

Anmeldung

Das Anmeldeformular liegt unter
www.ptka.kit.edu/wte

Für die Anmeldung bitte
das Anmeldeformular
als PDF im Anhang einer E-Mail
an die Adresse
elritta.foerster@kit.edu oder
bis 10.03.2015 zurücksenden.

Die Teilnahme ist kostenlos.

Veranstaltungsort

art'otel dresden

Ostra - Allee 33
01067 Dresden
t: +49 351 4922 702 / f: +49 351 4922 778 /

Hinweise zur Anreise:

<http://www.artotels.com/dresden-hotel-de-d-01067/gerdrart/area/map>

PROJEKTTÄGER FÜR DAS



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Organisation:

Projekträger Karlsruhe Wassertechnologie
und Entsorgung (PTKA-WTE)

Außenstelle Dresden

Hallwachsstraße 3
01069 Dresden

Tel.: +49 351 463-31433 (E. Förster)
Fax: +49 351 463-31444
Internet: www.ptka.kit.edu/wte/

Ansprechpartner:

Dr. Silvia Stumpf
Telefon: +49 351-463-33060
E-Mail: silvia.stumpf@kit.edu

Sylvia Gräber
Telefon: +49 351-463-31438
E-Mail: sylvia.graeber@kit.edu



PTKA

Projekträger Karlsruhe

Karlsruher Institut für Technologie

www.ptka.kit.edu/wte



Karlsruher Institut für Technologie

2. PROJEKTSTATUSGESPRÄCH

zur BMBF-geförderten

Nuklearen Sicherheitsforschung

Dresden
25. - 26. März 2015

Projekträger Karlsruhe
Wassertechnologie und Entsorgung (PTKA-WTE)



Programm

Mittwoch 25. März 2015

Begrüßung

12:30 - 12:45

C. RÖVEKAMP Bundesministerium für Bildung und
Forschung

12:45 - 13:00

S. STUMPF Projektträger Karlsruhe

Reaktorsicherheitsforschung

A. Ehrlich 13:00 - 15:45

Kompetenzverbund Kerntechnik

13:00 - 13:30

J. KNEBEL Karlsruher Institut für Technologie

Nichtinvasive Zustandsüberwachung von Kernreaktoren

13:30 - 14:15

U. HAMPEL Helmholtz-Zentrum Dresden-
Rossendorf

S. SCHMIDT Hochschule Zittau/Görlitz

Innovative Extinktionsphotometrie zur Charakterisierung eines Mehrkomponenten- Aerosols und zur Feuchtemessung

14:15 - 15:00

H. J. ALLELEIN Forschungszentrum Jülich
J. KÖSER Technische Universität Darmstadt

Sicherheitsrelevante Analyse des Verhaltens von Armaturen, Kreispumpen und Einlaufgeometrien unter Berücksichtigung störfallbedingter Belastungen

15:00 - 15:45

M. SCHLÜTER Technische Universität Hamburg
T. SCHÄFER Helmholtz-Zentrum Dresden-
Rossendorf

Kaffeepause

15:45 - 16:15

Entsorgungsforschung

S. Stumpf 16:15 - 19:00

Helmholtzenergieprogramm - NUSAFE

16:15 - 16:45

D. BOSBACH Forschungszentrum Jülich

Immobilisierung von Radionukliden

16:45 - 17:30

T. SCHÄFER Karlsruher Institut für Technologie,
Institut für Nukleare Entsorgung
S. HOFMANN Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf

Selektive Komplexierung von f-Elementen

17:30 - 18:15

A. GEIST Karlsruher Institut für Technologie,
Institut für Nukleare Entsorgung

P. KADEN Karlsruher Institut für Technologie,
Institut für Nukleare Entsorgung

Konditionierung radioaktiver Abfälle

18:15 - 19:00

S. NEUMEIER Forschungszentrum Jülich
Y. ARINICHEVA Forschungszentrum Jülich

Empfang

19:30 - 22:00

Donnerstag 26. März 2015

Strahlenforschung

S. Gräber 09:00 - 11:00

Kompetenzverbund Strahlenforschung

09:00 - 09:30

E. DIKOMEY Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf

Genetische Risiken und entzündungshemmende Wirkung von dicht-ionisierender Strahlung

09:30 - 10:15

C. FOURNIER GSI Helmholtzzentrum für
Schwerionenforschung
J. MIRSCH Technische Universität Darmstadt

Pränatale Entwicklung

10:15 - 11:00

S. RITTER GSI Helmholtzzentrum für
Schwerionenforschung

M. MAYER

Hochschule Aschaffenburg

Kaffeepause

11:00 - 11:30

Strahlenforschung

S. Gräber 11:30 - 13:45

Personalisierte Abschätzung von Spätfolgen nach Strahlenexposition und Orientierungshilfe für Strahlenanwendungen in der Medizin

11:30 - 12:15

H. SCHMIDBERGER Universitätsklinik Mainz
A. ZVEREVA Helmholtz-Zentrum München

Transfer von Radionukliden in aquatischen Ökosystemen

12:15 - 13:00

K. HÜRKAMP Helmholtz Zentrum München
U. GERBER. HELMHOLTZ ZENTRUM DRESDEN-
ROSSENDORF

Simulation von Hoch-LET-Effekten mittels fokussierter Niedrig-LET-Strahlung

13:00 - 13:45

G. DOLLINGER Universität der Bundeswehr München
CH. GREUBEL Universität der Bundeswehr München

Schlusswort

Mittags-Imbiss vom Buffet

Ab 14:00

Änderungen, Druckfehler und Irrtümer vorbehalten.

Research for the safe management of radioactive waste

in the Helmholtz - Association

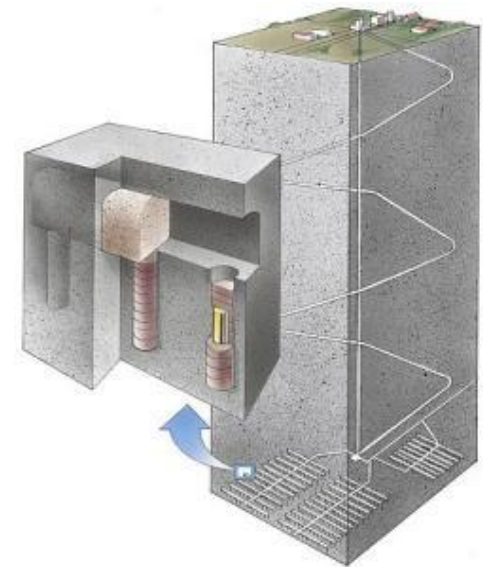
Dirk Bosbach

- **Electricity production by nuclear energy will be terminated** by 2022 (Atomic Energy Act, August 2011).
- **Decommissioning of all nuclear power plants** will take several decades.
- The repository site selection act (July 2013) re-defines the site selection procedure for the **high level waste repository**.
- **Repository Konrad for low- and intermediate level waste** will start operation in the next decade.



Nuclear Energy beyond Germany

- *On an international level*, nuclear energy seems to have a **long-term perspective** with currently 68 new builds in various countries including neighbouring countries.
- The first **deep-geological repositories** for high level waste in Europe will start operation within the next 10 – 15 years.



Geological Disposal seems to be the best option

OECD NEA RWMC collective statement, 2008

- There is overwhelming scientific consensus world-wide that geological disposal is technically feasible

30+ years of R&D needed for the first license applications in Europe

- Sweden 76: March 2011 (35 yrs)
operation 2029 (53 yrs)
- Finland 78: Dec. 2012 (34 yrs)
operation 2022 (44 yrs)
- France 70's: 2015-2017 (35-40 yrs)
operation 2025 (ca.50 yrs)



C.Davis, EC





States that each Member State (MS) is responsible for its policy on RWM

- But need to include planning and implementation of disposal options
- Recognises that development of a disposal facility needs many decades
- Radioactive Waste management (RWM) is based on state-of-the-art science and technology

Requires establishment and implementation of national programmes, Art. 12

- milestones & timeframes for implementation
- Technical solutions for all steps including disposal
- RD&D activities

Requires arrangements for expertise and skills, Art.8

- "arrangements for education and training, as well as research and development activities in order to obtain, maintain and to further develop necessary expertise and skills."

Requires competent regulatory authorities for safety of Spent Fuel (SF) and RWM

Requires int.l Peer Reviews of nat.l Framework & prog. every 10 years

Experience on research for geological disposal (GD)

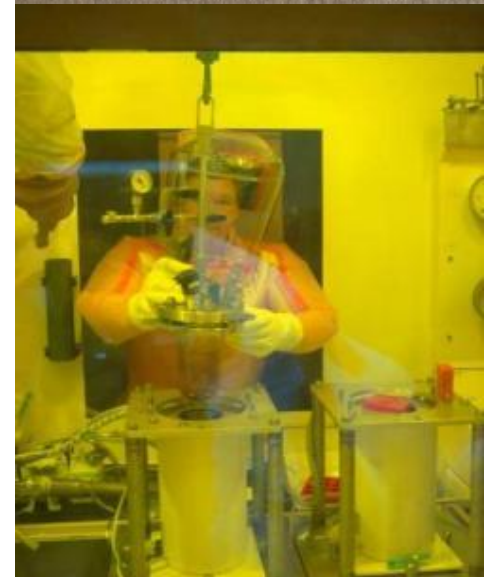


Management and strategy for RW:

- **Waste inventory:** methods available
- **Characterisation, treatment/packaging:** techniques available, R&D for improvement and specific waste
- **GD for High Level & Long-lived waste (HL-LLW) and SF:** accepted & needed irrespective of Partitioning & Transmutation option and interim storage

Repository concept & design:

- **Design, testing, demonstration and optimisation:**
Large experience in main host rocks, RD&D on-going in particular site/system specific with several improvements steps (design, component development to full-scale)
- **Advanced programmes at final steps for implementation, construction, operational safety, monitoring and closure**



Experience on research for geological disposal



Site selection, characterisation and evaluation:

- **Selection process & methods:** different stages in dif. MS (role of public) but technical criteria known
- **Characterisation:** tools available

Repository behaviour and performance assessment:

- **Basic science and specific system:** continuous progress in all disciplines with extensive experience, knowledge, information, tools and methods to take advantage of (key role of cooperation and joint projects in addition to own projects)
- **Performance assessment:** generic SA and tools widely developed. Own development and competence is central for guidance and integration of all disciplines in view of the safety case. Access to URLs for development, feasibility and prototype testing seems of utmost importance.
- **In all cases:** specific RD&D is needed



EURATOM contributions



Eight Euratom R&T programmes in the management & disposal of radioactive waste since 1975

1975-1979: 1st WM P

1980-1984: 2nd WM P

1985-1989: 3rd WM P

1990-1994: 4th WM P

1994-1998: 4th FP (// EC FP)

1998-2002: 5th FP

2002-2006: 6th FP

2007-2013: 7th FP

2014-2020: Horizon 2020

Contracts with single partners

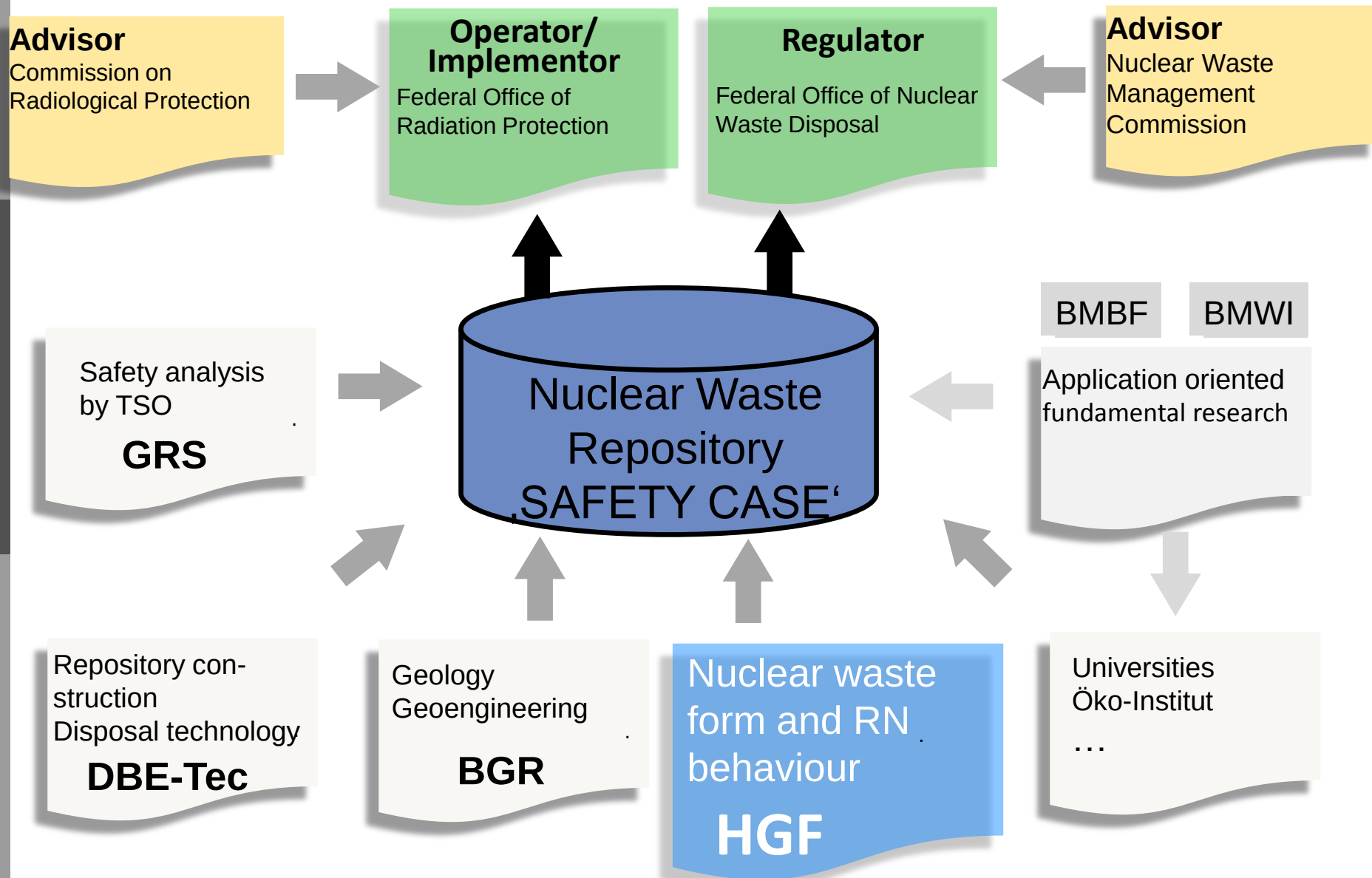
Consortia

Large consortia (Integrated Projects)

IGD-TP

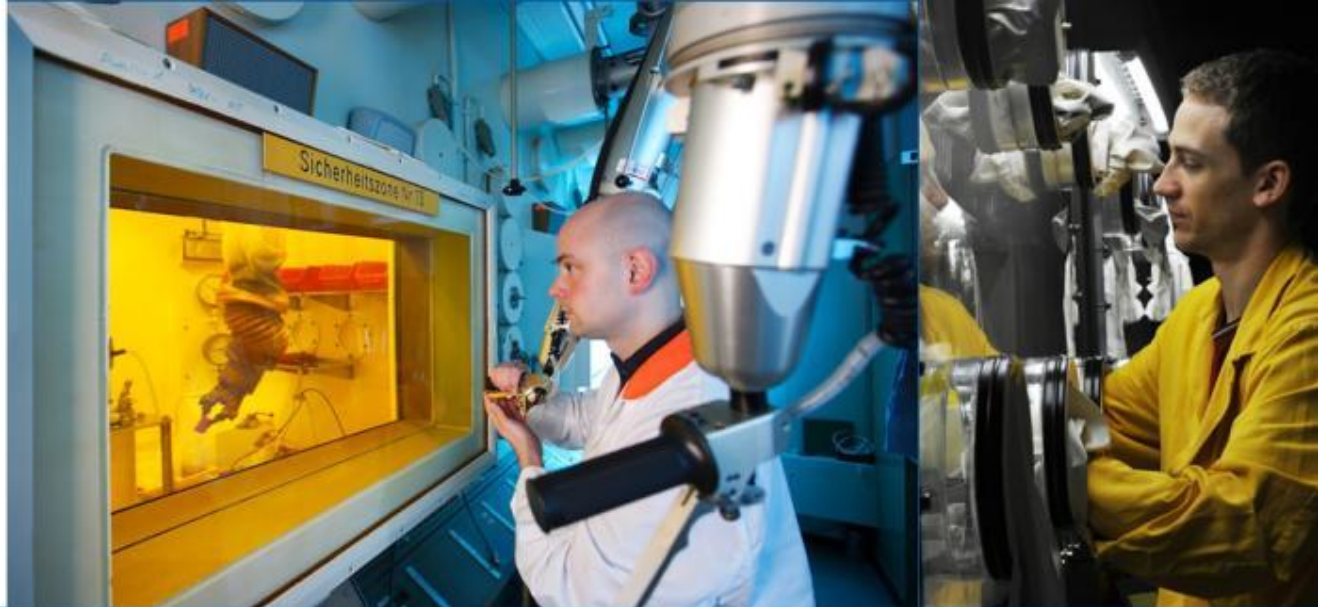
Towards Joint Programming

Nuclear Waste Disposal in Germany





DBE TECHNOLOGY GmbH, Forschungszentrum Jülich GmbH, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR), IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Institut für Sicherheitstechnologie (ISTec) GmbH, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Öko-Institut e.V., Institut für Bergbau und Spezialtiefbau der Technischen Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Endlagerforschung der Technischen Universität Clausthal.



Programme NUSAFE

Nuclear Waste Management and Safety as well as Radiation Research

Programme speaker – Dirk Bosbach

NUSAFE



Forschungszentrum Jülich GmbH
(FZJ)

Materials science aspects of Nuclear
Waste Management



Helmholtz – Zentrum Dresden –
Rossendorf (HZDR)
Radionuclides in ecosystems



Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Aquatic geochemistry of actinides and
fission products



NUSAFE programme structure

■ Topic 1

Nuclear Waste Management (67%)

Speaker: Prof. Dr. Horst Geckeis

- **Safety Research for Nuclear Waste Disposal**
- **Waste Management Strategies**

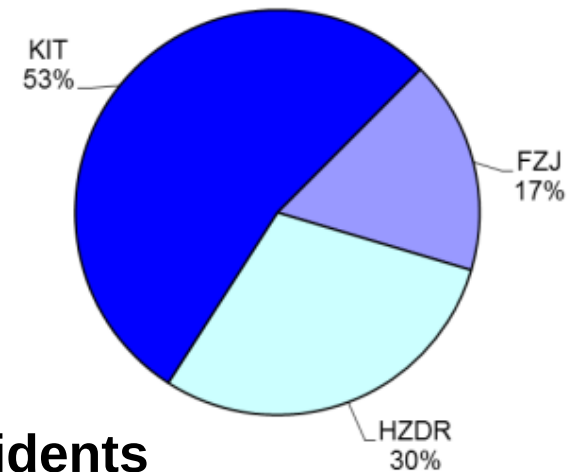
■ Topic 2

Reactor Safety (33%)

Speaker: Dr. Sören Kliem

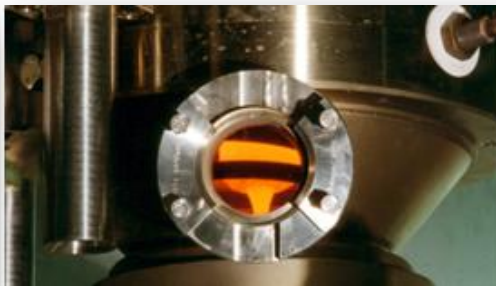
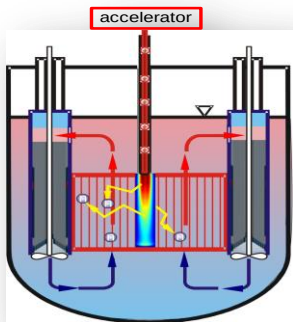
- **Reactor Operation and Design Basis Accidents**
- **Beyond Design Basis Accidents and Emergency Management**

234 FTE



NUSAFE programme structure

- **Topic 1 - Nuclear Waste Management**
 - **Safety Research for Nuclear Waste Disposal**
 - **Waste Management Strategies**
 - **Partitioning & Transmutation/Conditioning**
 - **Nuclear Legacy Waste and Decommissioning**
 - **Safeguards**



NUSAFE large Research Infrastructure (selected)



Radiochemistry
laboratories with hot cells



MOCKA



HPC
Synchrotron
beamlines
Supercomputing



Topflow



KALLA



Theades

Education in nuclear waste disposal

- Link to universities



- Graduate schools



- Teaching activities and cooperation with various universities in Germany and abroad
- 158 doctoral students (incl. affiliated university institutes)

Objectives of NUSAFE

- Scientific support for the safety case of deep geological disposal
- Develop integrated waste management concepts for decommissioning & special nuclear wastes
- Evaluate innovative waste management strategies
- Support IAEA safeguards programme



Strategy of NUSAFE

- Focus on **nuclear** waste forms & **long-term behaviour** of radiotoxic waste components
- Translation of **molecular level** understanding to **macroscopic behaviour** of repository systems
- Tailored waste management concepts **for Germany** and in an international context



Research in Europe

– supported by the European Commission (EC)



CEBAMA (submitted)

SAFEROCK (submitted)

GENUIN (submitted)

Implementation of Geological Disposal – Technology Platform (IGD-TP)



- In 2009, several European waste management agencies have established a technology platform to accelerate the implementation of geological disposal of radioactive waste in Europe (under EC auspices)
- Industry-led to ensure relevancy of priorities and implementation of RD&D results
- Open to all science providers (consulting companies, academics, research centers, ...)



- 116 participants (EU countries, Switzerland, Canada, Japan, Australia)

Implementation of Geological Disposal – Technology Platform (IGD-TP)



„Our vision is that by 2025, the first geological disposal facilities for spent fuel, high-level waste, and other long-lived radioactive waste will be operating safely in Europe“

Focus on RD&D needs for countries closest to licensing.

Specific issues intentionally left at national level: site characterisation, transportation, quality assurance, safeguards, ...)

Strategic Research Agenda (SRA) priorities: safety case, waste forms, monitoring, technical feasibility, development strategy of a repository, safety of construction & operation, governance & stakeholder involvement

Research in Europa

– supported by the Waste Management Agencies



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

nagra.

COVRA_{NV}



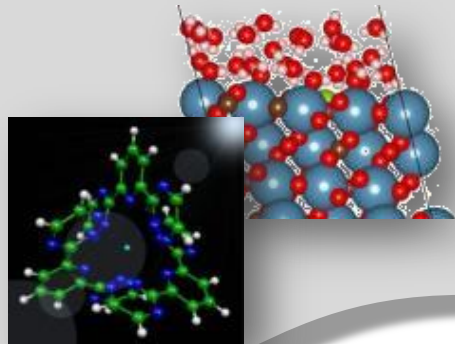
International research



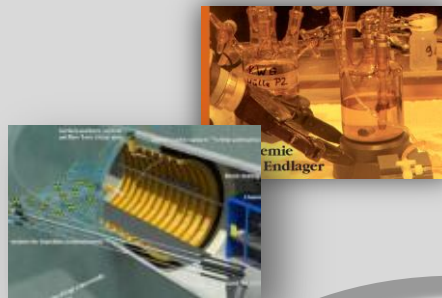
Research strategy

Studies

Fundamental



Applied



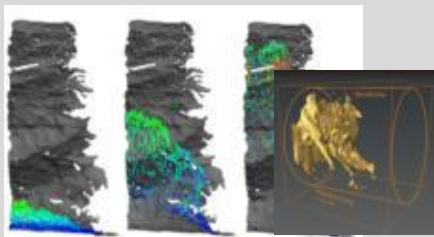
molecular scale



macroscale

Tools

Modeling



Spectroscopy



Process
under-
standing

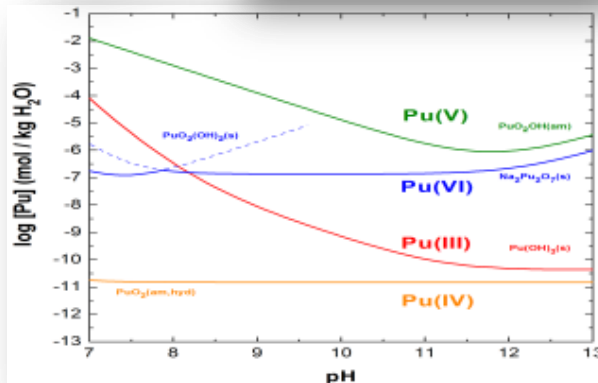
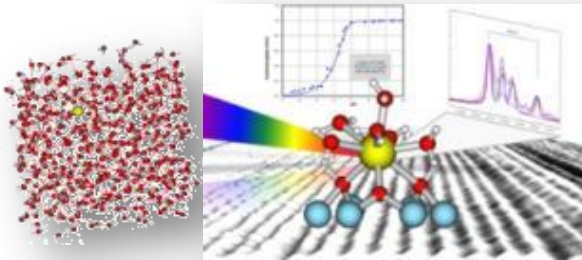


Quantitative
description



Fundamental/Modeling studies

- Aim:**
- Provide upper limits for radionuclide solubility
 - Quantify RN retention in repository (sub)systems



„Filling knowledge gaps“

- „Mobile“ fission/activation products (⁹⁹Tc, ⁷⁹Se, ¹²⁹I, ³⁶Cl, ¹⁴C)
- Elevated temperature data ($\leq 200^\circ\text{C}$)

New simulation approaches:

- Quantum chemistry (QC) $\rightarrow$ molecular scale
- Coupling chemistry processes to groundwater flow $\rightarrow$ reactive transport modeling (macroscale)

- **Develop and update** aqueous RN chemistry knowledge/data



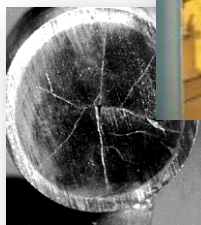
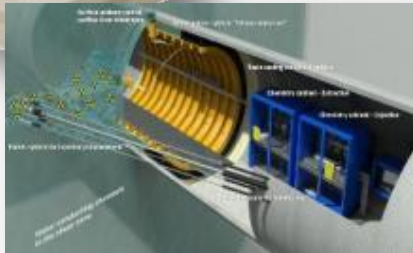
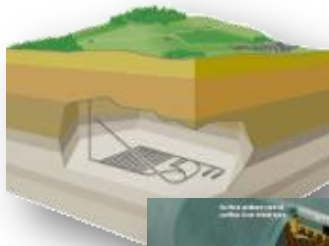
VESPA,
IMMORAD



Virtual
Institute

Applied Research

- Aim:**
- Contribution to safety assessment studies (e.g. vSG)
 - Upscaling/validation of predictions
 - Demonstration of safety features



10 mm
Fuel pellet

Waste form behaviour in a repository

- Long term evolution of **cement based materials**
- **spent nuclear fuel behaviour**

Assessment of **microbial effects** on RN mobility;
RN behaviour in the **ecosphere**

New site selection process → Comparative **„source terms“** for disposal options in Germany

Speciation methods

- Aim:**
- Develop **innovative** spectroscopic methods → insight into the molecular scale
 - Unique user laboratories = **‘seed crystals’** for international cooperation

microscopy
techniques:
SEM/EDX,
TEM, AFM



NMR



GeoPET

XPS



CEA, JRC-ITU, PSI,
NNL, Chalmers

XAS



Optical
Spectr. :
ATR-FTIR
Raman,
UV-VIS

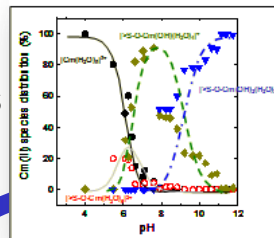
laser based
methods:
TRLFS, LPAS,
LIBD, LIBS



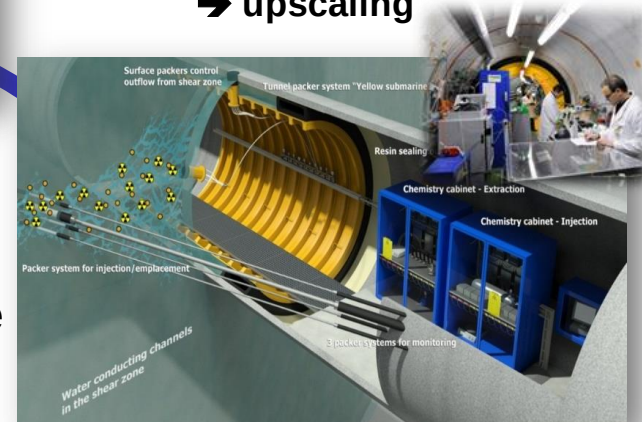
Comprehensive approach

Example: Impact of glacial melt water induced erosion of bentonite barriers in a repository in crystalline rock

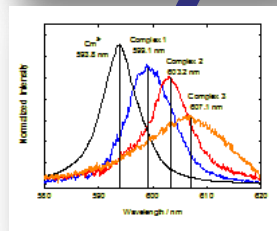
Geochemical speciation,
Reaction kinetics



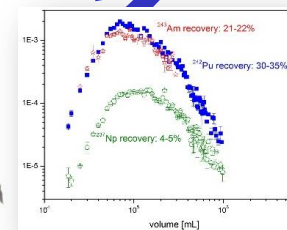
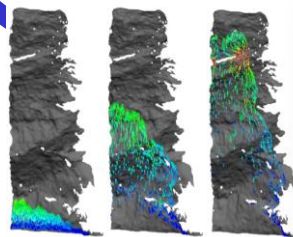
In-situ experiments
(laboratory; underground rock
laboratories - Grimsel, Äspö)
→ **upscaling**



Spectroscopy,
Quantum
Chemistry



**Radionuclide
behaviour in the
geosphere**



Simulation of radionuclide
migration by reactive
transport modeling



KOLLORADOe



Legacy waste/Decommissioning/Safeguards

- Aim:**
- Develop strategies and technologies for decommissioning
 - Develop technologies for waste characterization/treatment/decontamination
 - Contribute to the IAEA safeguards support programme



CarboDISP



Scientific coordination of the German IAEA **safeguards** support programme

Innovative waste **characterization** methods



Optimization of **decontamination/treatment** procedures for decommissioning and legacy waste (incl. **i-graphite**)

Decommissioning scenarios, procedures, technologies



Mature **vitrification** technology
-Appl. China, Russia, residues

Concluding perspective ...

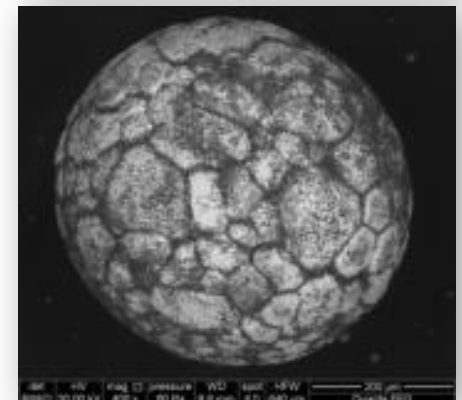
Long-term safety of a deep geological waste repository system cannot be demonstrated by technical means only – importance of **fundamental science** (process understanding on molecular scales)

HGF research is focused on **nuclear aspects** (behavior of radionuclides / nuclear waste materials)

Education / keeping competence (cooperation with universities)

Research for geological disposal of radioactive waste needs a **long-term perspective** considering the time frame for the site selection and licensing procedures.

The Helmholtz Association provides scientific support for the implementation of a deep geological repository for high level radioactive waste in Germany.

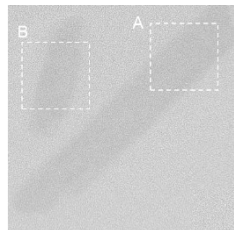




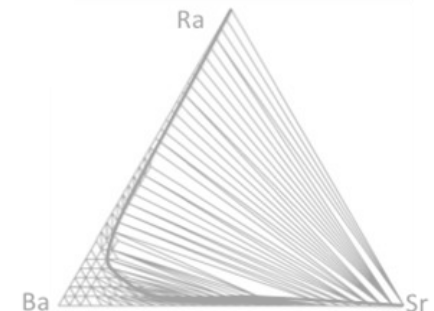
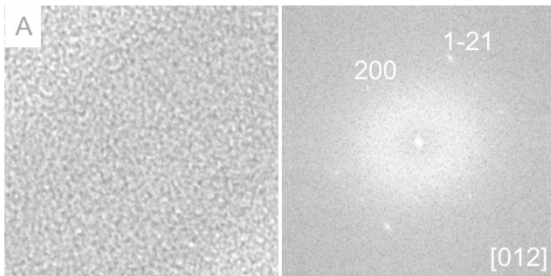
*"Basic Investigations on the **Imm**obilization of long-lived **Rad**ionuclides by Interaction with Secondary Mineral Phases"*

Thorsten Schäfer

Institut für Nukleare Entsorgung (INE)



HRTEM
SrSO₄ nucleation

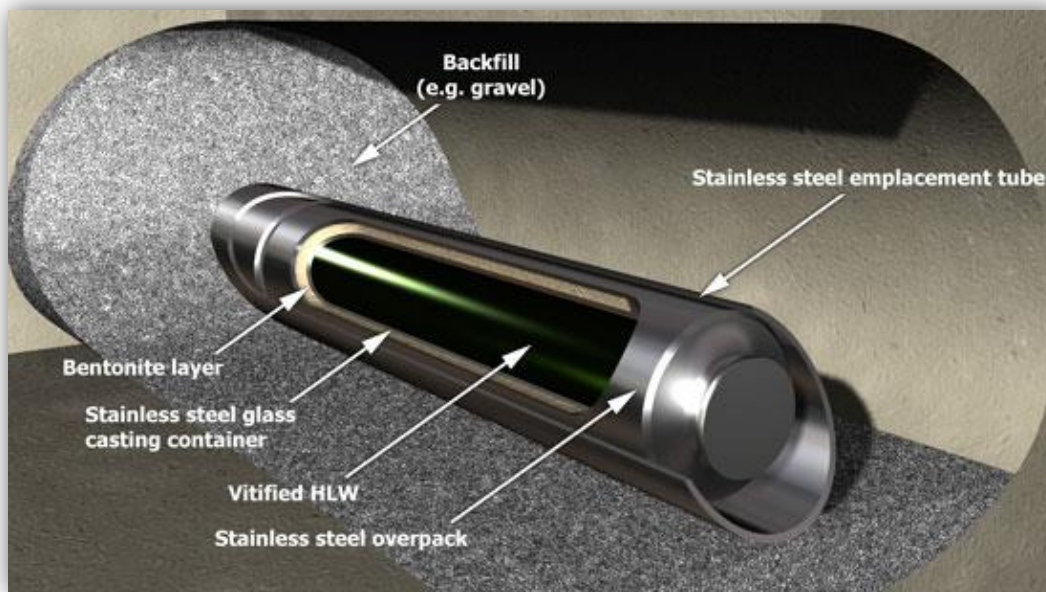
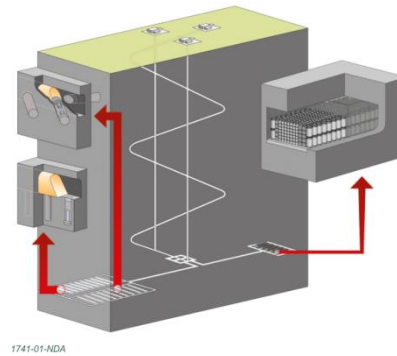


Outline

- Überblick der ImmoRad Aktivitäten
- Vortrag **Sascha Hofmann:**

„Der Einfluss endlagerrelevanter Elektrolyte auf die Wechselwirkungen dreiwertiger Lanthanide und Actinide mit Calcit“

Multi- Barrier Concept

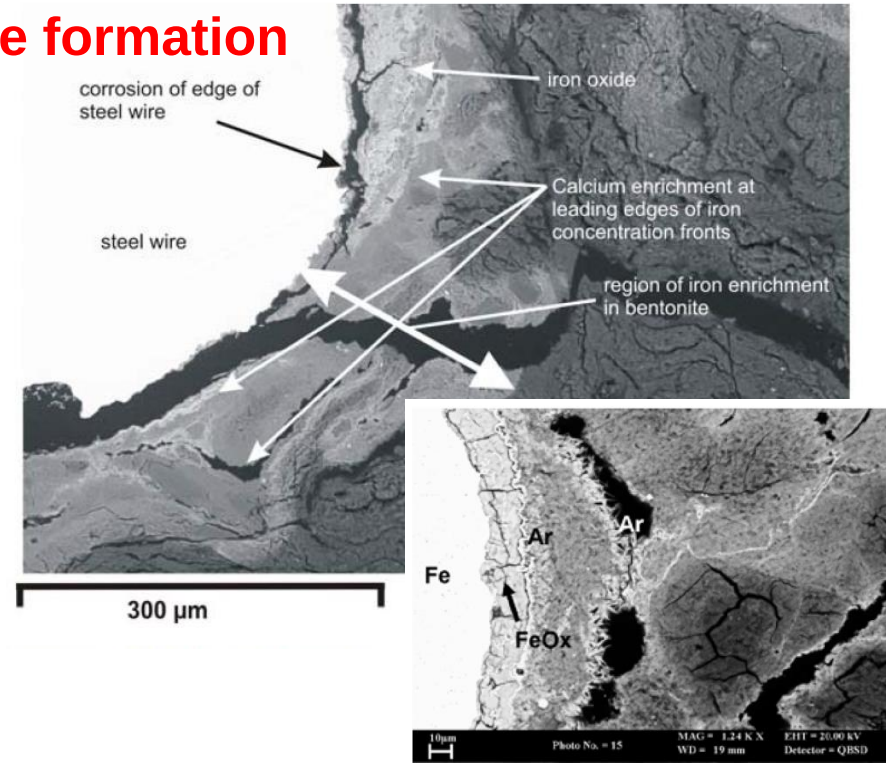
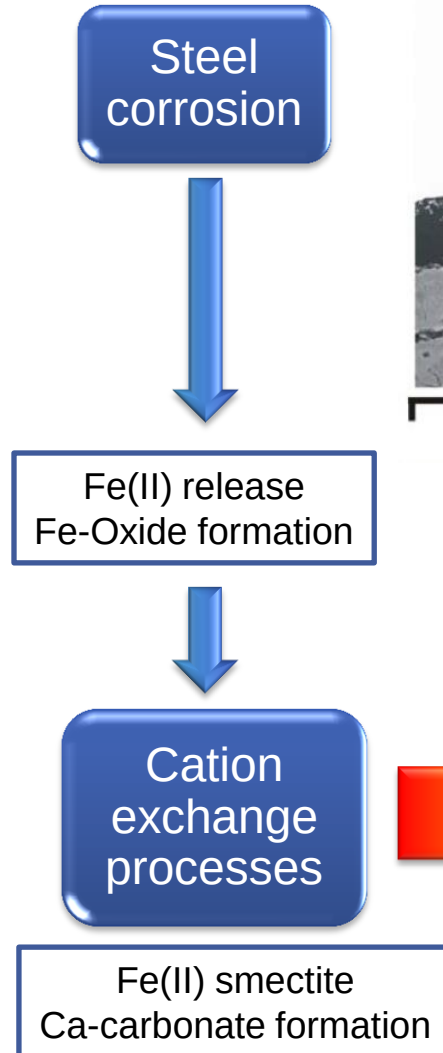
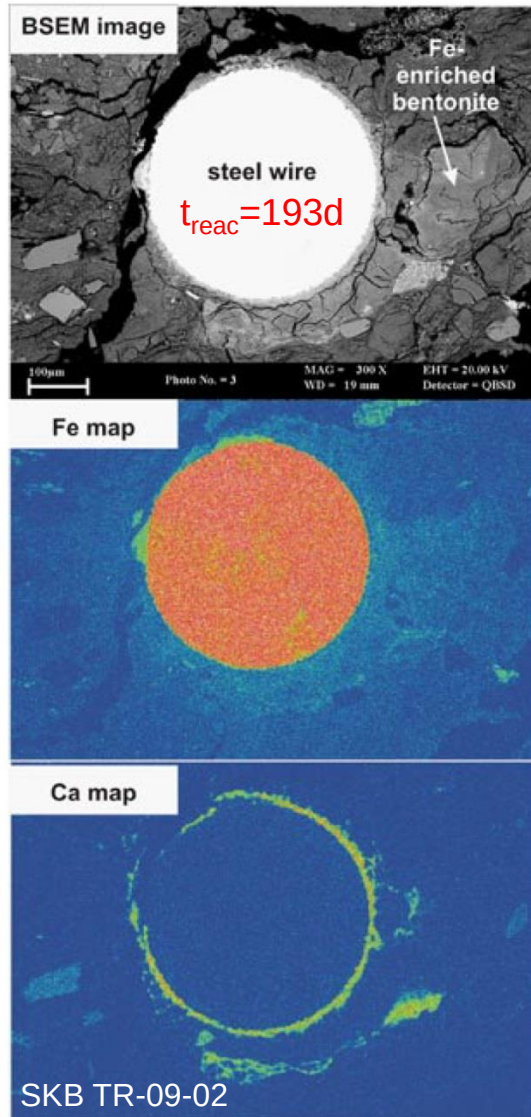


- Conceptual disposal method for High Level Waste (HLW)

- The Nagra LLW Repository concept - pre-visualisation

Images: www.dmmultimedia.com

Steel corrosion: **Secondary phase formation**



Radionuclide retention

- Surface complexation
- Isotope exchange
- **Co-precipitation**
- **Solid-solution formation**

ImmoRad fields of research:

Spectroscopy

Microscopy

Model
approaches

Trivalent actinides (Pu, Am, Cm)

Phosphates, Carbonates,
Iron(hydr)oxides

Tetravalent actinides (Th, U, Np, Pu)

Silicates, Sulfates, Carbonates
Sulfides, Iron(hydr)oxides, LDH

Radium and fission products (Se, Tc)

Sulfates, Sulfides, LDH, Carbonates

XANES,
EXAFS,....

ESEM,
AFM,....

DFT,
GEMS,....

ImmoRad fields of research:

Spectroscopy

Microscopy

Model
approaches

Trivalent actinides (Pu, Am, Cm)

Phosphates, Carbonates,
Iron(hydr)oxides

Tetravalent actinides (Th, U, Np, Pu)

Silicates, Sulfates, Carbonates
Sulfides, Iron(hydr)oxides, LDH

Radium and fission products (Se, Tc)

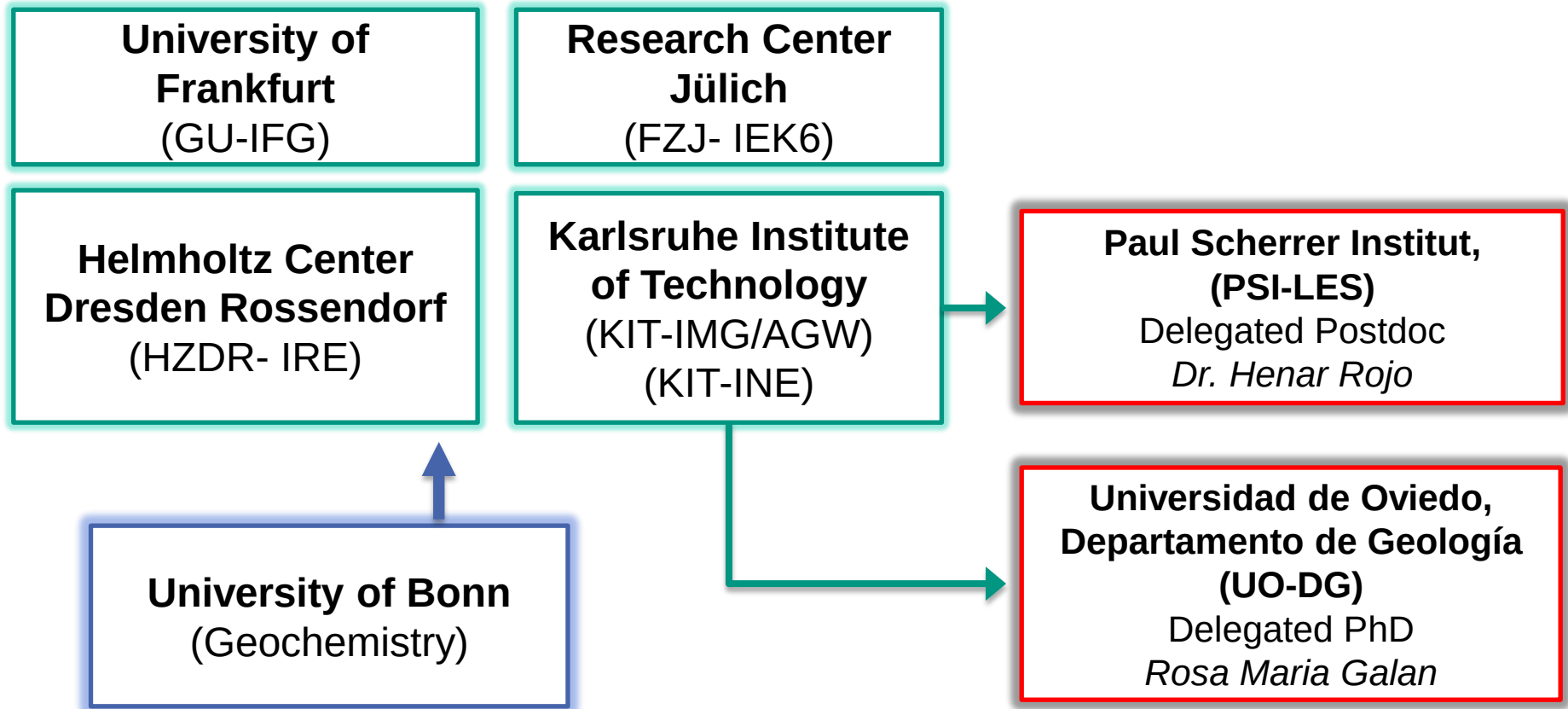
Sulfates, Sulfides, LDH, Carbonates

XANES,
EXAFS,....

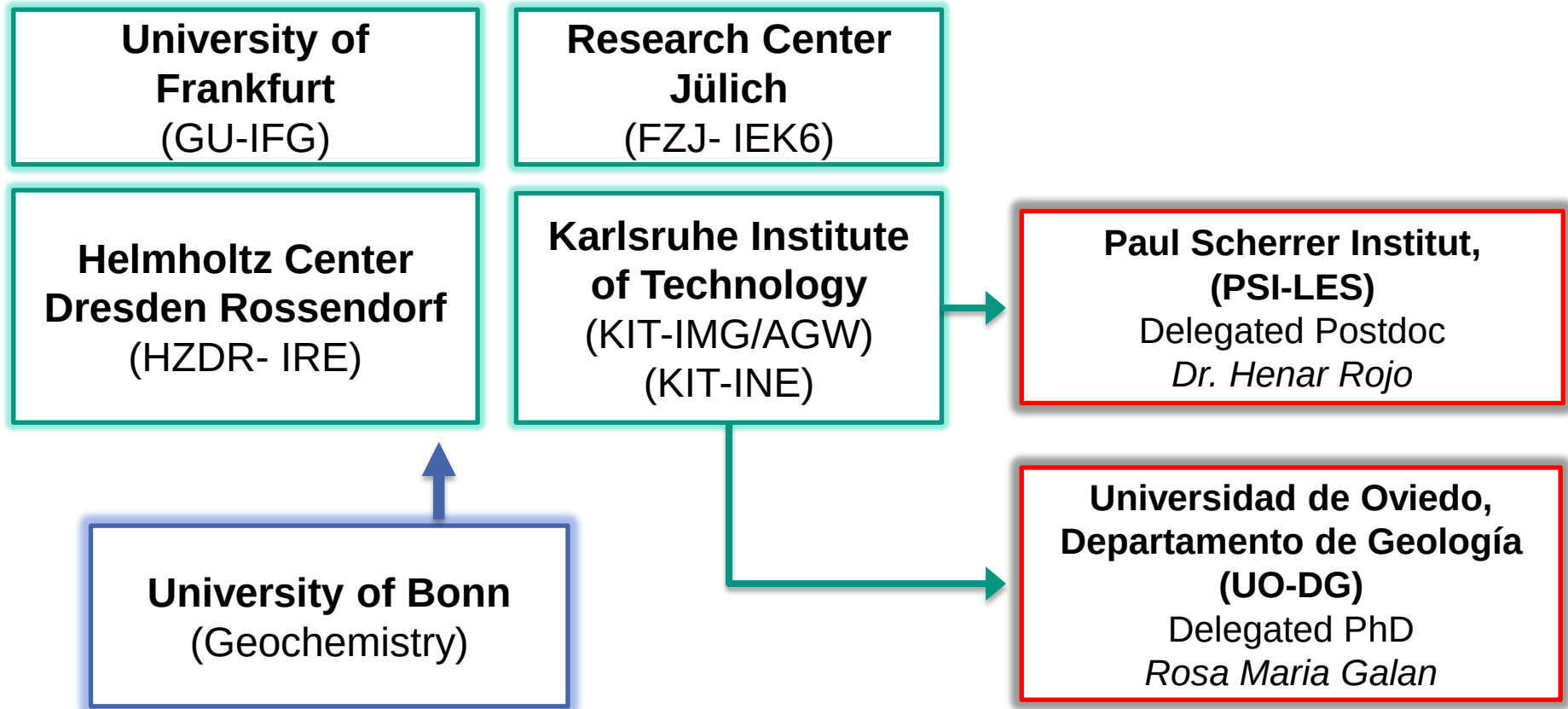
ESEM,
AFM,....

DFT,
GEMS,....

ImmoRad structure

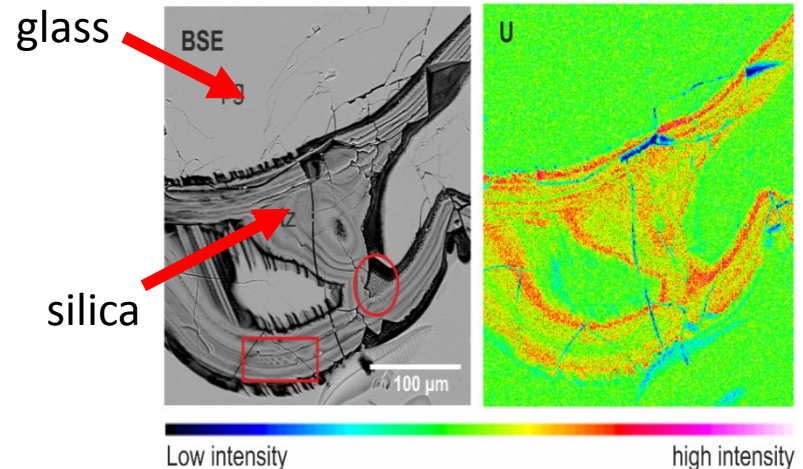
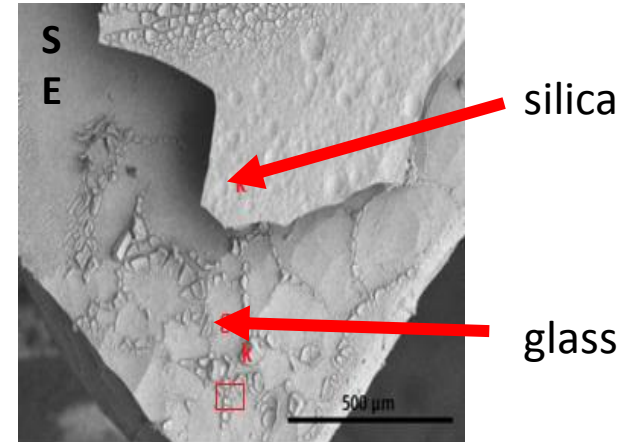


ImmoRad structure



Glass corrosion

- **Silica** –precipitation although bulk undersaturation
 - **Flow through reactor experiments** with Na-borosilicate glass (60 wt.% SiO_2 , 20 wt.% B_2O_3 , 20 wt.% Na_2O)
 - Permanently new feed solution
 - Always (global) undersaturation with respect to silica.
 - Precipitation of silica observed
 - Local supersaturation at solution- glass interface
- Uranium – retention in **silica** fringe
 - U-containing chalk- natron- silicate glass pearl from the 19th century (0.5 wt.% U)
 - Batch-experiments
 - here: 90°C, 14 d, pH = 12 (NaOH)

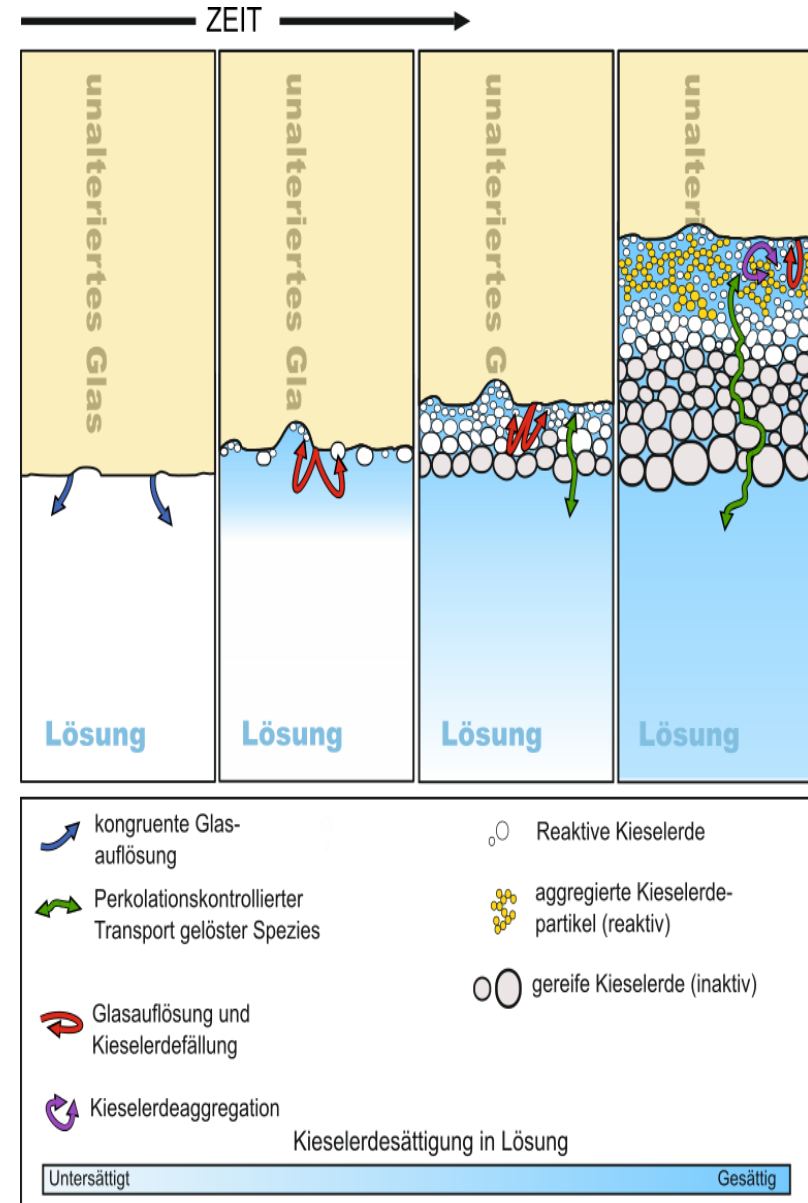


(nach Dohmen et al., 2013)

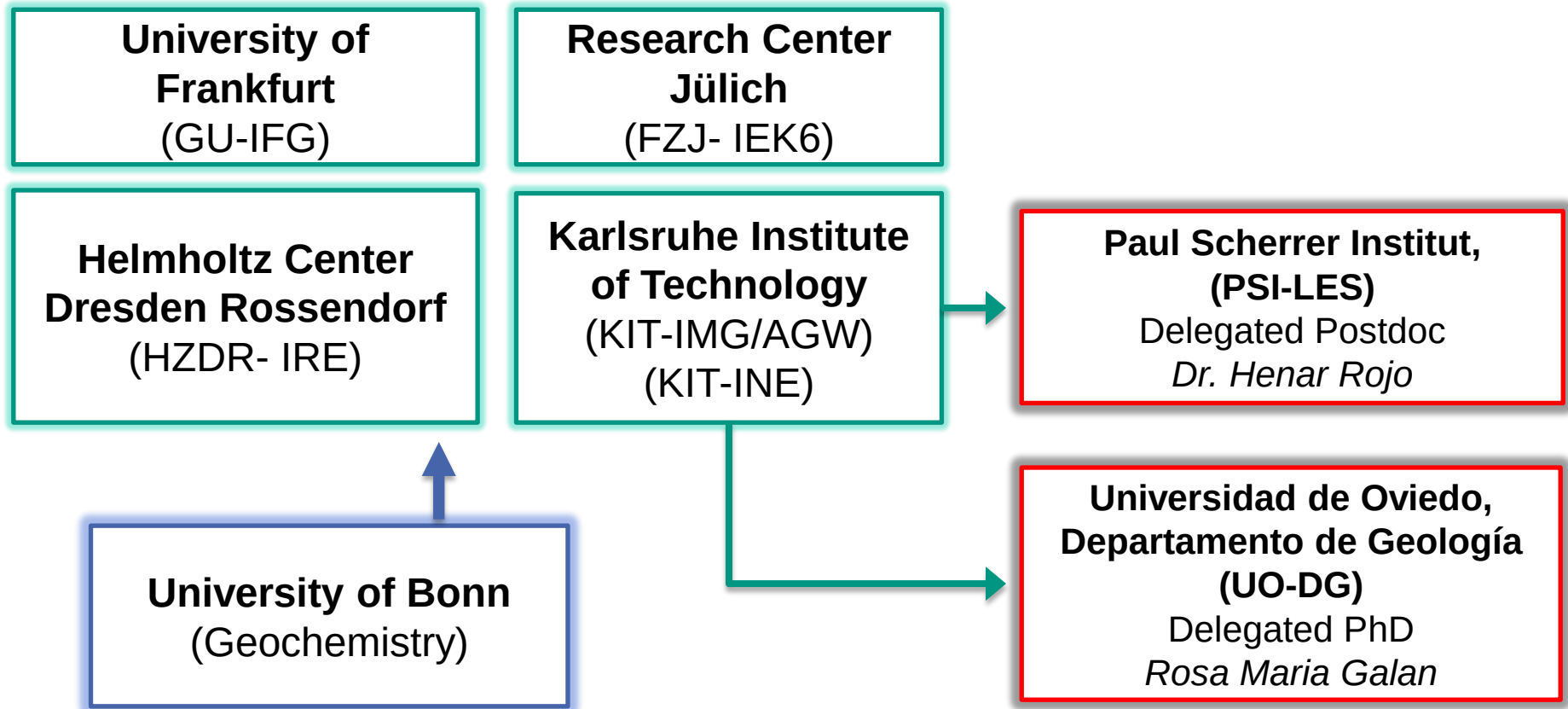
Glass corrosion (AG Prof. Geisler-Wierwille)

• New model for reaction mechanism

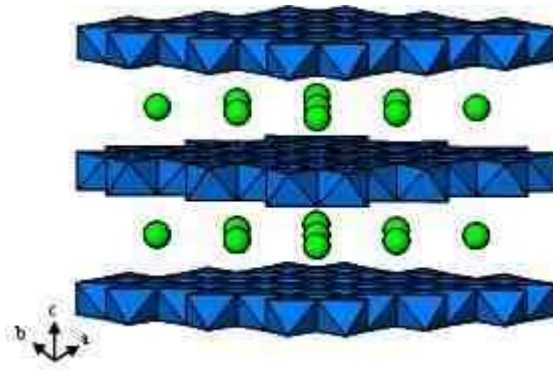
- Based on the **dissolution-precipitation model** (for crystalline materials)
- Interface controlled process:
 - **Congruent dissolution of glass**
 - **Precipitation of silica**
- Compared to diffusion controlled model advantage to explain observed non-linear phenomena like pattern formation.



ImmoRad structure: LDH „consortium“



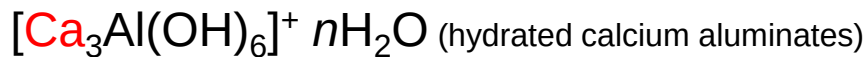
Layered double hydroxides (LDHs)



Structure

Brucite-like layers
(octahedral coordinated
cations) and interlayers
(anions and water)

AFm phases (CO₃, SO₄)

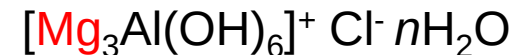


Se(IV) and Se(-II) + C-S-H

Is there immobilisation under the
alkaline and reducing conditions
existing in a cement-based repository?

Question
addressed?

LDH phases



Zr(IV) as a homologue for
tetravalent actinides

Retention of AN(IV) by structural
incorporation (solid solution)?

Layered double hydroxides (LDHs):

PAUL SCHERRER INSTITUT



Results

- $-230\text{mV} < E_h < -750\text{ mV}$,
 $10.0 < \text{pH} < 13.5$
- The kinetics and isotherms with AFm phases gives a clear evidence for **anion-exchange** as the dominating sorption process for Se(IV) and Se(-II) onto AFm phases. EXAFS analysis allowed to study the solid speciation and Selenium redox state.

Conclusion:

The results of these studies highlight the ability of the hydrocalumite-type **anion exchangers present in cementitious materials** to remove Se(IV) and Se(-II) from solution and thus to **reduce the mobility**.



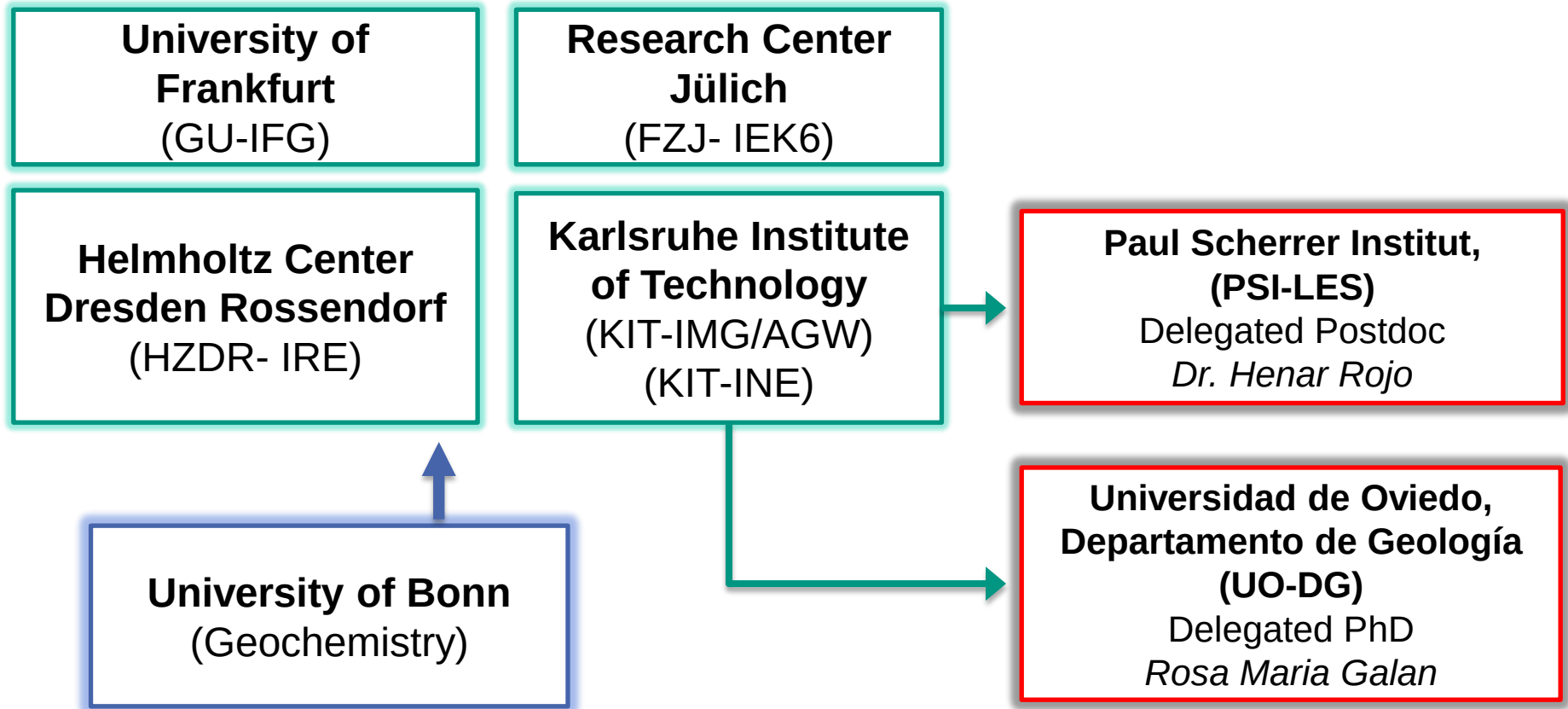
Results

- **Structural incorporation of Zr(IV)** in MgAl-LDH was confirmed up to molar fraction of $(\text{Zr}/(\text{Zr}+\text{Al}))=0.5$
- Zr(IV) is in octahedral position in brucite-layer and partly is in interlayer as $\text{Zr}(\text{OH})_5^-$
- LDH stability decreased with Zr(IV) amount (increased the solubility)

Standard Gibbs free energies:

- $G^\circ_f \sim -3619\text{ kJ/mol}$ ($x=0$)
- $G^\circ_f \sim -3500\text{ kJ/mol}$ ($x=0.1$)
- $G^\circ_f \sim -3075\text{ kJ/mol}$ ($x=0.4$)

ImmoRad structure: Fe phase „consortium“



Se retention

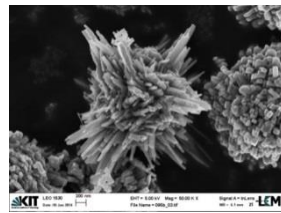
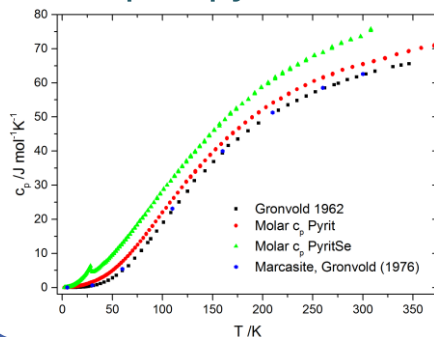
Se(-II) retention on pyrite

Aim

- Quantification of the Se retention during spontaneous pyrite precipitation (Structural, morphological and stability information of Se-doped pyrites)

Results:

- Pure Se-doped pyrite phases detected by XRD and Raman
- Se-II uptake up to 99.9 % from solution
- Se incorporation in pyrite up to 2.4 wt. %
- Surface species: Se-II (under reducing conditions)
- Se-doped pyrite has higher heat capacity



Grain size: 1 - 2 μm;
 A_{BET} : 7,1 ± 0,3 m²/g

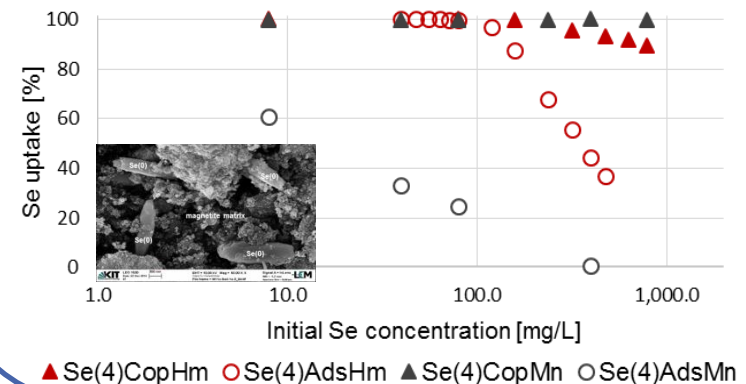
Se(IV) retention on hematite & magnetite

Aim

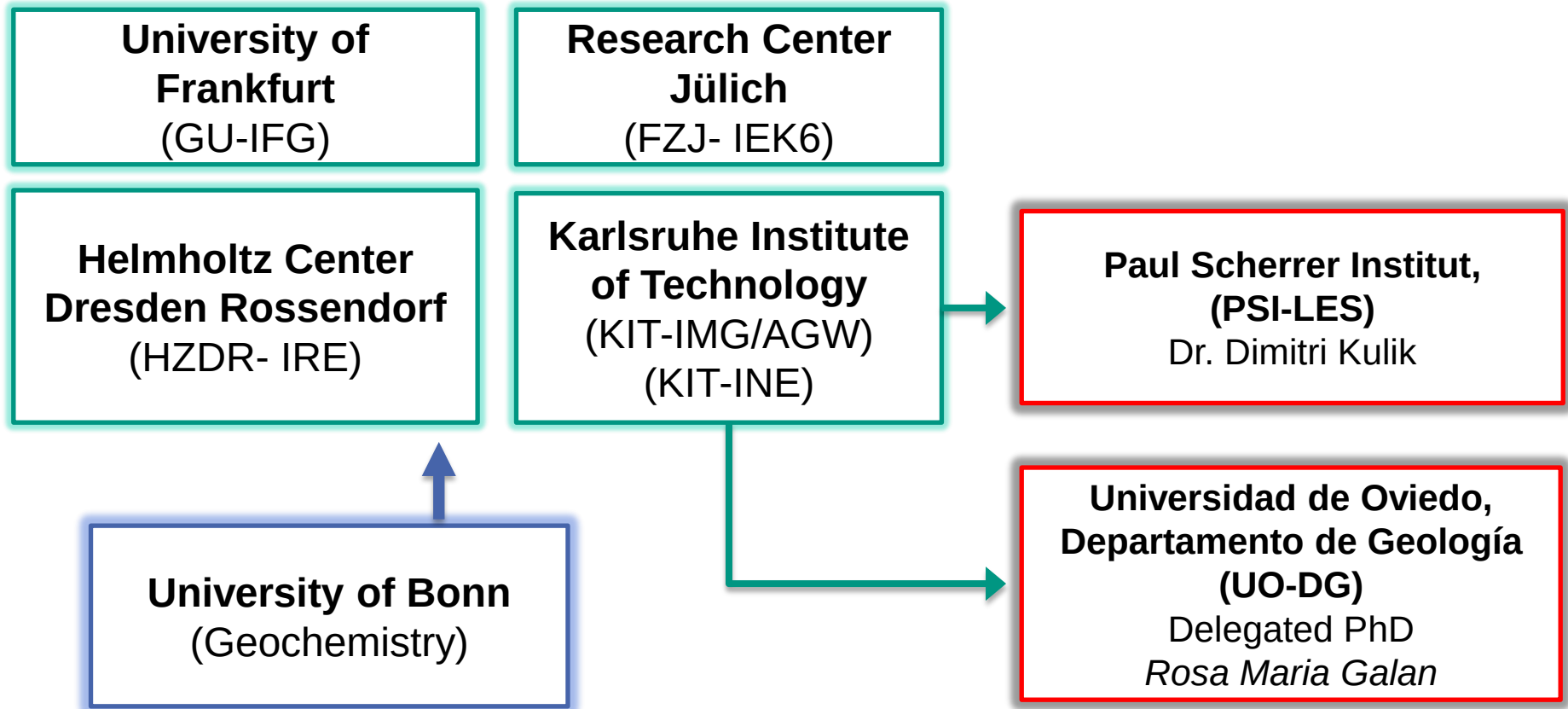
- Comparison of the Se(IV) retention processes: co-precipitation (Cop) vs. adsorption (Ads); Identification of the mechanisms

Results:

- Co-precipitation (Cop) dominates the Se retention
- Hematite: Occlusion of adsorbed Se(IV)
- Magnetite: Reduction of Se(IV) and precipitation of Se(0)



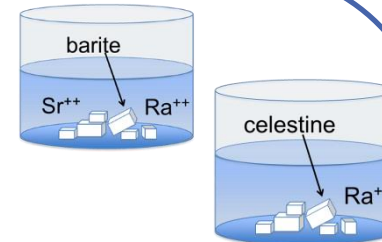
ImmoRad structure: Sulfate phase „consortium“



Ra/Pb retention on barite, celestine

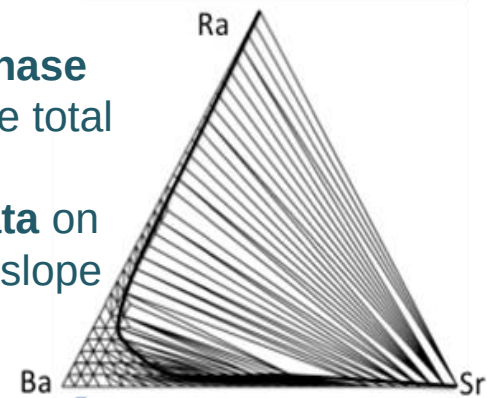
Aim

- Determination of the effect of Sr on the effectiveness of Ra retention in the system $(\text{Ba}, \text{Sr}, \text{Ra})\text{SO}_4$



Results (FZJ, Univ. Frankfurt, PSI-LES):

- In re-crystallization experiments **pure barite in the presence of a trace amount of Ra and of higher Sr concentration** in the aqueous solution
- **Pure celestine in the presence of a trace amount of Ra**
- Atomistic simulations of the mixing properties in the ternary solid solution; Calculated interaction parameters increase in the row: $W_{\text{BaRa}} = 2.4$, $W_{\text{BaSr}} = 8.4$ and $W_{\text{SrRa}} = 20.0$ kJ/mol.
- The **thermodynamic calculations with the GEM-Selector code** showed that the **mole fraction of RaSO_4 in the $(\text{Ba}, \text{Sr}, \text{Ra})\text{SO}_4$ phase could increase dramatically at high Sr/Ba ratios**, even when the total amount of Ra in the system is small.
- This **prediction is entirely consistent with the experimental data** on re-crystallization of celestine and with the predicted change in the slope of the tie lines within the ternary gap.



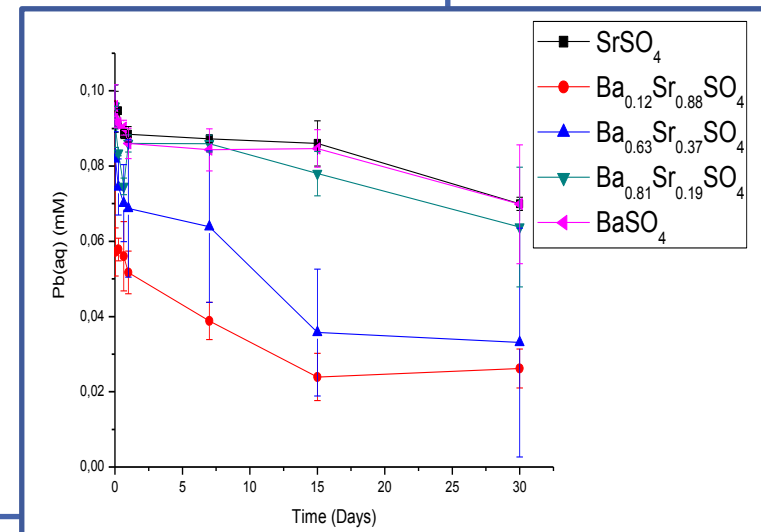
Ra/Pb retention on barite, celestite

Aim

- Determination of the effect uptake of $\text{Pb}^{2+}(\text{aq})$ by barite- celestite solid-solution crystals:

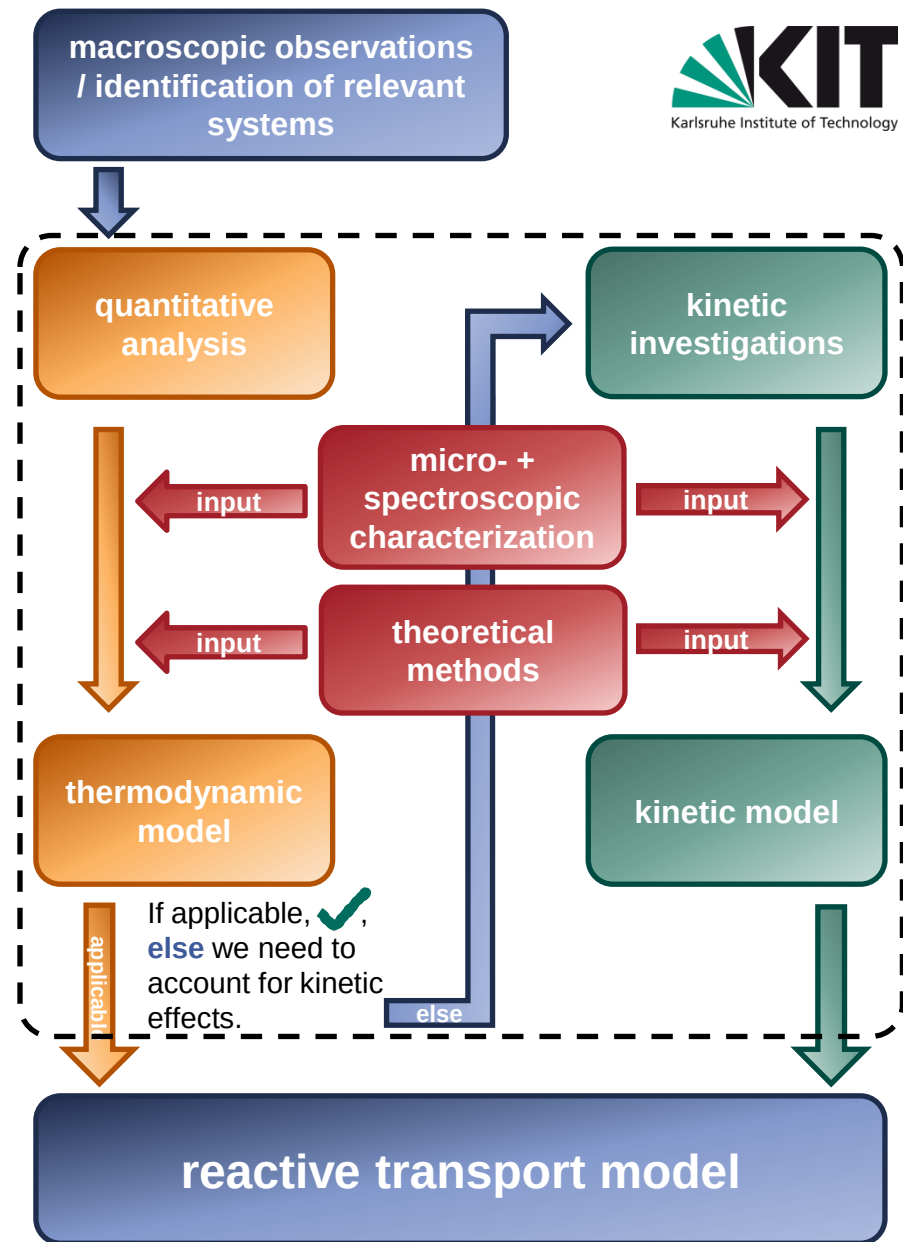
Results (Univ. Oviedo):

- BaSO_4 , SrSO_4 and intermediate members of the $\text{Ba,Sr}(\text{SO}_4)$ were synthesized and made to react with lead-rich solutions.
- Binary solid solutions are more efficient than host phases removing lead from the aqueous medium, especially for those with a larger portion of strontium
- The results remark the non-ideal character of the $(\text{Ba,Pb})\text{SO}_4$ solid solutions and the tendency to develop an asymmetric miscibility gap
- It follows that the **decrease in the concentration of dissolved Ra^{2+} could be considerably higher using Pb-bearing barite solids instead of pure barite.**



What have we learned from Immorad so far?

- A lot of work was performed focusing on **spectroscopic and structural studies**. To answer specific questions the **use of state of the art methods** is still **essential**.
- During recent years **substantial progress** was made in the field of **thermodynamic model development** especially thanks to the application of advanced theoretical methods. **However, for most systems the knowledge is still insufficient.**
- For some systems (e.g. calcite, barite, celestine/ strontianite) **relevant kinetic effects were identified** that **impede straight forward application of thermodynamic models**. **Correspondingly, kinetic investigations become essential.**



Profile

People

Publications

Partner Institutes

Meetings/ Conferences

Welcome to ImmoRad!

In April 2012 a new research project was started to perform "Basic investigations on the immobilisation of long-lived radionuclides by interaction with secondary mineral phases". The joint project involves partners in Germany, Switzerland and Spain and is sponsored by the German Federal Ministry of Education and Research.

Final Meeting and GEMS Workshop in 04/2015



Dr. Frank Heberling

+49 721 608-24782

frank.heberling@kit.edu

Contact

Sascha Hofmann
Institute for Nuclear Waste
Disposal (KIT-INE)

[E-Mail](#)

For more information, visit: www.immorad.eu
Final workshop @ PSI-LES: currently 25 participants
23.-24.04.2015
20.-22.03.2015 GEMS-course by Dimitri Kulik



Young researchers involved in ImmoRad

■ Diploma students: 1

- Lars Dohmen, (Rainer Ehrhardt) (Uni Bonn)

■ Bachelor students/ Master students: 2/2

- Alba Lozano (KIT-INE), Eugenia Gref (Uni Bonn)
- Alexander Zickgraf (KIT-IMG), Eric W. Fischer (KIT-IMG)

■ PhD students: 7

- Siriwan Dulnee (only temporarily) HZDR
- Sascha Hofmann (KIT-INE/HZDR)
- Rosa María Rodríguez-Galan, Louis Temgoua (KIT-INE)
- Nicolas Börsig (KIT-IMG)
- Sebastian Potsch (KIT-IMG)
- Christoph Lenting (Uni Bonn)

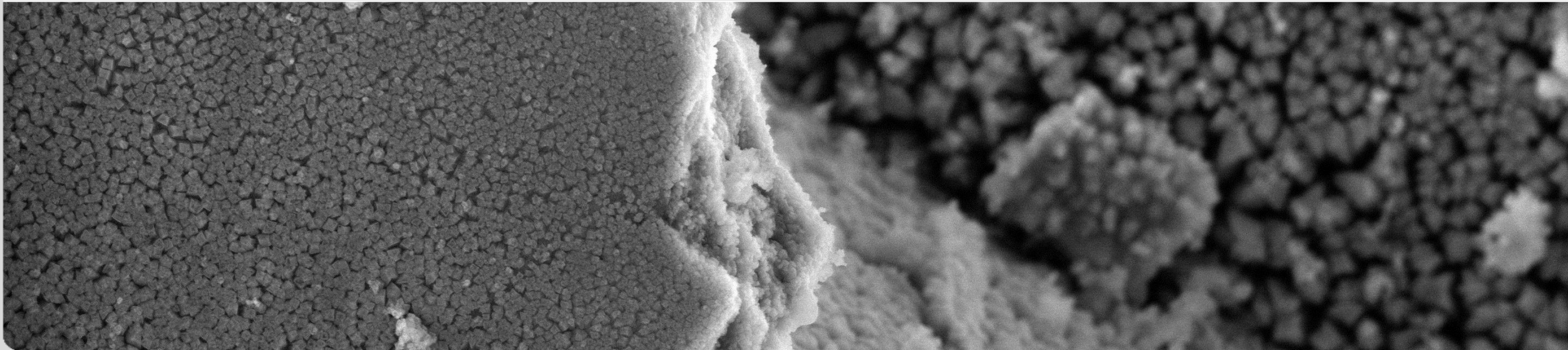
■ PostDocs: 4

- Thomas Dumas (until 12/2012) HZDR
- Robin Steudtner (since 1/2013) HZDR
- Henar Rojo (KIT-INE)
- Johannes Bauer (Univ. Frankfurt)

Der Einfluss endlagerrelevanter Elektrolyte auf die Wechselwirkungen dreiwertiger Lanthanide und Actinide mit Calcit

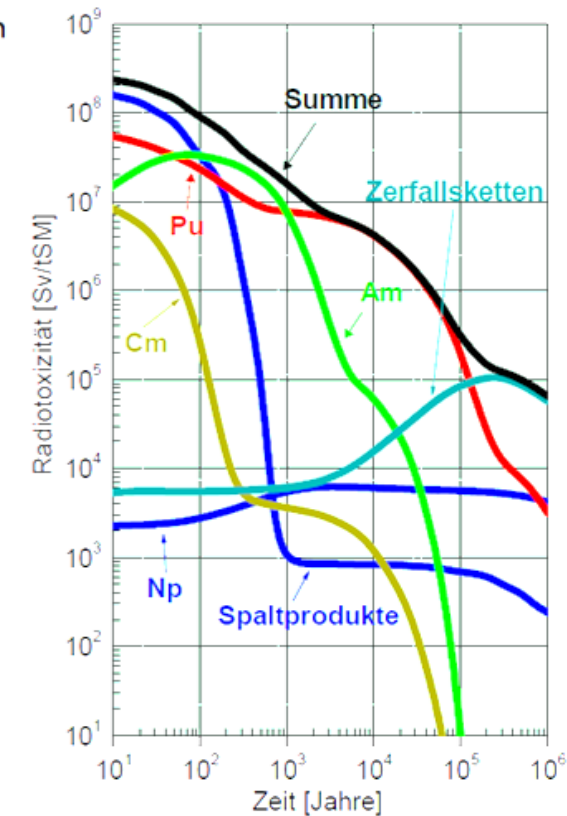
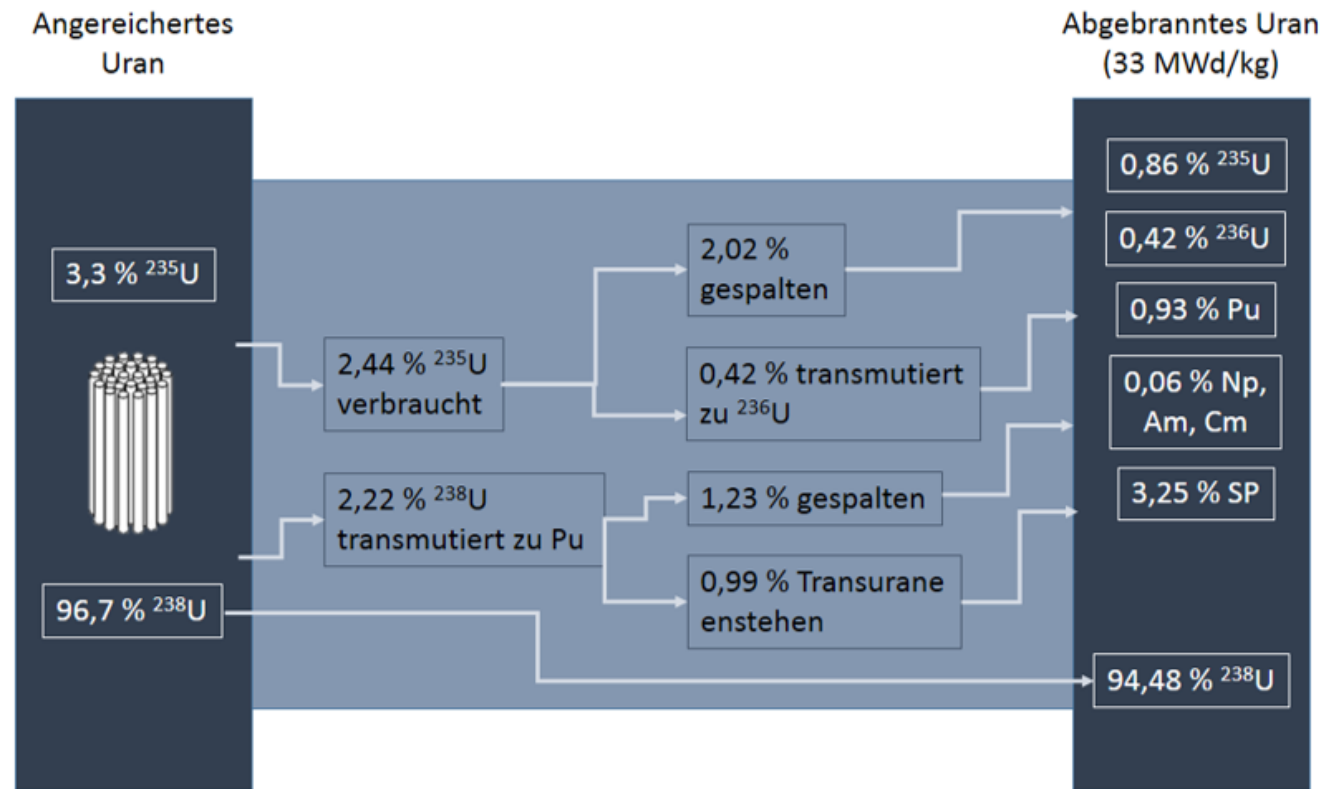
Doktorarbeit – Sascha Hofmann

Institut für Nukleare Entsorgung (INE)

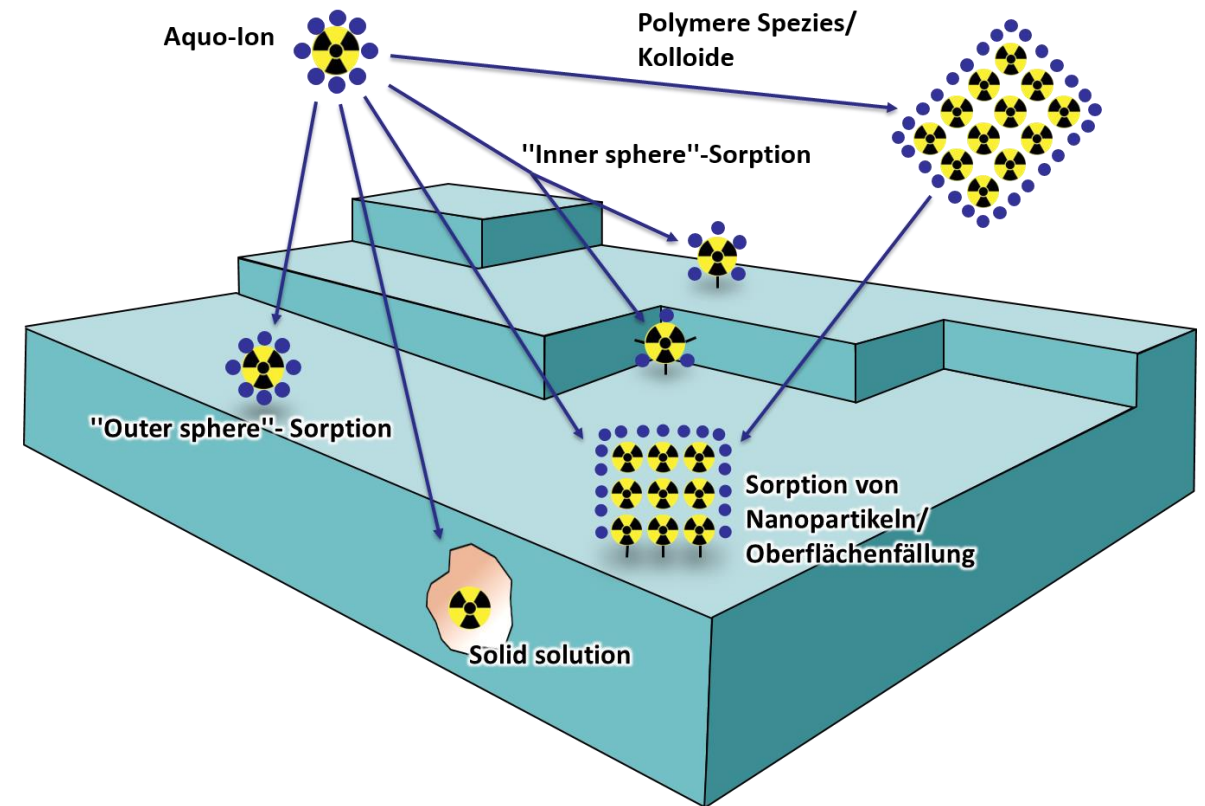
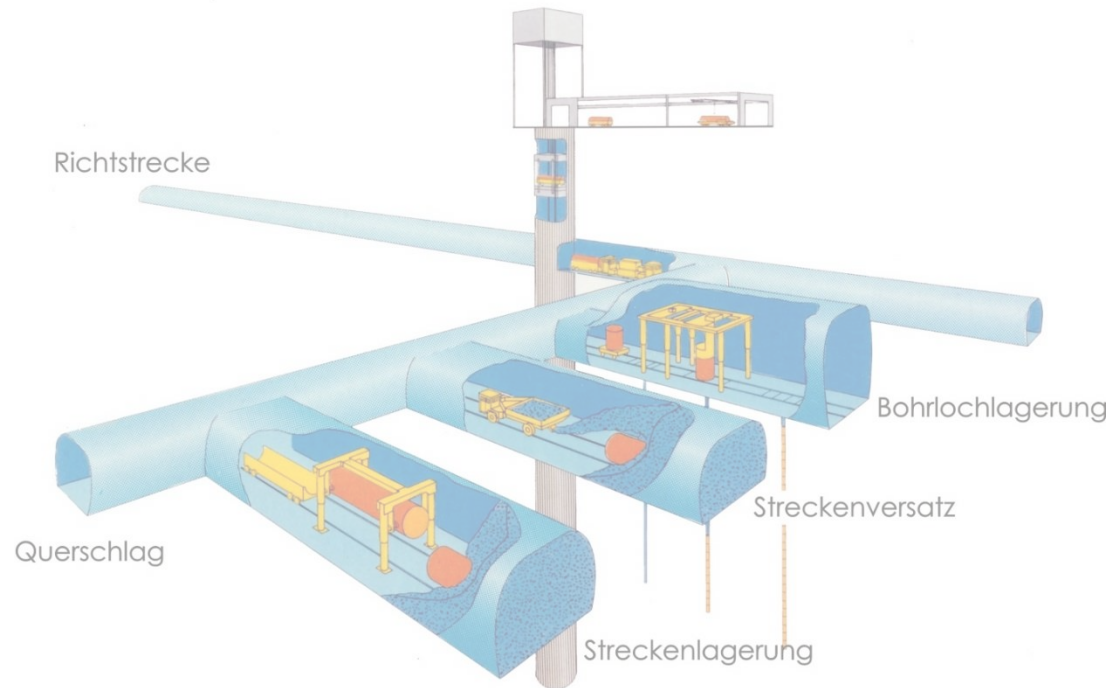


- Motivation und Einführung
- Die Sekundärphase Calcit
- Untersuchungen von Einbaureaktionen mit Hilfe der Fluoreszenzspektroskopie
- Oberflächenreaktionen und -modifikationen
- Die elektronische Struktur der Calcitoberfläche in Lösung
- Zusammenfassung

Motivation und Einführung



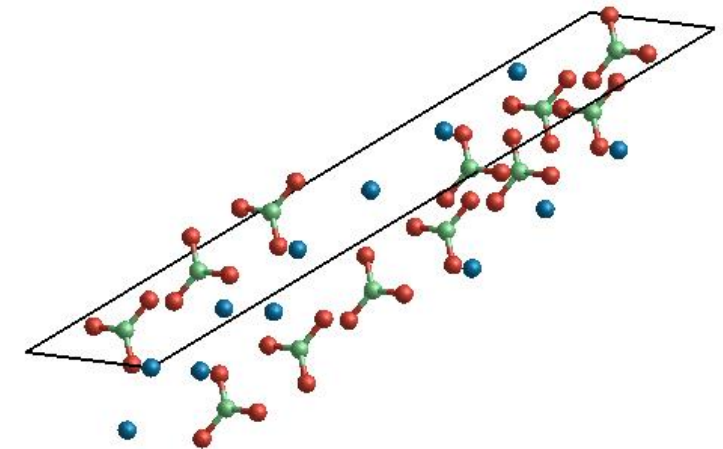
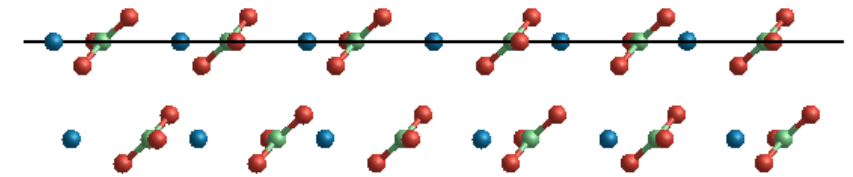
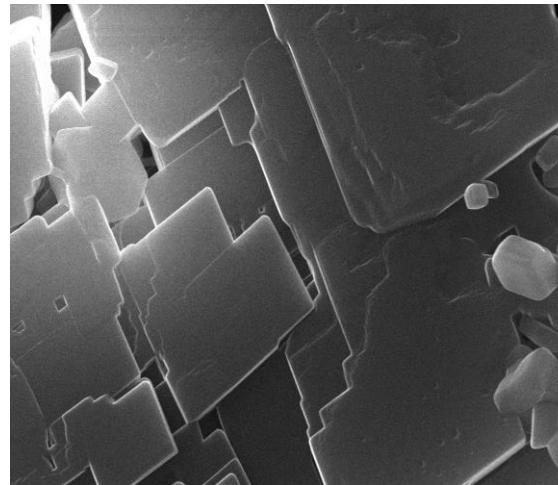
Motivation und Einführung



Die Sekundärphase Calcit

Calcit stellt die thermodynamisch stabilste CaCO_3 -Modifikation dar.

- Koordinationszahl: 6
- Kristallsystem: Trigonal

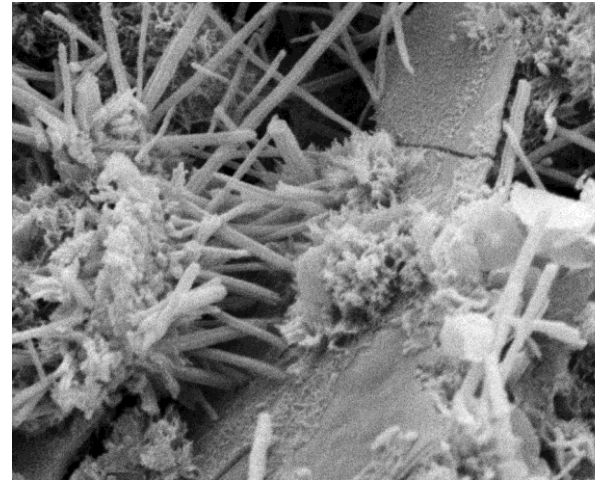


<https://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/MineralData?mineral=Calcit>

Die Sekundärphase Calcit

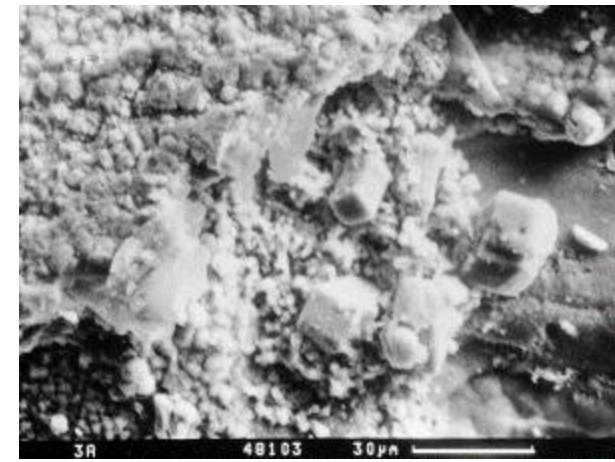
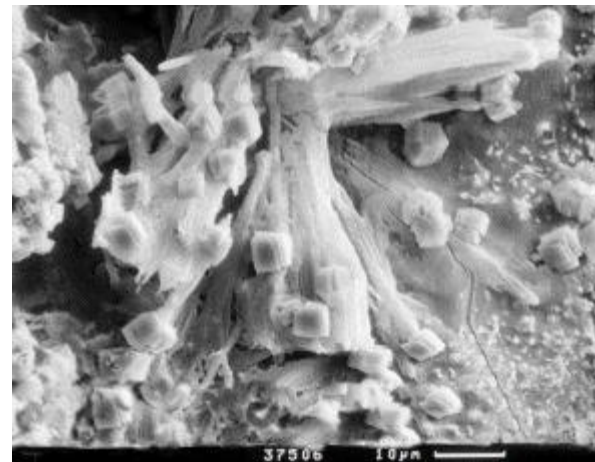
Calcitbildung aus Zementmaterialien

Foto: Jim Margeson, NRC-IRC
<http://www.cementlab.com/cement-art.htm>



Calcitbildung aus Betonmaterialien

Foto: V. Vávra, P. Sulovský
<http://petrol.sci.muni.cz/eng/technolology/thaumasite/intro.htm>

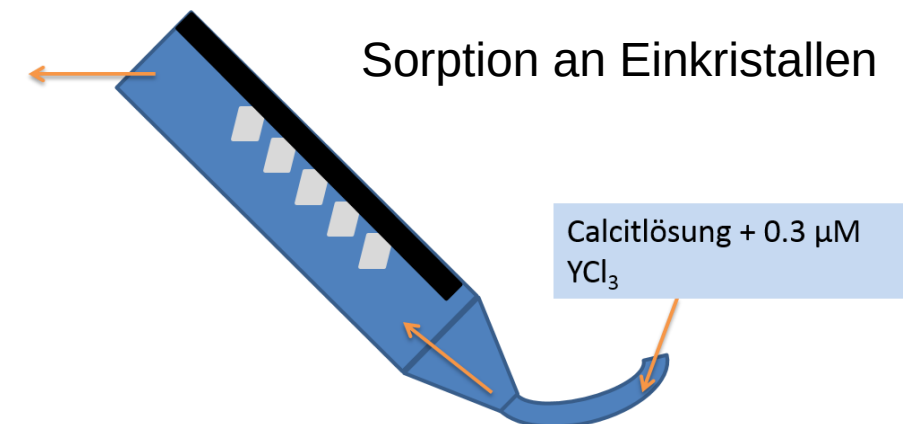


Die Sekundärphase Calcit – Experimentelle Ansätze

Gleichgewichtsexperimente (Batch)



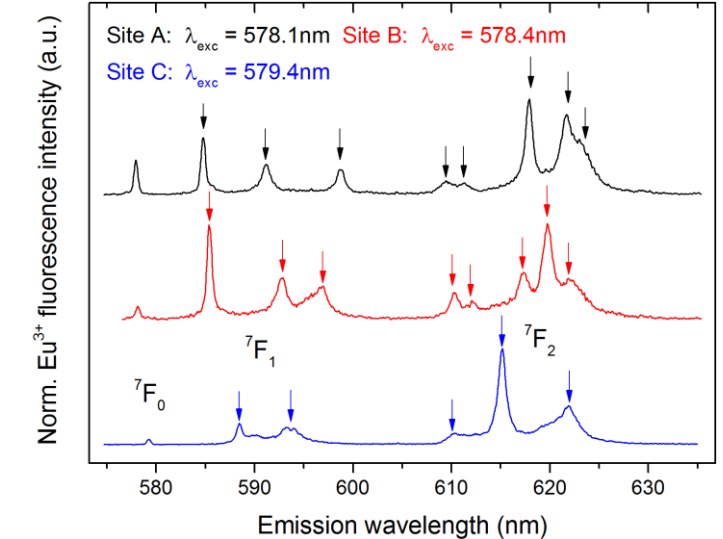
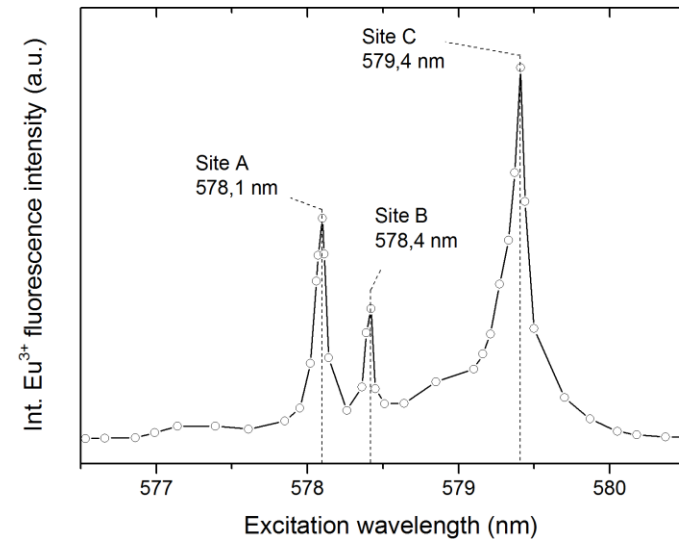
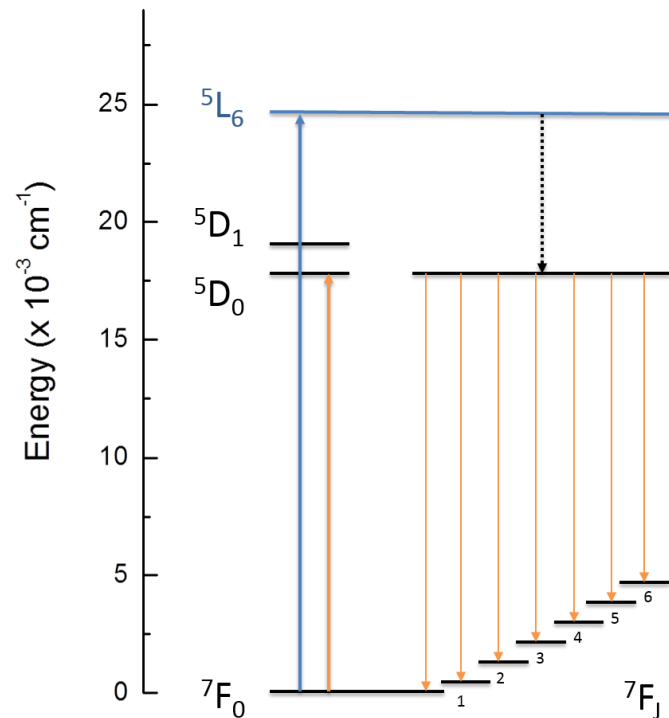
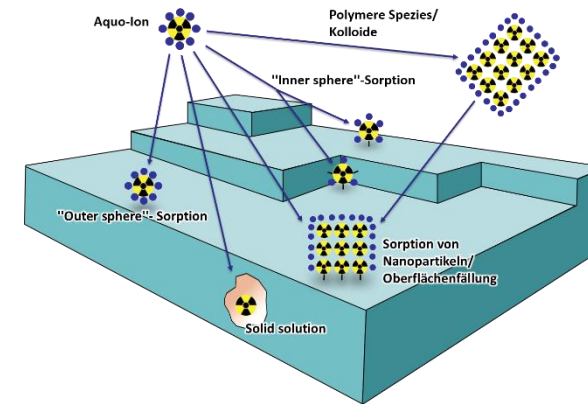
Wachstumsexperimente im Durchflussreaktor



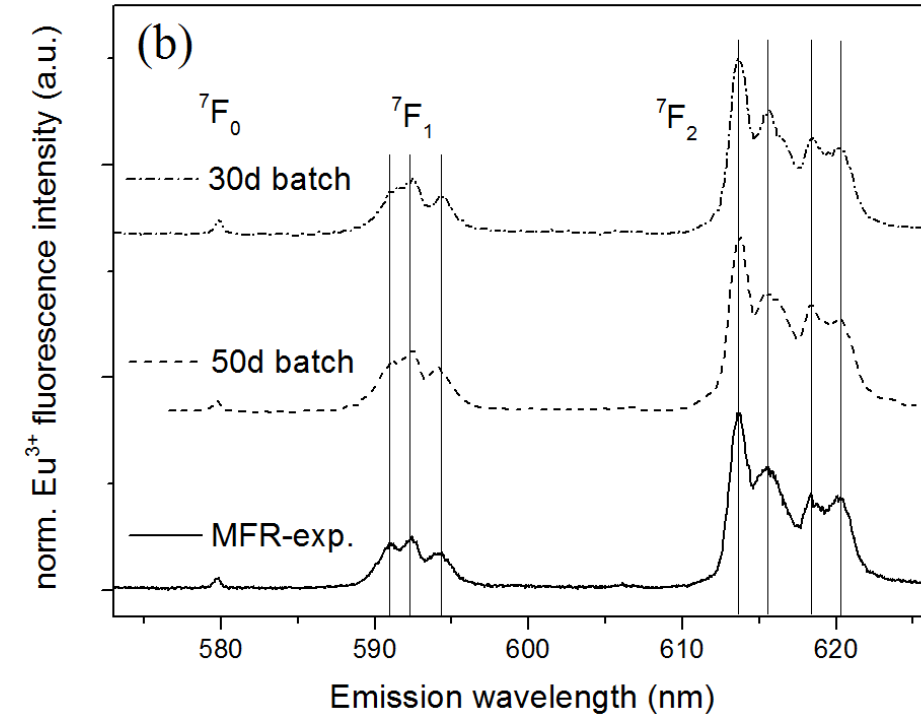
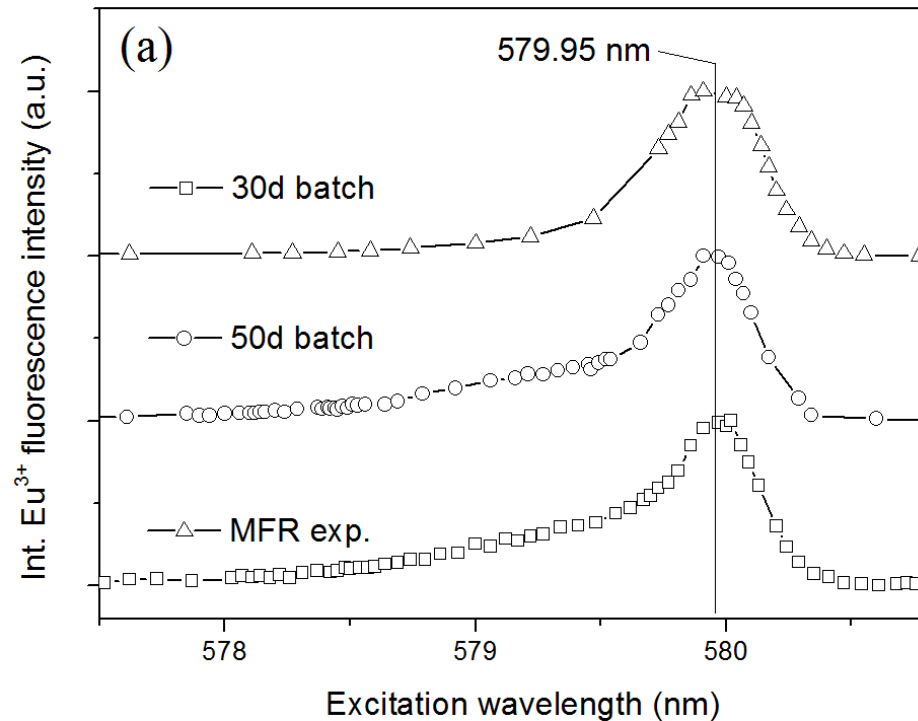
Untersuchungen von Einbaureaktionen mit Hilfe der Fluoreszenzspektroskopie (Eu^{3+})

Indirekte Anregung bei 394 nm

Direkte Anregung bei 575-583 nm

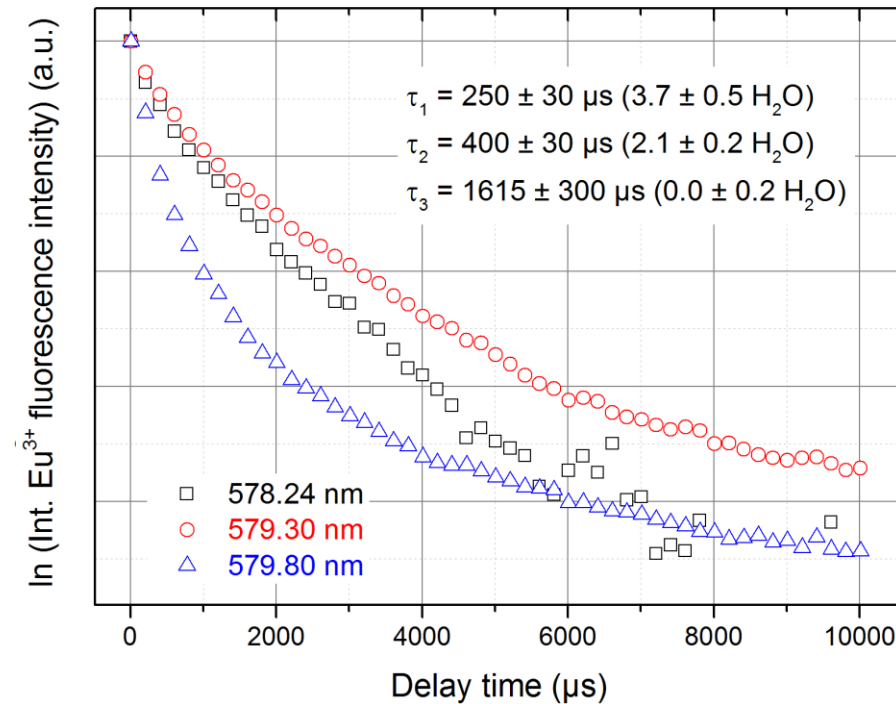
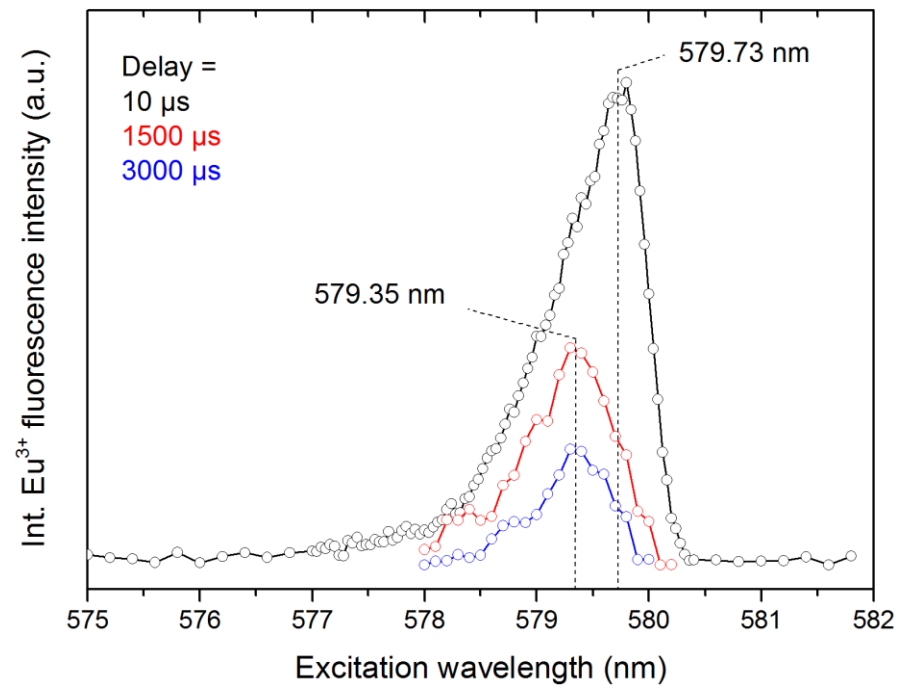


Untersuchungen von Einbaureaktionen mit Hilfe der Fluoreszenzspektroskopie (NaNO_3)



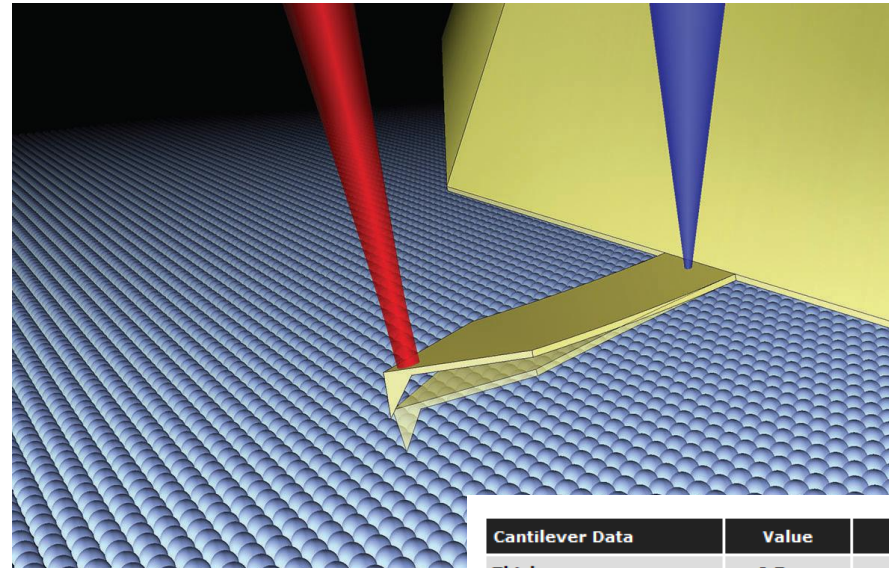
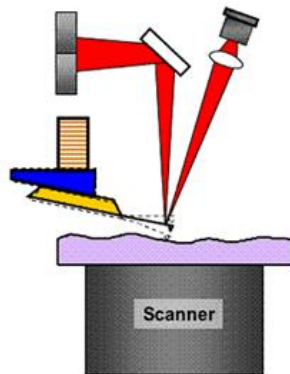
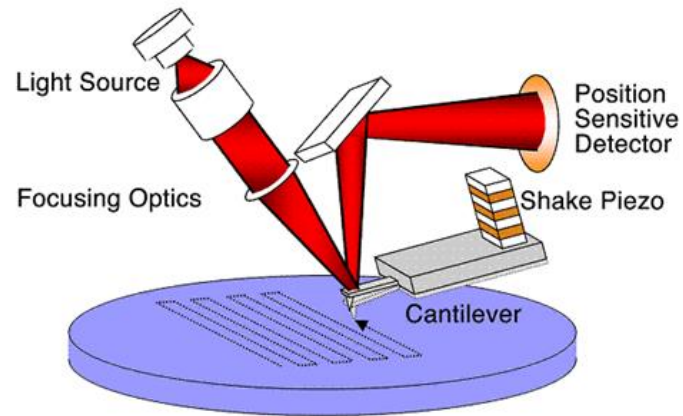
Untersuchungen von Einbaureaktionen mit Hilfe der Fluoreszenzspektroskopie

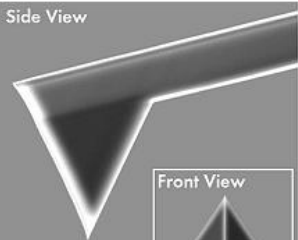
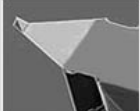
Wachstumsexperiment in simuliertem Grundwasser

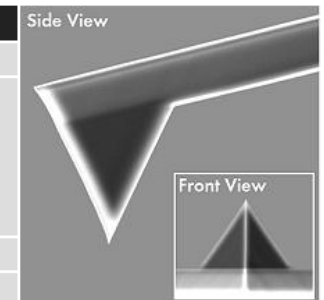


Oberflächenreaktionen und –modifikationen

Atomic Force Microscopy (AFM)

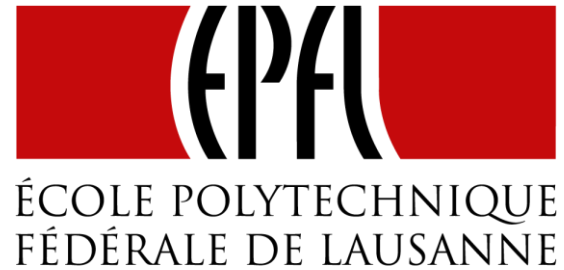


Cantilever Data	Value	Range*	Side View  Front View 
Thickness	0.7 μm	0.5 - 0.9	
Cantilever Geometry			
	W = 42 μm L = 35 μm	- -	
Force Constant	-	-	
Resonance Frequency	2000 kHz	700 - 2000	



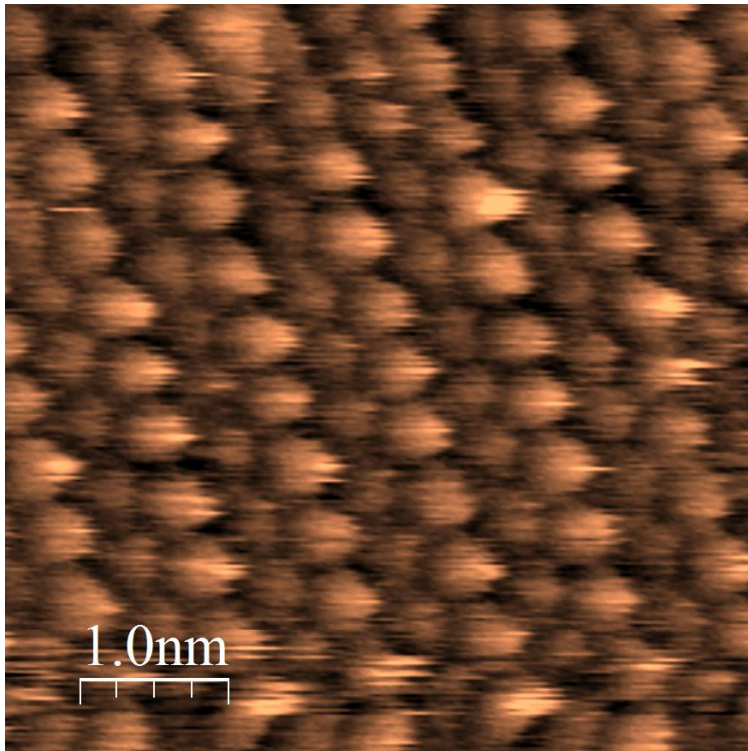
Oberflächenreaktionen und –modifikationen

AFM-Messungen in Kooperation mit K. Voitchovsky

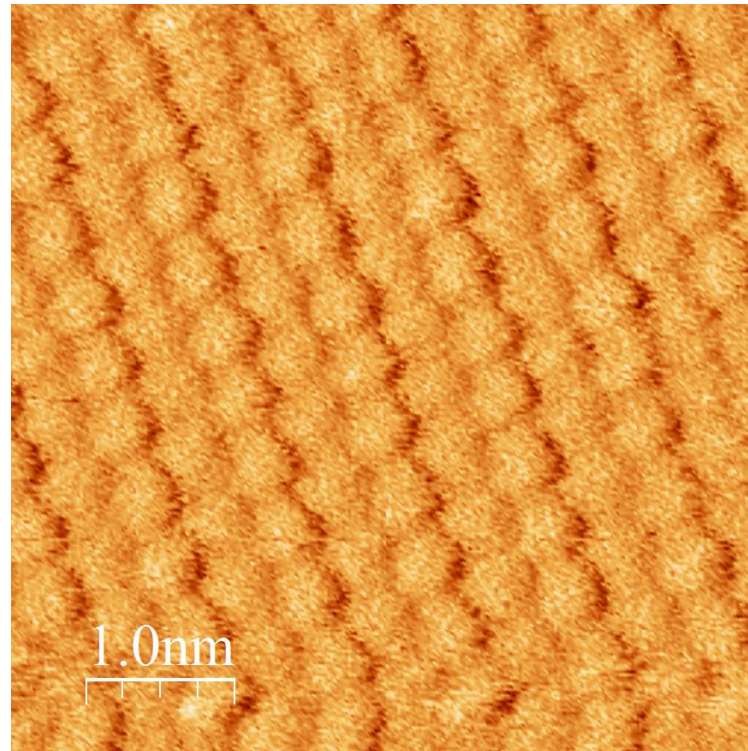


Oberflächenreaktionen und –modifikationen

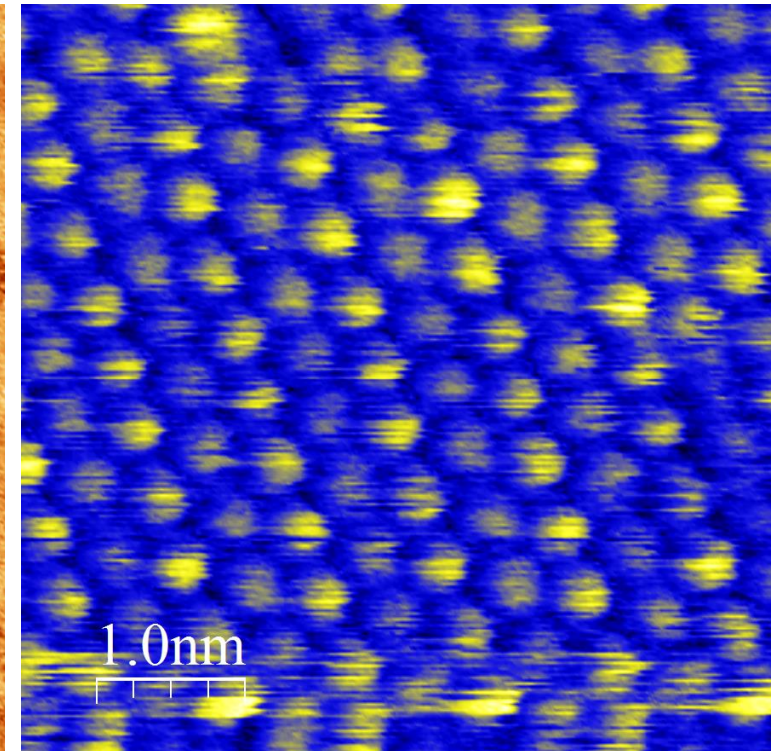
Topografie



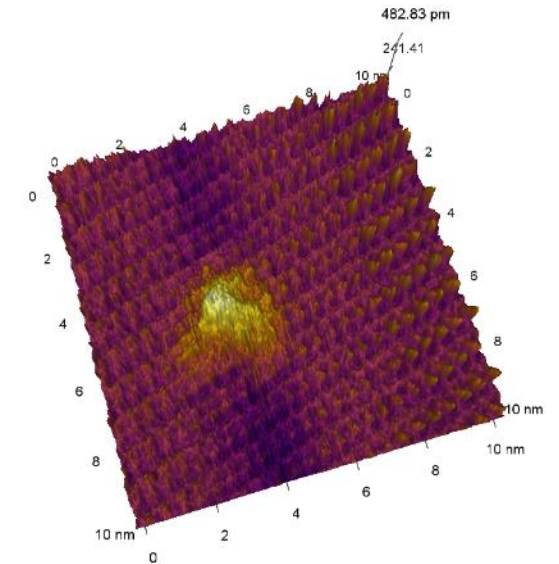
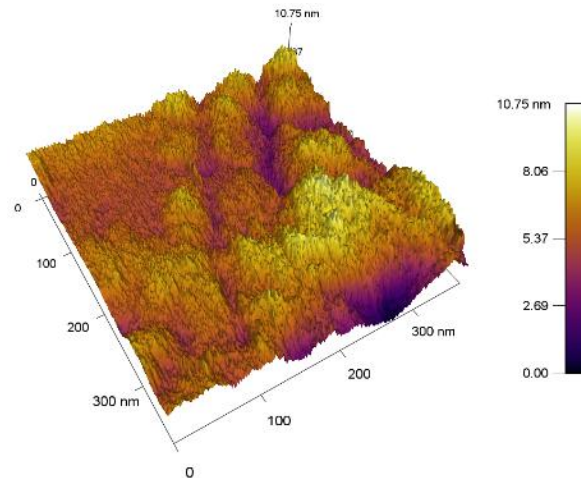
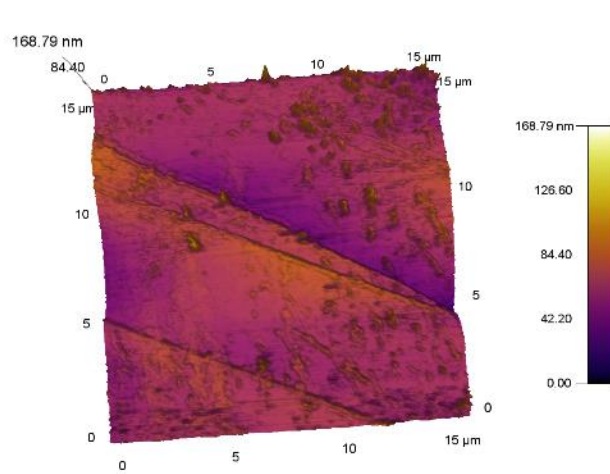
Amplitude



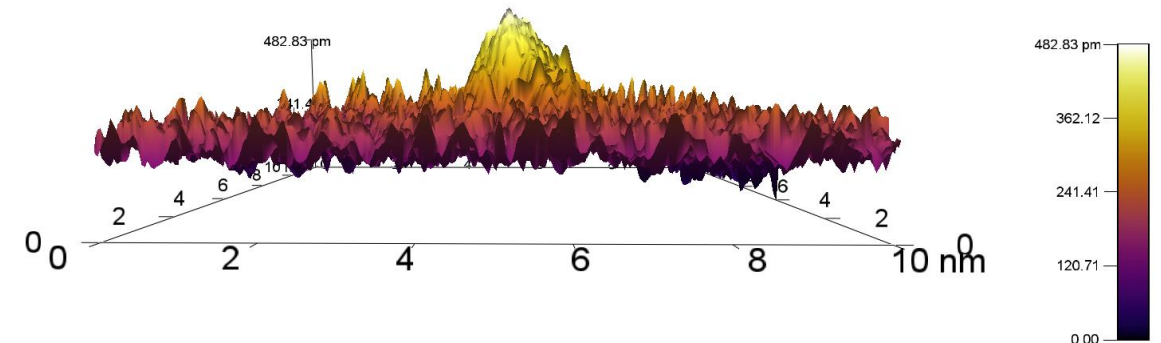
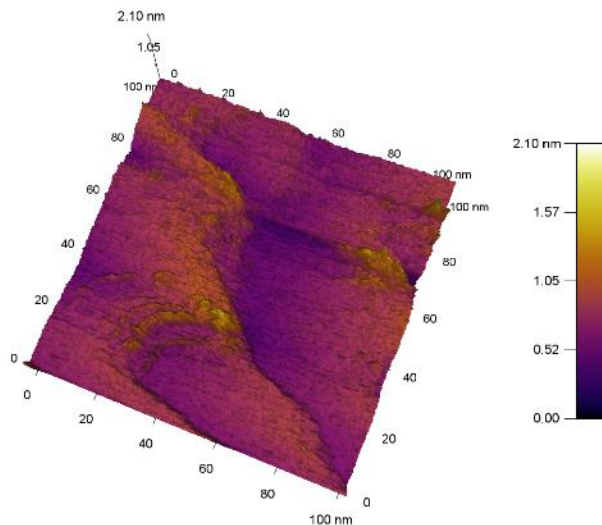
Phase



Oberflächenreaktionen und –modifikationen (NaNO_3)

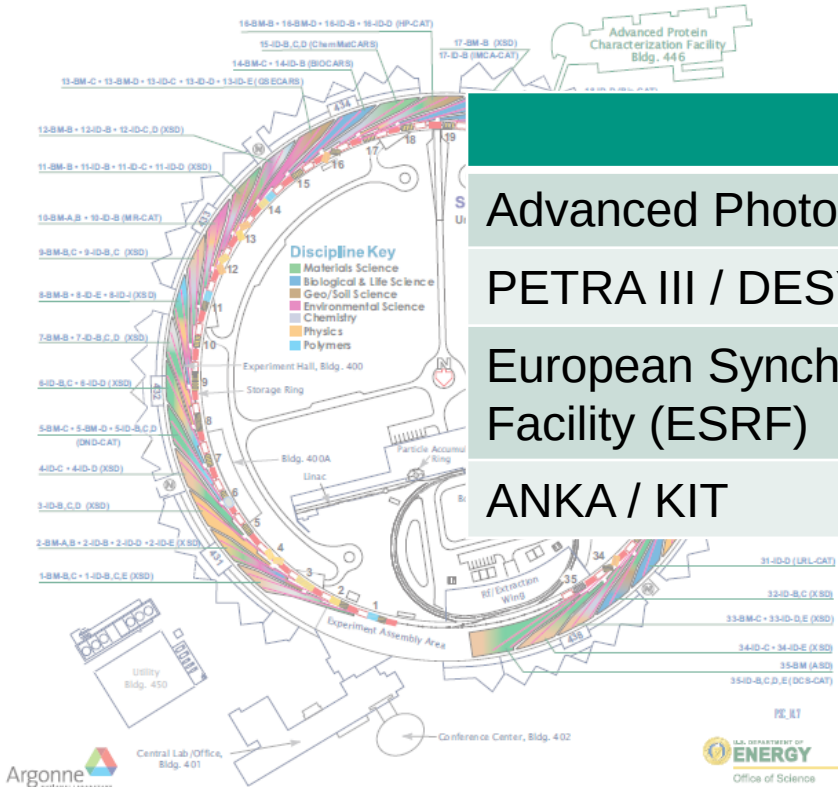


- Partielle Auflösung der Oberfläche (v.a. Kanten)
- Amorpher Oberflächenfilm
- Destabilisierung der Oberfläche

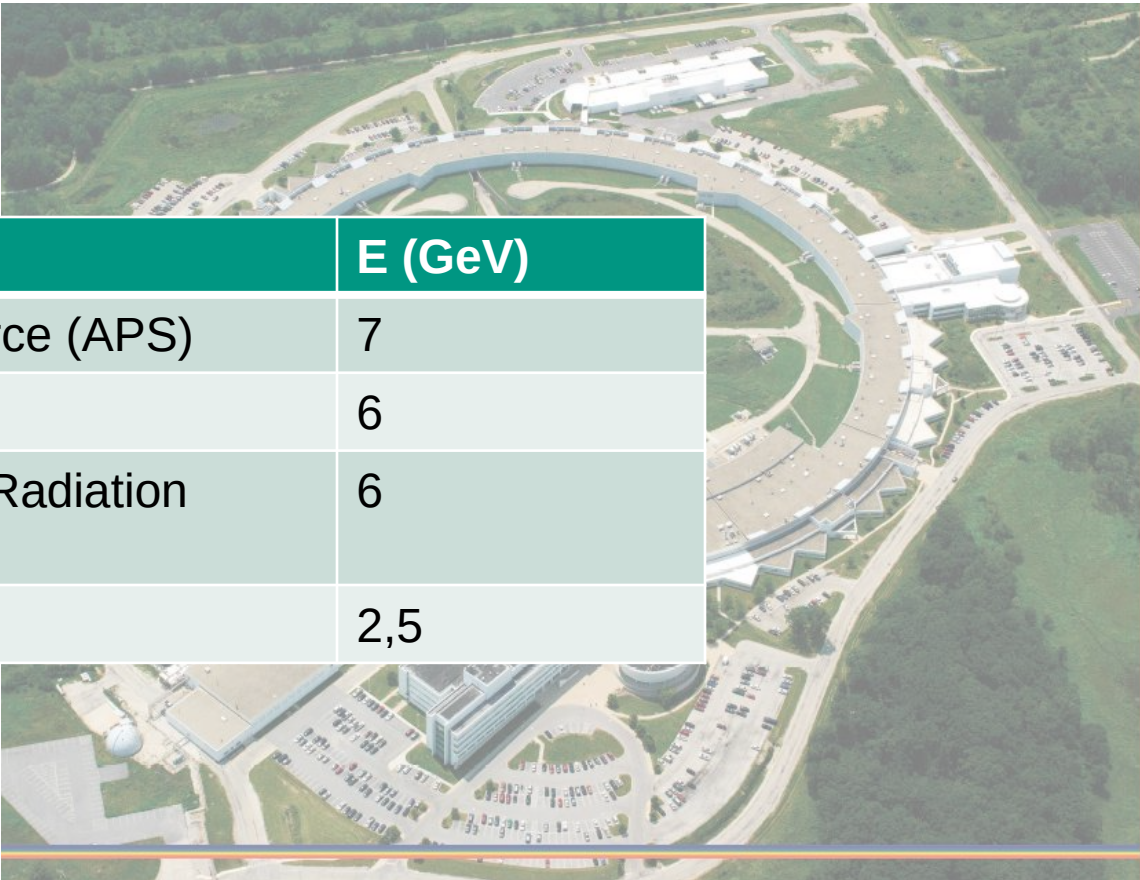


Die elektronische Struktur der Calcitoberfläche in Lösung

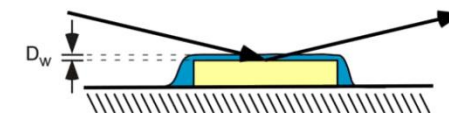
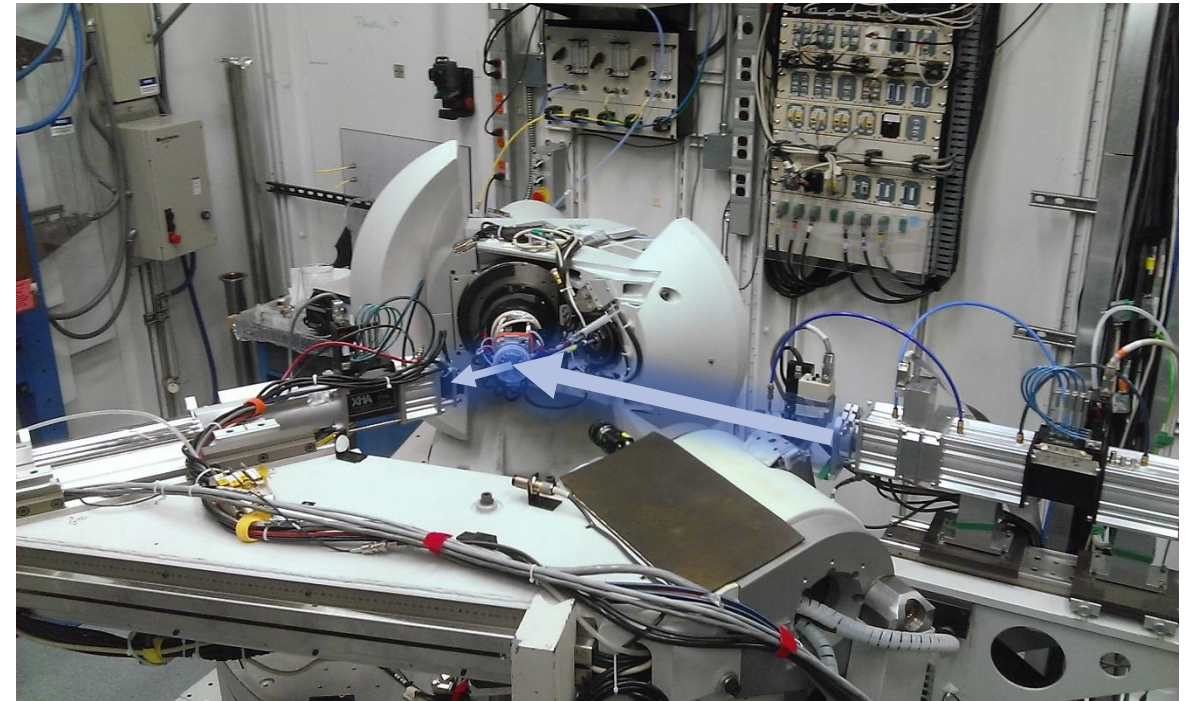
ARGONNE NATIONAL LABORATORY 400-AREA FACILITIES
ADVANCED PHOTON SOURCE
(Beamlines, Disciplines, and Source Configuration)
ADVANCED PROTEIN CHARACTERIZATION FACILITY
CENTER FOR NANOSCALE MATERIALS



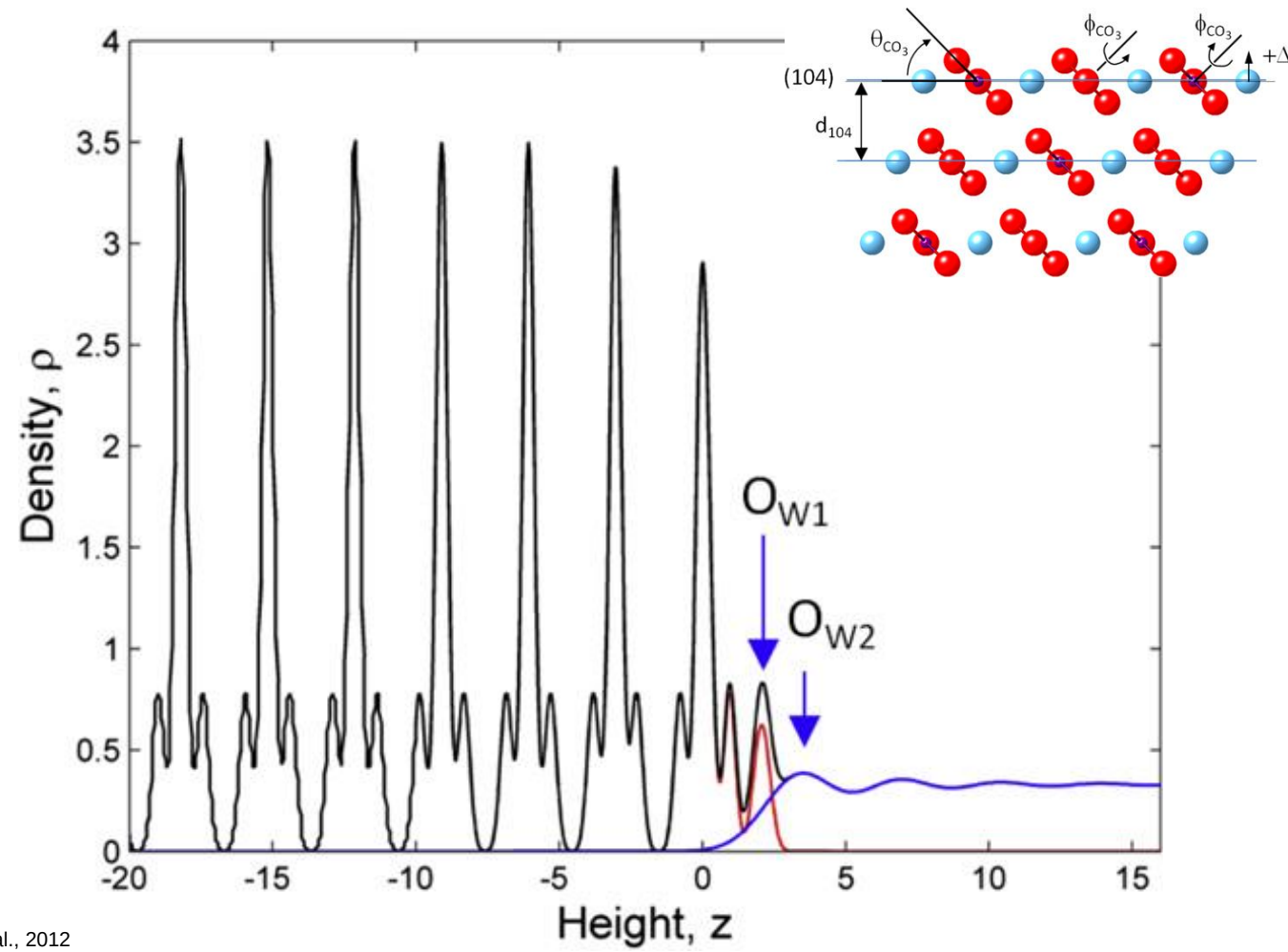
	E (GeV)
Advanced Photon Source (APS)	7
PETRA III / DESY	6
European Synchrotron Radiation Facility (ESRF)	6
ANKA / KIT	2,5



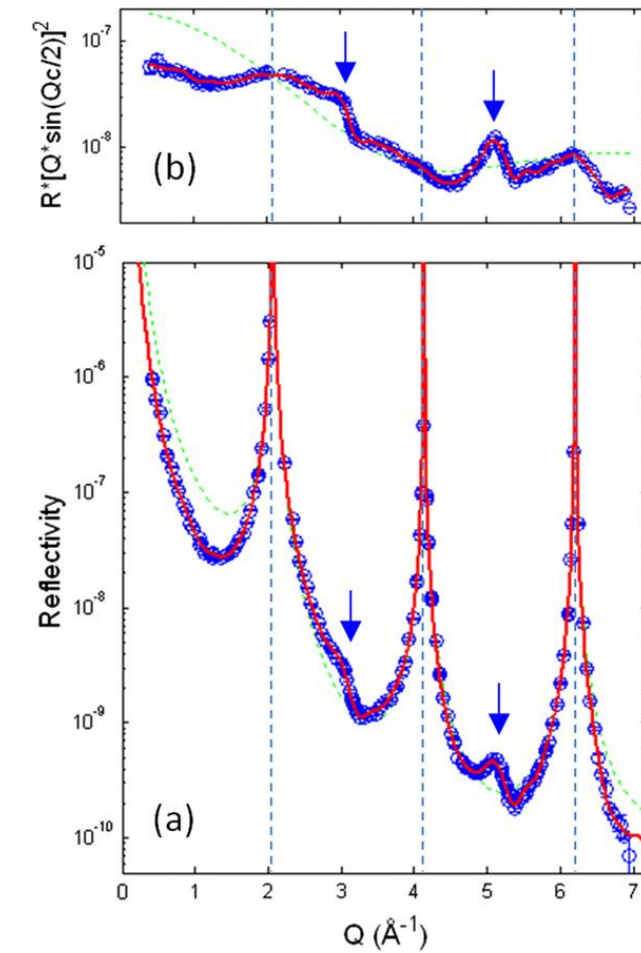
Die elektronische Struktur der Calcitoberfläche in Lösung



Die elektronische Struktur der Calcitoberfläche in Lösung

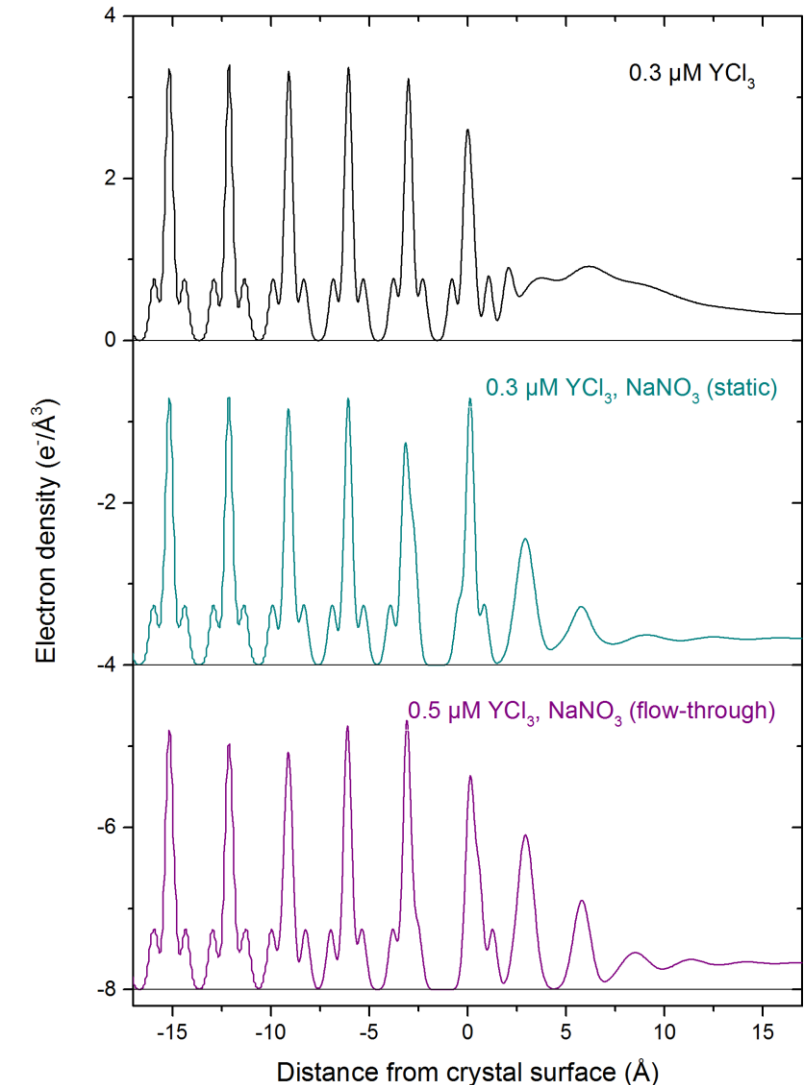
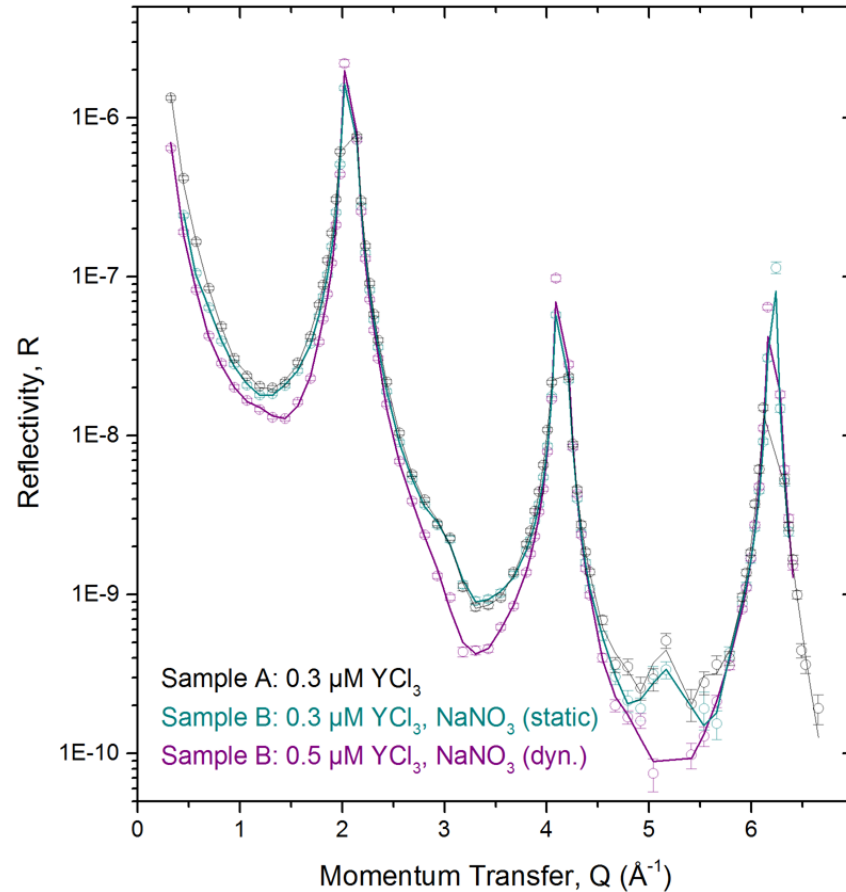


Fenter et al., 2012



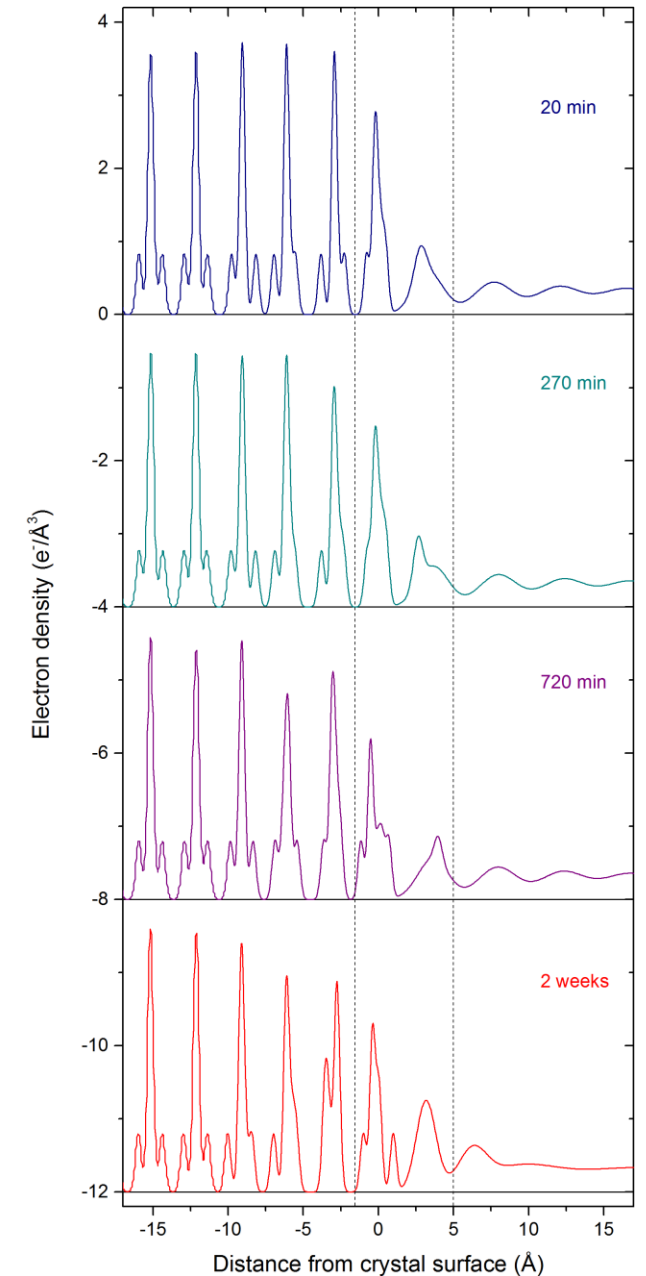
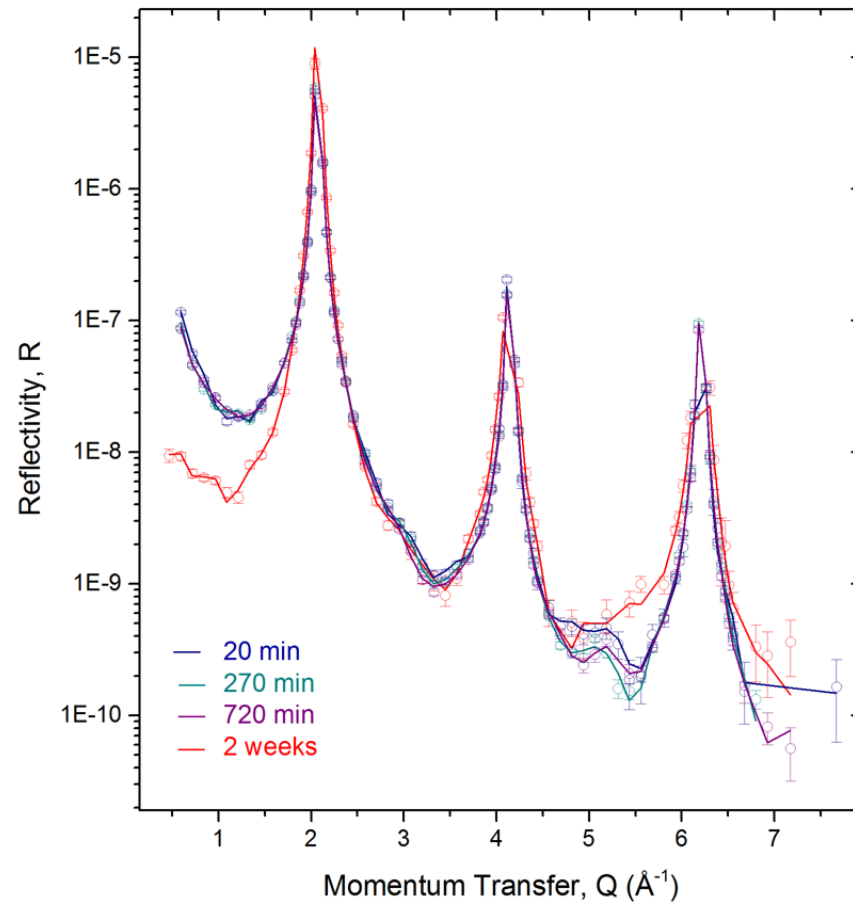
Die elektronische Struktur der Calcitoberfläche in Lösung

Sorption von Y^{3+} an der Calcit(104)-Oberfläche (mit und ohne NaNO_3)



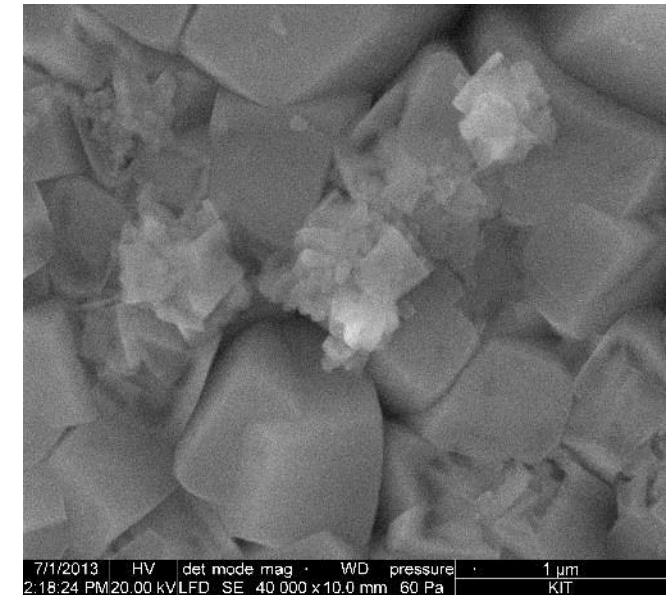
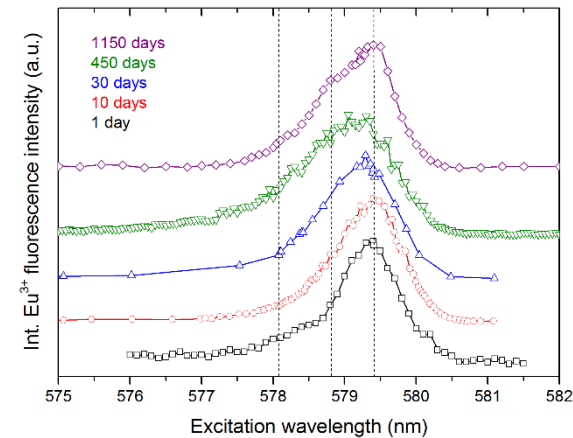
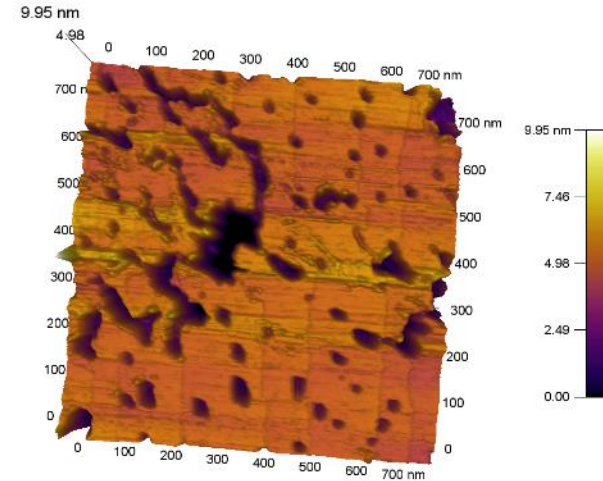
Die elektronische Struktur der Calcitoberfläche

Kontakt mit NaNO_3 über insgesamt 2 Wochen



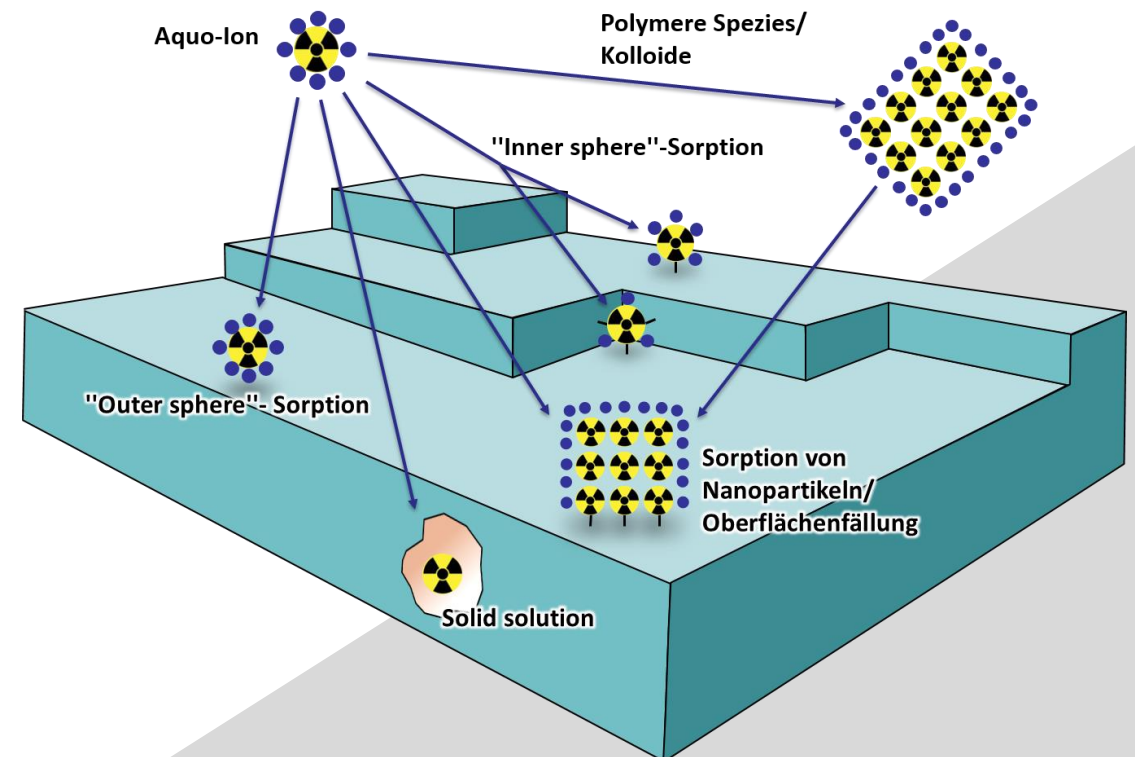
Weitere untersuchte Systeme

- Na_2SO_4
- Simuliertes Grundwasser
- NaCl
- NaClO_4 unter Gleichgewichtsbedingungen
- NaF

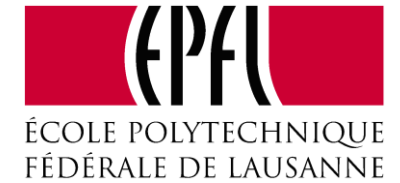


Zusammenfassung

- Kombination aus spektroskopischen und mikroskopischen Methoden
- TRLFS, CTR/RAXR, AFM
- Prozessverständnis auf molekularer Ebene
- Realistischeres Verständnis von Einbau- und Sorptionsprozessen
- Grundlegende Untersuchungen zur Reaktivität von Mineraloberflächen



Danksagung



GeoSoilEnviroCARS



Advanced Photon Source
an Office of Science User Facility

ImmoRad, 02 NUK 019A



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

02NUK020

Untersuchungen zum grundlegenden Verständnis der selektiven Komplexierung von f-Elementen (f-Kom)

Andreas GEIST

INSTITUTE FOR NUCLEAR WASTE DISPOSAL (INE)



Cf Bk U Th Pu
Am Np Cm

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Hintergrund

Untersuchungen zum grundlegenden
Verständnis der selektiven Komplexbildung
von f-Elementen (f-Kom)

■ Chemische Ähnlichkeit von dreiwertigen Actinid- (5f) und Lanthanid-(4f)-Ionen

■ Lanthanidionen (inaktiv) als Analoga für Actinidionen (radioaktiv)

1

Periodensystem der Elemente

18

1

H

Wasserstoff

1.01

2

He

Helium

4.00

3

Li

Lithium

6.94

4

Be

Beryllium

9.01

11

Na

Natrium

22.99

12

Mg

Magnesium

24.31

19

K

Kalium

39.10

20

Ca

Calcium

40.08

21

Sc

Scandium

44.96

22

Ti

Titan

47.88

23

V

Vanadium

50.94

24

Cr

Chrom

52.00

25

Mn

Mangan

54.94

26

Fe

Eisen

55.85

27

Co

Cobalt

58.93

28

Ni

Nickel

58.70

29

Cu

Kupfer

63.55

30

Zn

Zink

65.41

37

Rb

Rubidium

85.47

38

Sr

Strontium

87.62

39

Y

Yttrium

88.91

40

Zr

Zirkonium

91.22

41

Nb

Niobium

92.91

42

Mo

Molybdän

95.94

43

Tc

Technetium

(98)

44

Ru

Ruthenium

101.07

45

Rh

Rhodium

102.91

46

Pd

Palladium

106.42

47

Ag

Silber

107.87

48

Cd

Cadmium

112.41

55

Cs

Cäsium

132.91

56

Ba

Barium

137.33

57

La-Lu

72

Hf

Hafnium

178.49

73

Ta

Tantal

180.95

74

W

Wolfram

183.84

75

Re

Rhenium

186.21

76

Os

Osmium

190.23

77

Ir

Iridium

192.22

78

Pt

Platin

195.08

79

Au

Gold

196.97

80

Hg

Quecksilber

200.59

87

Fr

Francium

(223)

88

Ra

Radium

(226)

89

Ac-Lr

104

Rf

Rutherfordium

(261)

105

Db

Dubnium

(262)

106

Sg

Seaborgium

(263)

107

Bh

Bohrium

(264)

108

Hs

Hassium

(265)

109

Mt

Meitnerium

(266)

110

Ds

Darmstadtium

(281)

111

Rg

Röntgenium

(272)

13

B

Bor

10.81

14

C

Kohlenstoff

12.01

15

N

Stickstoff

14.01

16

O

Sauerstoff

15.999

17

F

Fluor

18.998

31

Al

Aluminium

26.98

32

Si

Silicium

28.09

33

P

Phosphor

30.97

34

S

Schwefel

32.07

35

Cl

Chlor

35.45

63

Bi

Bismut

(209)

64

Po

Polonium

(209)

65

At

Astat

(210)

66

Rn

Radon

(222)

6

C

Kohlenstoff

12.01

7

N

Stickstoff

14.01

8

O

Sauerstoff

15.999

9

F

Fluor

18.998

10

Ne

Neon

20.18

11

Na

Natrium

22.99

12

Mg

Magnesium

24.31

19

K

Kalium

39.10

20

Ca

Calcium

40.08

27

Co

Cobalt

58.93

28

Ni

Nickel

58.70

29

Cu

Kupfer

63.55

30

Zn

Zink

65.41

37

Rb

Rubidium

85.47

38

Sr

Strontium

87.62

45

Rh

Rhodium

102.91

46

Pd

Palladium

106.42

47

Ag

Silber

107.87

48

Cd

Cadmium

112.41

55

Cs

Cäsium

132.91

56

Ba

Barium

137.33

63

Bi

Bismut

(209)

64

Po

Polonium

(209)

87

Fr

Francium

(223)

88

Ra

Radium

(226)

104

Rf

Rutherfordium

(261)

105

Db

Dubnium

(262)

106

Sg

Seaborgium

(263)

107

Bh

Bohrium

(264)

108

Hs

Hassium

(265)

109

Mt

Meitnerium

(266)

110

Ds

Darmstadtium

(281)

111

Rg

Röntgenium

(272)

13

B

Bor

10.81

14

C

Kohlenstoff

12.01

15

N

Stickstoff

14.01

16

O

Sauerstoff

15.999

17

F

Fluor

18.998

31

Al

Aluminium

26.98

32

Si

Silicium

28.09

33

P

Phosphor

30.97

34

S

Schwefel

32.07

35

Cl

Chlor

35.45

63

Bi

Bismut

(209)

64

Po

Polonium

(209)

65

At

Astat

(210)

66

Rn

Radon

(222)

6

C

Kohlenstoff

12.01

7

N

Stickstoff

14.01

8

O

Sauerstoff

15.999

9

F

Fluor

18.998

10

Ne

Neon

20.18

11

Na

Natrium

22.99

12

Mg

Magnesium

24.31

19

K

Kalium

39.10

20

Ca

Calcium

40.08

27

Co

Cobalt

58.93

28

Ni

Nickel

58.70

29

Cu

Kupfer

63.55

30

Zn

Zink

65.41

37

Rb

Rubidium

85.47

38

Sr

Strontium

87.62

45

Rh

Rhodium

102.91

46

Pd

Palladium

106.42

47

Ag

Silber

107.87

48

Cd

Cadmium

112.41

55

Cs

Cäsium

132.91

56

Ba

Barium

137.33

63

Bi

Bismut

(209)

64

Po

Polonium

(209)

87

Fr

Francium

(223)

88

Ra

Radium

(226)

104

Rf

Rutherfordium

(261)

105

Db

Dubnium

(262)

106

Sg

Seaborgium

(263)

107

Bh

Bohrium

(264)

108

Hs

Hassium

(265)

109

Mt

Meitnerium

(266)

110

Ds

Darmstadtium

(281)

111

Rg

Röntgenium

(272)

13

B

Bor

10.81

14

C

Kohlenstoff

12.01

15

N

Stickstoff

14.01

16

O

Sauerstoff

15.999

17

F

Fluor

18.998

31

Al

Aluminium

26.98

32

Si

Silicium

28.09

33

P

Phosphor

30.97

34

S

Schwefel

32.07

35

Cl

Chlor

35.45

63

Bi

Bismut

(209)

64

Po

Polonium

(209)

65

At

Astat

(210)

66

Rn

Radon

(222)

6

C

Kohlenstoff

12.01

7

N

Stickstoff

14.01

8

O

Sauerstoff

15.999

9

F

Fluor

18.998

10

Ne

Neon

20.18

11

Na

Natrium

22.99

12

Mg

Magnesium

24.31

19

K

Kalium

39.10

20

Ca

Calcium

40.08

27

Co

Cobalt

58.93

28

Ni

Nickel

58.70

29

Cu

Kupfer

63.55

30

Zn

Zink

65.41

37

Rb

Rubidium

85.47

38

Sr

Strontium

87.62

45

Rh

Rhodium

102.91

46

Pd

Palladium

106.42

47

Ag

Silber

107.87

48

Cd

Cadmium

112.41

55

Cs

Cäsium

132.91

56

Ba

Barium

137.33

63

Bi

Bismut

(209)

64

Po

Polonium

(209)

87

Fr

Francium

(223)

88

Ra

Radium

(226)

104

Rf

Rutherfordium

(261)

105

Db

Dubnium

(262)

106

Sg

Seaborgium

(263)

107

Bh

Bohrium

(264)

108

Hs

Hassium

(265)

109

Mt

Meitnerium

(266)

110

Ds

Darmstadtium

(281)

111

Rg

Röntgenium

(272)

13

B

Bor

10.81

14

C

Kohlenstoff

12.01

15

N

Stickstoff

14.01

16

O

Sauerstoff

15.999

17

F

Fluor

18.998

31

Al

Aluminium

26.98

32

Si

Silicium

28.09

33

P

Phosphor

30.97

34

S

Schwefel

32.07

35

Cl

Chlor

35.45

63

Bi

Bismut

(209)

64

Po

Polonium

(209)

65

At

Astat

(210)

66

Rn

Radon

(222)

6

C

Kohlenstoff

12.01

7

N

Stickstoff

14.01

8

O

Sauerstoff

15.999

9

F

Fluor

18.998

10

Ne

Neon

20.18

11

Na

Natrium

22.99

12

Mg

Magnesium

24.31

19

K

Kalium

39.10

20

Ca

Calcium

40.08

27

Co

Cobalt

58.93

28

Ni

Nickel

58.70

29

Cu

Kupfer

63.55

30

Zn

Zink

65.41

37

Rb

Rubidium

85.47

38

Sr

Strontium

87.62

45

Rh

Rhodium

102.91

46

Pd

Palladium

106.42

47

Ag

Silber

107.87

48

Cd

Cadmium

112.41

55

Cs

Cäsium

132.91

56

Ba

Barium

137.33

63

Bi

Bismut

(209)

64

Po

Polonium

(209)

87

Fr

Francium

(223)

88

Ra

Radium

(226)

104

Rf

Rutherfordium

(261)

105

Db

Dubnium

(262)

106

Sg

Seaborgium

(263)

107

Bh

Bohrium

(264)

108

Hs

Hassium

(265)

109

Mt

Meitnerium

(266)

110

Ds

Darmstadtium

(281)

111

Rg

Röntgenium

(272)

13

B

Bor

10.81

14

C

Kohlenstoff

12.01

15

N

Stickstoff

14.01

16

O

Sauerstoff

15.999

17

F

Fluor

18.998

31

Al

Aluminium

26.98

32

Si

Silicium

28.09

33

P

Phosphor

30.97

34

S

Schwefel

32.07

35

Cl

Chlor

35.45</

© Peter Wich - Experimentalchemie.de - Chemie erleben!

57 La Lanthan 138.91	58 Ce Cer 140.12	59 Pr Praseodym 140.91	60 Nd Neodym 144.24	61 Pm Promethium (147)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.97	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.93	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.97
89 Ac Actinium 227.03	90 Th Thorium 232.04	91 Pa Protactinium 231.04	92 U Uran 238.03	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (262)

GEFÖRDELT VOM



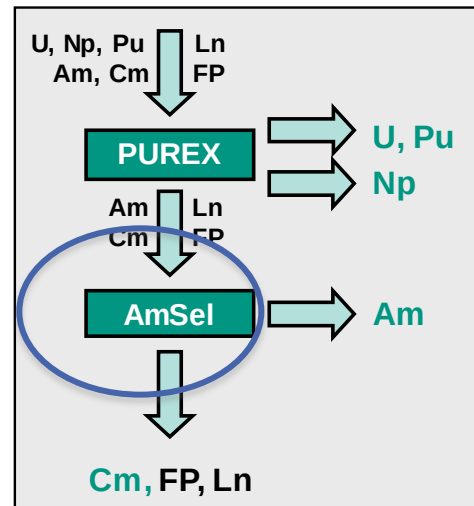
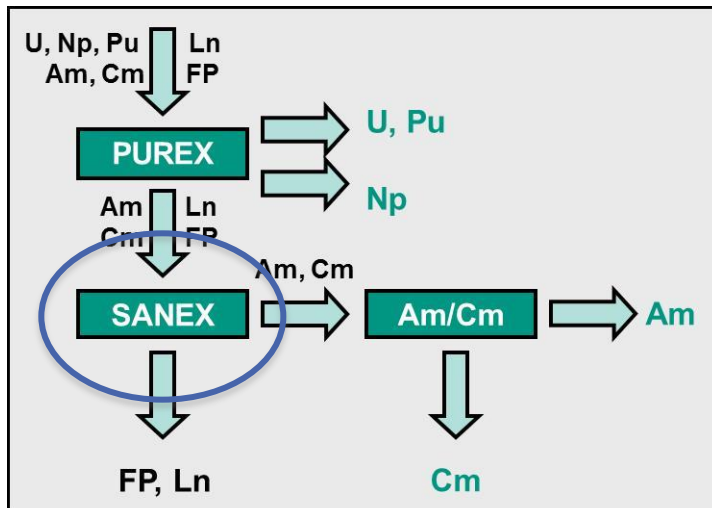
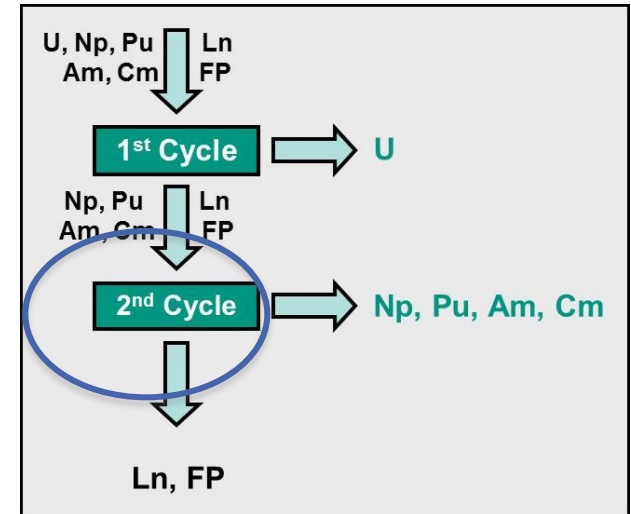
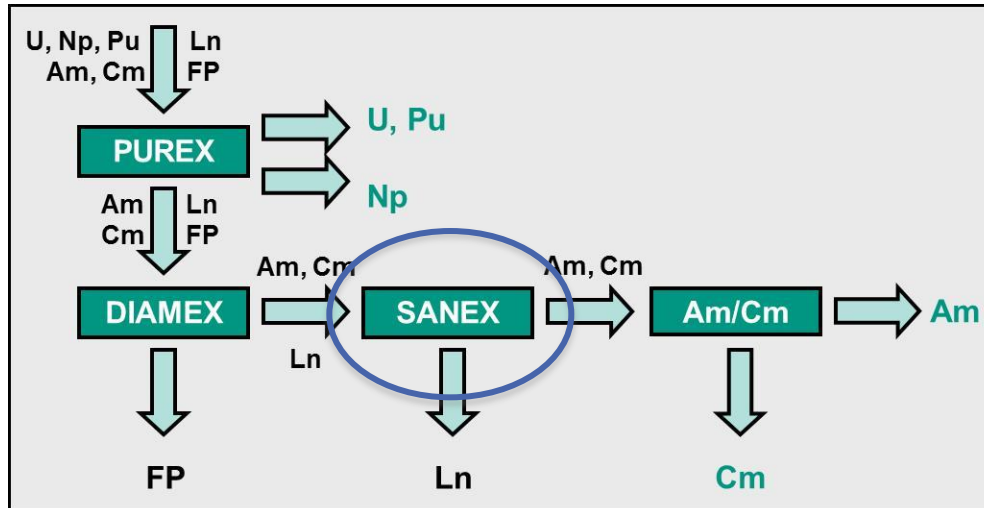
Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Hintergrund

- Chemische Ähnlichkeit von dreiwertigen Actinid- (5f) und Lanthanid-(4f)-Ionen
 - Lanthanidionen (inaktiv) als Analoga für Actinidionen (radioaktiv)
- Wie kann man diese voneinander trennen?
 - Gegenstand internationaler Forschung seit ≈ 20 Jahren
 - EU-Projekte seit FP3
- ...und warum?
 - Fortgeschrittene Kernbrennstoffkreisläufe
 - Actiniden als Kernbrennstoff recyceln
 - Erfordert Trennung der Actiniden von den (Spalt)lanthaniden

Hintergrund

Untersuchungen zum grundlegenden Verständnis der selektiven Komplexbildung von f-Elementen (f-Kom)



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Projektpartner

- Karlsruher Institut für Technologie,
Institut für Nukleare Entsorgung (INE)
- Karlsruher Institut für Technologie,
Institut für Anorganische Chemie
- Universität Erlangen,
LS für Anorganische und Allgemeine Chemie
- Universität Heidelberg,
Physikalisch-Chemisches Institut
- Forschungszentrum Jülich,
Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK-6)



GEFÖRDERT VOM

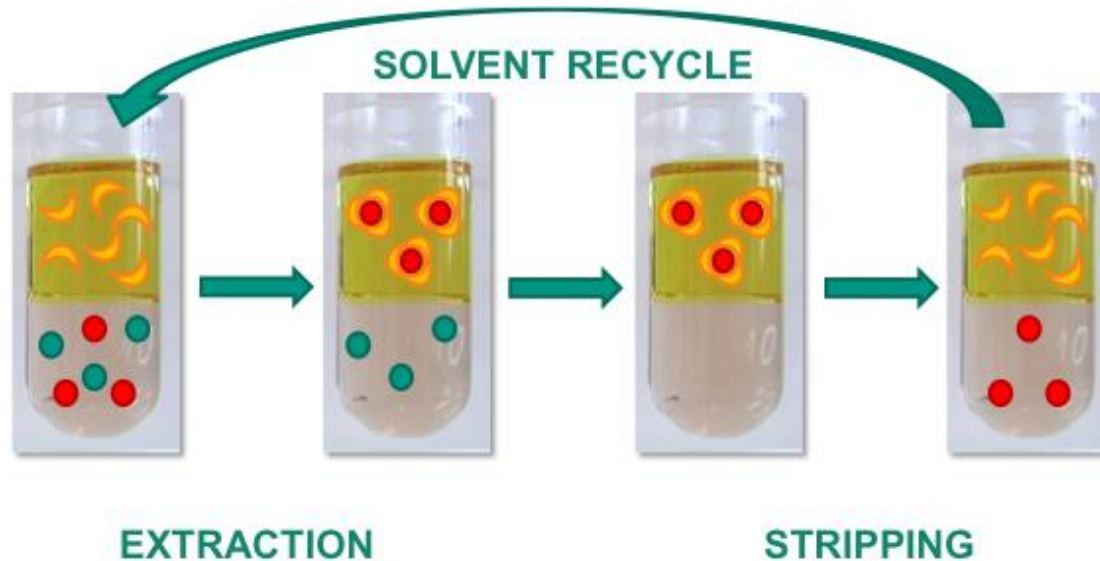


Projektdaten

- Laufzeit: 1. Juli 2012 – 30. Juni 2015
- Budget: 2,8 M€
 - 1,6 M€ Personal
 - 440 K€ Investitionen
- Nachfolgeprojekt von 02NUK012
 - „Grundlegende Untersuchungen zur Entwicklung und Optimierung von Prozessen zur Abtrennung langlebiger Radionuklide“
 - Identes Konsortium
 - → eingespieltes Team

Vorhabensziel

- Erlangung eines fundamentalen Verständnisses hinsichtlich der Abtrennung von langlebigen Radionukliden aus nuklearem Abfall
 - Verständnis der auf **Flüssig-Flüssig-Extraktion** basierten Abtrennprozesse für Actiniden auf molekularer Größenskala

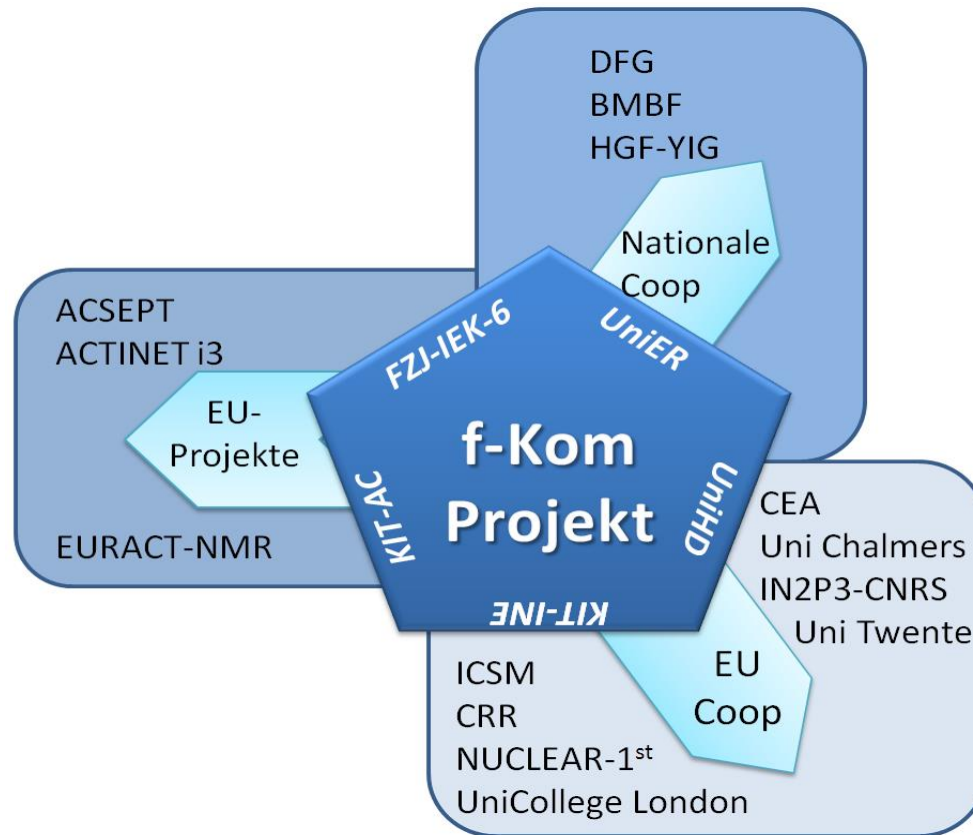


Vorhabensziel

- Erlangung eines fundamentalen Verständnisses hinsichtlich der Abtrennung von langlebigen Radionukliden aus nuklearem Abfall
 - Verständnis der auf **Flüssig-Flüssig-Extraktion** basierten Abtrennprozesse für Actiniden auf molekularer Größenskala
- Aus- und Weiterbildung junger Wissenschaftler in Forschungsthemen zur nuklearen Entsorgung
- Vernetzung in der europäischen Forschungslandschaft

Vernetzung

Untersuchungen zum grundlegenden
Verständnis der selektiven Komplexierung
von f-Elementen (f-Kom)



GEFÖRDERT VOM



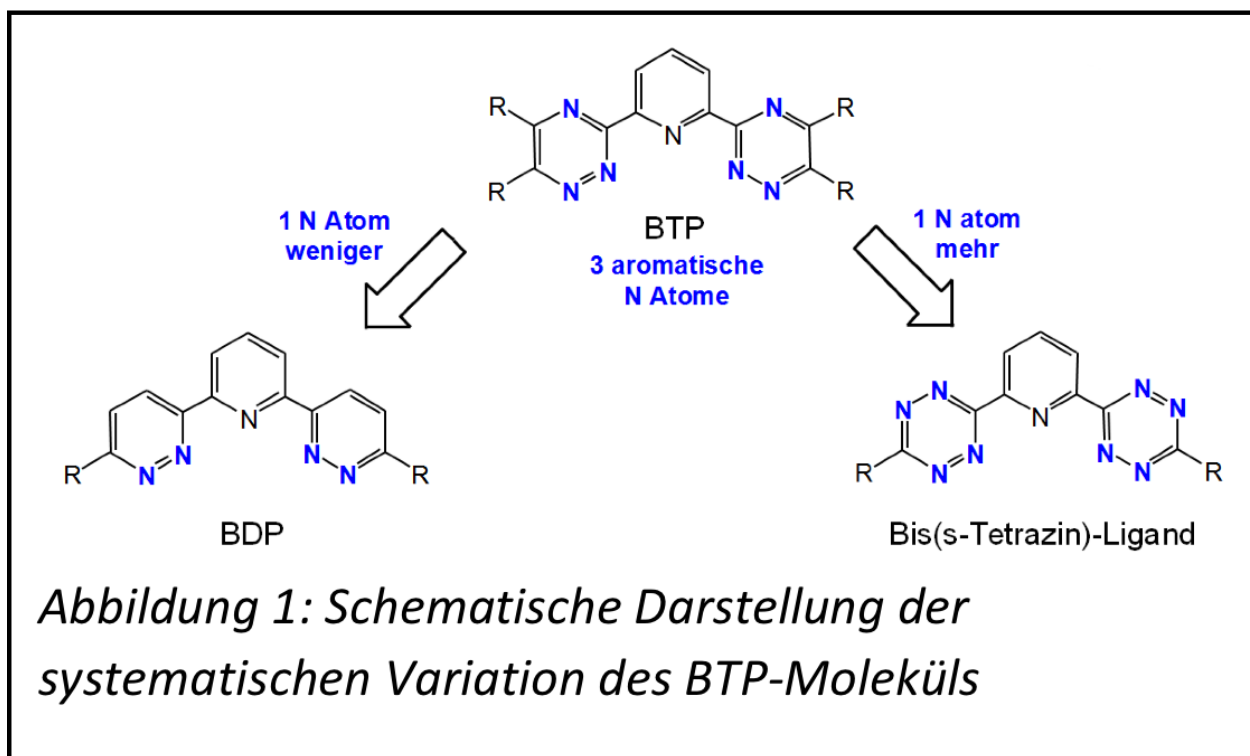
**Bundesministerium
für Bildung
und Forschung**

- Entsorgung nuklearer Abfälle: Wissenschaftliche und gesellschaftliche Herausforderung **weltweit**
- Innovative Strategien:
 - Verringerung der endzulagernden langlebigen hochradioaktiven Abfälle
 - Endlagergerechte Fixierung langlebiger Abfälle
- Beiträge zum Kompetenzerhalt im Bereich der Actinidenchemie
- Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit auf dem Gebiet der Nuklearen Sicherheits- und Entsorgungsforschung in Deutschland

Konzept

Untersuchungen zum grundlegenden
Verständnis der selektiven Komplexierung
von f-Elementen (f-Kom)

- Synthese und Test neuer Liganden
- Struktur-Wirkungs-Beziehung



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Arbeitspakete

- Arbeitspaket A
 - Synthese und Screening-Tests
 - Arbeitspaket B
 - Synthese und spektroskopische Untersuchungen
 - Arbeitspaket C
 - Prozessstudien
 - Arbeitspaket D
 - Nachwuchsförderung
-
- Vergleichende Untersuchungen an Actinid- und Lanthanidkomplexen

■ Synthese und Screening-Tests

- Synthese neuer bzw. Modifikation bekannter Liganden
- Test ihrer Eigenschaften als selektive Extraktionsmittel für Actinidionen

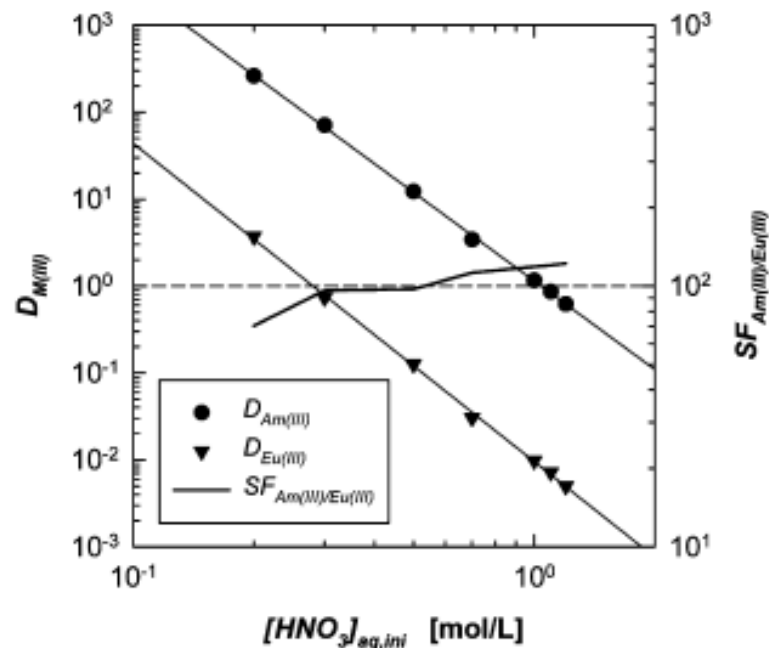
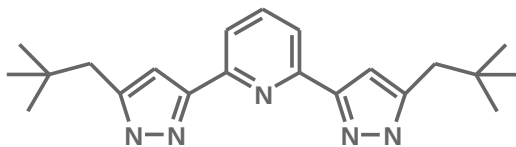


Figure 1. Extraction of Am(III) and Eu(III): dependence of Am(III) and Eu(III) distribution ratios and separation factor on initial nitric acid concentration. Aqueous phase: $^{241}\text{Am(III)} + ^{152}\text{Eu(III)}$ in HNO_3 . $T = 293 \text{ K}$.

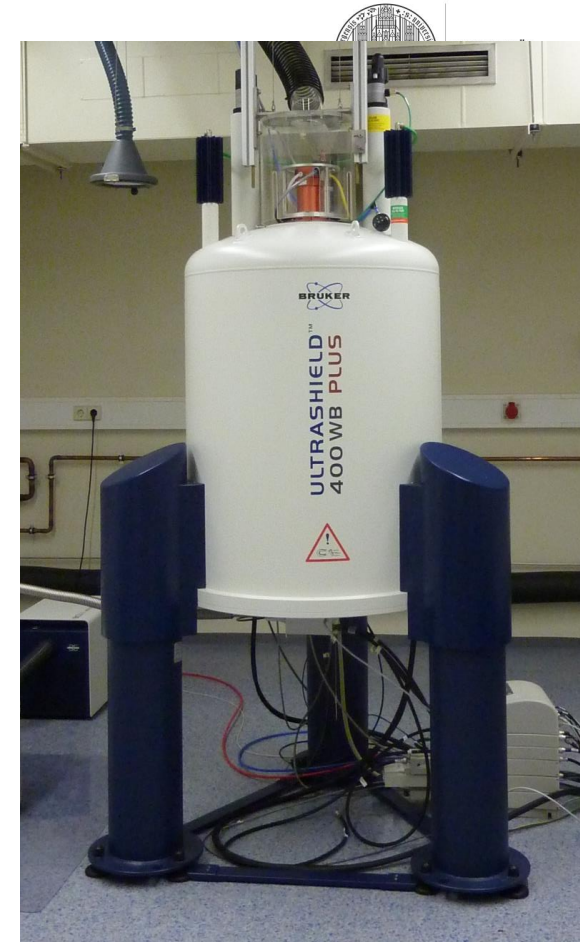
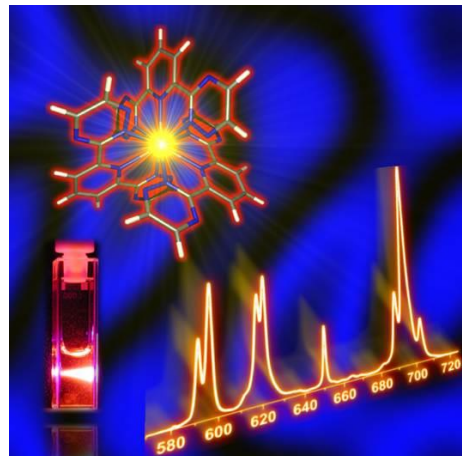
GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Arbeitspaket B

- Synthese und spektroskopische Untersuchungen
 - Synthese von Actinid- und Lanthanidkomplexen
 - Charakterisierung
- Methoden
 - Einkristalldiffraktometrie
 - Röntgenabsorptionsspektroskopie (EXAFS)
 - Laserfluoreszenzspektroskopie (TRLFS)
 - Kernresonanzspektroskopie NMR

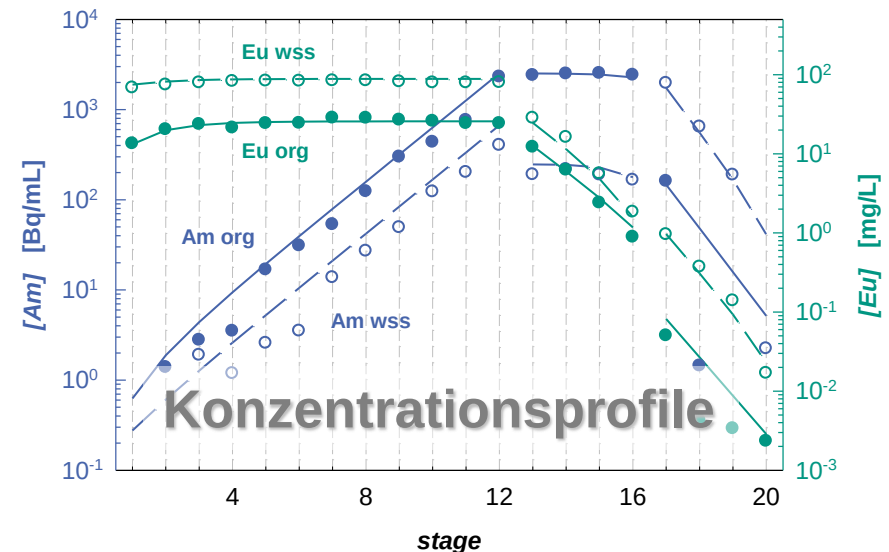
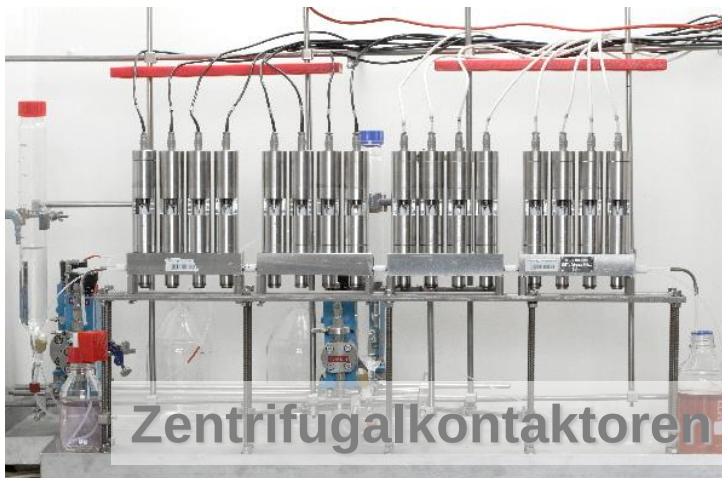
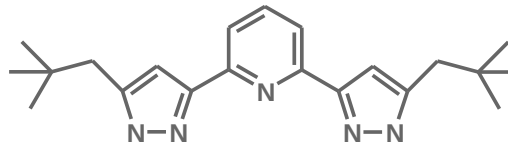


Arbeitspaket C

Untersuchungen zum grundlegenden
Verständnis der selektiven Komplexierung
von f-Elementen (f-Kom)

■ Prozessstudien

- Test geeigneter Extraktionsmittel unter „prozessrelevanten“ Bedingungen
- Auslegung und Durchführung eines Trennprozesses im Labormaßstab

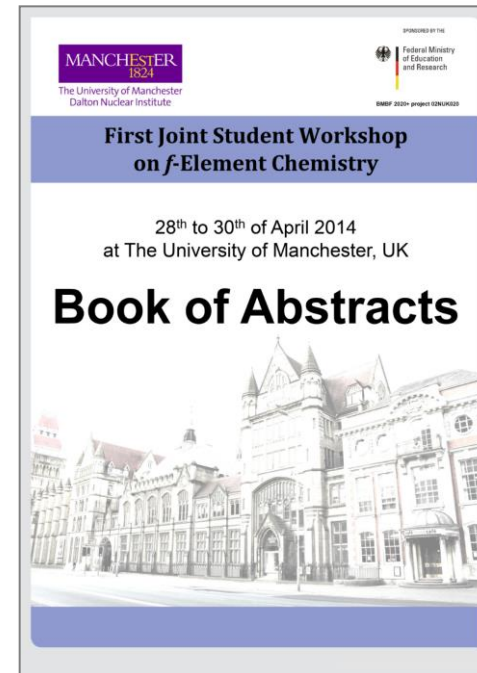


Arbeitspaket D

Untersuchungen zum grundlegenden
Verständnis der selektiven Komplexierung
von *f*-Elementen (*f*-Kom)

■ Nachwuchsförderung

- 1st Joint Student Workshop on *f* Element Chemistry
Manchester, 28.–30. April 2014
- Beteiligung an ThUL (theoretical user lab) Schools
- 2nd Joint Student Workshop on *f* Element Chemistry
Karlsruhe, 09.–10. Juni 2015



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Output

- Wissenschaftliche Ergebnisse
 - Siehe Vortrag Peter Kaden
- Knapp 40 Veröffentlichungen in Journals
- Teilnahme an rund 30 internationalen Konferenzen



■ Personalfinanzierung über drei Jahre

- 3 Post Docs
- 10 Doktorand(inn)en
- Diplom- bzw. Masterarbeiten
- diverse Praktika

■ Ziele

- Kompetenzerwerb und -erhalt im Bereich der Actinidenchemie
 - Umgang mit offener Radioaktivität und mit Actiniden
- Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit auf dem Gebiet der Nuklearen Sicherheits- und Entsorgungsforschung

Fortsetzung folgt?

Untersuchungen zum grundlegenden
Verständnis der selektiven Komplexierung
von f-Elementen (f-Kom)

> Partitionierung und Transmutation nuklearer Abfälle

Chancen und Risiken in
Forschung und Anwendung

acatech (Hrsg.)

acatech POSITION
Februar 2014

> Partitionierung und Transmutation

Forschung – Entwicklung –
Gesellschaftliche Implikationen

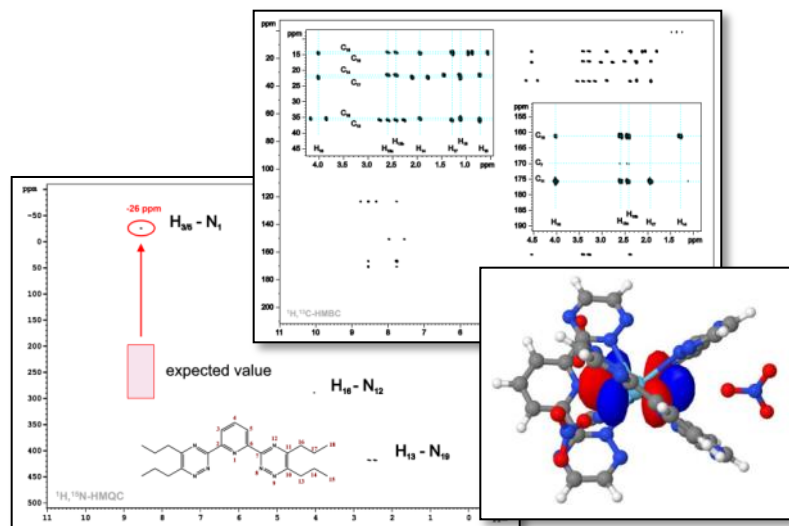
Ortwin Renn (Hrsg.)

acatech STUDIE
Dezember 2013

02NUK020 - Selektive Komplexierung von *f*-Elementen

P. Kaden

Institute for Nuclear Waste Disposal (INE)



Selectivity in separation chemistry

- Trivalent cations of lanthanide and (early) actinide series with high similarity in
 - chemical properties
 - ionic radii
 - coordination numbers

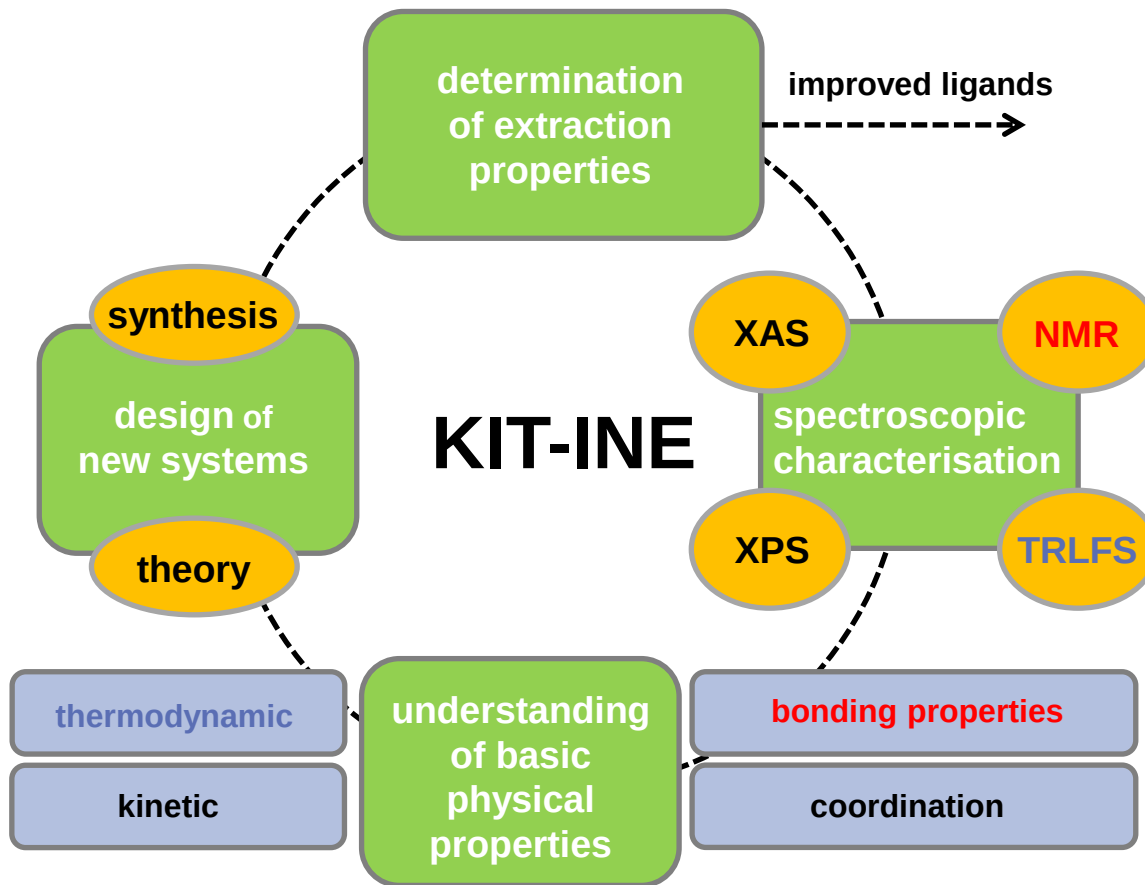
- General preference for hard ligands (Pearson's HSAB theory)

- Softer ligands prefer coordination to An(III) over Ln(III)
 - greater availability of 5*f* orbitals in actinides
 - leading to greater share of covalent bonding in actinide complexes
 - CHNO principle leads to *N*-donor ligands



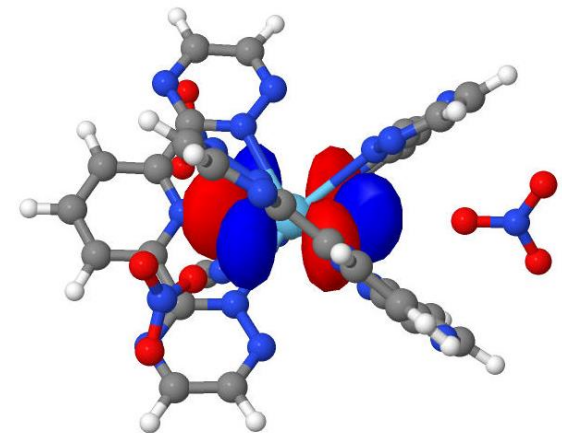
f-Kom approach

- ... aims to design optimized extraction systems



Comparing study

- ✓ of isostructural actinide and lanthanide complexes
- ✓ to deduce specific differences
- ✓ to correlate differences to extraction properties



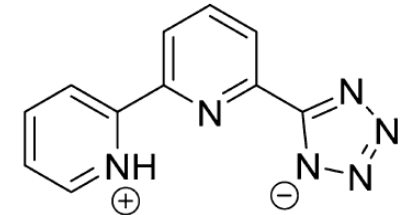
Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Outline

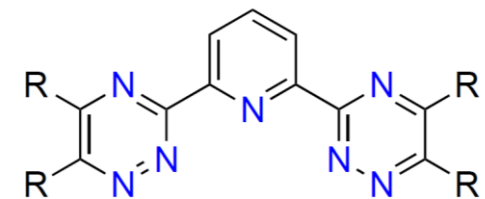
■ New structural motive – HN_4bipy

Kratsch, Beele, Koke, Denecke, Geist, Panak, Roesky, *Inorganic Chemistry*, 2014, **53**, 8949-8958.



■ Fine-tuning of electronic distribution – variation of the basicity of the nitrogen atoms in lateral rings of BTP

Beele, Rüdiger, Schwörer, Müllich, Geist, Panak, *Dalton Transactions*, 2013, **42**, 12139-12147.

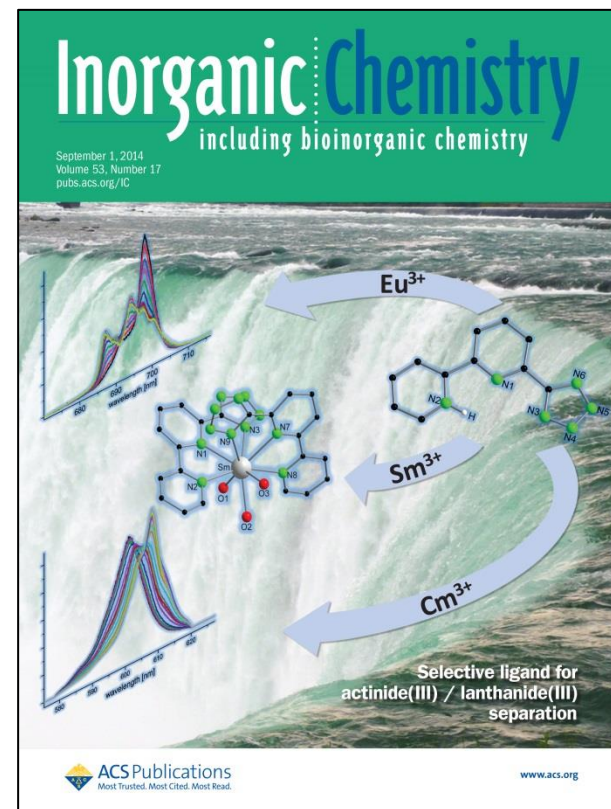
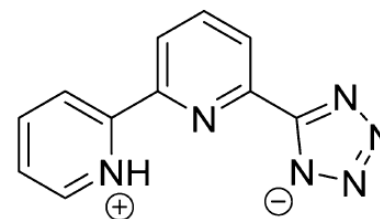


■ Insight in the bonding situation – first results on Am complexes of BTP

Adam, Kaden, Beele, Müllich, Trumm, Geist, Panak, Denecke, *Dalton Transactions*, 2013, **42**, 14068-14074.

HN₄bipy – A new structural motive

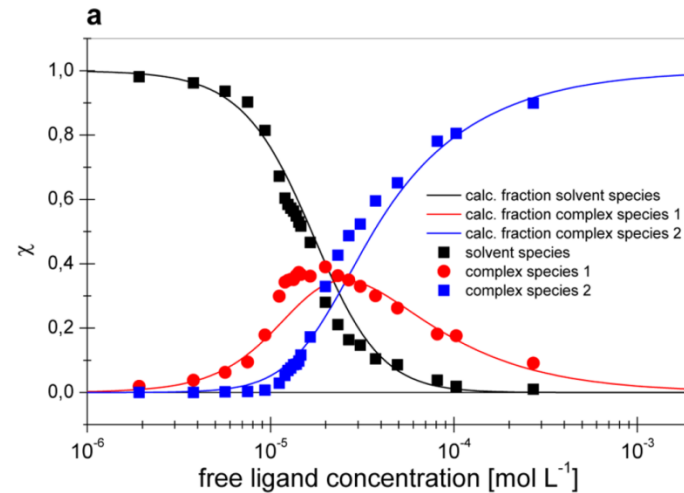
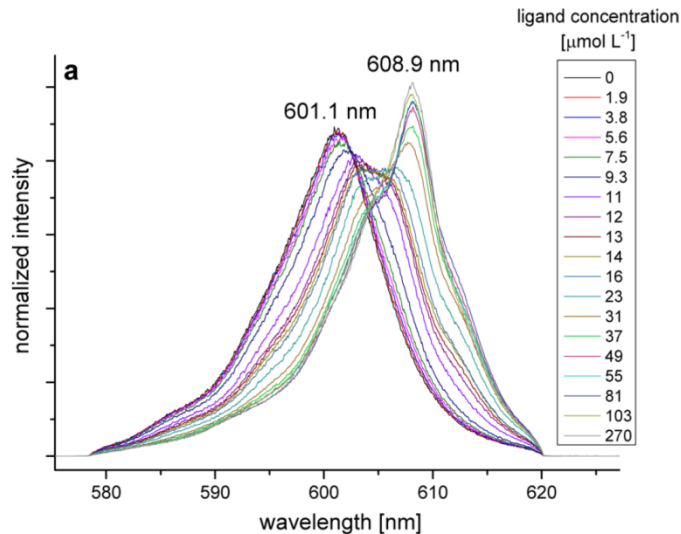
- Study of complexation behavior
- Identification of Ln(III)/An(III) complex species by
 - NMR
 - MS
 - X-ray crystallography
 - X-ray absorption near edge structure (XANES)
 - Time resolved laser fluorescence (TRLFS)
- Determination of stability constants by TRLFS
- Calculation of a theoretical separation factor
- Extraction studies



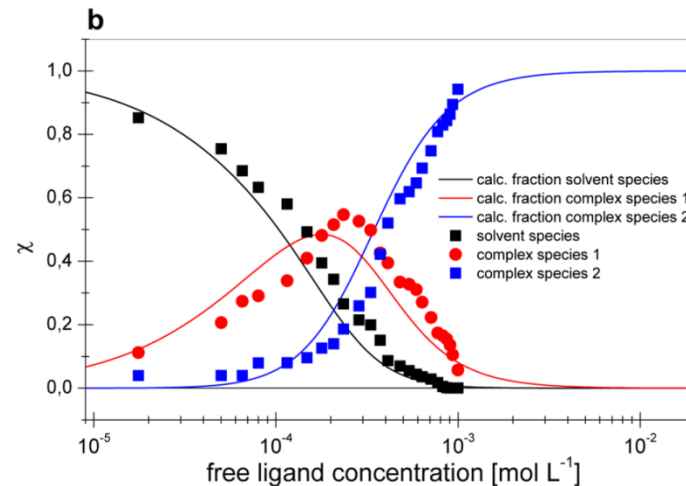
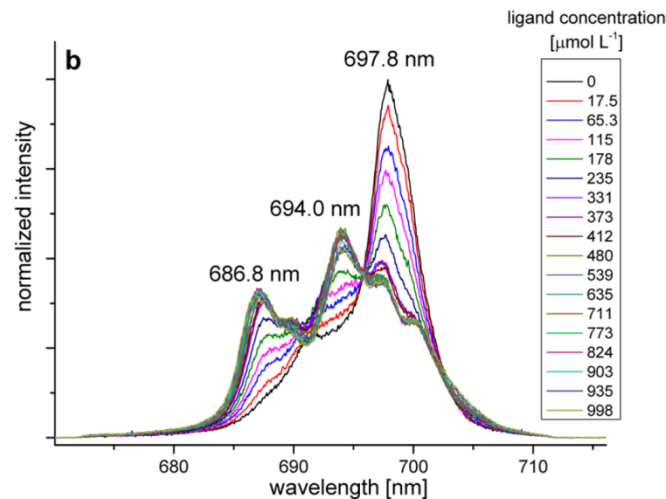
Kratsch, Beele, Koke, Denecke, Geist, Panak, Roesky, *Inorganic Chemistry*, 2014, **53**, 8949-8958.

HN₄bipy – TRLFS studies and stability constants

Cm(III)



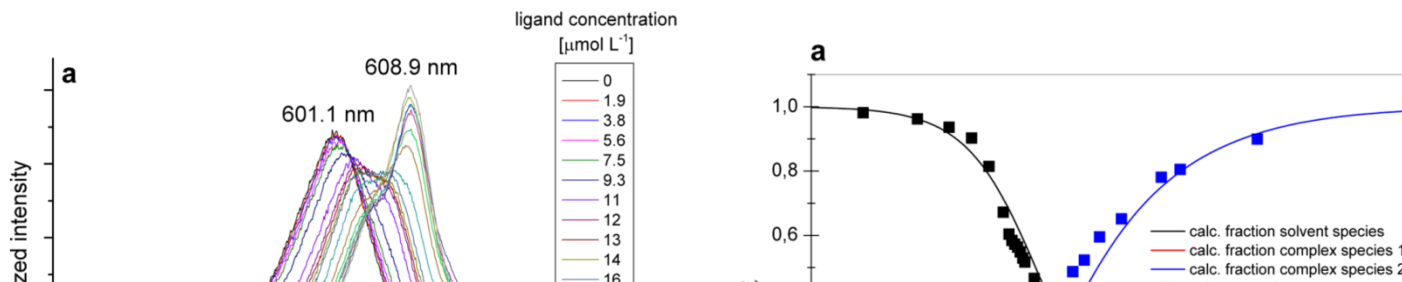
Eu(III)



Kratsch, Beele, Koke, Denecke, Geist, Panak, Roesky, *Inorganic Chemistry*, 2014, **53**, 8949-8958.

HN₄bipy – TRLFS studies and stability constants

Cm(III)

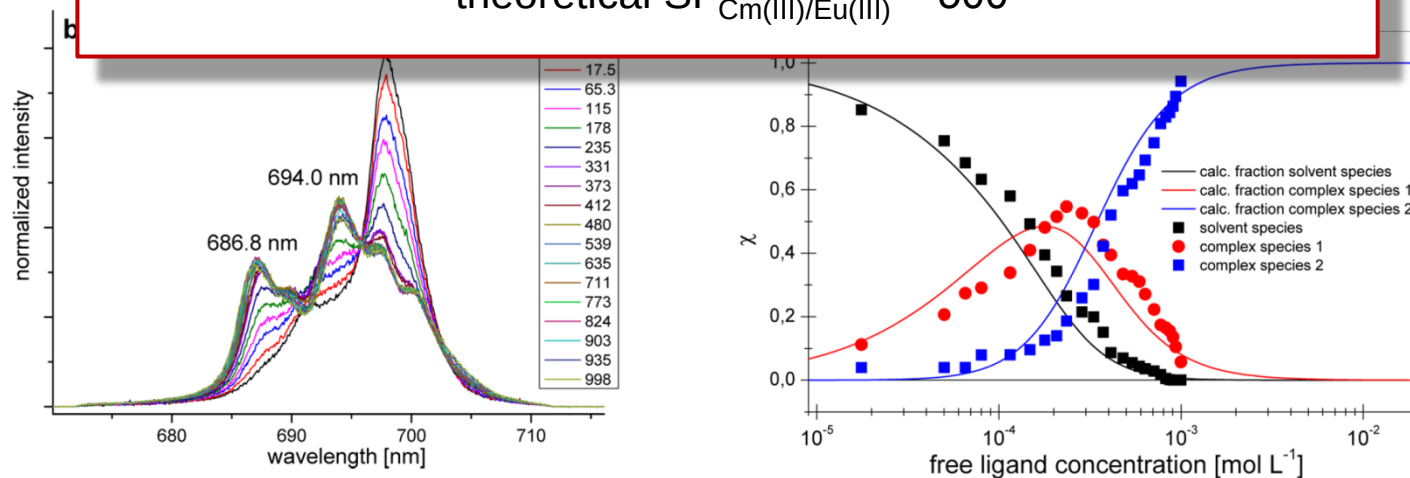


Conditional stability constants for the formation of $[M(\text{N}_4\text{bipy})_n]^{3-n}$

Cm(III)	EtOH	$\log \beta'_3$	13.8 ± 0.3
Eu(III)	EtOH	$\log \beta'_3$	11.1 ± 0.2

theoretical $\text{SF}_{\text{Cm(III)/Eu(III)}} \approx 500$

Eu(III)



Kratsch, Beele, Koke, Denecke, Geist, Panak, Roesky, *Inorganic Chemistry*, 2014, **53**, 8949-8958.

HN₄bipy – TRLFS studies and stability constants

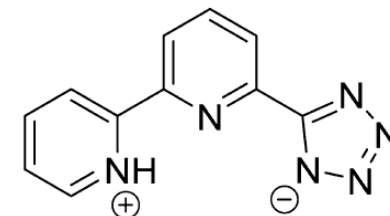
- HN₄bipy complexes are very stable (aprox. order of reference molecules)
 - HN₄bipy shows high selectivity of Cm over Eu
 - New ligand design (asymmetry, charge)
 - Extraction experiments hampered by low solubility of complexes in technical solvents (e.g. kerosene)
 - Design idea: decoration of pyridine ring with tert-butyl group to achieve higher solubility in non-protic solvents
- ➡ synthesis planned

Kratsch, Beele, Koke, Denecke, Geist, Panak, Roesky, *Inorganic Chemistry*, 2014, **53**, 8949-8958.

Outline

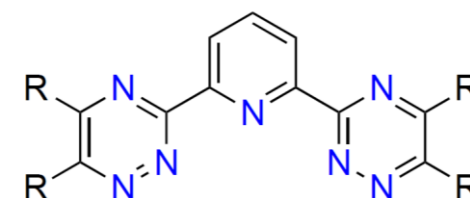
■ New structural motive – HN_4bipy

Kratsch, Beele, Koke, Denecke, Geist, Panak, Roesky, *Inorganic Chemistry*, 2014, **53**, 8949-8958.



■ Fine-tuning of electronic distribution – variation of the basicity of the nitrogen atoms in lateral rings of BTP

Beele, Rüdiger, Schwörer, Müllich, Geist, Panak, *Dalton Transactions*, 2013, **42**, 12139-12147.

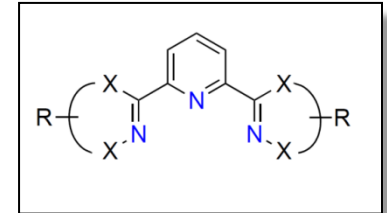
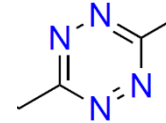
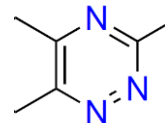
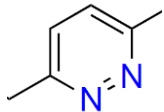


■ Insight in the bonding situation – first results on Am complexes of BTP

Adam, Kaden, Beele, Müllich, Trumm, Geist, Panak, Denecke, *Dalton Transactions*, 2013, **42**, 14068-14074.

Fine-tuning – Variation of nitrogens' basicity

■ Aromaticity of lateral heteroaromatic rings:



Energy of aromatisation [kJ mol⁻¹]:

83.85
pyridazinylium

>

28.53
1,2,4-triazine

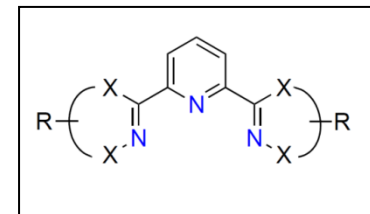
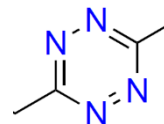
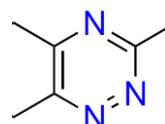
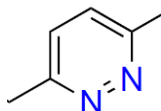
>

9.62
1,2,4,5-tetrazine

➔ a significant change in basicity of aromatic nitrogen atoms is anticipated

Fine-tuning – Variation of nitrogens' basicity

■ Aromaticity of lateral heteroaromatic rings:



Energy of aromatisation [kJ mol⁻¹]:

83.85
pyridazinyl

>

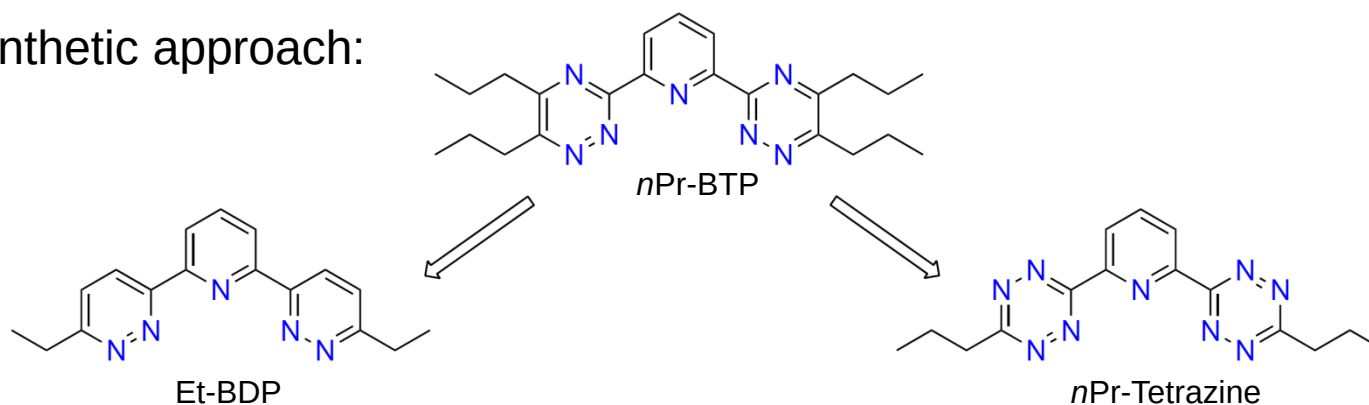
28.53
1,2,4-triazine

>

9.62
1,2,4,5-tetrazine

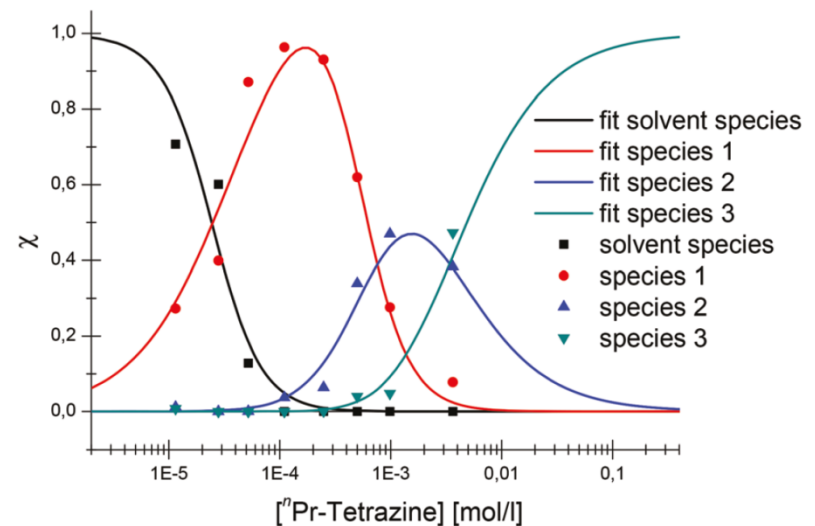
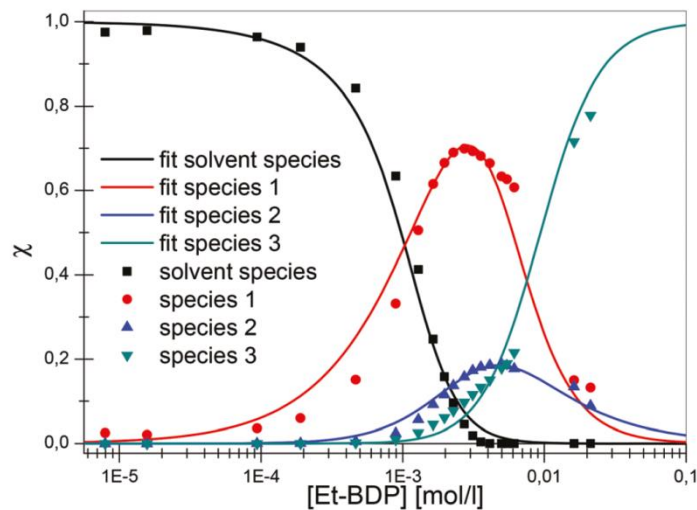
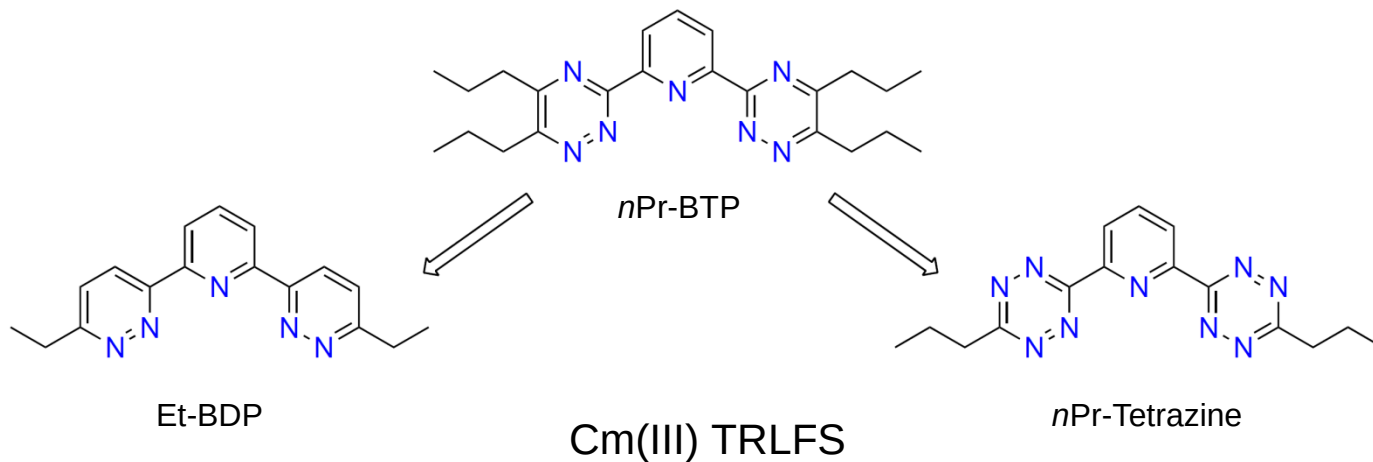
➔ a significant change in basicity of aromatic nitrogen atoms is anticipated

■ Synthetic approach:



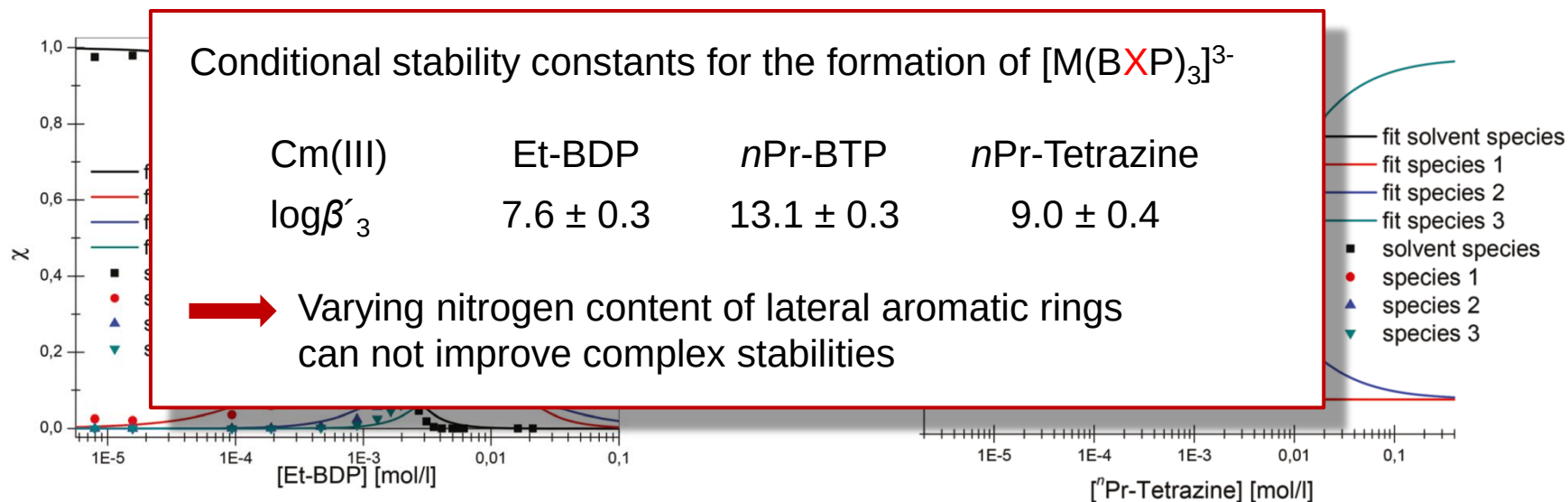
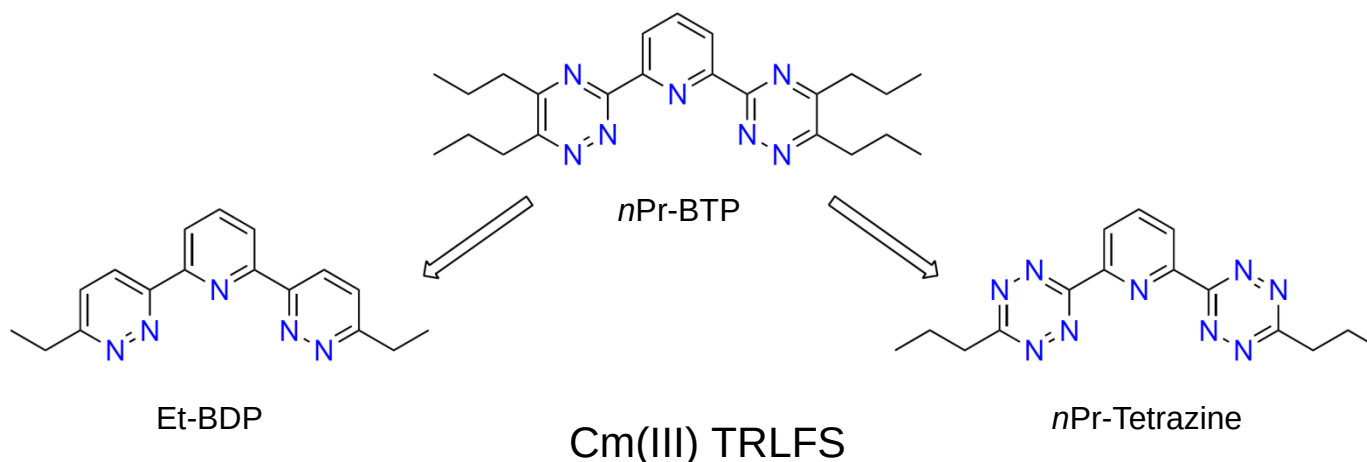
Beele, Rüdiger, Schwörer, Müllich, Geist, Panak, *Dalton Transactions*, 2013, **42**, 12139-12147.

Fine-tuning – Variation of nitrogens' basicity



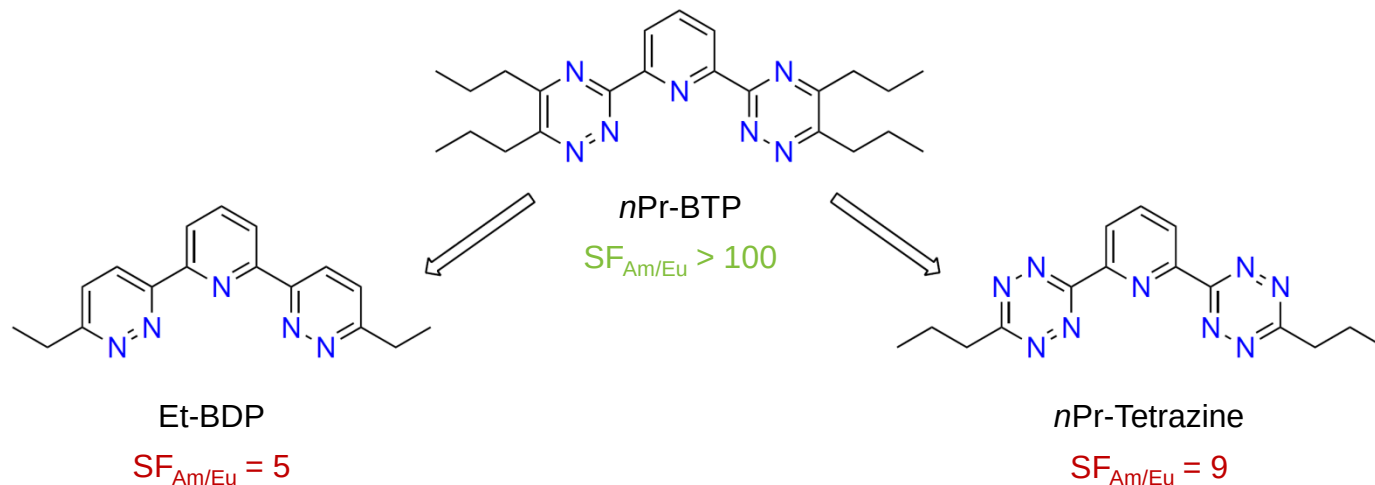
Beele, Rüdiger, Schwörer, Müllich, Geist, Panak, *Dalton Transactions*, 2013, **42**, 12139-12147.

Fine-tuning – Variation of nitrogens' basicity



Beele, Rüdiger, Schwörer, Müllich, Geist, Panak, *Dalton Transactions*, 2013, **42**, 12139-12147.

Fine-tuning – Variation of nitrogens' basicity



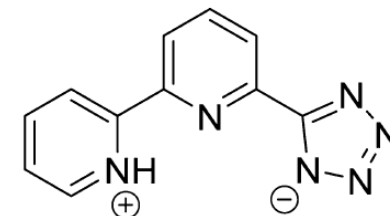
- $\log\beta'_3$ values show highest stability for the $[\text{Cm}(\text{BTP})_3]^{3-}$
- Extraction experiments confirm that only BTP has significant selectivity
- Varying nitrogen content of lateral aromatic rings does not improve extraction performance of BXP type separation systems
- BTP is the ideal complexation environment

Beele, Rüdiger, Schwörer, Müllich, Geist, Panak, *Dalton Transactions*, 2013, **42**, 12139-12147.

Outline

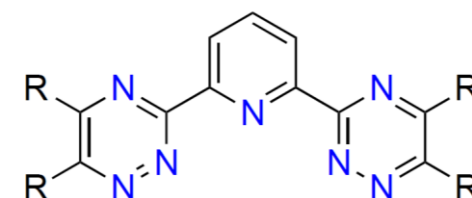
■ New structural motive – HN_4bipy

Kratsch, Beele, Koke, Denecke, Geist, Panak, Roesky, *Inorganic Chemistry*, 2014, **53**, 8949-8958.



■ Fine-tuning of electronic distribution – variation of the basicity of the nitrogen atoms in lateral rings of BTP

Beele, Rüdiger, Schwörer, Müllich, Geist, Panak, *Dalton Transactions*, 2013, **42**, 12139-12147.



■ Insight in the bonding situation – first results on Am complexes of BTP

Adam, Kaden, Beele, Müllich, Trumm, Geist, Panak, Denecke, *Dalton Transactions*, 2013, **42**, 14068-14074.

BTP – Insight in bonding situation

- For a rational design of new extraction systems or the improvement of known systems, key parameters should be identified and monitored
- Covalence has long been suspected to play a major role as contributor to the selectivity of certain *N*-donor ligands
- NMR spectroscopy
 - measures electron distribution around nuclei
 - exceptionally high accuracy
 - can quantify changes
 - ideally suited for comparing studies in diamagnetic systems
- Paramagnetic NMR gives direct access to bonding properties by mathematical separation of contributors to the paramagnetic shift
- Comparing studies of diamagnetic and paramagnetic Ln(III) complexes to validate results and transfer methodology to actinide systems

BTP – Insight in bonding situation

- Series of isostructural complexes necessary
- Comparison of different mathematical approaches
- Empirical parameters and correctness of mathematical assumptions are validated
- Uncertainties planned to be reduced by independent theoretical studies

NMR Fundamentals



$$\delta_{para} = \delta_k = \overbrace{(S_Z)_{Ln} \cdot F_k}^{\delta_{PCS}} + \overbrace{\frac{1}{2N_A} \left[\left(\chi_{zz}^{Ln} - \frac{Tr \chi^{Ln}}{3} \right) \cdot \left(\frac{3 \cos^2 \theta_k - 1}{I_k^3} \right) + \left(\chi_{xx}^{Ln} - \chi_{yy}^{Ln} \right) \cdot \left(\frac{\sin^2 \theta_k \cos^2 2\phi_k}{I_k^3} \right) \right]}^{\delta_{PCS}}$$

- Bleaney method

$$\Delta\delta_k = (S_Z)_{Ln} \cdot F_k + D_{Ln} \cdot A_k^0 \cdot G_k$$

rhombic anisotropic components cancel (C_2), numerical factor tabulated, second-rank ligand-field parameter characterizes magnitude of metal-ligand interaction, geometrical functions constant
- Reilley method

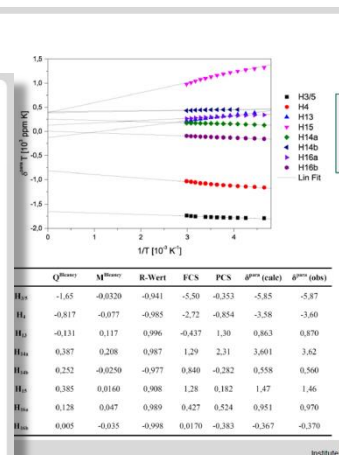
$$\frac{\Delta\delta_k}{(S_Z)_{Ln}} = F_k + \frac{D_{Ln}}{(S_Z)_{Ln}} \cdot A_k^0 \cdot G_k$$

plotting values divided by $(S_Z)_{Ln}$ vs. $D_{Ln} / (S_Z)_{Ln}$ gives straight line, intercept F_k and slope equals $A_k^0 \cdot G_k$ model free approach
- Spiliadis and Pinkerton approach

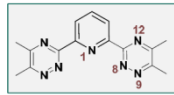
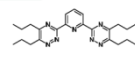
$$\Delta\delta_k = (F_k - F_l \cdot R_{kl}) + \frac{\Delta\delta_l}{(S_Z)_{Ln}} \cdot R_{kl}$$

elimination of ligand field term A_k^0 by simultaneous consideration of two resonating nuclei k and l, R_{kl} defines ratio of geometrical parameters (G_k/G_l)

3 09.12.2014 Institute for Nuclear Waste Disposal (INE)



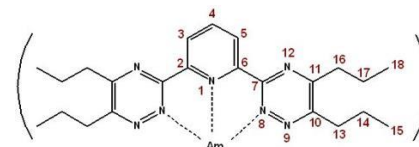
¹⁵N Results

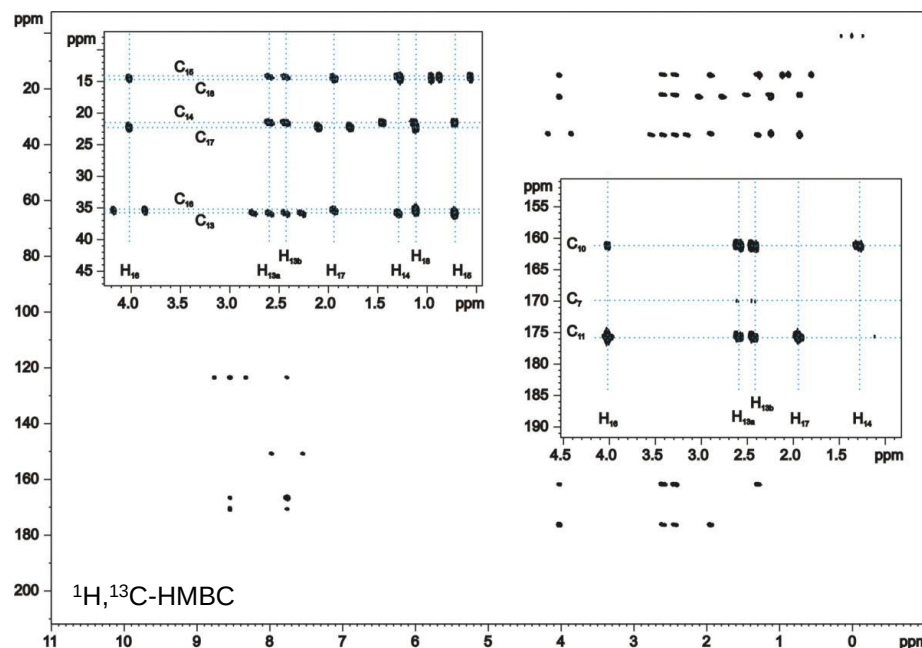
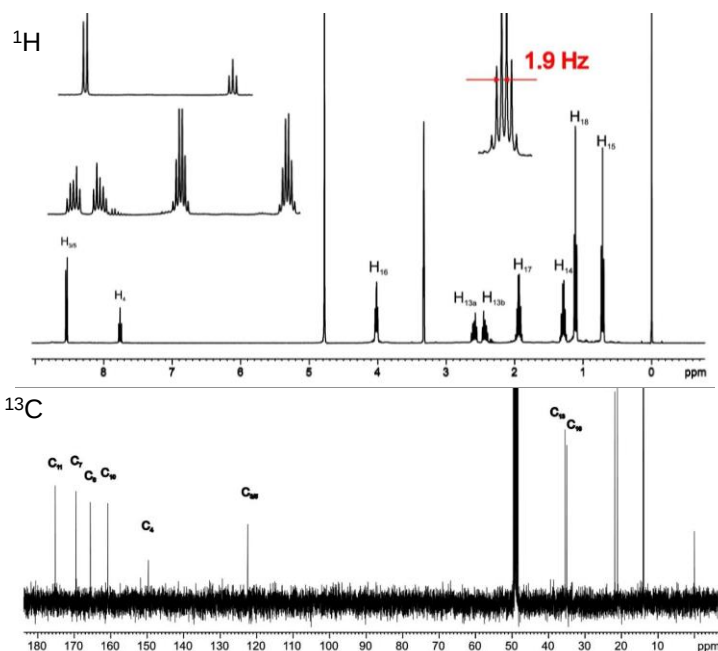
	N ₁ δ [ppm]	N ₄ δ [ppm]	N ₅ δ [ppm]	N ₁₂ δ [ppm]	N ₁ δ [ppm]	N ₄ δ [ppm]	N ₅ δ [ppm]	N ₁₂ δ [ppm]
free ligand	303	353	403	288	303	347	394	289
Lu	270	312	390	292	269	309	386	293
Sm	227	263	387	293	226	261	383	293
Eu	-	-1389	353	283	-	-	354	284
²⁴³ Am	-31	-16	421	289	-26	-18	418	289

17 09.12.2014 Institute for Nuclear Waste Disposal (INE)

BTP – Insight in bonding situation

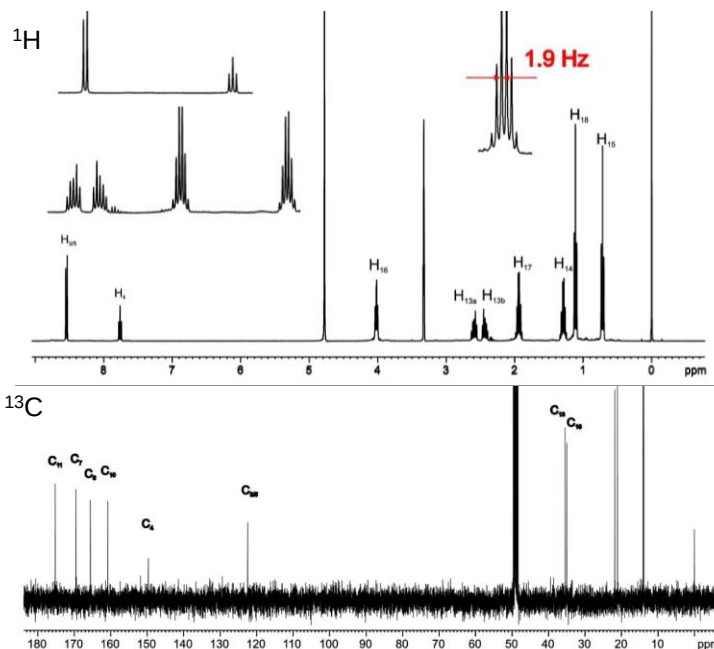


- First trivalent actinide complex measured with $^{243}\text{Am(III)}$
- Spectra of $[\text{Am}(n\text{Pr-BTP})_3(\text{NO}_3)_3]$ appear to be of diamagnetic origin
- 2D NMR correlations possible, identification of all ^1H and ^{13}C resonances
- ^{15}N resonances of coordinating nitrogens not accessible

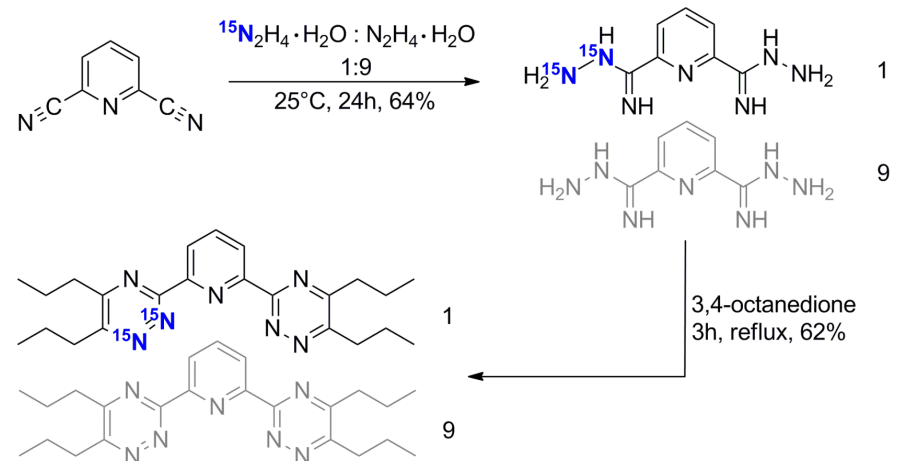


BTP – Insight in bonding situation

- First trivalent actinide complex measured with $^{243}\text{Am}(\text{III})$
- Spectra of $[\text{Am}(n\text{Pr-BTP})_3(\text{NO}_3)_3]$ appear to be of diamagnetic origin
- 2D NMR correlations possible, identification of all ^1H and ^{13}C resonances
- ^{15}N resonances of coordinating nitrogens not accessible

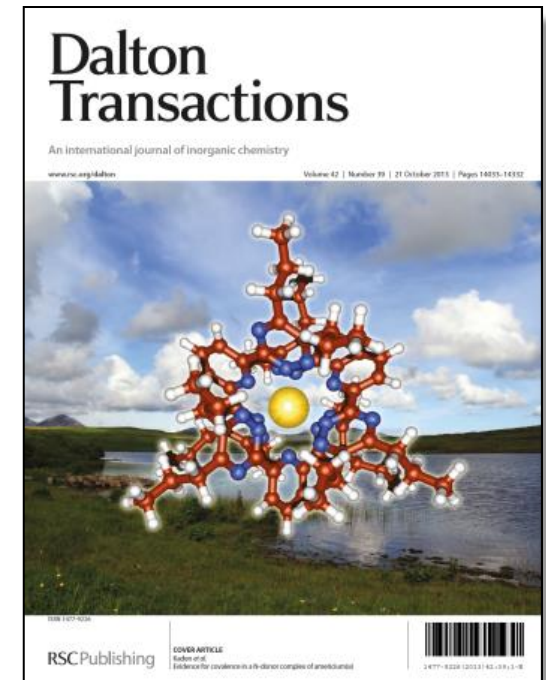
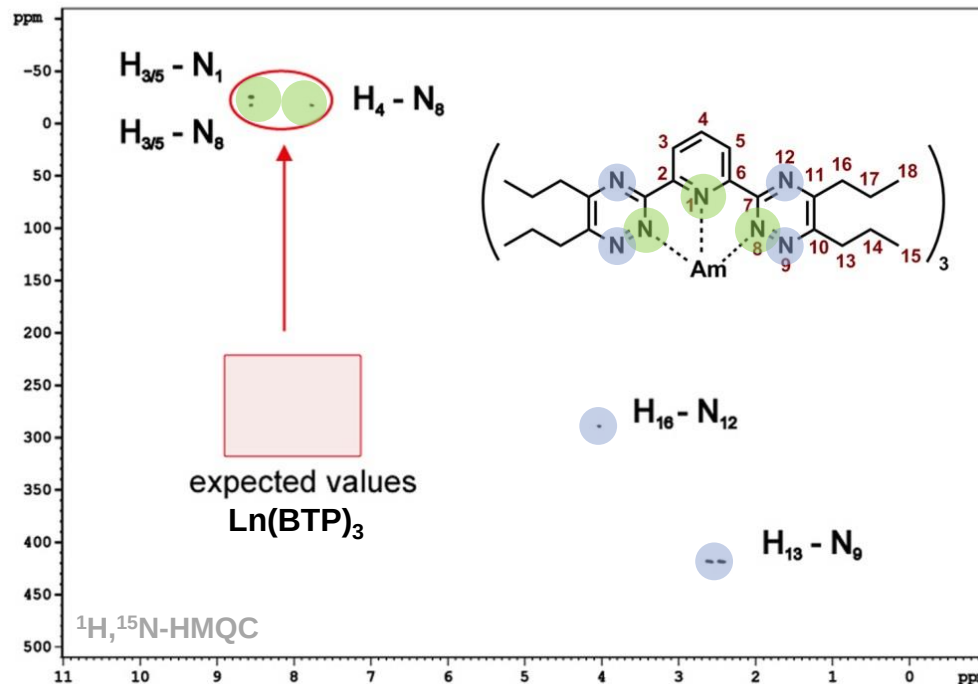


Synthesis of partially ^{15}N labeled nPr-BTP:



Separation chemistry – cause of selectivity

■ Bonding mode differences in Am(III) / Ln(III) complexes



■ ...first substantial support for the thesis that covalent interactions between ligand and metal ions are major contributors to the ligands' extraction selectivity towards trivalent actinide cations...

Adam, Kaden, Beele, Müllich, Trumm, Geist, Panak, Denecke, *Dalton Transactions*, 2013, **42**, 14068-14074.

Acknowledgment

Thanks

- ... to the researchers of the f-Kom consortium
- ... for financial support
- ... for your attention

SPONSORED BY THE



Federal Ministry
of Education
and Research

Facility of the EURATOM FP7 program

EURACT  **nmr**
Trans-national Access to Unique European Actinide and Radiological NMR Facilities

BMBF 2020+ project 02NUK020

Second Joint Student Workshop on f-Element Chemistry



bwgvhotel.

AkademieHotel KARLSRUHE

09.-11. Juni 2015

Save the date!



KIT
Karlsruher Institut für Technologie

MANCHESTER
1824
The University of Manchester

SPONSORED BY THE
Federal Ministry
of Education
and Research

BMBF 2020+ project 02NUK020

Second Joint Student Workshop on f-Element Chemistry

9th to 10th June 2015
at AkademieHotel, Karlsruhe, Germany

The target audience are PhD students or post-docs working in f-element chemistry. The workshop is jointly organized by KIT-INE and The University of Manchester and sponsored by the German BMBF-funded project "f-Kom".

To apply please write an email to
fkom@ine.kit.edu
CC Peter Kaden@kit.edu and Louise Natrajan@manchester.ac.uk

Please include a title and a short abstract for your presentation.

All participants are asked to present a poster. From all contributions 22 are selected to present their work in a short talk (15 min + 5 min of discussion). Please use the provided abstract template.

Registration deadline 30.03.2015
Registration is free!



For more information please don't hesitate to contact the organizers.

Looking forward to meeting you in Karlsruhe!

www.kit.edu



GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

02NUK021

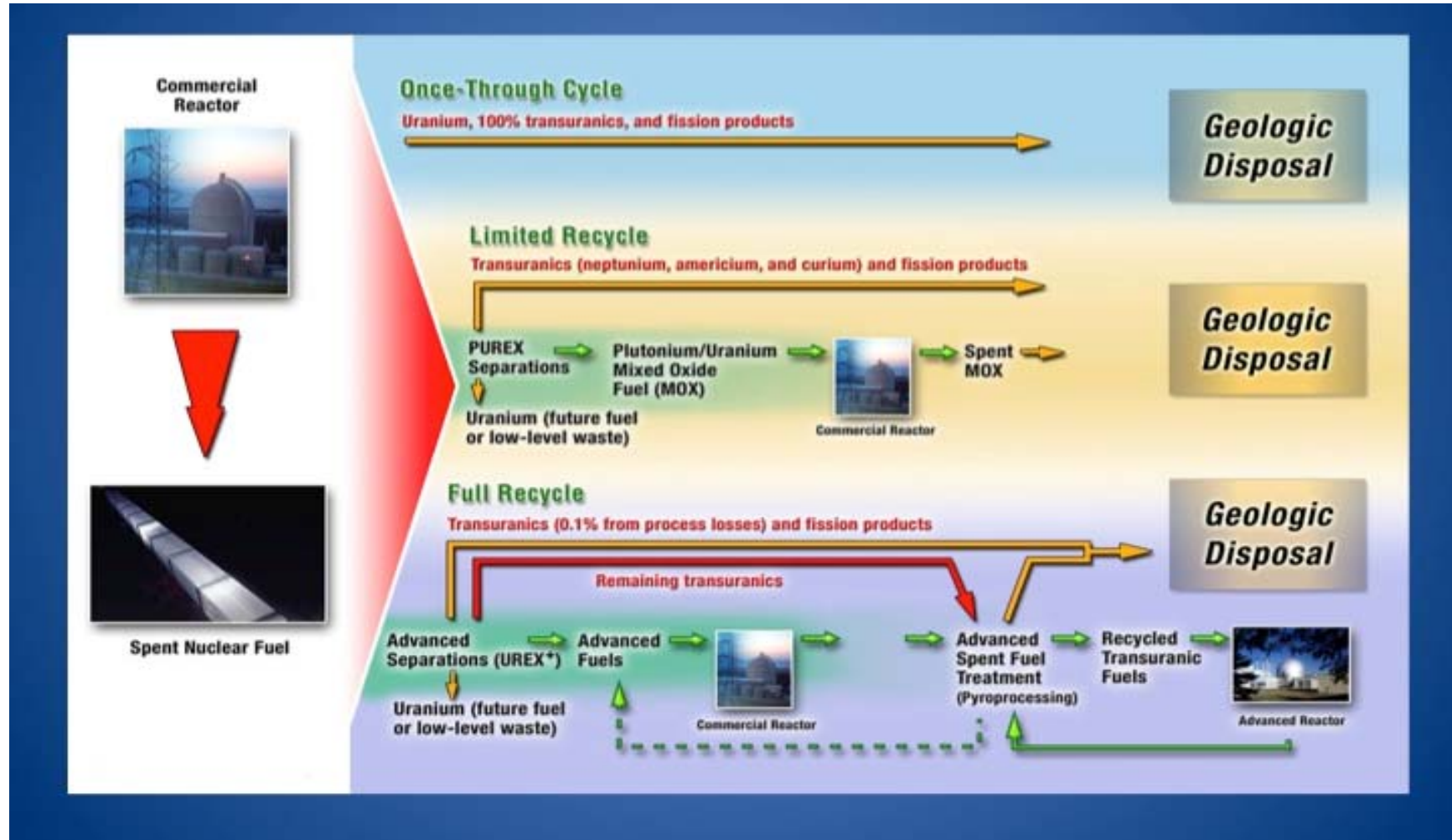


Grundlegende Untersuchungen zur Immobilisierung langlebiger Radionuklide mittels Einbau in endlagerrelevante Keramiken (Conditioning)

Dr. Stefan Neumeier

2. Projektstatusgespräch der „Nuklearen Sicherheitsforschung“, 25./26. März 2015, Dresden

Advanced Nuclear Fuel Cycles



Courtesy: R. Ewing

Potential waste forms

Spent fuel

- UO_2 fuel



Glasses

- Borosilicate glasses
 - Ln-, Pb-, Ca-borosilicate
- Alkali-Tin-Silicate glasses
- Phosphate glasses
 - Fe-, Al-phosphate



Glass ceramics

Ceramics

- polyphase
 - „Synroc“
(zirconolite, perovskite, hollandite, etc)
- singlephase
 - Pyrochlore $\text{A}_2\text{B}_2\text{O}_7$ (e.g. $\text{Nd}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$)
 - Zirconolite $\text{CaZrTi}_2\text{O}_7$
 - Monazite $(\text{REE, Th})\text{PO}_4$



Why ceramic materials?

Natural analogues

often contain significant amounts of Th and U (up to 27%) without any significant indication of radiation damage. The age of these analogues has been determined with several billions of years

Adaption to specific waste streams

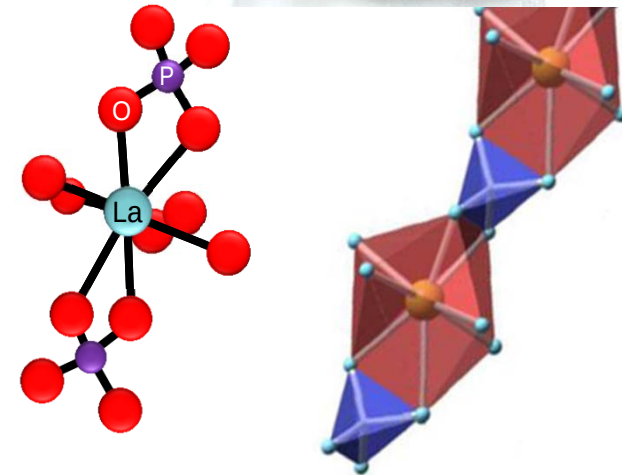
Ceramics can be tailor-made for specific waste streams, e.g. actinides

Decrease of waste volume

High loading due to incorporation of Actinides on defined lattice sites

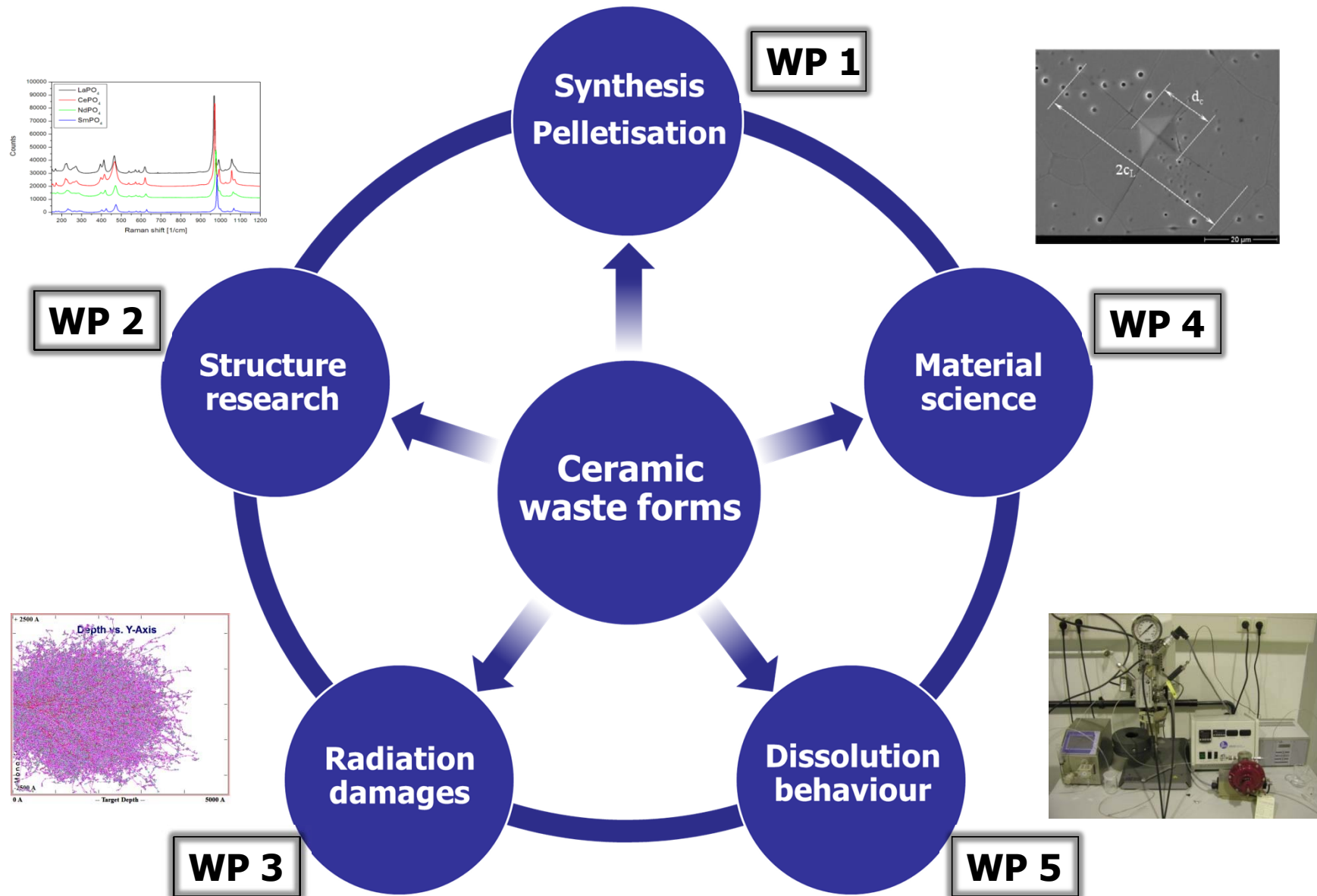
Favourable chemical and physical properties

High chemical stability and high radiation tolerance



Clavier et al. 2011; Ni et al. 1995

Methodology to study ceramic waste forms



BMBF Project „Conditioning“

Basic data

- 8 partners
- coordination by IEK-6
- Oct. 2012 – March 2016
- 2.1 Mio. Euro

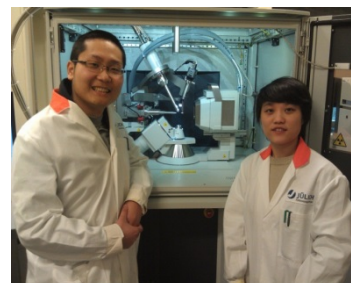
Materials

- Apatite,
- LDH
- Pyrochlore (Oxides)
- Monazite (Phosphates)



Investments

- Single Crystal Diffractometer
- Glovebox
- Summer School
- Young scientists

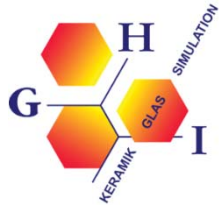


Yu et al.: Inorg. Chem. 53(16), 8194-8196 (2014)

Yu et al.: Inorg. Chem. 53, 11231–11241 (2014)

Yu et al.: J. Solid State Chem. 215, 152–159 (2014)

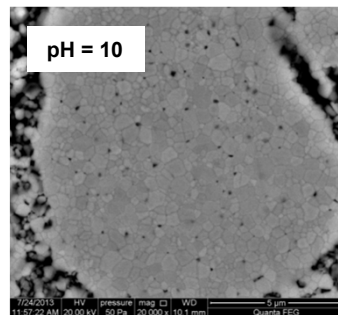
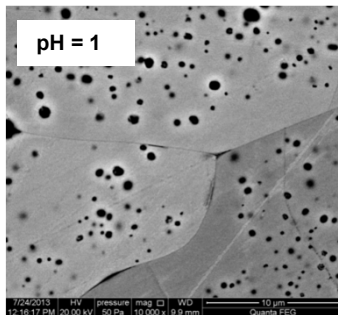
Project partner



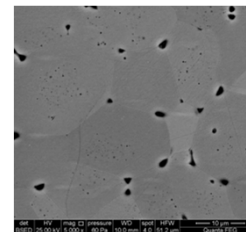
Coordination: FZJ-IEK6; Dr. Stefan Neumeier

WP1: Synthesis & fabrication

- Development of synthesis routes suitable for safe handling of radioactive materials
 - Solid state reaction
 - Wet chemical routes (sol-gel, hydrothermal synthesis, co-precipitation)
- Investigation of influence of synthesis route on microstructure



- Optimisation of sintering conditions
 - Cold-pressing & sintering
 - Hot pressing → high density



WP1: Synthesis of single crystals

1. Fluxmethode:

a) Synthesis of $\text{La}_{0.5}\text{Eu}_{0.5}\text{PO}_4$ starting material:



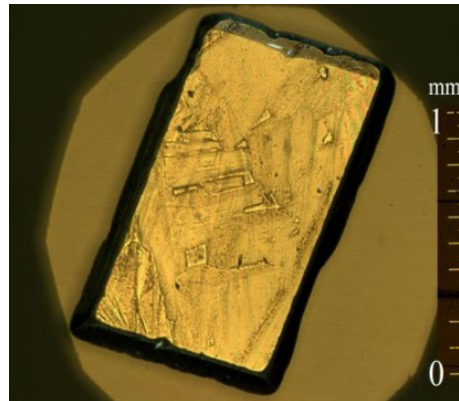
b) Flux-growth:

$\text{Ln}(\text{La}_{0.5}\text{Eu}_{0.5}\text{PO}_4) : n(\text{flux}) = 2:100$

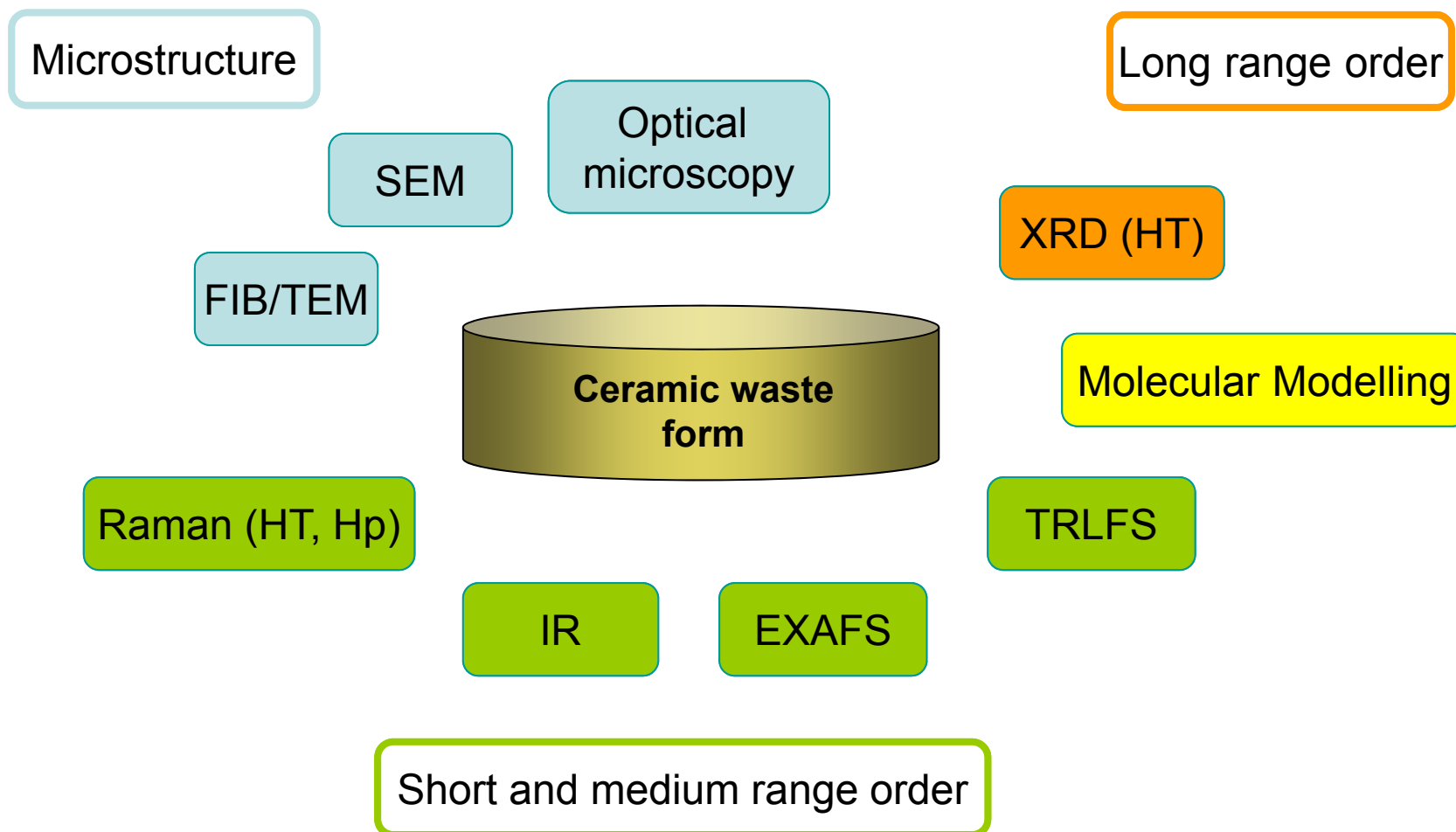
Flux: Li_2MoO_4 (MoO_3 und Li_2CO_3)

Parameters:

1250°C, 15h subsequent cooling 3°C /h or lower



WP2: Characterisation



WP2: Extended X-ray Absorption Spectroscopy (EXAFS)



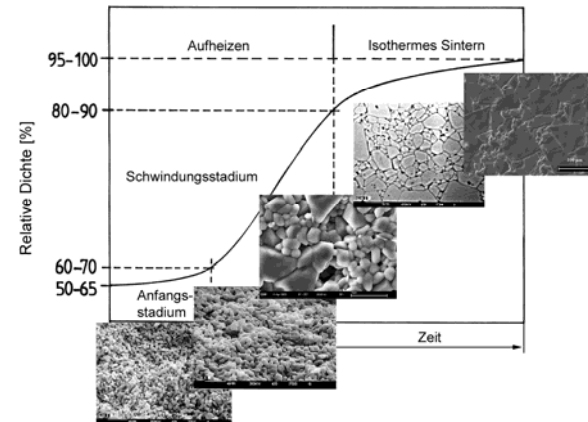
➤ $\text{La}_{(1-x)}\text{Eu}_x\text{PO}_4$ system:

- La-O distances decreasing with increasing of % Eu content
- La-Ln shorter distances decreasing linearly with increasing % Eu content
- At longer La-Ln distances the behavior is not more linear

WP4: Sintering

1. Evolution of microstructure

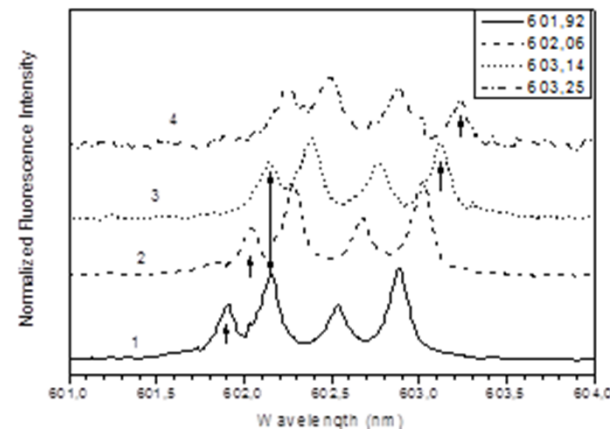
Anja Wätjen, Charlotte Schausten,
Yulia Arinicheva, Prof. R. Telle



2. Solid solution formation

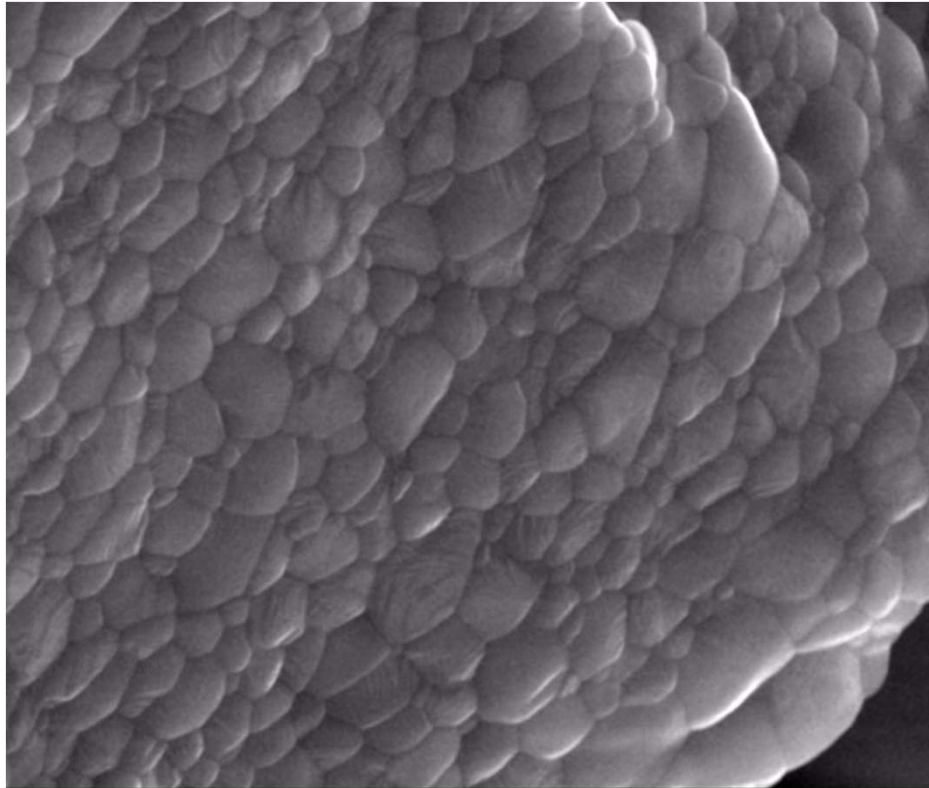
- *In-situ* HT-XRD and HT-Raman
- TRLFS

Nina Huittinen, Yulia Arinicheva,
Prof. T. Stumpf



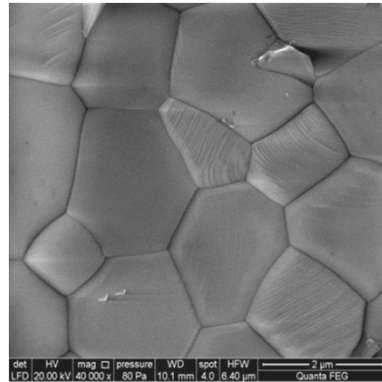
WP4: Sintering

- Evolution of microstructure
In-situ HT-ESEM investigation

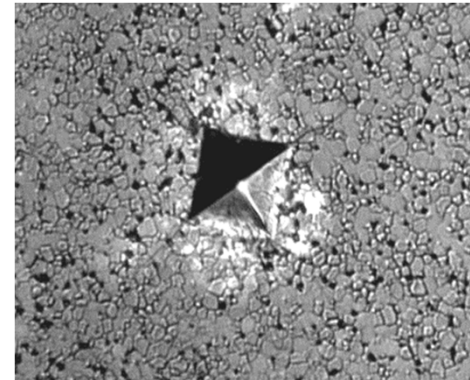


- Grain growth is controlled through grain-boundary mobility

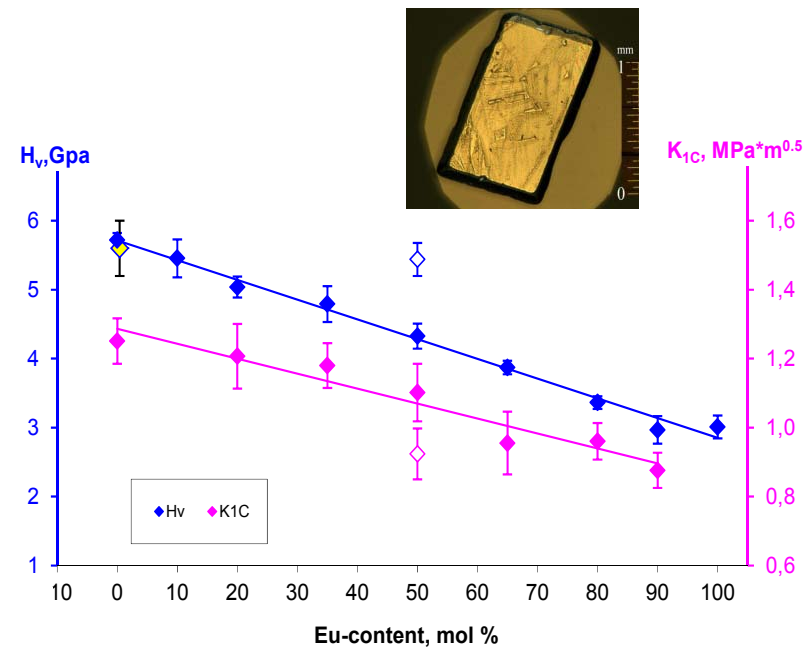
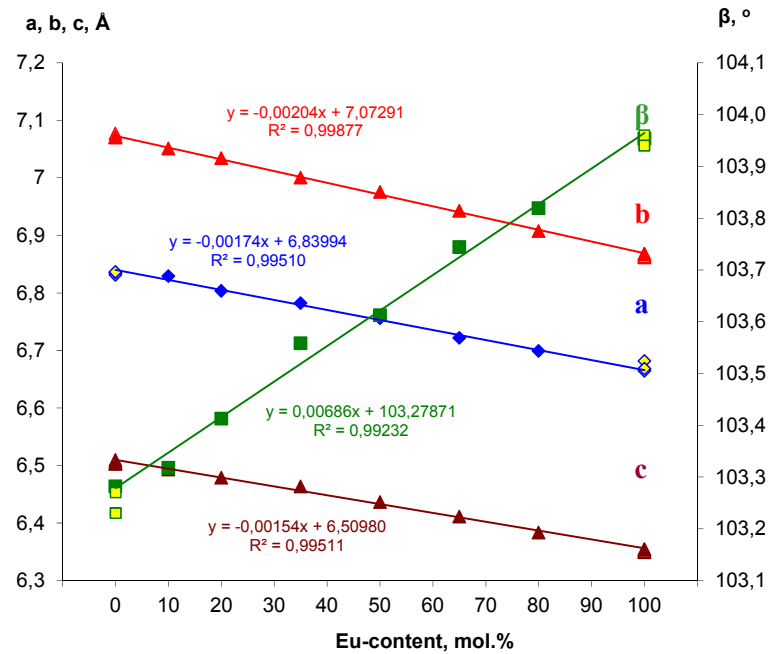
WP4: Mechanical properties



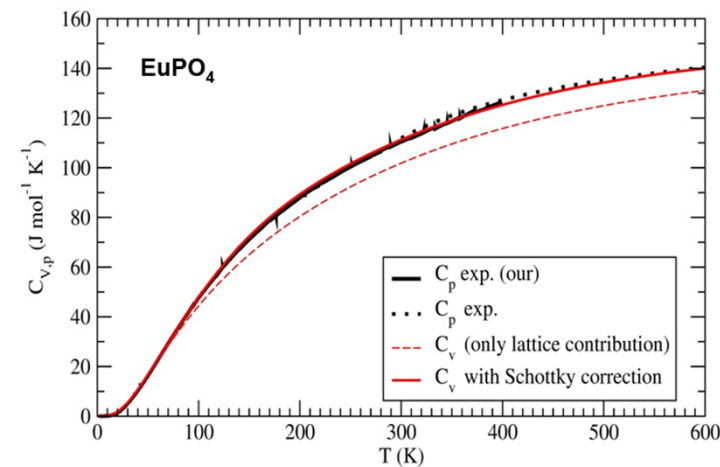
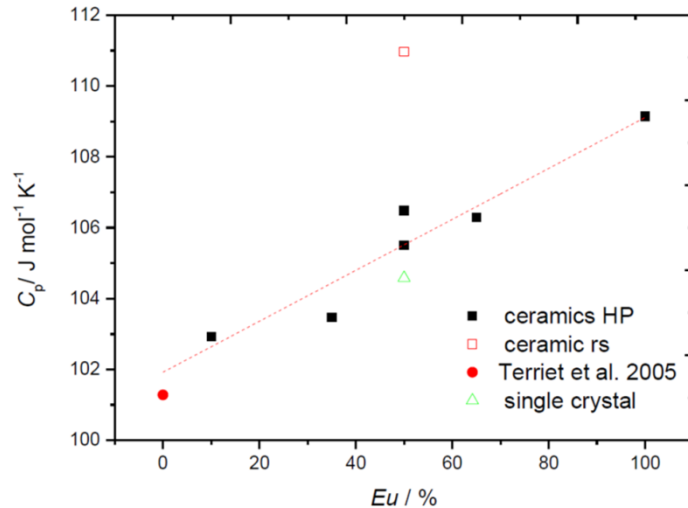
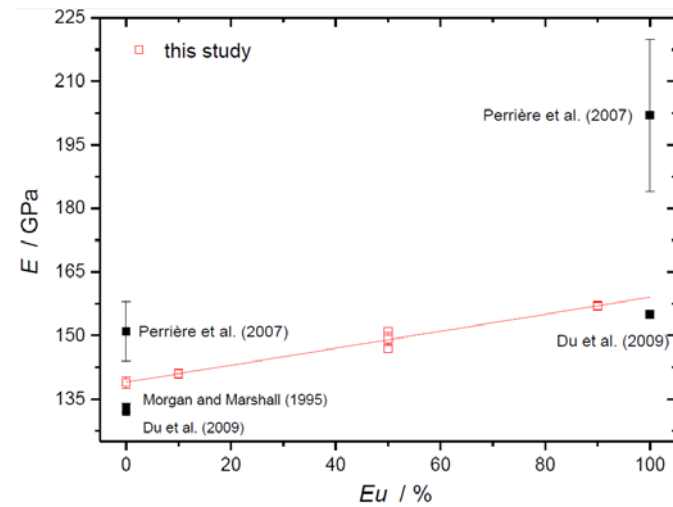
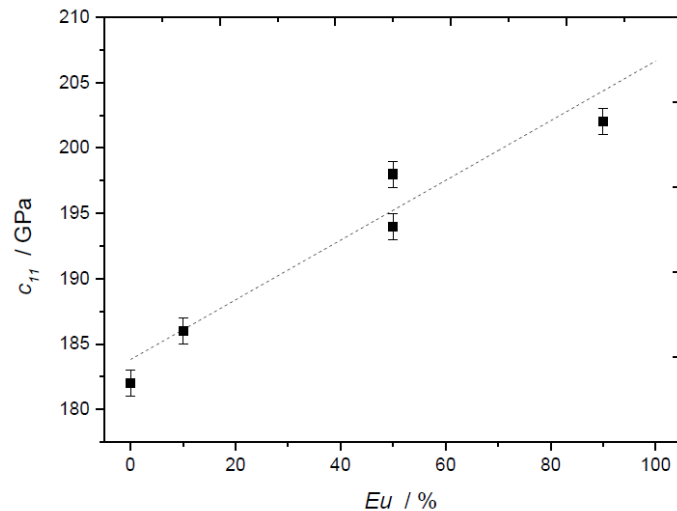
Microstructure



Vicker's hardness



WP4: Physical properties



➤ Linear dependence of elastic coefficient and Young's Modulus

Anja Thust, Johannes Bauer, Yulia Arinicheva
Prof. B. Winkler

Perrière L. et al. (2007) J. Eur. Ceram. Soc. 27, 3207-3213.
Morgan, P.E.D. and Marshall, D.B. (1995) J. Am. Ceram. Soc. 78, 1553-1563.
Du, A. et al. (2009) J. Am. Ceram. Soc. 92, 2687-2692.

Mineral dissolution kinetics according to Transition - State Theory

$$\text{Rate} = k_0 \cdot A_{\text{reactive}} \cdot e^{-E_a/RT} \cdot c_{\text{H}^+}^{n_{\text{H}^+}} \cdot \prod c_i^{n_i} \cdot f(\Delta G_r)$$

reactive surface area

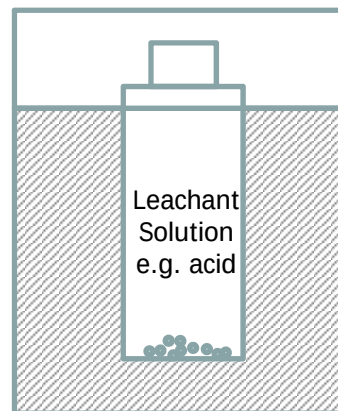
temperature

pH

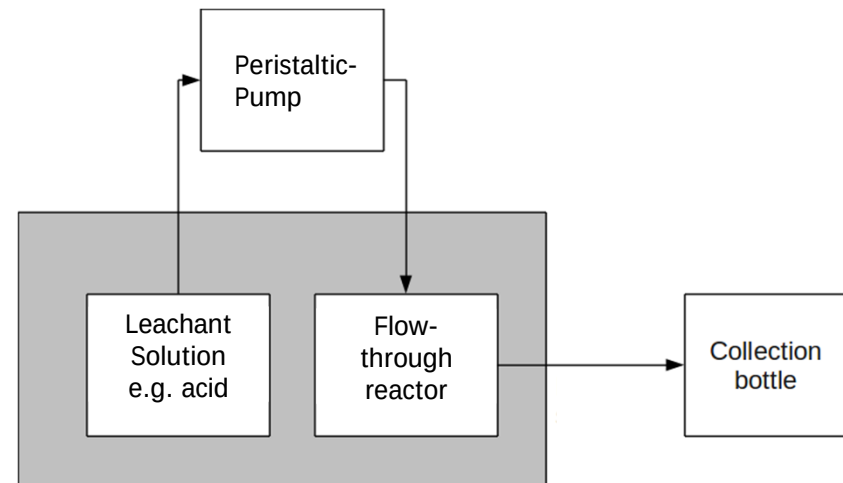
ions in solution

deviation from equilibrium

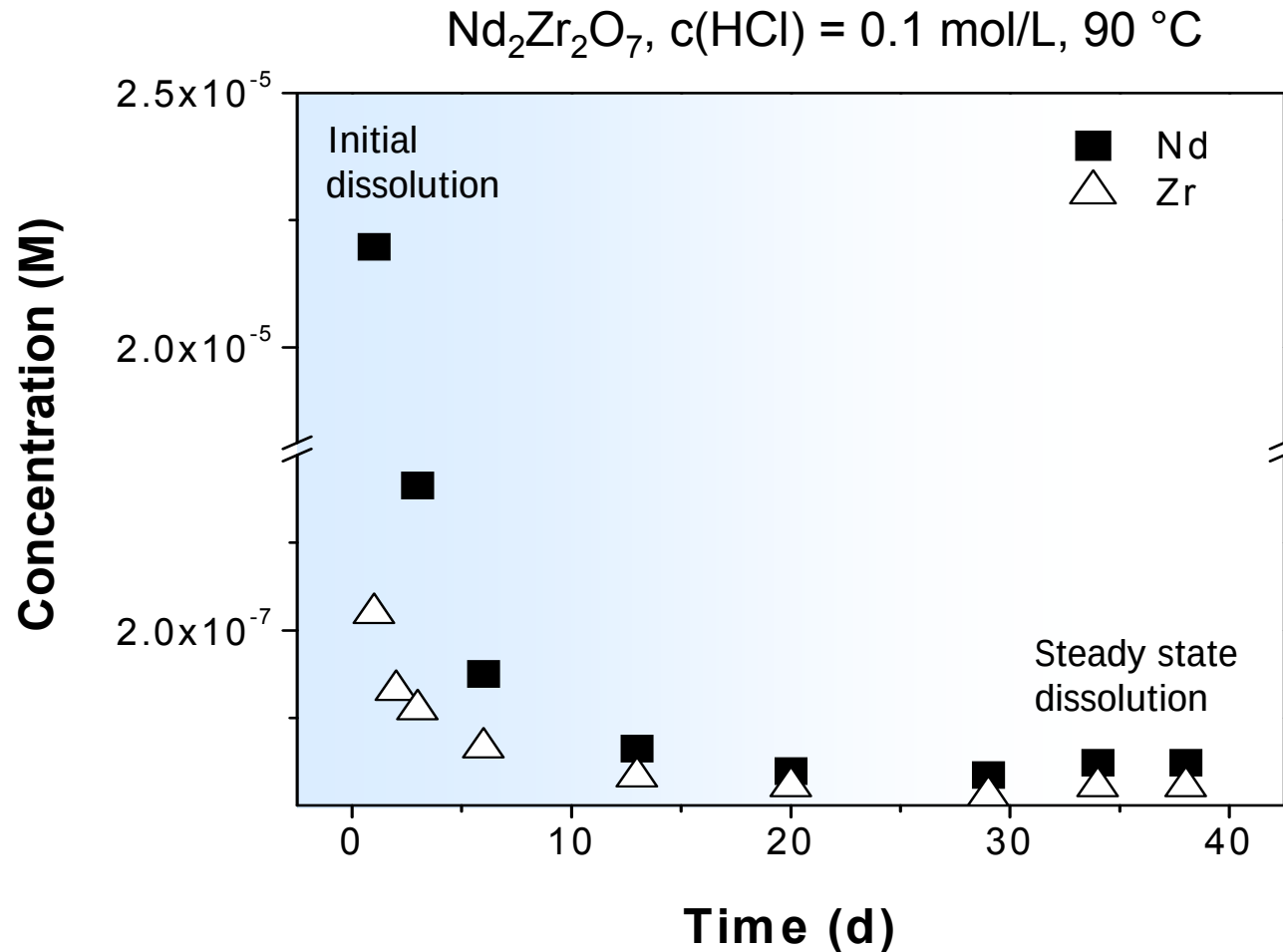
Static



Dynamic



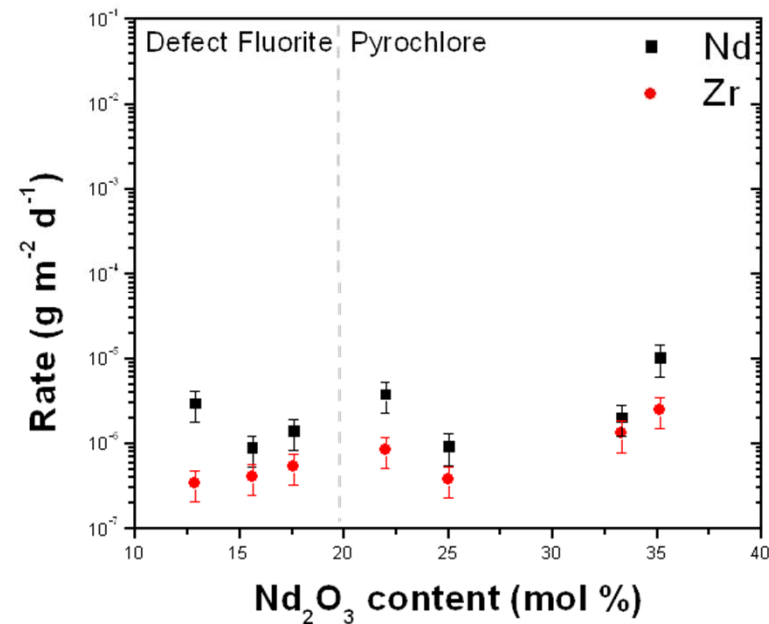
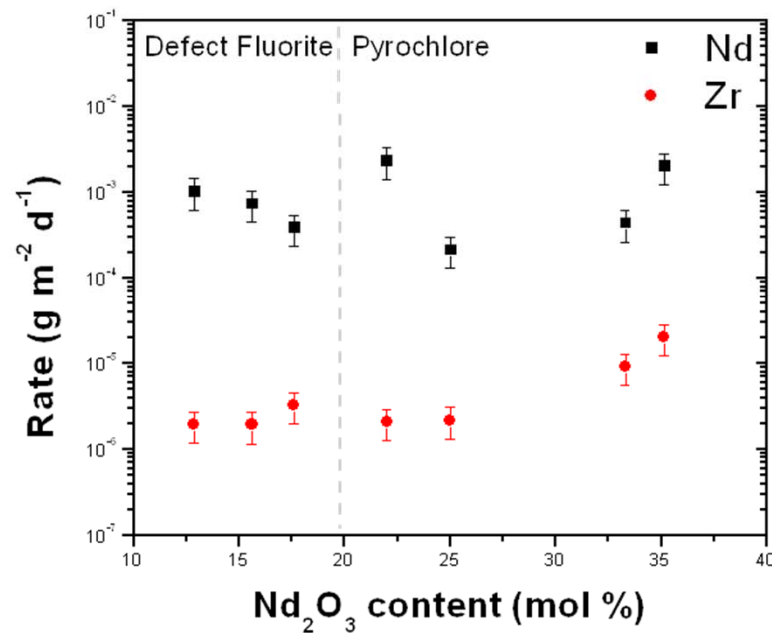
WP5: Dynamic experiments – results



- Initial dissolution is non-stoichiometric compared to the solid composition
- Approach of a stoichiometric steady state dissolution

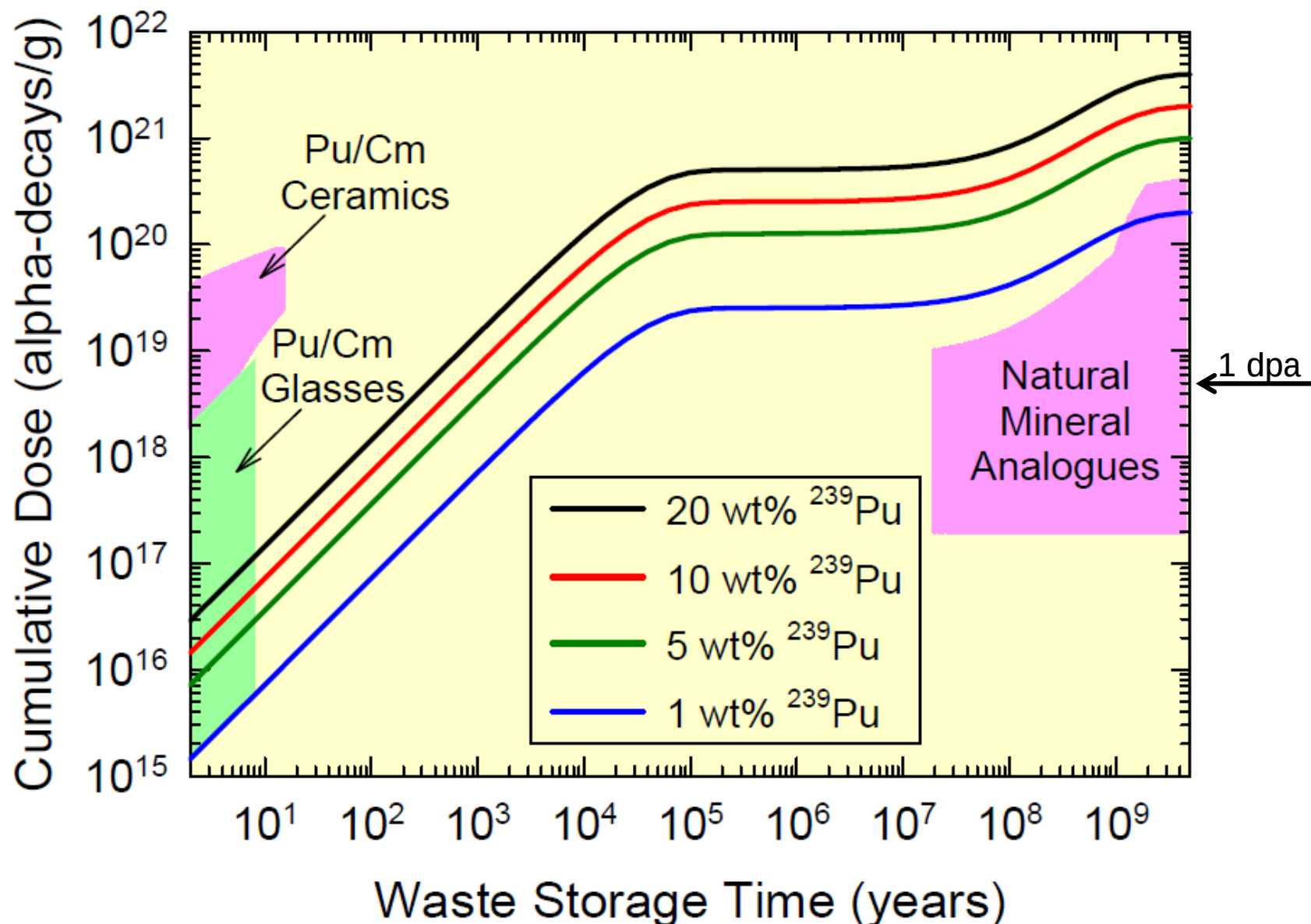
WP5: Effect of chemical composition

Initial dissolution (90 °C, $c(\text{H}^+) = 0.1 \text{ n}$) **Steady state dissolution**



- Dissolution of non-stoichiometric pyrochlore and defect fluorite solid solutions
 - Strongly preferential release of Nd during initial dissolution
 - Dissolution kinetics similar for all compositions

WP3: Radiation stability



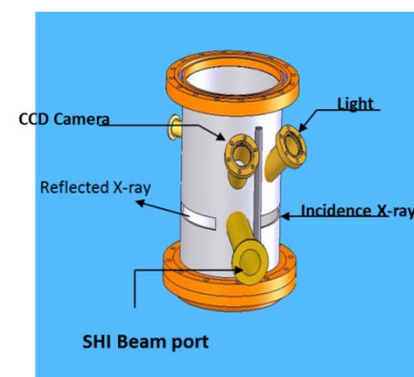
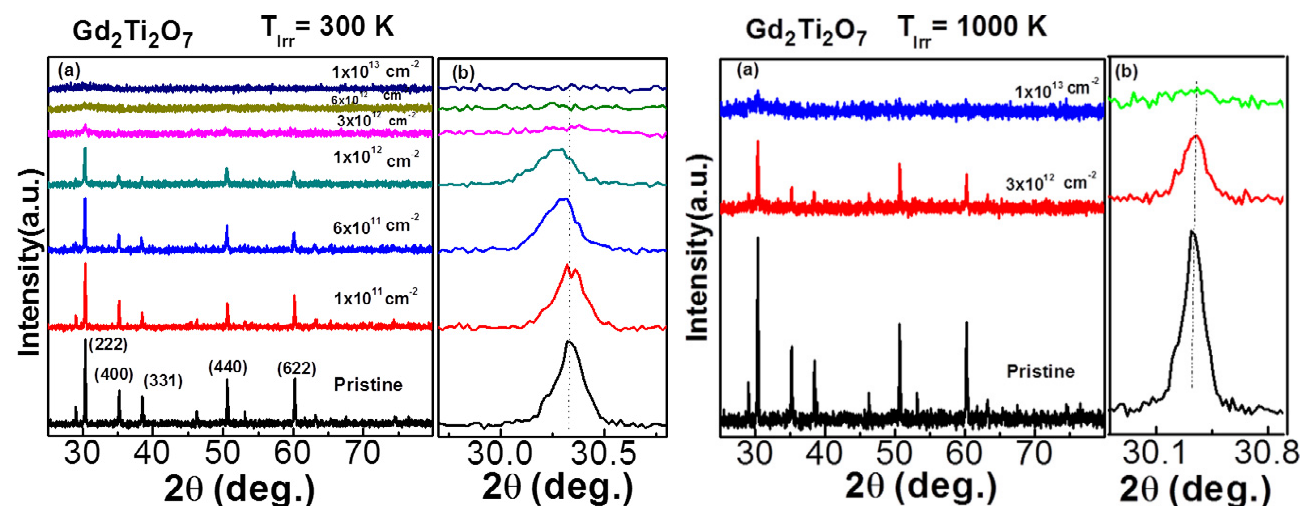
Courtesy: W. Weber

WP3: Radiation damages

- Irradiation of zirconate ceramics
- Irradiation of phosphate ceramics
- XRD and Raman (incl. *In-situ*) studies in dependence of:
 - Chemical composition
 - Temperature
 - Ion fluence
 - Energy



Inter-University Accelerator Centre,
New Delhi, India



International Summer School

When: 07th-09th July 2014

Where: GSI Bad Godesberg (Gustav Stresemann Institut)

Who: 59 participants from France, Russia and Germany

18 lectures

37 poster



BMBF „Conditioning“ Session at MRS 2015

Scientific Basis for Nuclear Waste Management

When: November 2nd to 6th, 2015

Where: Montpellier, France

Organisation: Young scientists & me

Abstract deadline: April 27th, 2015



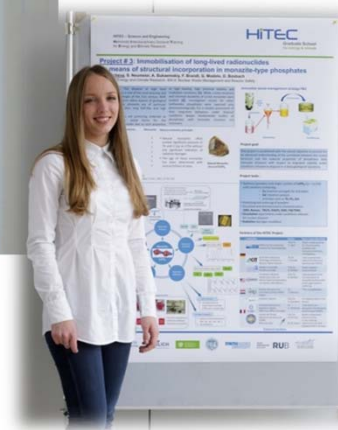
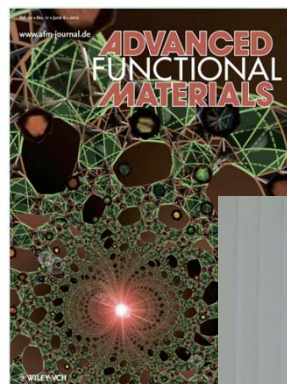
Publications & awards

12 Paper (accepted)

22 Poster

3 have been awarded

27 Presentations
&
7 invited talks



Dr. Sarah Finkeldei →

Promotionspreis Fachgruppe Nuklearchemie der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh)

➤ **Network works perfectly**

- Interesting topic
- Good combination of different expertise of project partners, but with scientific overlaps
- Well educated and highly motivated young scientist
-

➤ **High output**

- Results of high quality in all WPs
- High international visibility number of presentations at national & international conferences
- Remarkable number of publications in renowned journals
 - More will follow this and next year

➤ **What's next?**

- Final experiments until end of year
- Publication in journals & BMBF report
- Keeping the network & competence



Conditioning 2

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung
02NUK021



„Thank you for your kind attention“

Verbund

„Transfer von Radionukliden in aquatischen Ökosystemen“



HelmholtzZentrum münchen

Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt



TransAqua



Technische Universität München



Friedrich-Schiller-Universität Jena



gefördert vom



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

02NUK030
06/2013 – 05/2017

Koordination:
Jochen Tschiersch, HMGU
Kerstin Hürkamp, HMGU

Ziele des Verbundes

- Abschätzung der Strahlenexposition des Menschen über aquatische Expositionspfade
- Verständnis der hydrogeochemischen und biologischen (mikrobiellen) Prozesse bei der Freisetzung und beim Transport von Radionukliden
- Bewertung der Sensitivität von unterschiedlichen Reservoirien (fluviale Systeme, Grundwasser, Trinkwasser, Abwassersysteme) bzgl. Radionuklideinträgen
- Erstellung von Prognosemodellen für die Radionuklidausbreitung
- Bewertung der gesundheitlichen Risiken und Auswirkungen auf den menschlichen Körper (Strahlenrisikoanalyse)
- Erarbeitung von Strategien zur Minimierung der Exposition

gefördert vom

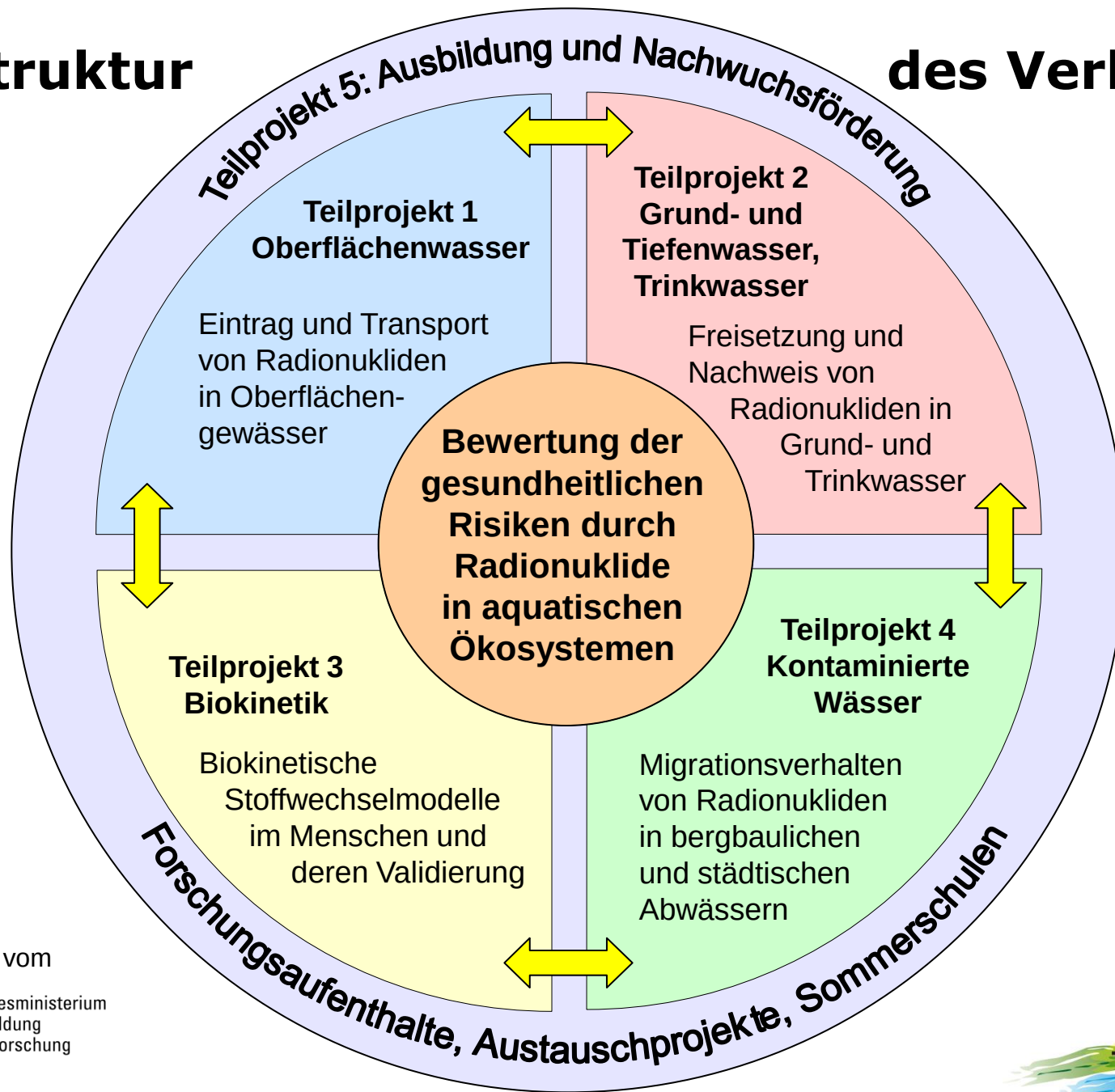


Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Struktur

des Verbundes



gefördert vom



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

TransAqua- Transfer von Radionukliden in aquatischen Ökosystemen

Teilprojekt 1: Oberflächenwasser

1.1 Natürliche und künstliche Radionuklide als Tracer in fluvialen Systemen
H. Fischer
(Universität Bremen)

1.2 Transport von Radionukliden von einem Schneefeld in Vorfluter: Bilanzierung am Beispiel des Reintals, Zugspitze
K. Hürkamp, J. Tschiersch
(Helmholtz Zentrum München)

1.3 Das Verhalten von Plutonium in der Schnee-Hydrosphäre
T. Shinonaga
(Helmholtz Zentrum München)

1.4 Messung und Modellierung der Verteilung und des Transportes von Radiocäsium in einem eutrophen Seesystem
E. Klemt
(Hochschule Ravensburg-Weingarten)

1.5 Nachweis langlebiger Spaltprodukte in aquatischen Ökosystemen mit Beschleuniger-Massenspektrometrie
G. Korschinek, T. Faestermann
(Technische Universität München)

Teilprojekt 2: Grund- und Tiefenwasser, Trinkwasser

2.1 Entwicklung eines Detektors zum empfindlichen Online-Nachweis von Radionukliden im (Trink-)Wassernetz
B. Breustedt, C. Wilhelm
(Karlsruher Institut für Technologie)

2.2 Sensitivität von Trinkwasserreservoirs im Bezug auf den Eintrag von künstlichen Radionukliden
B. Riebe (Universität Hannover)

2.3 Freisetzung von Radium an der Grenzfläche Gestein-Wasser
M. Köhler, D. Degering, D. Walther (VKTA Dresden)

2.4 Hydrogeochemischer und mikrobieller Einfluss auf den Transfer von Radionukliden im Grund- und Tiefenwasser
G. Büchel, E. Kothe
(Universität Jena)

2.5 Untersuchung und Bewertung des reaktiven Stofftransports von Radionukliden in heterogenen Grundwassersystemen
P. Maloszewski, C. Stumpp
(Helmholtz Zentrum München)

Teilprojekt 3: Biokinetische Modelle

3.1 Untersuchungen zur Biokinetik inkorporierter Radionuklide aus aquatischen Ökosystemen zur verbesserten Dosisabschätzung
U. Oeh, V. Höllriegel, W. Li
(Helmholtz Zentrum München)

3.2 Spektroskopische Bestimmung der Bindungsform (Speziation) trivalenter Actinide/Lanthanide in Biofluiden des menschlichen Gastrointestinaltraktes
A. Barkleit
(Helmholtz Zentrum Dresden-Rossendorf)

Teilprojekt 4: Kontaminierte Wässer

4.1 Bestimmung und Modellierung der Partitionierung von künstlichen und natürlichen Radionukliden in Klärschlamm und Abwasser
H. Fischer, V. Hormann
(Universität Bremen)

4.2 Abschätzung der radiologischen Auswirkungen von Nuklearunfällen auf die städtische Trinkwasserversorgung und Stadtentwässerung
J.C. Kaiser
(Helmholtz Zentrum München)

4.3 Untersuchungen zu den Wechselwirkungen zwischen unter Tage lebenden Mikroorganismen mit Uran
T. Arnold
(Helmholtz Zentrum Dresden-Rossendorf)

Teilprojekt 5: Ausbildung und Nachwuchsförderung

Forschungsaufenthalte, Austauschprojekte, Sommerschulen

W. Rühm (Helmholtz Zentrum München), B. Breustedt (Karlsruher Institut für Technologie), E. Kothe (Universität Jena)

Geplanter Gewinn und Nutzen des Verbundes

- Exzellente Beiträge zu den wissenschaftlichen Fragestellungen
- Empfehlungen für Behörden
- Zusammenarbeit im Verbund
- Ausbildung von wissenschaftlichem Nachwuchs
(8 Doktoranden, 12 Postdocs)
- Bildung einer radioökologischen Community
(9 führende deutsche Radioökologie-Organisationen)

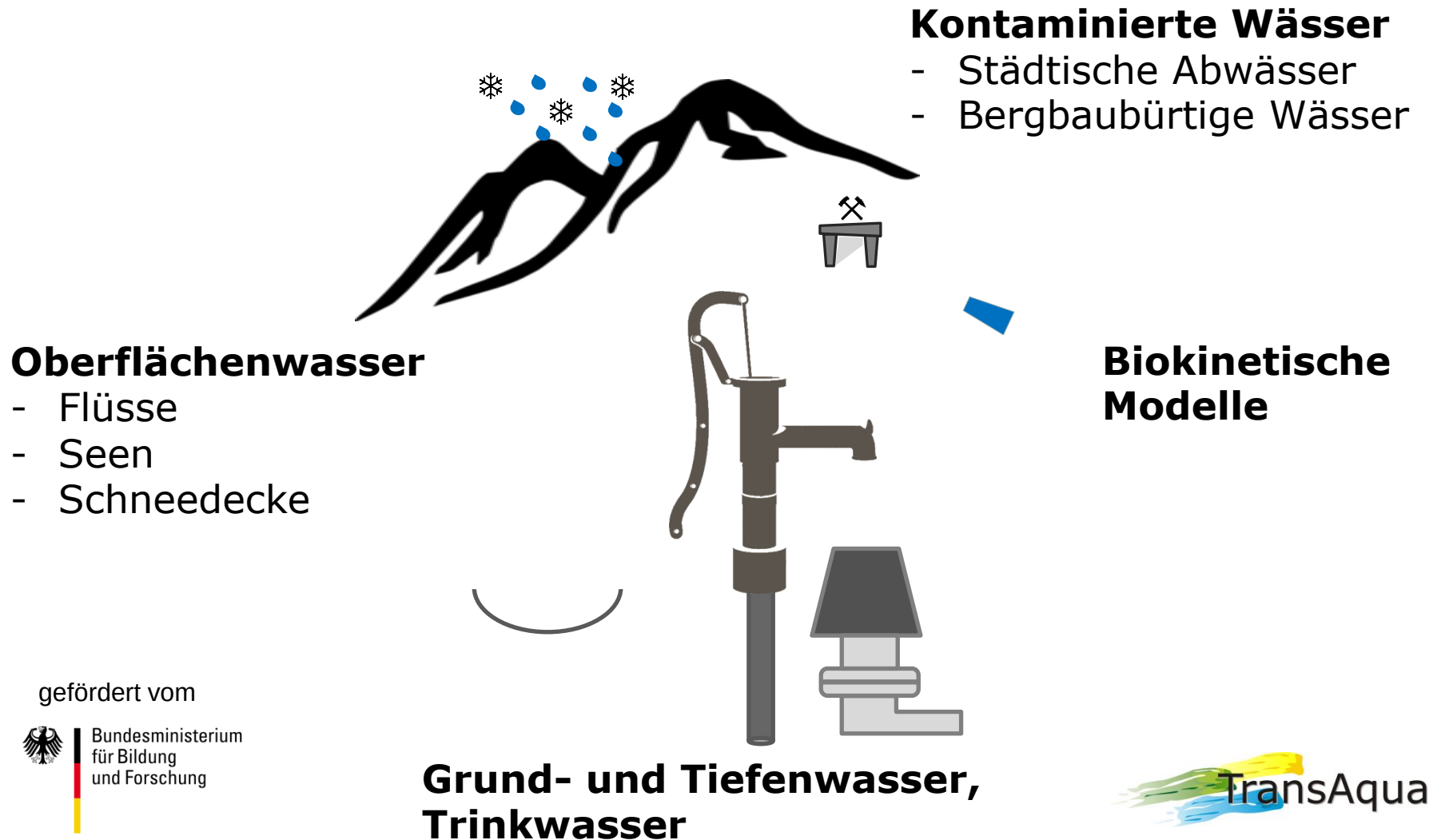
gefördert vom



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Teil 2 - Ergebnisse



TP 1 - Oberflächenwasser



AP 1.1: **Radionuklide als Tracer in fluvialen Systemen**

H. Fischer, Uni Bremen

AP 1.2: **Transport von Radionukliden in Schnee und Schmelzwasser**

K. Hürkamp, J. Tschiersch, HMGU

AP 1.3: **Verhalten von Plutonium im Schnee**

T. Shinonaga, HMGU

AP 1.4: **Verteilung und Transport von Radiocäsium in Seen**

E. Klemt, HS Ravensburg-Weingarten

AP 1.5: **Nachweis langlebiger Spaltprodukte mit Beschleuniger-Massenspektrometrie**

G. Korschinek, TUM

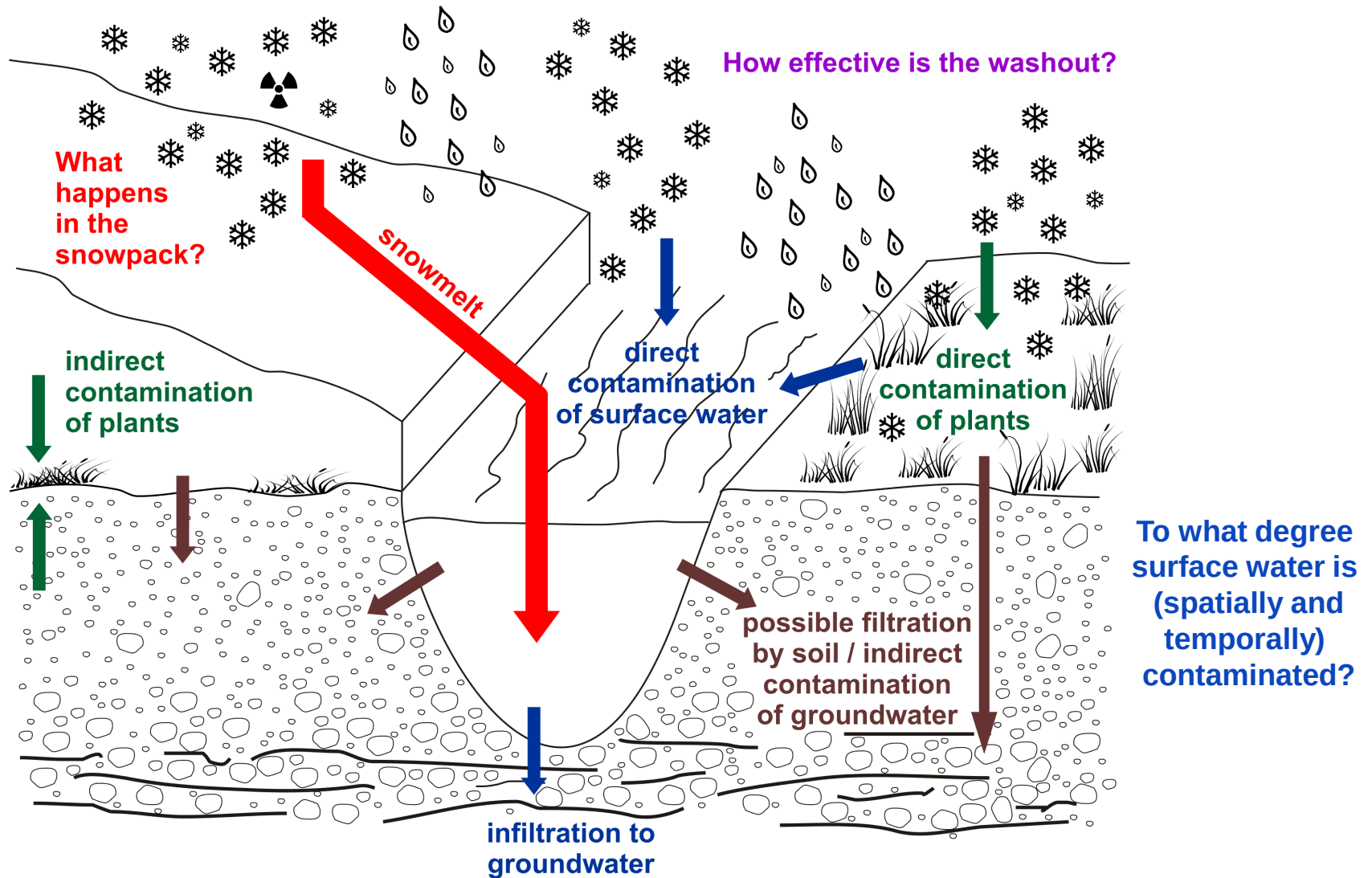
gefördert vom



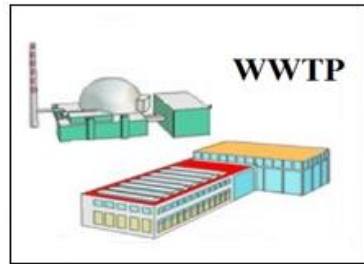
Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Radionuklideinträge in aquatische Ökosysteme



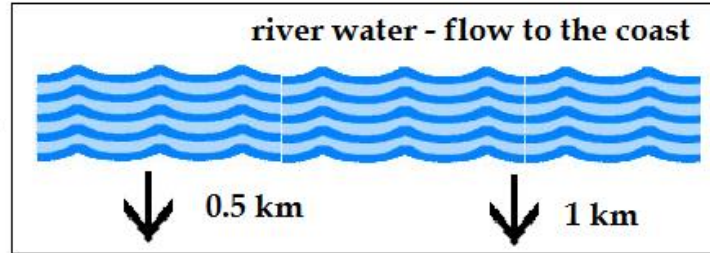
Messung und Modellierung des Transfers im Fluss- (AP 1.1) und Seesystem (AP 1.4)



I-131 : 327 mBq/kg



I-131 : 87 mBq/kg
Dilution: 4

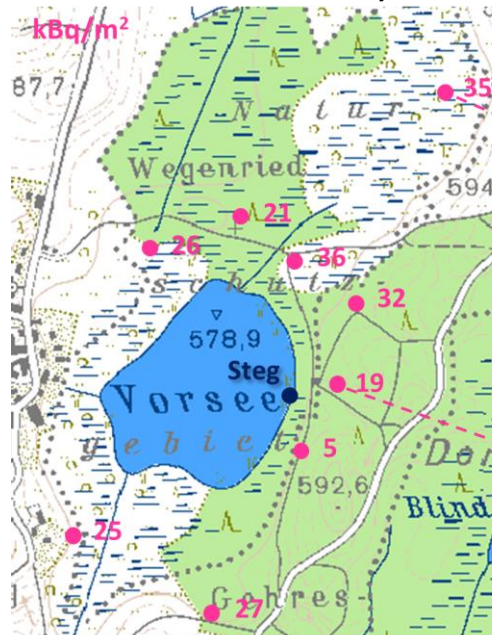


I-131 : 2.4 mBq/kg
Dilution : 135

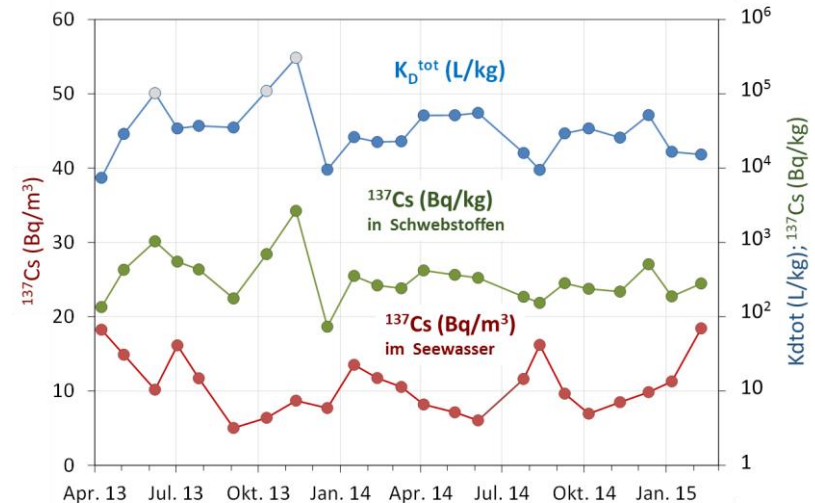
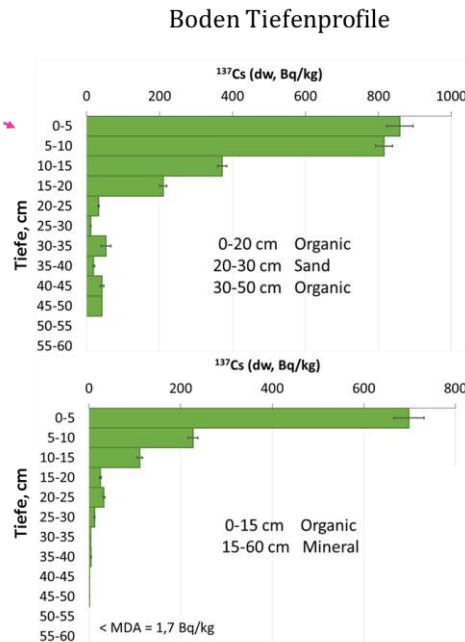
I-131 : < 1.4 mBq/kg
Dilution : > 237

I-131 in
Weser-
Wasser
bei Bremen

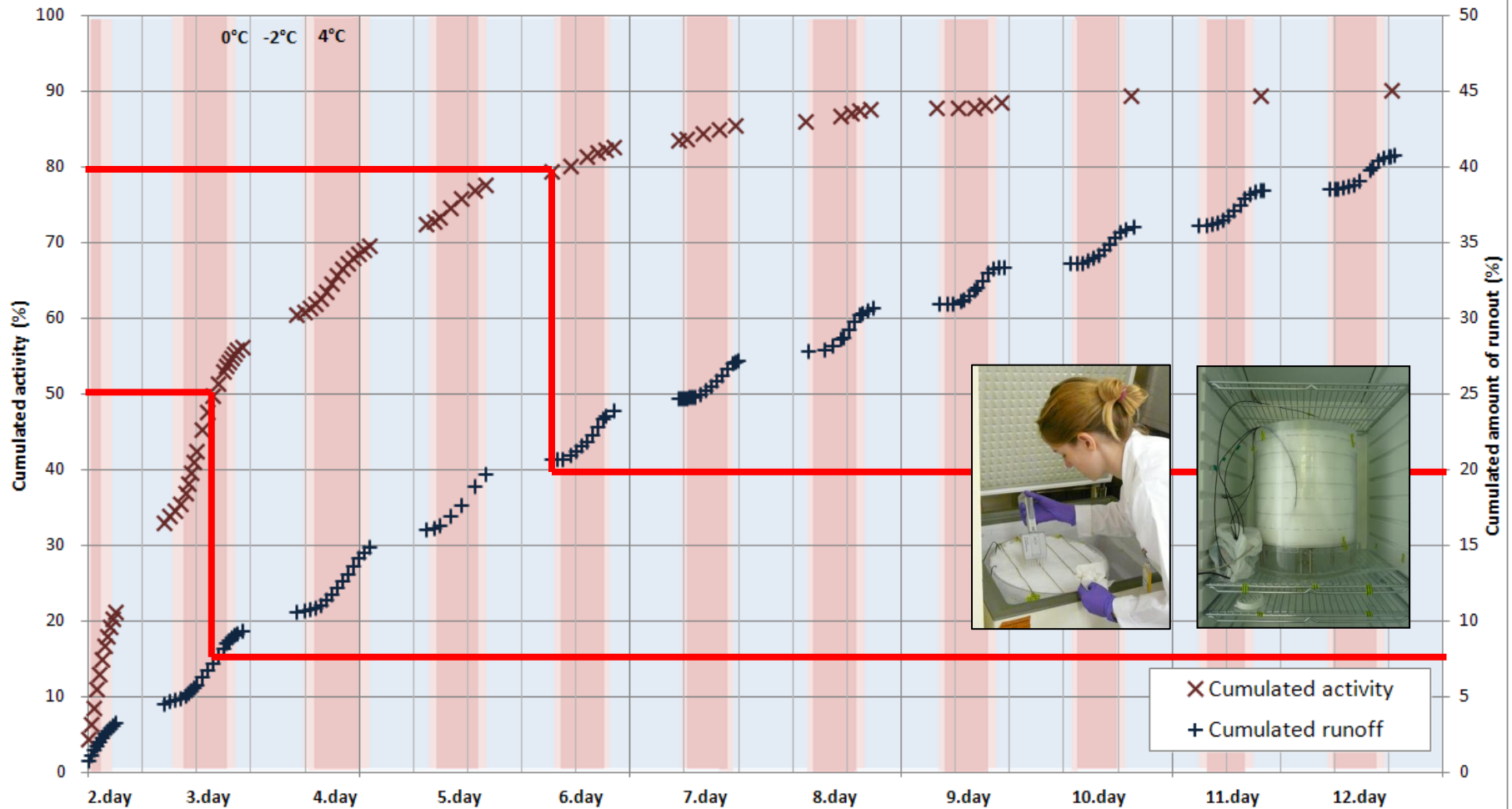
Cs-137 in Boden, Wasser und Schwebfracht des Vorsees



auf den 01.05.1986 zerfallskorrigiert



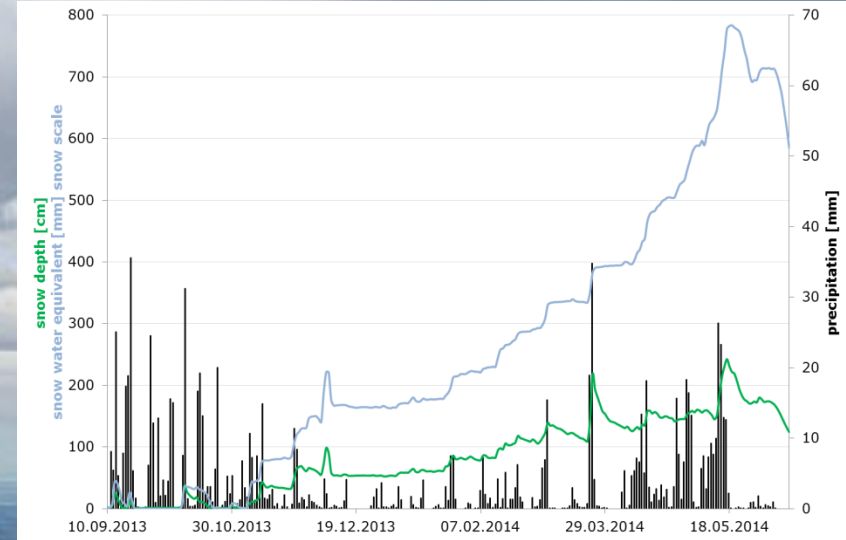
Tracer-Versuche mit ^{134}Cs und ^{85}Sr in Schneesäulen



50 % der Radionuklide in ersten 7 % des Schmelzwassers enthalten,
~80 % werden mit ersten 20 % des Schmelzwassers freigesetzt!

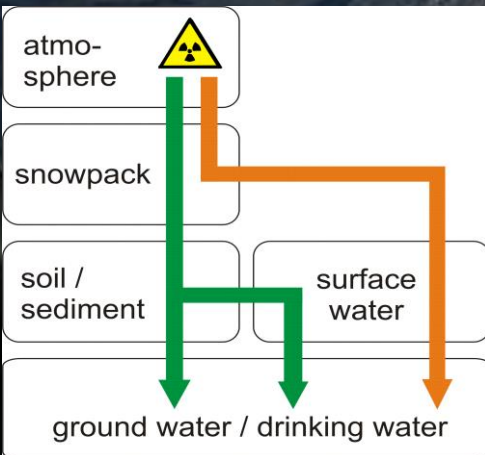
Bilanzierung der Radionuklide in Schnee und Schmelzwasser

Zugspitze

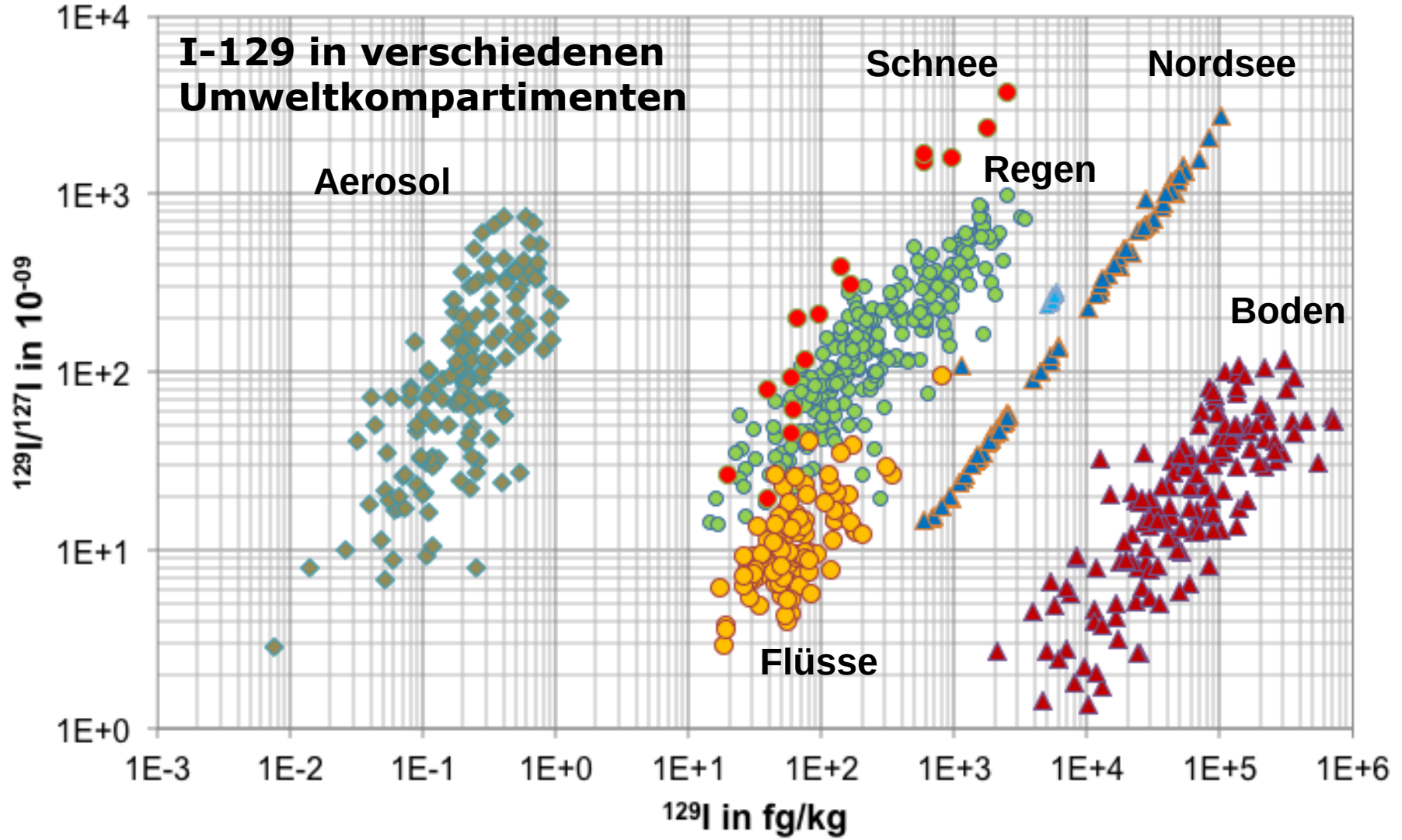


Zugspitzplatt

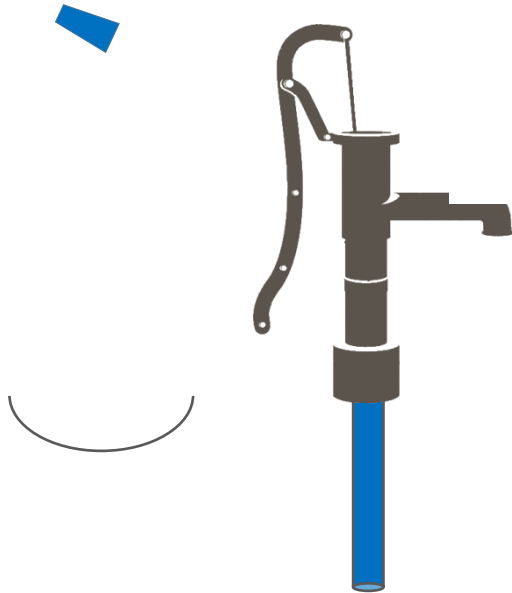
Reintal



I-129 in verschiedenen Umweltkompartimenten



TP 2 – Grund- und Tiefenwasser, Trinkwasser



AP 2.1: **Entwicklung eines Detektors zum Online-Nachweis von Radionukliden im Trinkwassernetz**

B. Breustedt, KIT

AP 2.2: **Sensitivität von Trinkwasserreservoiren im Bezug auf Radionuklideinträge**

B. Riebe, Uni Hannover

AP 2.3: **Freisetzung von Radium an der Grenzfläche Gestein-Wasser**

M. Köhler, VKTA

AP 2.4: **Hydrogeochemischer und mikrobieller Einfluss auf Transfer von Radionukliden in Grund- und Tiefenwasser**

G. Büchel, E. Kothe, Uni Jena

AP 2.5: **reaktiver Stofftransport in heterogenen Grundwassersystemen**

P. Maloszewski, C. Stumpp, HMGU

Sensitivität von Trinkwasserreservoiren (AP 2.2)



Leibniz
Universität
Hannover

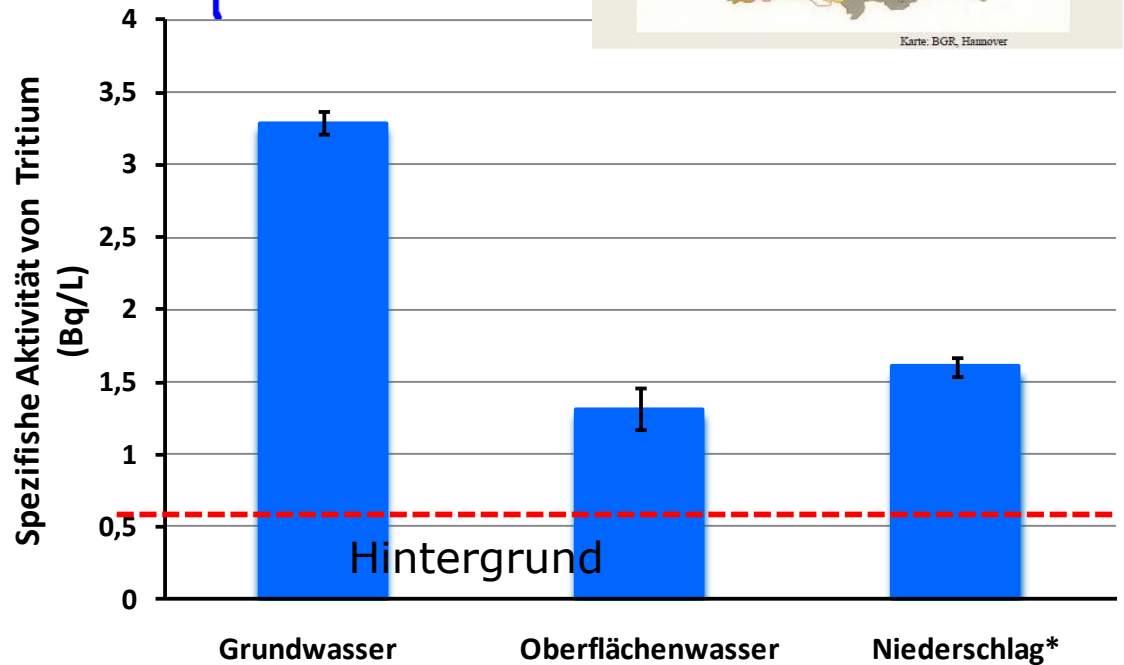
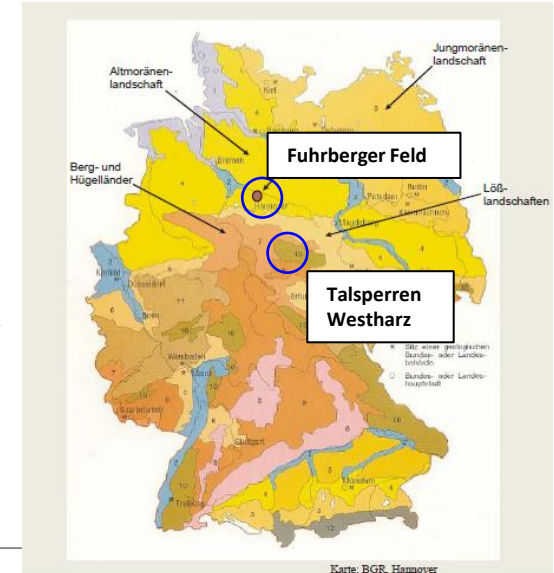
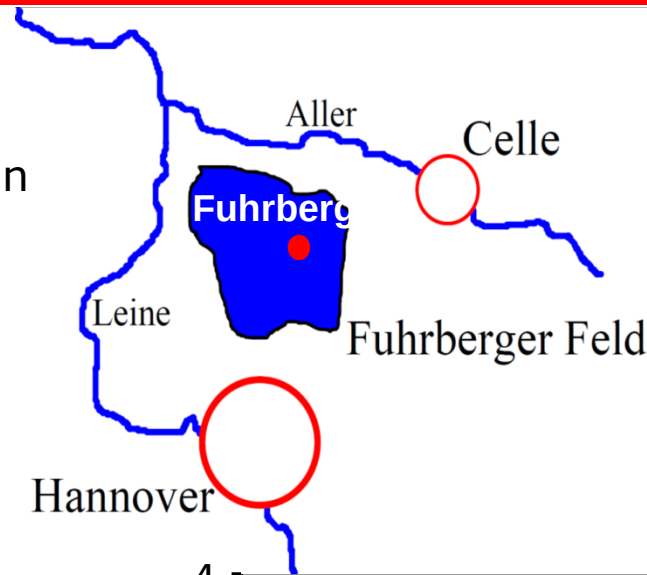


^3H , ^{14}C , ^{36}Cl , ^{90}Sr , ^{129}I ,
 $^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$ in Stoffkreisläufen
von Geosphäre, Hydrosphäre,
Atmosphäre und Biosphäre

Rohwasser-Beprobung
**2 Trinkwassergewinnungs-
gebiete (Fuhrberg,
Talsperre)**, Trinkwasser,
Böden, Zuflüsse, Sedimente

Zusammenwirken
**geochemischer Reaktionen
- geohydraulische Vorgänge**

**Prüfung der Sensitivität von
Reservoiren in Hinblick auf
Radionuklideinträge und
-akkumulation**



Freisetzung von Radium an der Grenzfläche Gestein-Wasser (AP 2.3)

Motivation

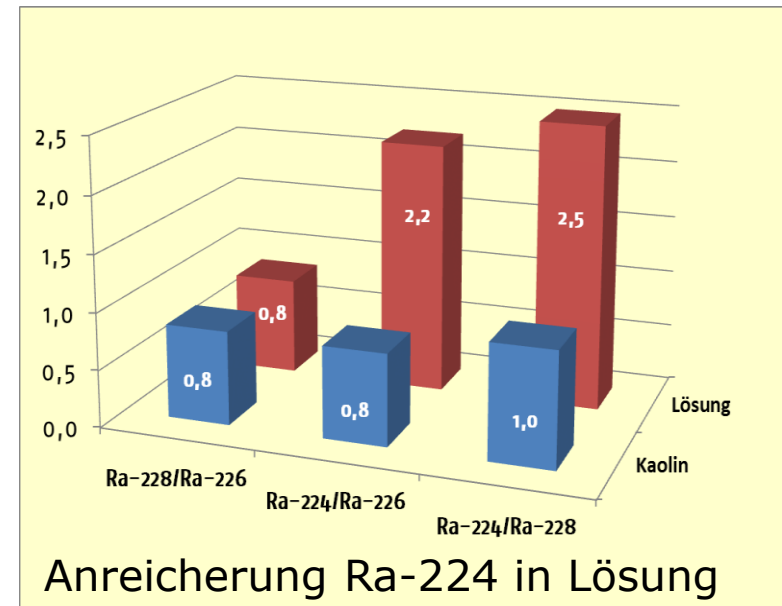
Strahlenschutzrelevante Anreicherung von Radium in Ablagerungen an Anlagenteilen bei geothermischer Nutzung der salinen Grundwässer auf $\geq 100 \text{ Bq/g}$

Ziele

- Experimente zur Freisetzung von Ra an Gesteinsoberflächen im Labormaßstab
- Bestimmung von physikochemischen (Lösung, Sorption, ...) und kernphysikalischen (α -Rückstoß) Anteilen der Radiumfreisetzung
- Vergleich Experiment - reale Systeme
Geothermie mit Modellrechnungen
- Optimierung eines Prognosemodells



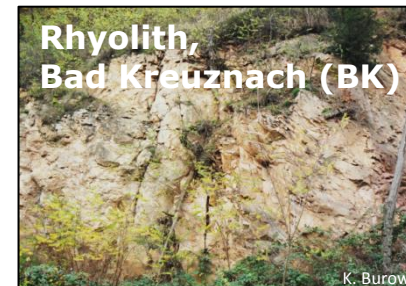
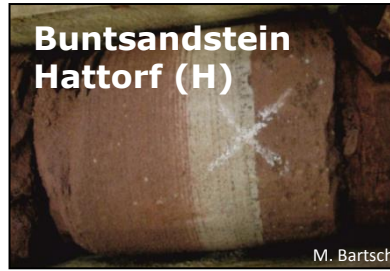
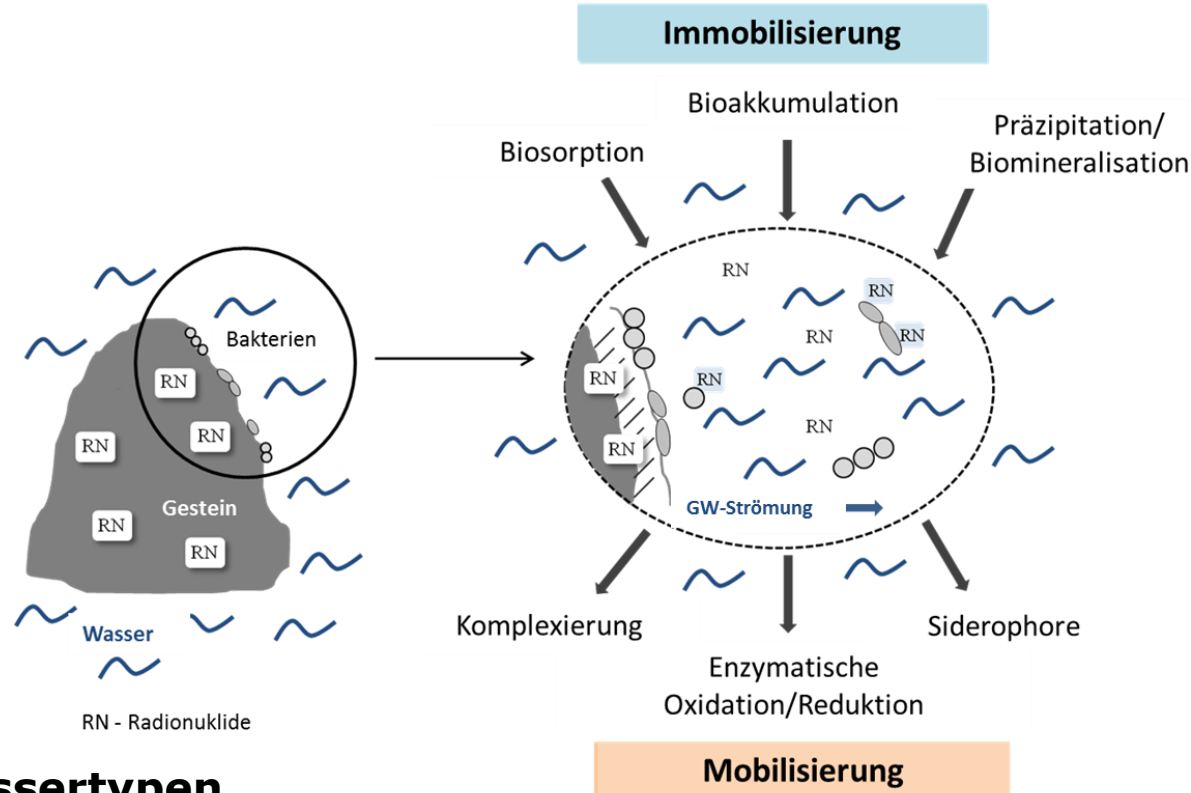
Ablagerung vom Wärmetauscher einer Geothermieranlage.



Anreicherung Ra-224 in Lösung

Aktivitätsverhältnisse in Kaolin und in Lösung

Mikrobiologische Freisetzung von Radionukliden aus dem Gestein/Grundwasser (AP 2.4)



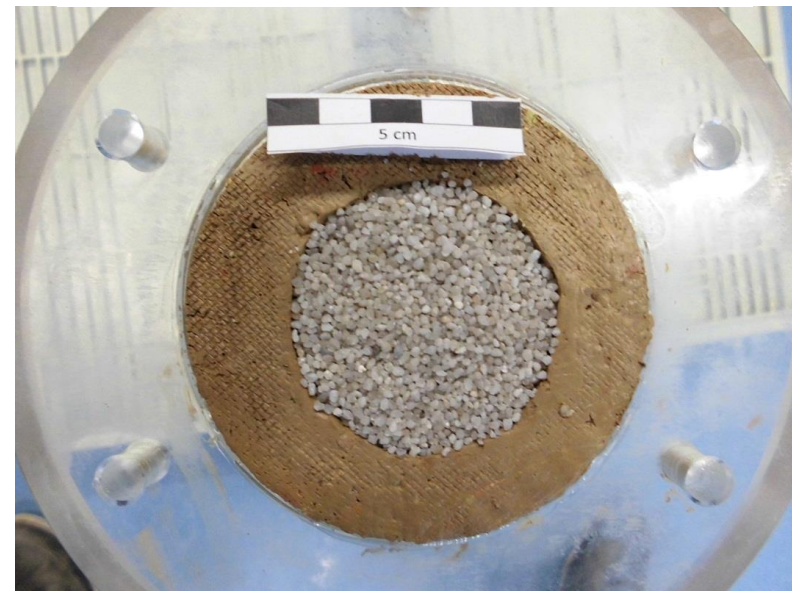
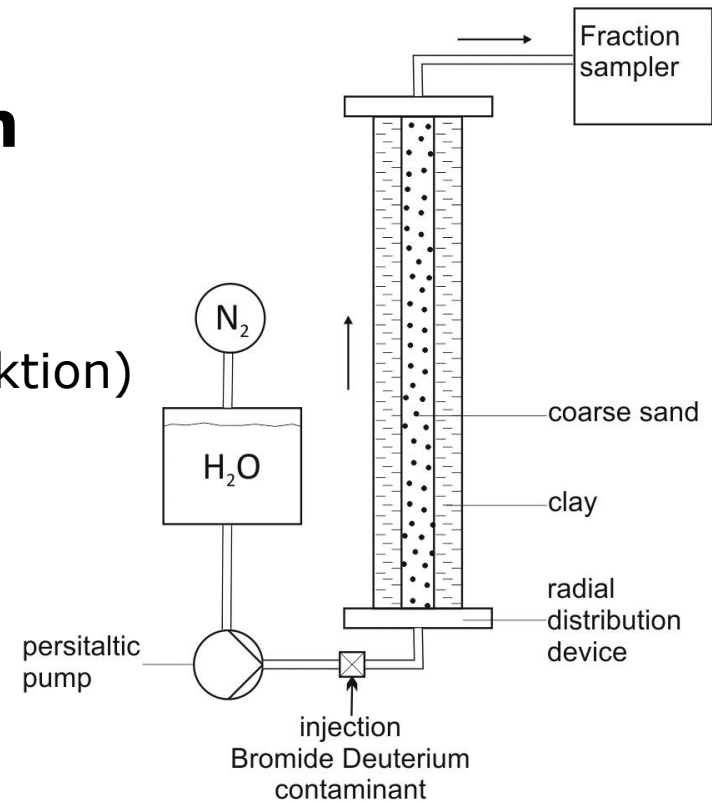
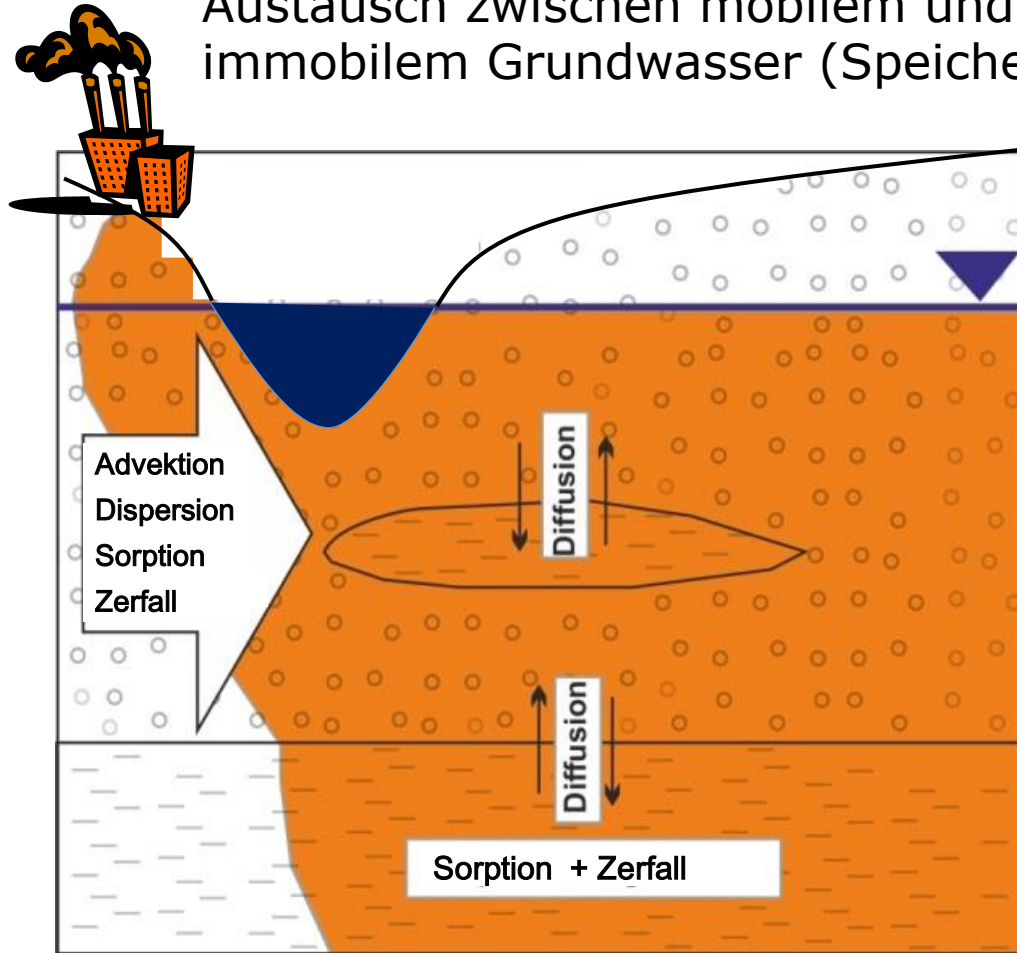
Wassertypen

H: Na-Cl; *Sole* **M:** Ca-Mg-SO₄; *sauer, ARD* **BK:** Na-Cl; *Thermalwasser*

	Wasser [Bq/L]					Gestein [Bq/kg]			
	²³⁸ U	²²⁸ Th	²²⁸ Ra	²²⁶ Ra	²²² Rn	²³⁸ U	²²⁸ Th	²²⁸ Ra	²²⁶ Ra
H	< 0,58	< 0,04	< 0,14	< 0,04	<i>n.b.</i>	<i>n.b.</i>			
M	in Arbeit					in Arbeit			
BK	< 0,43	< 0,13	15,5	23,3	70-120	50	104	103	46,3

Bewertung des reaktiven Stofftransports in heterogenen Grundwasserleitern (AP 2.5)

Austausch zwischen mobilem und immobilem Grundwasser (Speicherfunktion)



TP 3 – Biokinetische Modelle



**AP 3.1: Untersuchungen zur Biokinetik
inkorporierter Radionuklide aus
aquatischen Ökosystemen zur verbesserten
Dosisabschätzung**

U. Oeh, HMGU

**AP 3.2: Spektroskopische Bestimmung der
Bindungsform trivalenter
Actinide/Lanthanide in Biofluiden des
menschlichen Gastrointestinaltraktes**

A. Barkleit, HZDR

gefördert vom



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Speziation von Aktiniden/Lanthaniden in Biofluiden des Gastrointestinaltraktes (AP 3.2)

Motivation

- Transport und chemische Bindungsformen von An(III)/Ln(III) im Verdauungstrakt?

Ziel

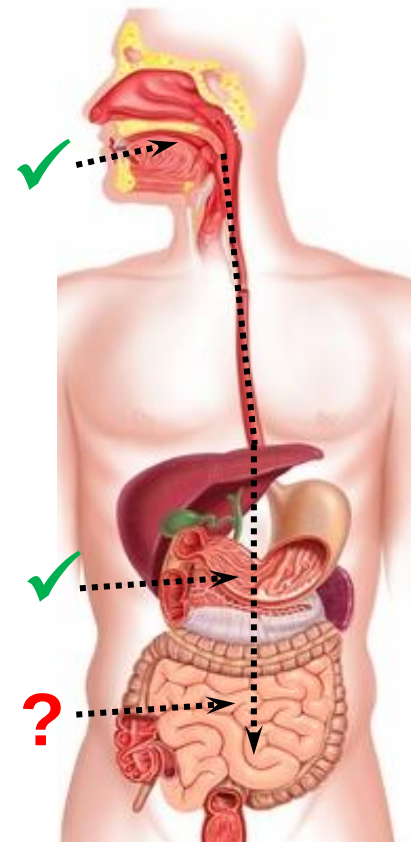
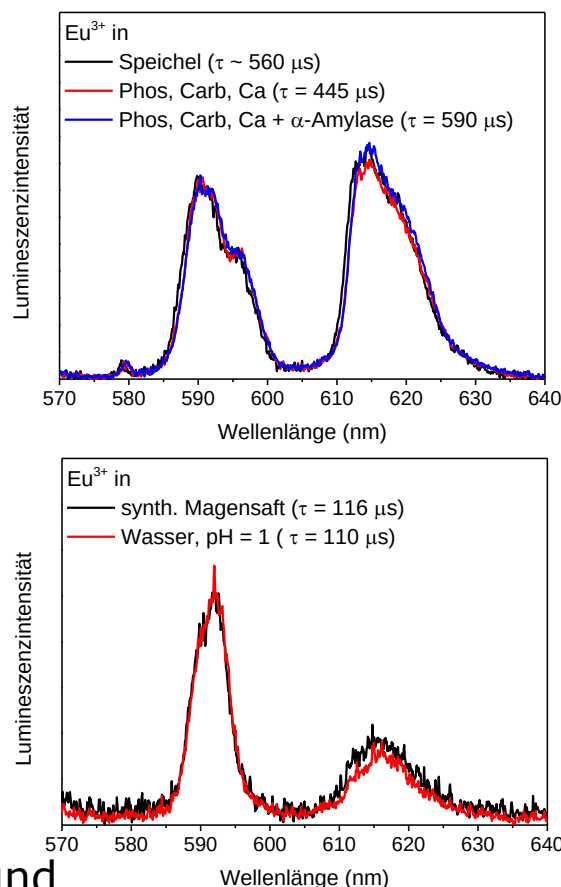
- Identifizierung der dominierenden Bindungspartner von Eu(III)/Cm(III) in Biofluiden des Verdauungstraktes mittels zeitaufgelöster laserinduzierter Fluoreszenzspektroskopie
- Charakterisierung der dominierenden Bindungsformen mit verschiedenen spektroskopischen Methoden

Ergebnisse

- Speichel***: Komplexierung von Eu(III) und Cm(III) durch Phosphat, Carbonat (+ Calcium) und das Enzym α -Amylase
- Magen**: Vollständige Dekomplexierung von Eu(III) aufgrund des sauren pH-Wertes des Magensaftes

* Publikation:

A. Barkleit et al., *Chem. Res. Toxicol.* (2015) eingereicht

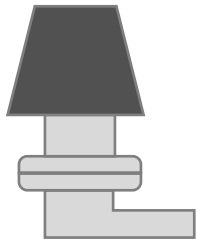


TP 4 – Kontaminierte Wässer



AP 4.1: Modellierung der Partitionierung von Radionukliden in Klärschlamm und Abwasser
V. Hormann, Uni Bremen

AP 4.2: Abschätzung der radiologischen Auswirkungen von Nuklearunfällen auf die städtische Trinkwasserversorgung und Stadtentwässerung
J.C. Kaiser, HMGU



AP 4.3: Untersuchung zu den Wechselwirkungen zwischen unter Tage lebenden Mikroorganismen mit Uran
T. Arnold, HZDR

gefördert vom

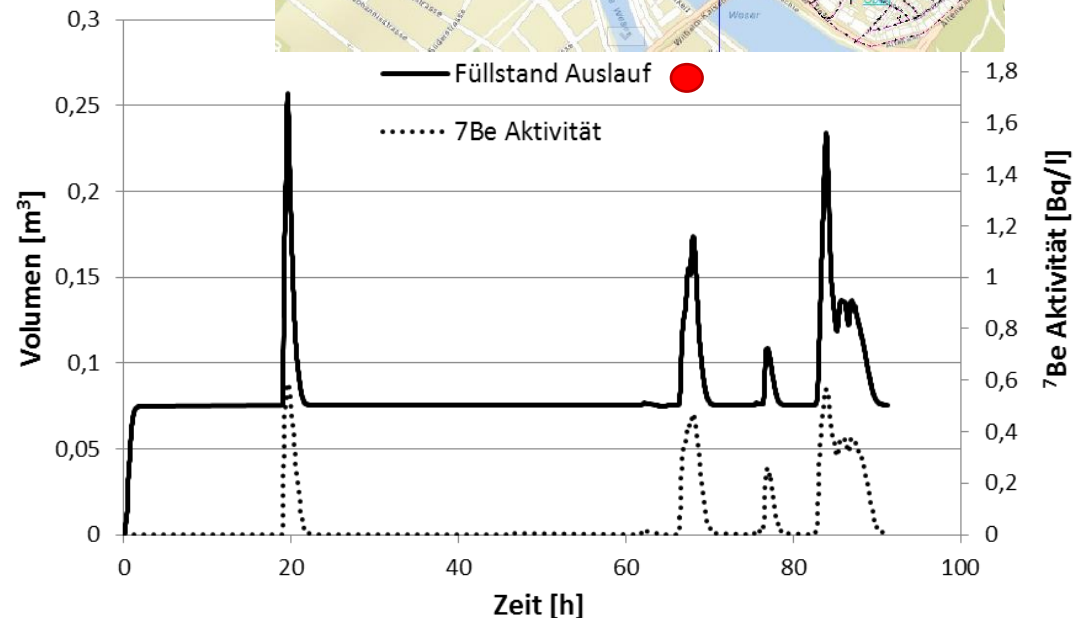


Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



HelmholtzZentrum münchen
Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt

-



Universität Bremen

Teil 3 – Gewinn

Wissenschaft: Publikationen und Konferenzbeiträge

International Conference on Radioecology and Environmental Radioactivity (ICRER 2014), Barcelona 2014:

5 Vorträge und 4 Poster

Zusammenarbeit im Verbund

Laborbesuche, Probenaustausch, Methodenvergleich
(→ Synergien)

Bildung einer radioökologischen Community

- Kick-off-Meeting sowie halbjährliche Workshops (Neuherberg 06/13, Hannover 03/14, Karlsruhe 11/14, Bremen 04/15)
- Gemeinsame Homepage <http://transaqua.helmholtz-muenchen.de/>

[Verbund](#) |
 [Teilprojekte](#) |
 [Abgeschlossene Projekte](#) |
 [Publikationen](#) |
 [Aktuelles](#) |
 [Workshops](#) |
 [Interner Bereich](#)

TransAqua

TEILPROJEKTE

TP 1: OBERFLÄCHENWASSER

TP 2: GRUND- UND TIEFENWASSER,
TRINKWASSER

TP 3: BIOKINETISCHE MODELLE

TP 4: KONTAMINIERTES WASSER

TP 5: AUSBILDUNG UND
NACHWUCHSFÖRDERUNG

AKTUELLES



WE-Heraeus Physics School

03.08.2015 | on "Ionizing Radiation and Protection of Man", Bad Honnef, 03.-14.08.2015. The scientific...



3. Workshop TransAqua

20.04.2015 | Vom 20.-21.04.2015 findet der 3. Workshop TransAqua auf dem Schulschiff Deutschland in...



2. Projektstatusgespräch NUK

25.03.2015 | Der Projektträger Karlsruhe, Wassertechnologie und Entsorgung (PTKA-WTE) wird am 25. und 26. März...

Suche



GEFÖRDERT VOM

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Förderkennzeichen 02NUK030

MITGLIED IM

KVSF
Kompetenzverbund
Strahlenforschung

PROJEKTPARTNER

HelmholtzZentrum münchen
Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt



Friedrich-Schiller-Universität Jena

KOORDINATION

Institut für Strahlenschutz

TP 5 – Ausbildung und Nachwuchsförderung

Teilnahme an WE Heraeus Sommerschule “Radiation Protection”

5 Doktoranden/Postdocs pro Jahr (2013 und 2014: je 3 Doktoranden)

Organisation von 3 Workshops

- Workshop 1: 25.-27.11.2014, KIT Karlsruhe
Thema: “Aufbereitung von Wasserproben und Radionuklidnachweis in Wasserproben” mit Tutorials von erfahrenen AP-Leitern und Laborbesichtigung
- Workshop 2: Herbst 2015 “Verhalten von Radionukliden im Wasserpfad”
- Workshop 3: Herbst 2016 “Biokinetik von Radionukliden nach Zufuhr flüssiger Stoffe”

Organisation einer Sommerschule 2017

Zusammenfassung aller wesentlichen Ergebnisse

Sie befinden sich hier: [TransAqua](#) > [Workshops](#) > 1. Workshop TP5

1. Workshop TP5

1. Workshop TP5

Suche



"Aufbereitung von Wasserproben und Nachweis von Radionukliden in Wasserproben"

25.-27. November 2014

Karlsruher Institut für Technologie



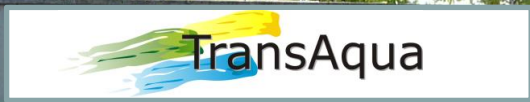
1. TP5 Workshop TransAqua am KIT (Fotos: K. Gückel)

Der erste Workshop des Teilprojekt 5: Ausbildung und Nachwuchsförderung fand vom 25.-27.11.2014 in Karlsruhe am Institut für Sicherheit und Umwelt unter der Leitung von Bastian Breustedt statt.

Neben einer Laborführung durch die Radioanalytischen Labore hielten erfahrene Wissenschaftler Tutorials zu methodischen Themen der Radioanalytik wässriger Proben.

Das Programm kann [hier](#) herunter geladen werden.

Die pdfs der Tutorials stehen ebenfalls zum Download bereit.



**Danke für Ihre Aufmerksamkeit
...und für die Förderung durch das**



**Bundesministerium
für Bildung
und Forschung**

02NUK030

In Vitro Untersuchungen zur Wirkung von dicht und dünn ionisierender Strahlung auf die frühe pränatale Entwicklung

Margot Mayer



hochschule aschaffenburg
university of applied sciences

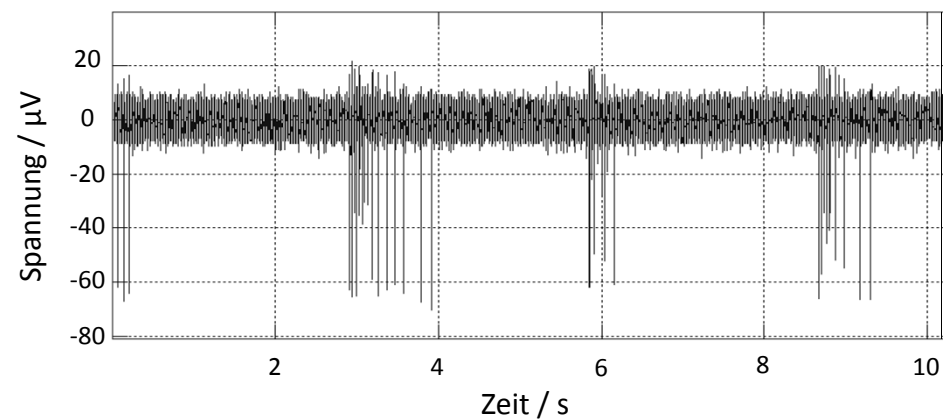
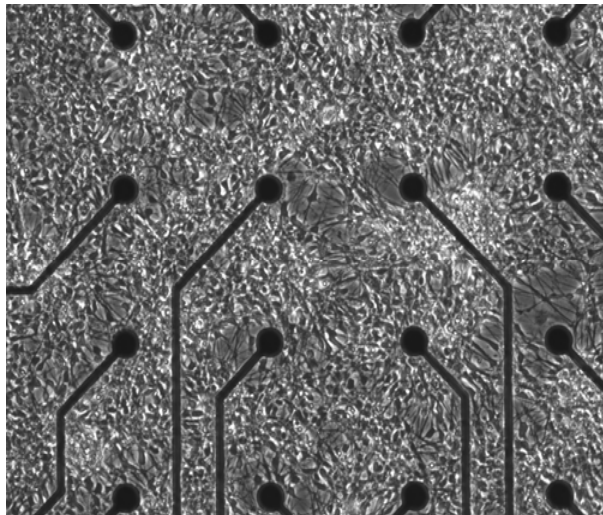
Ziel des Projektes: Genauere Kenntnis der Strahlenwirkung während der frühen Embryonalentwicklung des Menschen

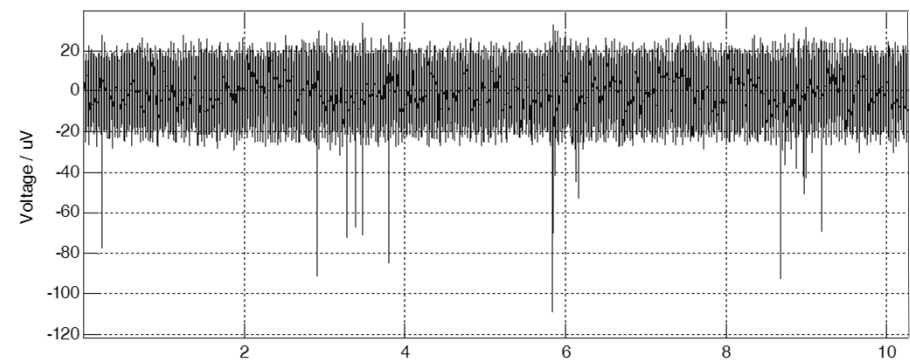
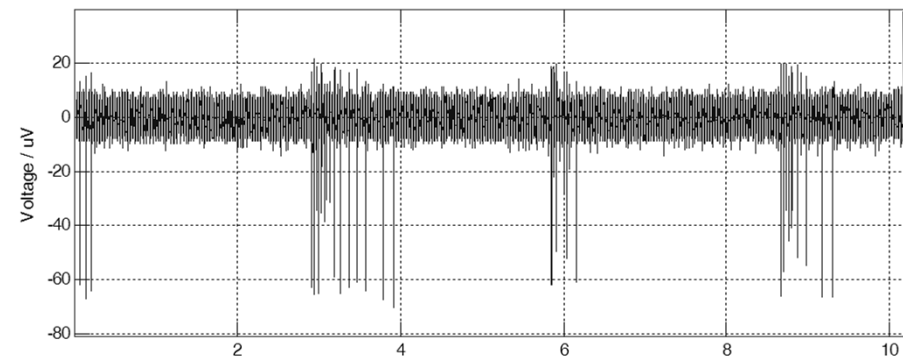
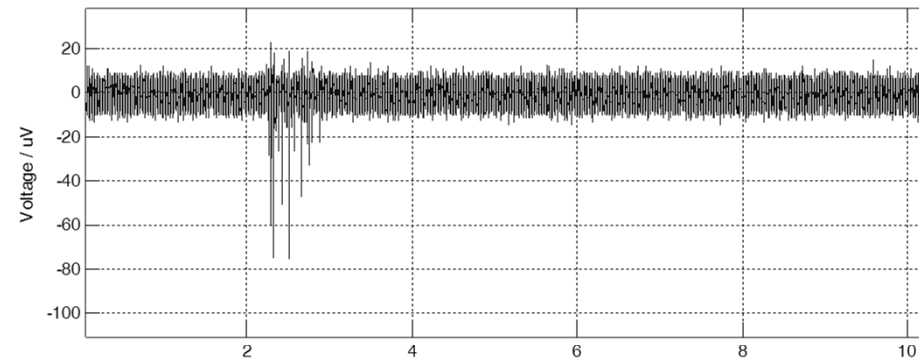
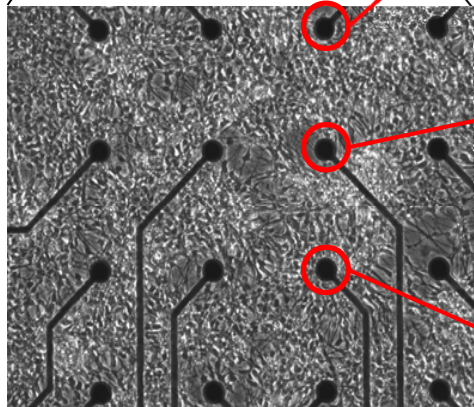
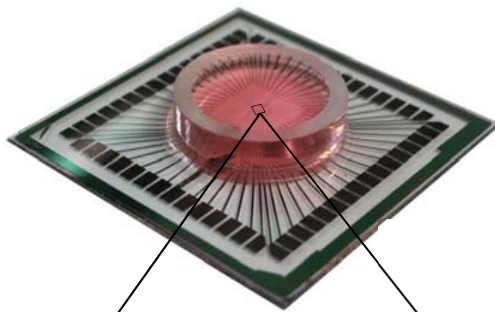


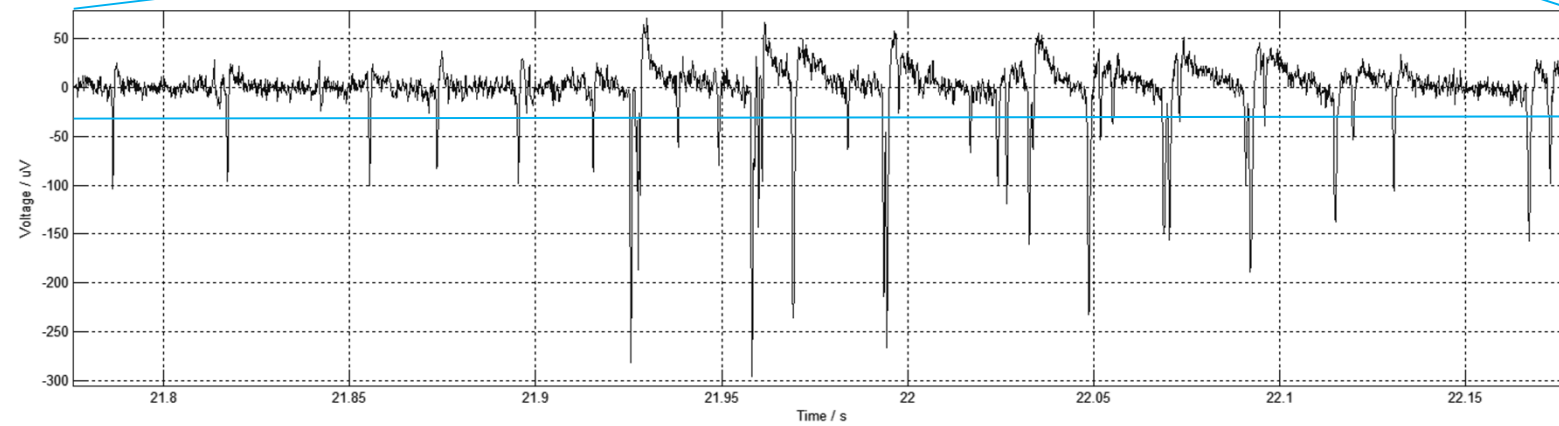
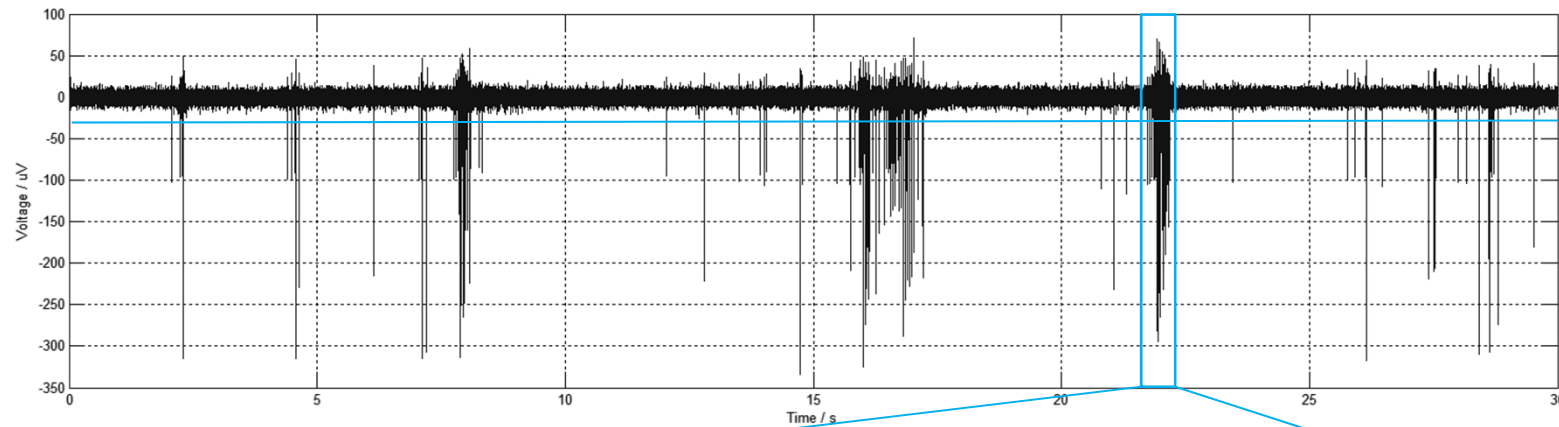
Funktionelle Charakterisierung neuronaler Zellen



Einfluss ionisierender Strahlung auf sich entwickelnde **neuronale Netzwerke**



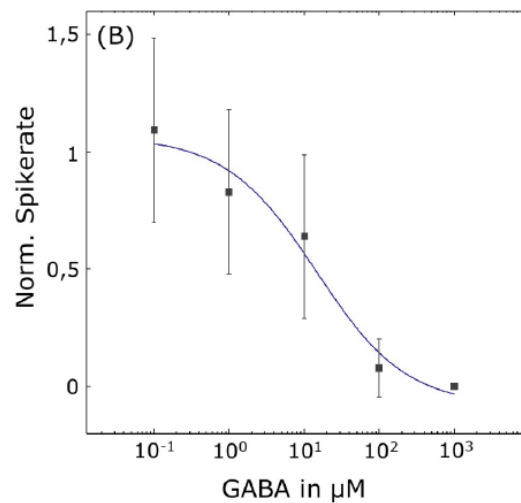




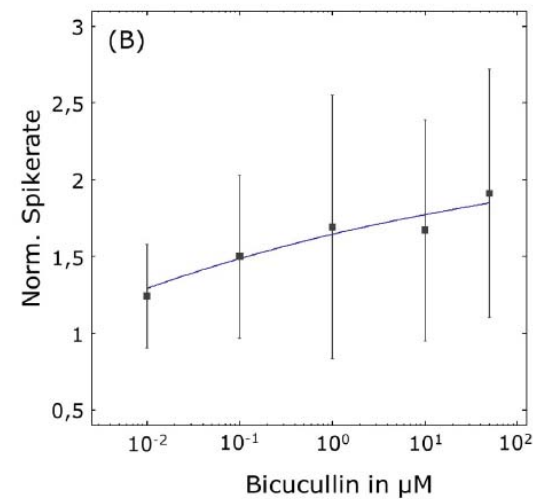
threshold

Parameter:

- Burst und Spike Rate
- Amplitude
- Burstdauer
- Interburst Intervall
- ...



Zugabe von GABA führt zu einer Reduktion der Spikerate

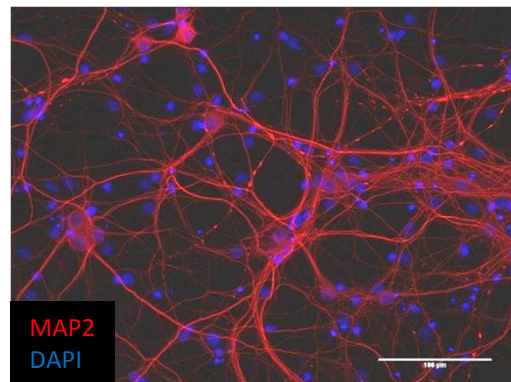


Zugabe von Bicucullin führt zu einer Erhöhung der Spikerate

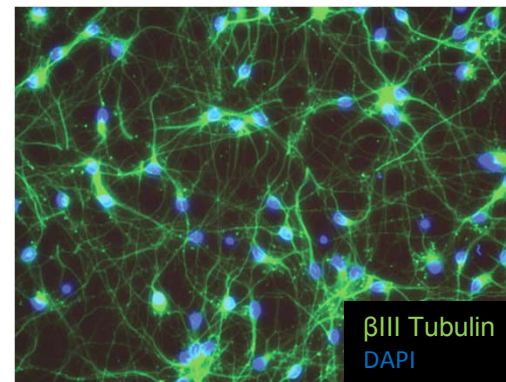
Etablierte embryonale Modelsysteme

Margot Mayer

Primäre, embryonale Rattenneurone

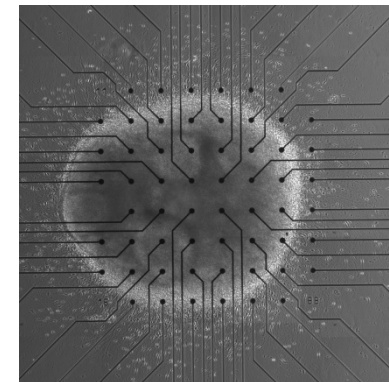


Humane Neurone aus iPS Zellen



Quelle: Cellular Dynamics

Humane Neurosphären

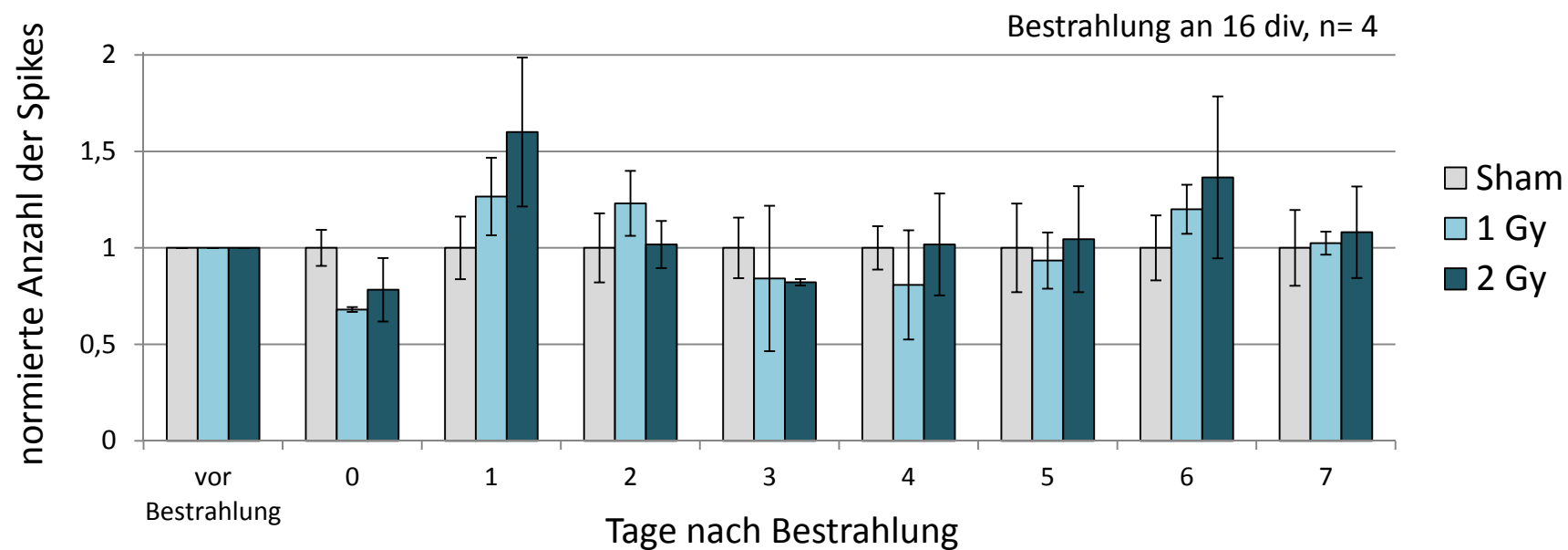
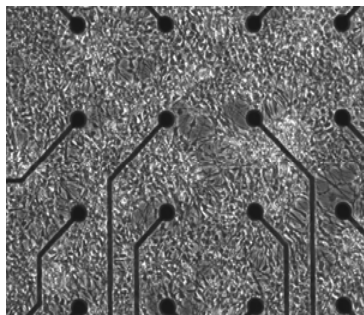


Enthaltene Zelltypen		Herkunft	Kultivierungszeitraum
Primäre Rattenneurone	Neurone und Gliazellen	Primäre Neurone; Ratte 2D	Mehrere Monate
Humane Neurone aus iPS Zellen	Neurone	Aus hiPSC differenzierte Neurone; Human 2D	Etwa 14 Tage
Humane Neurosphären	Neurone und Gliazellen	Aus hESC differenzierte Neurone; Human 3D	> 1 Woche

Kortikale Neurone aus der Ratte

Exposition mit Röntgenstrahlung

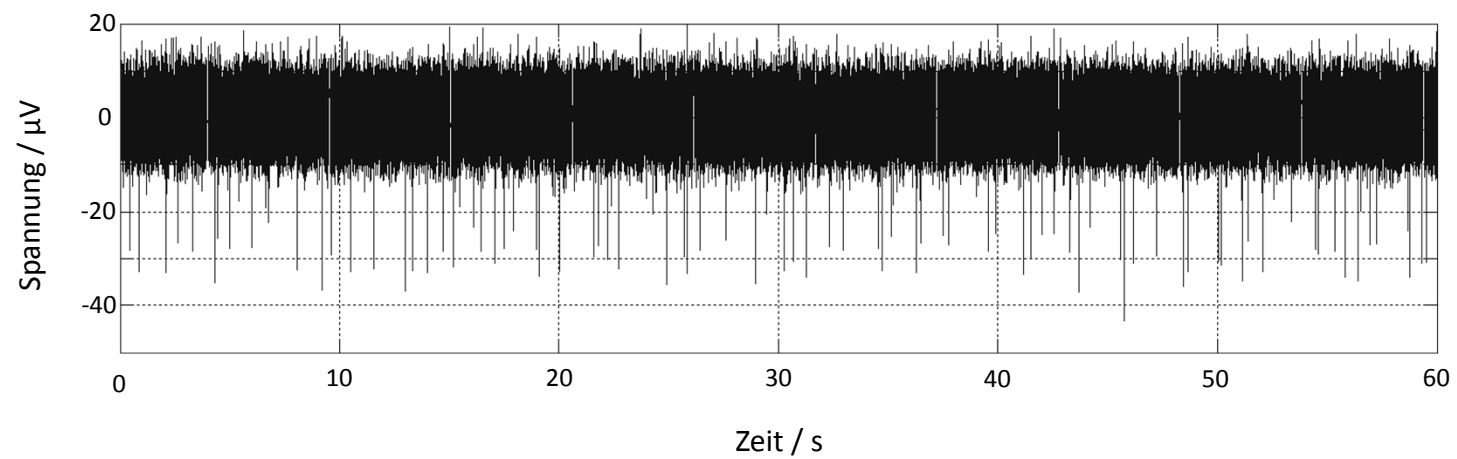
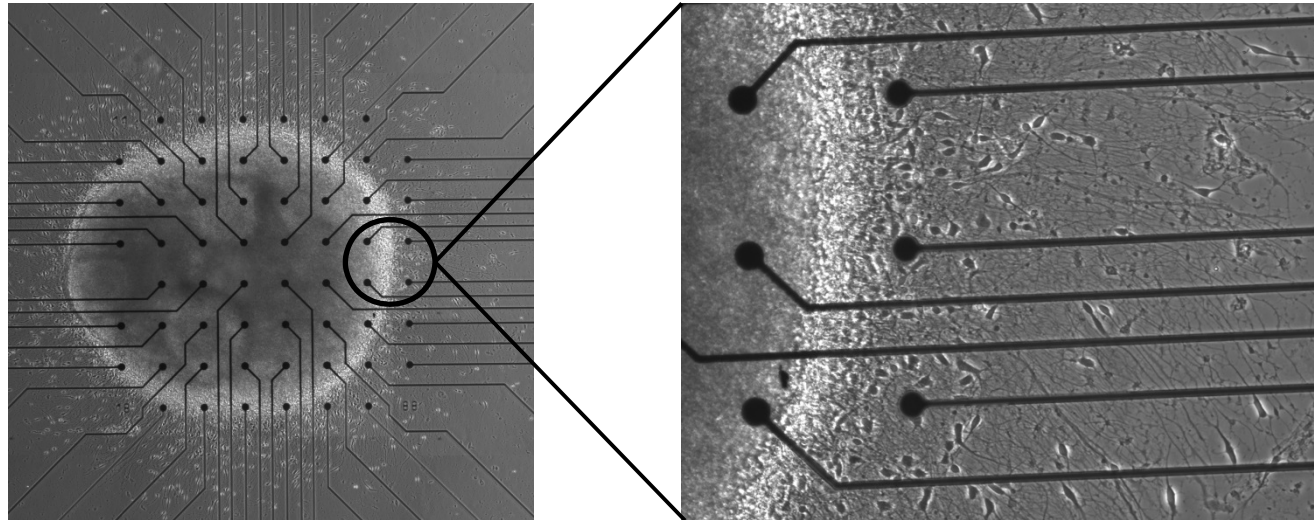
Margot Mayer



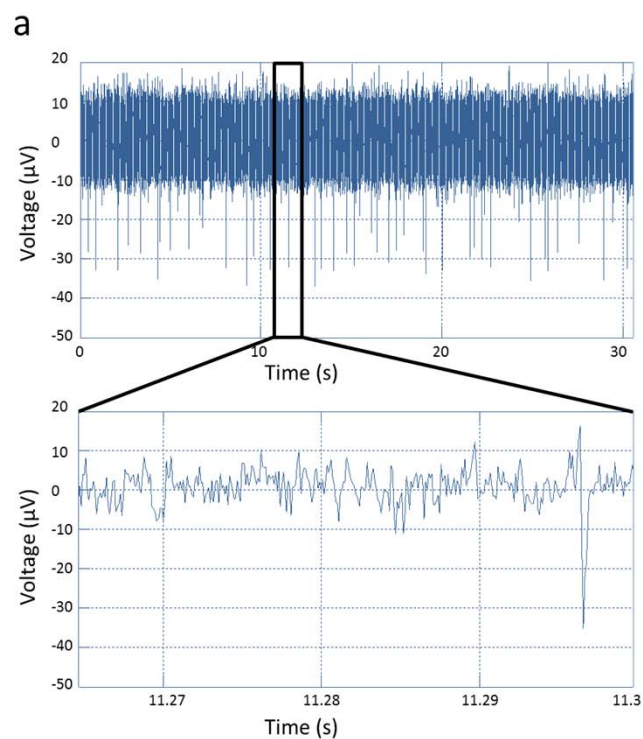
Keine Veränderung der elektrischen Aktivität infolge einer Exposition mit Röntgenbestrahlung

Elektrophysiologische Charakterisierung

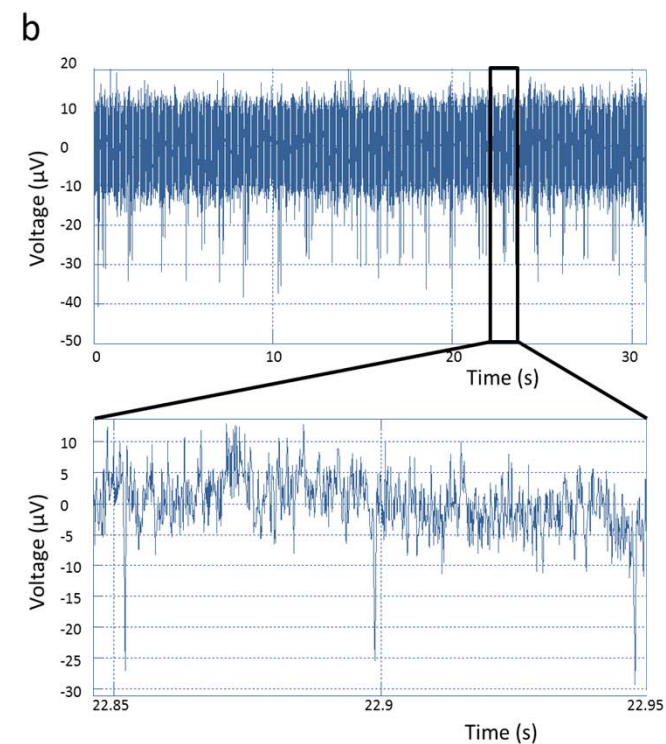
Margot Mayer



Entwicklung der elektrophysiologischen Signale im Laufe der Netzbildung

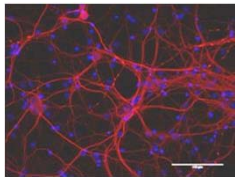


Die ersten Spikes konnten nach einem Tag detektiert werden



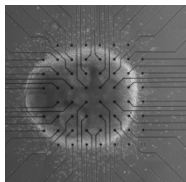
Die ersten Spike-trains konnten nach zwei Tagen detektiert werden

Exposition kortikale Neurone aus der Ratte mit Röntgenstrahlen



Keine Veränderung der elektrischen Aktivität infolge einer Exposition mit 1 oder 2 Gy Röntgenstrahlung

Elektrophysiologische Ableitungen von dreidimensionalen Neurosphären



Erfolgreiche Kultivierung der Neurosphären auf den MEA Chips

humane Neurone aus iPS Zellen

-  Exposition mit Röntgenstrahlung
-  TUNEL assay

Neurosphären

-  Elektrophysiologische Charakterisierung des Modellsystems
-  Immunhistochemische Charakterisierungen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Förderkennzeichen: 02NUK025



Hochschule
Albstadt-Sigmaringen
Albstadt-Sigmaringen University



hochschule aschaffenburg
university of applied sciences

Simulation von Hoch-LET-Effekten mittels fokussierter niedrig-LET-Strahlung

Günther Dollinger

Angewandte Physik und Messtechnik
Universität der Bundeswehr München

für

“LET-Verbund”

Berechnung von Strahlenschädigungs- Effekten in biologischen Systemen

Ionisierende Strahlung:

α , β , γ , Röntgen, Protonen, Schwere Ionen, (Neutronen)

- **Akute Strahlenschäden durch Zelltod:**
 - Entzündungsreaktionen
 - Strahlenkrankheit
 - Tumor-Kontrolle
- **Spätschäden durch überlebende, geschädigte Zellen**
 - Genetischer Schaden
 - Mutationen

Relevanz

Strahlenschutz

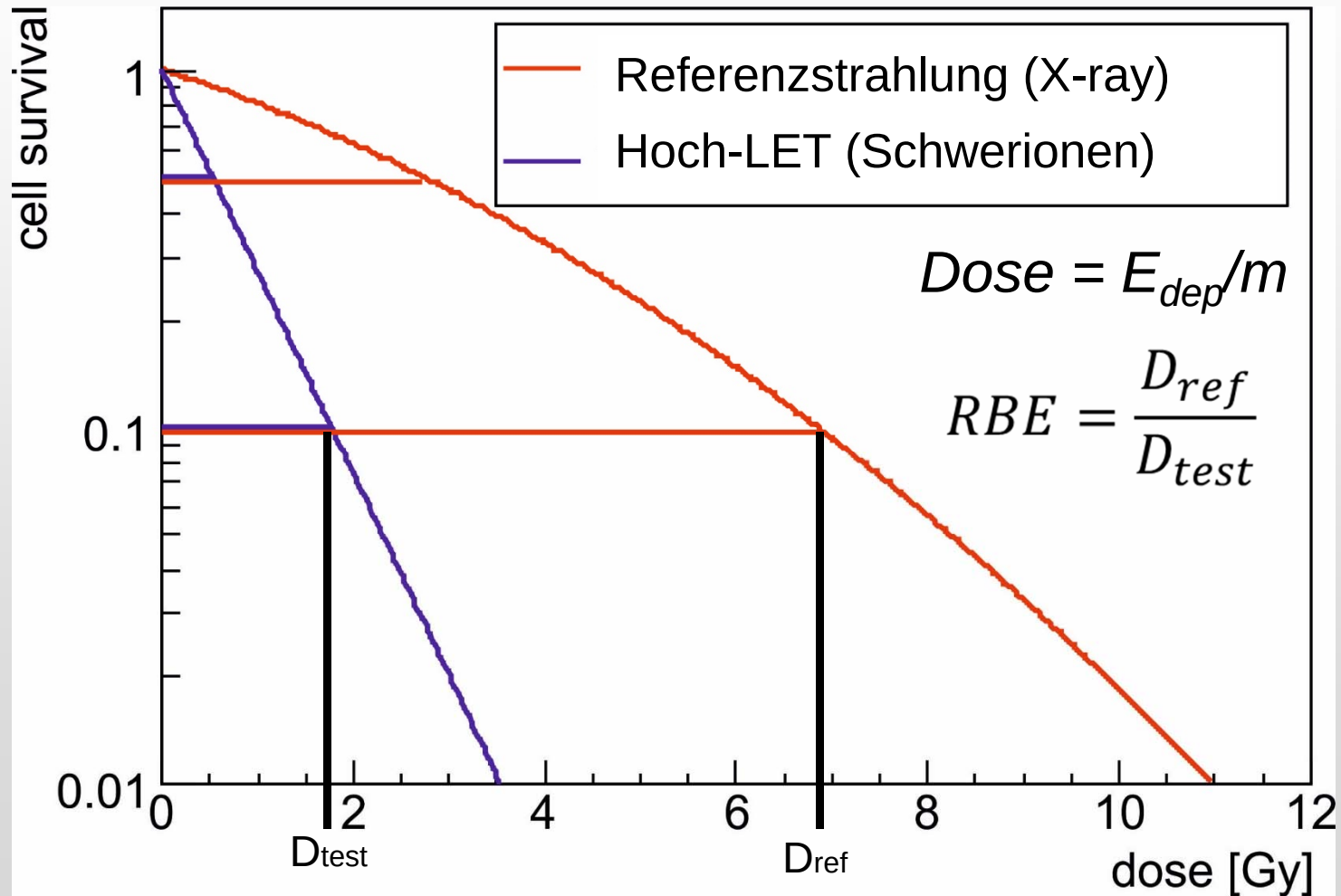
- Kernreaktoren
- fliegendes Personal
- medizinisches Personal
- bemannte Raumfahrt

Strahlen-Therapie

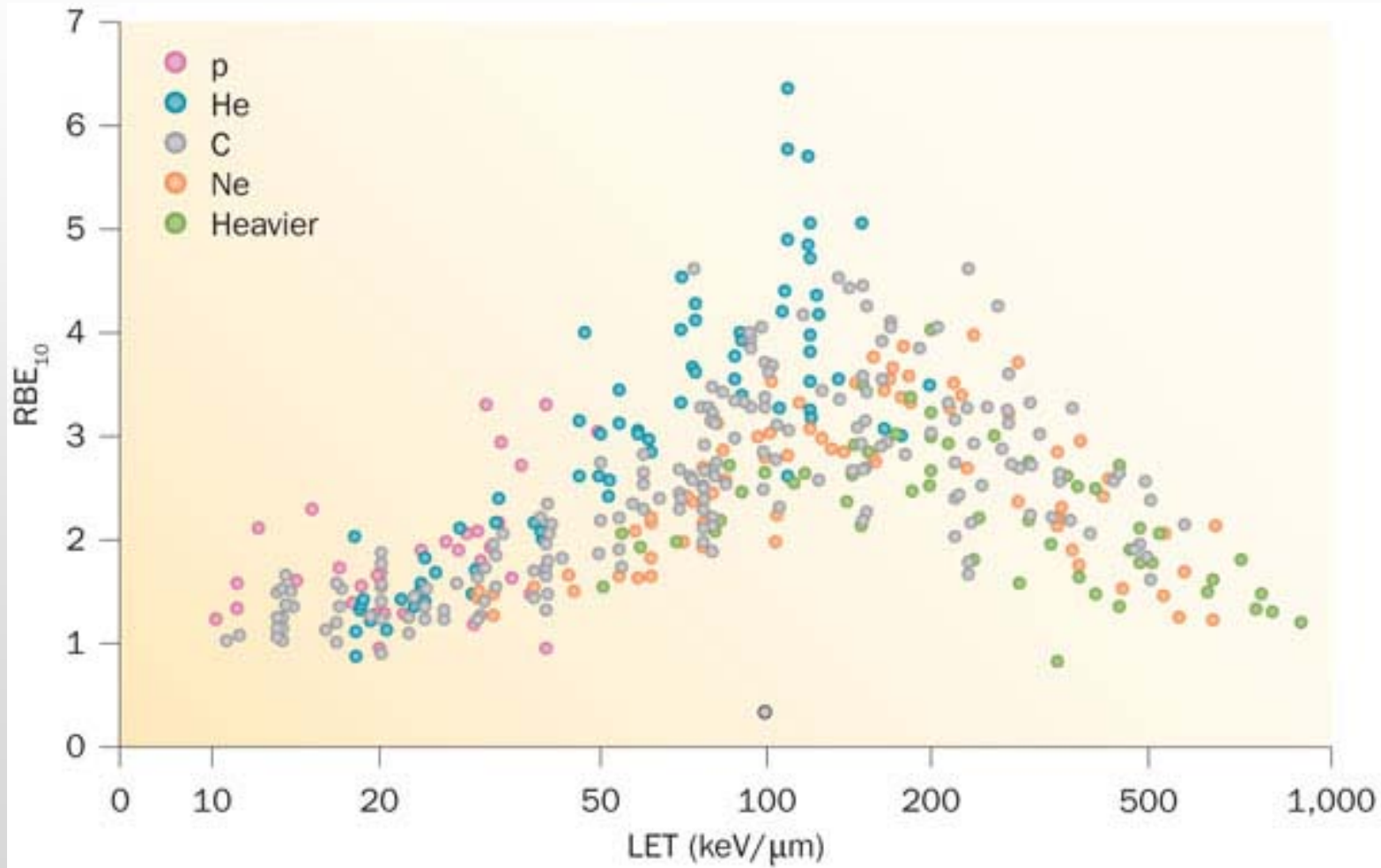
- Tumor-Kontrolle
- Nebenwirkungen

Energiedosis - Strahlenantwort

RBE (Relative-Biological-Effectiveness)

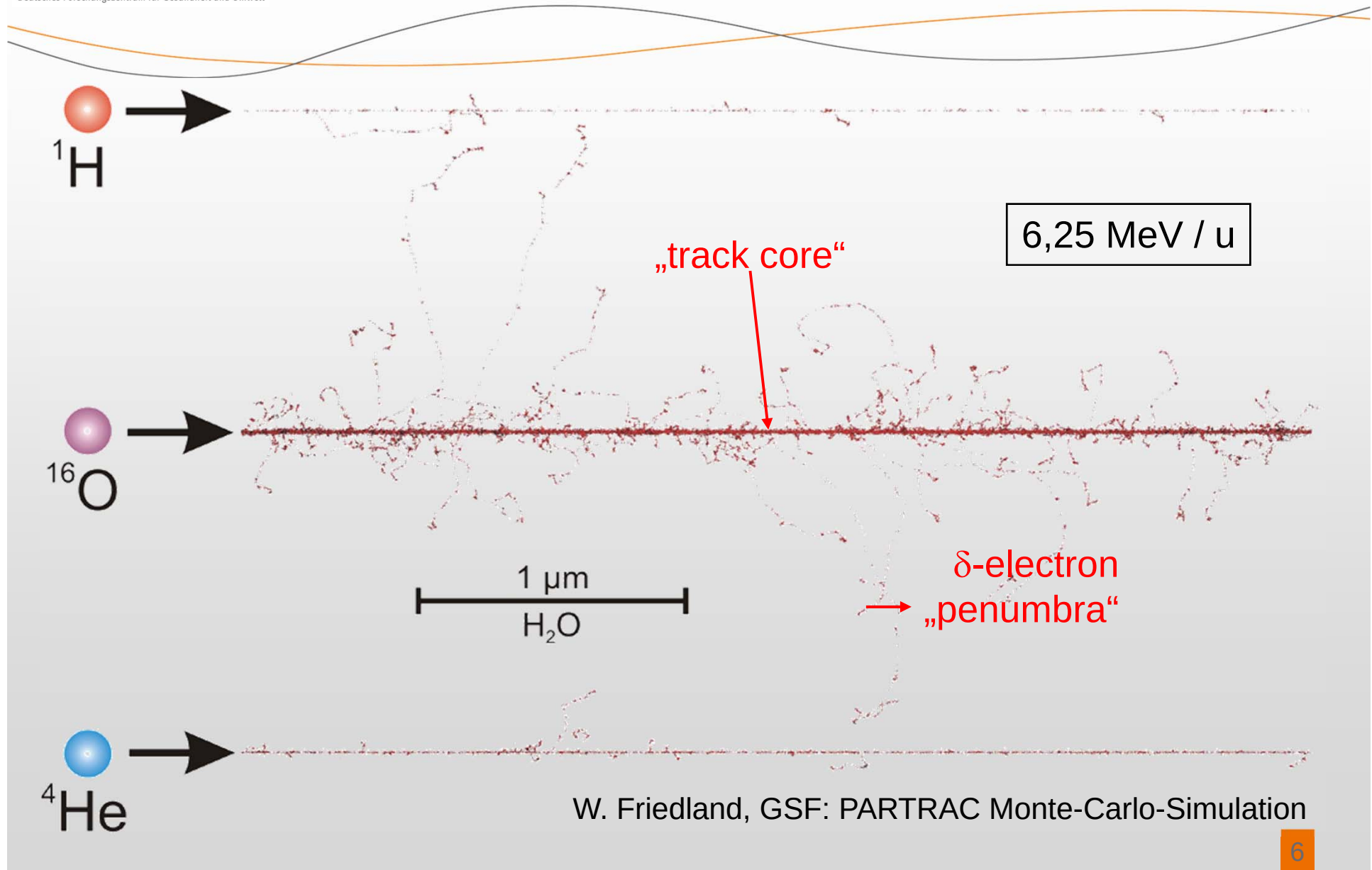


Experimentelle Daten



Jay S. Loeffler & Marco Durante
Nature Reviews Clinical Oncology 10 (2013) 411-424

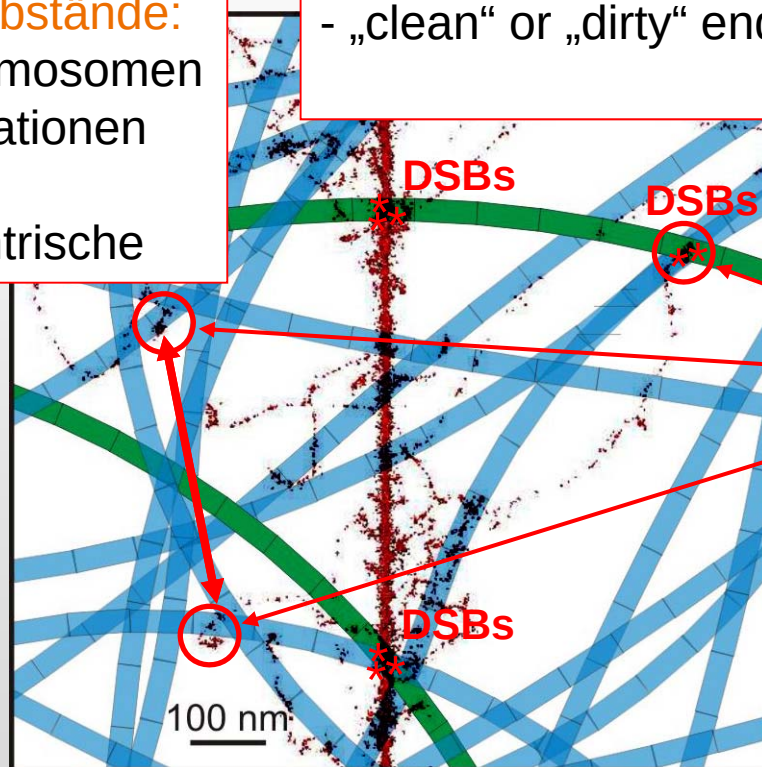
Ionisationsspuren von Ionen



Induktion von Doppelstrangbrüchen (DSB)

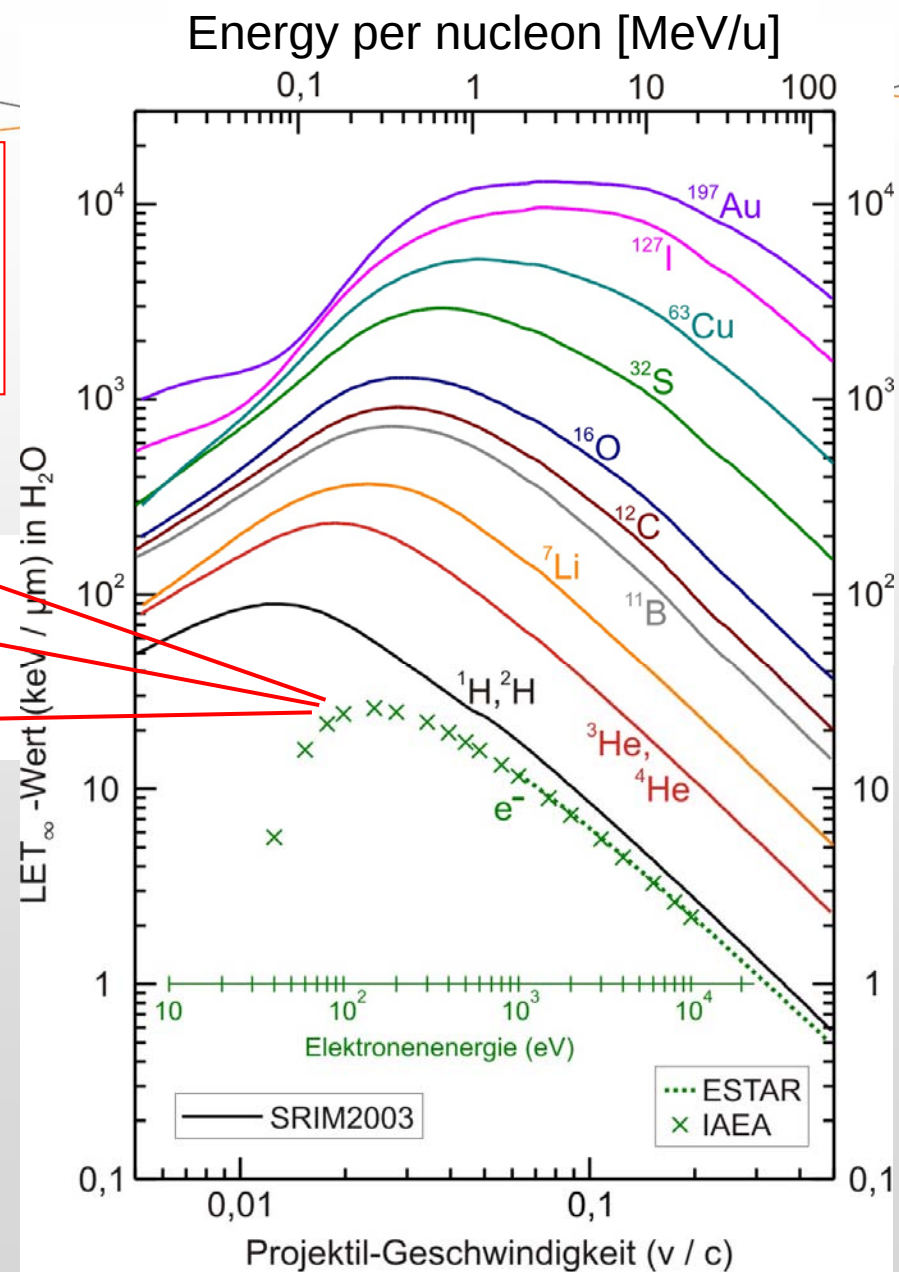
µm Abstände:
Chromosomen
Aberationen
z.B.
dizentrische

Nanometer Abstände:
- Anzahl der DSB
- „clean“ or „dirty“ ends



100 MeV ^{16}O

PARTRAC, W. Friedland et al



Mikroskopische Modelle

- Wieviele Doppelstrangbrüche werden erzeugt?
- Wieviele der Doppelstrangbrüche werden falsch repariert?

⇒ Chromosomenaberrationen

⇒ Zelltod

⇒ Mutationen

Mikroskopisches Modell: PARTRAC (W. Friedland et al)

Semiempirisches Modell: LEM (Local effect model)

(M. Scholz, T. Elsässer, et al)

Benutzt für Bestrahlungsplanung in Schwerionentherapie

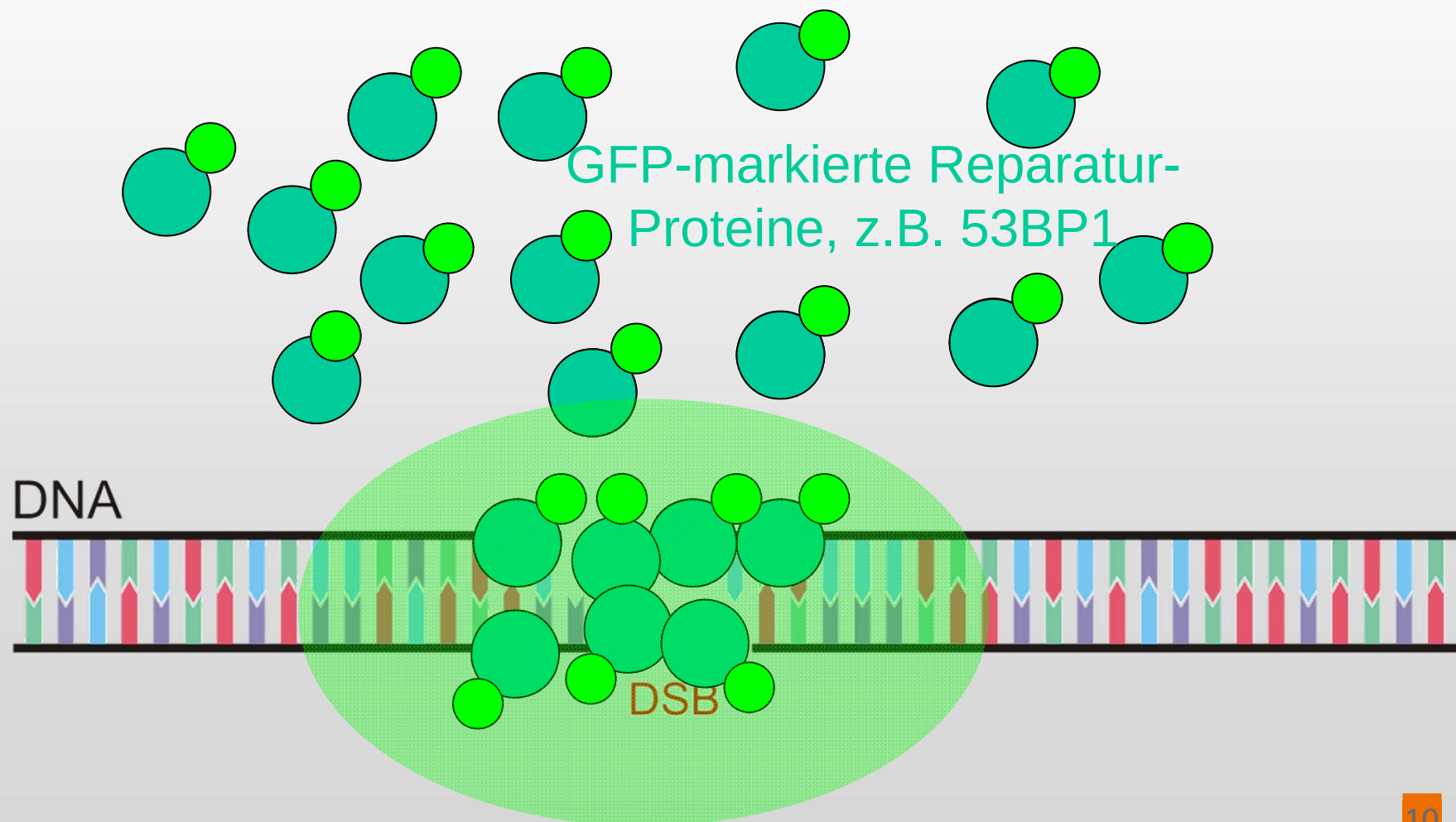
Problem der Modellierung



Änderung des LET
=> Gemeinsame Änderung von Nanoskalen- und
Mikroskalen- Effekte

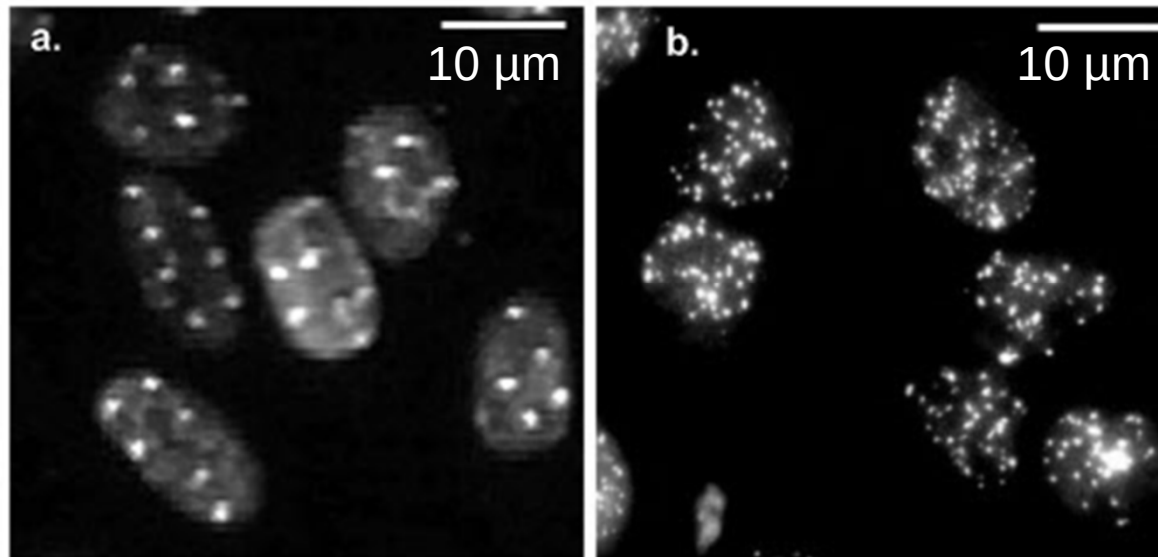
Wie Effekte klar separieren?

Beobachtung von DSB im Mikroskop



RBE ändert sich bei Fokussierung von niedrig LET Protonen

55 MeV C-Ionen, 1,7 Gy 20 MeV protons, 1,7 Gy
 $5 \times 5 \mu\text{m}^2$ matrix randomly distributed

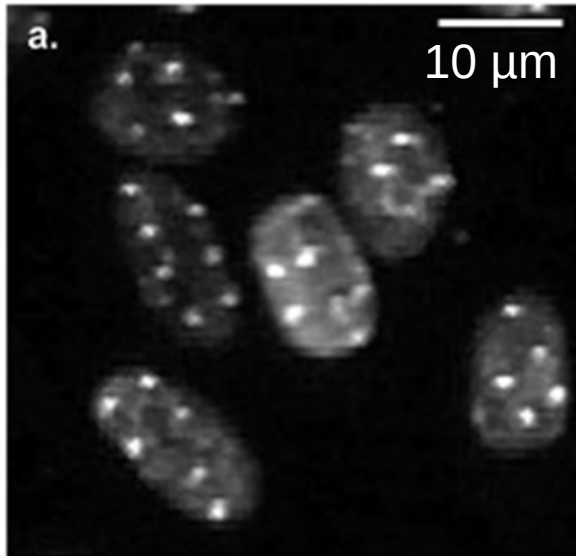


C-Ionen versus Protonen:

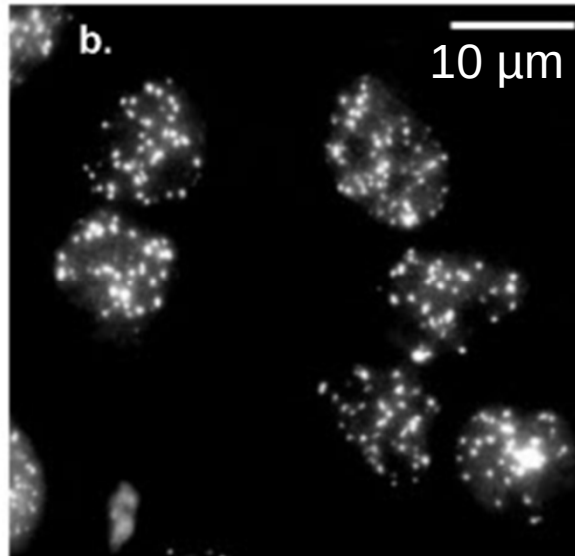
- Änderung der DSB-Verteilung
- Aber auch Änderung der DSB-Zahl und DSB-Charakter

Idee des LET-Verbundes: RBE von fokussierten Protonen

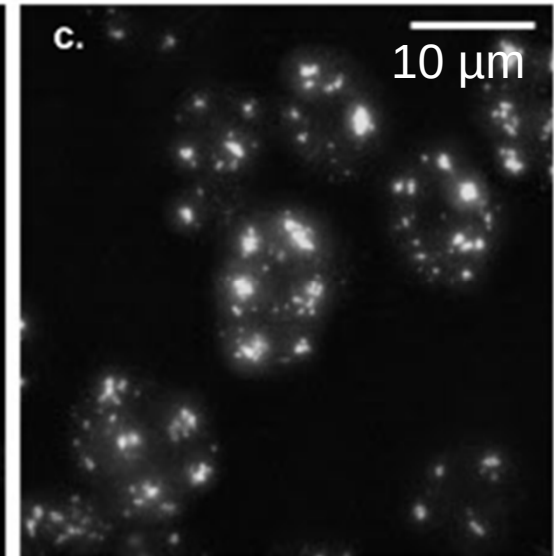
55 MeV carbon, 1,7 Gy
 $5 \times 5 \mu\text{m}^2$ matrix



20 MeV protons, 1,7 Gy
randomly distributed



20 MeV protons, 1,7 Gy
 $5 \times 5 \mu\text{m}^2$ matrix
117 protons per spot



Fokussierte Protonen::

- Änderung der DSB-Verteilung in Abhängigkeit der Fokusgröße
 - Anzahl der DSB wie bei nichtfokussierten Protonen
 - Keine Veränderung der Komplexität der DSB-Schäden
- => Unabhängige Überprüfung der RBE Modelle auf Mikrometer-Skala

Ziel LET-Verbund

- Neuer experimenteller Ansatz:
 - Test der Modelle
 - Verständnis der Schädigungsmechanismen in der Zelle
 - Weiterentwicklung Partrac und LEM
- Genauere Vorhersage:
RBE in Abhängigkeit des LET und Ionenenergie

Das Konsortium



Klinikum rechts der Isar
Technische Universität München

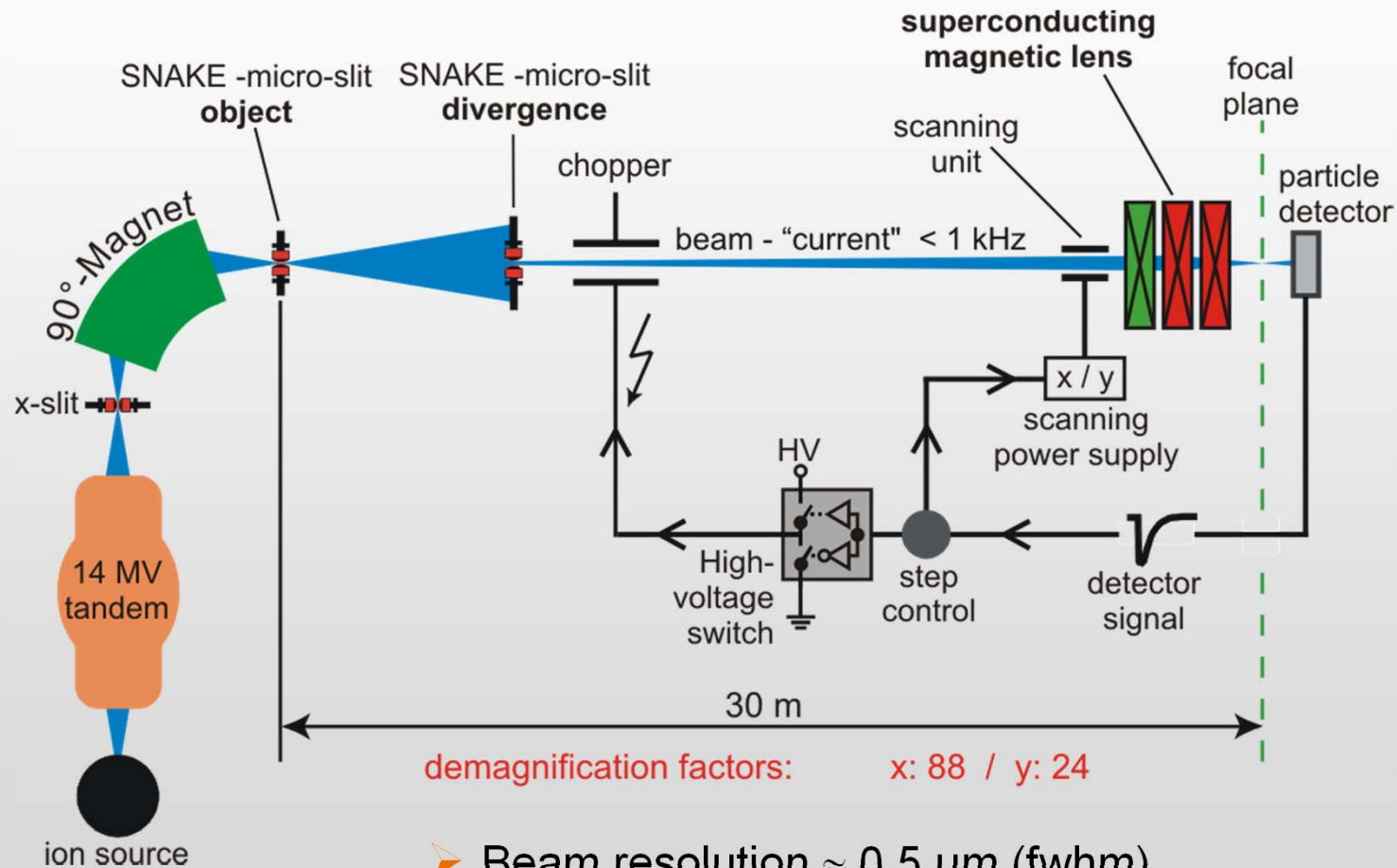


HelmholtzZentrum münchen
Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt

- C. Greubel, S. Girst, D. Walsh, J. Reindl, G. Dollinger
Universität der Bundeswehr München
concepts, experimental physics, micro irradiation
1 postdoc, 1 PhD, 4 years
- T. Schmid, K. Ilicic, C. Siebenwirth, G. Multhoff
Klinikum Rechts der Isar, TU München
Biology
1 postDoc, 1 PhD, 4 years
- T. Friedrich, M. Scholz
GSI
LEM-Model
1 PostDoc, 3 years
- E. Schmitt, P. Kundrat, W. Friedland
Helmholtzzentrum München
PARTRAC simulations
1 PostDoc, 4 years

Ionen Mikrobestrahlung an SNAKE

Superconducting Nanoscope for Applied nuclear (Kern-) physics Experiments



- Beam resolution $\approx 0.5 \mu\text{m}$ (fwhm)
- Single ion irradiation facility

Der Münchener 14 MV Tandembeschleuniger

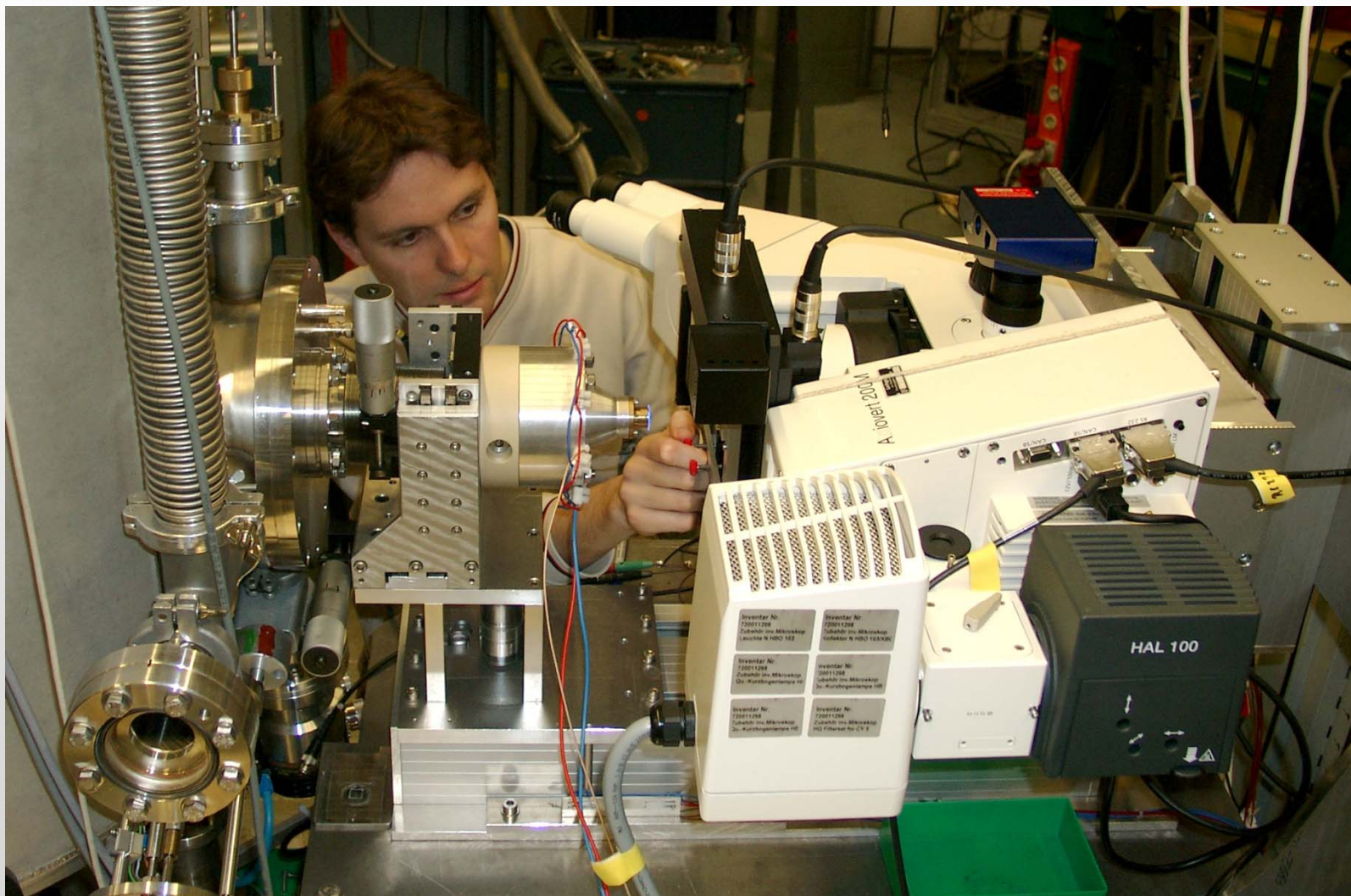
- 20 MeV p
LET= 2.6 keV/ μm
- 55 MeV C
LET= 304 keV/ μm
in Wasser



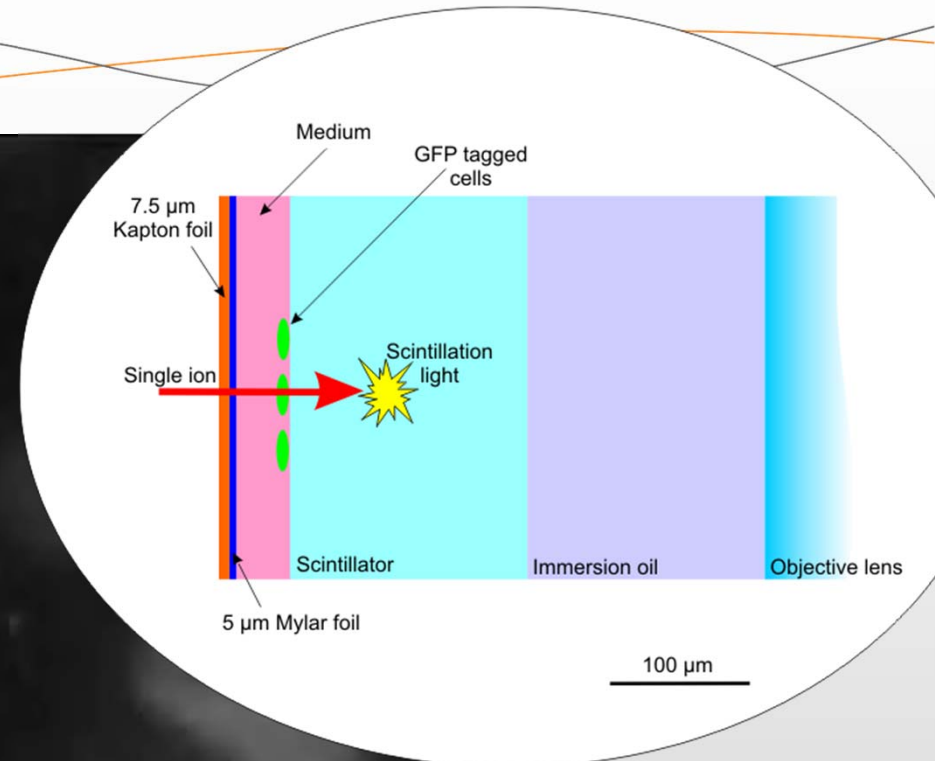
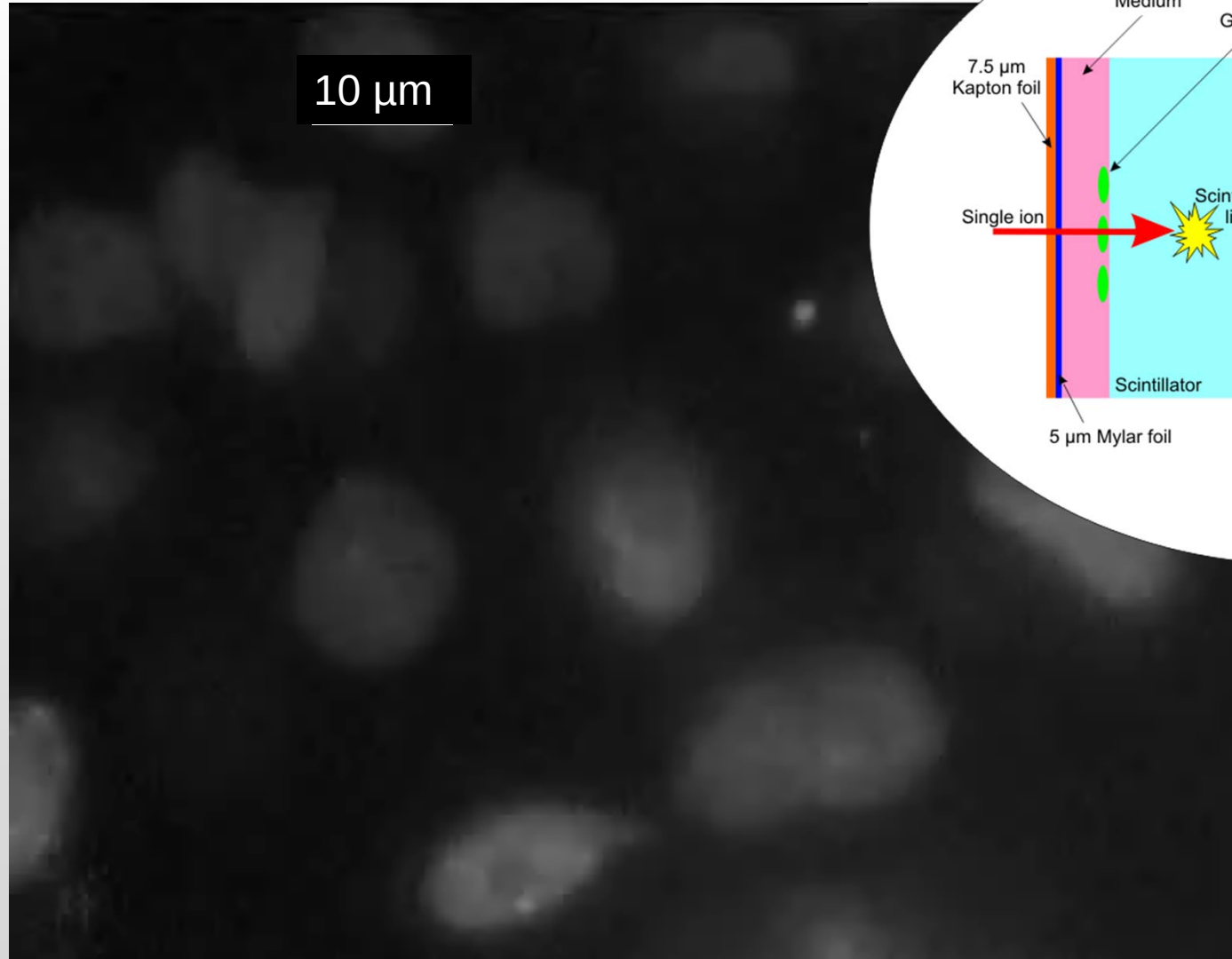


HelmholtzZentrum münchen
Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt

SNAKE: Mikrobestrahlung und online Mikroskopie



MDC1 Reparaturfoci an DSB (55 MeV carbon ions)



Die Mikrobestrahlungsanlage SNAKE

- Hochenergetische (10 – 20 MeV) Protonen, niedriger LET
- Hochenergetische (20 – 200 MeV) Schwerionen, hoher LET
- Strahldurchmesser kleiner 1 μm
- Gezielte Bestrahlungen und geometrische Muster
- Bestrahlung von Zellen, Geweben, und Mäusen
- Protonenraten bis 1 MHz in sub-Mikrometer Durchmesser

LET-Verbund: Vergleich von Bestrahlungseffekten bei 1.7 Gy

55 MeV Kohlenstoff-Ionen, Matrixbestrahlung

20 MeV Protonen, homogen verteilt

20 MeV Protonen fokussiert, Matrixbestrahlung

⇒ Direkter Vergleich der Bestrahlungseffekte

⇒ RBE aus Vergleich mit Röntgenbestrahlungen

⇒ Christoph Greubel



2. Projektstatusgespräch
zur BMBF geförderten „Nuklearen Sicherheitsforschung“
Dresden, 25-26 März 2015

Kompetenzverbund Strahlenforschung (KVSF)

Prof. Dr. Ekkehard Dikomey
Sprecher des KVSF

Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf
Labor für Strahlenbiologie & Experimentelle Radioonkologie

- **ab 1980** kontinuierlicher Rückgang der Anzahl universitärer Institutionen mit physikalischer, chemischer oder biologischer Strahlenforschung!
- **ab 1980** Appelle der Strahlenschutzkommission (SSK) sowie der Deutschen Gesellschaft für Radiotherapie und Onkologie (DEGRO)
Befürchtete Konsequenzen:
 - *fehlende Kompetenz im Strahlenschutz*
 - *fehlende Kompetenz bezgl. Risikoabschätzung und Strahlenepidemiologie sowie Radioökologie*
 - *Mangel an MedizinphysikernInnen in der Klinik*
 - *fehlende Expertise für UV-Forschung und Protektion*
 - *Verlust an Expertise in der klinischen Radiobiologie sowie der experimentellen Radioonkologie*
 - *Verlust in der strahlenrelevanten Grundlagenforschung*
- **ab 1990** Treffen mit Ministerien, DFG, Fachverbänden etc.
- **2 / 2007** Gründung des Kompetenzverbundes Strahlenforschung (KVSF)
Mitglieder:
 - *SSK, BfS, Projektträger*
 - *Helmholtzzentren*
 - *Universitäten / Fachhochschulen*
 - *Gäste: BMBF und BMUB*

1. Strategische Ziele des Kompetenzverbunds:

Der Kompetenzverbund Strahlenforschung (KVSF) soll die wissenschaftliche und gesellschaftlich-politische Bedeutung der Strahlenforschung hervorheben. Er stellt das Exzellenzforum für eine zukunftsorientierte interdisziplinäre Strahlenforschung in Deutschland dar.

Der KVSF versteht sich als ein offenes Forum für alle auf dem Gebiet der Strahlenforschung tätigen deutschen Institutionen. Neben Universitäten mit entsprechenden Lehrstühlen und Forschungszentren (Helmholtz-Gemeinschaft, Leibniz-Gemeinschaft, Fraunhofer-Gesellschaft, Max-Planck-Gesellschaft u. a.) steht der KVSF weiteren forschenden Einrichtungen, z. B. in der Industrie, offen. Er soll aktuelle wissenschaftliche Aufgaben der Strahlenforschung identifizieren und sich für die Förderung und Weiterentwicklung des Fachgebiets einsetzen.

Eine **aktive Öffentlichkeitsarbeit** des KVSF soll dazu beitragen, die Stellung der Strahlenforschung in der Wissenschaft und ihre öffentliche Wahrnehmung zu stärken.

Ein wichtiges Anliegen des KVSF ist es, eine **systematische und kontinuierliche Nachwuchsförderung** auf dem Gebiet der Strahlenforschung gemeinsam mit Hochschulen, außeruniversitären Forschungszentren, Industrie, Politik und Verbänden zu initiieren, um das **wissenschaftliche Niveau** langfristig zu sichern und den zukünftigen Bedarf an Fachleuten mit **hoher Kompetenz** zu decken.

2. Handlungsfelder des Kompetenzverbundes Strahlenforschung

- Abstimmung und Bündelung von Aktivitäten im Bereich der (mit öffentlichen Mitteln geförderten) Strahlenforschung,
- **Konzeptentwicklungen zur Nachwuchsförderung** im Bereich der Strahlenforschung sowie Eintreten für eine stärkere Nachwuchsförderung gegenüber Bund und Ländern, Forschungszentren, Hochschulen und Wirtschaft,
- **Konzeptentwicklungen für die Lehre im Bereich Strahlenforschung** an Universitäten und Fachhochschulen, z.B. mit dem Ziel, Kompetenzzentren zu bilden,
- Unterstützung der Zusammenarbeit von auf dem Gebiet der Strahlenforschung tätigen Institutionen auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene,
- Stärkung des Bewusstseins in der Öffentlichkeit für die gesellschaftliche Bedeutung der Strahlenforschung,
- Zusammenarbeit mit anderen Gremien, insbesondere mit der Strahlenschutzkommission (SSK) und mit forschenden Fachverbänden,
- **Identifizierung von Zukunftsthemen** der Strahlenforschung,
- Verfolgung und Darstellung von Trends bei der Arbeitsplatzentwicklung und bei den Ausbildungskapazitäten im Bereich der Strahlenforschung; Eruierung von Berufschancen,
- Verfolgung von Entwicklungen und Veränderungen im Bereich einschlägiger Fachinstitutionen,
- Erarbeitung und Herausgabe von Stellungnahmen, Pressemitteilungen, Positionspapieren zu aktuellen Fragen der Strahlenforschung.

4. Fachgebiete

- Strahlenbiologie
- Strahlenepidemiologie
- Strahlenrisikoanalyse
- Medizinischer Strahlenschutz
- Radioökologie
- und verwandte Gebiete der Grundlagenforschung



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

1. Bekanntmachung in 2007

- Start von 8 Projekten, Laufzeit 3 Jahre, Gesamtvolumen 14 M€



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit

2. Bekanntmachung in 2009

- Start von 2 Projekten, Laufzeit 3 Jahre, Gesamtvolumen 2,5 M€



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

- Start von 2 Projekten, Laufzeit 3 Jahre, Gesamtvolumen 4 M€



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

3. Bekanntmachung in 2011

- Start von 11 Projekten, Laufzeit 3-5 Jahre, Gesamtvolumen 30 M€



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

4. Bekanntmachung in 2016 geplant

- **Fragen**

- Was wurde bisher gefördert?
- Welche Fachgebiete wurden gefördert?
- Welche wissenschaftliche und gesellschaftliche Relevanz?
- Wer wurde gefördert?
- Kann die Strahlenforschung neue Fachgebiete dazugewinnen?
- Können Forschungscluster gebildet werden?
- Welche Öffentlichkeitsarbeit wurde geleistet?

- **Bewertung der Förderung**

- Was wurde getan?
- Was wurde erreicht?
- Was muss getan werden?

Was wurde bisher gefördert?

Abgelaufene Projekte

BMBF geförderte Projekte

Nr	Titel	Gesamtkosten	Leitung
1	Wechselwirkung verschiedener Reparaturwege bei der Prozessierung von DNA Strahlenschäden	2.880.072 €	Prof. Dr. Gisela Taucher-Scholz, HZ GSI Darmstadt
2	Radionuklide in der Umwelt, ihr Transport in Nahrungsketten zum und im Menschen	1.426.153 €	Dr. Jochen Tschiersch, HZ München
3	Bedeutung von UVA für Hautkrebs und Hautalterung	1.935.032 €	Prof. Dr. Petra Boukamp, DKFZ Heidelberg
4	Systematische Analyse von Strahleneffekten mit Relevanz für Krebsentstehung und Krebstherapie	2.209.743 €	Prof. Dr. Peter Huber, DKFZ Heidelberg
5	Ein systembiologischer Ansatz für die Strahlenbiodosimetrie und der Analyse der individuellen Strahlensensitivität	2.509.762 €	Dr. Ralf Kriehuber, HZ Jülich
6	Schädigungspotential von Radionukliden	2.208.700 €	Prof. Dr. Jörg Steinbach, HZ Rossendorf
7	Individuelle Strahlenempfindlichkeit und genomische Instabilität	2.230.983 €	Prof. Heinz-Erich Wichmann, LMU München
8	Innovative Verfahren der biomedizinischen Bildgebung zur Optimierung von medizinischen Strahlenanwendungen	2.598.271 €	Dr. Christoph Hoeschen, HZ München
9	Radionuklide in der Umwelt, ihr Transport in Nahrungsketten zum und im Menschen	3.706.370 €	Dr. Jochen Tschiersch, HZ München
10	Intrinsische Strahlenempfindlichkeit: Identifikation, Mechanismen und Epidemiologie	2.804.222 €	Prof. Dr. Maria Blettner, Uni Mainz

BMUB geförderte Projekte

Nr	Titel	Gesamtkosten	Leitung
11	3D/4D Architektur von chromosomalen Bruchpunktregionen in Zellkernen nach Bestrahlung von Normalzellen und Tumorzellen	1.182.385 €	Prof. Dr. Michael Hausmann, Uni Heidelberg
12	Entwicklung strahleninduzierter DNA-Schäden während der S-Phase des Zellzyklus	1.334.840 €	Prof. Dr. Irene Dornreiter, PETTE, Hamburg
	Summe	27.026.533 €	

Was wurde bisher gefördert?

Laufende Projekte

BMBF geförderte Projekte

Nr	Titel	Gesamtkosten	Leitung
13	Genetische Risiken und entzündungshemmende Wirkung von dicht-ionisierender Strahlung: Vergleichende Untersuchungen zur Wirkung von Radon in Zell- und Tier-Modellen und in Radon-Patienten	4.072.045 €	Prof. Dr. Claudia Fournier, HZ GSI Darmstadt
14	Identifizierung von molekularen Zielstrukturen und Signalnetzwerken, die Strahlenüberempfindlichkeit und -resistenz beeinflussen	1.756.643 €	Dr. Sabine Hornhardt, BfS Neuherberg
15	In-vitro Untersuchungen zur Wirkung von dicht und dünn ionisierender Strahlung auf die frühe pränatale Entwicklung	717.981 €	Dr. Sylvia Ritter, HZ GSI Darmstadt
16	Personalisierte Abschätzung von Spätfolgen nach Strahlenexposition und Orientierungshilfe für Strahlenanwendungen in der Medizin	3.156.472 €	Dr. Peter Jacob, HZ München
17	Transfer von Radionukliden in aquatischen Ökosystemen	4.057.243 €	Dr. Jochen Tschiersch, HZ München
18	Simulation von Hoch-LET-Effekten mittels fokussierter Niedrig-LET-Strahlung	1.687.329 €	Prof. Dr. Günther Dollinger, Bund München
19	DNA-Doppelstrangbruchreparatur in Tumoren: Mechanismen und Targets	2.100.892 €	Prof. Ekkehard Dikomey, UKE Hamburg
20	Ein Ansatz zur Bewertung neurologischer Strahlenschäden	2.837.886 €	Prof. Dr. Markus Löbrich, Uni Darmstadt
21	DNA-Reparaturfoci als Marker der individuellen Strahlenempfindlichkeit	2.276.771 €	Prof Dr. Claudia E. Rübe, Uni Homburg
22	Kombination statt Addition - UV bis IR Strahlung in der Krebsentstehung und Alterung	3.233.858 €	Prof. Dr. Petra Boukamp, DKFZ Heidelberg
23	Erkennung, Verarbeitung und biologische Konsequenzen von Chromatinschäden nach Teilchenbestrahlung	2.464.325 €	Dr. Burkhard Jakob, HZ GSI Darmstadt
	Summe (neu)	28.361.445 €	
	Summe (alt)	27.026.533 €	
	Gesamtsumme	55.387.978 €	

Welche Fachgebiete wurden gefördert?

4. Fachgebiete

- Strahlenbiologie
 - DNA-Reparatur, UV-Schäden, Klinische Strahlenbiologie, Radioimmunologie
- Strahlenepidemiologie
- Strahlenrisikoanalyse
- Medizinischer Strahlenschutz
- Radioökologie
- und verwandte Gebiete der Grundlagenforschung
- Strahlenphysik und Strahlentherapie

Welche Fachgebiete wurden gefördert?

Abgelaufene Projekte

BMBF geförderte Projekte

Nr	Titel	Bereich	Leitung
1	Wechselwirkung verschiedener Reparaturwege bei der Prozessierung von DNA Strahlenschäden	DNA-Reparatur	Prof. Dr. Gisela Taucher-Scholz, HZ GSI Darmstadt
2	Radionuklide in der Umwelt, ihr Transport in Nahrungsketten zum und im Menschen	Radioökologie	Dr. Jochen Tschiersch, HZ München
3	Bedeutung von UVA für Hautkrebs und Hautalterung	UV-Schäden	Prof. Dr. Petra Boukamp, DKFZ Heidelberg
4	Systematische Analyse von Strahleneffekten mit Relevanz für Krebsentstehung und Krebstherapie	Strahlentherapie	Prof. Dr. Peter Huber, DKFZ Heidelberg
5	Ein systembiologischer Ansatz für die Strahlenbiodosimetrie und der Analyse der individuellen Strahlensensitivität	DNA-Reparatur / Klinische Strahlenbiol.	Dr. Ralf Kriehuber, HZ Jülich
6	Schädigungspotential von Radionukliden	Klinische Strahlenbiol.	Prof. Dr. Jörg Steinbach, HZ Rossendorf
7	Individuelle Strahlenempfindlichkeit und genomische Instabilität	Strahlenrisiko	Prof. Heinz-Erich Wichmann, LMU München
8	Innovative Verfahren der biomedizinischen Bildgebung zur Optimierung von medizinischen Strahlenanwendungen	Medizinischer Strahlenschutz	Dr. Christoph Hoeschen, HZ München
9	Radionuklide in der Umwelt, ihr Transport in Nahrungsketten zum und im Menschen	Radioökologie	Dr. Jochen Tschiersch, HZ München
10	Intrinsische Strahlenempfindlichkeit: Identifikation, Mechanismen und Epidemiologie	Strahlenrisiko / Epidemiologie	Prof. Dr. Maria Blettner, Uni Mainz

BMUB geförderte Projekte

Nr	Titel	Leitung
11	3D/4D Architektur von chromosomalen Bruchpunktregionen in Zellkernen nach Bestrahlung von Normalzellen und Tumorzellen	Prof. Dr. Michael Hausmann, Uni Heidelberg
12	Entwicklung strahleninduzierter DNA-Schäden während der S-Phase des Zellzyklus	Prof. Dr. Irene Dornreiter, PETTE, Hamburg

Welche Fachgebiete wurden gefördert?

Laufende Projekte

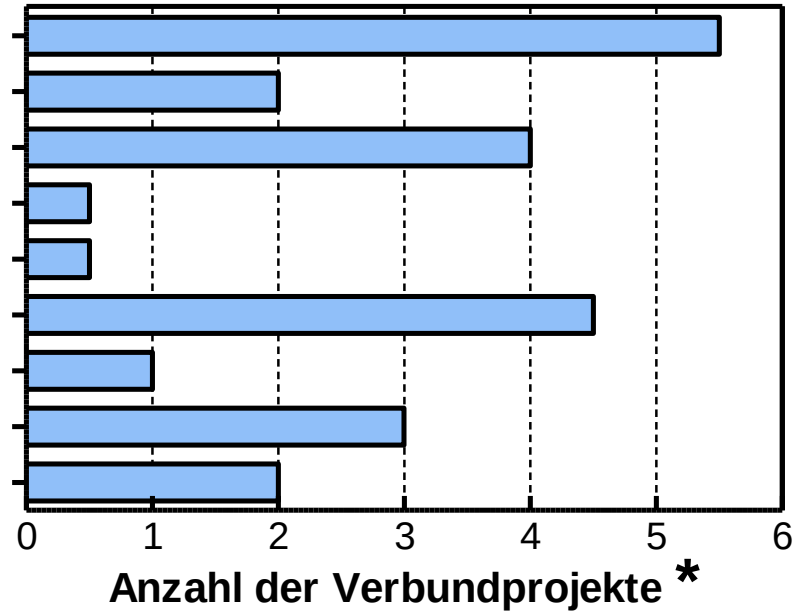
BMBF geförderte Projekte

Nr	Titel	Bereich	Leitung
13	Genetische Risiken und entzündungshemmende Wirkung von dicht-ionisierender Strahlung: Vergleichende Untersuchungen zur Wirkung von Radon in Zell- und Tier-Modellen und in Radon-Patienten	Strahlenrisiko, / Radioimmunol.	Prof. Dr. Claudia Fournier, HZ GSI Darmstadt
14	Identifizierung von molekularen Zielstrukturen und Signalnetzwerken, die Strahlenüberempfindlichkeit und -resistenz beeinflussen	Klinische Strahlenbiologie	Dr. Sabine Hornhardt, BfS Neuherberg
15	In-vitro Untersuchungen zur Wirkung von dicht und dünn ionisierender Strahlung auf die frühe pränatale Entwicklung	Strahlenrisiko	Dr. Sylvia Ritter, HZ GSI Darmstadt
16	Personalisierte Abschätzung von Spätfolgen nach Strahlenexposition und Orientierungshilfe für Strahlenanwendungen in der Medizin	Strahlenrisiko	Dr. Peter Jacob, HZ München
17	Transfer von Radionukliden in aquatischen Ökosystemen	Radioökologie	Dr. Jochen Tschiersch, HZ München
18	Simulation von Hoch-LET-Effekten mittels fokussierter Niedrig-LET-Strahlung	Strahlenphysik	Prof. Dr. Günther Dollinger, Bund München
19	DNA-Doppelstrangbruchreparatur in Tumoren: Mechanismen und Targets	Klinische Strahlenbiologie	Prof. Ekkehard Dikomey, UKE Hamburg
20	Ein Ansatz zur Bewertung neurologischer Strahlenschäden	DNA Reparatur / Klinische Strahlenbiol.	Prof. Dr. Markus Löbrich, Uni Darmstadt
21	DNA-Reparaturfoci als Marker der individuellen Strahlenempfindlichkeit	DNA Reparatur / Strahlenrisiko	Prof. Dr. Claudia E. Rübe, Uni Homburg
22	Kombination statt Addition - UV bis IR Strahlung in der Krebsentstehung und Alterung	UV-Schäden	Prof. Dr. Petra Boukamp, DKFZ Heidelberg
23	Erkennung, Verarbeitung und biologische Konsequenzen von Chromatinschäden nach Teilchenbestrahlung	DNA-Reparatur	Dr. Burkhard Jakob, HZ GSI Darmstadt

Welche Fachgebiete wurden gefördert?

Strahlenbiologie: DNA Reparatur
UV-Schäden
Klin. Strahlenbiologie
Radioimmunologie

Epidemiologie
Strahlenrisiko
Medizin. Strahlenschutz
Radioökologie
Strahlenphysik, - therapie



* Projekte waren z.T. zwei Themenbereichen zuzuordnen

● Beispiele

- 02NUK002: Radioaktivität in der Nahrung
- 02NUK003: UV-A und Hautkrebs
- 02NUK006: Grundlagen für gezielte Tumorthherapie mittels radioaktiver Antikörper
- 02NUK007: Krebsrisiko und individuelle Strahlenempfindlichkeit
- 02NUK016: Marker der individuellen Strahlenempfindlichkeit
- 02NUK017: Wirkung von Radon
- 02NUK025: Wirkung von Strahlung auf pränatale Entwicklung
- 02NUK026: Abschätzung von Strahlenrisiken
- 02NUK030: Radioaktivität in der Umwelt
- 02NUK031: Simulation von Hoch-LET-Effekten durch Niedrig-LET-Strahlung
- 02NUK032: Grundlagen für gezielte Tumorthherapie mittels Bestrahlung
- 02NUK035: Reparaturfoci als Marker der individuellen Strahlenempfindlichkeit
- 02NUK036: UV-A, Hautkrebs und Alterung

Wer wurde gefördert?

Abgelaufene Projekte

BMBF geförderte Projekte

Nr	Titel	Bereich	Leitung
1	Wechselwirkung verschiedener Reparaturwege bei der Prozessierung von DNA Strahlenschäden	DNA-Reparatur	Prof. Dr. Gisela Taucher-Scholz, HZ GSI Darmstadt
2	Radionuklide in der Umwelt, ihr Transport in Nahrungsketten zum und im Menschen	Radioökologie	Dr. Jochen Tschiersch, HZ München
3	Bedeutung von UVA für Hautkrebs und Hautalterung	UV-Schäden	Prof. Dr. Petra Boukamp, DKFZ Heidelberg
4	Systematische Analyse von Strahleneffekten mit Relevanz für Krebsentstehung und Krebstherapie	Strahlentherapie	Prof. Dr. Peter Huber, DKFZ Heidelberg
5	Ein systembiologischer Ansatz für die Strahlenbiodosimetrie und der Analyse der individuellen Strahlensensitivität	DNA-Reparatur / Klinische Strahlenbiol.	Dr. Ralf Kriehuber, HZ Jülich
6	Schädigungspotential von Radionukliden	Klinische Strahlenbiol.	Prof. Dr. Jörg Steinbach, HZ Rossendorf
7	Individuelle Strahlenempfindlichkeit und genomische Instabilität	Strahlenrisiko	Prof. Heinz-Erich Wichmann, LMU München
8	Innovative Verfahren der biomedizinischen Bildgebung zur Optimierung von medizinischen Strahlenanwendungen	Medizinischer Strahlenschutz	Dr. Christoph Hoeschen, HZ München
9	Radionuklide in der Umwelt, ihr Transport in Nahrungsketten zum und im Menschen	Radioökologie	Dr. Jochen Tschiersch, HZ München
10	Intrinsische Strahlenempfindlichkeit: Identifikation, Mechanismen und Epidemiologie	Strahlenrisiko / Epidemiologie	Prof. Dr. Maria Blettner, Uni Mainz

BMUB geförderte Projekte

Nr	Titel	Leitung
11	3D/4D Architektur von chromosomalen Bruchpunktregionen in Zellkernen nach Bestrahlung von Normalzellen und Tumorzellen	Prof. Dr. Michael Hausmann, Uni Heidelberg
12	Entwicklung strahleninduzierter DNA-Schäden während der S-Phase des Zellzyklus	Prof. Dr. Irene Dornreiter, PETTE, Hamburg

Wer wurde gefördert?

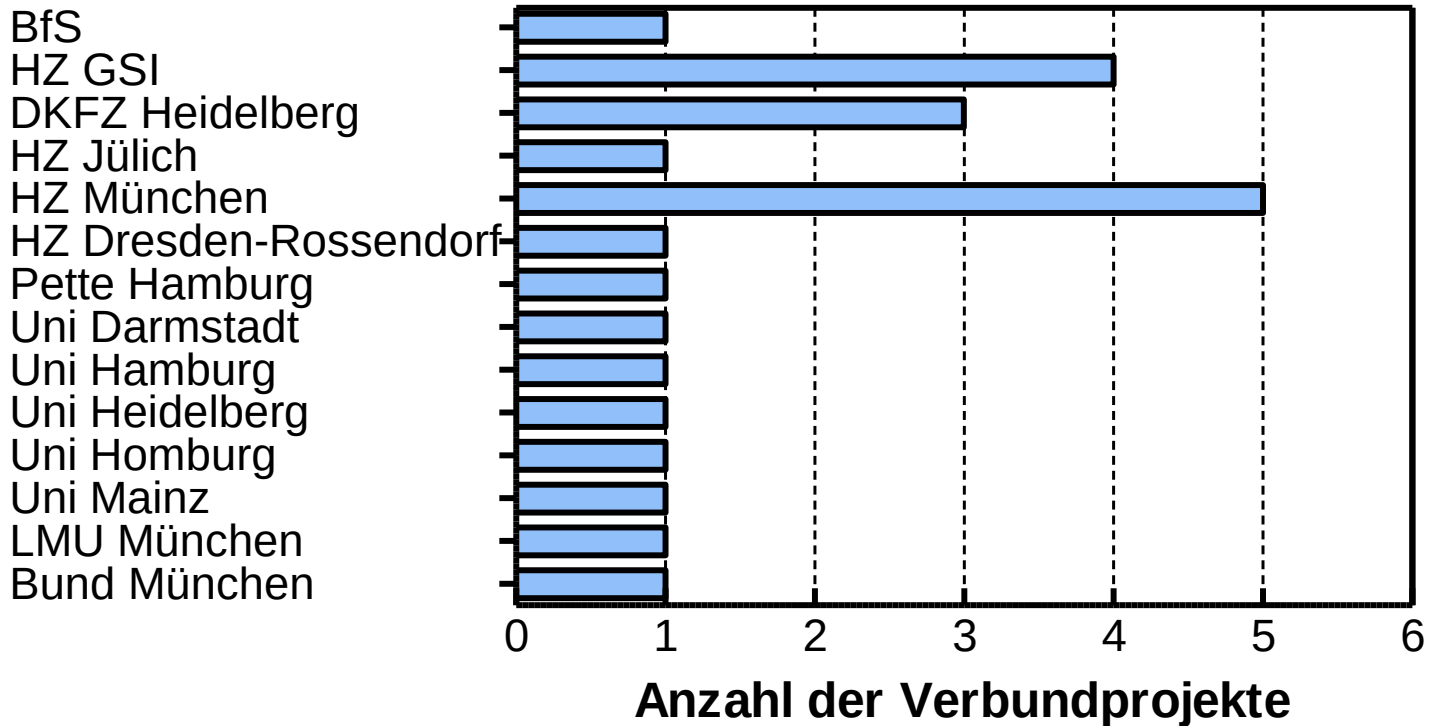
Laufende Projekte

BMBF geförderte Projekte

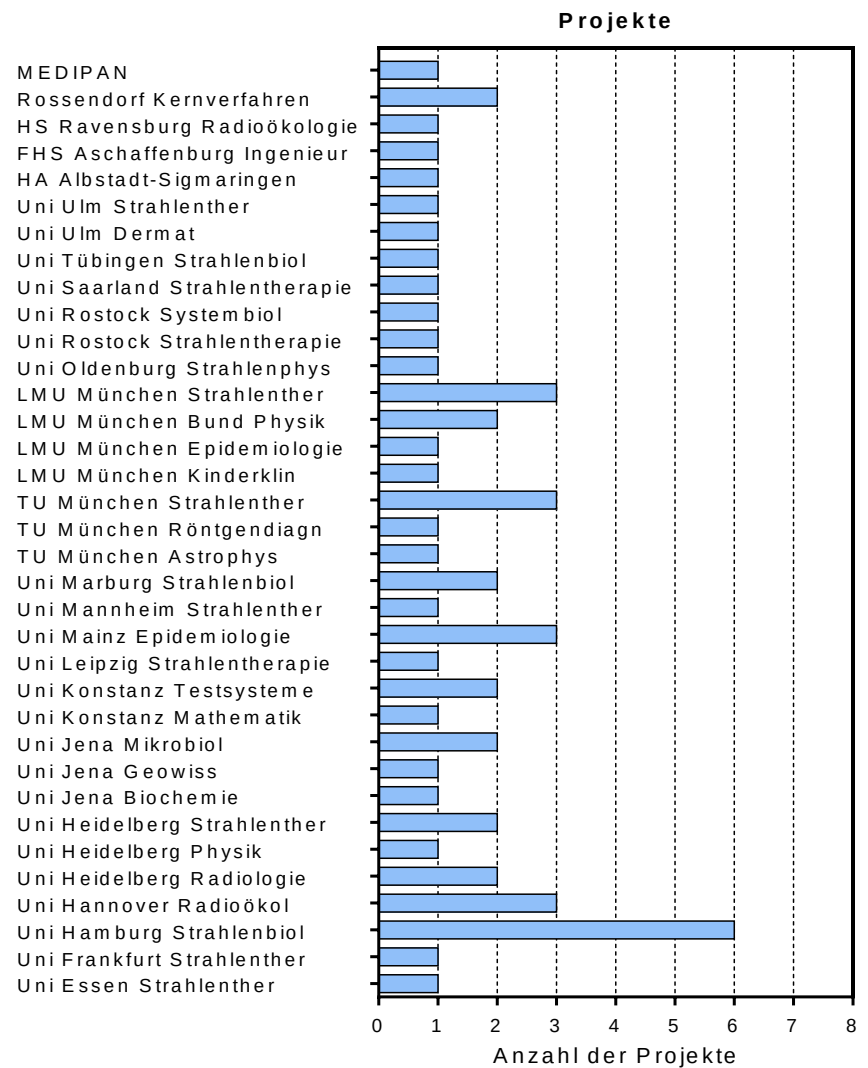
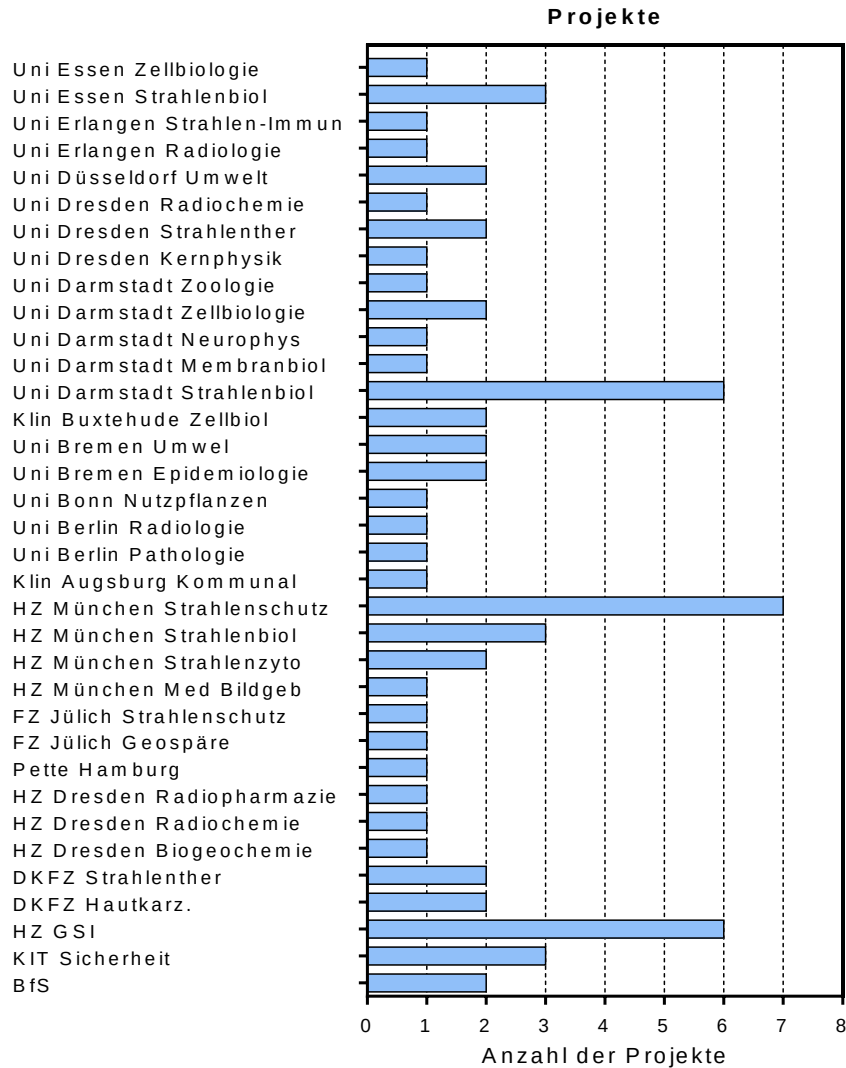
Nr	Titel	Bereich	Leitung
13	Genetische Risiken und entzündungshemmende Wirkung von dicht-ionisierender Strahlung: Vergleichende Untersuchungen zur Wirkung von Radon in Zell- und Tier-Modellen und in Radon-Patienten	Strahlenrisiko, / Radioimmunol.	Prof.Dr. Claudia Fournier, HZ GSI Darmstadt
14	Identifizierung von molekularen Zielstrukturen und Signalnetzwerken, die Strahlenüberempfindlichkeit und -resistenz beeinflussen	Klinische Strahlenbiologie	Dr. Sabine Hornhardt, BfS Neuherberg
15	In-vitro Untersuchungen zur Wirkung von dicht und dünn ionisierender Strahlung auf die frühe pränatale Entwicklung	Strahlenrisiko	Dr. Sylvia Ritter, HZ GSI Darmstadt
16	Personalisierte Abschätzung von Spätfolgen nach Strahlenexposition und Orientierungshilfe für Strahlenanwendungen in der Medizin	Strahlenrisiko	Dr. Peter Jacob, HZ München
17	Transfer von Radionukliden in aquatischen Ökosystemen	Radioökologie	Dr. Jochen Tschiersch, HZ München
18	Simulation von Hoch-LET-Effekten mittels fokussierter Niedrig-LET-Strahlung	Strahlenphysik	Prof. Dr. Günther Dollinger, Bund München
19	DNA-Doppelstrangbruchreparatur in Tumoren: Mechanismen und Targets	Klinische Strahlenbiologie	Prof. Ekkehard Dikomey, UKE Hamburg
20	Ein Ansatz zur Bewertung neurologischer Strahlenschäden	DNA Reparatur / Klinische Strahlenbiol.	Prof. Dr. Markus Löbrich, Uni Darmstadt
21	DNA-Reparaturfoci als Marker der individuellen Strahlenempfindlichkeit	DNA Reparatur / Strahlenrisiko	Prof Dr. Claudia E. Rübe, Uni Homburg
22	Kombination statt Addition - UV bis IR Strahlung in der Krebsentstehung und Alterung	UV-Schäden	Prof. Dr. Petra Boukamp, DKFZ Heidelberg
23	Erkennung, Verarbeitung und biologische Konsequenzen von Chromatinschäden nach Teilchenbestrahlung	DNA-Reparatur	Dr. Burkhard Jakob, HZ GSI Darmstadt

Wer wurde gefördert?

Koordination

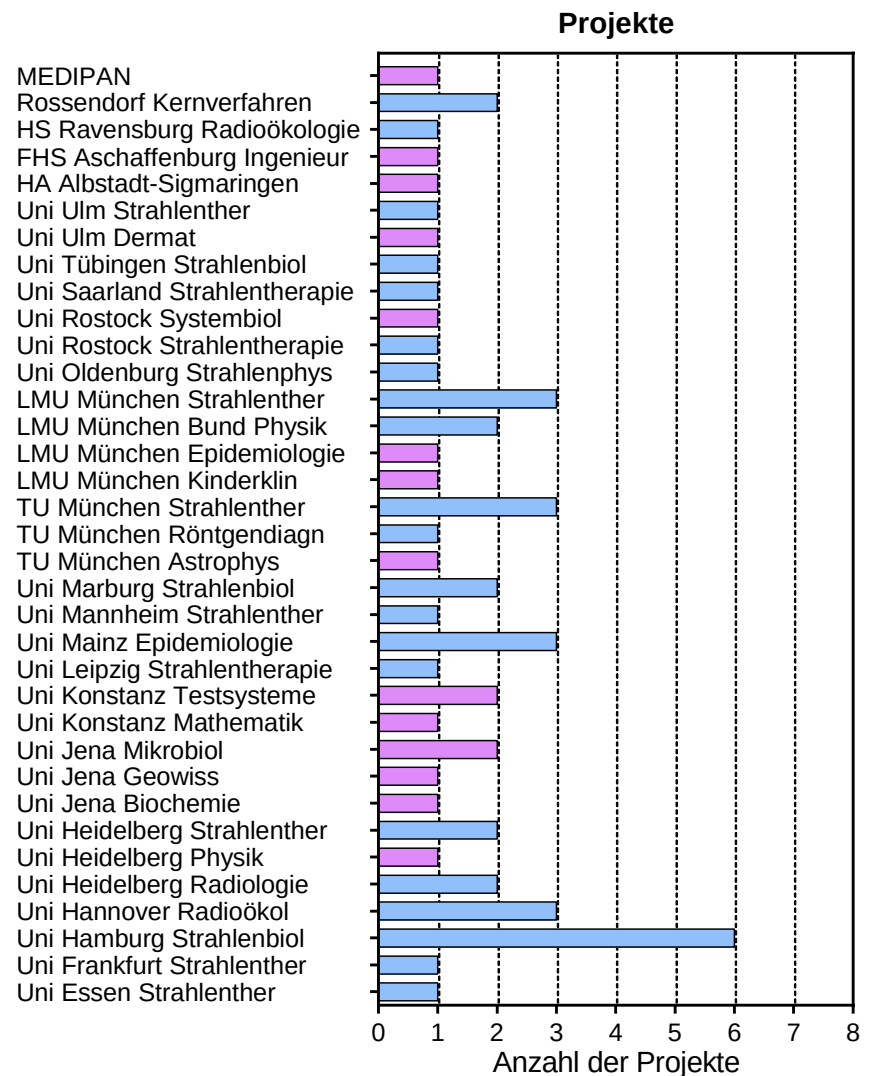
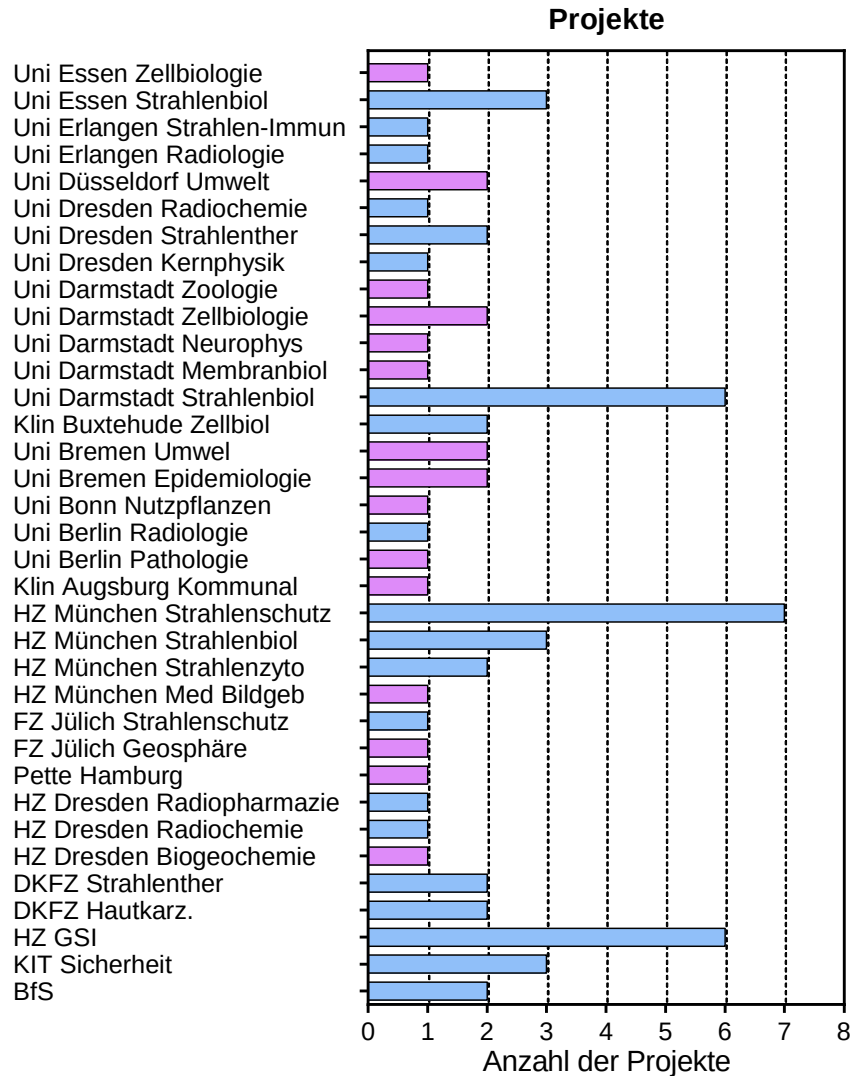


Wer wurde gefördert?



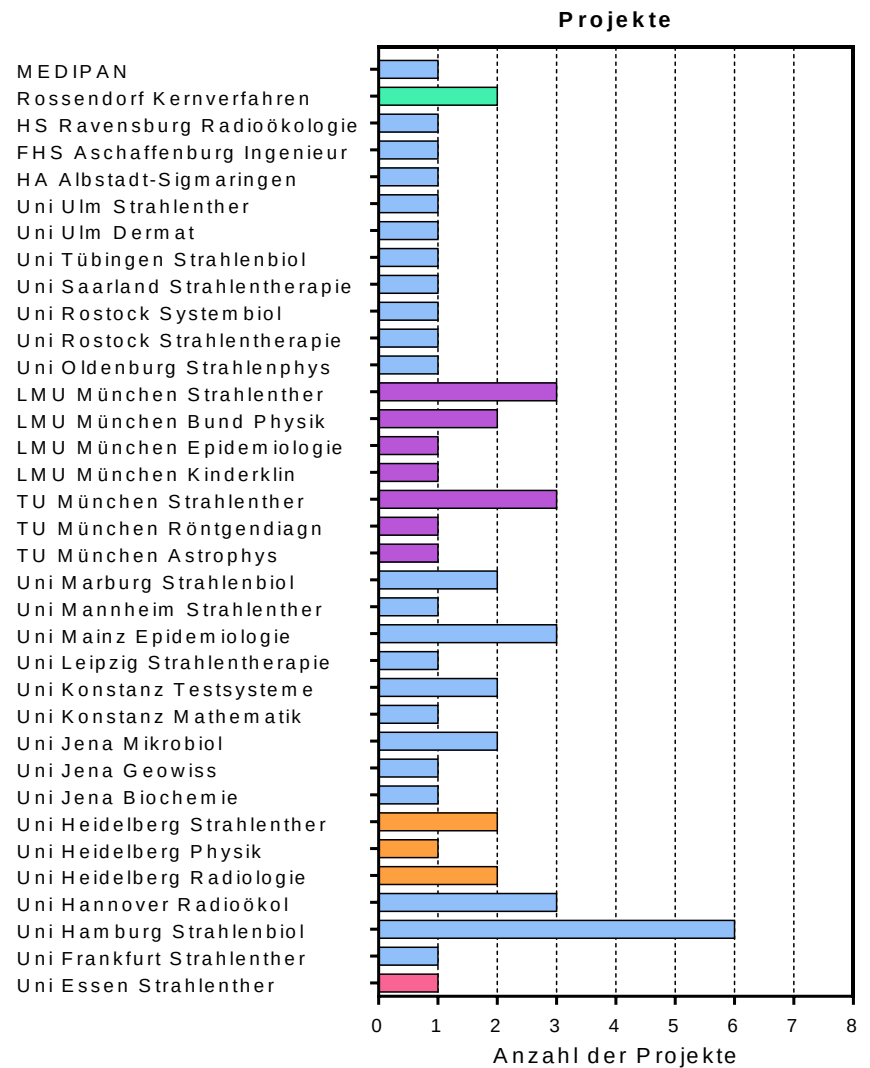
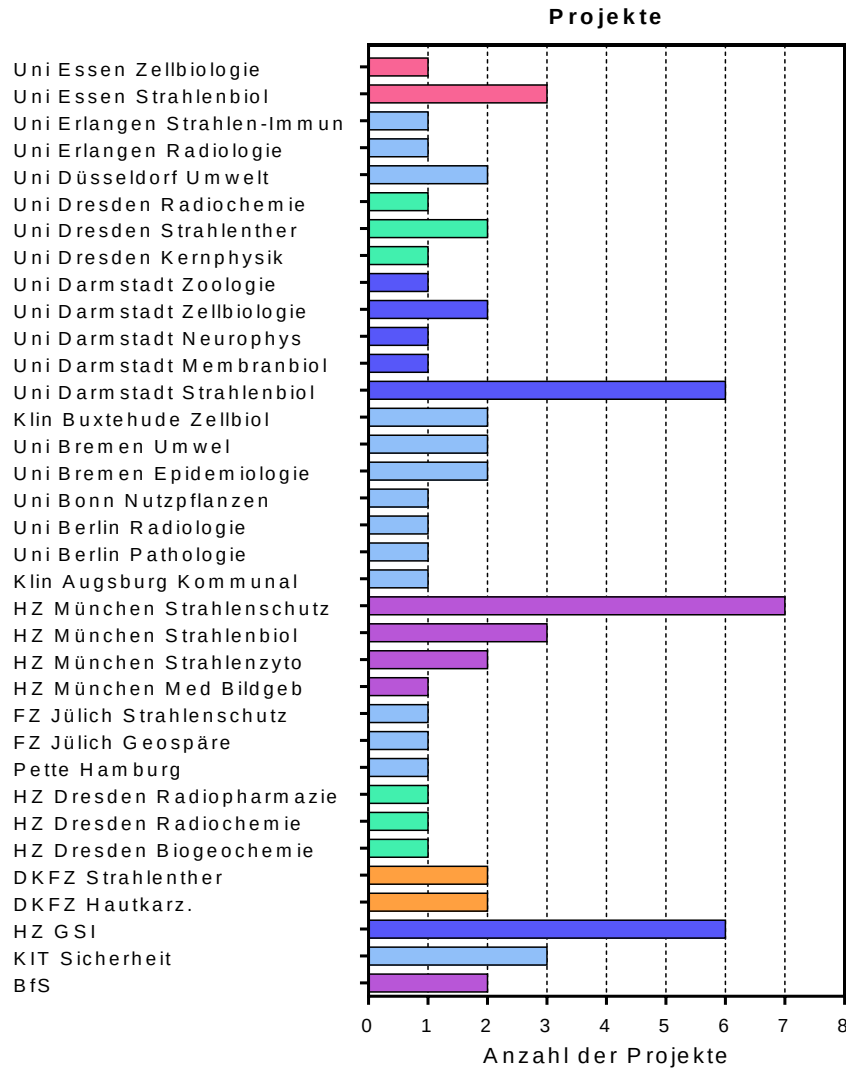
➤ **Gefördert wurden: 122 Teilprojekte in 70 Abteilungen**

Integration von „Strahlungs-fremden“ Abteilungen!



➤ Es konnten 30 bisher „Strahlungs-fremde“ Abteilungen gewonnen werden!!

Aufbau von Forschungsclustern!



➤ **Starke lokale Cluster in Essen, Dresden, Darmstadt, München, Heidelberg!!**

02NUK017 Genetische Risiken und entzündungshemmende Wirkung von dicht-ionisierender Strahlung: Vergleichende Untersuchungen zur Wirkung von Radon in Zell- und Tier-Modellen und in Radon-Patienten

**TU Darmstadt
FG Membranbiophysik**
Prof. Dr. G. Thiel

**TU Darmstadt
AG Zellbiologie und
Epigenetik**
Prof. Dr. MC Cardoso

**TU Darmstadt
AG Entwicklungsbiol.
und Neurogenetik**
Prof. Dr. P. Layer

**HZ GSI / Darmstadt
Abt. Biophysik**
Prof. Dr. C. Fournier
Koordination

**TU Darmstadt
AG Strahlenbiol. und
DNA Reparatur**
Prof. Dr. M Löbrich

**Uni Erlangen
AG Strahlen-
immunologie**
PD. Dr. U Gaipl

**Uni Frankfurt
Klin. f. Strahlenther.
und Onkologie**
Prof. Dr. F. Rödel

02NUK030 Transfer von Radionukliden in aquatischen Ökosystemen

KIT Karlsruhe
Radioanalyt.Labor
Strahlenschutz
Dr. S.Breustedt

Dresden-Rossendorf
V. f. Kernverfahrens-
technik und Analytik
Dr. D. Hampe

Uni Jena
Inst. f.
Geowissenschaften
Prof. Dr. G. Büchel

HZ Dresden-Rossend.
Abt. Biogeochemie
Dr. T. Arnold

HZ München
Inst. f. Strahlenschutz
Dr. J. Tschiersch
Koordination

Uni Hannover
Inst. f. Radioökologie
und Strahlenschutz
Dr. B. Riebe

HS Ravensburg-
Weingarten
FS Radioökologie
Prof. Dr. T. E. Klemt

TU München
Inst. f. Exp. Physik
Prof. Dr. St. Schönert

Uni Bremen
Inst. f. Umweltphysik
Dr. H. Fischer

- **Wanderausstellung „Strahlenforschung“**



- **Initiator: Prof. Dr. Dr. Kraft (emer.), HR GSI, Biophysik**
 - In Koop. mit vielen KollegInnen
- **Förderung durch das BMBF / Referat Öffentlichkeitsarbeit**
- **Broschüre und 25 Wandtafeln!**

● Ziel

- Die Wanderausstellung richtet sich an alle Teile der Bevölkerung, vor allem aber an **interessierte Schülerinnen und Schüler**.
- Anhand der natürlichen und künstlichen Strahlenexposition, der medizinischen Anwendung in Diagnostik und Therapie sowie der Grundlagenforschung soll **das ganze Spektrum** der Strahlenexposition und -forschung dargestellt werden.
- Der Kompetenzverbund Strahlenforschung (KVSF) will mit dieser Darstellung zu einer **breiten Information** über den Nutzen und die Risiken der Strahlung beitragen und damit zu einer sachlichen Diskussion zwischen allen Teilen der Bevölkerung anregen.

● **Inhalt**



Übersicht

01 Strahlung ist überall



Grundlagen und Methoden der Strahlenforschung

02 Wozu brauchen wir biologische Strahlenforschung?
03 Was sind ionisierende Strahlen?
04 Ionisierende Strahlung – Erzeugung und Absorption
05 Dosimetrie – Wie kann man ionisierende Strahlung messen?
06 Methoden der Strahlenbiologie
07 Chromosomen-Analyse zur Bestimmung des Strahlenrisikos
08 DNA-Doppelstrangbrüche
09 Strahlenepidemiologie



Natürliche Strahlenexposition

10 Inkorporation und Nahrungsmittel
11 Radon in der Atemluft
12 UV-Strahlung
13 Kosmische Strahlung



Künstliche Strahlenexposition – Kernkraft

14 Kernenergie und Strahlenbelastung
15 Nukleare Unfälle und Notfallschutz
16 Strahlenwirkung und -risiko



Medizinische Anwendungen – Diagnostik

17 Röntgendiagnostik
18 Einzel-Photonen-Emissions-Computer-Tomographie (SPECT)
19 Positronen-Emissions-Tomographie (PET)



Medizinische Anwendungen – Therapie

20 Krebsbehandlung durch Strahlentherapie
21 Grundlagen der Strahlentherapie
22 Ablauf einer Strahlentherapie
23 Klinische Strahlenbiologie
24 Radon in der Therapie
25 Ionenstrahl-Therapie

● Inhalt

- Wandtafel
 - Inkorporation und Nahrungsmittel
- Broschüre
 - Texte

● Erste Resonanz

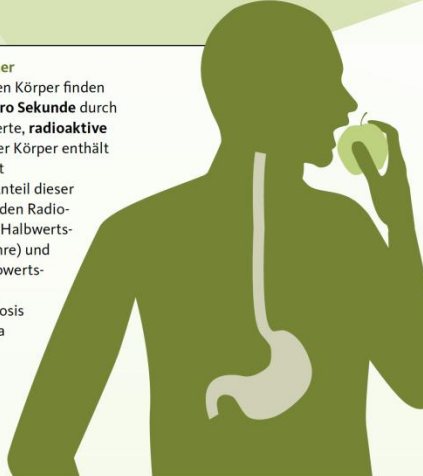
- Anfragen bzw. Auslieferung:
- Schülerlabor Uni Essen
- Schülerlabor HZ GSI
- Schülerlabor KIT Karlsruhe
- Schülerlabor FZ Dresden-Rossendorf
- Schülerlabor DESY Hamburg
- Schulbehörde Hamburg
- ...

NATÜRLICHE STRAHLENEXPOSITION

INKORPORATION UND NAHRUNGSMITTEL

Radioaktivität im Körper

- In jedem menschlichen Körper finden ca. **10.000 Zerfälle pro Sekunde** durch natürliche, inkorporierte, **radioaktive Stoffe** statt, d.h. unser Körper enthält etwa **10 kBq** Aktivität
- Der hauptsächliche Anteil dieser Aktivität kommt von den Radionukliden **Kalium-40** (Halbwertszeit 1,3 Milliarden Jahre) und **Kohlenstoff-14** (Halbwertszeit 5730 Jahre)
- Die **Dosisleistung** (Dosis pro Zeit) beträgt etwa **0,04 µSv/h**





Polonium in Zigaretten
Tabakpflanzen nehmen über die Wurzel bevorzugt Blei-210 auf, das im Boden aus Uran gebildet wird und in den Alpha-Strahler Polonium zerfällt.

Eine Zigarette enthält ca. 2–6 pCi Alpha-Strahler. Polonium geht quantitativ in den Rauch und wird nicht gefiltert. Belastung für mittleren Raucher: **40–150 mSv** in der Lunge.



- Auch in **Nahrungsmitteln** befinden sich natürliche, radioaktive Stoffe
- Fleisch, Gemüse und viele andere Nahrungsmittel enthalten eine Aktivität von etwa **50–150 Bq/kg**
- Milch enthält eine Aktivität von etwa **50 Bq/Liter**
- Trinkwasser enthält durch Radon eine Aktivität von etwa **5 Bq/Liter**



- Auch heute noch finden sich in Süddeutschland Wildpilze und Wildschweinfleisch mit Aktivitäten von **500 Bq/kg** und mehr durch Cäsium-137 aufgrund des **Tschernobyl-Fallouts**
- Die Nahrungsaufnahme von **150 g** mit 500 Bq/kg ergibt eine Dosis von **1 µSv**



KVSF
Kompetenzverbund
Strahlenforschung

AUSSTELLUNG STRAHLENFORSCHUNG



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

● **Was wurde getan?**

- **Förderung der Strahlenforschung durch BMBF und BMUB**
- **mit 55 M€**
- **23 Verbundprojekte**
- **Insgesamt 122 Teilprojekte**
- **70 Institutionen**

● **Was wurde erreicht?**

- **erhebliche Stabilisierung der Strahlenforschung in Deutschland**
- **Erhaltung und Ausbau von Institutionen**
- **Massive Integration neuer Disziplinen in die Strahlenforschung**
- **Bildung von lokal starken Clustern in Darmstadt, Dresden, Essen, Heidelberg und München!**
- **International herausragende Positionen für Themenbereiche**
 - **DNA-Reparatur**
 - **Klinische Strahlenbiologie**
 - **Strahlenrisiken**
- **Aufbau einer Wanderausstellung zur „Strahlenforschung“**

- **Was muss getan werden?**
 - **Stabilität in der Förderung der Strahlenforschung durch BMBF und BMUB**
 - **Darstellung der erreichten gesellschaftlichen Relevanz**
 - **Ausbau der „Cluster“**
 - **Gezielte Förderung von hoch-kompetitiver Forschung!**
 - **Nachwuchsförderung!!**
 - **Schwerpunkt „Lehre“**
 - **Strahlenbiologie**
 - **Strahlenrisiko**
 - **Strahlenphysik / Medizininphysik**
 - **...**

- **KVSF ist ein Erfolgsmodell!**
- **Danke an BMBF und BMUB!**
- **Danke an den Projektträger**
- **Danke an die vielen KollegenInnen!**
- **Danke für Ihre Aufmerksamkeit!**

AP 4.3 Investigations of the interactions of subsurface living microorganisms with uranium

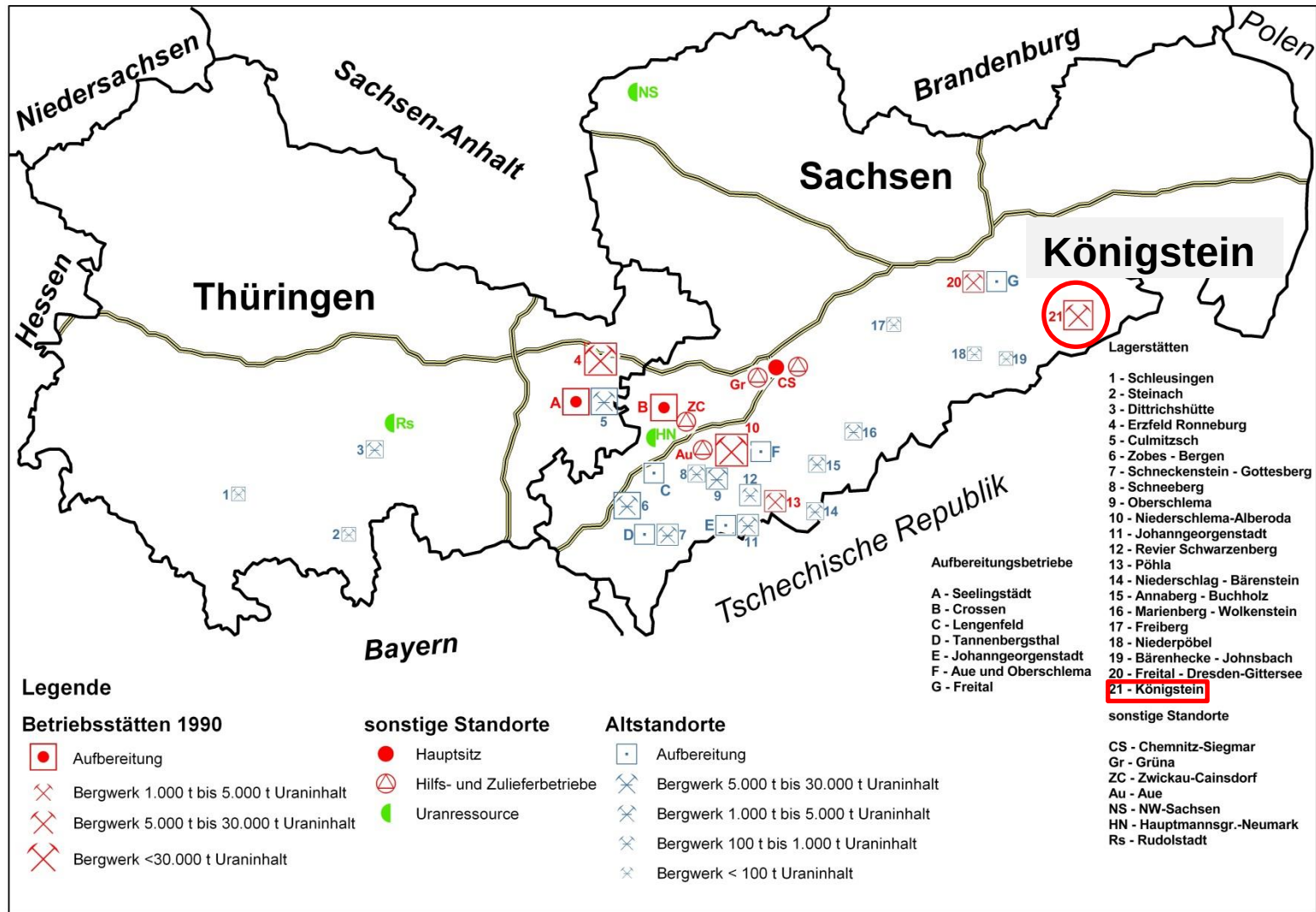
Usage of microorganism to clean up uranium polluted mine waters?

U. Gerber, E. Krawczyk-Bärsch, T. Arnold, T. Stumpf,
E. Kothe¹

¹ FSU Jena, Institute of Microbiology, Microbial Communication

2. Projektstatusgespräch zu BMBF-geförderten Forschungs- und Entwicklungsvorhaben auf dem Gebiet der „Nuklearen Sicherheits- und Entsorgungsforschung sowie Strahlenforschung“

Mining in eastern Germany



http://de.academic.ru/pictures/dewiki/119/wismut_karte.jpg

The uranium mine Königstein (Saxony)

- Since 1967 mining of uranium, area of 6 km² in the subsurface
- Inventory of uranium: 30.000 t
 - low content in the sand stone
 - leaching with sulfuric acid
- More than 55 Mill. t rocks came in contact with acid
- Acid leads to mobilization of uranium and other toxic metals
- Since January 2011 controlled flooding (max. 140 m NN)
 - currently half is flooded
- Flooding water:
 - **waste water treatment for the next 100 years**



underground before flooding



waste water treatment

Composition of the flooding water in Königstein (Saxony)

	Tap water [mg/L]	Flooding water [mg/L]
Sodium	29	107
Magnesium	11	28
Aluminium	0,004	35 (factor 8000)
Potassium	6	7
Calcium	48	296 (factor 6)
Iron	< DL	60
Sulfate	80	1000 (factor 13)
Uranium	0,0002	15 (factor 75000)

- pH = 2,7 - 3,0
- Temperature = 14,0°C - 14,6°C

Natural uranium concentrations^{1,2}:

Surface water = 0,03-2,1 µg/L

Ground water = < 0,1-40 µg/L

Mineral water = < 0,002-188,8 µg/L

Elbe = 1,6 µg/L (2011)

¹ A. Osman, 2014, Dissertation, TU Dresden

² S. Brockmann, 2013, Dissertation, TU Dresden

How could we clean the water efficiently and easier? Could microorganisms help to clean the flooding water?

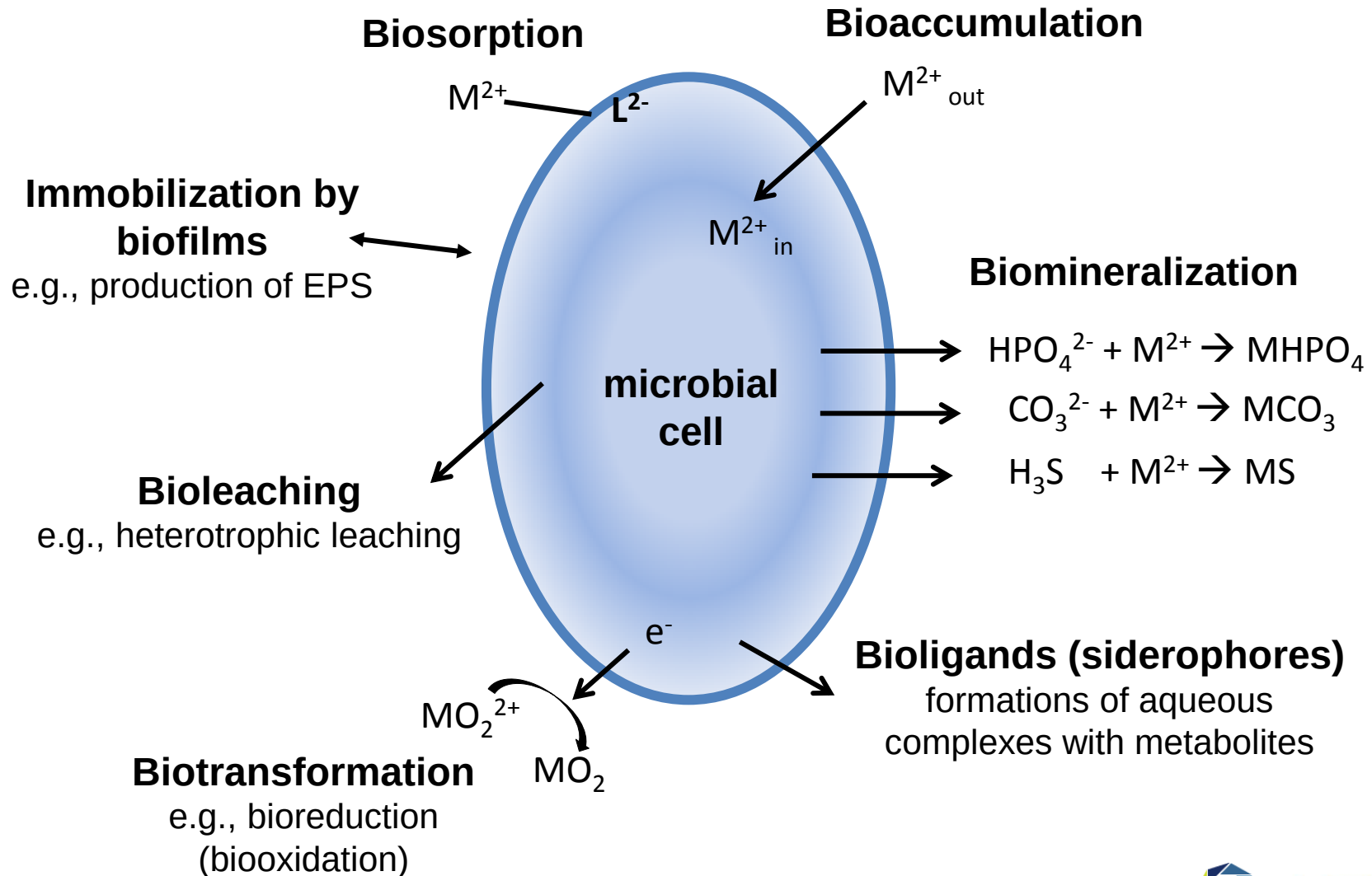
Bioremediation

- defined as the use of microorganisms to detoxify or remove pollutants
→ ability of microbes to immobilize metals and to degrade organic contaminants into harmless constituents
- **natural or „green“ solution → cost-effective**
- clean water is essential to agriculture and industry;
contaminated land → problem of migration → groundwater is a major source of drinking water

Microorganisms as a solution???

- small size, large surface-to-volume ratio
- very high rate of growth and division
- genome plasticity → bacteria evolve quickly

Interactions of microorganisms with metals / radionuclides



modified from Lloyd *et al.*, 2005

DRESDEN
concept



HZDR

Member of the Helmholtz Association

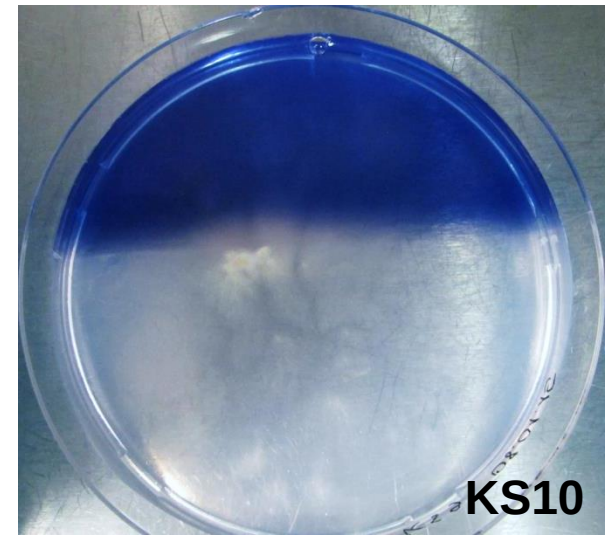
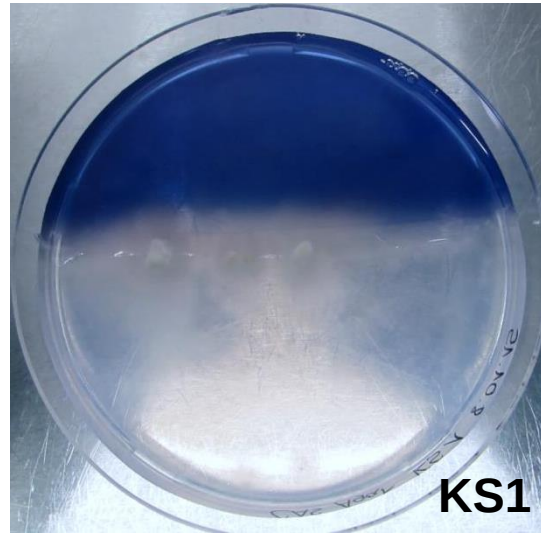
Ulrike Gerber | Resource Ecology | www.hzdr.de

Isolation of microorganisms from the flooding water in Königstein (Saxony)

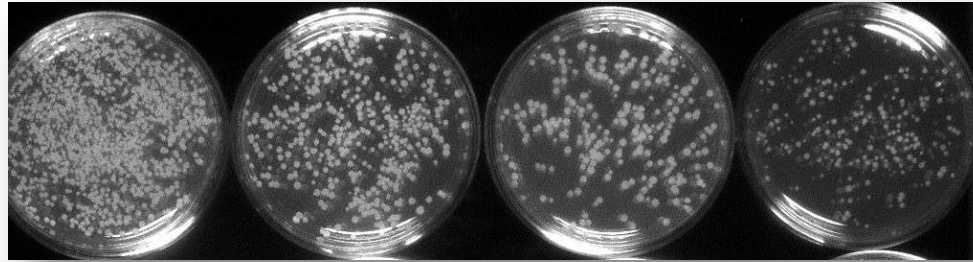
- **culture dependent method:**
isolation with SDA medium (dextrose agar)
→ nine different microorganisms were isolated
- 16S rDNA and 18S rDNA analysis → sequencing for identification of the different isolates

CAS agar: test for production of siderophores
→ disappearing of the blue color

➤ KS1 and KS10 are the only 2 of the isolates



Uranium tolerance of the isolated microorganisms



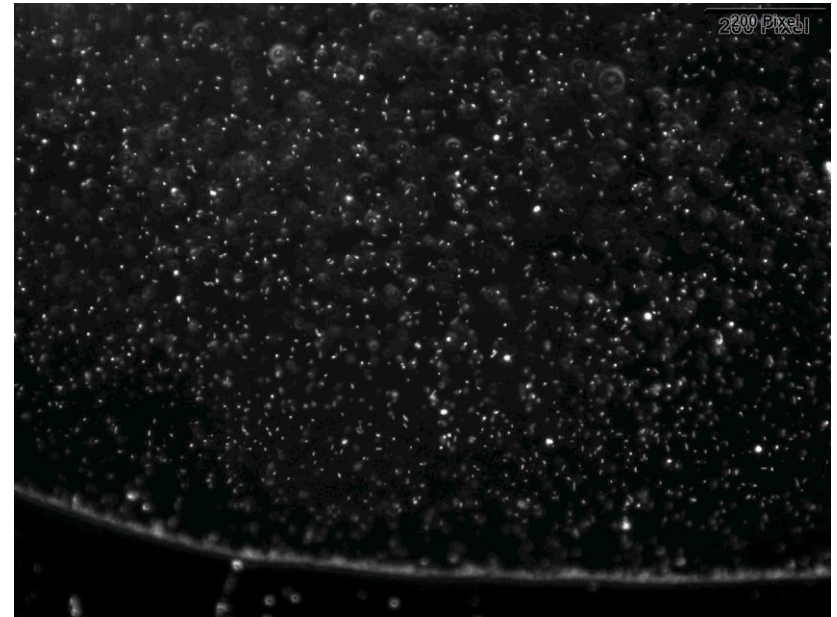
Isolate	MIC [U mM]
KS1	1
KS2	6
KS3	2
KS4	6
KS5	6
KS7	5
KS8	5
KS9	6
KS10	0,05
DSM 10134	1

U_{conc} = within the solid agar plates

- isolate KS5 → yeast cell (*Rhodospiridium toruloides*) displays a higher uranium tolerance compared to the ordered DSM 10134 → **adaption to the environmental conditions**
- **most isolates show a high tolerance**

Microorganisms occurring in the flooding water of Königstein (Saxony)

- *Bodo saltans* (representative of flagellates) → detection in subsurface biofilms prior to the flooding of the uranium mine by biodiversity investigations (Zirnstein *et al.*, 2012)
- *Acidovorax facilis* (gram negative) → as feeder bacterium of *Bodo saltans*

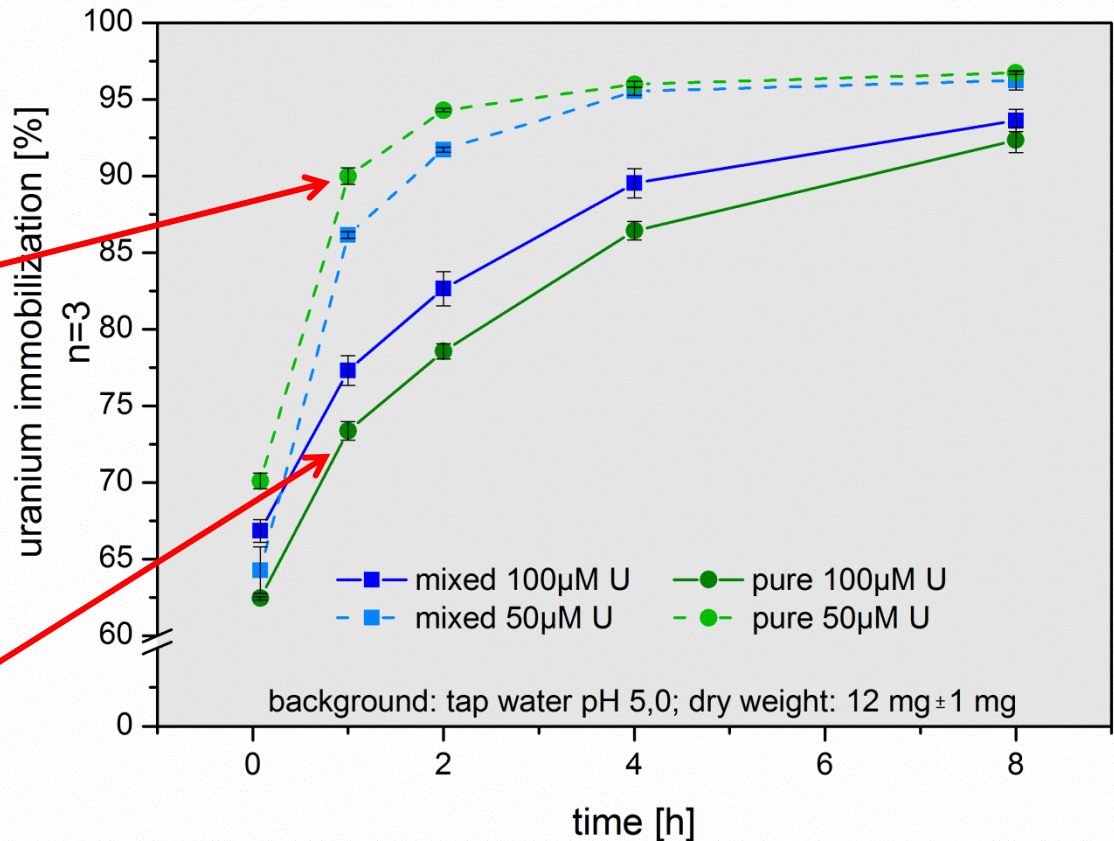
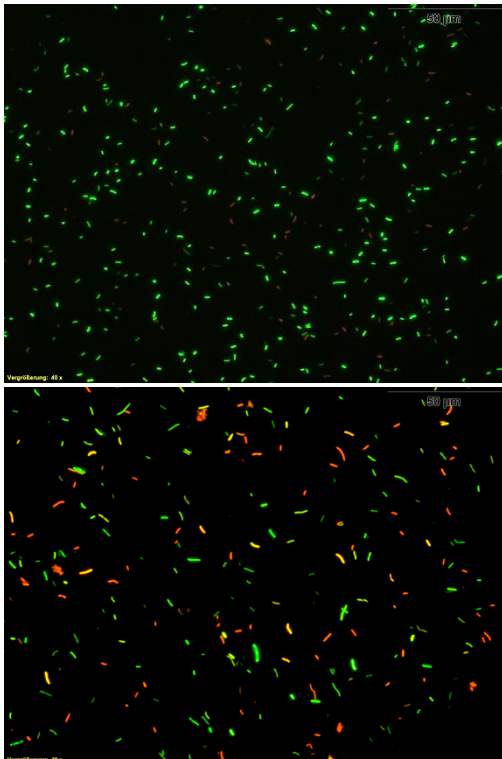


Uranium immobilization by *Acidovorax facilis* and *Bodo saltans*

- fast uranium immobilization **within the first 8 h**
- slight difference between the pure and the mixed culture
- uranium immobilization per dry weight:

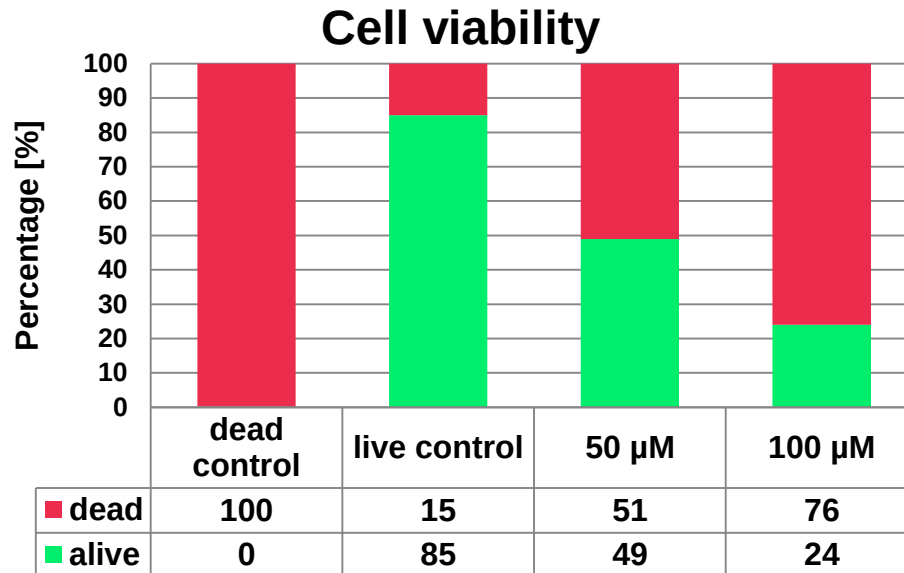
→ 50 μ M U: **44 mg / 1g**

→ 100 μ M U: **77 mg / 1g**



→ live-dead staining after 48 h

Effect of uranium on cell viability of *Acidovorax facilis* by flow cytometry (in coop. with M. L. Merroun, University Granada)

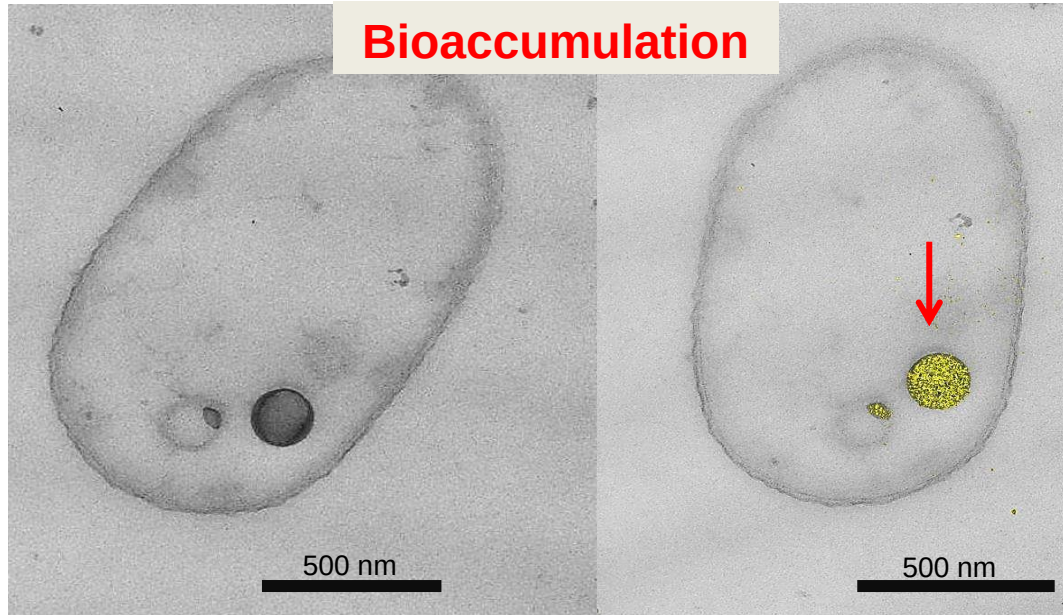


- cells were stained with:
PI (propidium iodide)
→ dead cells
FDA (fluorescein diacetate)
→ living cells
- background: diluted NB
- incubation time: 24 h

→ cells tolerate a U_{conc} of 50 µM
→ U_{conc} of 100 µM is cytotoxic to the cells

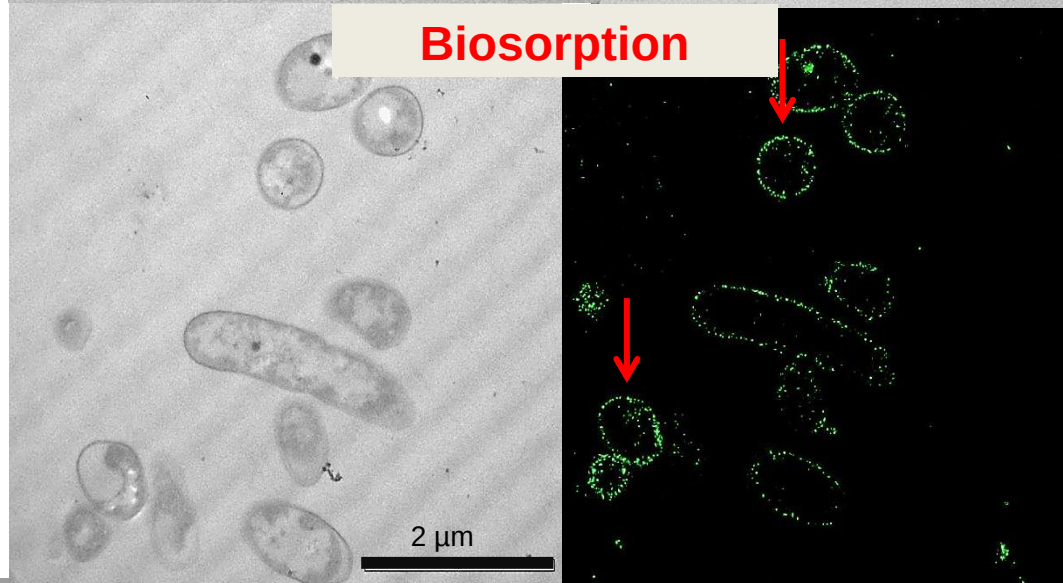
Localization of the immobilized uranium by *Acidovorax facilis*

Transmission Electron Microscopy and element mapping of U



→ uptake of uranium in the polyphosphate granules
→ formation of uranyl-phosphate complexes

Initial $U_{\text{conc}} = 100 \mu\text{M}$



→ sorption on cell membrane

Solution - Waste water processing by microorganisms

- Use of microorganism, which naturally occur in the flooding water
- Microorganism immobilize the uranium by:
Biosorption and **Bioaccumulation** within hours
- Compared to the processes of the waste water treatment in Königstein
→ **less chemicals, time, and effort**
- Separation of microorganisms which bound uranium

Outlook

- Understanding of the mechanisms of the interactions between microorganisms and uranium
 - **molecular biological mechanisms** (real-time PCR → gene expression analysis, proteomics → protein analysis)
 - **metabolic mechanisms** (calorimetry → growth rates)
 - **immobilization mechanisms** (TRLFS → speciation of the immobilized uranium)

Thank you for your attention



The research leading to these results has received funding from Verbundprojekt Strahlung und Umwelt III: „Transfer von Radionukliden in aquatischen Ökosystemen“ (TransAqua) under the grant n° 02NUK030F.

Acknowledgement:

Isabel Zirnstien, Corinna Gagell,
Karsten Heim and Sabrina Gurlit for ICP-OES/MS
Wismut GmbH (Dr. Jenk and colleagues)

hZDR

KVSF
Kompetenzverbund
Strahlenforschung

 **HELMHOLTZ**
ZENTRUM DRESDEN
ROSSENDORF