

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik



Berechnung der Ausbreitung von Radioaktivität aus dem AKW Fukushima Dai-ichi durch die ZAMG

Dr. Gerhard Wotawa, M.A. (Intern. Rel.)

ZAMG/Bereich Daten, Methoden, Modelle (Stabsstelle),
Gerhard.Wotawa@zamg.ac.at

Präsentiert bei der 8. NÖ Katastrophenschutzfachtagung, Tulln, 24. November
2011



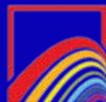
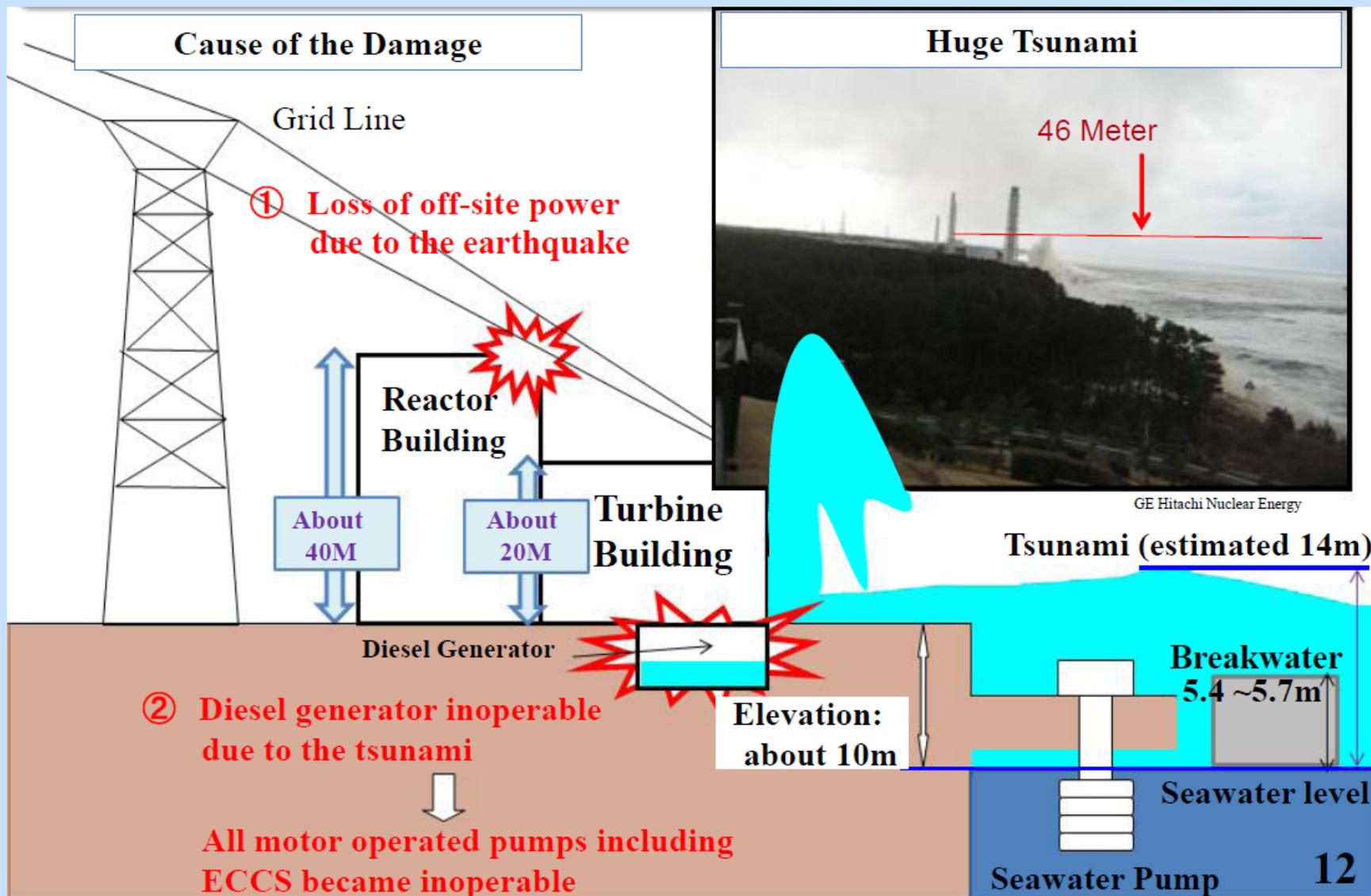
- **Fukushima-Unfall und Response der ZAMG**
- **Atmosphärische Transportsimulationen**
- **Bedeutung der CTBTO Daten**
- **Modellvalidierung**
- **Bestimmung der Quellstärke**
- **Neueste Studien zur Freisetzung**
- **Schlussfolgerungen**





- Erdbeben: 11. März 2011 05:46 UTC (Magnitude 9.0, 24 km); automatischer Shutdown aller laufenden Reaktoren im Katastrophengebiet; weitgehender Stromausfall
- Tsunami-Welle: 11. März 2011 zirka 7 UTC; Totalverlust des Notstromsystems im AKW Fukushima-Daiichi
- Explosion Block 1: 12. März 2011 6:36 UTC
- Beginn der Ausbreitungsrechnungen der ZAMG: 12. März 2011 9:00 UTC







- Die ZAMG betreibt das FLEXPART Modell für die Berechnung der Ausbreitung von Luftbeimengungen
- Als Input werden Daten (Analysen + Prognosen) des Europäischen Zentrums für Mittelfristige Wettervorhersage herangezogen
- Unser Modellsystem gehört zu den besten, die derzeit weltweit verfügbar sind
- Die ZAMG ist damit in einer Position, Modellprodukte für Krisen bereitzustellen, wann immer und wo immer sie auftreten





- **Krisenfallvorsorgesystem TAMOS:** Berechnung der atmosphärischen Dispersion für den Strahlenschutz (bei Reaktorunfällen innerhalb Europas)

- **Atmosphärisches Backtracking-System** zur Unterstützung der Atomteststop-Behörde (CTBTO) in Wien im Falle multipler Detektionen vertragsrelevanter Nuklide -> WMO Ernennung als „**Regional Specialized Meteorological Centre Vienna (Atmospheric backtracking)**“





- Beginn einer ad-hoc Modellierung am 12.3.2011
- Gründung der „Task-Force Fukushima“ am 14.3.2011
- Teilautomatisierung bis 18.3. 2011
- Vollautomatisierung und weitgehende Ausfallsicherheit April 2011
- Es ist der ZAMG gelungen, in Rekordzeit ein fast operationelles System auf die Beine zu stellen, welches bis Juni 2011 fehlerfrei lief





- Die ZAMG plant derzeit das „**Environmental Emergency Response System Austria**“
- Wesentlicher Punkt der Initiative ist die Konsolidierung und Vereinheitlichung der operationellen Modellsysteme
- Neue Funktionalitäten sind
 - Response auf Nuklearunfälle und Atomtests weltweit
 - Response auf Vulkanausbrüche, Produkte für Flugsicherheit
 - Response auf Waldbrände und andere Ereignisse weltweit





- National: Unterstützung nationaler Behörden, österreichischer Vertretungen im Krisengebiet, und der Austrian Airlines
- National: Nationales Datenzentrum für die Verifikation des Atomteststop-Abkommens, Zugriff auf die Monitoring-Daten und Analysen der CTBTO (z.B. weltweite Radionuklid-Daten)
- International: Unterstützung des IAEO “Incident and Emergency Centres” auf Ersuchen der WMO, Vertretung der WMO in Wien
- International: Unterstützung der CTBTO (RSMC Vienna)





- Transportmodell: FLEXPART Version 8
- Meteorologischer Input: Europäisches Zentrum für Mittelfristige Wettervorhersage (EZMW), global 1.0°, 3 Stunden Auflösung
- Prognosen gerechnet für +24, +48 und +72 Stunden
- Simulierte Spezies: ^{137}Cs (Deposition), ^{131}I (Deposition + Zerfall), ^{133}Xe (Zerfall)
- Ausgabegitter: 0.5 ° global, 10 Schichten (0-500 m unterste Schicht)
- Angenommenes Szenario: Freisetzungsbeginn 12. März 2011 8:30 UTC, „worst case“ (Kernschmelze und Versagen des Containments)





Accident in the Japanese NPP Fukushima: Spread of Radioactivity (Update: March 18, 2011, 13:00)

Weather in the crisis region

Currently, westerly upper-level winds predominate in the crisis region. Surface winds are relatively weak, and there are no reports of precipitation. Wind will soon turn to southwesterly directions and increase significantly. On Sunday, a frontal system is crossing the region, with heavy rain. Behind the front, northerly winds are predicted, increasing the risk for the Region around Tokyo.

Dispersion modelling

Dispersion model results currently show that the plume spreads towards the ocean. Currently, the plume expands towards the south-east, tomorrow towards the north-east (see images). Later on (Sunday/Monday), areas of Japan are influenced again (see image below).

Regarding the colour scaling of the simulation, one needs to keep in mind that the red colour marks areas around the plant where the effective dose rates were, at the absolute maximum, 100 Milli-Sievert per hour (according to information released by IAEA in Vienna). The violet colour thus shows areas with estimated effective dose rates of 100 Nano-Sievert (maximum) per hour. Summed up over a period of one year, this would still be less than the natural radiation exposure of an average citizen.

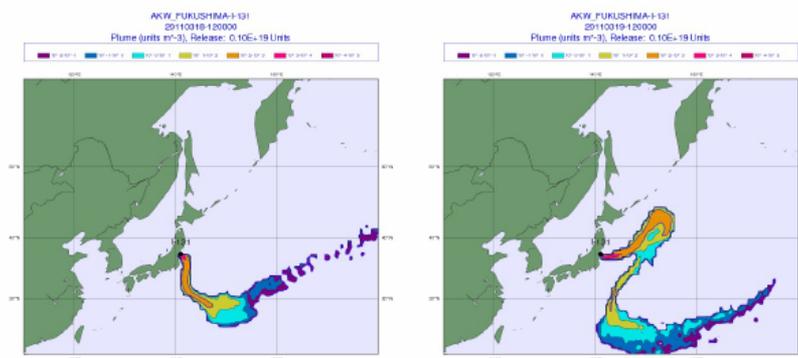


Figure: Plume spread over Eastern Asia today and tomorrow 12:00 UTC





Das Umfassende Atomteststop-Abkommen (CTBT) verbietet alle nuklearen Explosionen. Ein internationales Überwachungssystem (IMS) wird errichtet.



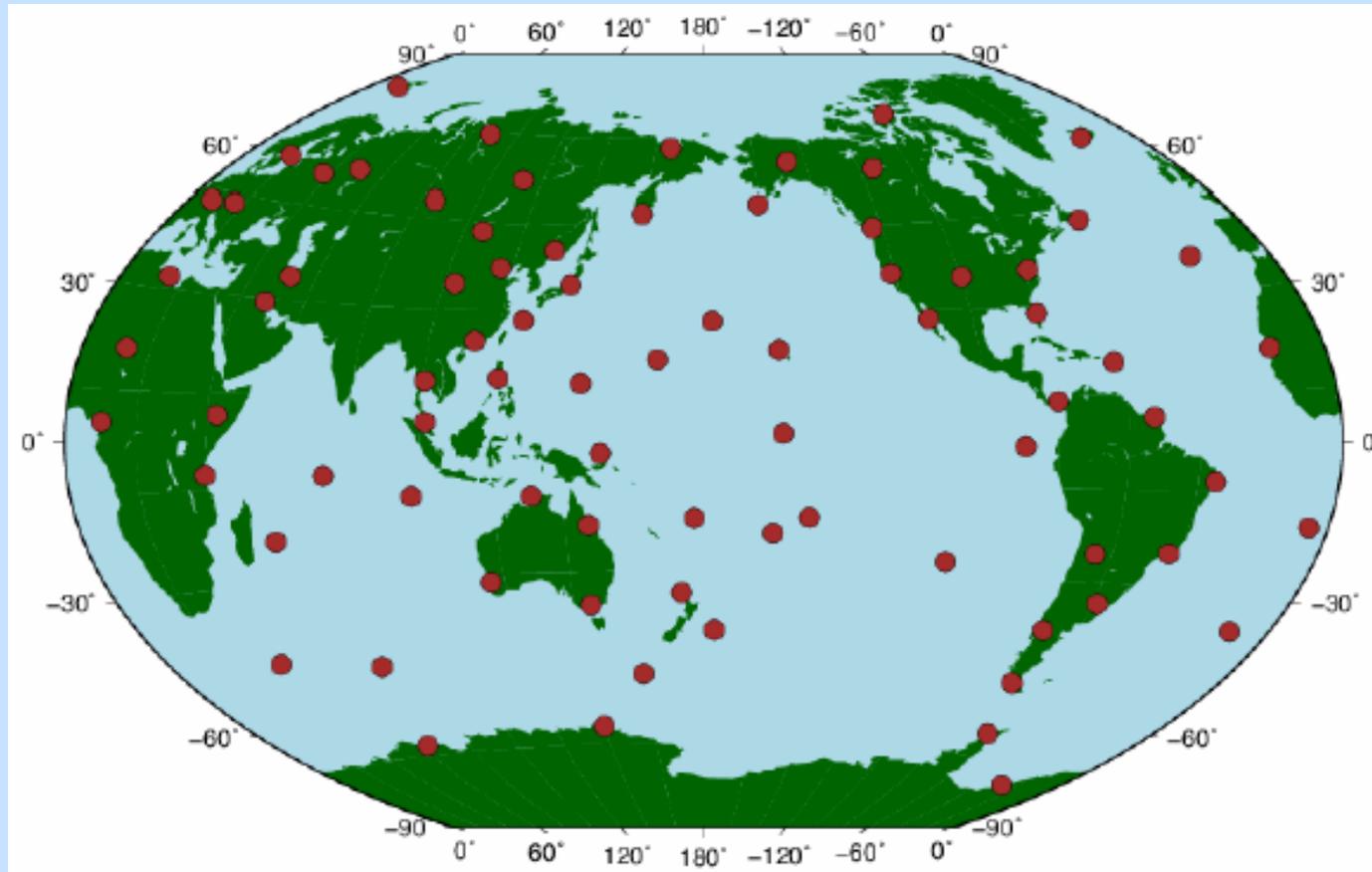
Total: 337 Facilities
Primary Seismic stations: 50
Auxiliary seismic stations: 120
Infrasound stations: 60
Hydroacoustic stations: 11
Radionuclide stations: 80
Radionuclide labs: 16

- Seismic primary array (PS)
- ▲ Seismic primary three-component station (PS)
- ★ Hydroacoustic (hydrophone) station (HA)
- Radionuclide station (RN)
- Seismic auxiliary array (AS)
- ▲ Seismic auxiliary three-component station (AS)
- ⊥ Hydroacoustic (T-Phase) station (HA)
- ▼ Radionuclide laboratory (RL)
- ◆ Infrasound station (IS)
- International Data Centre, CTBTO PrepCom, Vienna





79 Radionuklid-Monitore werden im Endausbau global installiert. Zirka 55 Stationen senden bereits ihre Daten zur CTBTO nach Wien



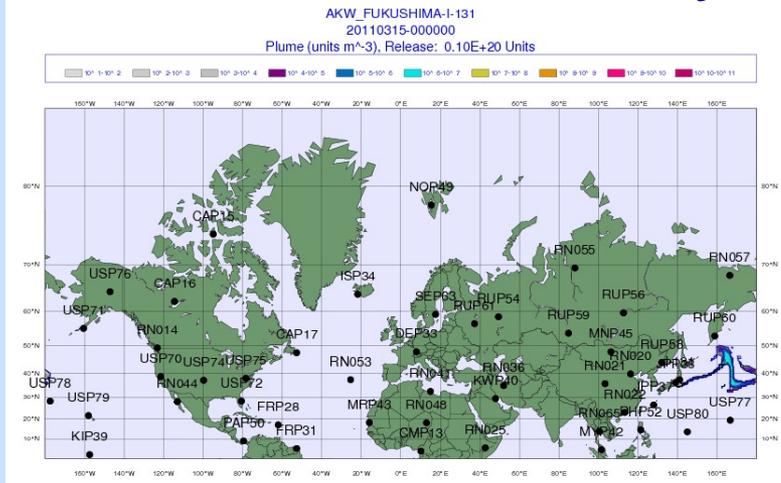


- Die CTBTO Radionuklid-Daten waren extrem hilfreich zur
 - Validierung der Ausbreitungsrechnungen
 - Abschätzung der Freisetzungsraten der Schlüssel-Nuklide
- Partikel-Netz: Detektion von ^{131}I und ^{137}Cs (MDC: $\approx 1 \mu\text{Bq m}^{-3}$)
- Edelgas-Netz: Detektion von ^{133}Xe (MDC: $\approx 0.1 \text{ mBq m}^{-3}$)

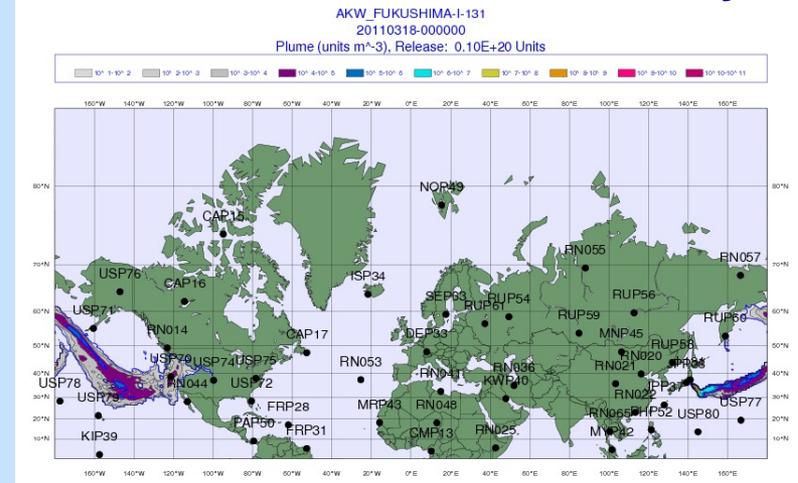




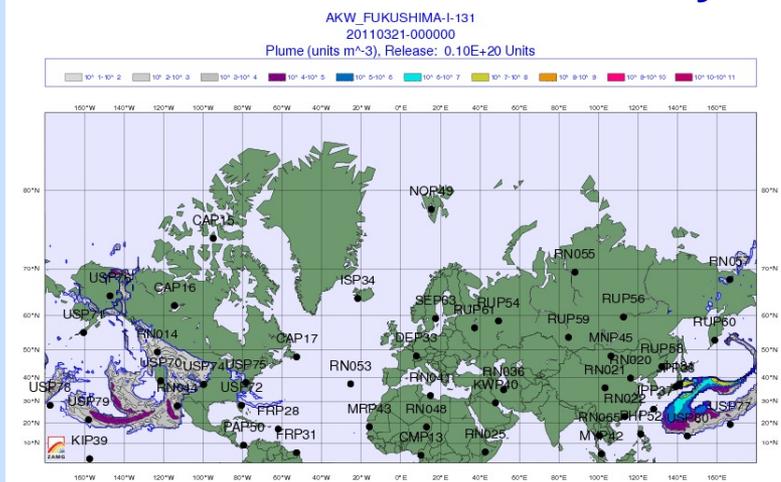
Day 3



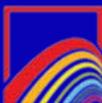
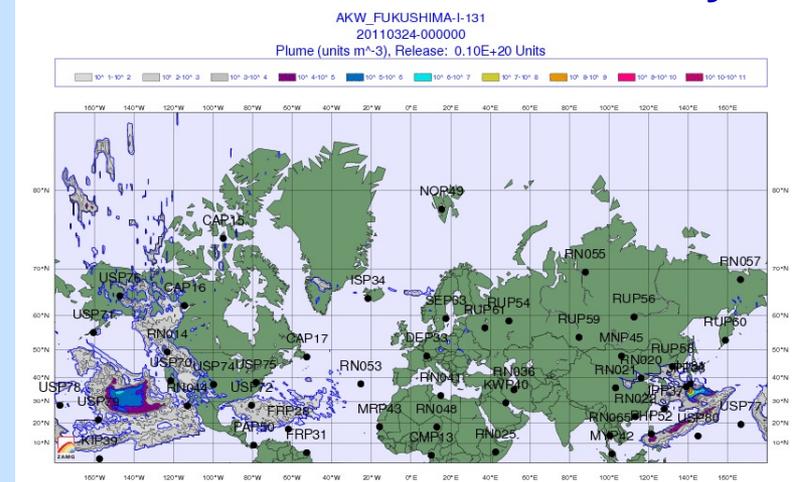
Day 6

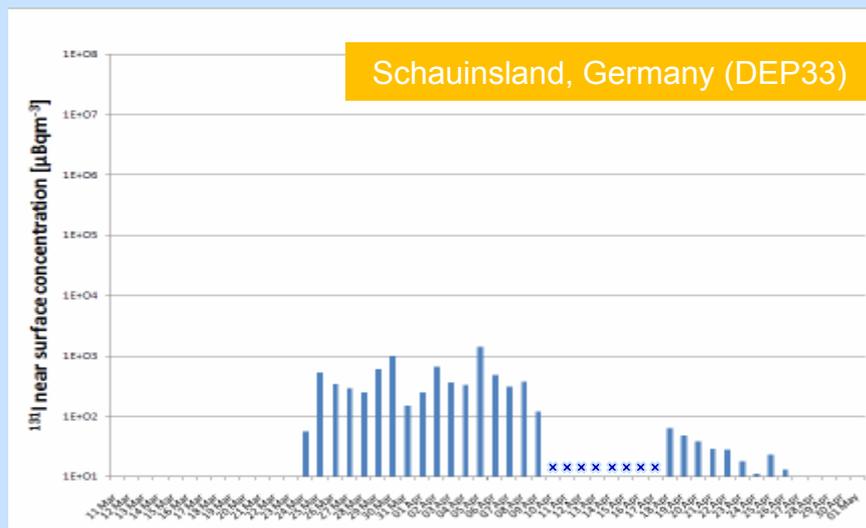
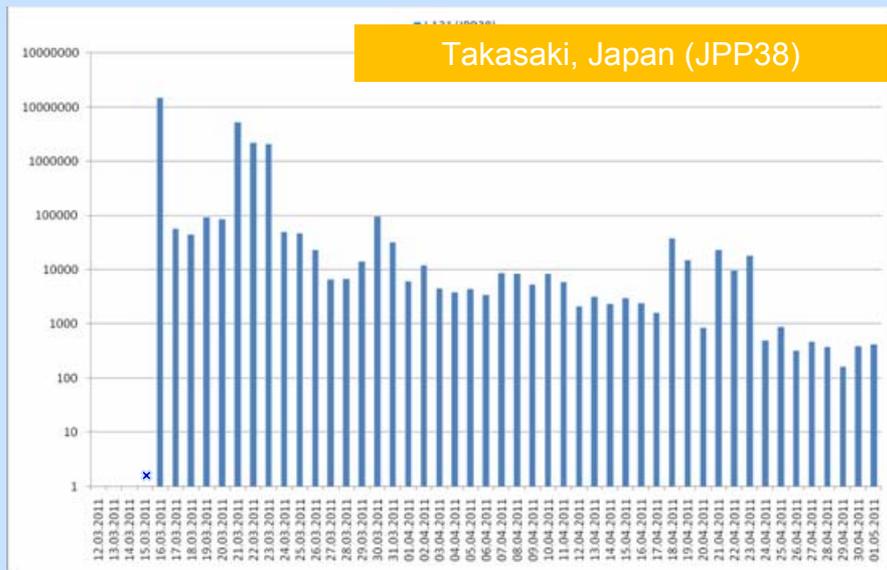


Day 9



Day 12







Das FLEXPART-Modell war sehr gut in der Lage, die Ankunft der kontaminierten Luftmassen in Kalifornien, der Ostküste der USA und Europa vorauszusagen

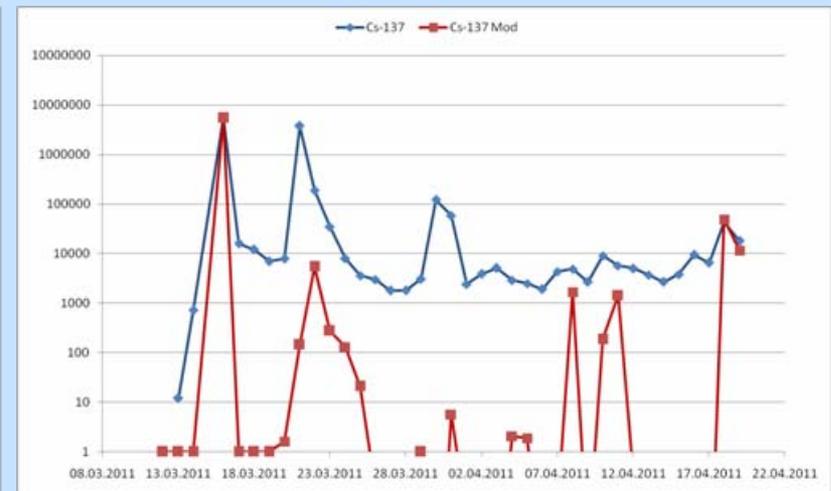




Der erste große Peak wird vom Modell gut wiedergegeben

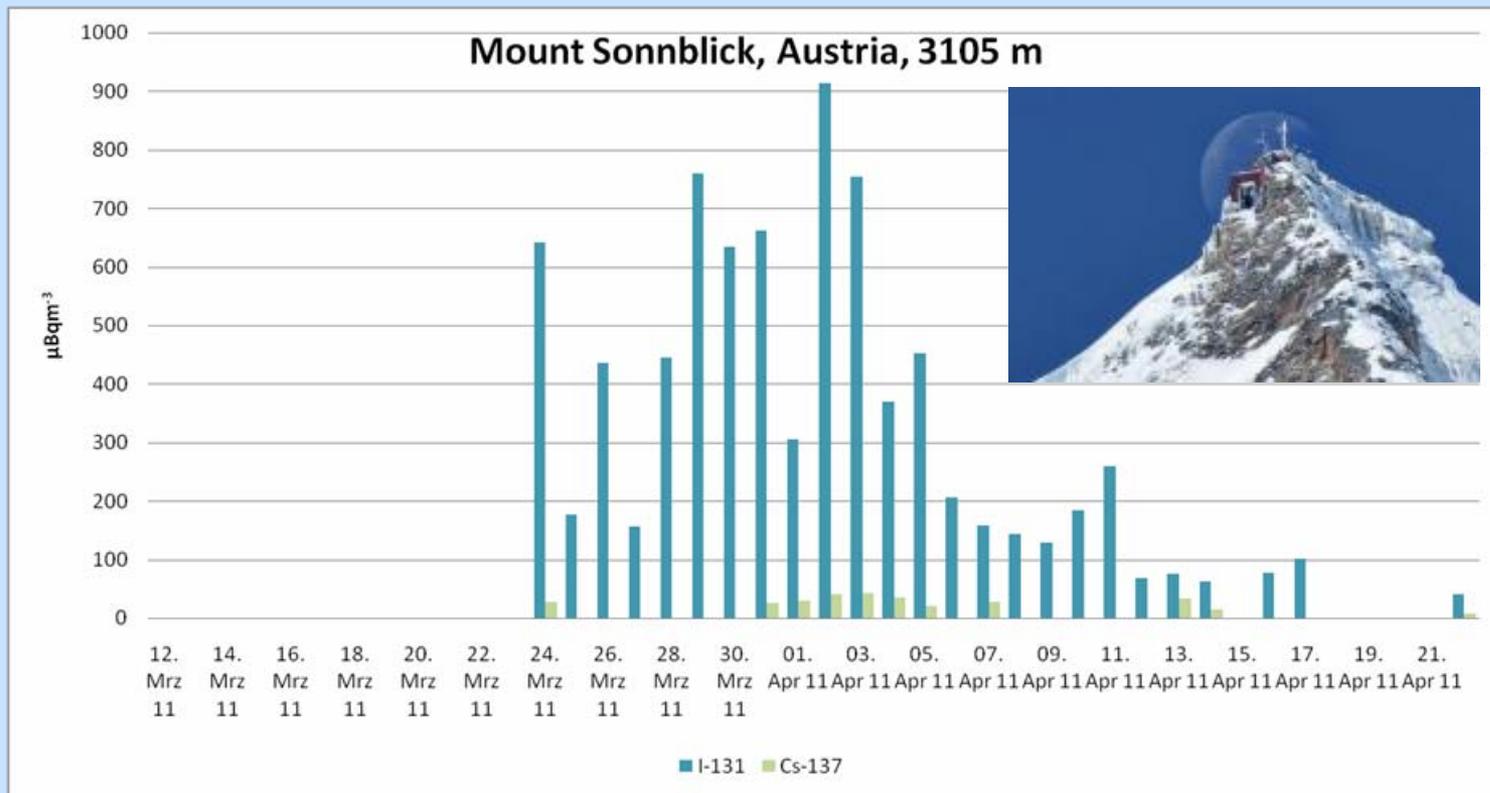
Auch weitere Peaks werden gut erfasst

Aufgrund der Kontamination des Inneren der Station sind aber genaue Vergleiche der Zeitreihen schwierig





Von Ende März bis Mitte April wurden Spuren von ^{131}I und ^{137}Cs in Mitteleuropa regelmässig gemessen. Die Konzentrationen waren im Bereich von mBqm^{-3} bei ^{131}I und einige $10 \mu\text{Bqm}^{-3}$ bei ^{137}Cs (Beispiel: Messungen der AGES am Sonnblick).

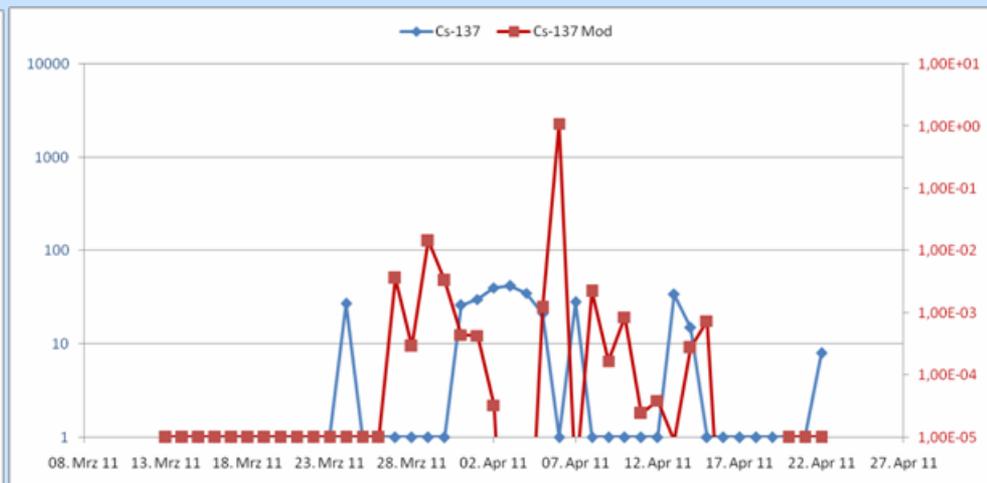




Das ZAMG Modell hat

- Die Periode, während der $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ gemessen wurde, gut erfasst
- aber die ständig gemessenen Werte in Europa um Größenordnungen unterschätzt

Ursachen: Jod wurde auch als Gas transportiert (weniger Depo), Deposition generell überschätzt, zu viel Niederschlag in EZMW





Die **ZAMG** war weltweit die erste Institution, die seriöse Abschätzungen der Freisetzung von ^{131}I und ^{137}Cs veröffentlicht hat (22. März 2011). Diese Abschätzungen basierten auf den CTBTO-Messdaten aus Takasaki und Sacramento/Kalifornien. Sie zeigten:

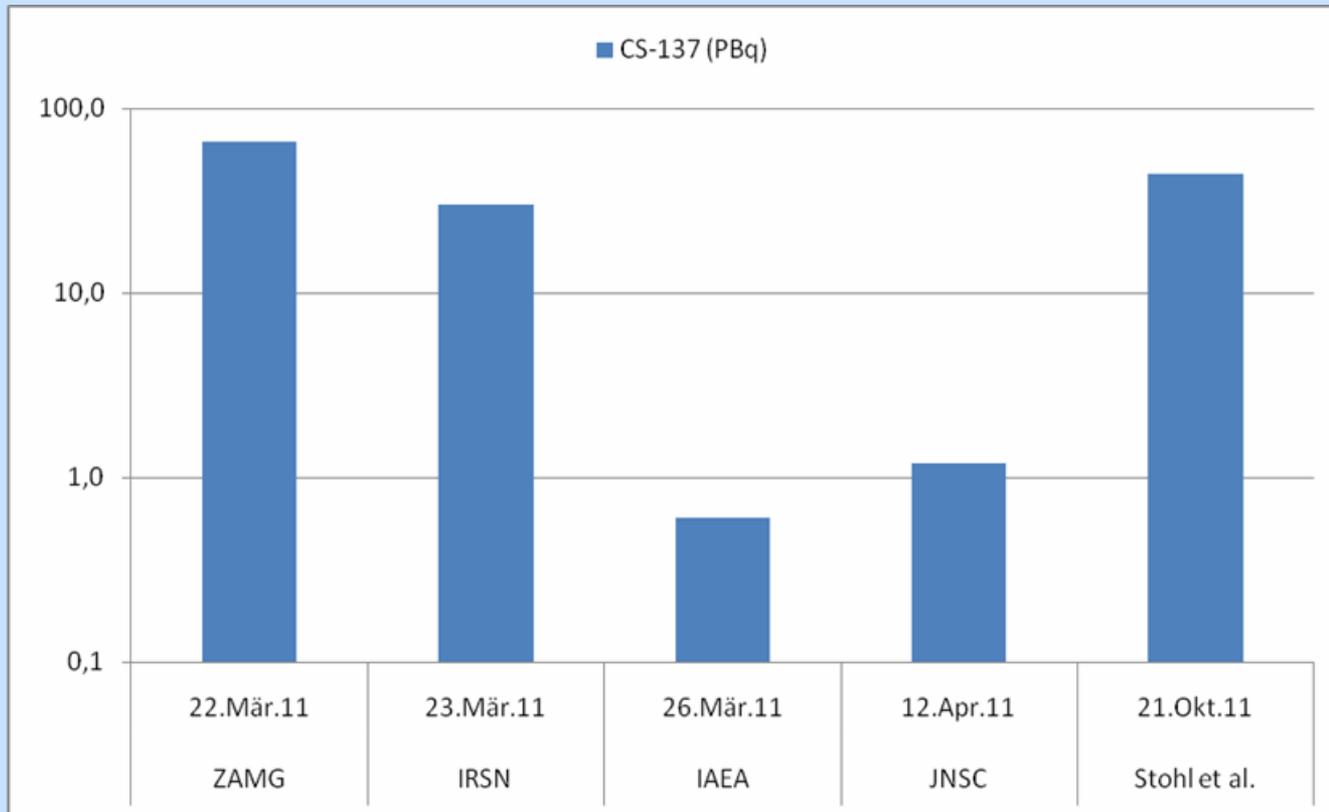
- Es gab in den ersten 3-4 Tagen sehr hohe Emissionen von ^{131}I und ^{137}Cs : 10^{17} Bq/Tag ^{131}I , 10^{16} Bq/Tag ^{137}Cs
- Eine Hochrechnung ergab, dass die Emissionen von ^{131}I bei etwa 20% von Tschernobyl lagen, von ^{137}Cs bei 50% von Tschernobyl
- Große Emissionen fanden bereits am 12./13. März statt und nicht, wie lange Zeit angenommen, erst am 14./15. März





- 24. März 2011: IRSN, Frankreich; Emissionen 12.-22. März; $^{131}\text{I} \approx 200 \text{ PBq}$, $^{137}\text{Cs} \approx 30 \text{ PBq}$
- 12. April 2011: Japan Nuclear Safety Commission & Japan Atomic Energy Agency: $^{131}\text{I} \approx 150 \text{ PBq}$, $^{137}\text{Cs} \approx 12 \text{ PBq}$
- Unofficial IAEA and CTBTO emission estimates were initially orders of magnitude too low
- Stohl et al., 2011: ^{137}Cs 35,8 PBq (40% Tschernobyl), ^{133}Xe 16700 PBq (250% Tschernobyl)







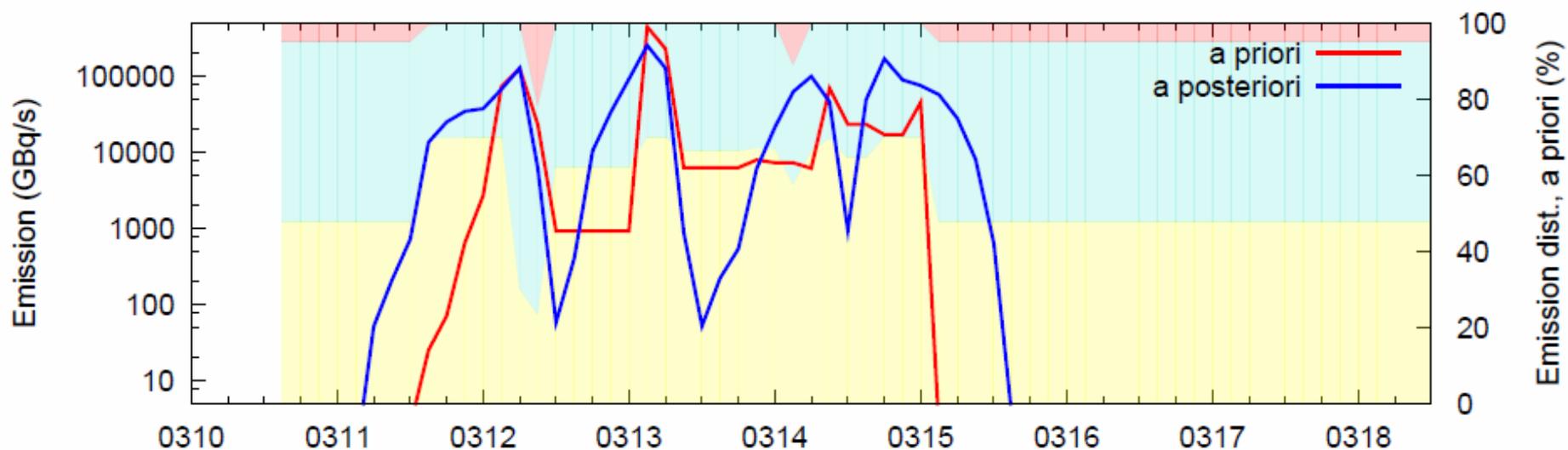
- Die Studie basiert auf inverser Modellierung und etwa 1000 Messungen der Konzentration und Deposition
- Spezies: Caesium-137, Xenon-131
- Daten: Japan, CTBTO, USA (PNNL), Ro5 (Europa)
- Diskussionspapier wurde bei ACPD veröffentlicht:

Stohl, A., Seibert, P., Wotawa, G., Arnold, D., Burkhardt, J. F., Eckhardt, S., Tapia, C., Vargas, A., and Yasunari, T. J.: Xenon-133 and caesium-137 releases into the atmosphere from the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant: determination of the source term, atmospheric dispersion, and deposition, Atmos. Chem. Phys. Discuss., 11, 28319-28394, doi:10.5194/acpd-11-28319-2011, 2011.



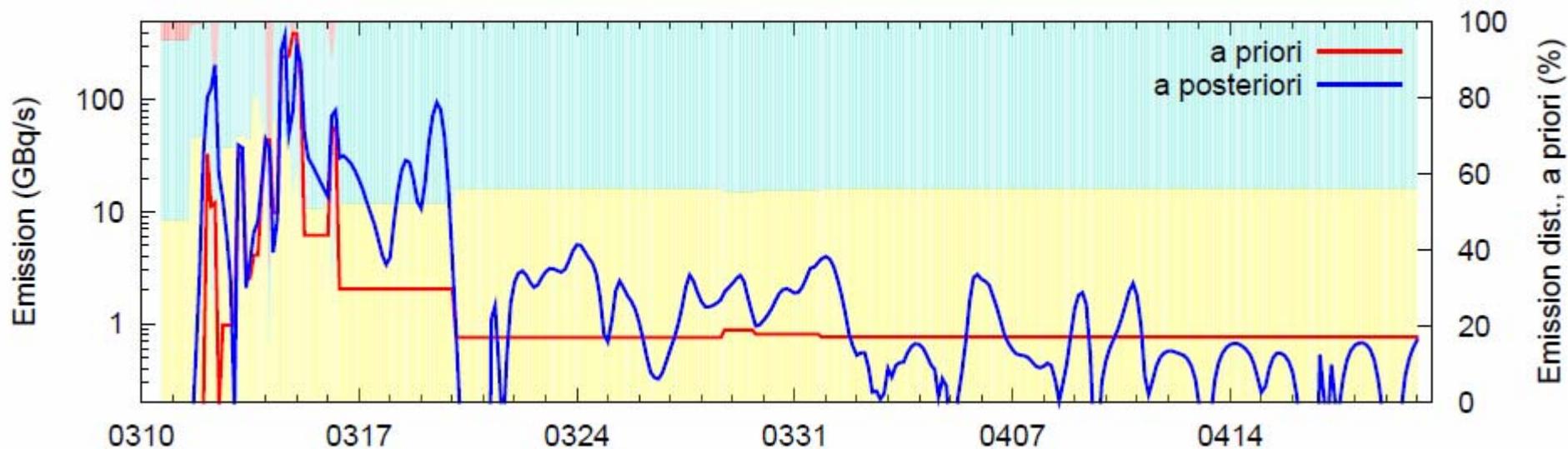


- Xenon Emissionen begannen bald nach dem Erdbeben
- Xenon Emissionen dauerten einen halben Tag länger als ursprünglich erwartet
- Gesamte Freisetzung: 250% Tschernobyl



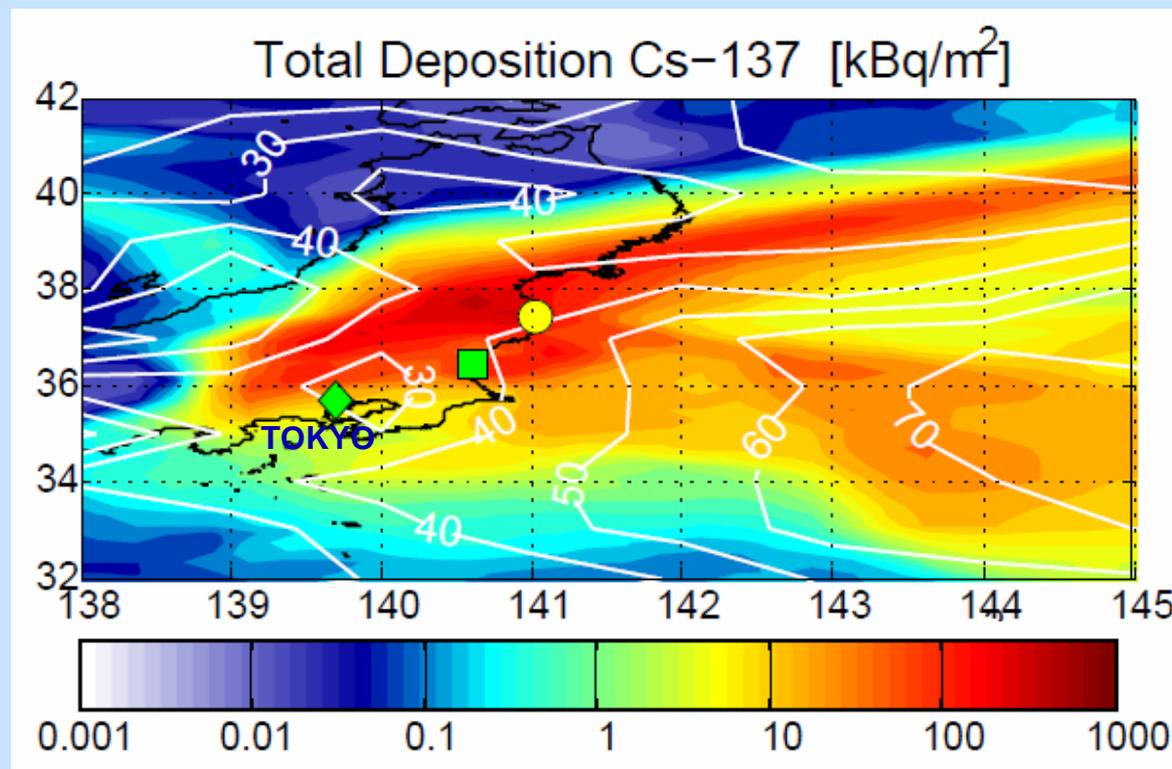


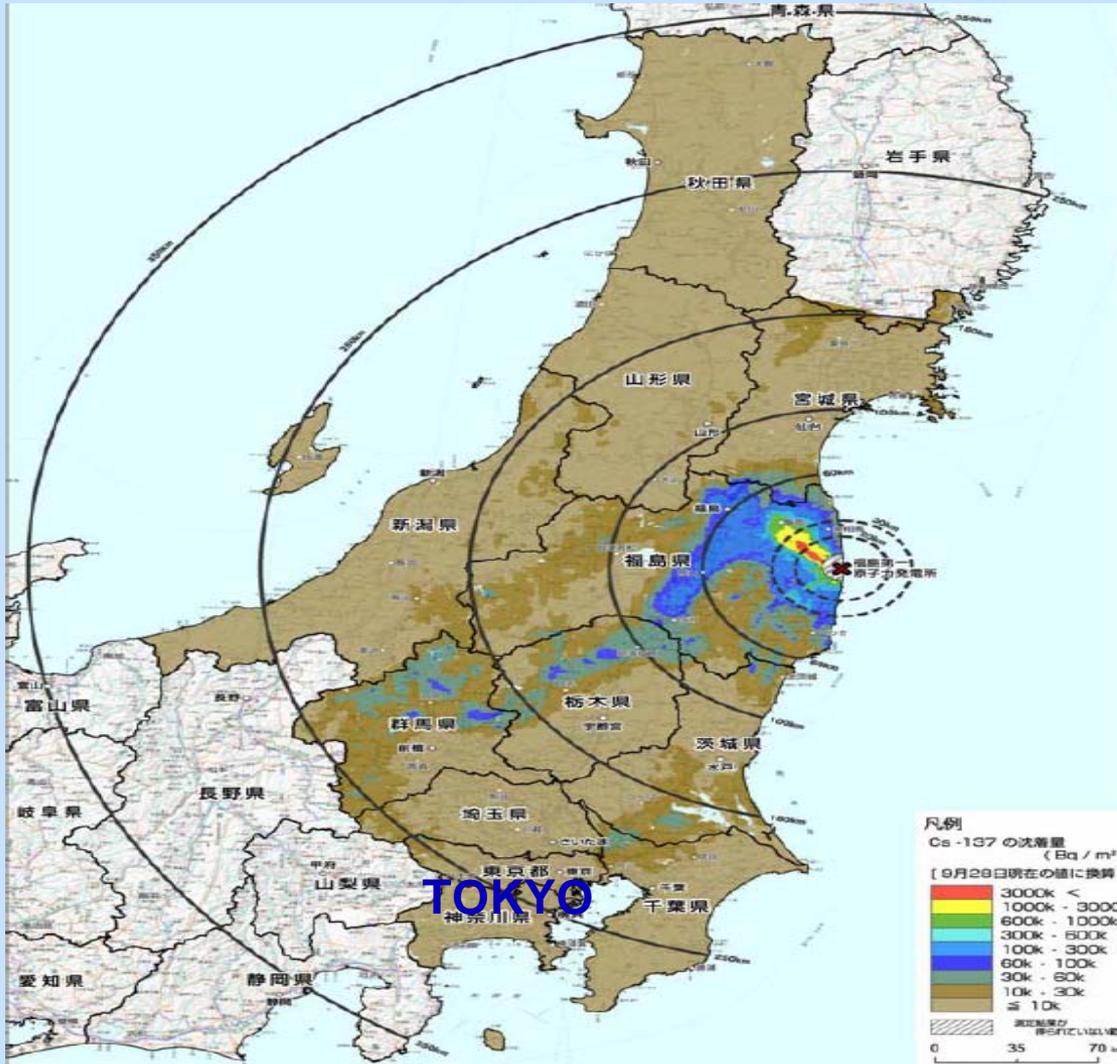
- Die frühzeitigen Cäsium Emissionen am 12./13. März waren höher als erwartet (aber im Einklang mit ZAMG-Resultaten im März)
- Es gab starke Cäsium-Emissionen am 18./19. März, die erst nach Beginn der Besprühung der Behälter für die Brennstäbe aufhörten
- Gesamtemission: 40% Tschernobyl





- Höchste Cäsium-137 Deposition bei 1000 kBq/m²
- Gebiet mit den höchsten Depositionen nordwestlich des AKW
- Nur 20% des Cäsium wurde über dem Japanischen Festland deponiert





Höchste beobachtete Cäsium-Werte: selbe Größenordnung wie Modell

Achse mit erhöhten Werten Richtung Nordosten

Werte im Bereich Tokyo (ca 10 kBq/m²) ebenfalls wie im Modell





- Die ZAMG-Modellierung der Ausbreitung von Radioaktivität von Fukushima war technisch und wissenschaftlich höchst erfolgreich und wurde national und international viel beachtet
- Die CTBTO RN Daten erwiesen sich als sehr wichtig für die Beurteilung der Situation und die Berechnung der Emissionen
- Der Transport von Radioaktivität über die gesamte nördliche Hemisphäre wurde von den Modellen generell gut wiedergegeben
- Der Transport von Radioaktivität nach Europa wurde von den Modellen tendenziell stark unterschätzt
- Die Erfahrungen aus den Arbeiten werden von der ZAMG genutzt, um sowohl das Modell als auch das operationelle System weiter zu optimieren

