

## Gebäudefreigabe 2.0

Johannes Radtke<sup>a</sup>, Dominik Krupp<sup>a</sup>, Tim Thomas<sup>a</sup>, Steven Zapf<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Safetec Entsorgungs- und Sicherheitstechnik GmbH  
Kurpfalzring 98a, 69129 Heidelberg  
E-Mail: johannes.radtke@safetec-hd.de

<sup>b</sup> Preussen Elektra GmbH  
Tresckowstraße 5, 30457 Hannover  
E-Mail: steven.zapf@preussenelektra.de

### Einleitung

Mit der in 2011 verabschiedeten AtG Novelle müssen in Deutschland ab 2023 alle betrieblichen kerntechnischen Anlagen zurückgebaut werden. Ein wesentlicher Prozess des Rückbaus ist dabei die Dekontamination und Freigabe der Kontrollbereichsgebäude mit der schlussendlichen Entlassung der Gebäude aus dem Atomgesetz. Die Vielzahl an Anlagen, die hierbei in Deutschland parallel zurückgebaut werden, erfordern effiziente und prozesssichere Vorgehensweisen und hier kann die Digitalisierung helfen. Die bisherigen Erkenntnisse in den Rückbauprojekten an den Standorten Würgassen und Stade ergaben, dass die Verarbeitung und Dokumentation der umfangreichen Mess- und Analysedaten zu den erfolgskritischsten Schlüsselfaktoren im modernen Rückbau gehören. Die konsequente Umsetzung der Prozessdigitalisierung, in Kombination mit standardisierten Prozessabläufen und effizienter Automatisierung, werden Schlüsselbausteine sein, um den steigenden Anforderungen zielgerichtet zu begegnen.

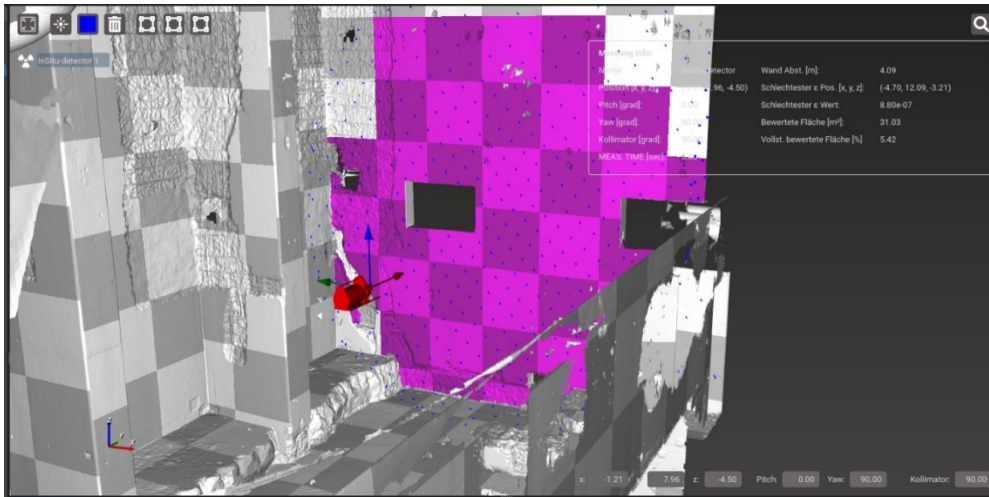
Maßgeschneiderte Digitalisierungs- und Automatisierungskonzepte sollen eine höchstmögliche Prozesssicherheit bei gleichzeitig hoher Effizienz erreichen und damit den erfolgreichen Weg zur „Grünen Wiese“ unterstützen.

### Die Digitalisierung der Gebäudefreigabe

#### Der digitale Zwilling des Kernkraftwerks

Grundlage zur Darstellung des gesamten Prozesses der Gebäudefreigabe, von der Demontage bis zur Freigabe im Rahmen eines digitalisierten Prozesses, ist die Gebäudegeometrie. Das gesamte Kraftwerksgebäude wird hierbei als digitaler Zwilling in der Software abgebildet. Dadurch können sämtliche Prozesse virtuell geplant und koordiniert werden. Ausgangslage für den digitalen Zwilling ist die Initialgeometrie, die auf den Verschaltungsplänen des Kraftwerks beruhen. Hierbei lassen sich die Räume im Gesamtsystem einordnen und ein erster Überblick über die verschiedenen Begebenheiten der einzelnen Räume schaffen. Aufgrund von Baumaßnahmen im Rahmen des Betriebs des Kraftwerks oder in der Nachbetriebsphase bzw. zur Raumvorbereitung zur Übergabe in die Gebäudefreigabe, kann die Geometrie stark abweichen. Außerdem bietet die Initialgeometrie keine exakte Darstellung des Kraftwerks, da hierbei Mauer- und Bodenstärken bzw. kleine Durchführungen nicht korrekt berücksichtigt wurden. Damit der Freigabeprozess jedoch exakt an der richtigen Geometrie durchgeführt werden kann ist es notwendig, diese zum Zeitpunkt der Raumübergabe zu erfassen. Die Erfassung erfolgt mittels eines 3D Laserscanners. Die Geometrie wird an verschiedenen Positionen des Raums erfasst, um eine gegenseitige Verschattung von Geometrie im Raum zu vermeiden. Anschließend erfolgt die Kombination der Geometriedaten aller 3D Laserscan zu einem Gesamtscan des Raums. Diese Daten liegen zunächst als Punktwolkenmodell vor. Es folgt dann die Bearbeitung der Daten, um aus dem Punktwolkenmodell zu einem hochaufgelösten 3D Modell zu gelangen. Dabei werden große Datenmengen generiert. Mittels eines Optimierungsalgorithmus erfolgt die Reduktion der Geometrie ohne Verlust von Details um die Datenmenge zu reduzieren. Auf Basis dieser Geometrie erfolgt dann die Trennung der Geometrie in Komponenten, wie Wände, Böden und Sonderflächen und deren weitere Aufteilung in planare Oberflächen. Diese Unterteilung bildet anschließend die Grundlage für die Messplanung. Messsysteme, wie z.B. In-situ-Detektoren mit ihren entsprechenden

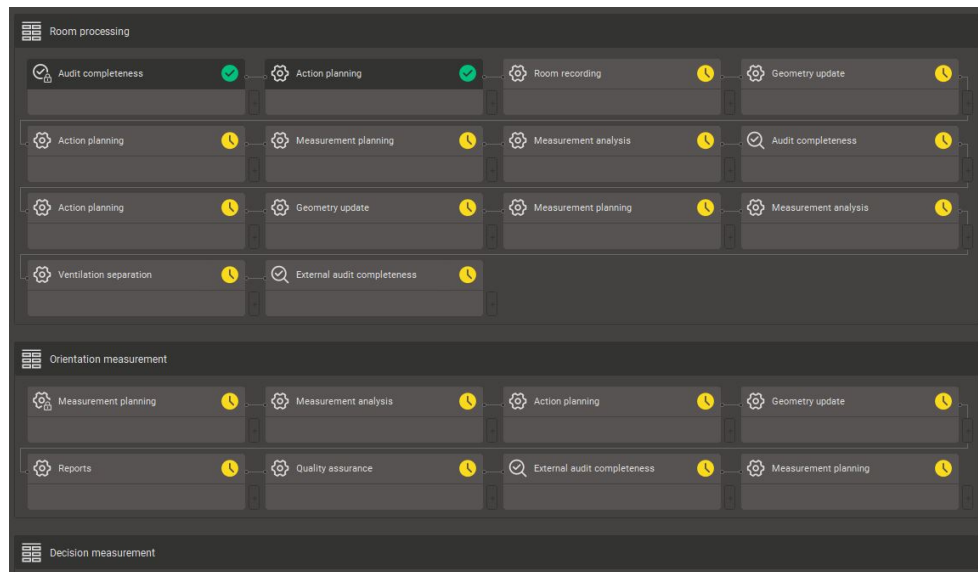
radiologischen Öffnungswinkeln, sind ebenso im digitalen Zwilling des Kraftwerks hinterlegt. Nach einer durchgeführten Messung werden die Daten automatisch an den digitalen Zwilling übermittelt und bilden die Zuordnung der Messergebnisse zu bestimmten Oberflächen bzw. Materialien, also die Unterscheidung von metallischen und mineralischen Oberflächen (siehe Abbildung 1).



**Abbildung 1) Integriertes 3D Modell mit 1cm Detailauflösung**

### **Die Standardisierung im Prozess der Gebäude Dekontamination und Freigabe (GeDuF)**

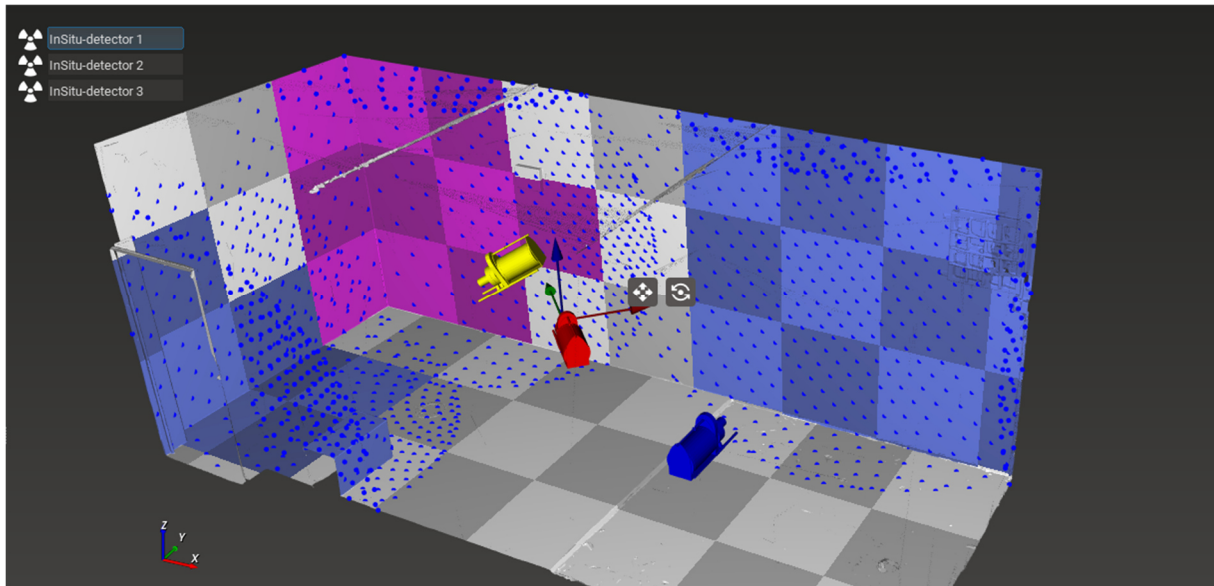
Ziel des gesamten Prozesses ist die Erstellung einer vollständigen Dokumentation zum Nachweis der Kontaminationsfreiheit in den Räumen bzw. Raumbereichen. Für den Ablauf der GeDuF von der Raumübergabe bis zur Freigabedokumentation wurde ein Standardprozess definiert. Die Definition dieses Standardprozesses dient dabei der Vereinheitlichung der Arbeitsprozesse im Rahmen der GeDuF. Jedoch können verschiedene Räume eine Abwandlung des Standardprozesses notwendig machen. Dies kann zum einen dadurch begründet sein, dass manche Räume aufgrund ihrer Historie sehr sauber sind und dadurch Prozessschritte wie z.B. die Grobdekontamination nicht notwendig sind. Anderenfalls kann es jedoch auch dazu führen, dass an manchen Stellen im Prozesse „Loops“ durchgeführt werden, also manche Prozesse mehrfach nacheinander durchgeführt werden müssen, bevor das erwünschte Ergebnis erzielt wird. Dadurch kann der Prozess beliebig erweitert werden. Dies kann in der Software über den Workflow abgebildet und nachverfolgt werden. Die einzelnen Arbeitsschritte und dessen Status sind hierbei abgebildet (siehe Abbildung 2)). Sollten weitere Arbeitsschritte notwendig oder überflüssig sein, so können diese durch den Koordinator angepasst werden.



**Abbildung 2) Prozessabbildung**

### Messplanoptimierung und Automatisierung durch Minimierungsalgorithmen

Grundlegendes Werkzeug der GeDuF ist die Messplanung. Für die Messplanung kann auf Basis von einem Minimierungsalgorithmus ein automatisierter Messplan erstellt werden. Hierfür werden die grundlegenden Parameter Zeit und voraussichtliche Summenformelwertausschöpfung minimiert. Basis des Algorithmus ist die 3D - Geometrie und eine vordefinierte Heatmap der Aktivitätsverteilung, die als Prior für den Algorithmus genutzt wird. Sollten keine Informationen über Kontaminationen vorliegen, so wird eine homogene, gleichverteilte Untergrundaktivität angenommen. Informationen zur Heatmap können aus sämtlichen Arten von Messungen - egal ob zählend oder spektrometrischen Messungen - erfolgen. Die Präzision der Angaben zur Aktivitätsverteilung haben lediglich darauf Einfluss wie realistisch am Ende die Einschätzung der Kontamination und des erfolgten Ergebnisses aussieht und wieviel Konservativitäten zudem mit einfließen müssen. Jede Zusatzinformation ist dabei optional, kann jedoch dabei helfen die Messplanung zu optimieren. Die gesamte benötigte Zeit setzt sich dabei aus den einzelnen Messzeiten und den abgeschätzten Rüstzeiten zusammen. Dies steht im Gegensatz zur Summenformelwertausschöpfung, die durch die Verlängerung der Messzeit zu einer besseren Statistik und somit zu niedrigeren Nachweisgrenzen führt. Des Weiteren optimiert der Planungsalgorithmus jede Messung selbst und weist jeder Messung stets die zu bewertenden Flächen so zu, dass der Punkt geringster Effizienz verbessert werden kann. Dadurch kann das Konservativitätsbudget reduziert werden. Auch das wirkt sich im Endeffekt sowohl auf die Messzeit als auch auf die Summenformelwertausschöpfung aus. Aufgabe des Planungsalgorithmus ist es hierbei also die optimale Lösung aus Messzeit und Summenformelwertausschöpfung zu finden (siehe Abbildung 3)). Die vorgeschlagene Messplanung kann jedoch vom Anwender jederzeit noch überarbeitet und bei Bedarf angepasst werden.



**Abbildung 3) Beispiel einer Messplanung**

#### **Der Übergang zwischen dem digitalen und realen Kraftwerk**

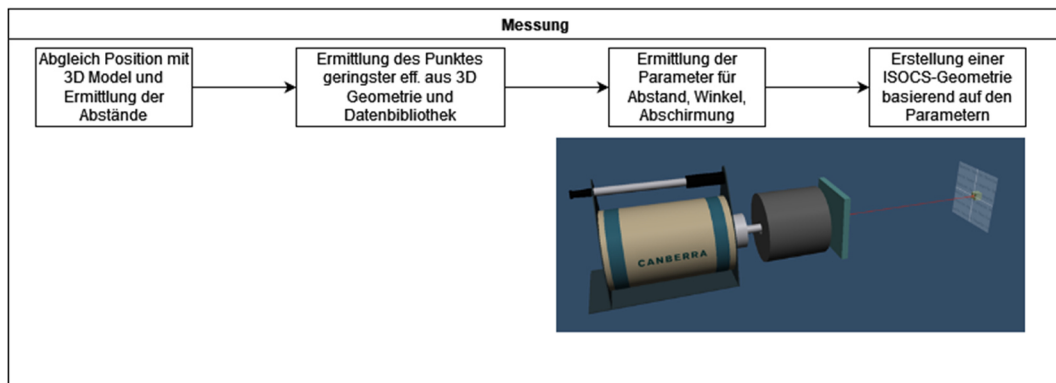
Nach der Erstellung des Messplans erfolgt die Durchführung der Messungen vor Ort. Um sicherzustellen, dass die Ausrichtung und Positionierung der Messgeräte exakt mit der Messplanung übereinstimmen, erfolgt eine vollständig automatisierte Positionserfassung der Messtechnik im Raum. Hierfür wird ein Triangulationssystem eingesetzt. Definierte Empfangseinheiten, die sich an einer festen definierten Stelle im Raum befinden, kommunizieren mit einer Sendeeinheit, die sich wiederum am Detektorsystem befindet. Über die Laufzeitunterschiede des Signals zu den unterschiedlichen Empfangseinheiten erfolgt anschließend die Positionsbestimmung (siehe Abbildung 4)).



**Abbildung 4) Sendeeinheiten des Positionierungssystems**

Als Sekundärsystem und zur Steigerung der Präzision der Positionsermittlung des Detektors kommt darüber hinaus noch ein LIDAR-System (Kurzform für Light Detection and Ranging) zum Einsatz. Durch den Abgleich des LIDAR-Signals mit der definierten 3D - Geometrie des Raums erfolgt eine Ermittlung der Position und Lage des Detektors. Erst nach Übereinstimmung der angepeilten Position und der tatsächlichen Position des Detektors kann die Messung durchgeführt werden. Die Messung erfolgt mittels des sogenannten „One-Button-Prinzips“. Die Kommunikation und der Datenaustausch mit dem Detektor, sowie sämtliche notwendigen Berechnungen werden von der Software abgedeckt. Dies hat

den Vorteil, dass nachdem verifiziert wurde, der gesamte Prozess korrekt durchlaufen wird. Dies kann auch für alle weiteren Messungen angenommen werden, anders als wenn der Prozess händisch durchgeführt wird. Die Geometrieerstellung und die Berücksichtigung des Punktes der geringsten Effizienz erfolgt streng mathematisch und beruht auf ca. 100.000 Einzeldaten die im Rahmen einer Bibliothek zur Verfügung stehen. Dabei kann sichergestellt werden, dass der Punkt geringster Effizienz immer am korrekten Platz definiert ist. Die Erstellung der Geometrie beruht somit nicht mehr nur auf Erfahrung und dem Vertrauen auf die richtige Lösung. Die korrekte Position für die Hotspotannahme und die Definition des Punktes geringster Effizienz kann durch das System mathematisch nachgewiesen werden (siehe Abbildung 5)).



**Abbildung 5) Prozess der Effizienzerzeugung in SAIF/VEGAS**

Die messende Person hat dabei die Möglichkeit die Zwischenergebnisse der Messung jederzeit einzusehen und die Messung ggf. vorzeitig zu beenden. Nach Abschluss der Messung erfolgt die Auswertung mittels einer etablierten Spektrometrie-Software. Hierbei werden die Originaldaten wie auch die Messergebnisse gehasht. Dadurch kann sichergestellt werden, dass die Daten nicht im Nachhinein verändert werden können. Nachdem die Messwerte an die mobile Recheneinheit übermittelt wurden und diese dann an das Netzwerk und die Datenbank angeschlossen wurde, erfolgt beim Upload der Daten die Prüfung, ob der Hashcode unverändert geblieben ist. Wenn dies der Fall ist, dann werden die Daten in der Datenbank abgespeichert.

### **Die Erzeugung des Berichts als Verbindung zwischen allen Einzelaspekten**

Begleitend zum Durchlaufen des GeDuF-Prozesses mit allen Maßnahmen und Messungen, müssen sämtliche Schritte dokumentiert und teilweise mit dem Sachverständigen bzw. der Behörde abgestimmt werden. Dazu muss ein umfangreiches Berichtswesen für jeden einzelnen Raum erzeugt werden. Um den kritischen Pfad im Terminplan zu entspannen, wird der Bericht für einen Raum in viele kleine Module geteilt, welche bereits prozessbegleitend erstellt und geprüft werden können. Dies vermindert eine übermäßige Arbeitsbelastung der Dokumentenprüfer nach Abschluss des eigentlichen Prozesses. Die Vollständigkeit eines Berichtsabschnitts wird anschließend in einem Deckblatt überprüft und dargestellt.

Die Berichtsabschnitte sind als „Schablonen“ hinterlegt und werden aus der Datenbank automatisch mit den korrekten Inhalten gefüllt. Der Berichtsersteller übernimmt lediglich die Kommentierung und Qualitätssicherung der Daten. Nach erfolgreicher Erstellung wird der Berichtsabschnitt mit einer Prüfsumme versehen, um eine nachträgliche Änderung kenntlich zu machen. Zusätzlich wird jeder Berichtsstand archiviert.

Die eigentliche Prüfung durch die interne QS oder durch einen Gutachter kann ebenfalls im System bei Vollzugriff auf alle Rohdaten und Ergebnisse erfolgen. Am Ende wird eine finalisierte Version des Berichtsabschnitts druckfertig erzeugt.



## Zusammenfassung

Der parallel stattfindende Rückbau sämtlicher kerntechnischer Anlagen in Deutschland zum Jahr 2023 erfordert eine strukturierte und koordinierte Arbeitsweise und macht eine Digitalisierung der Prozessschritte und sämtlicher anfallender Daten zwingend notwendig. Daher wurde der Prozess der Gebäudedekontamination und Freigabe im Rahmen einer Standardisierung für die zukünftigen freizugebenden kerntechnischen Anlagen vereinheitlicht. Die Notwendigkeit eines digitalisierten und standardisierten Prozesses wird vor allem bei der Dekontamination und Freigabe der Kontrollbereichsgebäude mit der schlussendlichen Entlassung der Gebäude aus dem Atomgesetz deutlich.

Grundlage der Digitalisierung und virtualisierten Koordination der Prozesse ist die Erstellung eines digitalen Zwillings der kerntechnischen Anlage. Hierbei ist eine exakte Darstellung der Anlagengeometrie für die präzise Durchführung des Freigabeprozesses notwendig. Um dies zu gewährleisten wird der Raum mittels eines 3D Laserscans erfasst und in der Datenbank hinterlegt. Auf Basis dieses Laserscans kann während des Prozesses eine Dokumentation zum Nachweis der Freigabefähigkeit des Raums visualisiert werden. Die unterschiedlichen betrieblichen Nutzungen der Räume macht es notwendig, eine gewisse Dynamik und Flexibilität im Prozess zuzulassen. Die Vereinheitlichung beider Anforderungen führt zu einem modularem Regelprozess. Die Einzelmodule enthalten standardisierte Abfragen und Eingabemasken, lassen sich jedoch je nach Notwendigkeit beliebig kombinieren.

Für die Gebäudefreigabe dient die Messplanung als Grundlage zur Durchführung von Messungen mittels diverser Messtechnik. Zur Unterstützung des Anwenders erfolgt die Messplanung automatisiert. Auf Basis der voraussichtlich benötigter Messzeit, Rüstzeit und zu erwartender Kontamination wird eine Messkonfiguration ermittelt. Die Zustimmung der vorgeschlagenen Messplanung, sowie die mögliche Anpassung des Messplans obliegt dem Anwender. Auf Basis des zugestimmten Plans erfolgt anschließend die Messdurchführung in den freizugebenden Räumen. Die Software überprüft, ob die verschiedenen Parameter der Messplanung bei der Durchführung eingehalten werden. Darüber hinaus werden mittels komplementärer Sensoren die Position und Ausrichtung des Messsystems ermittelt und verifiziert. Die Ausführung der Messung erfolgt mittels „One-Button-Prinzip“. Sämtliche für die Messung zu tätigen Einstellungen werden durch die Software übernommen und sollen so menschliche Bedienfehler ausschließen. Basieren auf den aufgenommenen Daten erfolgt die automatische Dokumentation der Einstellung für anschließende Qualitätssicherungsmaßnahmen. Grundlage für die Erstellung einer Geometrie für In-situ-Messungen basiert dabei auf der Simulation von über 100.000 Einzeldatenpunkten und stellt somit eine signifikante Daten- und Validierungssicherheit dar, die durch einen Menschen niemals abgedeckt werden könnte. Die mathematische Analyse der Spektren, wie z.B. der Berechnung der Nachweisgrenzen nach ISO 11929, wird weiterhin in einer etablierteren Spektrometrie-Software durchgeführt.

Zur Datensicherheit werden sämtliche Daten gehasht und mittels erzeugtem Hashcode in der Datenbank und auf dem Messgerät abgelegt. Durch die Datenredundanz und die Erzeugung der Hashcodes kann sichergestellt werden, dass keine Daten verloren gehen oder nachträglich verändert werden können.

Diese Messdaten liefern die Grundlage für die Erstellung der Dokumentation zum Nachweis der Kontaminationsfreiheit des Raums. Die Software unterstützt bei der Erstellung der Dokumentation durch die zur Verfügungstellung von definierten Berichtstemplates und dessen automatisierter Datenfüllung. Die Hauptaufgabe des Berichtserstellers liegt damit in der Prüfung der Ergebnisse und dem Anpassen der Templates durch Daten, die nicht im System verknüpft wurden.

Durch die Standardisierung, Automatisierung und Digitalisierung des kerntechnischen Rückbaus in Deutschland werden durch das innovative SAIF/VEGAS System effizientere Wege zur grünen Wiese beschritten.