

Innovative Produktentwicklung für den Rückbau kerntechnischer Anlagen - Effizienz und internationale Perspektiven

#Onlinevortrag #Sicherheit #Umweltschutz #Effizienz #Herausforderungen
#Einschränkungen #Kerntechnik #Zukunft #Technologien

#strongertogether #atomkraft

Dr. Bastian Weinhorst

- Promovierter Physiker im Bereich theoretische Astroteilchenphysik (Ruhr-Universität Bochum)
- Neutronenphysikalische Berechnungen zur Auslegung von Bauteilen für ESS, ITER, DEMO (Inst. für Neutronenphysik und Reaktortechnik, KIT)
- Teamleiter Produkte & Entwicklung bei Safetec
- Interessen: Raumfahrt, Sport, Wandern (Norwegen)



Marktführer Strahlenschutz und kerntechnischem Rückbau

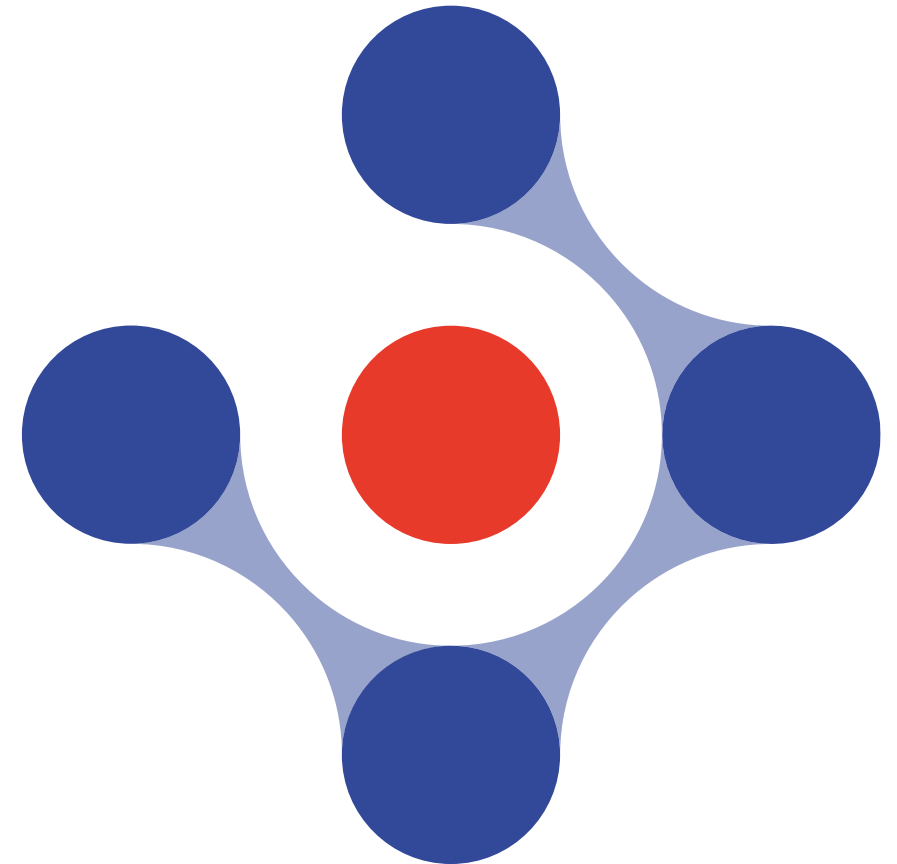
Seit über drei Jahrzehnten sind wir ein zuverlässiger Partner in der Kerntechnik. Unser Fachwissen erstreckt sich über Bereiche wie nukleare Entsorgung, Projektmanagement, Analytik und Rückbau.

Mit einem klaren Blick in die Zukunft und einem starken Sinn für soziale Verantwortung setzen wir uns leidenschaftlich für unsere Kunden ein.

Wir sind stolz darauf, unseren Kunden nicht nur bewährte Lösungen anzubieten, sondern auch durch proaktive Herangehensweisen und visionäre Ansätze eine nachhaltige und sichere Zukunft zu gestalten.

Willkommen in der Welt der Kerntechnologie!

www.safetec-strahlenschutz.de



Themenübersicht

- **SAFETEC GmbH, Heidelberg**
- **Vorstellung Dozent: Dr. Bastian Weinhorst**
- **Überblick über den Atomausstieg und die Abschaltung der Atomkraftwerke (AKW)**
- **Aktuelle Lage zum Atomausstieg**
- **Herausforderungen im Kontext des Atomausstiegs**
- **AKW-Rückbau als gesellschaftliche Aufgabe**
- **Vorstellung innovativer Produktentwicklung: SAIF und SIStec**
- **Anwendungen in der Praxis: Produktentwicklungen im Rückbau**
- **Herausforderungen für die Produktentwicklung und Lösungen**
- **Ausblick in die Zukunft: Zeitrahmen und globale Perspektiven**
- **Schlussbemerkungen**
- **Fragerunde, Diskussion**
- **Abstract**

Überblick über den Atomausstieg und die Abschaltung der Atomkraftwerke

Überblick über den Atomausstieg

- **11. März 2011:** Nuklearkatastrophe in Fukushima
- **14. März 2011:** Politische Reaktion mit **Atom-Moratorium**, sofortige Stilllegung älterer AKW's
- **Atomausstiegsbeschluss 2011:** Festlegung des endgültigen Ausstiegs bis 2022



Quelle: digital globe

Abschaltung der Atomkraftwerke (AKW)

- 06. August **2011** Biblis A und B, Neckarwestheim 1, Brunsbüttel, Isar 1, Unterweser, Philippsburg 1. AKW Krümmel war bereits vom Netz.
- 31. Dezember **2021** Grohnde, Gundremmingen C und Brokdorf
- 15. April **2023** Isar 2, Emsland und Neckarwestheim 2.

Aufgrund der Energiekrise konnten die drei AKW in einem befristeten Streckbetrieb bis längstens 15. April 2023 weiterlaufen. Der Einsatz neuer Brennelemente war nicht zulässig.

Aktuelle Lage in Deutschland zum Atomausstieg



National

- **Sicherheitsdebatte** über Kernkraftwerke;
neu ausgelöst im Jahre 2022, als eine **kerntechnische Anlage** in der Ukraine zum ersten Mal **Ziel kriegerischer Auseinandersetzungen** geworden ist
- **Förderung** durch die **Transformation** zu **erneuerbaren Energien**, wie beispielsweise Förderung von Windkraft und Solarenergie
- Die Erschließung neuer **technischer Innovationen** zur Effizienzsteigerung und Beschleunigung des Rückbaus von Kernkraftwerken.

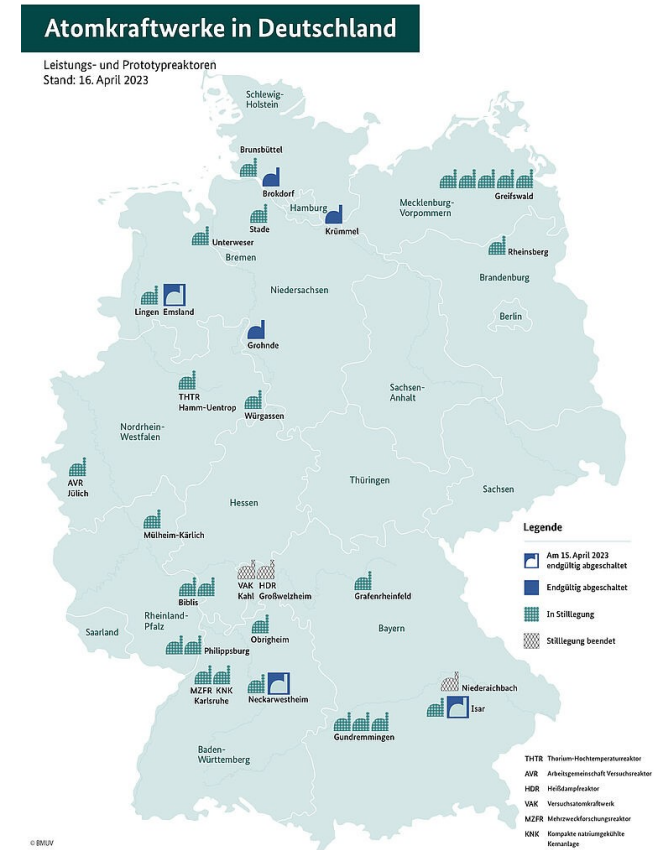
International

- **Signalwirkung!** Deutschland als Vorreiter in der weltweiten **Umstellung** auf **erneuerbare Energien**
- Verstärkte internationale Debatte über **alternative Energiequellen**
- Förderung der **internationalen Kooperation**. Länder **tauschen** vermehrt **Wissen** und **Erfahrungen** über nachhaltige Energielösungen aus
- Deutschlands Beitrag zur globalen Anstrengung, um die **Klimaziele** zu erreichen und den **Umweltschutz** zu stärken
- Energiewende eröffnet internationale Märkte für erneuerbare Energien und innovative Technologien. Länder **suchen** vermehrt **wirtschaftliche Chancen** im Bereich grüner Energien.

Herausforderungen im Kontext des Atomausstiegs

Wieviel Kernkraftwerke gab es in Deutschland?

Während der gesamten Ära der Kernkraftnutzung betrieben die deutschen Kernkraftwerke insgesamt **37 Reaktoren** und erzeugten fast 5.600 Terawattstunden (TWh) elektrischen Strom.



Quelle: <https://www.bmu.de/media/atomkraftwerke-in-deutschland-abschaltung-der-noch-betriebenen-reaktoren-gemaess-atomgesetz-atg>

Herausforderungen im Kontext des Atomausstiegs

Beim Rückbau von
Kernkraftwerken fallen
große Mengen von
unterschiedlichen
Materialien an.
Circa 97% wird recycelt.



Nur ein geringer Teil muss
endgelagert werden.
Jedoch sind alle Materialien
einem **Freigabeverfahren**
unterworfen.

Herausforderungen im Kontext des Atomausstiegs



Rückbau

- **Technische Komplexität:** Der Rückbau erfordert komplexe technische Verfahren und innovative Lösungen, um radioaktive Materialien sicher zu entfernen und zu entsorgen
- **Sicherheit und Strahlenschutz:** Die Sicherheit von Arbeitskräften und der Schutz vor radioaktiver Strahlung stellen eine fortwährende Herausforderung dar
- **Entsorgung radioaktiver Abfälle:** Es braucht sichere Lagerstätten und Entsorgungsmethoden

weitere Herausforderungen

- **Gesellschaftliche Akzeptanz:** Der Atomausstieg und der Rückbau von Kernkraftwerken sind gesellschaftlich umstritten
- **Finanzielle Aspekte:** Kostenintensiver Rückbau erfordert gesicherte Finanzierung und Bewältigung langfristiger finanzieller Verpflichtungen
- **Zeitlicher Rahmen:** Langfristiger Rückbau erfordert über Jahrzehnte die Einhaltung von Zeitplänen
- **Internationale Zusammenarbeit:** Notwendige globale Zusammenarbeit für Forschung, Sicherheitsstandards und Entsorgungsmethoden.

AKW-Rückbau als gesellschaftliche Aufgabe



Bedeutung des AKW-Rückbaus für die Gesellschaft

Der Rückbau von Kernkraftwerken ist essenziell für die Gesellschaft, da er

- Sicherheit,
- Umweltschutz,
- Gesundheit
- und wirtschaftliche Veränderungen vorantreibt.

Herausforderungen und Verantwortung der Gesellschaft im AKW-Rückbau

Die Gesellschaft steht insgesamt vor **finanziellen**, **technischen** und **gesellschaftlichen** Herausforderungen.

Die Verantwortung umfasst,

- Sicherstellung von Transparenz im gesamten Rückbau
- die Schaffung von Arbeitsplätzen
- die langfristige Überwachung
- und die internationale Zusammenarbeit.

Freigabeschritte im AKW-Rückbau

Materialfreigabe

Zunächst müssen alle Gegenstände und „losen“ Komponenten ausgebaut werden

- Maschinen
- Geländer
- Rohrsysteme
- Teilweise Wände

Gebäudefreigabe

Als nächstes muss jeder Raum im AKW freigegeben werden

- Raumerfassung
- Betriebshistorie
- Radiologische Messung
- Dokumentation

Geländefreigabe

Nachdem die Gebäude abgerissen wurden muss das Gelände freigegeben werden

- Historie
- Messung
- Dokumentation

Vorstellung innovativer Produktentwicklung: SAIF und SIStec



Effiziente Gebäudedekontamination und Freigabe

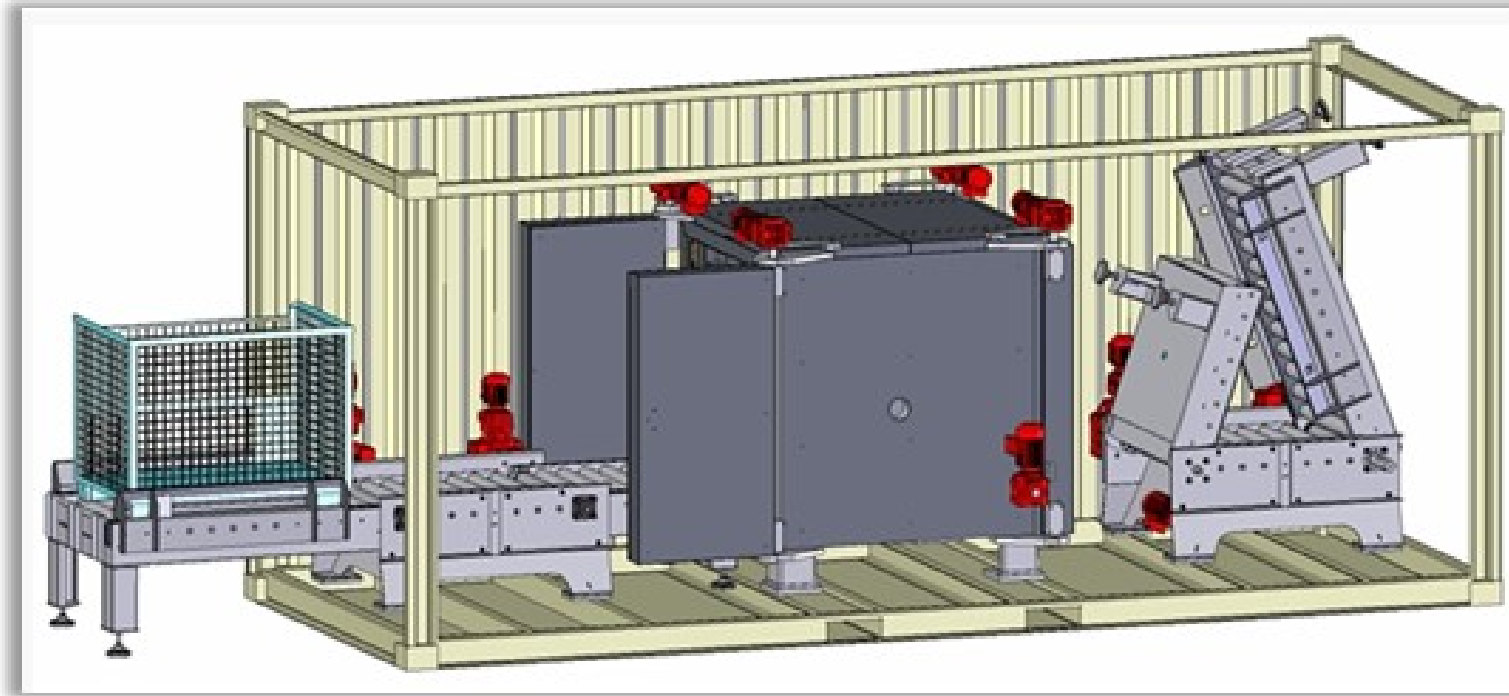
- **SAIF** (Software-Assistierte In-situ-Freimessung)
 - Effiziente Gebäudedekontamination und Freigabe
- **SIStec** (Simulated Integrated (gamma-) Spectra)
 - Fortschrittliche Messtechnik für Materialfreigabe

Vorstellung innovativer Produktentwicklung: SIStec

Fortschrittliche Messtechnik für Materialfreigabe

Eine **Freimessanlage (FMA)**

dient dazu sicherzustellen, dass **Materialien frei** von radioaktiven **Substanzen** sind.



Vorstellung innovativer Produktentwicklung: SIStec



Fortschrittliche Messtechnik für Materialfreigabe

Die Freimessung

ist ein Prozess, bei dem mithilfe von Messinstrumenten überprüft wird, ob ein Bereich oder Material nach bestimmten Sicherheitsstandards frei von radioaktiven Kontaminationen ist.

Eine FMA umfasst spezialisierte Messgeräte, Detektoren und andere Ausrüstungen, die in der Lage sind, die Strahlungsniveaus zu überwachen.

Mit Hilfe von SIStec in Verbindung und der Simulations-Software MCNP können,

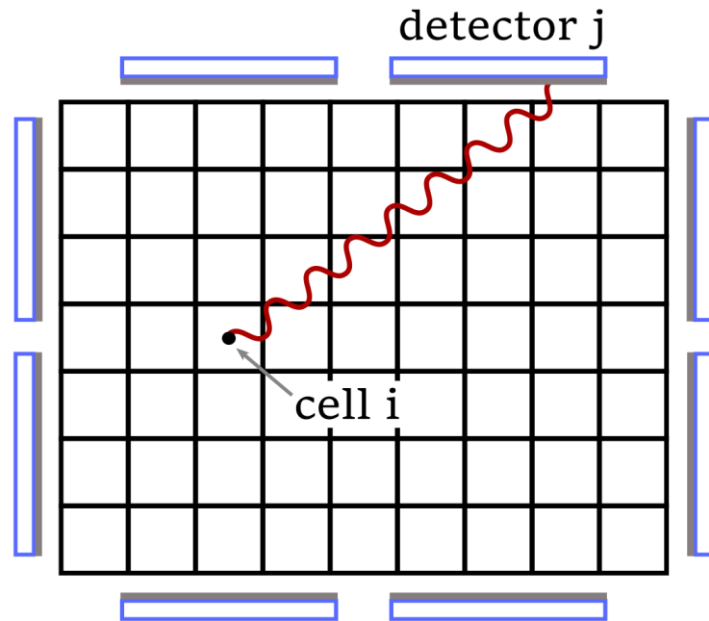
die Wirkungsgrade einzelner Detektoren,
die Aktivitätsverteilung innerhalb eines Messguts,
einschließlich charakteristische Freigabewerte,

berechnet werden.

Vorstellung innovativer Produktentwicklung: SIStec

Fortschrittliche Messtechnik für Materialfreigabe

Imaging CEM



Injektion



Medicine

Imaging

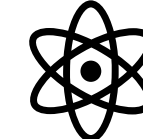


SIStec pro

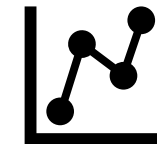
Imaging

+

Aktivität



Analysis



Norm „konform“ zu DIN ISO 11929 (beschreibt die korrekte Bestimmung von relevanten Kenngrößen)

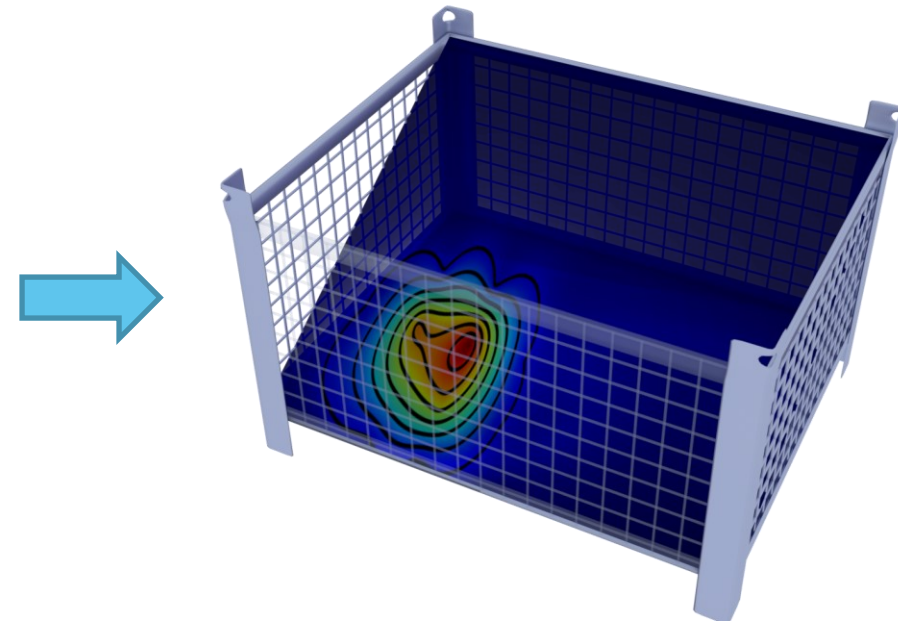
Vorstellung innovativer Produktentwicklung: SIStec

Fortschrittliche Messtechnik für Materialfreigabe

ISO 11929 Berechnen von HotSpots

Die **Bestimmung** von **Kennwerten** erfordert eine genaue Abschätzung der Unsicherheit in den geschätzten Aktivitäten. SIStec verwendet Monte-Carlo-Berechnungen, um Unsicherheiten von den Eingangsparametern (wie Zählraten und Wirkungsgrade) auf die Ausgangsparameter (insbesondere Aktivitäten gemäß ISO 11929-2) zu übertragen. Bei der **Berechnung** von **Entscheidungsschwellen** und **Nachweisgrenzen** ist es notwendig, Unsicherheiten unter Annahme eines wahren Aktivitätswerts zu berücksichtigen.

Zu diesem Zweck werden Zählraten basierend auf angenommenen Aktivitätsverteilungen berechnet, und die Unsicherheiten werden dann auf die geschätzten Aktivitäten übertragen.



Das bildgebendes Verfahren von SIStec macht die berechnete Aktivitätsverteilung innerhalb des Messguts sichtbar!

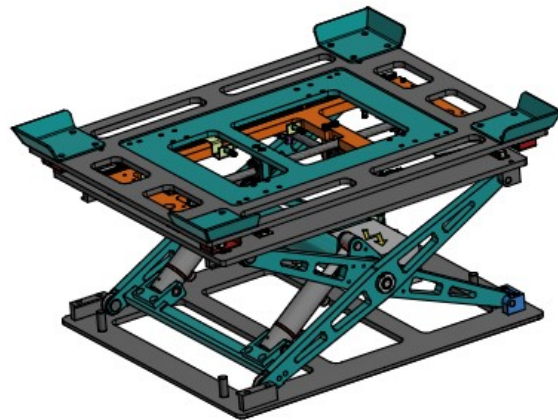
Norm „konform“ zu DIN ISO 11929 (beschreibt die korrekte Bestimmung von relevanten Kenngrößen)

Vorstellung innovativer Produktentwicklung: SIStec

Fortschrittliche Messtechnik für Materialfreigabe

Das Multiple Position Concept (MPC) verbessert die Messung um das DREIFACHE

- Verringerung der Messunsicherheit durch Verhinderung von Fehlplatzierungen der Probe
- Erhöhung der Effizienz durch Positionierung der Probe näher an die Detektoren, z.B. bei optimierter Position etwa 2x höhere Gesamteffizienz
- Verwendung von Bildverbesserungstechniken durch Kombination mehrerer Messungen

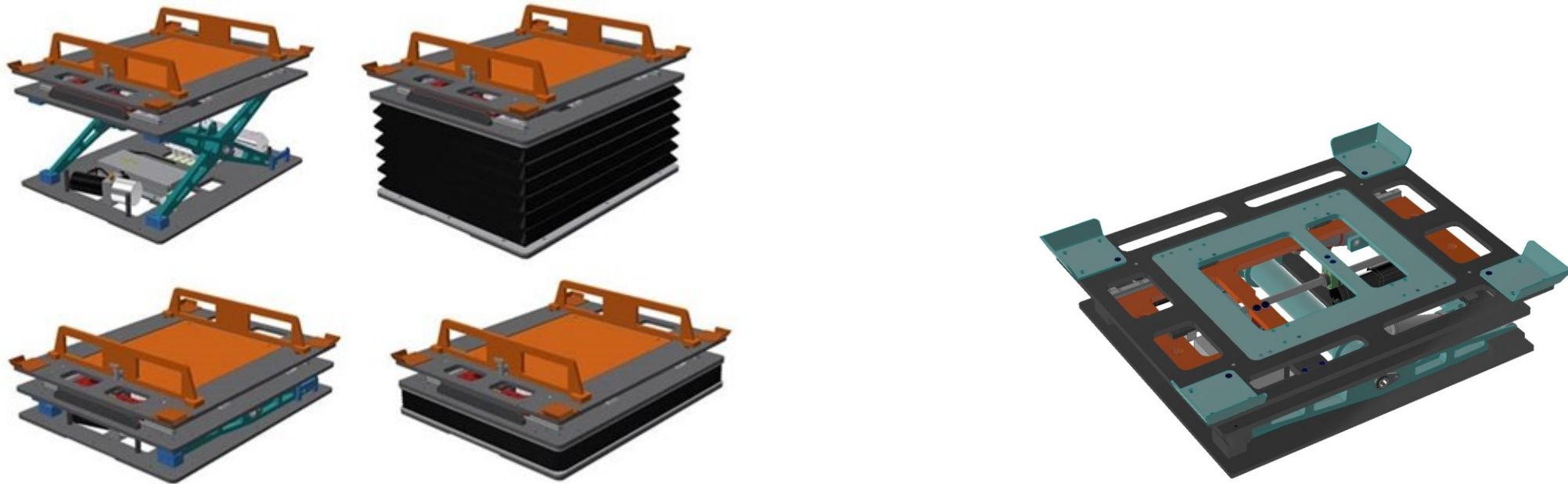


Vorstellung innovativer Produktentwicklung: SIStec



Fortschrittliche Messtechnik für Materialfreigabe

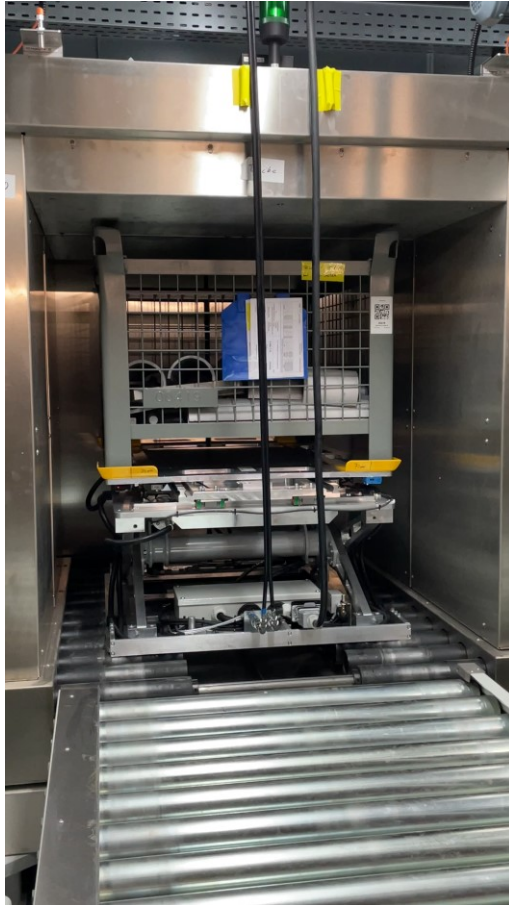
3D-Positioniereinheit



Vorstellung innovativer Produktentwicklung: SIStec

Fortschrittliche Messtechnik für Materialfreigabe

3D-Positioniereinheit
Prototyp



3D-Positioniereinheit
Version 2

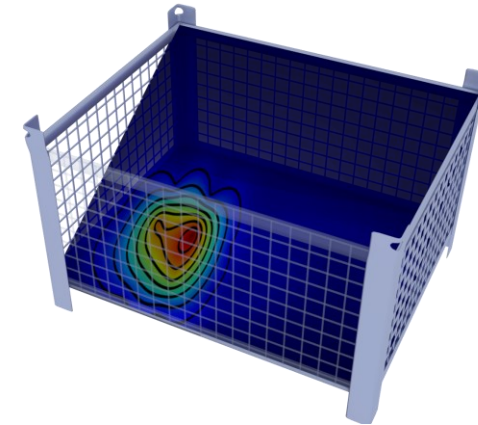


Anwendungen in der Praxis: Produktentwicklungen im Rückbau SIStec

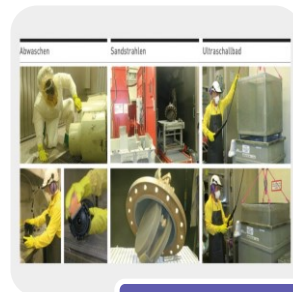
Fortschrittliche Messtechnik für Materialfreigabe

Effizienzsteigerung, Sicherheitsgewinn und Umweltschutz, durch

- SIStec basic: mathematisch abgeleitete Kalibrierungsfaktoren
- SIStec pro: einem neuen Algorithmus: Imaging – CEM
- SIStec ultimate: “mehr” Detektoren: MPC
- Messung der realen Aktivitätsverteilung und aufspüren von HotSpots



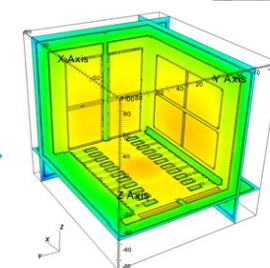
Identification of Nuclear inventory



Decontamination and preparation



Orientation measurement



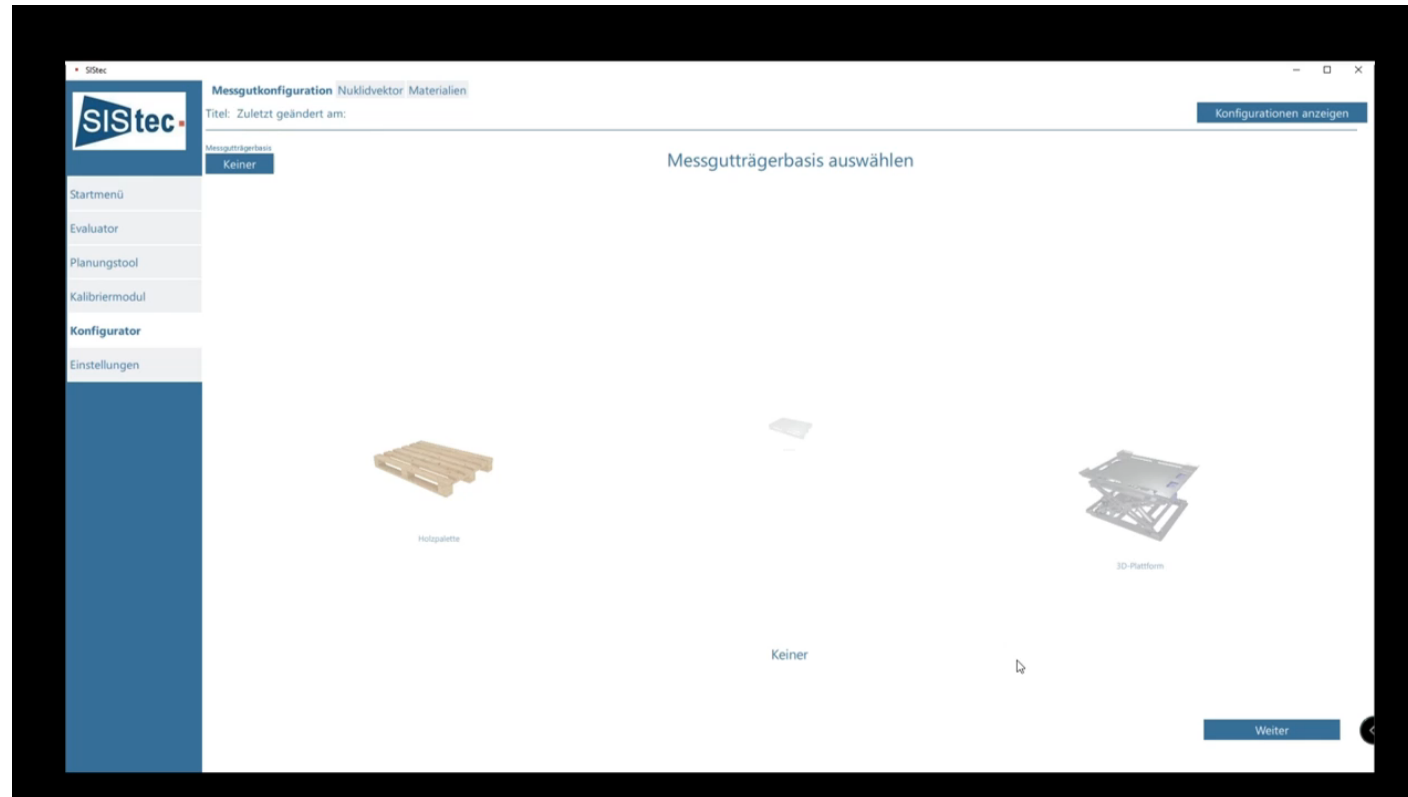
Decision measurement

Anwendungen in der Praxis: Produktentwicklungen im Rückbau SIStec

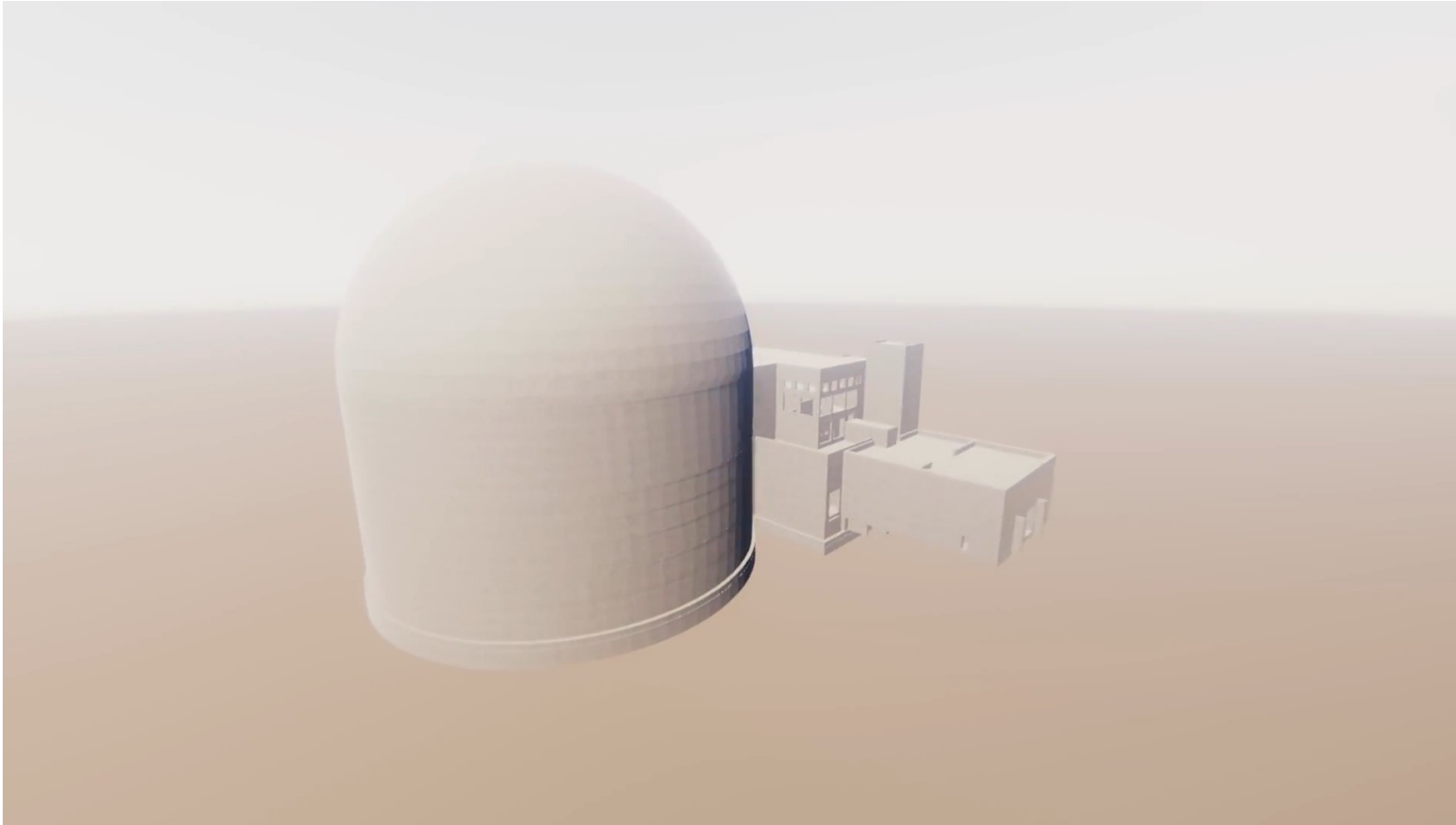


Fortschrittliche Messtechnik für Materialfreigabe

SIStec "live"



SAIF – Effiziente Gebäudefreigabe



Vorstellung innovativer Produktentwicklung: SAIF und der GeDuF Prozess



Effiziente Gebäudedekontamination und Freigabe

Freimessung von Gebäuden:

GeDuF = Gebäude-Dekontamination und Freimessung



Radiologische
Istaufnahme



Dekontamination
& Beprobung



Voruntersuchung



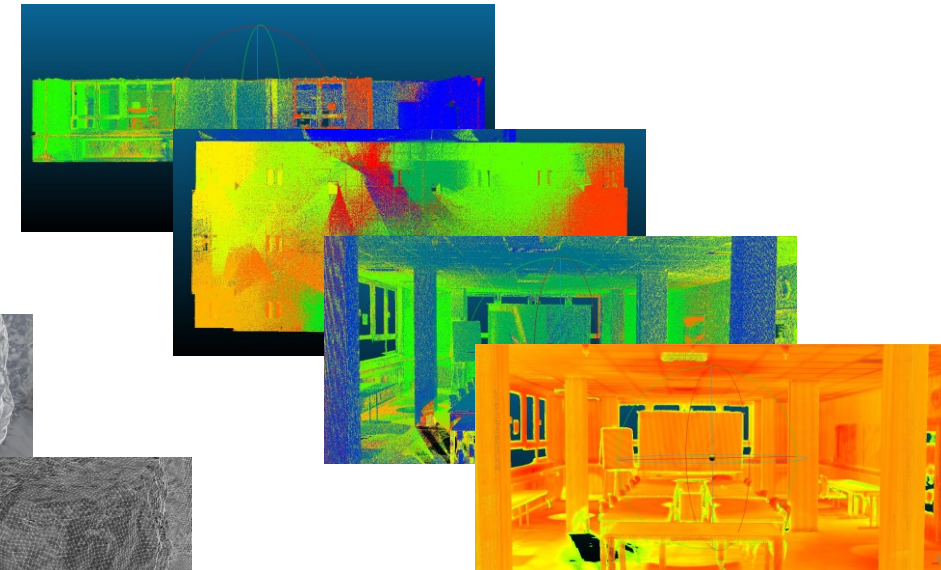
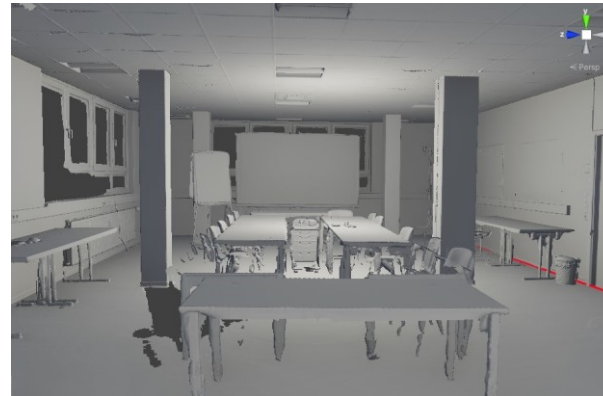
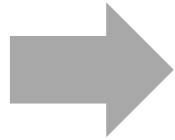
Entscheidungsmessung

Vorstellung innovativer Produktentwicklung: SAIF



Effiziente Gebäudedekontamination und Freigabe

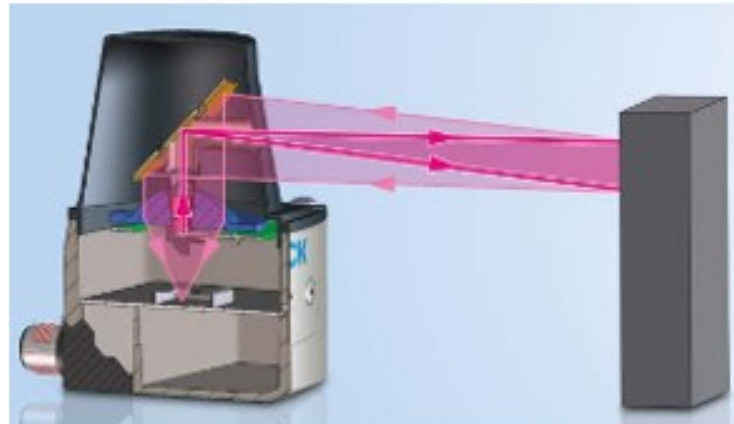
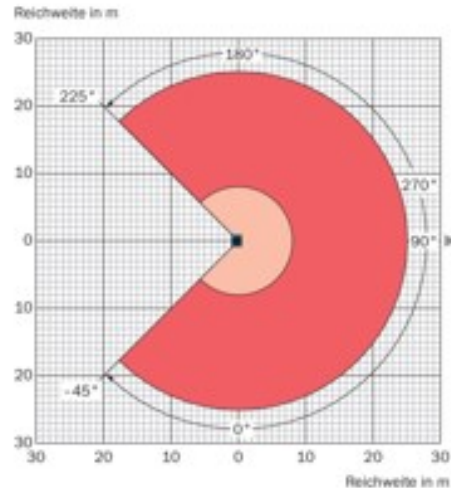
3D Raumaufnahme



Vorstellung innovativer Produktentwicklung: SAIF

Effiziente Gebäudedekontamination und Freigabe

Sensorik 1

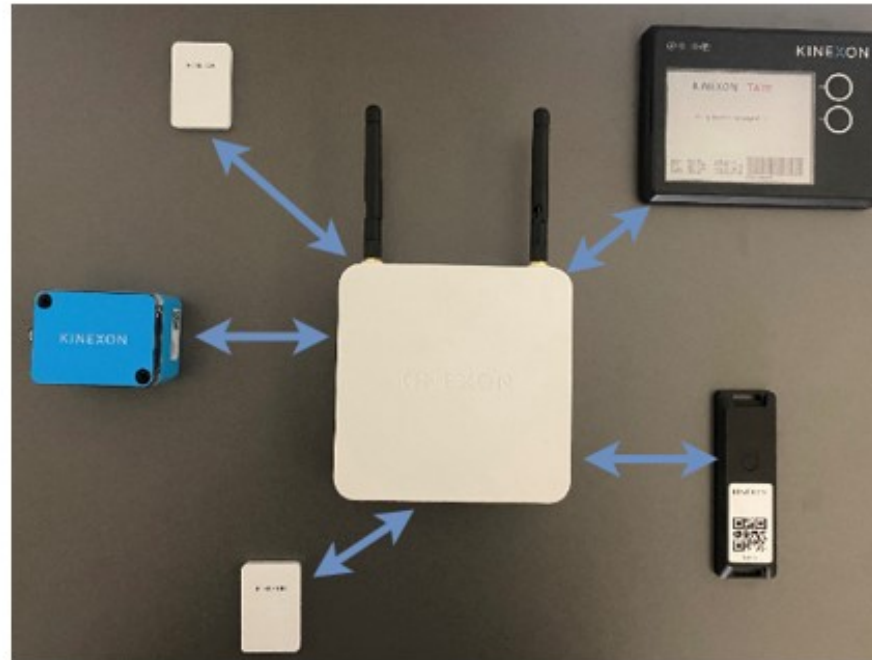


LiDAR-Systeme

Vorstellung innovativer Produktentwicklung: SAIF

Effiziente Gebäudedekontamination und Freigabe

Sensorik 2



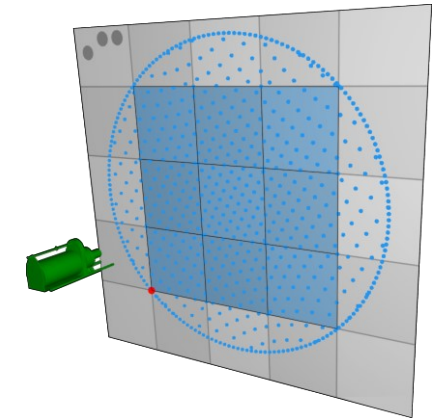
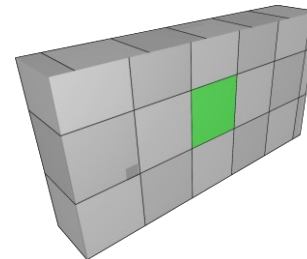
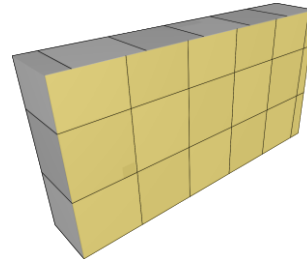
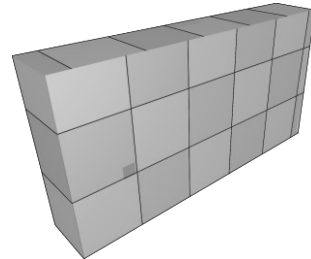
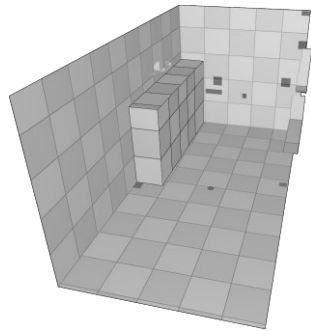
Ultra-Wideband (UWB)

Anwendungen in der Praxis: Produktentwicklungen im Rückbau SAIF

Effiziente Gebäudedekontamination und Freigabe

Mess- und Probenplanung 1 Einführung

Struktur



Auswahl von:

1. Raum

2. Komponente

3. Oberfläche

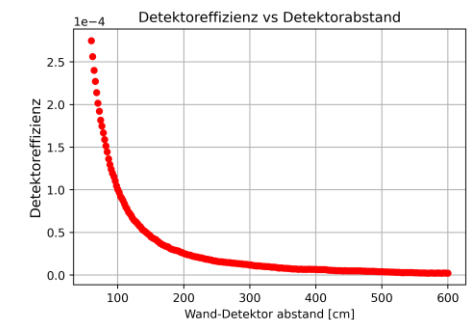
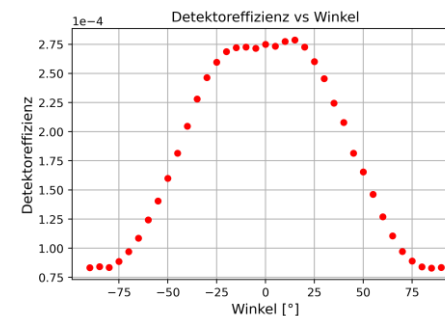
4. Raster / Zelle

Konservativ:

Ansatz

- Validierte Fläche < gemessene Fläche
- Kontamination befindet sich im Punkt der schlechtesten Effizienz des Detektors

InSitu Detektor Effizienz



Anwendungen in der Praxis: Produktentwicklungen im Rückbau SAIF

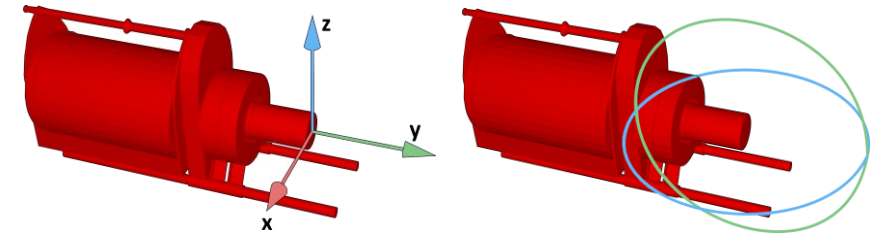


Effiziente Gebäudedekontamination und Freigabe

Mess- und Probenplanung 2 **Manuelle Planung**

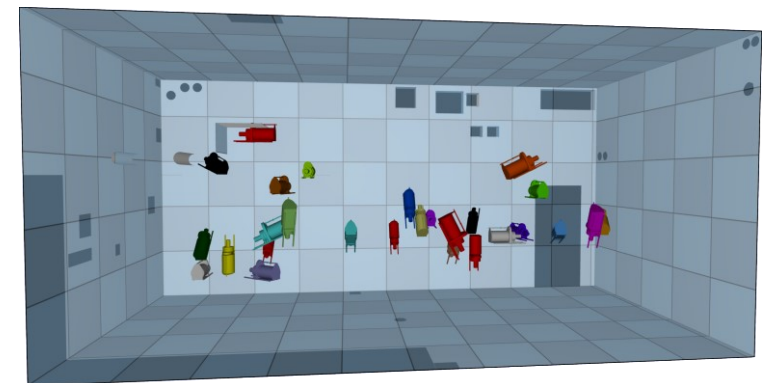
1. Der Nutzer muss für jeden Detektor die x, y, z-Position wie auch die Rotation planen und einstellen.
2. Zur 98%-igen Erfassung des Raums werden 26 In-Situ Detektoren benötigt
3. Die nicht erfassten 2 % des Raums werden mit einem handgehaltenen Kontamaten gemessen.

Die gesamte Messzeit beträgt ~7 Stunden.



1. Position (x,y,z)

2. Rotation (θ, φ)



Anwendungen in der Praxis: Produktentwicklungen im Rückbau SAIF



Effiziente Gebäudedekontamination und Freigabe

Mess- und Probenplanung 3 Automatische Planung

Der Software Algorithmus plant zur Erfassung eines digitalisierten Raums die Anzahl der benötigten Detektoren, deren Position sowie deren Rotation.

Vorgehen:

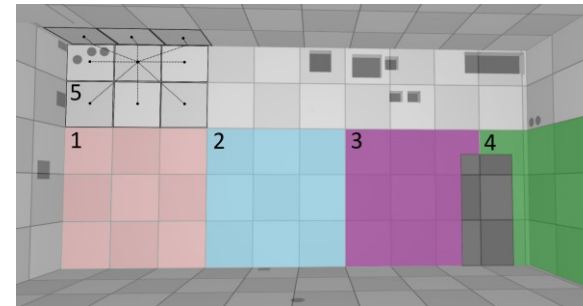
Der Algorithmus unterteilt den Raum in Zell Cluster.

1. Zu der Erfassung eines Clusters werden Detektoren in verschiedenen Positionen und Rotationen positioniert und deren Geometrische-Effizienzen werden bestimmt.
2. Der Detektor mit der besten Geometrischen Effizienz wird zur Messung des Clusters ausgewählt.

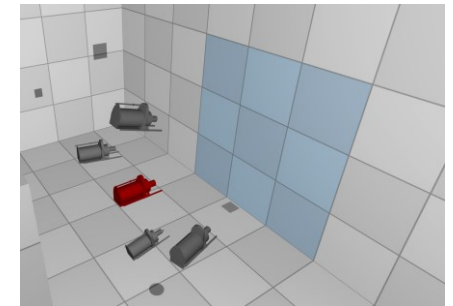
Vorteil:

Die gesamte Messzeit beträgt ~3 ½ Stunden.

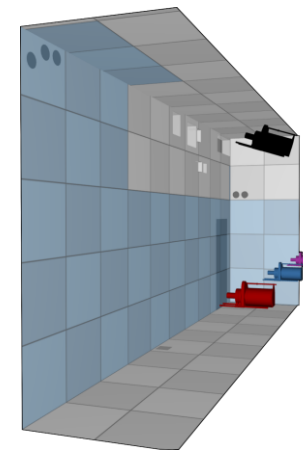
Für die Erfassung eines Raums wird die Messzeit um 50% verkürzt!



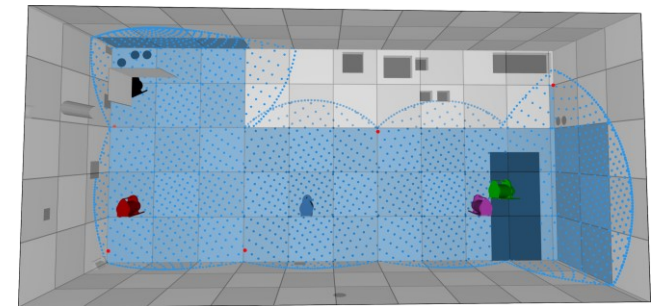
1. Cluster Unterteilung



2. Detektor Positionierung



3. Auswahl Detektor



Herausforderungen für die Produktentwicklung und Lösungen



Spezifische Herausforderungen beim Rückbau von Kernkraftwerken

- Abbau von **großen Strukturen**; Demontage von großen Kühltürmen und den Reaktorgebäuden
- Aufwändige **manuelle Dekontamination**; Größenordnung von etwa **150.000 Quadratmetern** freigabefähiger Flächen pro Kraftwerk. Dies entspricht etwa **30 FIFA-Fussballfelder!**
- **Präzise Kontrolle** aller Flächen
- **Dokumentation und Protokollierung** aller durchgeführten Arbeiten und Protokolle für behördliche Berichtserstattung
- **Herausforderung**: Sorgfältige und klare **Trennung** zwischen **dekontaminierten Materialien** und **Abfall**
- **Öffentlichsarbeit**, Kommunikation mit der breiten Öffentlichkeit in Bezug auf den Rückbau, Aufklärungsarbeit in Bezug auf Sicherheit
- **Qualitätsstandards**, wie **ISO 9001, ISO 14001, ISO 25000**, Secure Development Guide aber auch für Datenschutz (DGSVO), Maschinenrichtlinien und DGUV V3



Quelle: *Internet*



Quelle: *Phillipsburg, Sprengung der Kühltürme (BBN)*

Ausblick in die Zukunft: Zeitrahmen und mögliche Perspektiven



- **Voraussichtliche Dauer des Rückbaus in Deutschland**
 - Der Rückbau von Atomkraftwerken wird Deutschland noch jahrzehntelang beschäftigen
 - Es dauert durchschnittlich 30 Jahre bis ein Kernkraftwerk vollständig zurückgebaut ist.
- **Europäische Perspektiven im Umgang mit Kernkraftwerken**
 - Deutschland ist aus der Atomkraft ausgestiegen
 - Andere Länder, wie z.B. Frankreich haben die verstärkte Nutzung dieser Technologie angekündigt
 - Schweden und Belgien planen eine schrittweise Reduzierung von der Abhängigkeit der Kernenergie, aber ohne vollständigen Ausstieg.

Fazit:

Auf EU-Ebene gibt es unterschiedliche Meinungen zur Zukunft der Kernenergie. Einige Mitgliedstaaten befürworten weiterhin den Ausbau der Kernenergie als Teil einer diversifizierten Energiematrix, während andere stärker auf erneuerbare Energien setzen.

Schlussbemerkungen

Die Bedeutung innovativer Technologien im globalen Kontext des Rückbaus von Kernkraftwerken ist von entscheidender Wichtigkeit, da sie auf verschiedene Weisen zur Bewältigung internationaler Herausforderungen beiträgt:

- 1. Sicherheit und Risikominimierung:**
Innovative Technologien ermöglichen fortschrittliche Rückbauverfahren, die die Sicherheit erhöhen und das Risiko nuklearer Unfälle minimieren.
- 2. Effizienz und Zeitersparnis:**
Durch den Einsatz moderner Technologien können Rückbauprozesse effizienter gestaltet und beschleunigt werden, wodurch die Dauer des Rückbaus verkürzt wird.
- 3. Strahlenschutz und Umweltschonung:**
Fortschrittliche Technologien ermöglichen präzisere und effektivere Methoden zur Entfernung und Entsorgung von radioaktiven Materialien, was den Strahlenschutz verbessert und die Umweltauswirkungen minimiert.
- 4. Innovative Demontage- und Dekontaminationsmethoden:**
Neue Technologien unterstützen die Entwicklung innovativer Ansätze für die Demontage von Anlagenkomponenten und die Dekontamination kontaminierter Bereiche, was die Effizienz steigert, und die Sicherheit erhöht.
- 5. Datenerfassung und Überwachung:**
Innovative Technologien, wie fortschrittliche Sensoren und Datenanalyse, ermöglichen eine präzise Überwachung von Rückbauprozessen und tragen zur Verbesserung von Sicherheit und Effizienz bei.
- 6. Internationale Kooperation und Wissenstransfer:**
Der Einsatz moderner Technologien fördert den internationalen Wissenstransfer und die Zusammenarbeit bei bewährten Praktiken im Rückbau von AKWs, was zu globalen Fortschritten führt.

Innovative Technologien im Kontext des AKW-Rückbaus ist somit nicht nur ein lokales Anliegen, sondern trägt dazu bei, weltweit höhere Standards in Bezug auf Sicherheit, Effizienz und Umweltschutz zu etablieren.

Fragerunde, Diskussion

- **Ist die Ukraine als Markt für SAFETEC interessant oder sind Sie da bereits unterwegs? Altlasten gibt's da genug.**
Generell ist der internationale Markt sehr interessant. Insbesondere die Länder, welche sich bzgl. Freigabe an Richtlinien orientieren die in Deutschland gelten.
- **In welchen weiteren Bereichen des Rückbaus sehen Sie Chancen/Einsatzgebiete für innovative Technologien und Automatisierungstechnik?**
Im Bereich Dekontamination gibt es einige Innovative Technologien (z.B. Laserdekont) die implementiert werden könnten. Auch RBZ ist aktuell noch nicht vollständig digitalisiert (z.B. Projektmanagement-Tool)
- **Wie viele Freimessanlagen sind bereits in Betrieb?**
Aktuell sind zwischen 1-2 FMAs pro Kraftwerk geplant/in Betrieb.
- **Ist Ihre Software bundesweit von Gutachtern akzeptiert oder müssen Sie bei jedem neuen TÜV von vorne anfangen?**
Hier gibt es verschiedene Ansätze. Beispielsweise soll die SAIF Software in allen PEL Kraftwerke genutzt werden und hier wird eine Bundesland übergreifende Abnahme angestrebt. Software für FMAs müssen an jedem Standort erneut abgenommen werden. Ziel ist aber einen Standard zu erreichen der allgemein anerkannt ist.

Abstract

Der Atomausstieg in Deutschland hat seit dem "Moratorium zum Atomausstieg" im Jahr 2023 zur Stilllegung aller deutschen Kernkraftwerke und ihrem Rückbau geführt. Dieser Wandel hat bedeutende Auswirkungen auf die Kerntechnikbranche und die Arbeitswelt in Deutschland.

Seit dem ursprünglichen Beschluss zum Atomausstieg im Jahr 2000 verzeichnet die Kerntechnik in Deutschland einen Rückgang an Investitionen und ein abnehmendes Interesse der Bevölkerung an dieser Branche. Diese Entwicklungen haben Betreiberfirmen dazu gedrängt, sich verstärkt auf neue Technologien und Produkte zu konzentrieren, um den Rückbau kerntechnischer Anlagen effizienter, sicherer und schneller zu gestalten.

In diesem Kontext präsentierte ich Produkte, die den Prozess der Freigabe von Materialien wie Metall- und Gebäudestrukturen aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung effizient und kostengünstig gestalten. Besonders hervorzuheben sind dabei die Digitalisierung des Gebäudedekontaminations- und Freigabeprozesses mittels des Produkts SAIF sowie die Verbesserung der Messtechnik für die Materialfreigabe (SIStec) und Rohrinspektion (Gammamolch).

Diese Produkte entstehen aus der weltweit einzigartigen Situation in Deutschland und haben das Potenzial, den industriellen Rückbau kerntechnischer Anlagen nicht nur im Inland, sondern auch international zu revolutionieren.

Die Präsentation wird sich auf konkrete Anwendungsbeispiele konzentrieren, um zu verdeutlichen, wie diese Produkte den Rückbauprozess unterstützen können. Dabei liegt ein besonderer Fokus auf der Gewährleistung von Sicherheit, Umweltschutz und Effizienz.

Zudem werden die spezifischen Herausforderungen und Einschränkungen, denen die Produktentwicklung in der Kerntechnik unterliegt, herausgearbeitet.

Letztlich gibt die Präsentation einen Ausblick auf die Zukunft und zeigt auf, wie diese innovativen Technologien und Produkte die Kerntechnikbranche nicht nur in Deutschland, sondern auch global beeinflussen könnten.