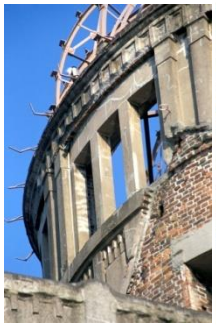


Wie funktioniert Wissenschaft?

Ein Münchner Fallbeispiel im Strahlenschutz

NBG Workshop „Die Rolle der Wissenschaft bei der Endlagersuche“
TU München
18. November 2022

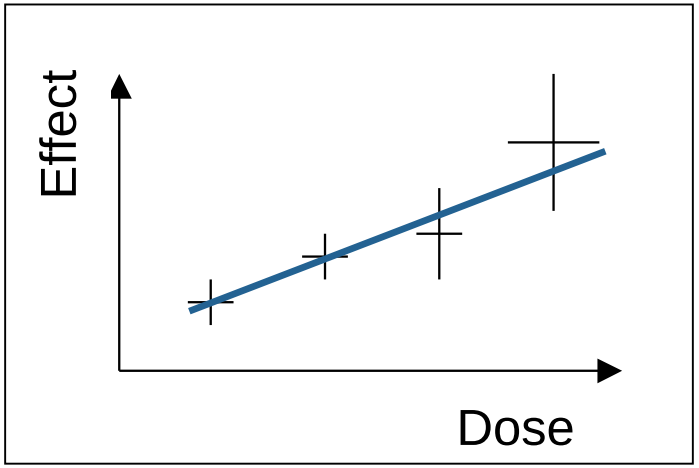
Werner Rühm, Mitglied des NBG

Studie von strahleninduzierten gesundheitlichen Spätfolgen bei den Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki

Prinzip (vereinfacht)

z.B. Krebs, Leukämie in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht, Krebsart, …

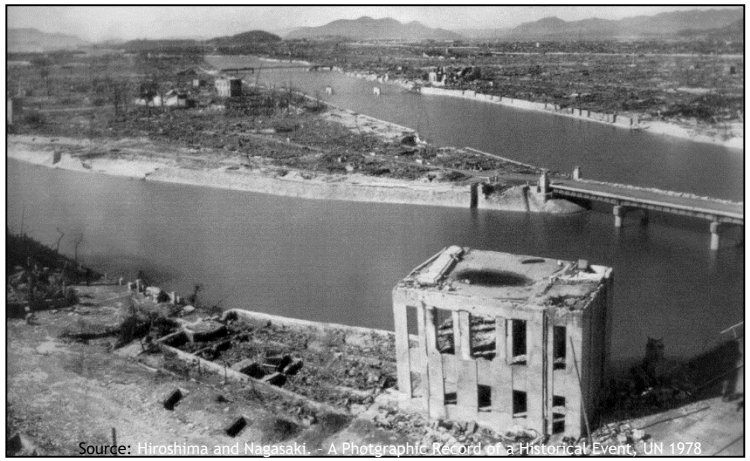
> Effekt pro Dosis (Steigung)



> Grundlage für Risikoabschätzungen im Strahlenschutz

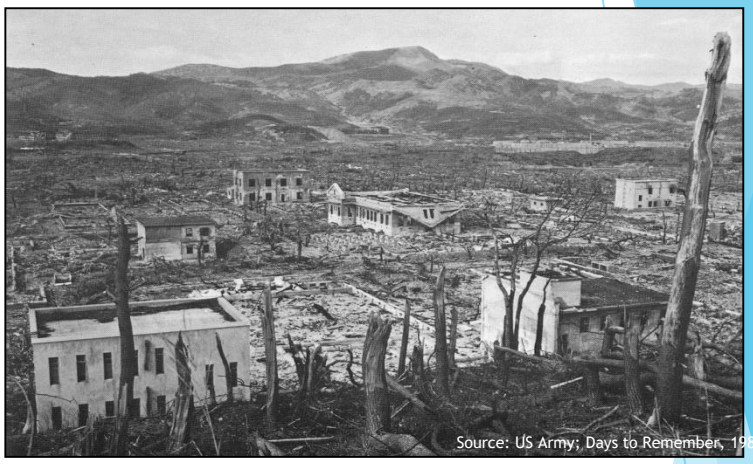
Die Atombombenexplosionen über

Hiroshima



- 6. August 6th 1945, 8:15
- Einwohner: 350,000
- Todesopfer (Ende 1945): 140,000

Nagasaki

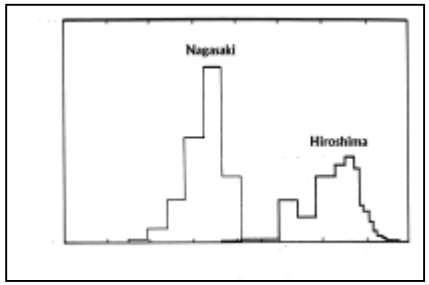


- 9. August 1945, 11:02
- Einwohner: 270,000
- Todesopfer (Ende 1945): 70,000

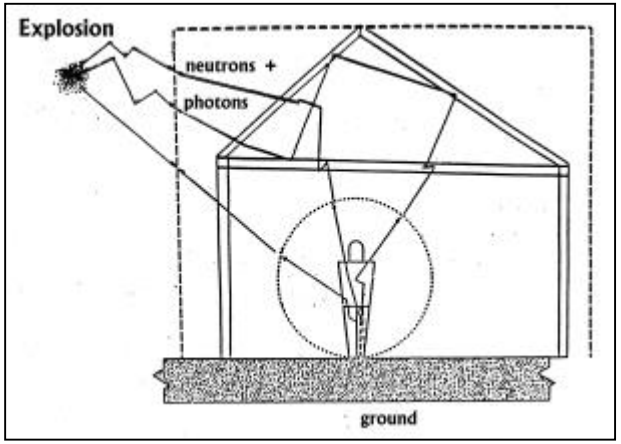
Wie hat man die Strahlendosen der Überlebenden bestimmt?

Das Dosimetrie-System DS02

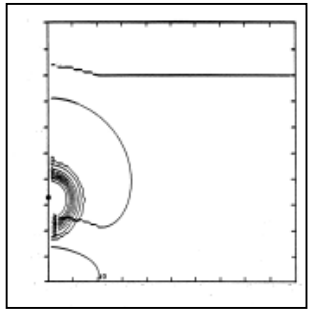
Prinzip: Simulation der Explosionen im Computer und Berechnung der Strahlendosen für jeden einzelnen Überlebenden



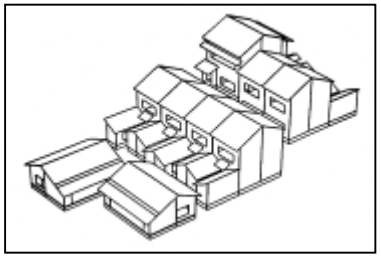
Quellterm Neutronen, Gammastrahlung



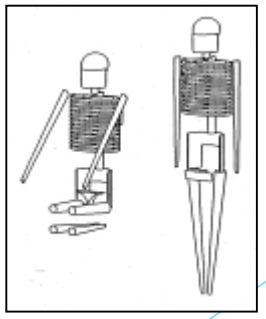
Aufenthaltsort



Simulation von Luftdruck, - temperatur

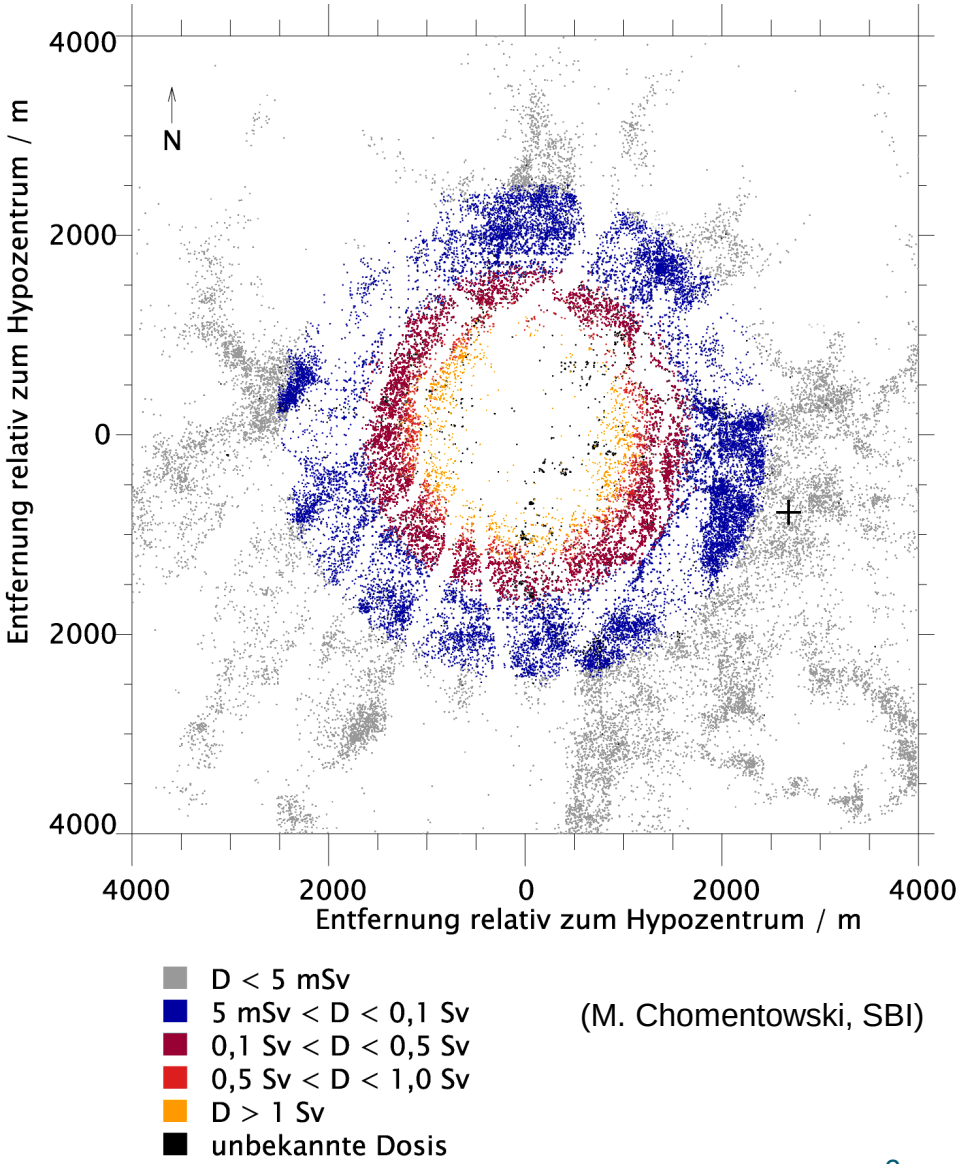


Modelle japanischer Häuser



Computer-modelle des menschlichen Körpers

Ergebnis derartiger Simulationen für Hiroshima



(M. Chomentowski, SBI)

Berechnete Strahlendosen (Neutronen-, Gammastrahlung) für jeden Überlebenden

Unabhängige, experimentelle Überprüfung

Experimentelle, retrospektive Bestimmung von Neutronenstrahlung

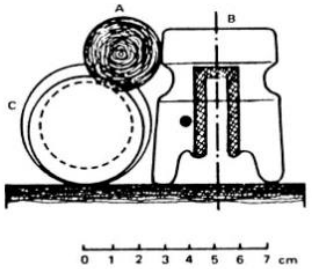
- Neutronen können in Material radioaktive Isotope produzieren
- Neutronen haben in Umweltproben in Hiroshima radioaktive Isotope produziert
- Spuren der damaligen Neutronenbestrahlung können heute noch nachgewiesen werden …
- … falls die Halbwertszeit derartiger Isotope groß genug ist

→ Experimentelle Überprüfung gerechneter Neutronendosen heute noch möglich

Durch Neutronen in Hiroshima erzeugte und nachgewiesene Radionuklide (Beispiele)

^{32}P $^{32}S(n_f,p)^{32}P$ $T_{1/2}$ = 14,3 Tage

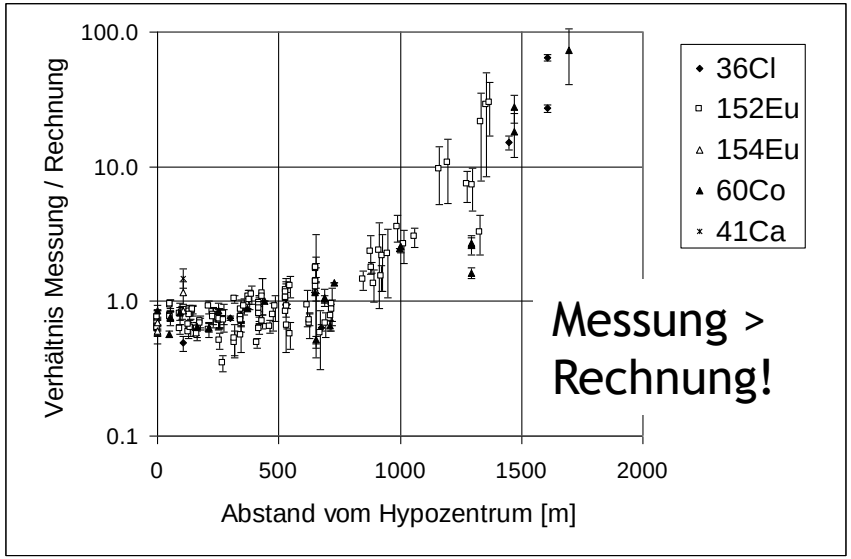
durch **schnelle** Neutronen in Isolatoren von Telegraphenleitungen



^{36}Cl $^{35}Cl(n_{th},\gamma)^{36}Cl$ $T_{1/2}$ = 300.000 y

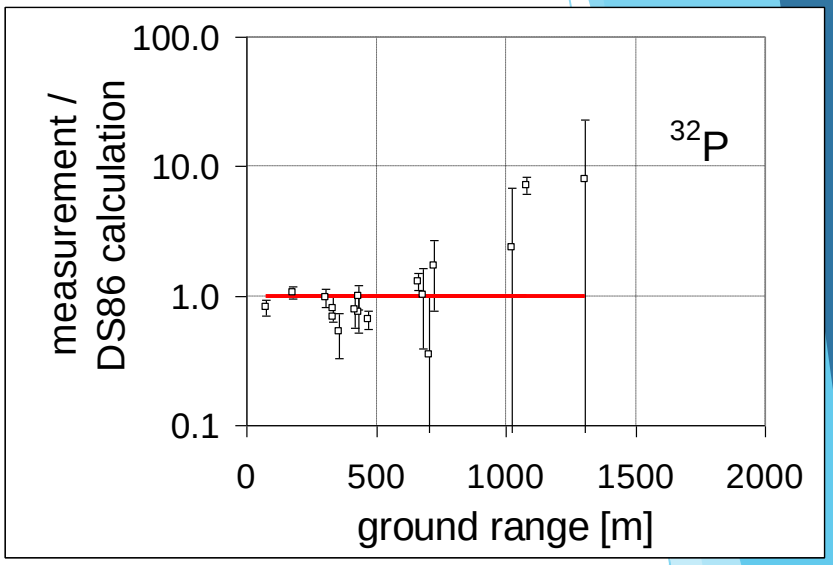
durch **langsame** Neutronen in Granit, Beton

Ergebnis – langsame Neutronen



Literatur, 1967 - 1998

Ergebnis – schnelle Neutronen



Yamasaki & Sugimoto 1953, Arakatsu 1953

„Hiroshima-Neutronendiskrepanz“

Messunsicher-heiten

>> US-Forschungs-programm

Forschungs-förderung

Stand der Wissenschaft

Retrospektive Bestimmung schneller Neutronen

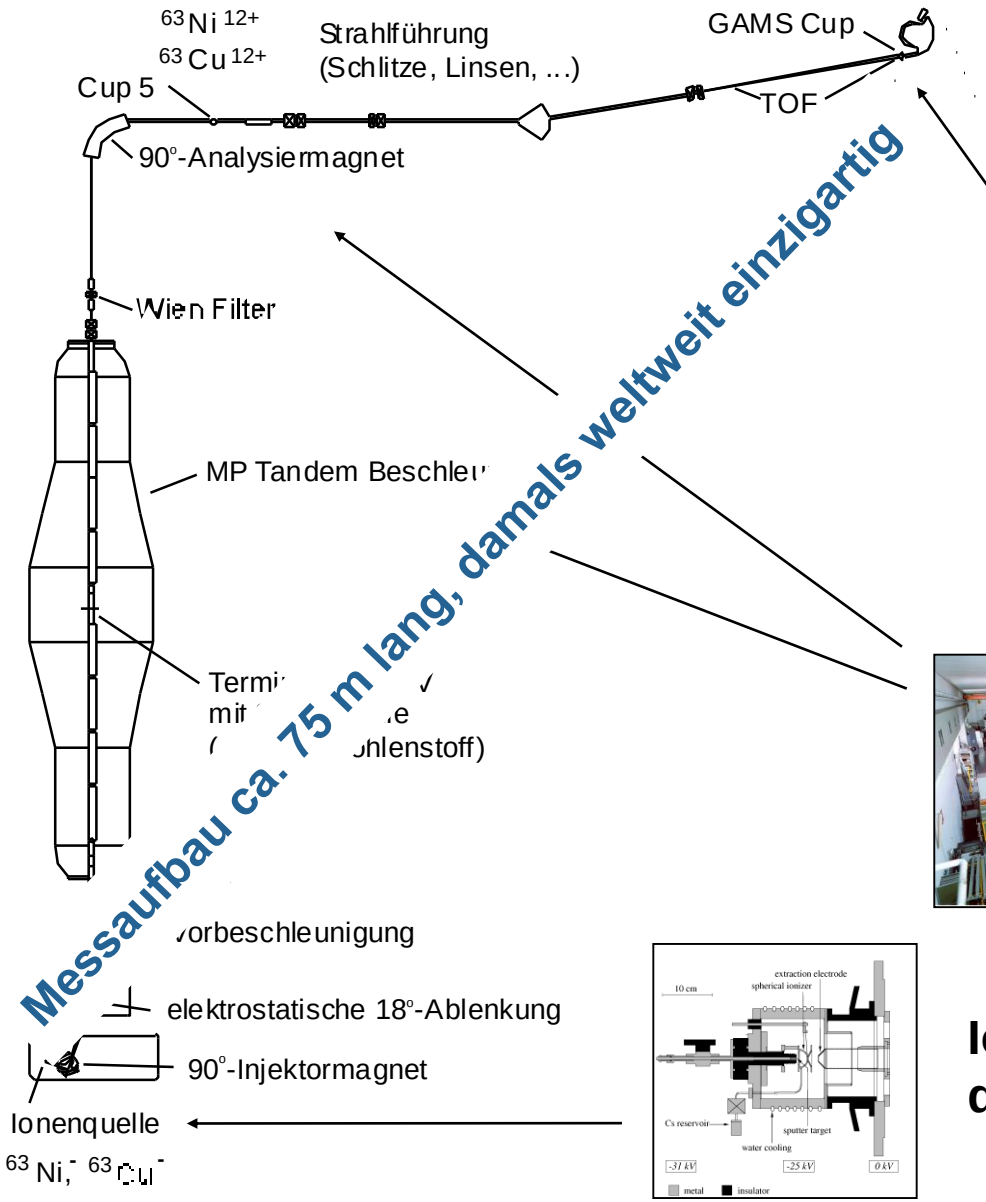
- Nachweis von **^{63}Ni** in Kupferproben aus Hiroshima (Vorschlag aus Japan, USA)
- produziert durch **schnelle** Neutronen: $^{63}Cu(n_f,p)^{63}Ni$
- Halbwertszeit: 100 Jahre

- Abschätzung: im Abstand von 1,500 m $^{63}Ni/^{63}Cu \approx 2x10^{-18}$

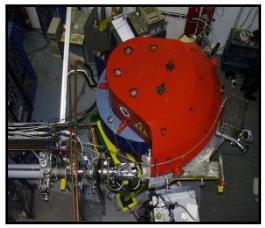
- Proben von RERF, Universität von Hiroshima
- Chemische Extraktion am LLNL, University of Utah
- Nachweis am Maier-Leibnitz-Laborator in Garching (LMU/TUM) bei München mittels **Beschleuniger-Massenspektrometrie**

Internationale Zusammenarbeit

^{63}Ni - Beschleuniger-Massenspektrometrie am Maier-Leibnitz-Labor in Garching



Messaufbau ca. 75 m lang, damals weltweit einzigartig



Detektor

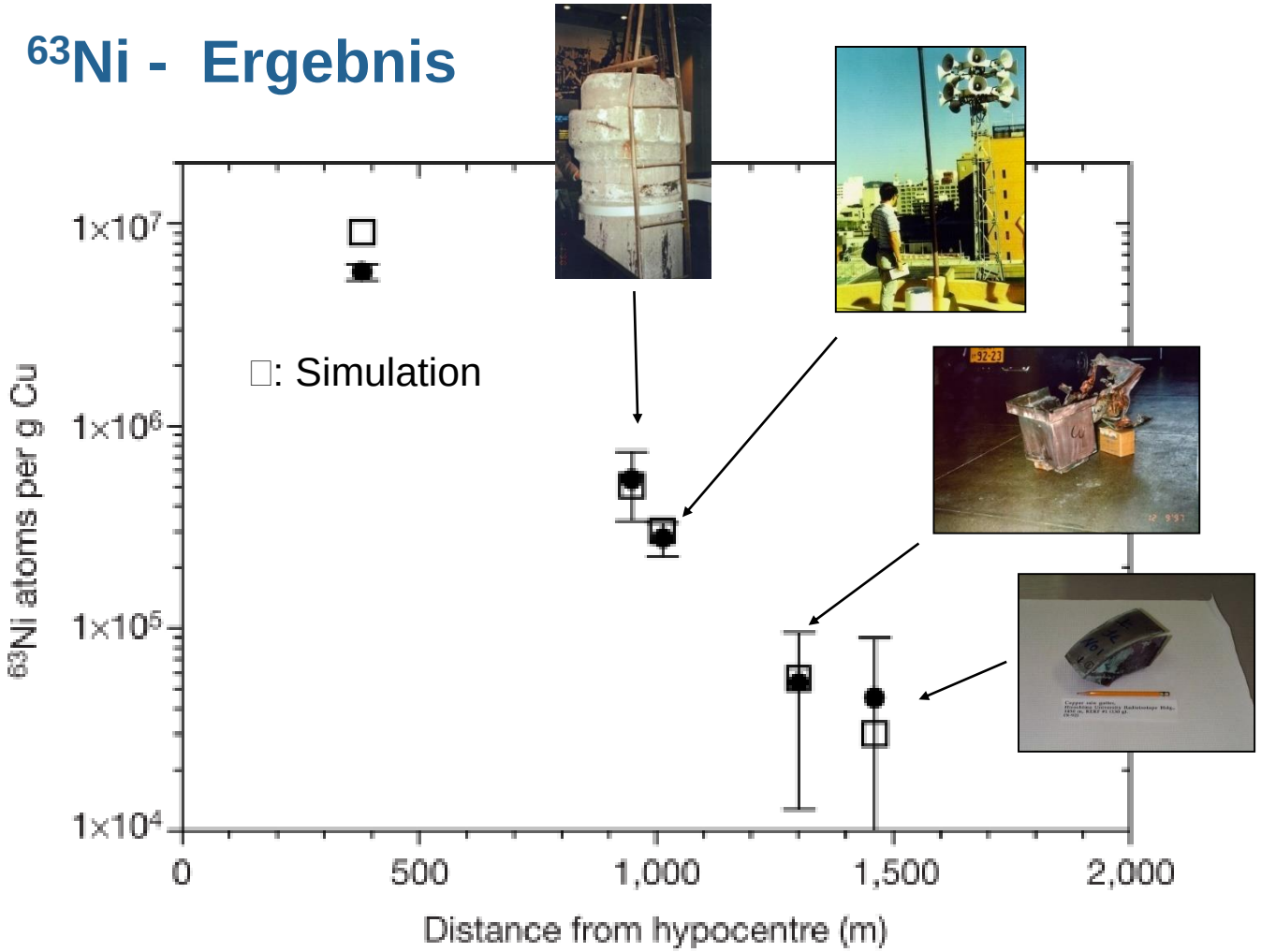
Analysemagnet

Beschleuniger

Ionen-quelle

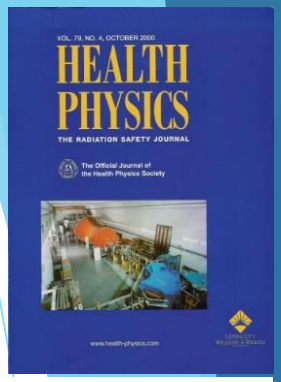
Existierende Forschungs-infrastruktur

^{63}Ni - Ergebnis



Keine signifikante Diskrepanz!

Ergebnis-offenheit



Rühm, Knie, Rugel, Marchetti, Faestermann, Wallner, Mc-Aninch, Straume, Korschinek. *Health Phys.* **79**, 358-364 (2000)

Straume, Rugel, Marchetti, Rühm, Korschinek, et al. *Nature* **424**, 539-542 (2003) + **430,** 483 (2004)

Retrospektive Bestimmung langsamer Neutronen

- Nachweis von **^{36}Cl** in Granitproben aus Hiroshima
- produziert durch **langsame** Neutronen: $^{35}Cl(n_{th},\gamma)^{36}Cl$
- Halbwertszeit: 300.000 Jahre

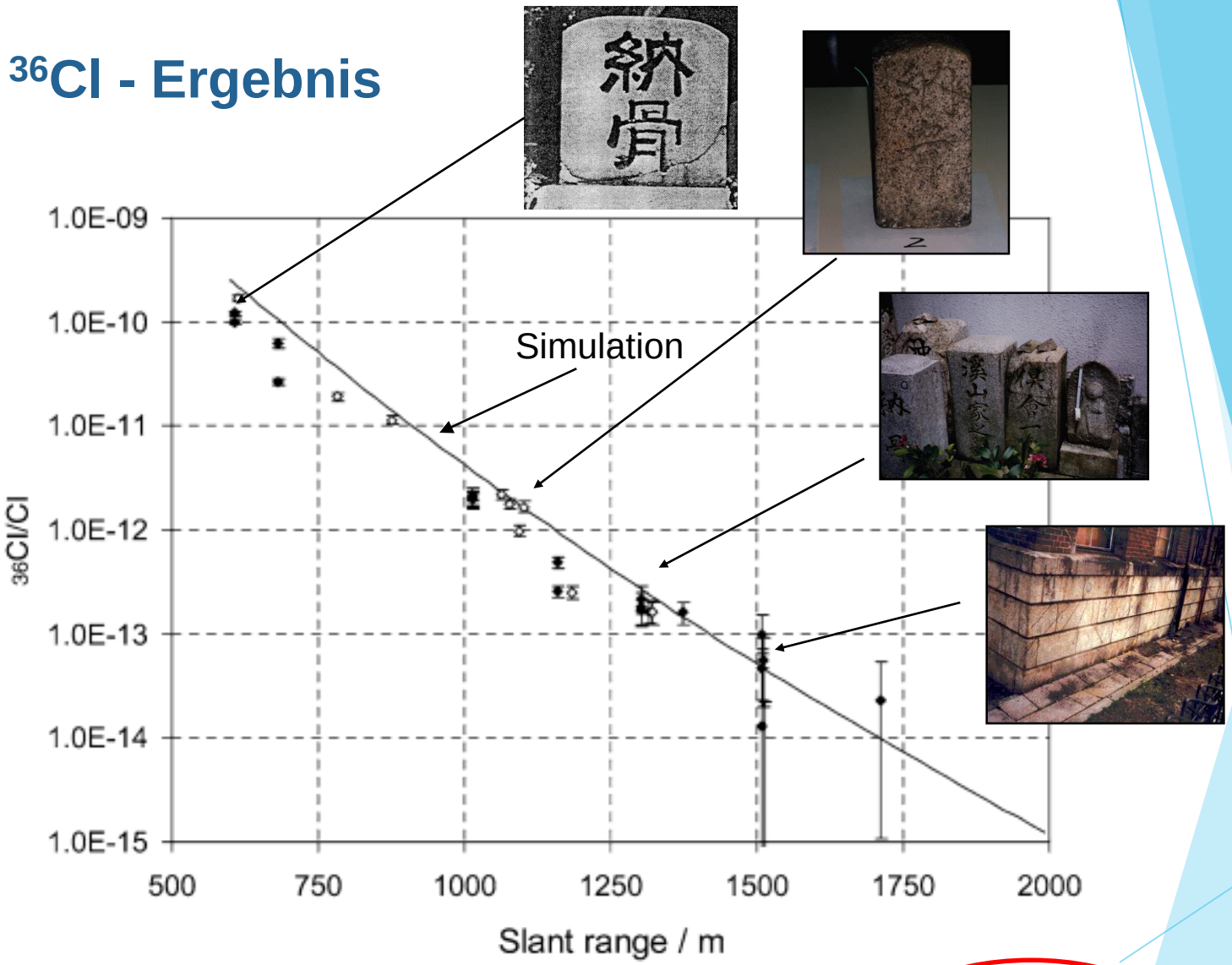
- Abschätzung: im Abstand von 1,500 m $^{36}Cl/Cl \approx 10^{-14}$

- Proben vom Hiroshima Pref. College of Health Science
- Probenaufbereitung in München
- Nachweis am Maier-Leibnitz-Labor in Garching bei München mit **Beschleuniger-Massenspektrometrie**

Reproduzier-barkeit

Internationale Zusammenarbeit

^{36}Cl - Ergebnis



Keine signifikante Diskrepanz!

Ergebnis-offenheit

Keine Neutronendiskrepanz beobachtet!!

- Überprüfung der Kalibrierproben √
- Vergleichsmessungen mit anderen Labors √
- Neue Proben aus Hiroshima √

Zwei Jahre Zeitverlust!

Selbsthinter-fragend

> Publikation

Huber T, Rühm W, Kato K, Egbert SD, Kubo F, Lazarev, V, Nolte E (2005) Radiat Environ Biophys 44: 75-86

Begutachtung (peer review)

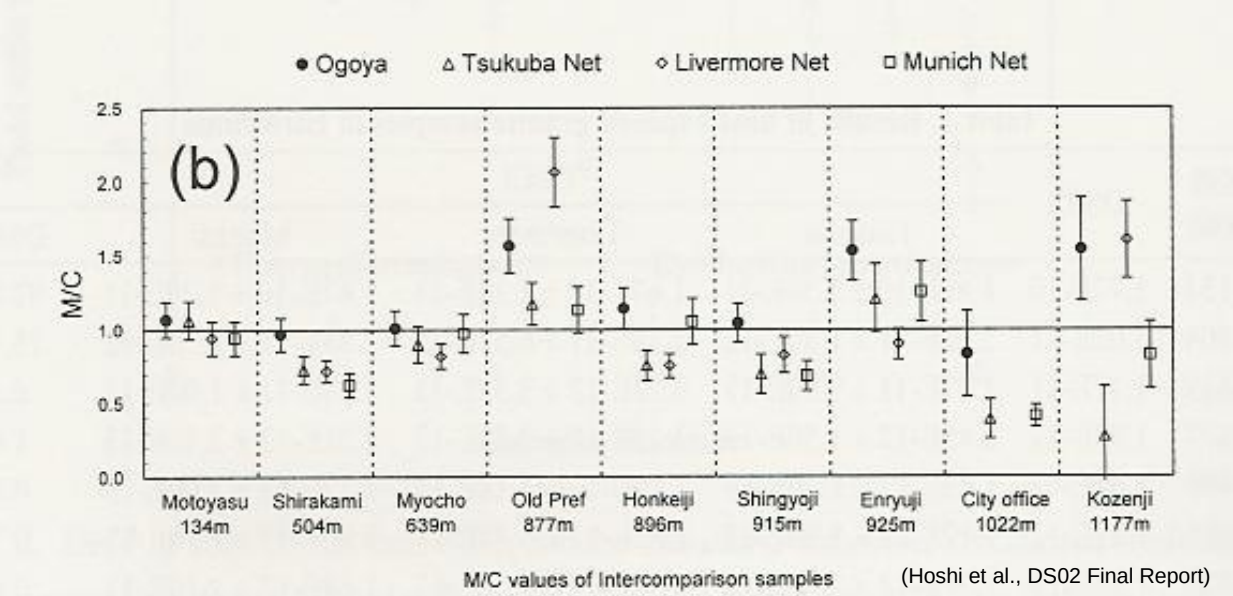
Wissenschaftliche Diskussion

Kurze Rekapitulation der Situation

- Jahrzehntelange Forschung von verschiedenen Einrichtungen aus verschiedenen Ländern, die mit verschiedenen Methoden verschiedenste Proben auf verschiedene Radionuklide untersucht hatten
- Allgemeiner Konsens, dass Messungen die Simulationen nicht bestätigten – „Neutronendiskrepanz“
- Viele der Messungen waren von japanischen Kollegen durchgeführt worden, aber auch von Kollegen aus den USA
- Die Simulationen waren an Forschungszentren in den USA durchgeführt worden (LLNL, LANL, …) (Kernwaffenproduktion!!)
- **Starke emotionale Komponente aus historischen Gründen**
  - Die Münchner Ergebnisse wurden äußerst kontrovers diskutiert (Publikationen, Konferenzen, Workshops, …)

Systematische Vergleichsstudie (Reset!)

- Unabhängige Sammlung neuer Proben durch japanische Kollegen
- Teilproben in Japan, USA, München auf ^{36}Cl und ^{152}Eu untersucht



M/C values of Intercomparison samples (Hoshi et al., DS02 Final Report)

Keine Neutronen-diskrepanz!

Ergebnis-offenheit

Zurückstellen eigener Befindlich-keiten

Reproduzier-barkeit

Wahrheits-anspruch

Gemein-sames Ziel

Neue Erkenntnisse möglich

Das Dosimetrie-System DS02

Alle Aspekte
wurden überprüft!

www.rerf.or.jp

- Explosionshöhe und -stärke
- Quellterm (Neutronen, Gammastrahlung)
- Strahlentransportrechnungen
- Probensammlung und -dokumentation
- Neuauswertung Stadtpläne
- Datenbank für Messergebnisse
- Dosimetrie für Gammastrahlung
- Neue Messungen thermischer Neutronen
- Neue Messungen schneller Neutronen
- Einflussfaktoren
- Abschirmung von Überlebenden
- Neuentwicklung der Dosimetrie
- DS02 Unsicherheitsanalyse

Wissenschaft geht weiter ..

Health Phys. 105: 140-149, 2013

WORKSHOP REPORT ON ATOMIC BOMB DOSIMETRY – Residual Radiation Exposure: Recent Research and Suggestions for Future Studies

George D. Kerr, Stephen D. Egbert, Isaf Al-Nabulsi, Harold L. Beck, Harry M. Cullings, Saturo Endo, Masaharu Hoshi, Tetsuji Imanaka, Dean C. Kaul, Satoshi Maruyama, Glen I. Reeves, Werner Rühm, Aya Sakaguchi, Steven L. Simon, Gregory D. Spriggs, Daniel O. Stram, Tetsuji Tonda, Joseph F. Weiss, Ronald L. Weitz, Robert W. Young

Health Phys 112(1): 56-97, 2017

Most Recent Update of Survivor Dosimetry in 2017: DS02 > DS02R1

H. Cullings, E. Grant, S. Egbert, T. Watanabe, T. Oda, F. Nakamura, T. Yamashita, H. Fuchi, S. Funamoto, K. Marumo, R. Sakata, Y. Kodama, K. Ozasa, K. Kodama. DS02R1: Improvements to atomic bomb survivors' input data and implementation of dosimetry system 2002 (DS02) and resulting changes in estimated doses,

Health Phys. 109: 582-600, 2015

WORKSHOP REPORT ON ATOMIC BOMB DOSIMETRY – REVIEW OF DOSE RELATED FACTORS FOR THE EVALUATION OF EXPOSURES TO RESIDUAL RADIATION AT HIROSHIMA AND NAGASAKI

George D. Kerr, Stephen D. Egbert, Isaf Al-Nabulsi, Ian K. Bailiff, Harold L. Beck, I.G. Belukha, J.E. Cockayne, H.M. Cullings, K.F. Eckerman, E. Granovskaya, E.J. Grant, M. Hoshi, D.C. Kaul, V. Kryuchkov, D. Mannis, M. Ohtaki, K. Otani, S. Shinkarev, S.L. Simon, G.D. Spriggs, V.F. Stepanenko, D. Stricklin, J.F. Weiss, R.L. Weitz, C. Woda, P.R. Worthington, K. Yamamoto, R.W. Young

Offen für neue Erkenntnisse

Wissenschaft für die Endlagersuche

Forschungs-infrastruktur

Internationale Zusammenarbeit

Unabhängige Überprüfung

Begutachtung (peer review)

Offen für neue Erkenntnisse

Selbsthinter-fragend

Ergebnis-offenheit

Wissenschaftliche Diskussion

Messunsicher-heiten

Forschungs-förderung

Zurückstellen eigener Befindlich-keiten

Wahrheits-anspruch

Gemein-sames Ziel

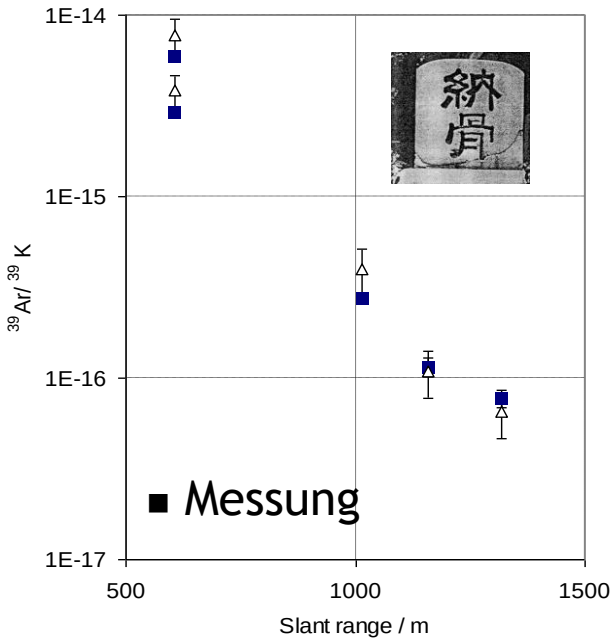
Stand der Wissenschaft

Reproduzier-barkeit

…

Vielen Dank!

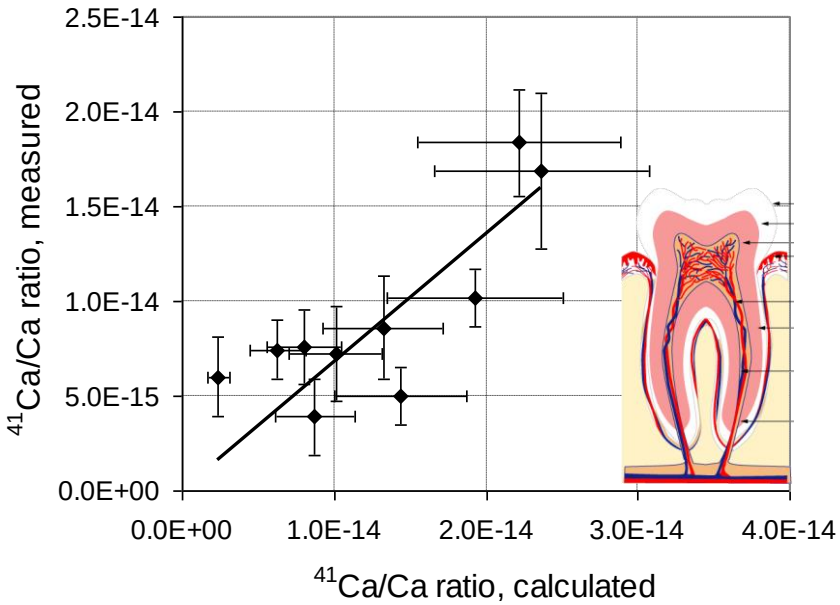
^{39}Ar (269 y) in Granit (schnelle Neutronen)



- Deutlich geringere Unsicherheiten als bei ^{63}Ni
- Auch Proben aus Nagasaki vorhanden

E. Nolte, W. Rühm, H. Loosli, I. Tolstikhin, K. Kato, T. Huber, S. Egbert, Radiat Environ Biophys (2006)

^{41}Ca (100.000 y) in Zahnschmelz (thermische Neutronen)



- Erstmalige Signatur von Neutronen-strahlung in Gewebeproben

Wallner, W. Rühm, G. Rugel, N. Nakamura, A. Arazi, T. Faestermann, K. Knie, H.J. Maier, G. Korschinek. ^{41}Ca in tooth enamel – Part I: A biological signature of neutron exposure in atomic-bomb survivors. Radiat Res 174, 137-145 (2010).

W. Rühm, A. Wallner, H. Cullings, S.D. Egbert, N. El-Faramawy, T. Faestermann, D. Kaul, K. Knie, G. Korschinek, N. Nakamura, J. Roberts, G. Rugel. ^{41}Ca in tooth enamel – Part II: A means for retrospective biological neutron dosimetry in atomic bomb survivors. Radiat Res 174, 146-154 (2010).