



Joachim Grillenberger :: GFA :: Paul Scherrer Institut

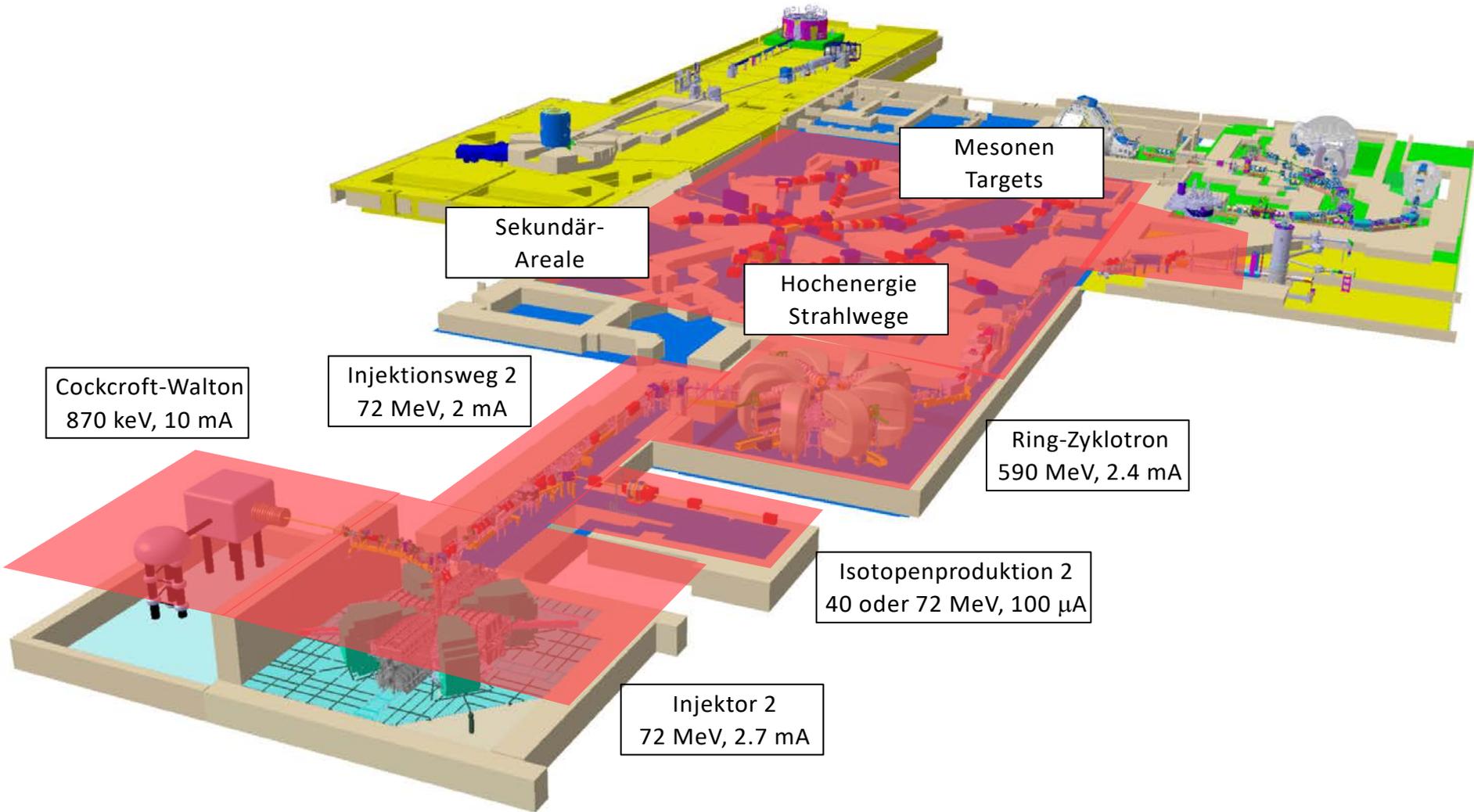
Zusammenfassung Böttstein Workshop 2017 Hochstromprotonenanlage

Betrieb von Grossforschungsanlagen



Die Sichtweise hat sich seitdem verändert
und wird sich weiter ändern.....

Hochstromprotonenanlage



Ich

- Übersicht zum Workshop in Böttstein
- Schriftlicher Bericht (mit Maschinenkoordinator M. Schippers)
- Übergabe an das entscheidungsfreudige Management

Ihr

- Kommentare, Korrekturen, usw. bitte aufschreiben oder merken
- Liste mit Ansprechpersonen und Verantwortlichen erstellen
- Beides bis Freitag den 13.4.2018 (!) 13 Uhr an marco.schippers@psi.ch und cc: joachim.grillenberger@psi.ch

Status:

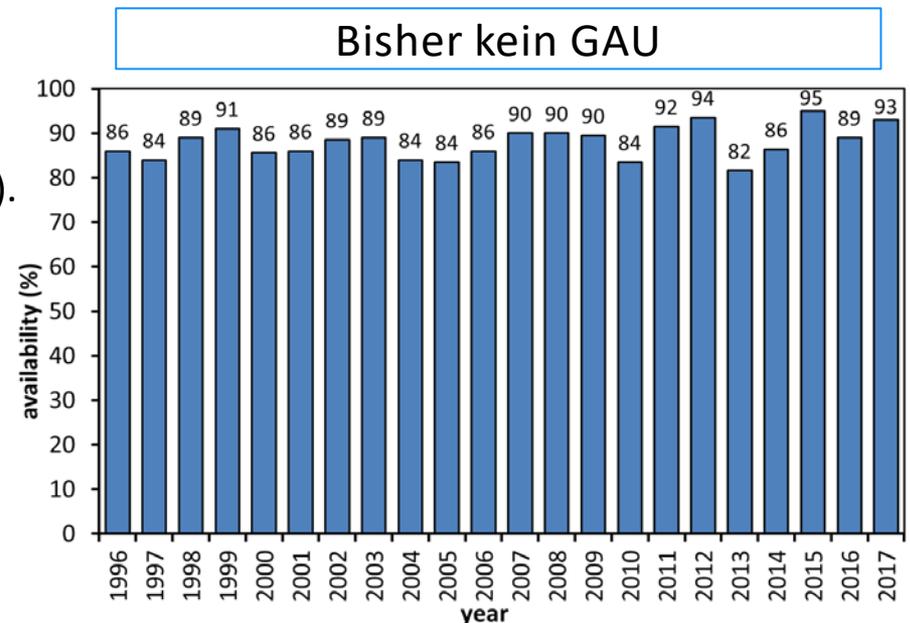
- Der Protonenbeschleuniger liefert(e) bis zu 1.4 MW Strahlleistung und ist 44 Jahre alt
- Die grösste Leistungserhöhung wurde durch Erhöhung der Kavitatsspannungen erreicht.
- Bewilligung für 2.4 mA Dauerbetrieb und 2.6 mA im Testbetrieb vorhanden.
- Infrastruktur und modulares Design erlauben rasche Reparatur (< 2 d)
- Aussicht für Betrieb bis 2030+
- Es laufen bereits Upgrade- und Instandhaltungsprogramme (Inj.2, Speisegeräte, Kühlung, ...)

Das Wichtigste für die User ist die Verfügbarkeit,
weniger der Strahlstrom.

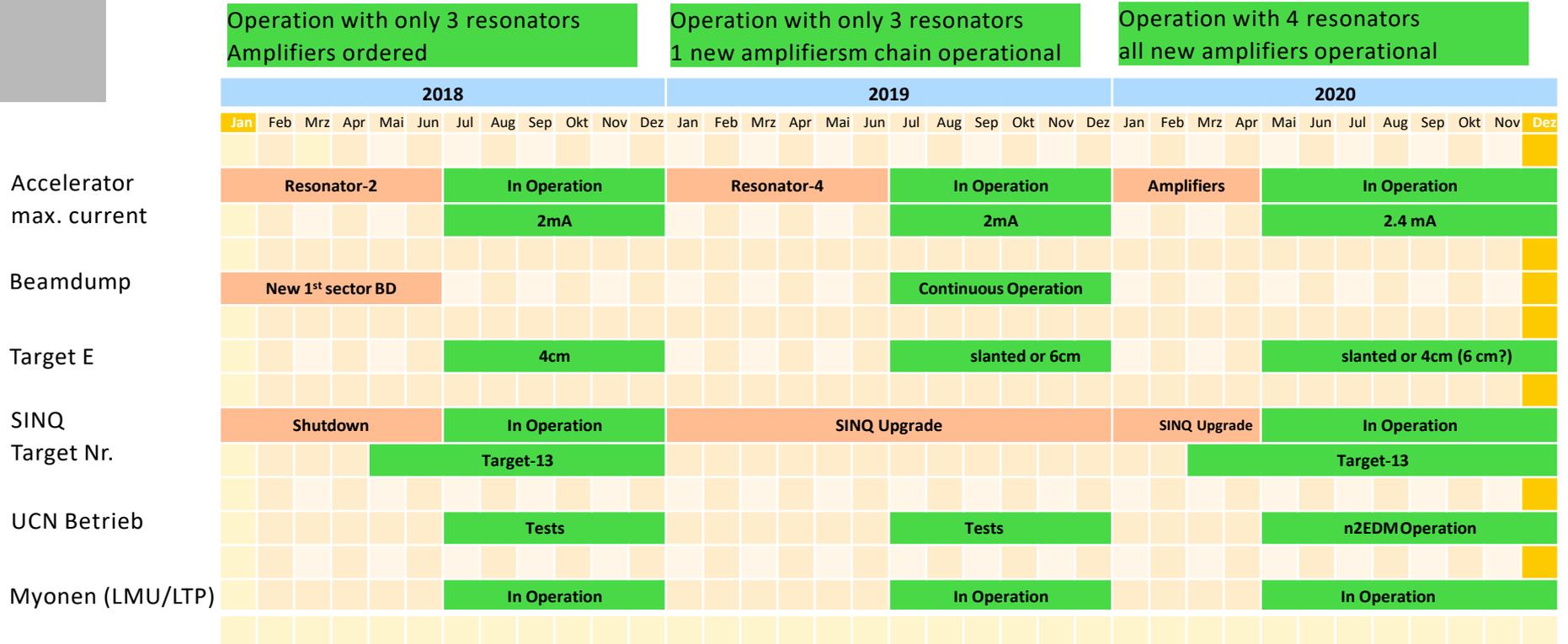
Die mittlere Verfügbarkeit liegt bei 89% (2007-2017).

Die höchste Verfügbarkeit von 95% wurde im Jahr
2015 erreicht.

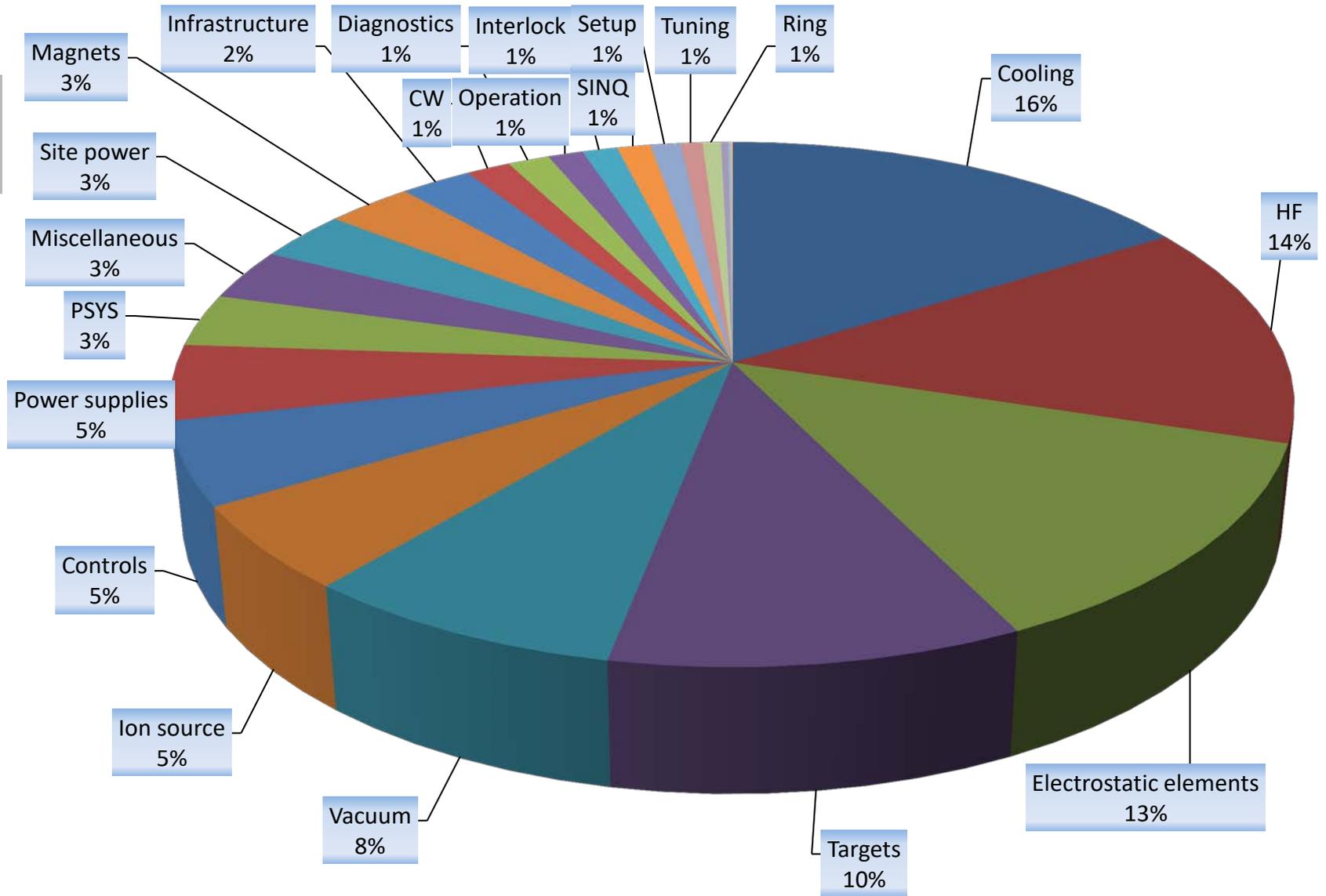
alles ebenfalls nötig für dauerhaften Betrieb
auch bei nicht erhohem Strom



Ab 2020 Betrieb mit 2.4 mA
2.6 mA im Testbetrieb

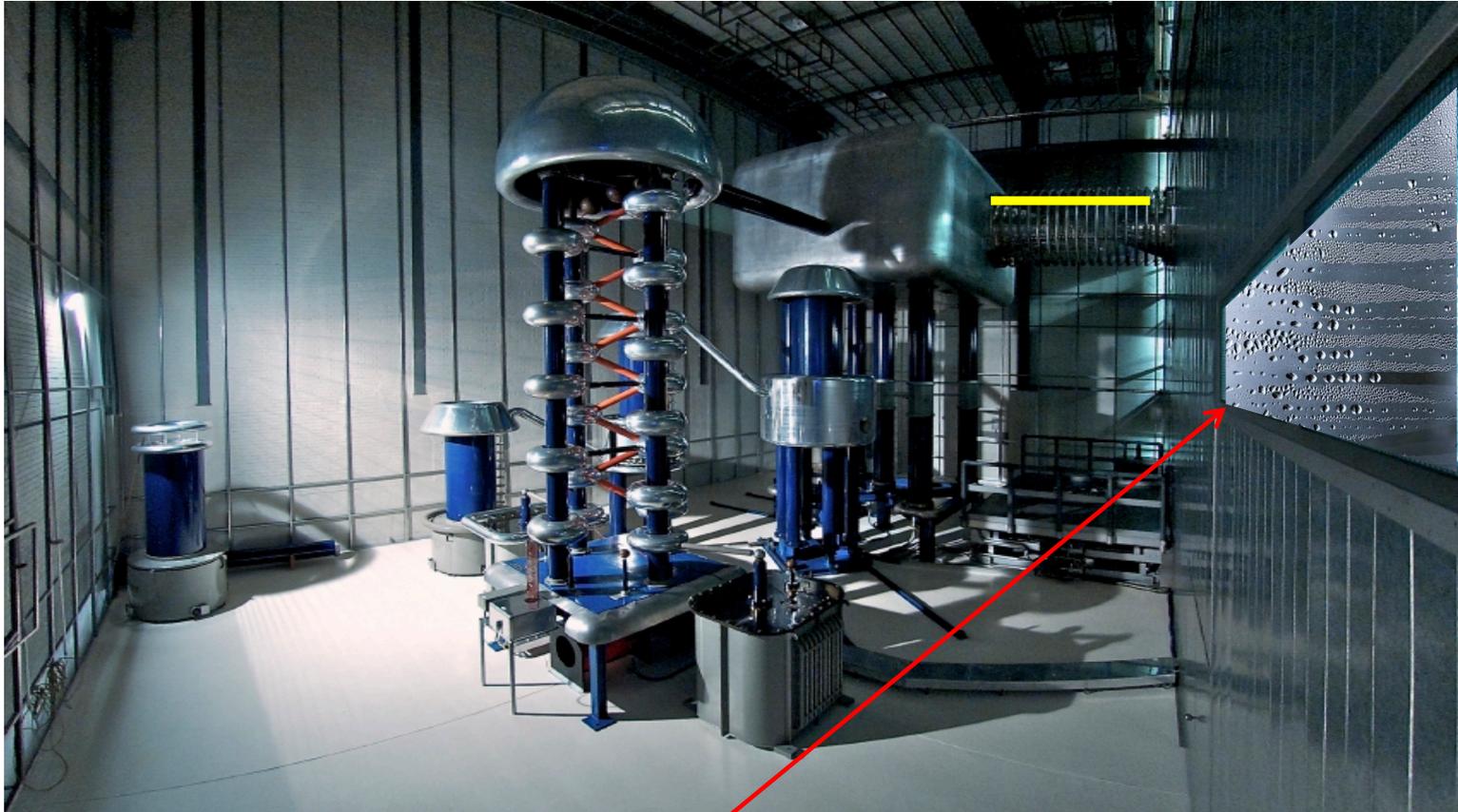


Ausfallstatistik 2004 - 2017



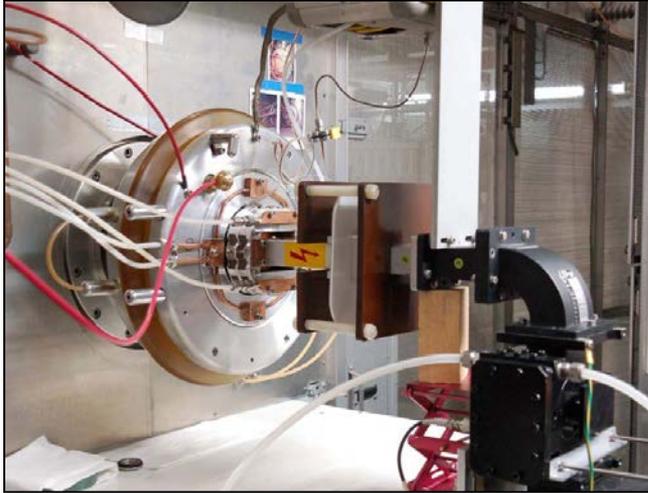
Cockcroft-Walton (1984)

$E_{\max} = 870 \text{ keV}$, $I_{\max} = 30 \text{ mA}$ Verfügbarkeit 99% (2004-2017)



- Klimatisierung (hohe Luftfeuchtigkeit im Sommer, häufige Überschläge)
- 20 Ersatzdioden (1 Tag Unterbruch)
- 2 Ersatz-Trenntrafos (3-4 Tage Unterbruch)
- Beschleunigungsrohr (Al_2O_3 – Keramik und Plexiglas. **2-4 Wochen Stillstand**)
- « Drahtlose » Datenübertragung (Kriechströme entlang der Lichtleiterkabel)

Neue ECR-Ionenquelle (seit 2009)

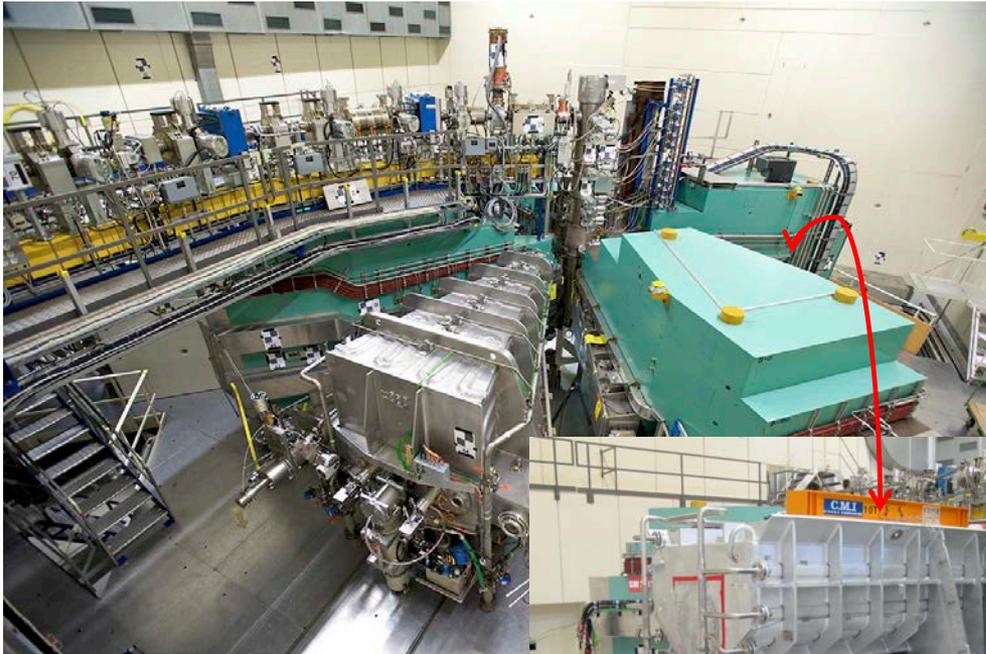


- Längere Serviceintervalle (> 8 Wochen)
- Höhere (Strahl-) Stabilität
- Höherer Protonenanteil (80% statt 33%)
- Bessere Strahlqualität (kleinere Emittanz)
- Bis zu 2.7 mA aus Injektor 2

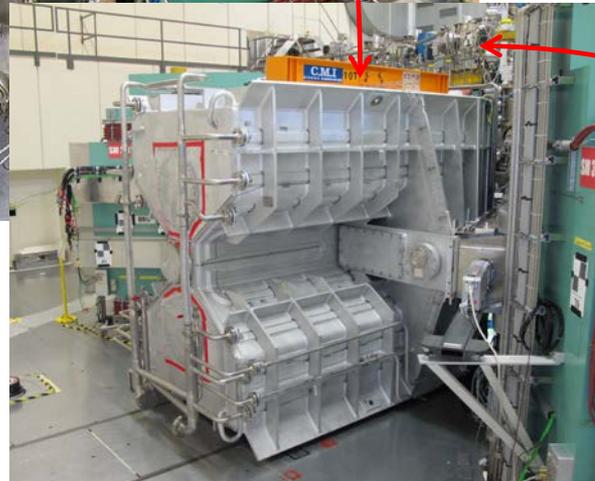
Verfügbarkeit: 97% (2010 - 2016)

- AlN-Keramik (Plasmatopf): 2 Stunden Unterbruch
- EVEX-Wechsel: 4-6 Stunden
- Mikrowellenverstärker: 1 Stunde (3 Ersatz-> SSD in Entwicklung)
- Magnetron: 4 Stunden Unterbruch (5 Ersatzteile)

Injektor 2



Als Vakuumkammer
passt Resonator 2



HF – Upgrade

- 50 MHz Resonatoren 2 + 4
- 4 Neue Verstärkerketten

Betrieb ab 2020

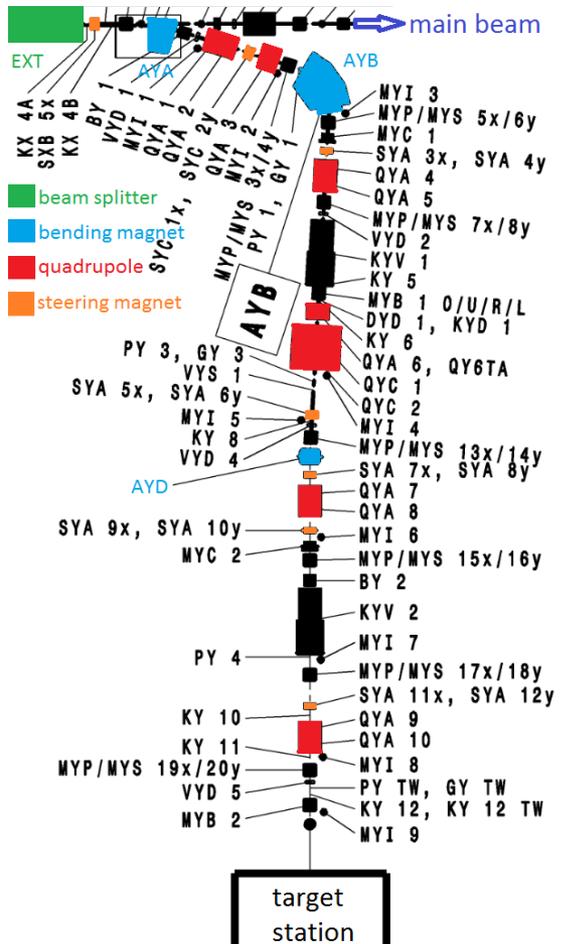
2010 stellte Thales die Produktion
der Tetroden ein!

Einbauten im
Resonator
Tests mit Strahl ab
Mitte Mai

Wichtig: hohe Aktivierung Kollimator AXA ->
Wechselflaschen AXA/AXB
und Bahndynamik-Ursachenforschung

Isotopenproduktion IP2

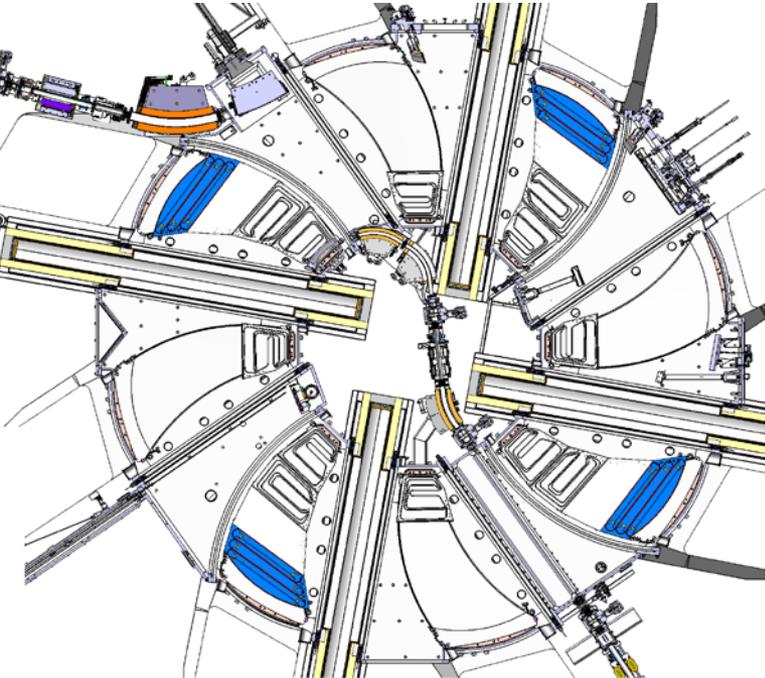
Strahllinie Splitter bis Targetstation



- Dokumentation
- Alte Vakuumsteuerung
- Energie: 72/40 MeV
- Keine Diagnostik direkt vor Target
- Strahlprofil: Drahtsonden revisionsbedürftig (wie alle anderen auch....)

Zukunft

- Diagnostik vor Target
- Bahndynamik für:
 - Standardprozedur für Operation
 - Machine learning



Indiumdichtungen

- Jährlicher Wechsel O-Ringe, Dosisbelastung
- zu wenig Knowhow am PSI

Diagnostik (Dokumentation, Ersatzteile, Personal)

- Maschinenschutz
- Ringsonden revisionsbedürftig
- Strahldynamik

Trimmspulen

- Ersatz
- «Feldemission» -> Plasma

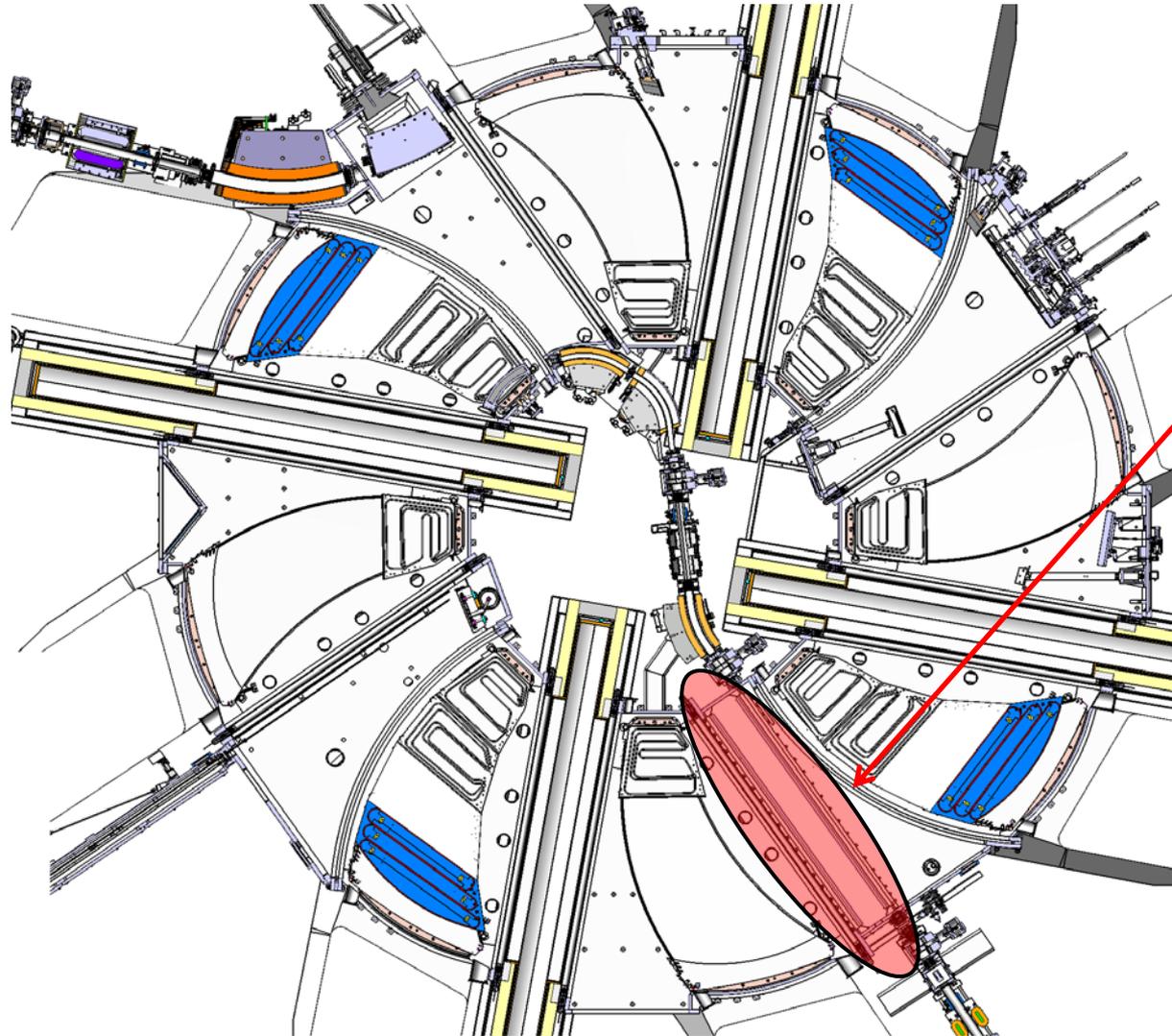
Dachbalken Re-Profilierung (Start im SD 2018)

Reprofilierung und Reparatur mit Fließmörtel



- Sanierung von drei Dachbalken abgeschlossen.
- Metalplatten von 3mm Dicke abkanten und anbringen
- Bis jetzt **kein Betonabfall**
- Keine Inkorporationen
- Projektende: 2024?

Ring Zyklotron – Kavität 5



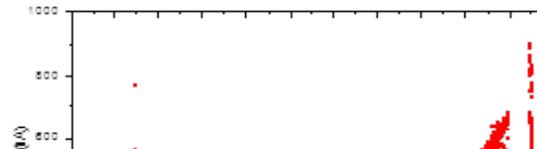
Kavität 5
150 MHz Flattop

Multipactoring, Sekundärelektronenemission, HF-Auskopplung

Plasma SM7



Röntgenemission



Aquadag jährlich



Kein Ersatz

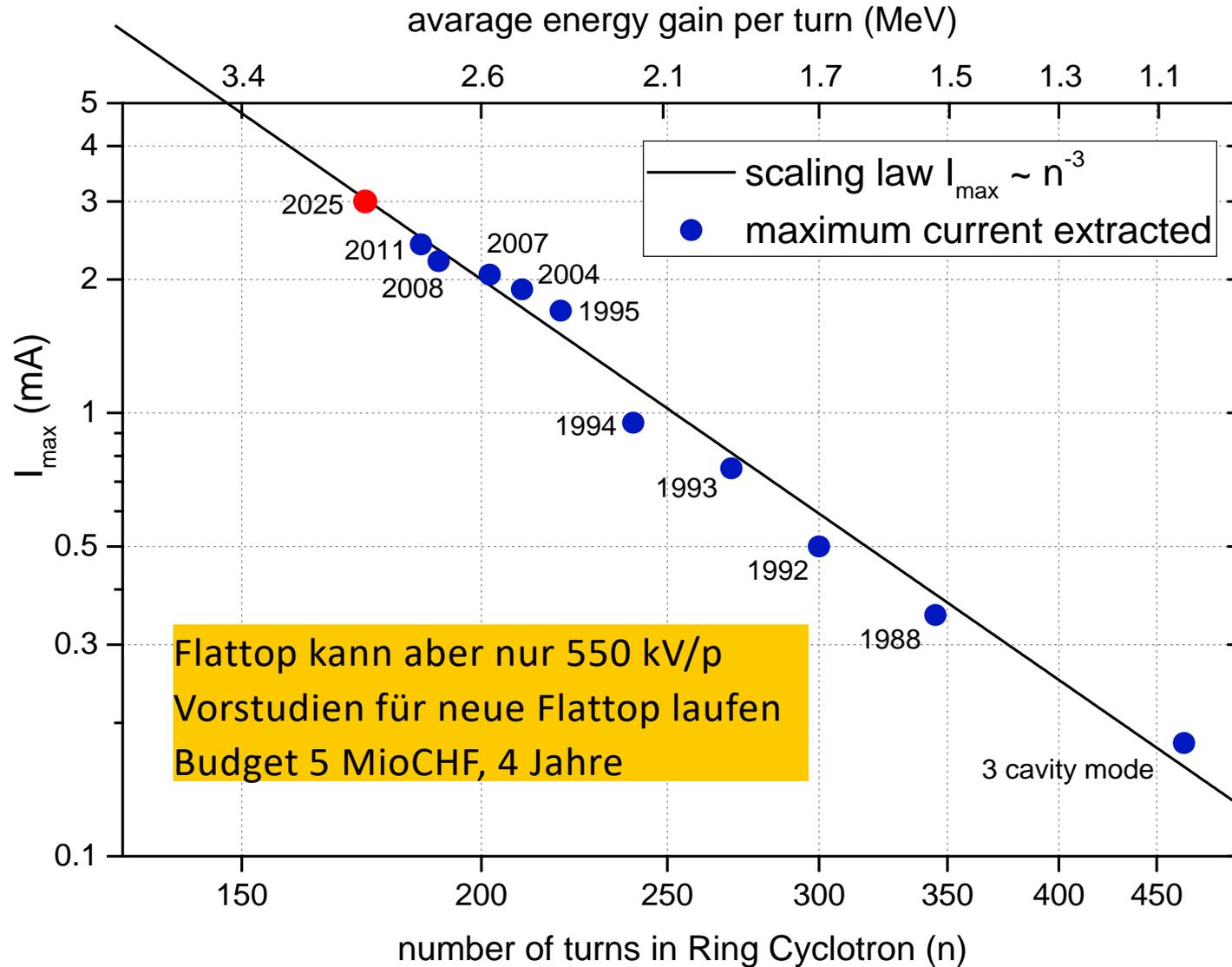
Bei einem Ausfall von Kavität 5 sind maximal $800 \mu\text{A}$ Strahlstrom möglich. $1000 \mu\text{A}$ bei 700 nA Verlusten.

- Hohe mechanische Beanspruchung des Reinaluminiums (34 Jahre alt)
- Materialermüdung
- Altes Hydrauliksystem
- Löcher / Kratzer in Dichtflächen
- Druck auf Kissendichtung kann nicht weiter erhöht werden
- Elektroden «locker»
- Plasma an den Elektroden

irreparabel

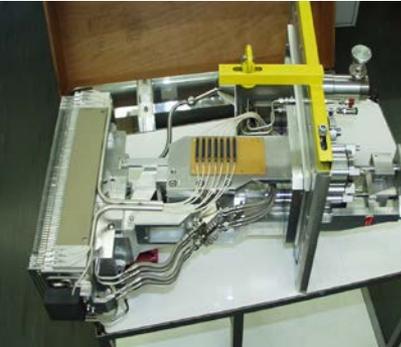


Schritte zu einer höheren Leistung



Elektrostatische Elemente

EID: 96 kV



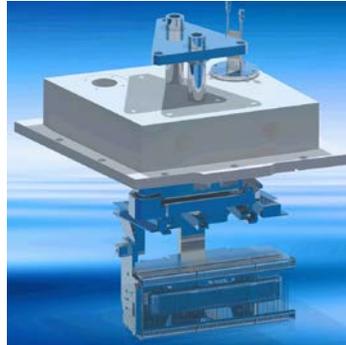
Extraktion
Injektor 2

EXT: 110 kV



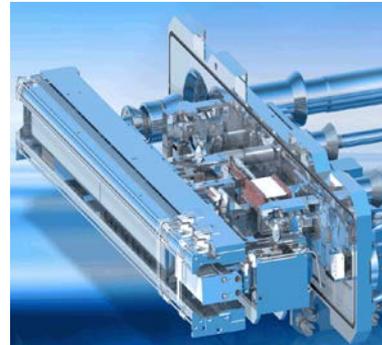
Strahlsplitter
IP2

EIC: 133 kV



Injektion
Ring

EEC: 140 kV



Extraktion
Ring

EHT: 180 kV



Strahlsplitter
p-Kanal (UCN)

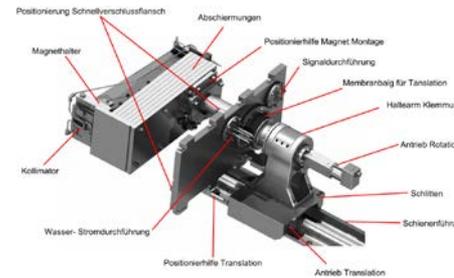
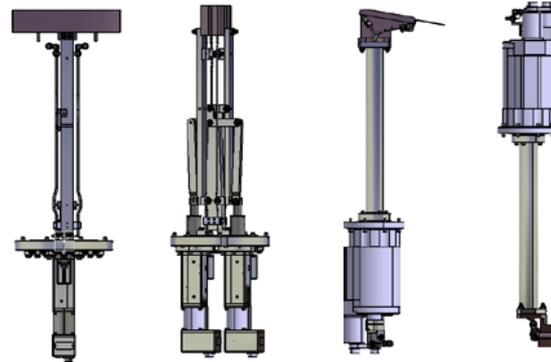
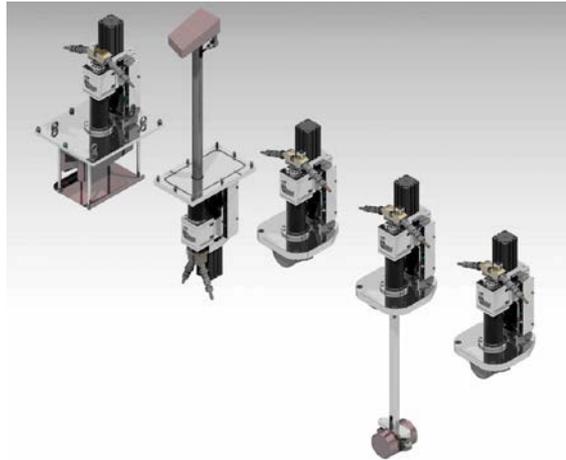


- Jeweils mindestens ein Ersatzelement (24h für Wechsel)
- Reparaturdauer 2 – 3 Tage (ATEC)
- **Kein Ersatz für Vorwiderstände (Eigenentwicklung)**

Status: **unkritisch**, Weiterentwicklung: **Extrem aufwendig**

Zyklotroneinbauten

Strahlstopper / Kollimatoren / Antriebe / Spezialmagnete



Element	Ersatz
BW2	✓
BI1	✓
BX1	✓
BY1/2	✓
BN5	✓
KIP2	✓
KIP4L/R	✓
KIV5U/O	✓
FM	✓
Wechselflaschen AXA / AXB	✗

Status: befriedigend

- Ersatzteile grösstenteils vorhanden
- 50% dokumentiert (CAD)
- Antriebe standardisiert

bedenklich

- Controls (Ansteuerung Antriebe)
- Ersatz U. Frei (derzeit G. Gamma)

Support muss von der neuen Organisation gewährleistet werden.

Anlage	Zustand	ToDo	Impact	Priorität	Termin
CW Ionenquelle	Sehr gut sehr gut	Klimatisierung (Luftfeuchtigkeit) Weiterentwicklung	A	3	2020
			A / N	3	2030+
Injektor 2	Gut	Upgrade (Resonatoren 2+4) / Verstärker Wechselflaschen AXA / AXB	A/C/N	1	2021
			A	2	2021
				2	2020
IP2	befriedigend	Dokumentation / Vakuumsteuerung / Diagnostik		2	2020
Ring	kritisch ausreichend gefährlich	Kavität 5 Vakuum (Indiumdichtungen) Dachbalken revidieren	A/C	1	2023
			A	2	2019
			N	1-2	2020
Strahllinien	Befriedigend	Dokumentation / Strahldynamik / Diagnostik Kollimatoren / Spalte	A/C	2	2023
			A/C/N	2	2021
El.stat.Elemente	Gut – sehr gut	Weiterentwicklung / Dokumentation Entwicklung neuer Vorwiderstände	N/C N/A	2	2030+ 2020
Komponenten Einbauten	gut	Strahlstopper / Kollimatoren Ersatzteile / Dokumentation / Entwicklung	N/A/C	1	2030+
Diagnostik	bedenklich	Extrem viele Varianten, kaum Ersatzteile, schlechte Dokumentation Support innerhalb neuer Organisation	A/C/N	1 - 2	

Grundsätzlich: (Teilweise) Erneuerung. Vereinheitlichung. Ersatzteile und Dokumentation verbessern.

A: Verfügbarkeit

N: kein Strahl

C: Strahlstrom

A: Verfügbarkeit

N: kein Strahl

C: Strahlstrom

Anlage	Anzahl	ToDo	Impact	Priorität	Termin
BPM's	96	Dokumentation / Ersatzteile / Weiterentwicklung <i>Vereinzelte Ausfälle akzeptabel</i>	N / A	1	2024
Strommonitore Transmission	15	Support / Weiterentwicklung / Ersatzteile Einbindung Kontrollsystem / Elektroniksupport	N / A	1	2018 2019
Profilmonitore	158	Ersatzteile / Neu- Weiterentwicklung <i>Nötig für Setup, Strahlentwicklung</i>	A / C	2	
Radialsonden	10	Reparatur / Neu- Weiterentwicklung / Revision	A / C	2	2024
Ionisationskammern Blenden, Halomonitore	129	Ersatz, Dokumentation, zusätzliche Ionisationskammern (Strahldynamik, Operation) <i>Maschinenschutz und Tuning</i>	N / A	1	sofort
Phasenmessung Umlaufzahl	22	Implementierung Kontrollsystem	A / C	3	2018
Kollimatoren	154	Ersatzteile / Neuentwicklung BX2 Ersatz (nötig für Setup)	N / A A / C	1	2030+ 2022
Zeitstruktur Emittanz	8	Inbetriebnahme <i>Nötig für Strahlentwicklung</i>	A C	3	2019
Kontrollsystem Elektronik		Entwicklung, Wartung Support CAMAC Support und Ersatz	N / C / A		2019+

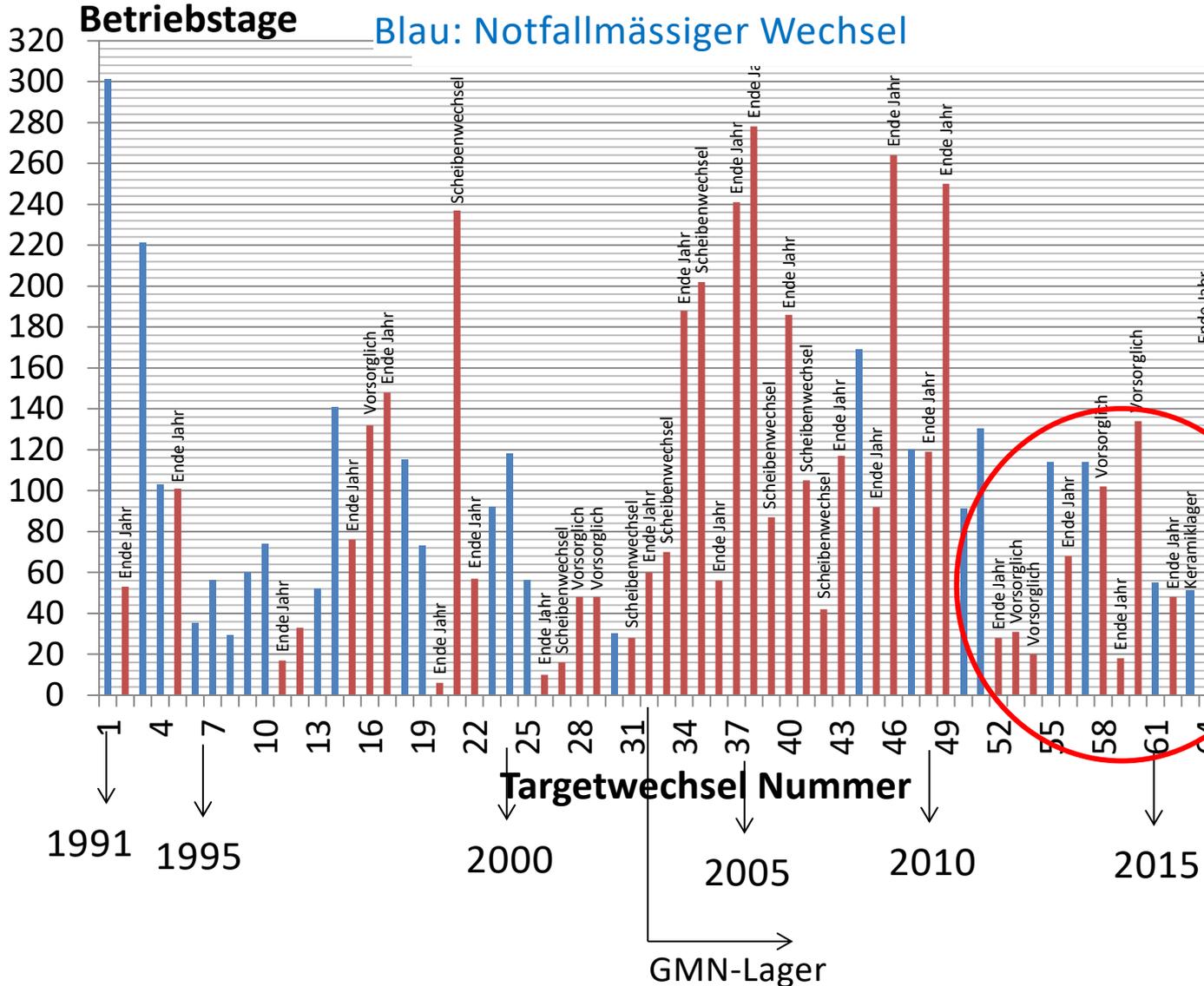
Grundsätzlich: 4 Personen für ca. 500 Diagnostikelemente ist äusserst bedenklich!
Viele Varianten (Prototypen), wenig Dokumentation, kaum Ersatzteile bzw. nicht mehr lieferbar,
kaum Wissenstransfer, mehrfach fehlender Überlapp

Status Targets und Sekundärareale

Statistik Lager Target E

Rot: Wechsel vorsorglich

Blau: Notfallmässiger Wechsel



Lager TgE
hielt ab Juni
2016 durch!

Eindruck:
kürzere Lager-
lebensdauer

Gründe (?):

- höherer Strom (?)
- UCN Betrieb (?)
- hohe DL am Lager

Status Targets und Sekundärareale

A: Verfügbarkeit

N: kein Strahl

C: Strahlstrom

Anlagenteil	Zustand	ToDo	Impact	Priorität	Termin
Target E	Gut Bedenklich	Neue Targetlager (Keramik, Hybrid, ... derzeit Koyo) Spaltung des Targets 2014	N	1	2019
HIMB	Prototyp	Höhere Ausbeute (30-50% mehr Myonen)		2	2019
Target M	Sehr gut	Kompletter Einschub bereits erneuert. Präventiver Wechsel alle 2 Jahre	N	1	2018 2019
Kollimatorsystem KHE2/3	Gut–sehr gut	Keine Ausfälle. Zur Zeit limitiert auf 2.2 mA. Neues System im Bau (3 mA möglich) Aufwendig: Entsorgung	N	2	2019
Parkierzellen	Sehr gut	2 im ATEC vorhanden Weitere 3 im Bau (Injektor 1 Bunker)			2018
Beamdump	mangelhaft	Wasserleck an bisher unbekannter Stelle (I<1.5 mA) Tausch des ersten Segments	C / N		2018-
SINQ	erweitert	Target-Entwicklung bei GFA, Betrieb NUM	C	1	
Diagnostik		Bergoz / Elliptizitätsmonitor / neue Blende	C	1	2018
Strahlrotation		Magnetsystem vor AHM Designstudie. I > 2.4 nur mit Strahlrotation möglich	C	2-3	2019?
Sekundärareale Magnete	Alt Alt	π M1 und π M3 Revision Wagen Seit 1985 eingebaut. Ersatz vorhanden. QHG22 mit Erdschluss	No muons	1	
Spinrotatoren	gut	Einer wurde ersetzt. 3 noch ausstehend			
Vakuum	befriedigend	<i>Pumpen in gutem Zustand. Dichtungen sind alt</i>	N / A		
Allgemein		Dokumentation / Entsorgung		1	2018+

- Magnete
- Hochfrequenz
- Kontrollsysteme und Messelektronik
- Speisegeräte
- Infrastruktur

Aufwand bei Ausfall



Best Case: 3 Tage

Normal: 4-6 Tage (sensationell!)

Worst Case: ?

1 Jahr (Hauptspulen Ring)

Das Projekt Ersatzmagnete...

- ... hat bereits viel erreicht
- ... verlangt noch einiges an Arbeit und Investitionen
- ... Stellt langfristig die Betriebsbereitschaft der Protonenanlage sicher

Zustand Dipole

Anlage	Magnet	Ersatzteil	Status	Ausstehend	Budget	PM
CW Injektor 2	WVB	Magnet	Vorhanden			
	AWK	Magnet	Vorhanden			
	AWA	Spulen	Vorhanden			
	AWB	Spulen	Vorhanden			
	AWC	Magnete	Vorhanden	Zusammenbau		
	AWD	Magnete	Vorhanden	Zusammenbau		
	AXA	Magnete	Vorhanden	Zusammenbau		
	AXB	Magnet	Vorhanden	Herstellen/Bestellen	50000	6
IW2	AXC	Spule	1 vorhanden	Ersatzmagnet	50000	5
	AYA	Spule				
	AXD	Spule	1 vorhanden	Ersatzmagnet	50000	5
	AXE	Spule	1 vorhanden	Ersatzmagnet	50000	5
Ring	ANC	Magnete	Vorhanden			
	AND1/2	Magnet	Vorhanden	Zusammenbau		2
	MIC	Magnet	Vorhanden			
	AHA	Magnete	Vorhanden	Herstellen/Bestellen	15000	4
	AHB	Spulen	Vorhanden	Zusammenbau		2
P-Kanal	AHC	Magnete	Spulen	Zusammenbau		3
	ABS	Spule	Vorhanden			
	AHD1/2	Spulen	Vorhanden			
	AHL	Magnet	Beschaffung 2 Jahre	Komplett herstellen	1500000	12
	AHM	Spulen	Vorhanden			
	AHN	Spulen	Vorhanden			
	AHO	Spulen	Vorhanden	Wechsel 6 Monate Abklärungen laufen		

HF – Systeme HIPA (13)

M. Schneider, M. Pedrozzi

Anlagenteil	Element	Frequenz	Leistung @ 2.4 mA	Verstärker	Impact
870 keV Line	Buncher CWB	50 MHz	160 W	1 SSA + 1 triode	No beam
	Buncher CWB3	150 MHz	30 W	1 SSA	reduced beam
Injektor 2	Resonator 1 + 3	50 MHz	~ 190 kW ~ 225 kW	1 SSA + 3 tetrode 1 SSA + 3 tetrode	No beam
	Resonator 2 + 4	150 MHz	~ 15 kW ~ 15 kW	2 SSA + 4 tetrode 1 SSA + 3 tetrode	reduced beam ~ 1.8mA
72 MeV Line	Buncher CXB	500 MHz	(15 kW)*	2 SSA + 1 tetrode	(only for beam development)
Ring	Kavität 1 - 4	50 MHz	4 x 600 kW	4 x 1 SSA + 4 tetrode	reduced beam
	Flatop Kavität	150 MHz	-30 kW (100 kW)*	1 SSA + 3 tetrode + power load	reduced beam < 1mA
	Testplatz	50 MHz	(800 kW)	1 SSA + 4 tetrode + power load	

* Max available power

- Keine < 10kW Tetroden mehr (Inj2. Upgrade)
- Reparaturdauer: 10min (z.B. Trip Res. 4) – 3h (z.B. Röhrentausch)
- Probleme: Ersatzteile, Dokumentation, Know-How Transfer

Anlage	Anlage / System / Element	Risiken und Massnahmen	Investition	Termin
Gebäudetechnik	Klima / Lüftung (100 Anlagen, 20 MCHF Wiederbeschaffung) Steuerungssatz ATEC, WIHA, SINQ Krane (45) Priorität Hallenkran	Präv. Unterhalt Sanierungsmassnahmen	670 kCHF 160 kCHF 680 kCHF 200 kCHF	2018 2019 2023 ?
Elektroanlagen Elektroversorgung	UPS / Kabel / Schalter / Beleuchtung ... Netzversorgung / Netzwischer	Eigene Systeme tauschen / erneuern Beobachten (USV unrealistisch für HIPA)		laufend
Steuerungssysteme	PSYS (22 Areale) SPS-Systeme HF, Vakuum, Wechselflaschen, Netzwerkverkabelung Magnetüberwachung, SU-Systeme IP2-Steuerung	Erneuern, Reparieren, Beobachten, Rückbauen		laufend
Speisegeräte	AHA,AXA/B,AXD,AXC,AXE,BBC FMD/Q,AYA/B, AIHS,WEU,WEV Weitere 90 Speisegeräte	Erneuerungsprogramm Permanente Kontrolle	500 kCHF/a 2.5 MCHF	2018 2019 2025
Prozesskühlung	Aarewasser Grundwasser Sekundärkühlkreise Tertiärkühlkreise (Messtechnik im Strahlenfeld) HFO (Hochfrequenz, 20 Jahre alt)	Ersatz SPS (55) Korrosion, Erstz der Leitungen Messtechnik / Steuerung / Verkabelung Effizienzsteigerung gesetzlich Effizienzsteigerung gesetzlich Nächste Sanierung Messtechnik, SPS, Effizienz	2 MCHF 220 kCHF/a 300 kCHF/KK Studie Studie Studie	2 Etappen 2022 2030 -2020 (Konzept)
Vakuum	Steuerungen und Komponenten Kissendichtungen Target E	Austausch alter SPS «Schleifen ohne Partikel»		2018+

Grundsätzlich: laufende Revisions- und Upgrade-Programme weiter verfolgen
Läuft bisher sehr gut!

	Thema / Problem	Massnahmen	Termin
Controls	Kontrollsystem Hardwareausfälle alter Systeme	Standardisierung Hardware, Software und Schnittstellen Regelmässiger Tausch, Wartung, Ersatzteilhaltung, Lebenszyklusplanung, Unabhängigkeit von Lieferanten	2018+
	Anlagendokumentation	Systemverantwortlichkeit, Know-How Übertrag (auf mehrere Personen)	Gestern
	Ansteuerung Antriebe, Messsysteme (Firm- und Hardware)	Zuständigkeit, Verantwortlichkeiten, Schnittstellen definieren	Zu spät
Elektronik	CAMAC (Ersatz vorhanden) auf VME Diagnostik	CAMAC Support und Umstellung VME Systemverantwortlichkeit definieren, Support durch Elektronik muss gewährleistet werden. Betreuung BPM's.	2025 morgen

- Support muss in der neuen Organisationsstruktur gewährleistet sein
- Systemverantwortlichkeit und Schnittstellen definieren
- Know-How – Übertrag (auf mehrere Personen, z.Zt. Truck Factor = 1)

HIPA

- Injektor 2 – Upgrade (2020)
- Wechselflaschen AXA/AXB (2020)
- Dachbalkenrevision (2018-2022)
- Diagnostik: Dokumentation, Ersatzteile, Vereinheitlichung

Personalsituation (3 Personen)

Targets und Sekundärareale

- Weiterentwicklung Targets (Kugellager, HiMB) 2019
Kollimatoren (Strahlstrom) 2019
- Beamdump (Wasserleck, Leistungserhöhung > 1.7 mA?) 2018+
- SINQ Strahlrotation (Betriebssicherheit, I > 2.4 mA) 2019?
- Revision Spinrotatoren

HF

- Kavität 5 – Ersatz Flattop und Verstärker (2023)
Problem: kein 150 Hz – Messplatz
- Ersatzteile 1/10 kW Verstärker -> Solid State (wie Injektor 2)
- Sanierung LLRF, Treiber und Endstufen (PS und Steuerung)

Magnete

- Magnete: Ersatzprogramm weiterverfolgen
- **AHL** und **AHO**
- Sekundärareale? Stellt natürlich nicht den Beschleuniger ab

Infrastruktur

- Erneuerungsprogramme weiterverfolgen (Speisegeräte, Kühlung, PSYS, Gebäudetechnik)
- Effizienzsteigerung (Gesetzlich, Leistungssteigerung)
- Vakuum: Steuerung, Dichtungen
- Support Kontrollsysteme und Elektronik definieren

Alle

- Personalbedarfsmeldungen schreiben
- Know-how Weitergabe
- ***.Leiter: freie Stellen sinnvoll zuordnen**

User informieren und auf dem Laufenden halten!



ca. 150 Personen arbeiten für
HIPA, vermutlich mehr....

ca. 50 Personen arbeiten
ausschliesslich für HIPA

Direktion stellt den Betrieb von HIPA bis 2030+ in Aussicht

Alle Fachgruppen

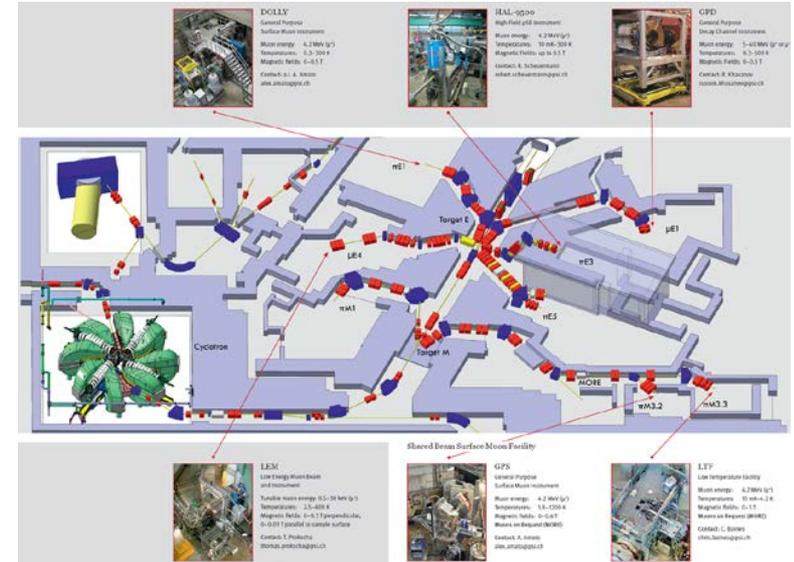
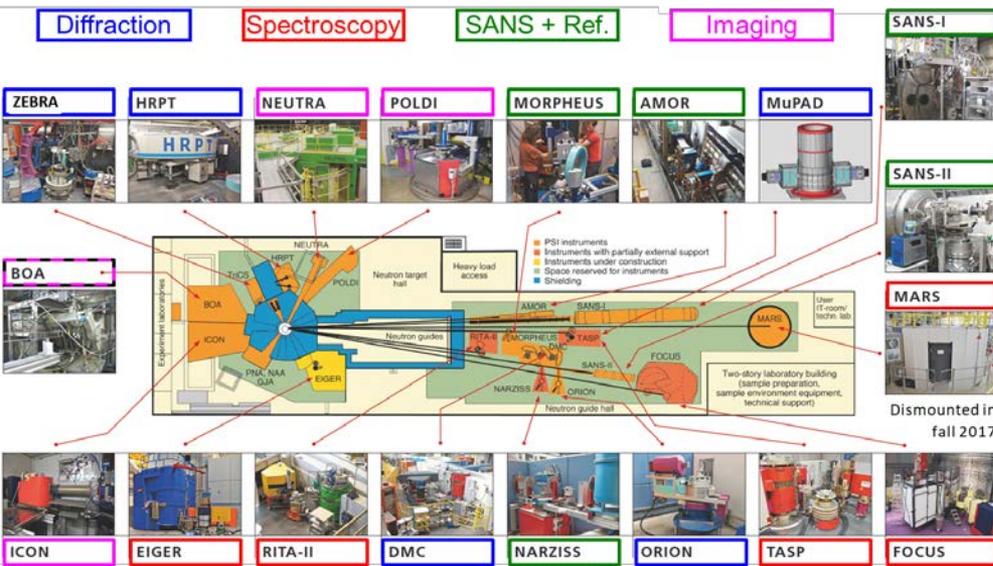
- tragen hochmotiviert dazu bei
- haben Risiken identifiziert und Lösungen präsentiert

Bis 2025 sind ca. 25 Mio. Franken zusätzlicher Investition nötig

- Ressourcen werden abgezogen bzw. *freigespielt* (SLS2.0, ..., TX)
- Keine Aussage zur Priorität von HIPA

Ohne klare Entscheidungen und Ressourcenzuteilung

- Fehlen Ressourcen
- Sinkt die Motivation
- Steigt das Risiko des Stillstands



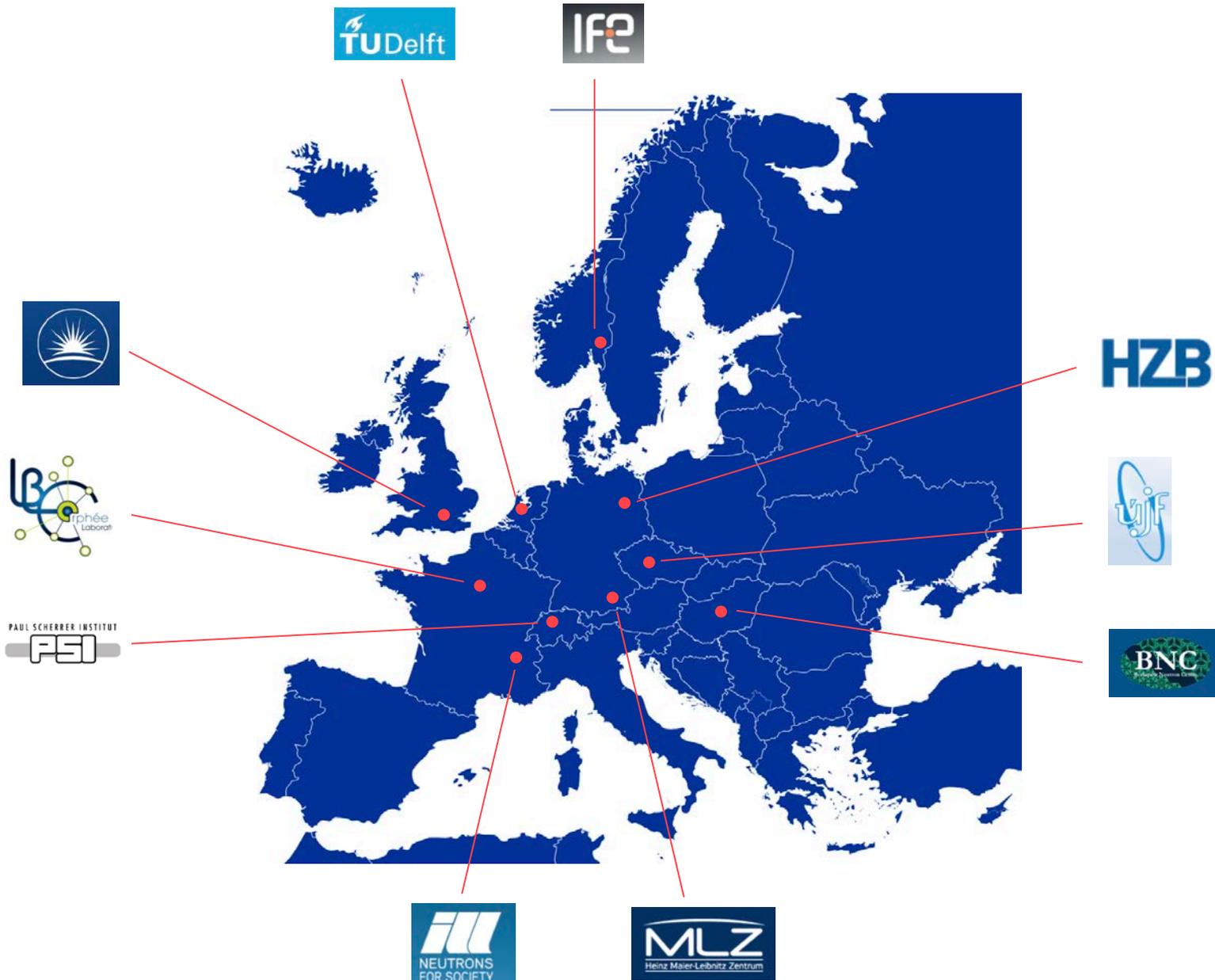
Bei einem Jahr Stillstand fallen weg:

- ca. 2000 Userbesuche
- ca. 750 Experimente und 3300 Experimententage
- 300 Publikationen (davon 35 high impact) ~ 1.3 Publikationen pro Betriebstag!

Es wären insgesamt 145 Personen verfügbar (60 LNS, 20 LMU, 40 LTP, 100 BSQ, 12 LDM)

- SINQ und UCN Upgrade?
- Reichen SLS, SwissFEL für das gute Image des PSI?
- Das basiert auch auf der guten Verfügbarkeit von HIPA
- Worst case: HIPA-Stillstand und SLS-Upgrade gleichzeitig

Neutron/muon facilities in Europe (2017):



Neutron/muon facilities in Europe (2020+):

more than 300 users per year



Verfügbarkeit 1994 – 2016 (I > 1 mA)

SINQ Inbetriebnahme
Dezember 1996

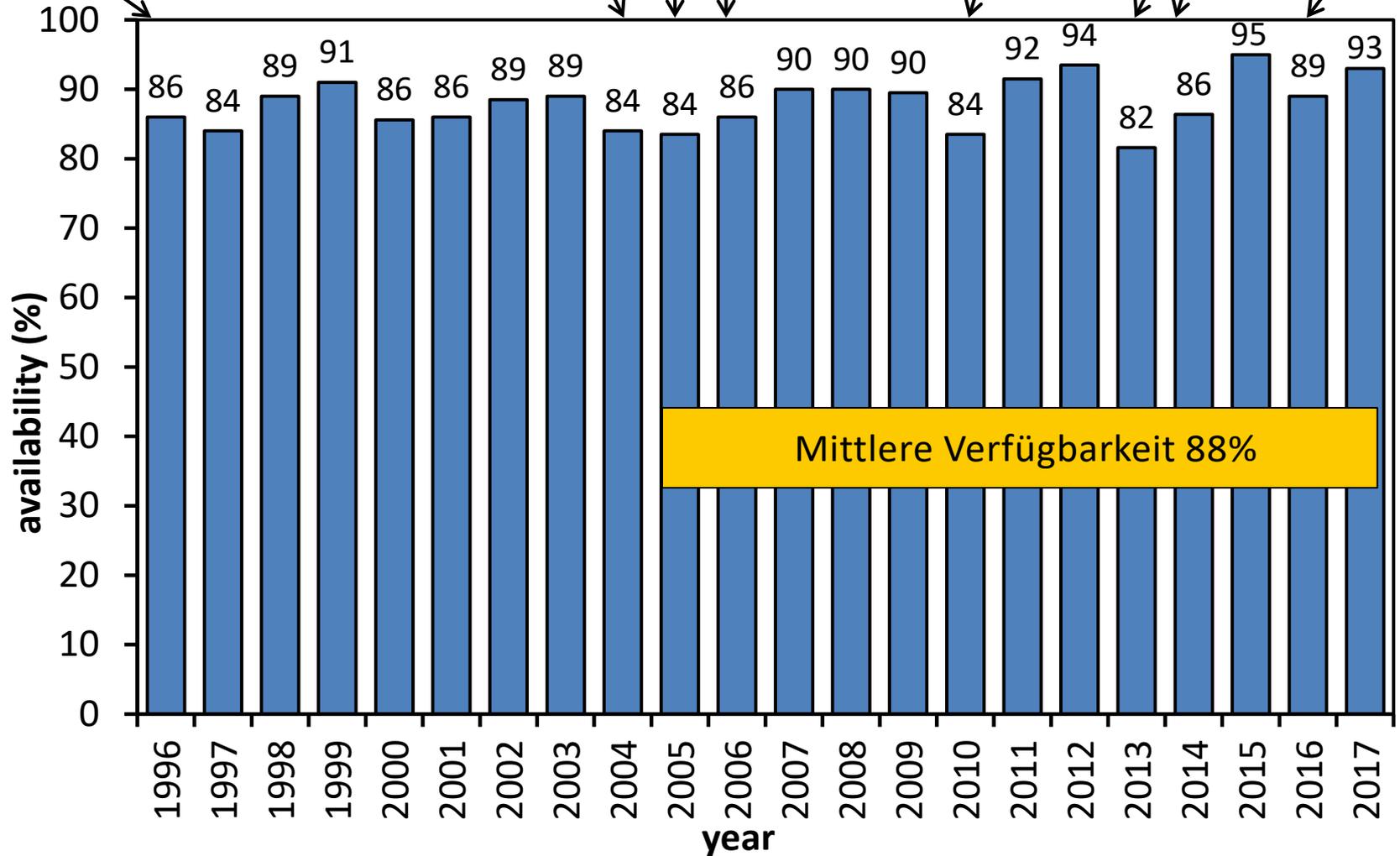
Schaden verursacht
durch Hauptstrahl

Elektrostatische
Elemente (Isolatoren)

Plasma Entladungen
Ring Zyklotron

Flattop
Probleme

Beam-
dump



Mein Dank geht an

- Meine Kollegen
- Eure Aufmerksamkeit

Mein besonderer Dank geht an alle Kollegen, die unbeirrt und hochmotiviert beim Betrieb und der Weiterentwicklung der Anlage helfen.

