ohne Strahl werden mit der virtuellen Beschleuniger-Nummer 15 ausgeführt. Sie können auf verschiedene Weise ausgeführt werden und enthalten dann jeweils die erforderlichen Events. Die wichtigsten Zyklen ohne Strahl sind die in Abschnitt 10 näher beschriebenen Stabilisierungszyklen.
- Da die verschiedenen Typen von Ionen-Quellen unterschiedliche Anforderungen an das Timing haben, kann für jeden Quellen-Abschnitt jeweils ein Quellentyp festgelegt werden. In Abhängigkeit vom eingestellten Typ der Ionen-Quelle werden unterschiedliche Folgen von lokalen Events verschickt. Das heißt, sowohl die verwendeten Event-Codes als auch die Lage der Events in einem Unilac-Zyklus sind abhängig vom Typ der Ionen-Quelle. Die genaue Position der lokalen Events in jedem Unilac-Zyklus wird über die Quelleneinstellung festgelegt.
- Es werden derzeit unterstützt die folgenden Typen:
 - PENNING
 - PENNING mit Bogen-Stabilisierungszyklen
 - PENNING mit Gasvorlauf
 - CHORDIS bzw. MUCIS
 - MEVVA
 - EZR DC,
 - EZR gepulst (Afterglow-Modus).
- Je nach Einbauort sind nur bestimmte Typen von Ionen-Quellen möglich, und zwar:
 - UR:** PENNING (alle drei Typen)
 - UL:** CHORDIS, MUCIS, MEVVA
 - UQ:** EZR (DC und gepulst)

An den Quellen-Zyklen können folgende Parameter eingestellt werden:

- *Quellenpulslänge:* Die Länge des von der Quelle erzeugten und für die Beschleunigung nutzbaren Ionenstrahles.
- *Quellenvorlauf:* Gegebenenfalls kann die Quelle erst eine Zeit nach dem ersten Trigger einen stabilen Strahl liefern. Über diesen Parameter ist einzustellen, welchen Vorlauf die Ionen-Quelle benötigt, bis der Ionen-Strahl stabil steht.
- Sollten für einige der möglichen Typen von Ionen-Quellen zum Betrieb der Ionen-Quellen weitere Trigger erforderlich sein, sind entsprechende zusätzliche Events vorzusehen, deren zeitliche Position gegebenenfalls einstellbar sein muss.

5.3 Wiederholrate (Pulsrate)

Die Ionen-Quellen sind – in Hinblick auf die Ausführbarkeit eines Betriebsbeschleunigers– der *Master* der Betriebsbeschleuniger im Unilac. Nur wenn die Ionen-Quelle zündet, kann überhaupt Strahl produziert werden. Daher geben die Quellen-Abschnitte den Takt vor, mit dem die Betriebsbeschleuniger ausgeführt werden.

Die Ionen-Quellen sollen aber nicht immer in jedem Unilac-Zyklus wirklich zünden. Daher kann die Taktrate der Ionen-Quellen bzgl. des 50 Hz-Grundtaktes untersetzt werden. Aus Gründen der thermischen Stabilität ist es dabei für die meisten Typen von Ionen-Quellen erforderlich, dass sie ganz regelmäßig laufen.

- Die Quellen-Abschnitte werden mit einer streng mit ihrer eingestellten Taktrate betrieben. Bei den meisten Typen von Ionen-Quellen bedeutet das, dass sie regelmäßig zünden und Strahl extrahiert wird. Einzige Ausnahmen sind derzeit die Quellen-Typen MEVVA und CHORDIS.
- Die Quellen-Taktrate kann für jeden Quellen-Abschnitt getrennt eingestellt werden.
- Die Quellen-Taktrate ist über die Untersetzung des Grundtaktes des Unilac (20 ms-Zyklen) realisiert. D. h., es ist die Nummer des Unilac-Zyklus anzugeben, in dem die Ionen-Quelle wieder Strahl liefern soll, nachdem sie einen Quellenpuls erzeugt hat.

Etwas genauer: Es ist anzugeben, im jeweils wievielten Unilac-Zyklus der Quellen-Abschnitt jeweils *ausführbereit* ist. Nur, wenn der Quellen-Abschnitt ausführbereit ist, wird Strahl produziert bzw. kann Strahl produziert werden.

Eine Untersetzung von 1 gibt an, dass die Quelle in jedem Unilac-Zyklus ausführbereit ist, also mit 50 Hz läuft. Entsprechend bedeutet eine Untersetzung von 2, dass sie mit 25 Hz läuft.

- Wenn die Länge des Quellen-Zyklus mehr als einen Unilac-Takt beträgt (also 40 ms, 60 ms, ...), kann die Untersetzung des Quellentaktes minimal so gewählt werden, dass die Quellenpulse unmittelbar aufeinanderfolgend ausgeführt werden (also ohne 20 ms Leerzyklen dazwischen).

Bei einer Länge des Quellenzyklus von 40 ms beträgt die kleinste mögliche Untersetzung also 2 (25 Hz).

- Wenn ein Quellen-Abschnitt ausführbereit ist, wird, in Abhängigkeit vom Typ der Ionen-Quelle, entweder jedesmal die Quelle mit Strahl gezündet, oder nur dann, wenn der Strahl auch zum Weiterbeschleunigen abgenommen wird (derzeit nur für den Quellen-Typ MEVVA).

Die meisten Typen von Ionen-Quellen (derzeit alle bis auf den Quellen-Typ MEVVA) werden also streng periodisch mit Strahl gezündet, auch wenn der Strahl nicht zum Weitertransport abgenommen wird.

- Die Länge der Quellen-Zyklen ist auf 20 ms begrenzt bei Ionen-Quellen, die nur dann zünden, wenn der Strahl zum Weiterbeschleunigen abgenommen wird (wie der MEVVA-Quelle).

Diese Begrenzung ist erforderlich, da bei längeren Quellen-Zyklen sonst schon bei Beginn des Quellen-Zyklus ermittelt werden müsste, ob der Ionen-Strahl am Ende des Quellen-Zyklus weiterbeschleunigt werden wird – dieser Blick in die Zukunft wäre nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand möglich.

- Zwischen den Quellen-Zyklen, in denen Quellen-Abschnitte ausführbereit sind, können weitere Stabilisierungs-Zyklen eingefügt werden. Näheres siehe Abschnitt 10.

6 Superzyklus

Mit Superzyklus wird auch bei der Unilac-Pulszentrale die Abfolge der virtuellen Beschleuniger bezeichnet. Diese Abfolge der virtuellen Beschleuniger ist nicht fest vorgegeben, sondern sie wird ständig online neu bestimmt. Nach den Mechanismen, wie diese Bestimmung vorgenommen wird, ergibt sich aber trotzdem eine regelmäßige Sequenz von ausgeführten virtuellen Beschleunigern. Das ist durchaus beabsichtigt, denn die Anlage verlangt diese regelmäßige Abfolge. Einzige Ausnahmen sind die Anforderung von Betriebsbeschleunigern sowie der Therapie-Betrieb.

6.1 Betriebsbeschleunigerspezifische Ausführungshäufigkeit

6.1.1 Grundtakt der Ausführung: Quellentakt

Die Abfolge der Betriebsbeschleuniger wird zunächst einmal durch die Rate festgelegt, mit der die jeweils zugeordneten Quellen-Abschnitte laufen:

- In einem Unilac-Zyklus können nur diejenigen Betriebsbeschleuniger ausgeführt werden, deren zugeordnete Quellenabschnitte ausführbar sind.

Somit liegt der Ausführungsrate eines Betriebsbeschleunigers *immer* die Taktrate der Quellen-Abschnitte zugrunde (die aber durchaus auf 50 Hz eingestellt sein kann).

Gegenüber der zugrundeliegenden Taktrate der Quellen-Abschnitte kann die Ausführungsrate der Betriebsbeschleuniger weiter untersetzt werden. Dabei werden Strahlen in den Transferkanal (die in erster Linie zur Belieferung des SIS dienen) anders behandelt als die übrigen Strahlen.

6.1.2 Ausführungshäufigkeit: Strahlen ausserhalb des Transferkanals

Für alle Strahlen, die nicht bis in den Transferkanal gehen, kann die Ausführungshäufigkeit der Betriebsbeschleuniger gegenüber der zugrundeliegenden Taktrate der Quellen-Abschnitte weiter untersetzt werden. Diese Untersetzung kann an der Pulszentrale eingestellt werden. Es besteht weiter die Möglichkeit, jeden Betriebsbeschleuniger nur dann auszuführen, wenn er von einem Abnehmer angefordert wird.

- Die folgenden Punkte gelten nur für Betriebsbeschleuniger, denen der Timing-Abschnitt **TK** nicht zugeordnet ist (also mit einem anderen Strahl-Ziel als **TK**).
- Gegenüber der Taktrate der zugeordneten Quellenabschnitte kann die Ausführungsrate der Betriebsbeschleuniger weiter verringert werden.

Dazu kann für jeden Betriebsbeschleuniger eine Untersetzung eingestellt werden.

Eine Untersetzung von m bedeutet dabei, daß der Betriebsbeschleuniger nur in jedem m -ten Quellen-Zyklus, des zugeordneten Quellen-Abschnitts, ausführbar ist. Eine Untersetzung von 1 bewirkt also, dass der Betriebsbeschleuniger bei jedem Quellenpuls ausführbar ist, eine Untersetzung von 2 bedeutet, er ist bei jedem 2. Quellenpuls ausführbar.

- Gemäß den eingestellten Untersetzungen von Betriebsbeschleuniger und zugeordneter Ionen-Quelle wird der Betriebsbeschleuniger zunächst nur „ausführbar“ gesetzt. Tatsächlich ausgeführt wird er aber nur, wenn er nach Lösung aller Konflikte auch ausgeführt werden kann (siehe Abschnitt 6.4).

Insofern geben die eingestellten Untersetzungen nur die angestrebten Obergrenzen für die Ausführungshäufigkeit vor, die tatsächliche Ausführungshäufigkeit ist in der Regel geringer.

- Zusätzlich kann jeder Betriebsbeschleuniger zwischen den beiden Ausführungsarten *getaktet* und *anforderbar* umgeschaltet werden:

- In der Ausführungsart getaktet läuft er (soweit möglich, siehe Abschnitt 6.4), jedesmal dann ab, wenn er auch ausführbereit ist. Das bedeutet, er läuft weitgehend periodisch ab.
- In der Ausführungsart „anforderbar“ dagegen läuft er nur ab, wenn er ausführbereit ist und *zusätzlich* von einem Abnehmer angefordert wird.
- Die Ausführung eines Betriebsbeschleunigers in der Ausführungsart „anforderbar“ wird über Eingänge für externe Signale ausgelöst. Diese Eingänge werden als Anfordereingänge bezeichnet.
- Es werden drei Anfordereingänge vorgesehen. Damit ist es möglich, unabhängig voneinander Betriebsbeschleuniger für die X-, Y- und Z-Strahlzweige der Experimentierhalle anzufordern.

6.1.3 Ausführungshäufigkeit: Strahlen im Transferkanal

Der Transferkanal ist in erster Linie vorgesehen zur Injektion von Strahlen aus dem Unilac in das SIS. Die Lieferung von Strahl in den Transferkanal macht daher (meistens) nur Sinn, wenn der Strahl auch in das SIS geht. Das ist aber nur für einzelne Unilac-Takte möglich, die ausserdem noch zeitlich mit dem SIS-Zyklus synchronisiert werden müssen.

Daher gilt im Transferkanal das Grundprinzip: Es werden nur Strahlen in den Transferkanal geliefert, die explizit vom SIS angefordert wurden. Da die Betriebsbeschleuniger, die in das SIS gehen, aber nur recht selten und möglicherweise unregelmässig ausgeführt werden, können an und mit diesen Strahlen nur sehr schwer Untersuchungen durchgeführt werden. Deshalb besteht die Möglichkeit, einen der in den Transferkanal gehenden Betriebsbeschleuniger zusätzlich auch periodisch ausführen zu lassen.

- Die folgenden Punkte gelten nur für Betriebsbeschleuniger, denen der Timing-Abschnitt **TK** zugeordnet ist (also mit dem Strahl-Ziel **TK**).
- Alle Betriebsbeschleuniger mit dem Strahl-Ziel **TK** werden immer dann ausgeführt, wenn sie vom SIS angefordert werden.
- Vom SIS angeforderte Betriebsbeschleuniger werden möglichst schnell ausgeführt. Es gibt insbesondere keine Untersetzung gegenüber der Quellentaktrate.
Aber auch hier gilt: Sie werden erst dann ausgeführt, wenn die zugeordnete Ionen-Quelle ausführbereit ist. Soll also möglichst schnell auf die Anforderung reagiert werden, darf auch die Quellen-Taktrate nicht untersetzt sein.
- Jede Ausführung muss vom SIS einzeln angefordert werden. Einzelheiten des Verfahrens der Anforderung sind beschrieben in Abschnitt 7.1.
- Auch für Betriebsbeschleuniger mit dem Strahl-Ziel **TK** gibt es die Unterscheidung der Ausführungsarten *getaktet* und *anforderbar*.
- In der Ausführungsart *anforderbar* wird der Betriebsbeschleuniger nur dann ausgeführt, wenn er vom SIS angefordert wird. Das ist die „normale“ Einstellung.
- In der Ausführungsart *getaktet* wird der Betriebsbeschleuniger periodisch ausgeführt und *zusätzlich* auch dann, wenn er vom SIS angefordert wird.
- Für diese zusätzliche periodische Ausführung gelten die gleichen Regeln für die Untersetzung wie bei Betriebsbeschleunigern, die ein anderes Strahlziel als **TK** haben (siehe Abschnitt 6.1.2).
- Nur jeweils einer der Betriebsbeschleuniger mit dem Strahl-Ziel **TK** kann auf die Ausführungsart „anforderbar“ gesetzt werden.

- Die Ausführungsrate des Betriebsbeschleunigers in der Ausführungsart „getaktet“ ist begrenzt (vorgesehen sind maximal 5 Hz, d. h. höchstens jeden 10. Unilac-Zyklus). Höhere Raten können *nicht* eingestellt werden.

Weitere Besonderheiten des Timing-Abschnittes **TK** sind beschrieben in Abschnitt 7.1. Insbesondere wird dort auf den Anfordermechanismus eingegangen.

6.2 Vorbereitungszeiten

Als Besonderheit ist zu beachten, daß in einigen Timing-Abschnitten oftmals (aber nicht immer!) Vorbereitungszeiten einzuhalten sind. Das betrifft derzeit nur den Timing-Abschnitt **TK** (Magnete nur langsam pulsbar). Dazu wird zunächst der Timing-Abschnitt in einem Unilac-Zyklus vorbereitet (die langsamen Magnete auf ihre Sollwerte gesetzt) und nach einer Wartezeit, in der *kein* Betriebsbeschleuniger ablaufen darf, der vorbereitete Betriebsbeschleuniger ausgeführt. Die Wartezeit beträgt bis zu 10 Unilac-Zyklen (**TK**, etwa 200 ms zwischen Sollwertsetzen für die Magnete und Ausführung des Betriebsbeschleunigers).

Der Mechanismus zur Vorbereitung einzelner Timing-Abschnitte ist an anderer Stelle näher beschrieben (siehe Abschnitt 7). An dieser Stelle ist nur wichtig, daß ein Betriebsbeschleuniger gegebenenfalls erst dann ausgeführt wird, wenn seine Vorbereitung erfolgt ist (inklusive Wartezeit). Wenn die langsamen Magnete noch auf dem gewünschten Wert stehen, entfallen Vorbereitung und Wartezeit.

6.3 Anforderung von Betriebsbeschleunigern

Sowohl für die Experimentierhalle als auch für den Transferkanal können Strahlpulse angefordert werden. Dabei werden aber unterschiedliche Mechanismen verwendet.

- Es gibt drei Eingänge für *einfache* Strahlanforderungen. Diese Eingänge erlauben getrennte Anforderungen von Strahlen für die drei Experimentierzweige X, Y und Z.
- Für den Timing-Abschnitt **TK** gibt es *eine weitere* Anfordermöglichkeit. Da hier ein relativ komplexes Verfahren erforderlich ist, wird diese Möglichkeit der Strahlanforderung an anderer Stelle beschrieben (siehe Abschnitt 7.1).
- Bei der Anforderung für den Timing-Abschnitt **TK** ist es möglich, über den Anforderungseingang die Markierung des angeforderten Betriebsbeschleunigers auszulösen (siehe Abschnitt 14).
- Es gibt keine feste Zuordnung von Anforder-Eingängen zu Betriebsbeschleunigern. Jedem der Eingänge für einfache Strahlanforderung kann je einer der Betriebsbeschleuniger zugeordnet werden.

Ein Anforderungssignal an einem Anforderungs-Eingang fordert den jeweils zugeordneten Betriebsbeschleuniger an.

- Jeder Betriebsbeschleuniger kann *höchstens* einem Anforderungs-Eingang zugeordnet sein.
- Es gibt keine Möglichkeit, über *einen* Anforderungseingang dynamisch wechselnd *mehrere* Betriebsbeschleuniger anzufordern.
- Jeder Anforderungseingang wird einmal pro Unilac-Zyklus eingelesen. Der jedem Eingang für einfache Anforderung zugeordnete Betriebsbeschleuniger gilt als angefordert, wenn am Eingang ein *High*-Pegel anliegt. Solange dieser Pegel anliegt wird der Betriebsbeschleuniger entsprechend seiner Untersetzung ausgeführt.

Bei den hier beschriebenen Anforder-Eingängen ist kein Flankenwechsel erforderlich, im Gegensatz zum Anfordermechanismus für Strahlen in den Timing-Abschnitt **TK** (siehe 7.1).

6.4 Prioritätssteuerung der Ausführung von Betriebsbeschleunigern

Nach den bisher beschriebenen Mechanismen zur Untersetzung der Taktraten von Ionen-Quellen und Betriebsbeschleunigern sowie der Anforderung von Betriebsbeschleunigern wird in jedem Unilac-Zyklus bestimmt, welche Betriebsbeschleuniger als nächste ausführbar sind. Das bedeutet aber noch nicht, dass sie auch wirklich ausgeführt werden: Es kann vorkommen, dass mehrere Betriebsbeschleuniger, denen ein Timing-Abschnitt gemeinsam zugeordnet ist, gleichzeitig ausführbar sind. Dann kann nur einer wirklich ausgeführt werden.

Die Entscheidung, welche der ausführbaren Betriebsbeschleuniger wirklich ausgeführt werden, wird anhand einer Prioritätsregelung getroffen. In der Reihenfolge von der höchsten zur niedrigsten sind die Prioritäten:

1. Betriebsbeschleuniger, die für den Timing-Abschnitt **TK** angefordert werden (für den **TK** wird sinnvollerweise nur vom SIS angefordert, das heißt, dass vom SIS angeforderte Strahlen mit höherer Priorität behandelt werden als andere).
2. Betriebsbeschleuniger, die zu einem Experimentierplatz führen **UU**, **US3**, **UXx**, **UYy**, **UZz** oder **TK** (periodisch).
3. Betriebsbeschleuniger, denen die Timing-Abschnitte **UN** oder **UH** zugeordnet sind (die also lokal im HLI-Abschnitt oder im Hochstrominjektor laufen, also den Alvarez nicht benötigen).
4. Sonstige Betriebsbeschleuniger. Das können nur solche sein, die lokal in den Quellen-Abschnitten **UL**, **UR** oder **UQ** laufen.
5. Interne Konditionierungszyklen, wie Einfügen von HF-„Konditionierungs“-Pulsen.
6. Interne Stabilisierungszyklen, wie Einfügen von „Warmhalte“-Pulsen (HF oder Quellen).

Mit diesen Prioritätsstufen werden Konflikte bei der Ausführung von Betriebsbeschleunigern gelöst:

- Ein Betriebsbeschleuniger wird nur dann ausgeführt, wenn keiner der Timing-Bereiche, die ihm zugeordnet sind, durch einen Betriebsbeschleuniger mit höherer Priorität belegt ist.
- Stehen zwei Betriebsbeschleuniger derselben Prioritätsstufe zur Ausführung an, wird derjenige ausgeführt, der die längste Anzahl von Unilac-Zyklen nicht ausgeführt wurde (dessen letzte Ausführung zeitlich am längsten zurück liegt).

7 Vorbereitung eines Betriebsbeschleunigers: Transferkanal

In einigen Timing-Abschnitten sind Komponenten eingebaut, die nicht innerhalb eines Unilac-Zyklus umtastbar sind. Das betrifft derzeit nur den Timing-Abschnitt **TK** (Transferkanal, langsam pulsable Magnete).

7.1 Abschnitt TK (Transferkanal)

Die Magnete im Transferkanal sind nicht schnell genug, um im 50 Hz-Takt auf verschiedene Sollwerte gesetzt werden zu können. Daher gibt es Einschränkungen für den Timing-Abschnitt **TK**:

- Jeder Wechsel eines Betriebsbeschleunigers im Timing-Abschnitt **TK** benötigt eine Vorbereitungszeit von etwa 200 ms (10 Unilac-Zyklen).
- Beliebige Kombinationen von Betriebsbeschleunigern können durch den Timing-Abschnitt **TK** gehen (also das Strahl-Ziel **TK** zugeordnet haben).
- Alle Betriebsbeschleuniger mit dem Strahl-Ziel **TK** können immer vom SIS angefordert werden.
- Es kann im Timing-Abschnitt **TK** höchstens *ein* Beschleuniger getaktet betrieben werden („Zwischenpulse“).
- Zur Ausführung von anforderbaren Betriebsbeschleunigern müssen diese im Timing-Abschnitt **TK** zweistufig angefordert werden:
 1. Anforderung der *Vorbereitung*. Hiermit werden die langsamen Komponenten des Timing-Abschnittes **TK** auf ihre Sollwerte gesetzt.
 2. Anforderung der *Ausführung*. Erst nach dieser Anforderung wird der Betriebsbeschleuniger wirklich ausgeführt.

Für die Anforderung sind somit *zwei* getrennte Anforderungseingänge erforderlich.

- Nach Abschluss einer Anfordersequenz (d. h. nach Freigabe der Anforderung der Vorbereitung) werden die Magnete im Timing-Abschnitt **TK** auf definierte Sollwerte gesetzt:
 - Wenn es im Timing-Abschnitt **TK** einen Betriebsbeschleuniger gibt, der getaktet betrieben wird, werden die Magnete auf die Sollwerte für diesen getaktet betriebenen Betriebsbeschleuniger gesetzt⁴.
 - Wenn es im Timing-Abschnitt **TK** keinen Betriebsbeschleuniger gibt, der getaktet betrieben wird, werden die Magnete auf einen Pause-Sollwert gesetzt (der sinnvollerweise für alle Magnete als 0 A definiert ist).

In beiden Fällen wird ein automatischer Vorbereitungs-Zyklus (der hier ein Nachbereitungs-Zyklus ist) ausgeführt.

Für den Anforderungsmechanismus gilt:

- Es gibt *zwei* Anforderungs-Eingänge für die Anforderung:
 - Die Vorbereitungsanforderung bereitet die Ausführung eines Betriebsbeschleunigers vor und gibt (nach einer Wartezeit) gleichzeitig auch die Ausführungsanforderung frei.

⁴Der Wert ist eindeutig, denn es kann in diesem Timing-Abschnitt höchstens einen Betriebsbeschleuniger geben, der getaktet betrieben wird.

- Die Ausführungsanforderung fordert *einmalig* die Ausführung eines Betriebsbeschleunigers an.
- Beide Anforderungseingänge werden je einmal in jedem Unilac-Zyklus ausgewertet.
- Bei der Vorbereitungsanforderung ist die Angabe der Nummer desjenigen Betriebsbeschleunigers erforderlich, für den der Transferkanal vorbereitet wird.
- Damit ein angeforderter Betriebsbeschleuniger ausgeführt werden kann, muss zuvor (mindestens) einmal die Vorbereitung dieses Betriebsbeschleunigers angefordert werden.
Die Vorbereitungsanforderung wird durch einen Flankenwechsel erkannt. Sie gilt als angelegt, wenn ein Übergang von „kein Pegel“ nach „Pegel“ festgestellt wurde, sobald also in einem Unilac-Zyklus „Pegel“ ausgelesen wird, wenn im vorigen Unilac-Zyklus „kein Pegel“ gelesen wurde.
- Das Signal am Eingang der Vorbereitungsanforderung muss anstehen, bis die Lieferung des Strahles abgeschlossen ist.
- Die Ausführungsanforderung wird erst nach Ablauf einer Wartezeit (derzeit: 9 Unilac-Zyklen, also etwa 180 ms) nach Beginn einer Vorbereitungsanforderung ausgewertet.
- Solange die Vorbereitungsanforderung ansteht, wird der gegebenenfalls getaktet betriebene Betriebsbeschleuniger *nicht* ausgeführt.
Damit eine „vergessene“ Vorbereitungsanforderung den getaktet betriebenen Betriebsbeschleuniger nicht beliebig lange unterbrechen kann, wird eine Timeout-Zeit verwaltet (siehe folgende Punkte).
- Nach Ablauf der Wartezeit nach Anlegen der Vorbereitungsanforderung bewirkt jeder Flankenwechsel der Ausführungsanforderung von „kein Pegel“ nach „Pegel“ (mit der richtigen Nummer des virtuellen Beschleunigers, siehe den übernächsten Punkt), dass der angeforderte Betriebsbeschleuniger wirklich abläuft.
Damit der Flankenwechsel „kein Pegel“ nach „Pegel“ erkannt werden kann, muss zuvor mindestens einen Unilac-Zyklus lang „kein Pegel“ angelegen haben.
- Ist der angeforderte Betriebsbeschleuniger gerade nicht ablauffähig (weil der Quellen-Abschnitt nicht ausführbereit ist), wird die Ausführungsanforderung zurückgestellt.
Nachdem ein Flankenwechsel („kein Pegel“ nach „Pegel“) stattgefunden hat, läuft der angeforderte Betriebsbeschleuniger erst dann ab, wenn er ausgeführt werden kann (Quelle ausführbereit) *und* die Anforderung der Ausführung noch ansteht.
- Wird nach Ablauf der Wartezeit nach einer Vorbereitungsanforderung innerhalb einer Timeout-Zeit (250 Unilac-Takte, also 5 s) der vorbereitete Betriebsbeschleuniger *nicht* ausgeführt (weil keine Ausführungsanforderung erfolgt oder weil der Quellen-Abschnitt nicht ausführbereit ist), nimmt die Pulszentrale die Vorbereitungsanforderung intern zurück. Eine erneute Vorbereitungsanforderung ist wieder durch einen Flankenwechsel (mindestens einen Unilac-Zyklus „kein Pegel“, dann wieder „Pegel“) einzuleiten.
Das gleiche gilt, wenn nach der letzten Ausführung eines angeforderten Betriebsbeschleunigers innerhalb einer (gegebenenfalls anderen) Timeout-Zeit keine weitere Ausführung des vorbereiteten Betriebsbeschleunigers erfolgt, obwohl die Vorbereitungsanforderung weiterhin ansteht.
Das erscheint sinnvoll, um nicht durch eine unvollständige Anfordersequenz die Ausführung des getaktet betriebenen Betriebsbeschleunigers im Timing-Abschnitt **TK** für immer zu blockieren.

- Eine Strahlanforderung kann jederzeit erneut eingeleitet werden, indem eine erneute Vorberbeitungsanforderung angelegt wird. Sie ist immer durch einen Flankenwechsel (mindestens einen Unilac-Zyklus „kein Pegel“, dann wieder „Pegel“) einzuleiten.
- Zur Zeitsynchronisation mit dem SIS wird im Timing-Abschnitt **TK** ein Synchronisier-Event (`Ready_to_SIS`) zeitgenau zusätzlich in die Event-Folge eingefügt.
Das Event wird in einem festen Zeitbezug zum Strahlpuls verschickt (derzeit: 10 ms vor Beginn des Strahlpulses).

Die für den Timing-Abschnitt **TK** angeforderten Betriebsbeschleuniger können als “extern getriggert“ markiert werden:

- Über den Eingang zur Anforderung der Ausführung eines Betriebsbeschleunigers kann zusätzlich noch die Markierung des Betriebsbeschleunigers über Markierungs-Events ausgelöst werden. Einzelheiten dazu sind beschrieben in Abschnitt 14.

8 Event-Folgen der Betriebsbeschleuniger

Grundsätzlich gilt: Alle Betriebsbeschleuniger haben identische Sequenzen von Events. Die Eventabstände werden teilweise aus den Quellen-Einstellungen der jeweils zugeordneten Quellen-Abschnitte abgeleitet, teilweise sind sie spezifisch für jeden Betriebsbeschleuniger einzustellen.

- Alle Event-Abstände (und damit jeweils die genaue Event-Folge) werden aus den im folgenden angegebenen Parametern abgeleitet.
- Alle aus der Einstellung der zugeordneten Ionen-Quelle abgeleiteten Zeit-Informationen sind identisch für alle Betriebsbeschleuniger, die dieselbe Strahl-Quelle haben (also aus derselben Ionen-Quelle beliefert werden).
Das betrifft insbesondere die aus der Quellenpulslänge und der zeitlichen Lage des Quellenpulses abgeleiteten Informationen.
- Für jeden Betriebsbeschleuniger getrennt kann eingestellt werden, welcher Teil des von der Ionen-Quelle gelieferten Strahlpulses genutzt werden kann⁵ Das geschieht über die folgenden Parameter:
 - *Strahlpulslänge*: Die Länge des für die Beschleunigung genutzten Strahlpulses.
 - *Strahlpulsverzögerung*: Legt fest, wann der für die Beschleunigung genutzte Teil des Strahles beginnt (bezogen auf den Zeitpunkt, ab dem der Quellenpuls stabil steht, also für die Beschleunigung genutzt werden kann).
- Die Einstellwerte für die Betriebsbeschleuniger sind nicht unabhängig von der Einstellung der Ionen-Quelle:
 - Strahlpulslänge und Strahlpulsverzögerung dürfen zusammengenommen nicht größer sein als die Quellenpulslänge.
 - Umgekehrt kann über die Einstellung der Ionen-Quellen der jeweilige Quellenpuls nur so weit verändert werden, wie er mit keiner der Einstellungen der Strahlpulse in allen Betriebsbeschleunigern kollidiert, denen der jeweilige Quellen-Abschnitt zugeordnet ist. Soll der Quellenpuls weiter verändert werden, muss z. B. erst dafür gesorgt werden, dass der Quellen-Abschnitt keinem Betriebsbeschleuniger mehr zugeordnet ist.

⁵Aus dem angebotenen Quellenpuls wird durch einen der Quellen-Chopper ein Teil herausgeschnitten und als Strahlpuls weiterbeschleunigt. Es gibt derzeit zwei Quellen-Chopper, die in den jeweils ersten auf die Quellen-Abschnitte folgenden Beschleunigungs-Abschnitten angeordnet sind (einer im Abschnitt **UN** und einer im Abschnitt **UH**). Die Quellen-Chopper nehmen teil an der Puls-zu-Puls Umtastung, daher kann der Strahlpuls getrennt für jeden Betriebsbeschleuniger eingestellt werden.

9 Konditionierungs-Zyklen

Zur Konditionierung der HF-Anlagen ist es notwendig in Phasen, in denen in einem HF-Abschnitt kein Betriebsbeschleuniger läuft, zusätzliche HF-Pulse erzeugen zu können. Die Ausführungsrate dieser Konditionierungs-Zyklen muß begrenzt, Pulslänge und Amplitude müssen einstellbar sein.

- Für jeden Timing-Abschnitt mit HF-Anlagen kann eine Höchstfolgefrequenz der *HF-Konditionierungs-Zyklen* für die HF-Anlagen eingestellt werden.

Sie ist definiert als Anzahl von Unilac-Zyklen und gibt an, wieviele Unilac-Zyklen mindestens zwischen zwei *HF-Konditionierungs-Zyklen* sein müssen. Ist diese Anzahl erreicht, dann wird im nächsten Unilac-Zyklus, in dem die HF nicht getriggert wird ein *HF-Konditionierungs-Zyklus* eingeschoben.

D. h. die *HF-Konditionierungs-Zyklen* konkurrieren nicht mit Betriebsbeschleunigern, sondern kommen nur dann zur Ausführung, wenn kein Betriebsbeschleuniger den entsprechenden HF-Abschnitt belegt.

- *HF-Konditionierungs-Zyklen* werden gegenüber *HF-Stabilisierungs-Zyklen* bevorzugt ausgeführt, sie genießen quasi *höhere Priorität*.

10 Stabilisierungs-Zyklen

Zunächst einmal gilt: Die HF-Sender werden nur dann getriggert, wenn tatsächlich auch Strahl beschleunigt werden soll. Das würde aber bedeuten, dass die HF-Anlagen längere Zeit aus bleiben, wenn kein geeigneter Strahl produziert werden soll oder kann. Entsprechendes gilt für einige Typen von Ionen-Quellen.

Um dadurch hervorgerufene Probleme zu verringern, kann eingestellt werden, dass automatisch weitere Zyklen eingefügt werden, in denen die HF-Anlagen bzw. die Quellen getriggert werden. Diese Stabilisierungszyklen werden üblicherweise als „Warmhalte-Zyklen“ bezeichnet. Das ist allerdings irreführend, denn es geht nicht allein darum, ein zu starkes Auskühlen zu verhindern, sondern auch (bei den HF-Anlagen) darum, die Betriebsfähigkeit trotz Änderungen der Temperatur sicherzustellen (Tauchkolbenregelung). Diese zusätzlich eingefügten Zyklen werden darum im folgenden als Stabilisierungs-Zyklen bezeichnet.

- Für jeden Quellen-Abschnitt kann eine Mindestfolgefrequenz für die Quellenpulse eingestellt werden.

Sie ist definiert als Anzahl von Unilac-Zyklen. Wird diese Anzahl überschritten, ohne dass die Quelle gezündet hat, dann wird jeweils ein *Quellen-Stabilisierungs-Zyklus* eingeschoben.

- Für jeden Timing-Abschnitt mit HF-Anlagen kann eine Mindestfolgefrequenz für die HF-Anlagen eingestellt werden.

Sie ist definiert als Anzahl von Unilac-Zyklen. Wird diese Anzahl überschritten, ohne dass die HF-Anlagen getriggert wurden, dann wird jeweils ein *HF-Stabilisierungs-Zyklus* eingeschoben.

- Die Stabilisierungs-Zyklen sorgen nur dafür, dass die Ionen-Quelle zündet bzw. dass die HF-Anlagen getriggert werden. Sie enthalten deshalb nur die Events, die für den Betrieb der Ionen-Quellen bzw. der HF-Anlagen erforderlich sind.
- Der Aufbau der Quellen-Stabilisierungs-Zyklen richtet sich nach dem Typ der Ionen-Quelle.
- Der Aufbau der HF-Stabilisierungs-Zyklen kann ebenfalls in den einzelnen Timing-Abschnitten unterschiedlich sein (unterschiedliche HF-Anlagen).

- Die Stabilisierungs-Pulse werden verschickt als virtueller Beschleuniger 15. Deshalb kann nicht darauf zugegriffen werden. Es ist insbesondere nicht möglich, Geräte (Strahl diagnose!) dafür anzusprechen, da der virtuelle Beschleuniger 15 nicht für das Operating zugänglich ist.

11 Therapie-Betrieb

Hier sind die wichtigsten Anforderungen für den Therapie-Betrieb zusammengestellt. Diese Aufstellung kann aber noch nicht als abschließend betrachtet werden!

- Als *Therapie-Betrieb* wird der Zustand des Unilac bezeichnet, in dem er Strahl für die Bestrahlung eines Patienten liefern kann.
- Der Therapie-Betrieb ist durch eine Umschaltung der Betriebsart explizit einzuleiten bzw. explizit wieder zu verlassen.
Es ist vorgesehen, den Therapie-Betrieb nur jeweils für die Bestrahlung *eines* Patienten einzunehmen.
- Die Umschaltung in den Therapie-Betrieb sowie das Verlassen desselben erfolgt automatisch, gesteuert vom Bestrahlungsplatz.
Die Übermittlung an den Unilac erfolgt über die SIS-Pulszentrale.
- Eine Umschaltung in den Therapie-Betrieb ist aber nur möglich, wenn diese Umschaltung durch das Operating freigegeben wurde. Diese Freigabe muss nicht vor jeder Umschaltung erneut erfolgen, sie gilt solange, bis sie wieder zurückgenommen wird.
- Für die Erzeugung von Strahl für den Bestrahlungsplatz wird ausschließlich der Betriebsbeschleuniger Nr. 0 verwendet. Dieser virtuelle Beschleuniger wird im folgenden als *Therapie-Beschleuniger* bezeichnet.

Während des Therapie-Betriebes, also für den Zeitraum von der Umschaltung in den Therapie-Betrieb bis zum Verlassen desselben, gilt:

- Der Therapiebeschleuniger läuft *ausschließlich* auf Anforderung für den Timing-Abschnitt **TK** (d. h. vom SIS angefordert). Er läuft nicht getaktet, d. h. es gibt im Therapie-Betrieb *keine* Zwischenpulse.
- Während des Therapie-Betriebs darf auch kein anderer Betriebsbeschleuniger mit Zwischenpulsen für den Timing-Abschnitt **TK** ausgeführt werden.
- Für die Dauer des Therapie-Betriebes sind alle Beschleuniger-Komponenten, die für die Erzeugung des Therapie-Strahles benötigt werden, gegen Eingriffe des Operatings verriegelt. Diese Verriegelung wird bei der Umschaltung in den Therapie-Betrieb eingeleitet und beim Verlassen des Therapie-Betriebes zurückgenommen. Die Pulszentrale verschickt die dafür erforderlichen Event-Kommandos (ECCs).
- Auch die Pulszentrale zählt zu den Komponenten, die für die Erzeugung des Therapie-Strahles benötigt werden. Deshalb sind für die Dauer des Therapie-Betriebes *keinerlei* Veränderungen an der Einstellung der Pulszentrale möglich.
- Bei der Umschaltung in den Therapie-Betrieb gilt:
 - Alle DC-Komponenten sollen auf ihren Therapie-Sollwert gesetzt werden (DC-Magnete, Strahl diagnose-Antriebe, ...). Die Pulszentrale verschickt die dafür erforderlichen Event-Kommandos (ECCs).

- Die gepulsten Magnete sollen auf einen Therapie-Init-Wert (der als 0 A definiert sein soll) gesetzt werden. Die Pulszentrale verschickt die dafür erforderlichen Vorbereitungs-Events.
- Für alle Betriebsbeschleuniger mit dem Strahlziel **TK** wird die Untersetzung (Zwischenpulstrate) auf 0 gesetzt.
- Vor Ausführung eines Therapiebeschleunigers hat die Pulszentrale zu veranlassen, dass die Sollwerte der gepulsten Geräte aus dem nichtflüchtigen Speicher (Flash) geholt werden. Die Pulszentrale verschickt die dafür erforderlichen Event-Kommandos (ECCs).
- Ausserhalb der für die Therapie benötigten Timing-Abschnitte, also in den Timing-Abschnitten **UL**, **UR**, **UH**, bleiben die zuvor eingestellten Pulszentralen-Einstellungen weiterhin wirksam. Veränderungen können aber während des Therapie-Betriebes nicht vorgenommen werden.

12 Hochstrom

Soweit bisher absehbar, hat der Hochstrombetrieb im Unilac nur in wenigen Punkten Einfluss auf die Funktionalität der Pulszentrale.

- Betriebsbeschleuniger, in denen Hochstrom-Pulse beschleunigt werden, sind besonders als „Hochstrom-Beschleuniger“ zu kennzeichnen, damit Komponenten des Beschleunigers erforderlichenfalls besondere Aktionen für den Hochstromfall durchführen können.
- Die Kennzeichnung als Hochstrombeschleuniger ist über das Eventverteilsystem zu verschicken (Siehe auch Abschnitt 13.7).
- Die Betriebsart „Hochstrom-Beschleuniger“ ist nicht innerhalb eines Betriebsbeschleunigers umtastbar. Das heisst, ein Betriebsbeschleuniger ist, abhängig von der jeweiligen Beschleuniger-Einstellung („Beschleuniger-Init“) entweder bei jeder Ausführung oder bei keiner Ausführung als Hochstrom-Beschleuniger zu kennzeichnen.
- In Betriebsbeschleunigern, in denen Hochstrom-Pulse beschleunigt werden, sind möglicherweise zusätzliche Triggersignale (Events) einzufügen, um erforderlichenfalls Komponenten des Beschleunigers (z. B. die HF-Anlagen) besonders für den Hochstimpuls vorzubereiten.
- Zur Vermeidung von Schäden an den Anlagen kann, zum Beispiel während der Einstellphasen, bei ansonsten unveränderter Pulszentralen-Einstellung (weitgehend unveränderte Event-Folgen, nur die Events zur Strahlpulsformung werden temporär verschoben) der Strahlpuls verkürzt werden. Einzelheiten dazu siehe Abschnitt 13.4.

13 Unilac-Interlocksystem und -Choppersteuerung

13.1 Aufgaben

Das Unilac-Interlocksystem soll zunächst einmal dafür sorgen, dass bei Störungen des Strahltransports (Ausfall von wichtigen Komponenten, aber auch Einfahren von Ventilen usw.) Ionen-Strahlen, die durch diesen Strahlzweig gehen, möglichst nahe an der Ionen-Quelle unterbrochen werden.

Zum Strahlabbruch befinden sich hinter den Ionen-Quellen schnelle Chopper (Quellen-Chopper). Derzeit gibt es einen Quellen-Chopper (*UN-Chopper*) für die Ionen-Quelle im Timing-Abschnitt **UN** (HLI) sowie einen Quellen-Chopper im HSI-Zweig des Unilac (*UH-Chopper*), mit dem sowohl Strahlen aus der Ionen-Quelle im Timing-Abschnitt **UL** als auch Strahlen aus der Ionen-Quelle im

Timing-Abschnitt **UR** unterbrochen werden können. Diese Quellen-Chopper werden vom Unilac-Interlocksystem über die Unilac-Choppersteuerung mit direkten Hardwareverbindungen aktiviert. Da über das Unilac-Interlocksystem direkt, d. h. ohne Einstellungen an die Einzel-Geräte zu schicken, auf alle Quellen-Chopper zugegriffen werden kann, wird das Unilac-Interlocksystem auch genutzt zum Profiltitterschutz.

Für alle Aktionen des Unilac-Interlocksystems gilt:

- Unabhängig davon, wie das Unilac-Interlocksystem gerade auf den Strahl wirkt (ihn etwa völlig wegtastet), läuft die Pulszentrale unverändert im einmal eingestellten Rhythmus weiter (siehe Abschnitt 4.4).

Das führt dazu, dass Betriebsbeschleuniger ablaufen können, in denen das Unilac-Interlocksystem den Strahl ausgetastet oder verkürzt hat. Dieser Zustand hält solange an, bis die Ursache der Strahlbeeinflussung beseitigt ist — die Pulszentrale ändert die einmal eingestellten Abläufe der Betriebsbeschleuniger nicht von sich aus ab.

13.2 Steuerung der Quellen-Chopper

Jeder Quellen-Chopper kann auf zwei verschiedene Weisen auf den Strahl einwirken. Diese beiden Möglichkeiten können vom Unilac-Interlocksystem getrennt ausgelöst werden:

- *Pulsunterdrückung*: Der Strahlpuls wird vollständig unterdrückt.
- *Pulsabbruch*: Der Strahlpuls wird sofort unterbrochen, sobald das Signal zum Abbruch eintrifft.

Beide Möglichkeiten zur Strahlbeeinflussung durch die Quellen-Chopper können durch Anlagen-Interlocks ausgelöst werden, von denen es verschiedene Klassen gibt. Darüberhinaus kann jeder der Quellen-Chopper über einen weiteren Eingang direkt angesprochen werden:

- Pulsunterdrückung und Pulsabbruch können durch Anlagen-Interlocks ausgelöst werden.
- Die Pulsunterdrückung kann über Kommandos an das Unilac-Interlocksystem auch direkt ausgelöst werden.

Um insbesondere die durch Anlagen-Interlocks verursachte Beeinflussung des Strahles erkennen zu können, kann der Zustand jedes der angeschlossenen Quellen-Chopper über das Unilac-Interlocksystem rückgelesen werden:

- Für jeden Quellen-Chopper gibt es zwei Rückmeldesignale:
 - Strahl wurde durch Pulsunterdrückung ganz verhindert.
 - Strahl wurde durch Pulsabbruch unterbrochen.
- Diese Rückmeldesignale sind über das Unilac-Interlocksystem zugänglich und können über dieses rückgelesen werden.
- Die Rückmeldesignale stehen jeweils so aktuell wie möglich zur Verfügung. Das bedeutet: An diesen Signalen kann die Beeinflussung des Strahles durch die Quellen-Chopper für jeden Unilac-Zyklus erkannt werden.
- Da der Pulsabbruch auf einen laufenden Strahlpuls einwirken kann, steht die volle Information erst zur Verfügung, *nachdem* der Strahlpuls vorbei ist – der Pulsabbruch könnte ja ganz kurz vor Ende des Strahlpulses aktiviert worden sein.

13.3 Anlagen-Interlocks

Im Beschleuniger können recht unterschiedliche Typen von Anlagen-Interlocks ausgelöst werden. Es sind dies mehr statische Interlocks wie eingefahrene Ventile und Faraday-Tassen oder ausgefallene Magnetnetzgeräte. Daneben gibt es aber auch recht dynamische Interlocks, die durch eine Online-Transmissionsüberwachung (durch Messung von Strahlströmen durch Strahl-Trafos und Vergleich der Messwerte in der VME-Gerätesoftware oder direkt in schnellen Hardware-Vergleichern) ausgelöst werden.

Für alle Typen von Interlocks werden die Signalquellen abschnittsweise zusammengefasst. Interlocks aus den einzelnen Interlock-Abschnitten sollen auf den Quellen-Chopper wirken, durch den der jeweilige Strahl der aktuell ablaufenden Betriebsbeschleuniger gerade läuft. Die Zuordnung von Interlock-Abschnitten zu Quellen-Chopperelementen geschieht durch das Unilac-Interlocksystem. Diese Zuordnung kann sich, in Teilen, von Betriebsbeschleuniger zu Betriebsbeschleuniger ändern. Daher muss die Pulszentrale die jeweilige Zuordnung dem Unilac-Interlocksystem jeweils aktuell zur Verfügung stellen. Für die Zuordnung gilt:

- Soweit möglich, ist die Zuordnung von Interlock-Abschnitten zu Quellen-Chopperelementen fest. Das betrifft z. B. die Zuordnung der Beschleuniger-Komponenten im HSI-Bereich zum UH-Chopper.
- Für Interlock-Abschnitte, die aus mehreren Quellen beliefert werden können, sowie für Interlock-Abschnitte, die alternativ durchlaufen werden können, muss die Pulszentrale für den aktuellen Unilac-Zyklus an das Unilac-Interlocksystem übermitteln, ob die jeweiligen Interlock-Abschnitte im aktuellen Beschleunigungs-Zyklus von Strahl durchlaufen werden, und aus welcher Quelle sie beliefert werden.
- Diese umtastbare Zuordnung von Interlock-Abschnitten zu Quellen-Chopperelementen betrifft die Interlock-Abschnitte: **AT**, **TK**, **UX**, **UY**, **UZ**, **UN** und **UU**. Dabei kann es auch vorkommen, dass ein Interlock-Abschnitt *keinem* Quellen-Chopper zugeordnet ist (weil er z. B. gerade nicht von Strahl durchlaufen wird).
- Diese umtastbare Zuordnung muss dem Unilac-Interlocksystem bereits zu Beginn eines Beschleunigungs-Zyklus übermittelt werden.
- Neben der umtastbaren Zuordnung gibt es noch eine umschaltbare Zuordnung. Sie gibt an, welche der Interlock-Unterabschnitte **UX_x**, **UY_y** und **UZ_z** in den Interlock-Abschnitten **UX**, **UY** und **UZ** jeweils aktiv ist.
- In jedem der Interlock-Abschnitte **UX**, **UY** und **UZ** kann nur höchstens (genau?) ein Interlock-Unterabschnitt aktiv sein.
- Die Zuordnung von Interlock-Unterabschnitten zu Interlock-Abschnitten ändert sich nur, wenn ein anderer Experimentierplatz angewählt wird. Diese Zuordnung ist daher nicht in jedem Beschleunigungs-Zyklus an das Unilac-Interlocksystem zu übermitteln, sondern nur bei Änderungen.

13.4 Reduktion der Strahlpulsleistung

Es soll eine Möglichkeit zur gewollten Pulsverkürzung geben, um dadurch die Pulsleistung bei konstantem Pulsstrom zu reduzieren. Auf diese Weise kann bei sehr intensiven Ionenstrahlen die Leistung des Strahlpulses z. B. in der Einstellphase soweit reduziert werden, dass keine Schäden durch auftreffenden Strahl an den Beschleunigerkomponenten hervorgerufen werden.

- Die Reduktion der Strahlpulsleistung kann für jeden Betriebsbeschleuniger getrennt eingeschaltet werden.

- Bei eingeschalteter Reduktion der Strahlpulsleistung wird bei jeder Ausführung des Betriebsbeschleunigers die Strahlpulslänge verkürzt.
- Die Verkürzung der Pulslänge geschieht, indem die zeitliche Lage der Events zur Steuerung der Quellen-Chopper temporär (nur während eingeschalteter Pulsverkürzung) verändert wird.

13.5 Betriebsbeschleuniger ohne Strahl

über die Quellen-Chopper ist es möglich, in einem Betriebsbeschleuniger den Strahl abubrechen, ohne die Eventfolge abzuändern. Diese Möglichkeit soll dem Operating zur Verfügung gestellt werden:

- Jeder Betriebsbeschleuniger kann in zwei Zuständen ablaufen: Mit und ohne Strahl.
- Im Zustand „mit Strahl“ wird der Betriebsbeschleuniger so ausgeführt, wie man sich das vorstellt: Es werden tatsächlich Ionen beschleunigt.
- Im Zustand „ohne Strahl“ („strahlblocked“) wird bei jeder Ausführung des Betriebsbeschleunigers der jeweilige Quellen-Chopper aktiviert. Dadurch wird der Ionen-Strahl immer im Quellen-Chopper abgebrochen.
- In den beiden Zuständen „mit Strahl“ und „ohne Strahl“ werden identische Eventfolgen verschickt.
- Von der Operating-Ebene kann zwischen beiden Zuständen umgeschaltet werden.

13.6 Profilhitterschutz

Zum Schutz der Profilhitters gegen Zerstörung durch den Strahl soll bei eingefahrenem Profilhitter die *mittlere* Leistung des Strahles reduziert werden. Dazu soll die *Pulslänge* verkürzt und die *Pulsrate* untersetzt werden.

Um Fehlbedienungen zu vermeiden, sollte der Profilhitterschutz automatisch aktiviert werden, sobald Profilhitter in den Strahlweg eingefahren werden. Bisher ist vorgesehen, die Pressluftantriebe der Profilhitters zu blockieren und diese Blockierung über Taster an der Unilac-Konsole im HKR zu steuern. Der Zustand der Taster kann von der Pulszentrale ausgewertet und zur automatischen Aktivierung des Profilhitterschutzes verwendet werden (siehe auch Abbildung 23.2.2 auf Seite 67).

- Sobald für einen Profilhitter-Abschnitt die Pressluftantriebe freigetastet werden, untersetzt die Pulszentrale über die Choppersteuerung alle Betriebsbeschleuniger, die durch diesen Bereich gehen und verkürzt die *Pulslänge* auf $500\mu s$.
- Die Untersetzungsrate wird so gewählt, dass die jeweiligen Betriebsbeschleuniger höchstens in jedem 20-ten Unilac-Zyklus mit Strahl ausgeführt werden.
- Sobald für keinen der Profilhitter-Abschnitte eines Betriebsbeschleunigers noch eine Meldung vorliegt, dass in einem Bereich eine Schutzaste gedrückt ist, wird der Betriebsbeschleuniger automatisch wieder mit der ursprünglichen *Pulslänge* und Untersetzung ausgeführt.
- Die Austastung des Strahls (völlige Unterdrückung bzw. Untersetzung eines Betriebsbeschleunigers) erfolgt, indem die Pulszentrale über die Choppersteuerung die Pulsunterdrückung für den jeweils zugeordneten Quellen-Chopper aktiviert.

13.7 Kennzeichnung des Anlagenzustandes

Das Unilac-Interlocksystem kann, wie beschrieben, den Strahl beeinflussen, ohne dass die Event-Folgen der Pulszentrale abgeändert werden.

Demzufolge arbeiten alle Geräte weiter wie zuvor. Das kann zumindest zu Irritationen führen, denn Strahldiagnosekomponenten z. B. können dann keine vernünftigen Anzeigen mehr liefern, weil kein Strahl mehr in der Maschine ist, der gemessen werden kann.

Daher erscheint eine Meldung an alle Komponenten sinnvoll, dass beabsichtigt (weil vom Interlock-System weggeschaltet) kein Strahl mehr beschleunigt wird.

Dazu ist vorzusehen:

- Die Pulszentrale muss vom Unilac-Interlocksystem in jedem Beschleunigungs-Zyklus rücklesen, ob die Quellen-Chopper aktiviert wurden.
- Rückgelesen werden die zwei Informationen (siehe Abschnitt 13.2)
 - Strahl wurde durch Pulsunterdrückung ganz verhindert.
 - Strahl wurde durch vom Interlocksystem ausgelöste Pulsverkürzung verkürzt.
- Diese je zwei Informationen (und damit der Zustand jedes Quellen-Choppers) sind von der Pulszentrale über den Event-Bus jeweils in demjenigen Betriebsbeschleuniger zu verteilen, der mit Strahl durch den zugeordneten Quellen-Chopper versorgt wird.
- Diese zwei Informationen werden erst *nach* Ende des Strahlpulses gelesen und verteilt, da sie erst zu diesem Zeitpunkt vollständig vorliegen.
- Eventuell ist die Information über den Zustand der Quellen Chopper zu kombinieren mit der Kennzeichnung des Betriebsbeschleunigers als „Hochstrom-Beschleuniger“ (siehe Abschnitt 12).

14 Zyklusmarkierung (Einzelschuss-Messwertaufnahme)

Für einige Anwendungen ist es wichtig, Daten verschiedener Geräte zu korrelieren, die in *demselden* Beschleunigungs-Zyklus aufgenommen wurden. Da die Geräte unabhängig voneinander angesteuert werden und auf Kontrollsystemebenen oberhalb der SE-Ebene ($G\mu P$, Operatingrechner) keine strenge Echtzeitkopplung möglich ist, wird eine Markierung einzelner Unilac-Zyklen vorgesehen. Dazu verschickt die Pulszentrale in einzelnen Unilac-Zyklen eines (von mehreren möglichen) Markierungs-Events. Wird eines dieser Markierungs-Events empfangen, kann die Software der einzelnen Geräte den im laufenden Zyklus aufgenommenen Messwert in einem besonderen Puffer ablegen. Dort bleiben die Messwerte so lange erhalten, bis erneut ein Markierungs-Event empfangen wurde. Wenn immer erst dann ein weiteres Markierungs-Event verschickt wird, wenn alle gewünschten Messwerte ausgelesen sind, erhält man für beliebige Geräte konsistente Messwerte aus *demselden* Zyklus.

- Die Pulszentrale kann in einzelnen Unilac-Zyklen verschiedene (vorgesehen: 4 verschiedene) Markierungs-Events verschicken.
- In jedem Unilac-Zyklus kann *höchstens* ein Markierungs-Event verschickt werden.
- Die Markierungs-Events sind „normale“ Events, in deren Pattern die Nummer des jeweiligen Betriebsbeschleunigers enthalten ist.
- Das Verschicken der Markierungs-Events in den einzelnen Betriebsbeschleunigern kann von der Operating-Ebene ausgelöst werden.

Nach dem Empfang des jeweiligen Auftrages wird das Markierungs-Event *einmalig* in dem Betriebsbeschleuniger verschickt, für den es aufgesetzt werden soll. Jedes Verschicken erfordert also einen erneuten Auftrag.

- Zusätzlich wird vorgesehen, das Verschicken von Markierungs-Events auch über den Anfordermechanismus für die Betriebsbeschleuniger auszulösen, die für den Timing-Abschnitt **TK** angefordert werden.

Der Sinn liegt darin, Messwerte pulszentralenübergreifend (also gleichzeitig im Unilac und im SIS) korreliert aufzunehmen. Das ist zum Beispiel wichtig für die Messung der Transmission zwischen zwei Beschleunigeranlagen.

- Das Verschicken eines Markierungs-Events ist bei der Anforderung der Ausführung des Betriebsbeschleunigers (siehe Abschnitt 7.1) zu signalisieren. Das angeforderte Markierungs-Event wird dann bei der Ausführung des angeforderten Betriebsbeschleunigers verschickt.
- Mit jeder Anforderung der Ausführung des Betriebsbeschleunigers kann nur jeweils *ein* Markierungs-Event angefordert werden.
- Um zu verhindern, dass Messwerte überschrieben werden, weil die bei dem letzten Verschicken desselben Markierungs-Events aufgenommenen Messwerte noch nicht ausgelesen sind, kann während jeder Anforderung der Vorbereitung eines Betriebsbeschleunigers (siehe Abschnitt 7.1) jedes der Markierungs-Events nur einmal verschickt werden.

Wird während einer Anforderung der Vorbereitung das Verschicken eines Markierungs-Events mehrfach angefordert, so wird das Markierungs-Event nur beim ersten mal verschickt. Alle weiteren Anforderungen der Verschickung des Markierungs-Events werden bis zur nächsten Anforderung der Vorbereitung ignoriert.

- Markierungs-Events, die über die Anforderungsleitung im Timing-Abschnitt **TK** ausgelöst werden, haben Vorrang. Sie werden verschickt, sobald sie angefordert werden.
- Markierungs-Events, die durch einen Auftrag von der Operating-Ebene ausgelöst werden, werden im jeweils nächsten Betriebsbeschleuniger verschickt, für den sie aufgesetzt sind, und für den:
 1. Kein Markierungs-Event über die Anforderungsleitung im Timing-Abschnitt **TK** ausgelöst ist,
 2. kein Markierungs-Event aus einem älteren Auftrag von der Operating-Ebene zu verschicken ist.

Die Markierungs-Events werden also in der Reihenfolge verschickt (eines pro Betriebsbeschleuniger), in der die Aufträge dafür eintreffen.

15 Sonstiges

15.1 Experiment-Synchronisierungspulse (Targetrad-Synchronisation)

Einige Experimentaufbauten (z. B. Targetträger) erfordern eine Synchronisierung mit der Netzfrequenz (50 Hz), die phasenstarr an den Strahlpuls gekoppelt ist. Dazu wird ein Triggersignal benötigt, das in jedem 20 ms Takt zum Zeitpunkt des Strahlpulsbeginns des entsprechenden Betriebsbeschleunigers generiert wird. Die Nummer des Betriebsbeschleunigers soll einstellbar sein. Siehe hierzu Abbildung 20 auf Seite 56.

15.2 Betriebsstatistik

Es ist zu erfassen, wie lange die jeweils im Unilac eingestellten Strahlen wirklich produziert wurden.

- Nach den bei der Erstellung dieser Notiz in der jeweils aktuellen Fassung vorliegenden Informationen über die gewünschten Möglichkeiten der Aufnahme einer Betriebsstatistik gilt:
 - Die Erfassung der Daten für die Betriebsstatistik muss im wesentlichen auf der Operating-Ebene realisiert werden.
 - Die Pulszentrale in der in dieser Notiz beschriebenen Funktionalität stellt dafür alle erforderlichen Informationen zur Verfügung.

16 Optionen

Die folgenden Bemerkungen werden zunächst *nicht* realisiert. Spätere Erweiterungen wie unten beschrieben sind jedoch möglich.

16.1 Sparmechanismen

Jegliche Vorkehrungen zur Reduzierung der verbrauchten Leistung müssen derzeit im Auge behalten, die mittlere Temperatur der HF-Strukturen unverändert zu lassen. Daher können Mechanismen, die darauf beruhen, einzelne Betriebsbeschleuniger *nicht* auszuführen, erst verwirklicht werden, wenn die Stabilität des Beschleunigers bei Temperaturänderungen gewährleistet ist.

Die Pulszentrale arbeitet autonom, unbeeinflusst davon, ob die Geräte zur Verfügung stehen oder nicht. Um Strom zu sparen und um nicht unnütz kostbare Strahlzeit des Beschleunigers mit Zyklen zu belegen, in denen doch kein Strahl produziert werden kann, können die einzelnen Quellen-Abschnitte als ganzes ab- und wieder angeschaltet werden.

- Jeder Quellen-Abschnitt getrennt kann entweder *enabled* oder *disabled* gesetzt werden.
- Der Zustand *enabled* entspricht dem bisher beschriebenen Betrieb.
- Im Zustand *disabled* gilt: Alle Betriebsbeschleuniger, die diesen Quellen-Abschnitt zugeordnet haben, sind stets *nicht* ausführbereit. Sie werden deshalb nie ausgeführt.
- Betriebsbeschleuniger mit einem Quellen-Abschnitt, der *disabled* ist, verbrauchen daher weder Strom noch verhindern sie die Ausführung von Betriebsbeschleunigern aus anderen Quellen-Abschnitten (siehe Abschnitt 6.4).
- Die Mechanismen für Mindeststraten bei Quellen- und HF-Abschnitten sind nicht berührt, wenn ein Quellen-Abschnitt auf *disabled* gesetzt ist.

Gedacht ist, die Quellen-Abschnitte während der Quellenwechsel auf *disabled* zu setzen.

Es ist ferner möglich, die Gesamtanlage abstellen zu können:

- Entsprechend der Abschaltung einzelner Quellen-Abschnitte gibt es die Möglichkeit, die Ausführung *aller* Betriebsbeschleuniger zu disablen.
- Auch durch das disablen aller Betriebsbeschleuniger werden die Mechanismen für Mindeststraten nicht berührt.

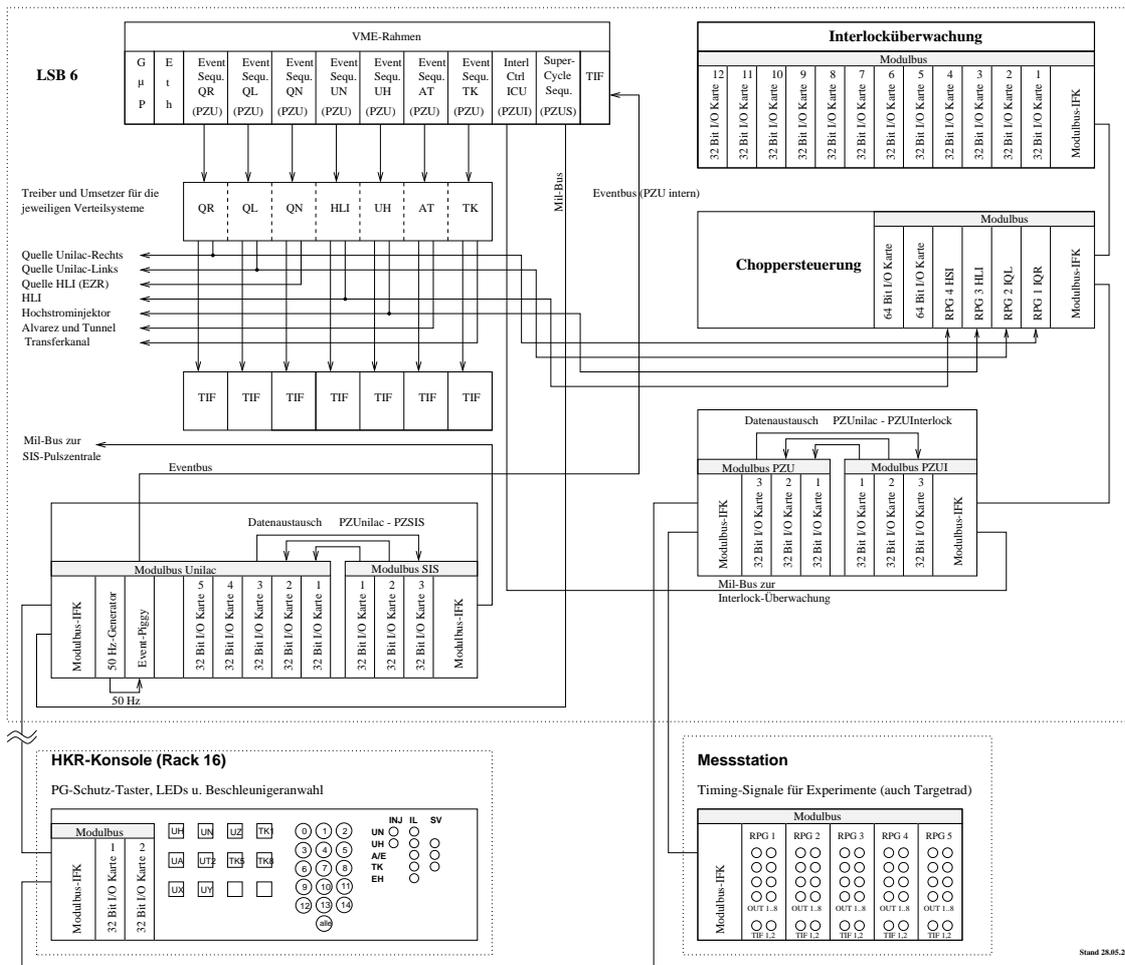


Abbildung 2: Hardwareübersicht Schnittstellen der Unilac-Pulszentrale

19.1 Der 50 Hz-Generator

Der *50 Hz-Generator* (FX 202.021) liefert in Zusammenarbeit mit der *Trigger 50Hz-Trafo-Karte* (FG 202.031) im ersten Nulldurchgang des Netz-Sinus ein *Master-Sync*-Signal. Der Abstand zum Nulldurchgang ist bis zu 1 ms und die Pulsbreite im Bereich $10 \mu s \dots 1 ms$ einstellbar. Der minimale Abstand zwischen 2 Trigger-Signalen beträgt 19.8 ms (siehe hierzu Abb. 23.1.3 auf Seite 60).

Der *50 Hz-Generator* sorgt hardwaremäßig dafür, daß die Pulszentralen immer mindestens 19.8 ms zur Ausführung eines Zyklus zur Verfügung haben. Trigger-Signale die zu früh kommen ($< 19.8 ms$) werden unterdrückt und ein ganzer Zyklus fällt aus. Solch extreme Netzschwankungen kommen nur sehr selten vor und werden (hardwaremäßig) in einem 8-Bit breiten Zähler mitgezählt. Der gespeicherte Zählerstand wird über LEDs angezeigt.

Genau 10 ms nach dem *Master-Sync* erzeugt der *50-Hz-Generator* ein *Slave-Sync*-Signal, welches zur Zeit nicht verwendet wird. An einem weiteren Ausgang werden *Master-Sync*- und *Slave-Sync*-Signal gemeinsam als *100 Hz-Sync*-Signal geliefert (derzeit ebenfalls ohne Bedeutung).

Abbildung 19.1 auf Seite 44 zeigt schematisch die Signale des 50 Hz-Generators.

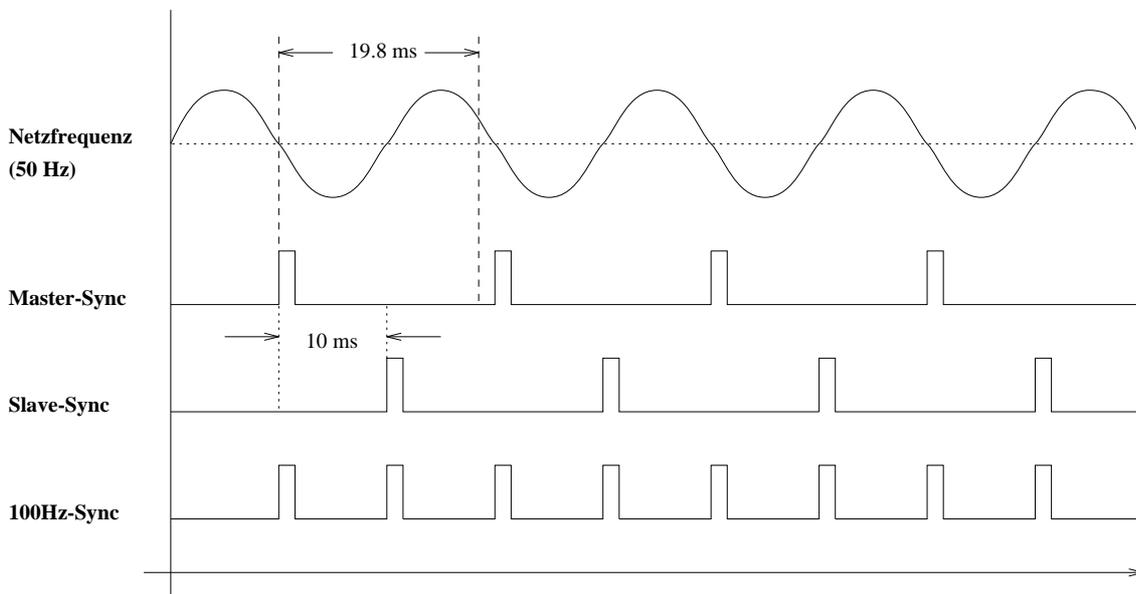
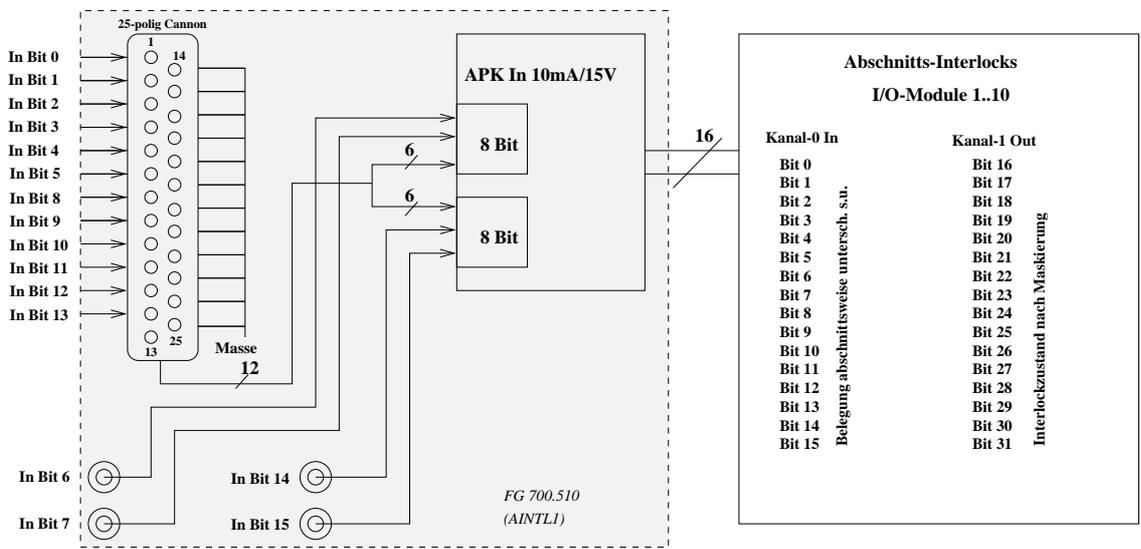
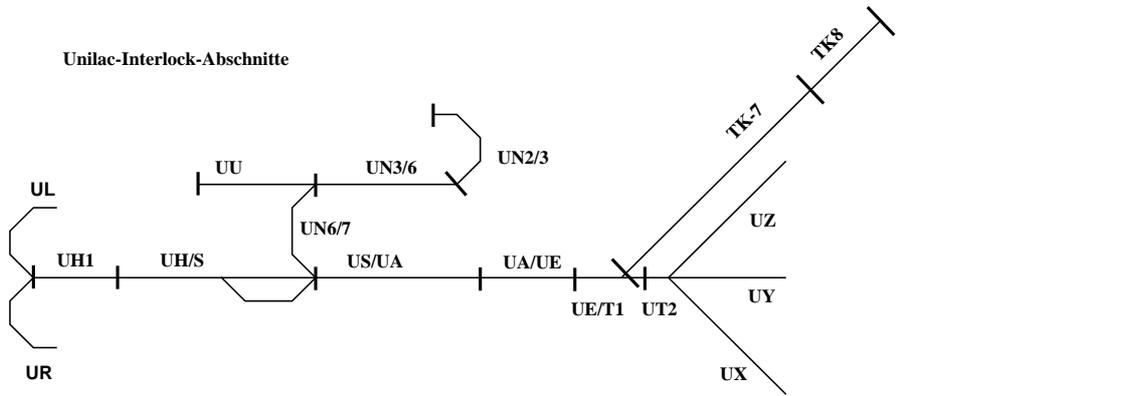


Abbildung 3: Signale des 50 Hz-Generators



	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	UR	UH1	UN2/3	UN3/6	US/UA	UE/UT1	UX	UZ	TK-7	
In Bit 1	UR_VV	UH1VV	UN2VV	UN3VV	USAVV	UATQ	UX_VV	UZ_VV	TK_VV	
In Bit 2	UR_MQ	UH1MQ	UN2MQ	UN3Q	US4MK	UE_QS	UX_MU	UZ_MU	TK_MU	
In Bit 3	UR_MS	UH1MS	UN2EZR	UN5K	US_Q	UATMS	UX_QD	UZ_QD	TK_Q	
In Bit 4			UN3K	UN3B	USAMS	UE1BE	UX_MS	UZ_MS	TK_MS	
In Bit 5					UA_BA					
In Bit 6		UH2BCIL	UN3BCIL		UA_BB	UT1DFIL			TK3UF1	
In Bit 7					US4DE7	UA4DE5			TK4BB	
In Bit 8										
	UL	UH/S	UU	UN6/7	UA/UE	UT2	UY		TK8	
In Bit 9	UL_VV	UH_VV	UN6VV2	UN6VV	UAEVV	UT2VV	UY_VV		TK8VV	
In Bit 10	UL_MQ	US_MK	UU_MQ	UN6MU	UA_Q1	UT2M			TK8Q	
In Bit 11		UH_QT		UN6Q	UA_Q2		UY_MQ		TK8MS	
In Bit 12	UL_MS	UH_MS		UN6BB	UA_Q3		UY_MS			
In Bit 13		UH_B			UA_Q4					
In Bit 14					UA_Q5					
In Bit 15									TK8VV1S	
In Bit 16										

Stand 28.05.2003

Abbildung 4: Anschluß der Unilac-Interlock-Abschnitte

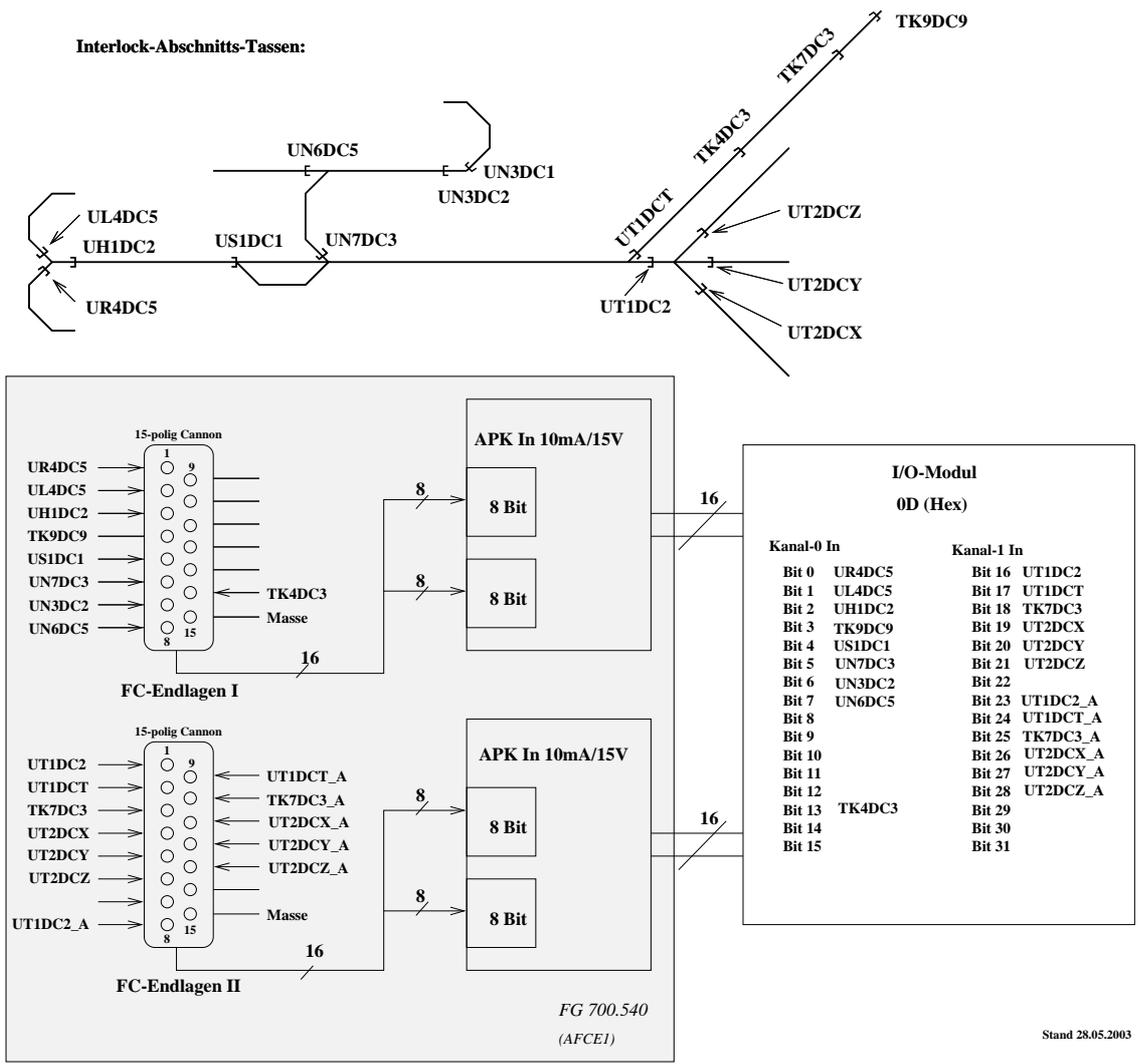
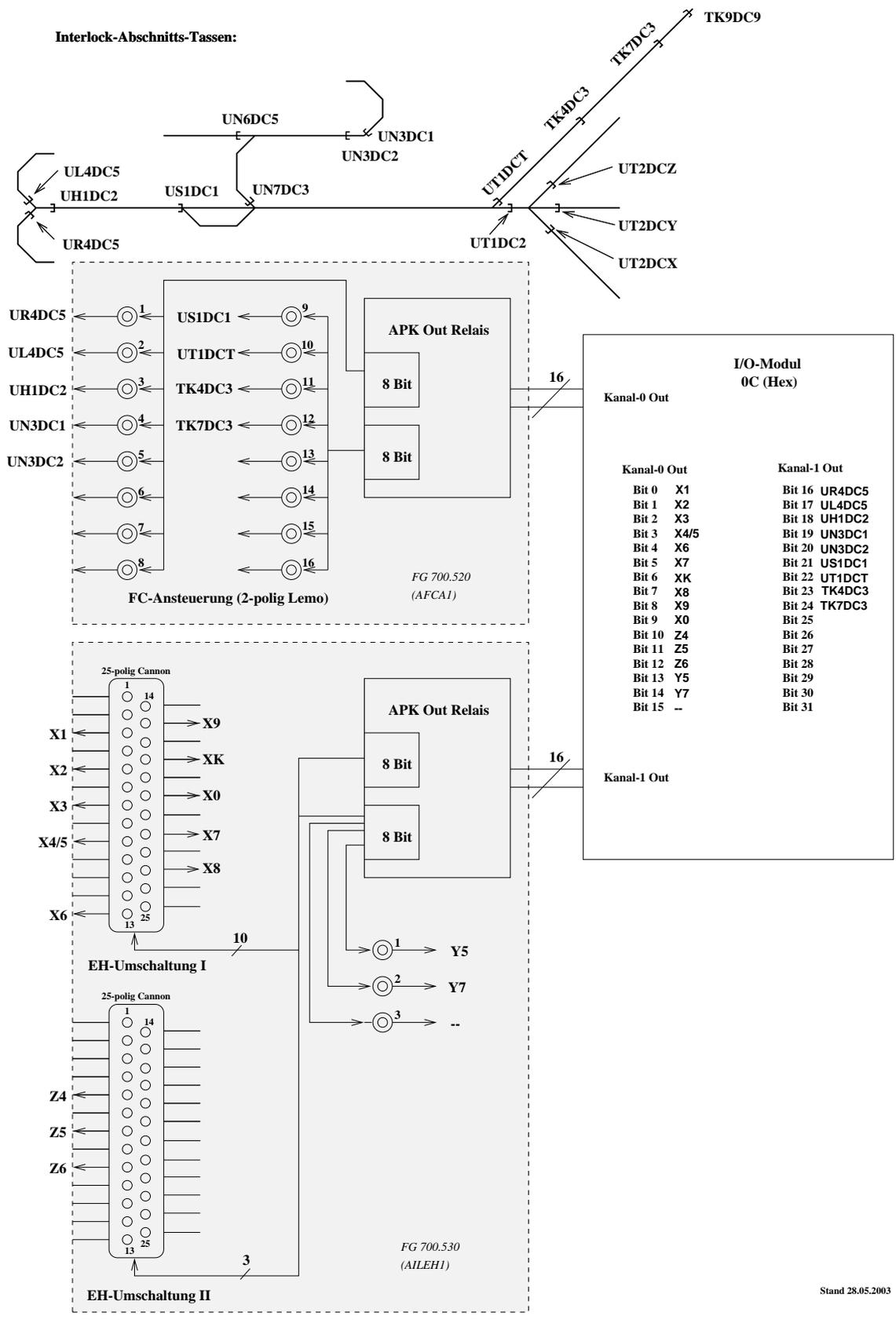


Abbildung 5: Anschluß der Interlock-Abschnitts-Tassen



Stand 28.05.2003

Abbildung 6: Anschluß der Abschnitts-Tassen-Steuerung und der Experimentierplatz-Umschaltung

19.3.3 Die Schnittstelle zur Choppersteuerung

Im Logikmodul (64-Bit-I/O) der Choppersteuerung werden die Gatesignale für die Chopper und Strahlüberwachung generiert. Dazu werden die – über Gatepulsgeneratoren (GPGEN) – bereitgestellten Gatesignale anhand der vorhandenen Strahlweginformationen (interne Register, die von der Pulszentrale über die Interlocksteuerung versorgt werden) ausgewertet und unter Berücksichtigung der Rückmeldungen aus dem Prozeß (Strahlverlustüberwachung, ...) auf die Ausgangsleitungen gegeben.

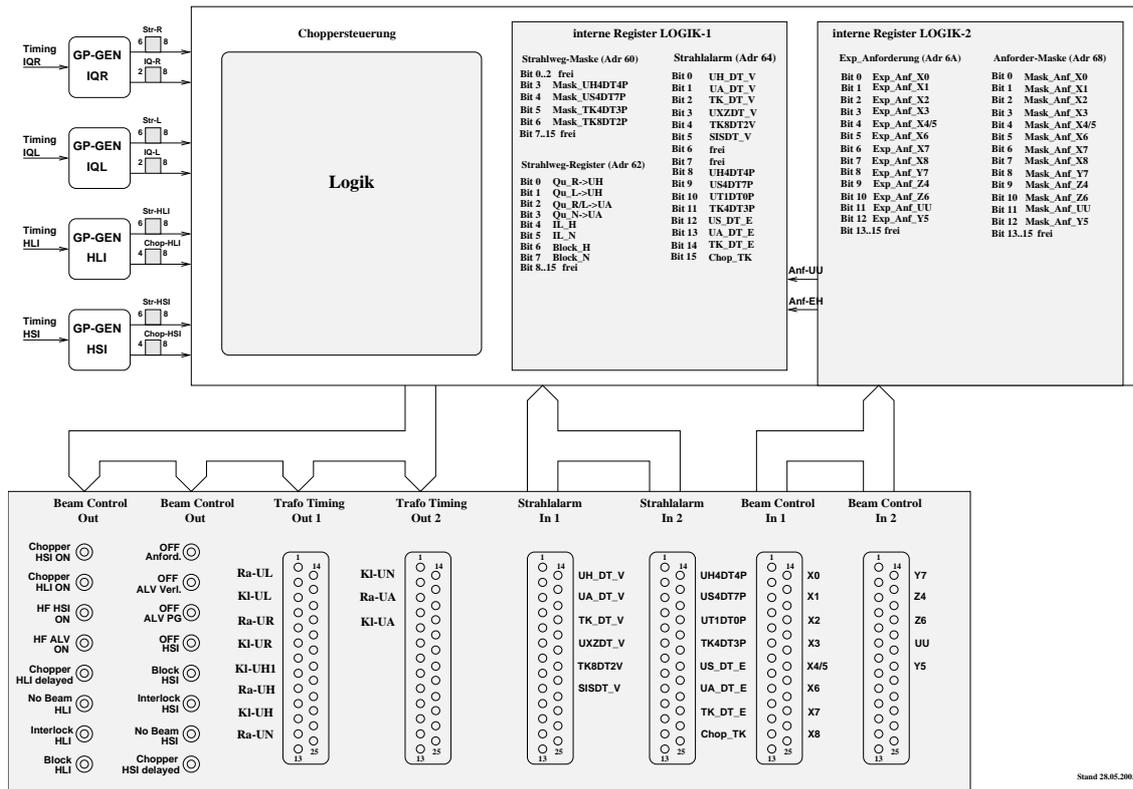


Abbildung 7: Anschluß der Choppersteuerung

20 Rahmenpulsgeneratoren in der Messstation

Abbildung 20 auf Seite 56 zeigt schematisch die Signale der Rahmenpulsgeneratoren in der Messstation, die den Experimenten als Trigger zur Verfügung stehen.

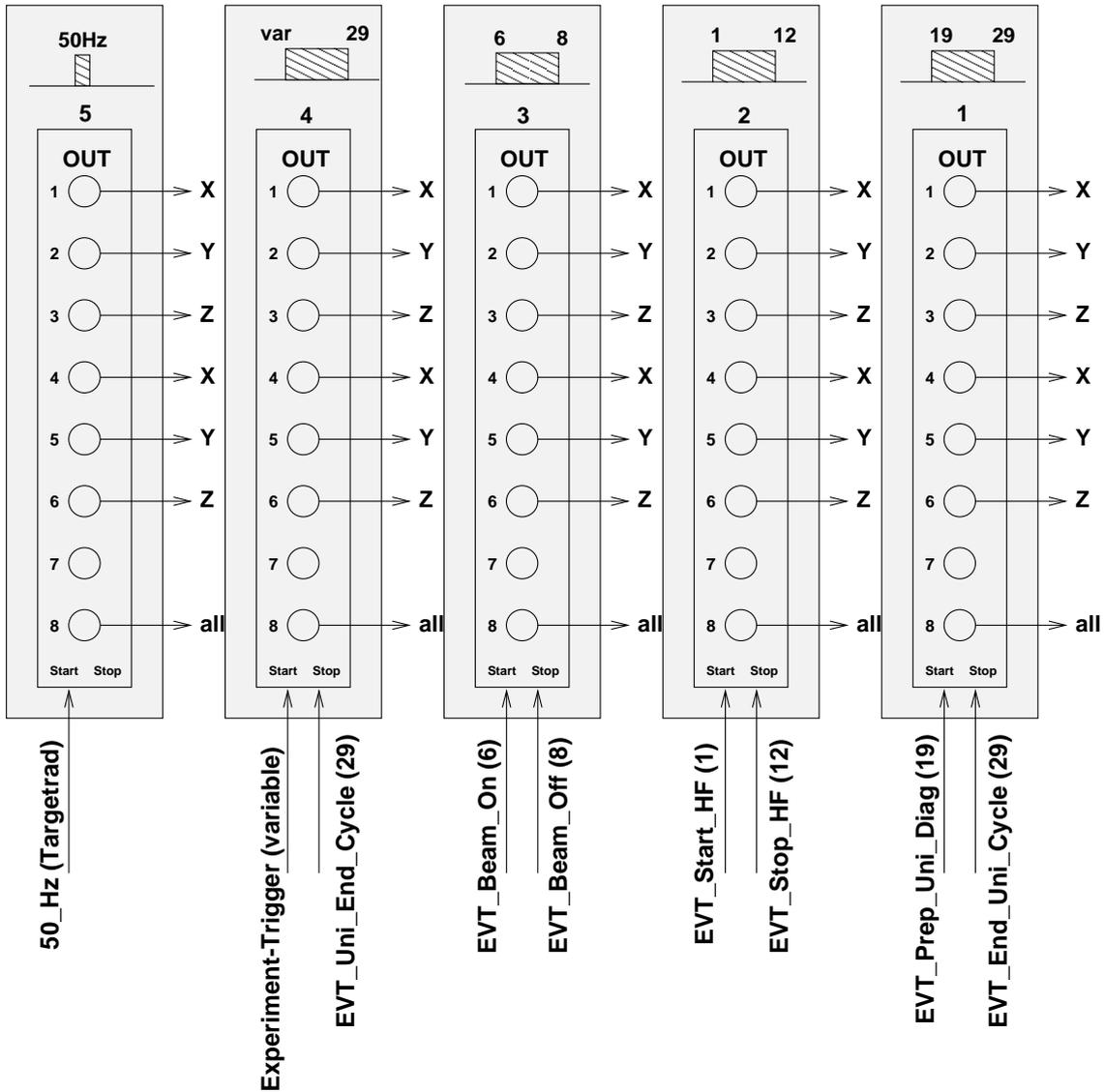


Abbildung 8: Signale der Rahmenpulsgeneratoren in der Messstation

23 Die Software der Unilac-Pulszentrale

23.1 Berechnung der Eventfolgen und Eventabstände

23.1.1 Abhängigkeiten

Bei der Einstellung der Beschleunigerparameter oder der Quellenparameter können verschiedene Konflikte auftreten. z. B.:

- Das Beschleunigertiming (Strahlpulslänge und Strahlpulsvorlauf) ist mit dem Quellentiming (Quellenpulslänge) nicht vereinbar.
- Der Beschleuniger wird *anforderbar* (siehe Property ACCMODE) gesetzt, aber das eingestellte Strahlziel kann nicht anfordern (weil es z. B. ein *Zwischenziel* ist).

Die Pulszentrale sorgt selbständig dafür, daß ein Beschleuniger nur dann ausgeführt wird, wenn keine Konflikte bei den Einstellungen bestehen. Dazu verwaltet die Pulszentrale einen *Ausführbarkeits-Status*, in dem für jeden möglichen Konflikt ein Bit vorgesehen ist:

Bit	Bezeichnung	Bedeutung
0	executable	Beschleuniger ist ausführbar (Summenmeldung: nur 1 wenn alle anderen Bits auch 1 sind)
1	IQTiming_ok	Quellentiming ist ok
2	RequMode_ok	Request-Mode richtig eingestellt
3	IQNr_ok	Strahlwegkey enthält gültige Quelle
4	Target_ok	Strahlwegkey enthält gültiges Strahlziel
5	Key_ok	Strahlwegkey ist ok
6	TKSequ_ok	Wiederholrate für TK-Puls ist ok
7	TKLength_ok	Strahlpulslänge für TK-Puls ist ok
8	HWConfig_ok	alle nötigen Zyklus-Pulszentralen sind <i>online</i>
9	EventSend_ok	kein Fehler bei Event-übertragung an Zyklus-Pulszentralen
10	Target_MUX_ok	Experimentierplatz-Anwahl ist ok
11	—	nicht belegt
12...15	sw_block_ok	Beschleunigerblockierung per Software
16	—	nicht belegt
⋮		⋮
31	—	nicht belegt

Nur wenn *kein* Konflikt vorliegt (also alle Bits 1 sind), ist der Beschleuniger ausführbar.

23.1.2 Superzyklus-/Zyklus-Pulszentralen

Da das Gerät *Unilac-Pulszentrale* aus einem ganzen VME-Rahmen besteht (siehe Abschnitt 17 auf Seite 39) muß bei der Berechnung der Eventfolgen und Eventabstände dafür gesorgt werden, daß alle beteiligten Teilkomponenten (8 Zyklus-Pulszentralen und die Superzyklus-Pulszentrale) zu jedem Zeitpunkt mit konsistenten Datensätzen arbeiten. Wird z. B. die *Pulslänge* eines virtuellen Beschleunigers geändert und damit auch die Eventabstände neu berechnet, so ist dafür Sorge zu tragen, daß die neu berechneten Eventfolgen in allen SEs *gleichzeitig* (also synchronisiert) gültig werden. Mit den im Kontrollsystem üblichen *Wechselpuffer*-Mechanismen allein kann diese Forderung nicht erfüllt werden. In den USRs der *Unilac=Pulszentrale* wird deshalb folgender Mechanismus zur Datensynchronisierung angewendet:

1. Berechnung der Eventfolgen und Eventabstände (in den USRs am G μ P).

2. Übertragung der Daten per `Write.Command` zu allen Zyklus-Pulszentralen (die Zyklus-Pulszentralen übernehmen die Daten in den Wechselpuffer ohne diesen zu aktivieren).
3. Synchrone Übernahme der neuen Daten in allen Zyklus-Pulszentralen per *Synch-Event* (32), welches über die Superzyklus-Pulszentrale versendet wird (die Zyklus-Pulszentralen schalten dabei einfach den Wechselpuffer um).

23.1.3 Grundlage aller Berechnungen (50 Hz)

Bei der Berechnung der Eventfolgen und Eventabstände wird davon ausgegangen, daß im 50 Hz-Takt pro Zyklus 20 ms zur Verfügung stehen. Da die Netzfrequenz aber nicht konstant ist, können nur maximal 19.8 ms tatsächlich genutzt werden. Abb. 23.1.3 auf Seite 60 zeigt die minimalen (19.878 ms) und maximalen (20.070 ms) Abstände zwischen zwei *50 Hz-Triggern*, die während 24 Stunden am Ausgang des 50 Hz-Generators gemessen wurden. Siehe hierzu auch Abschnitt 19.1 auf Seite 44.

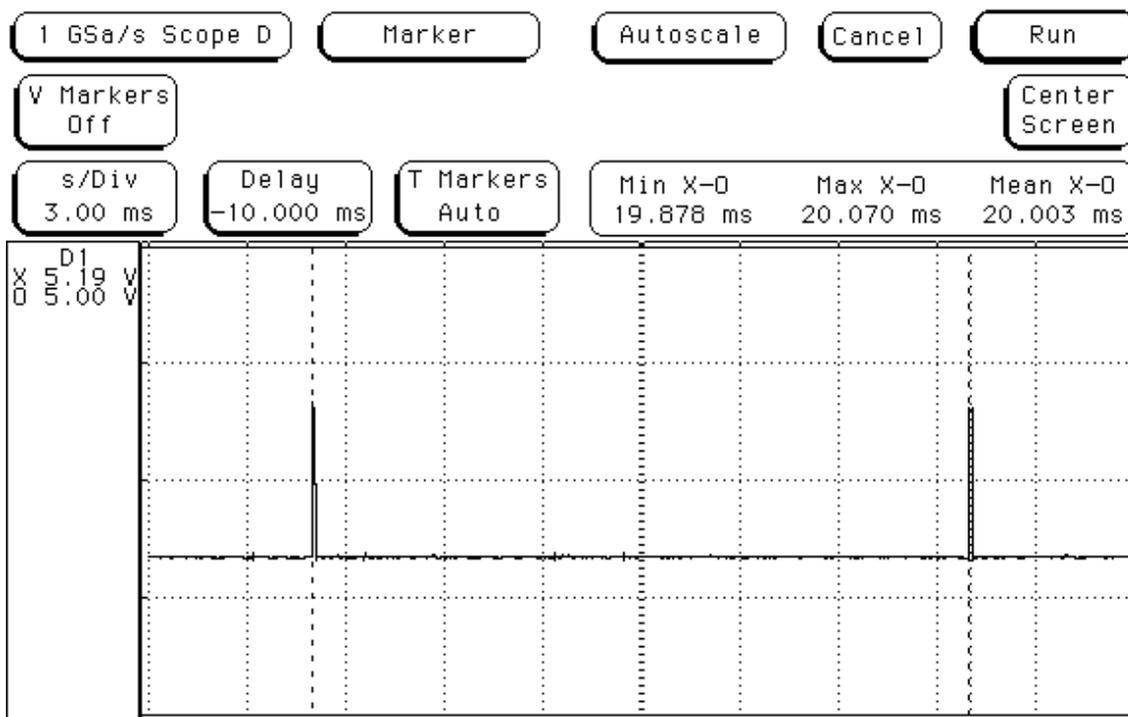


Abbildung 9: Reguläre Schwankungsbreite zwischen zwei 50 Hz-Triggern

23.1.4 Berechnung des Timings (Quellen und Beschleuniger)

Die verschiedenen Quellen-Typen stellen an das Timing unterschiedliche Anforderungen mit unterschiedlichen Grenzwerten. Abbildung 23.1.4 auf Seite 61 soll die Unterschiede verdeutlichen.

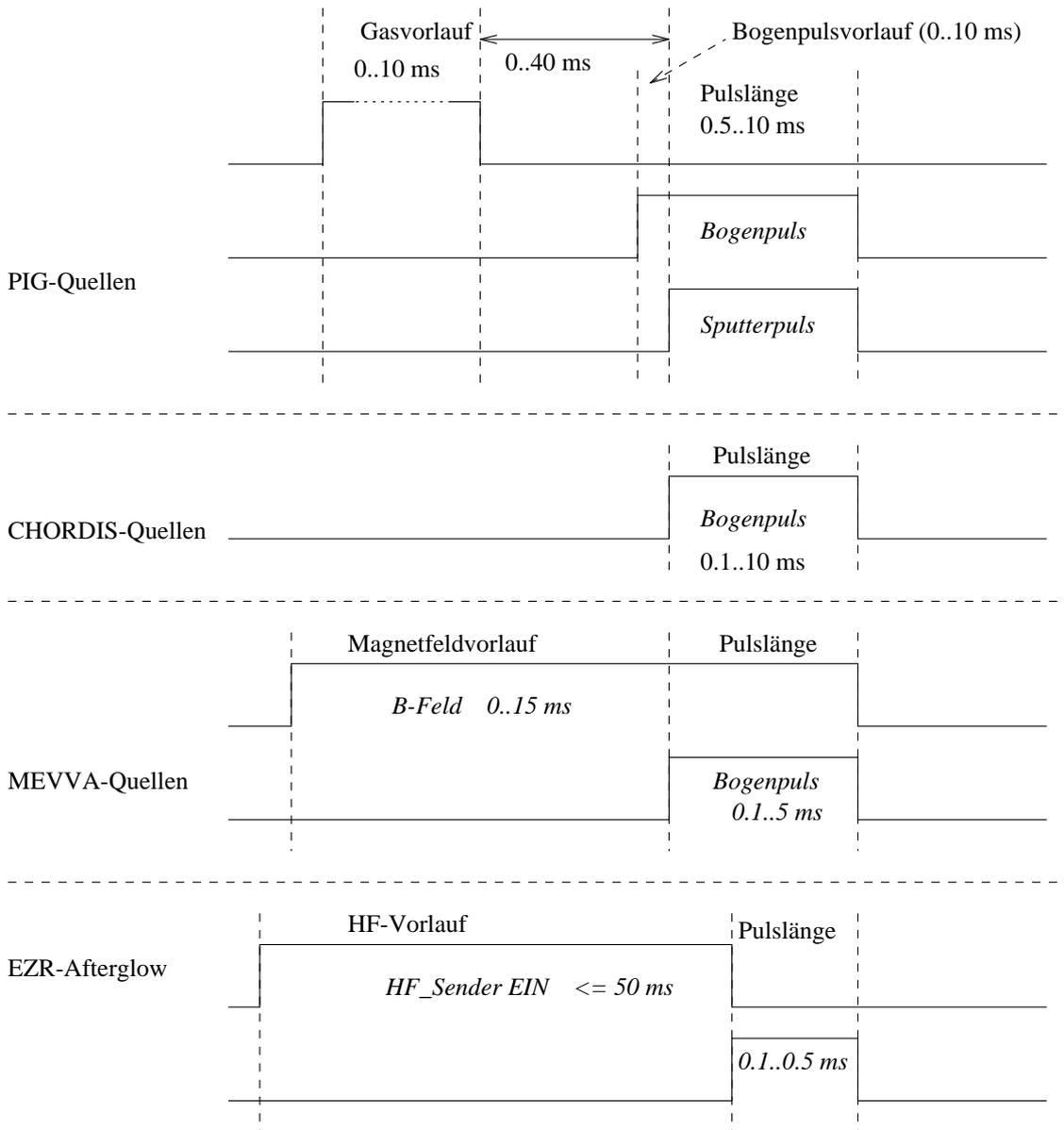
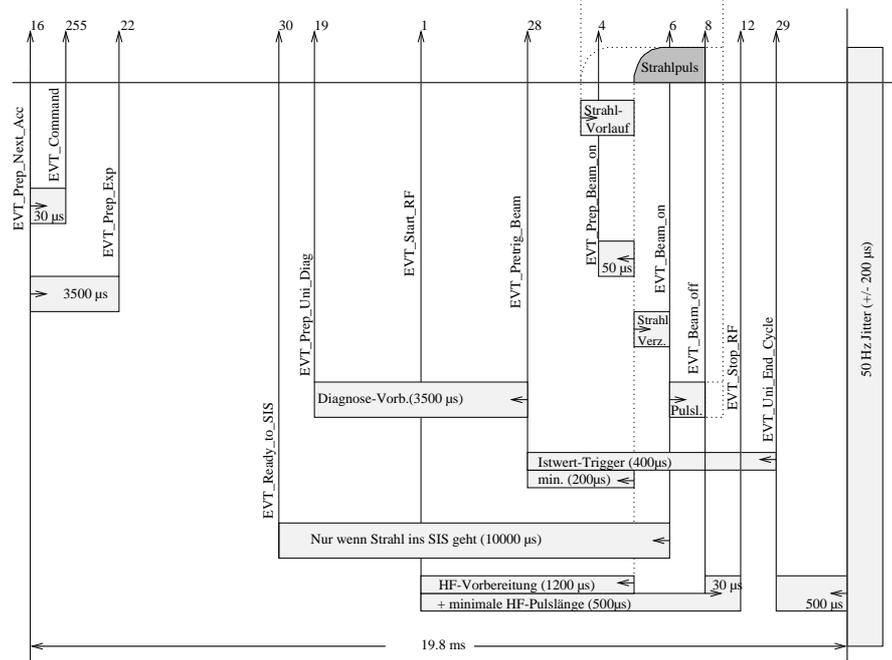
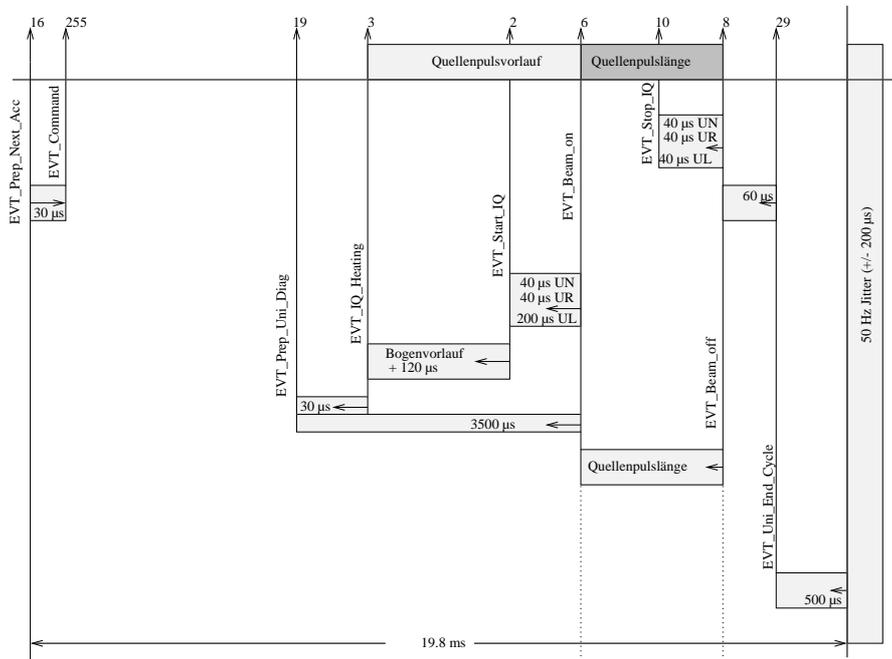


Abbildung 10: Übersicht zu den Timinganforderungen der verschiedenen Quellentypen



Stand: 27-Jul-2001

Abbildung 11: Abhängigkeiten bei der Eventberechnung

Abbildung 23.1.4 auf Seite 65 zeigt für eine beispielhafte Einstellung, welche Eventabstände im Timing einer Penning-Quelle und im Timing **AT** tatsächlich berechnet werden.

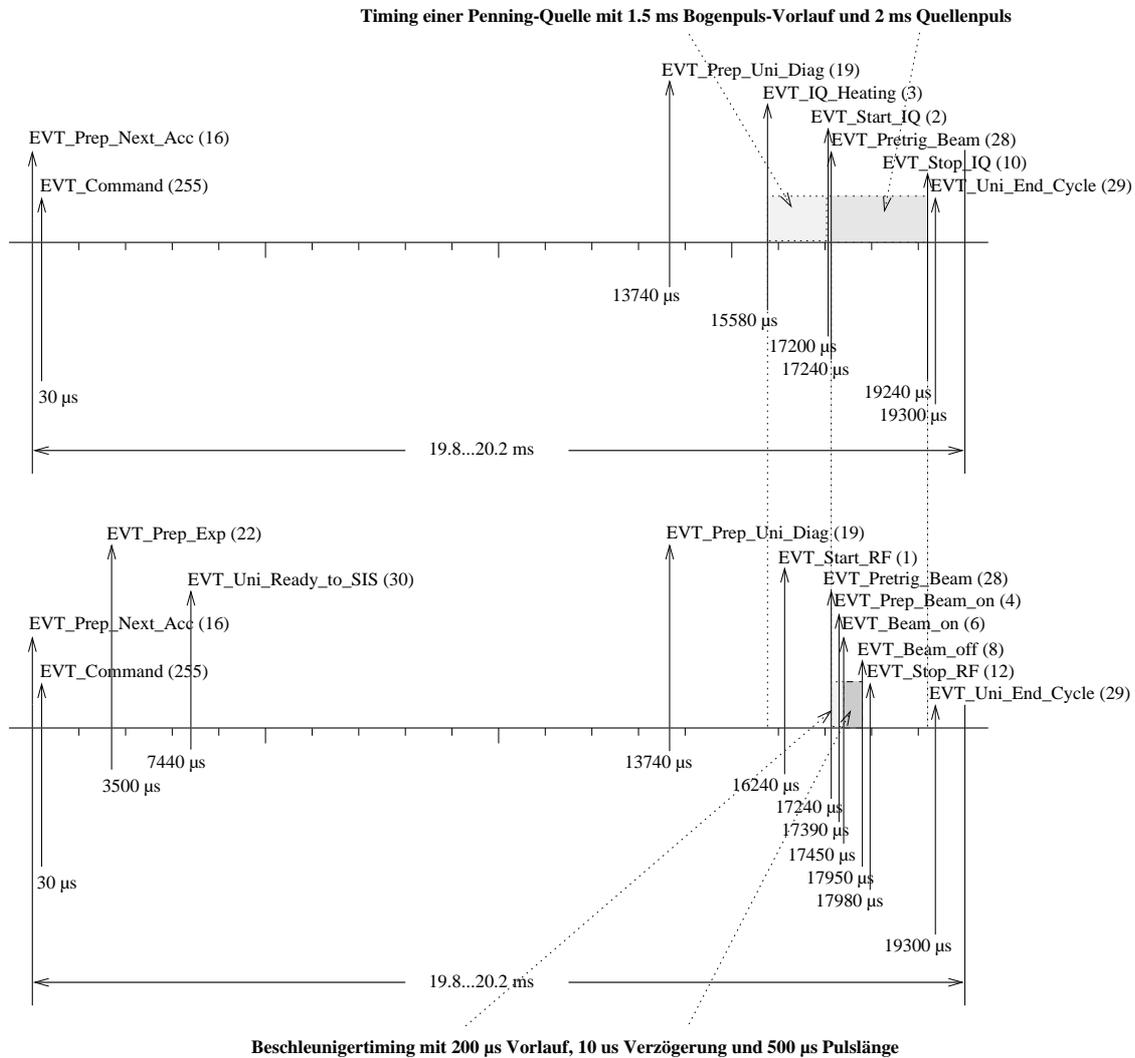


Abbildung 12: Ergebnis einer Eventberechnung (Beispiel)

23.2 Superzyklus-Pulszentrale

Mit jedem 50 Hz Trigger berechnet die Superzyklus-Pulszentrale welche Beschleuniger im nächsten 20 ms Zyklus ausgeführt werden. Zur Bewertung der Beschleuniger werden verschiedene Kriterien herangezogen:

- Verfügbarkeit der Quelle
- Externe Anforderung oder periodische Ausführung
- Prioritäten
- spezielle Eigenschaften einzelner Beschleunigerabschnitte
- Profiltterschutz

23.2.1 Abschnittsmasken

Abbildung 23.2.1 auf Seite 66 stellt schematisch dar, wie die Strahlwege und Timingabschnitte des Unilac pulscentralenintern in *rechenbare* Form abgebildet werden.

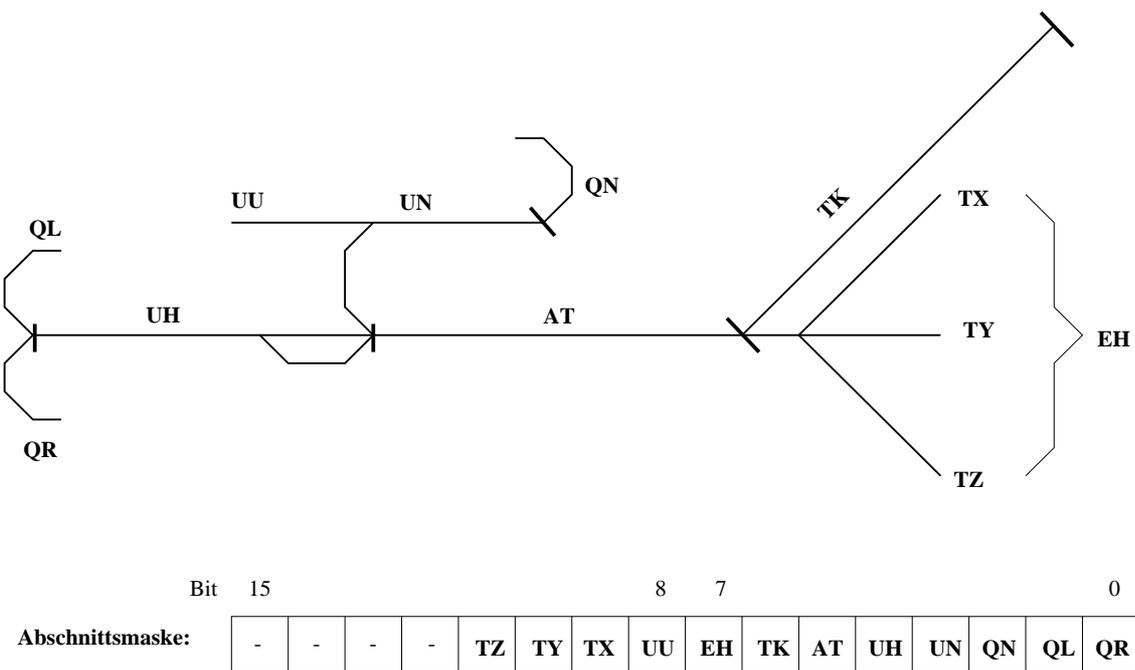


Abbildung 13: Abbildung der Strahlwege und Timingabschnitte auf eine Abschnittsmaske

Beim Setzen des *Strahlwegkeys* (siehe Property ACCVIA auf Seite 96) wird für einen Beschleuniger die *Abschnittsmaske* bestimmt, in der für jeden vom Beschleuniger durchlaufenen Abschnitt ein entsprechendes Bit gesetzt wird. Durch logische Verknüpfung der *Abschnittsmasken* verschiedener Beschleuniger kann leicht ermittelt werden, ob diese gemeinsame Beschleunigerabschnitte haben oder nicht. Beschleuniger, die keine gemeinsamen Beschleunigerabschnitte haben (das AND beider Masken ergibt 0) können gleichzeitig ausgeführt werden.

23.2.2 Profilgitter-Abschnittsmasken

In einer weiteren Maske werden für jeden Beschleuniger die Profilgitterabschnitte, die von ihm durchlaufen werden, markiert. Anhand der Profilgitter-Abschnittsmaske ermittelt die Pulszentrale, ob für einen Beschleuniger der Profilgitterschutz aktiviert werden muß oder nicht. Abbildung 23.2.2 auf Seite 67 stellt dar, wie die Strahlwege des Unilac derzeit (ab Okt. 1999) in Profilgitterabschnitte eingeteilt sind.

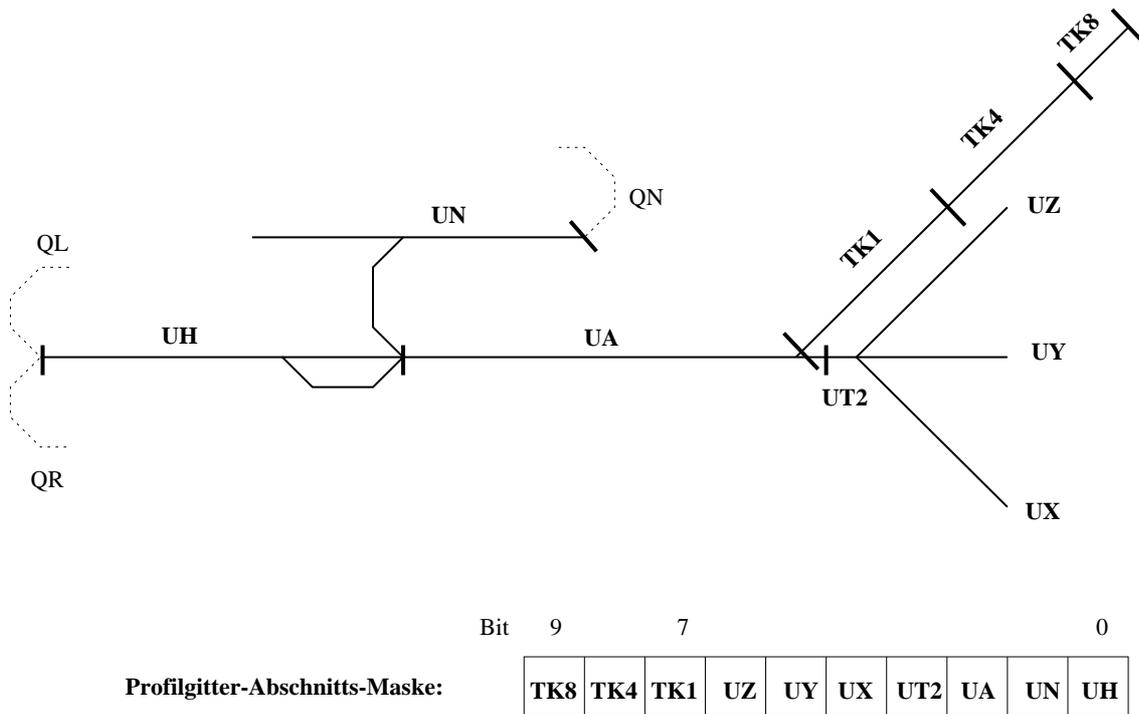


Abbildung 14: Einteilung der Strahlwege in Profilgitterabschnitte

Siehe hierzu auch Abschnitt 3.2.4 auf Seite 12.

23.2.3 Anforderungsbedingungen

Aus historischen und praktischen Gründen sind die Ausführungsbedingungen für einen Beschleuniger, der *auf Anforderung* und nicht *periodisch* ausgeführt werden soll, vom *Strahlziel* des Beschleunigers abhängig. Folgende Varianten werden unterschieden:

Strahlziel X, Y oder Z: Der Beschleuniger gilt solange als *angefordert*, wie am Anfordereingang des ihm zugeordneten Strahlziels (X, Y oder Z) eine Anforderung anliegt. Der Beschleuniger wird dann mit der eingestellten *Untersetzung* ausgeführt. D. h. solange die Anforderung ansteht, wird der Beschleuniger behandelt wie ein *periodisch auszuführender*, liegt keine Anforderung vor wird er nicht ausgeführt.

Strahlziel TK: Ein Beschleuniger mit dem Strahlziel **TK** muß vom SIS in zwei Schritten angefordert werden.

1. Die Vorbereitung des **TK** für diesen Beschleuniger muß angefordert werden. Während eine **TK-Vorbereitungsanforderung** ansteht ist der **TK** *reserviert* und kein anderer Beschleuniger mit diesem Strahlziel kann ausgeführt werden.

- Frühestens nach einer Wartezeit von 200 ms kann vom SIS aus die eigentliche *Strahlanforderung* erfolgen. Die *Untersetzung* des Beschleunigers spielt dabei keine Rolle.

Im Therapiebetrieb ($PZMODE = 0$ oder 1 und $OPERMODE = Parameter- oder Set-Mode$) muß zum Zeitpunkt der **Strahlanforderung** bereits die **EFICD-Information** der SIS-Pulszentrale vorliegen und die entsprechenden Daten aus dem Therapiespeicher geladen worden sein (siehe Abschnitt 25.1 auf Seite 77).

Wichtig ist dabei auch, daß ein Beschleuniger mit dem Strahlziel **TK** auch dann angefordert werden kann, wenn er als *periodisch* ausführbar eingestellt ist (das kann immer nur genau 1 Beschleuniger sein). Nur dann wird er mit der eingestellten *Untersetzung* ausgeführt, wenn der **TK** nicht durch eine Vorbereitungsanforderung reserviert ist.

Die Bedeutung der *Untersetzung* eines Beschleunigers ist also vom Strahlziel abhängig. Abbildung 23.2.3 auf Seite 68 soll den Anforderungsmechanismus zwischen Unilac und SIS verdeutlichen.

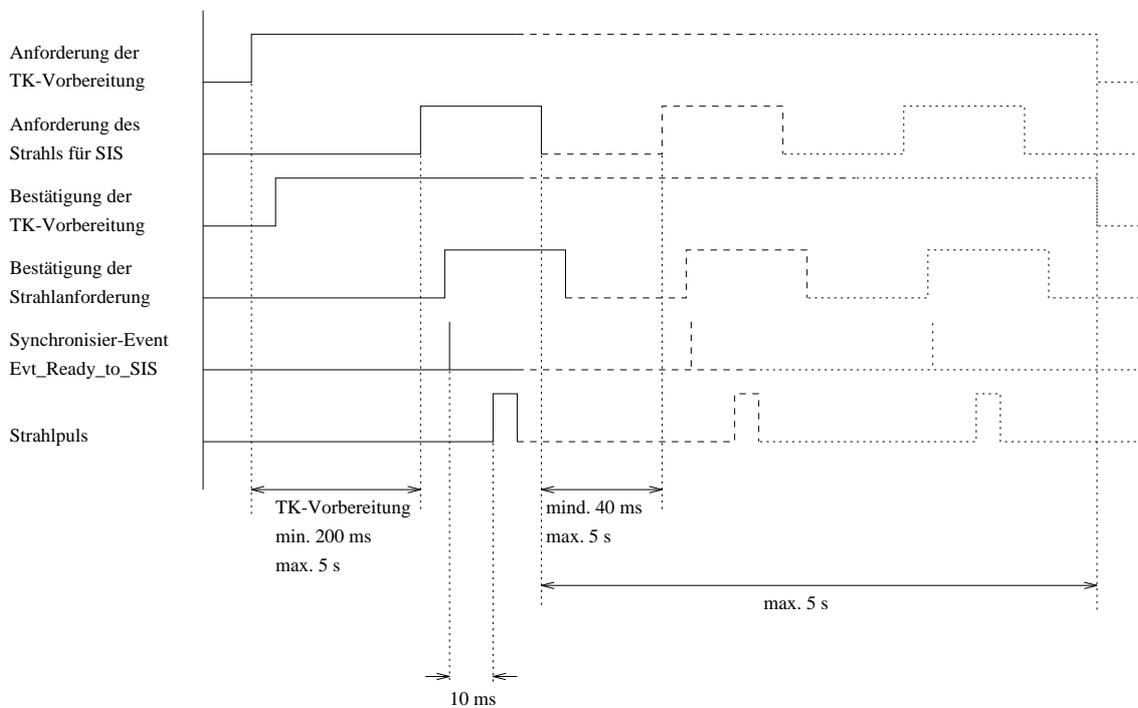


Abbildung 15: Ablauf einer SIS-Strahlanforderung

Zur Pulszentralen-internen Verwaltung des **TK** und der SIS-Anforderung werden folgende **TK-Zustände** verwendet:

TK_normal Der **TK** ist nicht durch eine Anforderung reserviert. Nur in diesem Zustand kann ein Betriebsbeschleuniger mit *Zwischenpulsen* ausgeführt werden.

TK_prerequested Für den **TK** liegt eine *Vorbereitungsanforderung* vor.

TK_inpreparation Der **TK** befindet sich in der Vorbereitungsphase. Die Magnetsollwerte wurden gesetzt, die 200 ms Wartezeit läuft.

TK_prepared Der **TK** ist vorbereitet, der Strahl kann vom SIS angefordert werden. Solange die *TK-Vorbereitungsanforderung* anstehen bleibt können vom SIS aus auch mehrere Strahlpulse angefordert werden (**Multi-Multiturn-Injektion**). Erfolgt innerhalb 5 s keine Strahl-Anforderung wird ein *Request-Timeout* gemeldet und der **TK** wieder freigegeben.

TK_requested Vom SIS aus liegt eine Strahl-Anforderung vor. Der angeforderte Beschleuniger kann ab jetzt ausgeführt werden.

Wird die *TK-Vorbereitungsanforderung* seitens des SIS zurückgenommen, wird der **TK** wieder freigegeben. Das bedeutet im einzelnen:

- Gibt es einen Beschleuniger mit Zwischenpulsen für den **TK**, dann werden die TK-Magnete auf dessen Sollwerte gesetzt.
- Gibt es keinen Beschleuniger mit Zwischenpulsen, werden die TK-Magnete auf Sollwert *Null* gefahren.

in beiden Fällen wird der **TK** wieder für 200 ms Vorbereitungszeit reserviert.

23.2.4 Beschleunigerzustände

Die Kriterien zur Bewertung der Beschleuniger werden intern auf Beschleunigerzustände abgebildet. Die möglichen Zustände im Detail:

acc_suspend Liegt für einen Beschleuniger, der nur auf *Anforderung* läuft, keine Anforderung vor, so wird er im Zustand *acc_suspend* geparkt. Diesen Zustand verläßt er erst, wenn alle Anforderungsbedingungen (siehe Abschnitt 23.2.3 auf Seite 67) erfüllt sind oder der Ausführungsmodus auf *periodisch* geändert wird.

Ein Beschleuniger, der sich im Zustand *acc_suspend* befindet, wird für die Superzyklusberechnung nicht berücksichtigt.

acc_wait Der Zustand *acc_wait* ist der Basiszustand, in dem sich alle Beschleuniger befinden, die bei der Superzyklusberechnung berücksichtigt werden müssen. Das sind alle Beschleuniger, die periodisch ausgeführt werden und die Beschleuniger, für die eine Anforderung vorliegt.

acc_local Alle Beschleuniger, die ausführbar sind (d. h. alle Voraussetzungen zur Ausführung sind erfüllt) aber aufgrund ihrer Priorität nicht zum Zuge kommen (also verdrängt werden) werden in den Zustand *acc_local* gesetzt und nur dann ausgeführt, wenn sie nicht mit anderen Beschleunigern kollidieren.

Normalerweise handelt es sich dabei um Beschleuniger, die nicht durch den **AT**-Abschnitt zu einem Experimentierplatz führen, sondern in einem Zwischenziel (**US** oder **UN7**) gestoppt werden.

acc_ready Alle Beschleuniger, die ausführbar sind (d. h. alle Voraussetzungen zur Ausführung sind erfüllt) werden in den Zustand *acc_ready* gesetzt.

acc_exec Die Beschleuniger, die mit höchster Priorität ausführbar sind und nicht miteinander kollidieren (also keine gemeinsamen Timinigabschnitte haben) werden in den Zustand *acc_exec* gebracht und tatsächlich ausgeführt.

Abbildung 23.2.4 auf Seite 70 soll alle Beschleunigerzustände und die möglichen Übergänge zwischen denselben verdeutlichen.

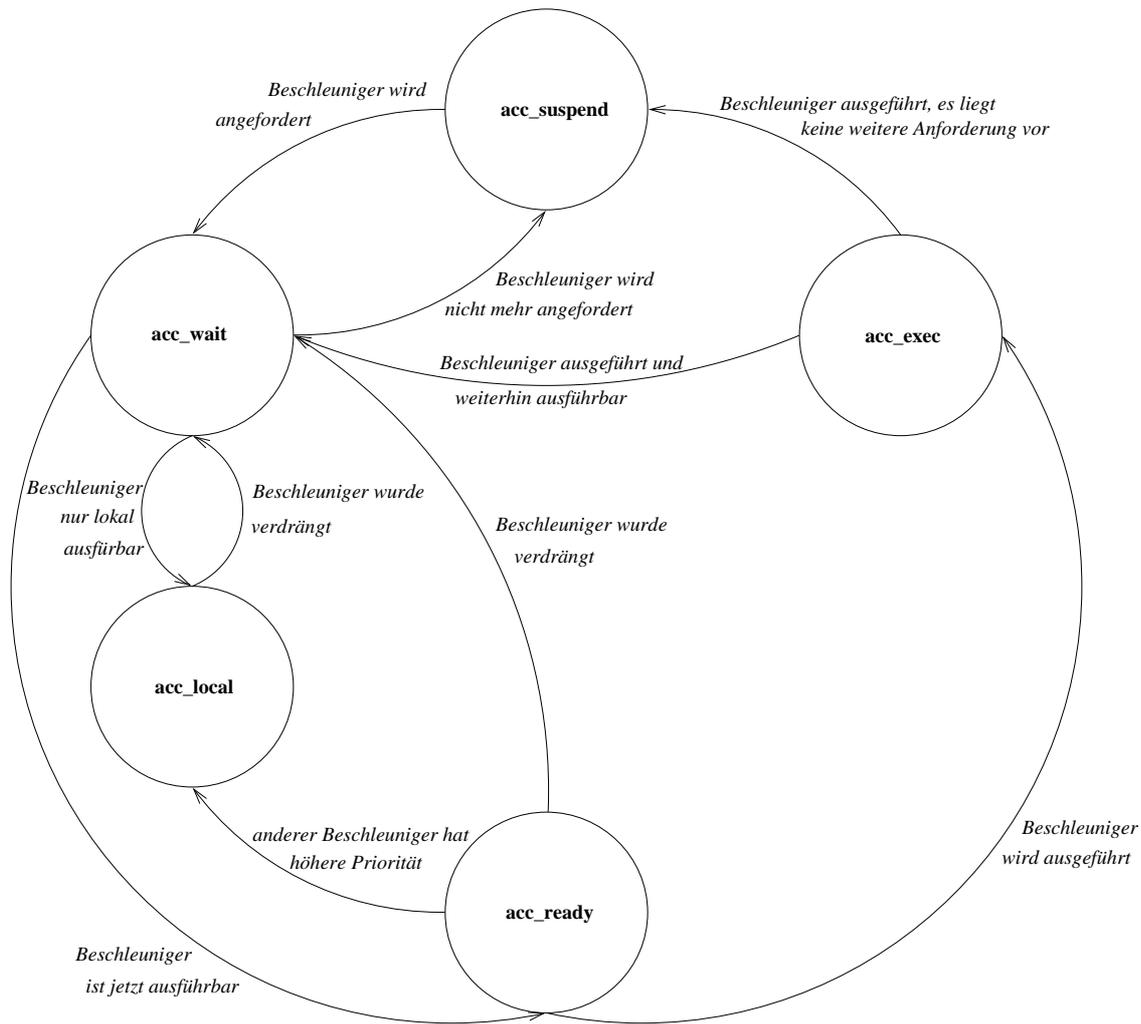


Abbildung 16: Beschleunigerzustände und mögliche Übergänge zwischen denselben

23.2.5 Superzyklus-Berechnung

Bei der Superzyklus-Berechnung werden folgende Aktionen durchgeführt:

1. Für alle Quellen wird geprüft, ob sie im aktuellen oder im nächsten Zyklus zur Verfügung stehen.
2. Es wird geprüft, ob externe Strahlanforderungen vorliegen. Beschleuniger, die *anforderbar* betrieben werden, werden in den Zustand *acc_wait* gesetzt, wenn eine externe Anforderung vorliegt.
3. Für alle Beschleuniger, die im Zustand *acc_wait* sind, wird die Priorität um 1 erhöht. Danach werden folgende Überprüfungen und Bewertungen vorgenommen:
 - (a) Ist die Quelle, aus der dieser Beschleuniger versorgt wird, im aktuellen Zyklus verfügbar und der Beschleuniger will auch ausgeführt werden (Untersetzung bzgl. der Quellenrate), dann geht der Beschleuniger in den Zustand *acc_ready*.

(b) Führt der Beschleuniger nicht zu einem Experimentierplatz, dann wird geprüft, ob er in seinem lokalen Bereich (**UN** oder **UH**) die höchste Priorität hat. Ist beides nicht der Fall, kann der Beschleuniger höchstens lokal ausgeführt werden und er geht in den Zustand `acc_local`.

4. Bis hierhin ist klar, welche Beschleuniger ausgeführt werden können. Nämlich die Beschleuniger, die zu einem Experimentierplatz führen und höchste Priorität haben und zusätzlich *lokal* ausführbare Beschleuniger (mit höchster Priorität) im **UN**- oder **UH**-Abschnitt.

Nun werden die Timingabschnitte, die von diesen Beschleunigern durchlaufen werden, reserviert und die entsprechenden Events an die Zyklus-Pulszentralen geschickt. Gibt es für die nicht reservierten Bereiche noch zusätzliche lokale Beschleuniger (im Zustand `acc_local`), dann werden auch für diese Bereiche die entsprechenden Events an die Zyklus-Pulszentralen geschickt.

5. Sind dennoch Beschleunigerabschnitte übriggeblieben, die im aktuellen Zyklus nicht benötigt werden, so wird geprüft, ob diese evtl. einen *HF-Konditionierungs-Zyklus* oder einen *HF-Stabilisierungs-Zyklus* ausführen müssen. Wenn nicht, wird ein *Leer*-Beschleuniger (15) veranlaßt.

23.3 Zyklus-Pulszentralen

Die Software der Zyklus-Pulszentralen ist denkbar einfach. Alle Zyklus-Pulszentralen sind mit einer **SEMAX** ausgestattet, auf der ein *Eventtimer* mit 26 Bit Datenbreite und einer Zeitauflösung von $1\mu\text{s}$ zur Verfügung steht. Dieser Timer kann per externem Event (über Eventfilter einstellbar) *genullt* werden. D. h. kommt ein im Eventfilter programmiertes Event an, wird der Timer gelöscht und er fängt bei 0 an zu zählen. Als Event zum Löschen des Timers und damit zur Synchronisierung aller Zyklus-Pulszentralen wird `EVT_50_Hz_Synch` benutzt (siehe Abb. 24.1 auf Seite 76).

Alle Zyklus-Pulszentralen erfahren per Event von der Superzyklus-Pulszentrale welcher Beschleuniger in welcher Art und Weise auszuführen ist (siehe Abschnitt 22.2). Daraus ergibt sich eine Eventsequenz (eine Tabelle mit Eventcodes und Zeiten), die bei der Einstellung der Beschleunigerparameter berechnet wurde.

Jede Zyklus-Pulszentrale hat primär nichts anderes zu tun, als darauf zu warten, daß der Eventtimer die Zeit anzeigt, bei der das nächste Event zu verschicken ist. Um die SE während eines Zyklus nicht völlig zu blockieren, überbrückt die Zyklus-Pulszentrale Abstände zwischen den Events, die größer als 1.5 ms sind, mit Hilfe des `Delaytimers`. Nur während dieser Überbrückung ist die Zyklus-Pulszentrale in der Lage Events von der Superzyklus-Pulszentrale (Uhrzeit, Zyklus-Informationen, ECCs ...) zu empfangen und zu verarbeiten. Dabei muß gewährleistet sein, daß die Verarbeitung eines empfangenen Events abgeschlossen ist, bevor der `Eventtimer` den Zeitwert des nächsten Events erreicht hat. Für die Verarbeitung sind ca 1.1 ms vorgesehen. Dauert die Verarbeitung länger, wartet die Zyklus-Pulszentrale gnadenlos bis der `Eventtimer` überläuft und den gewünschten Wert anzeigt (das würde ca 67 s dauern, aber schon nach 16 s schlägt der `Watchdog` zu und führt einen `RESET` der SE durch).

Die Abbildungen 24.1 und 24.1 sollen die geschilderten Abläufe verdeutlichen.

24 Events mit spezieller Bedeutung

Wie bereits in Abschnitt 8 auf Seite 28 beschrieben, sind die Eventsequenzen der Betriebsbeschleuniger fest vorgegeben. Lediglich zu Beginn eines Zyklus und am Ende werden in die vorgegebenen Eventpattern zusätzliche Informationen eingefügt und mitversendet.

EVT_Prep_Next_Acc (16):

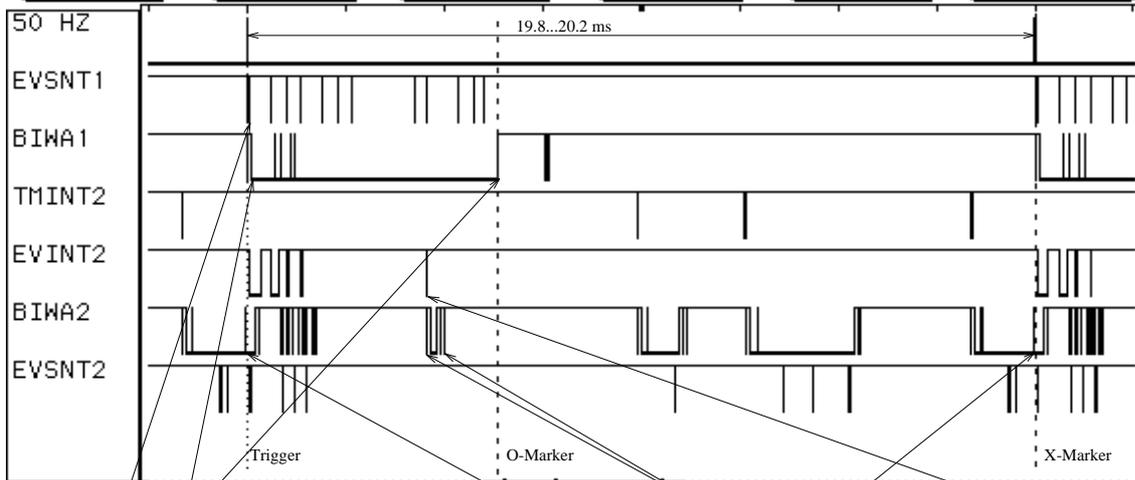
Jeder *normale* Unilac-Zyklus beginnt mit dem Event `EVT_Prep_Next_Acc`. Speziell bei diesem Event haben die Bits 12... 15 folgende Bedeutung:

100/500MHz LA E Waveform 1 Acq. Control Cancel Run

Accumulate Off INT 0 X → 1 Center Screen

Hex 0 → 1

sec/Div 2.50 ms Delay 10.00 ms Markers Time X to 0 -13.60 ms Trig to X 20.00 ms Trig to 0 6.400 ms



Die Superzyklus-PZ berechnet den nächsten Zyklus und verschickt die entsprechenden Events an alle Zyklus-PZs.

Die Zyklus-PZ empfängt und bearbeitet die Informationen über den nächsten Zyklus.

Mit dem 50-Hz-Trigger-Puls wird ein Event-33 und ein Kommando-Event (255) erzeugt.

Die Zyklus-PZ bearbeitet den aktuellen Zyklus mit Hilfe des Eventtimers. Große Eventabstände werden mit dem Delaytimer (TMINT2) überbrückt.

Abbildung 17: Signale des 50 Hz-Generators

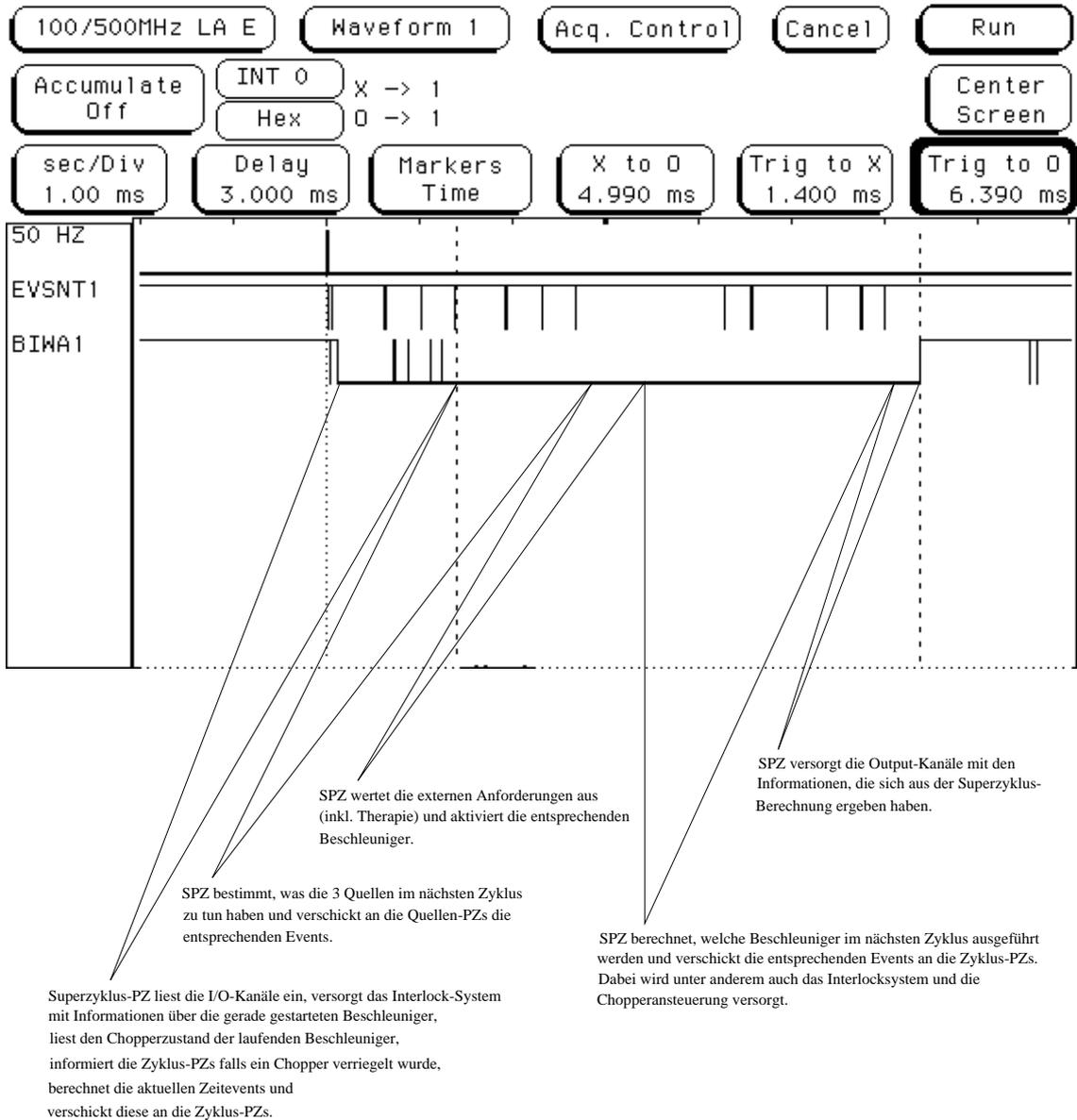


Abbildung 18: Aktivitäten der Superzyklus-Pulszentrale bei der Berechnung des Superzyklus

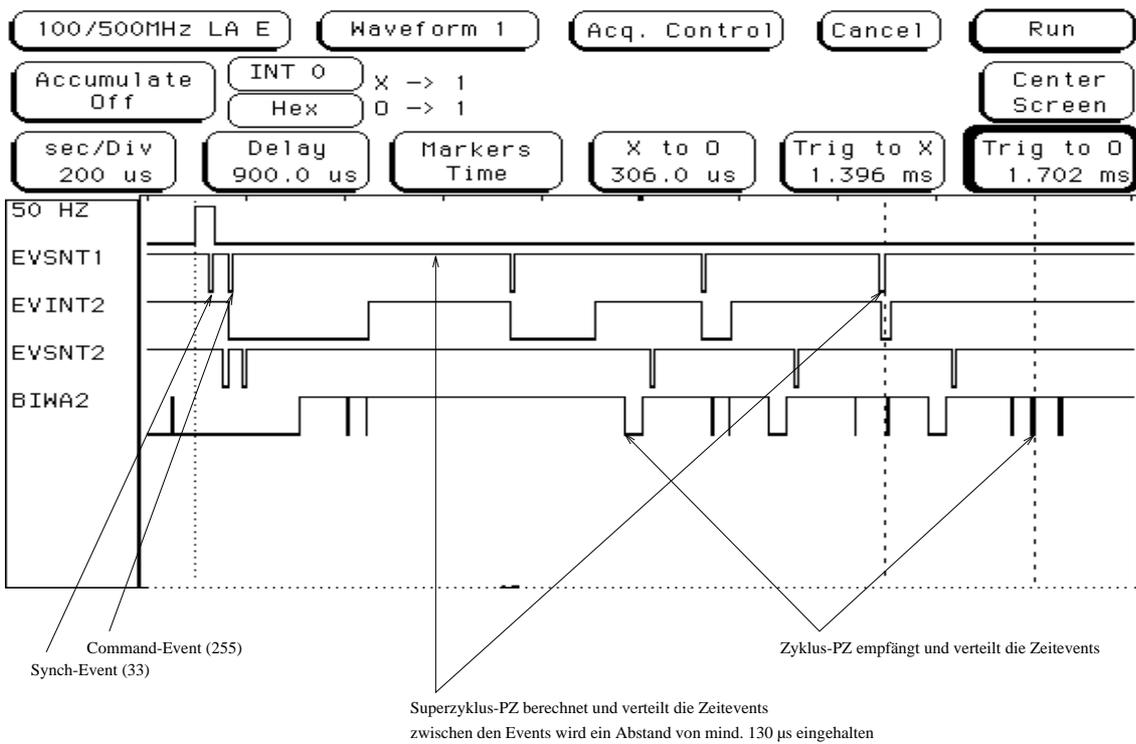


Abbildung 19: Aktivitäten der Zyklus-Pulszentrale zu Beginn eines Zyklus

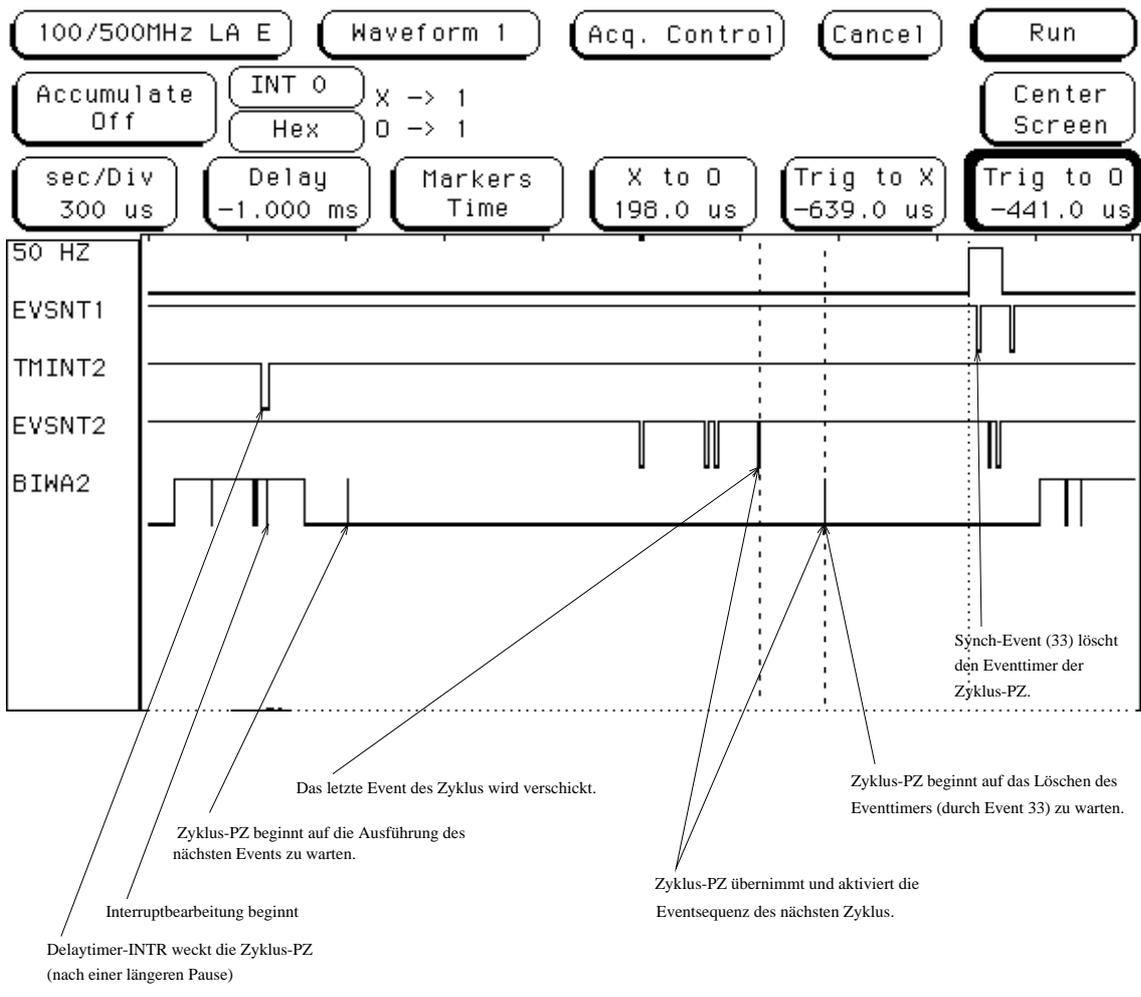


Abbildung 20: Aktivitäten der Zyklus-Pulszentrale am Ende eines Zyklus

25 Besonderheiten

25.1 Besonderheiten für den Therapiebetrieb

Speziell für den Therapiebetrieb wurden folgende Betriebsarten der Unilac-Pulszentrale implementiert:

Therapiebetrieb: Die Superzyklus-Pulszentrale wertet die Therapieinformationen (EFICD) der SIS-Pulszentrale aus, reicht sie an die Therapiegeräte im Unilac weiter und bestätigt die Ausführung gegenüber dem SIS.

Therapietestbetrieb: Die Pulszentrale verhält sich wie im Therapiebetrieb.

Normalbetrieb: Die Therapieinformationen der SIS-Pulszentrale werden nicht ausgewertet.

Bei der Vorbereitung des Therapie-Betriebs werden folgende Daten aus dem Therapiespeicher geladen:

1. Die Strahlwegbeschreibung des Beschleunigers
2. Die Quelle/Ziel-Information des Beschleunigers
3. Die Beschreibung des Beschleuniger-Timings:
 - (a) Strahlpulslänge
 - (b) Strahlpulsvorlauf
 - (c) Untersetzung zur Quellenrate
4. Der Ausführungsmodus (*suspendiert*, *aktiv*, *aktiv mit verkürztem Chopperpuls* oder *aktiv ohne Strahl*) des Beschleunigers.
5. Der Anforderungsmodus des Beschleunigers (Ausführung auf *Anforderung* oder *periodisch*).
6. Die **Hochstrom**-Kennung des Beschleunigers.

Fordert die SIS-Pulszentrale im Therapiebetrieb eine *Beschleuniger-Verriegelung* an, so versendet die Unilac-Pulszentrale das entsprechende ECC und alle Therapiegeräte am Unilac (auch die Pulszentrale selbst) werden verriegelt. Ist die Unilac-Pulszentrale verriegelt, wird gegenüber der SIS-Pulszentrale die *Ausführung der Verriegelung* bestätigt.

Die Unilac-Pulszentrale wird, wie alle anderen Therapiegeräte am Unilac auch, durch **Unilac EPROM schreiben** im SIS-MEDI-Programm programmiert. Sie muß also korrekt eingestellt sein, damit der Therapiebetrieb funktioniert.