

# Strahlenwirkungen auf Pflanzen und Tiere in der 30 km Zone

G. Pröhl

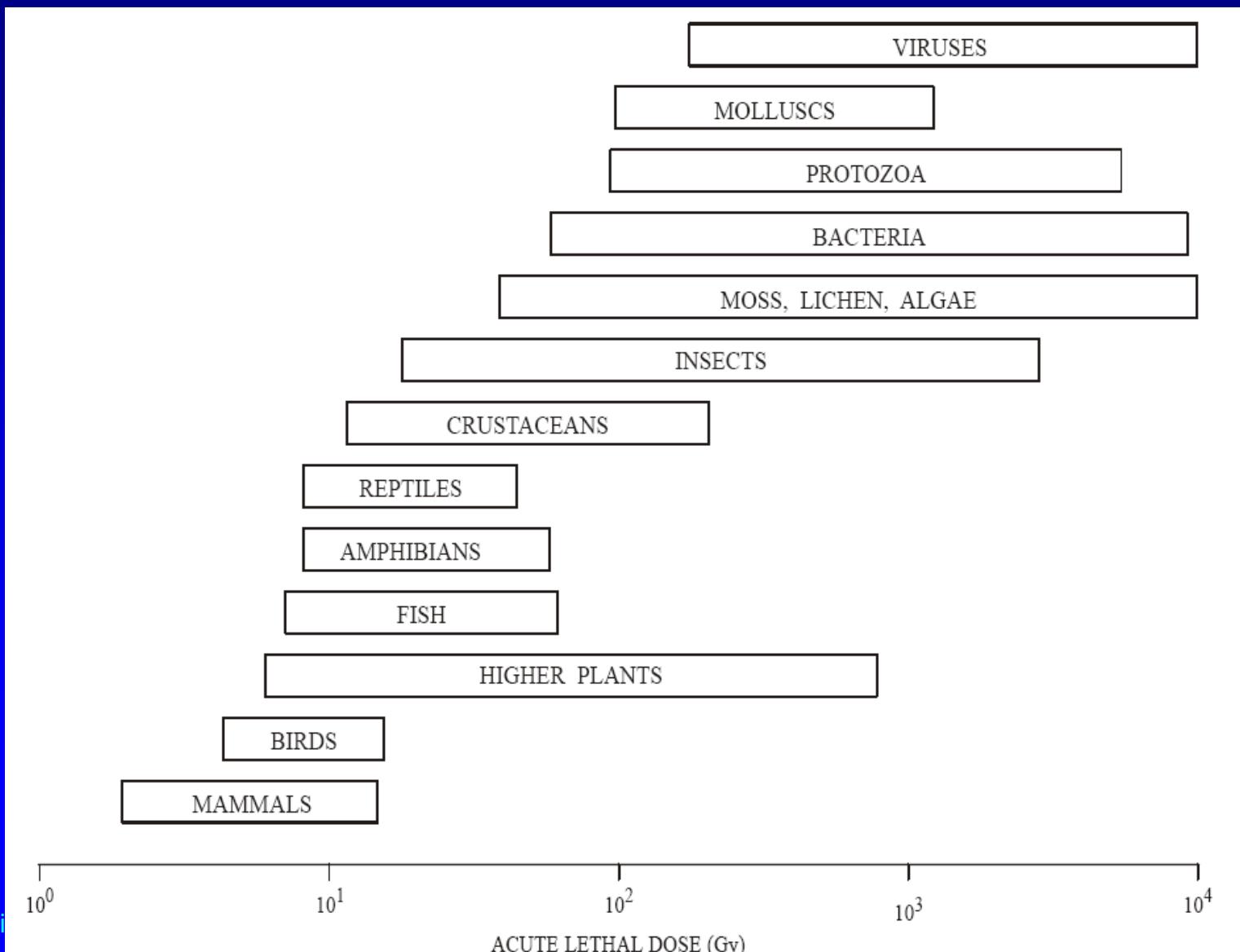
GSF – Institut für Strahlenschutz  
85764 Neuherberg

20 Jahre wissenschaftliche Erkenntnisse  
nach der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl

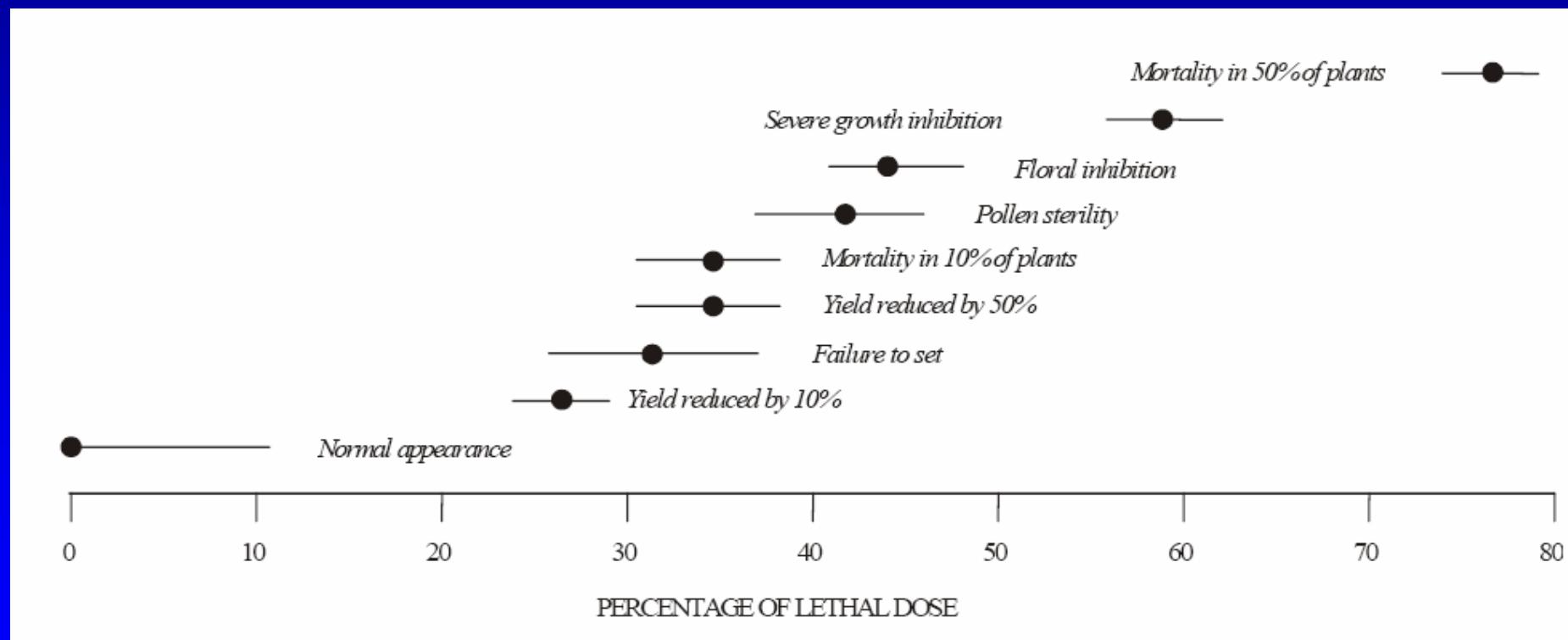
Symposium des  
Gemeinschaftsausschusses Strahlenforschung  
Heidelberg, 16. März 2006



# Letale Dosen (Gy) für verschiedene taxonomische Gruppen (UNSCEAR 1996)

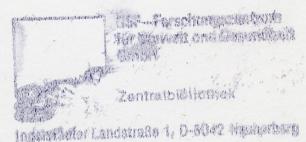


# Strahleneffekte bei Pflanzen im Vergleich zur letalen Dosis (Sparrow, 1963)



NCRP REPORT No. 109

# EFFECTS OF IONIZING RADIATION ON AQUATIC ORGANISMS



|N|C|R|P|

National Council on Radiation Protection and Measurements

1991



Institute of Radiation Protection





TECHNICAL REPORTS SERIES No. **332**

## **Effects of Ionizing Radiation on Plants and Animals at Levels Implied by Current Radiation Protection Standards**



INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA, 1992

# Existierende Richt-/Orientierungswerte zur Expositionsbegrenzung von Flora und Fauna

- Empfehlungen
  - NCRP (1991)
  - IAEA (1992)
  - UNSCEAR (1996)
- “Guideline dose limits”
  - Terrestrische Fauna
    - $40 \mu\text{Gy/h}$  ( $\sim 1 \text{ mGy/d}$ )
  - Terrestrische Pflanzen, aquatische Organismen
    - $400 \mu\text{Gy/h}$  ( $\sim 10 \text{ mGy/d}$ )
- Effekte für Individuen sind möglich, jedoch keine Effekte auf Populationsebene

# Analyse von Dosis-Effekt-Beziehungen für Flora und Fauna im Rahmen des EU-Projektes FASSET (Framework for ASSEssment of Environmental ImpacT)

- Literaturrecherche
- Betrachtete Endpunkte
  - Morbidität
  - Mortalität
  - Verminderte Reproduktionsfähigkeit
  - Mutationen

# Datenbasis

- Untersuchungen seit 1945
- Labor- und Feldstudien
- Berücksichtigung russischer Arbeiten
- Schwerpunkt auf chronische Bestrahlung mit niedriger Dosisrate (< 1 mGy/h)
- Experimente mit akuten Dosen > 10 Gy bleiben unberücksichtigt
- => Datenbank **FRED**:  
**F**ASSET **R**adiation **E**ffects **D**atabank
- A Real et al: Effects of ionising radiation on plants, fish and mammals... Journal Radiological Protection, 24 (2004), 123-138

# Expositionsbedingungen

- Starke Abweichung von Feldbedingungen
  - Dosis und Dosisraten
- Art der Bestrahlung
  - Vorwiegend  $\gamma$ -Strahlung
  - Vorwiegend externe Bestrahlung
- Versuchstiere
  - Decken nur enges Spektrum ab

Dose rate (mGy h <sup>-1</sup> )	Effects after chronic $\gamma$ -exposure to mice (Real et al. 2003)	Umbrella effect
<0.1	No detrimental effects have been described.	
0.1-1	Life shortening.	Mortality
	Reduction of mean number of litters per female; higher mortality between birth and weaning; reduction of primary oocytes.	Reproduction
	Irradiation during 3 consecutive generations increased sterility, decreased mean litter size.	
1–5	Increased mortality ratio (dependent on the strain used)	Mortality
	Irradiation in 2 <sup>nd</sup> week after birth reduced fertility and litter size.	Reproduction
	Irradiation during 4 to 90 days reduced fertility span, germ cells per ovary and testis weight.	Reproduction
	Increased mutation rate at 7 specific loci in spermatogonia.	Mutation
5–10	Life shortening after exposures of 68 days or longer.	Mortality
	Increased paternal expanded simple tandem repeat (ESTR) mutation rate.	Mutation
>10 x 10 <sup>3</sup>	Increased mortality ratio (dependent on the strain used).	Mortality

# Fazit

- Säugetiere, Pflanzen, Fische  
Chronische Bestrahlung:
  - $D < 2.4 \text{ mGy/d} (\sim 1 \text{ Gy/a})$   
**Keine klaren irreversiblen negativen Effekte**
- Keine Hinweise auf unterschiedliche Strahlenempfindlichkeit von Säugetieren ↔ Pflanzen/Fische

# Expositionsphasen

- Phase 1: ~ 1.-20. Tag
  - Kurzlebige Radionuklide
    - $^{99}\text{Mo}$ ,  $^{132}\text{Te}/^{132}\text{I}$ ,  $^{133}\text{Xe}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{140}\text{Ba}/^{140}\text{La}$
  - Exposition
    - Bis zu 20 Gy/d durch  $\gamma$ -Strahlung
    - Weitere Beiträge durch  $\beta$ -Strahlung
      - Gewebe nahe an der Oberfläche
      - Kleine Gewebe
- Phase 2: Sommer/Herbst 1986
  - Dosisraten < 10% des Anfangswertes
- Phase 3: ab 6 Monate nach dem Unfall
  - Chronische Bestrahlung,
  - Dosisraten < 1% des Anfangswertes

# Exposition und Wirkungen für Flora und Fauna

- Umfangreiche Daten
  - Literatur nur z.T zugänglich
- Schwierige Analyse
  - Heterogene Deposition
  - Kontrollkollektive fehlen häufig
  - Zuwanderung von gesunden Organismen aus unkontaminierten Gebieten „maskiert Strahlenwirkung“
- Intensivierte Beobachtung
  - Zuordnung von „außergewöhnlichen“ Beobachtungen als Strahlenwirkung

# Doses and dose rates in the 30 km-zone

(Smith & Beresford, 2005)

Direction/ distance (km)	1 October 1986		1 October 1987		1 May 1988	
	Accumulated dose (Gy)	Dose rate (mGy/h)	Accumulated dose (Gy)	Dose rate (mGy/h)	Accumulated dose (Gy)	Dose rate (mGy/h)
260° / 2	100	10	126	2.5	130	2.2
260° / 5	10	1	12	0.25	12.5	0.24
245° / 4	4	0.4	5.1	0.12	5.5	0.12
255° / 6	2	0.2	2.6	0.06	2.8	0.05
165° / 3.5	1	0.1	1.2	0.03	1.3	0.02
205° / 16	0.01	0.001	0.0014	0.0004	0.015	0.0003

# Strahlenschäden in den Wäldern um den Tschernobyl-Reaktor (Kozubov 92, Kryshev 92)

Schadstufe (Fläche)	Kumulierte externe $\gamma$ -Dosis (Gy)	$\gamma$ -Dosisrate (1.10.86) $\mu\text{Gy}/\text{h}$	Gesamtdosis Gy
Absterben (4 km <sup>2</sup> ): Nadelbäume: vollständig Laubbäume: teilweise	>80-100	> 5000	>100
Sub-letal (38 km <sup>2</sup> ) Nadelb.: Tod der Wachstumszone, teilweise Absterben Laubbäume: Morphologische Veränderungen	10-20	2000-5000	50-100
Mittel (120 km <sup>2</sup> ) Eingeschränkte Reproduktion, vertrocknete Nadeln, Morphologische Veränderungen	4-5	500-2000	20-50
Geringe Schäden	0.5-1.2	<200	<10

# Entwicklung von exponierten Nadelbaumbeständen in Abhängigkeit der Dosis

Exposition (Gy)	1986	1987	1988	1989	1990	1991
< 0.1	Normal					
0.1-1	Wachstum ↓	Leichte Entwicklungsstörungen	Normal			
1-10	Wachstum ↓↓ Einzelne Bäume sterben ab	Entwicklungsstörungen, Keine Blüte	Erholung	Normal		
10-60	Wachstum ↓↓↓ Nadeln vertrocknen Bäume sterben ab	Entwicklungsstörungen,	Zunehmende Erholung			
>60	Vollständiges Absterben	Nadeln fallen ab	Rinde fällt ab, erste Gräser	Neue Pflanzengemeinschaft bildet sich		

# Beobachtungen an Kiefern (Tikhomirov & Shegelov, 1994)

- < 0.1 Gy Keine Beobachtungen
- 0.5 Gy: Zytogenetische Schäden
- > 1 Gy: Verringerte Wachstumsraten und morphologische Veränderungen
- > 2 Gy: Reproduktionsfähigkeit vermindert

# Chromosomen-Aberationen Kiefer zur Meiose von Mikrosporozysten

Dosis (Gy)	Analysierten Zellen		Chromosomen- Aberationen (%)	
	1987	1988	1987	1988
0.7-1.1	4200	1800	22	14.4
1.7-2.3	6300	2200	30.2	9.6
Kontrolle	3000	1000	5.7	5.8

# Landwirtschaftliche Nutzpflanzen (Shevenko et al., 1996)

Anfängliche Exposition: 300 mGy/d

- Wachstumsdepressionen
- Verwelkte und nekrotische Blättern
- Erhöhte Inzidenz von Chromosomenaberrationen

# Landwirtschaftliche Nutztiere: Beispiel für Expositionen

Entfernung zum Reaktor	Gesamt- Deposition (MBq/m <sup>2</sup> )	Absorbierte Dosis (Gy)		
		Schilddrüse	MD-Trakt	Ganzkörper
3	840	300	2.5	1.4
14	350	260	1.0	0.6
35	120	90	0.4	0.2

# Wirkungen auf landwirtschaftliche Nutztiere (Astasheva et al., 1991)

- Funktionsstörungen der Schilddrüse
  - 70 % Verminderung bei 50 Gy
  - > 80 % bei Verminderung bei 260 Gy
- Sonstige Beobachtungen in der 30 km-Zone
  - Tod einiger nicht evakuiert Tiere
  - Verminderte Immunabwehr
  - Erniedrigte Körpertemperatur
- Nachkommen von hoch exponierten Tieren
  - Geringeres Körpergewicht
  - Geringere tägliche Zunahme
  - Normales Geburtsgewicht ab 1989

# Wirkung auf wirbellose Bodentiere

## Tikhomirov & Shchelgov (1994)

- Streuschicht in Waldböden,
  - Entfernung zum Reaktor: 3 km, 2 Monate nach dem Unfall
    - Verminderung der Individuenanzahl um Faktor 30 gegenüber Standorten in 30 km Entfernung
    - Eingeschränkte Fortpflanzung
      - Keine Larven
  - Expositionen von 30 Gy (ermittelt durch TLD-Messungen)
    - Erhöhte Mortalität
    - Absterben von Eiern und Larven
  - Erholung der Bestände durch Einwanderung von Tieren aus weniger kontaminierten Gebieten
- Ackerböden
  - Weniger beobachtete Effekte
    - Regenwurmpopulation um Faktor 4 dezimiert
    - Keine Effekte in Bodentiefen > 5cm

# Mäuse (Testov und Taskaev, 1990)

- Geringere Anzahl im Jahr 1986
  - Höhere Sterblichkeit
    - anfängliche Dosisrate  $\sim 1$  Gy/d
    - Futterangebot durch Schädigung von Pflanzen und Tieren verschlechtert
  - Zahl der gesunden Tiere pro Wurf reduziert
- Nachhaltige Erholung der Bestände ab 1987
  - Abwesenheit des Menschen
  - Deutlich verbessertes Futterangebot
  - Einwanderung gesunder Tiere aus weniger kontaminierten Gebieten

# Pathologische und biochemische Veränderungen

- Kleinnager (Matery, 1990; Shishkina, 1990; Baker, 1996)
  - Leberzirrhose
  - Veränderung des Fettgewebes
  - Vergrößerung der Milz
  - Hinweise auf oxidativen Stress
- Erhöhte genetische Variabilität bei Mäusen im „Red forest“
  - Zuwanderung aus unkontaminierten Gebieten
- Missbildungen bei Wild- und Haustieren
  - UN/FAO: „None of the reported abnormalities were other than could be seen anywhere else in the world“
- Erhöhtes Auftreten von Albinismus (15 % in 1991 vs. <2% in unkontaminierten Gebieten)

# Exposures in the 30 km-zone of Chernobyl (Bondarkov et al., 2003)

- Deposition (MBq/m<sup>2</sup>)
  - <sup>137</sup>Cs: 1
  - <sup>90</sup>Sr: 0.4
- Activities in small mammals
  - <sup>137</sup>Cs (soft tissues): 1-30 kBq/kg
  - <sup>90</sup>Sr: (bone): 2-5 kBq/kg
- Exposure, external + internal (mGy/a)
  - <sup>137</sup>Cs: 24-57
  - <sup>90</sup>Sr: 4-10

# Observed biological effects in plants in the 30km-zone

[Sazykina *et al.* 2003]

Species (year observed)	Absorbed dose rate ( $\mu\text{Gy/h}$ )		Observed effects
	Mean	Maximum	
<i>Arabidopsis thaliana</i> (mouseear cress) (1988)	5.7	11	47±5.0% of plants mutated cf. <5% in unexposed populations
<i>Taraxacum officale</i> (dandelion) (1988)	33	170	Seed germination 40+2.4% cf. 94+2.5% for control
<i>Pinus sylvestris</i> (Scotch pine) (1990-91)	5.9	43	56 % of pollen tubes branched and 2 % multi-branched cf. 29 % and 0.1 % in control samples

# Observed biological effects in rodents in the 30km-zone

## [Sazykina *et al.* 2003]

Absorbed dose rate ( $\mu\text{G}/\text{h}$ )	Observed effects
Internal                    41 (0.09-770)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Liver abnormalities in a few animals (less than in 1986/87)</li><li>• Leucocyte concentrations lower than in control</li></ul>
External                    8.1 (0.02-200)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Increased embryonic mortality at <u>some sites</u> up to 43 % before implantation <i>cf.</i> 15 % in controls; after implantation up to 28 % in contaminated area and 3.4% in controls</li></ul>
<b>Total</b> 49 ( <b>0.1-980</b> )	<ul style="list-style-type: none"><li>• Increased frequency of abnormal sperm heads at <u>some sites</u> up to 17% <i>cf.</i> 1.3% for controls</li><li>• Increased frequency of reciprocal translocations in male mice at <u>some sites</u> <i>cf.</i> controls</li><li>• Increased levels of chromatid and genome aberrations in bone marrow cells at <u>some</u> <i>cf.</i> controls</li></ul>

# Average concentrations of $^{137}\text{Cs}$ in media and organisms of the Chernobyl cooling pond (Kryshev, 1995)

Year	Mean fresh weight activity concentration of $^{137}\text{Cs} \pm 2\text{SD}$ (number of samples)					
	Sediment (kBq/kg)	Water (Bq/l)	Phyto- plankton (kBq/kg)	Bivalve mollusc (kBq/kg)	Pelagic fish (kBq/kg)	Benthic fish (kBq/kg)
1986	<b>170±80 (174)</b>	<b>223 (86)</b>	<b>120±40 (7)</b>	<b>25±6 (9)</b>	<b>250±120 (3)</b>	<b>160±70 (4)</b>
1987	na	<b>100±60 (36)</b>	<b>60±30 (28)</b>	<b>21±5 (21)</b>	<b>130±50 (96)</b>	<b>120±30 (54)</b>
1988	<b>140±90 (46)</b>	<b>50±20 (40)</b>	<b>40±20 (5)</b>	<b>14±8 (6)</b>	<b>60±30 (62)</b>	<b>30±10 (17)</b>
1989	na	<b>30±14 (36)</b>	<b>40±12 (6)</b>	na	<b>30±14 (46)</b>	<b>20±8 (9)</b>
1990	<b>110±60 (18)</b>	<b>14±6 (30)</b>	<b>24±7 (20)</b>	na	<b>23±11 (48)</b>	<b>13±4 (16)</b>

# Exposures in the Chernobyl cooling pond

(Howard et al., 2005)

Reference organisms	Average dose rate ( $\mu\text{Gy/h}$ ) in year				
	1986	1987	1988	1989	1990
<b><u>External exposure</u></b>					
Insect larvae	0.39	0.11	0.04	0.02	0.09
Mollusc	220	51	27	19	14
Pelagic fish	<b>0.24</b>	<b>0.07</b>	<b>0.027</b>	<b>0.014</b>	<b>0.006</b>
Benthic fish	<b>190</b>	<b>41</b>	<b>23</b>	<b>16</b>	<b>12</b>
<b><u>Internal exposure</u></b>					
Insect larvae	6.5	2.5	1.2	0.68	0.31
Mollusc	130	68	31	24	20
Pelagic fish	<b>110</b>	<b>44</b>	<b>16</b>	<b>6.7</b>	<b>4.6</b>
Benthic fish	<b>62</b>	<b>38</b>	<b>8.0</b>	<b>4.7</b>	<b>2.8</b>

# Effekte

General conditions of study	Description of observed effects
Adult fish that survived the accident.	<p><b>1989:</b> 5.7 % sterile specimens, 8.6 % of specimens with gonad asymmetry. Cytological analysis, 25 % of males had anomalies of sexual cells (control 0.25 %) In the control population less than 0.25 % of specimens were sterile.</p> <p><b>1990:</b> 12.5 % sterile specimens and 16.7 % of specimens with gonad asymmetry; 47.1 % of fish had anomalies of sexual cells.</p> <p><b>1991:</b> No sterile specimen There were 23.1 % of specimens with gonad asymmetry. 68.8 % of fish had anomalies of sexual cells.</p> <p><b>1992:</b> 42.9 % of males deformed shape of gonads; 100 % of males and 33.3 % of females had some anomalies of sexual cells. Freely-living fish from the Cooling Pond: 15.4 % of males were partially sterile, and 9.1 % of females had gonad asymmetry; 89.5 % of fish had anomalies of sexual cells.</p>
Off-spring of the above, housed in fish farm enclosures in the Cooling Pond.	<p><b>Offspring born 1989.</b> In 1992, 28.7 % of young fish had anomalies, including 2.8 % sterile bisexual specimens, 11.1 % with anomalies in gonad shape, 8.3 % with anomalies of body shape, 3.7 % with anomalies of the swim bladder, and 2.8 % with other anomalies.</p> <p><b>Offspring born 1990.</b> In 1992, 12.1% of fish had anomalies, including 3.2 % with anomalies of gonad shape and 8.9 % with anomalies of body shape. No sterile specimens were observed in this generation.</p>

# Zusammenfassung

- Terrestrische Ökosysteme
  - Kurzfristig: Massive Effekte in der Nähe des Reaktors
    - Sehr hohe Expositionen (>> 100 Gy)
      - Nadelbäume sterben z.T ab
      - Laubbäume weniger betroffen
      - Nicht evakuierte landwirtschaftliche Nutztiere
    - Langfristig
      - Wenig sichtbare Effekte
        - Chromosomen-Aberationen nur mikroskopisch feststellbar
        - Zuwanderung gesunder Organismen verdeckt eventuelle Effekte
        - Wirkung auf Populationen scheinbar gering
  - Aquatische Ökosysteme
    - Geringere Effekte: Abschirmung durch Wasser

# Langfristige Effekte in der 30 km-Zone

- Abwesenheit des Menschen
  - Keine landwirtschaftliche Nutzung
    - Keine Pestizide
    - Kein Eintrag von Dünger
  - Keine Bejagung
- Tierbestände nehmen z.T. stark zu
  - Wolf
  - Schwarzstorch
  - Rehe und Hirsche
  - Raubvögel
  - Kleintiere
- Pflanzenvielfalt vergleichbar mit der in unkontaminierten geschützten Gebieten