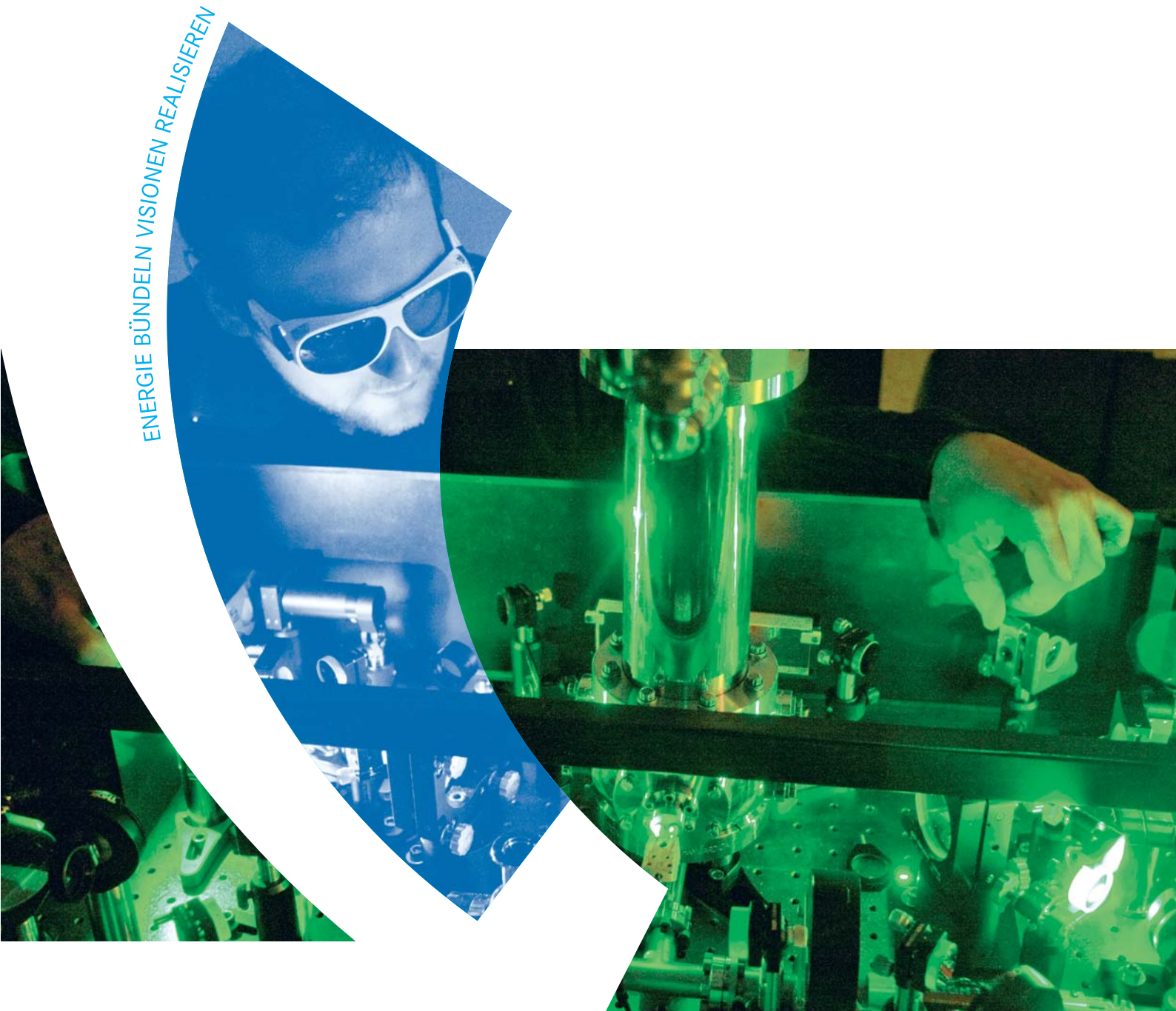


ENERGIE BÜNDELN VISIONEN REALISIEREN



## **BERLinPro**

Mit Elektronen für die Zukunft forschen

# INHALT

|   |    |
|---|----|
| Beschleuniger-Technologie heute                     | 3  |
| Beschleuniger-Technologie morgen                    | 4  |
| BERLinPro – Die Potentiale                          | 5  |
| Das Prinzip ERL                                     | 8  |
| Was bisher geschah – und geschehen wird             | 10 |
| HZB – der richtige Ort für BERLinPro                | 12 |
| Das HZB und BERLinPro in der Helmholtz-Gemeinschaft | 13 |
| Gesichter hinter BERLinPro                          | 15 |

„UM JETZT NEUE WEGE IN DER GRUNDLAGENFORSCHUNG BESCHREITEN UND KONZEPTE ZUR LÖSUNG UNSERER GLOBALEN PROBLEME ENTWICKELN ZU KÖNNEN, BENÖTIGT DIE WISSENSCHAFT IN DEN UNTERSCHIEDLICHSTEN DISZIPLINEN EINEN NEUEN BLICK – DAS HZB WILL DAZU MIT BERLINPRO EINEN WESENTLICHEN BEITRAG LEISTEN.“

*Professorin Dr. Anke Kaysser-Pyzalla,  
Wissenschaftliche Geschäftsführerin  
des Helmholtz-Zentrum Berlin*



# BESCHLEUNIGER- TECHNOLOGIE HEUTE

## Die heutige Forschung steht vor großen Fragen der Menschheit

Die Forschung in der Helmholtz-Gemeinschaft stellt sich den drängenden Herausforderungen unserer modernen Gesellschaft. Helmholtz-Wissenschaftler streben nach Erkenntnissen, die dazu beitragen, die Lebensgrundlagen des Menschen zu erhalten und zu verbessern. Sie suchen nach neuen Energiekonzepten, nach Materialien und Werkstoffen mit neuen und besseren Eigenschaften, nach den Ursachen von Krankheiten und neuen Wegen bei deren Behandlung.

## Die Antworten finden Wissenschaftler im Kleinen – in Molekülen, in Atomen oder sogar nur in deren Bausteinen

Eines der wichtigsten Forschungswerkzeuge unserer Zeit sind Teilchenbeschleuniger: Mit dem Large Hadron Collider (LHC) der Europäischen Organisation für Kernforschung (CERN) in Genf, dem größten Teilchenbeschleuniger der Welt, erforschen Wissenschaftler den Aufbau der kleinsten Bausteine der Materie und die elementaren Kräfte, die sie zusammenhalten.

Andere Bausteine wie Moleküle, Kristalle oder Magnetstrukturen werden dagegen mit Licht (Röntgenlicht, UV-Licht oder Infrarotlicht) untersucht, das von Synchrotronlichtquellen wie beispielsweise BESSY II erzeugt wird. Diese Lichtquellen, in denen beschleunigte Elektronen Licht abgeben, haben in den unterschiedlichsten Disziplinen zu neuen Erkenntnissen geführt – von der Festkörperphysik, über Biochemie und Materialwissenschaften bis zur Archäometrie und Zoologie.



## Synchrotronlicht hilft, fundamentale Forschungsfragen zu beantworten

Synchrotronlicht hat bei der Lösung vieler fundamentaler Forschungsfragen einen wichtigen Beitrag geleistet:

- Klärung der Struktur und Funktion von Ribosomen, also der Zellbestandteile, die den Code der DNA in Proteine umsetzen,
- Untersuchungen zum detaillierten Ablauf von Katalyseprozessen,
- Strukturanalyse magnetischer Materialien.

Die Durchbrüche auf diesen Gebieten wurden in den vergangenen Jahren mit Nobelpreisen ausgezeichnet (Yonath, Ertl, Grünberg) und haben große Bedeutung für Computertechnologie, Brennstoffzellen und Antibiotikaentwicklung. Für viele andere Bereiche der Grundlagenforschung haben Synchrotronstrahlungsquellen ähnliche Bedeutung.

## Teilchenbeschleuniger in der Praxis

Teilchenbeschleuniger sind aber auch in vielen praxisnahen Anwendungsfeldern nicht mehr wegzudenken: In der medizinischen Strahlentherapie werden sie zur Behandlung von Tumoren eingesetzt – so auch in der Augentumorthherapie mit der Charité auf dem Lise-Meitner-Campus des Helmholtz-Zentrums Berlin in Wannsee. Sicherheitstechnik zum Schutz des weltweiten Warenhandels nutzt Röntgenstrahlung aus Elektronenbeschleunigern und Neutronenstrahlung aus Ionenbeschleunigern für eine lückenlose Kontrolle der eingehenden Waren. Die Verfügbarkeit hochintensiver Elektronenstrahlen hat die Entwicklung neuer Schweißtechniken für den High-Tech-Apparatebau ermöglicht.

# BESCHLEUNIGER- TECHNOLOGIE MORGEN

## Von der Statik zur Dynamik ...

Bei allen Erfolgen – bisher musste sich die Forschung an Synchrotronstrahlungsquellen der dritten Generation auf die Untersuchung statischer struktureller Eigenschaften der Materie konzentrieren. Es ließ sich immer nur *ein definierter Zustand*, beispielsweise die Elektronenverteilung oder die Molekülstruktur, in einer Probe darstellen. In Zukunft wollen Wissenschaftler aber auch gleichzeitig die *Dynamik* von mikroskopischen, atomaren und subatomaren Prozessen, also die Veränderung der Struktur der Materie in einem Zeitintervall, analysieren können. Dabei müssen unvorstellbar kurze Zeitskalen im Femtosekundenbereich zugänglich sein. Dies ist noch kürzer als die Zeit, die ein Lichtstrahl benötigt, um die Dicke eines Haars zu überstreichen.

## ... von der Struktur zur Funktionsweise

Erst wenn es gelingt, die Struktur gleichzeitig mit Bildern dynamischer Vorgänge auf atomarer Ebene mit Belichtungszeiten im Femtosekundenbereich aufzunehmen, können wir auch die Funktionsweise der Materialien verstehen:

- Die Veränderlichkeit von Materie auf atomarer und subatomarer Ebene ist der Dreh- und Angelpunkt innovativer Materialien, wie sie in magnetischen und optischen Speichermedien zum Einsatz kommen.
- Chemische und biologische Prozesse werden durch das Wechselspiel von Atomen, Elektronen und Spins angetrieben. Nur wenn es uns gelingt, an ein und derselben Probe diese Dynamik darzustellen und auch ihre Struktur mit höchster Auflösung zu bestimmen, können wir das Wissen für neuartige „Funktionale Materialien“ wie beispielsweise Energiespeicher, Dünnschichtsolarzellen oder Materialien für die regenerative Medizin gewinnen.

Voraussetzung dafür sind neue Beschleunigertechnologien wie „Freie-Elektronen-Laser“ (FEL), „Ultimate Storage Rings“ (USR) und die Synchrotronstrahlungsquelle der Zukunft: Der Energy Recovery Linac (ERL) oder zu deutsch: der Linearbeschleuniger (Linac) mit Energierückgewinnung (Energy Recovery).

## Die Wissenschaft braucht eine neue Beschleunigertechnologie

BERLinPro – das Berlin Energy Recovery Linac Project – ist eine Machbarkeitsstudie. Mit BERLinPro wird das Helmholtz-Zentrum Berlin zusammen mit seinen Partnern aus aller Welt, aus den Universitäten und der Helmholtz-Gemeinschaft Beschleunigerkonzepte und -technologien der nächsten Generation entwickeln.

Eine auf der Technologie von BERLinPro basierende Synchrotronstrahlungsquelle wird der weltweiten Forschung einen neuen, ganzheitlichen Blick von extremer Präzision auf Moleküle, Atome, deren Oberflächen und Bausteine und vor allem auf die Dynamik molekularer, atomarer und subatomarer Vorgänge ermöglichen.

BERLinPro im Geist der Helmholtz-Mission: „Die Forschung der Helmholtz-Gemeinschaft zielt darauf, die Lebensgrundlagen des Menschen langfristig zu sichern und die technologische Basis für eine wettbewerbsfähige Wirtschaft zu schaffen.“

BERLinPro soll die Leistungsfähigkeit der ERL-Technologie in eine neue Dimension verschieben. BERLinPro hat das Potential, der internationalen Forschung zu den drängenden Fragen der Menschheit wichtige Impulse zu geben. BERLinPro wird die weltweite Sichtbarkeit der Helmholtz-Gemeinschaft und der am Projekt beteiligten Partner nachhaltig stärken.



„MIT DER BERLINPRO-  
TECHNOLOGIE HOFFEN WIR,  
NEUE EINBLICKE IN DIE  
FUNKTION BELEBTER UND  
UNBELEBTER MATERIE ZU  
BEKOMMEN.“

*Professor Dr. Alexander Föhlisch,  
Leiter des HZB-Instituts Methoden  
und Instrumentierung der Forschung  
mit Synchrotronstrahlung*



## BERLinPro – DIE POTENTIALE

### **BERLinPro führt Vorteile verschiedener Beschleunigerkonzepte zusammen**

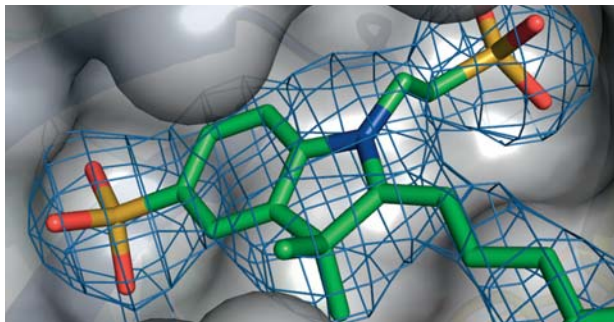
Heute stehen der Forschung als Lichtquellen der Spitzenklasse die Speicherringlichtquellen – deren Entwicklung gerade in die im Aufbau befindlichen „Ultimate Storage Rings“ (USR) mündet – und die „Freie-Elektronen-Laser“ (FEL) zur Verfügung. Mit der ERL-Technologie von BERLinPro ließen sich die Vorteile beider Lichtquellen vereinigen: Eine solche Quelle wird Licht mit sehr kurzen brillanten Lichtpulsen ähnlich wie ein FEL und im Mittel auch sehr vielen Photonen wie ein USR liefern. Damit ließe sich erstmals ein Material erst auf seine Strukturen untersuchen, um dann – ohne die Probe bewegen zu müssen oder sie zu zerstören – die dynamischen Untersuchungen an genau dieser Stelle folgen zu lassen. Eine ERL-basierte Lichtquelle wäre sehr flexibel und ließe sich schnell an die Anforderungen der Experimente der unterschiedlichsten Fachgebiete anpassen.

Von entscheidendem Vorteil ist: Eine ERL-Lichtquelle wird, wie die gegenwärtig so erfolgreich betriebenen Speicherringquellen, eine große Zahl an Messplätzen für viele Forschergruppen bieten. Die Zahl der potentiellen Nutzer ist ein wichtiger Aspekt, angesichts der dauerhaften Überbuchung der Messplätze an existierenden Synchrotronlichtquellen sowie der hohen Investitionskosten solcher Großanlagen.

### **ENERGIE**

#### **Wir brauchen neue Energiekonzepte**

Um die Weiterentwicklung unserer Gesellschaft zu ermöglichen, brauchen wir dringend Konzepte und neue Materialien für neue Wege der Energieerzeugung und der Energiespeicherung. Solarzellen, Brennstoffzellen, Energie-Akkumulatoren und Katalysatoren sind nur einige Systeme, die weiterentwickelt werden müssen. Aber wir müssen auch mit der Energie, die uns zur Verfügung steht, besser haushalten – durch Gewichtersparnis bei Fahrzeugen, effizientere Energienutzung im Transportwesen oder optimierte Wärmeisolation bei thermischen Prozessen. Dafür brauchen Wissenschaftler mehr und detailliertere Informationen über die innere Struktur und das dynamische Verhalten auf atomare Ebene der Materie. Sie benötigen einen mehrdimensionalen Blick auf die Bausteine solcher Werkstoffe – den ihnen ein neues, auf BERLinPro basierendes Beschleunigerkonzept gewähren kann.



## GESUNDHEIT

### **Moderne Medizin ist ohne Teilchenbeschleuniger nicht denkbar**

Teilchenbeschleuniger werden in der Tumorthherapie eingesetzt, um Krebszellen abzutöten. Sie liefern kontrastreiche Bilder des menschlichen Körpers und seiner inneren Organe. Mit ihnen werden die Auswirkungen von Strahlung auf biologische Gewebe erforscht und radioaktive Isotope für Diagnose und Therapie von Tumor und Gelenkerkrankungen erzeugt. Synchrotronstrahlungsquellen liefern Einblicke in den Aufbau und die Funktionsweise von Biomolekülen und Proteinen, die zum Verständnis von Erkrankungen und der Herstellung von Medikamenten beitragen.

### **Die neue, molekulare Dimension**

Auf der Basis des neuen, ERL-basierten Beschleunigerkonzepts, dessen Machbarkeit *BERLinPro* zeigen soll, bekommt der Einsatz von Beschleunigern in der Medizin eine neue, molekulare Dimension. Die Echtzeit-Beobachtung von Zellsystemen und der Funktionsweise von Proteinen auf molekularer Ebene wird damit möglich. Wissenschaftler können Zellen bei ihrer Reaktion auf Krankheitserreger betrachten und die Ursachen von Krankheiten besser verstehen.

Aber nicht nur in der Grundlagenforschung – auch im medizinischen Alltag kann die ERL-Technologie neue Horizonte öffnen: Mit konventionellen Röntgenstrahlungsquellen können Mediziner weiche Gewebe lediglich über Kontrastmittel, aufwändige Softwarelösungen und selten mit befriedigendem Ergebnis darstellen. Die Strahlen besitzen weder ein scharfes Energieprofil, noch einen kleinen Querschnitt. Veränderungen in Herzkranzgefäßen oder der Lunge, die mit wichtigen Volkskrankheiten einhergehen, sind nur mit großen Belastungen für den Patienten feststellbar. Mit einer Elektronenquelle, wie sie für einen ERL entwickelt wird, und hochintensiven Laserstrahlen werden sich ausgezeichnete Strahlqualitäten erzeugen lassen – wobei diese Geräte dann kompakt genug wären, um in Kliniken installiert zu werden.

## MATERIALIEN

### **Die Nano-Welt der technologisch gestalteten Mikro-Strukturen**

Hochleistungscomputer, minimalinvasive Operationsverfahren oder molekulare Magnete: Wissenschaft und Ingenieurwesen haben durch die Beschleunigertechnologien in den vergangenen Jahren enorme Fortschritte erzielt. Doch weil der Trend zur Miniaturisierung immer weitergeht, brauchen wir neue, funktionale Materialien: Nanostrukturen, neue Kombinationen aus eigentlich nicht mischbaren Festkörpern, Biokatalysatoren oder alternative Energiespeicher.

Um diese zu entwickeln, müssen Wissenschaftler die Struktur und gleichzeitig die Dynamik der Materialien und chemische Reaktionen in Echtzeit, also gewissermaßen „live“ betrachten können. Erst wenn dies gelingt, können Wissenschaftler die Funktion der Materialien wirklich verstehen und für die Anwendung optimieren. Und das wird ein ERL der nächsten Generation ermöglichen.

## KUNST UND GESCHICHTE

### **Beschleuniger ermöglichen den genauen Blick zurück**

Die Echtheit von Gemälden lässt sich mit Teilchenbeschleunigern genauso untersuchen wie sich die Entstehungszeit der Kunstwerke bestimmen lässt. Forscher können mit ihnen aber auch feststellen, wann in Fossilien festgehaltene Organismen lebten und wie ihre evolutionären Verwandtschaftsverhältnisse sind. Neue Beschleunigertechnologien lassen in diesem Feld noch einmal enorme Fortschritte erwarten. Es wird möglich werden, kulturhistorische Zusammenhänge mit viel größerer Genauigkeit zu rekonstruieren, die menschliche Geschichte insbesondere in ihrer Frühphase exakter als bisher zu analysieren und den Verlauf der Evolution genauer zu beschreiben.

„MIT BERLINPRO LÖSEN WIR  
DIE FESSELN DES GESPEICHER-  
TEN ELEKTRONENSTRAHLS.“

*Professor Dr. Jens Knobloch,  
Leiter des HZB-Instituts  
SRF-Wissenschaft und  
Technologie*



## KERNPHYSIK

### **In der Kern- und Hadronenphysik versuchen Wissenschaftler den Aufbau unserer Materie zu verstehen**

Proton und Neutron, die zu den sogenannten hadronischen Elementarteilchen gehören, sind die Bausteine der Atome, die die uns umgebende Welt ausmachen. Forscher wollen verstehen, wie diese Teilchen funktionieren, weshalb sie zusammen halten, woraus sie bestehen, was das Wesen unserer Materie ist. Dazu beschießen sie diese Kernbausteine in Kollisionsexperimenten beispielsweise mit Elektronen. Das ist bei den Upgrade-Konzepten des LHC (LHeC) am CERN und des RHIC (eRHIC) am Brookhaven National Laboratory, USA, der Fall. Je kompakter die Strahlen fokussiert werden können, je größer die Elektronenstrahlintensität ist, desto mehr erfahren die Forscher aus den Versuchen. Die in einem ERL erreichbaren Strahlparameter sind nicht durch die Grenzen der Strahlqualität in konventioneller Kreisbeschleunigern limitiert, so dass sich mit ihrer Hilfe die Elektronenstrahlintensität dramatisch erhöhen lässt. Mit der BERLinPro-Technologie wird eine neue Dimension von Kollisionsexperimenten möglich.

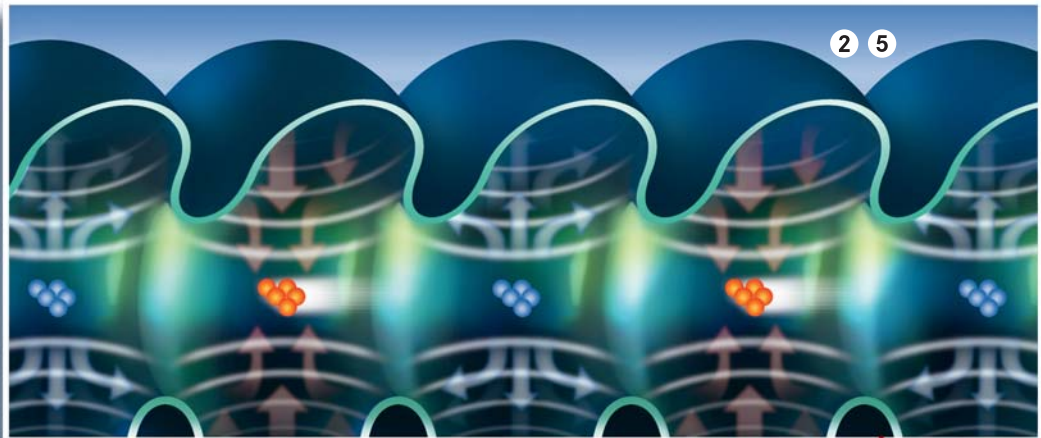
## KALTE IONENSTRAHLEN

### **Die BERLinPro-Technologie als Elektronenkühler**

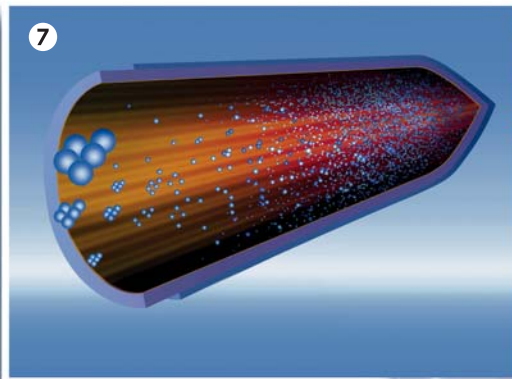
Elektronen werden eingesetzt, um die Strahlqualität eines Ionenstrahls zu verbessern. Erzeugen Wissenschaftler beispielsweise einen Goldionenstrahl – auch wieder, um in Kollisionsexperimenten das Zusammenspiel der Kernbausteine zu verstehen – hat ein solcher Metallionenstrahl ein großes Volumen, ist unscharf und die Ionen „torkeln“ regelrecht durch den Speicherring. Also lassen die Wissenschaftler mit dem Goldionenstrahl einen ebenso schnellen aber geradlinig laufenden Elektronenstrahl mitlaufen. Die großen schwingenden Goldionen stoßen mit den Elektronen zusammen. Nun torkeln die Elektronen, aber die Goldionen beruhigen sich in diesem Prozess – sie werden „gekühlt“. Der Goldionenstrahl wird dadurch immer paralleler und sein Querschnitt kleiner. Je intensiver und paralleler der mitgeführte Elektronenstrahl ist, desto stärker kann der Ionenstrahl gekühlt und später schärfer fokussiert werden. Die Experimente mit den Ionen werden so wesentlich effizienter. Bestehende Anlagen basieren auf elektrostatischer Beschleunigung, mit denen aber eine Kühlung hochenergetischer Ionenstrahlen nicht möglich ist. Diese Lücke wird ein ERL mit seinen hochintensiven, brillanten Strahlen schließen können.

# DAS PRINZIP ERL

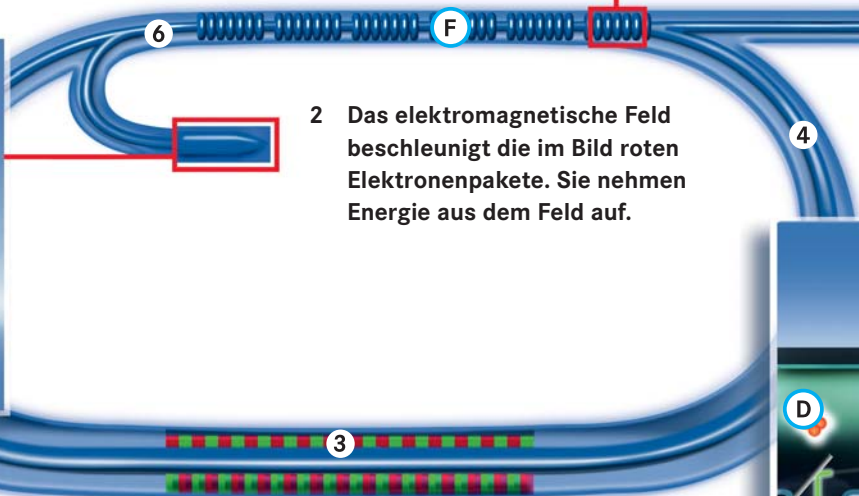
- 5 Die hochenergetischen Elektronenpakete werden im gegenläufigen Feld gebremst und geben ihre Energie an das Feld zurück (im Bild blaue Elektronenpakete). Diese steht dann wieder zur Beschleunigung der – im Bild – roten Pakete zur Verfügung.



- 6 Die abgebremsten Elektronenpakete werden in Richtung Strahlstopper geleitet.



- 7 Im Strahlstopper endet die Reise: Die wieder abgebremsten Elektronen prallen auf eine wassergekühlte Kupferwand.



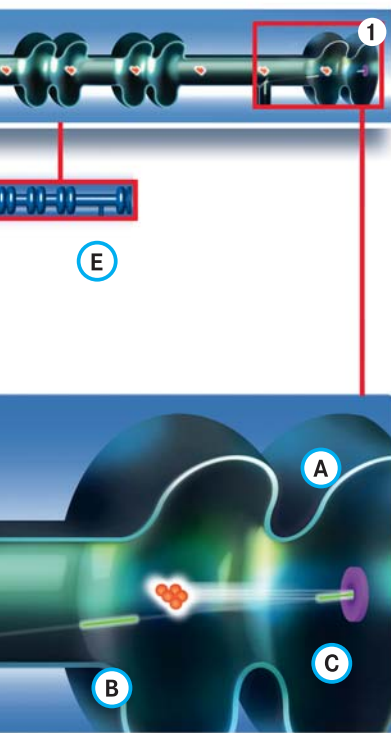
- 2 Das elektromagnetische Feld beschleunigt die im Bild roten Elektronenpakete. Sie nehmen Energie aus dem Feld auf.

- 3 Für den Elektronenstrahl eines ERL gibt es viele Anwendungen. Etwa kann in einem Undulator über Magnete Synchrotronlicht erzeugt werden.

- A Supraleitender Photoinjektor für die Erzeugung des Elektronenstrahls
- B Laserspuls
- C Photokathode für die Emission von Elektronen
- D Elektronenpaket
- E Injektionsstrecke bestehend aus supraleitender Elektronenquelle und Vorbeschleuniger
- F Hauptbeschleuniger mit supraleitenden Kavitäten



- 1 Ein Laserstrahl schlägt Elektronenpakete aus der Photokathode.**



Britta Mießen, Köln

- 4 Magnete führen die Elektronenpakete im Bogen wieder zu den Kavitäten zurück.**

### Eine supraleitende Hochleistungsquelle für besonders intensive und brillante Strahlen

Der Linearbeschleuniger funktioniert ähnlich wie ein klassischer Fernseher: In einer Fernsehöhre lösen sich im Vakuum aus einem glühenden Draht Elektronen. Sie werden mit einer elektrischen Spannung beschleunigt und auf die Innenseite des Bildschirms katapultiert. In BERLinPro geschieht Ähnliches, nur nicht in einer Fernsehöhre, sondern in helium-gekühlten supraleitenden Kavitäten. Und mit dem weiteren Unterschied, dass in BERLinPro die Elektronen die 2000-fache Energie im Vergleich zu einer Fernsehöhre erhalten. Zudem stammen die Elektronen nicht aus einem Glühdraht, sondern aus einer supraleitenden Hochleistungsquelle, die besonders intensive und brillante Strahlen erzeugt.

### Stehende Wellen: Die supraleitende Continuous Wave-Technologie

Kavitäten sind Metallröhren mit Wölbungen aus dem supraleitenden Element Niob, in denen Mikrowellen, die 1,3 Milliarden Mal in der Sekunde schwingen, hin und her wandern. Sie werden an den Enden der Röhre reflektiert. Wenn die Wellenlänge der Mikrowellen exakt auf die Länge der Metallröhre abgestimmt ist, entsteht in der Röhre ein sehr starkes elektromagnetisches Feld, eine „stehende Welle“. Elektronen, die zur richtigen Zeit in dieses Feld fliegen, wird Energie zugeführt. Haben sie alle Kavitäten durchflogen wird eine Energie erreicht, als ob sie durch eine Spannung von 50 Millionen Volt, mehr als in einem Gewitter, beschleunigt wurden. Mit dieser Energie von 50 Millionen Elektronenvolt fliegen sie in das Strahlführungssystem, bei dem sie später einmal in Experimenten von den Wissenschaftlern zur Beantwortung ihrer Fragen genutzt werden sollen.

### Die Energierückgewinnung

Das Prinzip des „Energy Recovery“ – der Wiedergewinnung der Energie – funktioniert folgendermaßen: Nach ihrem Flug durch dieses Strahlführungssystem transportieren die Elektronen enorm viel Leistung: in BERLinPro 5 MW, in größeren ERLs sogar hunderte von Megawatt. Die Elektronen können daher nicht einfach „weggeworfen“ werden. Stattdessen werden die Elektronen in die Kavitäten zurückgeführt („rezirkuliert“). Im ERL treffen sie beim zweiten Durchlauf genau zu dem Zeitpunkt in den supraleitenden Kavitäten ein, in dem das elektromagnetische Feld gerade nicht in die Beschleunigungs- sondern in die entgegengesetzte Richtung zeigt. Die Elektronen werden nun im elektromagnetischen Feld gebremst statt beschleunigt und geben ihre Energie wieder an das Feld in den Kavitäten ab. Die Energie des Strahls wird so zurückgewonnen und steht für einen frischen Elektronenstrahl zur Verfügung. Dadurch ist es möglich, einen Elektronenstrahl mit hervorragenden Strahlparametern zu erzeugen, ohne ein eigenes Kraftwerk für den Beschleuniger betreiben zu müssen.

Nachdem sie ihre Energie abgegeben haben, fliegen die abgebremsten Elektronen schließlich aus den Kavitäten in den Strahlstopper, treffen auf eine wasser-gekühlte Kupferwand, ihre geringe Restenergie verwandelt sich in Wärme und ihre elektrische Ladung fließt als elektrischer Strom in die Erde ab.

# WAS BISHER GESCHAH – UND GESCHEHEN WIRD

Im Herbst 2010 hat der Helmholtz-Senat, das oberste Entscheidungsgremium der Helmholtz-Gemeinschaft, einstimmig die Realisierung des Projekts *BERLinPro* unter Federführung des Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB) empfohlen. Damit war die Finanzierung des Projekts als strategische Ausbauinvestition durch die Helmholtz-Gemeinschaft, das Land Berlin und das HZB sichergestellt.

## Die komplett supraleitende Elektronenquelle

Bereits ein Jahr später konnten die beteiligten Wissenschaftler aus HZB, DESY, Jefferson-Lab und dem polnischen Soltan-Institut einen großen Erfolg feiern, als sie eine komplett supraleitende Elektronenquelle in Betrieb nehmen konnten – supraleitend sind Kavität, Kathode und Fokussierelemente.

Exakt diese „Gun“ wird zwar später nicht in die Machbarkeitsstudie eingebaut werden; sie hat aber wichtiges Know-how geliefert und ist ein echtes Stück Technologieentwicklung. Folgerichtig steht seit Anfang 2012 die endgültige Gun für *BERLinPro* im Mittelpunkt der Aktivitäten. Kavitäten und Kathode werden hierfür weiterentwickelt. Außerdem müssen gemeinsam mit den Partnern die Kavitäten für den Haupt-Linac konzipiert werden – alles mit dem Ziel im Jahr 2018 die Machbarkeit von *BERLinPro* nachgewiesen zu haben.

### 2011

Projektstart  
MAC I  
Projektredesign  
Erste Elektronen aus Gun 0

### 2012

Conceptual Design Report  
Abschluss Bauplanung  
Beantragung Errichtungsgenehmigung  
Aufbau Kathodenpräparation  
Konstruktion Gun I

### 2013

Detailed Design Report  
Beginn der Gebäudebauarbeiten  
Einrichtung Gun-Labor  
Herstellung erster Photokathoden  
Konstruktion der Boostermodule

### 2014

Fertigstellung Gebäude  
Umzug der Kryo-Anlage  
Erste Elektronen Gun I im Gun-Labor

### 2015

Installation Gun I  
Installation Booster  
Erste Elektronen durch Booster (4mA cw)

### 2016

Herstellung Linac-Modul  
Beschaffung Rezirkulator-Komponenten  
Start Gun I Hochstrombetrieb (auf dem Weg zu 100mA)

### 2017

Linac-Installation  
Rezirkulator-Installation  
Erste Tests mit Gun II (Hochstrombetrieb 100mA)

### 2018

50 MeV Elektronen  
Rezirkulation



„MIT BERLINPRO ERÖFFNEN WIR EIN NEUES KAPITEL DER  
BESCHLEUNIGER-TECHNOLOGIE – ES WERDEN SICH NEUE  
MÖGLICHKEITEN ERÖFFNEN, DIE WIR JETZT NOCH GAR  
NICHT ABSCHÄTZEN KÖNNEN.“

*Professor Dr. Andreas Jankowiak,  
Leiter des HZB-Instituts  
Beschleunigerphysik*



# HZB – DER RICHTIGE ORT FÜR BERLinPro

## **BERLinPro und die HZB-Strategie**

Forschung zu neuen Beschleunigertechnologien ist integraler Bestandteil der Strategie des Helmholtz-Zentrums Berlin: Als Großgerätebetreiber muss das HZB technologische Grundlagenforschung betreiben, um seinen Nutzern stets optimale Forschungsbedingungen bieten zu können. In diesem Zusammenhang hat BERLinPro doppelte Bedeutung: Es schafft die Basis für eine neue Generation von Lichtquellen; BERLinPro führt aber auch zu Erkenntnissen etwa im Bereich der Continuous Wave-Technologie (CW), die bestehende Großgeräte – BESSY II am HZB – oder an anderen Forschungszentren weiter verbessern. BERLinPro bedeutet also Fortschritt für die Wissenschaftler von Morgen und für die Großgerätenutzer von Heute.

## **Wissenschaftliches Neuland – Fortführung bestehender Forschung**

Mit der Studie BERLinPro haben die Spezialisten des HZB wissenschaftliches Neuland betreten. Zwar existieren bereits Maschinen, die das Prinzip der Energierückgewinnung in die elektromagnetischen Felder realisiert haben. Diese Geräte erreichen aber nicht annähernd die Parameter, die erst die Nutzung des ganzen Potentials der ERL-Technologie – beispielsweise als Röntgenstrahlungsquelle der nächsten Generation – ermöglichen wird. Die Forscher des HZB wollen den Elektronenstrom und die Strahlqualität, mit der solche Maschinen arbeiten, um jeweils mindestens das Zehnfache verbessern – Grundlagenforschung, die neue Perspektiven, unerwartete Wendungen und damit das Fenster zu neuen Forschungswelten öffnen wird.

BESCHLEUNIGERTECHNOLOGIEN MÜSSEN RASCH VORANGEBRACHT WERDEN. DAHER BÜNDELN WIR DIE KOMPETENZEN UND BAUEN DIE VERNETZUNG ZWISCHEN DEN DEUTSCHEN FORSCHUNGSEINRICHTUNGEN WEITER AUS.

*Professor Dr. Jürgen Mlynek,  
Präsident der Helmholtz-Gemeinschaft*

## **Die Kompetenzen der HZB-Wissenschaftler**

Die Wissenschaftler des HZB bündeln für den Erfolg die erforderliche Expertise. Das Erzeugen kontinuierlicher, nicht gepulster elektromagnetischer Felder in supraleitenden, mehrzelligen Kavitäten haben Forscher am HZB in ihrer Testanlage HoBiCaT wesentlich weiter entwickelt. Die supraleitende Continuous Wave-Hochfrequenztechnologie ist die Basis für die Entwicklung des ERL. Dieses Alleinstellungsmerkmal zusammen mit der international anerkannten Expertise im Undulatorenbau – also beim Bau spezieller Magnetsysteme, die beim Durchflug von Elektronen besonders brillante Strahlung erzeugen –, der Kompetenz der Forscher beim Simulieren von Beschleunigerkonzepten sowie ihre Erfahrung im Betrieb der Synchrotronlichtquellen BESSY II und der Metrology Light Source der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt machen das HZB zu einem einmaligen Umfeld für die Durchführung der Machbarkeitsstudie BERLinPro. Ergänzt wird diese Expertise durch den Betrieb eines Protonenbeschleunigers zur Augentumorthherapie mit bisher mehr als 1.500 Patienten sowie die Mitwirkung an der Europäischen Spallations-Neutronen Quelle ESS im schwedischen Lund.



## DAS HZB UND BERLinPro IN DER HELMHOLTZ-GEMEINSCHAFT

### **Portfoliothema „Accelerator Research and Development“**

Die Helmholtz-Gemeinschaft ist die deutsche Wissenschaftsorganisation, zu deren zentralen Aufgaben der Betrieb und die Entwicklung von Großgeräten und der dazu notwendigen Technologie durch Machbarkeitsstudien wie *BERLinPro* gehören. *BERLinPro* ist Bestandteil des Helmholtz-Portfoliothemas „Accelerator Research and Development“ (ARD). ARD ist eine Plattform, die die vielfältigen Kompetenzen deutscher Forschungseinrichtungen miteinander vernetzt und Synergien ermöglicht. Diese Plattform soll als Anknüpfungspunkt für internationale Kooperationen wirken und den deutschen Beitrag zur Weiterentwicklung von Beschleunigertechnologien international sichtbar machen.

Ihren Auftrag kann die Helmholtz-Gemeinschaft nur erfüllen, weil die beteiligten Zentren eng kooperieren. Unter Federführung des HZB arbeiten deshalb an der Machbarkeitsstudie *BERLinPro* das Deutsche Elektronensynchrotron DESY und das Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf mit, die ebenfalls Ideen für die Großgeräte von morgen entwickeln. Sie schaffen damit ein neues Alleinstellungsmerkmal von internationaler Sichtbarkeit für die Helmholtz-Gemeinschaft.

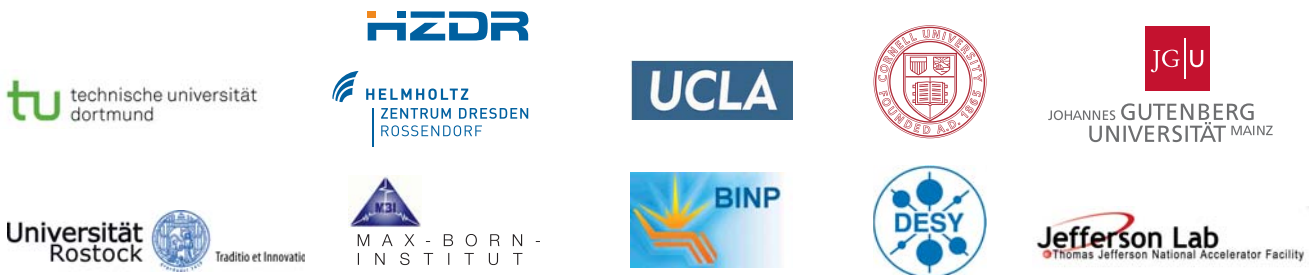
## DIE PARTNER

### Berlin – Deutschland – Welt

Die Aktivitäten um BERLinPro sind eingebettet in ein internationales Netzwerk: Die Entwicklung des supraleitenden Vorbeschleunigers für den ERL wird vom HZB mit Unterstützung der Cornell Universität in den USA vorangetrieben. Gemeinsam mit DESY und dem Jefferson Lab arbeitet das HZB an den supraleitenden Kavitäten. Das Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf treibt ebenfalls die Entwicklung neuer supraleitender Hochfrequenz Elektronenquellen voran. Mit den Dresdnern, dem Brookhaven National Laboratory, dem ASTeC Daresbury, der Universität Rostock, der Technischen Universität Dortmund und der Universität Mainz verbinden das Projektteam um BERLinPro Kooperationsvereinbarungen.

Im dem HZB benachbarten Max-Born-Institut entstehen die Laser für die Photo-Elektronenquelle, und das polnische Soltan Institut in Warschau hat das HZB bei der Herstellung der Elektronenquelle unterstützt. Bei der Strahldiagnose arbeitet die University of California, Los Angeles, mit. Ebenso wurde eine gemeinsame „Helmholtz-Russian-Joint-Investigator-Group“ zum Thema Energy Recovery Linacs mit dem Budker Institut Novosibirsk eingerichtet. Und nicht zuletzt sind die Entwickler von BERLinPro Partner im EUCARD- und EuroFEL-Projekt.

Mit der Humboldt-Universität zu Berlin verbindet das HZB ein Joint Laboratory for Accelerator Physics, was die jeweiligen Aktivitäten unter einem gemeinsamen Dach zusammenfasst und als wesentliche Aufgabe auch die Intensivierung der Ausbildung von Beschleunigerphysikern verfolgt. Das HZB bündelt damit wissenschaftliche Expertise am Standort Deutschland und Berlin und leistet seinerseits einen wichtigen Beitrag für die internationale Forschung.



### Das Machine Advisory Committee

Die internationale Scientific Community begleitet und bewertet die Entwicklung von BERLinPro – in Form eines hochrangig und international besetzten „Machine Advisory Committee“ (MAC): Deutschland ist mit Dr. Holger Schlarb und Dr. Siegfried Schreiber vom DESY sowie Dr. habil. Kurt Aulenbacher von der Universität Mainz vertreten. Prof. Dr. Georg Hofstaetter kommt von der US-amerikanischen Cornell University, Dr. Andrew Burrill und Prof. Dr. Geoffrey Krafft – der auch den Vorsitz führt – vom Jefferson Lab in Newport News, USA. Sowohl Jefferson Lab wie auch die Cornell University betreiben ERL Entwicklung, so dass die MAC-Mitglieder mit den speziellen Herausforderungen eines ERLs vertraut sind. Vor diesem Gremium stellen die am BERLinPro beteiligten HZB-Wissenschaftler den Stand ihrer Arbeiten regelmäßig vor.

Besonders positiv hat das MAC die Tatsache bewertet, dass am HZB nach weniger als zwei Jahren mit einer vollständig supraleitenden Photoelektronenquelle der erste Elektronenstrahl erzeugt wurde. Ein exzellenter Elektronenstrahl ist die zentrale Voraussetzung für ERL-Anwendungen. Die am HZB für BERLinPro geleistete Arbeit ist nach Ansicht des MAC von „herausragender wissenschaftlicher und technischer Qualität“. Das ist die Bestnote bei wissenschaftlichen Evaluationen.

# GESICHTER HINTER BERLinPro:

## DIE KÖPFE VON BERLinPro

### Prof. Dr. Andreas Jankowiak

Leiter des Instituts für Beschleunigerphysik,  
HZB, und Humboldt-Universität zu Berlin

### Prof. Dr. Jens Knobloch

Leiter des Instituts für SRF -  
Wissenschaft und Technologie,  
HZB, und Universität Siegen



Prof. Dr. Andreas Jankowiak



Prof. Dr. Jens Knobloch

### Impressum

Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH  
Hahn-Meitner-Platz 1 | 14109 Berlin, Germany  
Tel +49 30 8062-0 | Fax +49 30 8062-42181  
[www.helmholtz-berlin.de](http://www.helmholtz-berlin.de)

Helmholtz-Zentrum Berlin für  
Materialien und Energie GmbH

**Wannsee**

Hahn-Meitner-Platz 1  
14109 Berlin, Germany  
Tel +49 30 8062-0  
Fax +49 30 8062-42181

[www.helmholtz-berlin.de](http://www.helmholtz-berlin.de)

**Adlershof**

Albert-Einstein-Str. 15  
12489 Berlin, Germany  
Tel +49 30 8062-0  
Fax +49 30 8062-12990

**Adlershof**

Kekuléstraße 5  
12489 Berlin, Germany  
Tel +49 30 8062-0  
Fax +49 30 8062-41333

ENERGIE BÜNDELN VISIONEN REALISIEREN

