

Beschleunigerforschung

LAOLA, SINBAD et al

Ralph W. Aßmann, DESY

Betriebsseminar Grömitz

20.03.2013

Danke an die vielen Kollegen bei LAOLA, DESY, Uni HH, KIT, ... für Diskussionen und Input:

K. Balewski, C. Behrendt, M. Bieler, F. Brinker, R. Brinkmann, E. Elsen, B. Foster, K. Flöttmann, M. Gross, F. Grüner, B. Hidding, M. Hüning, F. Kärtner, J. Keil, A. Maier, A.S. Müller, J. Osterhoff, B. Schmidt, F. Stephan, N. Walker, E. Weckert

Was ist der nächste DESY Großbeschleuniger nach XFEL?

Beschleunigerforschung soll uns international
wettbewerbsfähige Zukunftsoptionen auf der
Zeitskala 2020 bereitstellen.

Helmholtz ARD Programm – Vorreiterrolle Deutschlands



Koordination: Reinhard Brinkmann

- > Helmholtz-ARD Programm ist weltweit einmalig: **zukunftsgerichtete Beschleunigerforschung ohne Projektbindung**
- > Ermöglicht es, die große und erfolgreiche Tradition deutscher Beschleuniger fortzusetzen. Großer Erfolg!
- > Bestrebungen in den USA ähnlich moderne Programme einzurichten.
- > z.B. **FLUTE: KIT + DESY + PSI** → ultra-kurze Bunche für THz. Neues Projekt...





Accelerator Research at DESY

SC Technology

(R&D on CW, cryo module test bench, ongoing)

SC Processes

(large series production & testing of sc cavities and modules, AMTF, ongoing)

Surface Technology

(cavity surfaces, CRISP, ongoing)

FEL Seeding

(sFLASH, FLASH2 seeding, ongoing)

LAOLA at FLASH2

(beam-driven plasma acceleration, 2016+)

SINBAD

(ultra-short bunches, LAOLA, prototype table-top FEL, 2017+)

AXSIS

(atto-second bunches, ICS, 2014+)

LAOLA at REGAE

(laser-driven plasma acceleration, 2013-2016)

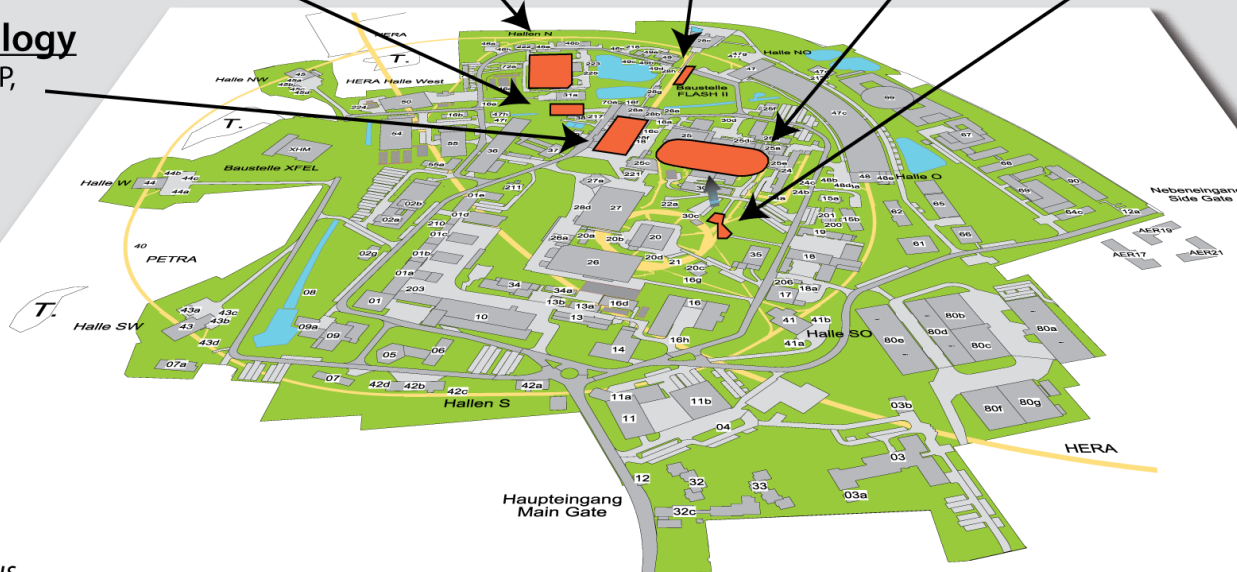
Zeuthen Campus

Photo-Injector

(ongoing)

LAOLA at PITZ

(bunch modulation in plasma, 2013+)



Hamburg Campus

> Methoden zur Optimierung operationeller Beschleuniger und FEL's

- Unterstützung bei der Inbetriebnahme der neuen DESY Beschleuniger, Hilfe beim Lösen wichtiger Beschleunigerprobleme.

> Ultra-kurze Elektronenbunche und Limitierungen: Ultra-Fast Science

- Mitarbeit im REGAE Projekt bei DESY: 10 fs Elektronenpulse
- Kollaboration mit KIT und der vorgesehenen FLUTE Facility: 1 fs Elektronenpulse
- AXISIS Projekt mit F. Kärtner et al: 20 as Elektronenpulse

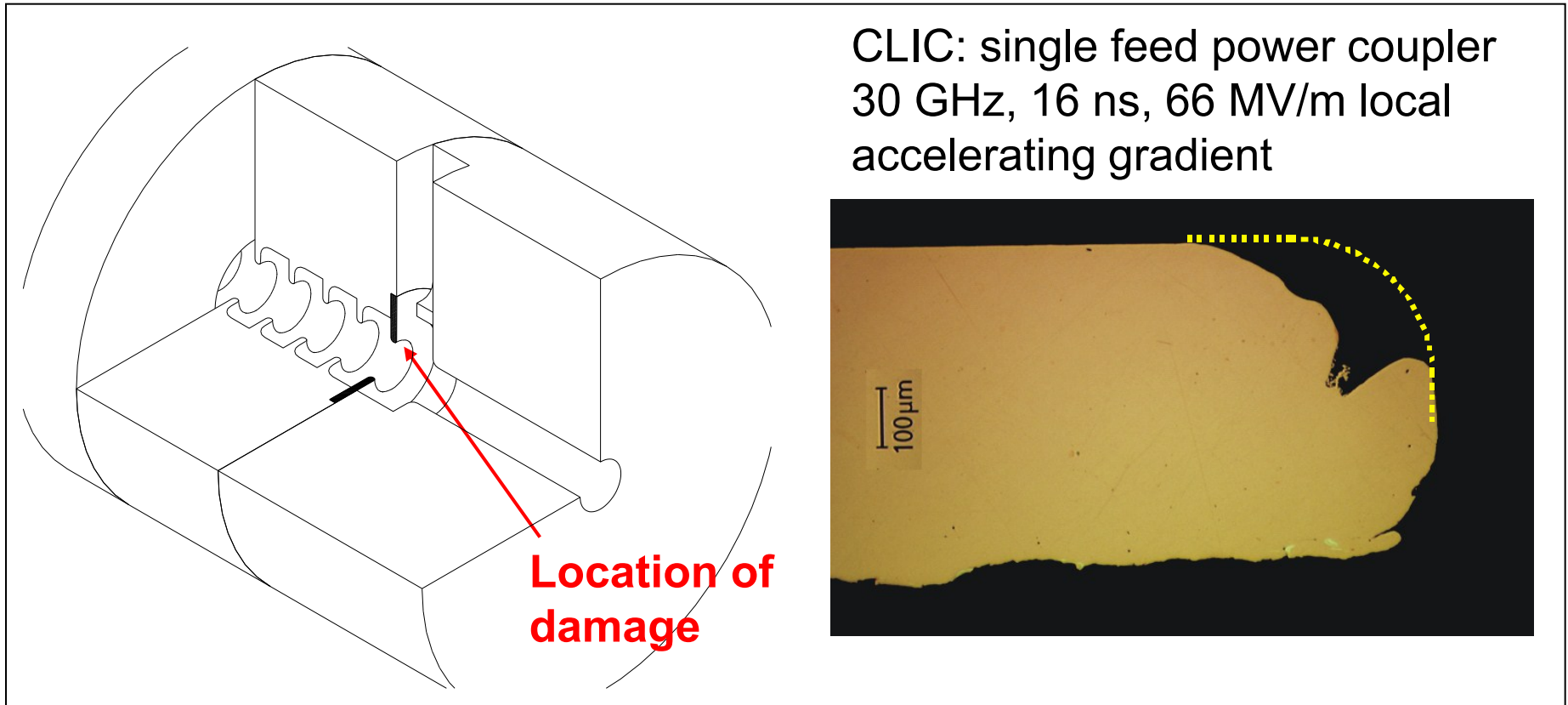
> Plasmabeschleunigung: Kompakte und günstigere Beschleuniger

- Vorbereitung der langfristigen Zukunft, ermöglicht durch das Helmholtz-ARD Programm.
- Identifizieren und Ausbau von DESY Stärken, sowie deren Einsatz zum Aufbauen einer weltführenden Rolle.
- Eröffnen neuer Perspektiven für beschleunigerbasierte Forschung und Anwendungen.
- Für mich eine Rückkehr zu Themen meiner Zeit bei Stanford 1994-1998: Primary Investigator des ersten Plasma-Beschleunigungsexperimentes am SLAC.



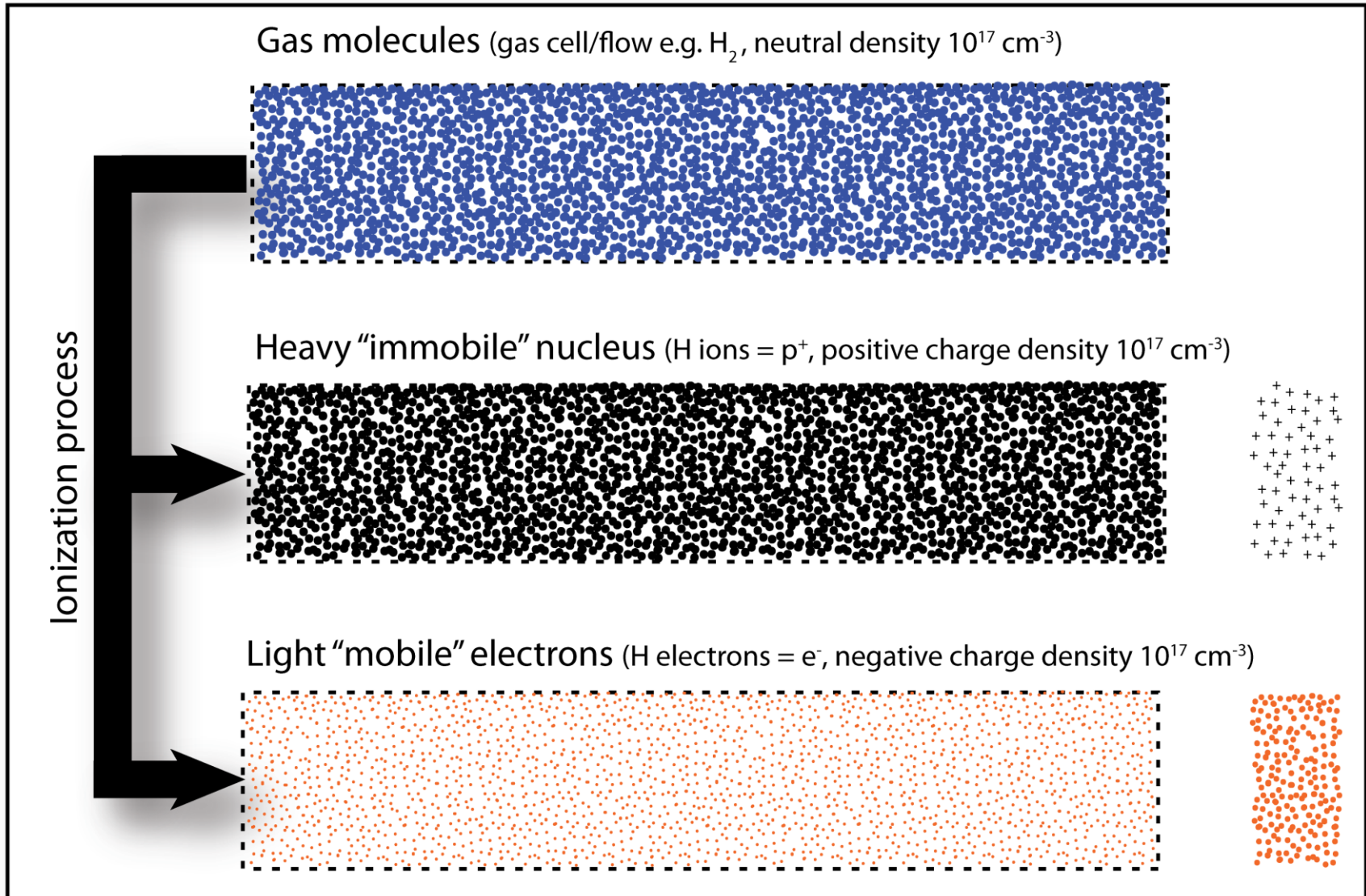
Warum? Wegen Limitierung metallischer Strukturen!

- > Nutzbarer Gradient auf < 100 MV/m limitiert!



- > Metallstruktur mit < 100 MV/m $\rightarrow$ **Plasmastruktur mit 100 GV/m**

Was ist ein Plasma?



Wenn man es falsch macht...

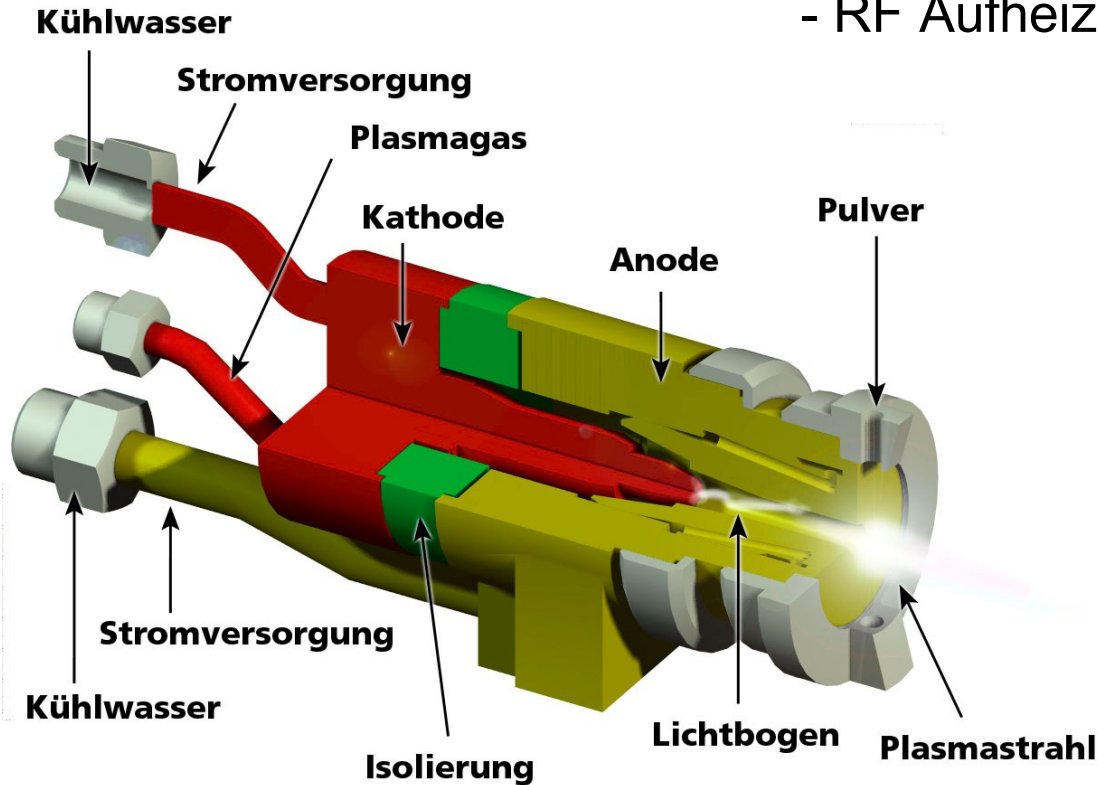


Industrielle Prozesse: Gas zu Plasma...

> Gasmoleküle werden aufgeheizt und in Elektronen und Ionen zerlegt.

> Verschiedene Methoden:

- Lichtbogen zwischen Anode und Kathode
- Ionisierender Laserstrahl
- RF Aufheizen des Gases



Das ist ein industriell voll beherrschter Prozess mit hoher Qualität und Reproduzierbarkeit. Entwickelt in 1970's...

Siehe Plasmastrahlanlage von Sulzer...

12000 - 16000° K
bis zu 1600 km/h

SULZER

Industrielle Niederdruckplasmaspritzanlage



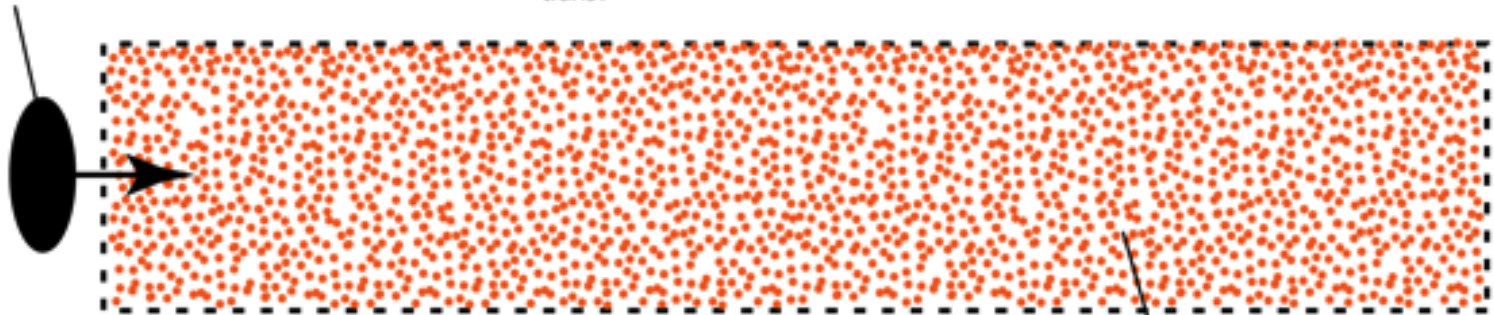
LPPS - Low Pressure
Plasma Spraying =
Niederdruckplasmaspritzen

SULZER₁₀



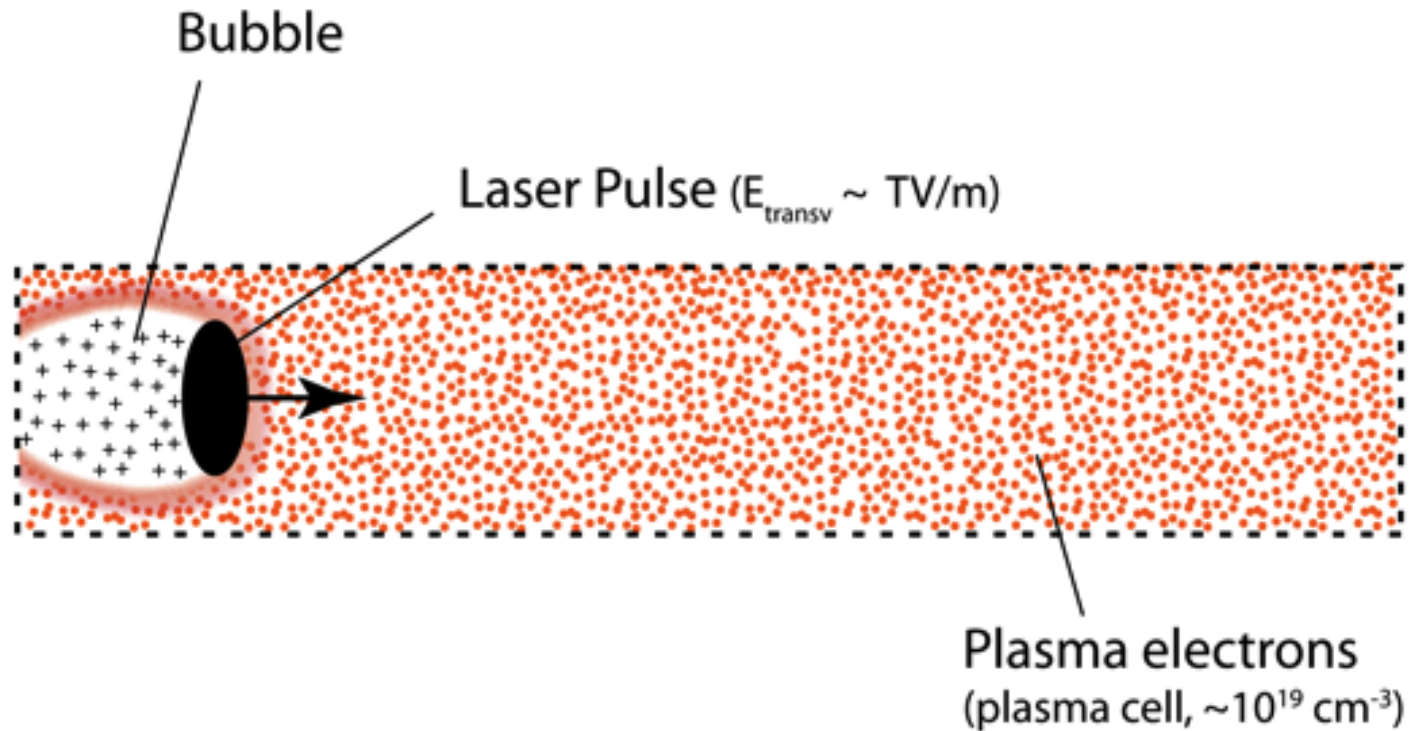
Was ist Plasmabeschleunigung?

Laser Pulse (200 TW, ~ 30 fs, $E_{\text{transv}} \sim \text{TV/m}$)

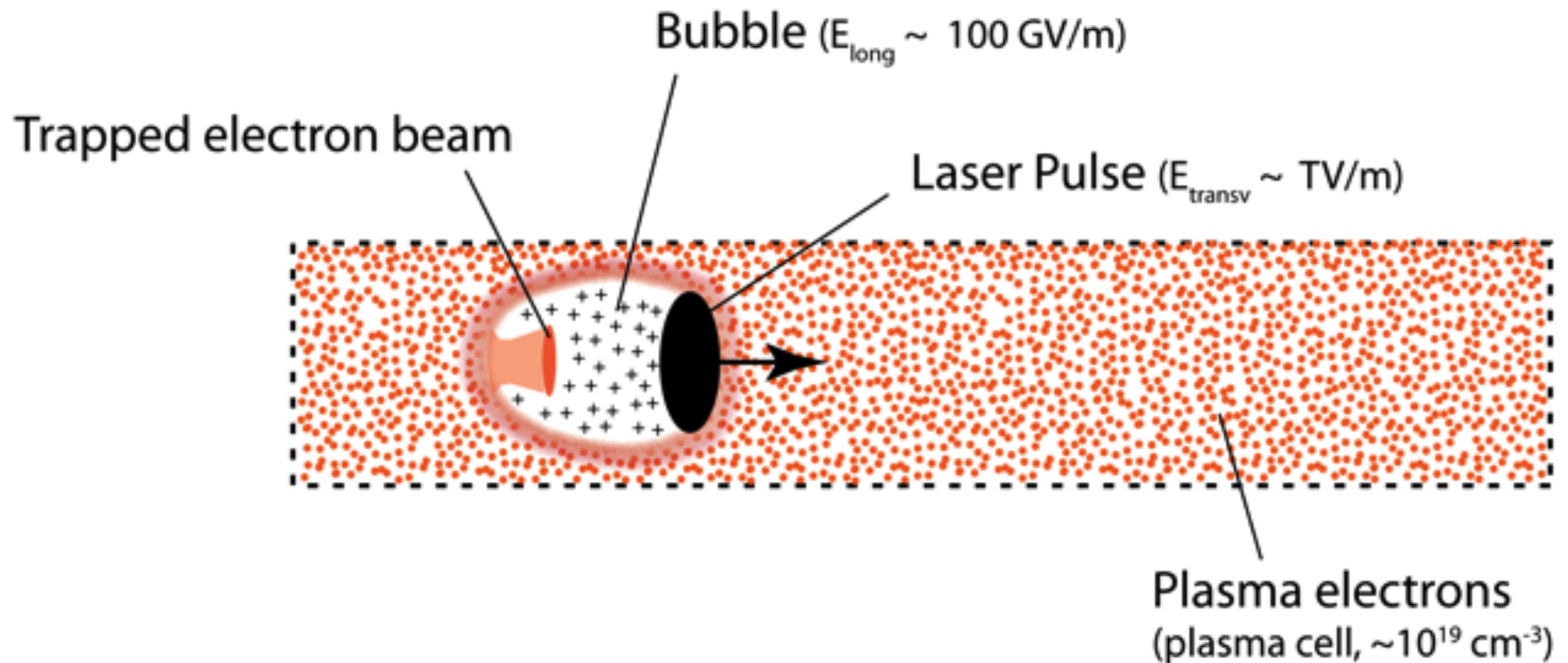


Plasma electrons
(plasma cell, $\sim 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)

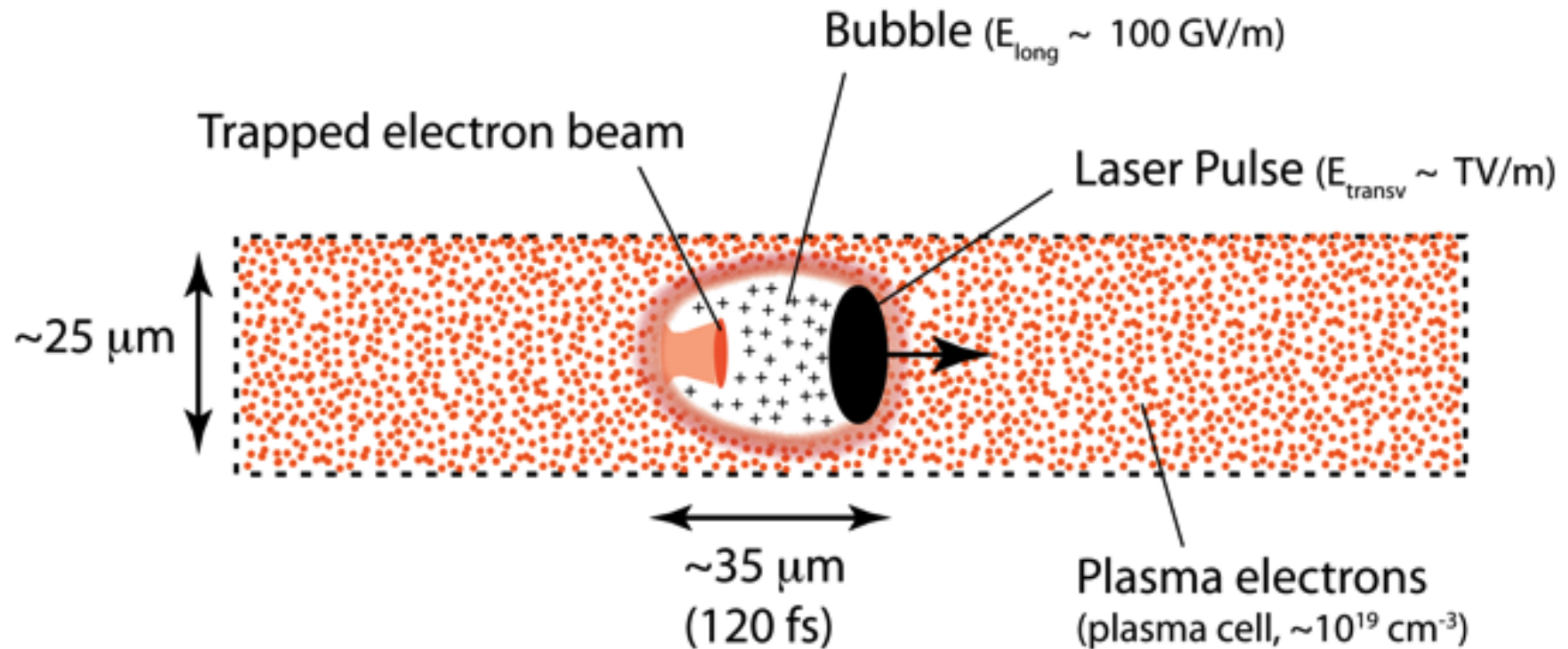
Was ist Plasmabeschleunigung?



Was ist Plasmabeschleunigung?

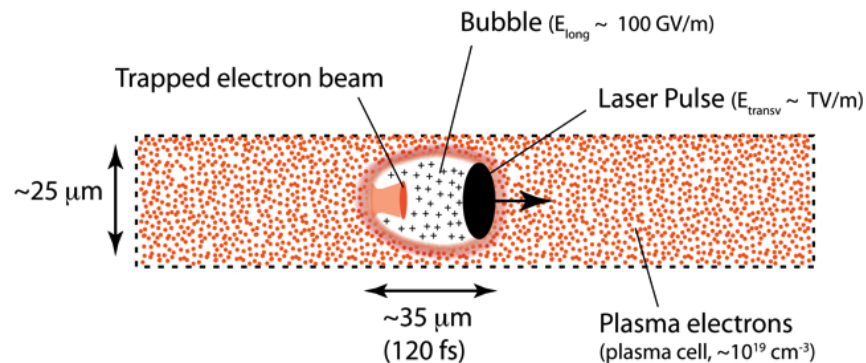
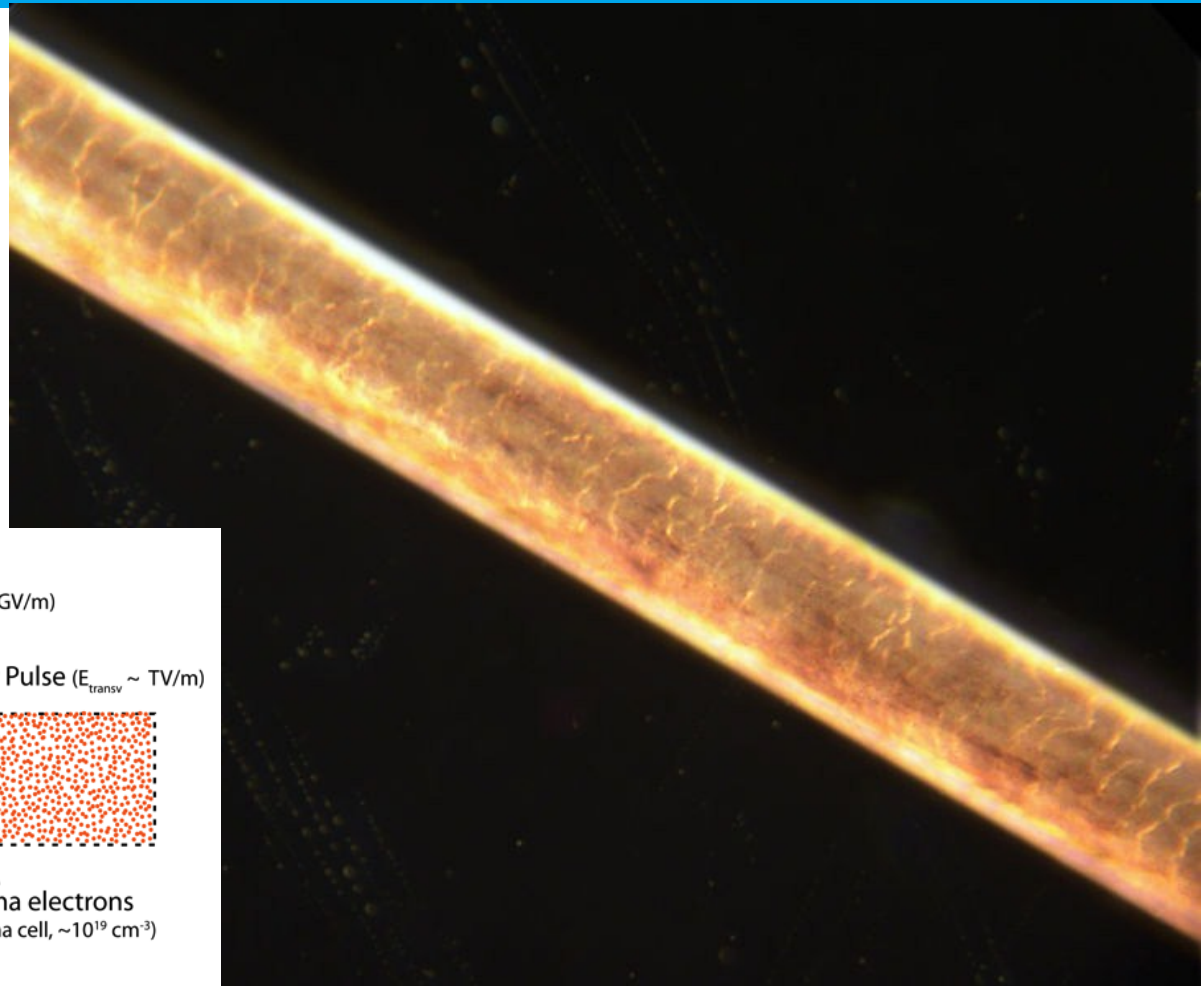


Was ist Plasmabeschleunigung?



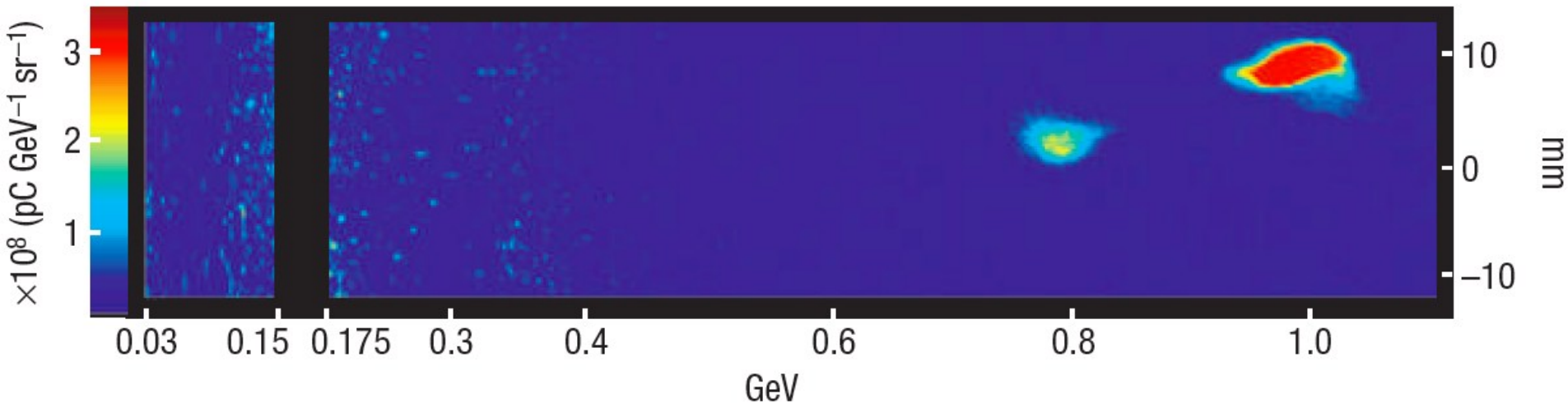
Beschleunigung (und Fokussierung) in Haaresbreite...

E_{long}	100 GV/m
g_{transv}	300 MT/m



Dieser Beschleuniger paßt in ein menschliches Haar!

Und Plasmabeschleunigung (trapping) funktioniert...



LETTERS

GeV electron beams from a centimetre-scale accelerator

W. P. LEEMANS^{1*}, B. NAGLER¹, A. J. GONSALVES², Cs. TÓTH¹, K. NAKAMURA^{1,3}, C. G. R. GEDDES¹, E. ESAREY^{1*}, C. B. SCHROEDER¹ AND S. M. HOOKER²

¹Lawrence Berkeley National Laboratory, 1 Cyclotron Road, Berkeley, California 94720, USA

²University of Oxford, Clarendon Laboratory, Parks Road, Oxford OX1 3PU, UK

³Nuclear Professional School, University of Tokyo, 22-2 Shirane-shirakata, Tokai, Naka, Ibaraki 319-1188, Japan

*Also at: Physics Department, University of Nevada, Reno, Nevada 89557, USA

†e-mail: WPLEemans@lbl.gov

nature physics | VOL 2 | OCTOBER 2006

2-3 Größenordnungen höhere Beschleunigungsspannung als konventionell gezeigt!

Viel kleinere und kostengünstigere Beschleuniger sind möglich.

Höhere Energien → **Entdeckungspotential.**

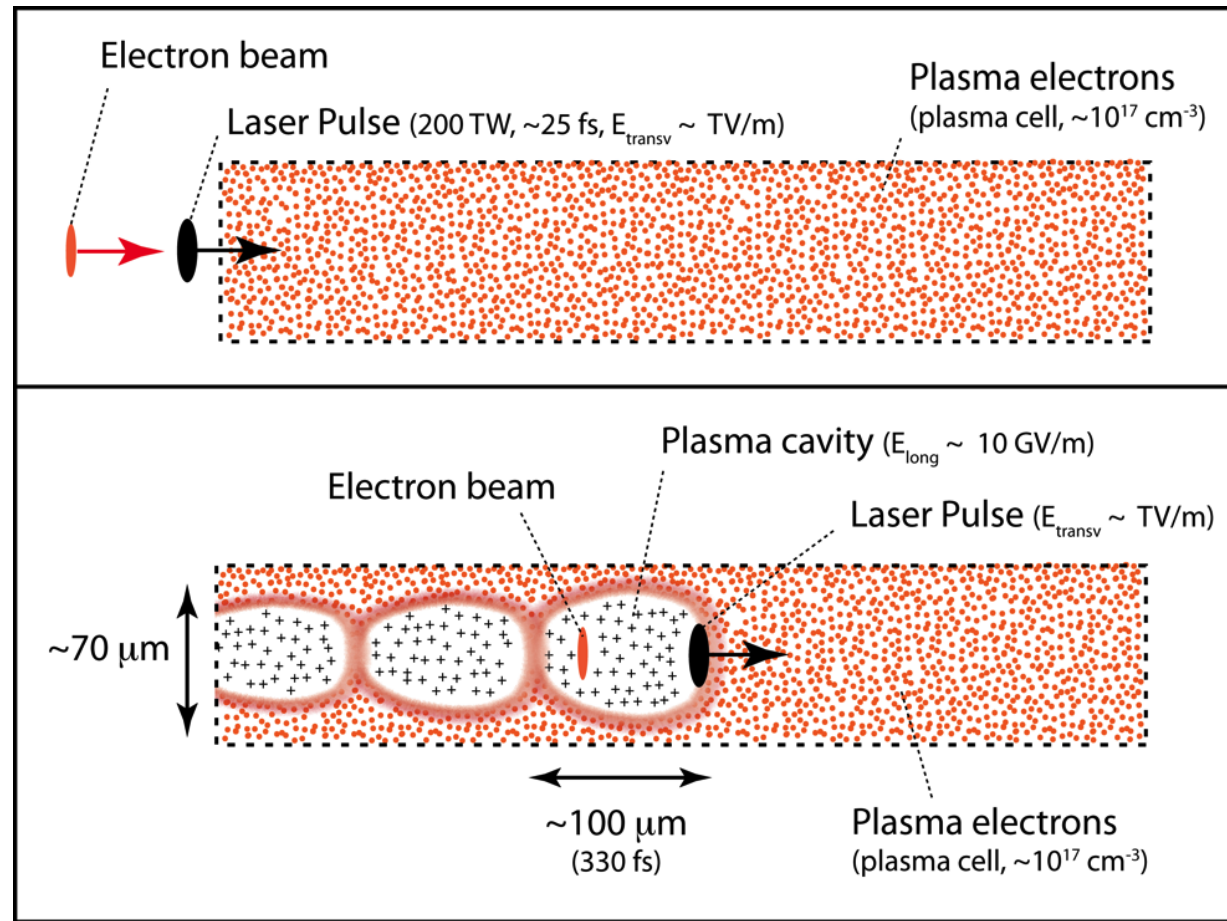
Kompakt → neue gesellschaftliche **Anwendungen** (Medizin, Industrie, ...).

Kritischer Schritt: Plasmastrukturen nutzbar machen...

- > Die Stabilität mit Plasma-Selbstinjektion ist ungenügend. Gleichzeitig ist kein fundamentales Limit für die Stabilität bekannt.

- > **Modularer Ansatz:**

- Ein bekannter Elektronenstrahl wird eingeschossen.
- Hybrid: DESY „Best in Class“ Beschleuniger + Plasma + Laser.
- Reduzierte Komplexität!
- Ermöglicht, mehrere Beschleunigungsstufen hintereinander zu setzen (“Staging”).

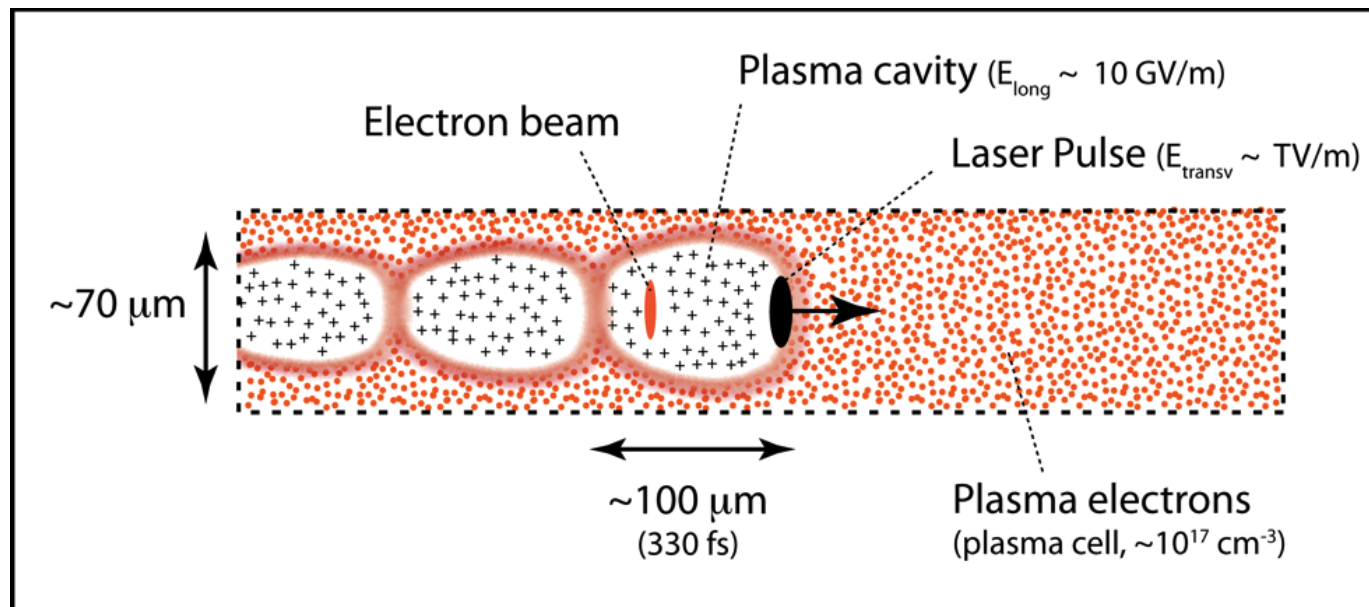


- > Bisher nicht gezeigt!

Warum ist DESY für Plasmabeschleunigung weltweit so erfolgsversprechend positioniert?

Laser: Industrie. DESY
Expertise in Laser für Photon
Science.

Strahl: DESY weltführend in ultra-
kurzen und feinen Strahlen (10 fs
Länge): Photo-Injektoren.



Timing: DESY weltführend in sehr
schnellen Messungen und
Synchronisation (10 fs bei FLASH).

Jahrzehntelange Erfahrung
im Beschleunigerbau.

Warum ist DESY für Plasmabeschleunigung weltweit so erfolgsversprechend positioniert?

- > Kollaboration mit **Universität Hamburg, CFEL und Teilchenphysik**:
 - LAOLA Kollaboration, Gruppe Prof. F. Grüner, Gruppe Prof. B. Hidding.
 - Projekt mit Gruppe Prof. F. Kärtner für atto-Sekunden Elektronenpulse.
 - Gruppe FLA in Teilchenphysik (B. Foster, E. Elsen, J. Osterhoff, B. Schmidt).
- > Einbindung ins **internationale Feld**:
 - Koordination (R. Assmann, J. Osterhoff) des europäischen Netzwerkes für Neuartige Beschleuniger (EuroNNAc), finanziert durch EU. 52 Institute aus Europa, US, Asien.
 - Helmholtz Virtual Institute für Plasmabeschleunigung (Koordination B. Foster).
- > Enge **Zusammenarbeit mit Helmholtz Zentren in ARD**:
 - Arbeit und gemeinsame Projekte mit KIT an ultra-kurzen Bunchen.
 - Workshops, Austausch, ...
- > Last but not least, eine **realistische und wichtige DESY Anwendung für Plasmabeschleunigung**:

TABLE-TOP FEL

Ralph Aßmann | Beschleunigerforscher





Accelerator Research at DESY

SC Technology

(R&D on CW, cryo module test bench, ongoing)

SC Processes

(large series production & testing of sc cavities and modules, AMTF, ongoing)

Surface Technology

(cavity surfaces, CRISP, ongoing)

FEL Seeding

(sFLASH, FLASH2 seeding, ongoing)

LAOLA at FLASH2

(beam-driven plasma acceleration, 2016+)

SINBAD

(ultra-short bunches, LAOLA, prototype table-top FEL, 2017+)

AXSIS

(atto-second bunches, ICS, 2014+)

LAOLA at REGAE

(laser-driven plasma acceleration, 2013-2016)

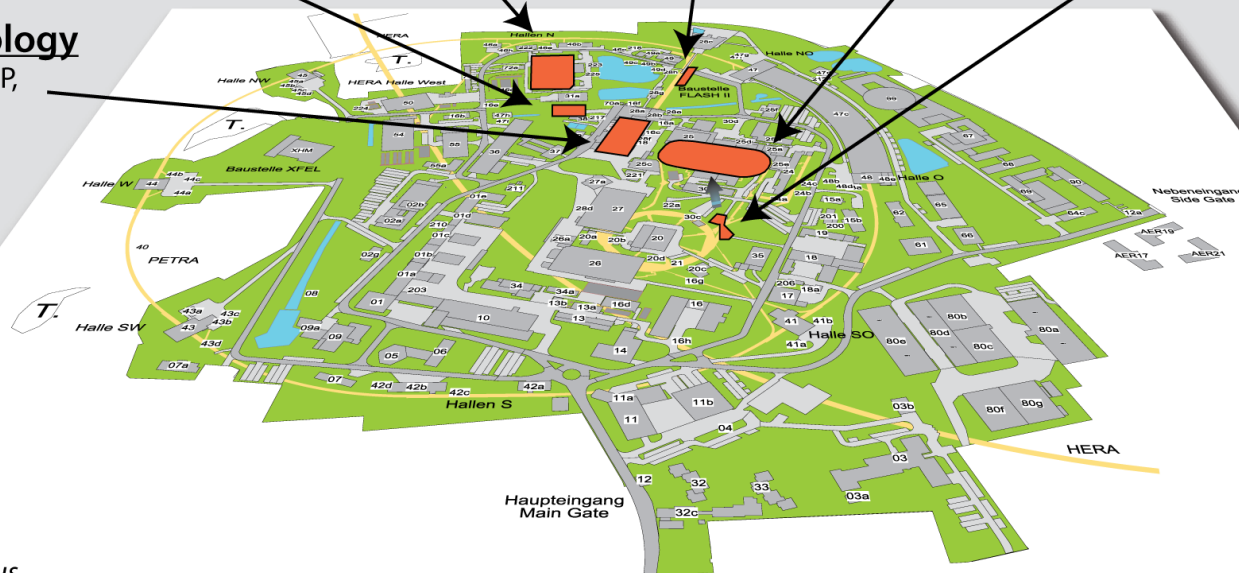
Zeuthen Campus

Photo-Injector

(ongoing)

LAOLA at PITZ

(bunch modulation in plasma, 2013+)



Hamburg Campus

Was ist LAOLA?

LAOLA

Kollaboration zur Plasmabe-
schleunigung von DESY +
Uni Hamburg + Freunde



Wismar, Germany, 2012

Projektantrag LAOLA @ REGAE

LAOLA@REGAE: Laboratory for Laser- and beam-driven Plasma Acceleration

R. Assmann, K. Flöttmann, F. Grüner, B. Hidding, A. Maier, J. Osterhoff, B. Schmid, M. Schnepf, B. Zeitler

August 2012

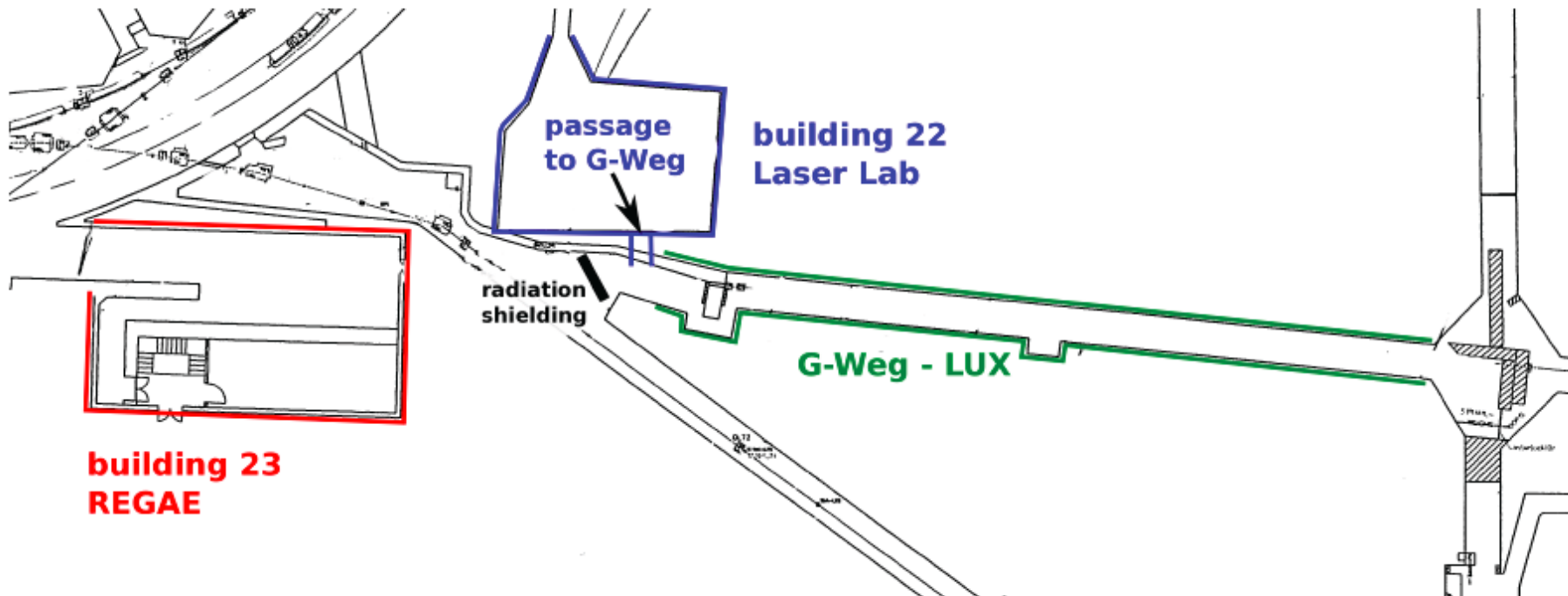


Figure 1: Location of bldg. 22 (Laser Lab), bldg. 23 (REGAE) and the G-Weg.

The LAOLA Ti:Sa Laser: Initial Setup at REGAE

Parameter	Unit	Value	Comment
Peak power	TW	200	
Pulse duration	fs	25	
Repetition rate	Hz	5	
Pulse energy	J	5	
Energy stability	%	1.5	rms over 500 shots
Contrast ratio		$10^{10}:1$ $10^8:1$	at 100 ps at 10 ps
Center wavelength	nm	815	FWHM
Spectral band width	nm	40	FWHM
Strehl ratio		0.9	
Beam pointing stability	μrad	3	rms over 500 shots
Diameter beam profile (1/e)	mm	76	super-Gaussian to power of 8

- > **Externe Injektion eines kurzen Bunches in ein lasergetriebenes Plasmawakefield** hinein:
 - Zuverlässige und stabile externe Injektion (Timing, transversale Offsets)
 - Erhaltung der Emittanz (Matching)
 - Relative bescheidene Beschleunigungsziele: 5 MeV → 100 MeV

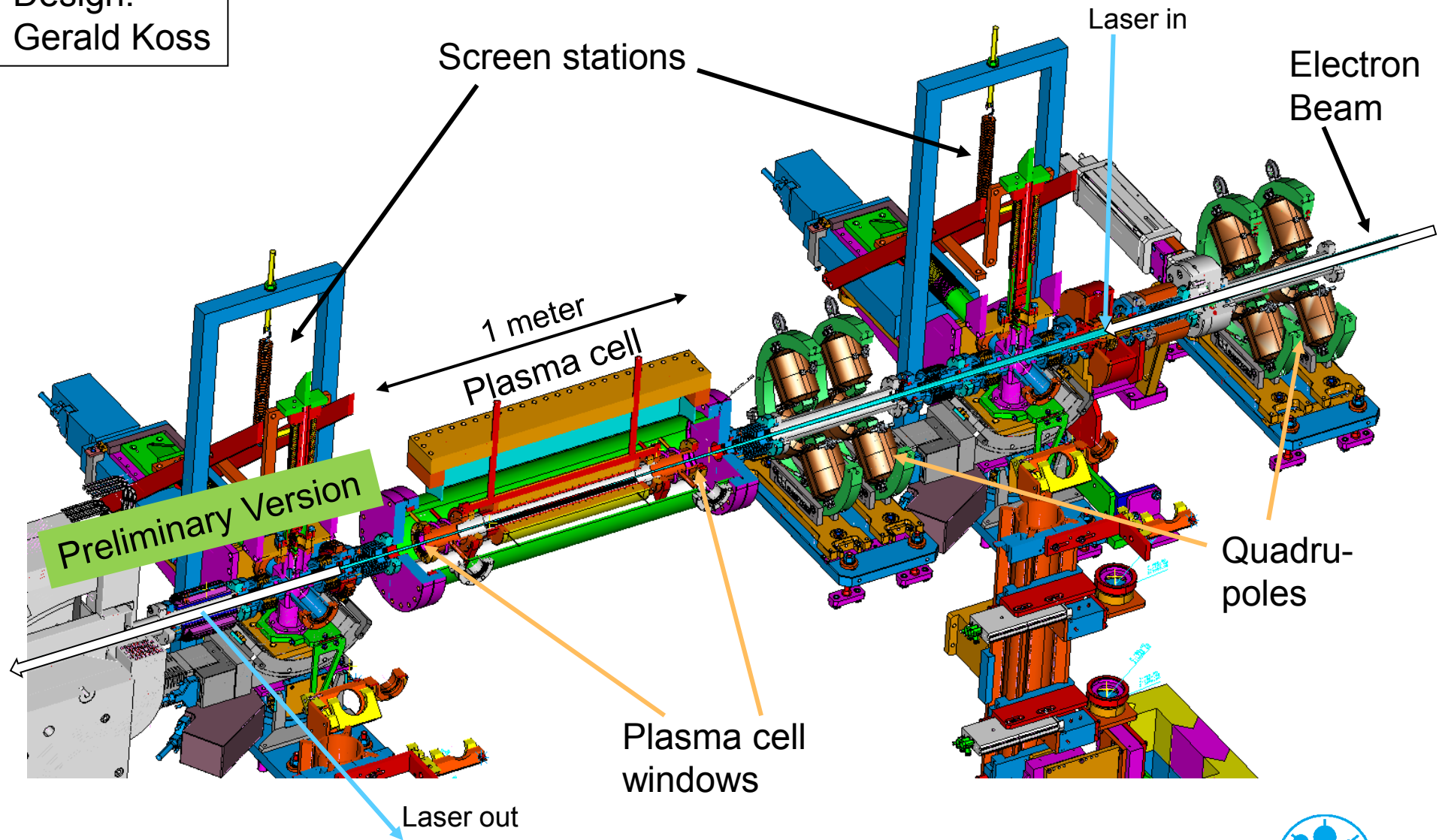
- > Tests für einen **Table-Top FEL mit Laser-Plasmabeschleunigung** und interner Erzeugung des Strahls:
 - Strahl-Capturing und Beschleunigung (1 GeV?)
 - Ausnutzen eines Strahls mit sub-optimalen Parametern → Lasing
 - LUX beamline (G-Weg)

LAOLA@REGAE Milestones

time	milestone
1 st Quarter 2013	completion of laser lab construction commissioning of laser connection of G-Weg to building 22
2 nd Quarter 2013	laser beamline installation
3 rd Quarter 2013	installation of new REGAE target chamber completion of LUX beamline setup
4 th Quarter 2013	start external injection at REGAE first beam at LUX
1 st Quarter 2014	first undulator radiation at LUX
3 rd Quarter 2014	emittance growth studies at REGAE
1 st Quarter 2015	bunch length measurements at REGAE commissioning of pump-probe setup at LUX
3 rd Quarter 2015	wakefield probing at REGAE pump-probe studies at LUX



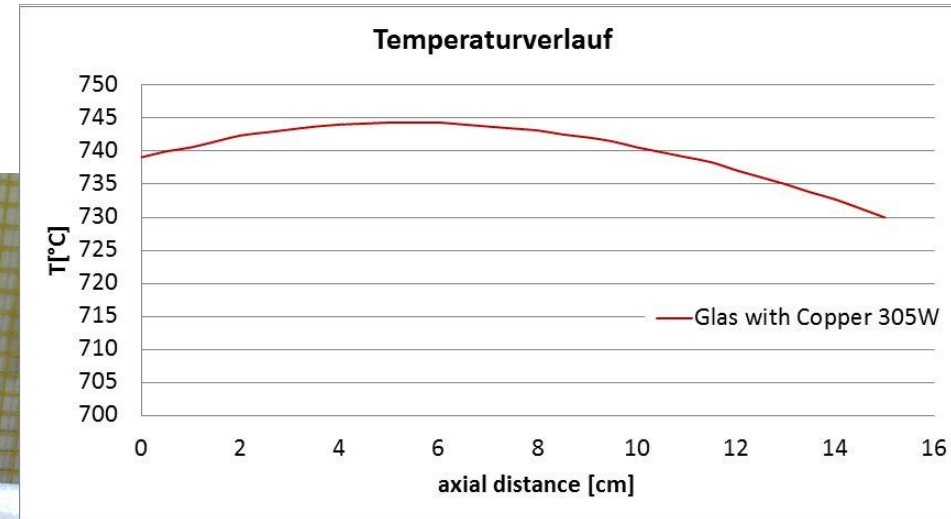
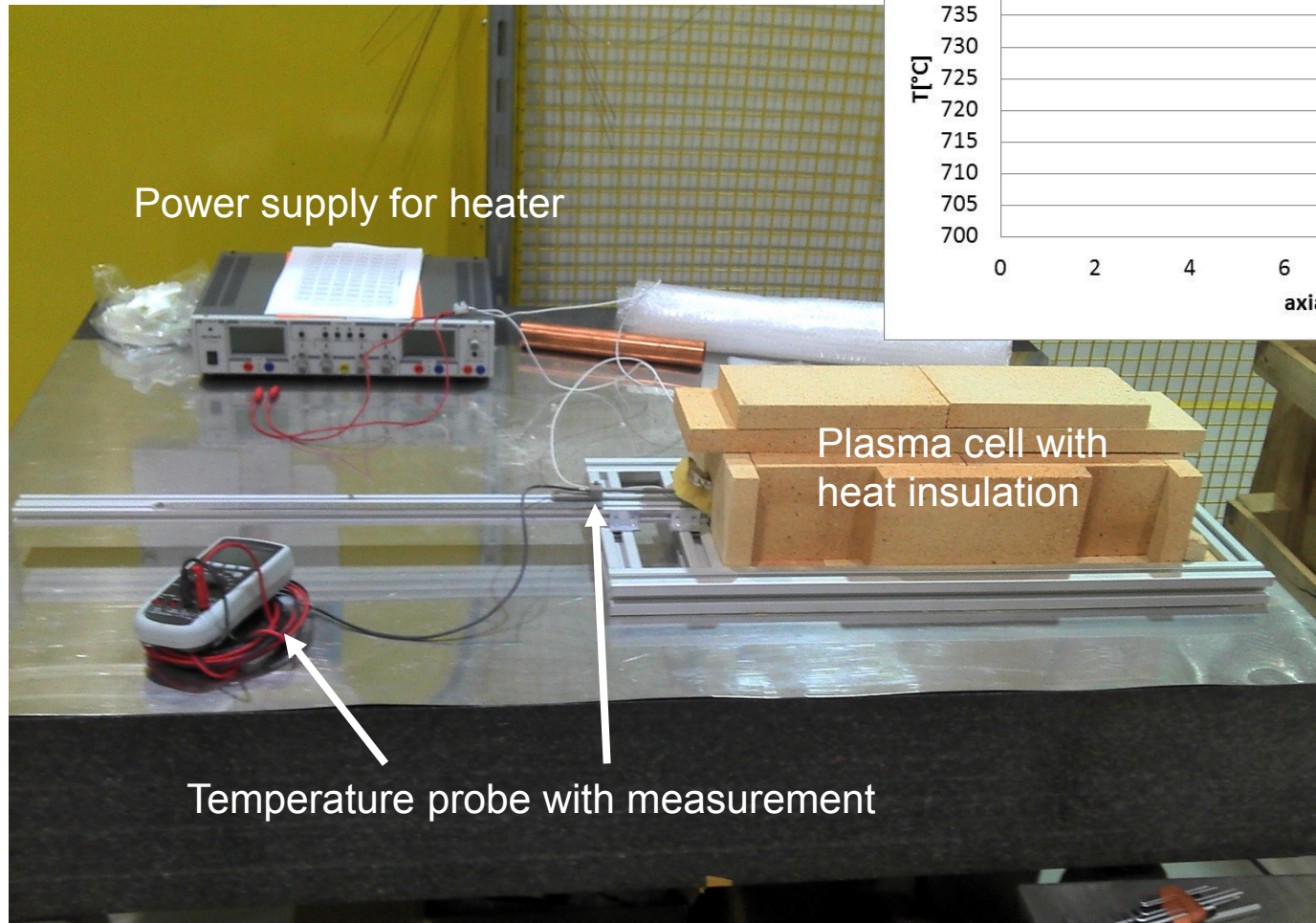
Design:
Gerald Koss



- > Externe **Injektion eines langen Bunches in Plasmakanal** hinein:
 - Zuverlässige und stabile Injektion (Timing, transversale Offsets)
 - Strahl erzeugt durch Inhomogenitäten anfängliche Wakefields im Plasma, die sich mehr und mehr verstärken.
 - Dadurch Modulation des langen Elektronbunches: transversal und longitudinal. Teile des Bunches werden entschleunigt (Energietransfer von Strahl ins Plasma), andere Teile werden beschleunigt (Energietransfer von Plasma zu Strahl)
 - Microbunching Mechanismus, Möglichkeit der resonanten Anregung von Plasmawellen mit langen Bunches, Seeding?
- > Entwicklung von **wichtigen Technologiekomponenten**:
 - Plasma zu UHVakuum Übergang (Photokathode)
 - Erzeugung Plasmakanal, Steering in Plasmakanal hinein, Feedbacks, Diagnostiklaserpulse, ...
- > Späteres Programm in Diskussion
 - Hohes Transformer-Ratio...

Experiments have started with Plasma Cell Prototype

- First: Measurement of temperature profile with air in plasma cell tube

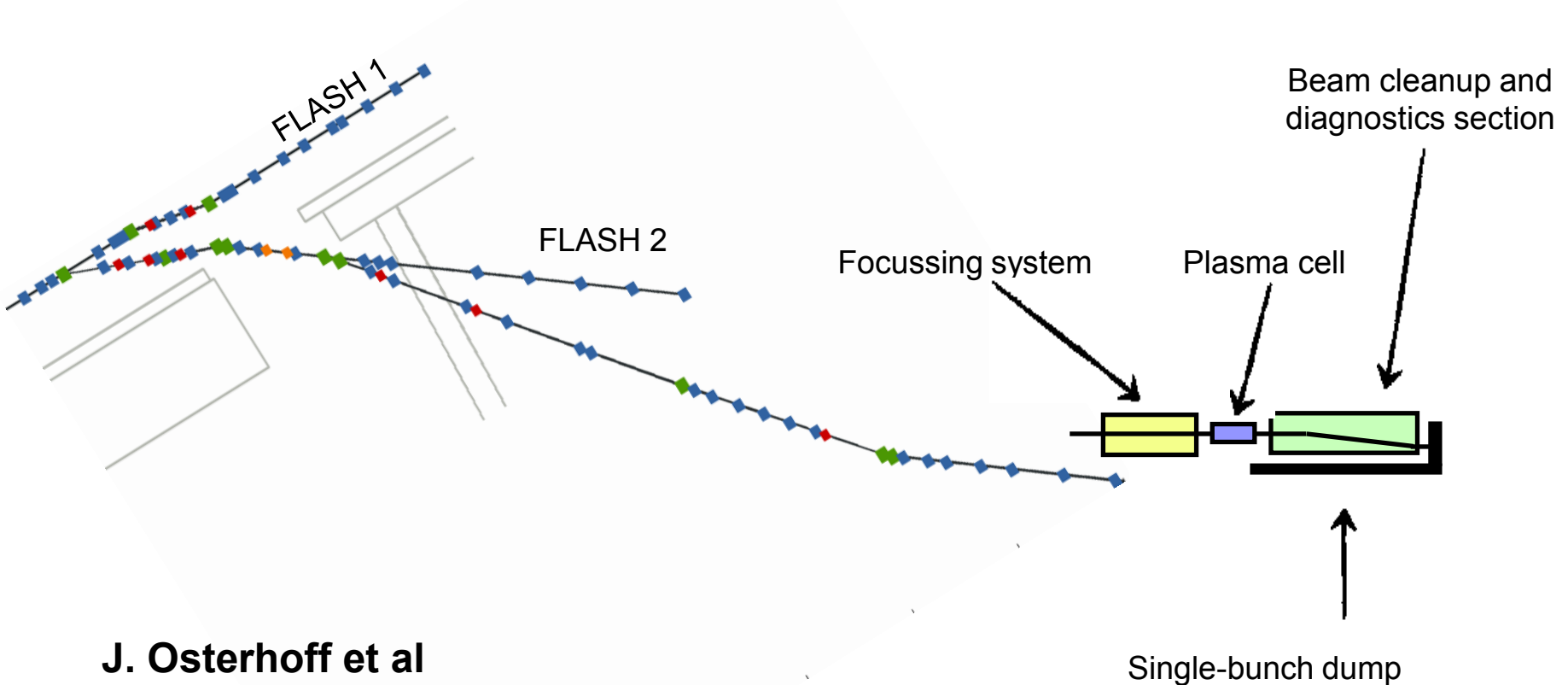


- Copper tube helps to homogenize temperature distribution: $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ($< 1\%$) over 10cm
- Temperature is high enough: need $\approx 650^{\circ}\text{C}$ in PITZ experiment

LAOLA@FLASH (under discussion)

Idee: Ausnutzen des **exzellenten FLASH Elektronenstrahls** für Plasmabeschleunigung

Strahlgetriebenes Plasma-Wakefield in FLASH3 beamline (Tunnel von FLASH2)



J. Osterhoff et al
Under discussion...

- > Use the **FLASH electron bunch as driver for plasma wakefields** (beam electrons expel plasma electrons).
- > Boosting the energy of a FLASH beam from 1.2 GeV to > 7 GeV in less than 10 cm seems feasible:

1.2 GeV → 7 GeV in 0.1 m

- > Will explore various methods of injecting witness bunches into wakefields, current simulations show
 - Trojan horse injection: 1.3 fs bunch length, 13 pC charge, 2.35 GeV energy with 1% spread, μm emittance
 - other injection techniques planned...
- > Final Goal: stabilize the process and **drive an FEL**.
- > Two bunch schemes possible: Driver and witness bunch...

LAOLA@FLASH Stage 1: Schedule

Year	Task
2012, November	Start of plasma dynamics studies
2013, January	Start of beam dynamics studies
2013, December	Finish beam dynamics studies
2014, January	Start technical drawings
2014, June	Finish technical drawings
2014, July	Start fabrication/procurement of beamline components
2015, April	Ready for installation of beamline / to wait for FLASH 1/2 shutdown
+ 3 months	Beamline installation, stage 1
+ 6 months	Beamline commissioning
afterwards	First experiments start

J. Osterhoff et al

Under discussion...

Soon update on FTE's from DESY-M groups

Plasmabeschleuniger: Unser DESY/Uni HH Ziel?

> Zwei mögliche Ziele:

- 1) Grundlegende Beschleunigerforschung: **OK, wie es ist.** Mehrere, in lockerer Kollaboration verbundene Teams von denen jedes ihr eigenes Experiment betreibt.
- 2) Bau eines kompakten Plasmabeschleunigers auf Basis existierender Forschungsergebnisse: **Dedizierte Testanlage mit optimierten technischen Parametern und ausreichend Platz.**

> International: **Wettlauf um den ersten Plasma-FEL** (5th generation light source, im Prinzip deutlich bessere Parameter denkbar, komplementär zu konventionellen Anlagen)

- Zahlreiche dedizierte Testanlagen in Operation, Planung oder Bau (typisch 20-50 M€ pro Anlage): BELLA (US), FACET (US), FACET-II (US), SPARC (I), IRIDE (I), CILEX/LUNEX5 (F), SCAPA (UK), China, ...
- Europa: Extreme Light Infrastructure (ELI)

> National:

- Signifikante (40 M€) Mittel in Helmholtz Roadmap aufgeführt (Distributed ARD Test Facility). Formaler POF-3 Vorschlag notwendig für 2015/16.
- Vorschlag aus Jülich für eine 1 PW Laser und Plasmabeschleunigung Facility.
- **Ein starker DESY Vorschlag ist notwendig.**





Accelerator Research at DESY

SC Technology

(R&D on CW, cryo module test bench, ongoing)

SC Processes

(large series production & testing of sc cavities and modules, AMTF, ongoing)

Surface Technology

(cavity surfaces, CRISP, ongoing)

FEL Seeding

(sFLASH, FLASH2 seeding, ongoing)

LAOLA at FLASH2

(beam-driven plasma acceleration, 2016+)

SINBAD

(ultra-short bunches, LAOLA, prototype table-top FEL, 2017+)

AXSIS

(atto-second bunches, ICS, 2014+)

LAOLA at REGAE

(laser-driven plasma acceleration, 2013-2016)

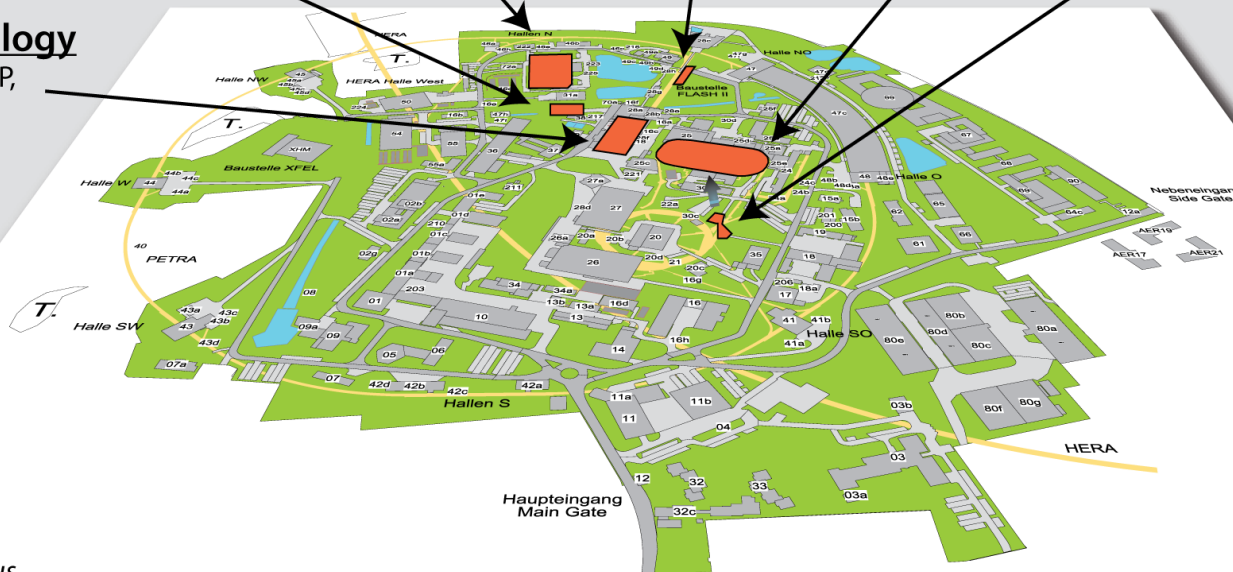
Zeuthen Campus

Photo-Injector

(ongoing)

LAOLA at PITZ

(bunch modulation in plasma, 2013+)



Hamburg Campus

Warum braucht man eine dedizierte Test Facility?

> Technische Gründe und Effizienz:

- Man braucht einen kompakten Injektor (FLASH ist nicht kompakt) mit Strahlgeschwindigkeit ähnlich Gruppengeschwindigkeit der Plasmawelle (REGAE hat $\gamma=10.8$).
- Man braucht Platz für Lasereinkopplung, Matching, Weitertransport/Diagnostik/Kollimation des Plasma-beschleunigten Strahls, für Vakuumabschottung, Undulatoren,
- Man braucht Plasmazellen mit ausreichend großer Apertur für Strahldurchgang (0.2 mm mit besserer Vakuumabschirmung → 5 mm mit schlechterer Vakuumabschirmung).
- Man braucht mehrere Experimentierplätze ohne Duplikation der teuren Infrastruktur (Laser, Timing, ...).
- Man braucht viel Experimentier- und Entwicklungszeit (kein Userbetrieb).

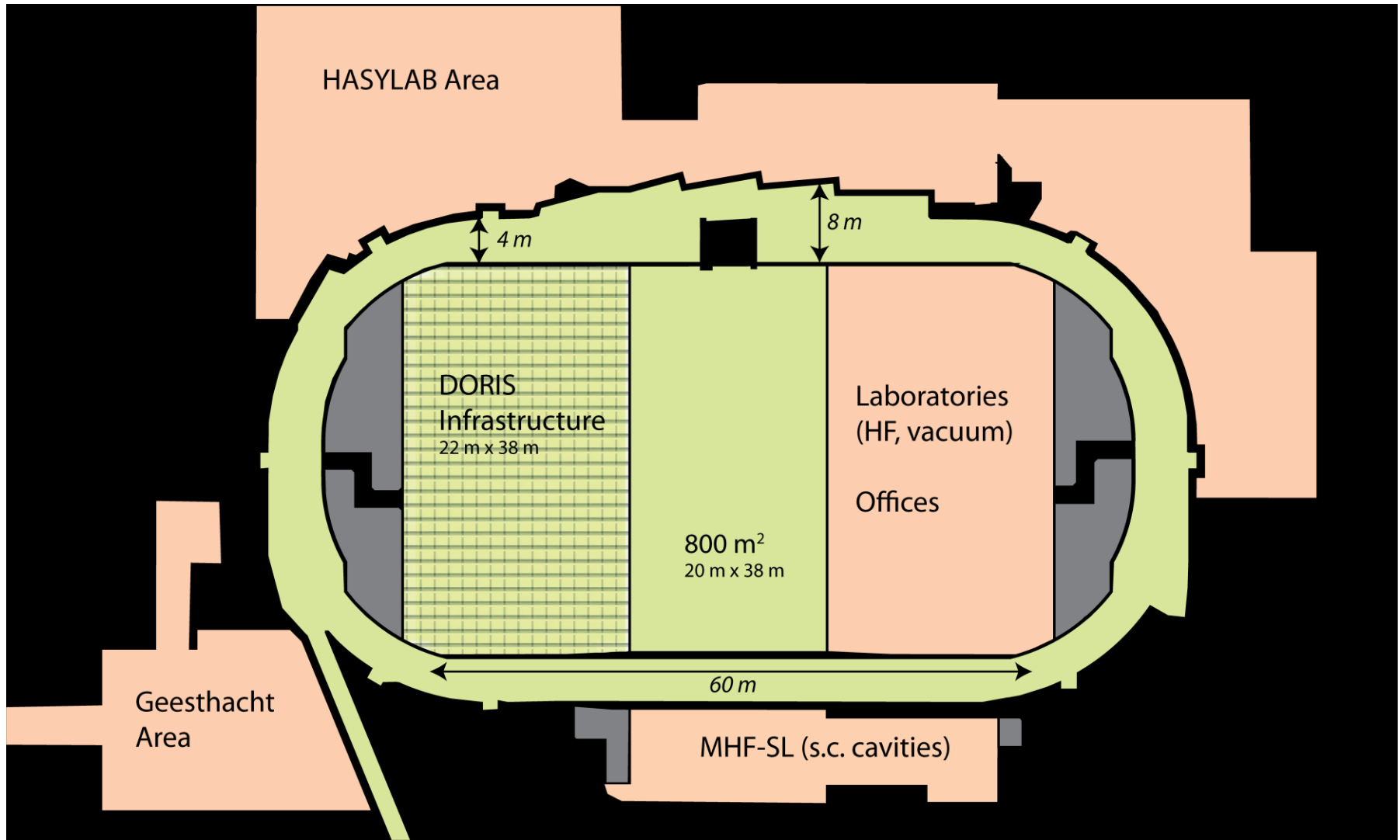
> Strategische Gründe:

- Diese Technologie revolutioniert das Feld der GeV Beschleuniger mit kleinen Bunchlängen und Emittanzen → prädestiniert für FEL Anwendungen, ultra-schnelle Physik. Danach Hochenergiephysik, Medizin, Industrie, ...
- Technologie ist schwierig & sehr kompetitiv. Wer nicht dabei ist, kann abgehängt werden.
- Viele Hauptwettbewerber des DESY investieren in dedizierte Testanlagen: SLAC, LBNL, ...

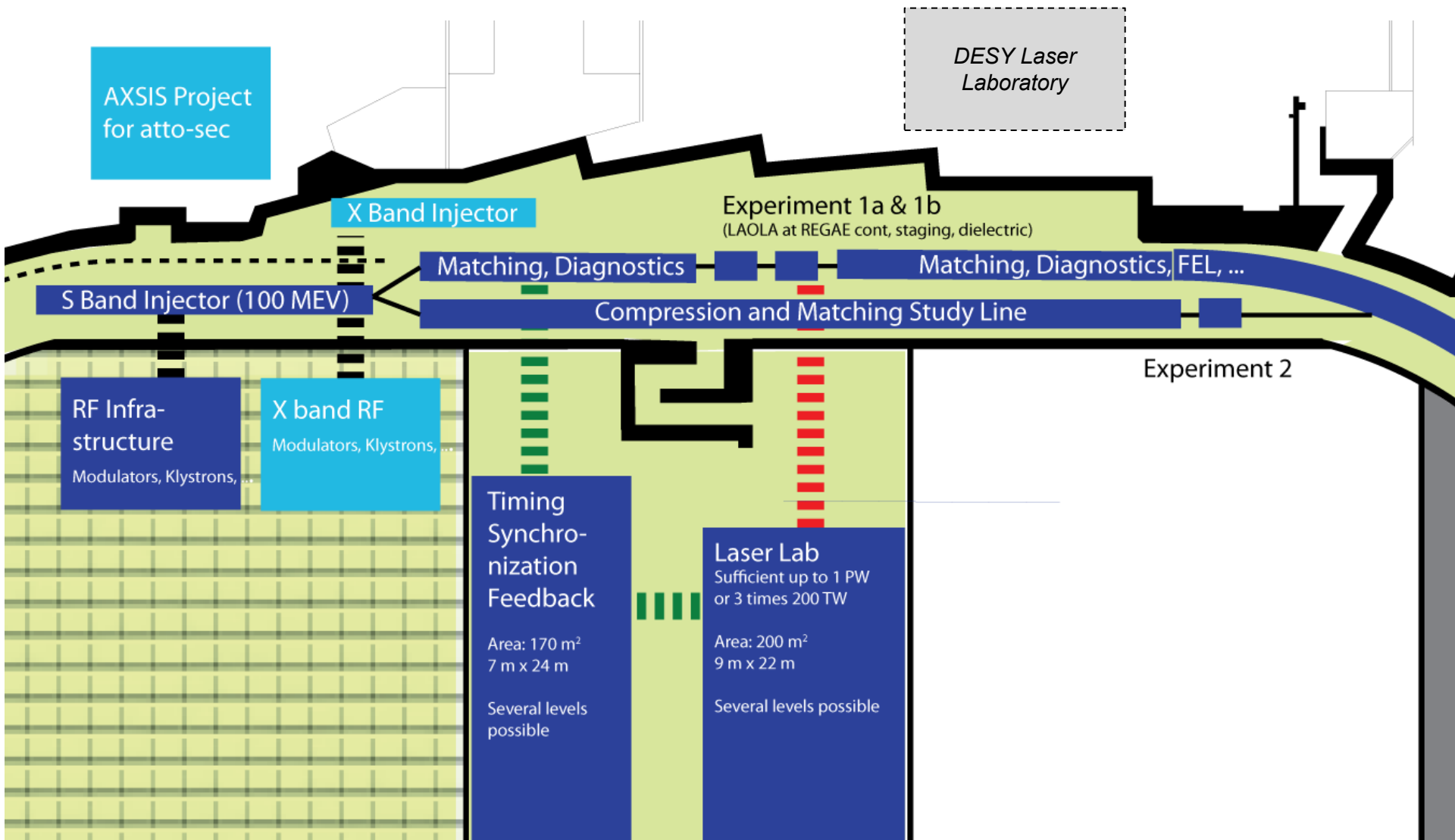
SIEHE DESY ERFOLG MIT TTF → FLASH...



DESY hat einmalige Infrastruktur: DORIS...



SINBAD (Short Innovative Bunches and Accelerators at Doris): Phase 1



DESY Laser Laboratory

AXSIS Project
for atto-sec

X Band Injector

Experiment 1a & 1b
(LAOLA at REGAE cont, staging, dielectric)

Matching, Diagnostics

Matching, Diagnostics, FEL, ...

S Band Injector (100 MEV)

Compression and Matching Study Line

Experiment 2

RF Infra-
structure
Modulators, Klystrons,

X band RF
Modulators, Klystrons,

Timing
Synchro-
nization
Feedback

Area: 170 m²
7 m x 24 m

Several levels
possible

Laser Lab
Sufficient up to 1 PW
or 3 times 200 TW

Area: 200 m²
9 m x 22 m

Several levels possible

44 m

4 m

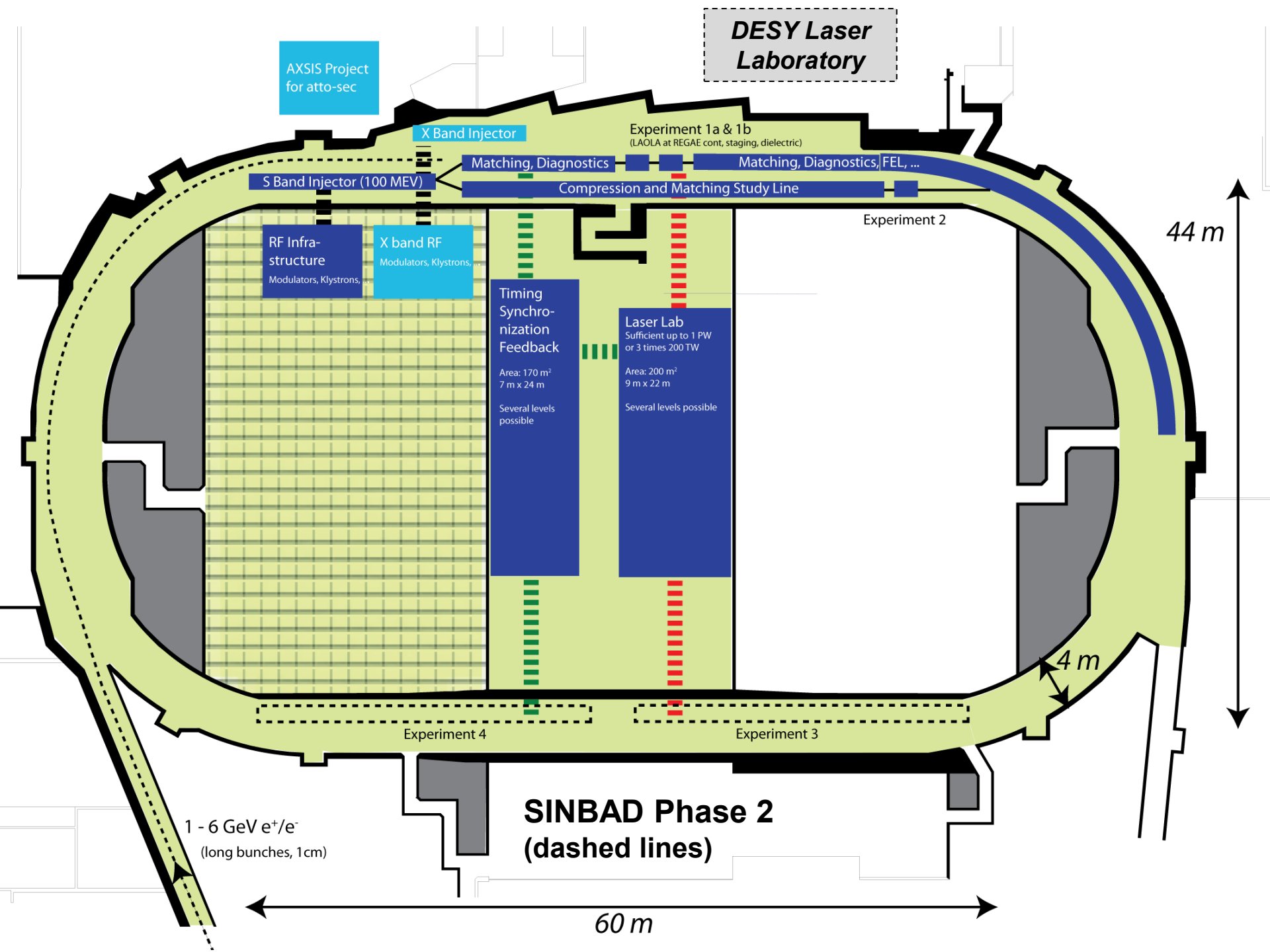
Experiment 4

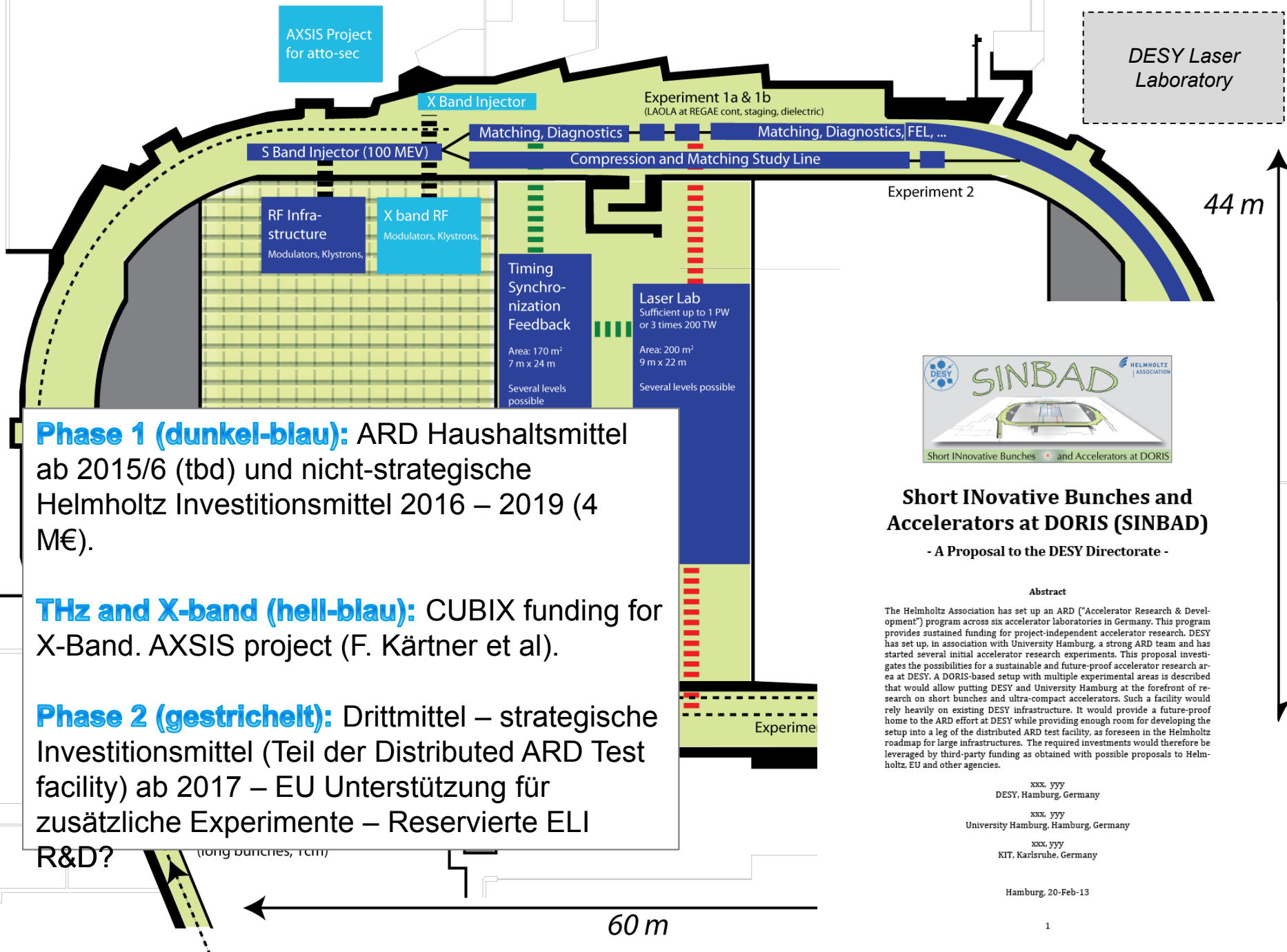
Experiment 3

SINBAD Phase 2
(dashed lines)

1 - 6 GeV e⁺/e⁻
(long bunches, 1 cm)

60 m





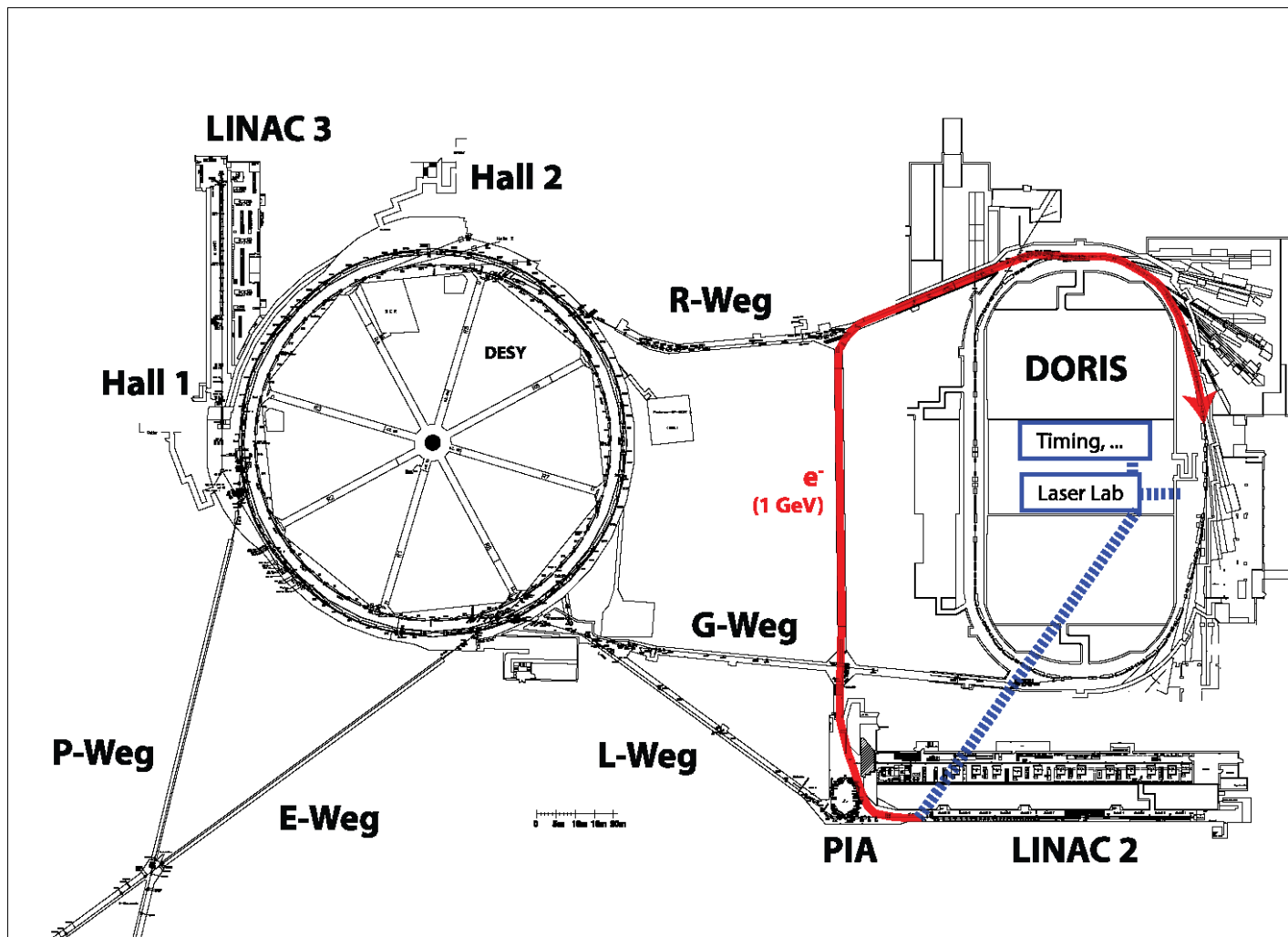
100 MeV Injector: from REGAE over FLUTE to SINBAD

Table 1 Several main parameters of REGAE and FLUTE, compared to the proposed SINBAD injector and linac. For FLUTE and SINBAD, both a base option “I” and an ultimate research goal “II” are defined.

Parameter	Unit	REGAE	FLUTE I	FLUTE II	SINBAD I	SINBAD II
Maximum length	m	10	15	15	60 + arc	60 + arc
Linac length	m		5.2	5.2	15	15
Beam energy	MeV	5	42	42	≥ 100	≥ 100
Charge	nC	0.001	0.1 – 3.0	0.1 – 3.0		
Repetition rate	Hz		10	10	10	100 – 1000
Bunch length	fs	7	400 – 10	1		
Transverse emittance $\gamma\epsilon$	$\mu\text{m-rad}$	0.005				
Material cost accelerator	M€		2.75	n/a		
Number of bunches per pulse		1	1	1	1	100



“Konventionelle” 1 GeV Elektronen in DORIS?



Exzellente Einbindung
in DESY Anlagen!

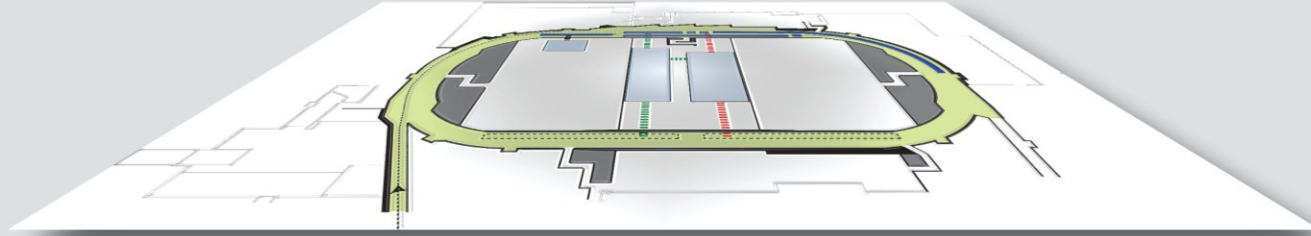
1 GeV ermöglicht **FEL
Studien, Seeding, ...
in DORIS**, außerhalb
des Nutzerbetriebs.
Siehe FACET-2
Vorschlag am SLAC!

**Zeigt enormes
Potential von DORIS
für Beschleuniger-
forschung!**

PIA ermöglicht
Positronen →
notwendig für Collider
Anwendungen (HEP)!



SINBAD



*from more immediate
to more distant goals*

*(start on top of list –
we might get stuck
but we will have the
room to make these
goals)*

Short INnovative Bunches  and Accelerators at DORIS

Research on Advanced Electron Beams and Applications

Establishing the sub femto-second frontier in conventional electron beams.

Developing a THz-driven injector with a nano-emitter photo-cathode and 20 atto-second bunch length.

Developing a compact and modular plasma accelerator unit with industrial quality.

Pioneering the first complete prototype for a “table-top” VUV FEL.

Demonstrating the principle of a plasma-driven collider at low energy.

Rahmenbedingung Helmholtz ARD Programm



Koordination: Reinhard Brinkmann

- > SINBAD kann der **DESY Teil einer „Distributed ARD Test Facility“** sein.
- > DESY Schwerpunkt: **FEL und Teilchenphysik**
Anwendungen neuartiger Elektron-Beschleuniger.
- > Schwerpunkte an anderen Helmholtz Zentren und Instituten: Neuartige **Ionen- und Protonenbeschleuniger**, Anwendungen in der **Medizin** und **Ionenphysik, Polarisation**, ...
- > Ziel: Synergetische, koordinierte Forschung.



Rahmenbedingung DESY

- > Das SINBAD Projekt muß sich **in bestehende Projekte einfügen** und die **Verfügbarkeit von DESY Ressourcen** berücksichtigen:

- Bis Ende 2015: Team Beschleunigerforschung DESY und Uni Hamburg.

Design und vorbereitende Studien für SINBAD.

Experimente in LAOLA@REGAE und LAOLA@PITZ.

AXSIS Studien.

Experimente an FLUTE am KIT.

Experimente an SPARC in Frascati (Vorschlag eines Memorandum of Understanding), SLAC, ...

Endgültige Projektentscheidung.

- 2016: Aufräumen DORIS.
- 2017: Aufbau von Phase 1 und Umzug von LAOLA@REGAE nach SINBAD.

Beginn der ersten Plasma- und Strahlstudien in SINBAD.

- 2020: Ausbau SINBAD komplett.

Vier unabhängige Experimentierplätze.

Eventuell Laser-Upgrade zu 1 PW.

- > Finanzierung der Phase 1 über ARD Haushaltsmittel und nicht-strategische Investitionsmittel.

- **Hebel für Drittmittel-Finanzierung.**



Zusammenfassung und Ausblick

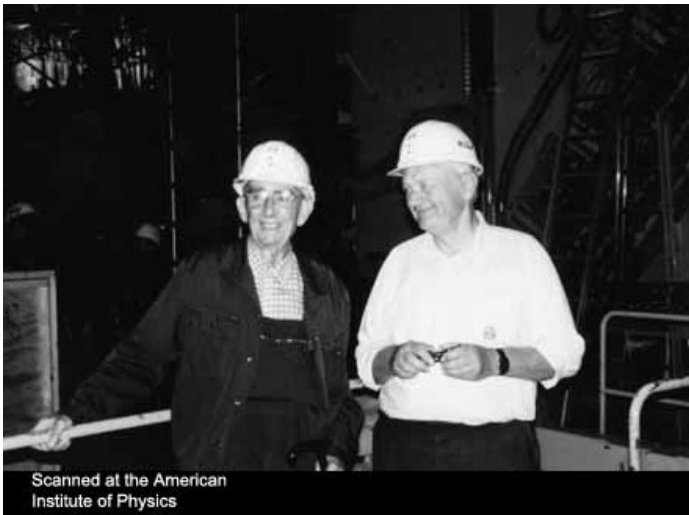
- > **DESY (im Rahmen von Helmholtz ARD) baut die Beschleunigerforschung stark aus.** Zusätzliche Helmholtz Mittel...
- > DESY kann im Bereich neuartiger Beschleuniger zusammen mit anderen Helmholtz Zentren eine **weltführende Rolle** zu etablieren.
- > Forschung ist riskant (Erfolg kann nicht garantiert werden).
- > Falls erfolgreich stehen wir am Beginn einer Revolution im Beschleunigerbau.
- > **Der nächste DESY Großbeschleuniger in den 2020's könnte "kleiner" Großbeschleuniger sein:**
Groß ist Energie und Qualität, klein ist Größe und Preis!



Wir treten in große Fußstapfen...

- > Tradition der deutschen Beschleunigerforschung und –entwicklung:

Voss-Wideröe Center for Accelerators – A Competence Field of PIER



Gus Voss: Einer der beiden Erfinder des “Beta-Squeezes”, welches hohe Eventraten ermöglicht (kein Higgs ohne Squeeze). Langjähriger Direktor für Beschleuniger am DESY und Erbauer zahlreicher DESY Beschleuniger.

Rolf Wideröe: Legendäre Doktorarbeit Aachen 1927. Erfindung und Aufbau des ersten RF Beschleunigers, Idee für den ersten Kreisbeschleuniger.

- > *Danke für Ihre Aufmerksamkeit und Ihr Interesse!*

The End – Reserve Slides



Wideröe's Doktorarbeit 1927 in Aachen



Über ein neues Prinzip zur Herstellung hoher Spannungen

Von der Fakultät für Maschinenwirtschaft der Technischen Hochschule
zu Aachen

zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs

genehmigte

Dissertation

vorgelegt von

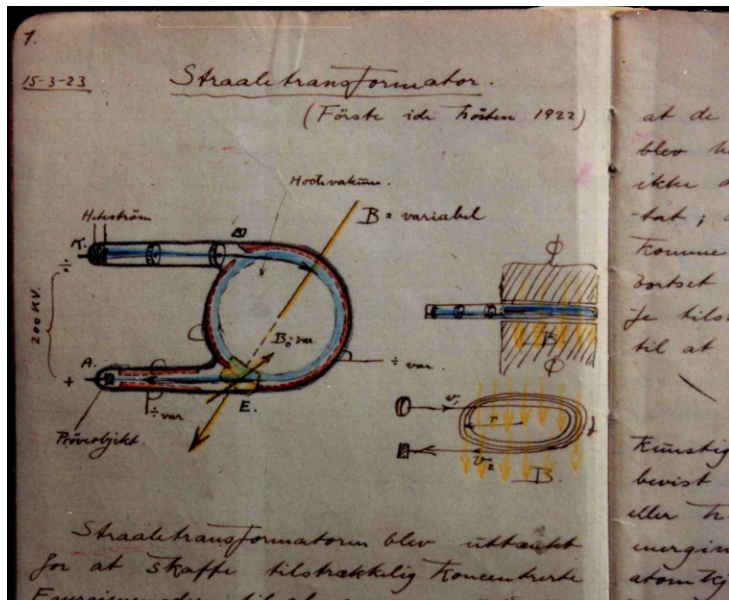
Rolf Widerøe, Oslo

Referent: Professor Dr.-Ing. W. Rogowski

Korreferent: Professor Dr. L. Finzi

Tag der mündlichen Prüfung: 28. November 1927

27 pages



Sonderdruck aus Archiv für Elektrotechnik 1928, Bd. XXI, Heft 4
(Verlag von Julius Springer, Berlin W 9)



Distributed ARD Test Facility – Helmholtz Roadmap

- > Die letzte Helmholtz Roadmap für Forschungsinfrastrukturen wurde in 2011 veröffentlicht.
- > Diese Roadmap sieht eine **Distributed ARD Test Facility** vor.
- > Diese Anlage wäre ein gemeinsamer Vorschlag von verschiedenen Helmholtzzentren.
- > Die vorgesehene Sachmittel Investition:
40 M€.
- > DESY könnte mit einem starken Vorschlag daran erheblichen Anteil haben.

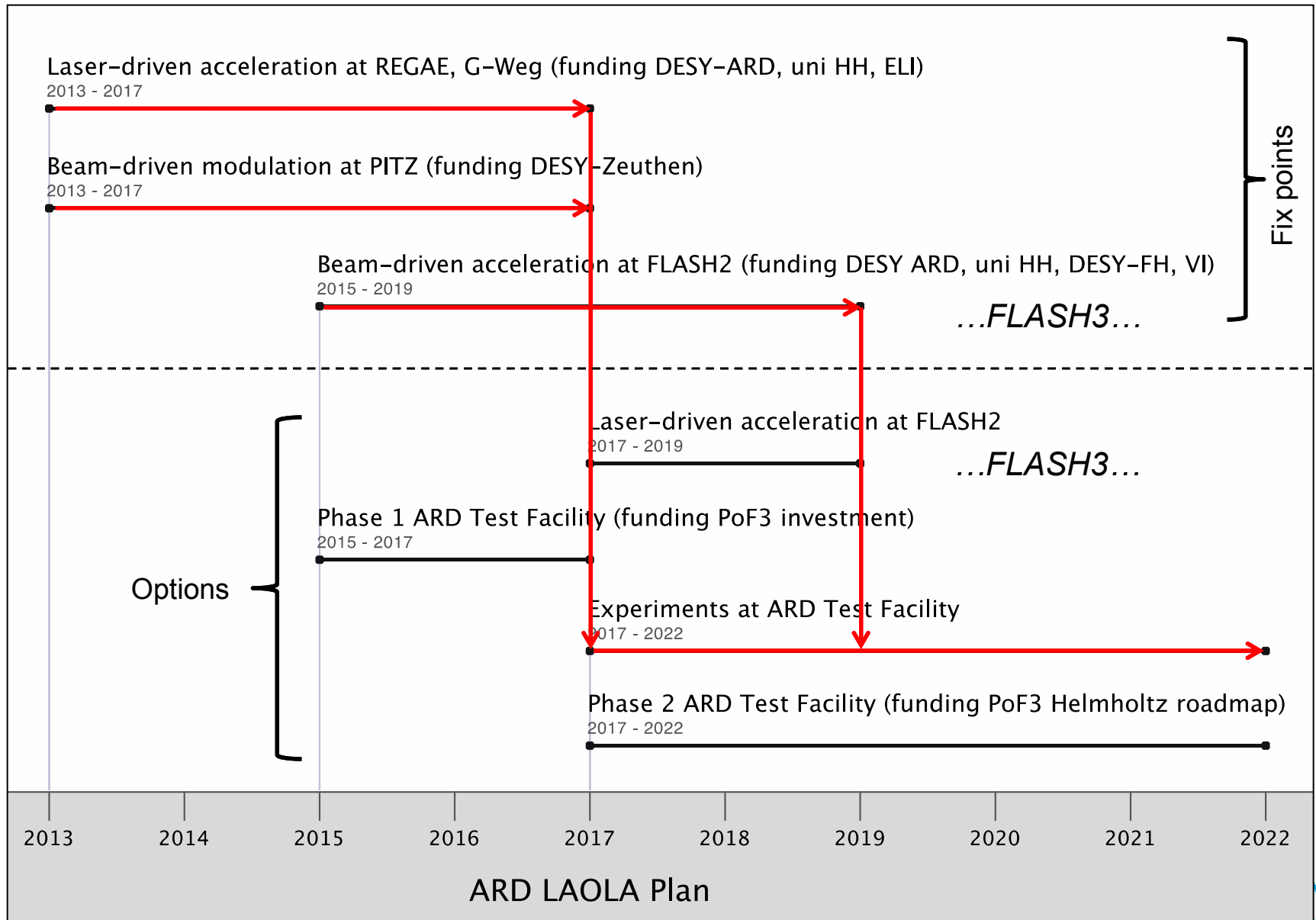


Highlights in Distributed ARD Test Facility @ DESY

- R&D on relativistic electron bunches from a photo-injector with **unprecedented short bunch length** and small transverse emittance.
- Central lab space, **big enough for state-of-the-art lasers** (or several lasers) and **synchronization/timing/feedback lab** with advantageous feedback paths.
- **External injection** of relativistic electron bunch from photo-injector or laser-plasma-injector into plasma wakefield structure (also in FLASH program).
- Possibility for **beam transport, beam cleaning and diagnostics downstream** of plasma structure for more than π phase advance.
- Measure 6D transfer function. Possibility to optimize and stabilize **transfer function** through plasma (known beam in, known beam out).
- Space for **undulators** and photon beam lines for FEL pilot user tests.
- Possibility for **staging of several plasma wakefield structures**.
- Possibility for bunch trains, **resonant (beam-driven) plasma wakefield excitation** and acceleration (N first bunches transfer energy to last bunch).
- Possibility for **several independent experiments**, e.g. allowing to set up one EU supported test area (EU funding).



One Candidate ARD LAOLA Plan (without experiments at collaborators)



**ERC Synergy Grant 2013
Research proposal (Part B1)**

Frontiers in Attosecond X-ray Science: Imaging and Spectroscopy

AXSIS

Principal Investigators:

Prof. Dr. Franz X. Kärtner (University of Hamburg, CFEL/DESY and MIT) – *Corresponding PI*

Dr. Ralph W. Assmann (Deutsches Elektronen Synchrotron, DESY, Hamburg) – *PI*

Prof. Dr. Henry N. Chapman (University of Hamburg, CFEL/DESY) – *PI*

Prof. Dr. Petra M.-L. Fromme (Currently: Arizona State University / future: DESY, Hamburg) – *PI*

*A compact movie camera with atomic resolution -
Attosecond X-ray crystallography and spectroscopy with a compact source*



- > Together with photo-field emission from nanoscale field emitter arrays (FEA), plasmonics and high average power lasers, we are in a good position to develop a novel C-ICS source that generates the required high peak brilliance attosecond X-ray pulses.
- > Key components are:
 1. THz gun with a coherently controlled nano-scale FEA to generate an electronic Coulomb crystal.
 2. THz waveguides and bunch compressors to enable 1-10 pC bunch acceleration and compression.
 3. High power lasers and efficient THz sources to power the THz accelerator and optical undulator.

Ort des Experimentes: **DORIS**

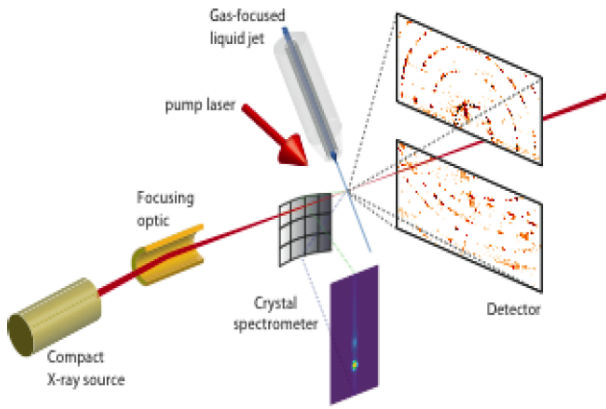


Figure 1: Schematic of the attosecond serial crystallography and spectroscopy set-up. X-ray emission is measured with a multi-crystal spectrometer in the von Halmos geometry [Alonso-Mori 2012b]. Diffraction is measured with a custom 1 kHz CMOS pixel detector

Table 1: Source performance for a 4 keV and 12.4 keV C-ICS source, at 1kHz repetition rate, $a_0=0.3$, $B_0=0.1$, $\lambda_L=2 \mu\text{m}$, $N_L=N_x=25$ and LCLS in the long bunch mode at its highest photon energy 9.6 keV

Parameter	C-ICS 4 keV	C- ICS 12.4 keV	LCLS 9.6 keV	Units
Bunch charge	3	3	150	pC
e-beam energy	20	35	10,000	MeV
Photon wavelength	0.3	0.1	0.13	nm
Relativistic factor γ	40	71	20,000	
Photonnumber, N_{coh}	10^9	10^9	2×10^{12}	Photons
Average photon flux	1.2	1.2	2×10^2	$\times 10^{12}$ ph/s
Peak flux	5	10.	2	10^{25} ph/s
Average power	0.7	2.4	500	mW
Bandwidth (FWHM)	2	2	0.2-0.5	%
RMS Source size	5	5		μm
Opening angle	18	6		μrad
Average brightness*	1.4	10	160	10^{20} ph/(s 2% bw mm^2mrad^2)
Peak brightness*	6	180	2	10^{33} ph / (s 2% bw mm^2mrad^2)
Pulse length	23	7.5	100,000	as

*Nonstandard def. of brightness 2% bw rather than 0.1% bw, however this is the quantity of importance for attosecond X-ray crystallography and spectroscopy.

AXSIS Schedule (if approved and funded)

b.3.8 Brief schedule and milestones for imaging, spectroscopy and accelerator R&D:

- M01 – M18 (2014 – 2015): Detailed design of diffraction apparatus, optics, spectrometer, diagnostics; detailed numerical models for THz gun, waveguide accelerator and bunch compression, and interface to ICS section. THz e-gun commissioning and characterization.
- M18 – M36 (2015-2016): Characterization of piezoelectric drop-on-demand crystal delivery; Calibration of X-ray photoemission spectrometer; accelerator parameter ranges are frozen, diagnostic and beamline elements specified and procured, injection from THz gun into diagnostics beamline, full characterization and optimization of the THz gun and initial low-energy ICS section.
- M36 – M 54 (2017-2018): Pre-studies of time-resolved X-ray FEL diffraction and spectroscopy at ~ 1 ps resolution, reference simulations for the project; characterization of 10 kHz X-ray detector; injection from the THz gun into the THz waveguide accelerator and extraction into diagnostics beamline. Full characterization and optimization of the THz waveguide accelerator and ICS section, assembly of final x-ray source. Demonstration of the 50 attosecond regime.
- M54 – M72 (2019 – 2020): Full system test, collecting diffraction and X-ray spectra at 1-10 kHz with C-ICS source (with metallo-organic complexes), time-resolved diffraction and spectroscopy of FMO, time resolved diffraction and spectroscopy of PSI and PSII at better than 10 fs temporal resolution

