



Manfred Rübner

Silke Scheerer · Ulrich van Stipriaan (Herausgeber)

Festschrift
zu Ehren von
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h.
Manfred Curbach

Dresden, 28. September 2016

Impressum

Herausgeber	Silke Scheerer, Ulrich van Stipriaan
Redaktion	Silke Scheerer
Autorenfotos	<i>Fotostudio Jünger</i> S. 124 oben <i>Edvard Krikourian</i> S. 124 unten rechts <i>Kirsten J. Lassig</i> S. 12 <i>Bertram Lubiger</i> S. 192 <i>Juri Paulischkis</i> S. 104 <i>A. T. Schaefer, Stuttgart</i> S. 62 <i>Sylke Scholz, Dresden</i> S. 256 <i>Ulrich van Stipriaan</i> S. 80, 90, 104, 124 Mitte rechts, 146, 150, 152, 160, 216, 228, 234 Mitte links und unten links/rechts, 292, 320 <i>Nic Vermeulen</i> S. 280 <i>Irina Westermann</i> S. 42 oben Von Autoren zur Verfügung gestellt: S. 16, 24, 42 unten, 124 (2x), 178, 234 (3x)
Layout, Satz	Ulrich van Stipriaan
Titelbild	Ulrich van Stipriaan
Korrektur	Birgit Beckmann, Angela Heller
Druck	addprint AG, Bannewitz

Redaktionsschluss für dieses Buch war der 28. August 2016.

Inhalt

<i>Silke Scheerer, Ulrich van Stipriaan und Wolfgang Leiberg</i>	
Zum Geleit	8
Teil I – Texte zum Kolloquium	11
<i>Hans Müller-Steinhagen</i>	
Grußwort	12
<i>Harald Budelmann</i>	
Laudatio	16
<i>Konrad Bergmeister</i>	
Weniger ist manchmal mehr – ein Beitrag zur Mindestbewehrung	24
<i>Harald S. Müller und Michael Haist</i>	
Opus Caementitium Optimum – Der nachhaltige Beton des 21. Jahrhunderts	42
<i>Werner Sobek</i>	
Über die Gestaltung der Bauteilinnenräume	62
Teil II – Weitere Beiträge	79
<i>Thomas Bösche</i>	
Mehr Mut im Ingenieurbau.....	80
<i>Harald Budelmann und Sven Lehmberg</i>	
Von der Küchenarbeitsplatte zum leichten Tragwerk –	
Was kann ultrahochfester faserverstärkter Feinkornbeton?	90

<i>Luna Manolia Daga und Udo Wiens</i>	
Mehr als nur schwarze Buchstaben auf weißem Papier – Ein Essay	104
<i>Ulrich Häußler-Combe</i>	
Aspekte der Modellierung von Stahlbetontragwerken	108
<i>Josef Hegger, Norbert Will, Rostislav Chudoba, Alexander Scholzen und Jan Bielak</i>	
Bemessungsmodelle für Bauteile aus Textilbeton	124
<i>Frank Jesse</i>	
Über die Länge der Leine	146
<i>Peter Mark</i>	
Mit Leichtigkeit	150
<i>Steffen Marx</i>	
Gute Lehre im Konstruktiven Ingenieurbau	152
<i>Viktor Mechtcherine</i>	
Hochduktiler Beton – eine Konkurrenz zu Textilbeton?	160
<i>Karl Morgen</i>	
Deutschlands größte Kamera	178
<i>Peter Offermann</i>	
Wie alles begann	188
<i>Dirk Proske</i>	
Ist die Energiewende ein technischer Hype?	192
<i>Mike Schlaich</i>	
Die Hommage als Quelle der Inspiration	216

<i>Jürgen Schnell</i>	
Fashion Statement	228
<i>Mario Smarslik, Christoph Kämper, Patrick Forman, Tobias Stallmann, Peter Mark und Jürgen Schnell</i>	
Topologische Optimierung von Betonstrukturen	234
<i>Jürgen Stritzke</i>	
Leipziger Großmarkthalle – ein „Historisches Wahrzeichen der Ingenieurbaukunst in Deutschland“	256
<i>Luc Taerwe</i>	
Self-anchored suspension bridges with prestressed concrete deck: historic examples	280
Teil III – Institut für Massivbau	291
<i>Silke Scheerer (Text) · Ulrich van Stipriaan (Fotos)</i>	
Massivbau an der TU Dresden gestern und heute	292
<i>Angela Schmidt</i>	
Die eingeschlichenen Fehler	320
<i>Manfred Curbach</i>	
Habilitation / Promotionen	326
<i>Ulrich van Stipriaan (Fotos)</i>	
Institut für Massivbau Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter	330

Teil II
Weitere Beiträge



Dr.-Ing. Karl Morgen

*Geschäftsführer von WTM
Engineers, Hamburg*

Karl Morgen

Deutschlands größte Kamera

Oder: Wie Bauingenieure der Wissenschaft zum Durchblick verhelfen

Es ist besonders schön, wenn Bauingenieure an Projekten der Grundlagenforschung mitarbeiten dürfen. Das hier vorgestellte Projekt wird Einblicke in Strukturen auf Atomgröße ermöglichen und physikalisch-chemische Prozesse in Echtzeit filmen können und somit einen wesentlichen Beitrag zur Forschung liefern.

Die Zusammenarbeit von Hochenergiephysikern und Bauingenieuren stellt letztere vor völlig neue Herausforderungen, wie z. B. Diskussionen über Verformungen im Nanometerbereich oder der Einfluss der Erdkrümmung auf die Gradienten.

Der Blick über den Tellerrand war eine ungemeine Bereicherung und daher tritt in diesem Beitrag die Bautechnik bescheiden in die zweite Reihe.

1 Einführung

Der Brockhaus [1] definiert Kamera wie folgt: „Gerät zur optischen Abbildung von Gegenständen auf strahlungsempfindlichen Schichten mit den entsprechenden optischen, mechanischen und elektronischen Einrichtungen“.

Klassische Kameras – Größe im Zentimeterbereich – bilden optisch über mechanische Verschlüsse Gegenstände auf Filmen ab. Moderne Digitalkameras bilden optisch über Sensoren elektronische – digitale – Bilder ab. Sie sind klein, ja sogar so winzig – im Millimeterbereich –, dass sie heute in jedem Smartphone zu finden sind.

Röntgengeräte mit Größe im Meterbereich können Gegenstände durchleuchten und Bilder z. B. vom Knochengestüt des Menschen oder Verborgenes sichtbar machen.



Eines der ersten Röntgenbilder ist das von Albert von Kollikers Hand (mit Ring) vom 23. Januar 1896, aufgenommen von Wilhelm Conrad Röntgen. (Foto zu finden auf <http://wilhelmconradoentgen.de/en/about-roentgen>)

Der Wunsch, immer kleinere und kleinste Teile zu sehen, d. h. die Auflösung zu vergrößern, gerät mit rein optischen Methoden aufgrund der Wellenlänge des sichtbaren Lichtes (ca. $0,4$ bis $0,8 \times 10^{-6}$ m) an natürliche Grenzen. Für größere Auflösungen werden elektronische Strahlquellen erforderlich.

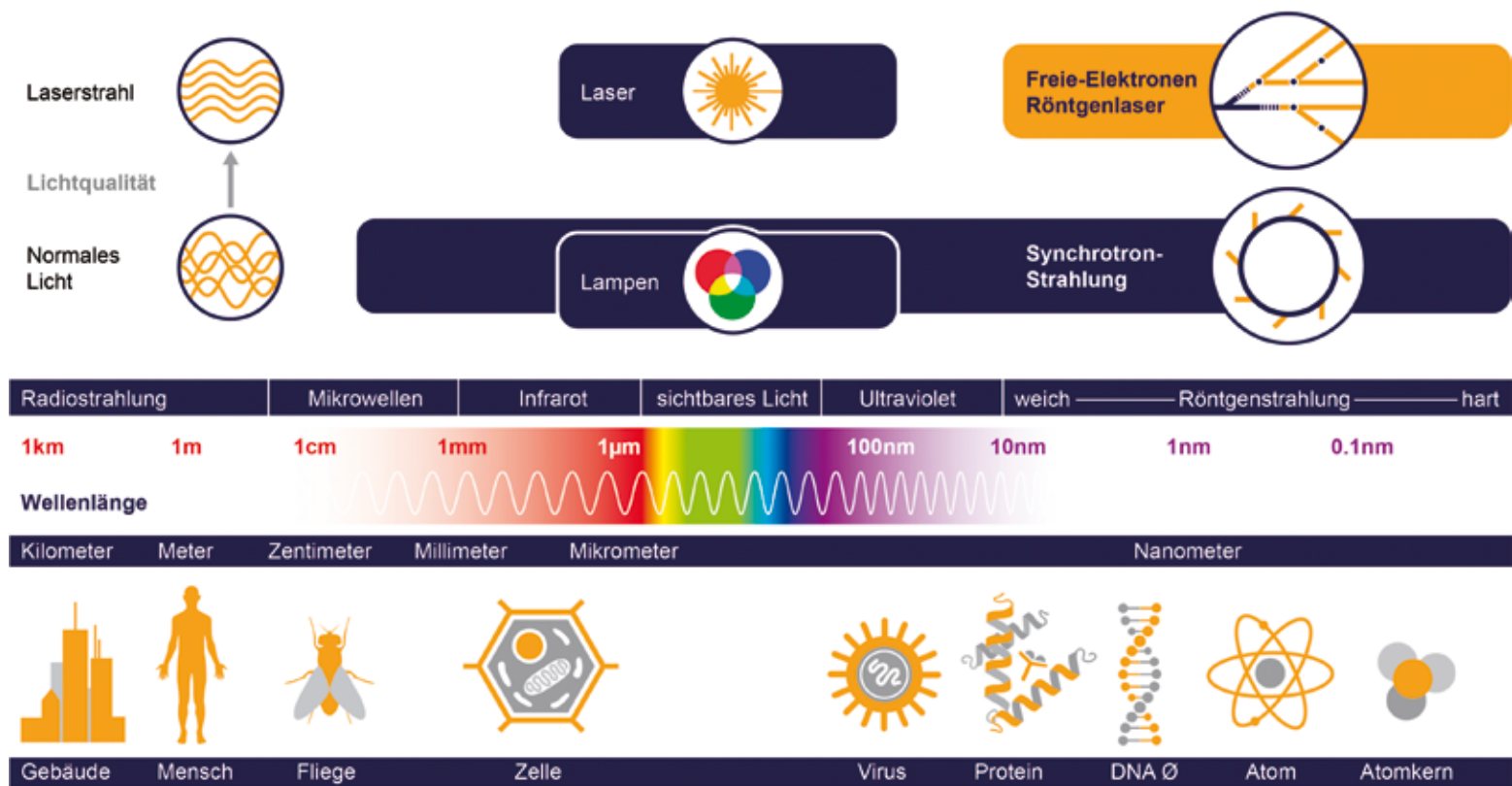
Dies führte zur Entwicklung von Elektronenrastermikroskopen, bei denen stark beschleunigte und gebündelte Elektronenstrahlen über das zu untersuchende Objekt geführt werden.

Für noch größere Auflösungen werden sogenannte harte Röntgenstrahlen mit Wellenlängen im Bereich von 10^{-12} m benötigt. Solches „Licht“ lässt sich mit sogenannten Röntgenlasern erzeugen. Werden hoch energetisch aufgeladene Teilchen beschleunigt, z. B. umgelenkt oder abgebremst, strahlen sie ein breites Spektrum hellen Lichts aus. Dieses Phänomen trat z. B. bei der sogenannten Synchrotronstrahlung in Ringbeschleunigern auf [5]. War es früher eine unvermeidliche Strahlungsquelle, die abgeschirmt wurde, nutzt man diese Synchrotronstrahlung schon seit den 1960er Jahren für die Forschung mit Licht. Dabei lassen sich Auflösungen bis in den atomaren Bereich erreichen. Solche Kameras haben mehrere hundert Meter Durchmesser.

Die Weiterentwicklung der Synchrotronstrahlung für noch höhere Auflösungen und für noch bessere Zeitaufösungen mit dem Ziel, atomare Prozesse filmen zu können, führte zur Entwicklung der

Übermaltes Portrait einer Frau, beim Röntgen des Gemäldes Grasland von Vincent van Gogh entdeckt (Aufnahme: DESY/XFEL), s. a. [2]–[4]





Elektromagnetisches
Spektrum und Größen-
vergleich von Wellen-
längen (Grafik:
© European XFEL)

Röntgenlaser mit Wellenlängen im Nanometerbereich, Lichtblitzen kleiner als 100 Femtosekunden (0,000 000 000 000 1 Sekunden) und extrem hoher Leuchtstärke [6].

Der größte Röntgenlaser Deutschlands befindet sich in Hamburg bei DESY (Deutsches Elektronen-Synchrotron, ein Forschungszentrum der

Helmholtz-Gemeinschaft): der Europäische Röntgenlaser XFEL (**X**-Ray **F**ree **E**lectron **L**aser). Es handelt sich dabei um eine mehrere Kilometer große Anlage [7]. Diese Anlage ist in der Lage, mit ihren ultrakurzen, hochintensiven Röntgenblitzen physikalische, chemische und biologische Prozesse im Detail zu beobachten, sie regelrecht zu filmen und damit völlig neue Forschungsfelder sowohl für



Ribosom 3D: mit dem Röntgenlaser XFEL können beispielsweise biologische Strukturen mit atomarer Auflösung dargestellt werden.

(Grafik: © MPG)

die Grundlagenforschung als auch für die Anwendungsforschung zu erschließen, [8].

2 Der Europäische Röntgenlaser XFEL

Das von der Helmholtz-Gesellschaft betriebene Forschungszentrum DESY in Hamburg-Bahrenfeld verfügt über die Beschleunigerringe DORIS, PETRA und HERA und über die Linearbeschleuniger FLASH I und FLASH II [8]. Die Forschungsanlage des XFEL erweitert die Anlagen um 3,4 km Richtung Nordwesten über das Hamburger Stadtgebiet hinaus bis ins schleswig-holsteinische Scharnebeck.

Am Startpunkt auf dem DESY-Gelände werden die Elektronen im sogenannten Injektor-Komplex



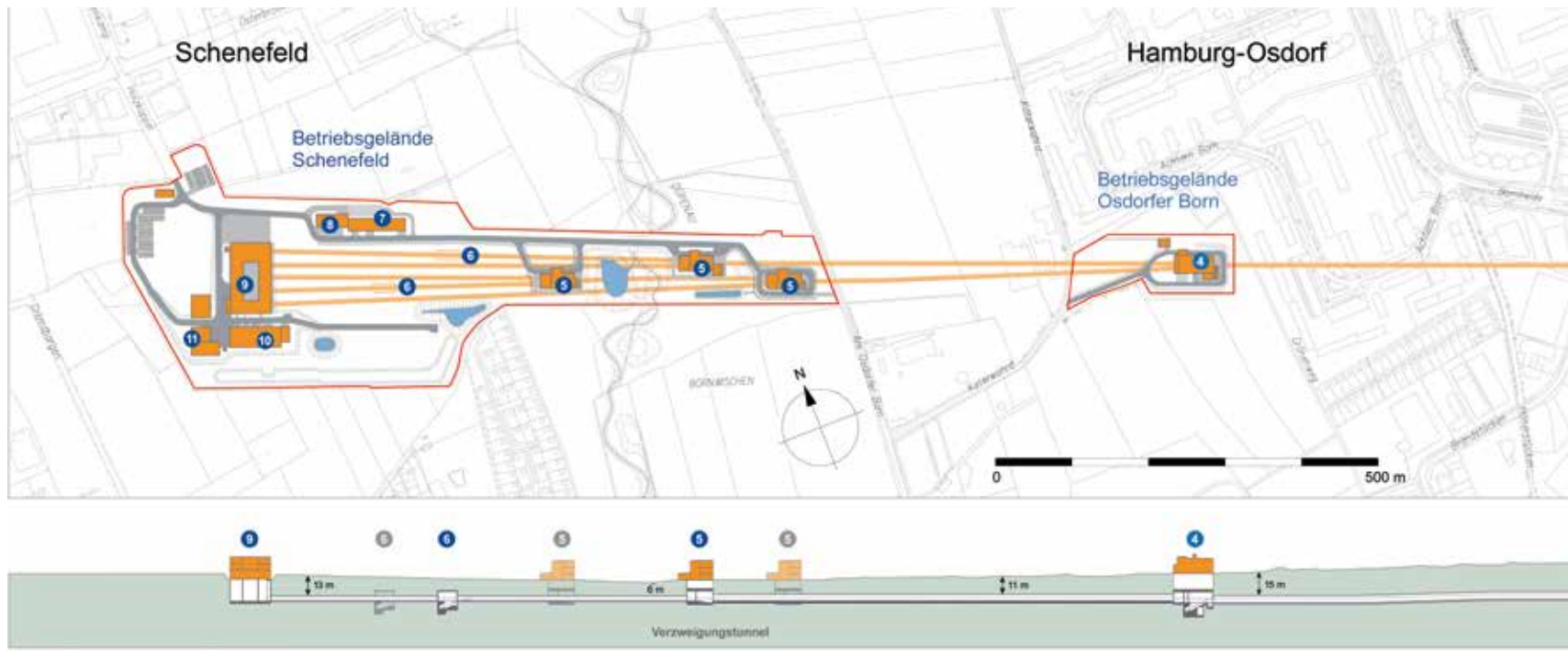
Beschleunigertunnel des European XFEL

(Foto: © DESY 2015)



Undulator nach Einbau in den Beschleuniger

(Foto: © DESY, [9])



erzeugt, dann im unterirdischen Linearbeschleuniger (LINAC) über 2100 m auf nahezu Lichtgeschwindigkeit beschleunigt und fächern sich dann in fünf Undulatorentunnel auf. In diesem Abschnitt der Anlage werden die Elektronenstrahlen wellenförmig umgelenkt und senden dabei die bekannte Synchrotronstrahlung aus, [10]. Der Beschleuniger wird mit einer Temperatur von $-271\text{ }^{\circ}\text{C}$ betrieben. Bei diesen Temperaturen werden die elektrischen Komponenten supraleitend und die elektrischen Verluste deutlich reduziert.

Durch die Hintereinanderschaltung der einzelnen Umlenkvorgänge verstärken sich die dabei entstehenden Röntgenblitze zu einem extrem hellen und kurzwelligen Lichtimpuls im zeitlichen Abstand von Nanosekunden. Diese Lichtimpulse treffen dann auf die zehn Experimentierstationen (zwei je Fächertunnel) in der 4500 m^2 großen, unterirdischen Laborhalle.

Über der Laborhalle befindet sich das Büro- und Verwaltungsgebäude.



Tunnelverlauf mit den drei Betriebsgeländen des XFEL, im Foto und in der Grafik rot umrandet

(Foto und Grafiken:
© European XFEL)





Bildmontage des Büro-
und Verwaltungsgebäu-
des mit unterirdischer
Experimentierhalle
(Grafik: Blunck+Morgen
Architekten,
© European XFEL)

Die Gesamtinvestition beträgt rund eine Milliarde Euro. Davon trägt Deutschland rund 54 %, die europäischen Partnerländer die restlichen 46 %. Die Installation der technischen Komponenten ist schon weit vorangeschritten und die Inbetriebnahme soll noch in diesem Jahr erfolgen.

3 Bautechnische Besonderheiten

Der überwiegende Anteil der Anlage befindet sich unterirdisch in Tiefen bis 40 m und liegt vollständig im Grundwasser. Alle Baugruben mit Flächen von ca. 400 m² bis 4500 m² wurden in wasserundurchlässiger Sohle-Wand-Bauweise mit ausgesteiften bzw. rückverankerten Schlitzwänden und rückverankerten Unterwasserbetonsohlen ausgeführt.

Alle Verbindungstunnel mit Durchmessern zwischen 5 und 6 m wurden im Schildvortrieb mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust aufgeföhren. Sie haben eine Gesamtlänge von 6000 m. Der Beschleunigungstunnel wurde *laser straight* aufgeföhren und ist in der Mitte als Tangente an die Erdkugel angelegt. Über die Gesamtlänge des Beschleunigers beträgt die Höhendifferenz zwischen Erdkreis und Gerade bereits 12 cm. Auch der aus fünf Einzeltunneln bestehende Fächer ist als Tangente zur Erdkrümmung angelegt. Der Tangentenpunkt liegt dabei am Eintrittspunkt der Fächertunnel in die Experimentierhalle.

Während des Betriebes der Anlage entsteht eine hohe ionisierende Strahlung. Daher muss der Elektronenstrahl durch dicke Wände aus Schwerbeton bzw. durch eine mindestens 10 m mächtige Erdüberdeckung abgeschirmt werden. Nach Abschalten ist die Strahlung weg und die Anlage kann sofort betreten werden.

Ein Bauherr, der in Nanometern und in Femtosekunden denkt, stellt natürlich hohe Erwartungen an Setzungen und Toleranzen und es war nicht immer leicht, zwischen bautechnischen Möglichkeiten und Erwartungshaltungen der Physiker zu vermitteln. So war beispielsweise im Bereich der Experimente eine Ebenheitstoleranz von 1 nm auf 10 m gefordert und die im Betrieb auftretenden Setzungen mussten mehr als im Bauwesen üblich begrenzt werden. So dürfen während des Betrie-



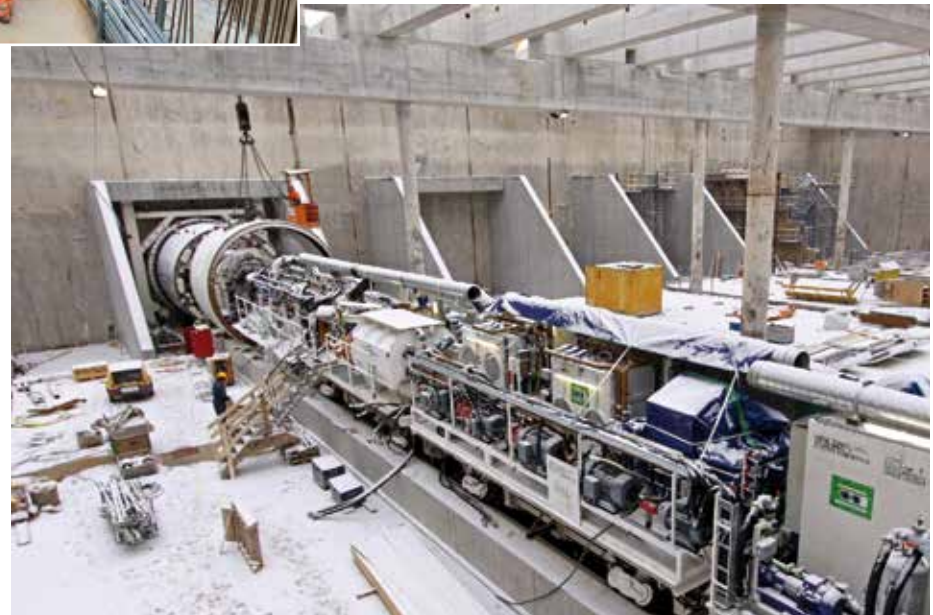
*Zeremonie zur Ankunft
der Tunnelbohrmaschi-
ne AMELI im finalen
Zielschacht am 4. Juni
2012 (Foto:
© European XFEL)*

*Die zweite Tunnelbohr-
maschine S-545 in der
Baugrube der Experi-
mentierhalle auf der
Baustelle Schenefeld
am 2. Dezember 2010*

*(Foto:
© European XFEL)*

bes der Anlage Differenzverformungen von zwei 10 m voneinander entfernten Punkten innerhalb einer Stunde nur 1 μm betragen. Dabei waren folgende Einwirkungen zu berücksichtigen:

- ❑ Eine Person (1 kN) in 2 m Entfernung zum Experiment,
- ❑ Ein Lasttransport zwischen den Experimentierstationen (5 kN),
- ❑ Eine Stützenlaständerung aus dem aufgehenden Gebäude (Hörsäle) von 200 kN.



Dies war am Ende nur durch Schlitzwandscheiben als übergroße Unterzüge unterhalb der Sohle der Experimentierhalle jeweils in Achse des Experiments erreichbar.

4 Schlussbemerkungen

Schon Georg Christoph Lichtenberg (1742–1799) schrieb in seinen Sudelbüchern [11]: „Man muss Neues machen, um Neues zu sehen.“

Beim europäischen Röntgenlaser XFEL handelt es sich um eine Forschungsanlage mit zahlreichen Besonderheiten und hohen bautechnischen Anforderungen. Nach endgültiger Fertigstellung wird es mit dieser Anlage möglich sein, atomare und molekulare Prozesse mit einer Auflösung im Nanometerbereich und einer Bildwiederholung im Femtosekundenbereich zu „filmen“ sowie dreidimensionale Bilder höchster Auflösung zu machen. Mit Abmessungen von mehreren Kilometern ist dies die größte Kamera Deutschlands.

Literatur

- [1] Enzyklopädie. Bd. 11, 19. Aufl., Mannheim: Brockhaus, 1990
- [2] http://www.desy.de/infos__services/presse/pressemitteilungen/2008/pm_300708/index_ger.html
- [3] Dik, J.; Janssens, K.; Van Der Snickt, G.; van der Loeff, L.; Rieckers, K.; Cotte, M.: Visualization of a Lost Painting by Vincent van Gogh Using Synchrotron Radiation Based X-ray Fluorescence Elemental Mapping. *Analytical Chemistry* 80 (2008) 16, pp. 6436–6442
- [4] Appel, K.: Kulturgutanalyse mit DESY-Lichtquellen - was van Gogh am DESY erzählt. Zeuthen, 30.11.2011 – http://fortbildung-zeuthen.desy.de/sites2009/site_fortbildung-zeuthen/content/e69094/e109977/e109978/appel_abendvortrag_3011114web-1_ger.pdf
- [5] <https://de.wikipedia.org/wiki/Synchrotronstrahlung>
- [6] http://www.xfel.eu/ueberblick/zahlen_und_fakten/
- [7] Morgen, K.: Tunnel für die Forschung mit Licht – der europäische Röntgenlaser am DESY. In: DGGT Deutsche Gesellschaft f. Geotechnik (Hrsg.): Taschenbuch für den Tunnelbau 2013, 37. Aufl., VGE Verlag, 2012, 67–92
- [8] Homepage des XFEL: <http://www.xfel.eu/de/>

- [9] Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY
(Hrsg.): Wissenschaftlicher Jahresbericht
1999 – Deutsches Elektronen-Synchrotron
DESY, 2000, ISSN 0179-9282, S. 224–229,
online verfügbar unter: [http://www.desy.de/f/
jb99/desy99-003_358.pdf](http://www.desy.de/f/jb99/desy99-003_358.pdf)
- [10] Homepage des DESY: <http://www.desy.de/>
- [11] Lichtenberg, G. C.: Sudelbuch J, 1789–1794
– wiedergegeben bei [https://www.aphoris-
men.de/zitat/14422](https://www.aphorismen.de/zitat/14422)

Anmerkung: alle Internetquellen wurden am
10. Mai 2016 geprüft.