Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin
Nationales Metrologieinstitut

Umweltdosimetrie und die Entwicklung neuer Technologien für das radiologische Notfallmanagement

Faton S. Krasniqi

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)
Arbeitsgruppe 6.32: Dosimetrie bei niedrige Dosisleistung
Fachbereich 6.3: Strahlenschutzdosimetrie
Bundesallee 100, 38116 Braunschweig

Inhalt

PTB Referenzmessstellen für die Umweltdosimetrie

Qualitätssicherung von Umweltdosimetriesystemen, Harmonisierung der Umweltüberwachung

Inhalt

PTB Referenzmessstellen für die Umweltdosimetrie

Qualitätssicherung von Umweltdosimetriesystemen,
Harmonisierung der Umweltüberwachung

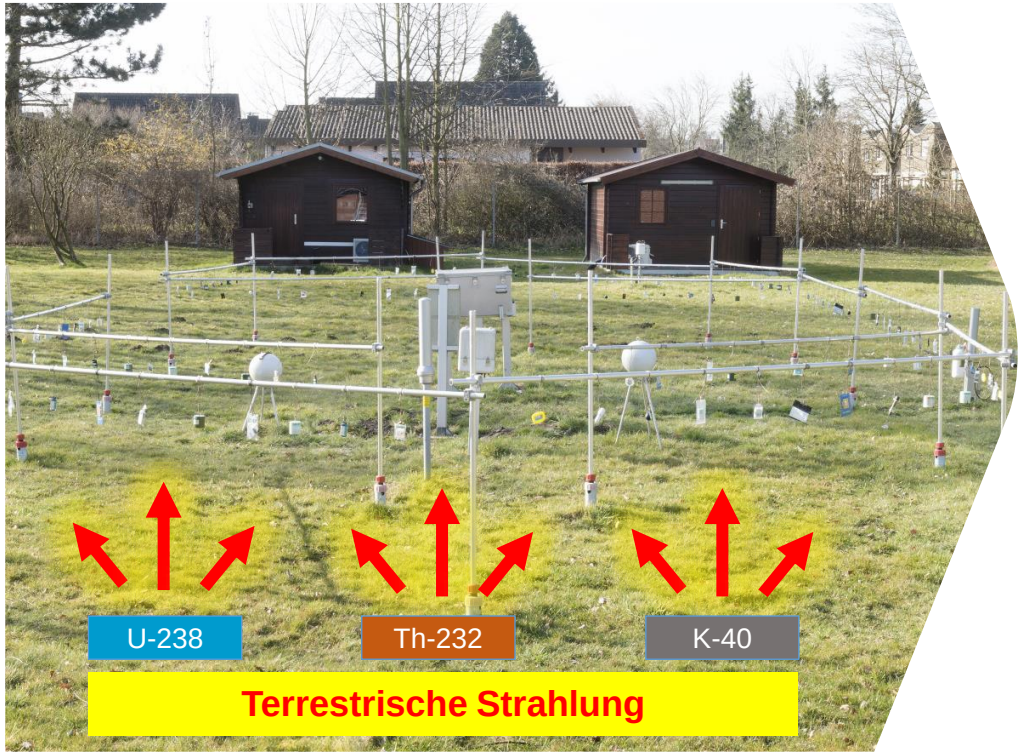
Entwicklung neuer Methoden und Technologien

Notfallmanagement,
Umweltbezogene Projekte

Umweltdosimetrie in der PTB

Erforschung wie die Komponenten natürlicher und künstlicher ionisierender Strahlung möglichst genau in Dosisleistungen quantifiziert werden können.

Umweltdosimetrie in der PTB

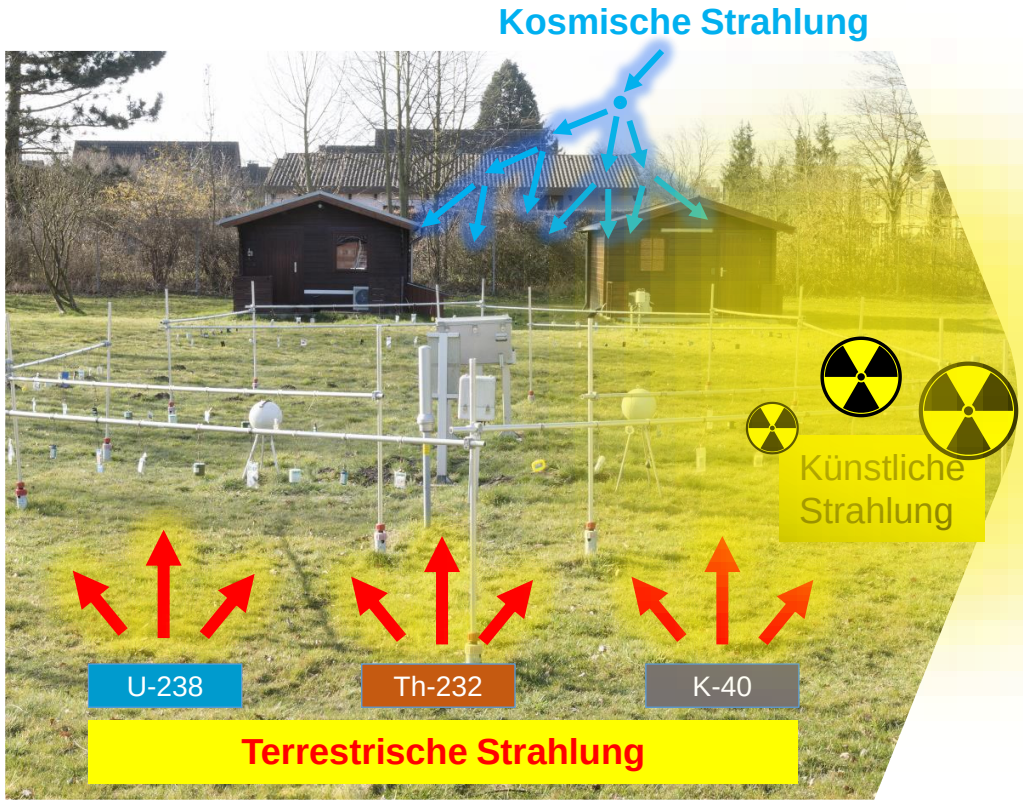


Erforschung wie die Komponenten natürlicher und künstlicher ionisierender Strahlung möglichst genau in Dosisleistungen quantifiziert werden können.

Umweltdosimetrie in der PTB

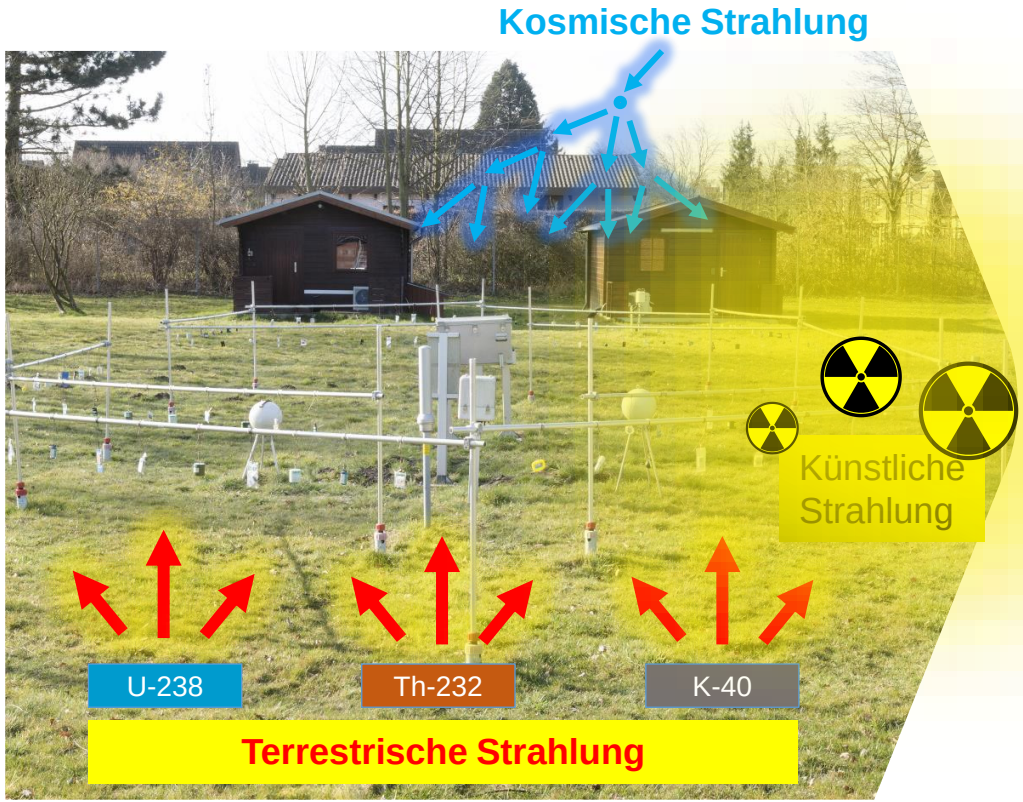
Erforschung wie die Komponenten natürlicher und künstlicher ionisierender Strahlung möglichst genau in Dosisleistungen quantifiziert werden können.

Umweltdosimetrie in der PTB



Erforschung wie die Komponenten natürlicher und künstlicher ionisierender Strahlung möglichst genau in Dosisleistungen quantifiziert werden können.

Umweltdosimetrie in der PTB



Erforschung wie die Komponenten natürlicher und künstlicher ionisierender Strahlung möglichst genau in Dosisleistungen quantifiziert werden können.

Umgebungsstrahlung:

- Terrestrische Komponente
- Kosmische Komponente
- Künstliche Komponente

Messung der Umgebungsstrahlung

$$\dot{M} = \dot{M}_0 + q_{TR}\dot{H}_{TR} + q_{SCR}\dot{H}_{SCR} + q_{ART}\dot{H}_{ART}$$

- $\dot{M}_0$ → Apparativer Nulleffekt (UDO)
- $q_{TR}\dot{H}_{TR}$ → Terrestrischer Anteil
- $q_{SCR}\dot{H}_{SCR}$ → Kosmischer Anteil
- $q_{ART}\dot{H}_{ART}$ → Künstliche Beiträge (falls vorhanden)

q_{TR}, q_{SCR}, q_{ART} → Ansprechvermögen

Ermittelt auf den Referenzmessplätzen der PTB

Notfallmanagement: Radiologischer Datenaustausch in Europa

Die Charakterisierung des Ansprechvermögen der Instrumente auf verschiedene Strahlungsfelder ist wichtig für die Harmonisierung der Strahlungsüberwachung in Europa (Harmonisierung der Frühwarnsysteme).

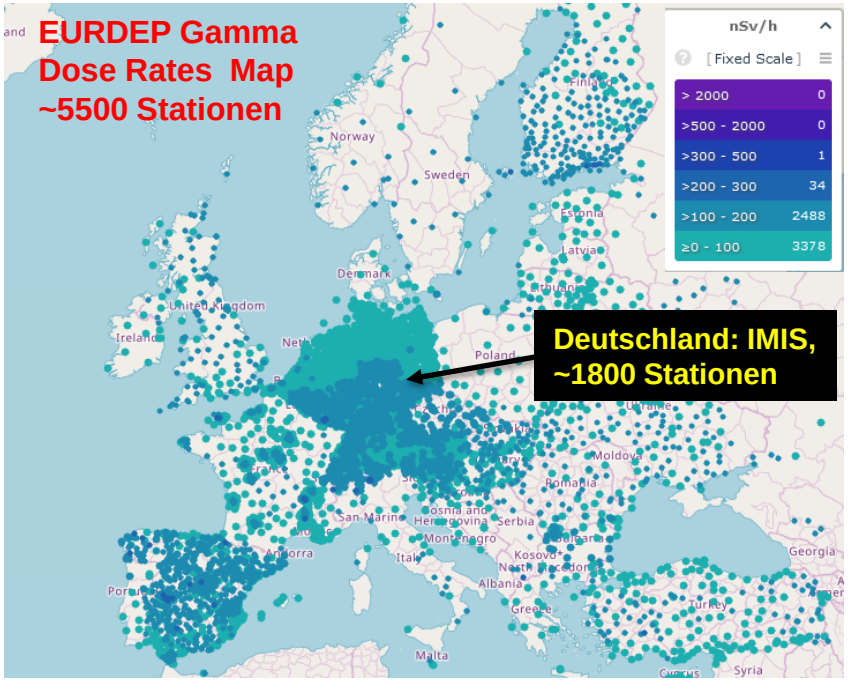
H. Dombrowski *et al.*, Radiat. Prot. Dosimetry **135**, 1-20 (2009).

H. Dombrowski *et al.*, Radiat. Prot. Dosimetry **161**, 53-57 (2014).

H. Dombrowski *et al.* 2017 JINST **12** P12024.

EURADOS Intercomparisons

(https://eurados.sckcen.be/events/intercomparisons)



EUropean Radiological Data Exchange Platform (EURDEP)
(https://remap.jrc.ec.europa.eu/Advanced.aspx)

Environment Radiation Dosimetry Site (ERADOS)

PTB-Referenzmessstelle für die Untersuchung der Umweltdosis: ERADOS.

ERADOS: Untersuchung und Überwachung der Umweltstrahlung

Rückführbare Referenzwerte für die Umgebungsstrahlung (Messvergleiche, Umweltprojekte)

Ionisationskammer, Radon-Monitore	Reuter-Stokes, FHT Eberline, GM counters
Neutronen Dosimeter	LB 6411 Berthold
Spektrodosimeter	based on $CeBr_3$, SrI_2
Detektoren für kosmische Strahlung	Myon-Detektoren

+ Instrumente und Systeme zur Überwachung atmosphärischer Parameter

The PTB Underground laboratory for DOsimetry (UDO II)

Das PTB-Untertagelabor für DOsimetrie und Spektrometrie (UDO II) im Steinsalzbergwerk Braunschweig-Lüneburg.

UDO II: 430 m unter dem Meeresspiegel, "strahlungsfreie" Umgebung

Myonenintensität um mehr als zwei Größenordnungen geringer als in Bodennähe

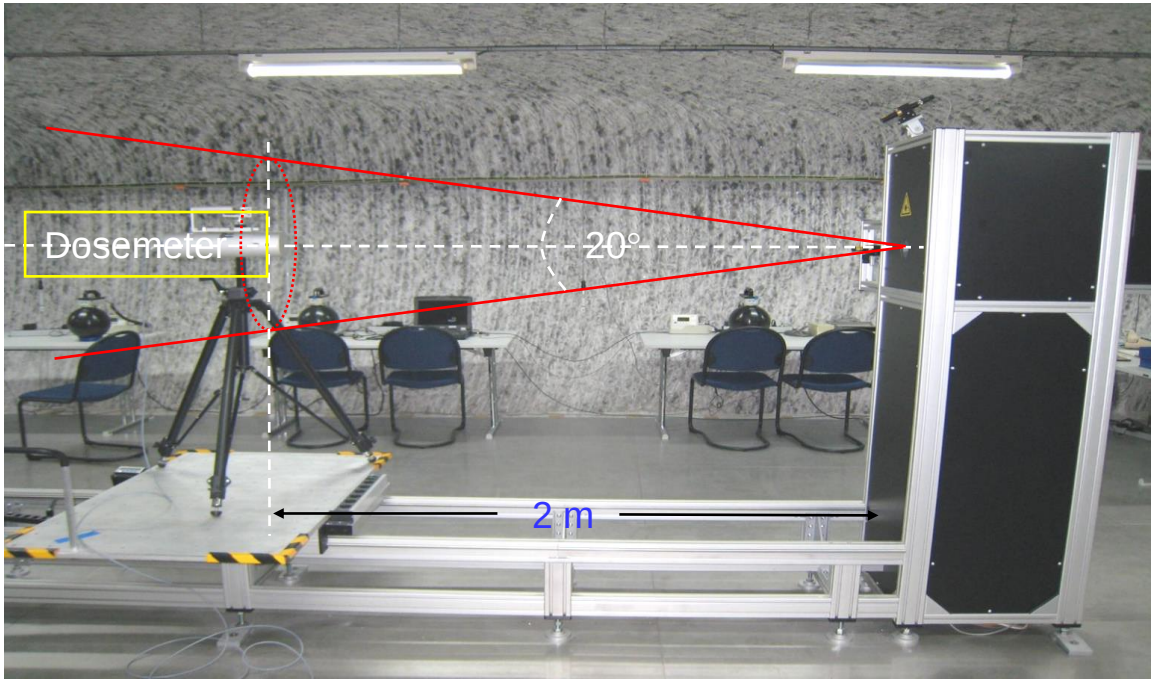
Background dose rate (1.5±0.2) nSv/h

Bestimmung des Apparativen Nulleffekt M_0

A. Röttger and P. Kessler, Journal of Environmental Radioactivity **205** (2019) 48–54.

H. Dombrowski and S. Neumaier, Radiation Protection Dosimetry **140**, 223 (2010).

Das Untertagelabor der PTB für DOsimetrie (UDO II)



Die Kalibrieranlage bei UDO II.

Referenzmessplatz für Kalibrierungen bei extrem niedrigen Dosisleistungen.

Referenzstrahlungsfelder erzeugt durch:

Am-241, Cs-137, Co-57, Co-60 und Ra-226

mit Umgebungs-Äquivalentdosisleistungen zwischen 10 und 300 nSv/h.

Bestimmung des Ansprechvermögens q_{TR}, q_{ART}

Cosmic Radiation Dosimetry Site (CORADOS)

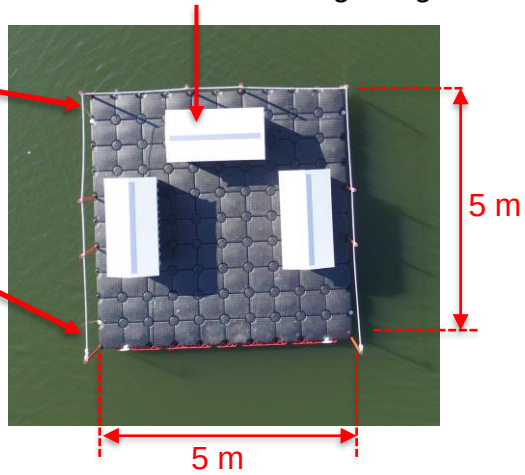
Aufnahme der schwimmenden Plattform, die auf einem ca. 15 km von der PTB entfernten See installiert ist, der als Messplatz für kosmische Strahlung dient.

Dosimeter (Detektoren) ausschließlich der sekundären kosmischen Strahlung ausgesetzt.

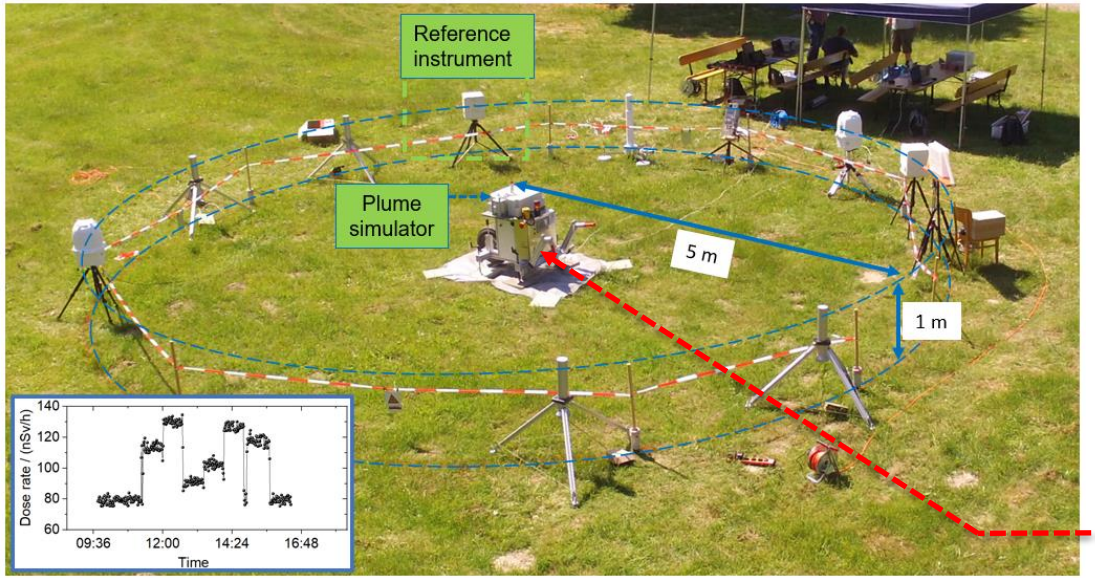
Terrestrische Komponente unterdrückt bis zu ~2 nSv/h.

Bestimmung des Ansprechvermögens q_{SCR}

Kunststoffkästen zur Lagerung von Detektoren



Freifeld-Referenzmessstelle

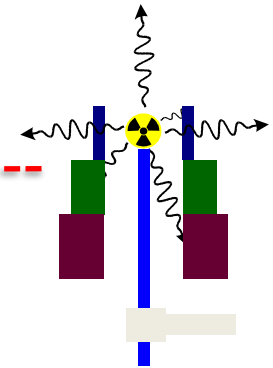


Simulation einer radioaktiven Wolke für die Qualitätssicherung von Dosimetriesystemen und Messverfahren. Messinstrumente, deren Ansprechverhalten untersucht werden soll, sind um die Wolkenmaschine herum in einem definierten Radius (5 m) und in einer Höhe von 1 m über dem Boden installiert.

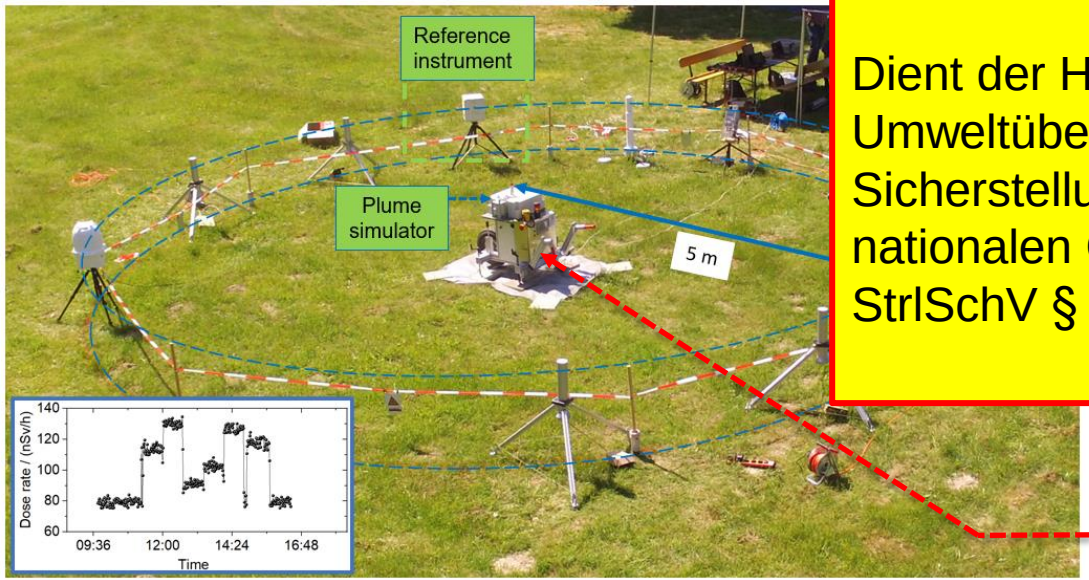
V. Morosh *et al*., Radiation Measurements 143 (2021) 106580.

Simulation eines nuklearen Zwischenfalls durch Erhöhung der Dosisleistung um 10-50% der normalen Umgebungswerte.

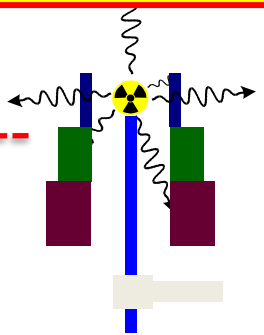
Wolkenmaschine:
Radioaktive Quellen können in einem Zylinder mit unterschiedlicher Bleidicke an mehrere Bestrahlungspositionen bewegt werden.



Freifeld-Referenzmessstelle



Dient der Harmonisierung der Umweltüberwachung in Europa und der Sicherstellung eines einheitlichen nationalen Qualitätsstandards gemäß StrlSchV § 103.



Simulation einer radioaktiven Wolke für die Qualitätssicherung von Dosimetriesystemen und Messverfahren. Messinstrumente, deren Ansprechverhalten untersucht werden soll, sind um die Wolkenmaschine herum in einem definierten Radius (5 m) und in einer Höhe von 1 m über dem Boden installiert.

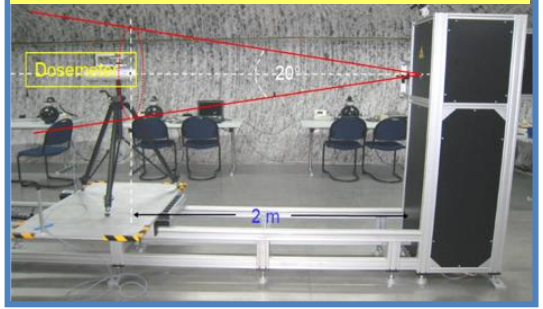
V. Morosh *et al*., Radiation Measurements 143 (2021) 106580.

PTB Referenzmessplätze für Umweltdosimetrie: Zusammenfassung

Rückführbarkeit auf PTB-Primärnormale

ERADOS: Referenzwerte für kosmische und terrestrische Strahlung

UDO II: „radiation free“ environment



CORADOS: "strahlungsfreie" Umgebung

"Simulation einer "radioaktiven Wolke

- Rückführbare Referenzwerte für die Umgebungsstrahlung
- Sicherstellung der Harmonisierung des Frühwarnsystems in Europa und eines einheitlichen nationalen Qualitätsstandards gemäß StrlSchV § 103
- Förderung interdisziplinärer Projekte: Untersuchung der Zusammenhänge zwischen ionisierender Strahlung in der Umwelt, dem Klima, anthropogenen Aktivitäten und der Gesundheit.

Notfallschutz: Neuartige Spektrodosimetrie-Systeme

EMRP Projekt ENV57 **MetroERM**
(2014 – 2017)

Koordination: PTB

Zielsetzung

Unterstützung der Frühwarnung bei nuklearen Unfällen in Europa: Verbesserung der Fähigkeit Europas, radiologische Zwischenfälle zu erkennen und darauf zu reagieren

- Entwicklung neuer und verbesserter Dosimetriesysteme für den Einsatz in Messstellen, die sowohl die Messung von Dosisleistungen als auch die Erfassung nuklidspezifischer Informationen ermöglichen

Partner

PTB – Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig und Berlin
Ciemat – Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas
CMI – Czech Metrology Institute
IFIN-HH
cea list – Laboratoire National Henri Becquerel – LNE-LNHB
ENEA
NPL – National Physical Laboratory
SCK•CEN – Studiecentrum voor Kernenergie / Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire
Jožef Stefan Institute Ljubljana, Slovenia
TENMAK – Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu
Joint Research Centre JRC
BfS – Bundesamt für Strahlenschutz
IRSN – Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

MetroERM radiological early warning

The MetroERM project is financially supported by EMRP. EMRP is jointly funded by the EMRP participating countries within EURAMET and the European Union.

EURAMET

Notfallschutz: Neuartige Spektrodosimetrie-Systeme

Entwicklung einer **neuen Generation von Dosimetern** auf der Grundlage der **Szintillatoren $LaBr_3$**, **$CeBr_3$** und **SrI_2** für die Überwachung der **Gammastrahlung in der Umwelt**.

Spektroskopische Informationen (Radionuklidvektor)

+

Dosimetrische Informationen (Dosisleistung)

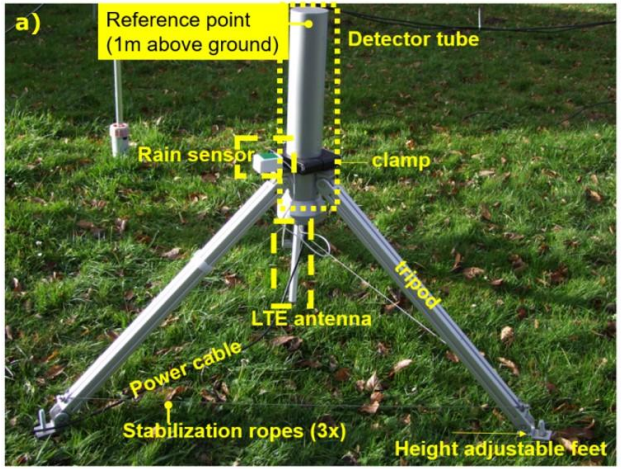
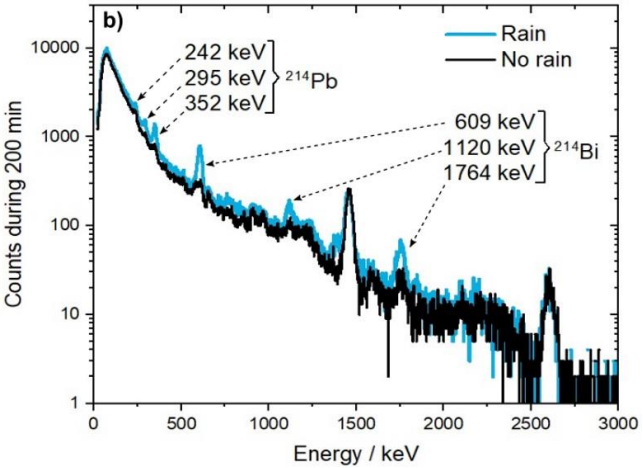


Bild eines in der PTB entwickelten $CeBr_3$-Spektrodosimetriesystems.



Gemessenen Spektren während eines Regenereignisses und während einer Trockenperiode.

MetroERM radiological early warning

H. Dombrowski, Radiation Protection Dosimetry **160**, 269–276 (2014)
P. Kessler *et al.*, Journal of Environmental Radioactivity **187** (2018) 115–121

EURAMET

Notfallschutz: Drohnengestützte Dosisleistungsmessung

EMPIR Projekt 16ENV04 **Preparedness**
(2017 - 2021)

Koordination: PTB

Zielsetzung

Neue Methoden und Technologien für einen schnellen und wirksamen Schutz der Umwelt nach nuklearen Ereignissen

- Entwicklung von unbemannten, auf Drohnen installierten Detektionssystemen für die ferngesteuerte Messung von Dosisleistungen und Radioaktivitätskonzentrationen.

Partner

PTB – Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig und Berlin
CMI – Czech Metrology Institute
NPL – National Physical Laboratory
Jožef Stefan Institute Ljubljana, Slovenia
ENEA – Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile
SCK•CEN – Studiecentrum voor Kernenergie / Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire
Institut za nuklearne nauke Vinča
RB – Institut Ruđer Bošković
Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea
BfS – Bundesamt für Strahlenschutz
Joint Research Centre JRC
Aristotle University of Thessaloniki
UPC – Universitat Politècnica de Catalunya BarcelonaTech
CLOR – Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej
NUVIA
TÜ
kromek – detect image identify

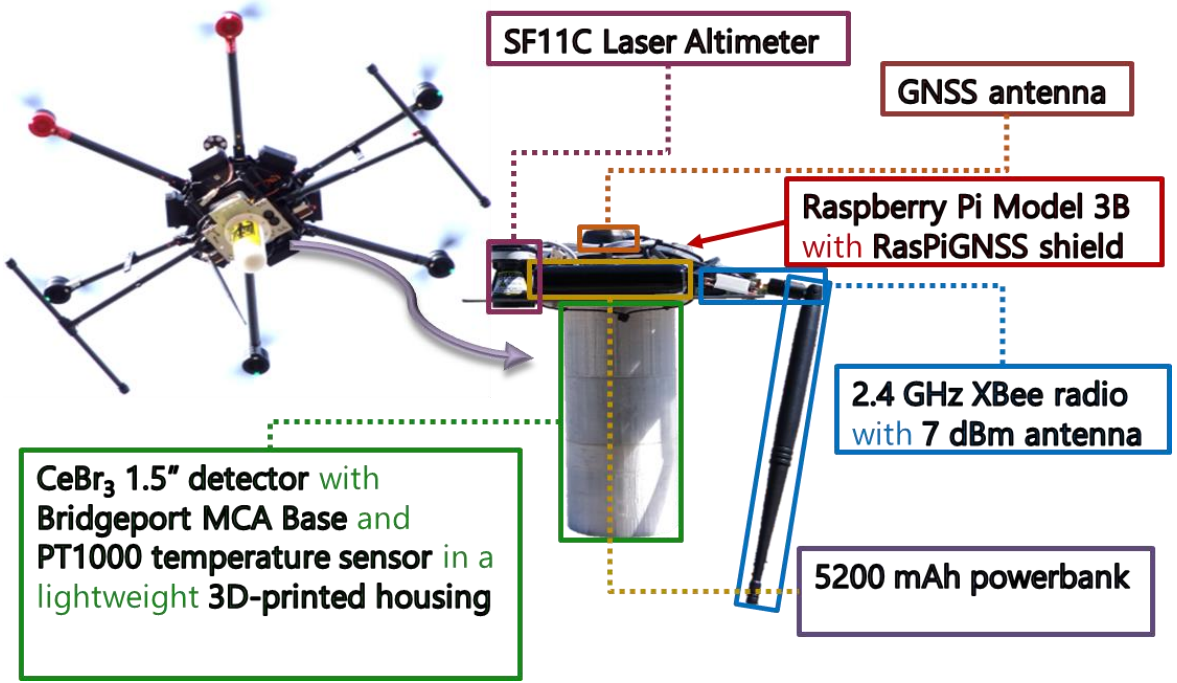
PREPAREDNESS

The project 16ENV04 Preparedness has received funding from the EMPIR programme co-financed by the participating states and from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme.

EURAMET

Notfallschutz: Drohnengestützte Dosisleistungsmessung

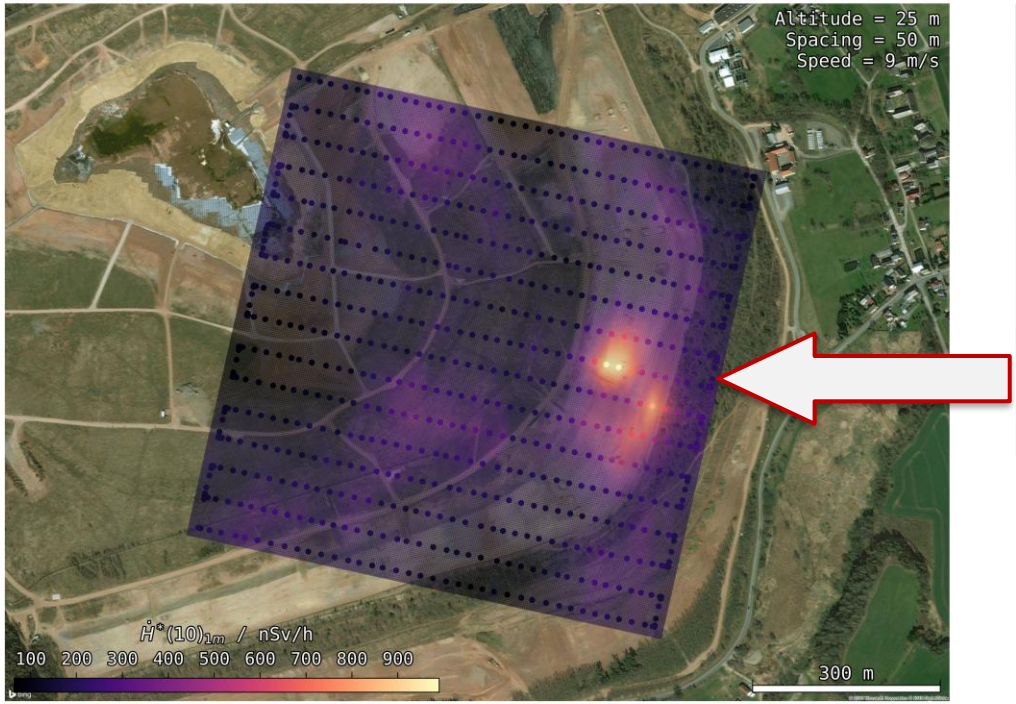
In der PTB entwickelte unbemannte luftgestützte Überwachungssystem für Gammastrahlung



PREPAREDNESS

EURAMET

Notfallschutz: Drohnengestützte Dosisleistungsmessung

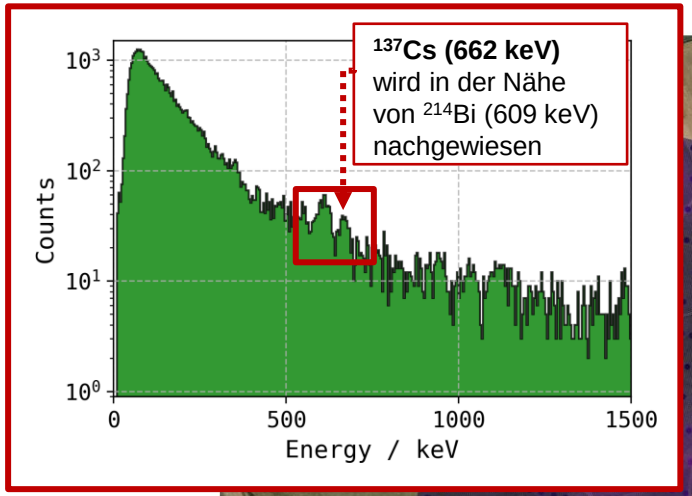


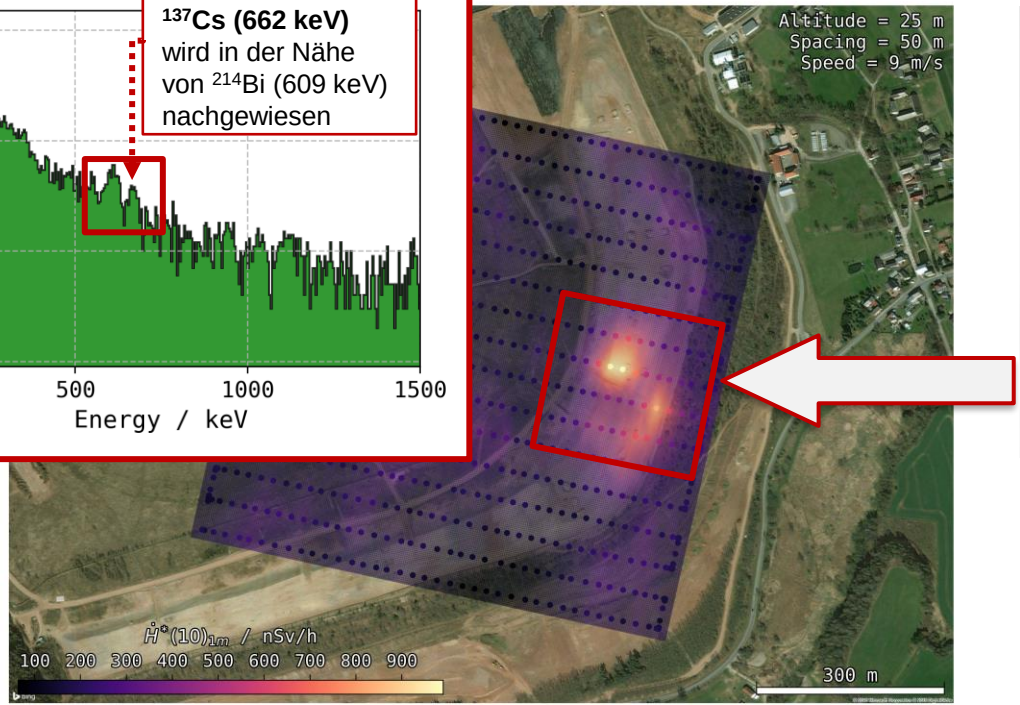
Referenz Ḣ(10) gemessen mit PTB Drohnengestütztem Detektionssystem in einem ehemaligen Uranbergwerk, Wismut GmbH, Seelingstädt*

PREPAREDNESS

EURAMET

Notfallschutz: Drohnengestützte Dosisleistungsmessung





Referenz $\dot{H}^*(10)$ gemessen mit PTB Drohnengestütztem Detektionssystem in einem ehemaligen Uranbergwerk, Wismut GmbH, Seelingstädt

PREPAREDNESS

EURAMET

Notfallschutz: Optische Messung von Alphastrahlern

EMPIR Projekt 19ENV02 **RemoteALPHA**
(01.09.2020-31.08.2023)

Koordination: PTB

Zielsetzung

Unterstützung von Notfallmaßnahmen und -strategien für radiologische Notfälle mit alphastrahlenden Radionukliden (Richtlinie 2013/59/EURATOM)

- Entwicklung neuartiger optischer Systeme zur Ferndetektion und Quantifizierung großflächiger Kontaminationen mit Alphastrahlern
- Entwicklung neuartiger Kalibrierungssysteme und Schaffung einer metrologischen Grundlage zur Unterstützung der Einführung neuer Technologien für das radiologische Notfallmanagement

Partner

PTB Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig und Berlin
Budapest Főváros Kormányhivatala
IFIN-HH
Leibniz Universität Hannover
Tampere University
UPC Universitat Politècnica de Catalunya BarcelonaTech
Alfa Rift Oy
Szent István University

RemoteALPHA

The project 19ENV02 RemoteALPHA has received funding from the EMPIR programme co-financed by the Participating States and from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme.

EURAMET

Notfallschutz: Optische Messung von Alphastrahlern

Metrology gap: Notfallmaßnahmen und Strategien zur Bewältigung von radiologischen Unfällen mit Alphastrahlern

http://www.argonelectronics.com/blog/the-value-of-applied-learning-for-radiation-safety-training

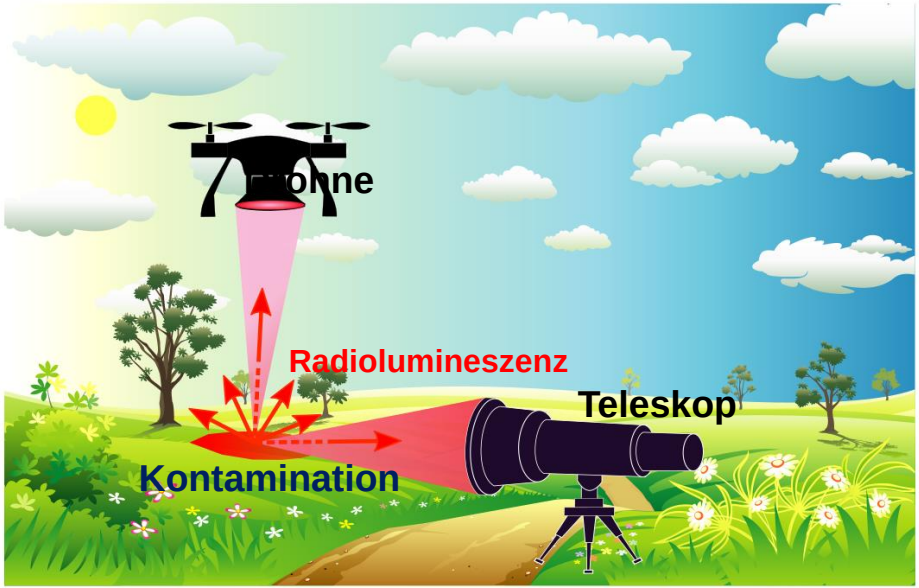
Nachteile herkömmlicher Methoden zum Nachweis von Alphateilchen in der Umwelt:

- erfordern Messungen sehr nahe an der Oberfläche des kontaminierten Bereichs,
- setzen das Personal anderen Gefahren und Risiken aus (andere Arten von Strahlung, Feuer usw.),
- zeitaufwändiges Einscannen großer kontaminierter Bereiche.

RemoteALPHA

EURAMET

Notfallschutz: Optische Messung von Alphastrahlern



Konzept: Hochenergetische Alphateilchen ionisieren Luft (vorwiegend molekularer Stickstoff). Luftmoleküle emittieren Fluoreszenzlicht (Radiolumineszenz) im UV-Bereich zwischen 200 nm bis 400 nm.
Die Atmosphäre dient als Szintillator.

Vorteile der optischen Detektion:

- Bediener werden aus dem Strahlungsfeld herausgehalten,
- effizientes Scannen von großen Flächen.

Reichweite in Luft

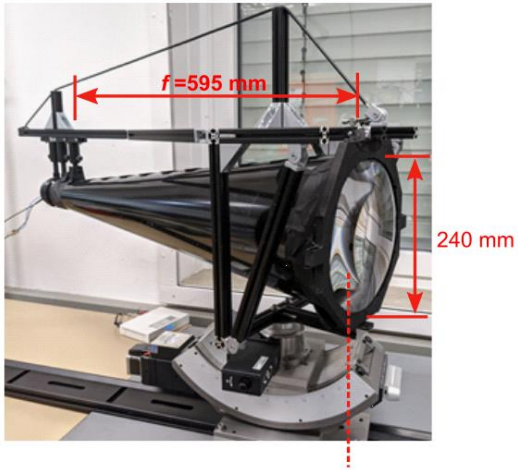
Alphateilchen	→	0,04 m
UV-Licht	→	500 m

RemoteALPHA

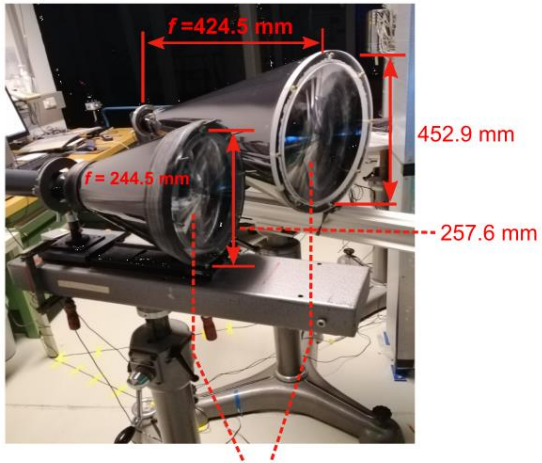
EURAMET

Notfallschutz: Optische Messung von Alphastrahlern

Neuartige Radiolumineszenz-Detektionssysteme zur Ferndetektion von alpha-emittierenden Radionukliden



UV fused silica lens



PMMA Fresnel lens

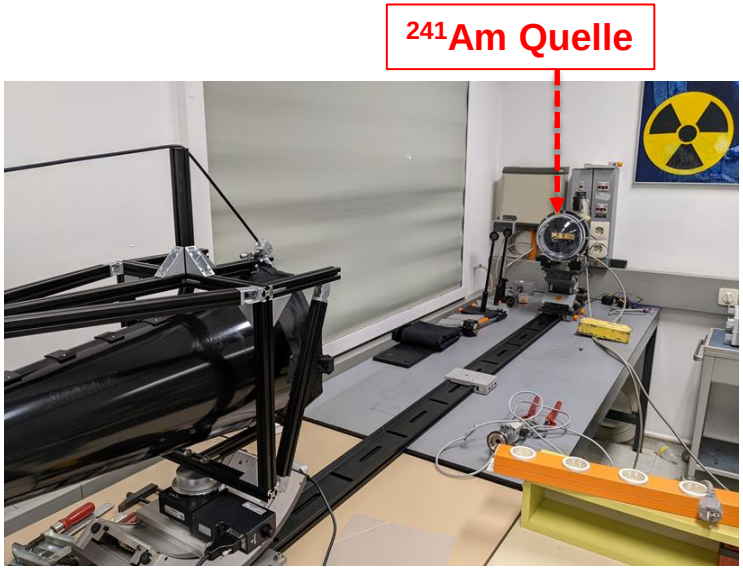
Drohnengestütztes Fresnel-Linsensystem für die Fernkartierung von Kontaminationen

M. Luchkov, F. Krasniqi (PTB, FB 6.3)
V. Dangendorf (PTB, FB 6.1)
U. Giesen (PTB, FB. 6.4)

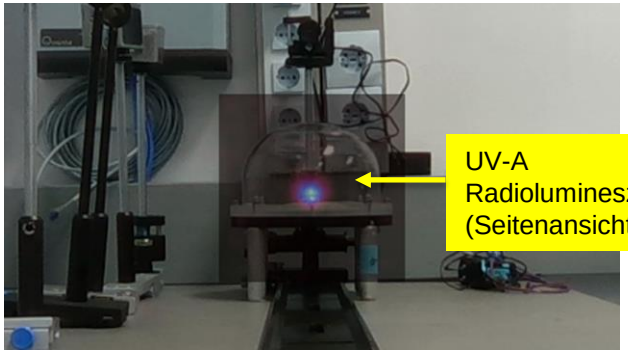
RemoteALPHA

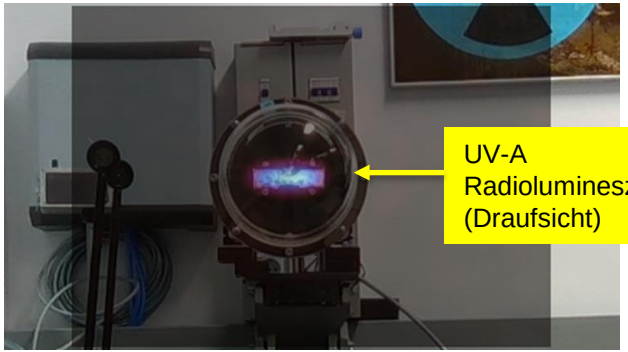
EURAMET

Notfallschutz: Optische Messung von Alphastrahlern



Erprobung von optischen Detektionssystemen mit einer erweiterte Am-241-Quelle (49 kBq/cm^2) aus 2 m Entfernung.





RemoteALPHA

M. Luchkov, V. Dangendorf, U. Giesen, F. Langner, C. Olaru, M. Zadehrafi, A. Klose, K. Kalmankoski, J. Sand, S. Ihantola, H. Toivonen, C. Walther, S. Röttger, M.-R. Ioan, J. Toivonen and F. S. Krasniqi, *Novel optical technologies for emergency preparedness and response: mapping contaminations with alpha-emitting radionuclides*, submitted to Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A. (2022).

EURAMET

EPM Projekt 21GRD02 BIOSPHERE

BIOSPHERE

Metrology for Earth Biosphere: Cosmic Rays, Ultraviolet Radiation and Fragility of Ozone Shield

01.10.2022 – 30.09.2025

Koordination: PTB, FB 6.3

22 Partner

8 NMI/DI

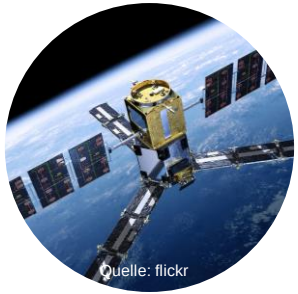
- PTB
- Budapest Főváros Kormányhivatala
- IFIN-HH
- Laboratoire National Henri Becquerel LNE-LNHB
- TÜBİTAK UME
- Czech Metrology Institute
- IMBIH
- Central Office of Measures

16 Externe

- BIRA-IASB
- DWD
- RMI
- Max-Planck-Institut für Kernphysik Heidelberg
- Institutul National Victor Babes
- NOVA School of Science & Technology
- National Technical University of Athens
- VJF
- LZH Laser Zentrum Hannover e.V.
- raymetrics lidar systems
- ADVACAM Imaging the Unseen
- DTU Danmarks Tekniske Universitet
- Gigahertz-Optik Member of the BERGHOF GROUP
- CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas

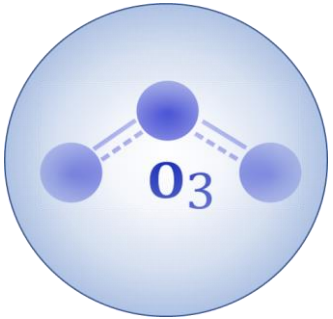
Metrologie für die Erdbiosphäre

BIOSPHERE



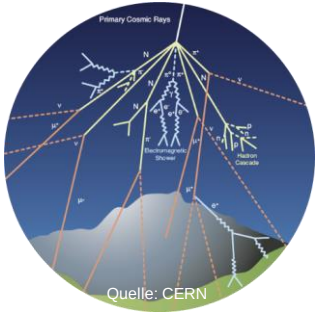
Extraterrestrische Strahlung im Weltraum

- Solare Teilchenereignisse
- Galaktische kosmische Strahlung
- Solare Strahlung



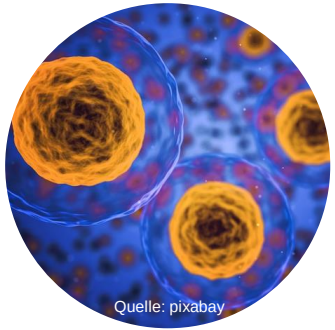
Atmosphärische Chemie

- Anthropogene Aktivitäten
- Ionisierung
- Molekulare Dissoziation
- Ozonabbau



Extraterrestrische Strahlung am Boden

- Myonen
- Neutronen
- UVB-Strahlung

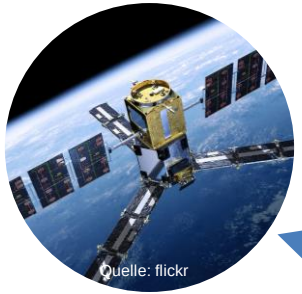


Biologie

- DNA-Schäden
- Genomische Instabilität
- Zelltod

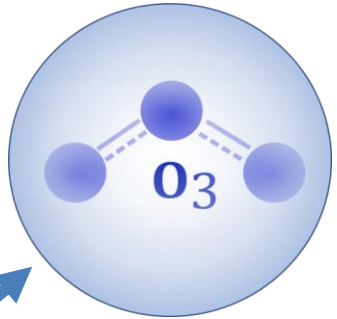
Metrologie für die Erdbiosphäre

BIOSPHERE



Extraterrestrische Strahlung im Weltraum

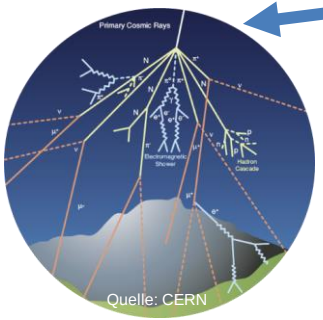
- Solare Teilchenereignisse
- Galaktische kosmische Strahlung
- Solare Strah



Atmosphärische Chemie

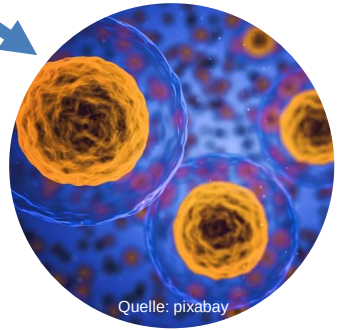
- Anthropogene Aktivitäten
- Ionisierung
- Molekulare Dissoziation
- Ozonabbau

Neue metrologische Methoden sind erforderlich, um **Korrelationen** zwischen ihnen herzustellen



Extraterrestrische Strahlung am Boden

- Myonen
- Neutronen
- UVB-Strahlung



Biologie

- DNA-Schäden
- Genomische Instabilität
- Zelltod

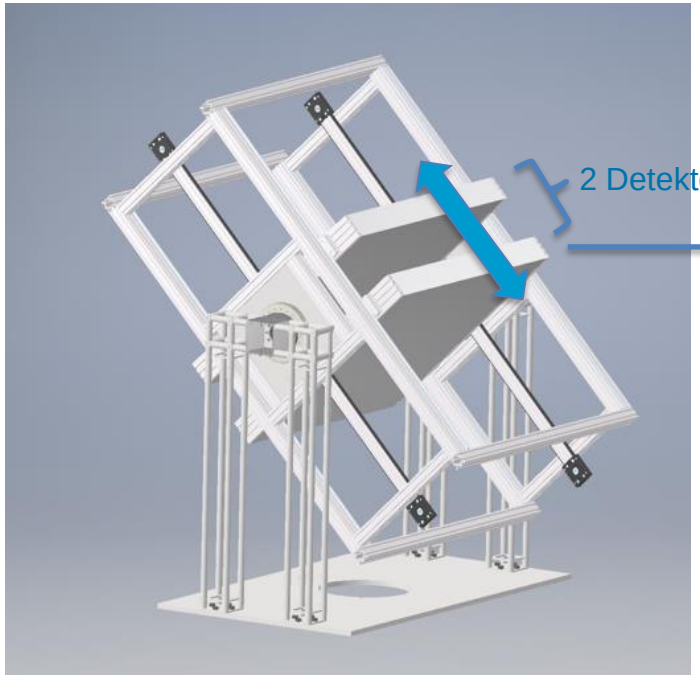
Die Abhängigkeit des kosmischen Strahlungsflusses von atmosphärischen Parametern

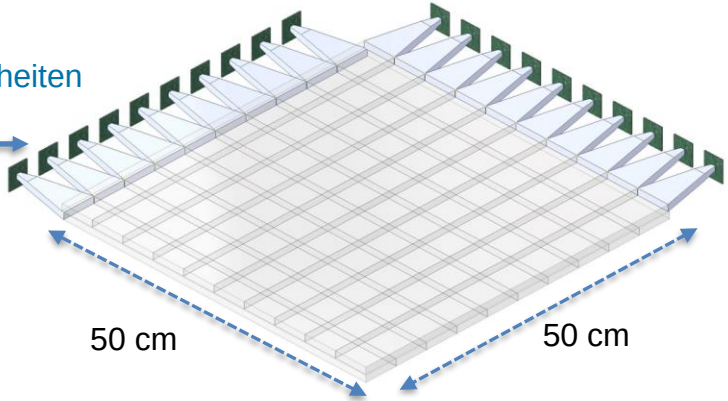
BIOSPHERE

AP 1

Neuartiger Detektor für kosmische Myonen

- Raumwinkeleinstellung
- Winkelverteilung der Myonen
- Gepixelt
- Mobil





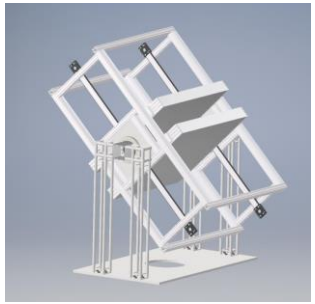
Konstruktion und Gesamtaufbau

G. Winterbottom, B. Pullner (PTB)

Detektoreinheiten Entwicklung

V. Dangendorf, M. Weierganz (PTB)

Forschungsprojekte: Zusammenfassung



Die Forschungsprojekte dienen der Entwicklung neuer Instrumente und Methoden sowie einer nachhaltigen metrologischen Infrastruktur für:

- Akkurate Quantifizierung der Umgebungsstrahlung
- Unterstützung des Notfallmanagements
- Untersuchung der Zusammenhänge zwischen ionisierender Strahlung in der Umwelt, dem Klima, anthropogenen Aktivitäten und der Gesundheit

Danksagung

Besonderer Dank gilt meinen Kolleginnen und Kollegen in der PTB und den Partnern in verschiedenen Projekten

Jörg Kretzer
Karsten Kahnt
Viacheslav Morosh
Maksym Luchkov
Roland Zwiener
Patrik Kramer
Björn Reinelt

Jürgen Roth
Beate Lambertsen
Volker Dangendorf
Ulrich Giesen
Frank Langner

Oliver Hupe
Annette Röttger
Stefan Neumaier
Harald Dombrowski

RemoteALPHA-Partner: Clemens Walther (LUH)
Arturo Vargas (UPC)
Juha Toivonen (TAU)
Mihail-Razvan Ioan (IFIN-HH) Péter Gál (BFKH)
Sakari Ihantola (ALFA RIFT) István Róbert Nikolényi (MATE)

The project 16ENV04 Preparedness has received funding from the EMPIR programme co-financed by the participating states and from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme.

The project 19ENV02 RemoteALPHA has received funding from the EMPIR programme co-financed by the Participating States and from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme.

The project 21GRD02 BIOSPHERE has received funding from the European Partnership on Metrology, co-financed by the European Union's Horizon Europe Research and Innovation Programme and by the Participating States.

Vielen Dank!

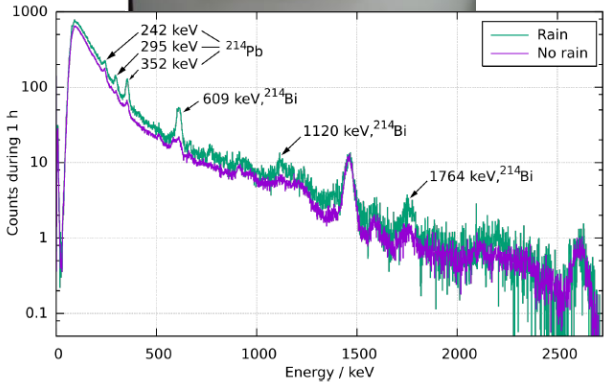
Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin
Bundesallee 100
38116 Braunschweig

Dr. Faton S. Krasniqi
Telefon:0531 592-6320
E-Mail: faton.krasniqi@ptb.de

www.ptb.de

Strahlungsmesstechnik zur radiologischen Überwachung der natürlichen Umgebung

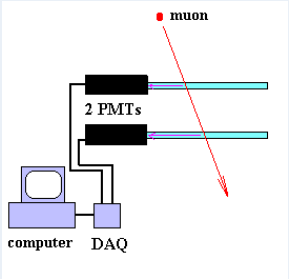
Spektrometrische Dosimetriesysteme mit Szintillationsdetektoren (Eigene Entwicklung)



Spektren gemessen mit einem SrI_2-Detektor

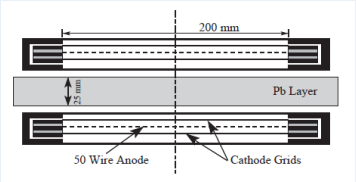
R. Dąbrowski et al 2017 JINST 12 P10005

Myonen Detektoren



DECOS (Eigene Etwicklung)

Zwei detektoren mit *großflächigen Szintillator-Kristallen* messen im Koinzidenzmodus



MUDOS (Eigene Etwicklung)

Zwei zylindrische Proportionalkammern messen im Koinzidenzmodus.

Herkömliche Strahlungsdetektoren

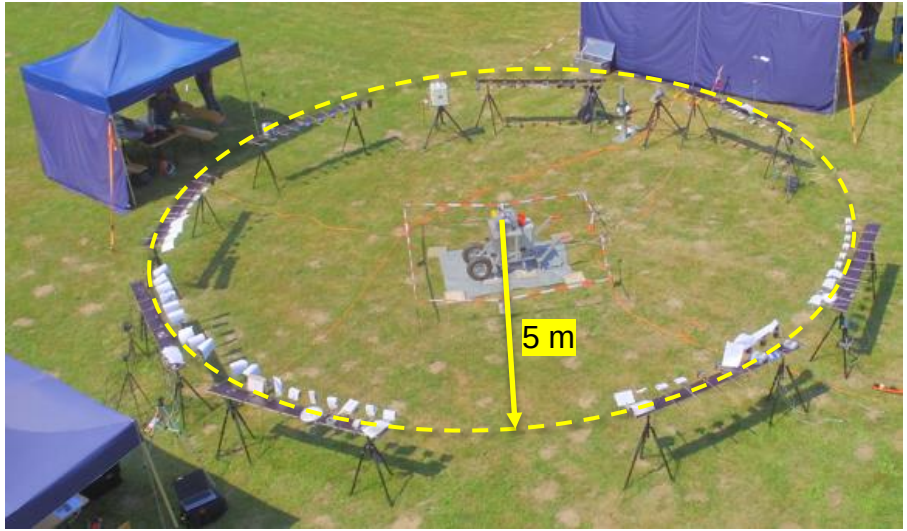
- Hochdruck-Ionisationskammern,
- Geiger-Müller-Zähler
- Neutronensonden

Radon-Detektionssysteme

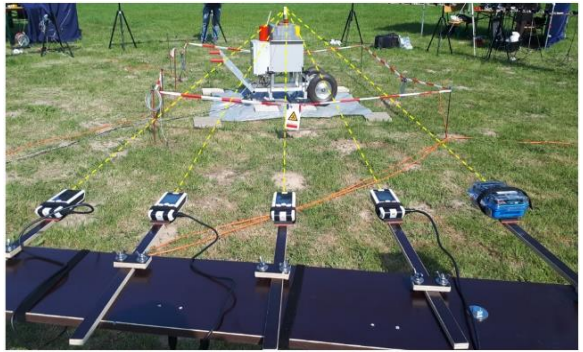
Nicht-staatliche Netzwerke zur Strahlungsüberwachung

Prüfung der Leistungsfähigkeit von MINNs

MINN ⇨ measuring instruments used in the non-governmental networks



PTB Referenzstelle für die Simulation einer umgehenden radioaktiven Wolke.



*Referenzfelder (137Cs, 60Co und 226Ra), die in einer **Photonenbestrahlungsanlage („Wolkenmaschine“)** erzeugt werden, ermöglichen die Untersuchung und Bestimmung der Empfindlichkeit von Detektoren gegenüber kleinen - künstlich erhöhten - Dosisleistungen.*

PREPAREDNESS

V. Morosh *et al*., Radiation Measurements 143 (2021) 106580.

EURAMET