HelmholtzZentrum münchen
German Research Center for Environmental Health

Strahlenrisiko und Grenzwerte

19. Fortbildungsseminar der APT
Le Meridien, Grand Hotel Nürnberg

12. Juni 2015

Prof. W. Rühm

Institute for Radiation Protection

Helmholtz Zentrum München, German Research Center for Environmental Health

HELMHOLTZ
ASSOCIATION

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION

- Founded in 1928

- Provides independent recommendations and guidance on radiological protection for the public benefit

- Considers advances in scientific knowledge, evolving social values, and practical experience

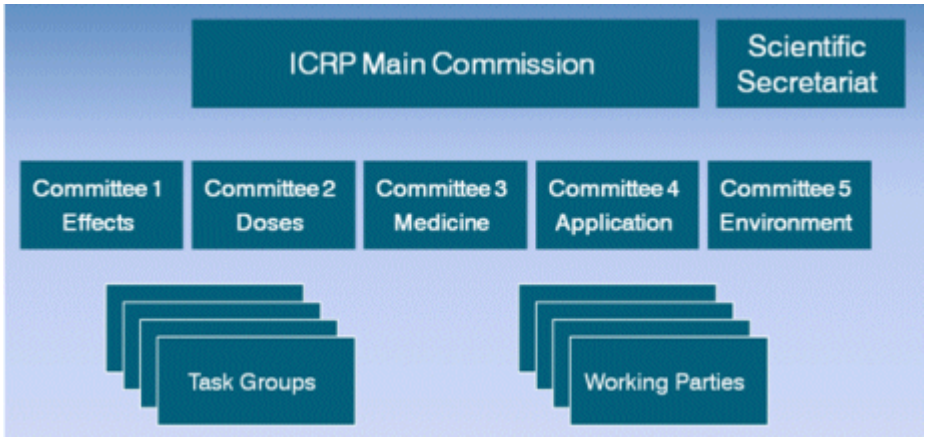
- Does not formulate standards, regulations, and codes of practice (this is the responsibility of other national and international organisations)

- **Objective: to contribute to an appropriate level of protection against the detrimental effects of ionising radiation exposure without unduly limiting the benefits associated with the use of radiation.**

Membership
- More than 200 volunteer members from over 30 countries on 6 continents
- Selected on the basis of recognised competence and experience,
- For four year terms.

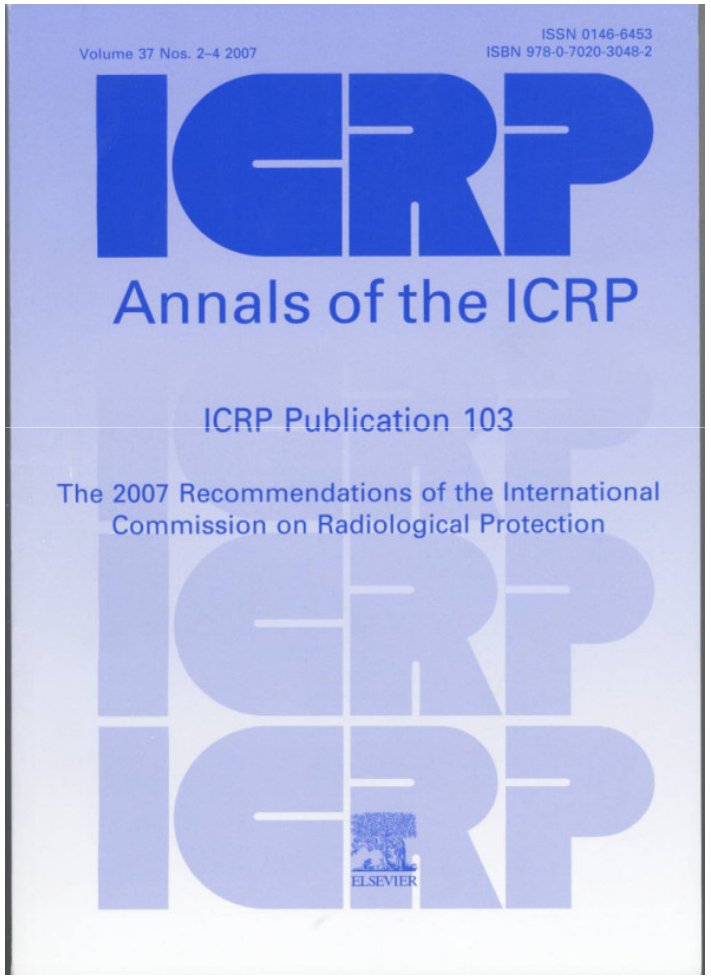
Observers
- ICRP invites observers to its Committees from the following organisations: EC, IARC, IAEA, ICRU, IEC, ILO, IOS, IRPA, NEA of OECD, UNSCEAR, WHO

Structure



- **Main Commission** (Chair: C. Cousins)
- **Scientific Secretariat:** C. Clement
- **Committee 1: Radiation Effects** (Chair: W Morgan; Secr.: W Rühm)
  Assesses knowledge on radiation risk relevant for radiological protection
- **Committee 2: Dosimetry** (Chair: J Harrison; Vice chair: F Paquet; Secr.: W Bolch)
  Develops reference models and data, including dose coefficients
- **Committee 3: Medical Exposures** (Chair: E Vano; Vice chair: D Miller; Secr.: M Rehani)
  Develops recommendations to protect patients, staff, and the public
- **Committee 4: Application of Recommend.** (Chairs: D Cool, Vice: K Cho; Secr.: J Lecomte)
  Develops principles and recommendations on radiological protection
- **Committee 5: Protection of Environment** (Chairs: CM Larsson; Vice: K Higley; Secr.: A Real)
  Develops reference data, and guidance on protection of the environment.

The ICRP 2007 Recommendations



ICRP 103 - Three types of exposure situations

- **Planned exposure situations:**
  - planned introduction and operation of radiation sources

- **Emergency exposure situations:**
  - unexpected situation e.g. during operation of a planned situation
  - malicious event such as e.g. **nuclear accident**
  - require urgent attention

- **Existing exposure situations:**
  - already exist when a decision on control has to be taken, e.g.
    - exposure to radon in houses,
    - air crew exposure to cosmic radiation
    - exposure to naturally occuring radioactive material (NORM),
    - exposure from **past events and accidents**

ICRP 103 - Three key principles of radiological protection

1) Principle of Justification:

„Any decision that alters the radiation exposure situation should do more good than harm“ – *source-related*

2) Principle of Optimisation of Protection

„The likelihood of incurring exposure, the number of people exposed, and the magnitude of their individual doses should all be kept **a**s **l**ow **a**s **r**easonably **a**chievable, taking into account economic and societal factors“ – *source-related* („ALARA“)

3) Principle of Application of Dose Limits:

„The total dose to any individual from regulated sources in planned exposure situations other than medical exposure of patients should not exceed the appropriate limits specified by the Commission“ – *individual-related*

Note: Principles 1 and 2 apply for all exposure situations, while principle 3 applies for planned exposure situations only

Three tools to be applied for the Process of Optimisation

Dose Limits:

- Only for planned exposure situations
- Occupational exposure: effective dose of 20 mSv/y averaged over 5 years
- Public exposure: effective dose of 1 mSv/y (averaged over 5 years)

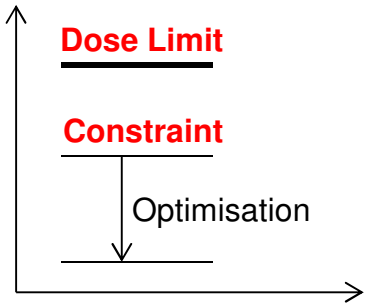
Dose constraint:

- For planned exposure situations
- Prospective restriction on individual dose from a source
- Always lower than dose limit

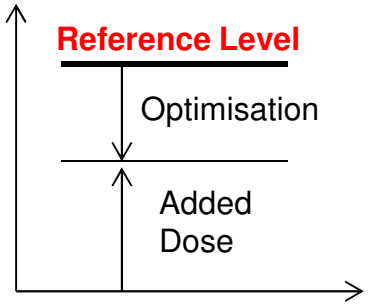
Reference level:

- For emergency and existing exposure situations
- Dose above which exposure is inappropriate
- Below which optimisation should be implemented
- Depends on prevailing circumstances

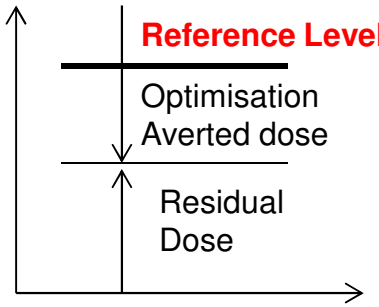
Planned Exposure



Emergency Exposure



Exisiting Exposure



ICRP Three Dose Concepts

- **Absorbed dose**: Energy deposited per unit mass

  $D = dE/dm$ SI Unit: J/kg ICRP special name: Gy

  Calculate D for tissue T and radiation R using human phantom: $D_{T,R}$

- **Equivalent dose in organ or tissue**: multiplication with radiation weighting factors

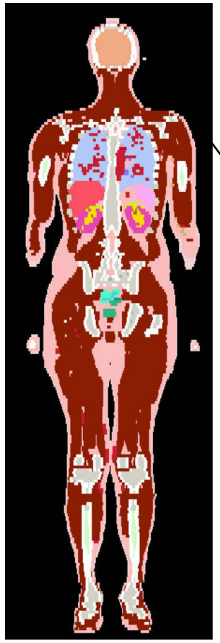
$$H_T = \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$ SI Unit: J/kg ICRP special name: Sv

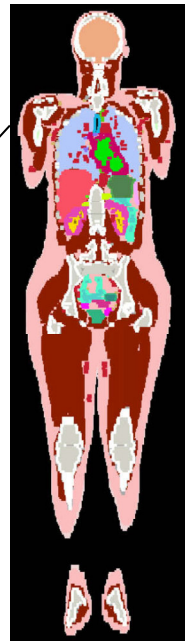
Radiation Type	w_R
Photons	1
Electrons, muons	1
Protons, charged pions	2
Alphas, fission fragments, heavy ions	20
Neutrons	function with max. value 20

• **Effective dose**: multiplication with tissue weighting factors

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T$$

SI Unit: J/kg ICRP special name: Sv





Radionuclide intake or external exposure

Male phantom $D_{T,M}$

Female phantom $D_{T,F}$

w_R

Equivalent doses $H_{T,M}$

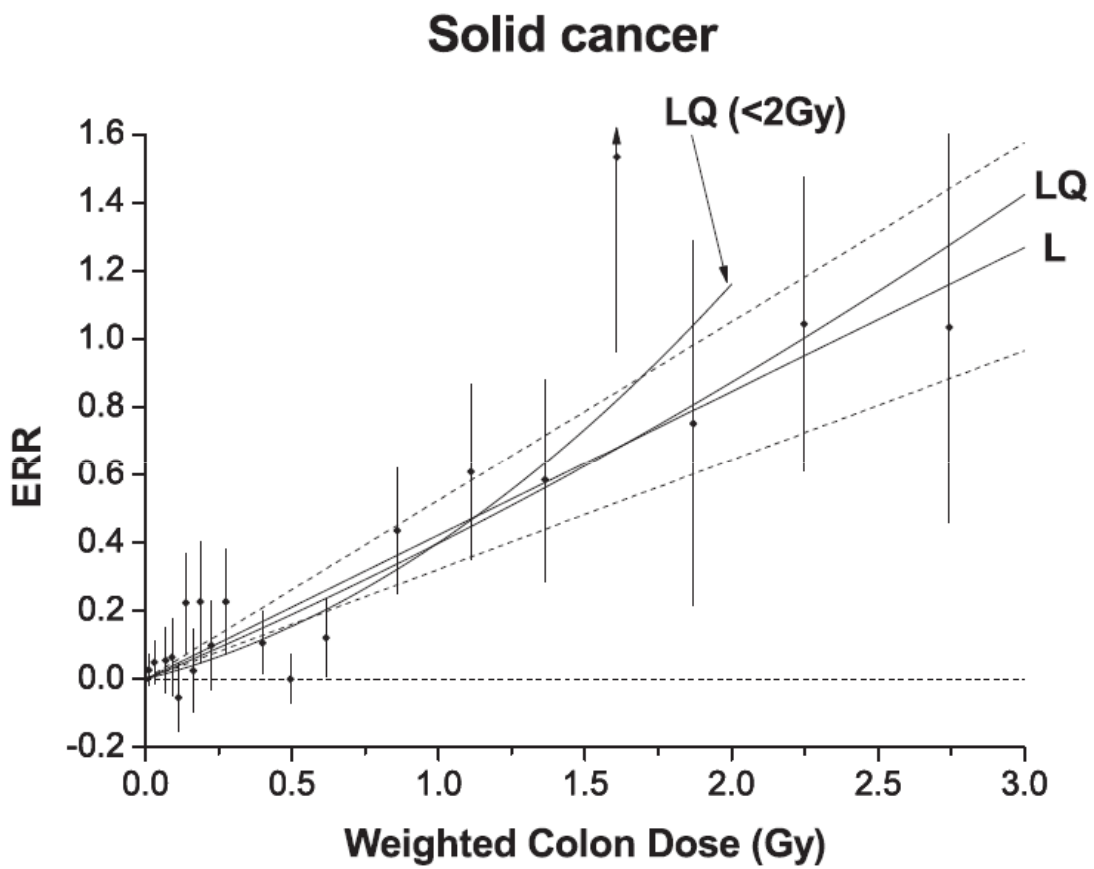
Equivalent doses $H_{T,F}$

Sex-averaged equivalent doses, H_T

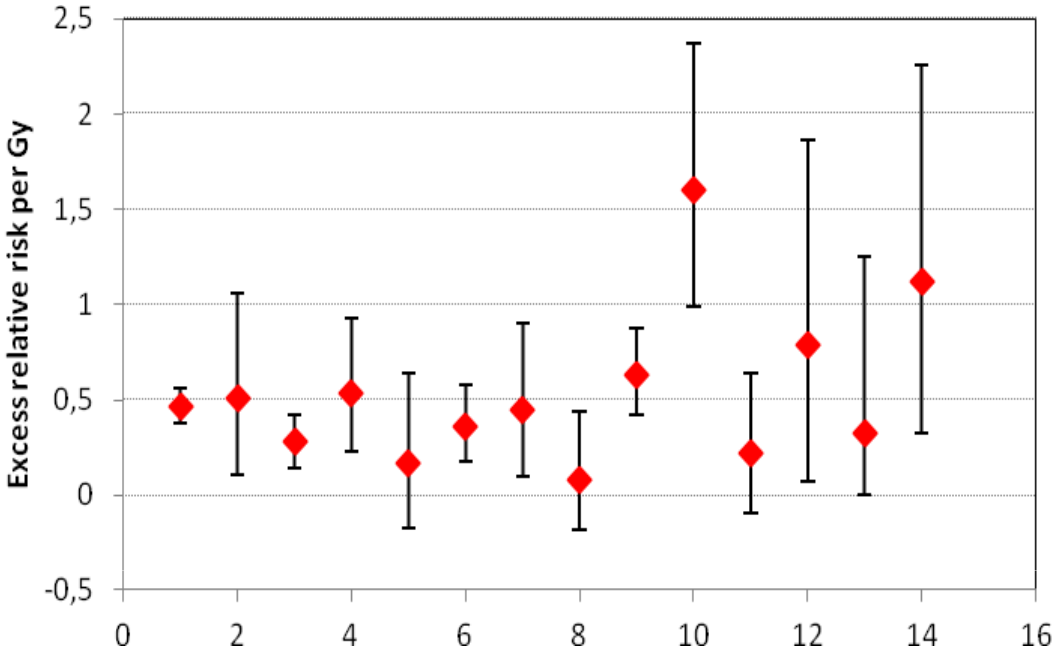
w_T

Effective dose, E

ICRP Tissue Weighting Factors: Based on Data on Radiation-induced *Late* Effects among the A-bomb Survivors



Ozasa et al. Rad. Res. 2012 **ERR per dose ≅ 0.42 / Sv**



1 – all solid cancers; 2 – esophagus;
3 – stomach; 4 – colon;
5 – rectum; 6 – liver;
7 – gall bladder; 8 – pancreas;
9 – lung; 10 – breast;
11 – uterus; 12 – ovary;
13 – prostate; 14 – bladder

error bars represent 95% confidence intervals

Grundlage für w_T,
aber das ist noch nicht alles …

- Gender-averaged

  Risik estimates were done separately for different organs, then averaged over age and gender

  ICRP 103: „ … gender-specific data are not recommended for the general purposes of radiological protection.“

- further aspects included:
  - transfer of risk estimations from Japanese population to global population
  - number of years of life lost different for different
  - loss of quality of life different for different tumour sites

Berechnung des Strahlendetriments D_T als Grundlage für Gewebe-Wichtungsfaktoren

$$D_T = (R_{F,T} + q_T \times R_{NF,T}) \times I_T$$

- Mit R_F Risiko für fatal disease = $k_T \times R_{inzidenz,T}$, und k_T Lethalität
- Mit R_{NF} Risiko für non-fatal disease = $(1-k_T) \times R_{inzidenz,T}$
- q_T Gewicht für non-fatal diseases
- I_T mittlerer Lebenszeitverlust verglichen mit normaler Lebenserwartung, relativ zu dem durch alle Krebsarten

Mit q_T „Quality of life detriment“: $q_T = q_{min} + k_T \times (1 - q_{min})$

- berücksichtigt Einschränkungen wegen Schmerz, Krebsbehandlung, …
- „… a subjective judgement …“
- q_{min} = 0,1 (außer für Hautkrebs)

Beispiel Magenkrebs, Bevölkerung:

Nominaler Risikokoeffizient:	79,1 Fälle pro 10.000 Personen Sv
Lethalität:	0,83
q_{min}:	0,1
I_T:	0,88

Detriment: $D_T = \underbrace{[79{,}1 \times 0{,}83 + 79{,}1 \times (1 - 0{,}83) \times ((1 - 0{,}1) \times 0{,}83 + 0{,}1)]}_{\text{„nominal risk adjusted for lethality and quality of life“}} \times 0{,}88 = 67{,}8$

Durchgeführt für alle Gewebearten und normiert

>> relatives Detriment für Magenkrebs: 0,118

(ICRP60: 0,139)

From relative detriment to tissue weighting factor

„… a policy decision that there should only be a single set of w_T values that are averaged over both genders and all ages …“

„… the Task Group feels that additional judgements need to be exercised to include subjective factors not reflected in the mathematical formulation of detriment.“

Tissue	w_T	Σw_T
Bone marrow, colon, lungs, stomach, breast, remainder	0.12	0.72
Gonads	0.08	0.08
Bladder, esophagus, liver, thyroid	0.04	0.16
Bone surface, brain, salivary gland, skin	0.01	0.04

>> Effective Dose

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T$$

1929 - 2015

- Konzept geht zurück auf Prof. Jacobi (GSF)
- wird verwendet für Angabe von Richt-, Referenz, und Grenzwerten

Geschichte – Der Begriff des Schadens

- früher: Erbschäden + Krebsmortalität

- heute: Krebsmortalität, Krebsinzidenz, Lebenszeitverkürzung, Verringerung d. Lebensqualität
    - genetische Schäden verglichen mit Krebsrisiken eher gering
    - Schäden an der Augenlinse (Linsentrübungen, Katarakte)
    - Kardiovaskuläre Erkrankungen

- Nichtkrebserkrankungen nicht in ICRP Detrimentüberlegungen integriert!

- Spielen also bei der Grenzwertdefinition (noch) keine Rolle

- Wegen der Annahme einer linearen Beziehung (LNT) zwischen Schaden und Dosis:
    - Dosis ist im Strahlenschutz wichtigste Größe

Risks - The Dose and Doserate Reduction Factor (DDREF)

- Exposure in Hiroshima and Nagasaki: **high dose rates**
- However, in radiation protection, typical exposures are of **low dose rates**
- Based on cell (invitro) studies and animal studies, ICRP assumes **DDREF = 2**
  - ICRP 103: „… the Commission finds no compelling reason to change its 1990 recommendations of a DDREF of 2.“
  - ICRP 103: „… this continues to be a broad whole number judgement for the practical purposes of radiological protection which embodies elements of both subjective and probabilistic uncertainty. …“
- But – more recent epidemiological evidence (human data!!) challenge this concept
  - Jacob, Rühm, Walsh, Blettner, Hammer Zeeb (2009) Cancer risk for radiation workers larger than expected? Occup Environ Med 66: 798-796
- UNSCEAR 2006: **no DDREF**; BEIR VII 2006: **1.5**; WHO 2013: **1**; SSK 2015: **1**
- **New ICRP C1 Task Group on DDREF** (Chair: W. Rühm) **>> DDREF ? ? ?**

ICRP 103

Detriment-adjusted nominal risk factors for stochastic effects after exposure to radiation at low dose rate (in 10^{-2} Sv^{-1})

"Detriment-adjustierte nominale Risikofkoeffizienten für stochastische Effekte nach Exposition mit ionisierender Strahlung bei niedrigen Doisraten (in 10^{-2} Sv^{-1})"

	Krebs	Erbschäden	Gesamt
Gesamtbevölkerung	5,5	0,2	5,7
Erwachsene	4,1	0,1	4,2

Allgemeiner Risikokoeffizient für Strahlenschutz: 5 % pro Sv

Welches schadensgewichtete Mortalitätsrisiko (Lebenszeit) entspricht

- Eine jährliche chronische natürliche Exposition der Bevölkerung mit 2 mSv?

  $5{,}7 \times 10^{-2}\ Sv^{-1} \times 2 \times 10^{-3}\ Sv/a \times 70\ a = 8 \times 10^{-3}$

- Eine einmalige berufliche mittlere jährliche Exposition mit 20 mSv (berufl. Jahresgrenzwert)?

  $4{,}2 \times 10^{-2}\ Sv^{-1} \times 20 \times 10^{-3}\ Sv = 8{,}4 \times 10^{-4}$

- Einer Exposition von 10 mSv pro Jahr, über 40 Arbeitsjahre (400 mSv Lebensarbeitsdosis)?

  $4{,}2 \times 10^{-2}\ Sv^{-1} \times 10 \times 10^{-3}\ Sv/a \times 40\ a = 1{,}7 \times 10^{-2}$

Risiko eines tödlichen Arbeitsunfalls (45 Jahre), 2011, Deutschland

9×10^{-4} (Health Care System) - $3{,}2 \times 10^{-2}$ (Transport Traffic Industry)

Risiko eines tödlichen Wegeunfalls (45 Jahre), 2011, Deutschland

4×10^{-4} (weniger als Risiko eines Arbeitsunfalls (falls nicht auf Fahrt-/Arbeitszeit korrigiert))

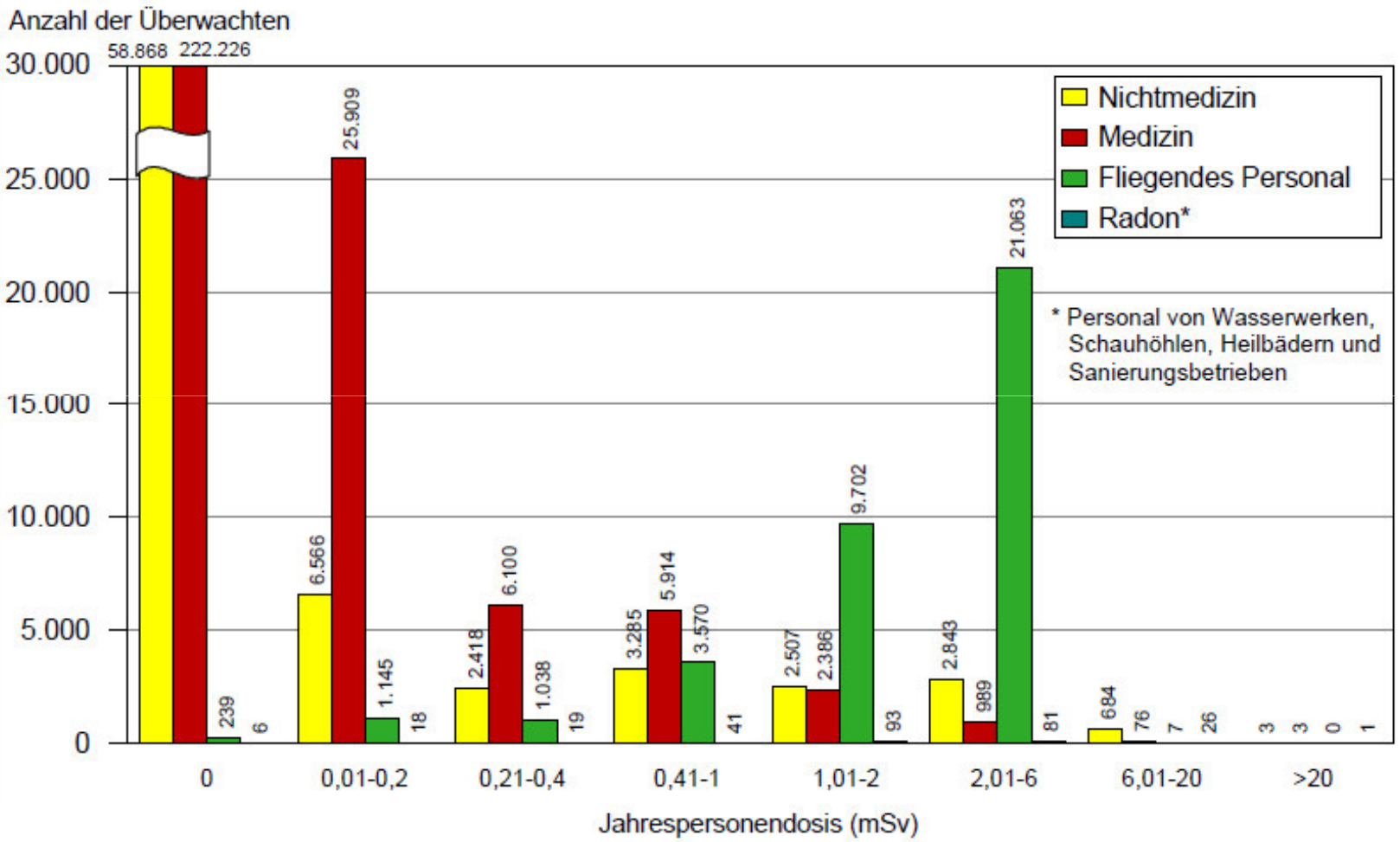
Quellen: Dt. Gesetzl. Unfallversicherung 2012 , Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2013

Die Situation in Deutschland - Beispiele (Dosisregister 2005)

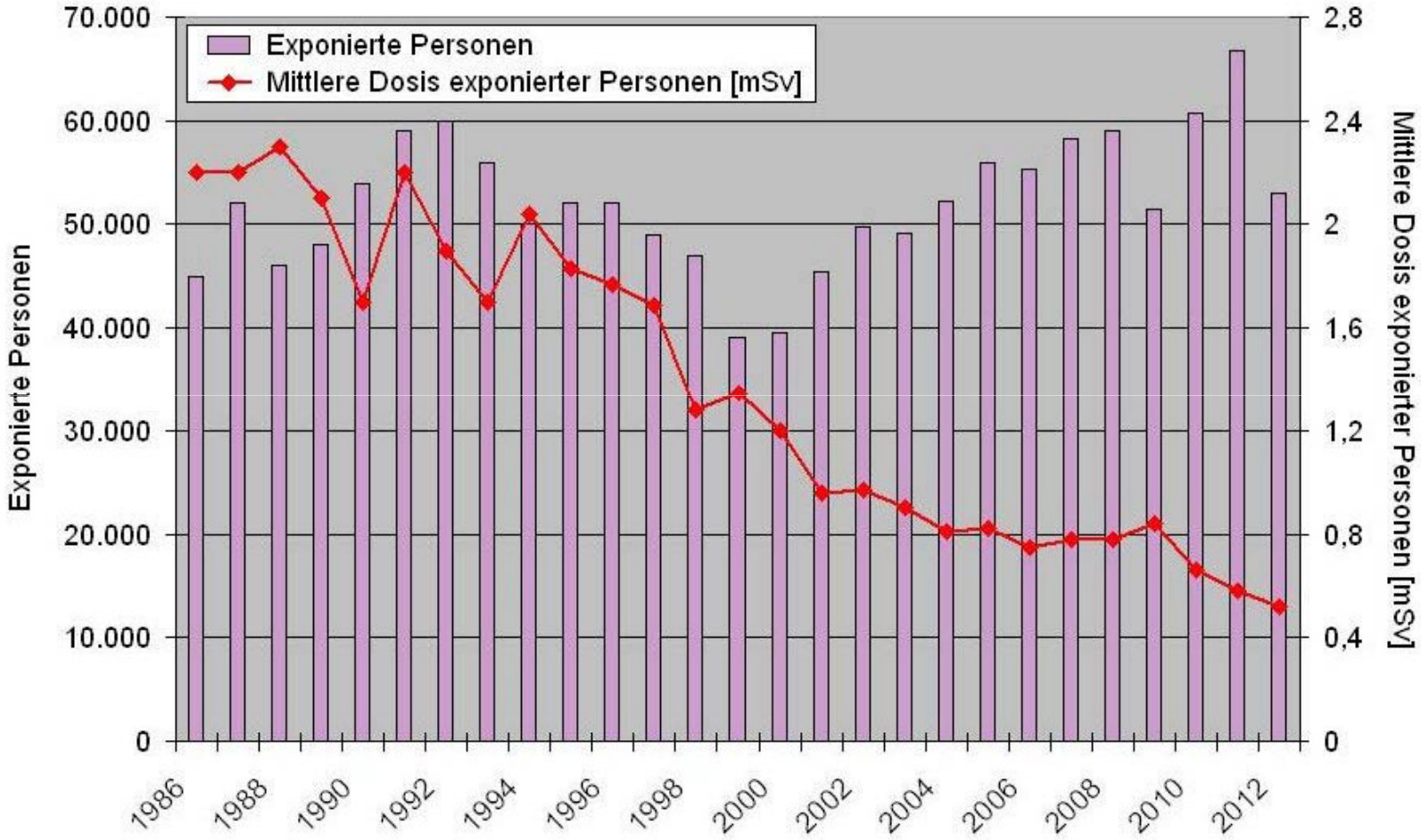
Occupation	monitored individuals	annual dose	collective dose
4. NPPs (maintenance)	9,073	1 mSv	9.7 Person-Sv
3. Radiography	2,030	1.1 mSv	2.1 Person-Sv
2. NPPs (cleaning)	756	1.4 mSv	1.1 Person-Sv
1. Aircrew	**31,227**	**2.0 mSv**	**62.2 Person-Sv**

Compares with medical exposure: 240,000 / 0.07 mSv / 17.0 personSv

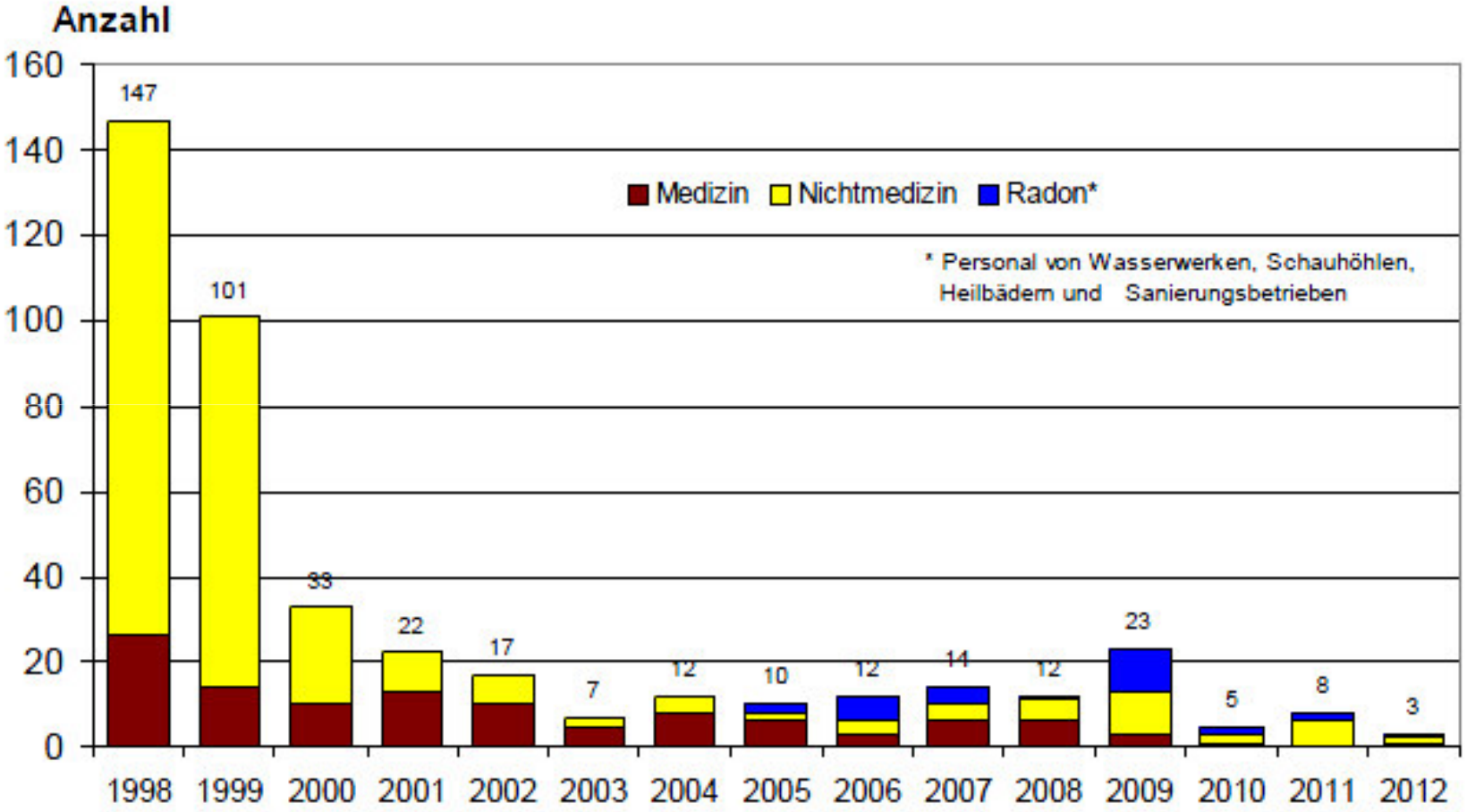
Verteilung der Jahrespersonendosen beruflich Strahlenexponierter im Jahr 2012 (BMUB Parlamentsbericht 2012).



Zeitliche Entwicklung der berufliche Strahlenexponierten mit Jahresdosen größer Null sowie der mittleren Jahresdosis dieser Exponierten (BfS, 2014b)



Anzahl der Personen mit Ganzkörperjahresdosen über 20 mSv (BMUB Parlamentsbericht 2012).



Zusammenfassung

- Die ICRP empfiehlt Richt-, Referenz- und Grenzwerte
- Basierend auf dem Konzept der „Effektiven Dosis“
- Für den Strahlenschutz gibt ICRP ein „detriment-gewichtetes Mortalitätsrisiko“ an
- Faustformel: 5% pro Sv (Lebenszeitrisiko)
- In Deutschland: beruflich max. 20 mSv pro Jahr, gemittelt über 5 Jahre
- Berufliche Lebenszeitdosis begrenzt auf 400 mSv
- Berufsgruppe mit der höchsten mittleren effektiven Dosis pro Jahr in D: fliegendes Personal
- Dosisgrenzwerte trennen nicht „sicher“ von „unsicher“

Danksagung

G. Dietze, C. Streffer, J. Valentin, W.U. Müller, R. Michel, P. Jacob

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Geschichte – Die Entwicklung der Dosisgrenzwerte

- ICRP 1950/51: „Permissible Dose“ von 0.3 R / Woche (~150 mSv / a)
  Augenlinse; später Schilddrüse und Haut

- ICRP 1959, 1960: Beruflicher Grenzwert: 5 Rem / J (~ 50 mSv / a)
  Bevölkerung: 0.5 Rem / J (~ 5 mSv / a)
  genetische Dosis < 5 Rem (50 mSv) pro Generation

- ICRP 1959, 1960: führt „Toleranzdosis“ ein für Gonaden, blutbildende Organe,
  Augenlinse; später Schilddrüse und Haut

- ICRP 1977: Effective dose equivalent (Ganzkörperdosis) – Grenzwert: 50 mSv/a
  - Für stochastische Schäden: Annahme einer LNT-Beziehung
  - Für deterministische Schäden: Dosisschwelle

- ICRP 1990: Gewebewichtungsfaktoren und „Effektive Dosis“
  - Konzept geht zurück auf Prof. Jacobi (GSF)
  - Richtwerte („contraints“)
  - Grenzwert: 20 mSv/a

Risiko

- Sicherer Beruf: Risiko 10^{-4}

- Allgemeinheit: z.B. öffentlicher Verkehr – Risiko 10^{-5} – 10^{-6}

- Publ 64: Konzept des Risikorichtwerts

  - Publ 76: generische Risikorichtwerte: berufl: 2 x 10^{-4} / a, Allgemeinheit 10^{-5} / a

  - Publ 77: generischer Dosisrichtwert: 0.3 mSv / J

  - Publ 82: Dosisrichtwert für langandauernde Exposition: 0.1 mSv / J

  - Spielen also bei der Grenzwertdefinition (noch) keine Rolle

- Wegen der Annahme einer linearen Beziehung zwischen Schaden und Dosis:

  - Dosis ist im Strahlenschutz wichtigste Größe

Allgemeine Begründung bei der Grenzwertsetzung:

- Verhinderung von deterministischen Effekten;
- Begrenzung der stochastischen Effekte auf ein akzeptables bzw. tolerables Maß und Vermeidung von inakzeptablen Risiken.
- Frage: Was ist „akzeptabel“, was ist „tolerabel“, was ist „inakzeptabel“?
- ICRP 27: akzeptabel = 1 Krebstodesfall pro 10.000 Personen pro Jahr.
- ICRP 60: Grenze zwischen tolerabel und inakzeptabel = 1 Krebstodesfall pro 1.000 Personen pro Jahr.

Die Situation in Deutschland

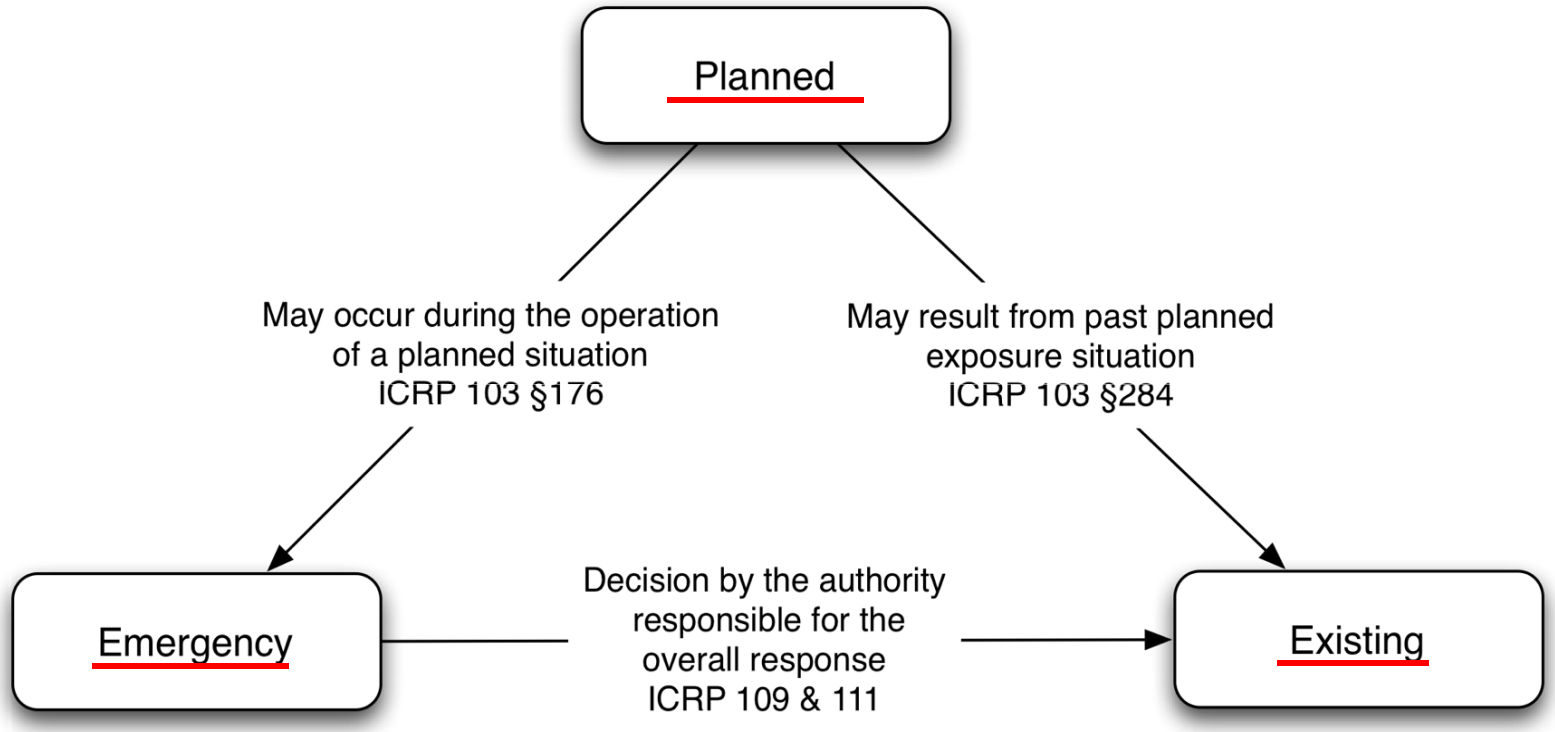
Recommendation of the ICRP for occupational exposure:

20 mSv / year

Averaged over 5 years

Deutschland: zusätzlich: Lebensarbeitsdosis von 400 mSv

Transitions between exposure situations



(Courtesy: J. Lochard, ICRP C4)