Das Tschernobyl Aerosol 1986 - 2006

Jochen Tschiersch

GSF - Institut für Strahlenschutz

85764 Neuherberg

Das Tschernobyl Aerosol

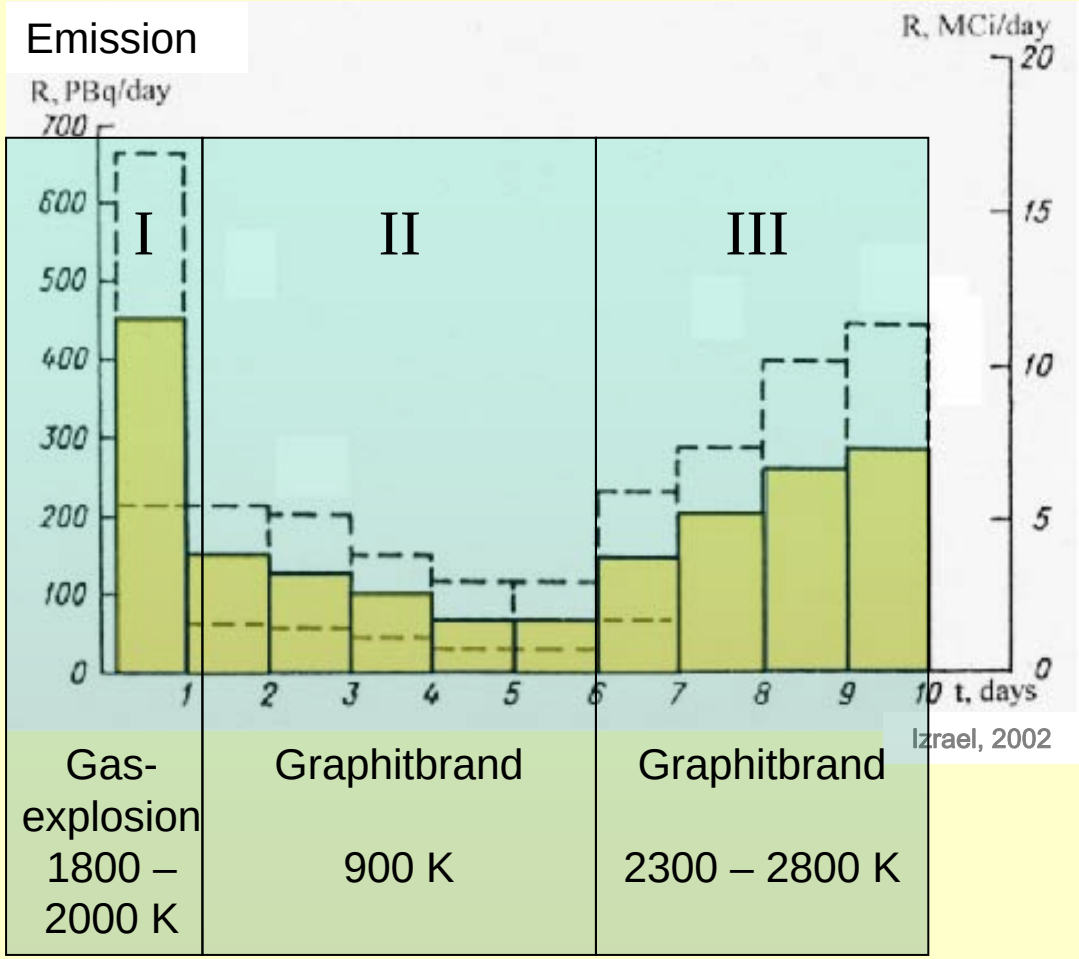
1. Entstehung
2. Ausbreitung

   Charakterisierung
3. Sekundäres Tschernobyl Aerosol

   Quellen, Charakteristika

1. Das Tschernobyl Aerosol 1986

1. Das Tschernobyl Aerosol 1986



1. Das Tschernobyl Aerosol 1986

I **Gasexplosion 1800 – 2000 K**

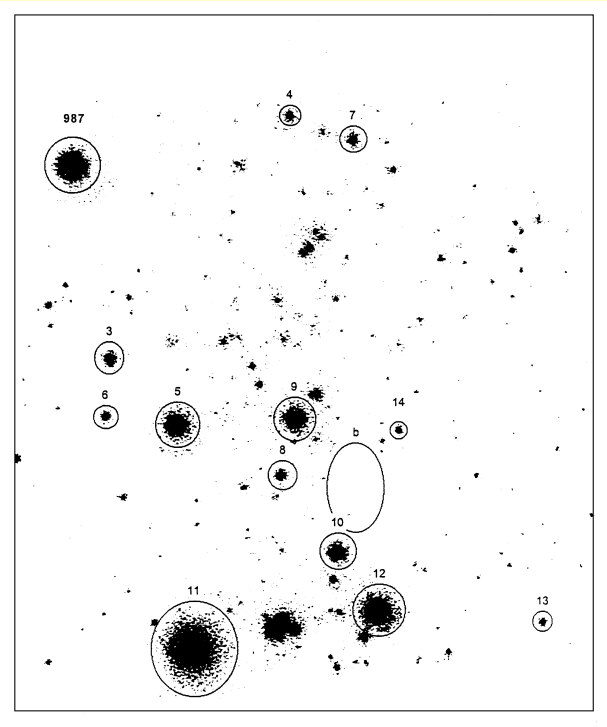
Radionukidzusammensetzung:

ähnlich der in den Brennelementen;

viele große Brennelementpartikel

+ Kondensationspartikel

d [µm]	A (^{137}Cs)	A (^{144}Ce)
1	8,2 mBq	0,13 Bq
10	8,2 Bq	130 Bq
100	8,2 kBq	130 kBq



Digitale Autoradiographie eines Filters mit heißen Teilchen

1. Das Tschernobyl Aerosol 1986

II + III **Graphitbrand 900 – 2800 K**

- **Radionukidzusammensetzung:**
  abgereichert in den Spaltprodukten,
  Cs-, Ru-Isotope und andere flüchtige
  Elemente angereichert.
- **Mehrheitlich Kondensationspartikel**
- **Kohlenstoff-Partikel als Kondensationskerne**

1. Das Tschernobyl Aerosol 1986

Nuklid	Halbwertszeit	Freisetzung [Bq]	Inventar zum Zeitpunkt des Unfalls [Bq]	Freigesetzter Anteil [%]
Flüchtige Stoffe:				
I-131	8,04 d	$1{,}8 \cdot 10^{18}$	$3{,}6 \cdot 10^{18}$	50
Sb-125	2,77 a	$2{,}9 \cdot 10^{15}$	$1{,}9 \cdot 10^{16}$	15
Cs-134	2,06 a	$5{,}0 \cdot 10^{16}$	$1{,}5 \cdot 10^{17}$	33
Cs-137	30 a	$8{,}6 \cdot 10^{16}$	$2{,}6 \cdot 10^{17}$	33
Schwerer flüchtige Stoffe:				
Zr-95	64,0 d	$1{,}4 \cdot 10^{17}$	$4{,}4 \cdot 10^{18}$	3,2
Ru-103	39,3 d	$1{,}2 \cdot 10^{17}$	$4{,}1 \cdot 10^{18}$	2,9
Ru-106	368 d	$2{,}5 \cdot 10^{16}$	$8{,}5 \cdot 10^{17}$	2,9
Ba-140	12,7 d	$1{,}6 \cdot 10^{17}$	$2{,}9 \cdot 10^{18}$	5,5
Ce-141	32,5 d	$1{,}2 \cdot 10^{17}$	$4{,}3 \cdot 10^{18}$	2,8
Ce-144	284 d	$9.0 \cdot 10^{16}$	$3{,}2 \cdot 10^{18}$	2,8
Sr-89	50,5 d	$8{,}0 \cdot 10^{16}$	$2{,}0 \cdot 10^{18}$	4,0
Sr-90	29,1 a	$8{,}0 \cdot 10^{15}$	$2{,}0 \cdot 10^{17}$	4,0
Transurane:				
Pu-238	87,7 a	$3{,}3 \cdot 10^{13}$	$9{,}3 \cdot 10^{14}$	3,5
Pu-239	24.065 a	$3{,}4 \cdot 10^{13}$	$9{,}6 \cdot 10^{14}$	3,5
Pu-240	6.537 a	$5{,}3 \cdot 10^{13}$	$1{,}5 \cdot 10^{15}$	3,5
Pu-241	14,4 a	$6{,}3 \cdot 10^{15}$	$1{,}8 \cdot 10^{17}$	3,5
Am-241	432 a	$4{,}9 \cdot 10^{12}$	$1{,}4 \cdot 10^{14}$	3,5
Am-243	7.380 a	$2{,}0 \cdot 10^{11}$	$5{,}7 \cdot 10^{12}$	3,5
Cm-242	163 d	$1{,}1 \cdot 10^{15}$	$3{,}1 \cdot 10^{16}$	3,5
Cm-244	18,1 a	$6{,}3 \cdot 10^{12}$	$1{,}8 \cdot 10^{14}$	3,5

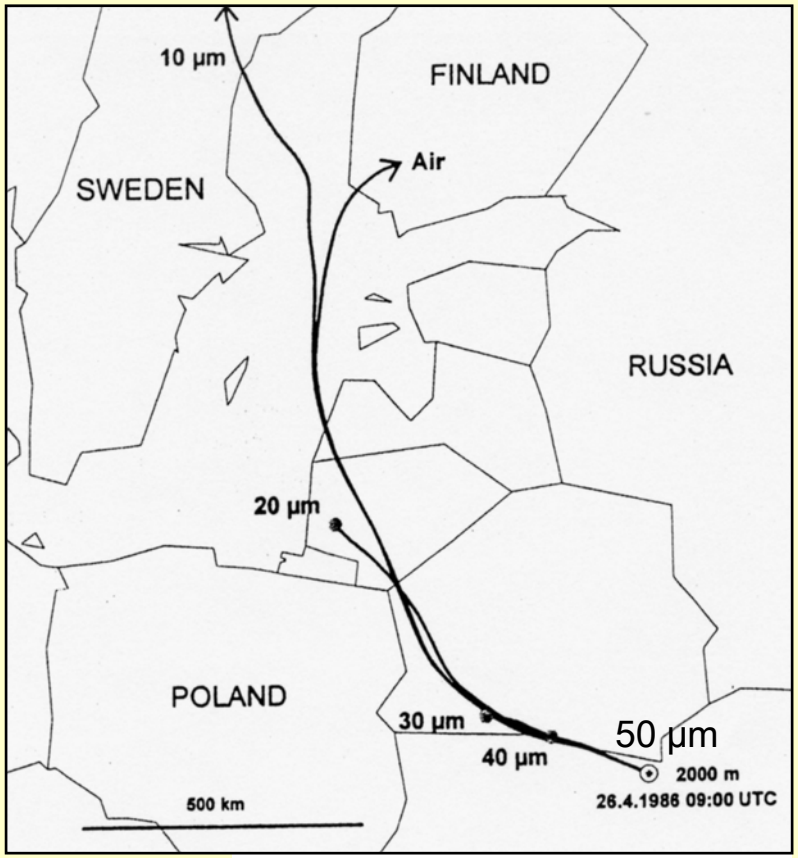
Krüger et al., 1996

Partikelgröße ?

Partikelgröße:

- Inhalations-dosimetrie
- Deposition
- Reichweite

2. Ausbreitung 1986



Pöllänen et al.,1997; Izrael, 2002

Phase I

Viele große heiße Teilchen

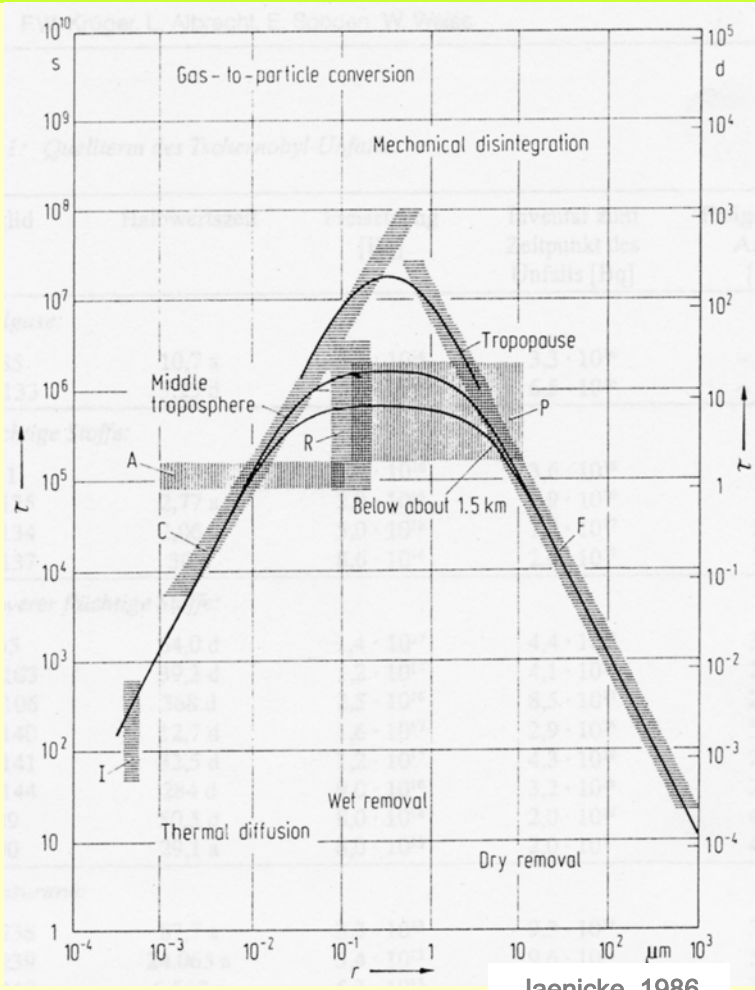
Ferntransport von Riesenteilchen

Änderung des Partikelgröße

Mit heißen Teilchen verbundene Probleme:

- Analytik (Inhomogenität)
- Dosimetrie (β-Strahler)
- Bioverfügbarkeit

2. Ausbreitung 1986



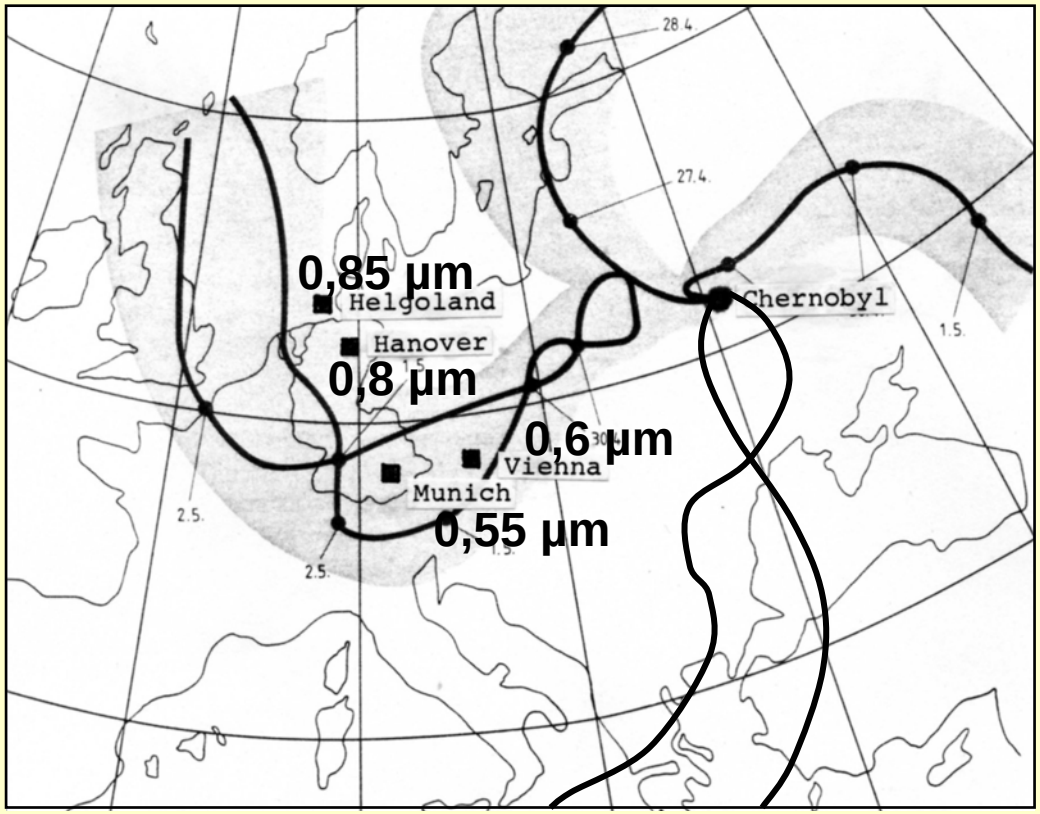
Jaenicke, 1986

Während des Transports:

- Deposition
(kleine + große Partikel)
- Koagulation
(kleine Partikel)

→ gealtertes Aerosol

2. Ausbreitung 1986



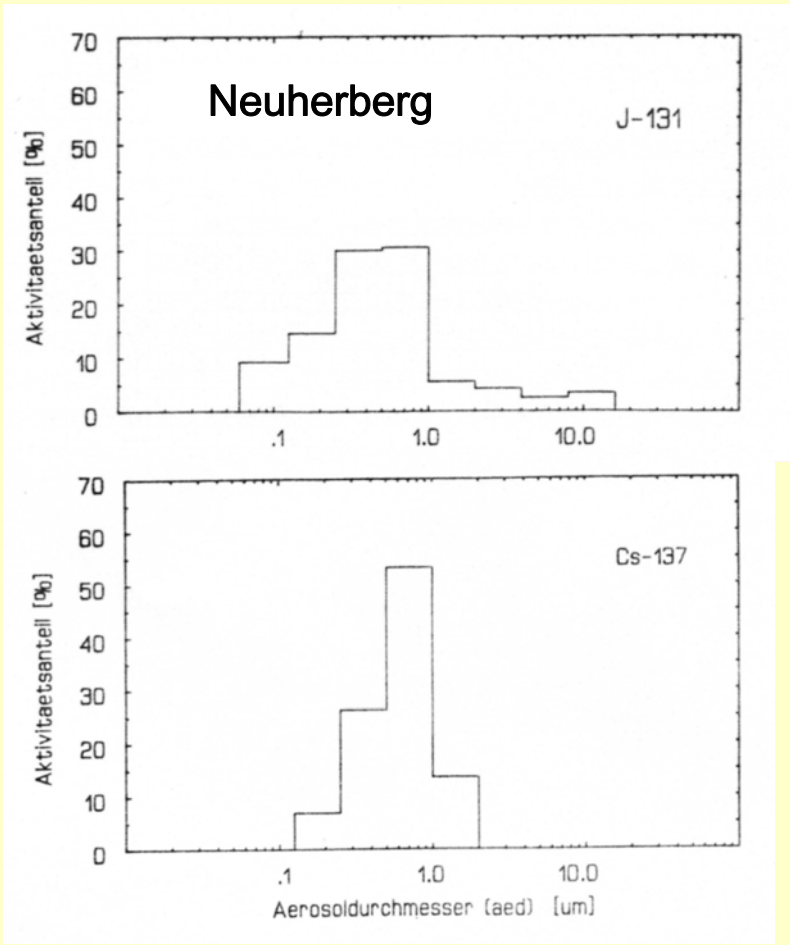
Phase II + III

Mehrheitlich Kondensationspartikel

Angelagert am Umweltaerosol

Dynamik entlang des Transportwegs

2. Ausbreitung 1986



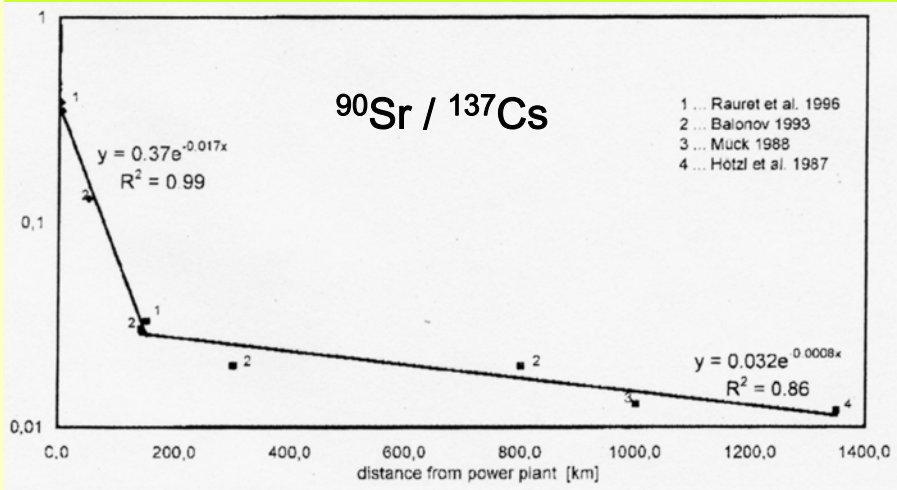
J-131

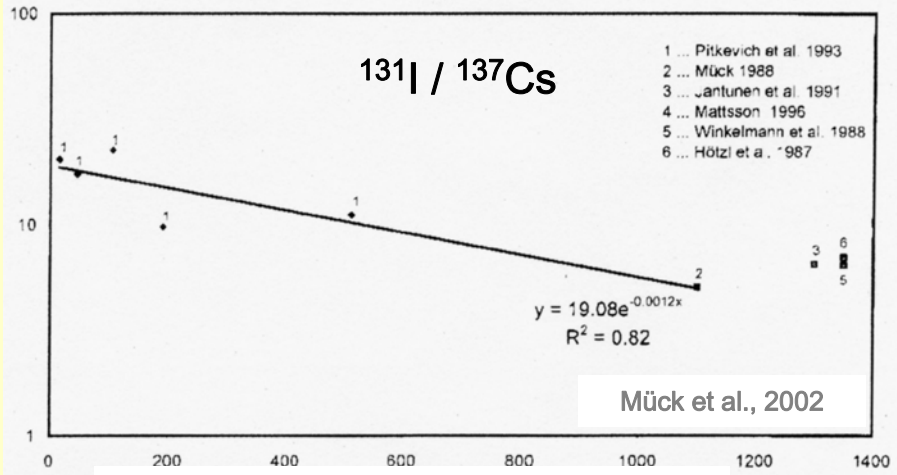
- Junges Aerosol (angelagert an lokales Aerosol)
- Transport auch in der Gasphase

Cs-137

- gealtertes Aerosol
- Transport als Aerosol

2. Ausbreitung 1986





Entfernung vom Reaktor [km]

Änderung des Nuklidvektors

Deposition abhängig von
Partikelgröße, chemischer Form

Strontium:
2 Größenmodi, $d_{Sr} > d_{Cs}$

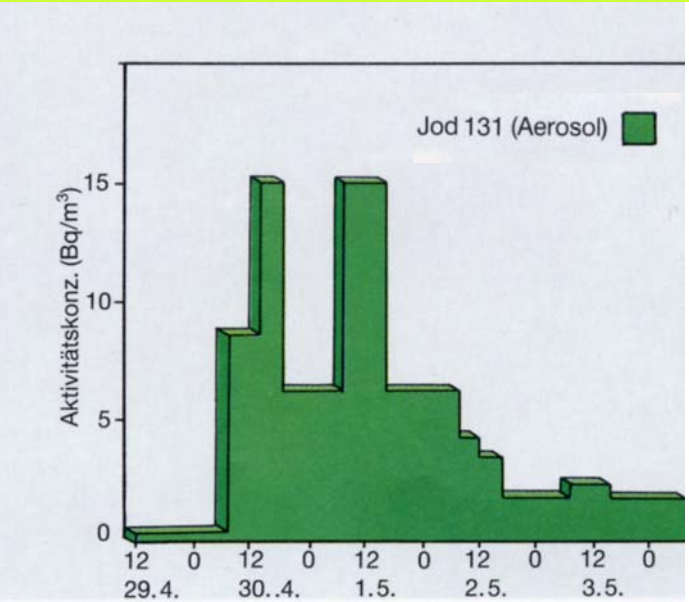
Jod:
Transport – Partikel gebunden
– als Gas

2. Ausbreitung 1986

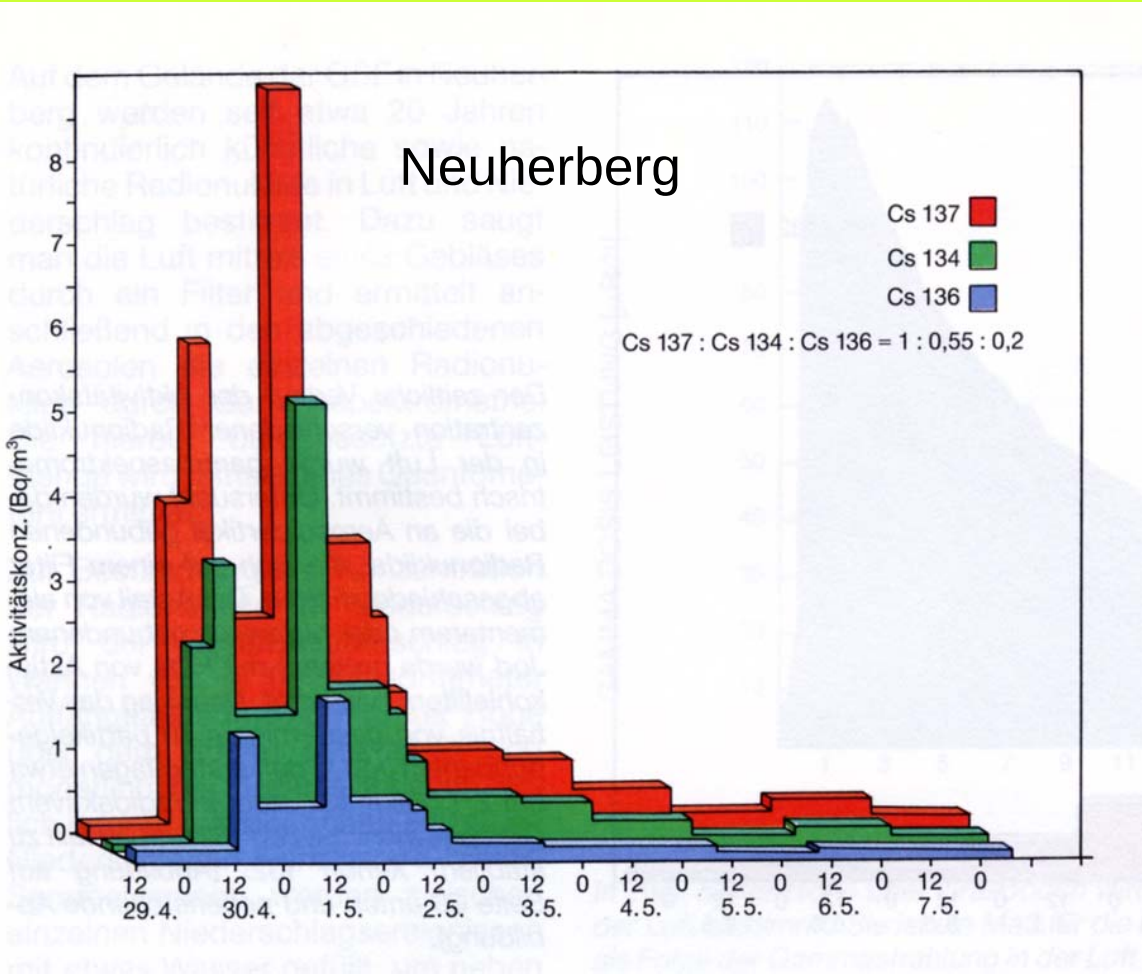
Nuklid X	Halbwertszeit	Abnahme des Nuklidverhältnisses X / ^{137}Cs von Tschernobyl - D	AMAD [µm]
Flüchtige Stoffe:			
I-131	8,04 d	0,35	1
Sb-125	2,77 a		
Cs-134	2,06 a		
Cs-137	30 a	1	1
Schwerer flüchtige Stoffe:			
Zr-95	64,0 d	0,002	8
Ru-103	39,3 d	0,4	1
Ru-106	368 d	0,04	8
Ba-140	12,7 d	0,006	8
Ce-141	32,5 d		
Ce-144	284 d	0,03	5
Sr-89	50,5 d		
Sr-90	29,1 a		
Transurane:			
Pu-238	87,7 a	0,00007	16
Pu-239	24.065 a		
Pu-240	6.537 a		
Pu-241	14,4 a		
Am-241	432 a		
Am-243	7.380 a		
Cm-242	163 d		
Cm-244	18,1 a		

Mück et al., 2002

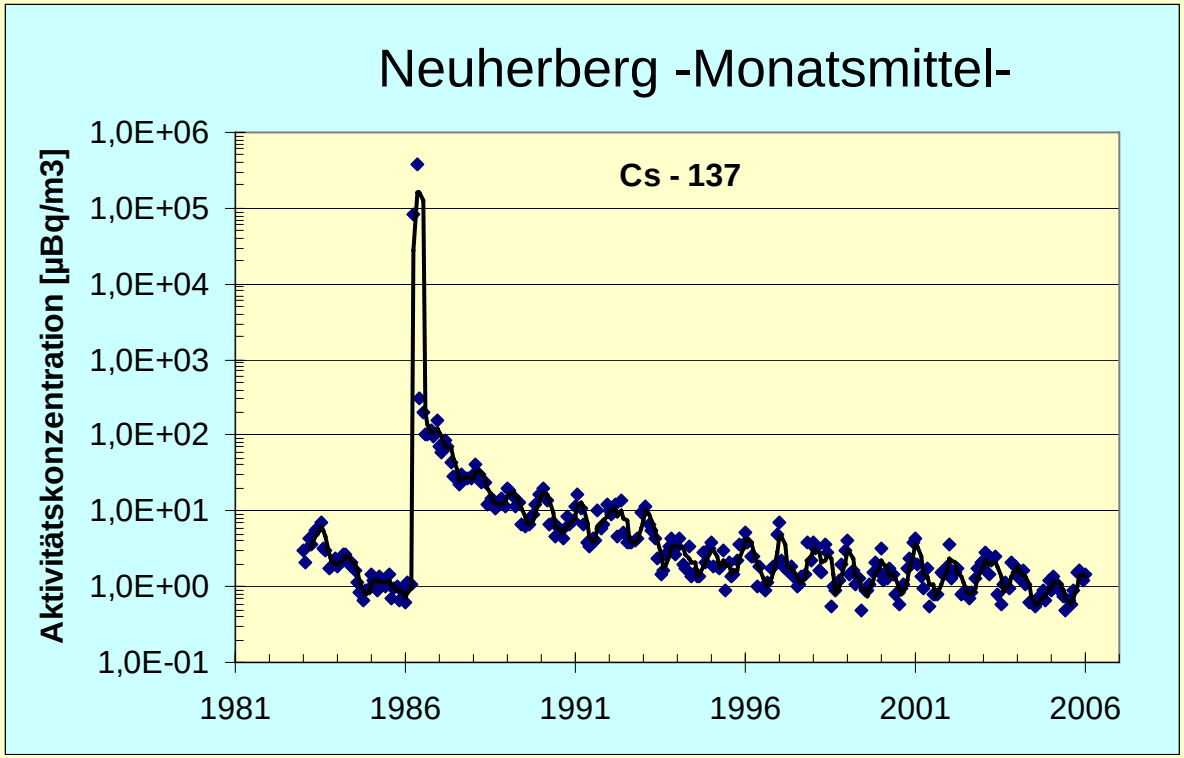
2. Ausbreitung 1986



Konzentration der Leitnuklide 1986 in Neuherberg



3. Sekundäres Tschernobyl Aerosol



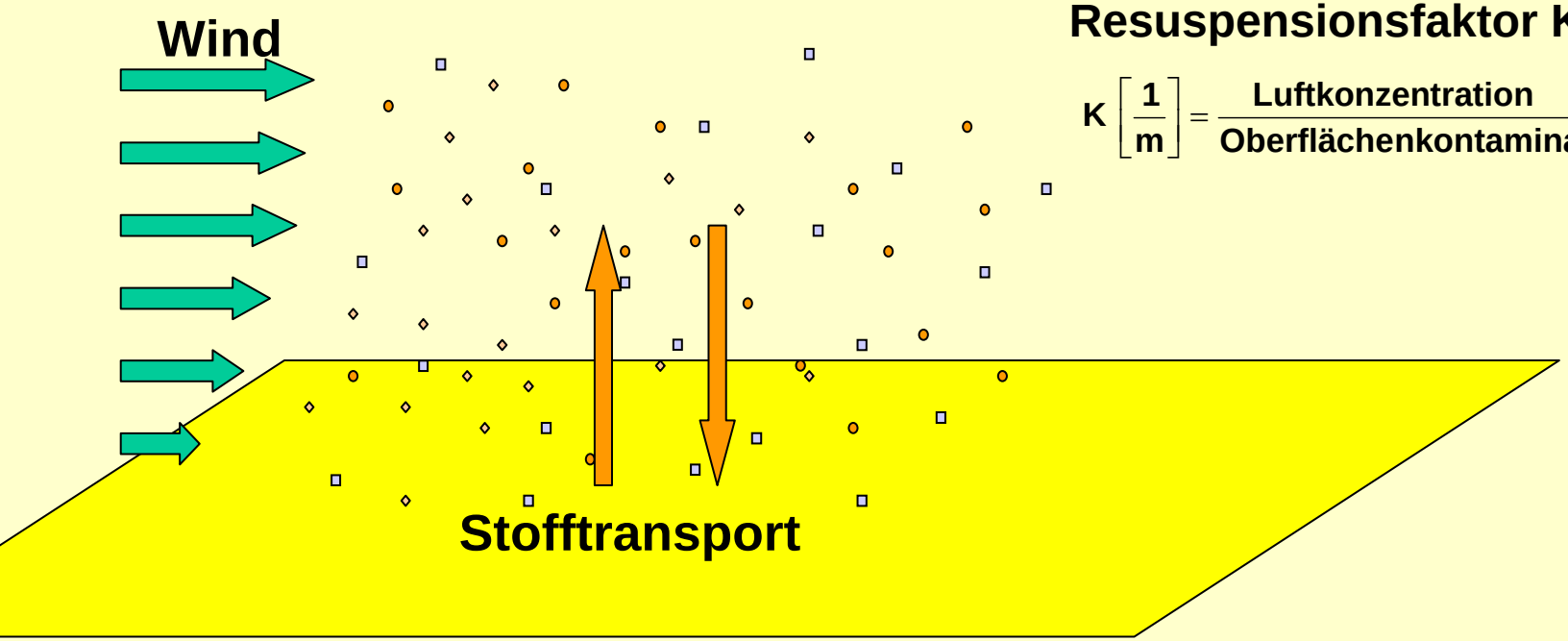
3. Sekundäres Tschernobyl Aerosol

Potentielle sekundäre Quellen:

- Boden
- Bewuchs
- Stratosphäre
- Sarkophag

3. Sekundäres Tschernobyl Aerosol

Resuspension

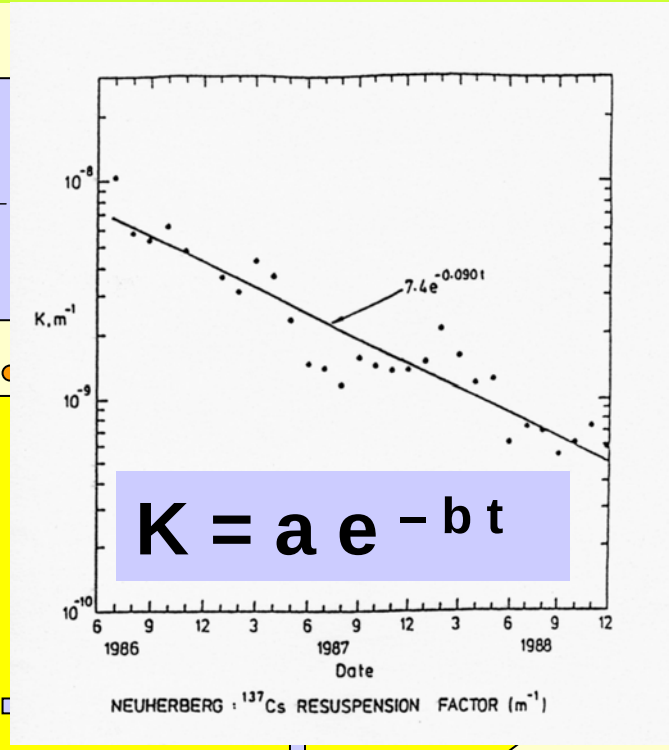


Resuspensionsfaktor K

$$K\left[\frac{1}{m}\right] = \frac{\text{Luftkonzentration}}{\text{Oberflächenkontamination}} \frac{\left[\frac{Bq}{m^3}\right]}{\left[\frac{Bq}{m^2}\right]}$$

3. Resuspension - Dynamik

$$K\left[\frac{1}{m}\right] = \frac{\text{Luftkonzentration}}{\text{Oberflächenkontamination}}$$

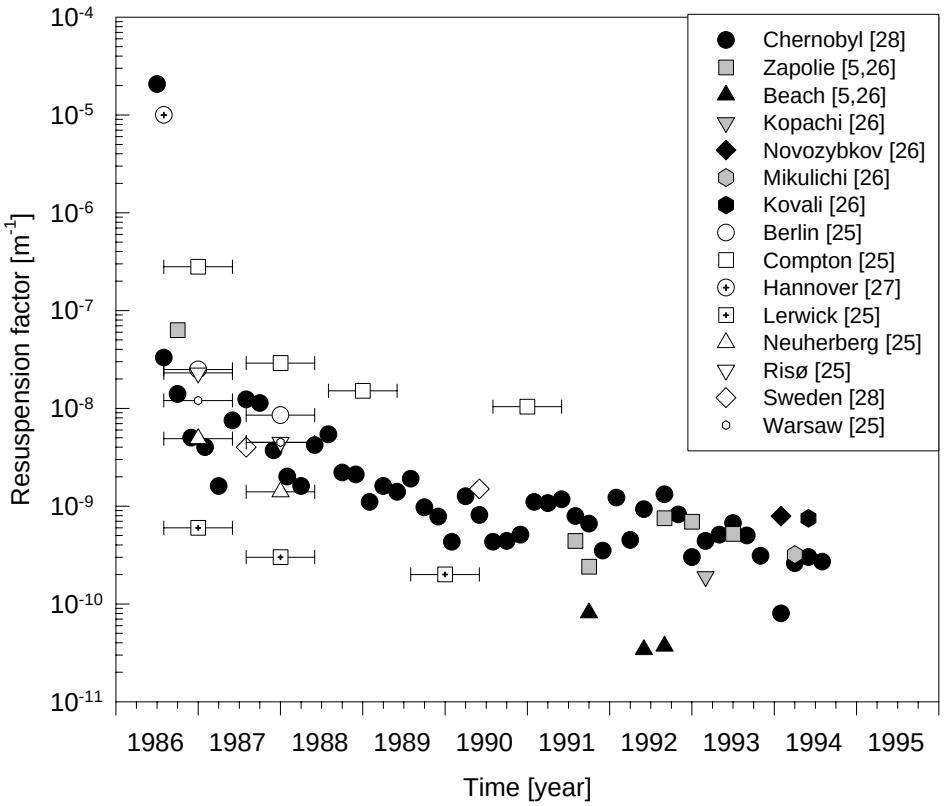


$$K = a\, e^{-b\,t}$$

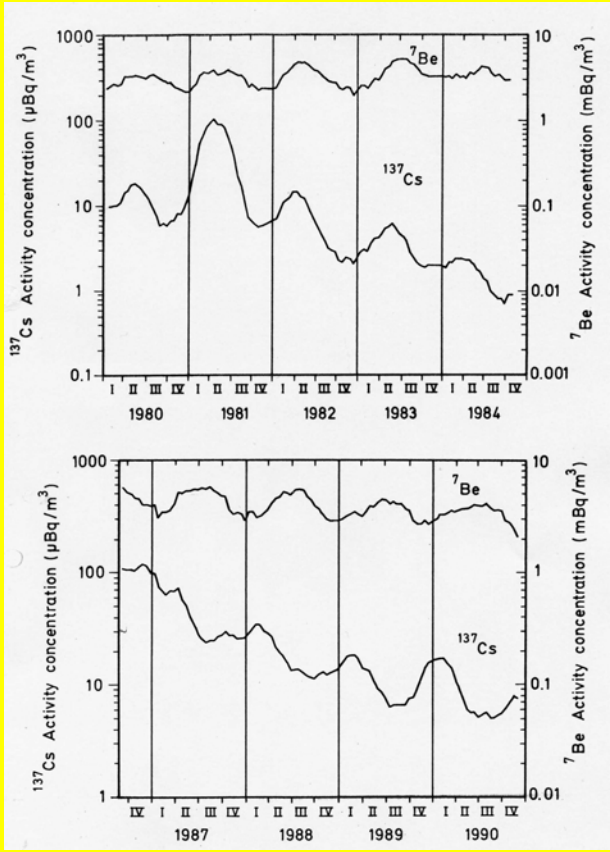
Konzentrationsprofil

t

3. Resuspension - Dynamik



3. Resuspension



Quelle von ^{137}Cs

in Neuherberg

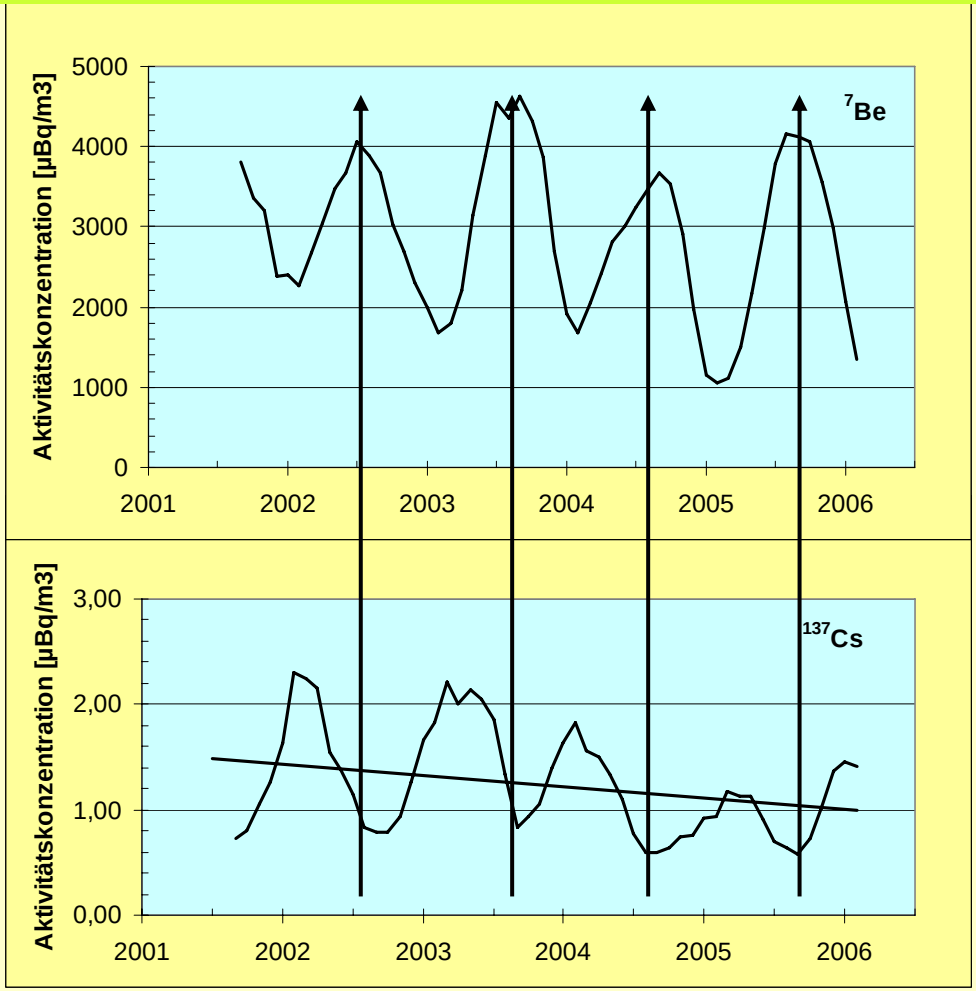
vor 1986:

stratosphärischer Ursprung

nach 1986:

resuspendiertes Material

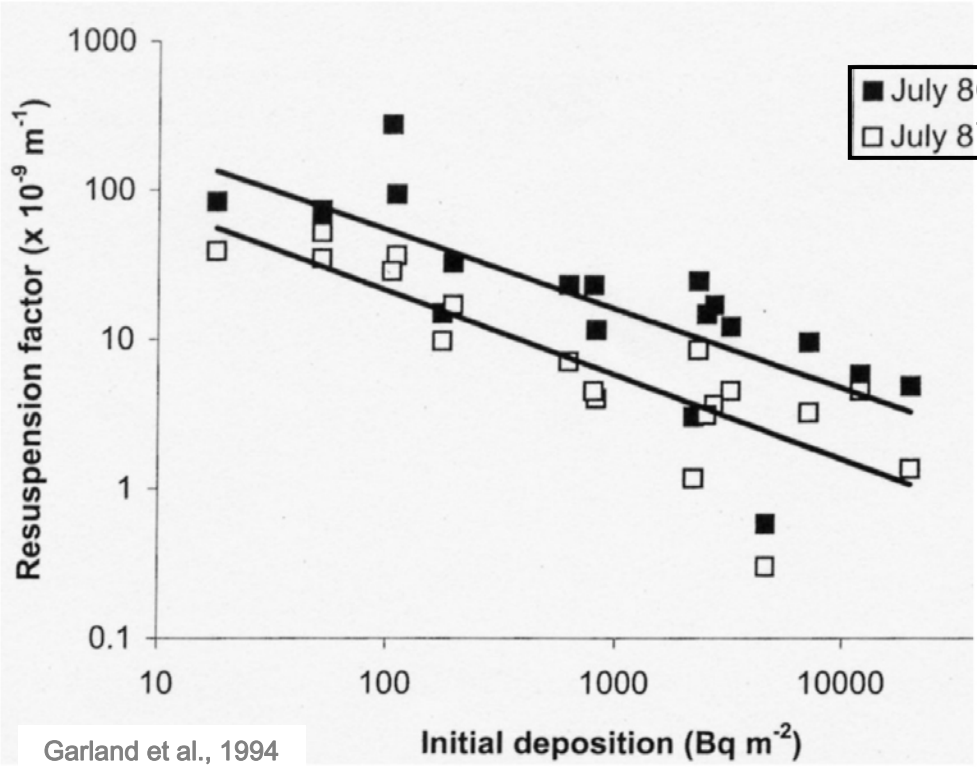
3. Resuspension



Neuherberg 2006:

- Faktor 100 geringere ^{137}Cs-Konzentration
- immer noch dominant: Resuspension

3. Resuspension

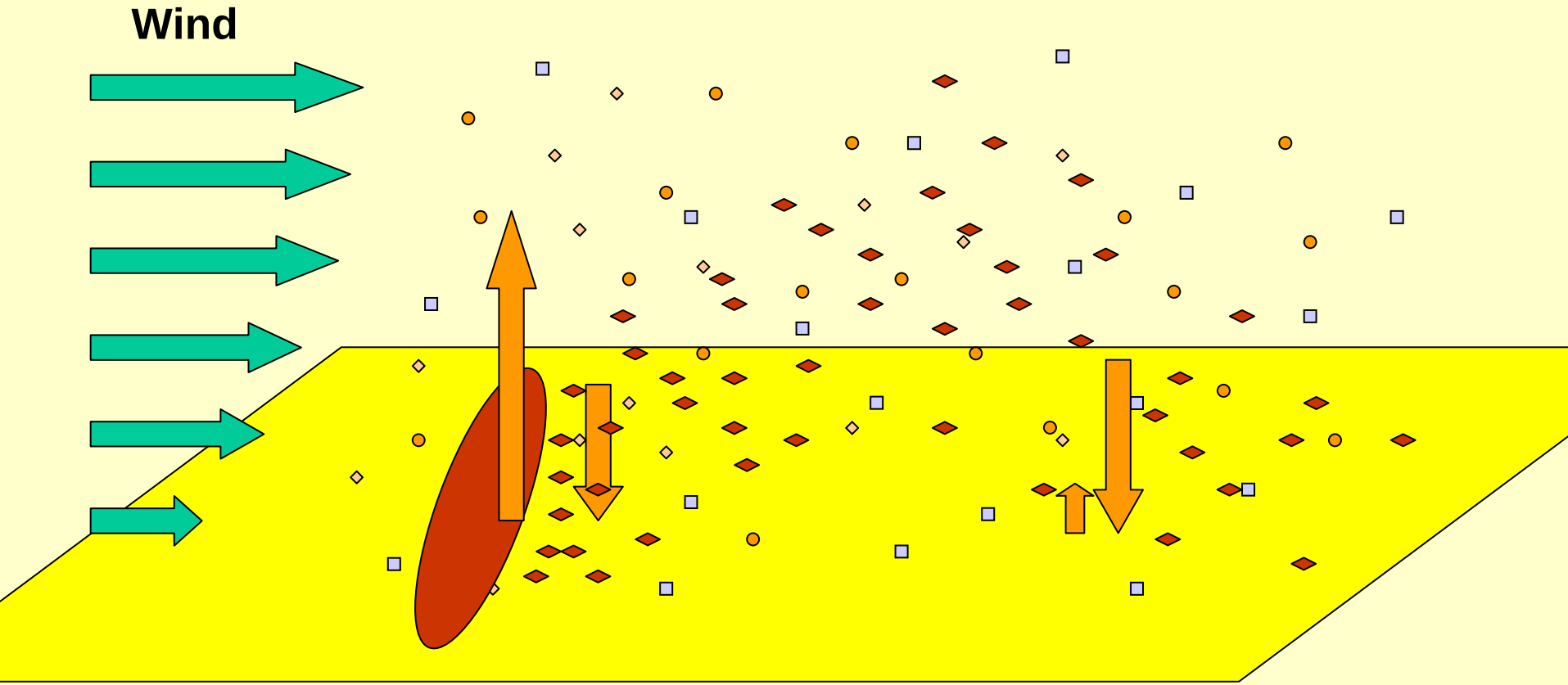


Garland et al., 1994

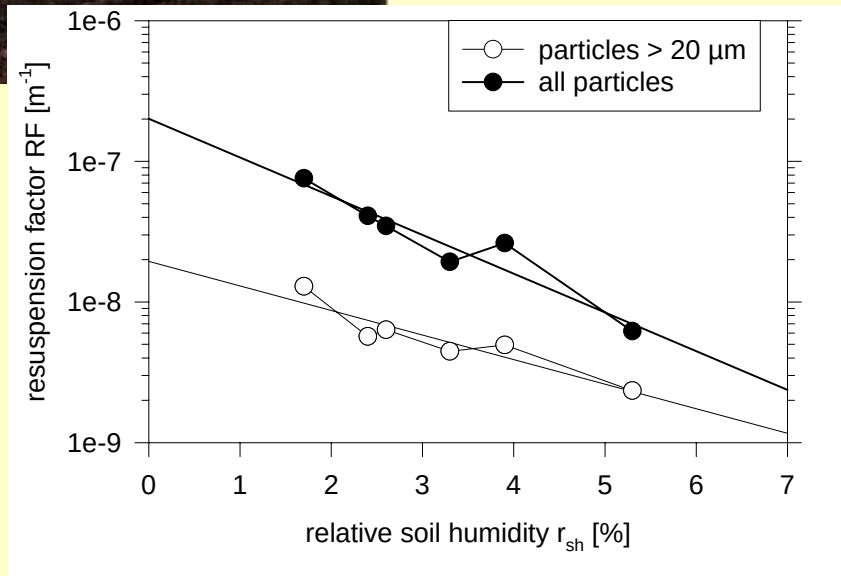
Gebiete mit geringer Kontamination:

- höherer Resuspensionsfaktor
- nicht lokale Resuspension: Transport

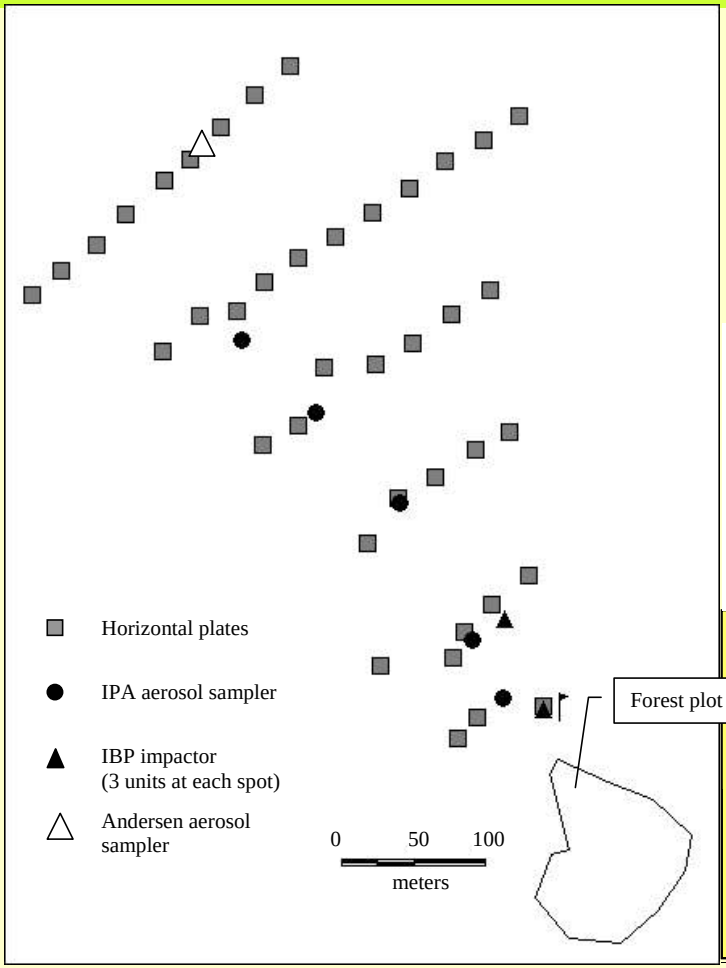
3. Resuspension: normierte Luftkonzentration



3. Resuspension - Feldarbeiten



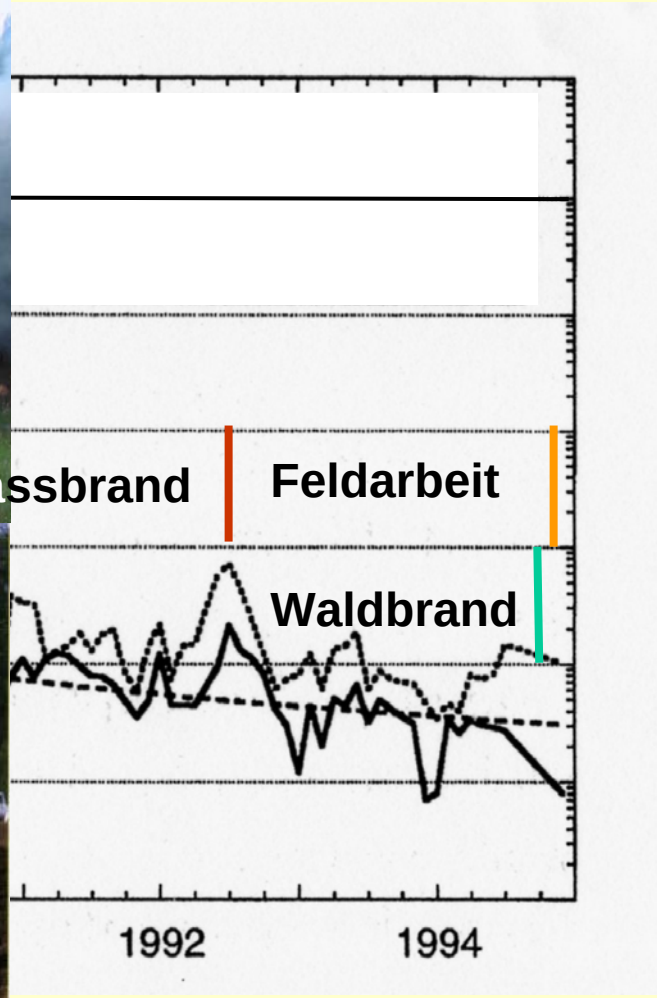
3. Resuspension - Waldbrand



Resuspensionsfaktor K

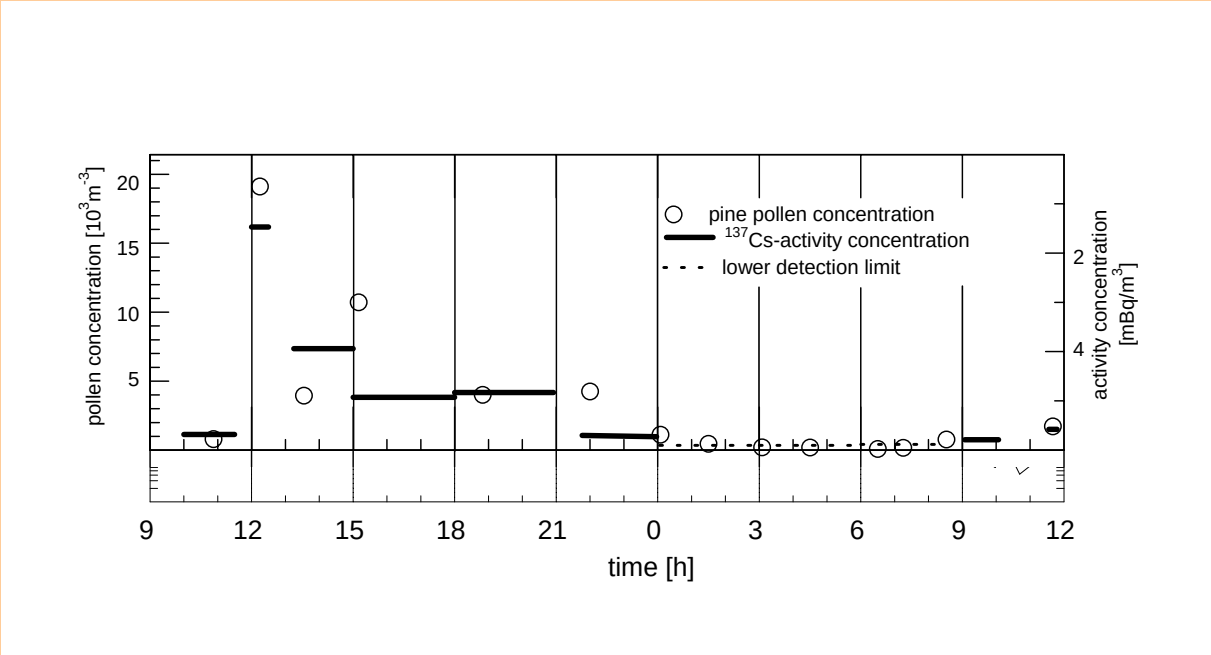
	^{137}Cs	^{90}Sr	^{238}Pu	$^{239+240}Pu$
a) combustible only	**$(4.7\pm2.0)\cdot10^{-7}$**	**$(3.5\pm1.6)\cdot10^{-7}$**	**$(1.1\pm0.7)\cdot10^{-6}$**	**$(8.3\pm4.8)\cdot10^{-7}$**
b) total	$(4.7\pm2.0)\cdot10^{-8}$	$(1.1\pm0.5)\cdot10^{-7}$	$(3.2\pm2.2)\cdot10^{-8}$	$(2.5\pm1.6)\cdot10^{-8}$
c) litter only	$(7.0\pm2.8)\cdot10^{-7}$	$(1.2\pm0.5)\cdot10^{-6}$	$(1.2\pm0.8)\cdot10^{-6}$	$(9.4\pm5.2)\cdot10^{-7}$

3. Resuspension

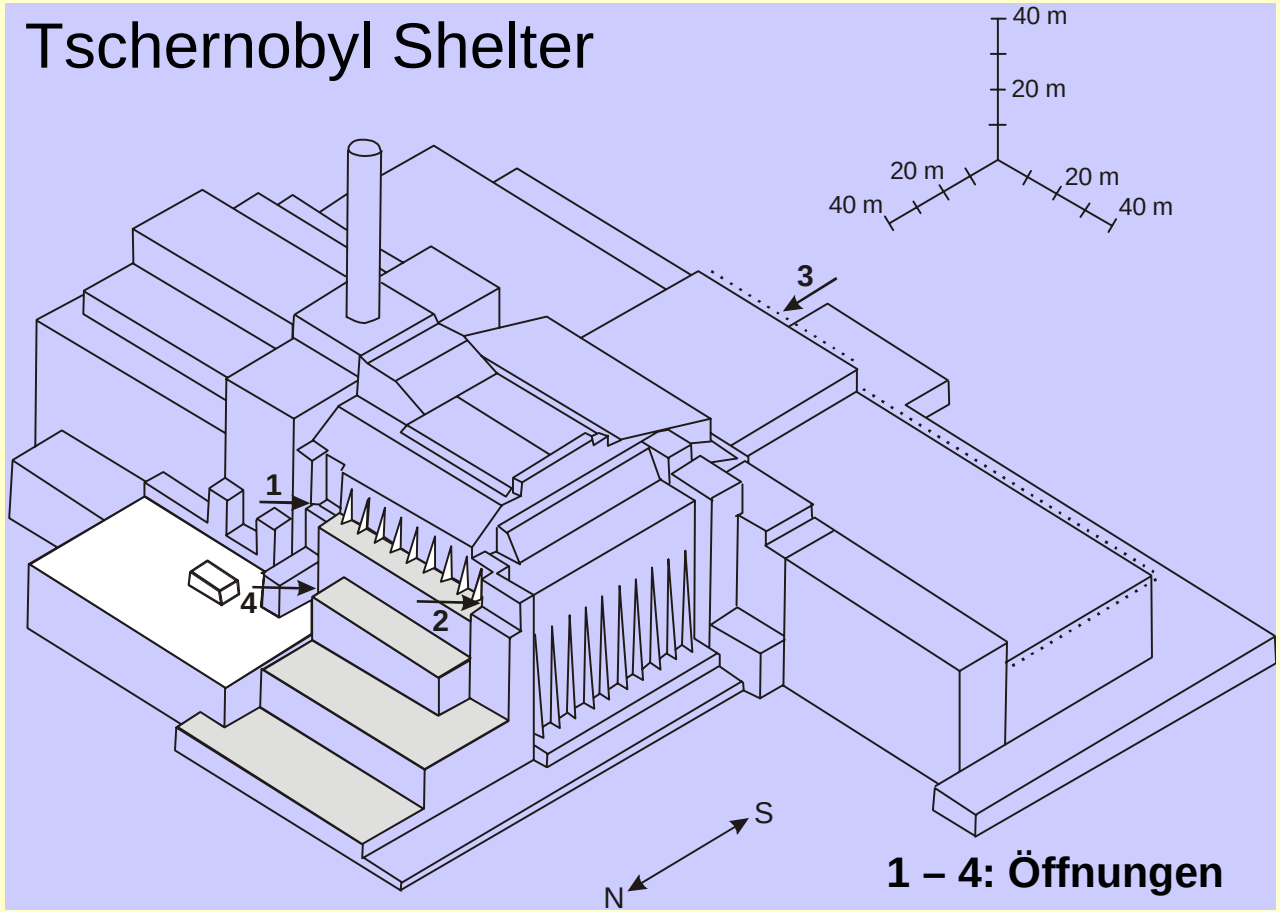


3. Sekundäres Tschernobyl-Aerosol

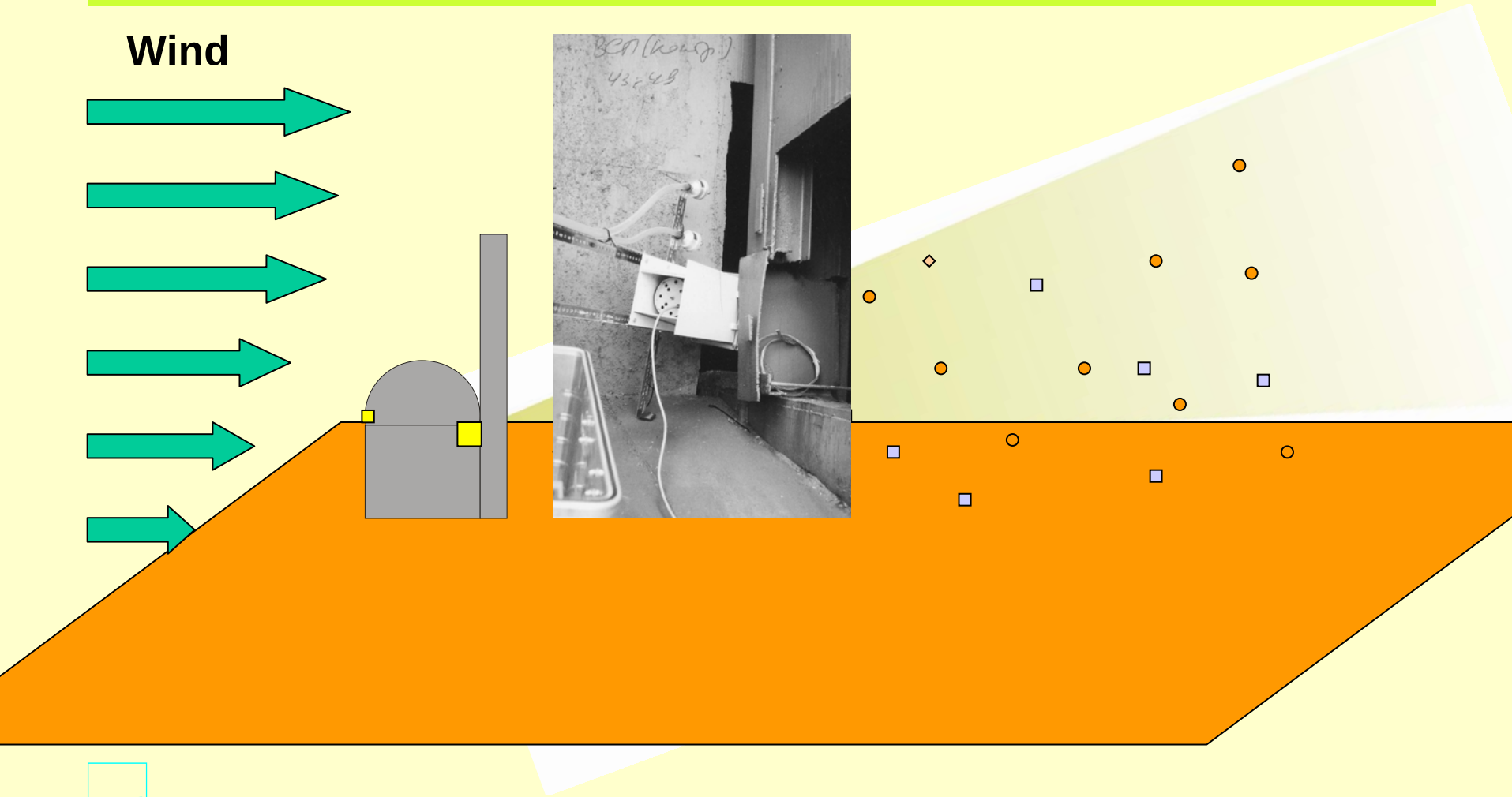
Blütenpollen als Quelle erhöhter Luftaktivität:



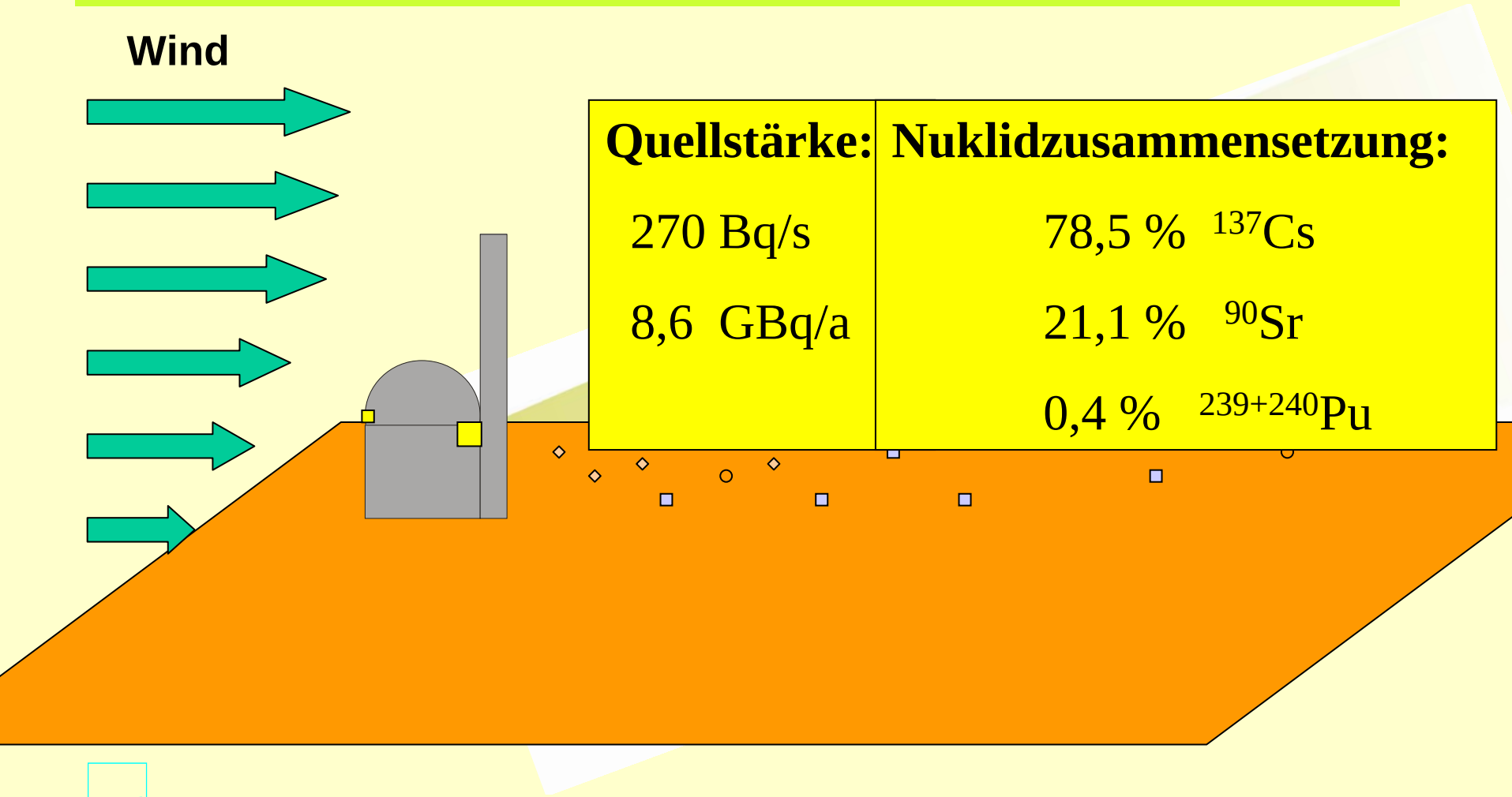
3. Sekundäres Tschernobyl Aerosol



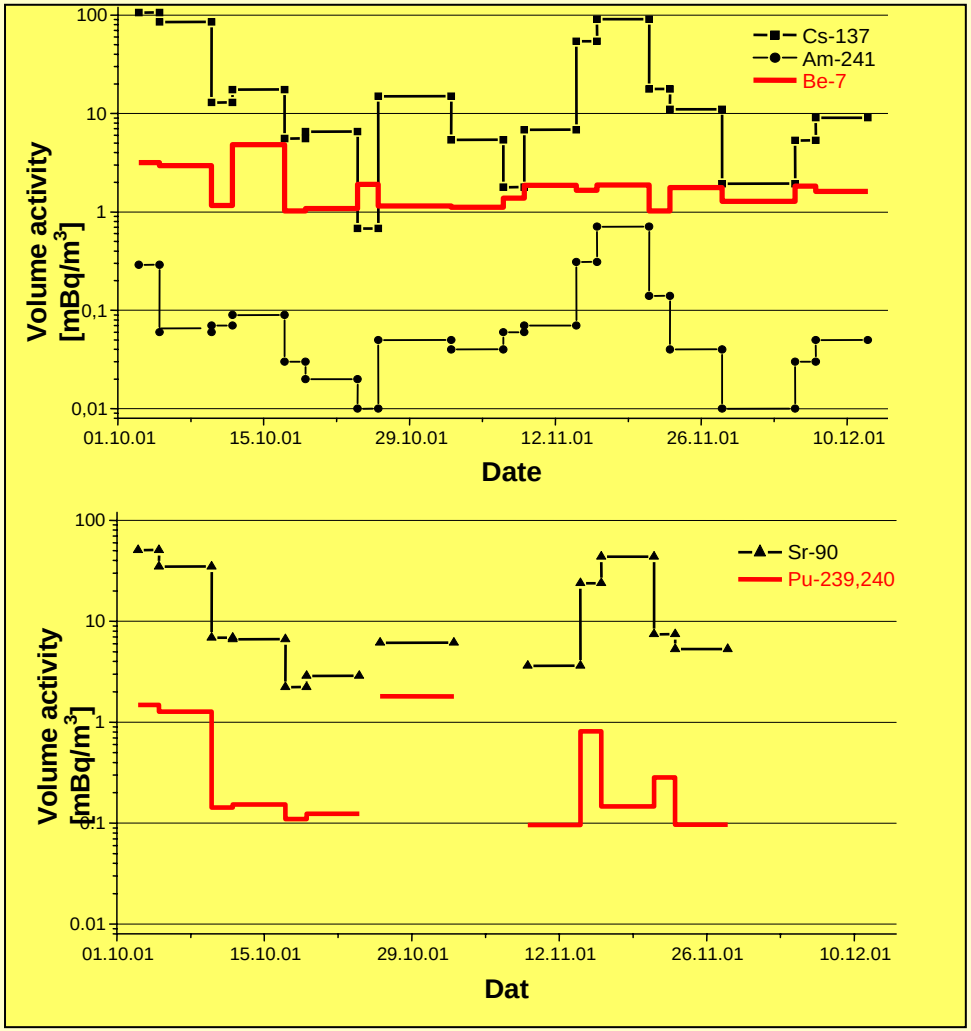
3. Radionuklidemisssion vom Shelter



3. Radionuklidemisssion vom Shelter

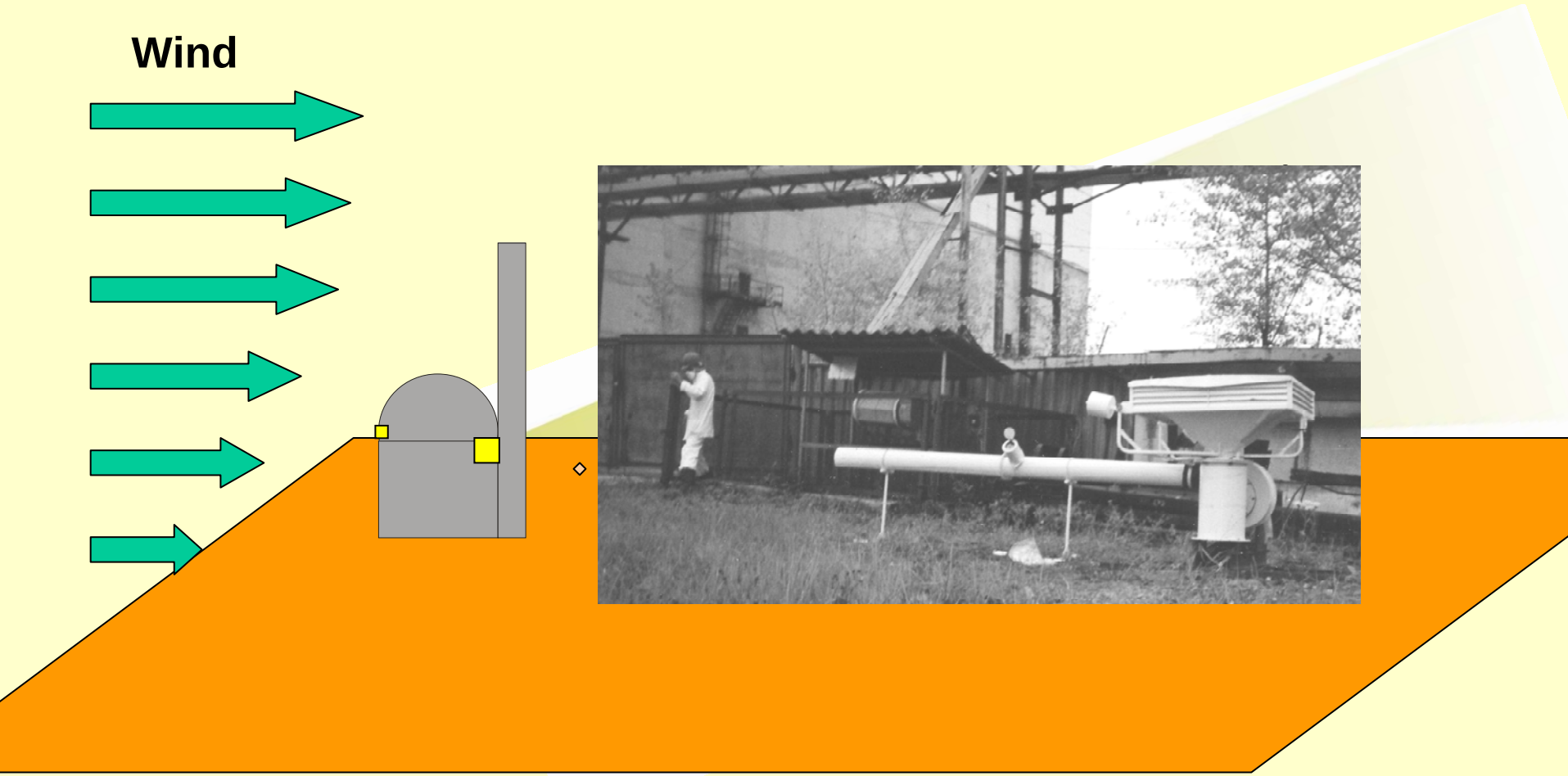


3. Radionuklidemisssion vom Shelter

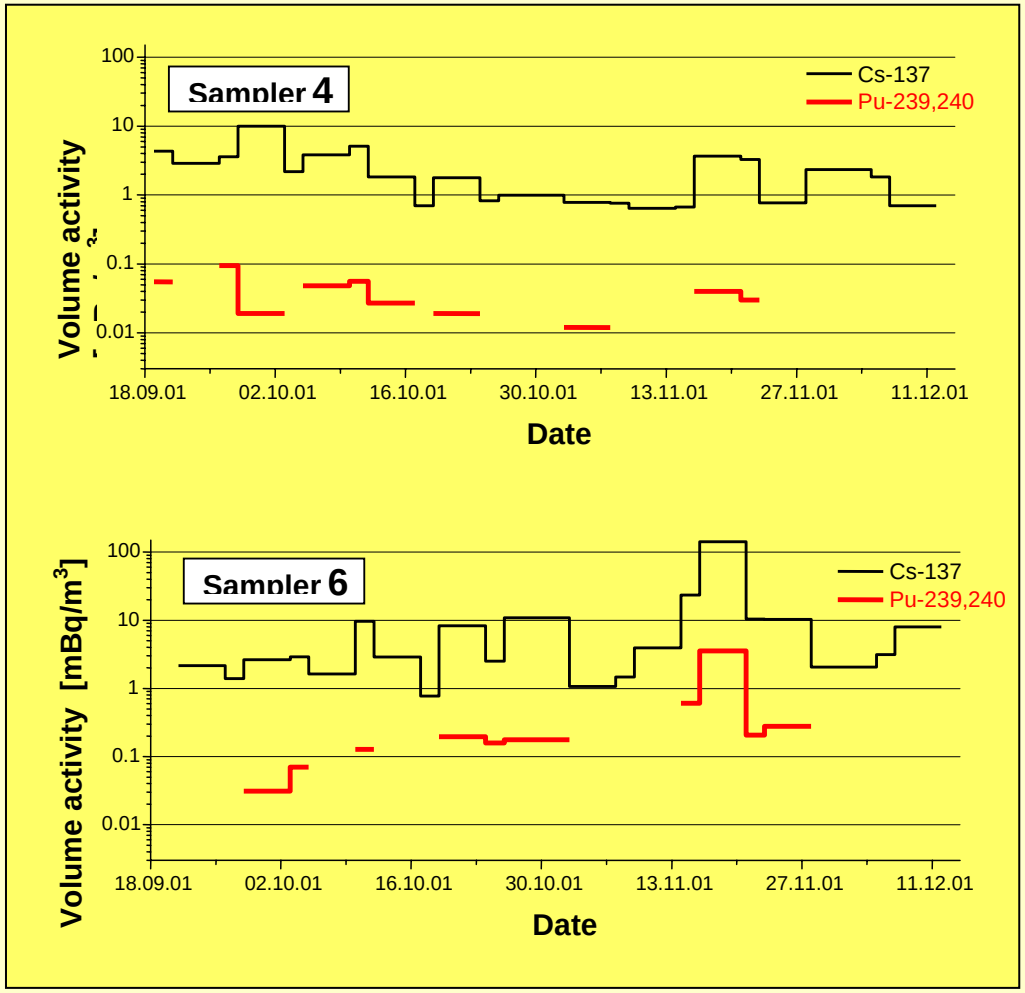


Nuklidkonzentration in den Öffnungen

3. Radionuklidemisssion vom Shelter



3. Radionuklidemisssion vom Shelter



Nuklidkonzentration in der Umgebung

Zusammenfassung

1. **Primäres Tschernobyl Aerosol**

   I-131, **Cs-137** Leitnuklide

   10 Bq m^{-3}, 0,8 – 1 µm

   Heisse Teilchen

2. **Sekundäres Tschernobyl Aerosol**

   Cs-137, Sr-90 Leitnuklide

   einige µBq m^{-3}, einige µm

Danksagung

H. Hötzl, R. Winkler

GSF – Forschungzentrum, Neuherberg

E.K. Garger, V. Kashpur

National Academy of Science of Ukraine, Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants, 07270 Chernobyl, Ukraine

V.A. Kashparov, V.I. Yoschenko

Ukrainian Institute of Agricultural Radiology, Chabany - Kyiv reg., Ukraine