

# Praktischer Strahlenschutz bei einem ortsveränderlichen Prüfeinsatz mit Gamma- Radiographie Iridium-192

Bernhard REDMER \*, Stefan HOHENDORF \*, Falk HILLE \*

\* Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung, Berlin

## Kurzfassung

Die konsequente Beachtung des Strahlenschutzes nach Röntgen- oder Strahlenschutzverordnung ist bei einem ortsveränderlichen Prüfeinsatz besonders zu berücksichtigen. Bereits bei der Planung des Einsatzes sind die Größe des Kontrollbereiches und örtliche Gegebenheiten, wie Wohnhäuser und stark frequentierte Verkehrswege, zu ermitteln. Daraus resultierende Schutzmaßnahmen sind dann in ihrer Praktikabilität zu bewerten und gegenüber der jeweiligen zuständigen Landesbehörde bei der Einsatzanmeldung anzugeben.

Die Stahlkonstruktion der Berliner Hochbahn-Brücken der U-Bahnlinie U1 wurde in den letzten Jahren einer Wiederholungsprüfung mittels Gamma-Radiographie unterzogen. Der Prüfschwerpunkt lag auf den Knotenblechen zur Verbindung mehrerer Diagonal- und Vertikalprofile, den Bauingenieure der BAM auf Basis einer Bauzustandsanalyse ausgewählt haben. Die radiographische Prüfung erfolgte mit einem Gamma-Strahler Iridium-192 und digitalen Detektorsystemen. Hinsichtlich des Strahlenschutzes wurde die Bebauung mit Wohn- und Gewerbehäusern und der Fahrzeug- und Fußgängerverkehr an den einzelnen Prüfpositionen berücksichtigt. Die Auswahl der vor Ort- Absperrmaßnahmen erfolgte an Hand der Bewertung der berechneten Dosis- und Dosisleistungswerte nach DIN 54115. Für den nicht ruhenden Verkehr wurde die Passagedosis angewendet.

Der Beitrag gibt einen Überblick zur Prüfung und erläutert am Beispiel einzelner Prüfpositionen sowie der berechneten und gemessenen Werte für die Dosisleistung die angewendeten Strahlenschutzmaßnahmen.





## Praktischer Strahlenschutz beim ortsveränderlichen Einsatz mit dem Gammastrahler Iridium-192

Bernhard Redmer, Stefan Hohendorf, Falk Hille  
BAM Berlin



### Inhalt

Motivation und Ausgangssituation  
Situationsbeschreibung vor Ort  
Dosisberechnungen für ortsveränderlichen Einsatz und Vergleich  
Praxis vor Ort  
Zusammenfassung

### Quellen

der angeführte Stadtplan (auszugsweise) ist entnommen: Daten von [OpenStreetMap](#) - Veröffentlicht unter [ODbL](#)



## Motivation



Genietetes Stahl-Fachwerkviadukt der U-Bahnlinie U1 in Berlin Kreuzberg

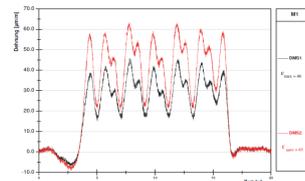
Inbetriebnahme: 1902, „Zwangspause“ zwischen 1961 und 1995 aufgrund Teilung Berlins

Nachweis ausreichender Sicherheit des Bauwerks gegenüber Ermüdungsversagen für die nächsten 30 Jahre



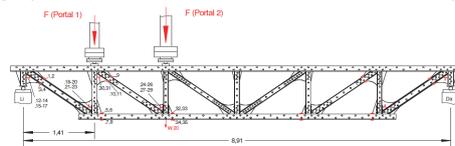
## Vorabuntersuchungen zur Ermüdungssicherheit

- Belastungstests an der Brücke zur Identifikation des Tragsystems
- Laboruntersuchungen an einem ausgebauten Trägerbereich
- rechnerische Bewertung der Ermüdungssicherheit

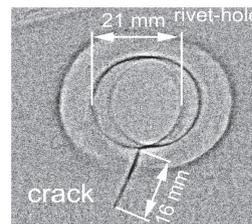
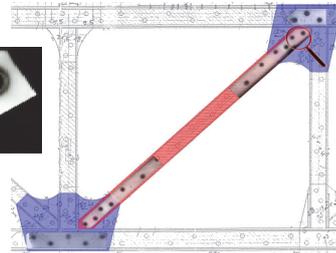


## Laboruntersuchungen

- Ermittlung der kritischen Bauteilbereiche in Bezug auf Ermüdungsversagen  
→ kritisch sind die durch Träger verdeckten Knotenbleche
- Untersuchung radiographischer Verfahren für wiederkehrende Inspektionen



### Konzeptionierung für wiederkehrende Prüfung mittels Radiographie



ca. 400 Knotenbleche → Auswahl besonders kritischer Knotenbleche

Entscheidende Auswahlkriterien waren:

- Querschnittsschwächungen im Zugbereich des Knotenbleches aufgrund konstruktiver Ausbildung, Nietanzahl und Niet-Schaftdurchmesser
- Vorhandene bzw. vermutete Schädigungen des Knotenbleches durch sichtbare Verformungen, Haarrisse im Farbanstrich, Korrosion und Reparaturschweißungen



### Ausgangssituation aus Sicht des Strahlenschutzes

beabsichtigte **Prüfzeit**: Betriebspause der U1, zwischen 00:30 und 03:30 Uhr; davor Einrichten der Prüfstation

belebtes Straßenland (auch nachts);

**Gebäude**: beidseitig am Prüfort; untere Etage: Gewerbe; obere Etagen: Wohnraum

**Diskotheken**: (unvorhersehbarer) Publikumsverkehr, Taxis in Warteposition (trotz Haltverbot!)

Straßensperrung: Beantragung beim Bezirksamt

### Ausgangssituation aus Sicht der Prüftechnik

**RT** anwendbares Volumenprüfverfahren

UT nicht möglich, wegen a) Mehrlagen-Nietverbindung: Luft zwischen den Blechen und b) Rostschutz-Farb-Auftrag erschwert die Prüfkopf-Ankopplung

Wanddicke: 36 bis 48 mm (SW), Stahl

RT mit Iridium 192 und Film / Speicherfolie / Matrixdetektor

Sicherung und Beobachtung des Ir192-Arbeitsbehälter

Arbeiten auf Rüstung, in ca. 4 m Höhe



Situation am Prüfort ...



Situation am Prüfort ...



Blickrichtung U-Bhf. Schlesisches Tor



Blickrichtung Oberbaumbrücke



... Fahrzeug- und Personenverkehr

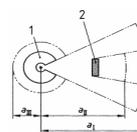


... beim Einrichten



### Parameter für Berechnungen

Iridium 192, Aktivität: 2220 GBq (Oktober 13)  
 Prüfgegenstand: t=36 mm, Stahl (HWS: 14 mm)  
 Kollimator: t=25 mm, Wolfram (HWS :2,5 mm)  
 KB-Grenze: 40 µSv/h



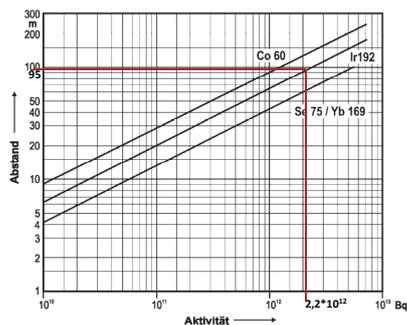
- Legende  
 1 Abschirmung  
 2 Prüfgegenstand  
 $a_1$  Bereich ungeschwächter Strahlung  
 $a_2$  Bereich geschwächter Strahlung infolge der Abschirmung durch den Prüfgegenstand  
 $a_3$  Bereich geschwächter Strahlung infolge der Abschirmung durch die Blende

### Berechnungen nach DIN 54115-1, Beiblatt 1

aus Bild 2: Kontrollbereichsgrenze für Nutzstrahlung, für  $2,22 \cdot 10^{12}$  Bq:  $a_K = 95$  m

für Prüfgegenstand  $\rightarrow 2,6 \text{ HWS}_{Fe}$ :  $a_{II} = 0,45 \cdot 95 \text{ m} = 43$  m

für Kollimator  $\rightarrow 10 \text{ HWS}_W$ :  $a_{III} = 0,05 \cdot 95 \text{ m} = 4,7$  m



### Berechnungen zum Strahlenschutz

nach DGZfP-Ausbildungsunterlagen

$$a_K = \sqrt{\frac{\Gamma_{Ir192} \cdot A}{F_N \cdot \dot{H}_K}} \quad \text{mit: } \Gamma_{Ir192} = 0,17 \frac{mSv \cdot m^2}{h \cdot GBq}$$

$$A = 2220 \text{ GBq}$$

$$\dot{H}_K = 40 \frac{\mu Sv}{h}$$

#### KB-Abgrenzung bei ...

Nutzstrahlung	$\rightarrow$	$F_N = 1$	$a_{KI} = 97$ m
geschwächte Strahlung (36 mm Fe)	$\rightarrow$	$F_N = 5,9$	$a_{KII} = 40$ m
geschwächte Strahlung, Blende (25 mm W)	$\rightarrow$	$F_N = 1024$	$a_{KIII} = 3$ m



## Absperrmassnahmen am Prüfort ...



## Berechnungen

### Anwendung der Passagedosis (Fußgänger, Autofahrer)

Strahlenquelle Ir-192, A= 2220 GBq (Oktober 13)

Gamma-Konstante:

$$\text{Gleichung } H = \frac{\Gamma_{Ir-192} * A * \pi}{v * a_0} \quad \text{mit} \quad \Gamma_{Ir-192} = 0,17 \frac{mSv * m^2}{h * GBq}$$

Betrachtung in Strahlrichtung

#### Fahrzeug

Abstand Prüfort-Fahrbahn:  $a_0 = 5 \text{ m}$   
 mittlere Geschwindigkeit:  $v = 30 \text{ km/h} = 30.000 \text{ m/h}$   
Dosis pro Passage:  $H = 8,0 \mu\text{Sv}$

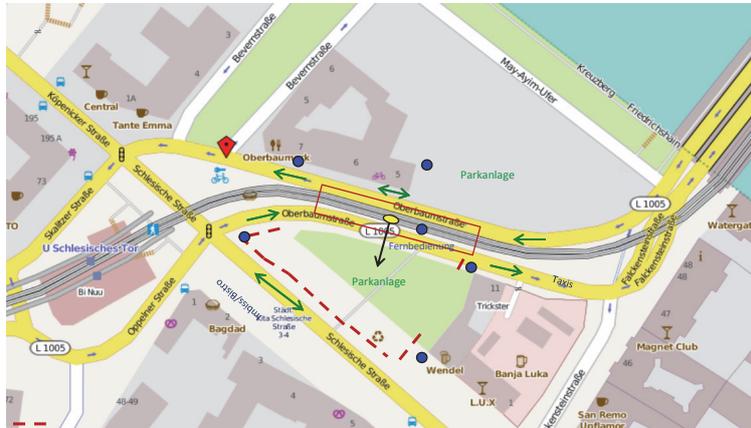
#### Fußgänger

Abstand Prüfort-mittlerer Fußwegbereich:  $a_0 = 15 \text{ m}$   
 mittlere Geschwindigkeit:  $v = 3 \text{ km/h} = 3.000 \text{ m/h}$   
Dosis pro Passage:  $H = 27 \mu\text{Sv}$

1. Anwendung der Passagedosis ist bei der zuständigen Landesbehörde genehmigen zu lassen.
2. Absperrmaßnahmen können optimiert werden.



### Absperrmassnahmen am Prüfort ...



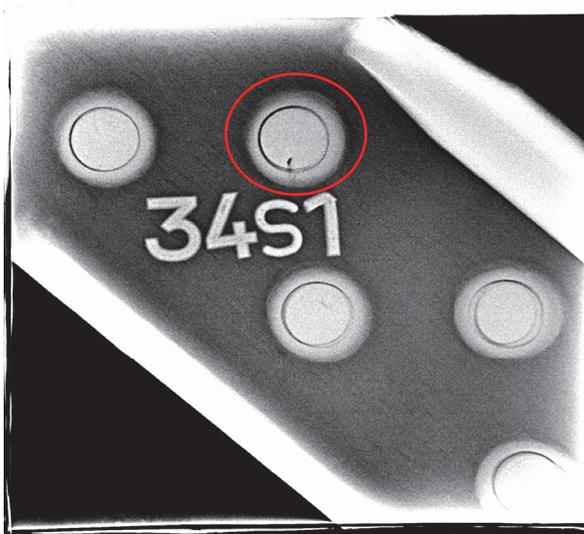
- Kontrollbereichsabspernung
- Personal zur Überwachung
- → Prüfort, Strahlrichtung
- Personen + Fahrzeugverkehr

- Personaleinsatz (gesperrte Bereiche, zu überwachende Bereiche)
- Dosisleistungsmessgeräte
- Technische Hilfsmittel (Funkgeräte)
- Sicherheit durch „bestimmtes Auftreten“ (Absperrung, Personenverkehr umleiten etc.)
- Fernbedienung + Beobachtung der Prüfstelle/Arbeitsbehälter



### Bauwerk xy – Süd – Achse xy – oben

Blickrichtung: Süd → Nord  
Strahlrichtung: Süd → Nord



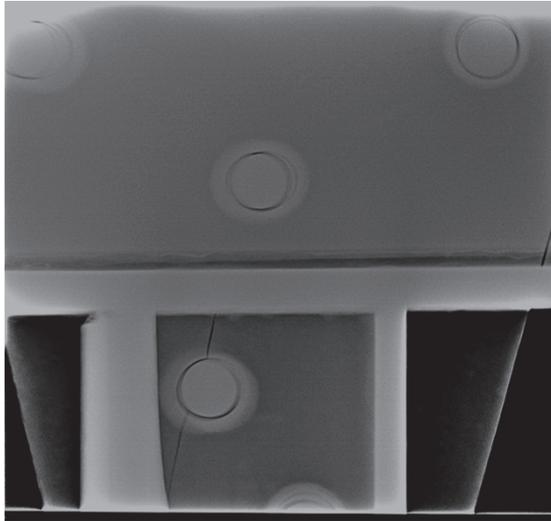
Niet 2:  
Volumenanzeige und lineare Anzeige unter dem Nietkopf:  
Kratzer oder Rissverdacht ??

Iridium 192; DDA: Vidisco (145µm)  
FDA=80 cm; 16f @ 20s/f: 320 sec  
Bild ist Hochpass gefiltert(EnhanceDetails) .



### Bauwerk xy – Süd – Achse xy – oben

Blickrichtung: Süd → Nord  
Strahlrichtung: Süd → Nord



Niet 1:  
Riss im Knotenblech am Anschluss  
Vertikalstrebe

Iridium 192; DDA: Vidisco (145µm)  
FDA=80 cm; 16f @ 20s/f; 320 sec  
Bild ist Hochpass gefiltert(EnhanceDetails) .



### Messung der Ortsdosisleistungsmessung, vor Ort



- Kontrollbereichsabspernung
- Messpunkt
- → Prüfort, Strahlrichtung



### Vergleich der Berechnungen und ermittelten Werte

Abgrenzung bei ...	nach DIN 54115-1	nach Gleichung	vor Ort-Messwert
Nutzstrahlung	95 m	97 m	---
geschwächte Strahlung (Prüfgegenstand)	43 m	40 m	47 m @ 80 $\mu\text{Sv/h}$ 66 m @ 40 $\mu\text{Sv/h}$
geschwächte Strahlung (hinter Kollimator)	4,7 m	3 m	11 m @ 42 $\mu\text{Sv/h}$

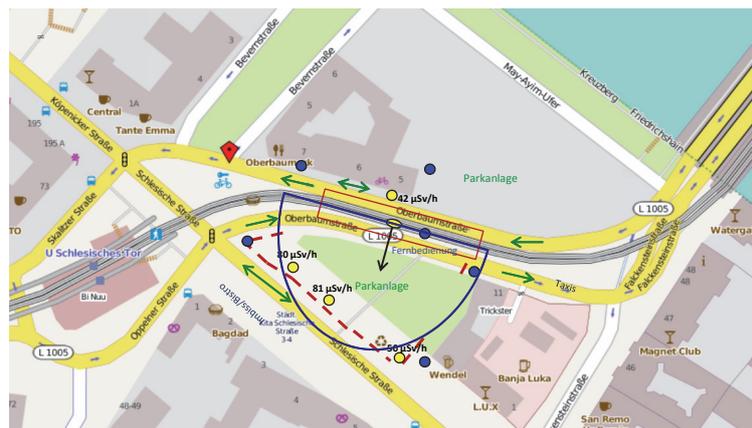
1. Abstandswerte: Die Faktoren  $a_{II}$  und  $a_{III}$  sind aufgerundet, d.h. die nach DIN bestimmten Abstandswerte sind größer-gleich als nach Gleichung ( $1/F_N$ ).  
→ konservative Betrachtungsweise
2. geschwächte Strahlung hinter Kollimator: Der gemessene Abstandswert ist um Faktor 2 bis 3 größer als die berechneten Werte.

Mögliche Ursache: Streustrahlung aus dem Prüfobjekt.

Abhilfe: zusätzliche Abschirmung mit Bleisäcken am Kollimator oder Bleimatten am Prüfobjekt



### Betrachtung zur Ortsdosisleistung, vor Ort



- Kontrollbereichsabspernung
- Messpunkt
- Prüfort, Strahlrichtung
- Personen + Fahrzeugverkehr



### Zusammenfassung

Die Bestimmung der Kontrollbereichsabgrenzung auf Basis der DIN 54115-1, Beiblatt 1, ergibt einen guten Überblick für die Praxis. Die DIN ist ein praktisches Hilfsmittel für den vor Ort- Einsatz.

Die aus der DIN ermittelten Abstandswerte sind „konservative“ Werte und stimmen mit der „mathematischen Rechenweise“ überein.

Die Abstandswerte für geschwächte Strahlung hinter dem Kollimator sind um den Faktor 2 bis 3 größer als die berechneten Abstandswerte.

Die Anwendung der Passagedosis ist ein probates Mittel, um Einschränkungen im Personen- und Fahrzeugverkehr zu minimieren.

Die Durchführung der Maßnahmen zum Strahlenschutz erfordert immer situationsbedingten Personaleinsatz und technische Hilfsmittel. Mitunter ist der „Mittel“einsatz wesentlich zu erweitern.

Erhöhter Aufwand ist bei der Sicherung und Überwachung des Kontrollbereiches bei unübersichtlichen örtlichen Gegebenheiten zu betreiben.

