

# **KKW Mühleberg – Was wären die Folgen einer ähnlichen Freisetzung radioaktiver Stoffe wie aus einem der Blöcke des AKW Fukushima im März 2011?**

**Vortrag Bern, 06.09.2012**

**Christian Küppers**

**Öko-Institut e.V., D-Darmstadt**

# Überblick

- **Anlass und Aufgabenstellung**
- **Freisetzungen radioaktiver Stoffe in Fukushima-Daiichi und Übertragung auf das KKM**
- **Ausbreitungsszenario**
- **vorgesehene Schutzmaßnahmen bei schweren Unfällen**
- **Umweltkontamination und Strahlenexposition**
- **erforderliche Maßnahmen**
- **Diskussion**

# Anlass und Aufgabenstellung

## Unfall in Fukushima-Daiichi

- 11. März 2011: Erdbeben der Stärke 9,0 auf der Momenten-Magnituden-Skala mit Hypozentrum 155 km vom KKW Fukushima-Daiichi entfernt, etwa 30 km unter dem Pazifischen Ozean
- Tsunami-Welle von etwa 14 m Höhe erreicht eine Stunde später den Standort
- Gelände in weiten Teilen überschwemmt, Zerstörung vieler maschinentechnischer und elektrischer Einrichtungen, Ausfall der Notstromversorgung, längerfristiger Ausfall der Kühlung, Kernschmelzen und schließlich Freisetzungen radioaktiver Stoffe in die Umgebung
- in großem Umfang von außen Wasser zur Kühlung der Reaktoren und der Brennelemente in den Lagerbecken zugeführt, dieses in den Anlagen stark kontaminiert und durch überflutete Kanäle schließlich in den Pazifik ausgetreten

## Aufgabenstellung

- am Standort Fukushima-Daiichi 6 Siedewasserreaktoren (SWR) amerikanischer Bauart, zwischen 1971 und 1979 in Betrieb genommen
- KKW Mühleberg (KKM) ebenfalls SWR amerikanischer Bauart und ähnlich aufgebaut wie die älteren der Blöcke in Fukushima-Daiichi
- Öko-Institut e.V. von den Ärztinnen und Ärzten für Umweltschutz (AefU), den Ärztinnen und Ärzten für soziale Verantwortung/gegen den Atomkrieg (PSR) sowie Greenpeace beauftragt, zu untersuchen, welche Folgen sich ergeben würden, wenn sich eine ähnliche Freisetzung radioaktiver Stoffe wie aus einem Block in Fukushima-Daiichi am KKM ereignen würde
- es war kein konkreter Unfallablauf im KKM zu untersuchen; dass schwere Unfälle mit großen Freisetzungen radioaktiver Stoffe auch im KKM möglich sind, ist in der Vergangenheit bereits oft dargelegt worden
- neu war eine Betrachtung von Freisetzungen mit Wasser, bei KKM in die Aare
- solche wurden zuvor nicht einbezogen, können aber auch am KKM nicht ausgeschlossen werden, wenn große Wassermengen von außen zur Kühlung in ein zerstörtes Gebäude zugeführt werden müssten

# **Freisetzungen radioaktiver Stoffe in Fukushima-Daiichi und Übertragung auf das KKM**

## Freisetzungen in Fukushima-Daiichi

- genaue Abschätzungen der freigesetzten Menge an radioaktiven Stoffen schwierig und mit Unsicherheiten behaftet, da sie während des Unfallgeschehens durch die vielfältigen Zerstörungen am Standort messtechnisch nicht erfassbar waren
- Abschätzungen daher mit aus der Umweltüberwachung verfügbaren Messdaten und mit Hilfe von atmosphärischen Ausbreitungsrechnungen, in denen die verfügbaren meteorologischen Daten berücksichtigt wurden
- es gibt international einige solcher Abschätzungen
- verwendet wurden die folgenden Daten als Ausgangspunkt:

Radionuklid	Freisetzung Luft (Bq)	Freisetzung Wasser (Bq)
Xenon-133	vollständig	-
Tellur-127m	$1,1 \cdot 10^{15}$	-
Iod-131	$1,5 \cdot 10^{17}$	-
Cäsium-137	$1,5 \cdot 10^{16}$	-
insgesamt	-	$5 \cdot 10^{15}$

## Übertragung auf KKM

- Freisetzung soll zu 50% aus einem Reaktor stammen
- Umrechnung gemäß Inventar der relativ kleineren Anlage KKM
- viele Radionuklide, die ebenfalls freigesetzt wurden, hier vernachlässigt
- Folgen für diese Freisetzung aus dem KKM untersucht:

Radionuklid	Freisetzung Luft (Bq)	Freisetzung Wasser (Bq)
Xenon-133	$2,0 \cdot 10^{18}$	-
Tellur-127m	$3,8 \cdot 10^{14}$	-
Tellur-129m	$1,8 \cdot 10^{15}$	-
Tellur-132	$1,9 \cdot 10^{16}$	-
Iod-131	$5,2 \cdot 10^{16}$	-
Iod-132	$1,2 \cdot 10^{17}$	-
Cäsium-134	$6,9 \cdot 10^{15}$	$3,1 \cdot 10^{14}$
Cäsium-136	$1,6 \cdot 10^{15}$	$3,2 \cdot 10^{13}$
Cäsium-137	$5,2 \cdot 10^{15}$	$3,0 \cdot 10^{14}$

# Ausbreitungsszenarien

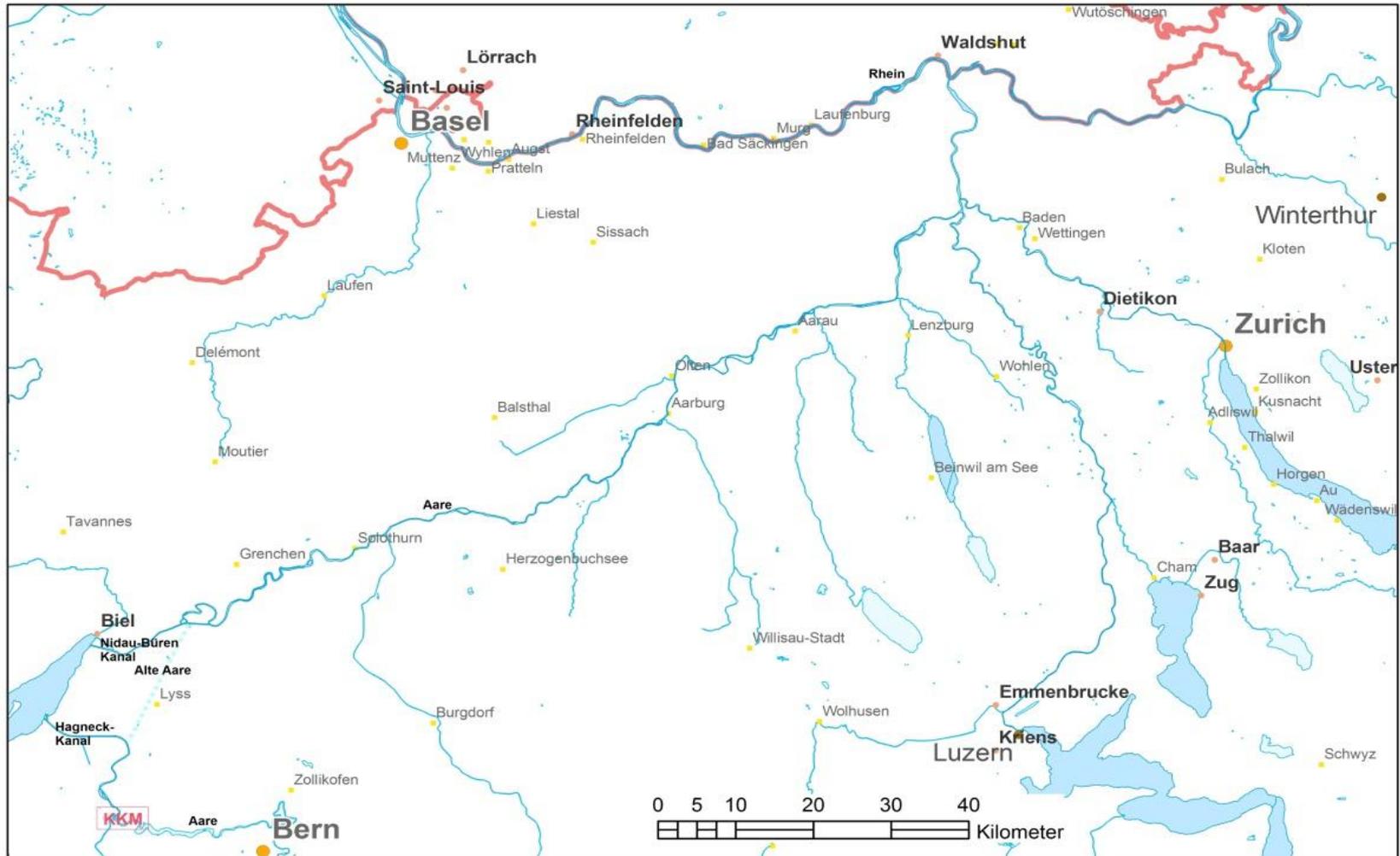
## atmosphärische Ausbreitung

- Windrichtung am Standort auf westliche und östliche Richtungen kanalisiert. Ausgewählt wurde für die weiteren Untersuchungen ein zunächst von Westen wehender Wind, der in einem leichten Bogen zunächst auf Südwest schwenkt und später wieder mehr auf eine westliche Richtung (soll die Variabilität verdeutlichen).
- häufigste Wetterkategorie D ausgewählt, die eine mittlere Luftturbulenz beschreibt und üblicherweise am häufigsten auftritt
- leichter Niederschlag, flächendeckend mit einer geringen Niederschlagsrate von 0,2 mm/h
- durch thermische Überhöhung Freisetzung 150 m über Grund
- Freisetzung erfolgt über einen Zeitraum von 8 Stunden

## Ausbreitung über die Aare

- Aare fließt über Hagneckkanal in den Bielersee
- Gesamtaktivität geteilt in 8 Teilpakete und jeweils kurzzeitig in 8 aufeinanderfolgenden Tagen freigesetzt.
- wegen Wasserschichtung des Bielersees Unterscheidung von „Sommer“ und „Winter“.
- „mittlere Verweildauer“ im Bielersee von etwa 2 Monaten.
- während des Transports erfolgt Sedimentation.

## Ausbreitung über die Aare



KKM, Aare, Bielersee und Rhein

## Ausbreitung über die Aare



Stauwehr zwischen Aare/Hagneckkanal und Bielersee

# **vorgesehene Schutzmaßnahmen bei schweren Unfällen**

## Dosis-Maßnahmen-Konzept der Schweiz (ABCN-Verordnung)

Maßnahme	Dosisschwelle (mSv)	Dosisart und Expositionspfade
Aufenthalt im Haus für Kinder, Jugendliche und schwangere Frauen	1	Effektive Dosis aus externer Bestrahlung und Inhalation im Freien; Integrationszeit 2 Tage
Geschützter Aufenthalt (im Haus, Keller oder Schutzraum)	10	Effektive Dosis aus externer Bestrahlung und Inhalation im Freien; Integrationszeit 2 Tage
Vorsorgliche Evakuierung oder geschützter Aufenthalt	100	Effektive Dosis aus externer Bestrahlung und Inhalation im Freien; Integrationszeit 2 Tage
Einnahme von Iodtabletten	50	Schilddrüsendosis aus der Inhalation von radioaktivem Iod; Integrationszeit 2 Tage

## Weitere wichtige Entscheidungsfaktoren nach ABCN-Verordnung:

- eingesparte und verbleibende Dosis
- verfügbare Zeit
- Durchführbarkeit der Maßnahmen
- Nebenwirkungen von Maßnahmen
- mögliche weitere Entwicklung der radiologischen Lage
- Gesamtlage

## Dosis-Eingreifrichtwerte in Deutschland

Maßnahme	Dosis-Eingreifrichtwert	Dosisermittlung
Aufenthalt in Gebäuden	10 mSv	Effektive Dosis aus externer Bestrahlung und Inhalation im Freien; Integrationszeit 7 Tage
Einnahme von Iodtabletten für Kinder bis 18 Jahre/ Schwangere	50 mSv	Schilddrüsendosis aus der Inhalation von radioaktivem Iod; Integrationszeit 7 Tage
Einnahme von Iodtabletten für Personen von 19 bis 45 Jahren	250 mSv	Schilddrüsendosis aus der Inhalation von radioaktivem Iod; Integrationszeit 7 Tage
Evakuierung	100 mSv	Effektive Dosis aus externer Bestrahlung und Inhalation im Freien; Integrationszeit 7 Tage
langfristige Umsiedlung	100 mSv	Effektive Dosis aus externer Bestrahlung durch auf dem Erdboden und sonstigen Oberflächen abgelagerte Radionuklide; Integrationszeit 1 Jahr
temporäre Umsiedlung	30 mSv	Effektive Dosis aus externer Bestrahlung durch abgelagerte Radionuklide; Integrationszeit 1 Monat

## Höchstwerte in Lebensmitteln

Schweiz: Toleranzwert (bei Überschreitung verunreinigt oder sonst im Wert gemindert)

Grenzwert (bei Überschreitung für die menschliche Ernährung ungeeignet)

Deutschland: „Höchstwerte“ in gleicher Höhe wie die schweizerischen „Grenzwerte“

Lebensmittel	Toleranzwert Cäsium- Isotope (Bq/kg)	Grenzwert Cäsium- Isotope (Bq/kg)	Toleranzwert Iod-Isotope (Bq/kg)	Grenzwert Iod-Isotope (Bq/kg)
Lebensmittel von geringer Bedeutung	10	12.500	10	20.000
Wildwachsende Speisepilze	600	1.250	-	-
Wildfleisch	600	1.250	-	-
Wildbeeren	100	1.250	-	-
Übrige Lebensmittel allgemein	10	1.250	10	2.000
Flüssige Lebensmittel	10	1.000	10	500
Säuglings- nahrung	10	400	10	150

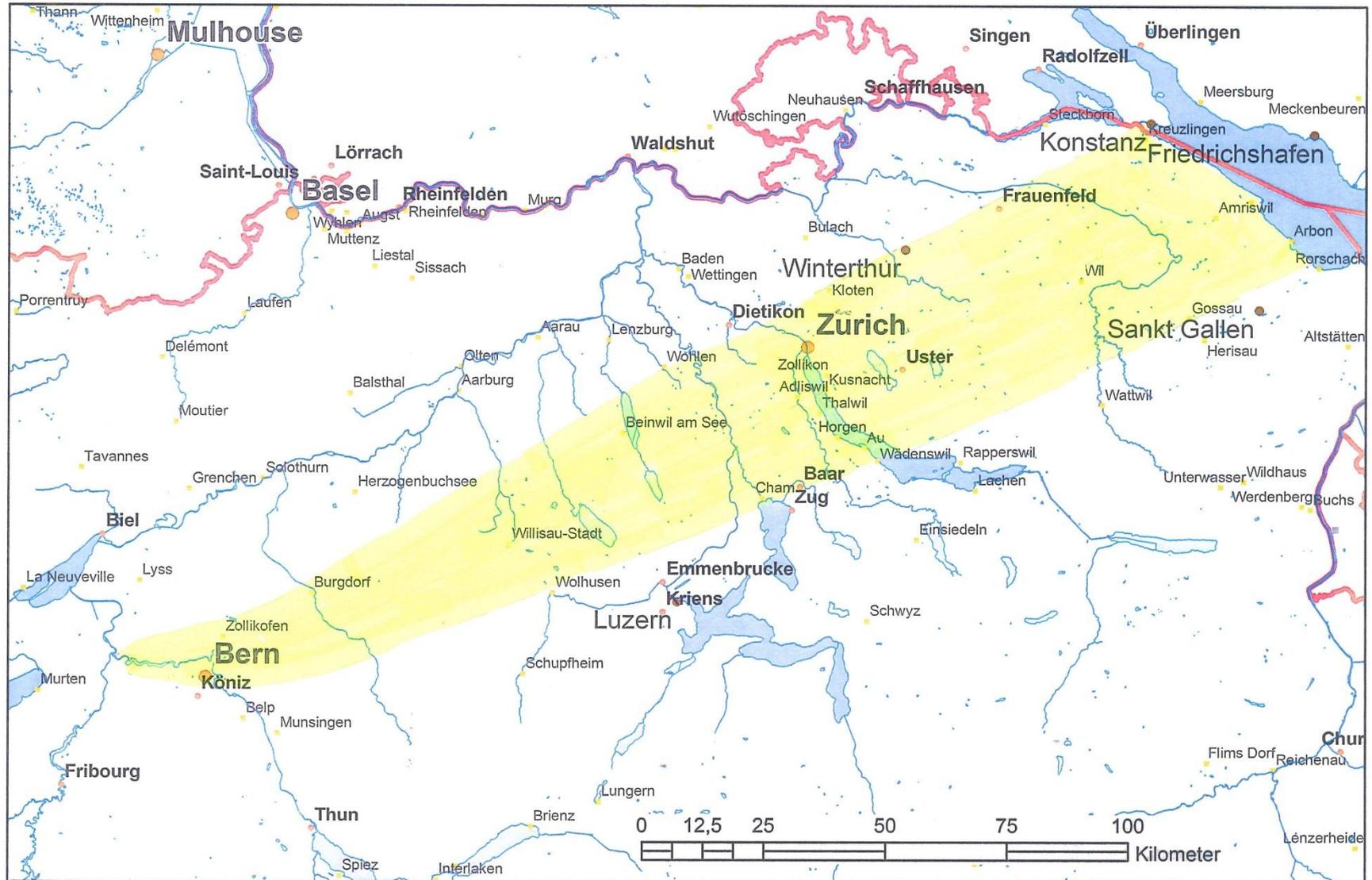
# Umweltkontamination und Strahlenexposition

## Strahlenexposition durch Freisetzungen in die Umgebungsluft

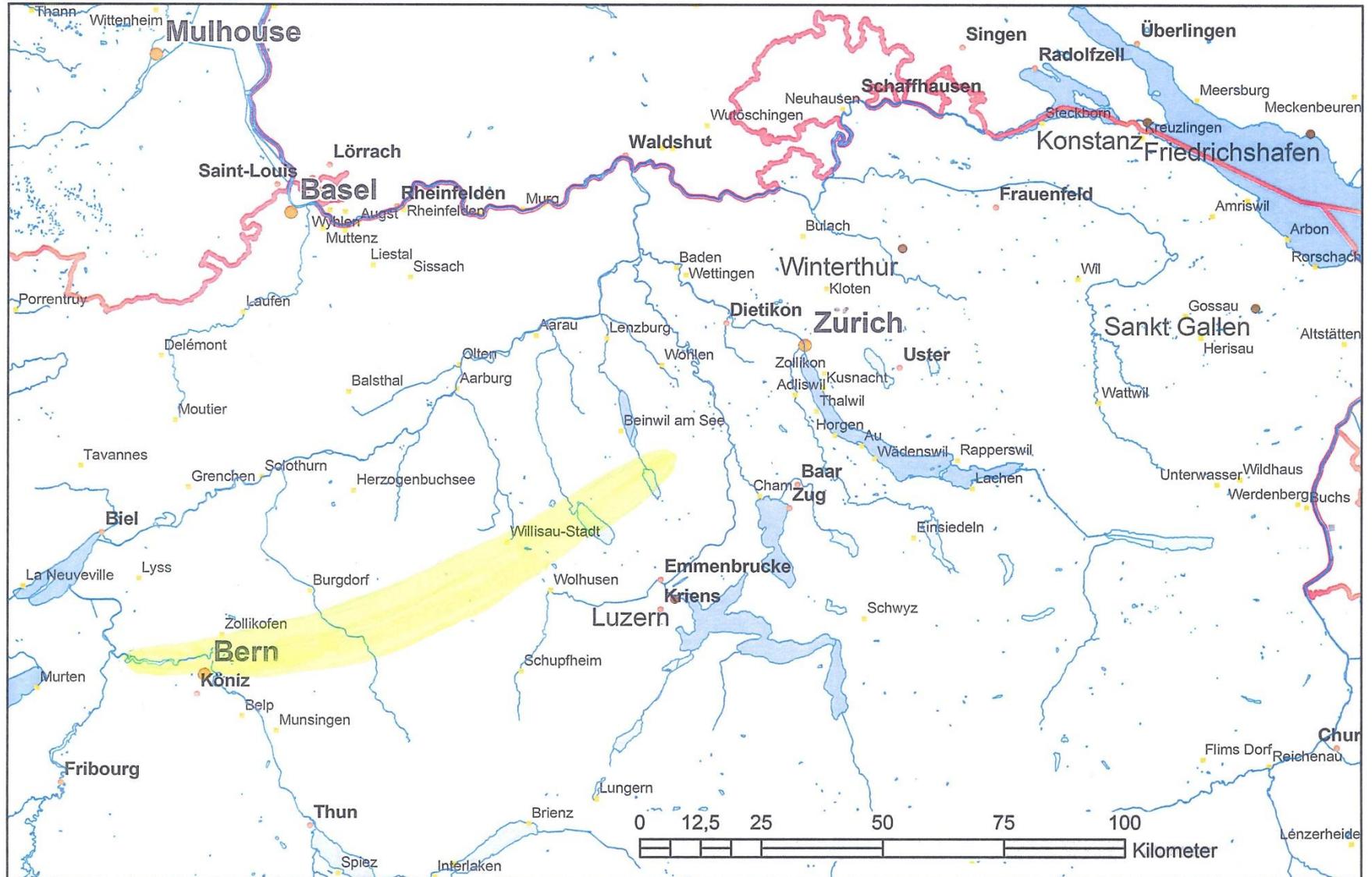
Entfernung (km)	Schilddrüsen-dosis durch Inhalation (mSv)	Effektive Dosis durch Inhalation (mSv)	Effektive Dosis durch Gamma-Bodenstrahlung über 2 Tage (mSv)	Effektive Dosis durch Gamma-Bodenstrahlung über 1 Jahr (mSv)
1	5.600	400	500	13.000
5	8.300	600	170	3.800
10	2.900	210	73	1.800
15	1.400	100	43	1.200
20	830	62	29	820
25	540	41	21	630
30	370	28	16	510
40	250	19	11	360
50	180	14	8,0	270
60	140	11	6,1	210
70	110	8,4	4,8	160
80	85	6,7	3,8	130
90	68	5,4	3,1	110
100	55	4,4	2,5	90
125	34	2,8	1,6	59
150	21	1,8	1,0	39
175	14	1,2	0,7	27
200	9,2	0,8	0,5	19
250	4,2	0,4	0,2	9,7
300	2,0	0,2	0,1	5,2
350	1,0	0,1	0,1	2,8

## Kontamination landwirtschaftlicher Produkte

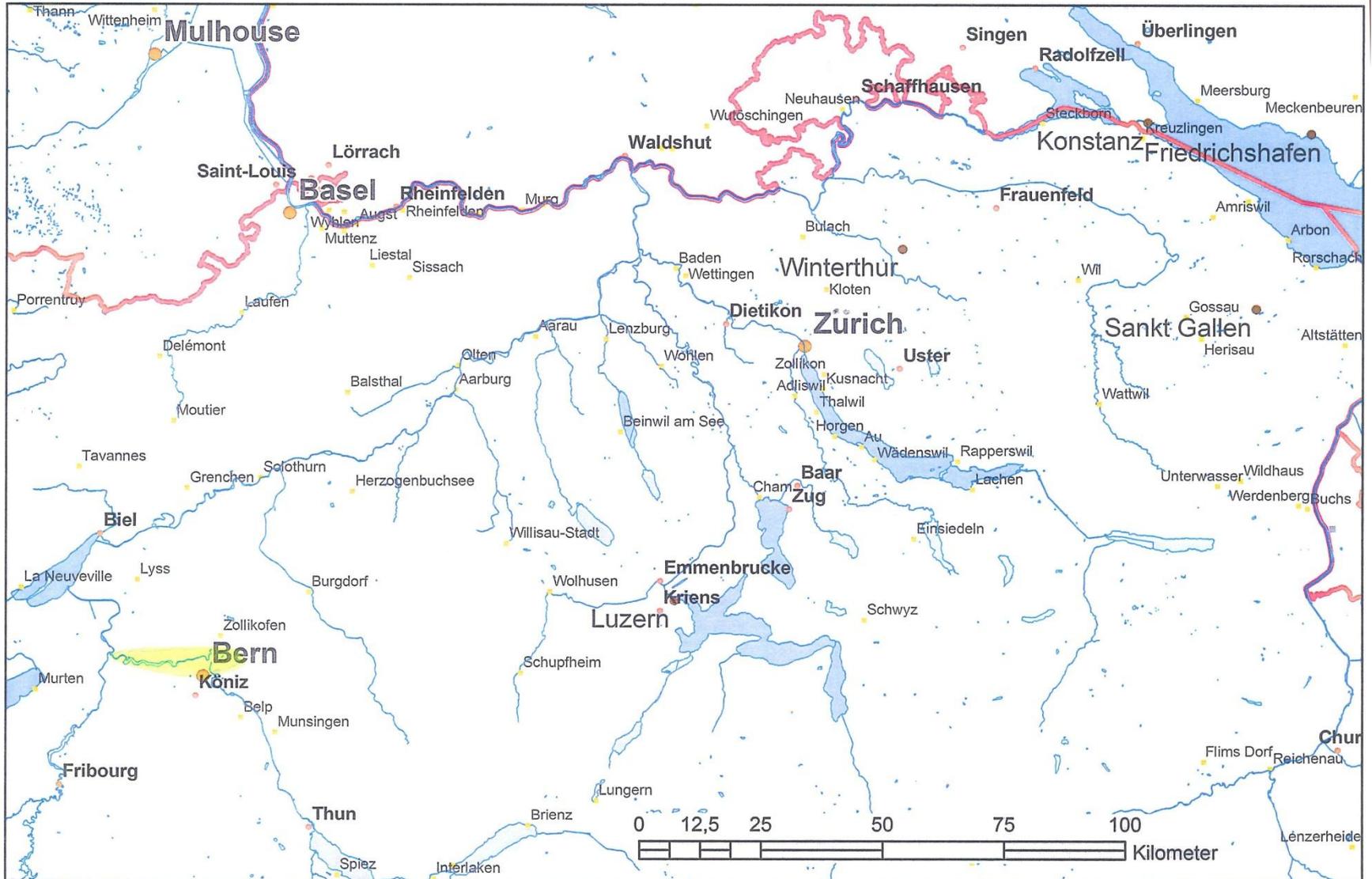
Nuklid	Entfernung [km]						
	1	10	20	50	100	200	300
<b>Blattgemüse</b>							
I-131	1.330.000	688.000	198.000	43.900	13.200	2.230	481
Cs-134	26.600	15.100	4.680	1.150	392	84	23
Cs-137	20.000	11.300	3.530	864	295	63	17
<b>Milch</b>							
I-131	1.720.000	889.000	256.000	56.700	17.200	2.880	621
Cs-134	57.200	32.600	10.000	2.470	844	180	50
Cs-137	43.100	24.500	7.600	1.860	636	136	37
<b>Fleisch</b>							
I-131	5.750.000	2.960.000	853.000	189.000	57.200	9.610	2.070
Cs-134	343.000	195.000	60.500	14.800	5.060	1.080	297
Cs-137	259.000	147.000	45.600	11.100	3.820	816	224



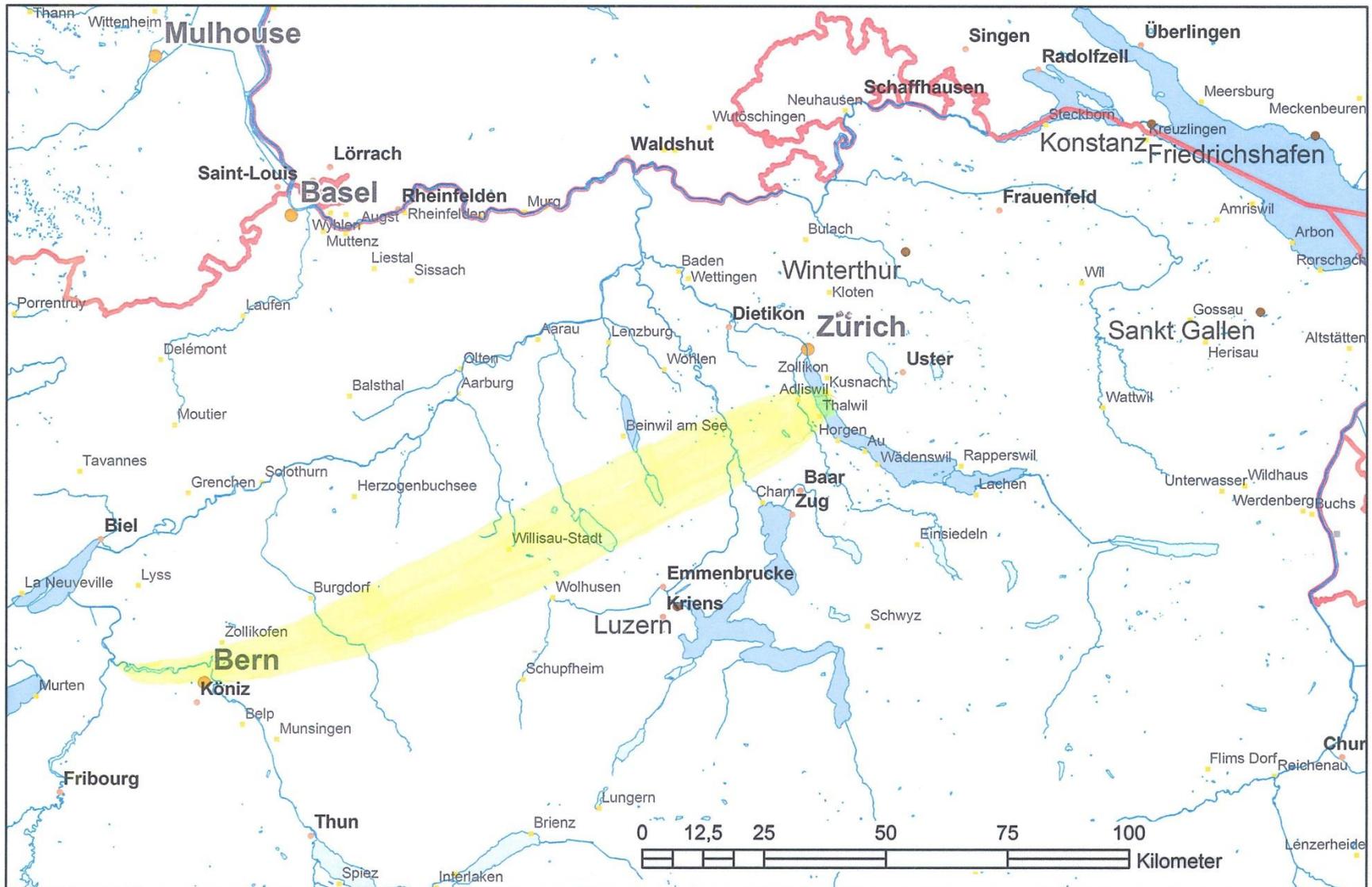
**eff. Dosis > 1 mSv in 2 Tagen → Kinder/Jugendliche etc. in Haus / Schutzraum / Bunker**



**effektive Dosis > 10 mSv in 2 Tagen → alle in Haus / Schutzraum / Bunker**



**effektive Dosis  $> 100$  mSv in 2 Tagen  $\rightarrow$  vorsorgliche Evakuierung in Betracht zu ziehen**

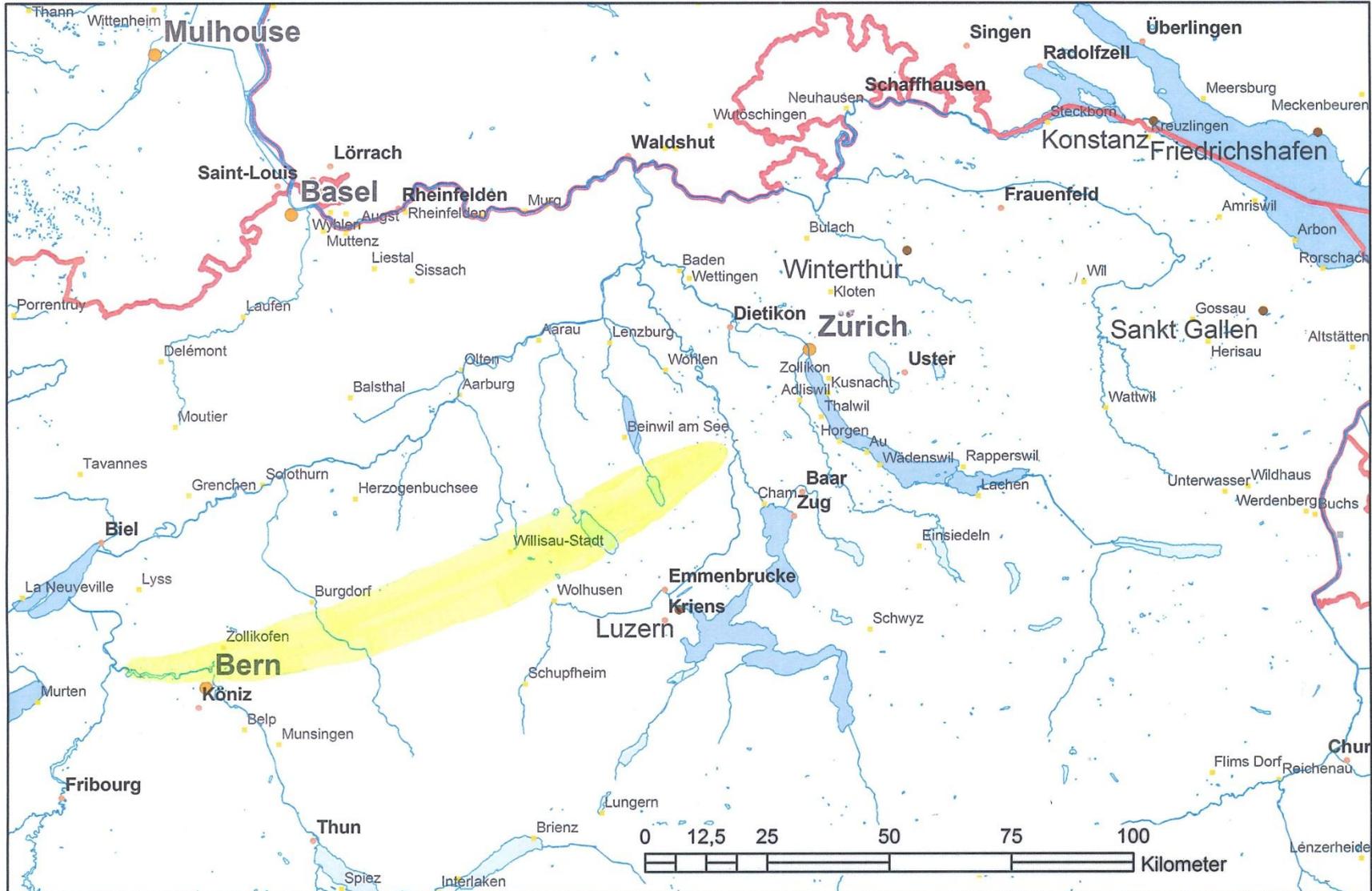


**Schilddrüsenedosis  $> 50$  mSv  $\rightarrow$  Iodtabletten einnehmen**

- **durch Iodtabletten soll die Aufnahme von radioaktivem Iod durch die Schilddrüse stark verringert werden (Sättigung der Schilddrüse mit stabilem Iod)**
- **dazu sind spezielle Tabletten erforderlich (keine „normalen“ Medikamente aus der Apotheke)**
- **an die meisten Betroffenen müssten die Tabletten noch verteilt werden**
- **die Einnahme muss unbedingt vor dem Eintreffen der radioaktiven Wolke erfolgen**
- **Zeit zwischen Freisetzung und Eintreffen z. B. 1 Stunde im Zentrum von Bern, 2 Stunden in Burgdorf**
- **Wenn das nicht gelingt – evakuieren zumindest von Kindern, Jugendlichen und Schwangeren?  
Oder alle evakuieren, um Familien nicht zu trennen?**



**Lebensmittelgrenzwerte überschritten → nicht vermarktbar**



**äußere Strahlenexposition im Freien > 50 mSv im ersten Jahr → Umsiedeln?**

- bei einer Strahlenexposition durch äußere Bestrahlung durch auf Oberflächen abgelagerte Radionuklide von 50 mSv im ersten Jahr ist es in der Regel nicht möglich, die tatsächlich auftretenden Expositionen unter 20 mSv im Jahr zu halten (z. B. Berücksichtigung von Schutzfaktoren beim Aufenthalt im Haus, einfache Dekontaminationsmaßnahmen)
- international wird diskutiert, in einem solchen Fall eine Umsiedlung vorzunehmen
- Umsiedlung nach Tschernobyl in den Zonen I ( $> 1.480.000 \text{ Bq/m}^2$  Cs-137) und II ( $555.000 \text{ Bq/m}^2$  bis  $1.480.000 \text{ Bq/m}^2$ ) – im hier untersuchten Szenario reicht die Zone I bis 80 km vom KKM, die Zone II bis 125 km

## **Folgen für die Nutzung der Aare und des Bielersees**

- **großer Teil der Cäsium-Isotope wird im Bielersee zurückgehalten**
- **Einschränkungen bleiben für den Bielersee lange bestehen**
- **Trinkwasser nicht mehr nutzbar (bis rund 1000 mSv pro Liter Wasser wären möglich)**
- **Süßwasserfisch reichert Cäsium besonders stark an, schon der Verzehr eines einzelnen Fisches aus dem Bielersee würde extreme Strahlenexpositionen verursachen können**
- **Sedimente des Bielersees werden stark mit radioaktivem Cäsium kontaminiert. Ein Aufenthalt an solchem Sediment am Ufer kann schon nach wenigen Stunden zu nicht mehr akzeptablen Strahlenexpositionen führen, so dass der See abgesperrt werden müsste**
- **Einschränkungen an der Aare bis zum Bielersee wären dagegen deutlich zeitlich befristet**
- **nach dem Durchfließen des Bielersees keine Einschränkungen mehr**

## Wichtige Anmerkungen zu den Ergebnissen

- **das gewählte meteorologische Szenario stellt eine relativ wahrscheinliche Situation dar**
- **bei konkretem Unfall deutlicher Einfluss von aktuellem Niederschlag, Jahreszeit, Windrichtung**
- **im Szenario homogene Niederschlagsverhältnisse gewählt, im Ereignisfall kleinräumig aber auch sehr große Abweichungen der Belastungen nach unten und oben möglich**
- **es können also auch ganz andere Gebiete von Schutzmaßnahmen betroffen sein als im beispielhaften Szenario (zeigt aber Dimension)**
- **Erfassung der Situation nach einem Unfall schwierig und kann Wochen und Monate dauern (siehe Erfahrungen aus Tschernobyl und Fukushima-Daiichi)**
- **durch diese Unsicherheiten wären Maßnahmen in größeren Gebieten vorzusehen oder durchzuführen, da man sich auf leichte Änderungen der aktuellen Windrichtung und anderer meteorologischer Randbedingungen einstellen muss**

***Vielen Dank  
für Ihre Aufmerksamkeit!***

