

# Freigabe von schwer zugänglichen Strukturen am Beispiel der äußeren SHB-Einspannstelle im Kernkraftwerk Stade

**Bastian Degner,**  
Brenk Systemplanung GmbH Zweigstelle Hamburg,  
Reichsbahnstrasse 76, 22525 Hamburg,  
[b.degner@brenk.com](mailto:b.degner@brenk.com)

**Florian Lorenzen,**  
PreussenElektra GmbH,  
Kernkraftwerk Stade, Bassenflether Chaussee, 21683 Stade,  
[florian.lorenzen@preussenelektra.de](mailto:florian.lorenzen@preussenelektra.de)

**Stephan Bergander,**  
Tiefenbach Oberflächentechnik GmbH,  
Industriestrasse 14, 21640 Horneburg  
[s.bergander@tiefenbach-oberflaechentechnik.de](mailto:s.bergander@tiefenbach-oberflaechentechnik.de)

**Hans-Georg Willschütz,**  
PreussenElektra GmbH,  
Kernkraftwerk Stade, Bassenflether Chaussee, 21683 Stade,  
[Hans-Georg.Willschuetz@preussenelektra.de](mailto:Hans-Georg.Willschuetz@preussenelektra.de)

**Stefan Wörlen,**  
Brenk Systemplanung GmbH,  
Heider-Hof-Weg 23, 52080 Aachen,  
[s.woerlen@brenk.com](mailto:s.woerlen@brenk.com)

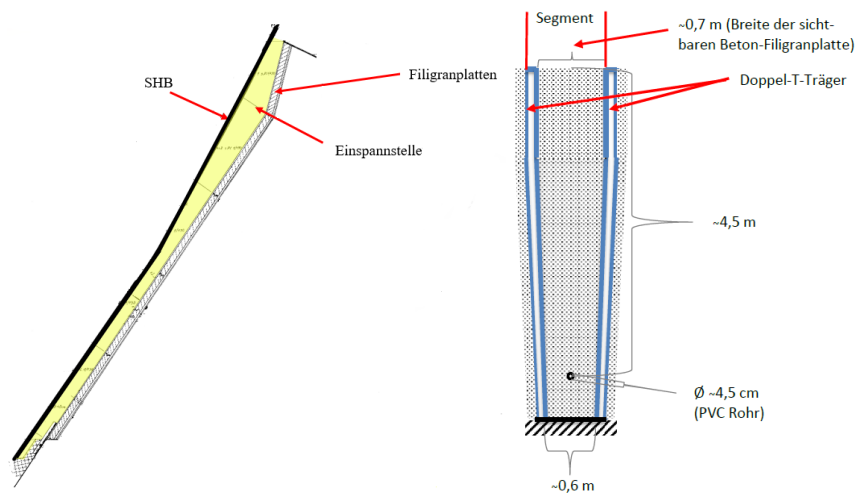
**Oleg Sobolev,**  
Brenk Systemplanung GmbH Zweigstelle Hamburg,  
Reichsbahnstrasse 76, 22525 Hamburg,  
[o.sobolev@brenk.com](mailto:o.sobolev@brenk.com)

## Einleitung

Das Kernkraftwerk Stade (KKS) wurde im Jahr 2003 abgeschaltet und befindet sich derzeit im letzten Rückbauschritt, der Gebäudefreigabe. Gemäß StrlSchV ist für die Freigabe von Gebäuden vorgesehen, dass die Freigabefähigkeit durch Messungen an der stehenden Gebäudestruktur und an nicht mineralischen Materialien erbracht wird.

In diesem Tagungsbeitrag wird die Vorgehensweise für die Freigabe der äußeren Einspannstelle (ESS) vorgestellt, so wie sie im KKS durchgeführt wurde. Die Einspannstelle ist dabei ein um den Sicherheitsbehälter (SHB mit Durchmesser 48 m) umlaufender Spalt mit stark eingeschränkter Zugänglichkeit. Der Spalt (siehe **Abbildung 1**) hat dabei eine Tiefe von 5 m und die obere Spaltöffnung hat eine Breite von 8 - 12 cm. Innerhalb der ESS variiert die Breite und beträgt maximal 30 cm. Der Spalt wird auf der Innenseite durch die Stahloberfläche des SHB, den schmalen Betonboden und an der Außenseite durch einzelne, im Aufbau identische Segmente begrenzt. Durch den Rückbau ist die ESS mit Staub bedeckt.

Jedes der Segmente ist vom Boden bis zum oberen Ende der Einspannstelle vollständig mit Filigranplatten aus Beton ausgestattet. Die Filigranplatten werden durch Doppel-T-Träger an der linken und rechten Seite gehalten. Die Durchführungen (in **Abbildung 1** als PVC-Rohr aufgeführt) im unteren Bereich der Segmente dienen als Lüftungsöffnungen und führen jeweils von der Einspannstelle in die benachbarten Ringräume. Einige Segmente haben auf der Betonseite größere rechteckige Öffnungen ("Fenster") für ehemalige Medienleitungen. Diese "Fenster" können sich über mehrere Segmente erstrecken.



**Abbildung 1:** Seitenansicht der Einspannstelle (links) und schematische Darstellung des Segments auf der äußeren Betonseite der Einspannstelle (rechts).

## Freigabekonzept

Auf der Grundlage der folgenden Daten wurde ein Freigabekonzept entwickelt:

- Aufnahme der Betriebshistorie;
- Aufnahme der Daten des aktuellen Ist-Stands unter Verwendung eines Inspektionscrawlers mit Kameraadaption;
- Ergebnisse von Testreinigung und Testmessungen mit geeigneter Messtechnik und Inspektionscrawler.

Im Bereich der ESS werden folgende Freigabekriterien angewendet:

- Mineralische Stoffe (Beton)
  - Es werden die Freigabewerte der Anlage 4 Tabelle 1 Spalte 13 StrlSchV mit einer maximalen Mittelungsfläche von 1 m<sup>2</sup> angewendet.
- Nicht-mineralische Stoffe
  - Es werden für alle Metalle die Freigabewerte der Anlage 4 Tabelle 1 Spalte 3 (uneingeschränkte Freigabe von festen und flüssigen Stoffen) und 5 (Oberflächenkontamination) StrlSchV mit den Mittelungskriterien nach Anlage 8 Teil A StrlSchV angewendet. Die Anwendung der Freigabewerte der Anlage 4 Tabelle 1 Spalte 5 StrlSchV ist dabei auf feste Oberflächen begrenzt, an denen die Messung der Oberflächenkontamination auch möglich ist. Da von dem SHB im Rahmen der ESS nur eine Seite bewertet wird, kann die vollständige Dokumentation der Einhaltung der Freigabewerte Anlage 4 Tabelle 1 Spalte 3 StrlSchV des SHBs erst übergreifend mit der Entscheidungsmessung des SHBs erfolgen.
  - Die sonstigen nicht-mineralischen Stoffe, wie Styropor o.ä., werden über die Freigabewerte der Anlage 4 Tabelle 1 Spalte 3 StrlSchV bewertet.

Die Entscheidungsmessung erfolgt mittels nicht flächendeckender Messungen und zusätzlichen Beprobungen. Dabei wird ein statistisches und ein suchendes Verfahren für Flächen mit vergleichbarer oder abdeckender Betriebshistorie angewendet. In Fall der Einspannstelle wird aufgrund der Betriebshistorie eine homogene Aktivitätsverteilung angenommen.

Die Messstrategie besteht aus einer Kombination von Direktmessungen und Probenahmen. Dabei sind die Direktmessungen nicht flächendeckend. Sie sind aber verdichtet bzw. flächendeckend an potenziellen Eintrittsstellen und Akkumulationspunkten. Die Probenahmeorte sind unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Direktmessungen festgelegt. Dabei sind Punkte mit einem erhöhten Potential für das Eindringen von Aktivität bevorzugt beprobt.

Im Einzelnen beinhaltet die Strategie der Direktmessungen die folgenden Punkte:

- An der Oberkante der Einspannstelle erfolgen flächendeckende Messungen mit Messtechnik, die für Entscheidungsmessungen qualifiziert ist, weil nur hier Kontamination von oben eingedrungen sein könnte.

- Eine direkte Messung der Lüftungsöffnungen ist aufgrund der bereits durchgeführten Dekontamination nicht mehr zielführend. Stattdessen werden Messungen mit einem suchenden Verfahren im direkten Umfeld durchgeführt.
- An den Fensteröffnungen der Einspannstelle erfolgen flächendeckende Messungen mit Messtechnik, die für die Entscheidungsmessungen qualifiziert ist, weil hier Kontamination nach oben und zur Seite eingedrungen sein könnte.
- An sonstigen Flächen (Doppel-T-Träger, Bodenbereich) der Einspannstelle wurden repräsentative Direktmessungen durchgeführt.

Mit Materialproben an dem sich am Boden der Einspannstelle anschließenden Styropor wird der Nachweis geführt, dass keine Kontamination aus der ESS in tiefere Schichten eingedrungen sein kann und somit darunterliegende Bereiche der Außenseite des SHB nicht über diesen Pfad kontaminiert wurden. Als Kriterium für diesen Ausschluss werden die Freigabewerte der Anlage 4 Tabelle 1 Spalte 3 StrlSchV herangezogen. Die Entnahme der Materialproben erfolgt im Bereich der Fensteröffnungen und an Öffnungen, die aus dem Inneren des SHBs geschnitten wurden, um die Probenorte zu erreichen.

## Reinigung und lüftungstechnischer Abschluss

Vor den Entscheidungsmessungen wurden Staub und Materialien/Komponenten aus der ESS entfernt. Nach der Entfernung musste ein lüftungstechnischer Verschluss hergestellt werden, um sicherzustellen, dass ein erneuter Eintrag von Materialien/Komponenten und Staub in Zukunft unterbunden wird, sowie eine Rekontamination ausgeschlossen werden kann.



**Abbildung 2:** Inspektionscrawler mit Reinigungsbürste und kontinuierlicher Absaugung

Für das Reinigen der Einspannstelle wurden die 173 Segmente (definiert über 4 Quadranten) schrittweise wie folgt bearbeitet:

1. Festlegung eines Arbeitsbereichs, welcher 4 Segmente umfasst;
2. Reinigung der Bereiche in denen Luftkissen zur räumlichen Trennung (zur Seite und in die Tiefe) gesetzt werden;
3. Setzen der seitlichen Abgrenzung des Arbeitsbereichs zu benachbarten Arbeitsbereichen mit Hilfe der Luftkissen mit einem Druckkontrollsystem;
4. Reinigen des oberen Arbeitsbereichs (hier Beton) von losem Staub;
5. Bergen von Materialien/Komponenten in der Einspannstelle mit Hilfe des Inspektionscrawler;
6. Händische Reinigung des oberen Wandbereichs (SHB-Seite) in der Einspannstelle bis in eine Tiefe von ca. 1,5 m;
7. Händische Reinigung des oberen Wandbereichs (Filigranbetonplatten) inkl. Doppel-T-Träger in der Einspannstelle bis in eine Tiefe von ca. 1,5 m;
8. Reinigung des unteren Wandbereichs bis zum Boden (SHB-Seite) der Einspannstelle mit dem Inspektionscrawler;

9. Reinigung des unteren Wandbereichs bis zum Boden (Filigranbetonseite) inkl. Doppel-T-Träger der Einspannstelle mit dem Inspektionscrawler;
10. Reinigung des horizontalen Bodenbereichs der Einspannstelle;
11. Überprüfung und Dokumentation des Reinigungserfolgs mit dem Inspektionscrawler und montierter Kamera, ggf. inklusive der Dokumentation von Beschädigungen in der Einspannstelle;
12. Verschließen der Einspannstelle gegenüber dem Reaktorgebäuderingraum mittels Abdeckblechen über 4 Segmente und Verschluss der sonstigen Öffnungen der Segmente des Arbeitsbereiches.

Wiederholung der Arbeitsschritte 2 bis 12 um den SHB herum.

13. Entfernen der Luftkissen und des Druckkontrollsystems.

## Freigabemessungen

Es wurden zwei Arten von Messverfahren angewendet (siehe Tabelle 1):

- flächendeckende Entscheidungsmessungen an der Oberkante der Einspannstelle,
- suchendes Verfahren an den restlichen (schwer zugänglichen) Teilen der ESS mit dem Ziel der Identifizierung von abdeckenden Probenahmestellen für die jeweiligen Quadranten.

Die Ergebnisse der Beprobung sollen als Entscheidungsmessungen belastet werden.

Für das suchende Verfahren in schwer zugänglichen Bereichen wurden Messgeräte in einer besonders kompakten Bauform ausgewählt und speziell konzipierte Messwagen oder Inspektionscrawler eingesetzt (siehe **Abbildung 3** und **Abbildung 4**).



**Abbildung 3:** Gammaspektrometrischer Detektor Sigma-50 (links) und Messung am T-Träger mit einem Messwagen (rechts).



**Abbildung 4:** Inspektionscrawler mit einer Flachsonde ESD 170 (links) und Messung an der Bodenfläche der ESS (rechts).

Tabelle 1: Messverfahren und angewendete Messtechnik

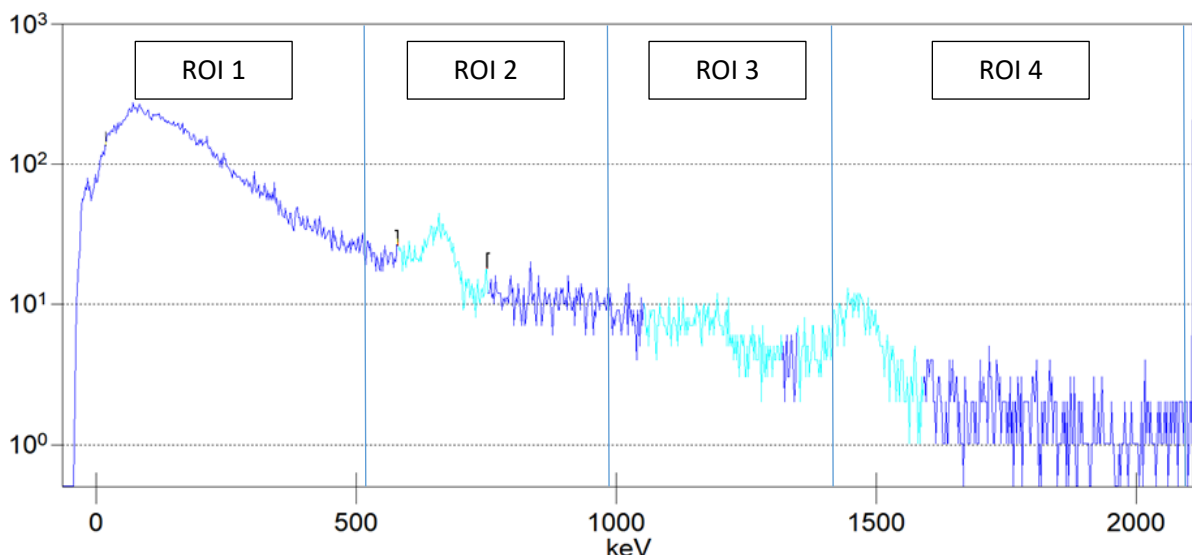
Verfahren	Komponente	Messgerät / Typ	Hersteller
Entscheidungsmessungen	Obere Kante / Metall	Herfurth H1359c inkl Sonde / Kontaminationsmonitor	Herfurth/Rados
	Obere Kante / Beton	PL525 / Kontaminationsmonitor	Nuvia
suchendes Verfahren	T-Träger, Bodenfläche	Sigma-50 / kompakte gammaspektrometrische Detektor auf Basis eines Cäsium-Iodid-Kristalls.	Mirion
	T-Träger, Bodenfläche	Flachsonde ESD 170 / Kontaminationsmonitor	Nuvia
	Fenster / Metall	CoMo300 G / Kontaminationsmonitor	Nuvia

Da die Anwendung des gammaspektrometrischen Detektors (Sigma-50) für Freigabemessungen eine besondere Innovation darstellt, wird im Folgenden das suchende Messverfahren mit Sigma-50 ausführlich beschrieben.

Für jeden T-Träger wurden 5 Kurzzeitmessungen (5 min) in den Tiefen von 1,5 m, 2 m, 2,5 m, 3 m, 3,5 m und 4,5 m durchgeführt.

Für die Kurzzeitmessungen sind die Linien nicht immer eindeutig zu identifizieren. Deswegen werden wie folgt Zählraten für die in Frage kommenden Energiebereiche ermittelt. Dabei wird das Spektrum anhand der Energiekanäle zunächst in mehrere Regions Of Interests (ROI) eingeteilt. Die ROI 1 umfasst den niederenergetischen Untergrund des Spektrums. ROI 2 und 3 enthalten die Emissionslinien von Cs-137 und Co-60. Der ROI 4 enthält den natürlichen K-40 Peak. Bereits während der Mess-Kampagne wurde eine Auswertung der Kurzzeitmessungen des Sigma-50 durchgeführt und die Gesamtimpulse in den ROIs 3 und 4 ermittelt.

An der Messposition mit der höchsten Summe der ermittelten Zählraten wird die erste Langzeitmessung (60 min) durchgeführt. Die zweite Langzeitmessung erfolgt am Bodenende vom T-Träger. Ein Beispiel vom einem Langzeitspektrum ist in **Abbildung 5** dargestellt.



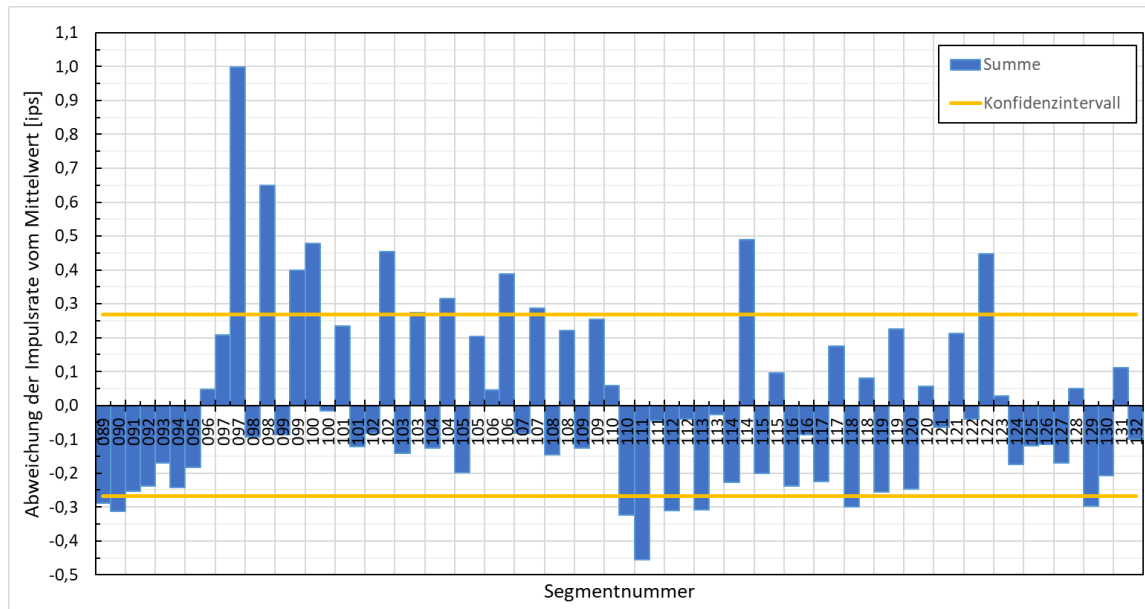
**Abbildung 5:** Langzeitspektrum (60 min) von Sigma-50 gemessen am Bodenende eines T-Trägers. Die hervorgehobenen Bereiche (Türkis) sind ROI's die Cs-137, Co-60 bzw. K-40 entsprechen.

Die weitere Auswertung der Messergebnisse des Sigma-50 stützen sich auf die beiden Langzeitmessungen mit deutlich höherer Messstatistik. Die Auswertung erfolgt dabei analog zur bereits beschriebenen Auswertung der Kurzzeitspektren. Zusätzlich werden die Spektren einer visuellen Überprüfung unterzogen und auf das Vorhandensein von Zerfallslinien über den natürlichen Untergrund



hinaus überprüft. Im Fall eines Fundes von einer Zerfallslinie von Cs-137 oder Co-60 werden vom Untergrund aufgelöste Peaks des jeweiligen Nuklides angepasst.

Die **Abbildung 6** stellt die Sigma-50-Messergebnisse für einen Quadranten der ESS als Abweichung der Impulsrate vom Mittelwert in den oben beschriebenen ROI's für Cs-137 und Co-60. Aus diesem Diagramm ist ersichtlich, dass das Segment 97 für eine Probenahme ausgewählt werden sollte. Weiterhin wurden für die Auswahl der Probenahmeorte auch die Absolutwerte der Messergebnisse berücksichtigt.



**Abbildung 6:** Darstellung der Messwerte der Langzeitmessungen mit dem Sigma-50 an den Doppel-T-Trägern der ESS.

Die Beprobung an ausgewählten Stellen erfolgte durch hierfür neu angefertigte Öffnungen von Innen durch den SHB (jeweils mit einem baustatisch noch zulässigen Durchmesser von etwa 37 cm). Folgenden Proben werden genommen:

- Kratzproben (Metall);
- Materialproben (Metall/Beton/Styropor);
- Überbohrung von zwei Doppel-T-Trägern in ausgewählten Segmenten von oberhalb der Einspannstelle. Die Doppel-T-Träger wurden wie folgt beprobt:
  - Vollflächige Vermessung der zugänglichen Oberfläche des Trägers nach Entfernung des Betons;
  - Kratzprobe am Maximum der zuvor durchgeführten Oberflächenmessungen;
  - Beprobung des entfernten Betons.

## Fazit

Am Beispiel der angestrebten Freigabe der Einspannstelle des KKS wird dargestellt, wie die Freimessung von im Gebäude verbleibenden schwer zugänglichen Komponenten und mineralischer Strukturen in der Praxis realisiert werden kann. Dabei wird die innovative Kombination aus Inspektionscrawler, Reinigungseinrichtungen und Messtechnik in besonders kleiner Bauform erfolgreich eingesetzt. Alle möglichen Kontaminationspfade sind als potenzielle Eintrittspfade identifiziert und werden vollflächig bewertet.