

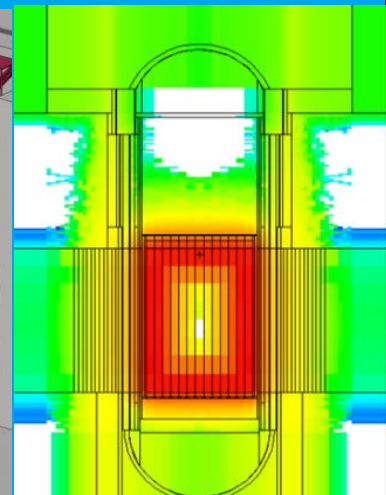
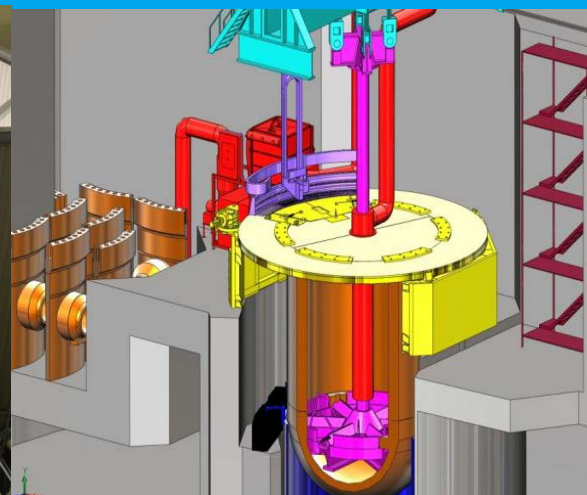
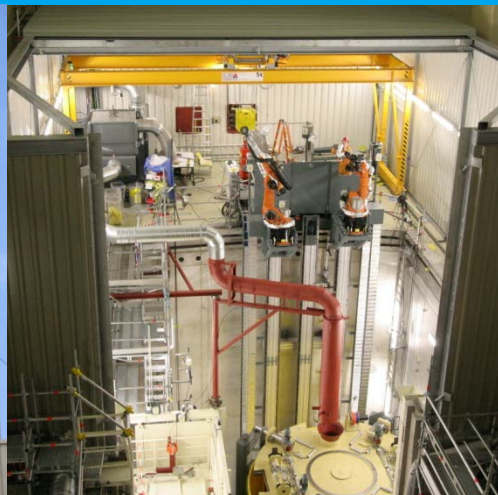


**Siempelkamp**

NIS Ingenieurgesellschaft mbH

# Bevorstehende Herausforderungen beim Rückbau kerntechnischer Anlagen

Dr. Aldo Weber

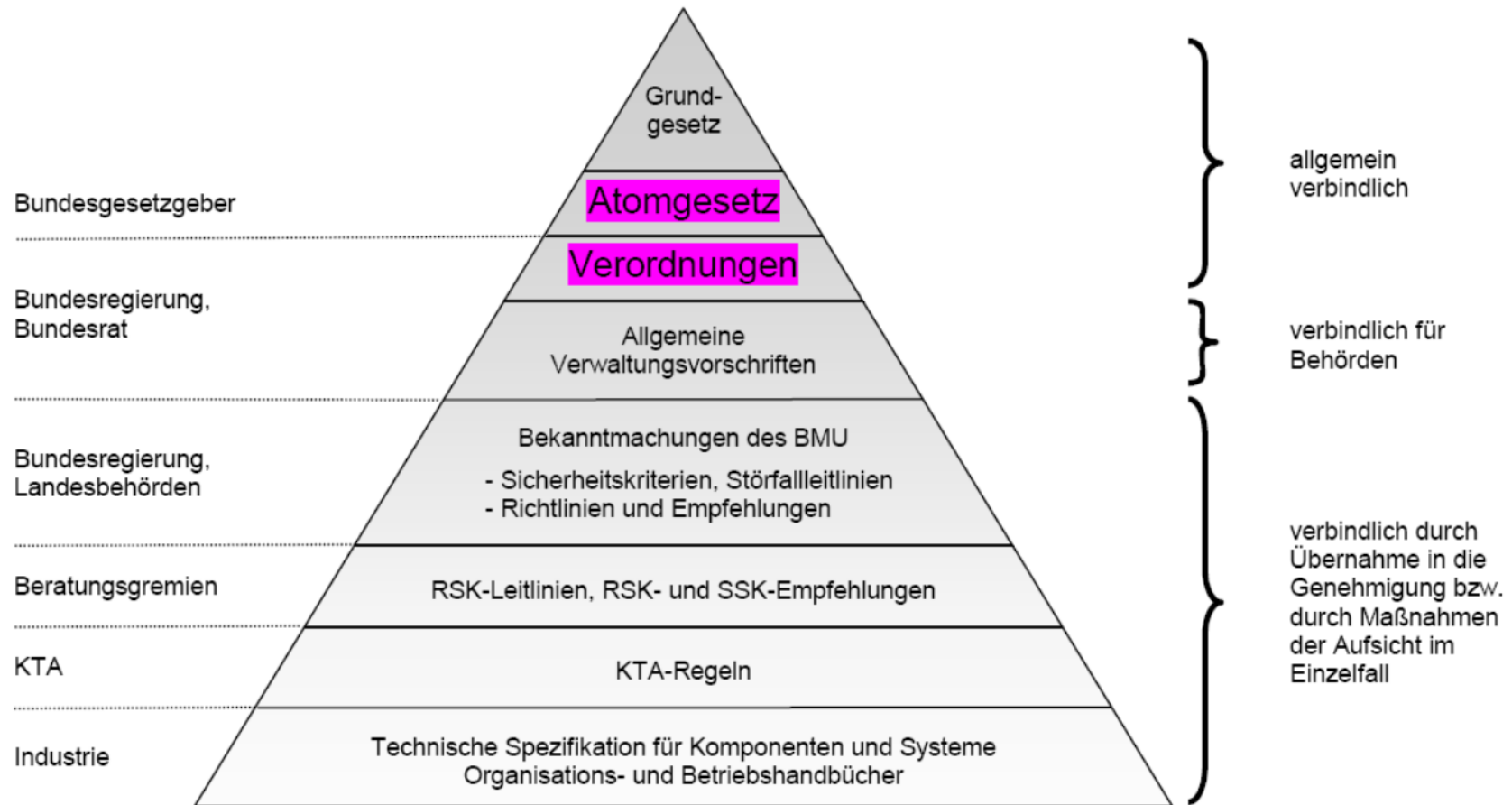


# Gliederung

- **Rechtliche Rahmenbedingungen**
- **Stilllegungsstrategien**
- **Phasen der Stilllegung**
- **Reaktortypen in Deutschland**
- **Massen- und Aktivierungsanalyse**
- **Rückbautechniken**
- **Kurzes Fazit**
- **Herausforderungen Deutschland**

# Rechtliche Rahmenbedingungen

## Rechtliche Rahmenbedingungen / Genehmigungsverfahren



Quelle: BfS



# Rechtliche Rahmenbedingungen

## Atomrechtliches Genehmigungsverfahren

### Leitfaden Stilllegung:

(Leitfaden zur Stilllegung, zum sicheren Einschluss und zum Abbau von Anlagen oder Anlagenteilen nach § 7 des Atomgesetzes)

### Ziel des Leitfadens ist

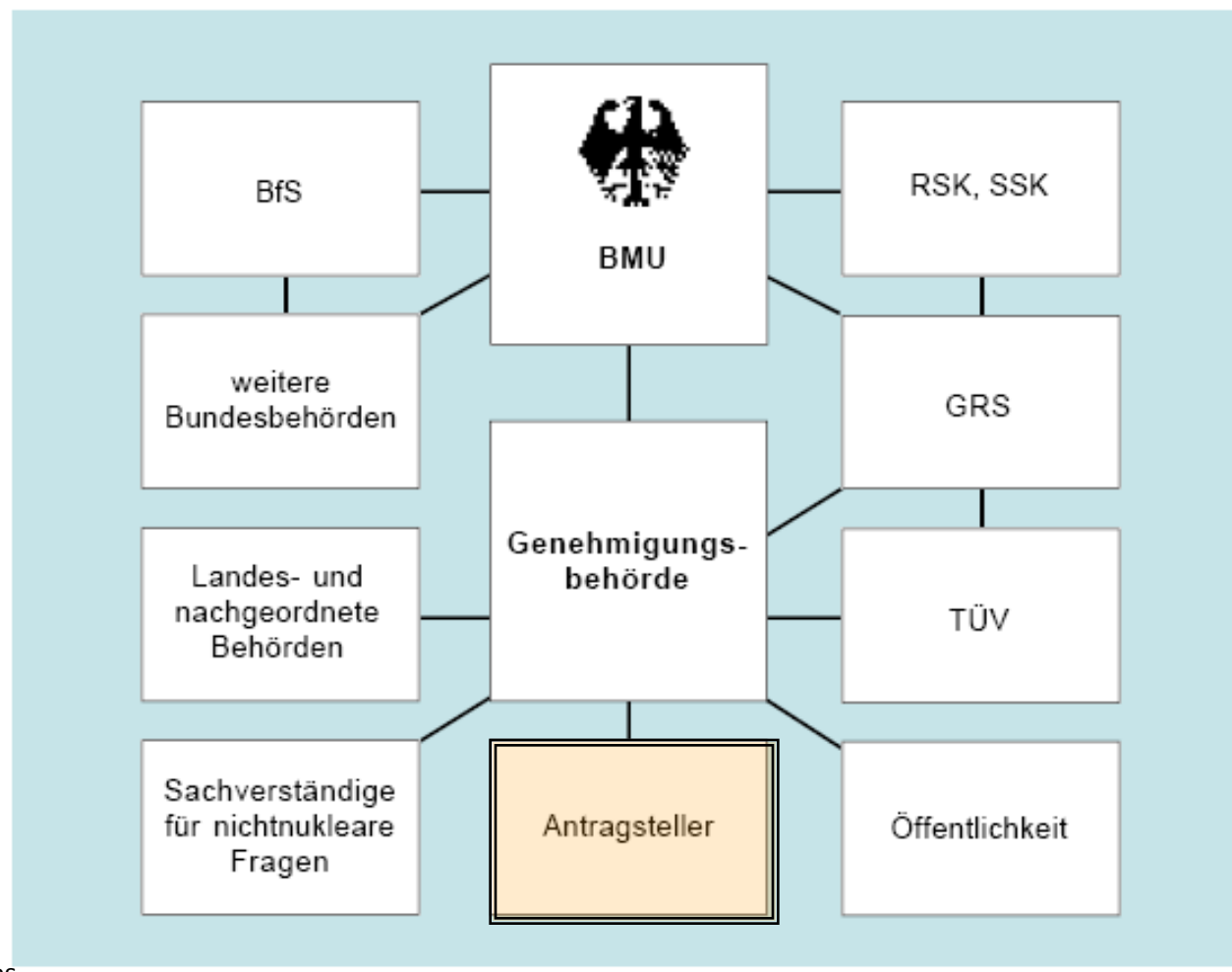
- die bei der Genehmigung und Aufsicht relevanten Aspekte zusammenzustellen
- ein gemeinsames Verständnis von Bund und Ländern zur zweckmäßigen Durchführung von Stilllegungsverfahren anzustreben
- die bestehenden Auffassungen und Vorgehensweisen zu harmonisieren

Quelle : GRS



# Rechtliche Rahmenbedingungen

## Atomrechtliches Genehmigungsverfahren



Quelle : GRS



# Stilllegungsstrategien

International gibt es im Wesentlichen drei Strategien:

- Unmittelbarer Rückbau
- Rückbau nach einem sicheren Einschluss
- "Entombment" (permanenter Einschluss z.B. durch eine Betonhülle)

In Deutschland stehen nur die beiden ersten Strategien zur Verfügung (§ 7 Abs. 3 AtG)

# Stilllegungsstrategien

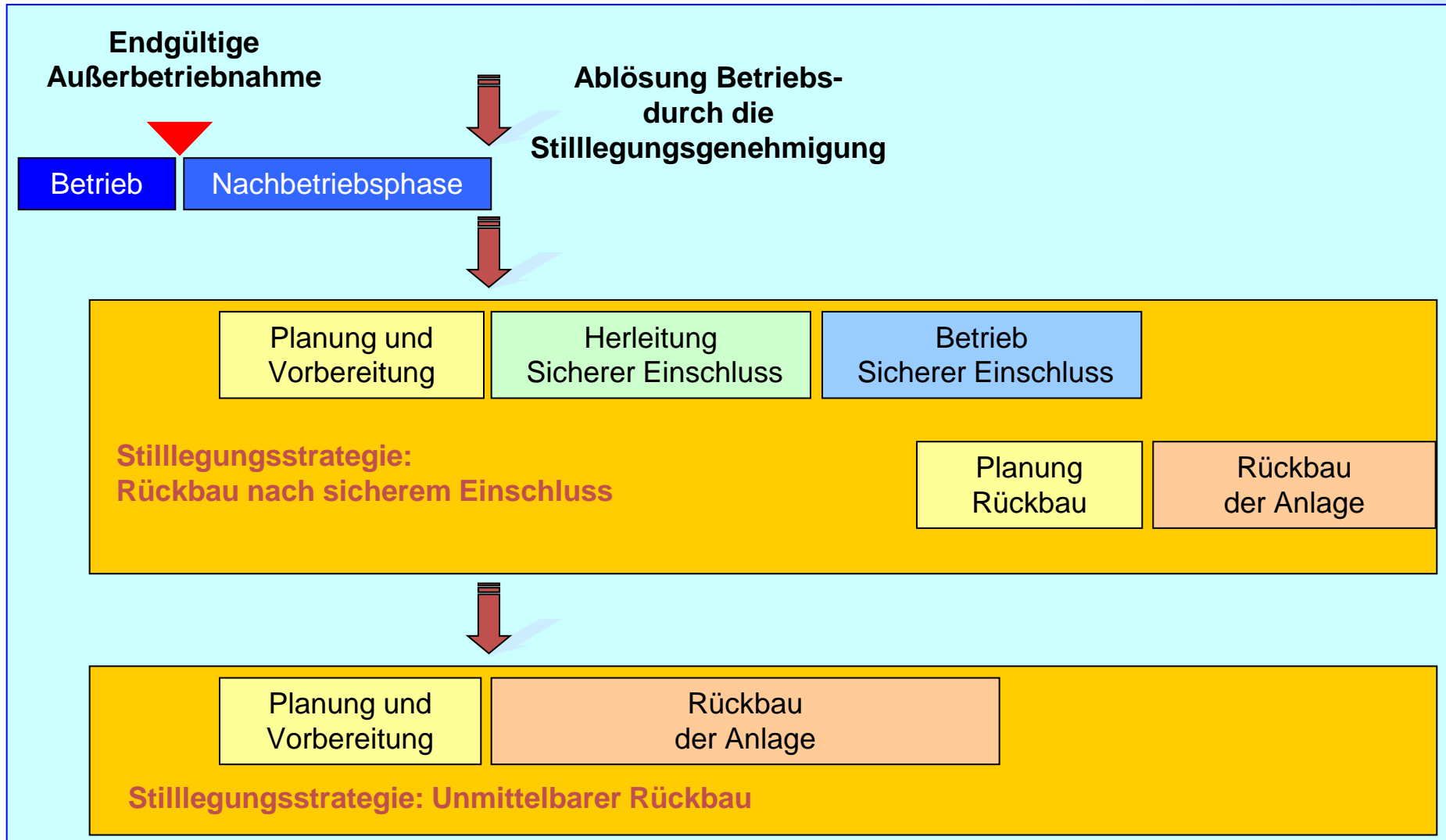
- Entscheidung, welche Strategie angewendet wird, liegt beim Betreiber
- Faktoren für Strategiewahl, z.B:
  - Gesetzliche Rahmenbedingungen zum Zeitpunkt der Stilllegung
  - Beschaffenheit der Anlage, Umfang des radioaktiven Inventars
  - Entsorgung radioaktiver Abfälle einschl. Zwischen- und Endlagerung
  - Sicherung der Finanzen
  - Vorhandensein von erfahrenem Personal und erprobter Stilllegungstechniken
  - Erfahrungen aus früheren Stilllegungsprojekten
  - Aspekte des Umweltschutzes und sozialökonomische Belastungen
  - Nutzung des Geländes bzw. der Anlage(nteile) nach Abschluss der Stilllegung
- **Zurzeit bevorzugte Strategie ist der "Unmittelbare Rückbau"**  
(z.B. KKW Würgassen, Stade, Mühlheim-Kärlich, Obrigheim, Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe)

## Übergang vom Betrieb zur Stilllegung/Rückbau:

- Betriebsphase
- Nachbetriebsphase
- Rückbauphase



# Phasen der Stilllegung



# Phasen der Stilllegung

- **Phase 1: Vorbereitung und Rückbau kontaminierter Komponenten**
  - Abisolieren Außerbetriebnehmen Stillsetzen von Systemen
  - Einrichten von Materialbehandlungsplätzen und Zwischenlager
  - Rückbau nicht mehr benötigter Systeme
  
- **Phase 2: ➤ Rückbau von Großkomponenten**
  - Dampferzeuger
  - Primärkühlmittelleitungen
  - Primärkühlmittelpumpen
  - Druckhalter
  
- **Phase 3: Rückbau aktivierter Komponenten**
  - Reaktordruckbehälter mit Einbauten
  - Biologischer Schild
  
- **Phase 4: Restdemontage sowie Gebäudedekontamination und -freigabe**
  - Rückbau der restlichen Systeme (z.B.: Abwasser- und Abluftanlagen)
  - Gebäudedekontamination und -freimessung

Parallel zu den o.g. Phasen erfolgt der Rückbau der nicht nuklearen Anlagen .  
Abgeschlossen wird die Stilllegung mit dem Abriss der Gebäude und der  
Rekultivierung des Geländes ("Grüne Wiese").



## Kernkraftwerke:

Bei den kommerziellen Kernkraftwerken in Deutschland unterscheidet man zwei Reaktortypen:

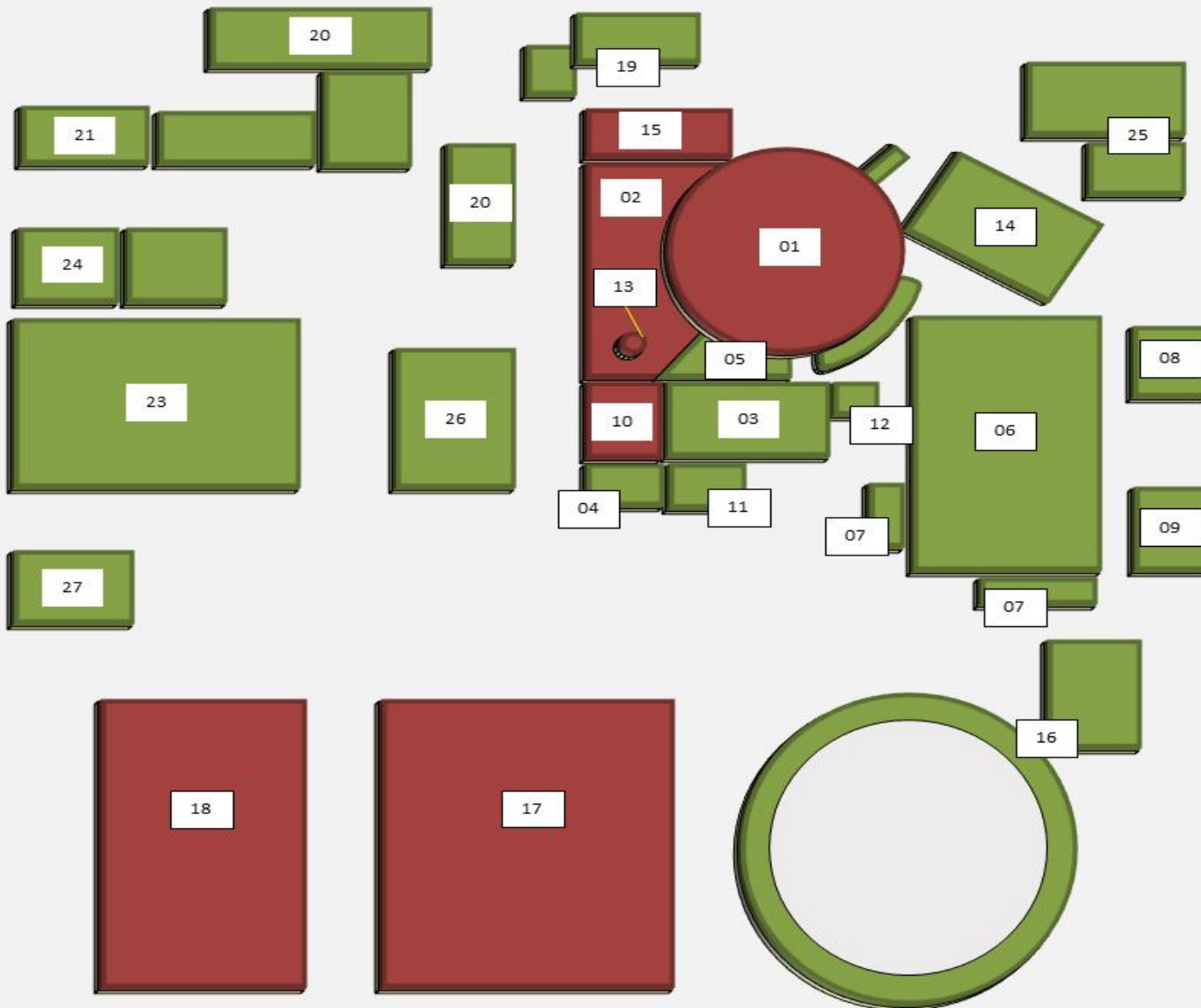
### – Druckwasserreaktoren (DWR), z.B.

- KWB-A und B, Biblis
  - KKI-2, Isar
  - KKS, Stade
- abgeschaltet  
in Betrieb  
im Rückbau

### – Siedewasserreaktoren (SWR), z.B.

- KKP-1, Philippsburg
  - KRB-B und C, Gundremmingen
  - KWW, Würgassen
- abgeschaltet  
in Betrieb  
im Rückbau

# Reaktortypen - DWR



- |    |  |
|----|--|
| 01 | Reaktorgebäude                             |
| 02 | Hilfsanlagegebäude                         |
| 10 | Abwasseraufbereitung, Konzentratbehandlung |
| 13 | Fortluftkamin                              |
| 15 | Heiße Werkstatt                            |
| 17 | Transportbereitstellung                    |
| 18 | Endlagerbehälter                           |
|    | Standortzwischenlager                      |
|    | Brennelemente                              |

- |    |                         |
|----|-------------------------|
| 03 | Schaltanlagegebäude     |
| 04 | Notstromdieselgebäude   |
| 05 | Notspeisegebäude        |
| 06 | Maschinenhaus           |
| 07 | Trafoanlagen            |
| 08 | Kühlwasserentnahme      |
| 09 | Kühlwasserrückgabe      |
| 11 | Wasseraufbereitung      |
| 12 | Hilfskesselgebäude      |
| 14 | Notstandsgebäude        |
| 16 | Kühlturm und Pumpenhaus |
| 19 | Empfang / Pforte        |
| 20 | Verwaltungsgebäude      |
| 21 | Sozialgebäude           |
| 23 | Lagergebäude            |
| 24 | Lagergebäude            |
| 25 | Werkstätten             |
| 26 | Sozialgebäude           |
| 27 | Feuerwehrgebäude        |



# Reaktortypen - Massen

Abzubauenende Masse Gesamtstandort

~ 700.000 / 500.000 Mg

Reaktortyp	Kontrollbereich		
	Masse Einbauten [Mg]	Gebäude-masse [Mg]	Summe [Mg]
Druckwasserreaktor	13'500	143'000	<b>156'500</b>
Siedewasserreaktor	33'100	160'500	<b>193'600</b>



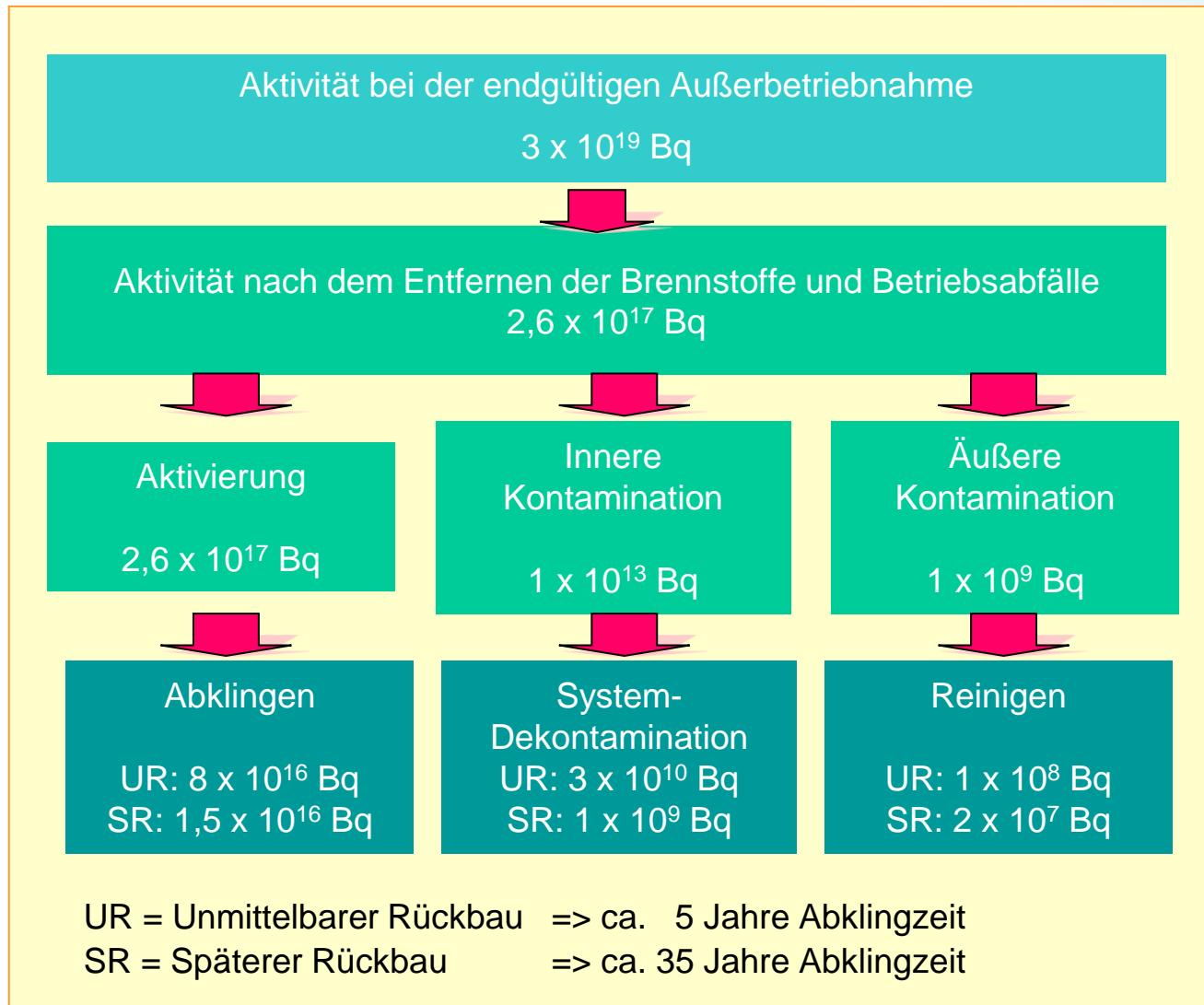
# Reaktortypen - Massen

Abzubauenende Masse Gesamtstandort

~ 700.000 / 500.000 Mg

Radioaktive Reststoffe		
	DWR	SWR
Einrichtungen	13.320 Mg	22.360 Mg
Betonstrukturen	25.940 Mg	26.000 Mg
Sonstiges	740 Mg	780 Mg

# Rückbau - Aktivität





# Rückbau – Aktivität / Freigabe

Entsorgungsweg		Masse [Mg]	
		DWR	SWR
Pfad A	Freigabe, uneingeschränkt	22.300	28.650
Pfad B	Freigabe zur Beseitigung	11.800	12.720
Pfad C	Abklinglagerung*	-	-
Pfad D	Verwertung / Verwendung im kerntechnischen Bereich	1.310	2.240
Pfad E	Endlagerung als radioaktiver Abfall	4.590	5.530
<b>Gesamtmasse:</b>		<b>40.000</b>	<b>49.140</b>



# Rückbau - Messverfahren



Geeignete Messverfahren werden benötigt für:

## – Freigabemessungen demontierter Reststoffe

- Handmessgeräte
- Freimessanlagen

## – Freimessung von Gebäuden

- In-situ-Gammaspektrometrie

Anwendbare Verfahren sind in DIN 25457 normiert.

# Rückbau – Techniken / Verfahren

**Zu den Techniken und Verfahren,  
die beim Rückbau verwendet werden, zählen:**

- Zerlegetechniken / -verfahren
- Dekontaminationstechniken / -verfahren
- Messverfahren zum Nachweis der Einhaltung von Freigabewerten
- Konditionierungsverfahren zur Behandlung von radioaktiven Abfällen

Heute sind zahlreiche Techniken und Verfahren verfügbar.  
Sie haben sich für bestimmte Anwendungsfälle im Rahmen  
von Stilllegungsprojekten bewährt.

# Rückbau - Zerlegetechniken

Man unterscheidet :

## – Thermische Verfahren, z.B.

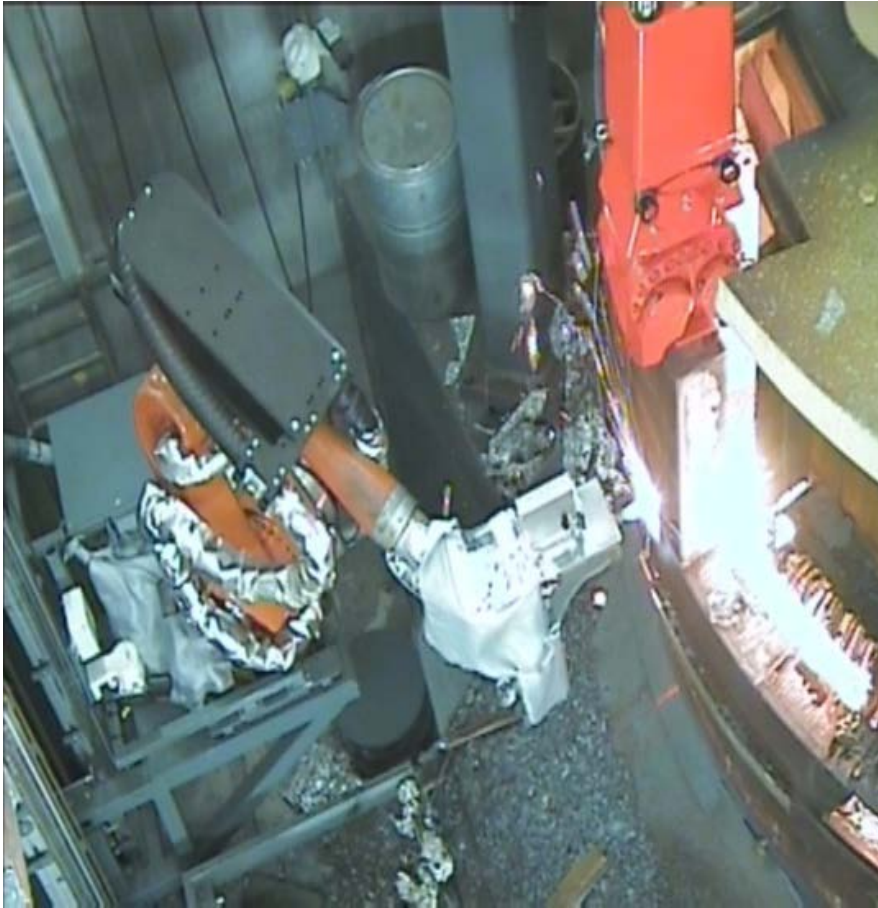
- Autogenes Brennschneiden
- Plasmaschmelzschneiden
- Laserschneiden

## – Mechanische Verfahren, z.B.

- Bügel-, Stich -, Kreis -, Bandsäge
- Diamant-Seilsäge
- Trennschleifen
- Wasserabrasivstrahl-Schneiden
- Presslufthammer, Sprengen (Beton)



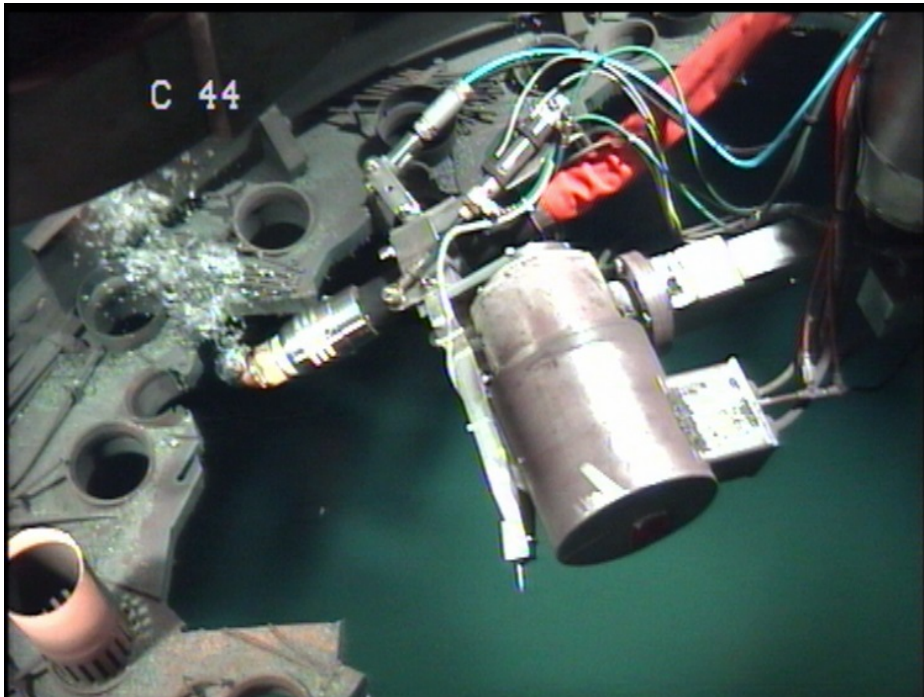
# Rückbau – Thermisches Schneiden



Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"><li>• Verschleißteilkosten gering</li><li>• Allgemein geringere Investkosten</li><li>• hohe Flexibilität bei komplexen Geometrien</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kein Schneiden von Edelstählen</li><li>• Hoher Wärmeeintrag</li><li>• geringe Maßhaltigkeit bei Wiederholschnitten infolge Wärmeeinfluß</li><li>• Absauganlage erforderlich</li></ul>

z.B. RDB Stade  
RDB Zyon

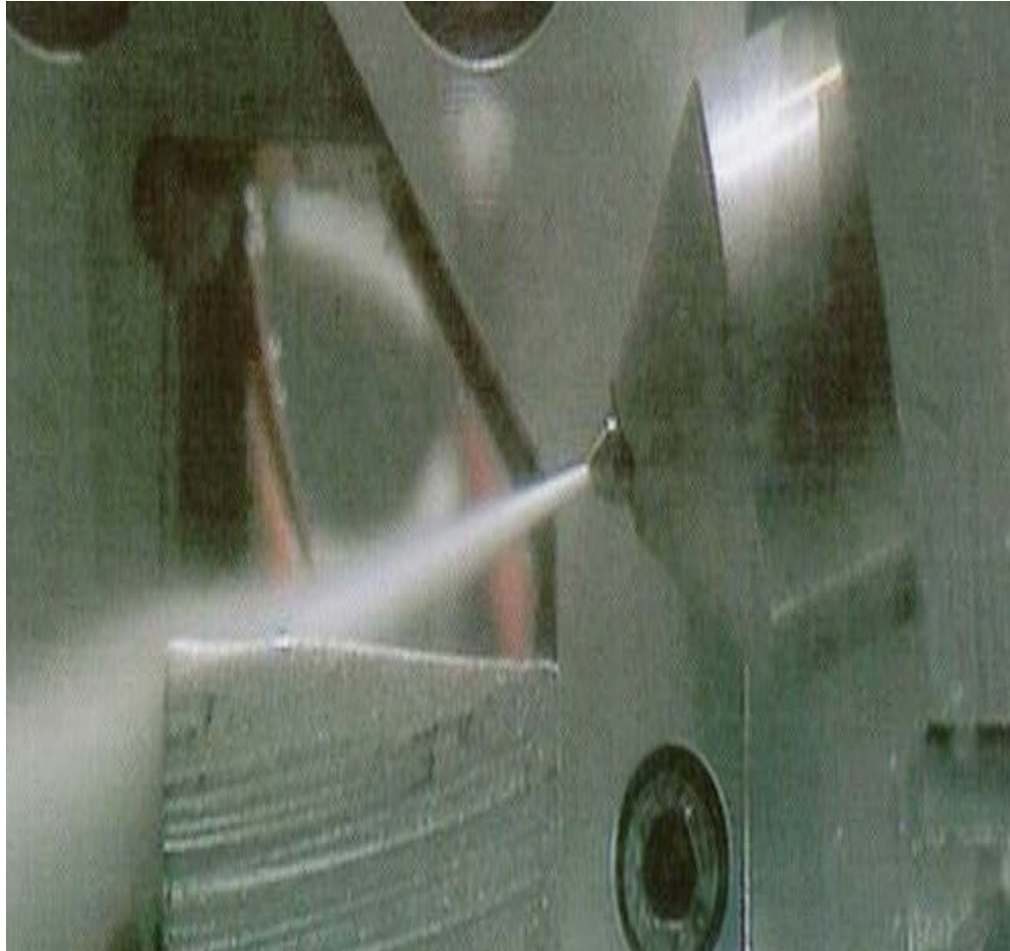
# Rückbau – Plasmaschneidverfahren



Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"><li>• alle elektrisch leitenden Werkstoffe lassen sich trennen</li><li>• hohe Genauigkeit</li><li>• hohe Schnittgeschwindigkeit</li><li>• Betriebskosten im Vergleich zu anderen Verfahren gering (WASS)</li><li>• große Maßhaltigkeit bei Wiederholschnitten, geringe wärmebeeinflusste Zone</li><li>• Unterwassereinsatz</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• genaues, programmierbares Führungswerkzeug erforderlich</li><li>• Hohe Wasser- / Luftverschmutzung macht Filteranlagen erforderlich</li></ul>

z.B. MZFR RDB Einbauten

# Rückbau - Wasserstrahlschneiden



Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"><li>• Kein Wärmeverzug</li><li>• Großer Material- und Dickenbereich</li><li>• Keine Nacharbeit</li><li>• Unabhängig von der Wassertiefe</li><li>• Keine Aerosolbildung</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Laut und naß</li><li>• Hohe Invest- und Unterhaltungskosten</li><li>• Wasserreinigung erforderlich</li><li>• Anfall von Abrasivmittel</li><li>• Steifes Führungswerkzeug erforderlich</li></ul>

z.B. RDB VAK

# Rückbau - Bandsäge



Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"><li>• Robust</li><li>• geringe Anforderung an Bediener</li><li>• Unterwassereinsatz</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Hohe Rückstellkräfte auf Bauteile</li><li>• nur für massive Bauteile</li><li>• stabiler Aufbau mit hohem Platzbedarf erforderlich</li></ul>

z.B. RDB Einbauten Zyon



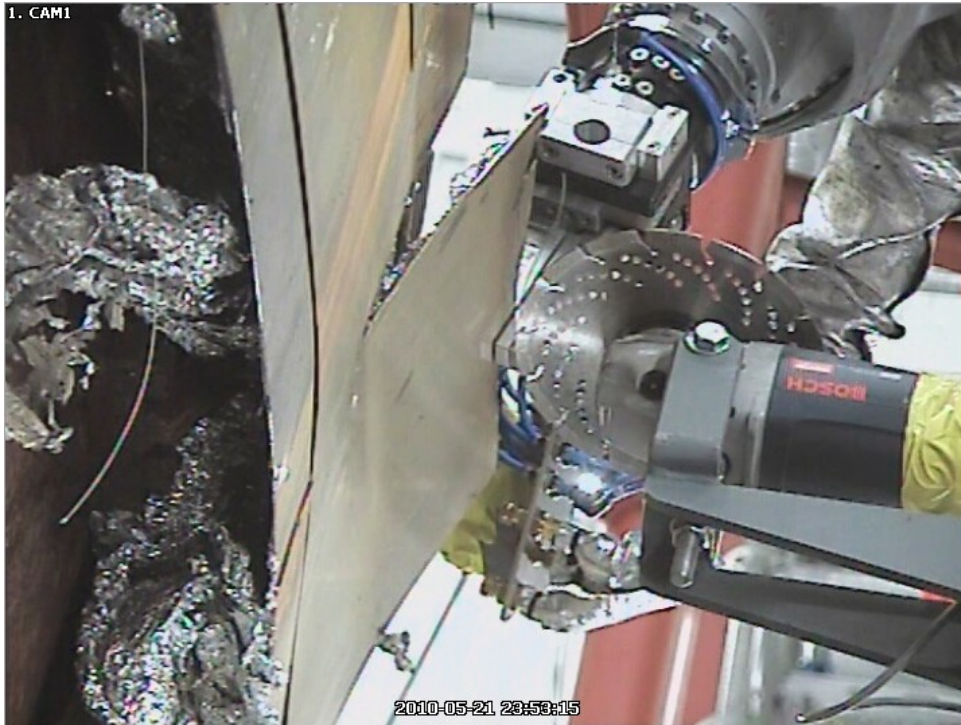
# Rückbau - Seilsäge



Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"><li>• Vielfältig einsetzbar</li><li>• Trennen von Materialmix</li><li>• Unterwasser-einsatz</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• erfahrene Bediener erforderlich</li><li>• manuelles Einrichten nötig</li></ul>

z.B. DT Würrgassen,  
MZFR - Flanschen

# Rückbau - Trennschleifer



Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"><li>• geringe Anforderung an Bediener</li><li>• einfach an Führungsmaschine adaptierbar</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Abnutzung der Trennmittel</li><li>• nur gerade Schnitte möglich</li><li>• definierte Orientierung der Rotationsebene zum Schnittverlauf notwendig</li></ul>

z.B. Isolierung Stade

# Rückbau – Hydraulische Schere



Quelle: EWN

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"><li>• schnelles Trennen von Rohrleitungsbündeln</li><li>• hält das Zerlegegut selbst fest</li><li>• Einfach zu positionieren</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Hohe Rückstellkräfte auf das Führungswerkzeug durch Verkanten der Schneidblätter</li><li>• Hoher seitlicher Platzbedarf um Schnitt anzusetzen</li></ul>

z.B. Steuerstäbe Greifswald

# Eingehauster Arbeitsbereich RDB-Zerlegung



Fernhantierter Rückbau Stade

# Abfallgebinde für endlagergerechte Entsorgung

Behälter	Verpackte Masse	Anzahl Behälter	Endlager volumen
Stahlblech Typ II	1.240 Mg	240 St.	1.110 m <sup>3</sup>
Stahlblech Typ III	450 Mg	50 St.	450 m <sup>3</sup>
Stahlblech Typ IV	400 Mg	50 St.	360 m <sup>3</sup>
Stahlblech Typ V	320 Mg	55 St.	590 m <sup>3</sup>
Betoncontainer Typ IV	630 Mg	160 St.	1.200 m <sup>3</sup>
Mosaik Typ II	180 Mg	640 St.	850 m <sup>3</sup>
<b>Gesamt</b>	<b>3.220 Mg</b>	<b>1.195 St.</b>	<b>4.560 m<sup>3</sup></b>



# Rückbau – kurzes Fazit

- **Rechtliche Rahmenbedingungen** ✓
- **Übergang Betrieb – Nachbetrieb – Rückbau** ✓
- **Rückbautechniken** ✓
- **Endlageregerechte Verpackung** ✓

⇒ **Rückbau – Herausforderung ??**

⇒ **Technik und Erfahrung ist vorhanden!**

# Rückbau – Stilllegung Leistungsreaktoren Deutschland

Anlage	Nennleistung MW (brutto)	Betriebsdauer	Status
HDR Großwelzheim	25	1969 - 1971	vollständig beseitigt
KKN Niederaichbach	100	1972 - 1974	vollständig beseitigt
KWL Lingen	268	1968 - 1976	Sicherer Einschluss
KRB-A Gundremmingen	250	1966 - 1977	Rückbau
MZFR Karlsruhe	57	1965 - 1984	Rückbau
VAK Kahl	16	1961 - 1985	vollständig beseitigt
AVR Jülich	15	1967 - 1988	Rückbau
THTR Hamm-Uentrop	308	1985 - 1988	Sicherer Einschluss
KMK Mülheim-Kärlich	1.302	1986 - 1988	Rückbau
KKR Rheinsberg	70	1966 - 1990	Rückbau
KGR 1-5 Greifswald	5 x 440	1973 - 1990	Rückbau
KNK II Karlsruhe	21	1977 - 1991	Rückbau
KWW Würzgassen	670	1971 - 1994	Rückbau
KKS Stade	672	1972 - 2003	Rückbau
KWO Obrigheim	357	1969 - 2005	Rückbau

Quelle: kernenergie.de



**Siempelkamp**

NIS Ingenieurgesellschaft mbH

# Rückbau – kurzes Fazit

Eine Herausforderung ist die Wahl der Rückbaustrategie

## Entscheidungen des Betreibers

- *mögliche Stilllegungsvariante*
- *Art der Genehmigung / Genehmigungen*
- *verschiedene Aspekte der Durchführung, wie z.B.:*
  - *Grad des Einsatzes von Spezialfirmen*
  - *Umfang der Systemdekontamination*
  - *Grad der Reststoffbearbeitung und Konditionierung vor Ort*
  - *Reihenfolge der Demontage*
- *Umfang der Zwischenlagerung vor Ort*
- *Endzustand des Anlagenstandortes*





# Rückbau – kurzes Fazit

Eine weitere Herausforderung sind

- *Wirtschaftliche/Strahlenschutz Aspekte*
  - *Möglichst schneller Rückbaus*
  - *Geringe Strahlenexposition*
  - *Geringes Abfallvolumen*
  - *Geringe Betriebskosten*
  - *...*



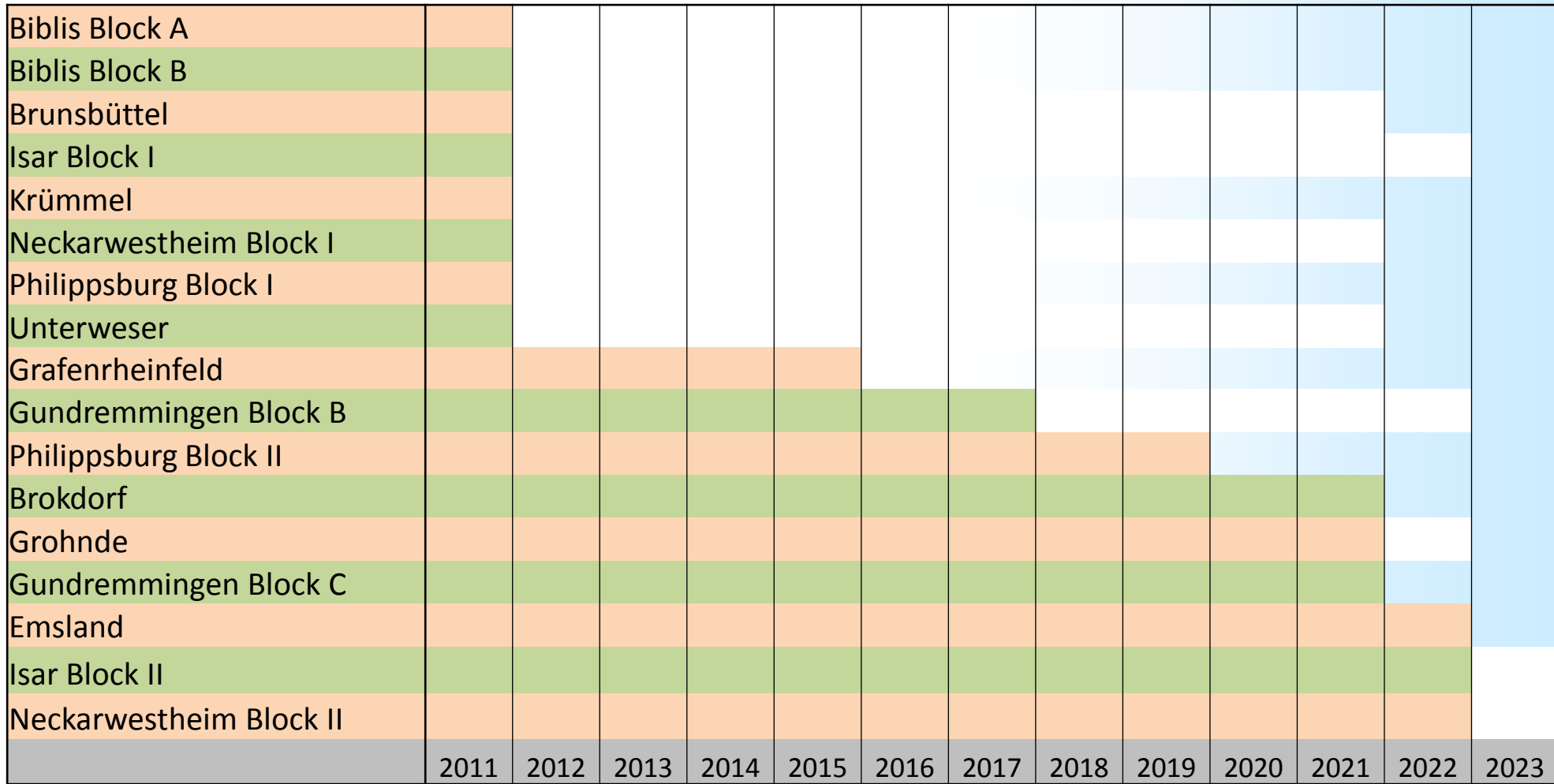
# Rückbau – kurzes Fazit

**Bisherige Betrachtung hat nur den Rückbau eines Leistungsreaktor berücksichtigt**

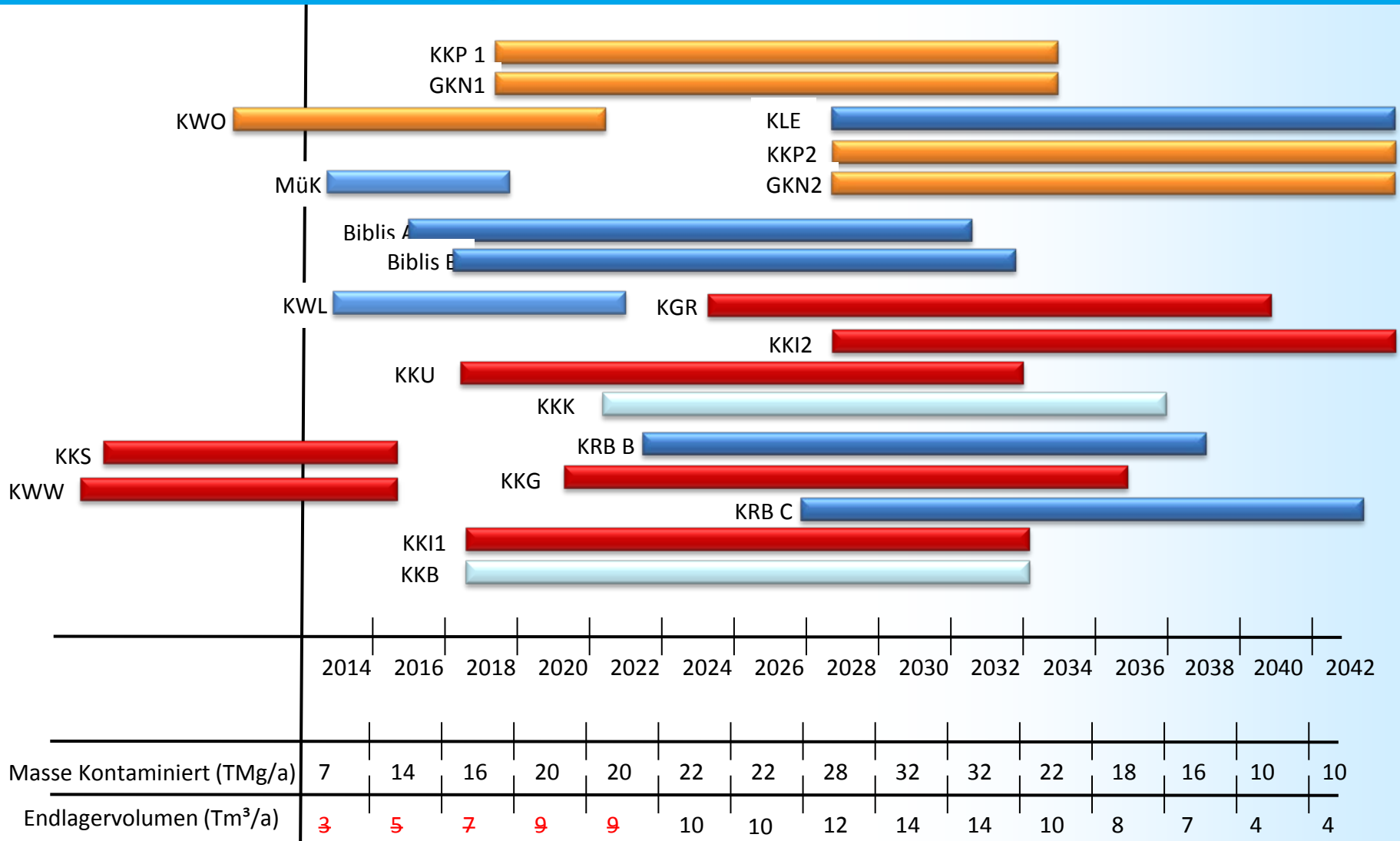
➤ **Hier sind die Herausforderungen bekannt und beherrschbar**

**Wie sieht die Gesamtsituation in Deutschland  
nach dem Ausstiegsbeschluss aus?**

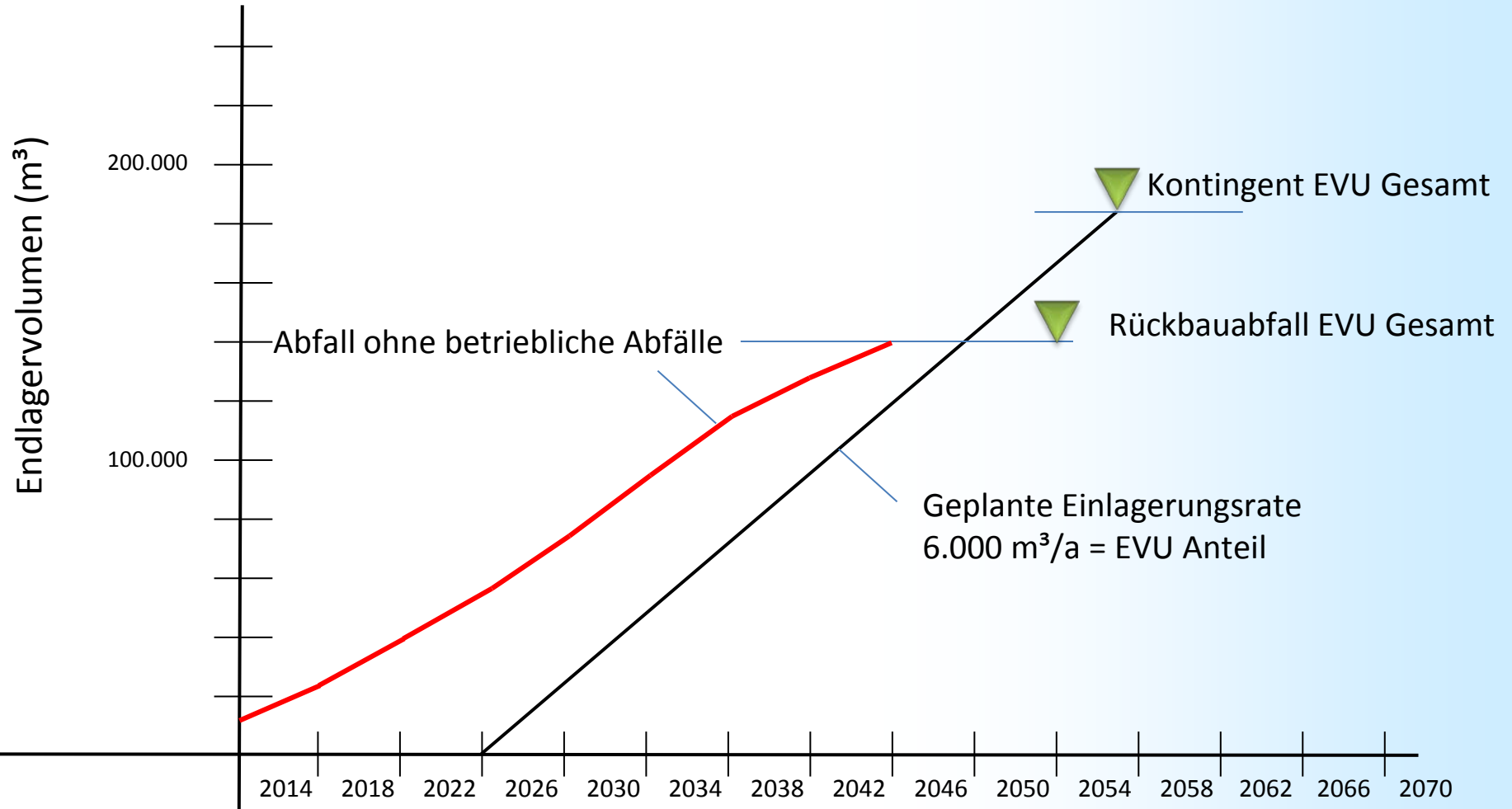
# Außerbetriebnahme KKW Deutschland



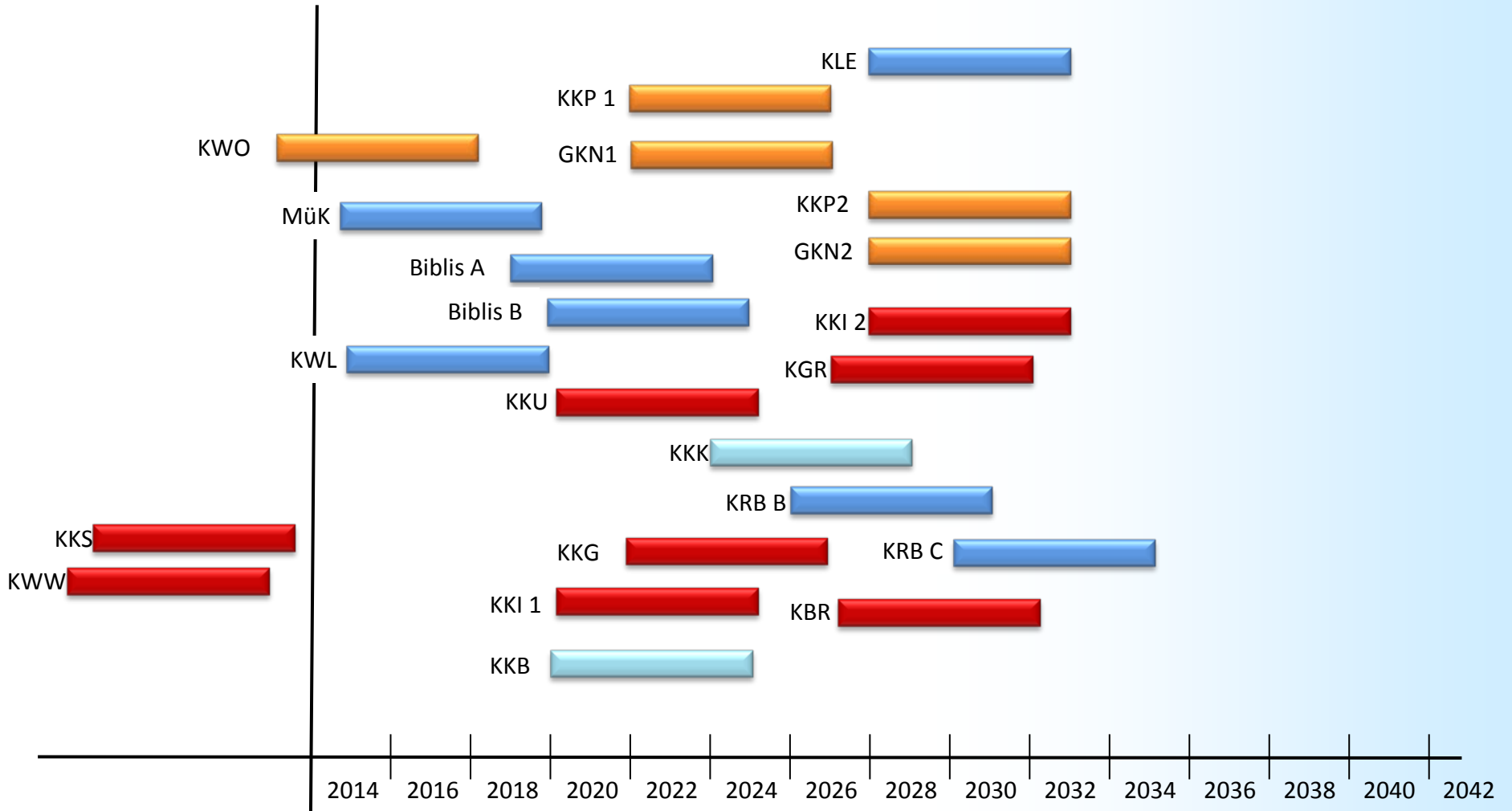
# Abfallvolumen Endlager Konrad KKW Deutschland



# Abfallmenge/anno für Endlager Konrad KKW Deutschland



# Rückbau/Demontage Großkomponenten KKW Deutschland



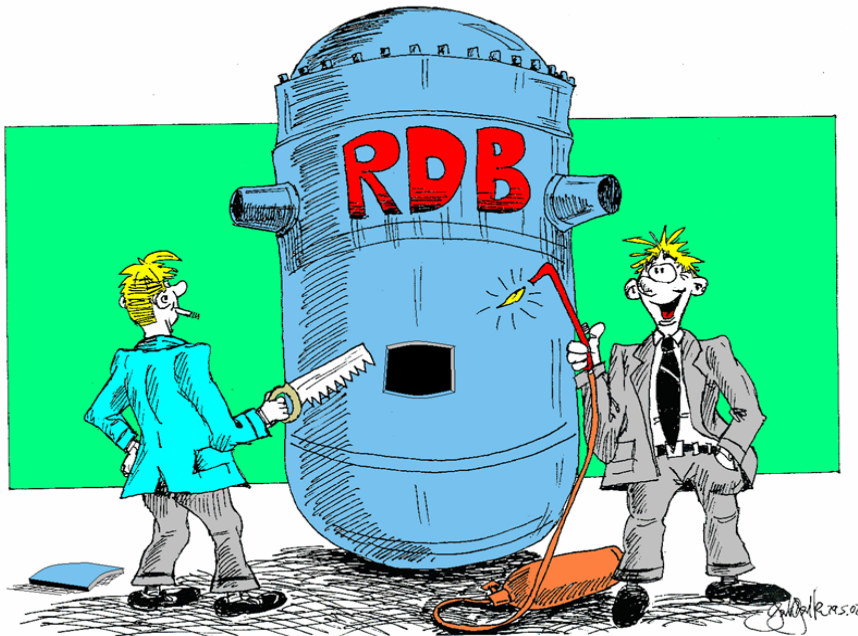
# Herausforderungen Rückbau ganzheitlich betrachtet

- **Großkomponenten:** Entzerrung der Rückbautermine im Hinblick auf die Verfügbarkeit externer Spezialisten? => Verlängerung ca. **10 Jahre**
- **Abfallbinde:** Verfügbarkeit Endlagerbehälter MOSAIK für aktivierte Komponenten (ca. 250 / KKW) bis zu 11 KKW gleichzeitig
- **Genehmigung:** BMU, RSK, SSK, Euratom – wird es durch die gleichzeitige Bearbeitung vieler Genehmigungen vereinfacht oder dauert alles nur entsprechend länger
- **Konrad:** Verzögerung der Inbetriebnahme führt zu einem Stau der Abfälle, die an den Standorten jeweils eine längerfristige Zwischenlagerung erfordert => Genehmigung?
- **Konrad:** strengen wasserrechtlichen Auflagen => Rückbauabfälle können nicht alle in Konrad eingelagert werden, so dass ein zukünftiges Endlager (Gorleben 2) auch für den Rückbau relevant ist.
- **Freigabe zur Beseitigung:** Deponien verweigern die Annahme



# NIS Projekt- und Kostenmanagement

Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit.



## Siempelkamp

NIS Ingenieurgesellschaft mbH

NIS Ingenieurgesellschaft mbH

Industriestraße 13  
63755 Alzenau - Deutschland  
Tel.: + 49 (0) 6023/ 91-3991  
Fax: + 49 (0) 6023/ 91-3970  
E-mail: [aldo.weber@siempelkamp.com](mailto:aldo.weber@siempelkamp.com)

[www.siempelkamp-nis.com](http://www.siempelkamp-nis.com)



**Siempelkamp**  
NIS Ingenieurgesellschaft mbH