

RENEB – Das Europäische Netzwerk für biologische und retrospektive physikalische Dosimetrie

RENEB – the European Network for Biological and Retrospective Physical Dosimetry

ZUSAMMENFASSUNG

Im Falle unklarer oder widersprüchlicher Bestrahlungssituationen ermöglicht biologische Dosimetrie oder retrospektive physikalische Dosimetrie oftmals eine nachträgliche individuelle Dosisrekonstruktion, auch wenn keine ionisierende Strahlung mehr direkt gemessen werden kann. Um dies auch im Falle größerer Zwischenfälle zu ermöglichen, haben sich darauf spezialisierte Labore aus verschiedenen europäischen Ländern zusammengeschlossen und das Europäische Netzwerk für biologische und retrospektive physikalische Dosimetrie „RENEB“ aufgebaut. Seit 2016 basiert das Netzwerk auf einem Memorandum of Understanding zwischen 26 Organisationen aus 17 europäischen Ländern. Damit das Netzwerk auch nach der Förderung durch die EU eigenständig bestehen kann, wurde 2017 der Verein RENEB e.V. gegründet. Im Rahmen von RENEB e.V. werden regelmäßige Ringversuche und Maßnahmen zur Qualitätssicherung durchgeführt sowie die Anbindung des Netzwerks an den nationalen und internationalen Notfallschutz vorangetrieben.

ABSTRACT

Biological dosimetry enables individual dose reconstruction in the case of unclear or inconsistent radiation exposure situations, especially when a direct measurement of ionising radiation is not or is no longer possible. To be prepared for large scale radiological incidents, networking between well trained laboratories has been identified as a useful approach to provide fast and trustworthy dose assessments needed in such circumstances. As a consequence, the European Network for biological and retrospective physical dosimetry "RENEB" was established. In 2016, this European network was based on a Memorandum of Understanding, signed by 26 organisations from 17 European countries. To make the network self-contained and effective, the legal association RENEB e.V. was set up in 2017 as a core structure to perform regular exercises, to care for Quality Assurance and to link the network to the national and international emergency preparedness and response structure.

HINTERGRUND

Arbeitsunfälle, die beim Umgang mit ionisierender Strahlung zu einer unbeabsichtigten oder unkontrollierten erhöhten Strahlenexposition einzelner Personen führen, treten trotz strenger Sicherheitsvorkehrungen immer wieder auf. Ebenso passiert es, dass Personendosimeter nicht getragen werden.

In vielen dieser Fälle bietet die biologische Dosimetrie, also das Abschätzen einer Dosis anhand biologischer Marker im peripheren Blut, die einzige Möglichkeit, eine Strahlenexposition auch im Nachhinein individuell abzuschätzen (IAEA 2002; IAEA 2011; Sasaki et al. 2001; SSK 2008). Auch bei widersprüchlichen Beobachtungen zwischen einer physikalisch gemessenen Dosis auf dem

ULRIKE KULKA¹,
URSULA
OESTREICHER¹,
DAVID
ENDESFELDER¹,
MICHAEL ABEND²,
CHRISTINA BEINKE²,
MATTHIAS PORT²

¹ Bundesamt für Strahlenschutz
² Sanitätsdienst der Bundeswehr, Institut für Radiobiologie in Verbindung mit der Universität Ulm

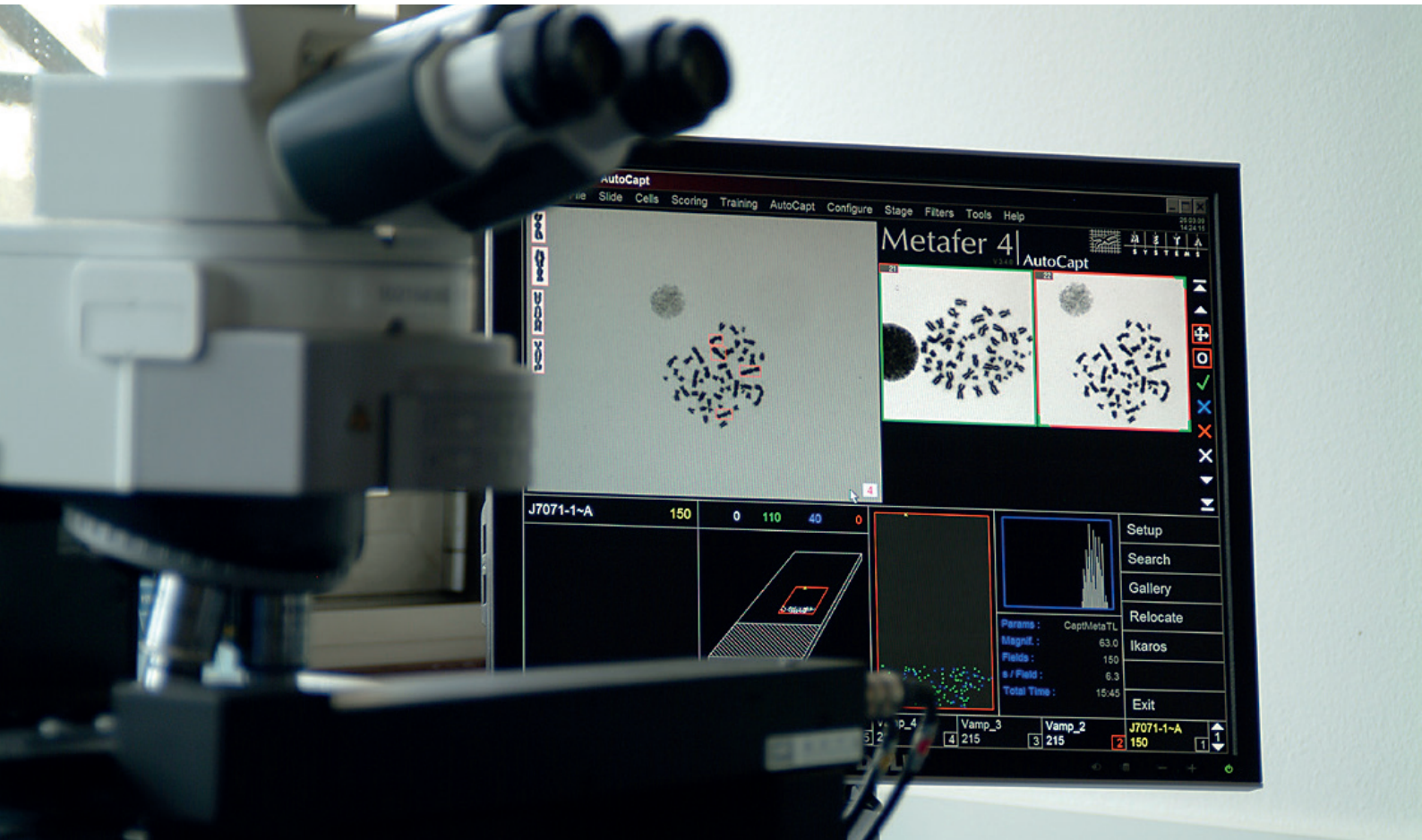


FOTO
Bundesamt für Strahlenschutz.

Personendosimeter und beobachteten oder ausbleibenden klinischen Symptomen (z.B. Hautrötung, Erbrechen, Haarausfall etc.) kann die biologische Dosimetrie zur Klärung beitragen. Dies hilft auch, um psychosomatische Symptome wie zum Beispiel Erbrechen von tatsächlichen akuten Strahlensyndromen abzugrenzen. Viele klinische Marker (Lymphozytenzahl und -kinetik) sind hier aufgrund ihrer Zeitabhängigkeit und individuellen Schwankungen nicht zuverlässig, vor allem da zwischen der vermuteten Bestrahlung und dem Nachweisverfahren oftmals Tage oder sogar Wochen vergangen sind. Die Ergebnisse der biologischen Dosimetrie werden in der Regel sowohl von den betroffenen Personen akzeptiert als auch von Berufsgenossenschaften und der Justiz anerkannt. In vielen Ländern gibt es deshalb ein oder mehrere Labore, die entsprechende

Untersuchungen anbieten (ABBILDUNG 1). In Deutschland ist das Labor für biologische Dosimetrie am Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) seit 1982 durch einen Beschluss der Länder für entsprechende Analysen im zivilen Bereich zuständig. Bei der Bundeswehr führt das Institut für Radiobiologie in Verbindung mit der Universität Ulm entsprechende Analysen durch.

HERAUSFORDERUNG DURCH GROSSE NUKLEARE ODER RADIOLOGISCHE VORFÄLLE

Eine gewaltige Herausforderung stellen große nukleare oder radiologische Vorfälle dar. Solche Vorfälle können jederzeit und überall passieren, auch in hoch technologisierten Ländern und ohne jede Vorwarnung.

Auslöser können technische Pannen oder menschliches Versagen sein, aber auch terroristische Anschläge (Coeytaux et al. 2015). Jedes dieser Szenarien kann schwerwiegende Folgen für die menschliche Gesundheit, die Umwelt und Wirtschaft eines Landes haben.

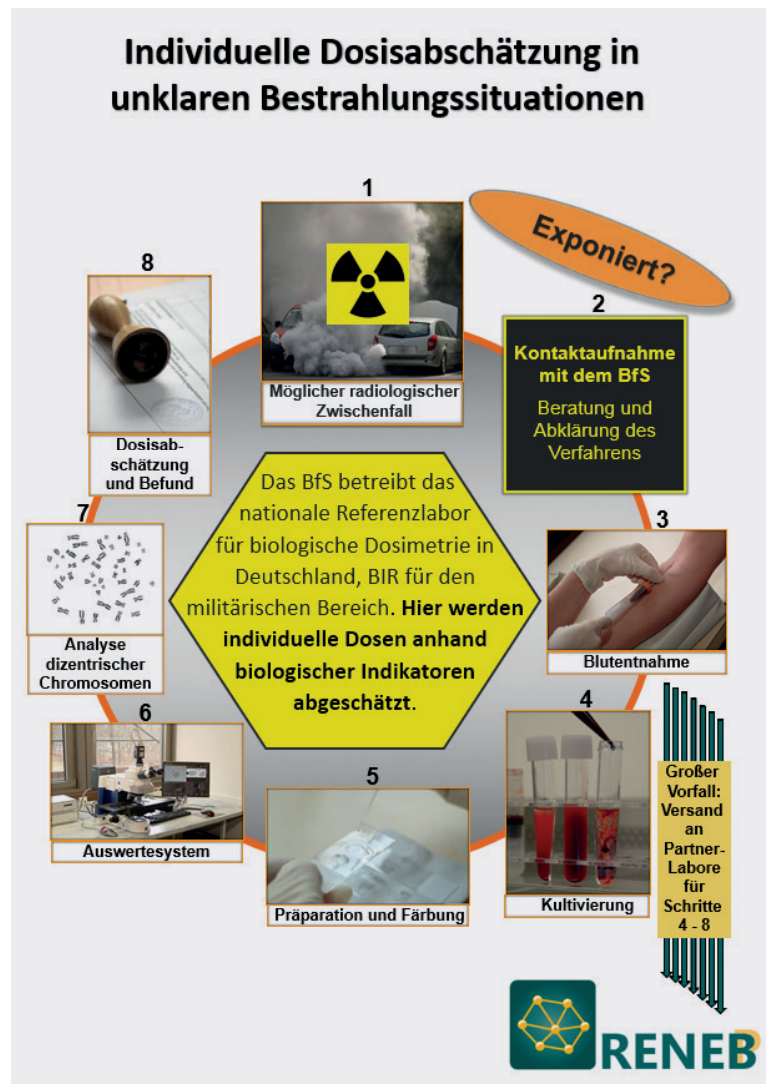
Wie hoch die Sorge der Bürgerinnen und Bürger ist, bei einem Zwischenfall mit ionisierender Strahlung persönlich betroffen zu sein und eine Strahlenexposition erhalten zu haben, zeigen Unfälle auf der ganzen Welt.

Ein Schlüsselereignis war 1986 der Vorfall in Goiania, Brasilien, als hochradioaktives (¹³⁷Cs) gestohlen und in Unkenntnis der Gefahr unter Familienangehörigen und Bekannten verbreitet wurde (IAEA 1988). Die Zahl der tatsächlich exponierten Personen lag bei circa 260 Personen, aber insgesamt 112.800 Personen waren überzeugt davon, „verstrahlt“ worden zu sein und verlangten eine entsprechende Untersuchung. Die Internationale Atomenergie Behörde (IAEA) in Wien kam bereits damals zu dem Schluss, dass Verfahren wie sie in der biologischen Dosimetrie angewendet werden, außerordentlich nützlich für die Abschätzung einer extern erhaltenen Strahlenexposition sind. Zum einen kann damit geklärt werden, ob aufgetretene gesundheitliche Veränderungen tatsächlich durch Strahlung verursacht wurden. Falls ja, gibt die individuell abgeschätzte Dosis bei einer übermäßigen Strahlenexposition wichtige Informationen für die Diagnose und Prognose der betroffenen Person (Sasaki et al. 2001). Da entsprechend qualifizierte Labore in ihrer Kapazität begrenzt sind, war eine weitere Empfehlung der IAEA, die internationale Zusammenarbeit auf diesem Gebiet zu intensivieren, um Großereignisse gemeinsam bewältigen zu können. Ein Jahr später, 1987, wurde die Notwendigkeit der Netzwerkbildung durch die Reaktorkatastrophe in Tschernobyl auf schreckliche Weise bestätigt.

KENNTNIS DER INDIVIDUELL ERHALTENEN STRAHLENDOSIS

Im Falle von großen Strahlenunfällen übersteigen die sozioökonomischen Auswirkungen der nuklearen Vorfälle die tatsächlichen Strahlenschäden bei weitem (Bromet et al. 2011; Collins, de Carvalho 1993). Verursacht wird dies zum großen Teil durch eine große Angst und Unsicherheit in der Bevölkerung hinsichtlich möglicher Strahlenfolgen. Die Kenntnis der individuell erhaltenen Strahlendosis ist deshalb von entscheidender Bedeutung für betroffene Personen. Gerade Vorfälle mit ionisierender Strahlung bedeuten für die

ABBILDUNG 1
 Ablauf der Biologischen Dosimetrie am Beispiel der Analyse dizentrischer Chromosomen.
 Quelle: BfS.



betroffenen Personen eine enorme Stresssituation, und Aussagen über den eigenen Standort und die Dauer des Aufenthaltes sind deshalb häufig subjektiv beeinflusst und unzuverlässig. Ein wesentlicher Aspekt der individuellen Dosimetrie besteht deshalb auch gerade bei großen Ereignissen darin, eine vermeintlich hohe Strahlenexposition individuell ausschließen zu können, und somit „besorgte gesunde“ Personen mit vermeintlichen Strahlensymptomen von tatsächlich exponierten Personen zu unterscheiden. Eine individuelle Dosisabschätzung für möglicherweise exponierte Personen und Ersthelfer, aber auch für äußerst gestresste Personen („worried well“), trägt somit deutlich zur Vertrauensbildung in Krisensituationen bei.

DAS EUROPÄISCHE NETZWERK RENEB

Um auf mögliche große radiologische und nukleare Notfälle in Europa besser vorbereitet zu sein, wurde im Rahmen eines EU-Projektes (EURATOM FP7, GA 295513) von 2012 bis Ende 2015 ein Europäisches Netzwerk für biologische und retrospektiv physikalische Dosimetrie, „RENEB – Realizing the European network of biological and physical retrospective dosimetry“, aufgebaut (Kulka, Wojcik 2017). Das Netzwerk ermöglicht es, die Fachkompetenzen der Partner auf dem Gebiet der biologischen und physikalisch retrospektiven Dosimetrie auf europäischer Ebene zu bündeln und Synergieeffekte sowohl für den Notfallschutz als auch für die Strahlenschutzforschung zu erzielen. Am Ende der Projektlaufzeit basierte das neu aufgebaute Netzwerk auf einem Memorandum of Understanding zwischen 26 Partnerorganisationen aus 17 europäischen Ländern, die sich im Falle eines großen radiologischen Notfalls gegenseitige Hilfeleistung zur Durchführung individueller Dosisabschätzungen zugesichert haben (Lloyd et al. 2017; Kulka et al. 2017).

Abgesehen von der Erhöhung der Auswertekapazität bietet das Netzwerk ein

breites Spektrum an unterschiedlichen biologischen und retrospektiven physikalischen Methoden (Wojcik et al. 2017). Es kann somit im Ernstfall in Abhängigkeit von der jeweiligen Situation das optimale Verfahren zur Dosisrekonstruktion angewendet werden (ABBILDUNG 2). Die Abschätzung der Dosis erfolgt entweder in biologischem Material, in der Regel in Lymphozyten des zirkulierenden Blutes, oder anhand persönlicher mitgeführter Gegenstände wie Mobiltelefone. Hierbei werden Chipkarten oder das Handy-Glas untersucht (Jaworska et al. 2015; Wojcik et al. 2014; Trompier et al. 2017)

Um eine gleichbleibend hohe Qualität der Methoden zu garantieren, wurde ein Qualitätshandbuch entwickelt, dessen Vorgaben für RENEB-Partnerlabore verpflichtend sind, zum Beispiel die Teilnahme an regelmäßigen Ringversuchen (Gregoire et al. 2016; Trompier et al. 2017). Werden Qualitätskriterien nicht erfüllt, allen voran die Abschätzung des korrekten Dosisbereiches, steht ein Trainingsprogramm zur Verfügung, das von Online-Training bis zu praxis-orientierten Ausbildungsaufenthalten in Partnerlaboren reicht (Brzozowska et al. 2017; Romm et al. 2017). Seit 2014 wurden neun Trainingskurse in Partnerlaboren durchgeführt, wobei der Schwerpunkt auf verschiedenen biologischen und EPR/OSL-Techniken (electron paramagnetic resonance / optically stimulated luminescence) lag. Bei Letzteren handelt es sich um physikalische Nachweismethoden beispielsweise an Zahnschmelz, Chipkarten oder Handyglass. Zusätzlich zu diesen praktischen Fortbildungen wurden Seminare über ISO-Standards (Kriterien zur qualitätsgesicherten Anwendung der verschiedenen Methoden), Qualitätsmanagement, Statistik und Methoden der Dosisabschätzung gehalten. Entsprechende Kurse werden bei Bedarf wiederholt und stehen auch Nicht-Partnerlaboren offen.

Damit RENEB langfristig auf dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik bleibt, werden auch neue Techniken hinsichtlich ihrer Eignung für die individuelle Dosisabschätzung getestet und gegebenenfalls in

Methode	Probentyp	Zeitraumen für Proben-sammlung 1	Kategorisierung von Individuen "Grün / Orange / Rot" 1Gy / 1-2Gy / >2Gy		Nachweis-bereich (Gy)	Ab-schätzung einer Strahlen-dosis (Gy)	Robustheit 3	Berücksich-tigung der individuellen Strahlen-empfindlichke-it	Form des Materials und Zeitraumen der Lagerung für spätere Analysen
			Zeitdauer (Probenerhalt bis Ergebnis) 2	RENEB Kapazität (Individuen pro Woche)					
Dizentrische	Blut	Tage - Monate	52 Stunden	ca 1000	0.1 – 5	ja	hoch	ja	fixierte Zellen, Objektträger: Jahre
Mikrokerne	Blut	Tage - Monate	75 Stunden	ca 400	0.2 - 5	ja	mittel	ja	Objektträger: Jahre
FISH	Blut	Tage - Jahre	120 Stunden	ca 100	0.3 - 4	ja	mittel - hoch	ja	fixierte Zellen: Jahre
PCC	Blut	Tage - Monate	2 - 8 Stunden	ca 50	0.1 – 20	ja	hoch	ja	gefrorene oder fixierte Zellen, Objektträger: Jahre
γ H2AX	Blut	1- 2 Tage	3 Stunden	ca 1800	0.2 – 5	nein	niedrig	unklar	fixierte Zellen, Objektträger: Bis zu einem Jahr
Gen-expression	Blut	1- 3 Tage	3-7 Stunden	ca 7.000 - 10.000	0,001 - 5	nein	hoch	ja	peripheres Vollblut in PaxGene, -20 - -80°C: Jahre
EPR	PED ⁴	Stunden - Jahre	<1 Stunden	ca 770	>1	ja	hoch	nein	Glas: Jahre
OSL	PED ⁵	Stunden - Monate	<1 Stunden	ca 500	>0.1	ja	hoch	nein	Resistoren: Wochen
¹ Zeit zwischen der Bestrahlung einer Person und Probennahme; ² Zeit zwischen Probeneingang im Labor und Kategorisierung einer Person ⁴ PED: personenbezogene elektronische Geräte (Glas Touchscreen); ⁵ PED: personenbezogene elektronische Geräte (Resistoren vonPlatinen,Schaltkarten);					³ Robustheit des Markers gegenüber Störfaktoren: hoch: geringer Einfluß; mittel: gewisser Einfluß durch Alter, Rauchen, andere Agenzienn, Lebensstil; niedrig: großer Einfluß durch andere Faktoren und Agentien;				

das Netzwerk integriert (Abend et al. 2016; Ainsbury et al. 2017). Ebenso aktiv wird nach neuen Partnern gesucht, die die Auswertekapazität des Netzwerkes weiter erhöhen und/oder neues Wissen einbringen.

Ein weiterer Schwerpunkt ist der Aufbau einer Netzwerkinfrastruktur. Um im Ernstfall effizient arbeiten zu können, bedarf es einer störungsfreien, hierarchischen Kommunikationsstruktur zwischen den Partnern und nach außen, sowie einer verlässlichen logistischen Infrastruktur für die geordnete Abnahme und den sicheren Transport der zu untersuchenden Proben (z.B. Blut, Mobiltelefone). Ebenso wichtig ist eine einheitliche Durchführung der Dosisabschätzung, ein sicherer Speicherplatz für die Auswertergebnisse und die Kommunikation der Ergebnisse nach legalen Vorgaben. Entsprechende Grundlagen wurden ebenfalls bereits während der Projektlaufzeit gelegt und werden derzeit nach geltendem Recht erarbeitet.

DIE ASSOZIATION RENE B E.V.

Eine Vereinbarung, basierend auf einem Memorandum of Understanding, zeigt zwar eine Absichtserklärung der Partner zur gegenseitigen Unterstützung, diese ist jedoch nicht rechtlich verbindlich. Um das Netzwerk rechtlich handlungsfähig zu machen, wurde 2017 die Assoziation RENE B e.V. gegründet, die als eigenständiger Partner in den nationalen, europäischen und internationalen Notfallschutz eingebunden werden kann. Die Assoziation hat derzeit 12 Partnerorganisationen als Vollmitglieder, die den Verein über eine Mitgliedergebühr finanziell unterstützen und auch Zugang zu ihren Laboren im Rahmen von Übungen und Trainingsaktivitäten ermöglichen. Zusätzlich engagieren sich Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter von weiteren Organisationen, die in der Regel das Memorandum of Understan-

ABBILDUNG 2
 RENE B-Netzwerk:
 Methodenspektrum und
 Auswertekapazitäten.
 Quelle: RENE B.

ding unterschrieben haben, als sogenannte „Assoziierte Mitglieder“ in RENEB e.V.

Der Verein ist in fünf Arbeitsgruppen untergliedert. Die Arbeitsgruppe 1 entwickelt das Leitbild und die strategische Ausrichtung des Netzwerkes, einschließlich der Aufrechterhaltung bestehender nationaler und internationaler Kooperationen. Die Arbeitsgruppe 2 „Operationale Basis“ betreibt die operative Netzwerkbasis mit verschiedenen, etablierten und einsatzbereiten Techniken zur Dosisrekonstruktion. Hier werden regelmäßige Übungen mit wechselnden Schwerpunkten durchgeführt. In Arbeitsgruppe 3 „Qualitätssicherung und Management“ werden Qualitätssicherungs- und -management-Kriterien entwickelt und eingesetzt, um neue Techniken und Partner auf ihre Eignung und ggf. Eingliederung in das Netzwerk zu prüfen. Hier werden auch Trainingsaufenthalte in Partnerlaboren vermittelt und Schulungen durchgeführt, einschließlich Web-basiertem Training. Die Arbeitsgruppe 4 „Infrastruktur“ kümmert sich um zuverlässige Kommunikationswege innerhalb des Netzwerkes und nach außen sowie um geeignete Transportwege für das Probenmaterial. Arbeitsgruppe 5 „Kooperation, Zusammenarbeit und Verbreitung“ erschließt neue Aufgabengebiete und Kooperationspartner für das Netzwerk. Denkbar ist hier auch eine Einbindung des Netzwerkes in die Strahlenschutzforschung oder, im Falle etablierter Biomarker, in die Strahlentherapie und Nuklearmedizin.

NATIONALE UND INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT

Von entscheidender Bedeutung für die erfolgreiche Arbeit von RENEB ist die Kooperation mit medizinischem Fachpersonal und Einsatzkräften auf nationaler und internationaler Ebene. Ebenfalls wichtig ist der Informationsaustausch und die praktische Zusammenarbeit mit entsprechenden Laboren und Forschungsplattformen wie EURADOS (www.eurados.org) und MELODI ([\[lodi-online.eu\]\(http://lodi-online.eu\)\) innerhalb und außerhalb Europas \(Ainsbury et al. 2017\). Hier gab es in den letzten Jahren gemeinsame Übungen, bei denen unter anderem wichtige Erfahrungen zum weltweiten Versenden von Blutproben für eine anschließende Dosisabschätzung gesammelt werden konnten. An den Übungen nahmen Labore und Biodosimetrie-Netzwerke aus Nordamerika, Lateinamerika und Asien teil \(Oestreicher et al. 2017\). Einen ebenfalls engen Austausch gibt es mit dem informellen Biodosimetrie-Netzwerk der WHO \(WHO BioDoseNet\) und der IAEA, deren Repräsentanten zum Teil als Fördermitglieder von RENEB fungieren \(Blakely et al. 2009; Carr 2010; Wilkins et al. 2016\).](http://www.me-</p></div><div data-bbox=)

AUSBLICK

Biologische oder physikalisch retrospektive Dosimetrie kann nicht nur in akuten Notfallsituationen mit personenbezogenen Informationen über eine möglicherweise erhaltene Strahlendosis zur Behandlung beitragen. Die hier eingesetzten Methoden werden auch in der strahlenbiologischen und medizinischen Forschung eingesetzt. Denkbar ist deshalb auch die Einbindung des Netzwerkes als Analyseplattform für die strahlenbiologische und medizinische Forschung, zum Beispiel im Hinblick auf individualisierte Medizin. Hier könnte das Netzwerk in Zukunft einen Beitrag zur Identifizierung von strahlenempfindlichen Gruppen oder Individuen beitragen. ●

LITERATUR

Abend M, Badie C, Quintens R et al. (2016): Examining radiation-induced in vivo and in vitro gene expression changes of the peripheral blood in different laboratories for biodosimetry purpose: First RENEB Gene expression study. *Rad Res* 185: 109–123.

Ainsbury EA, Badie C, Barnard S et al. (2017): Integration of new biological and physical retrospective dosimetry methods into EU emergency response plans – joint RENEB and EURADOS inter-laboratory comparisons. *Int J Rad Biol* 93: 99–109.

- Blakely WF, Carr Z, Chu MC et al. (2009): WHO 1st consultation on the development of a global biodosimetry laboratories network for radiation emergencies (BioDoseNet). *Radiat Res* 171: 127–139.
- Bromet EJ, Havenaar JM, Guey LT (2011): A 25-year retrospective review of the psychological consequences of the Chernobyl accident. *Clin Oncol* 23: 297–305.
- Brzowska B, Ainsbury A, Baert A et al. (2017): RENEB accident simulation exercise. *Int J Rad Biol* 93(1): 75–80. DOI: 10.1080/09553002.2016.1206230.
- Carr Z (2010): WHO-REMPAN for global health security and strengthening preparedness and response to radiation emergencies. *Health Phys* 98: 773–778.
- Coeytaux K, Bey E, Christensen D et al. (2015): Reported radiation overexposure accidents worldwide, 1980-2013: a systematic review. *PLoS One* 10(3).
- Collins DL, de Carvalho AB (1993): Chronic stress from the Goiania 137Cs radiation accident. *Behav Med* 18: 149–157.
- Gregoire E, Ainsbury L, Barrios L et al. (2016): The harmonization process to set up and maintain an operational biological and physical retrospective dosimetry network: QA QM applied to the RENEB network. *Int J Rad Biol* DOI: 10.1080/09553002.2016.1206232.
- IAEA – International Atomic Energy Agency (2011): Cytogenetic dosimetry: applications in preparedness for and response to radiation emergencies. EPR-Biodosimetry. Vienna, Austria.
- IAEA – International Atomic Energy Agency (2002): Use of electron paramagnetic resonance dosimetry with tooth enamel for retrospective dose assessment. Vienna, Austria. Report IAEA-TECDOC-1331.
- IAEA – International Atomic Energy Agency (1988): The radiological accident in Goiania. Part IV. Observations and recommendations. Vienna, Austria. STI/PUB/815. ISBN: 92-0-129088-8: 89.
- Jaworska A, Ainsbury EA, Fattibene P et al. (2015): Operational guidance for radiation emergency response organisations in Europe for using biodosimetric tools developed in EU MULTIBIDOSE project. *Radiat Prot Dosim* 164: 165–169. DOI: 10.1093/rpd/ncu294.
- Kulka U, Wojcik A (2017): Special issue: Networking in biological and EPR/OSL dosimetry: the European RENEB platform for emergency preparedness and research. *Int J Rad Biol* 93(1). DOI: 10.1080/09553002.2016.1235805.
- Kulka U, Abend M, Ainsbury E et al. (2017): RENEB – Running the European Network of biological dosimetry and physical retrospective dosimetry. *Int J Radiat Biol* 93(1): 2–14. DOI: 10.1080/09553002.2016.1230239.
- Lloyd D, Turai I, Voisin P (2017): Realizing the European Network of Biodosimetry (RENEB) – concluding remarks. *Int J Radiat Biol* 93(1): 142–144. DOI: 10.1080/09553002.2016.1178866.
- Oestreicher U, Samaga D, Ainsbury E et al. (2017): RENEB intercomparisons applying the conventional Dicentric Chromosome Assay (DCA). *Int J Radiat Biol* 93(1): 20–29. DOI: 10.1080/09553002.2016.1233370.
- Romm H, Ainsbury EA, Barquintero JF et al. (2017): Web based scoring is useful for validation and harmonisation of scoring criteria within RENEB. *Int J Radiat Biol* 93(1): 110–117. DOI: 10.1080/09553002.2016.1206228.
- Sasaki MS, Hayata I, Kamada N et al. (2001): Chromosome aberration analysis in persons exposed to low-level radiation from the JCO criticality accident in Tokai-mura. *J Radiat Res* 42 Suppl.: 107–116.
- SSK – Strahlenschutzkommission (2008): Der Strahlenunfall. Ein Leitfaden für Erstmaßnahmen (= Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Bd. 32). 2. überarb. Auflage. ISBN 978–3–87344–139–2.
- Trompier F, Baumann M, Barrios L et al. (2017): Investigation of the influence of calibration practices on cytogenetic laboratory performance for dose estimation. *Int J Radiat Biol* 93(1): 118–126. DOI: 10.1080/09553002.2016.1213455.
- Trompier F, Burbidge C, Bassinet C et al. (2017): Overview of physical dosimetry methods for triage application integrated in the new European network RENEB. *Int J Radiat Biol* 93(1): 65–74. DOI: 10.1080/09553002.2016.1221545.
- Wilkins RC, Carr Z, Lloyd DC (2016): An update of the WHO Biodosimetry: Developments since its inception. *Radiat Prot Dosim* 172: 47–57.
- Wojcik A, Bajjinskis A, Romm H et al. (2014): Multidisciplinary biodosimetric tools for a large-scale radiological emergency – the MULTIBIDOSE project. *Rad Emerg Med* 3: 19–23.
- Wojcik A, Oestreicher U, Barrios L et al. (2017): The RENEB operational basis: complement of established biodosimetric assays. *Int J Radiat Biol* 93(1): 15–19. DOI: 10.1080/09553002.2016.1235296.

KONTAKT

Dr. Ulrike Kulka
Bundesamt für Strahlenschutz
Fachgebiet WR2
Ingolstädter Landstraße 1
85764 Oberschleißheim
E-Mail: ukulka[at]bfs.de

[BfS]