

Retrospektive Dosimetrie nach einem radiologischen Unfall: Wie ein Mobiltelefon nützlich sein kann

Michael Discher, Dr. Dipl.-Phys.

Young Scientist & Professionals des österreichischen Strahlenschutzverbandes
Besuch des radiologischen Messlabors des Landes Salzburg (RMLS)

25. Nov. 2022

Übersicht

Part 1: Grundlegendes

- Warum benötigen wir Notfalldosimeter?
- Welche Voraussetzungen gibt es?
- Beispiele

Part 2: Display Glas als Notfalldosimeter

- Systematische Untersuchung der dosimetrischen Eigenschaften für die Entwicklung eines robusten Messprotokolls

Part 3: Weitere Eigenschaften

- Untersuchung der Energie- und Winkelabhängigkeit
- MCNP Simulationen vs. Experimente

Part 4: Bestrahlungstests

- Realistische Test des Protokolls

Warum benötigen wir Notfalldosimeter?

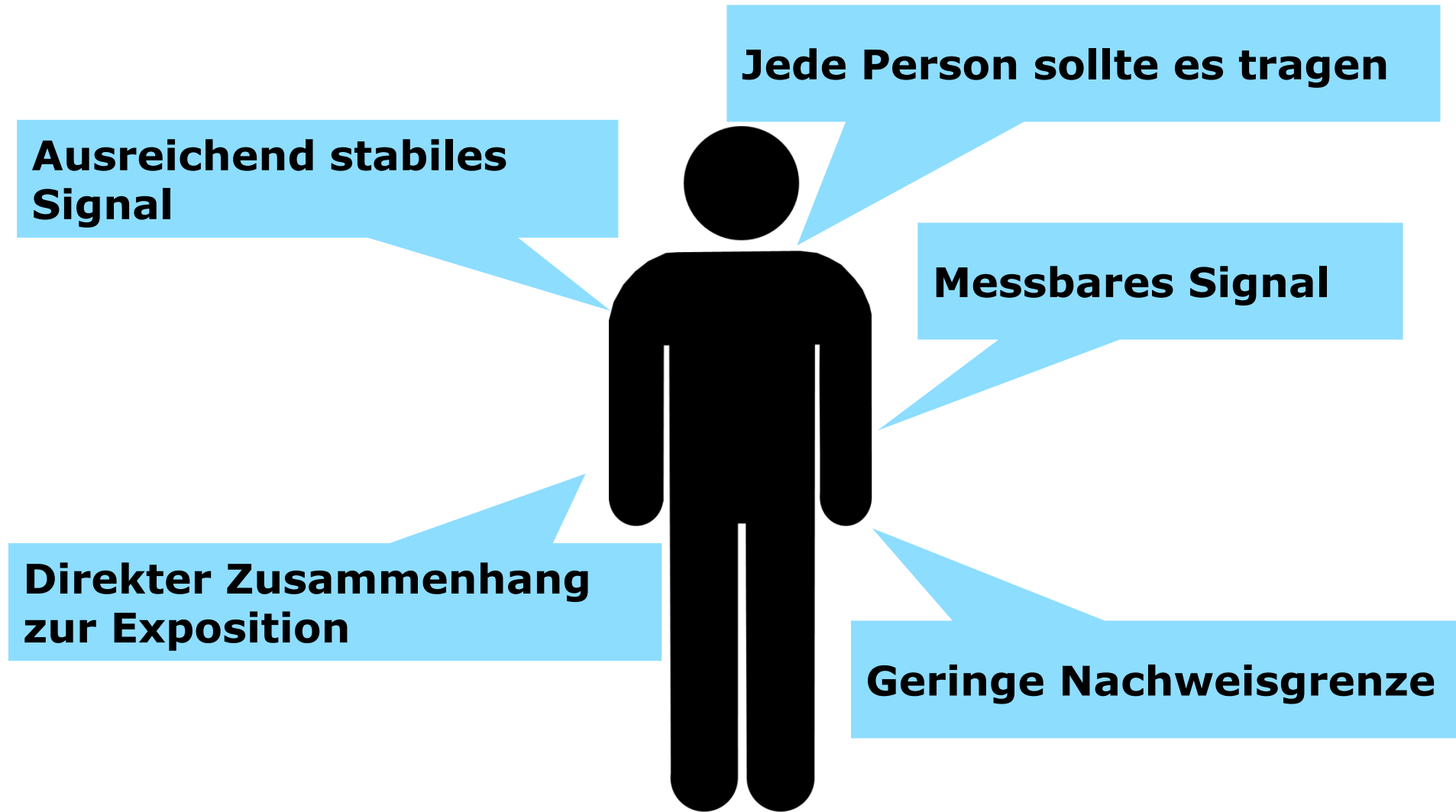
- Rekonstruktion der Expositionsdosis nach einem Unfall
- Triage in einem Massenanfall



Allgemeinbevölkerung trägt keine offiziellen Personendosimeter

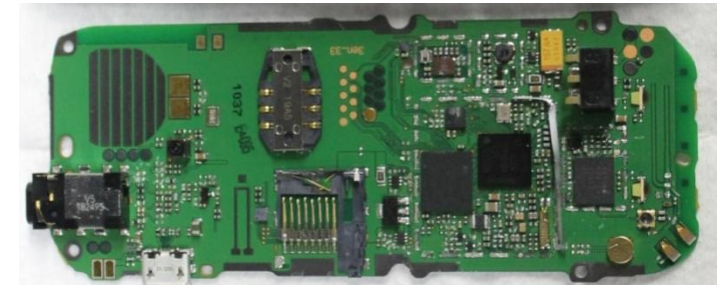


Welche Voraussetzungen gibt es für Notfalldosimeter?



Beispiele für mögliche Notfalldosimeter

- **Chip Karten** (z.B. SIM-Karten, Bank Karten) mit amorphen Silikate als Füllmaterial
- **Elektronische Komponenten** auf der Platine des Mobiltelefons:
 - Widerstände, Kondensatoren, Induktivitäten aus einem Keramiksubstrat (Al_2O_3)
 - Chips mit integriertem Schaltkreis (IC Chips)
- **Touchscreen Glas** (außerhalb des Mobiltelefons)
- **Display Glas** (innerhalb des Mobiltelefons)
- **Andere Gegenstände:** Plastikkarten, Geldscheine, Silikate in Staub und persönlichen Gegenständen (z.B. Münzen, Zigaretten), Stoffe und Kleidung



Übersicht

Part 1: Grundlegendes

- Warum benötigen wir Notfalldosimeter?
- Welche Voraussetzungen gibt es?
- Beispiele

Part 2: Display Glas als Notfalldosimeter

- Systematische Untersuchung der dosimetrischen Eigenschaften für die Entwicklung eines robusten Messprotokolls

Part 3: Weitere Eigenschaften

- Untersuchung der Energie- und Winkelabhängigkeit
- MCNP Simulationen vs. Experimente

Part 4: Bestrahlungstests

- Realistische Test des Protokolls

Display Glas als Notfalldosimeter

Dosimetrische Eigenschaften

Ausreichend stabiles
Signal

Jede Person sollte es tragen

Ok ✓

Messbares Signal

Direkter Zusammenhang
zur Exposition

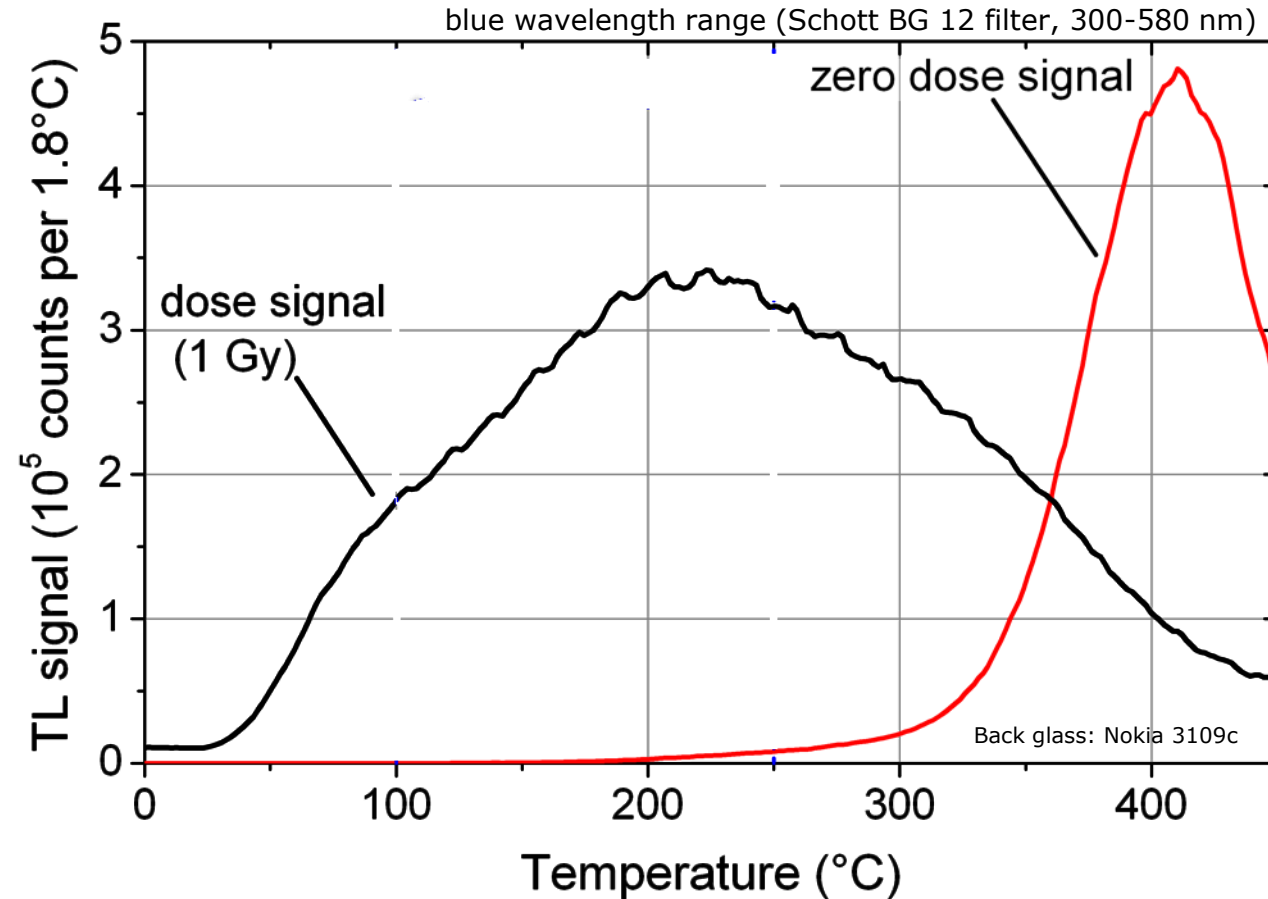
Geringe Nachweisgrenze



Display Glas als Notfalldosimeter

Dosimetrische Eigenschaften

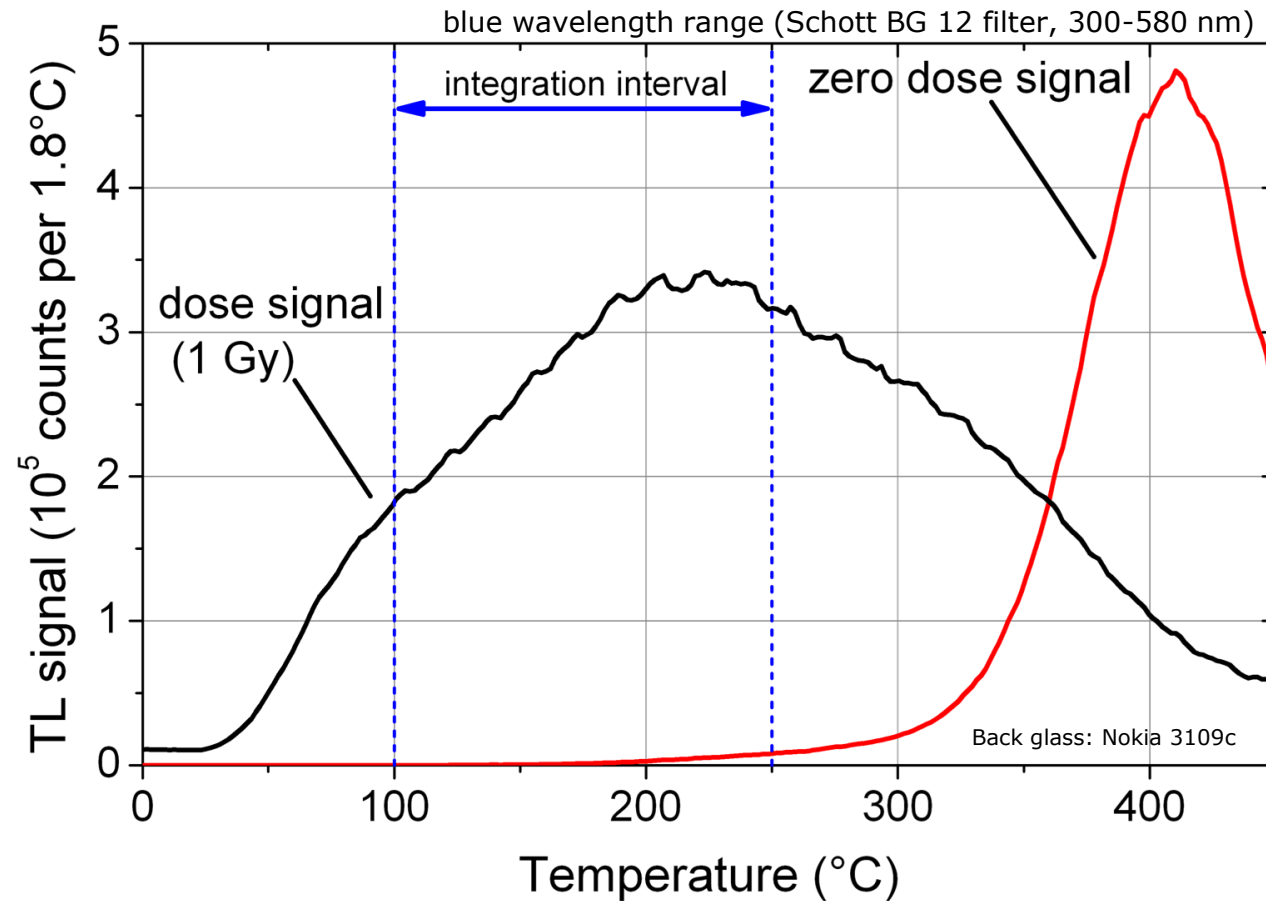
- TL Signal (nach Bestrahlung)
- Intrinsisches Background Signal (nicht strahlen-induziertes Signal)



Display Glas als Notfalldosimeter

Dosimetrische Eigenschaften

- TL Signal (nach Bestrahlung)
- Intrinsisches Background Signal (nicht strahlen-induziertes Signal)
=> Limitiert das obere Integrationsfenster



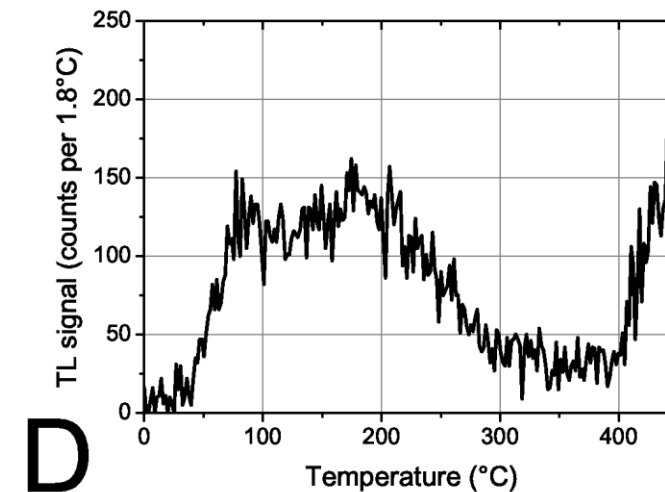
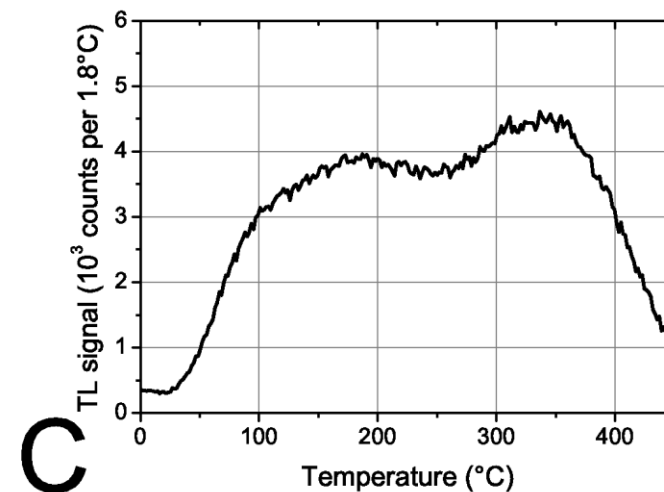
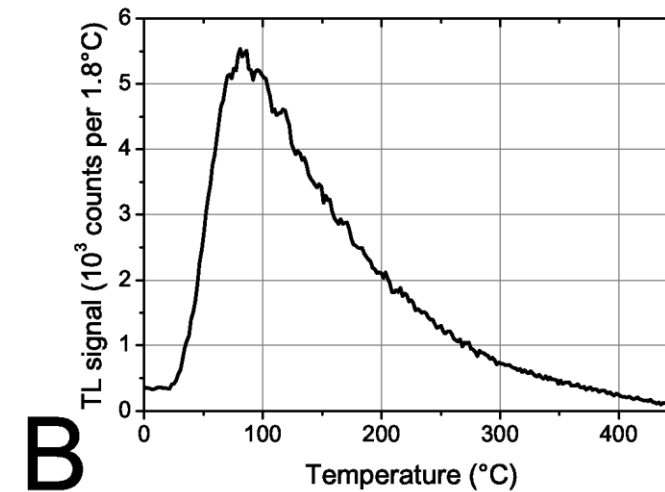
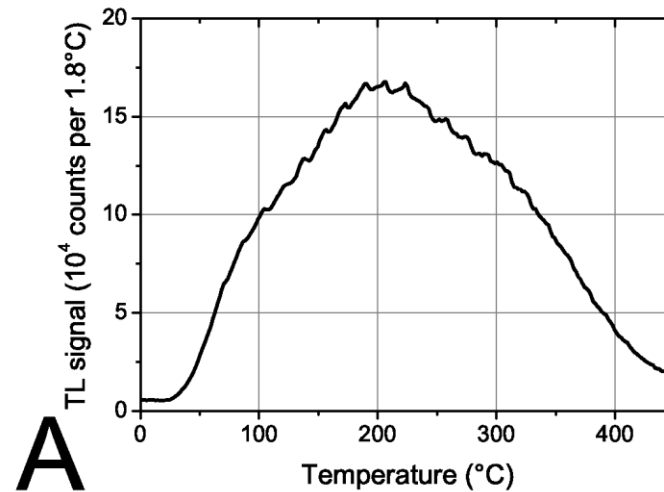
Display Glas als Notfalldosimeter

Dosimetrische Eigenschaften

- Kategorien der TL Leuchtkurven (ungebleicht)

Messprotokoll:

- T_{\max} : 450°C
- Heizrate: 2°C/s
- mit thermischer BG Korrektur



Display Glas als Notfalldosimeter

Dosimetrische Eigenschaften

Ausreichend stabiles
Signal

Direkter Zusammenhang
zur Exposition

Jede Person sollte es tragen

Ok ✓

Messbares Signal

Ok ✓

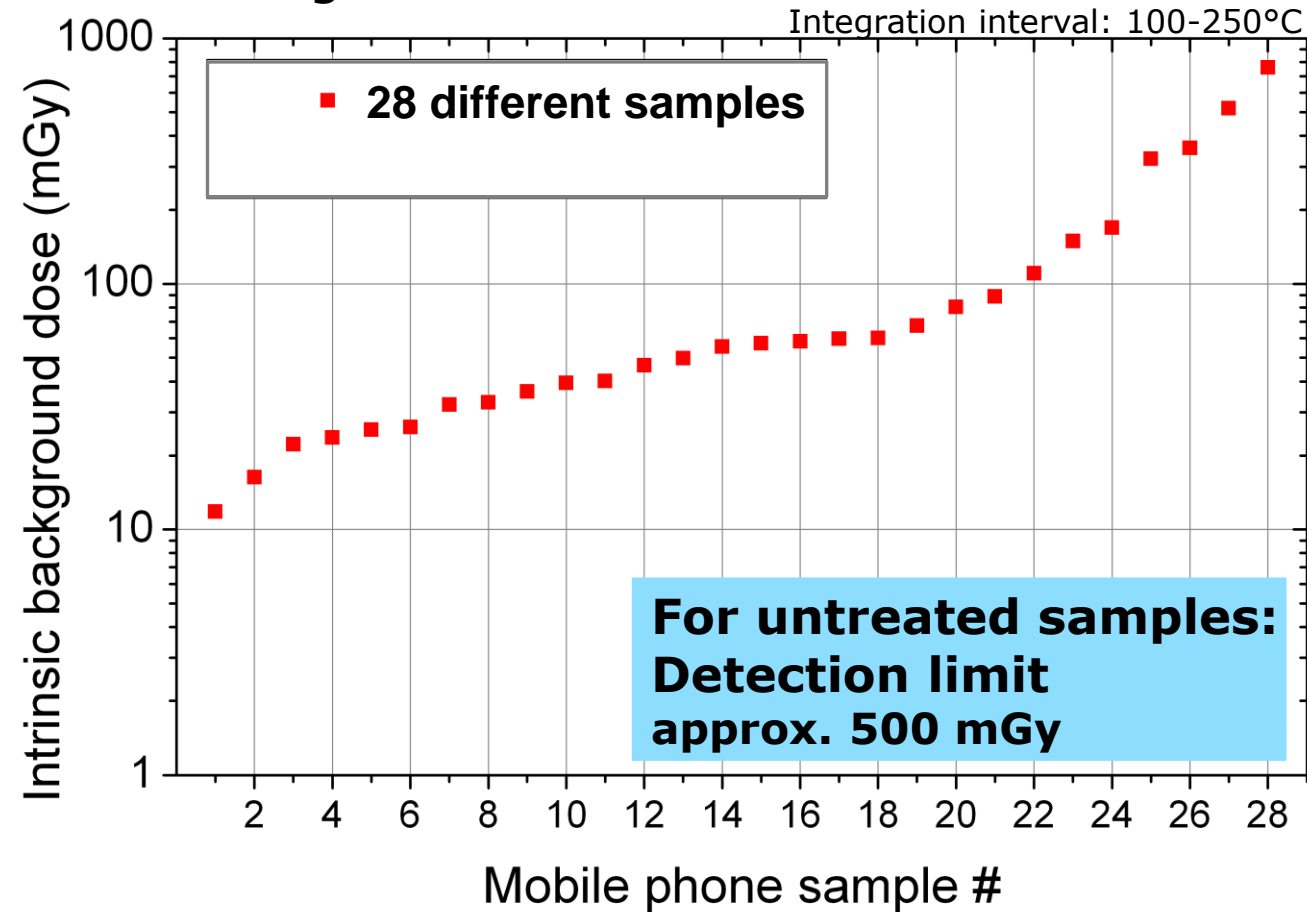
Geringe Nachweisgrenze



Display Glas als Notfalldosimeter

Dosimetrische Eigenschaften

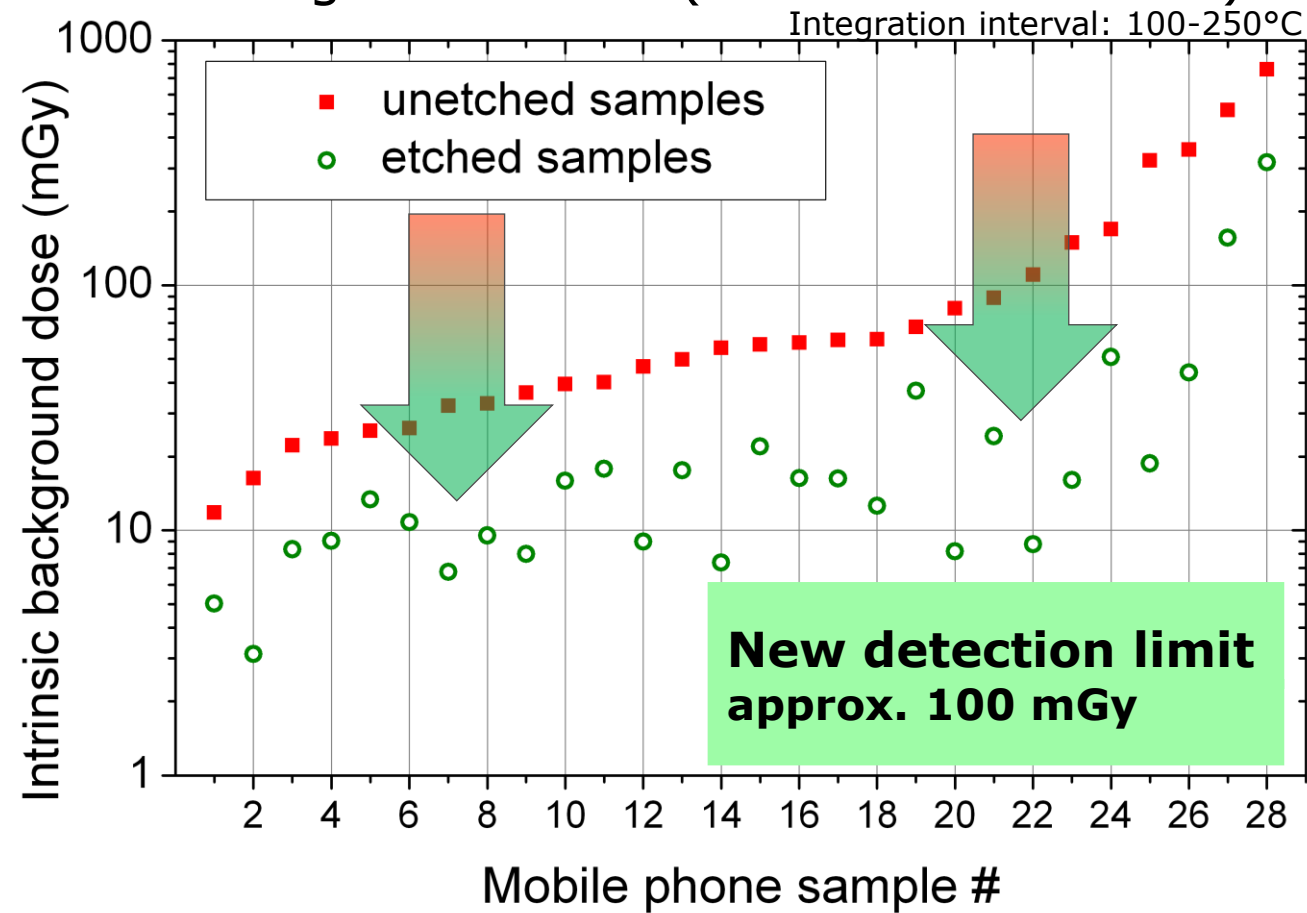
- Intrinsische Background Dosis



Display Glas als Notfalldosimeter

Dosimetrische Eigenschaften

- Intrinsische Background Dosis (4 min Ätzen mit HF)



Display Glas als Notfalldosimeter

Dosimetrische Eigenschaften

Ausreichend stabiles
Signal

Jede Person sollte es tragen

Ok ✓

Messbares Signal

Ok ✓

Direkter Zusammenhang
zur Exposition

Geringe Nachweisgrenze

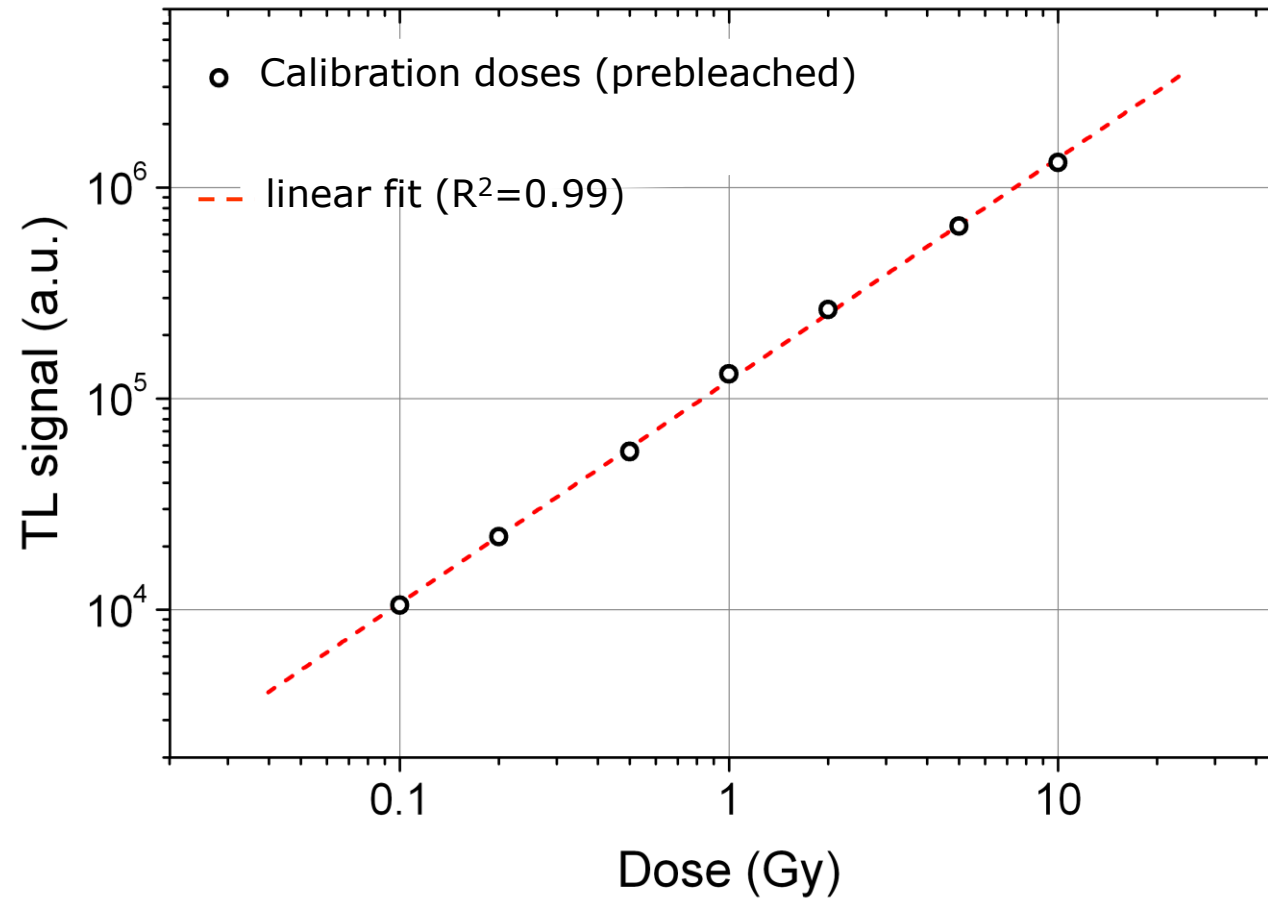
Ok ✓



Display Glas als Notfalldosimeter

Dosimetrische Eigenschaften

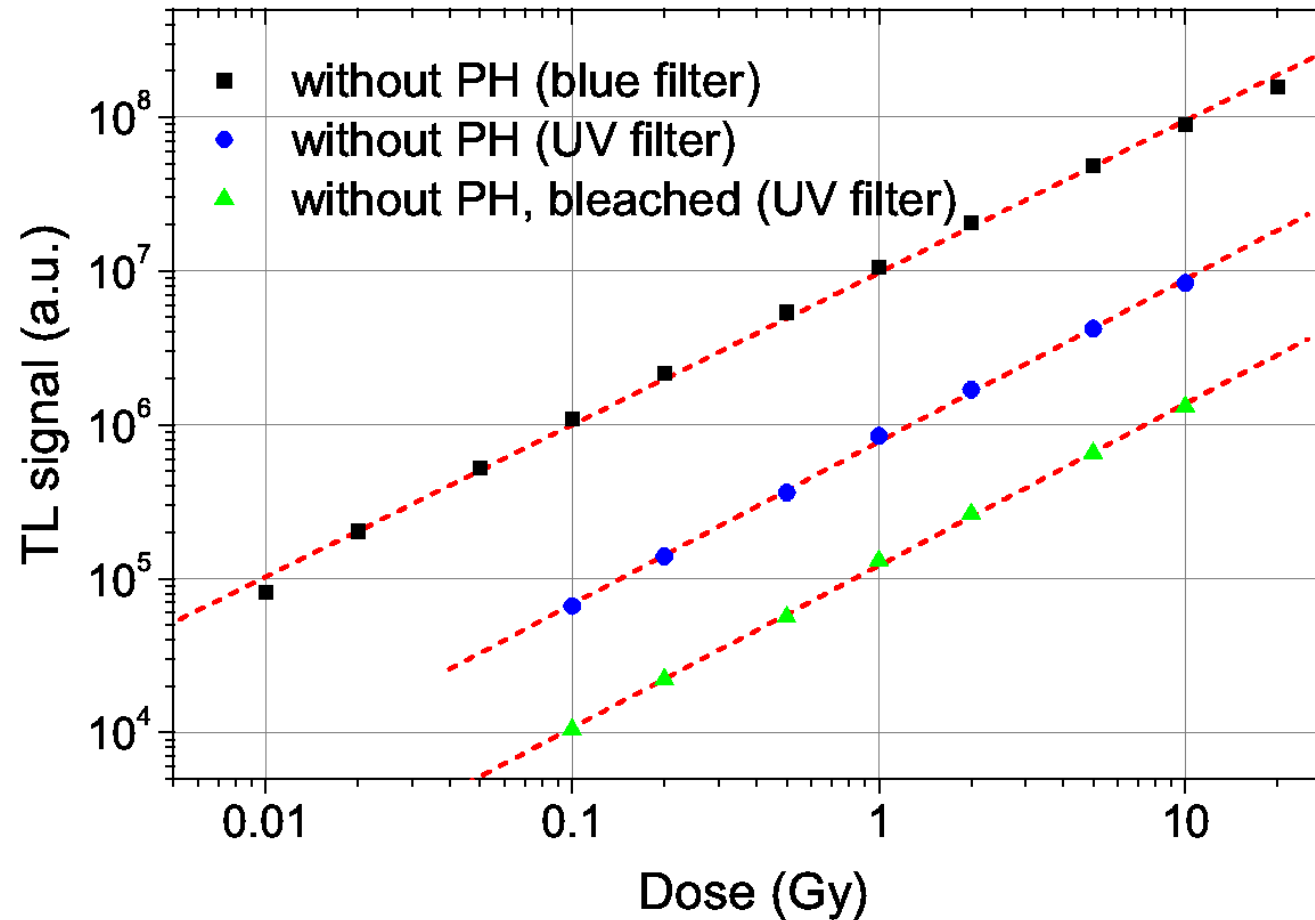
- Dosis-Wachstum Verhalten



Display Glas als Notfalldosimeter

Dosimetrische Eigenschaften

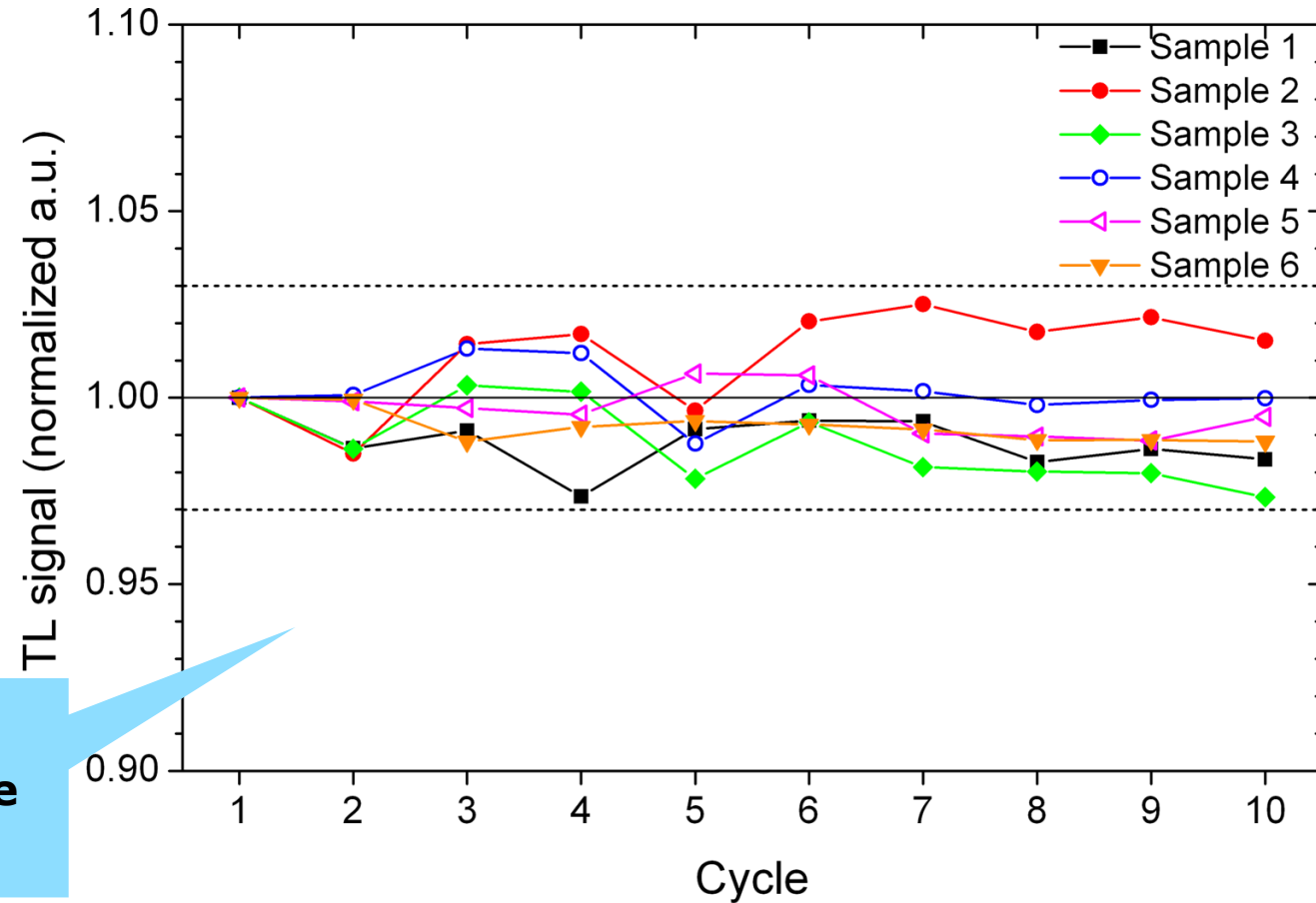
- Dosis-Wachstum Verhalten (unterschiedliche Messprotokolle)



Display glass as an emergency dosimeter

Dosimetric properties

- Reproduzierbarkeit TL Signal



Changes are within 3% compared to the first measurement

Display Glas als Notfalldosimeter

Dosimetrische Eigenschaften

**Ausreichend stabiles
Signal**

Jede Person sollte es tragen

Ok ✓

Messbares Signal

Ok ✓

**Direkter Zusammenhang
zur Exposition**

Ok ✓

Geringe Nachweisgrenze

Ok ✓

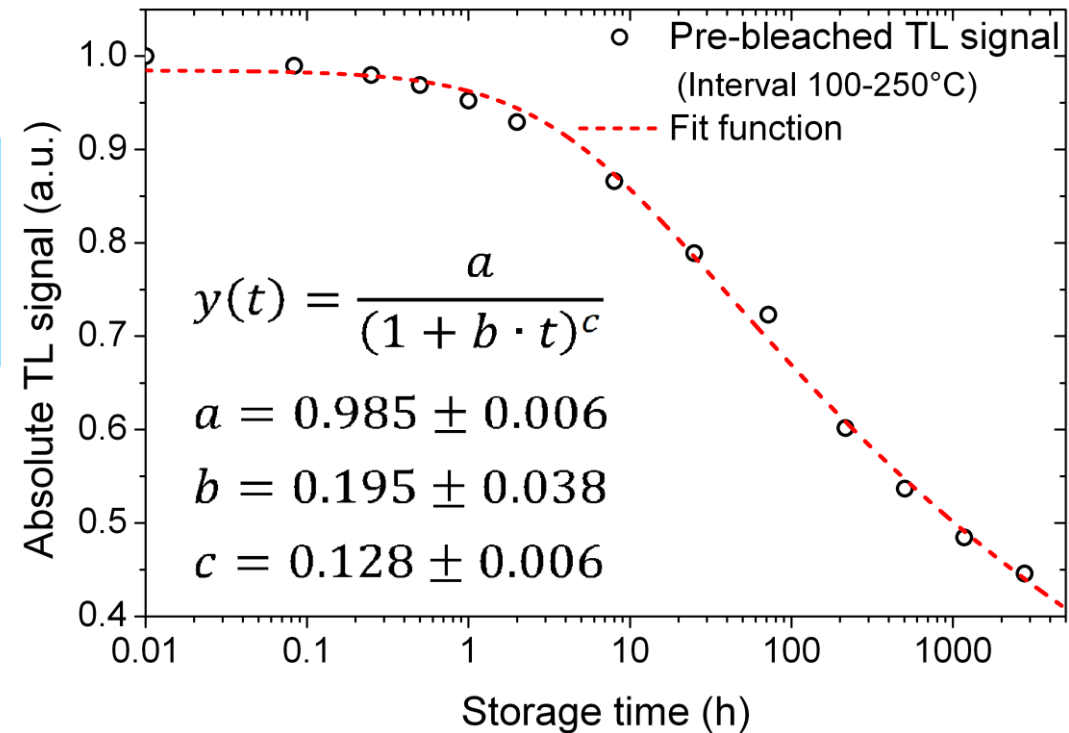


Display Glas als Notfalldosimeter

Dosimetrische Eigenschaften

- Signal Stabilität (Fading)

**Empirical fading function $y(t)$
to calculate the fading
correction factor**



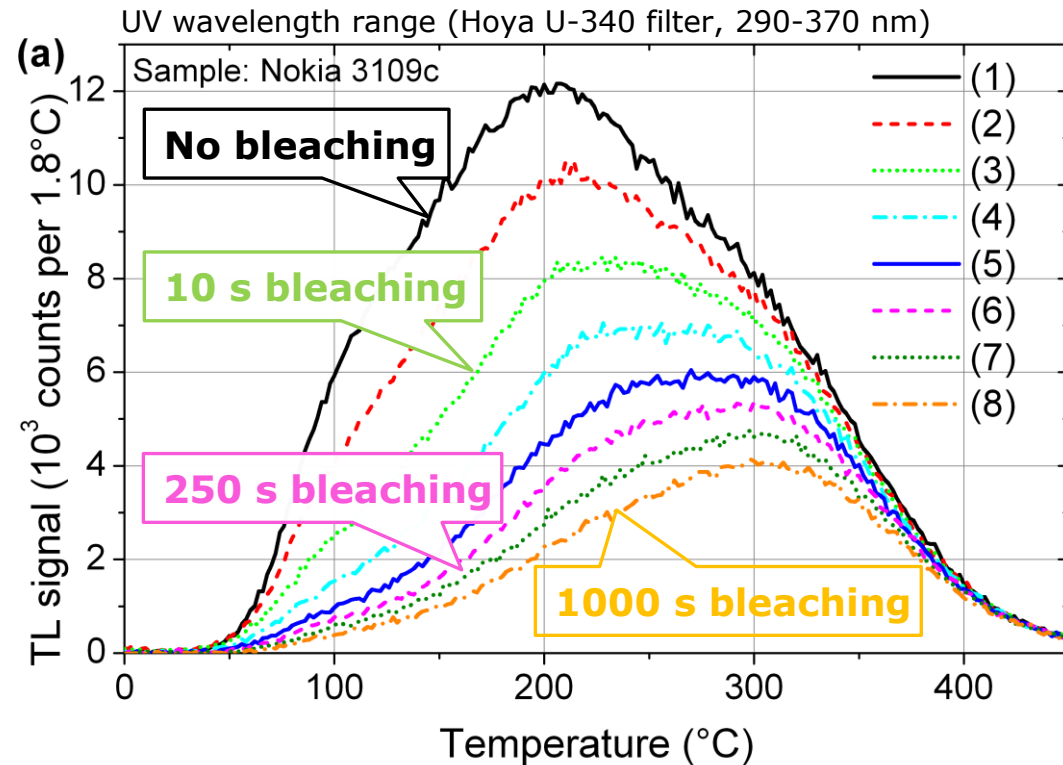
Display Glas als Notfalldosimeter

Dosimetrische Eigenschaften

- Optische Signal Stabilität (Bleichbarkeit)

Light exposure times with blue LEDs of the TL reader (470 nm; 36 mW/cm²):

- (1) 0 s
- (2) 2 s
- (3) 10 s
- (4) 40 s
- (5) 120 s
- (6) 250 s
- (7) 500 s
- (8) 1000 s



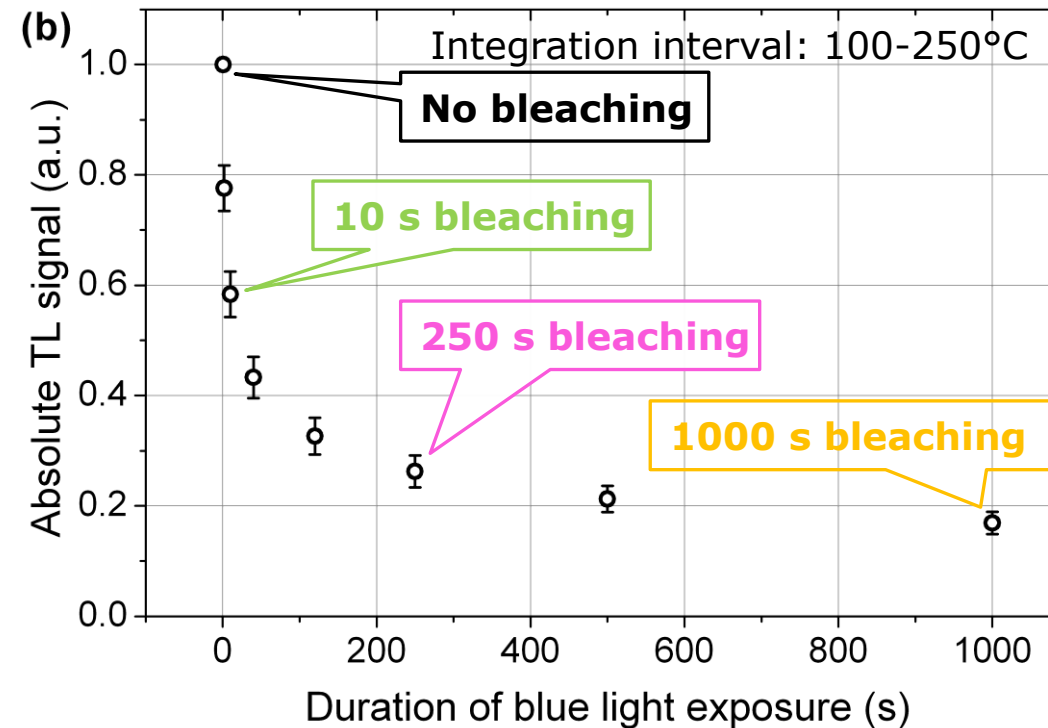
Display Glas als Notfalldosimeter

Dosimetrische Eigenschaften

- Optische Signal Stabilität (Bleichbarkeit)

Light exposure times with blue LEDs of the TL reader (470 nm; 36 mW/cm²):

- (1) 0 s
- (2) 2 s
- (3) 10 s
- (4) 40 s
- (5) 120 s
- (6) 250 s
- (7) 500 s
- (8) 1000 s



Display Glas als Notfalldosimeter

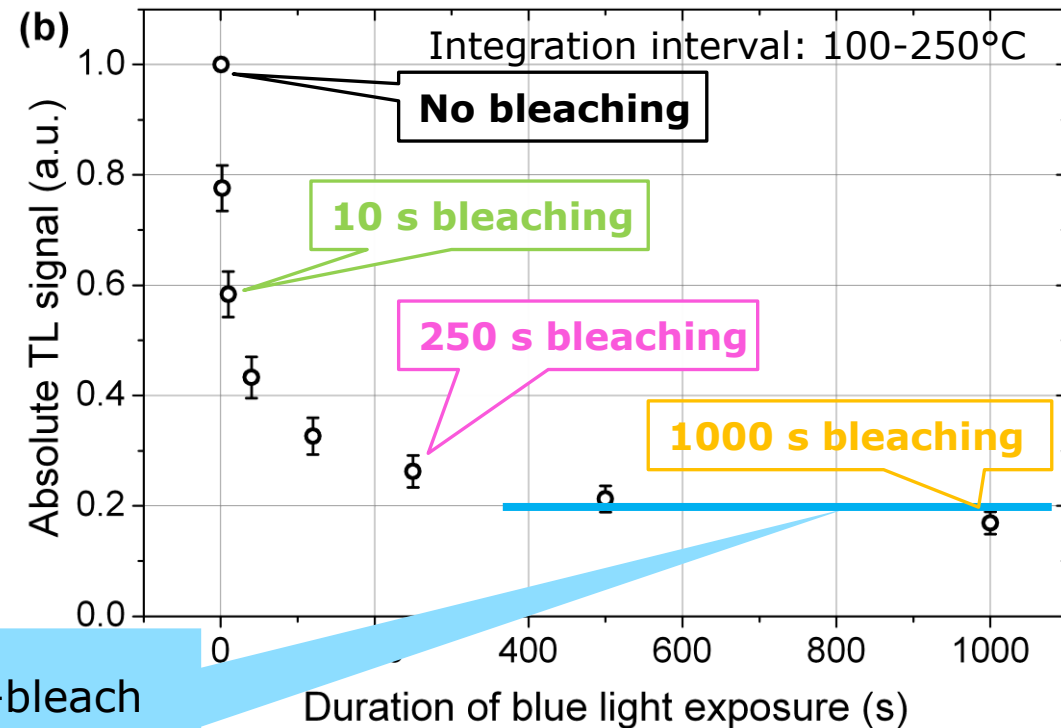
Dosimetrische Eigenschaften

- Optische Signal Stabilität (Bleichbarkeit)

Light exposure times with blue LEDs of the TL reader (470 nm; 36 mW/cm²):

- (1) 0 s
- (2) 2 s
- (3) 10 s
- (4) 40 s
- (5) 120 s
- (6) 250 s
- (7) 500 s
- (8) 1000 s

Dosimetry on the hard-to-bleach component(s) of the TL signal (**500 s pre-bleaching**)



Display Glas als Notfalldosimeter

Dosimetrische Eigenschaften

Ausreichend stabiles Signal

Ok ✓

Jede Person sollte es tragen

Ok ✓

Messbares Signal

Ok ✓

Direkter Zusammenhang zur Exposition

Ok ✓

Geringe Nachweisgrenze

Ok ✓



Display Glas als Notfalldosimeter

Dosimetrische Eigenschaften

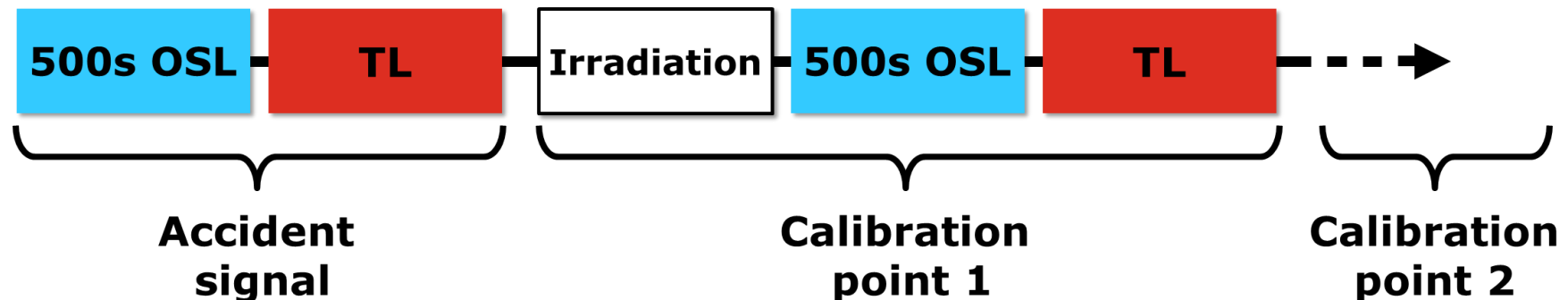
Standard Protocol: "pre-bleached with blue LEDs"

TL Messung nach 500 s vorbleichen (blaue LEDs des Messgeräts
(470 nm, ca. 36 mW/cm² optische Leistung)

➡ Dosimetrie mittels schwer-bleichbare Komponenten des TL Signals
(Bleichgrad der Probe ist meist unbekannt)

TL Messparameter (mit BG korrektur):

$T_{\max} = 450^{\circ}\text{C}$; Heizrate $\beta = 2^{\circ}\text{C/s}$



Display Glas als Notfalldosimeter

Laufende Forschung

Weiterentwicklung der Messprotokolle:

- PTTL (photo-transferred TL)
- Ta-OSL (thermal-assisted OSL)

Ziel:

- ⑩ **Verbesserung und Optimierung** der Protokolle
- ⑩ **Kombination der entwickelten Protokolle** um die Exposition zu rekonstruieren (z.B. als forensisches Tool)



Übersicht

Part 1: Grundlegendes

- Warum benötigen wir Notfalldosimeter?
- Welche Voraussetzungen gibt es?
- Beispiele

Part 2: Display Glas als Notfalldosimeter

- Systematische Untersuchung der dosimetrischen Eigenschaften für die Entwicklung eines robusten Messprotokolls

Part 3: Weitere Eigenschaften

- Untersuchung der Energie- und Winkelabhängigkeit
- MCNP Simulationen vs. Experimente

Part 4: Bestrahlungstests

- Realistische Test des Protokolls

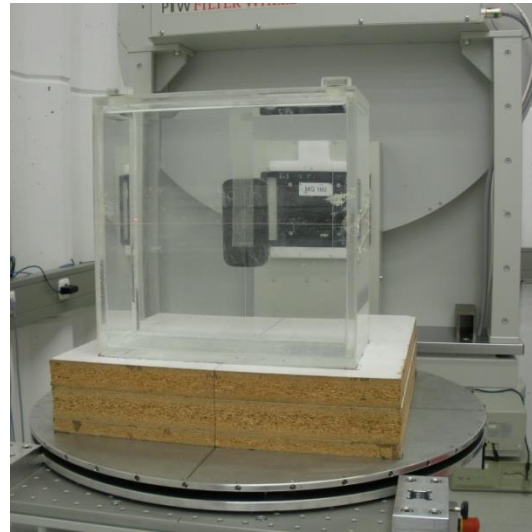
Display Glas als Notfalldosimeter

Dosimetrische Eigenschaften

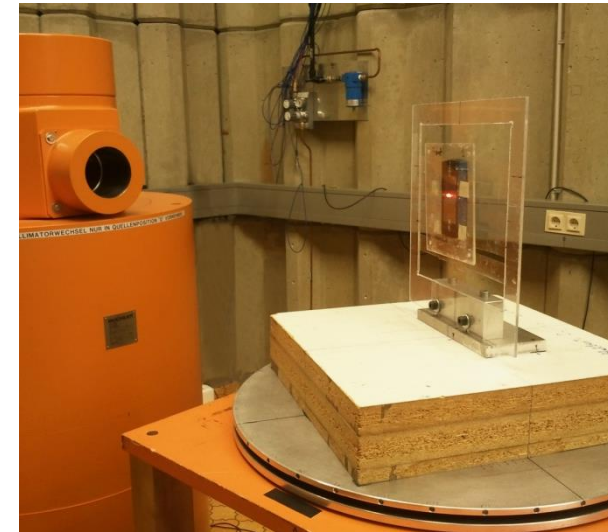
X-ray und Gamma Bestrahlungen am Helmholtz Zentrum München



Präpariertes Mobiltelefon mit Lücke für Glasprobe (ca. 5x5 mm²) für Glasdisplay Stück



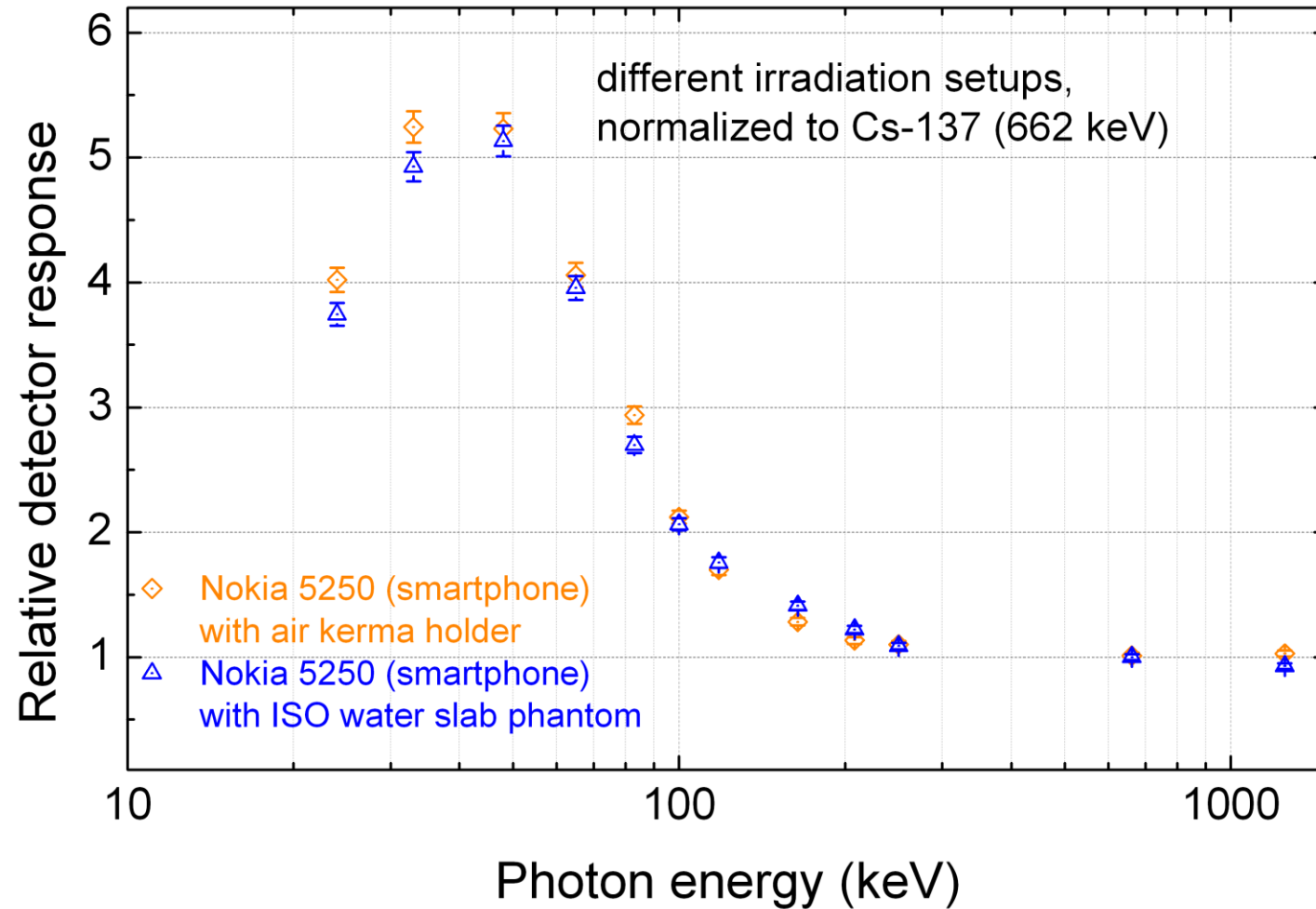
X-ray Bestrahlung (N-Series) des Mobiltelefons, fixiert an einem ISO Wasser-Phantom



Cs-137 oder Co-60 Gamma Bestrahlung an der Buchler Quelle (Luftkerma Bedingung)

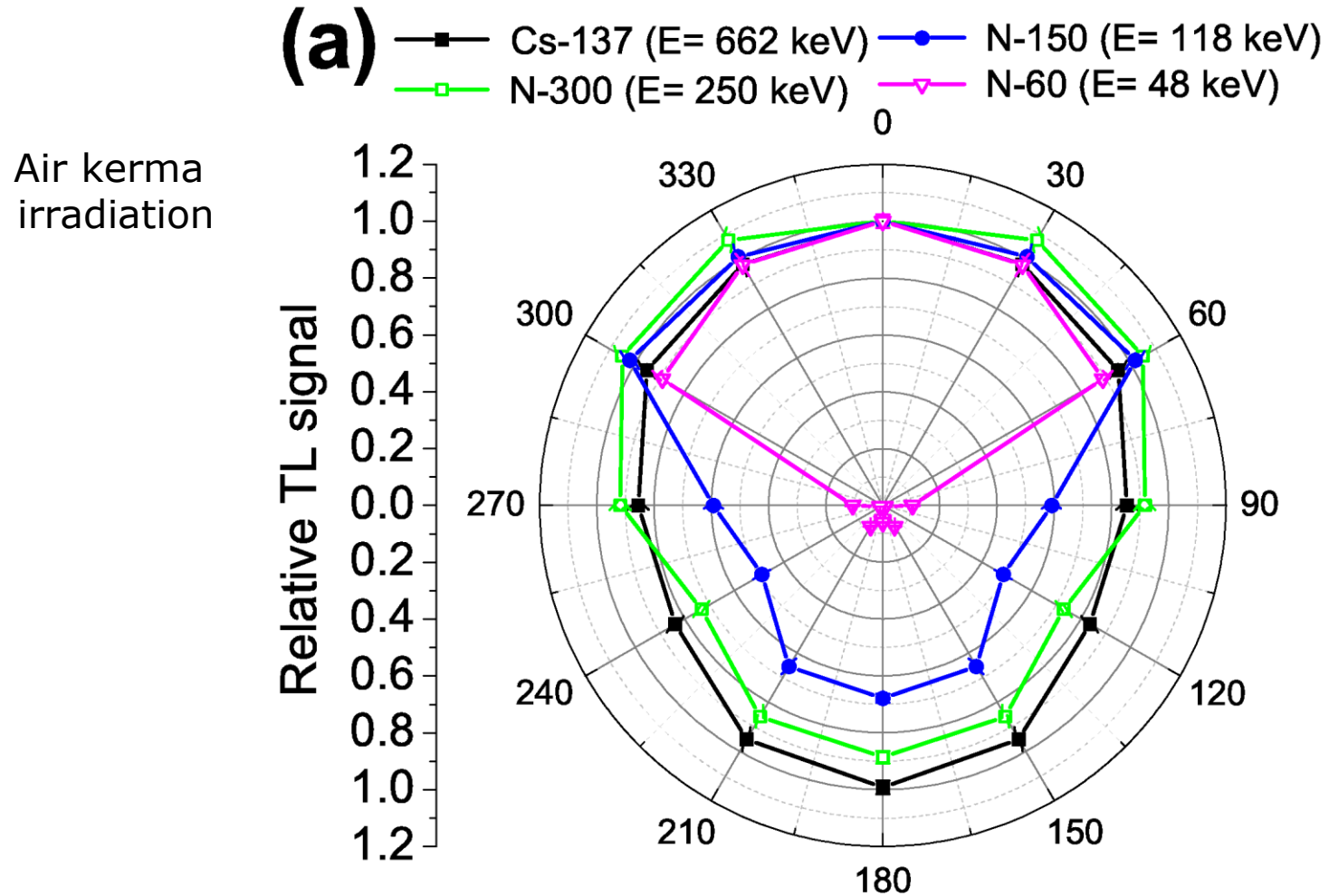
Display Glas als Notfalldosimeter

Dosimetrische Eigenschaften



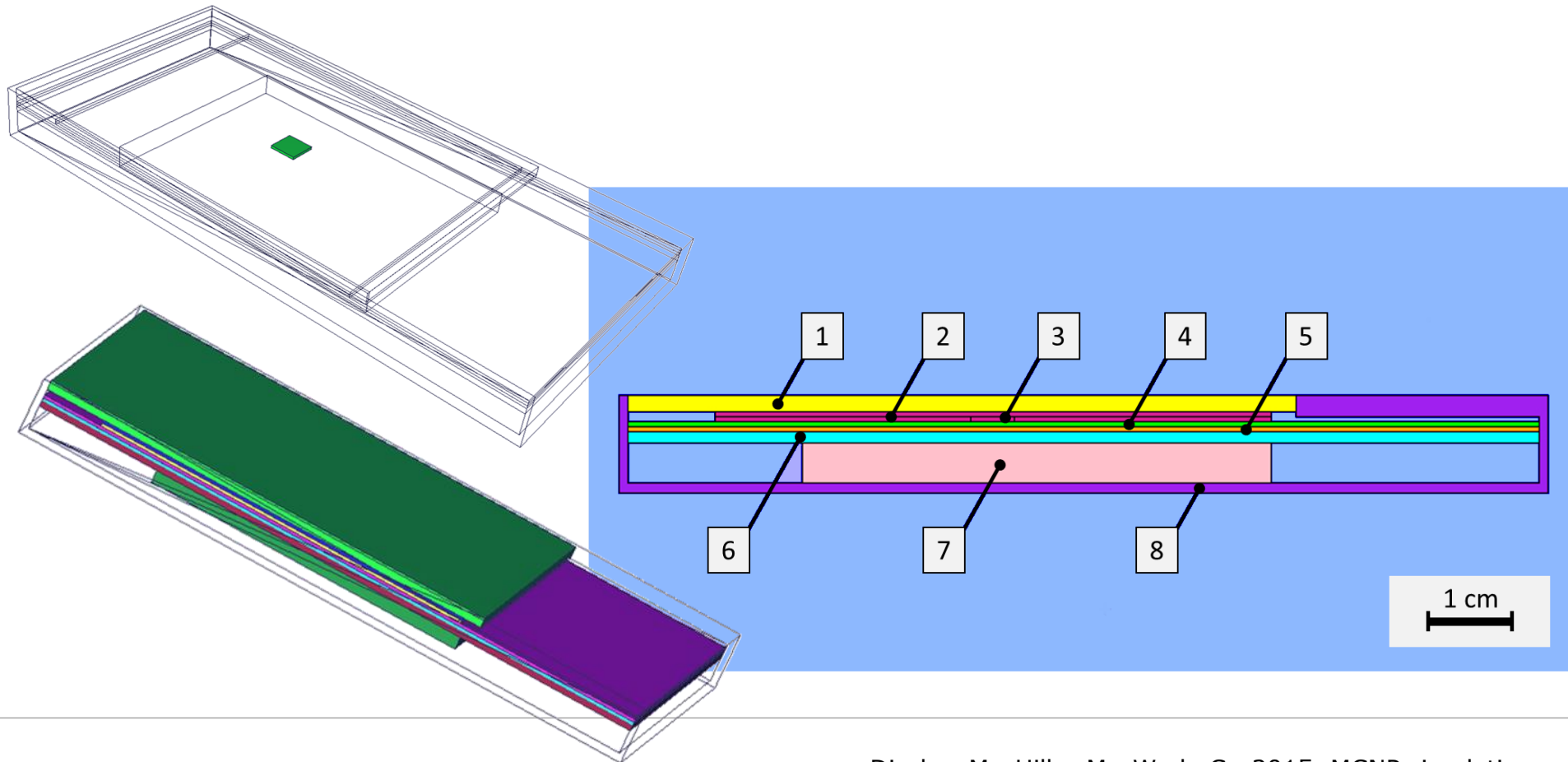
Display Glas als Notfalldosimeter

Dosimetrische Eigenschaften

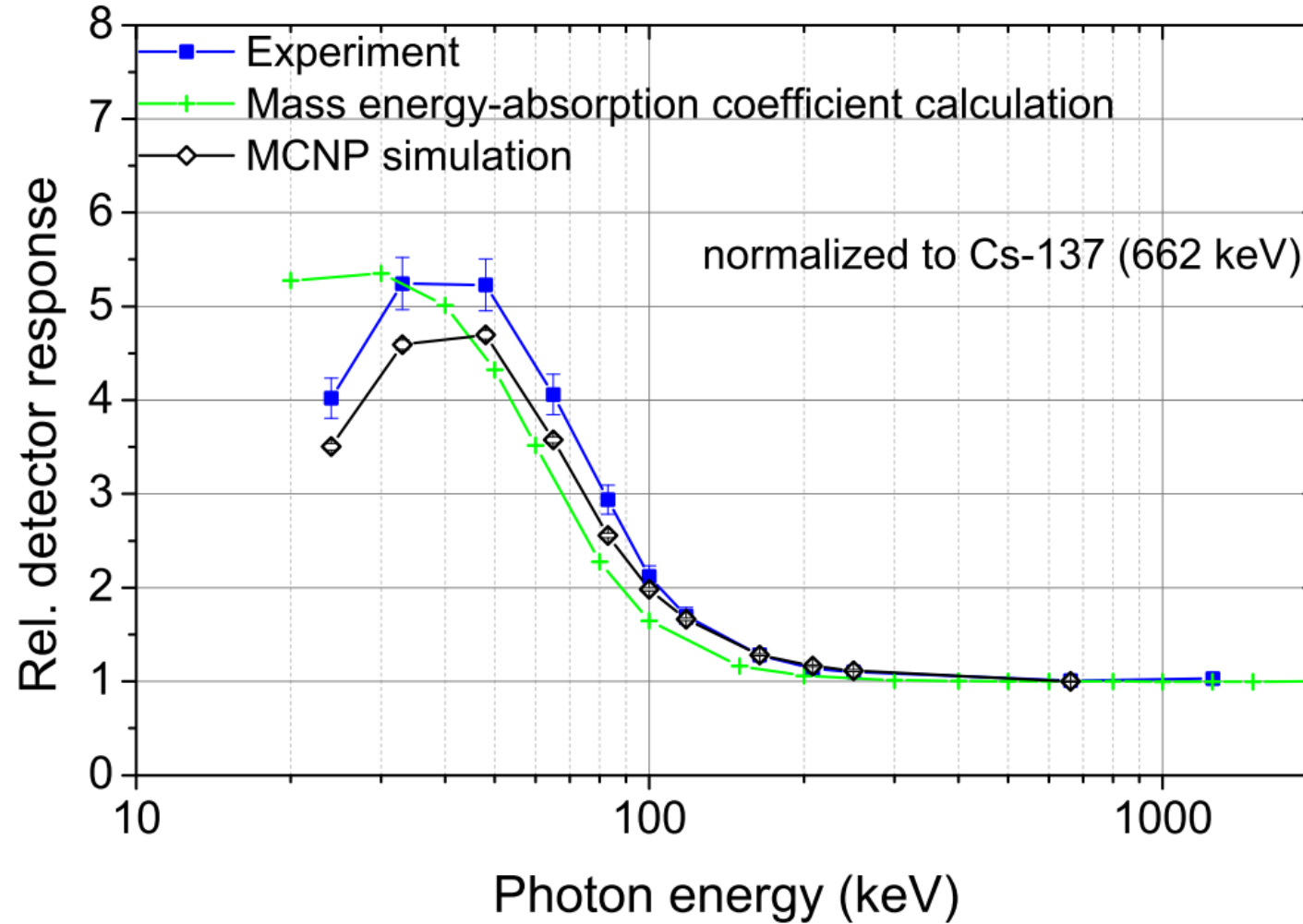


Monte Carlo Simulationen: Geometrie des Mobiltelefons

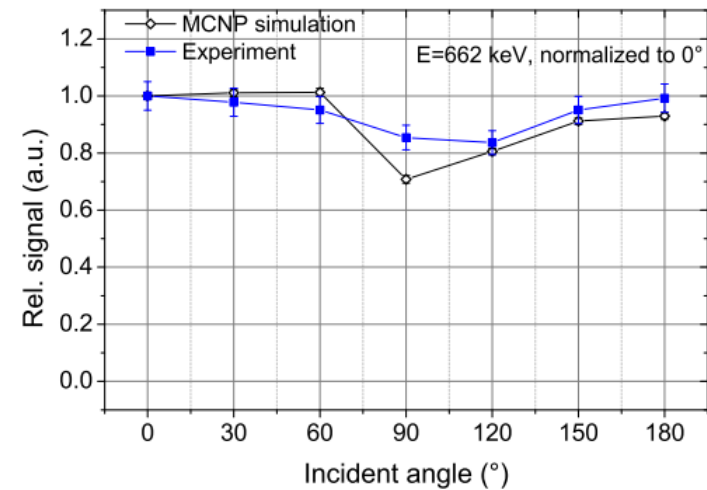
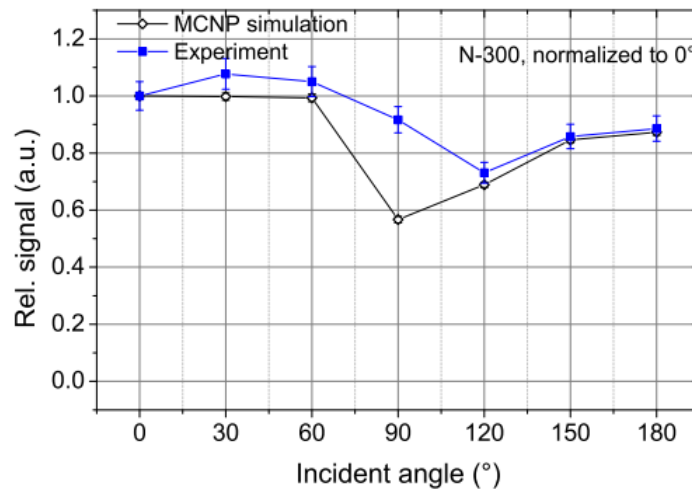
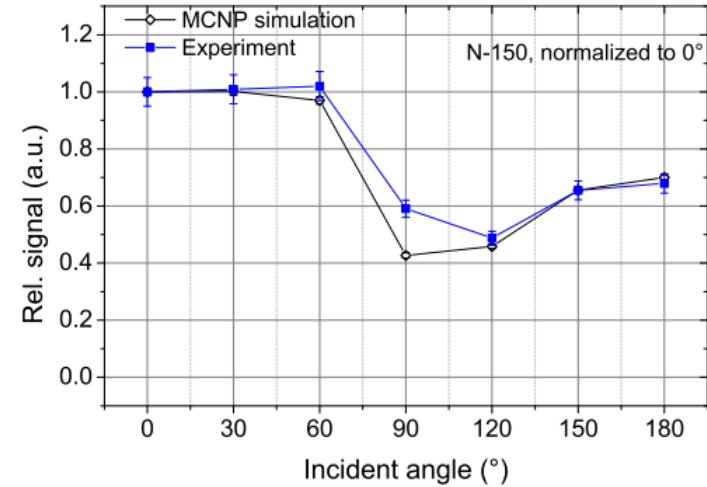
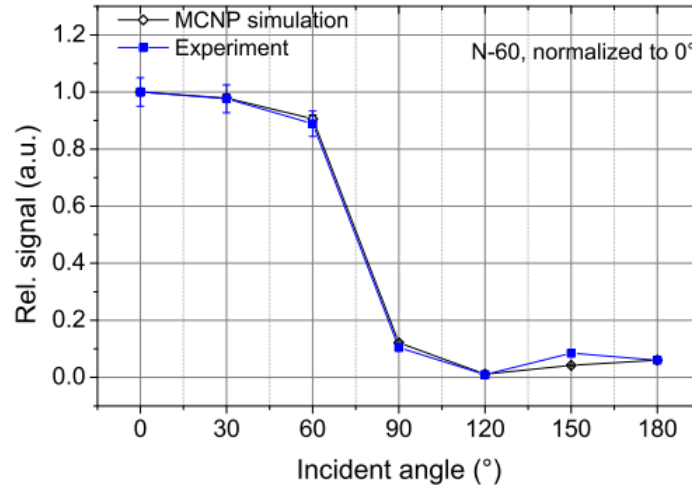
- Modell: Nokia 5250 (Smartphone mit Touchscreen)



Ergebnisse: Monte Carlo Simulation vs. Experiment: Energieabhängigkeit



Ergebnisse: Monte Carlo Simulation vs. Experiment: Winkelabhängigkeit



Übersicht

Part 1: Grundlegendes

- Warum benötigen wir Notfalldosimeter?
- Welche Voraussetzungen gibt es?
- Beispiele

Part 2: Display Glas als Notfalldosimeter

- Systematische Untersuchung der dosimetrischen Eigenschaften für die Entwicklung eines robusten Messprotokolls

Part 3: Weitere Eigenschaften

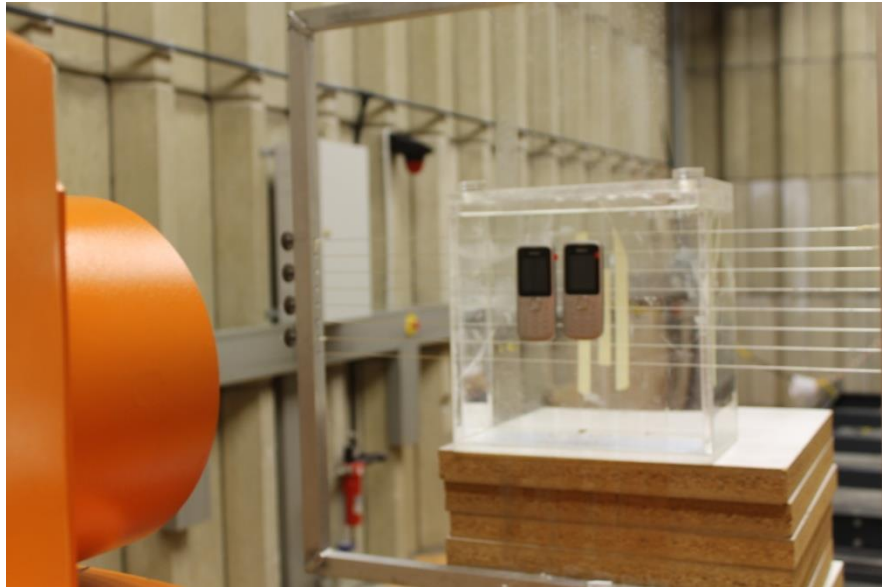
- Untersuchung der Energie- und Winkelabhängigkeit
- MCNP Simulationen vs. Experimente

Part 4: Bestrahlungstests

- Realistische Test des Protokolls

Bestrahlungstest von intakten Mobiletelefone Unter Laborbedingungen

- Gamma Bestrahlung mit der Cs-137 Quelle
"Unfalldosis" = 1.0 Gy



Bestrahlungstest von intakten Mobiletelefone Unter Laborbedingungen

- Gamma Bestrahlung mit der Cs-137 Quelle
"Unfalldosis" = 1.0 Gy
- Rekonstruktion: Auslesen nach 5 Tagen (vorbleichen Protokoll)

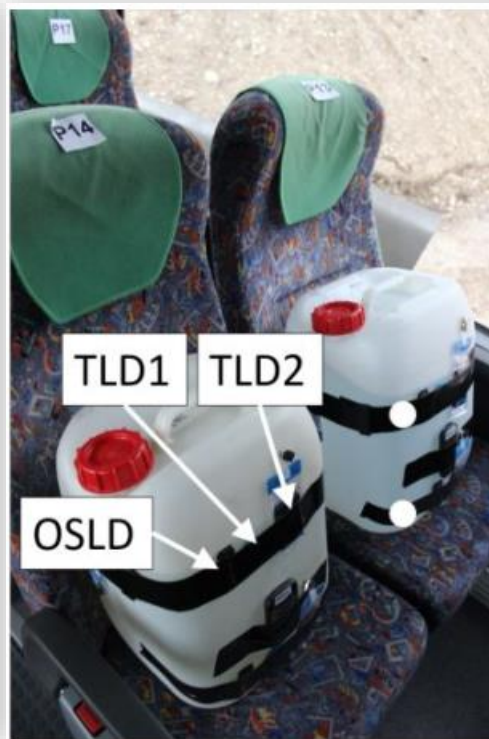
Mobiltelefon	Rekonstruierte Dosis (Gy) und 95% Konfidenzintervall (Fading und BG korrigiert)
Nokia 1616 (gelagert)	1.2 (0.6 - 1.5)
Nokia 5250 (gelagert)	1.2 (0.6 - 1.5)
Nokia 1616 (benutzt)	1.2 (0.6 - 1.6)
Nokia 5250 (benutzt)	1.1 (0.5 - 1.4)

Bestrahlungstest von intakten Mobiletelefone Unter realistischen Bedingungen

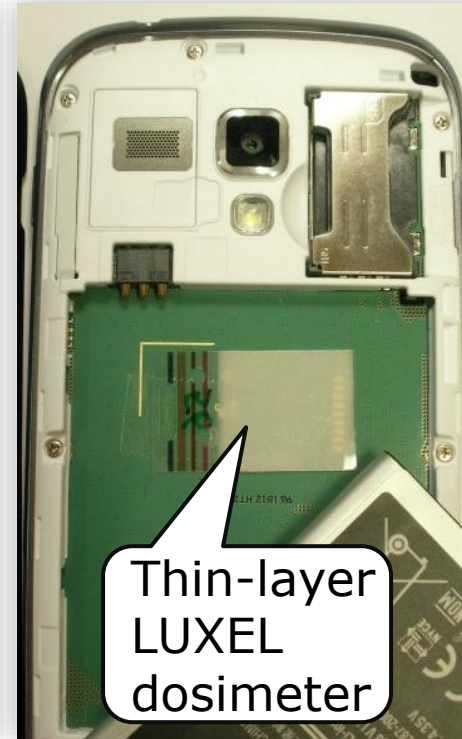
Feldexperiment: Rekonstruktion der Unfallsdosis und Labor-Ringvergleich von internationalen Dosimetrie-Laboren (EURADOS WG10)



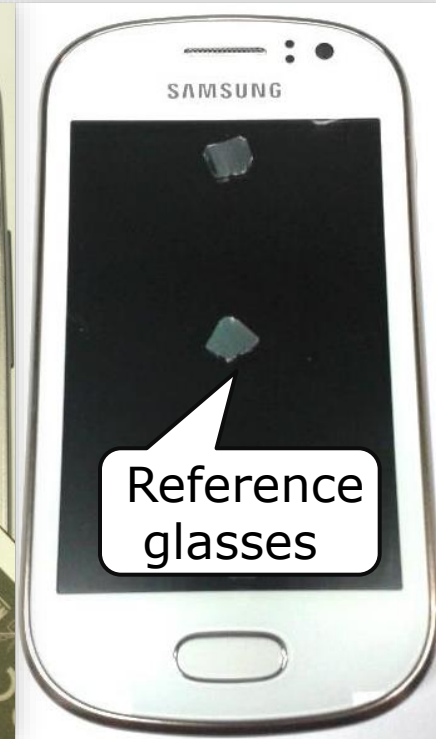
Ir-192 gamma source in baggage compartment of bus (1.5 TBq)



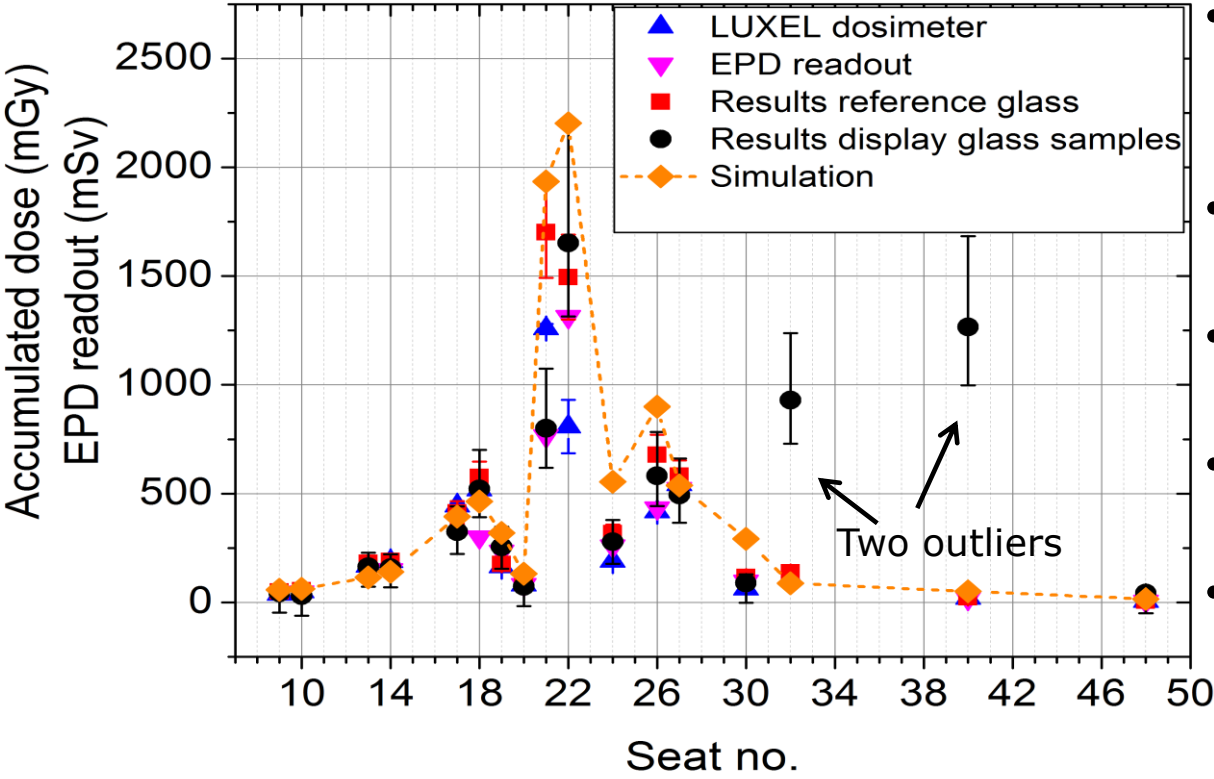
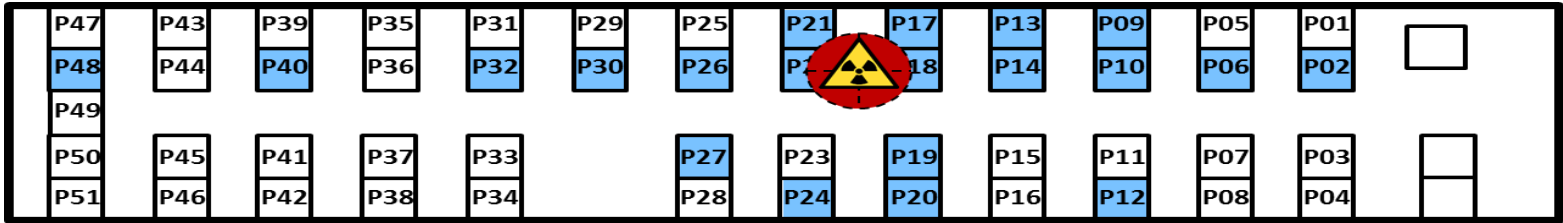
Water-filled canisters and anthropomorphic phantoms with attached mobile phones and reference dosimeters (EPDs, OSLDs and TLDs)



Preparation of mobile phones with reference materials



Results simulation of the air kerma values near the water phantoms:



- With increasing distance the reference dosimeter values do not show big differences
- Results of the reference glass samples fit to the dosimeter values
- Display glass samples show good results (but two outliers)
- MCNP simulation reflects the absorbed doses of the reference values
- **CONCLUSION:** Emergency dosimetry using mobile phones is a useful method for individual dose reconstruction

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Acknowledgements:

Helmholtz Zentrum München (during my PhD period)

Research group *Anthropogenic Environmental Radiation*:

Dr. Clemens Woda

Dr. Irene Fiedler

Cedric Beil

EURADOS WP10 group



CATO field experiment team:



Fragen?

Contact information:

Michael.Discher@plus.ac.at

References and further information:

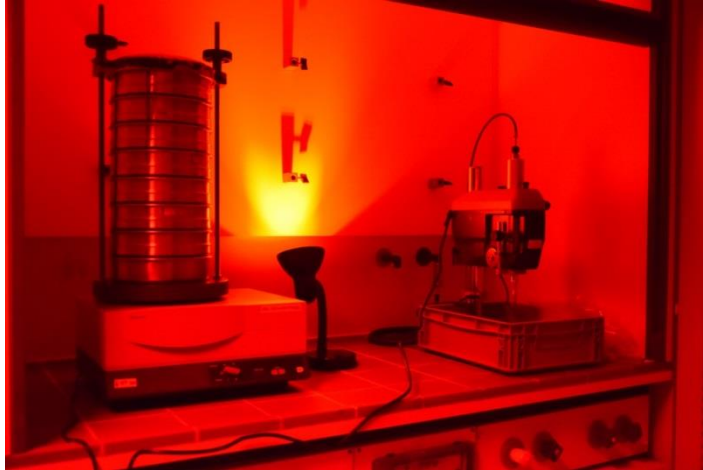
Selected papers:

1. Discher M., Woda C., 2013. **Thermoluminescence of glass display from mobile phones for retrospective and accident dosimetry**, Radiat. Meas. 53-54, 12 – 21.
2. Discher M., Woda C., Fiedler I., 2013. **Improvement of dose determination using glass display of mobile phones for accident dosimetry**, Radiat. Meas. 56, 240 – 243.
3. Discher M., Greiter M., Woda C., 2014. **Photon energy dependence and angular response of glass display used in mobile phones for accident dosimetry**, Radiat. Meas. 71, 471 – 474.
4. Discher M., Woda C., 2014. **Thermoluminescence emission spectrometry of glass display in mobile phones and resulting evaluation of the dosimetric properties of a specific type of display glass**, Radiat. Meas. 71, 480 – 484.
5. Discher M., Hiller M., Woda C., 2015. **MCNP simulations of a glass display used in a mobile phone as an accident dosimeter**, Radiat. Meas. 75, 21 – 28.
6. Discher M., Bortolin, E., Woda C., 2016. **Investigations of touchscreen glasses from mobile phones for retrospective and accident dosimetry**, Radiat. Meas. 89, 44 – 51.
Discher, M., Woda, C., Lee, J., Kim, H., Chung K., Lang, A., 2020. **PTTL characteristics of glass samples from mobile phones**, Radiat. Meas. 132, 106261.
7. Kim, H., Kim, M.C., Lee, J., Discher, M., Woda, C., Lim, S., Chang, I., Lee, S.K., Kim, J.L., Chung, K., 2020. **Characterization of thermoluminescence of chip cards for emergency dosimetry**, Radiat. Meas. 134, 106321.
8. Rojas-Palma, C., Woda, C., Discher, M., Steinhäusler, F., 2020. **On the use of retrospective dosimetry to assist in the radiological triage of mass casualties exposed to ionizing radiation**, J. Radiol. Prot. 40 1286, 2020.
9. Discher, M., Woda, C., Ekendahl, D., Rojas-Palma, C., Steinhäusler, F., 2021. **Evaluation of physical retrospective dosimetry methods in a realistic accident scenario Results of a field test**, Radiat. Meas. 142, 106544.
10. Waldner, L., Bernhardsson, C., Woda, C., Trompier, F., Van Hoey, O., Kulka, U., Oestreicher, U., Bassinet, C., Rääf, C., Discher, M., Endesfelder, D., Eakins, J. S., Gregoire, E., Wojcik, A., Ristic, Y., Kim, H., Lee, J., Yu, H., Kim, M. C., Abend, M., Ainsbury, E., 2020. **The 2019–2020 EURADOS WG10 and RENEB Field Test of Retrospective Dosimetry Methods in a Small-Scale Incident Involving Ionizing Radiation**, Radiation Research, 195(3):253-264.
11. Kim, H., Yu, H., Discher, M., Kim, M.C., Choi, Y., Lee, H., Lee, J.T., Lee, H., Kim, Y.-S., Kim, H.S., Lee, J., 2022. **A small-scale realistic inter-laboratory accident dosimetry comparison using the TL/OSL from mobile phone components**, Radiat. Meas. 150, 106696.

Backup slides:

- Sample preparation lab and equipment at the University of Salzburg

Sample Preparation Laboratory



Chemical and physical sample preparation under safe light conditions:

Preparation of "standard" fine grain samples

- Chemical treatments (incl. HF etching), sieving, density separation

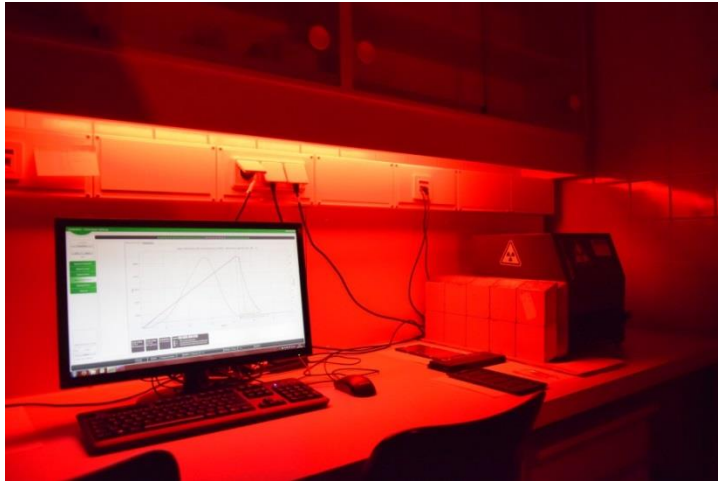
Preparation of rock slice samples (for surface luminescence measurements)

- Water-cooled coring (diameter 8 mm) of using a diamond hollow drill (Guenther TBH Pro II Bench Drilling System)
- Water-cooled precision cutter equipped with a 0.3 mm thick wafering diamond blade (Buehler IsoMet Low Speed Saw)

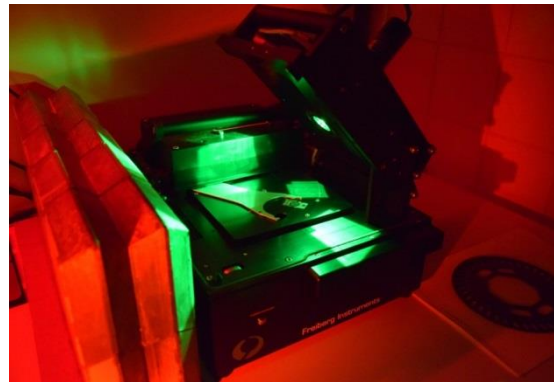


Luminescence Measurement Laboratory I

Lexsyg Smart reader (Freiberg Instruments):

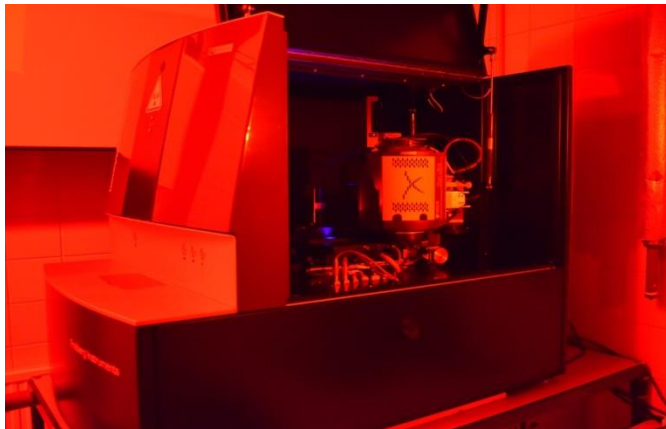
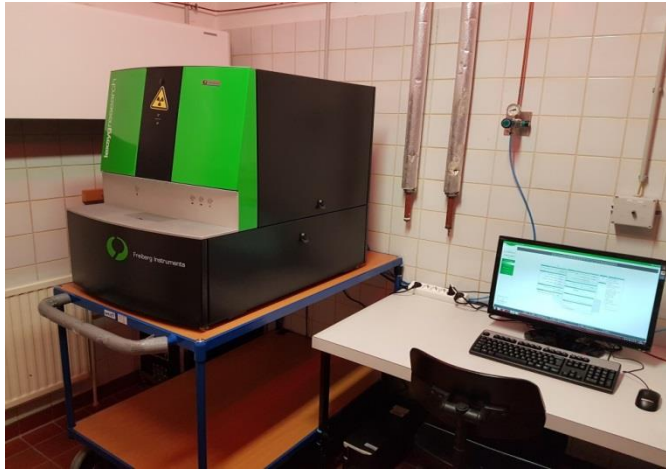


- TL measurements up to 710°C (under a N₂ atmosphere) with flexible ramping rates
- OSL measurements (IR LEDs 850±20 nm; green LEDs 525±20 nm; blue LEDs 458±5 nm) for continuous wave or linear modulated readouts
- Beta source for laboratory irradiations (Sr-90) dose rate: ca. 120 mGy/s
- UV-VIS photomultiplier tube
- Automatic filter changer for signal detection (6 filter positions)
- Sample carousel of 40 positions



Luminescence Measurement Laboratory II

Lexsyg Research reader (Freiberg Instruments):



- Modular design of measurement unit with automated detector changer
- EMCCD unit based high sensitivity detection for spatially resolved single grain analysis
- Two photomultiplier tubes: UV-VIS (300-650 nm) and VIS-NIR (380-890 nm)
- TL measurements up to 710°C (under a N₂ atmosphere) with flexible ramping rates
- OSL measurements (IR LEDs 850±20 nm; violet LEDs 405±3 nm; blue LEDs 458±5 nm) for continuous wave or linear modulated readouts
- Beta source for laboratory irradiations (Sr-90): ring-shaped source for simultaneous RF measurements during irradiation
- Automatic filter changer for signal detection
- Sample carousel of 80 positions