

# Status S-DALINAC \*



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

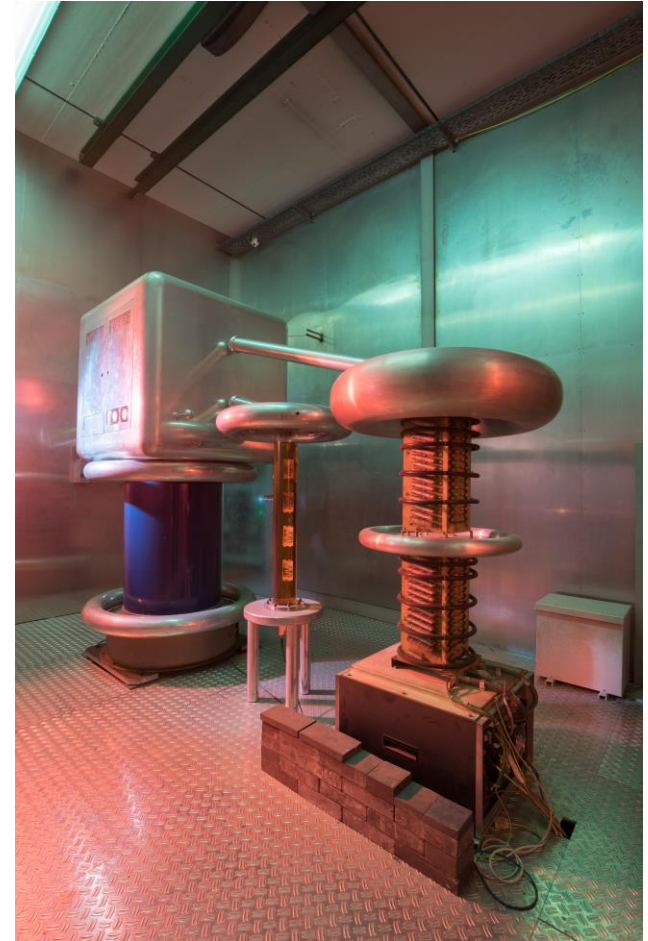


*Photo: Jan-Christoph Hartung*

\*Supported by DFG through GRK 2128, INST163/383-1/FUGG and BMBF through grant No. 05H15RDRBA

# Outline

- Overview S-DALINAC
- LINAC – alignment
- Commissioning accelerator hall
- First ERL operation (single-turn)
- Concluding tasks
- Schedule until mid-2018
- Summary

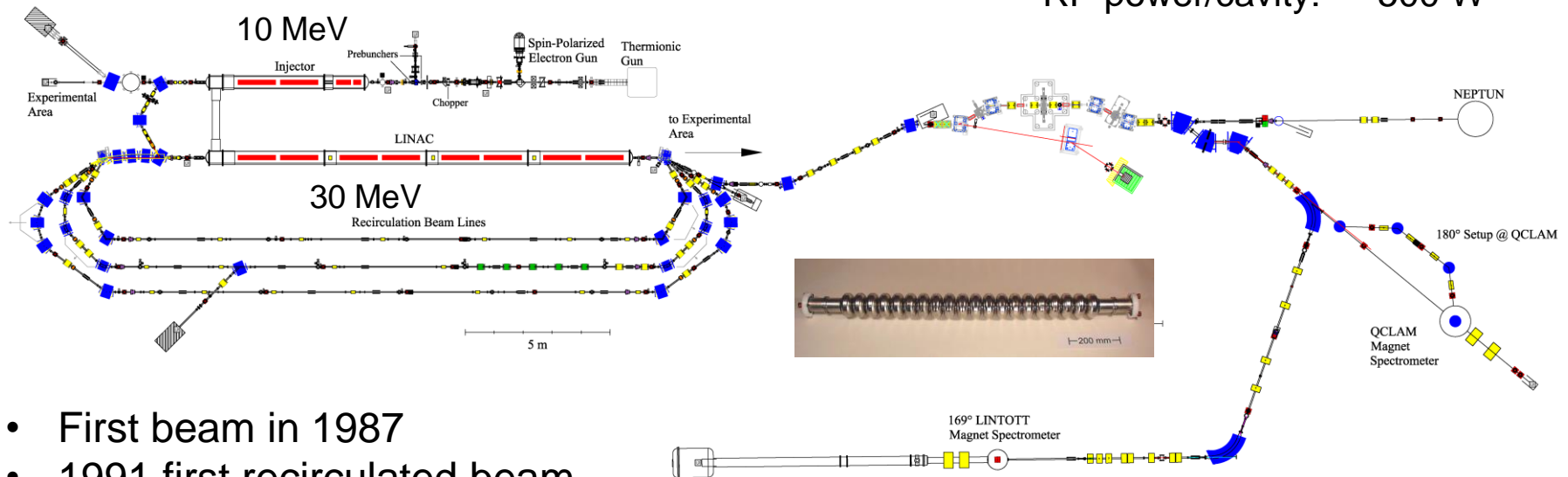


# S-DALINAC Overview

- Built in the 1980s
- 12 Nb-SRF Cavities,  $\lambda = 0.1$  m
- Liquid helium @ 2 K
- Cryo-plant: 120 W cooling power

## Parameters:

Max. Energy:	130 MeV
Beam Current:	20 $\mu$ A
Duty cycle:	cw
Frequency:	3 GHz
RF-power/cavity:	500 W



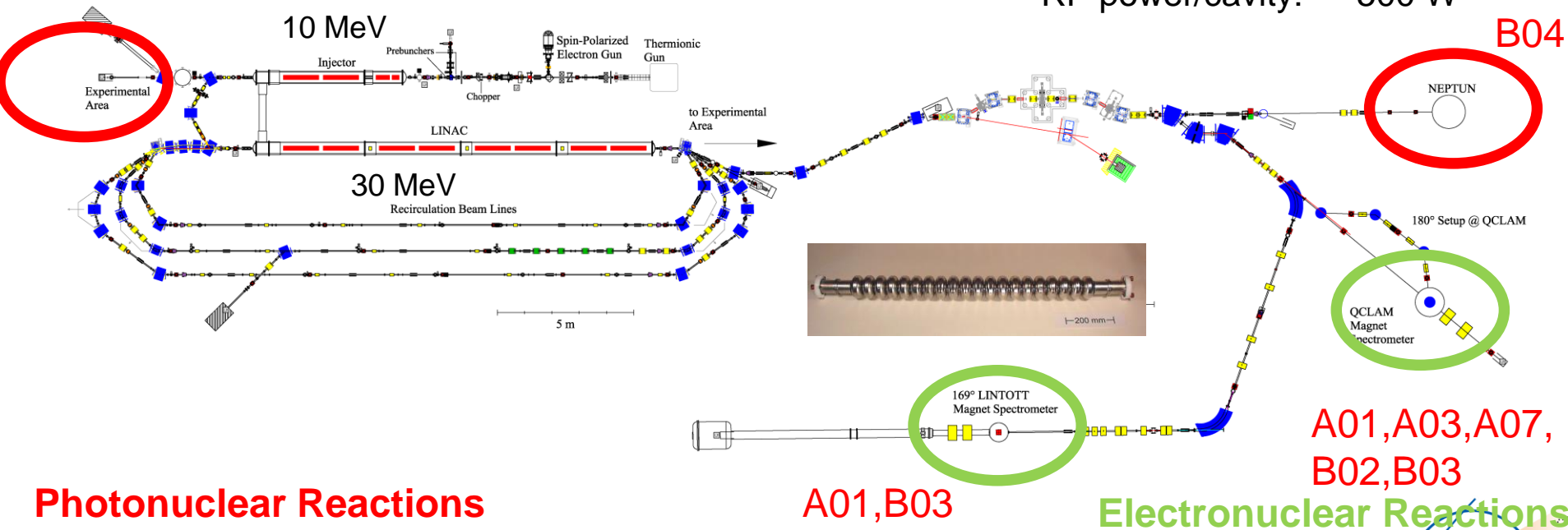
- First beam in 1987
- 1991 first recirculated beam
- 3rd recirculation in 2016

# S-DALINAC in the SFB 1245

## Parameters:

Max. Energy:	130 MeV
Beam Current:	20 $\mu$ A
Duty cycle:	cw
Frequency:	3 GHz
RF-power/cavity:	500 W

A01,A03,B03

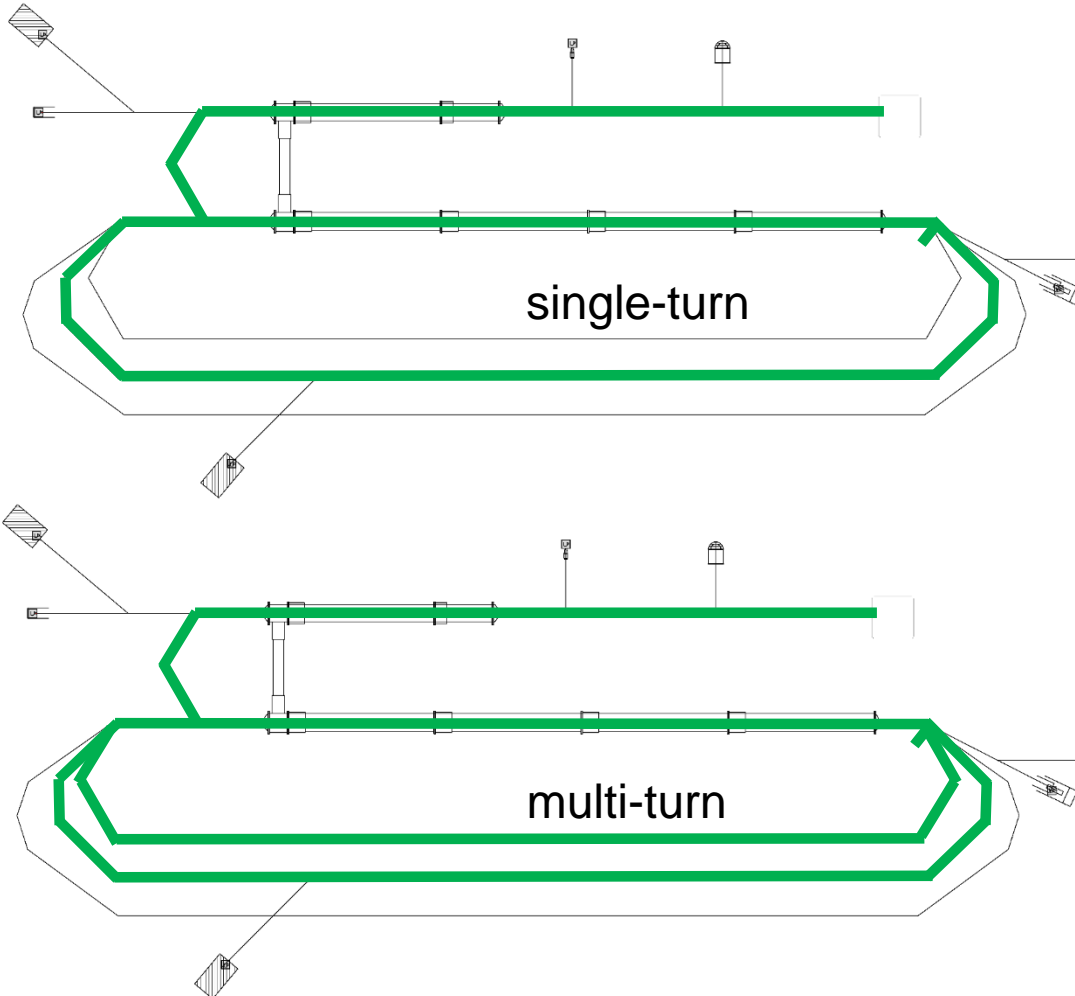


Photonuclear Reactions

A01,B03

Electronuclear Reactions

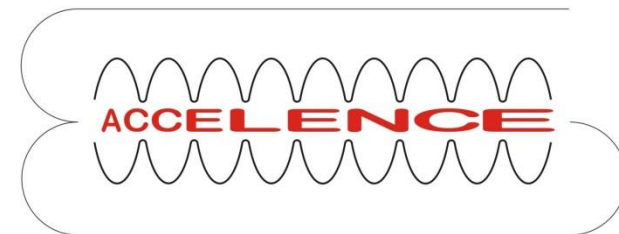
# + ERL Operating Schemes



## Recirculating ERL

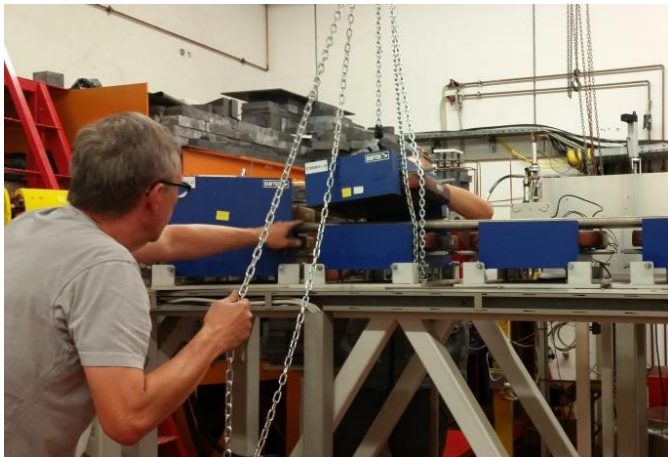
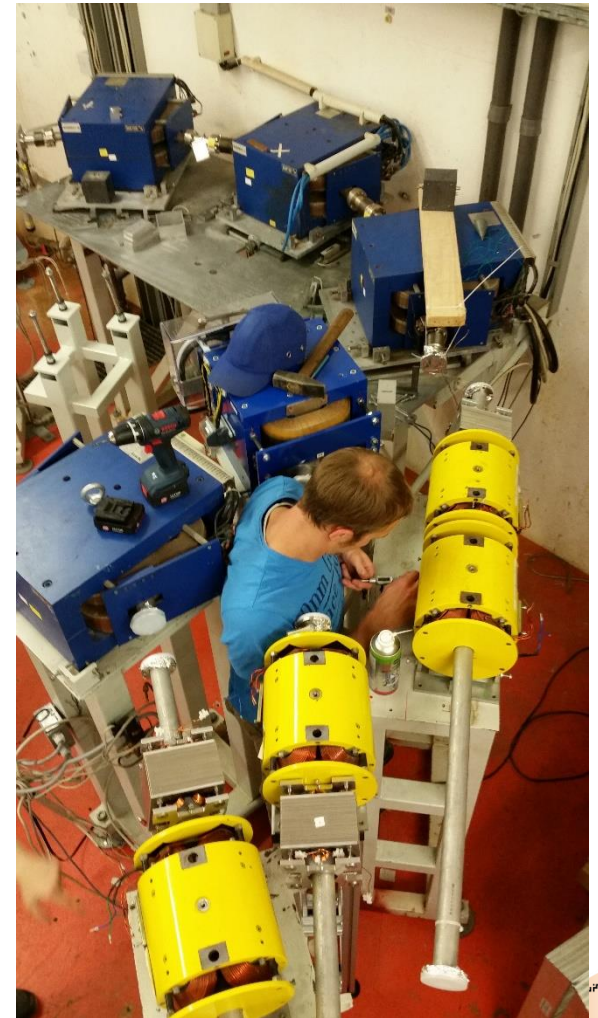
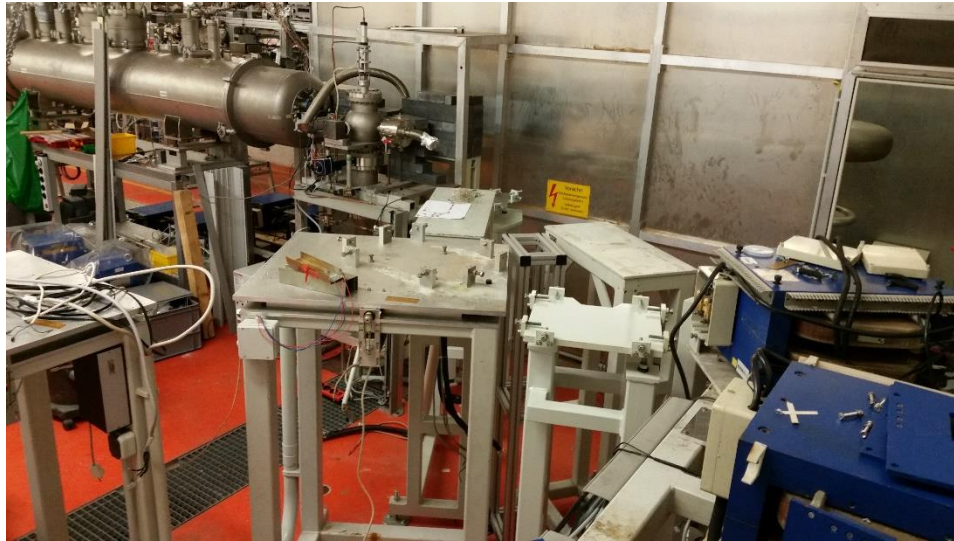
Beam dynamics for non-isochronous ERL to be investigated... (world-first)

GRK 2128



JOHANNES GUTENBERG  
UNIVERSITÄT MAINZ

# Third recirculation beam line (2016)



# Installing a new beam line

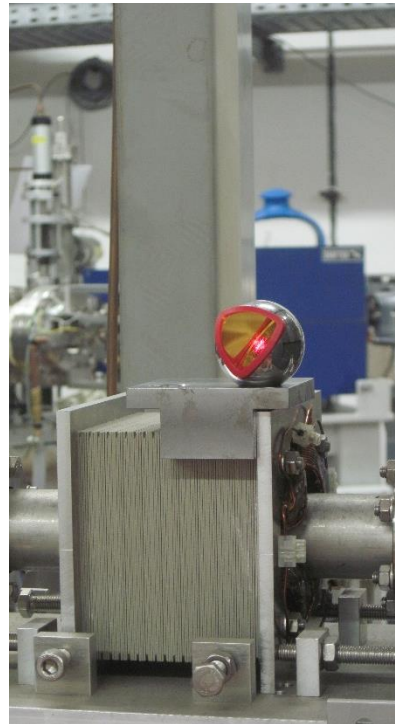


TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

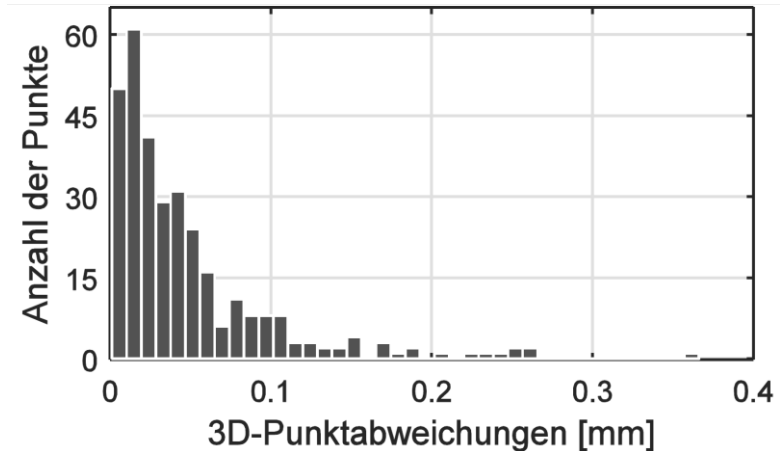


# Precision of Beam-Line Positioning

- Precision requirements based on worst-case estimates from beam-dynamics simulation (*elegant*): 0.5 mm → geodesic laser tracking



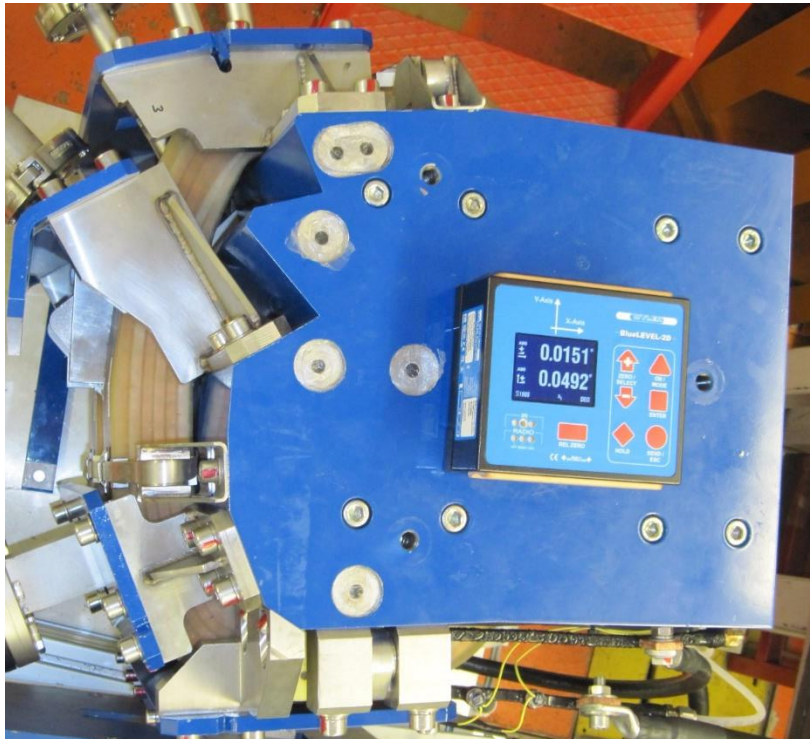
- Reproducibility of wall-tags and magnet bores: 0.02 mm
- Reproducibility of magnet-corner adapters:





# Pitch and Inclination Angles

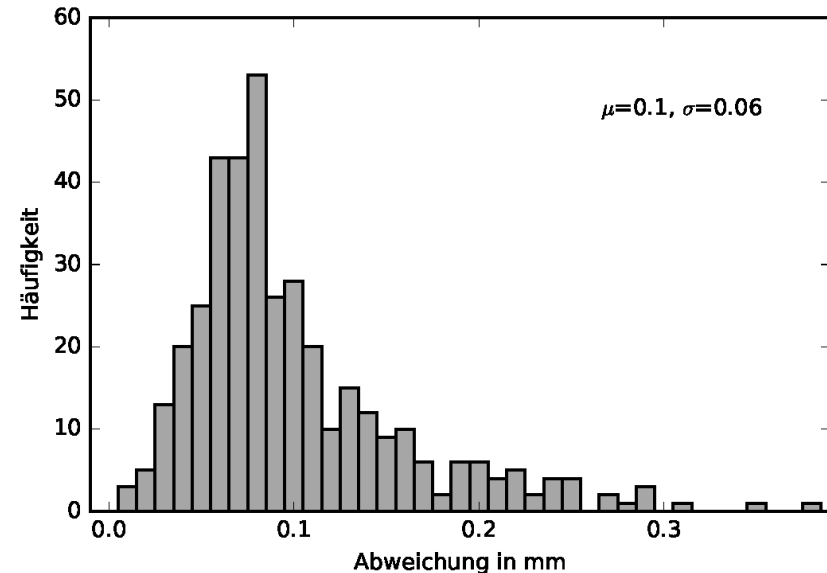
- Pitch corrections about horizontal axes (x, z)
- Inclination correction about vertical axis (y)



# Overall Precision of Positioning

## Precision of positioning

- 3D-Residues
- 41 points of view
- 6 – 12 measurements per p.o.v. (9.3 on average)



Method	Accuracy
Lasertracker – adjustment bores	$(0.10 \pm 0.06)$ mm
Lasertracker – corner adapters	$(0.15 \pm 0.11)$ mm
Pitch measurements	$(0.006 \pm 0.007)^\circ$

# Precision Achieved

## Position in mm (1D-Residues)

Type	Horizontal (x)	Vertical (y)	Beam Axis (z)
Dipole	$0.27 \pm 0.12$	$0.20 \pm 0.14$	$0.17 \pm 0.13$
Quadrupole Typ 1	$0.27 \pm 0.11$	$0.19 \pm 0.12$	$0.23 \pm 0.18$
Quadrupole Typ 2	$0.32 \pm 0.16$	$0.21 \pm 0.17$	$0.28 \pm 0.23$
Sextupole	$0.33 \pm 0.18$	$0.29 \pm 0.22$	$0.15 \pm 0.11$

Precision of measurement-method, no target position used and thus no residues to it

Type	Tilt in ° around x and z
Dipole	$0.020 \pm 0.019$
Quadrupole Typ 1 und 2	$0.057 \pm 0.051$
Sextupole	$0.104 \pm 0.084$

# Publications

Fachbeitrag

Lösler et al., Hochpräzise Erfassung von Strahlführungselementen ...

## Hochpräzise Erfassung von Strahlführungselementen des Elektronenlinearbeschleunigers S-DALINAC

Michael Lösler, Michaela Arnold, Hermann Bähr, Cornelia Eschelbach, Thore Bahlo,  
Ruben Grewe, Florian Hug, Lars Jürgensen, Philipp Winkemann und Norbert Pietralla

346 | *zfv* 6/2015 140. Jg.

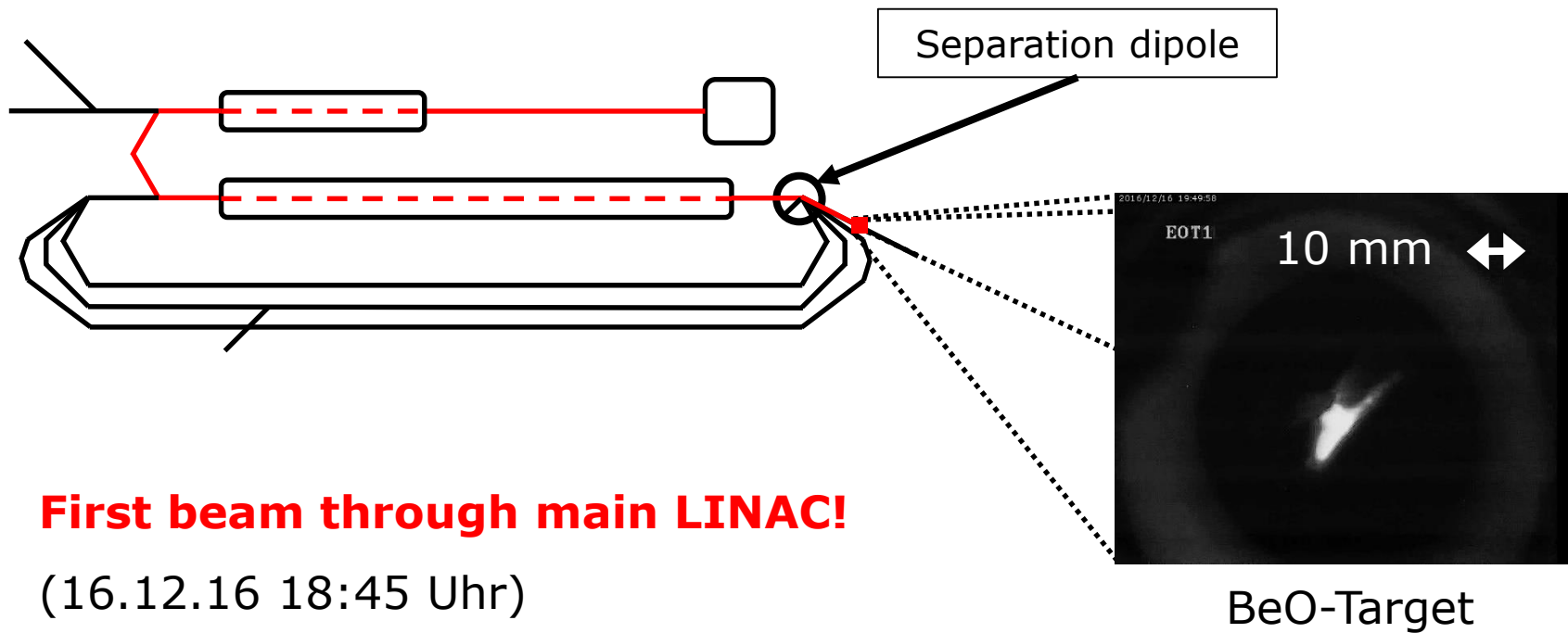
C. Eschelbach, M. Lösler, P. Winkemann, M. Arnold, N. Pietralla,  
"Einsatz mobiler Lasermesstechnik bei der Erfassung von  
Strahlführungselementen eines Elektronenbeschleunigers",,  
Allg. Verm. Nachr. **127**, Vol.3, 61 (2017).

M. Arnold, T. Kürzeder, J. Pforr, N. Pietralla, M. Steinhorst, F. Hug,  
"CONSTRUCTION OF A THIRD RECIRCULATION FOR THE S-DALINAC"  
Proceedings of LINAC2016, East Lansing, MI, USA, p.168 – 170, ISBN 978-3-95450-169-4.

M. Arnold, R. Grewe, J. Pforr, N. Pietralla, C. Eschelbach, M. Lösler, F. Hug, T. Kürzeder,  
"CONSTRUCTION AND STATUS OF THE THRICE RECIRCULATING S-DALINAC"  
Proceedings of IPAC2017, Copenhagen, Denmark, p.1384 – 1387, ISBN 978-3-95450-182-3.



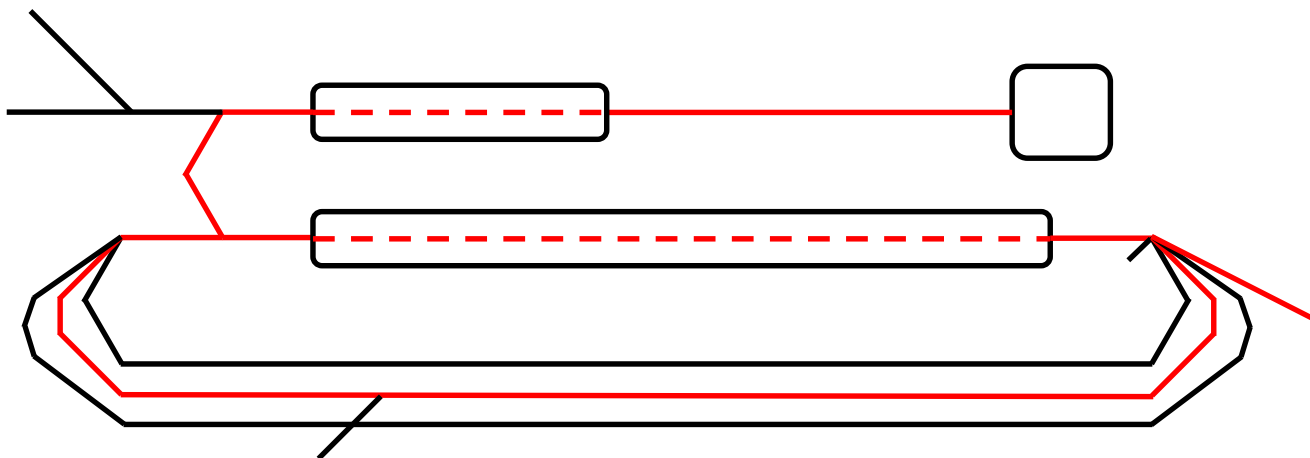
# Commissioning the new S-DALINAC



# Commissioning Single-Turn Acceleration

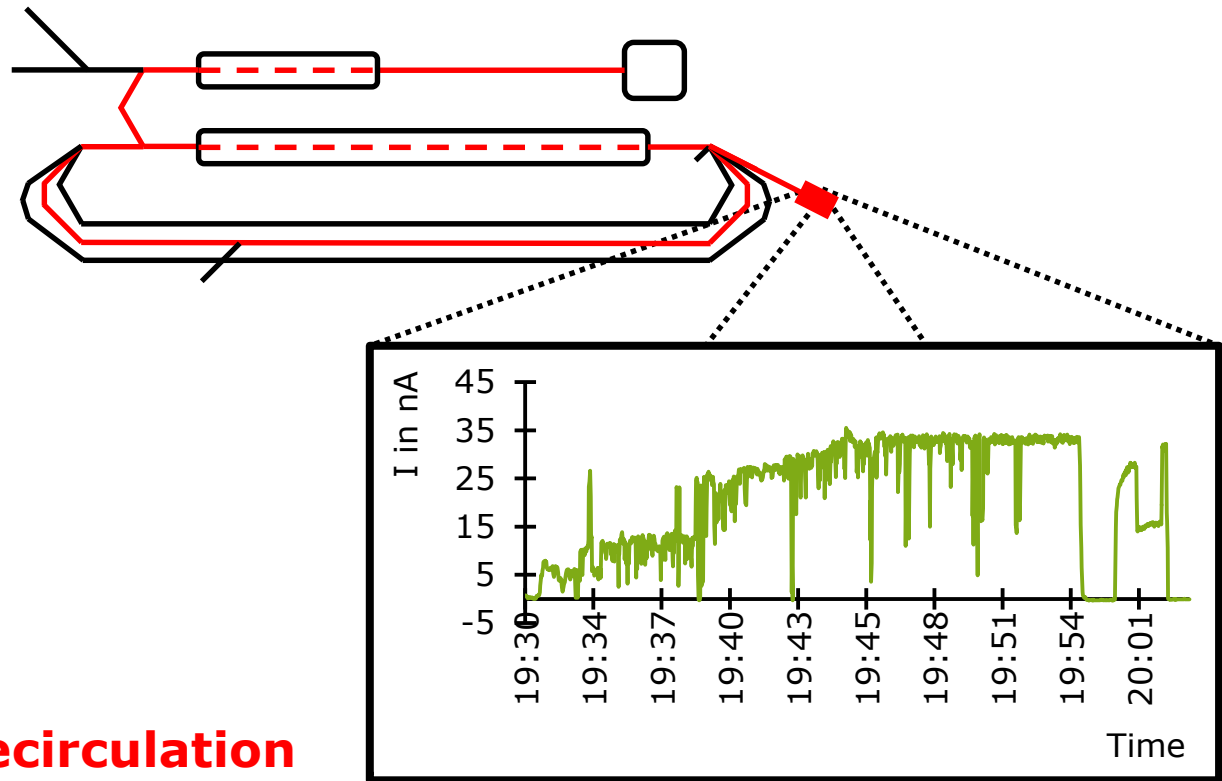


TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



- 100 % Transmission on E0F1 for up to 4.5  $\mu\text{A}$  (not yet limited)
- Beam loss very small; biggest losses at separation dipol
- 2 last LINAC quadrupole magnets currently malfunctioning  
→ even lower losses expected when repaired

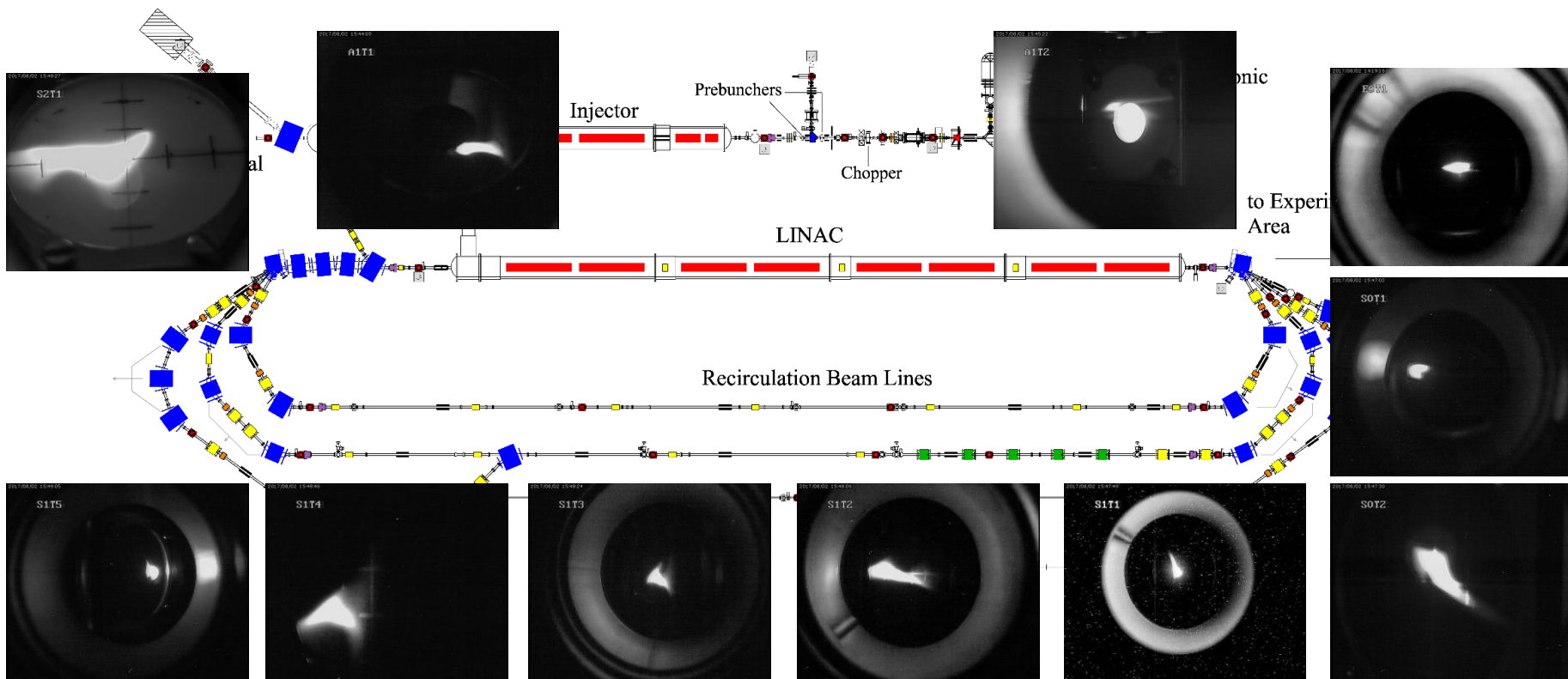
# Long and Stony Road to Go



**First beam in new recirculation  
beam line and twice through  
main LINAC!** (May 2017)

Transmission of  $\sim 35\%$

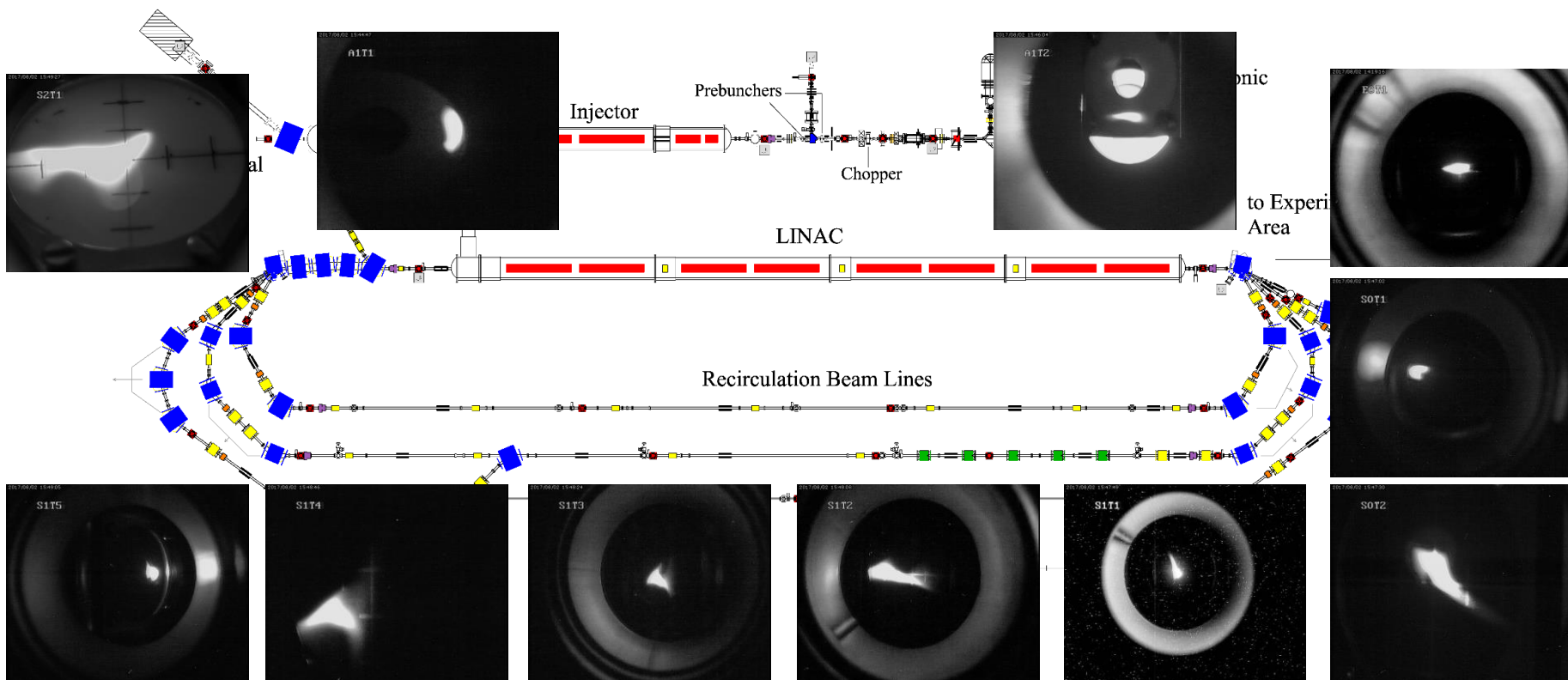
# Single-Turn Acceleration: S-Beam Line



Bilder: 2. August 2017

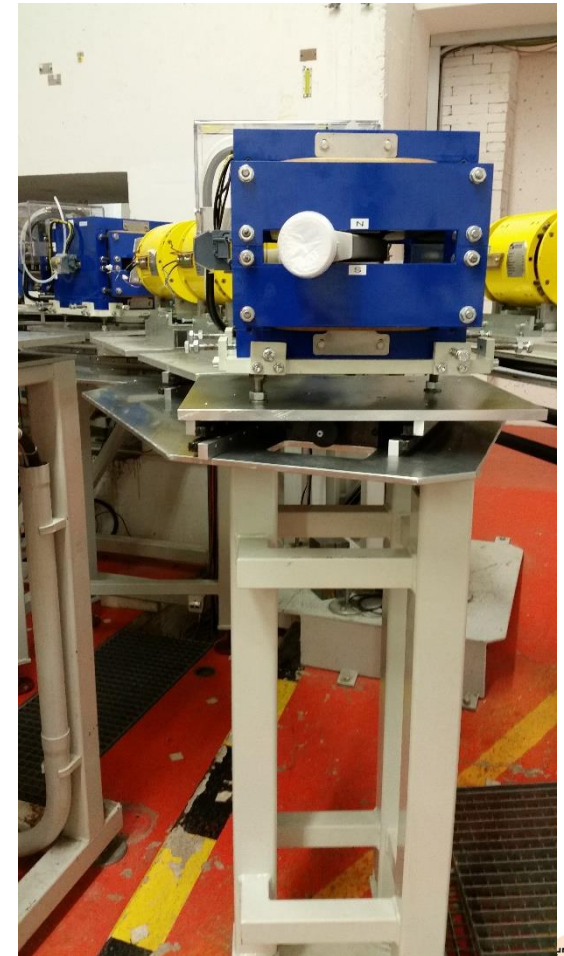
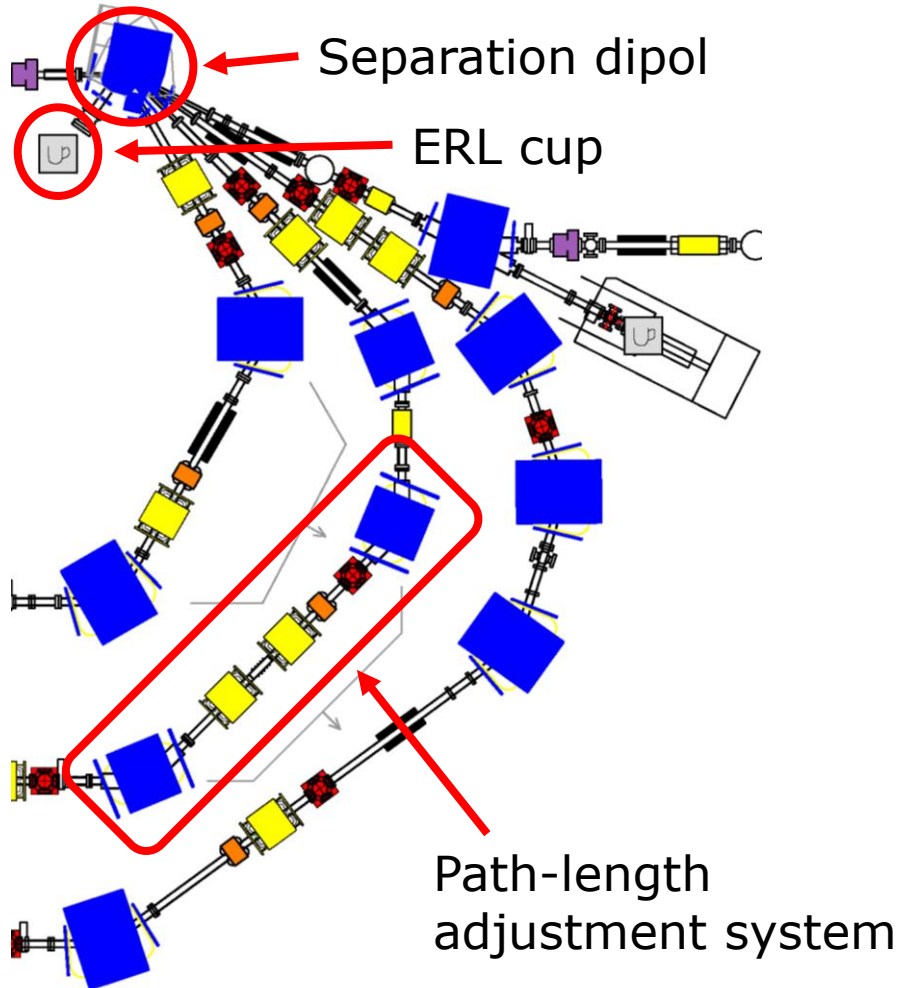


# Single-Turn Acceleration: S-Beam Line

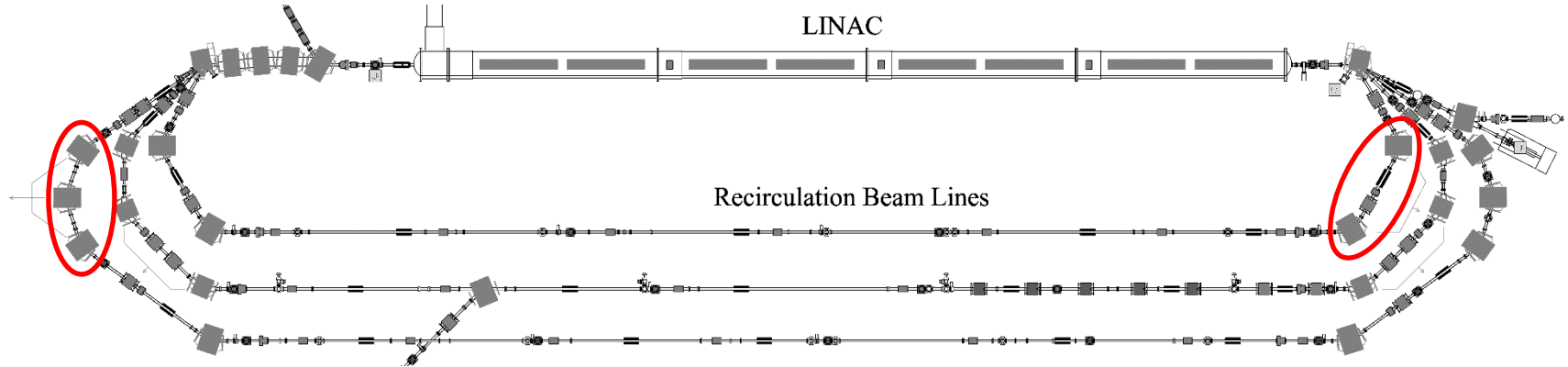


Bilder: 2. August 2017

# Path-length adjustment for recirculation

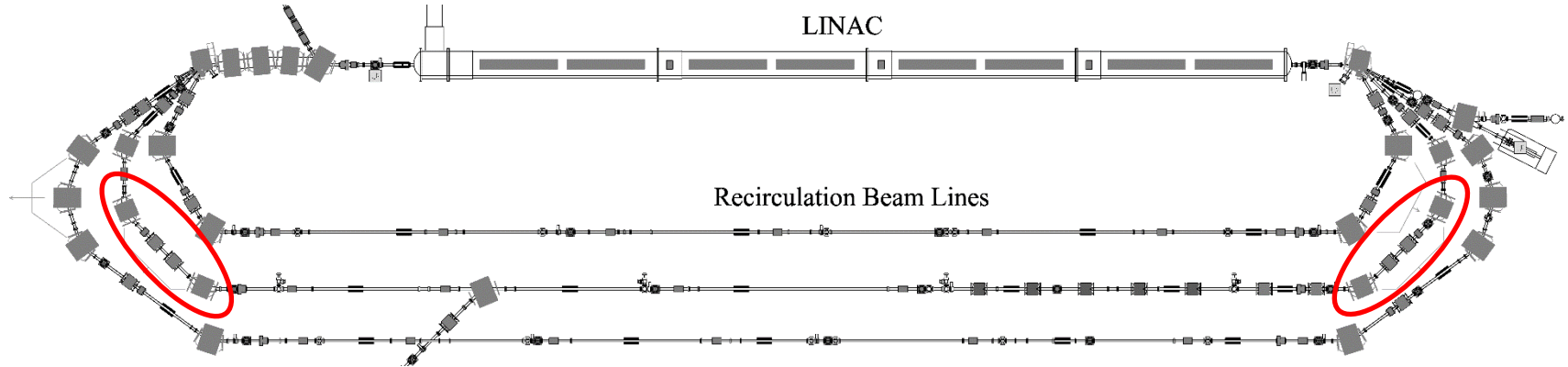


# Pathlength Adjustment System



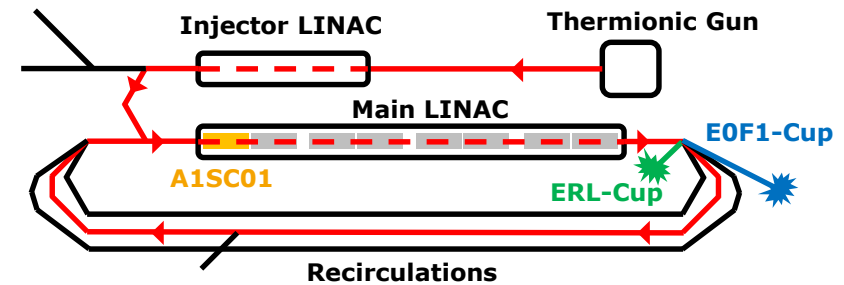
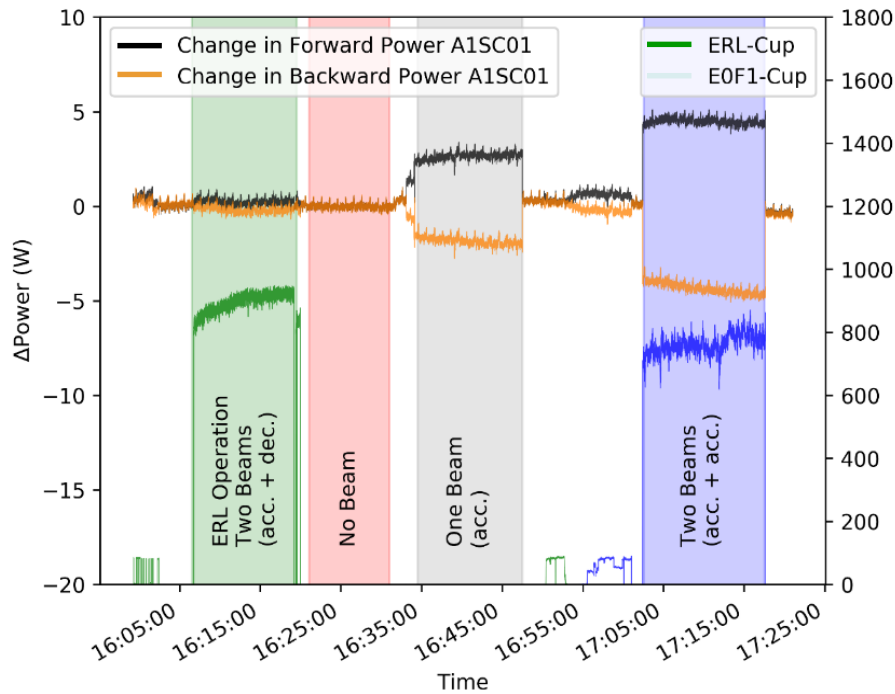
- Adjusting the phase of the beam re-entering the main LINAC
- Existing systems in old recirculation beam lines
  - Stroke F measured: 33.76 mm
  - Stroke T measured: 30.62 mm

# Pathlength Adjustment System



- Adjusting the phase of the beam re-entering the main LINAC
- Existing systems in old recirculation beam lines
  - Stroke F measured: 33.76 mm
  - Stroke T measured: 30.62 mm
- New systems are capable of full RF wavelength adjustment
  - Stroke measured:  $(50.21 + 50.57) \text{ mm} = 100.78 \text{ mm}$

# Single-turn Energy-Recovery LINAC



- First ERL in Germany
- Potentially first superconducting multi-turn ERL in the world (next year...!)

Physik Journal,  
Okt. 2017, p.7



## ■ Energie erfolgreich zurückgewonnen

Der S-DALINAC in Darmstadt läuft als erster deutscher Linearbeschleuniger auch im „Energy Recovery“-Modus.

Fast scheint es zu schön, um wahr zu sein: Wenn Teilchenstrahlen einen Hochfrequenzbeschleuniger zweimal durchlaufen, können sie nach einem geeigneten Phasenversatz beim zweiten Mal auch ihre Energie an die Anlage zurückgeben, anstatt weiter beschleunigt zu werden. Im Idealfall ohne Verluste käme der Beschleuniger nach der ersten Runde ohne weitere Energiezufuhr aus – ähnlich wie ein Hybridauto. Dieser Betriebsmodus wurde Anfang August am supraleitenden Elektronenlinearbeschleuniger (S-DALINAC, Superconducting Darmstadt electron linear accelerator) an der TU Darmstadt realisiert – damit ist die Anlage der erste Energy Recovery Linac (ERL) Deutschlands.

Bereits seit Anfang der 1990er-Jahre ist der Beschleuniger am Institut für Kernphysik in Betrieb. Die Anlage war von Beginn an nicht nur für Experimente zur Kernstrukturphysik vorgesehen, sondern diente immer auch dazu, die Eigenschaften einer solchen Maschine im Betrieb zu erforschen. Die Herzstücke des Beschleunigers – supraleitende Hochfrequenz-Kavitäten aus Niob – finden sich in ähnlicher Form auch in modernsten Großforschungseinrichtungen wie dem Jefferson Lab in Virginia und dem European XFEL in Hamburg. „Mit dem erfolgreichen Betrieb im ERL-Modus schreiben wir ein weiteres Kapitel in unserer Geschichte als Forschungs- und Demonstrationsbeschleuniger“, freut sich Norbert Pietralla, der geschäftsführende Direktor des Instituts für Kernphysik.

Ab Ende 2015 wurde die Anlage innerhalb von 18 Monaten mit einer dritten Rezirkulation ausgestattet. Die Kosten des Umbaus von etwa 400.000 Euro trugen DFG und Universität gemeinsam. Diese Erweiterung erlaubt es einerseits, den Elektronenstrahl dreimal durch den Linearbeschleuniger zu leiten und so höhere Energien für die



Der Elektronenstrahl durchläuft den Hauptbeschleuniger des S-DALINAC (hinten Mitte) mehrmals. Dabei bewegen sich die Teilchen auf drei Driftstrecken

verschiedenen Experimente zu erreichen. Andererseits ergab sich die Gelegenheit, die Anlage auf einen Betrieb als ERL vorzubereiten. Im ERL-Modus gewinnen die Elektronenpakete nach der Injektion im Hauptbeschleuniger Energie, weil sie in Phase mit der beschleunigenden Hochfrequenz sind. Nach einem Phasenversatz um 180 Grad auf der Driftstrecke erreichen sie den Hauptbeschleuniger so, dass sie abbremsen und im Strahlfänger mit niedriger Energie stoppen. Am S-DALINAC lässt sich dieser Phasenversatz durch eine Variation der Driftstrecke um fünf Zentimeter erreichen.

Wenn es gelänge, den ERL-Modus auch nach zweimaligem Durchlaufen der Beschleunigungsstrecke zu realisieren, wäre der S-DALINAC der erste mehrfach rezirkulierende, supraleitende ERL weltweit. Diese Technik ist für verschiedene Anwendungen interessant: Zum einen wäre der brillante, intensive und ungeladene Elektronenstrahl die ideale Quelle für einen Gammastrahl mit geringer Energiebreite und höchster Intensität. Zum anderen könnte zukünftig ein solcher ERL am CERN entste-

(rechts), die wie eine Rennbahn angeordnet sind. Bei geeigneter Länge ist es möglich, die Anlage als Energy Recovery Linac zu betreiben.

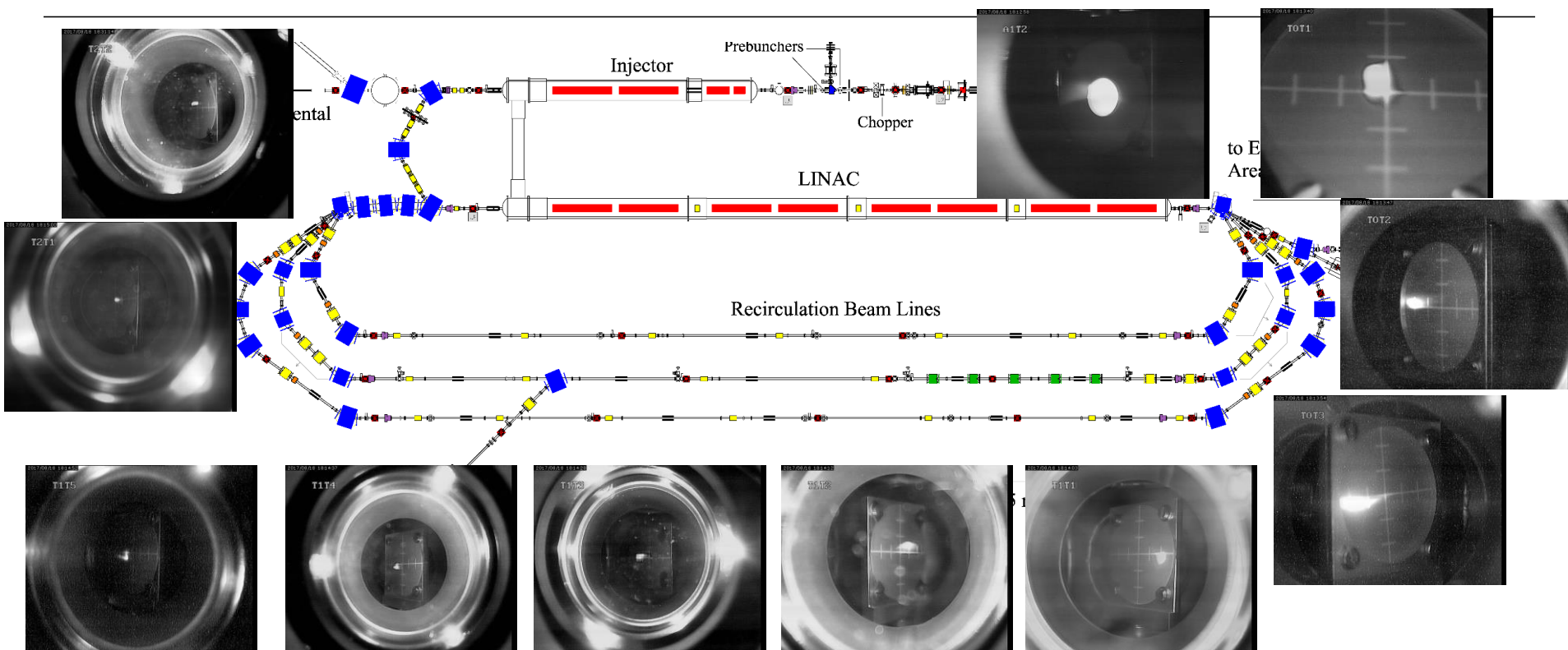
hen.<sup>1)</sup> „Um die Designparameter des Large Hadron Electron Collider zu erreichen, braucht man ohne ERL ein 2-GW-Kraftwerk für den Elektronenbeschleuniger“, stellt Norbert Pietralla fest. Elektronen mit bis zu 2 GeV Energie sollen mit Hadronen aus dem LHC kollidieren. Aufgrund der kleinen Wirkungsquerschnitte sind Strahlströme von einem Ampere notwendig. „Ohne ERL wäre das nicht finanzierbar!“

Im Rahmen des Graduiertenkollegs AccelE arbeiten die Darmstädter eng mit der Universität Mainz zusammen. Dort soll mit MESA im Rahmen des Exzellenzclusters PRISMA in den kommenden Jahren ein ERL entstehen, der Energien erreicht, die nur etwas höher liegen als am S-DALINAC.<sup>2)</sup> Allerdings sind Strahlintensitäten vorgesehen, die mit über tausend Elektronen pro Sekunde und Quadratzentimeter mehrere Größenordnungen höher sind. „Unsere experimentellen Untersuchungen am S-DALINAC sind gute Vorarbeiten, um bei MESA schnell einen reibungslosen Betrieb zu garantieren“, ist Norbert Pietralla sicher.

Kerstin Sonnabend

<sup>1)</sup> <http://hep.web.cern.ch/>  
<sup>2)</sup> Physik Journal, Dezember 2015, S. 24 und November 2012, S. 6

# Single-Turn Acceleration: T-Beam Line



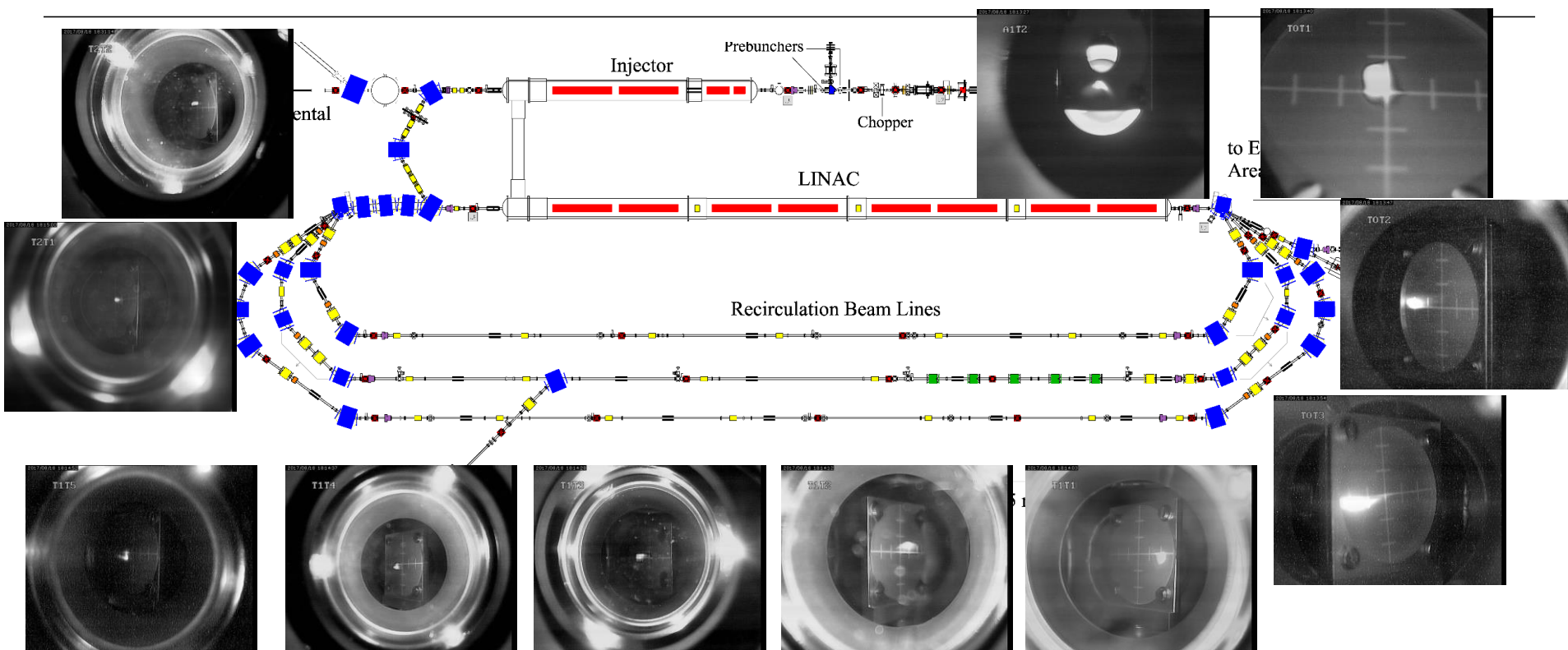
- Functionality demonstrated.

*Photos: 18. August 2017*

# Single-Turn Acceleration: T-Beam Line



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

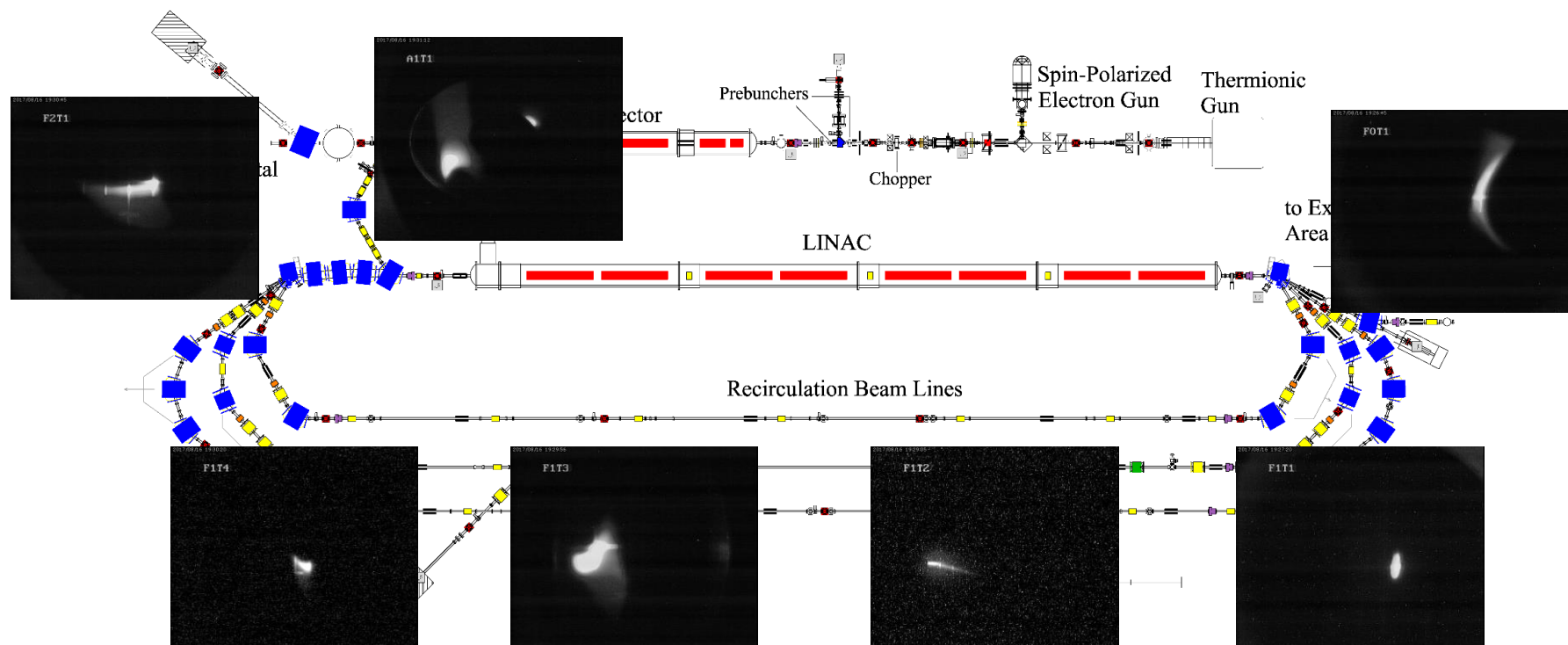


- Functionality demonstrated.

*Photos: 18. August 2017*



# Single-Turn Acceleration: F-Beam Line



- Functionality demonstrated. But: Path stroke too short by 25 mm
- Path-length-adjustment bellows need to be changed (→ Schedule)

Photos: 16. August 2017

# Further Measurements

- In the scope of graduation theses in accelerator science
  - Tuning of longitudinal dispersion (Felix Schließmann)
  - Energy calibration of accelerating structures (Simon Röder)
  - Estimate of dose power in accelerator hall (Louise Marc)
  - Set-up of automatized accelerator tuning (Alexander Schmidt)
  - ...



Foto: Jan-Christoph Hartung

# Leak in LN2 shield of cryostat



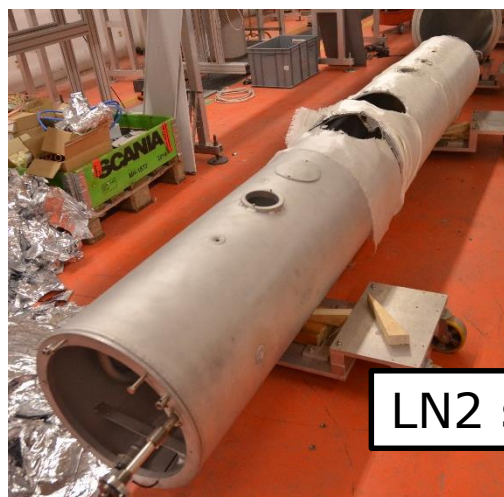
# Disassembly of Faulty Module



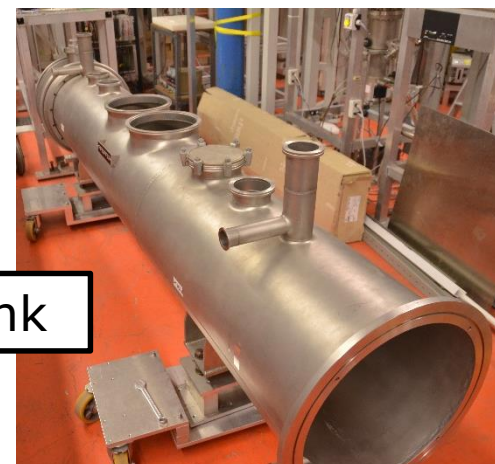
Cavities frame



Helium tank

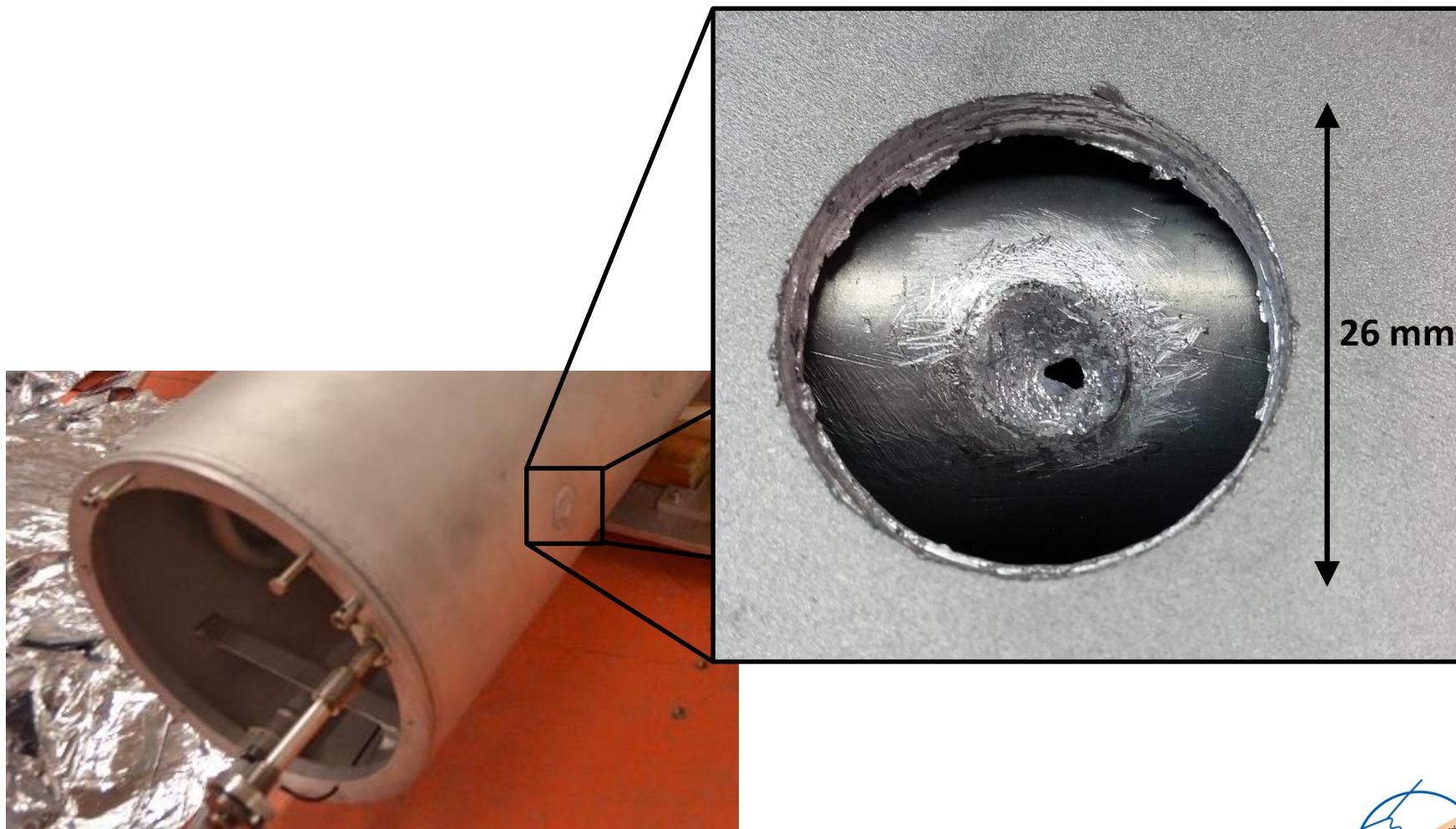


LN2 shield

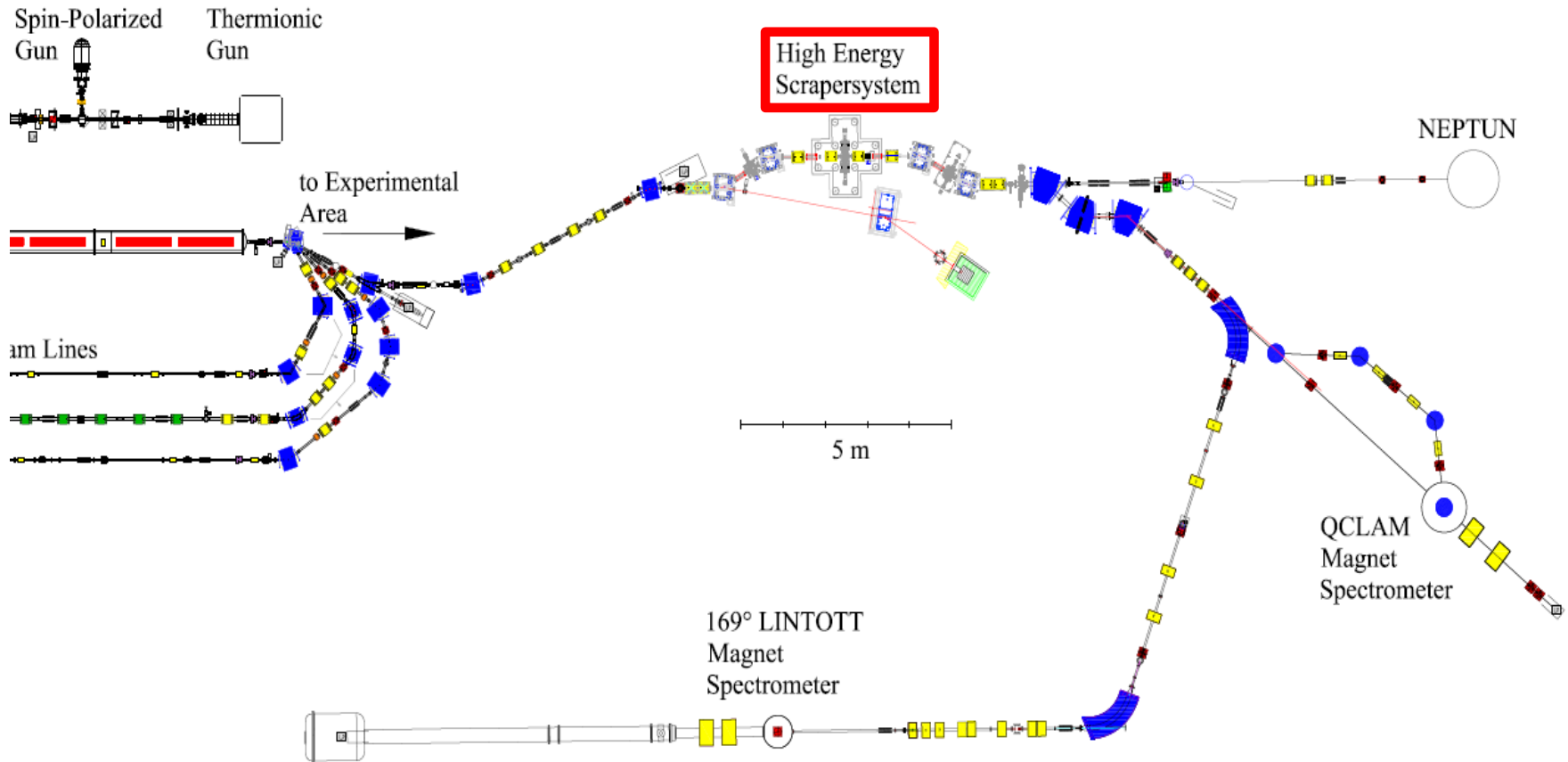


Outer tank

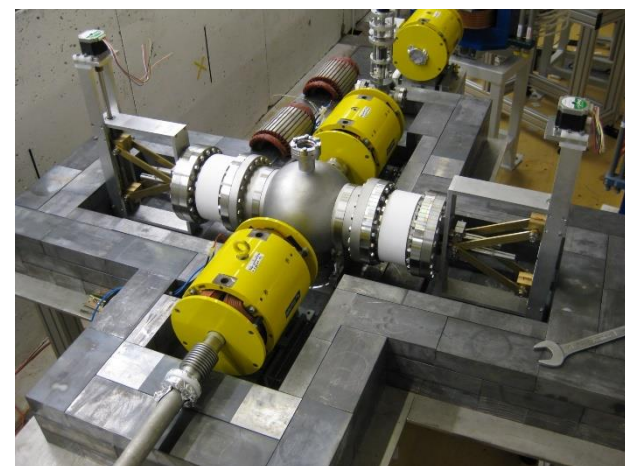
# Leak Detected



# Status extraction beamline



# Status extraction beamline



# Status extraction beamline

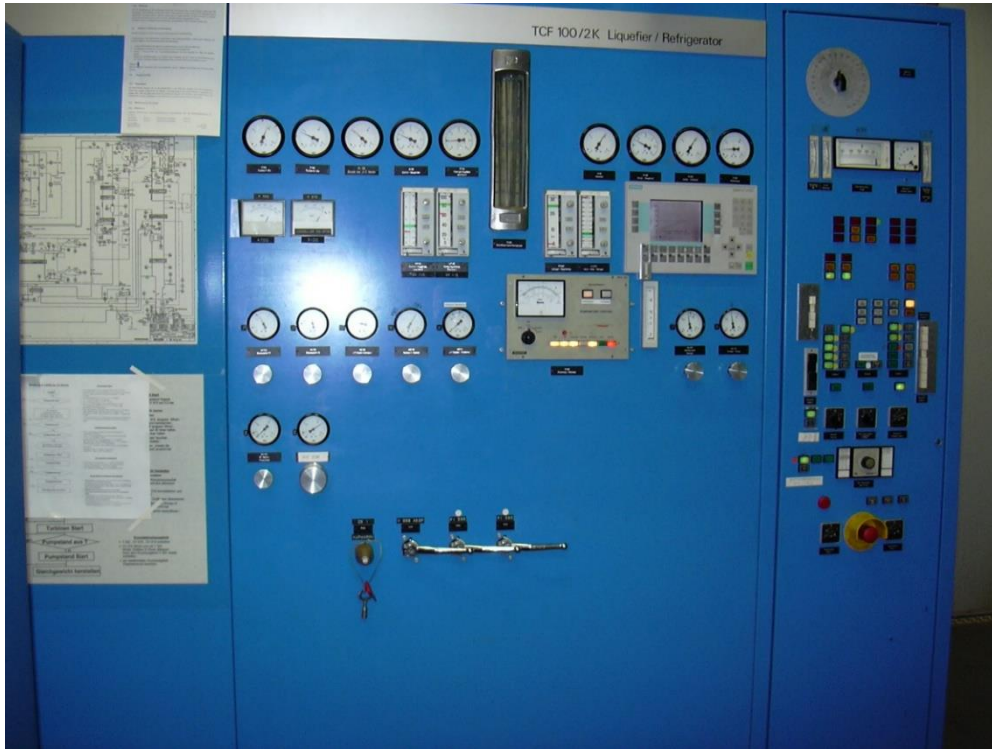


- Halo-scraper needed for  $(e, e'x)$  coincidence experiments
- Set-up of extraction beam-line completed
- Beam has been tuned already to LINTOTT spectrometer
- Commissioning & calibration of scraper system until end of Oct.



# Cryo Plant – reduced cooling power

2 K refrigerator providing  $\sim 120$  W  
(SULZER TCF 100/2K L/R, 1982)



*R. Eichhorn et al., CryoOps 2010 / J. Conrad et al., IPAC 2014*

2 K pumping station  
(Leybold 4x 2g/s warm, 2004)



- Oil contamination ( $\sim 2009$ )
- At the moment: limited cooling power,  $\sim 90$  W
- Oil again?
- Needs rinsing

# Schedule for 2017 & First Half of 2018

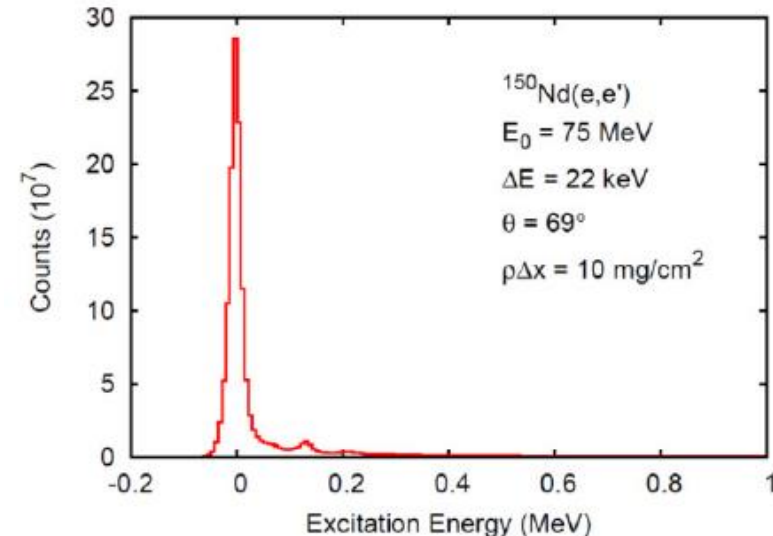
- until 16.10. beam tuning & set-up non-isochronous/off-crest
- 16.10. – 19.10. – characterization Lintott-DAQ
- 20.10. – 2.11. – Calibration scraper
- **Nov./Dec. Start expt'l program@LINTOTT** (Xe,  $^{96}\text{Ru}$ ,  $^{12}\text{C}$ )
- **10.12. - Mid-April 2018 Winter shut-down**  
(Warm-up, turbines + rest-gas detector sent to vendors for maintenance, 12 weeks delivery time)
- **Local LINAC maintenance**
  - Open LINAC for repair 2 defect quadrupole magnets
  - Exchange bellows in F-recirculation for sufficient stroke
  - Alignment of injector and DHIPS
  - Rinsing of cryo-plant
  - ...
- **Production experiments@Q-CLAM** ( $^4\text{He}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{12}\text{C}/^{92}\text{Zr}(e, e'\gamma)$ )
- **Commissioning NEPTUN** (2 weeks)



Foto: Jan-Christoph Hartung

# Conclusion

- S-DALINAC is the most complex research infrastructure at TU Darmstadt
- Enables electron spectroscopy at highest-possible energy resolution
- Photonuclear research complementary to „Nuclear Photonics“ at HI $\gamma$ S and ELI-NP
- Unique research asset for TU Darmstadt and our CRC 1245
- Experimental program is currently recommencing (while partly waiting for CRC projects)



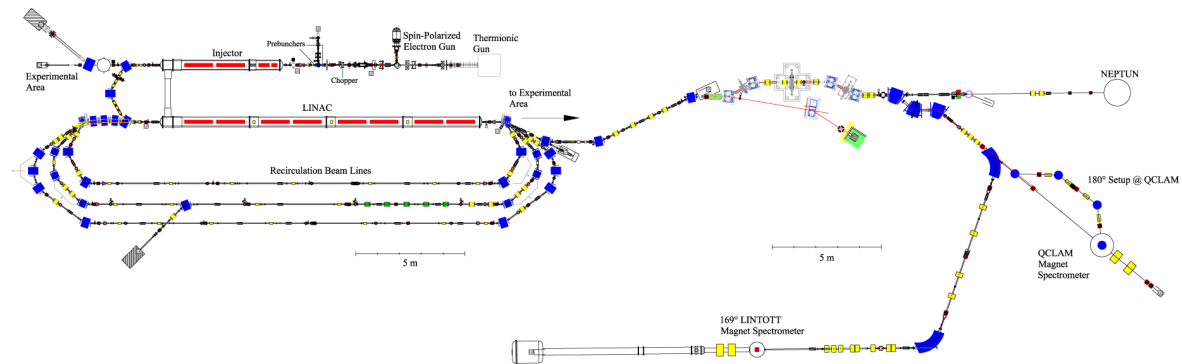
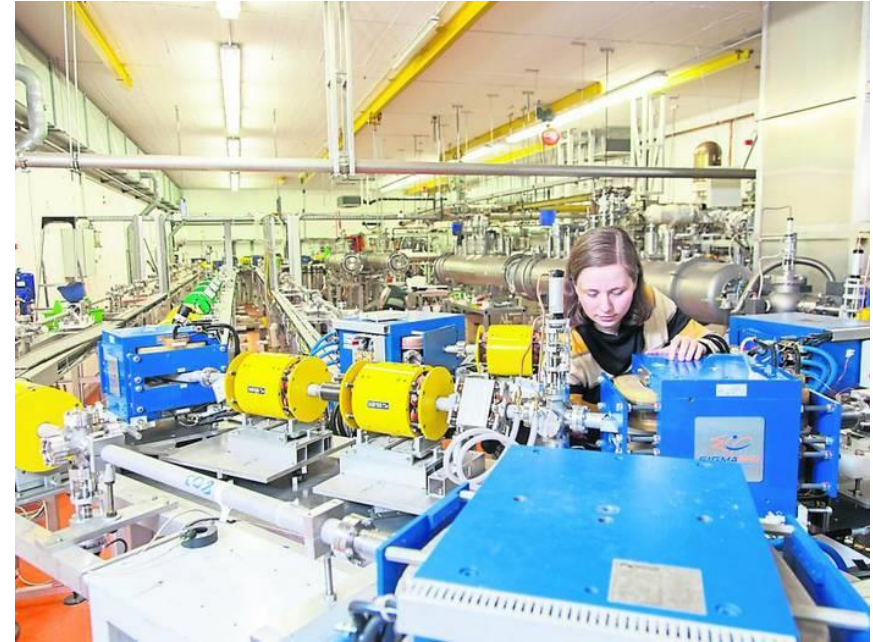
# Thank you

Thanks to the accelerator  
group:

**Dr. Michaela Arnold**, Dr. Jonny  
Birkhan

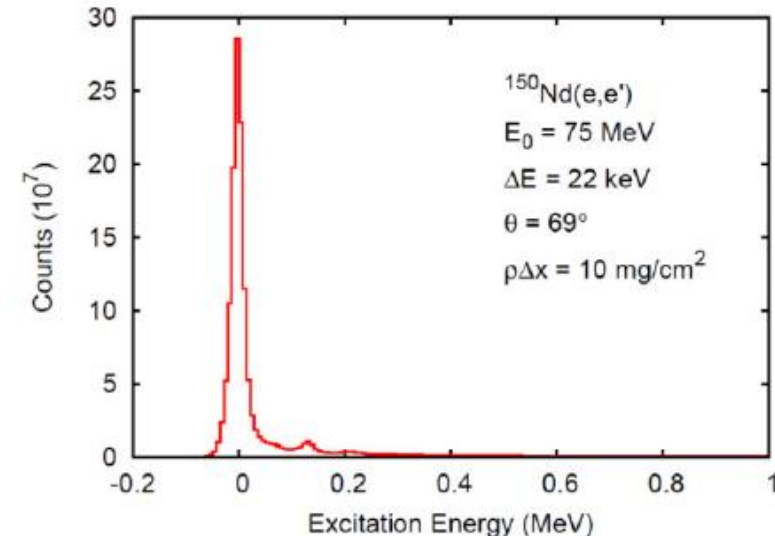
Dr. Christoph Burandt, Dr. Thomas  
Schösser, Dr. Thore Bahlo,  
Lars Jürgensen, Ruben Grewe, Jonas  
Pforr, Manuel Steinhof, Maximilian  
Herbert

Jens Conrad, Kurt Hassler,  
Manfred Hess, Felix Heyer,  
Jürgen Müller, Carl Pfeil-Herz,  
Tobias Aouini, Manuel Dutine



# Conclusion

- S-DALINAC is the most complex research infrastructure at TU Darmstadt
- Enables electron spectroscopy at highest-possible energy resolution
- Photonuclear research complementary to „Nuclear Photonics“ at HI $\gamma$ S and ELI-NP
- Unique research asset for TU Darmstadt and our CRC 1245
- Experimental program is currently recommencing (while partly waiting for CRC projects)



# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



Foto: Jan-Christoph Hartung