



AREVA

Lebensdauermanagement und Lebensdauerverlängerung von Kernkraftwerken

***Manfred Erve
Vice President
Framatome ANP GmbH
Erlangen, Germany***

Lebensdauermanagement und Lebensdauererlängerung von Kernkraftwerken

- **Begriffsbestimmungen**
- **Alterungsphänomene und deren Auswirkungen auf das Betriebsverhalten der Komponenten**
- **Präventives Lebensdauermanagement durch Optimierung von Auslegung, Konstruktion, Werkstoffwahl und Herstellung**
 - *Beispiel 1: Auslegung und Konstruktion*
 - *Beispiel 2: Werkstoffwahl*
 - *Beispiel 3: Herstellung*
- **Möglichkeiten bei in Betrieb befindlichen Anlagen**
 - *Berücksichtigung von konzeptioneller Alterung und Weiterentwicklung der Sicherheitsphilosophie*
 - *Reduzierung der betrieblichen Belastungen*
 - *Maßnahmen bei Reparatur und Austausch von Komponenten*
- **Wirtschaftliche Überlegungen**

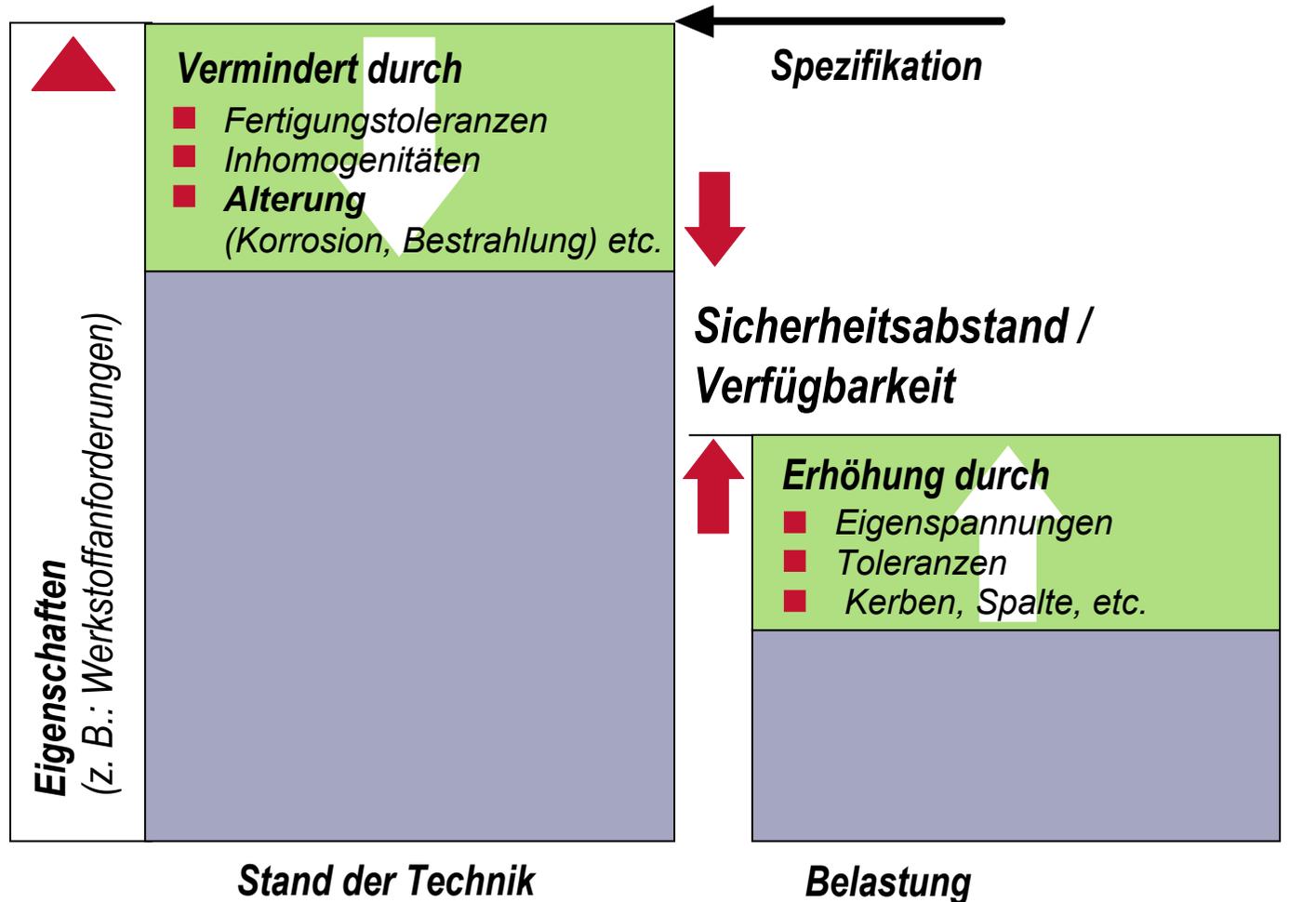
Lebensdauermanagement und Lebensdauerverlängerung von Kernkraftwerken

- **Begriffsbestimmungen**
- **Alterungsphänomene und deren Auswirkungen auf das Betriebsverhalten der Komponenten**
- **Präventives Lebensdauermanagement durch Optimierung von Auslegung, Konstruktion, Werkstoffwahl und Herstellung**
 - *Beispiel 1: Auslegung und Konstruktion*
 - *Beispiel 2: Werkstoffwahl*
 - *Beispiel 3: Herstellung*
- **Möglichkeiten bei in Betrieb befindlichen Anlagen**
 - *Berücksichtigung von konzeptioneller Alterung und Weiterentwicklung der Sicherheitsphilosophie*
 - *Reduzierung der betrieblichen Belastungen*
 - *Maßnahmen bei Reparatur und Austausch von Komponenten*
- **Wirtschaftliche Überlegungen**

Erhalt von Sicherheitsabstand und Verfügbarkeit über die gesamte Lebensdauer

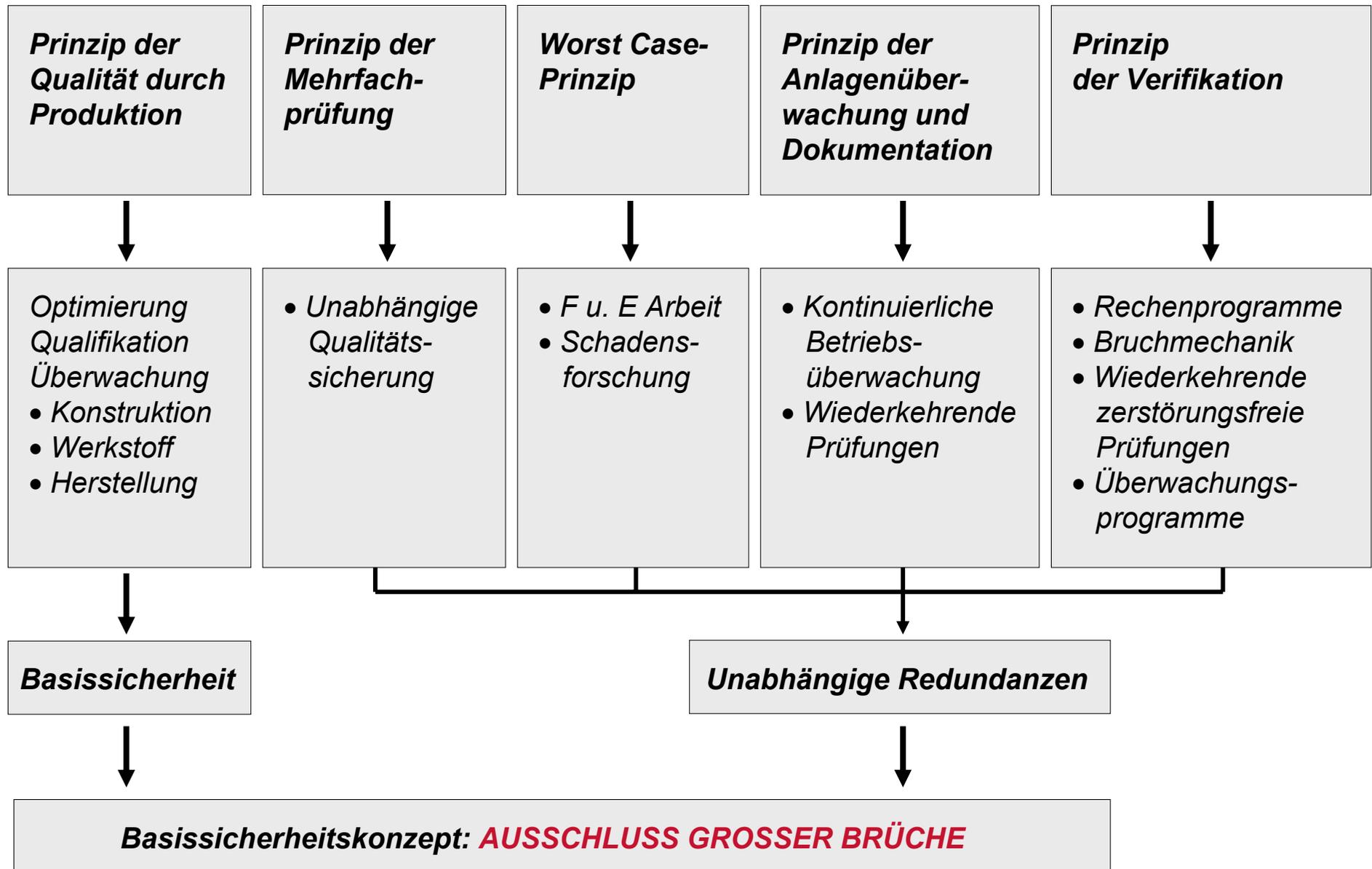
Eigenschaften Bestimmt durch

- Werkstoffe
- Herstellung
- Wasserchemie
- Thermohydraulik
- Fluiddynamik
- Funktion

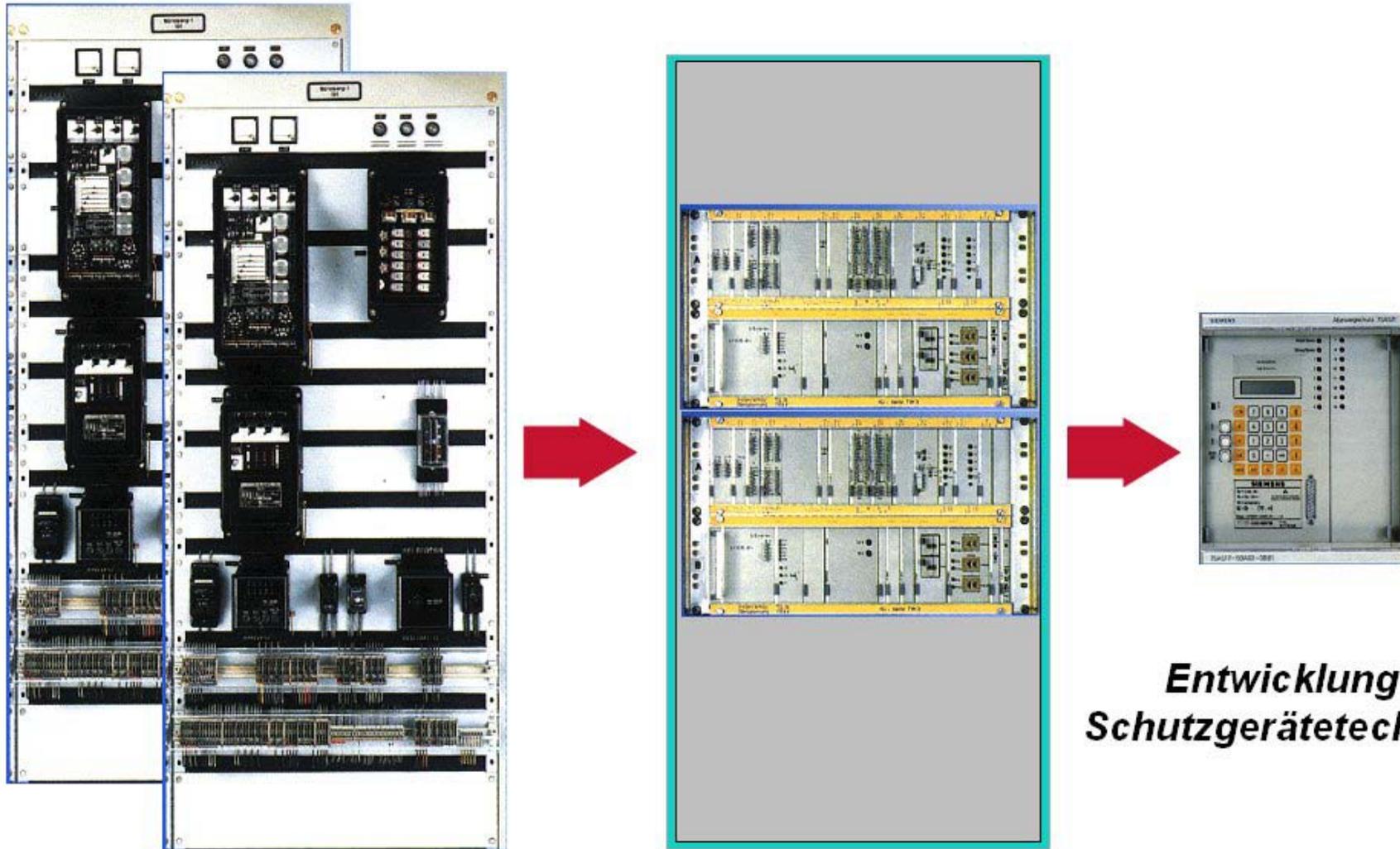


- **Konzeptionelle Alterung** (z. B. Sicherheitsphilosophie, Basissicherheitskonzept, Bruchausschluss)
- **Technologische Alterung** (z. B. Ersatzteilbeschaffung, neue Herstellungstechnologien)
- **Physikalische Alterung** (z. B. Ermüdung, Korrosion, Änderung der Werkstoffeigenschaften unter Neutronenbestrahlung)

Beispiel für konzeptionelle Alterung: Einführung des Prinzip des Bruchausschlusses



Beispiel für „Technologische Alterung“ in der Elektro- und Leittechnik



**Entwicklung der
Schutzgerätetechnik**

Physikalische Alterung, Alterungsmanagement (Beispiel mechanische Komponenten)

Alterung bedeutet:

Veränderung der Werkstoffeigenschaften und des Bauteilverhaltens im Langzeitbetrieb durch z. B. Bestrahlung, Ermüdung, Korrosion...

Alterungsmanagement heißt daher:

- *Verstehen der Alterungsmechanismen*
- *Kenntnis des Ist-Zustandes der Bauteile (Schwachstellenanalyse)*
- *Rechtzeitige Umsetzung von Vorbeuge- / Abhilfemaßnahmen*

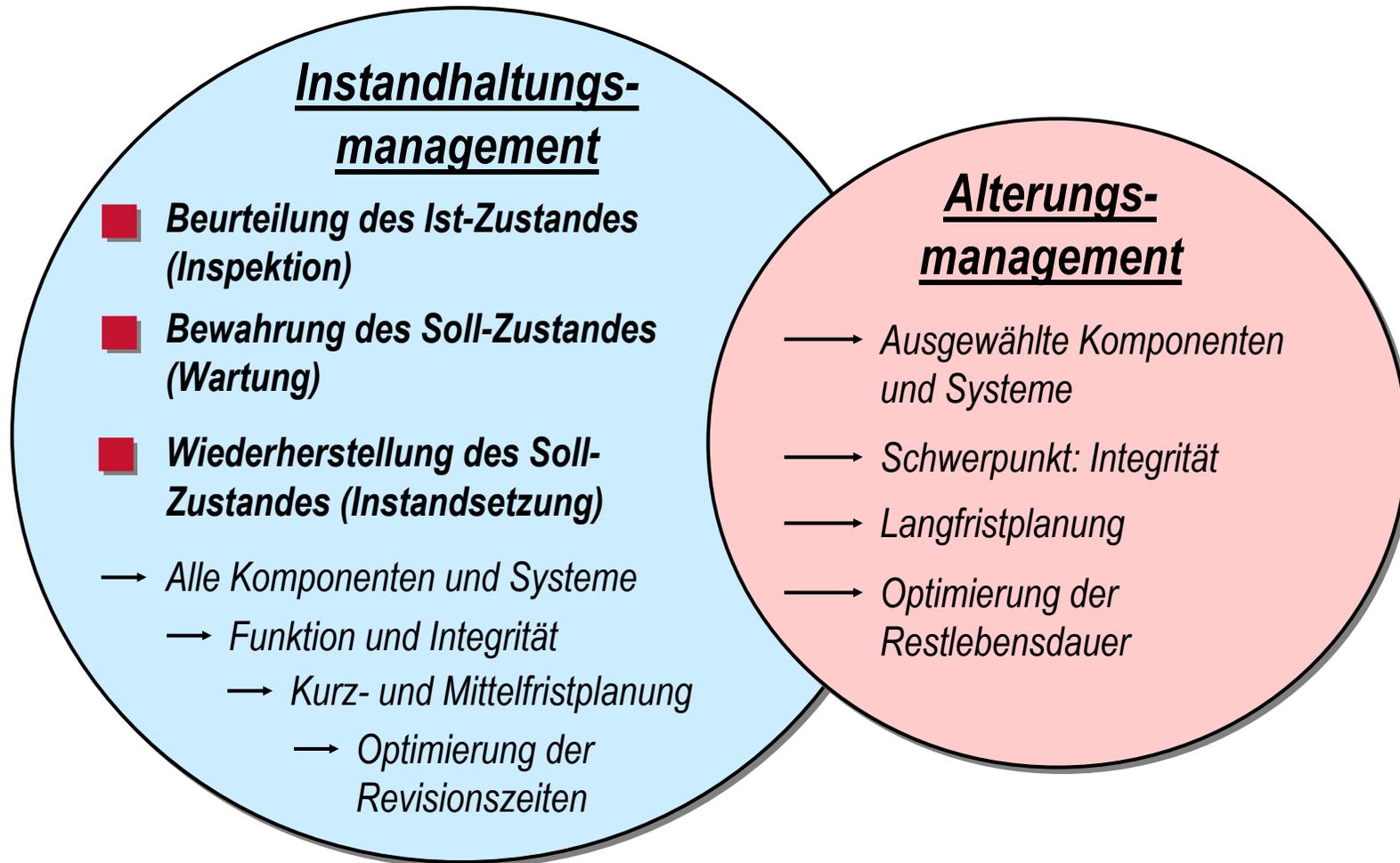


Zeitliche Veränderung der für den Betrieb des Kernkraftwerkes charakteristischen Merkmale und Eigenschaften

- ***der Technik (Maschinen-, Bau-, E + L-Technik)***
- ***der relevanten DV-Systeme
(Hardware und Software)***
- ***der Spezifikations- und Dokumentationsunterlagen***
- ***(des Personals)***

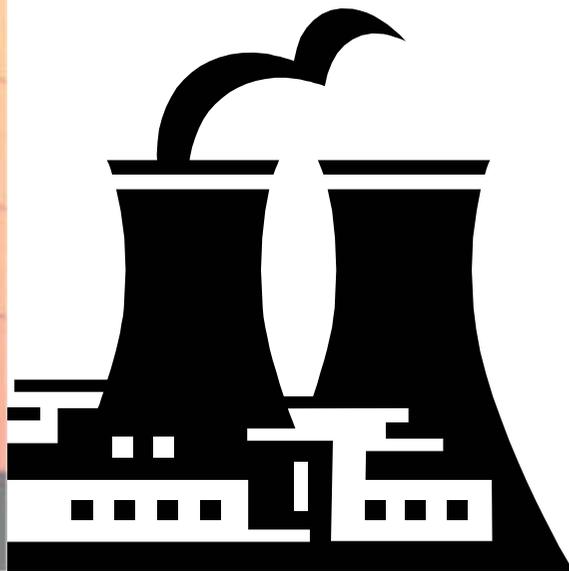
In Deutschland bisher geübte Praxis:

Kontinuierlicher Prozeß, im Rahmen des Qualitätsmanagements der Anlagen

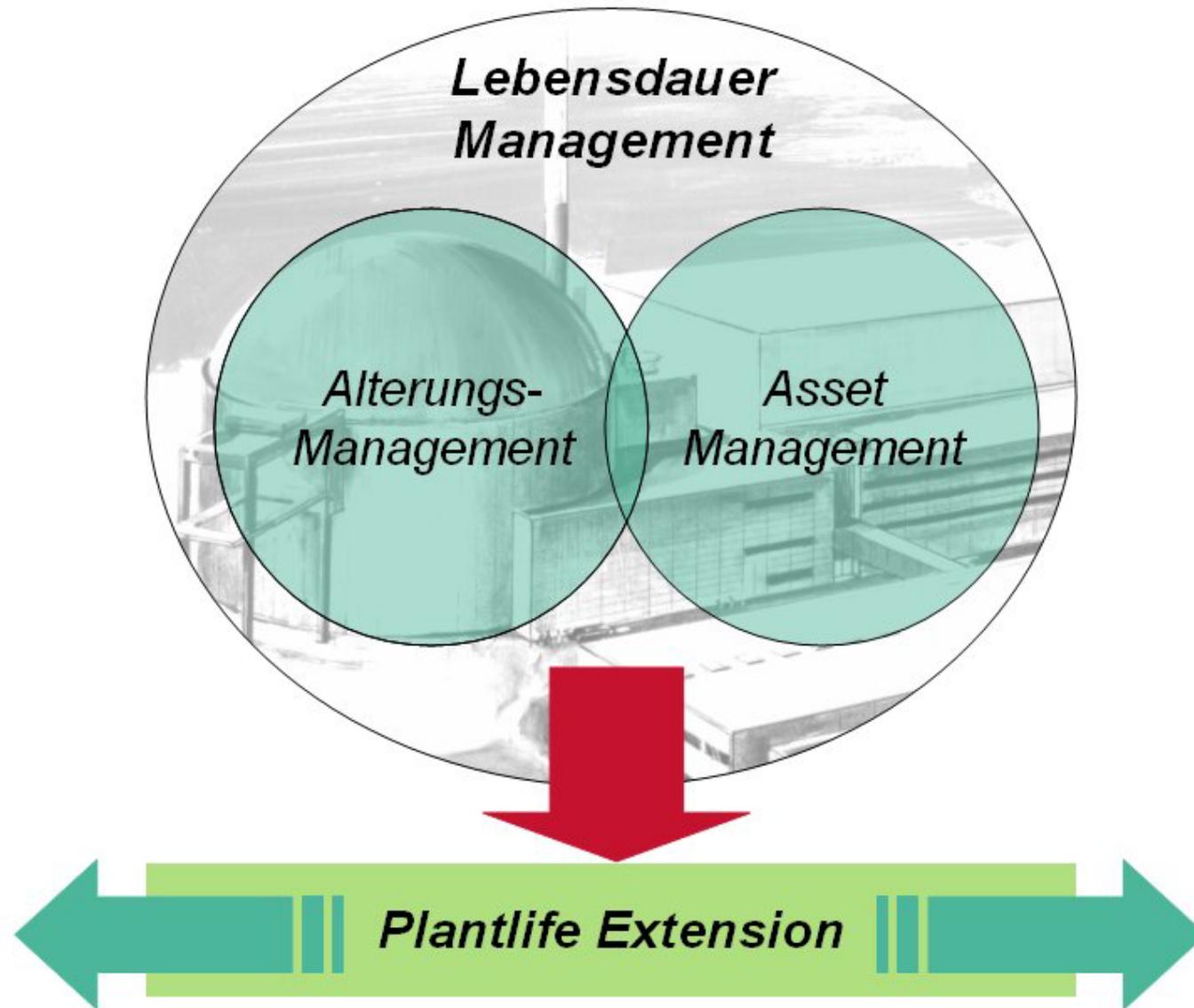


Begriffsbestimmungen: Lebensdauermanagement

- ***PLIM is defined as an integration of ageing management and economic planning to optimize operation, maintenance, to maintain an acceptable level of performance and safety, and to maximise return of investment (EPRI, OECD)***



Lebensdauermanagement als Basis für Lebensdauerverlängerung

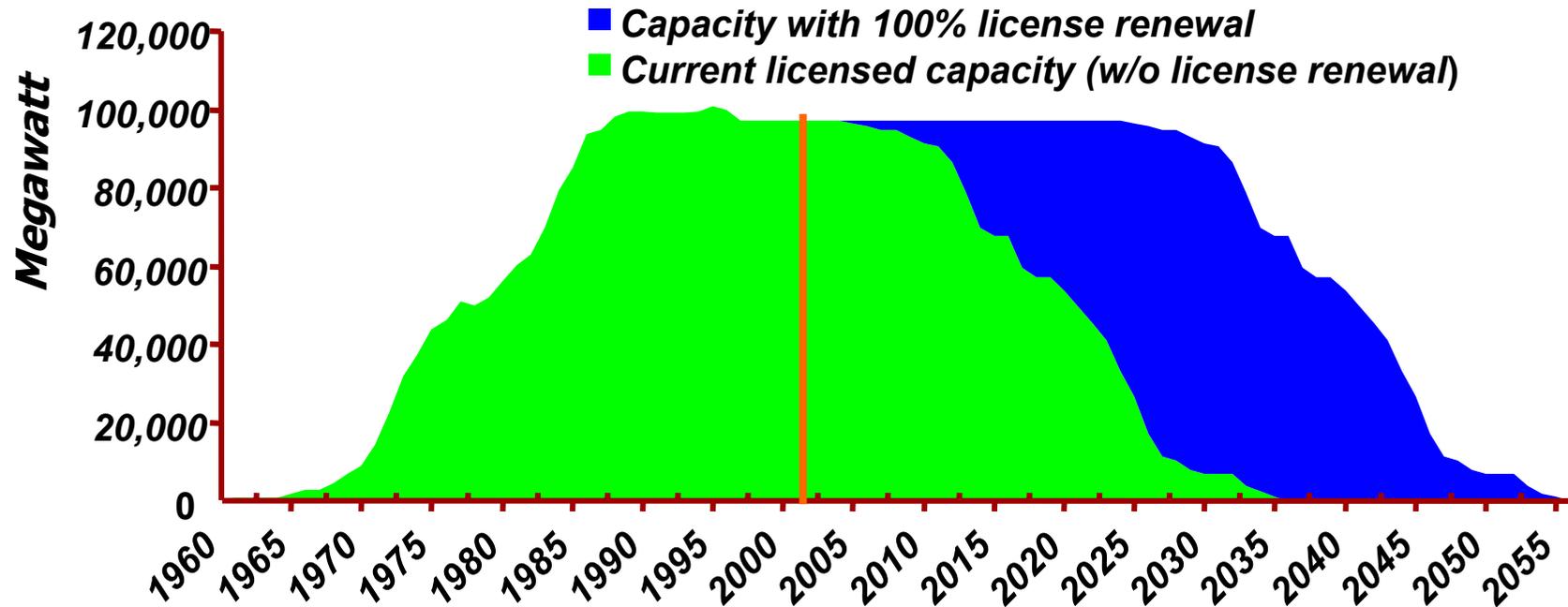


- *In Deutschland ursprünglich keine Begrenzung der Lebensdauer per Gesetz oder Genehmigung*
- *Auslegung (z. B. gegen Ermüdung, Bestrahlung) für zunächst 40 Jahre (entsprechend 32 Volllastjahren)*
- *Vereinbarung Bundesregierung mit EVUs (2000): Begrenzung der Anlagenlebensdauer durch Festlegung von „Restlaufzeiten“, definiert durch zulässige Gesamtstromerzeugung*
- *Im Ausland z. B.: F - 40 Jahre; CH - anlagenspezifisch; VVER - Anlagen - 30/40 Jahre; S - ?Jahre; USA – 40 Jahre;*

Eine Besonderheit in den USA: License Renewal

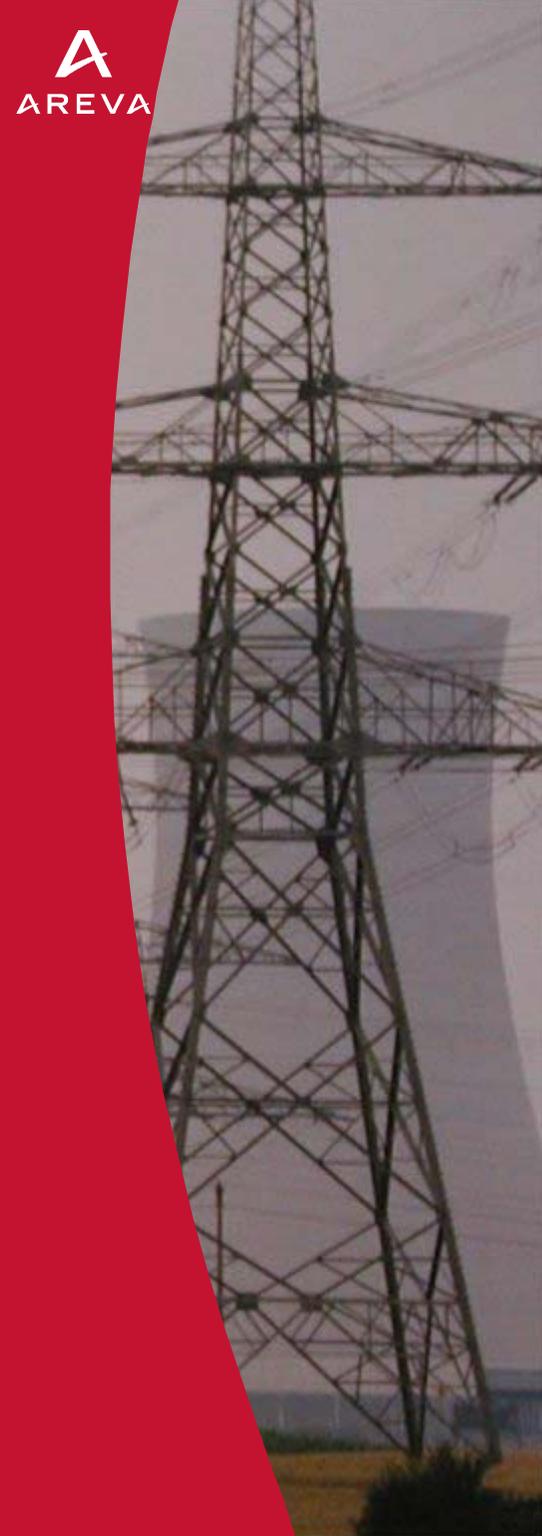
License renewal is:

- *NRC process governed by 10 CFR Part 54*
- *Renewal of original 40 year operating license for an additional 20 years*
- *Aging management for passive, long-lived components and structures*
- *An option to continue operating existing nuclear power plants*
- *A prerequisite for plant life extension in the U.S.*



Herbstsitzung des AKE, 21. Oktober 2004

Framatome ANP, Technical Center



License Renewal: U.S. nuclear plants that have Renewed Licenses

Table 1 - Nuclear Plants with Renewed Operating Licenses

**26 plants
15 sites**

**25% of
U.S. Fleet**

Nuclear Plant	Megawatt Output⁽¹⁾	40-year License	Renewed License	Date of Renewal
Calvert Cliffs-1	850	2014	2034	3/2000
Calvert Cliffs-2	850	2016	2036	3/2000
Oconee-1	846	2013	2033	5/2000
Oconee-2	846	2013	2033	5/2000
Oconee-3	846	2014	2034	5/2000
ANO-1	836	2014	2034	6/2001
Hatch-1	924	2014	2034	1/2002
Hatch-2	924	2018	2038	1/2002
Turkey Point-3	760	2012	2032	6/2002
Turkey Point-4	760	2013	2033	6/2002
North Anna-1	893	2018	2038	3/2003
North Anna-2	897	2020	2040	3/2003
Surry-1	801	2012	2032	3/2003
Surry-2	801	2013	2033	3/2003
Peach Bottom-2	1160	2013	2033	5/2003
Peach Bottom-3	1160	2014	2034	5/2003
St. Lucie-1	893	2016	2036	10/2003
St. Lucie-2	893	2023	2043	10/2003
Ft. Calhoun-1	476	2013	2033	11/2003
McGuire-1	1100	2021	2041	12/2003
McGuire-2	1100	2023	2043	12/2003
Catawba-1	1100	2024	2044	12/2003
Catawba-2	1100	2026	2046	12/2003
Robinson-2	683	2010	2030	4/2004
Summer-1	1000	2022	2042	4/2004
Ginna-1	490	2009	2029	5/2004
Total Megawatts	22,989			

(1) 21st Edition of "Commercial Nuclear Power Plants," January 2001



18 plants
9 sites

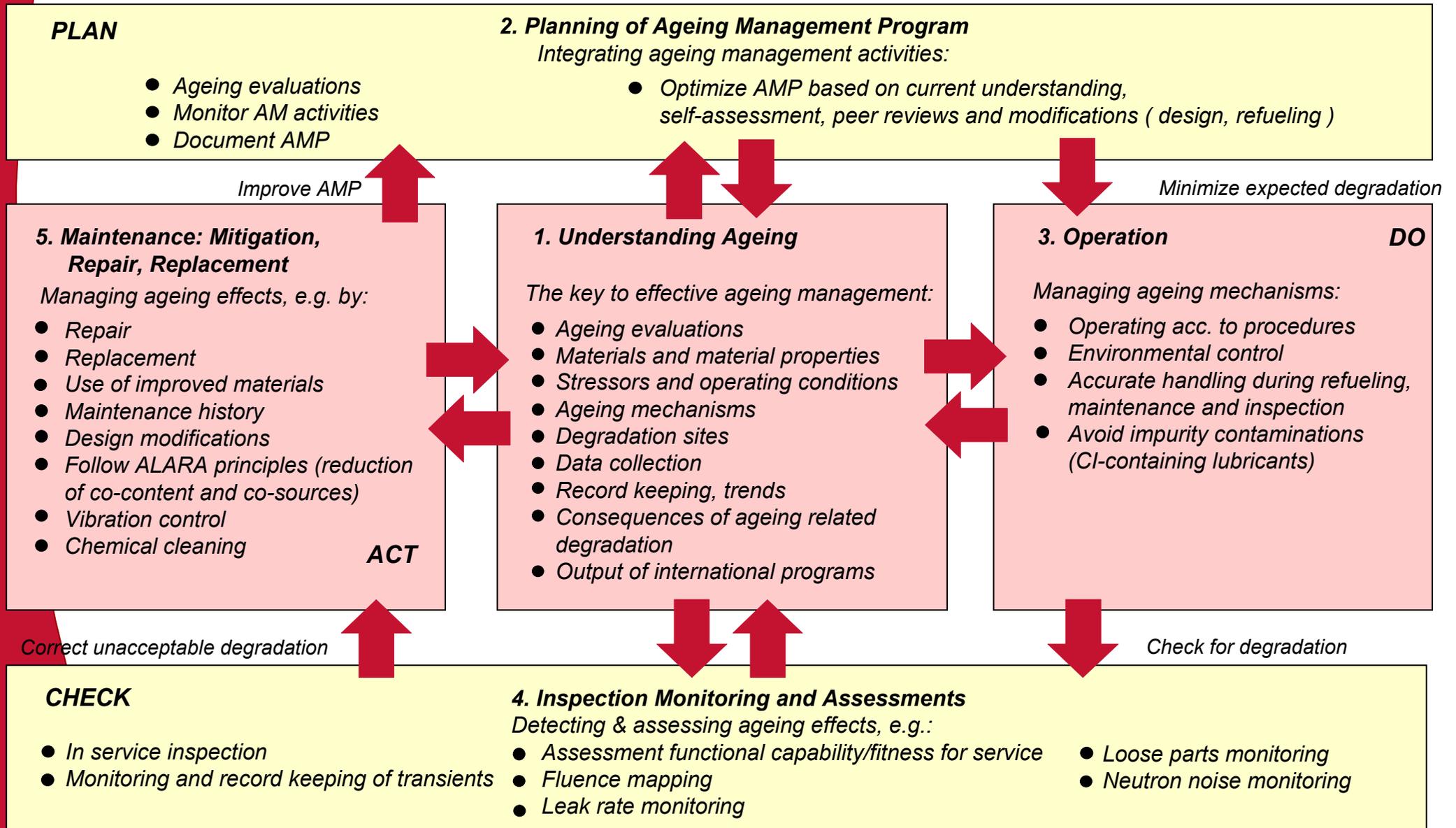
17% of
U.S. Fleet

License Renewal: Nuclear Plants that have Applications in Review

Table 2 - Nuclear Plants with Renewal Applications in NRC Review				
Nuclear Plant	Megawatt Output ⁽¹⁾	40-year License	Renewed License	Date of Submittal
Dresden-2	794	2009	2029	1/2003
Dresden-3	794	2011	2031	1/2003
Quad Cities-1	789	2012	2032	1/2003
Quad Cities-2	789	2012	2032	1/2003
J.M. Farley-1	888	2017	2037	9/2003
J.M. Farley-2	888	2021	2041	9/2003
ANO-2	858	2018	2038	10/2003
D.C. Cook-1	1020	2014	2034	11/2003
D.C. Cook-2	1090	2017	2037	11/2003
Browns Ferry-1	1065	2013	2033	12/2003
Browns Ferry-2	1065	2014	2034	12/2003
Browns Ferry-3	1065	2016	2036	12/2003
Millstone-2	878	2015	2035	1/2004
Millstone-3	1152	2025	2045	1/2004
Point Beach-1	485	2010	2030	2/2004
Point Beach-2	485	2013	2033	2/2004
Nine Mile-1	609	2009	2029	5/2004
Nine Mile-2	1148	2026	2046	5/2004
Total Megawatts	15,862			

⁽¹⁾ 21st Edition of "Commercial Nuclear Power Plants," January 2001

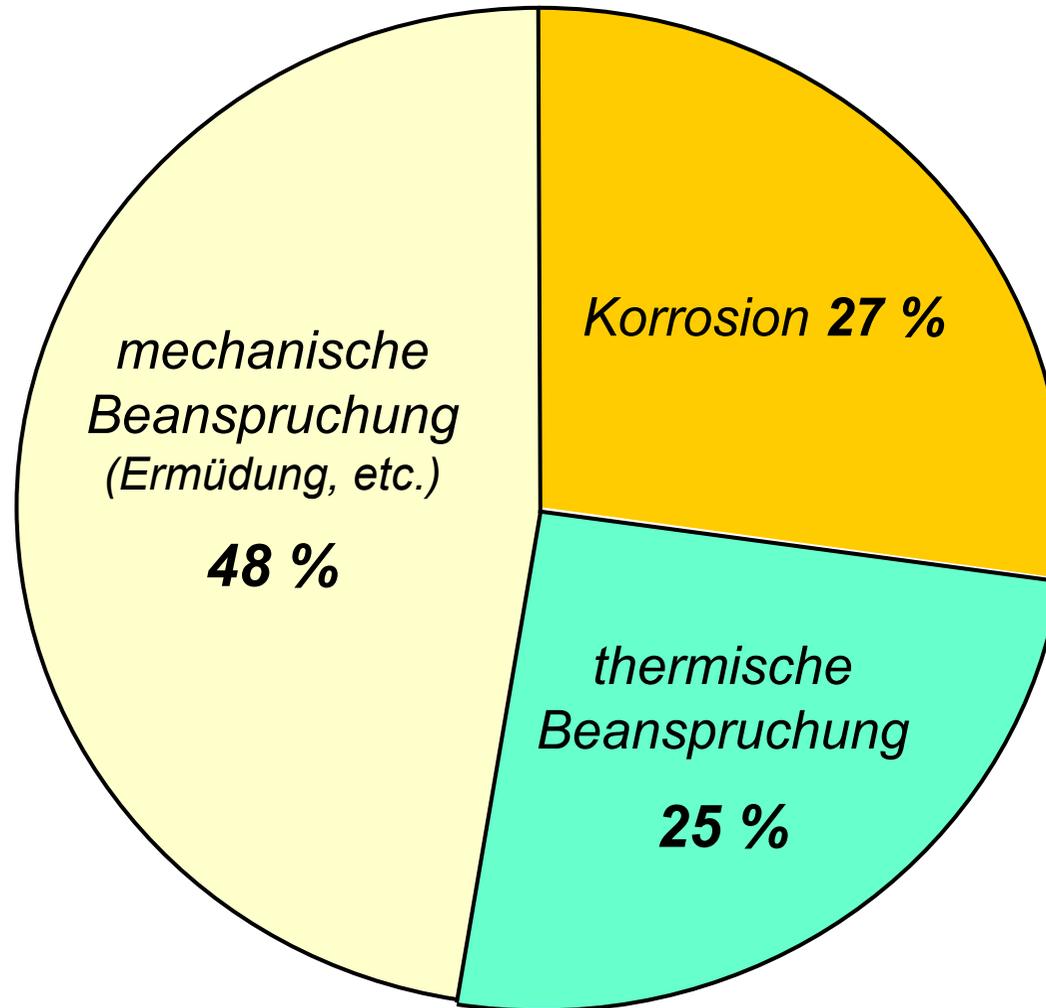
IAEA: Key elements of components and equipments ageing management program and their interfaces



Lebensdauermanagement und Lebensdauererlängerung von Kernkraftwerken

- **Begriffsbestimmungen**
- **Alterungsphänomene und deren Auswirkungen auf das Betriebsverhalten der Komponenten**
- **Präventives Lebensdauermanagement durch Optimierung von Auslegung, Konstruktion, Werkstoffwahl und Herstellung**
 - *Beispiel 1: Auslegung und Konstruktion*
 - *Beispiel 2: Werkstoffwahl*
 - *Beispiel 3: Herstellung*
- **Möglichkeiten bei in Betrieb befindlichen Anlagen**
 - *Berücksichtigung von konzeptioneller Alterung und Weiterentwicklung der Sicherheitsphilosophie*
 - *Reduzierung der betrieblichen Belastungen*
 - *Maßnahmen bei Reparatur und Austausch von Komponenten*
- **Wirtschaftliche Überlegungen**

Alterungsmechanismen in Kraftwerken *)



*) Schadensursache in Kraftwerken nach Auswertung AZT

Herbstsitzung des AKE, 21. Oktober 2004

Framatome ANP, Technical Center

Alterungsmechanismen und deren Einfluss auf die Komponenten

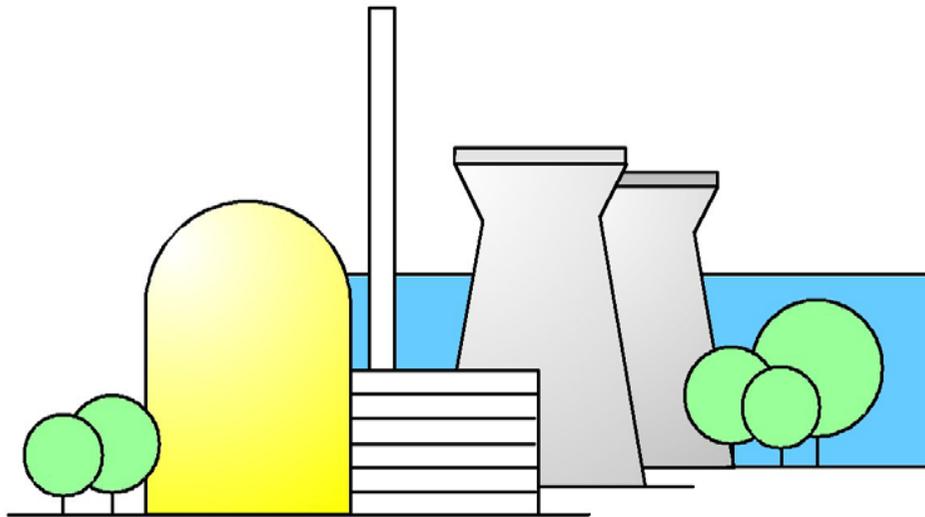
Alterungsmechanismus	Korrosion												
	Bestrahlung	Thermische Alterung	Kriechen	Ermüdung (HCF, LCF)	Schwingungsrißkorrosion	Spannungsrißkorrosion (SpRK)	bestr. induz. SpRK	Dehnungsinduzierte Korrosion	interkristalline Korrosion	Erosionskorrosion	lokale Korrosion	allgemeine Flächenkorrosion	Verschleiß, Fretting
■ Änderung der mechan. Eigenschaften	●	●	●	●									
■ Rißbildung, Leckage, Bruch			●	●	●	●	●	●	●				●
■ Dimensionsänderung	●		●										
■ Wanddickenschwächung									●			●	●
■ Denting												●	
■ Lochfraß, Leckage											●		

Alterungsrelevante Belastungen und lebensdauerbegrenzende Situationen

Lebensdauer begrenzende Situation		Funktionsverlust	Überschreiten von Auslegungskriterien				Versagen		Wirkungsgradverlust
			Zähigkeit	Ausnutzungsfaktor	Wanddicke	Fehlergröße	Leck vor Bruch (LBB)	Bruch	
Belastung									
Mech. Belastung	statisch	Verstimmung der Aufhängung						mechanische Überbeanspruchung	
	dynamisch	Verstimmung d. Aufhängung, Verschleiß		Ermüdung	Reibung	Ermüdungsrisswachstum	Ermüdung, Ermüdungsrisswachstum	Ermüdung, Ermüdungsrisswachstum	
Korrosion	lokal	SpRK, IK, DRK, SwRK		SwRK	Lochfraß		Lochfraß	SwRK, SpRK, DRK, IK	Verschleiß von DE-Rohren
	flächig	Erosionskorrosions			Wastage Erosionskorrosion		Erosionskorrosion	Erosionskorrosion	Verschleiß v. DE-Rohren Fouling
Thermische Belastung			Alterung					Alterung	
Bestrahlung			ΔT_{41J} RTNDTj					bestrahlungsind. SpRK	

Auslegung und Konstruktion

- *Werkstoffkonzept*
- *Konstruktionsmerkmale*



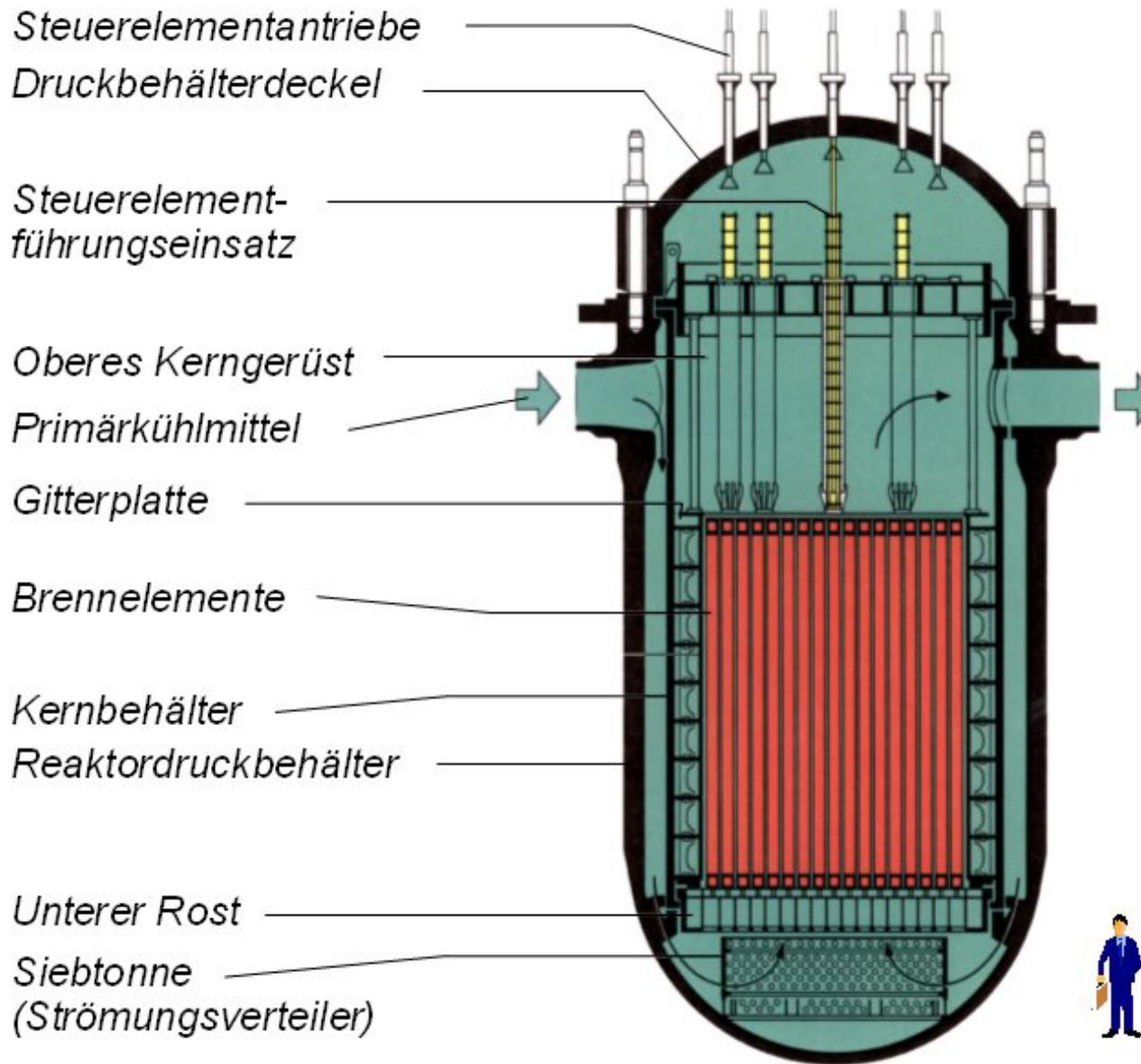
Betrieb

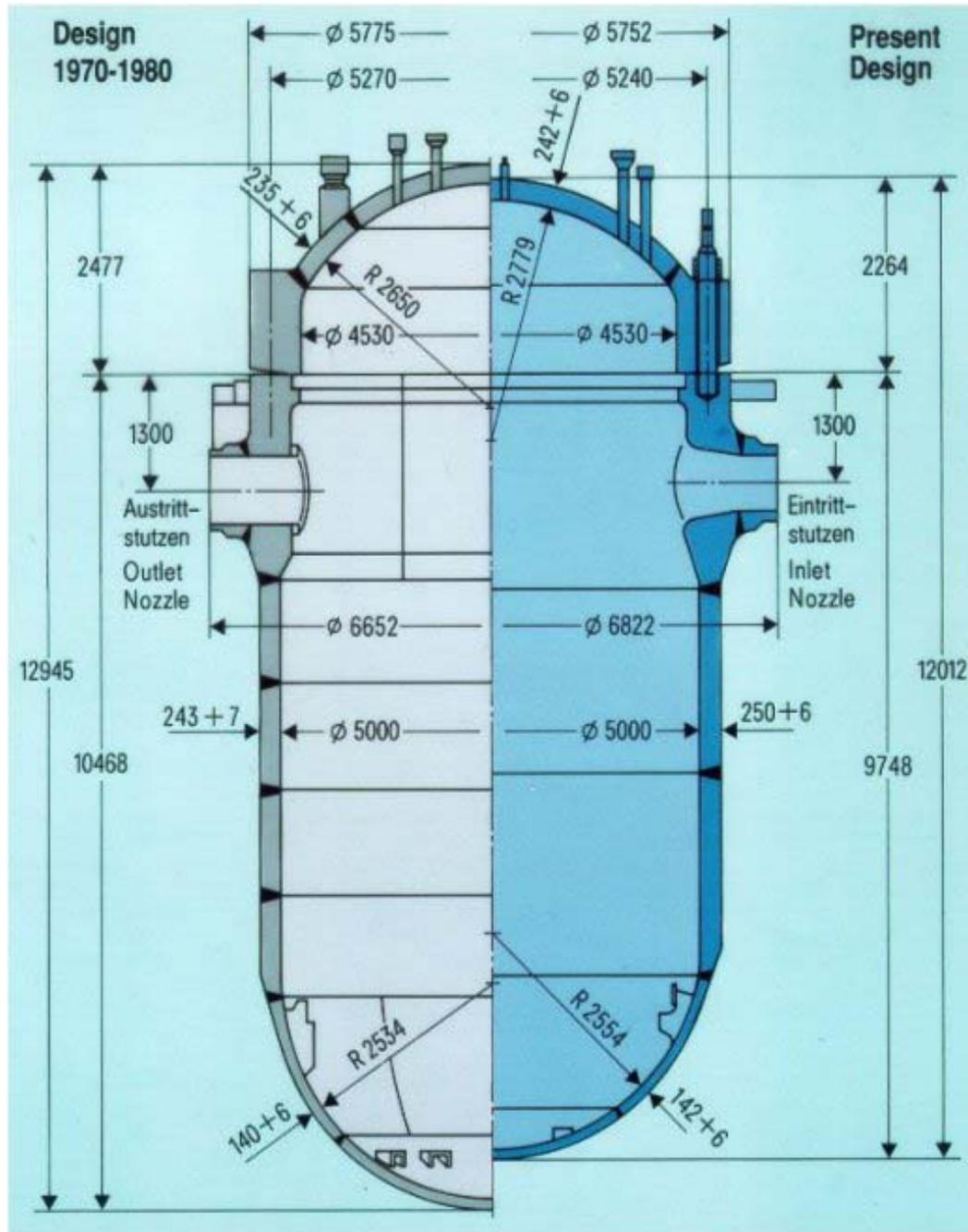
- *Schwachstellenanalyse*
- *Betriebsüberwachung*
- *WKP*
- *Fahrweise*
- *Lebensdauerbestimmung*

Lebensdauermanagement und Lebensdauererlängerung von Kernkraftwerken

- **Begriffsbestimmungen**
- **Alterungsphänomene und deren Auswirkungen auf das Betriebsverhalten der Komponenten**
- **Präventives Lebensdauermanagement durch Optimierung von Auslegung, Konstruktion, Werkstoffwahl und Herstellung**
 - **Beispiel 1: Auslegung und Konstruktion**
 - **Beispiel 2: Werkstoffwahl**
 - **Beispiel 3: Herstellung**
- **Möglichkeiten bei in Betrieb befindlichen Anlagen**
 - **Berücksichtigung von konzeptioneller Alterung und Weiterentwicklung der Sicherheitsphilosophie**
 - **Reduzierung der betrieblichen Belastungen**
 - **Maßnahmen bei Reparatur und Austausch von Komponenten**
- **Wirtschaftliche Überlegungen**

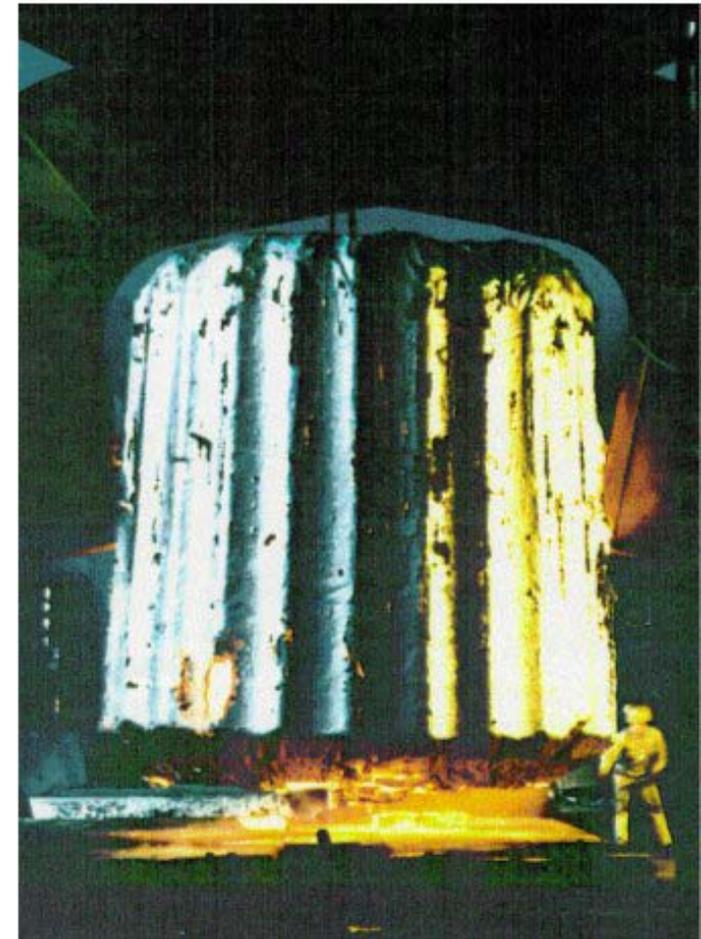
RDB eines Kernkraftwerks mit Druckwasserreaktor





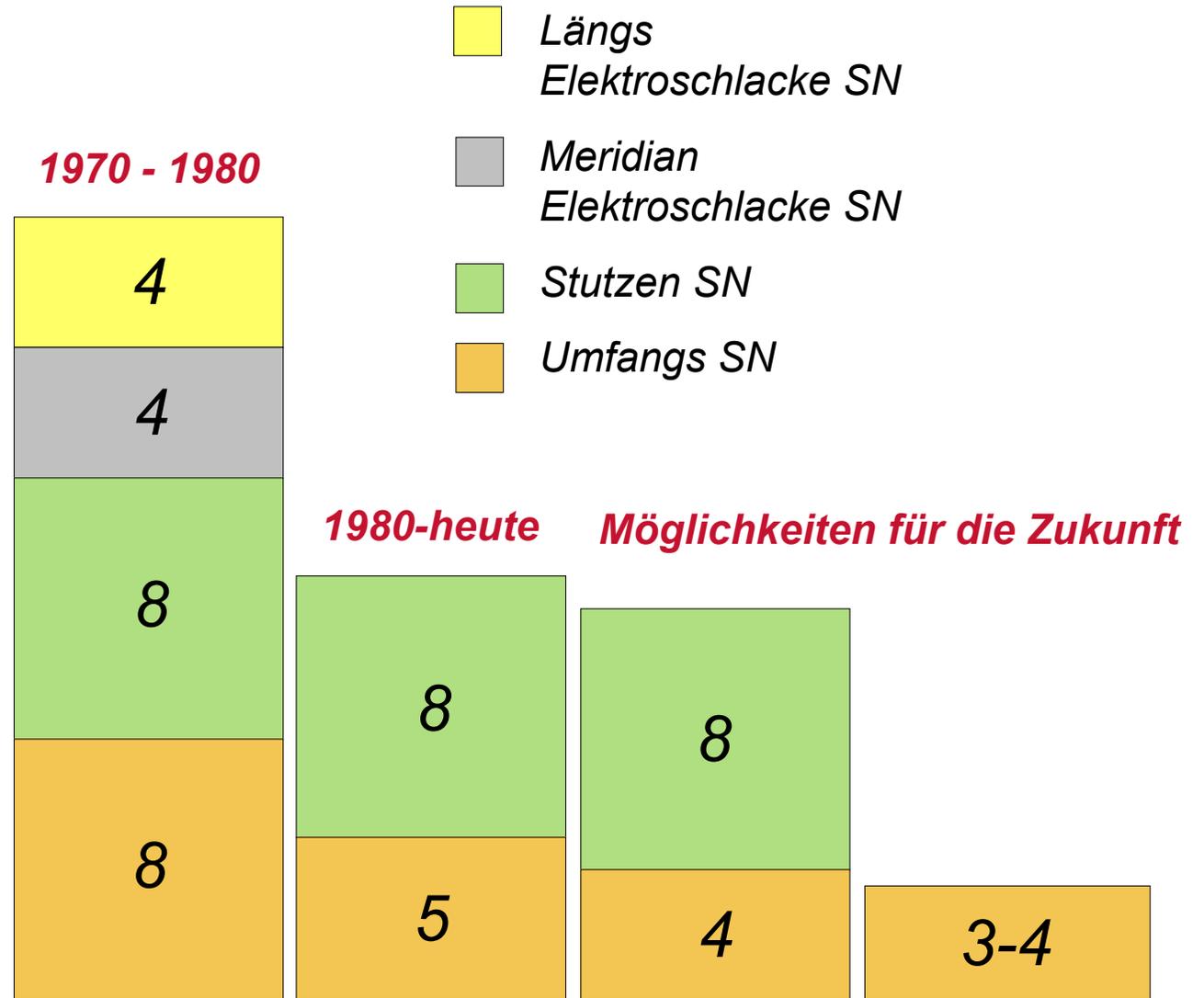
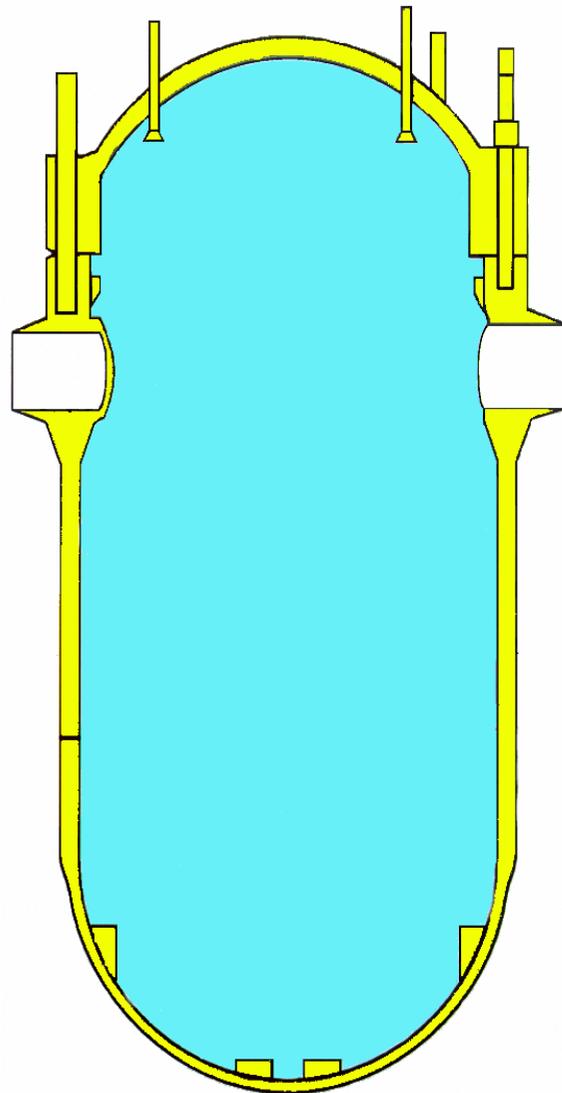
Reaktordruckbehälter 1300 MWe

Entwicklung des lay-out unter
Verwendung großer Blöcke (bis 570 t)
(Design 1970 und Konvoi Design)

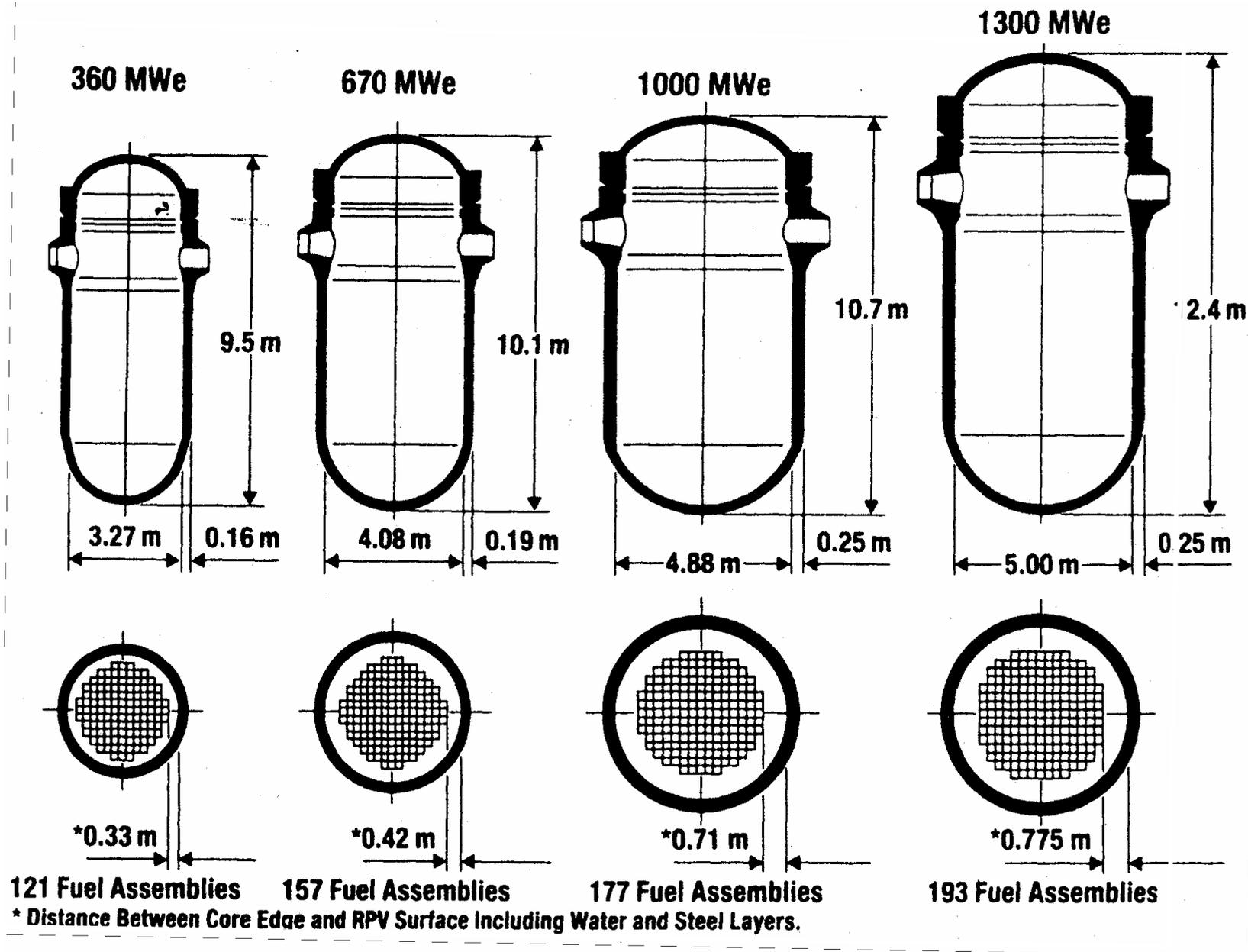


Reaktordruckbehälter 1300 MWe

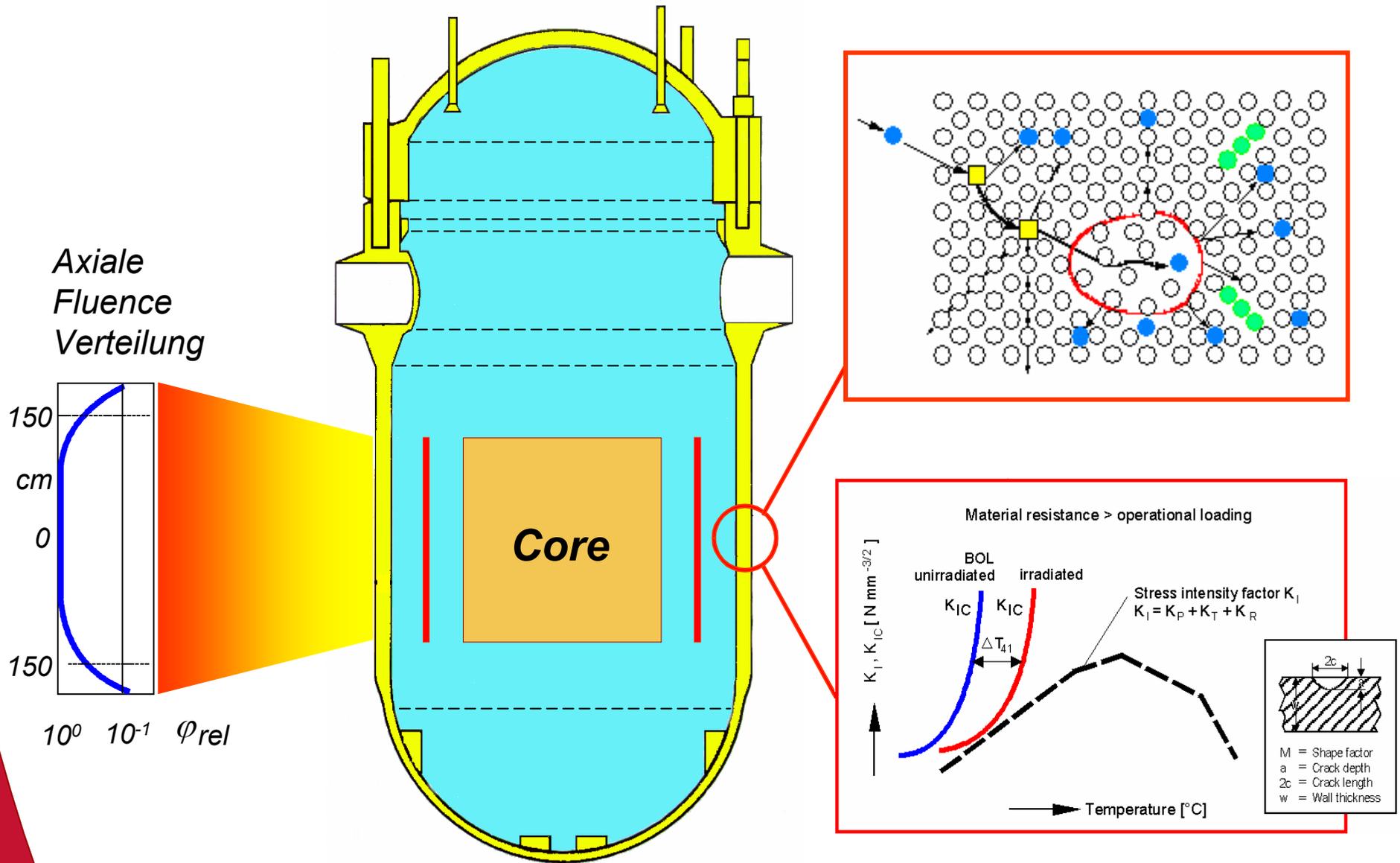
Vergleich von Anzahl und Typen der Schweißnähte



Entwicklungen von Konstruktion und Core Geometrie



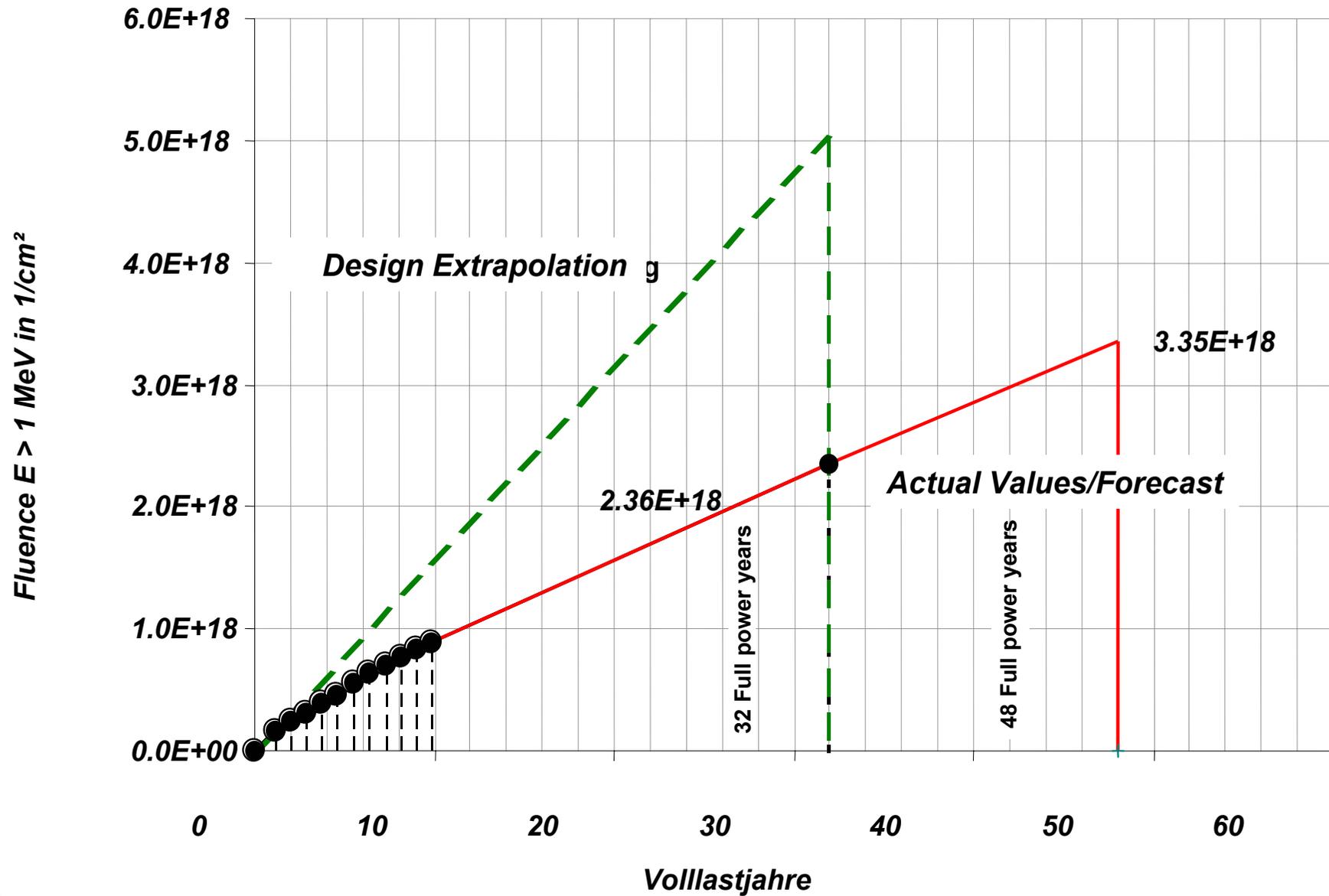
Einfluß der Bestrahlung auf die Werkstoffeigenschaften



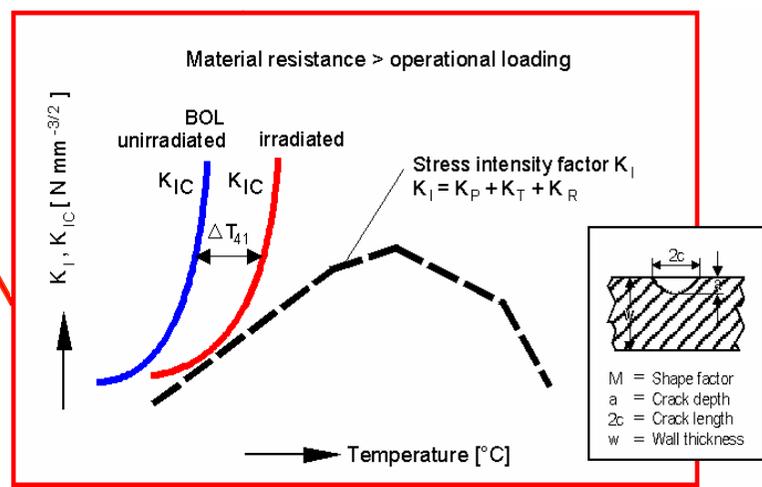
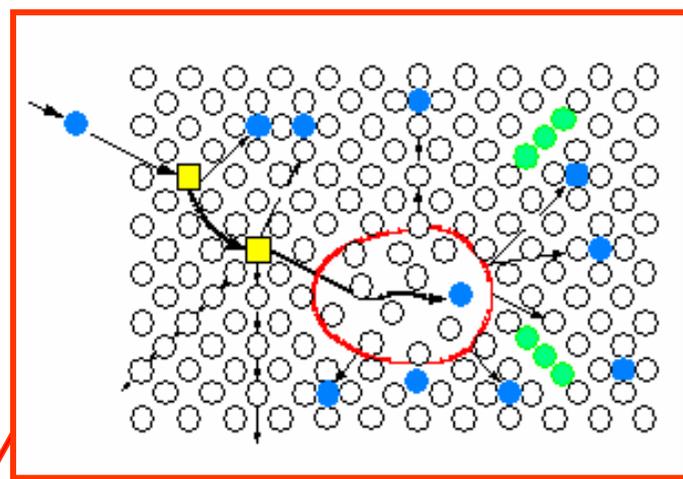
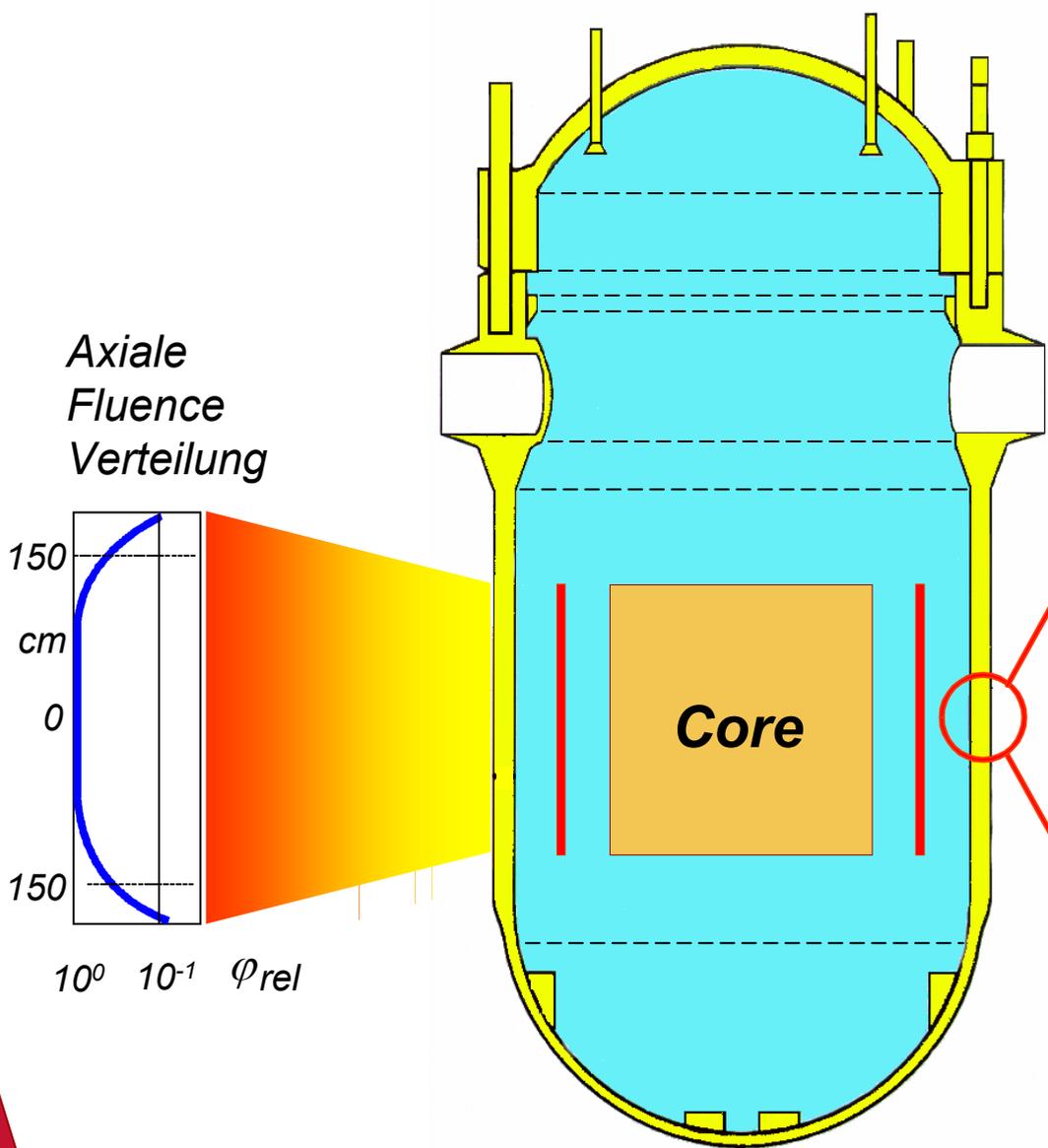
Bestrahlungsverhalten deutscher RDBs, KTA Anforderungen

<i>Operating Time (Years of Full Power)</i>	<i>40</i>	<i>60</i>
<i>Specified RT_{NDT} (°C) at BoL</i>	<i>-12</i>	<i>-12</i>
<i>Neutron Fuence (cm^{-2} für $E > 1MeV$) at EoL</i>	<i>5×10^{18}</i>	<i>$7,5 \times 10^{18}$</i>
<i>RT_{Limit}</i>	<i>< 40°C</i>	<i>< 40°C</i>

Fluenz in Abhängigkeit der Betriebszeit



Einfluß der Bestrahlung auf die Werkstoffeigenschaften



Heiße Zellen Einrichtungen der Framatome ANP GmbH

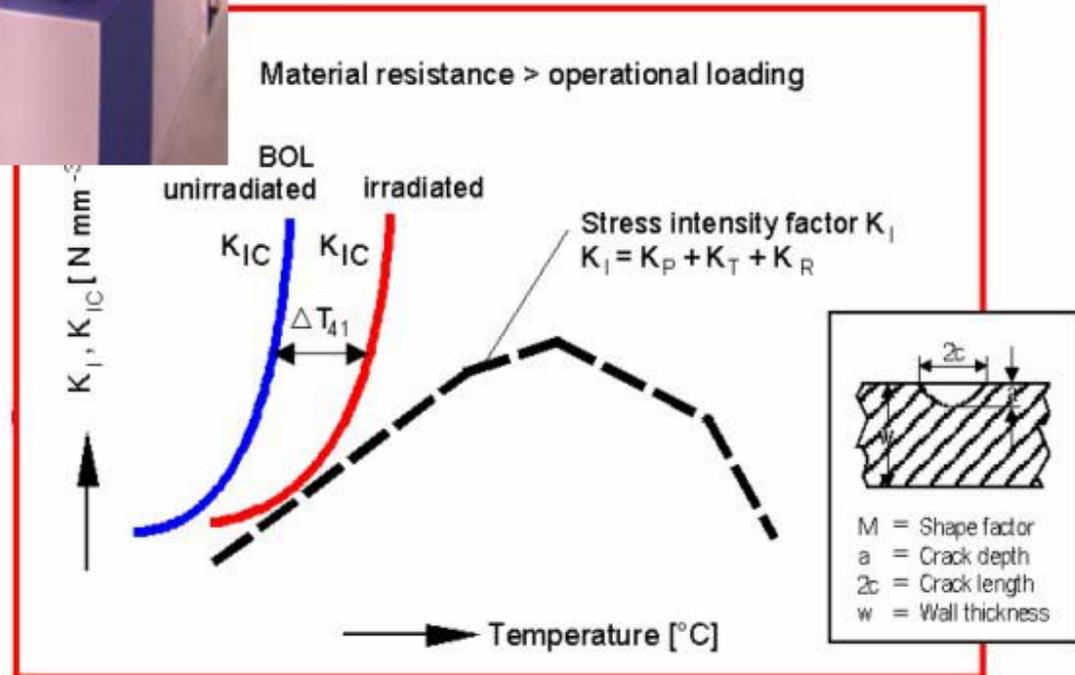
Technical Center, Erlangen



Prüfung und Auswertung von Bestrahlungsproben



Material resistance > operational loading



Ergebnisse von Bestrahlungsprogrammen für deutsche RDBs

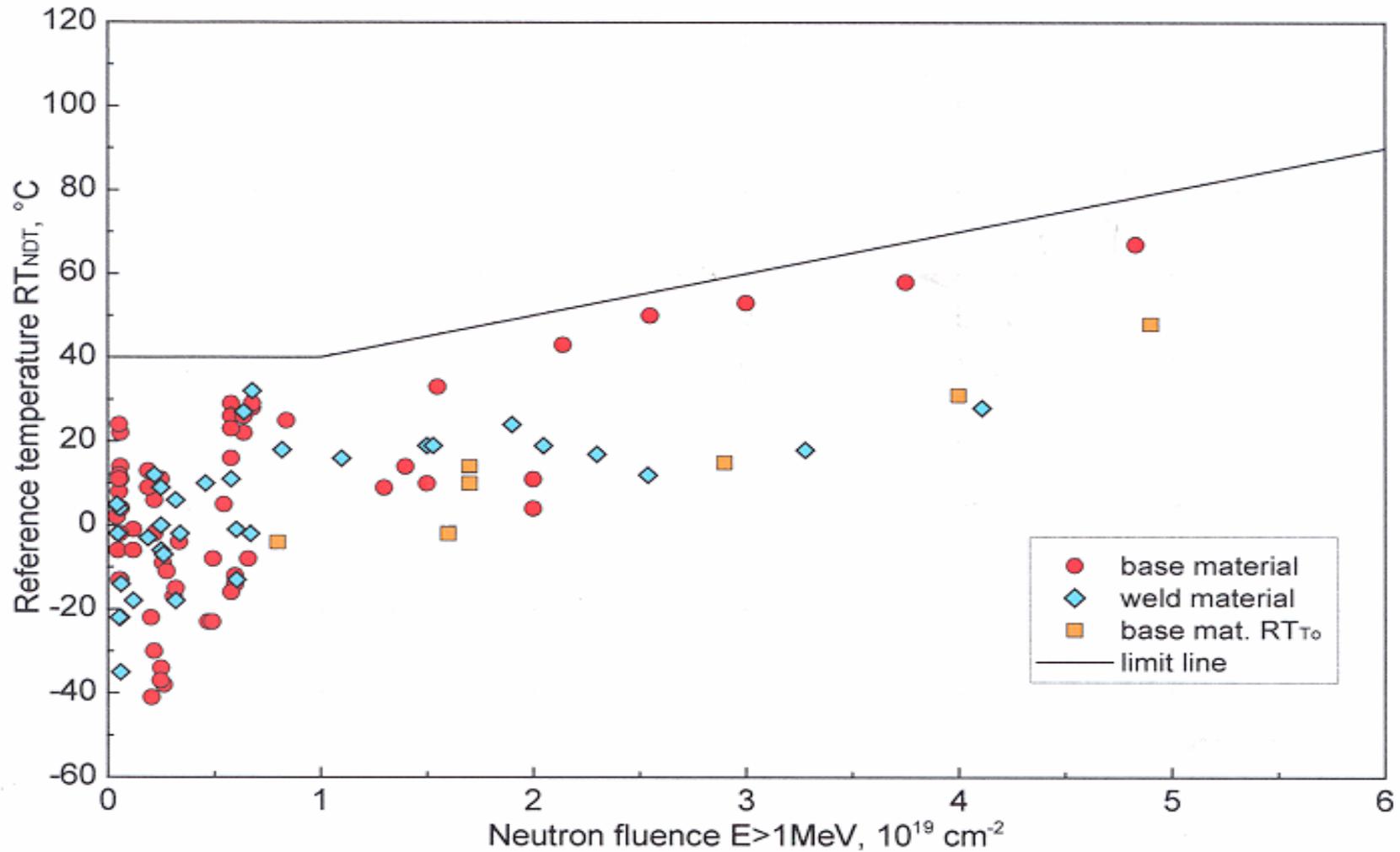


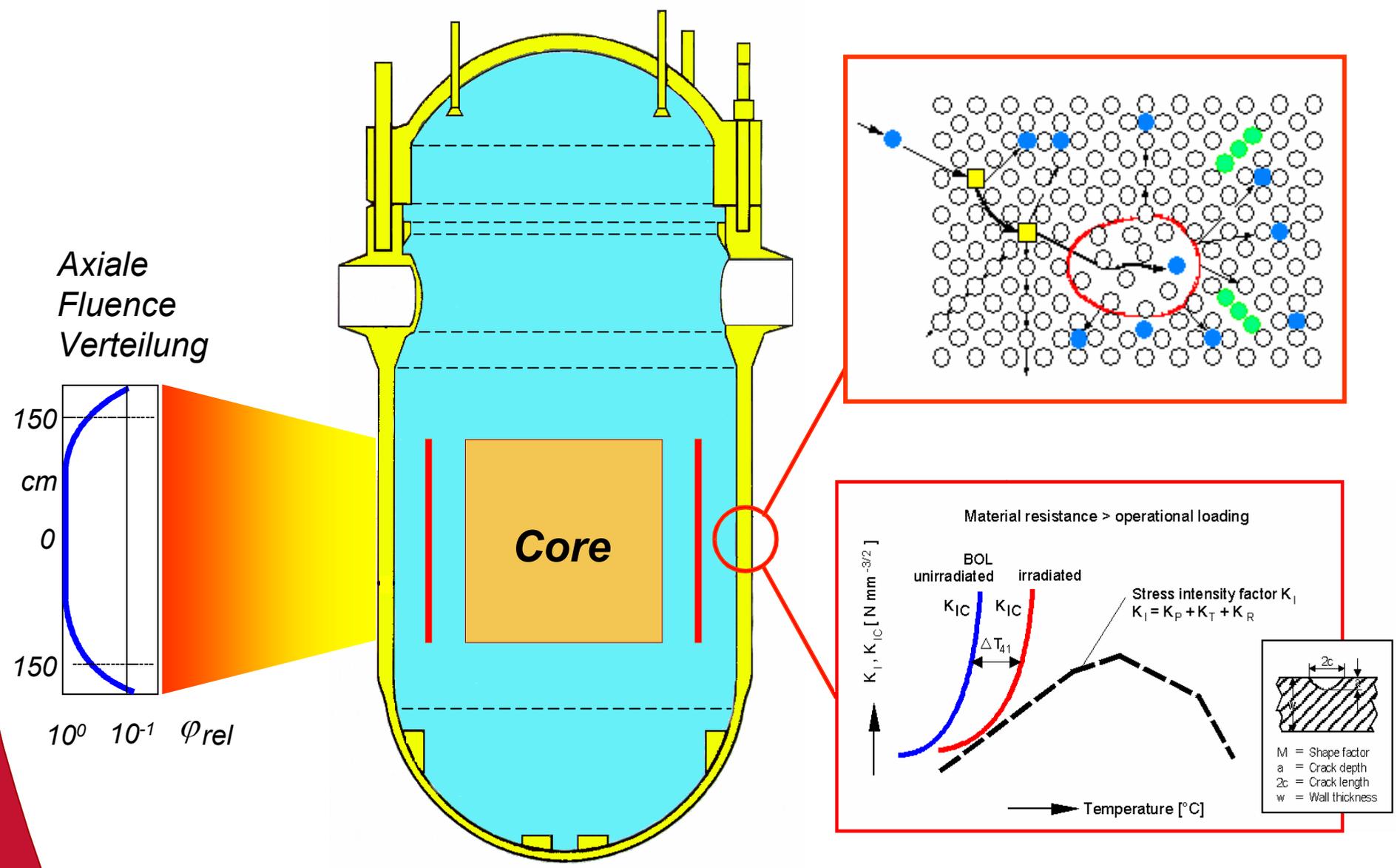
Fig. 2. Reference temperatures of German PWR and BWR base and weld materials with Cu and Ni as in fig.1

Beispiel: Konvoi Anlage Fluenz und RT_{NDTj} im Betrieb

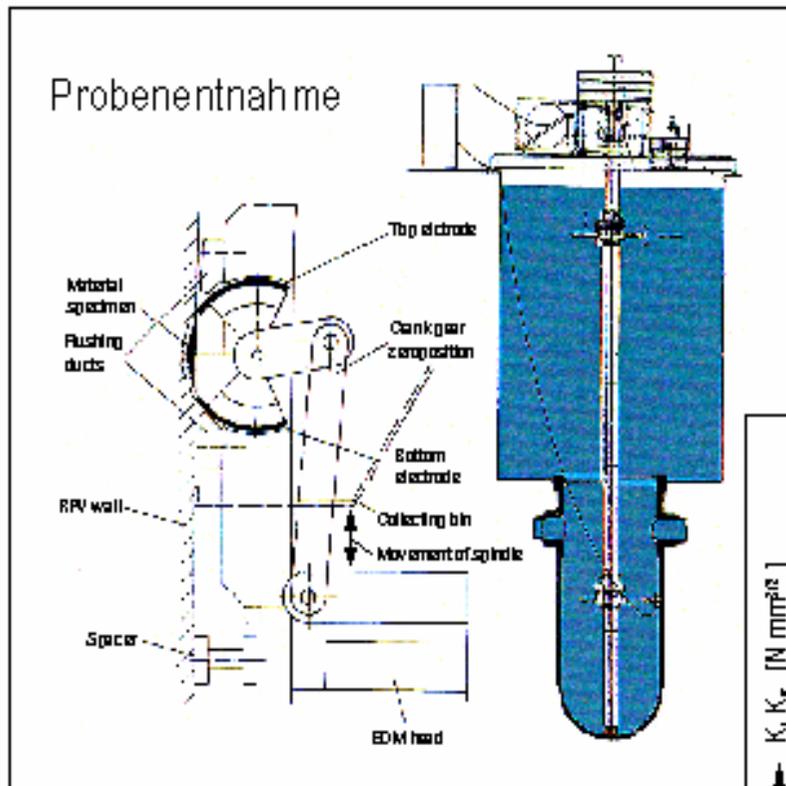
Operating Time (Years)	40	60
RT_{NDT} (°C) (Determined at BoL)	-42	-42
Neutron Fluence cm^{-2} for ($E > 1MeV$) at EoL	2.36×10^{18}	3.35×10^{18}
RT_{Limit}	< 40°C	< 40°C
Adjusted RT_{NDT} (°C) (Determined by Surveillance Programme)	-30°C	-29°C

Das Bestrahlungsverhalten des RDB ist nicht lebensdauerbegrenzend für die Anlage

Einfluß der Bestrahlung auf die Werkstoffeigenschaften

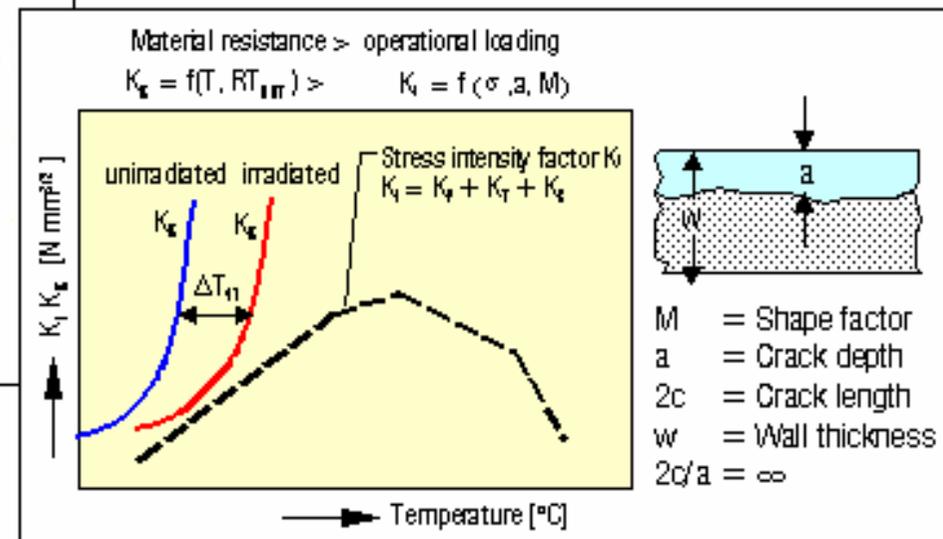


Komponentenintegrität: Prüfung von Proben aus der Wand des RDB bei VVER - Anlagen



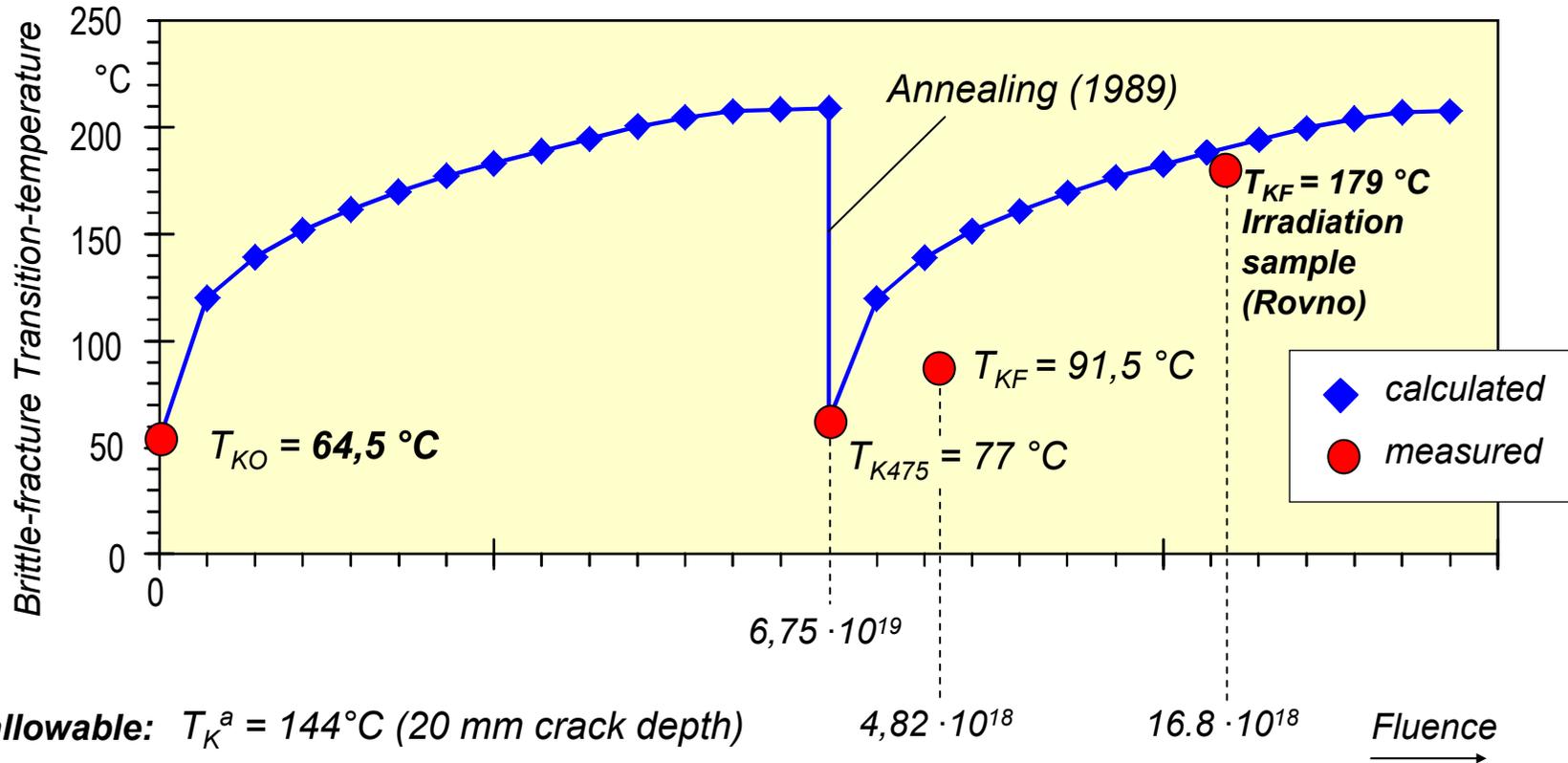
Bruchmechanische
Sicherheitsanalyse

Prüfung in den
Heißen Zellen



Kozloduy Block 1, Reaktordruckbehälter Einfluß der Erholungsglühung

Weld No.4: CSA with P-content: 0,046%, Cu-content: 0,10%

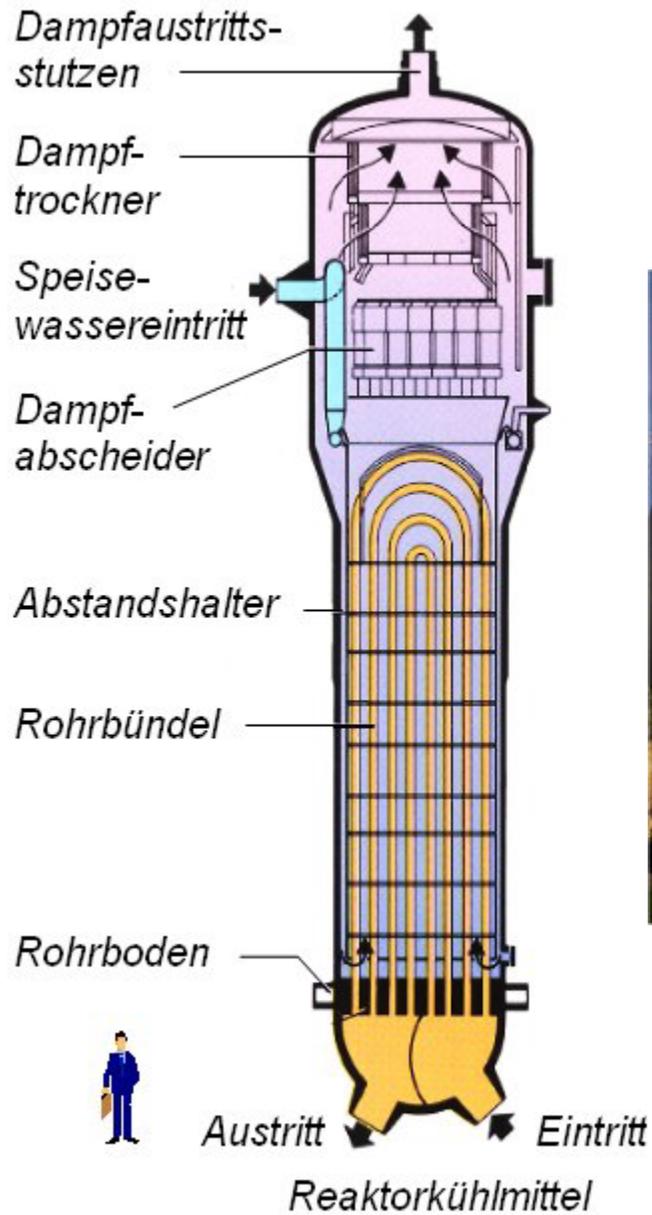


max. allowable: $T_K^a = 144 \text{ °C}$ (20 mm crack depth)
 $T_K^a = 178 \text{ °C}$ (10 mm crack depth)
 $T_K^a = 183 \text{ °C}$ (10 mm crack depth, with operator actions)

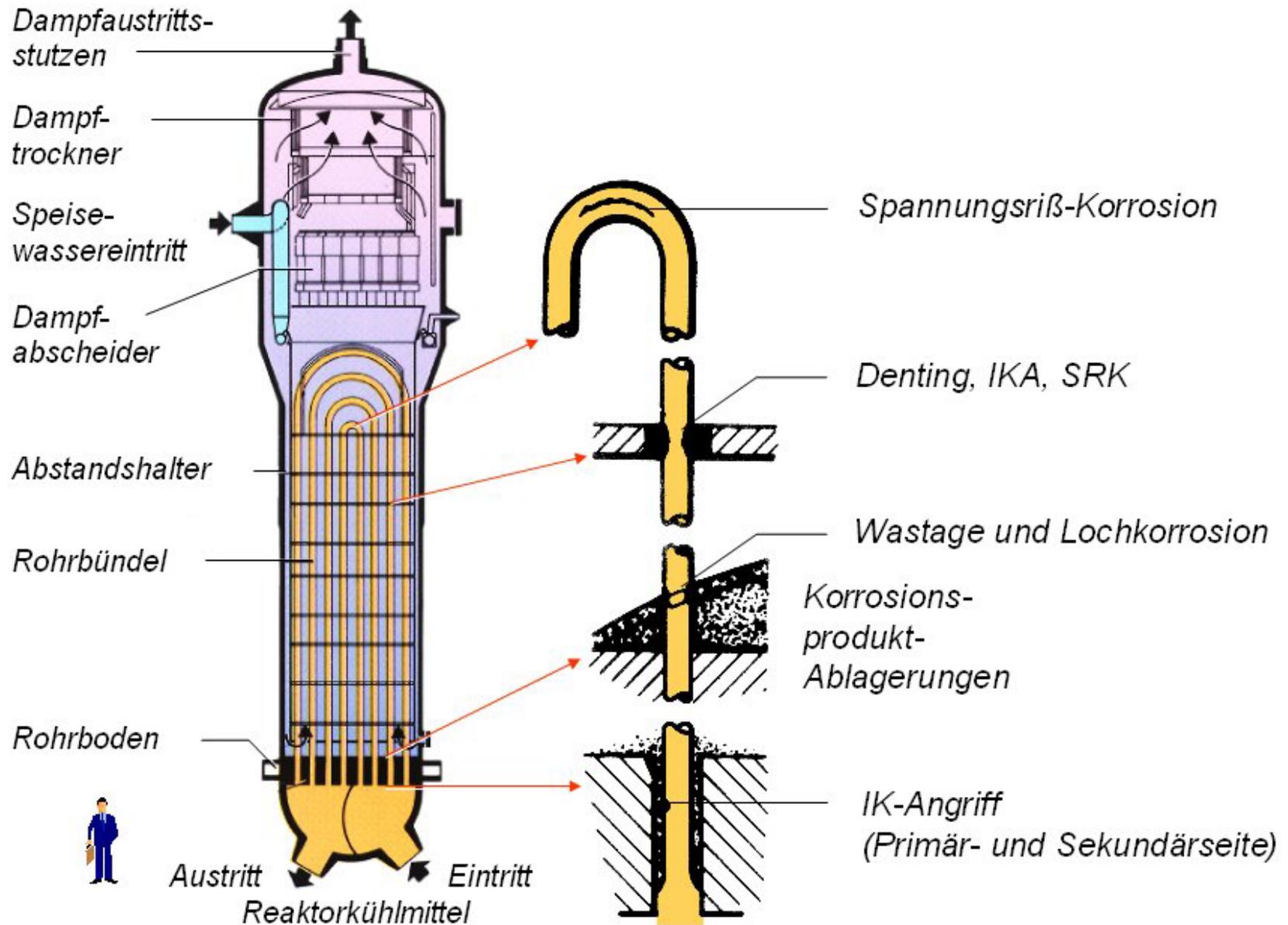
Lebensdauermanagement und Lebensdauerverlängerung von Kernkraftwerken

- **Begriffsbestimmungen**
- **Alterungsphänomene und deren Auswirkungen auf das Betriebsverhalten der Komponenten**
- **Präventives Lebensdauermanagement durch Optimierung von Auslegung, Konstruktion, Werkstoffwahl und Herstellung**
 - **Beispiel 1: Auslegung und Konstruktion**
 - **Beispiel 2: Werkstoffwahl**
 - **Beispiel 3: Herstellung**
- **Möglichkeiten bei in Betrieb befindlichen Anlagen**
 - **Berücksichtigung von konzeptioneller Alterung und Weiterentwicklung der Sicherheitsphilosophie**
 - **Reduzierung der betrieblichen Belastungen**
 - **Maßnahmen bei Reparatur und Austausch von Komponenten**
- **Wirtschaftliche Überlegungen**

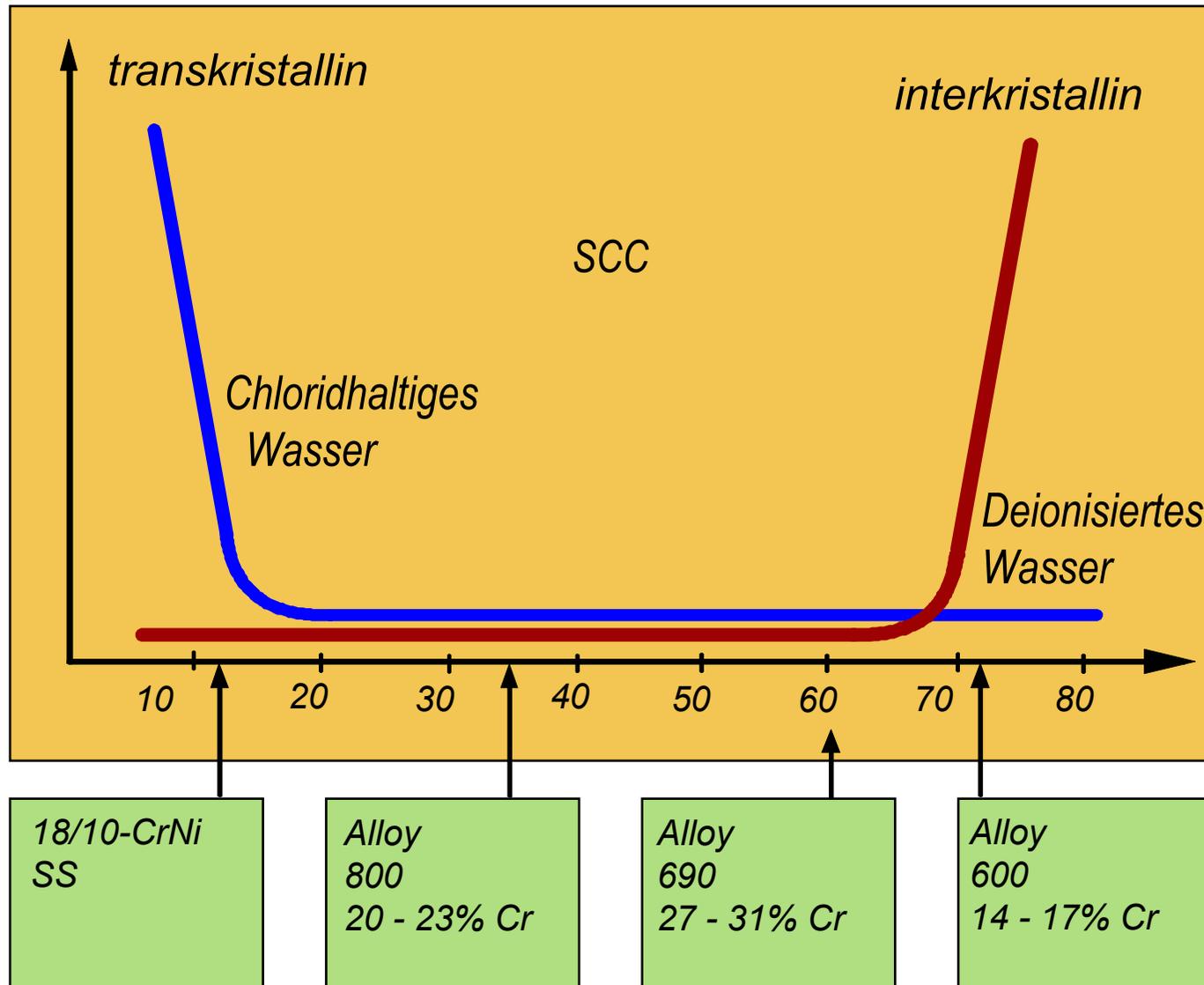
Dampferzeuger eines Druckwasserreaktors



Korrosionserscheinungen in Dampferzeugern



Austenitische Stähle und Ni-Basis Legierungen im HT-Wasser Interkristalline Spannungsrisskorrosion (ISpRK)



Austenitische Stähle und Ni-Basis Legierungen im HT-Wasser Betriebserfahrungen mit Framatome ANP GmbH (Siemens/KWU) DE

status: 31.12.2000

PWR Plant ¹⁾	Year of Startup	No. of SGs	No. of Tubes	No. of Tube Leaks	No. of Plugged Tubes	No. of Plugged Tubes and Causes												
						Wastage		Fretting				P	SCC		D	Cav	Other ³⁾	
						Large-surface	Local ⁷⁾	AVB	LP	SCO	EB		OD	ID				
Stade	1972	4	11,972	1	329	314	8	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
Borssele	1973	2	8,468	1	126	113 / 2 ²⁾	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Atucha I	1974	2	7,890	5	180	3	3	165	2	-	-	-	-	-	-	-	-	7
Biblis A	1974	4	16,240	3	634	44 / 448 ²⁾	5	56	1 ^{**)}	-	-	-	-	-	-	-	-	80 ¹⁾
Biblis B	1976	4	16,084	2 ¹¹⁾	94	7	1	51	2	-	-	2 ⁵⁾	1 ⁵⁾	-	-	-	29	1
Neckarwestheim 1	1976	3	12,063	2	24	4	-	6	10	-	-	-	-	-	-	-	-	4
Unterweser	1978	4	16,084	0	35	-	20 ⁸⁾	-	5 ¹⁰⁾	10	-	-	-	-	-	-	-	-
Goesgen	1979	3	12,318	0	15	1	-	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Grafenrheinfeld	1981	4	16,344	1 ¹¹⁾	49	-	-	4	7	2 ¹⁰⁾	-	-	-	-	-	-	18	18 ⁹⁾
Obrigheim (new)	1983	2	6,020	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Grohnde	1984	4	16,344	0	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Philippsburg 2	1984	4	16,424	0	5	-	-	1	1; 3 ¹⁰⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Brokdorf	1986	4	16,344	0	25	-	-	-	1	24 ¹⁰⁾	-	-	-	-	-	-	-	-
Isar 2	1988	4	16,472	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emsland	1988	4	16,472	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trillo 1	1988	3	12,258	3	18	-	-	1	12	3	-	-	-	-	-	-	-	2 ⁶⁾
Neckarwestheim 2	1989	4	16,472	0	9	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	8	-
Ringhals 2 ⁴⁾	1989	3	15,390	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Doel 3	1993	3	15,390	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ringhals 3 ⁴⁾	1995	3	16,284	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ascó 1	1995	3	15,390	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Almaraz 1	1996	3	15,390	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ascó 2	1996	3	15,390	0	4	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Almaraz 2	1997	3	15,390	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Krško ⁴⁾	2000	2	10,856	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Angra 2	2000	4	16,424	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Startup with High-AVT
Improved Tube Supports Design

¹⁾ Plants with SG tubing made of Alloy 800 (mod.), except for 4) 86 370,173 18 1,548 = 0.42%

SGs with Economizers

Fretting: SCC = Stress Corrosion Cracking
 AVB = Anti Vibration Bar OD = Outside Diameter (secondary side)
 LP = Loose Part(s) ID = Inside Diameter (primary side)
 SCO = Structural Component P = Pitting
 EB = Economizer Baffle D = Denting
 Cav = Cavitation due to
 Tubeseet Lancing

1) 63 tubes plugged as precautionary measure due to installation of additional AVBs
 2) /n: Wastage in innermost U-bend area
 3) Most of them not inspectable, excl. Biblis A
 4) Tubing Alloy 690 TT
 5) Pulled tubes
 6) 1 tube pulled for fouling investigations, 1 tube plugged as precautionary measure

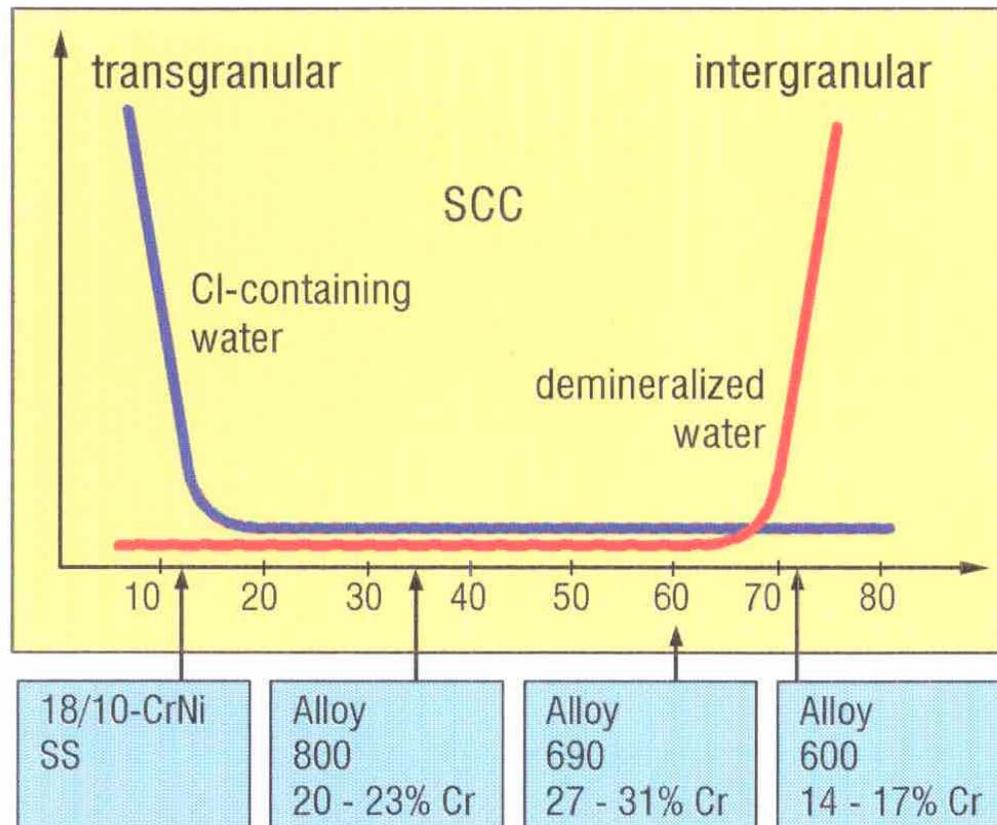
7) Local corrosion due to impurities at tube contacts of low and/or high grid bars, attributed to legacies from initial phosphate treatment of SGs
 8) Of these, 9 tubes plugged as a precaution
 9) Tubes plugged as a precaution; of these, 12 tubes exhibited LP fretting, while in 6 tubes indications were unclear
 10) Plugged as a precautionary measures
 11) One leak due to tubesheet lancing (cavitation)

**) on primary side at U-bend

Herbstsitzung des AKE, 21. Oktober 2004

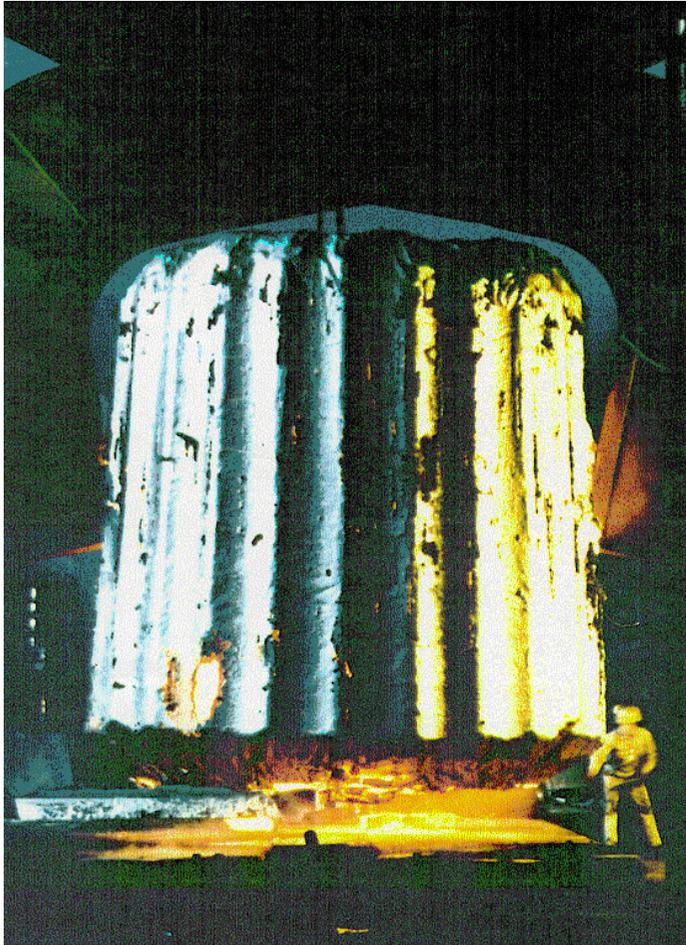
Die Integrität der DE-Rohre bestimmt die Lebensdauer der Dampferzeuger

Ni-alloyed SS and Ni-base alloys in HT-water
(SCC, IGSCC)

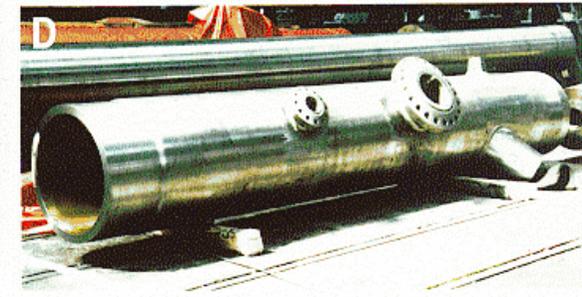
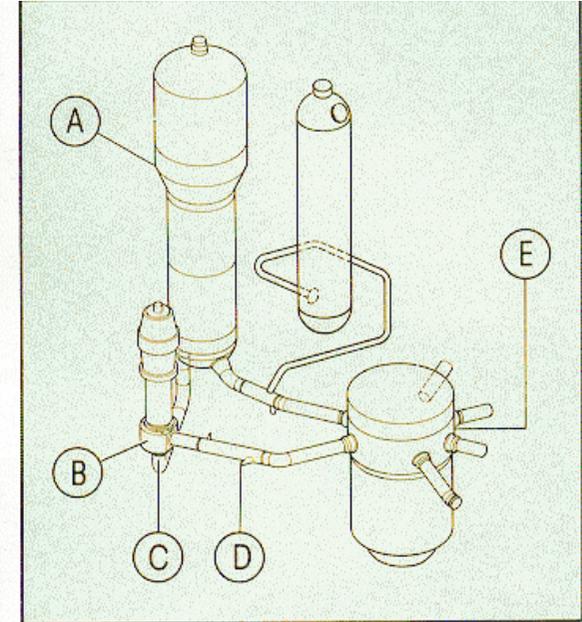
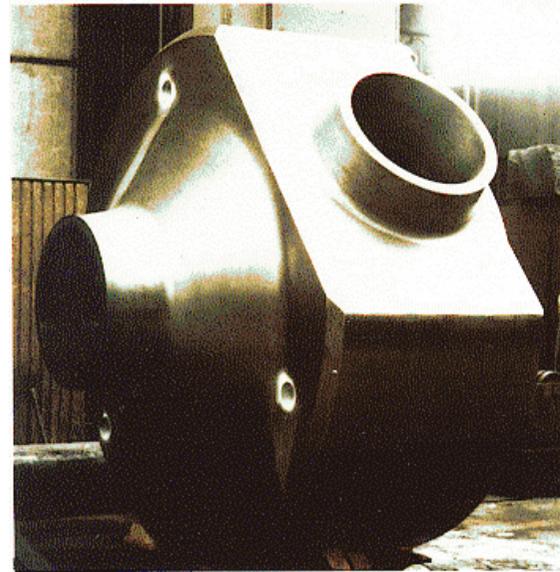
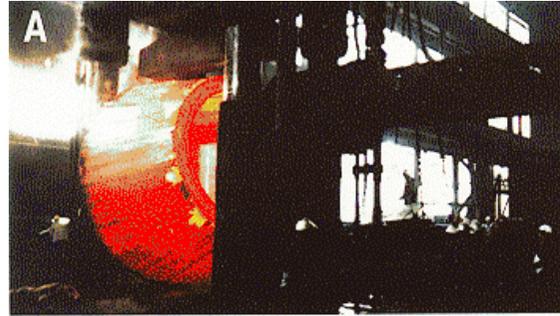


Lebensdauermanagement und Lebensdauererlängerung von Kernkraftwerken

- **Begriffsbestimmungen**
- **Alterungsphänomene und deren Auswirkungen auf das Betriebsverhalten der Komponenten**
- **Präventives Lebensdauermanagement durch Optimierung von Auslegung, Konstruktion, Werkstoffwahl und Herstellung**
 - **Beispiel 1: Auslegung und Konstruktion**
 - **Beispiel 2: Werkstoffwahl**
 - **Beispiel 3: Herstellung**
- **Möglichkeiten bei in Betrieb befindlichen Anlagen**
 - **Berücksichtigung von konzeptioneller Alterung und Weiterentwicklung der Sicherheitsphilosophie**
 - **Reduzierung der betrieblichen Belastungen**
 - **Maßnahmen bei Reparatur und Austausch von Komponenten**
- **Wirtschaftliche Überlegungen**



*Schmiedeblock 570 Mp
(Hersteller: Japan Steel Works)*

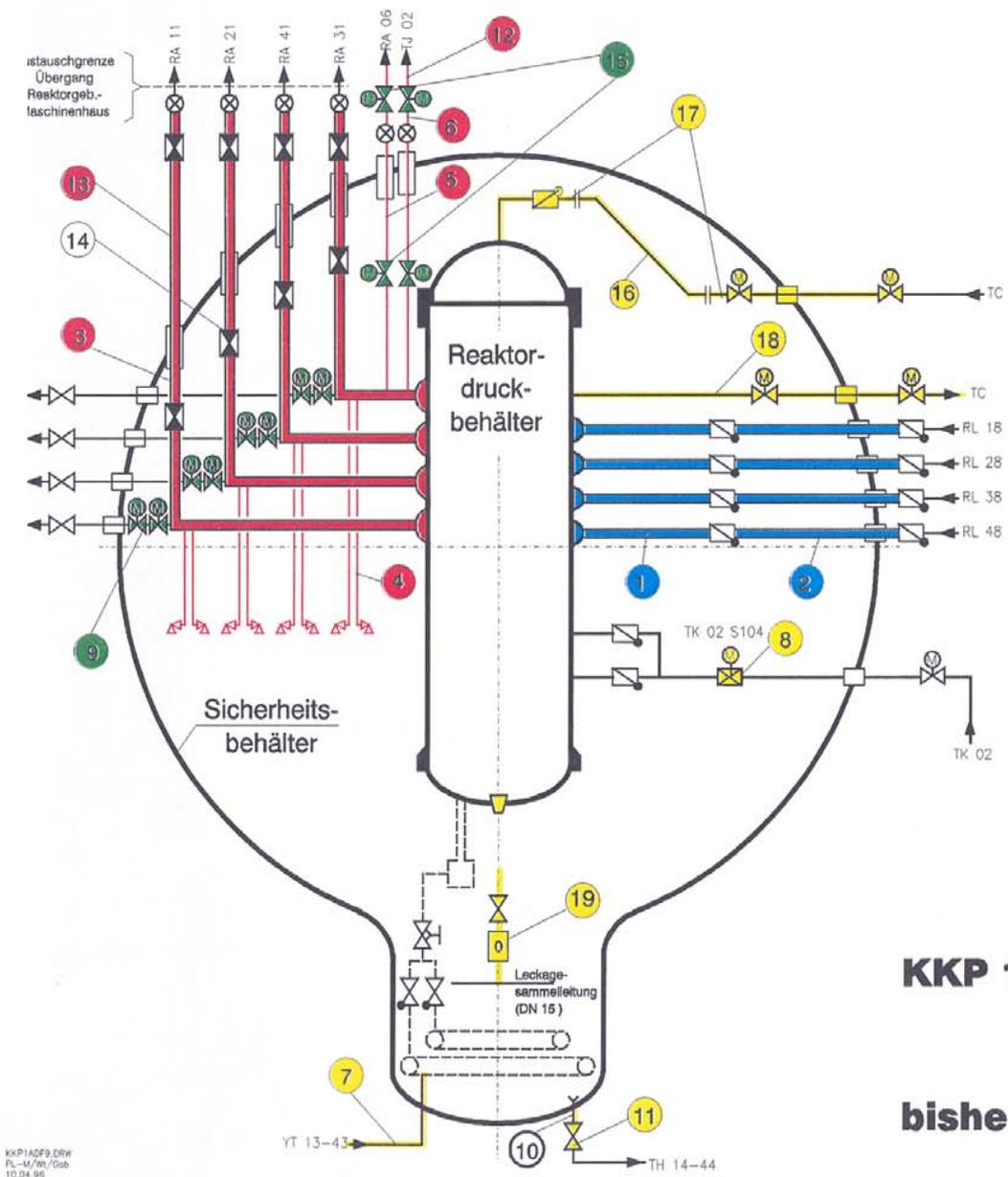


*Beispiele für geschmiedete Teile für Primärkreis-
komponenten eines DWR (1000MW/1300MW)*

Lebensdauermanagement und Lebensdauerverlängerung von Kernkraftwerken

- **Begriffsbestimmungen**
- **Alterungsphänomene und deren Auswirkungen auf das Betriebsverhalten der Komponenten**
- **Präventives Lebensdauermanagement durch Optimierung von Auslegung, Konstruktion, Werkstoffwahl und Herstellung**
 - **Beispiel 1: Auslegung und Konstruktion**
 - **Beispiel 2: Werkstoffwahl**
 - **Beispiel 3: Herstellung**
- **Möglichkeiten bei in Betrieb befindlichen Anlagen**
 - **Berücksichtigung von konzeptioneller Alterung und Weiterentwicklung der Sicherheitsphilosophie**
 - **Reduzierung der betrieblichen Belastungen**
 - **Maßnahmen bei Reparatur und Austausch von Komponenten**
- **Wirtschaftliche Überlegungen**

Umrüstungen aufgrund physikalischer, technologischer und konzeptioneller Alterung



Umrüstung	Nr.	System	Nennweite
1980-1981	1	Speiswasserleitung	350
	2	Speiswasserleitung/DF	350
	3	FD - Leitung	550
	4	Entlastungsleitung	250
	5	Hilfsdampfleitung/DF	200
	6	Einspeisesystem/DF	250
1984-1987	7	SAS - System	225/325
	8	Armatur-Kernsprühsystem	300
	9	Armatur - Abfahrkühlung	400
1990	10	Sumpfsaugleitung	400
	11	Sumpfsaugarmaturen	400
	12	Einspeisesystem	200/250
1980-1981	13	Frischdampfleitung/DF	550/600
	14	Isoventil	500
1993	15	Arm.-Hilfsdampf u.Einsp.	200
1980-1981	16	Deckeldusche	100
1993	17	Deckeldusche	80
1993	18	Reaktorwasserreinigung	100
1993	19	RDB - Restentleerung	15

KKP 1 : Rohrleitungssysteme im Bereich Sicherheitsbehälter

bisherige Umrüstungen 1980 - 1993

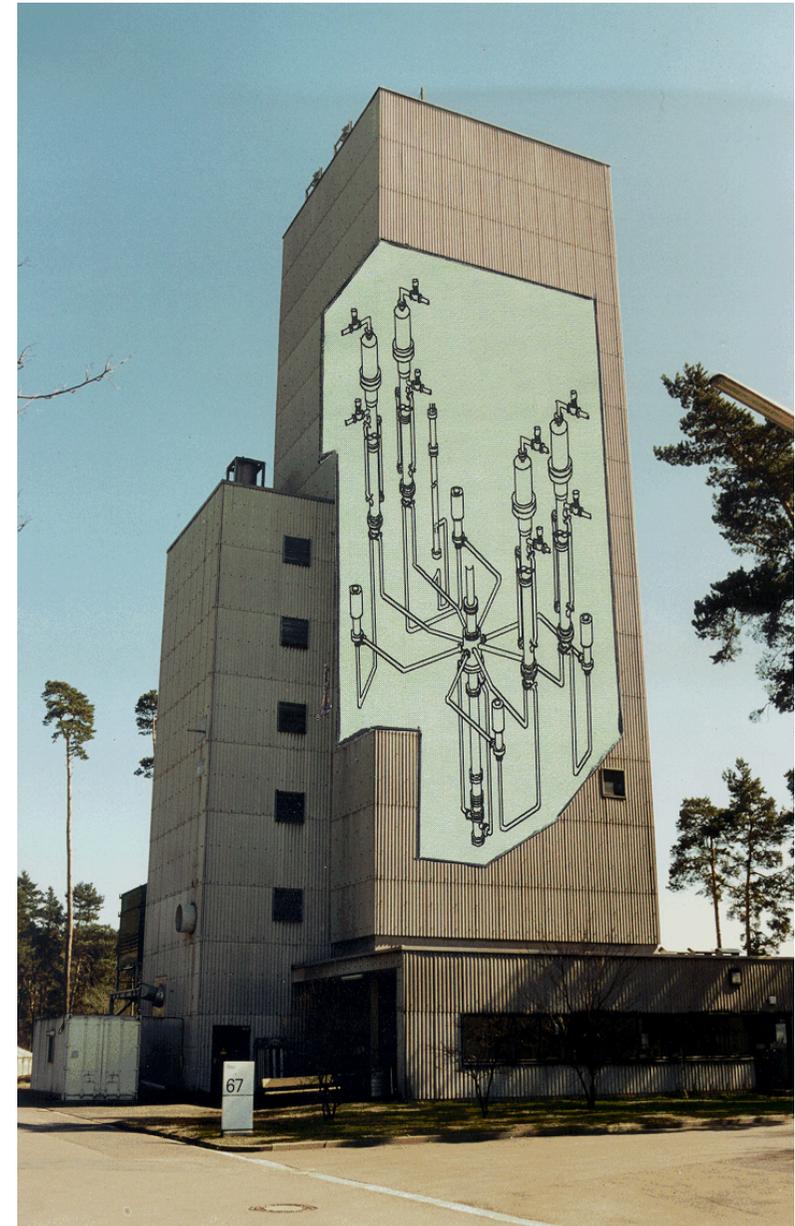
KKP1ADF9.DRW
RL-14/mh/lob
10.04.99

Nachbildung eines 1300 MW DWR

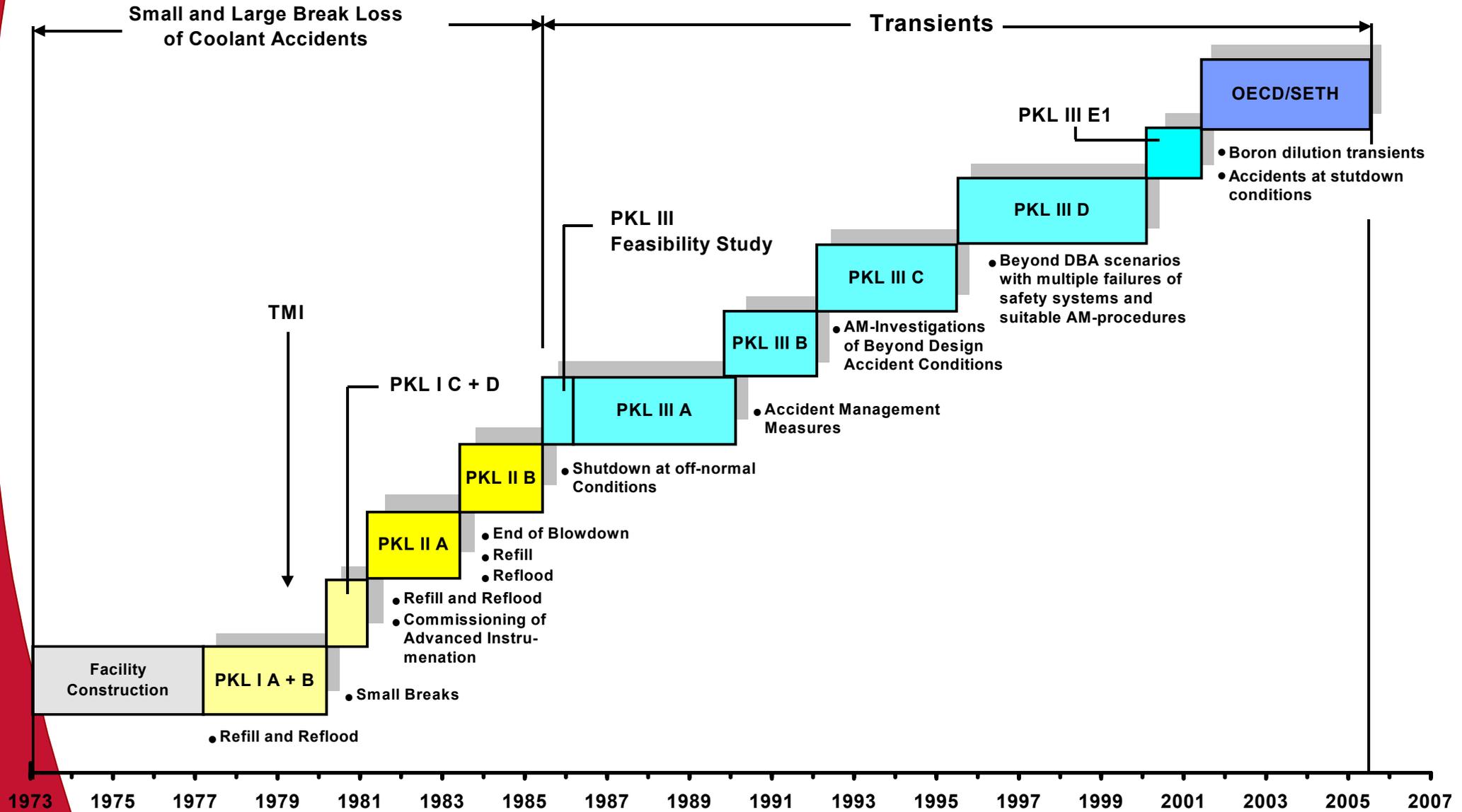
- *Gesamte Primärkreis mit Druckhalter (4 Loops)*
- *Sekundärseite der Dampferzeuger*
- *Betriebs- und Sicherheitssysteme*
- *Höhe 1:1*
- *Volumen und Leistung 1 : 145*
- *Druck 45 bar, Leistung 2,5 MW (10 %)*

Untersuchungsziele

- *Thermohydraulisches Systemverhalten unter Störfallbedingungen*
- *Bestätigung und ggf. Optimierung von Abfahrprozeduren*
- *Datenbasis für die Validierung von Rechenprogrammen*
- *Angreifen von Sicherheitsreserven*
- *Beantwortung aktueller Fragestellungen*
- *Schulung von Betriebspersonal*



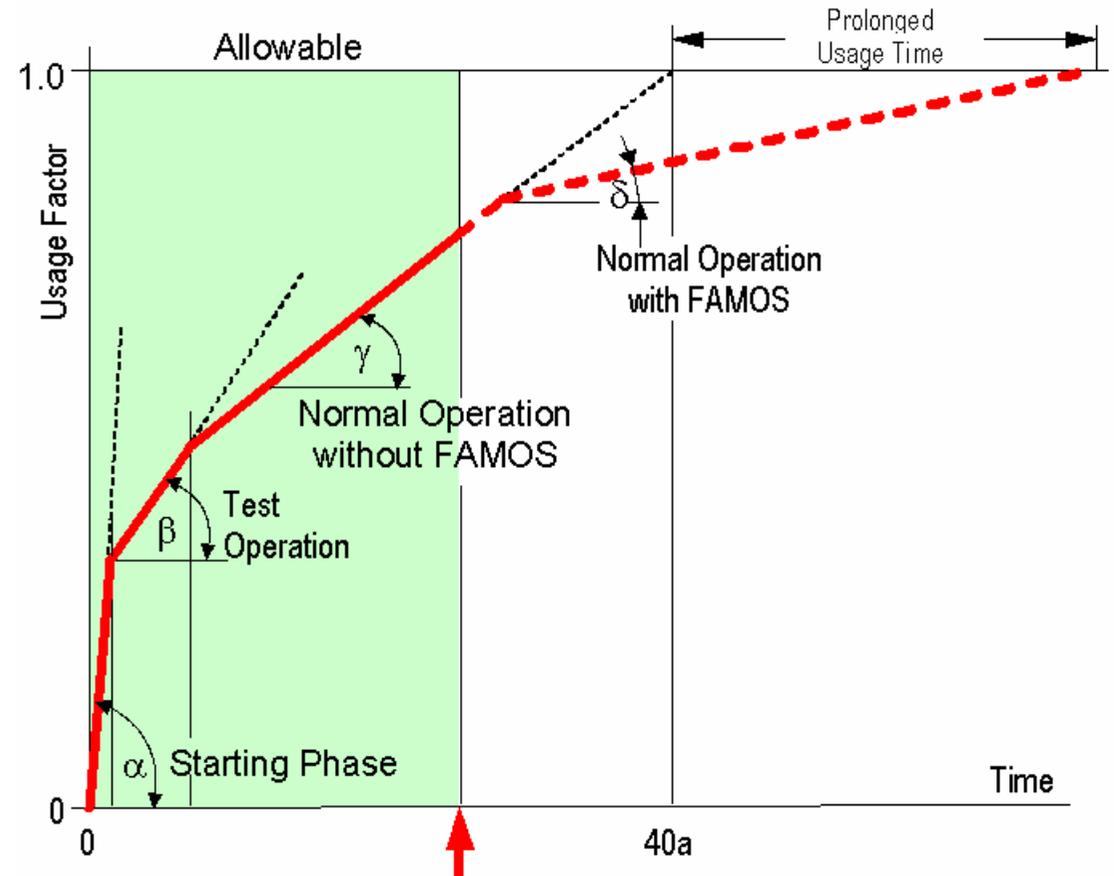
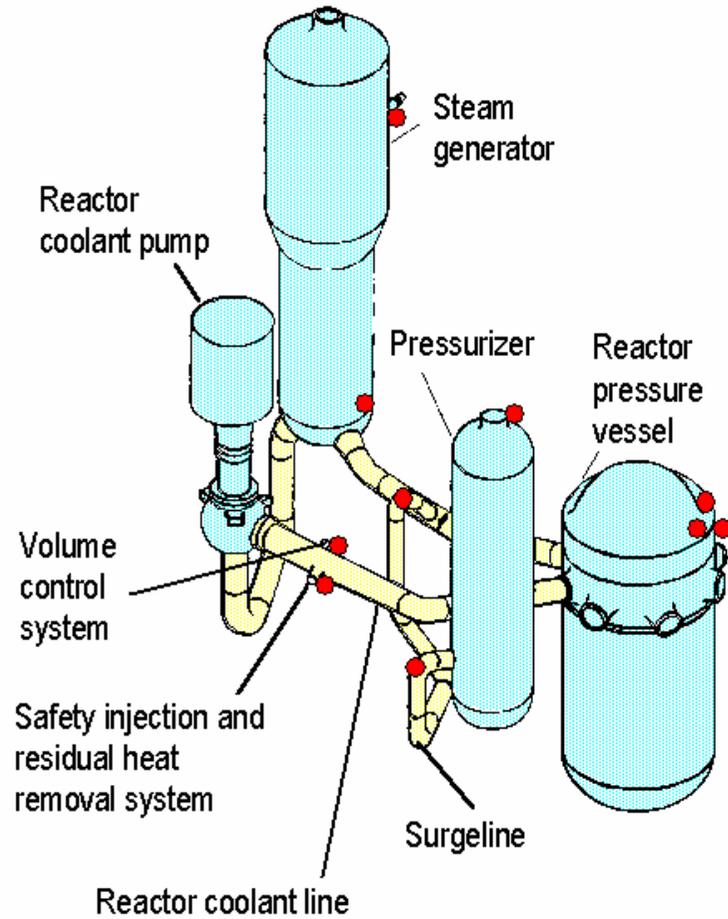
PKL - Project: Overview



Lebensdauermanagement und Lebensdauerverlängerung von Kernkraftwerken

- **Begriffsbestimmungen**
- **Alterungsphänomene und deren Auswirkungen auf das Betriebsverhalten der Komponenten**
- **Präventives Lebensdauermanagement durch Optimierung von Auslegung, Konstruktion, Werkstoffwahl und Herstellung**
 - *Beispiel 1: Auslegung und Konstruktion*
 - *Beispiel 2: Werkstoffwahl*
 - *Beispiel 3: Herstellung*
- **Möglichkeiten bei in Betrieb befindlichen Anlagen**
 - *Berücksichtigung von konzeptioneller Alterung und Weiterentwicklung der Sicherheitsphilosophie*
 - *Reduzierung der betrieblichen Belastungen*
 - *Maßnahmen bei Reparatur und Austausch von Komponenten*
- **Wirtschaftliche Überlegungen**

System zur Ermüdungsüberwachung (FAMOS)

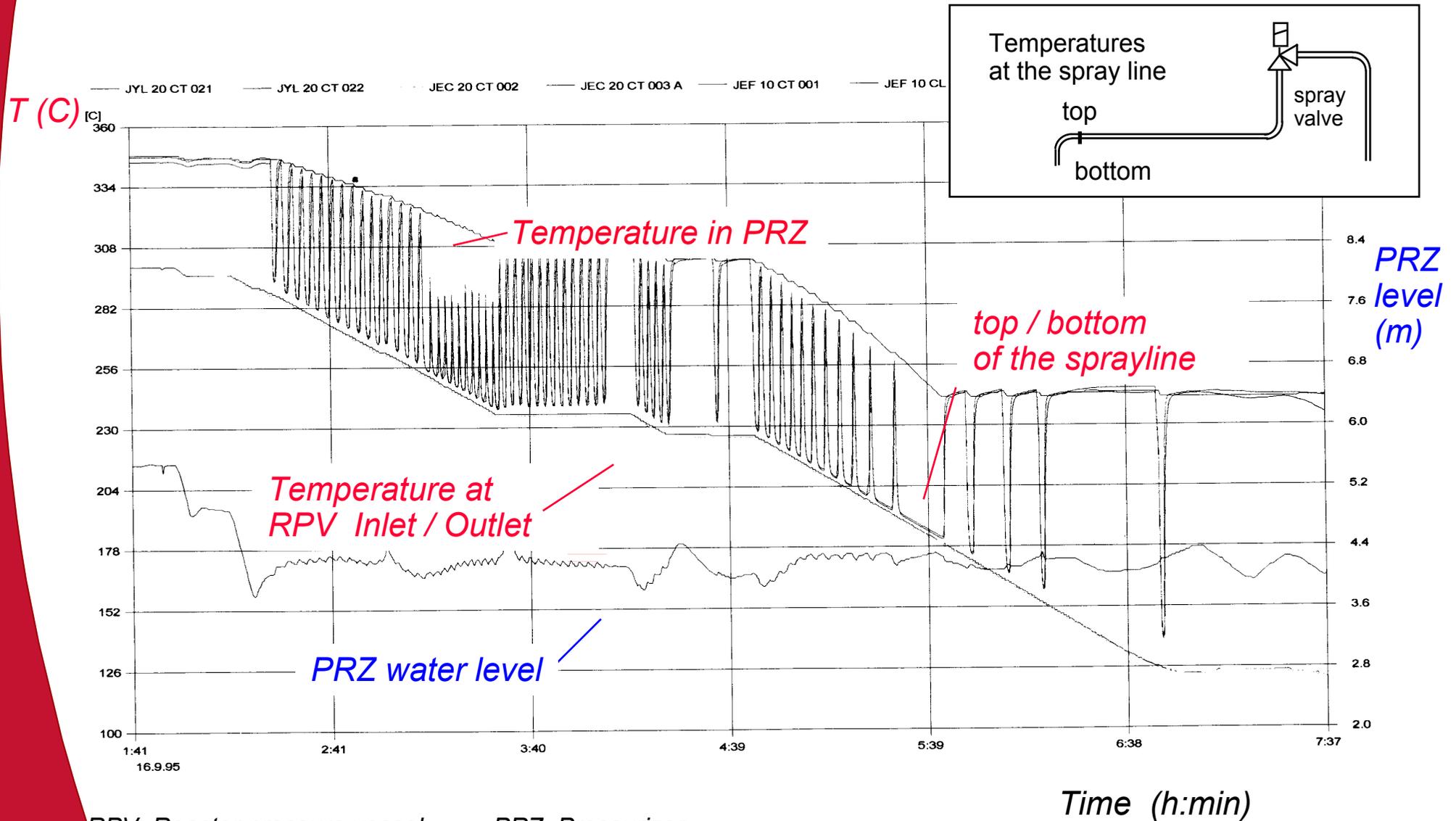


Installation of fatigue monitoring system (FAMOS)

FAMOS-Instrumentierungen (●)

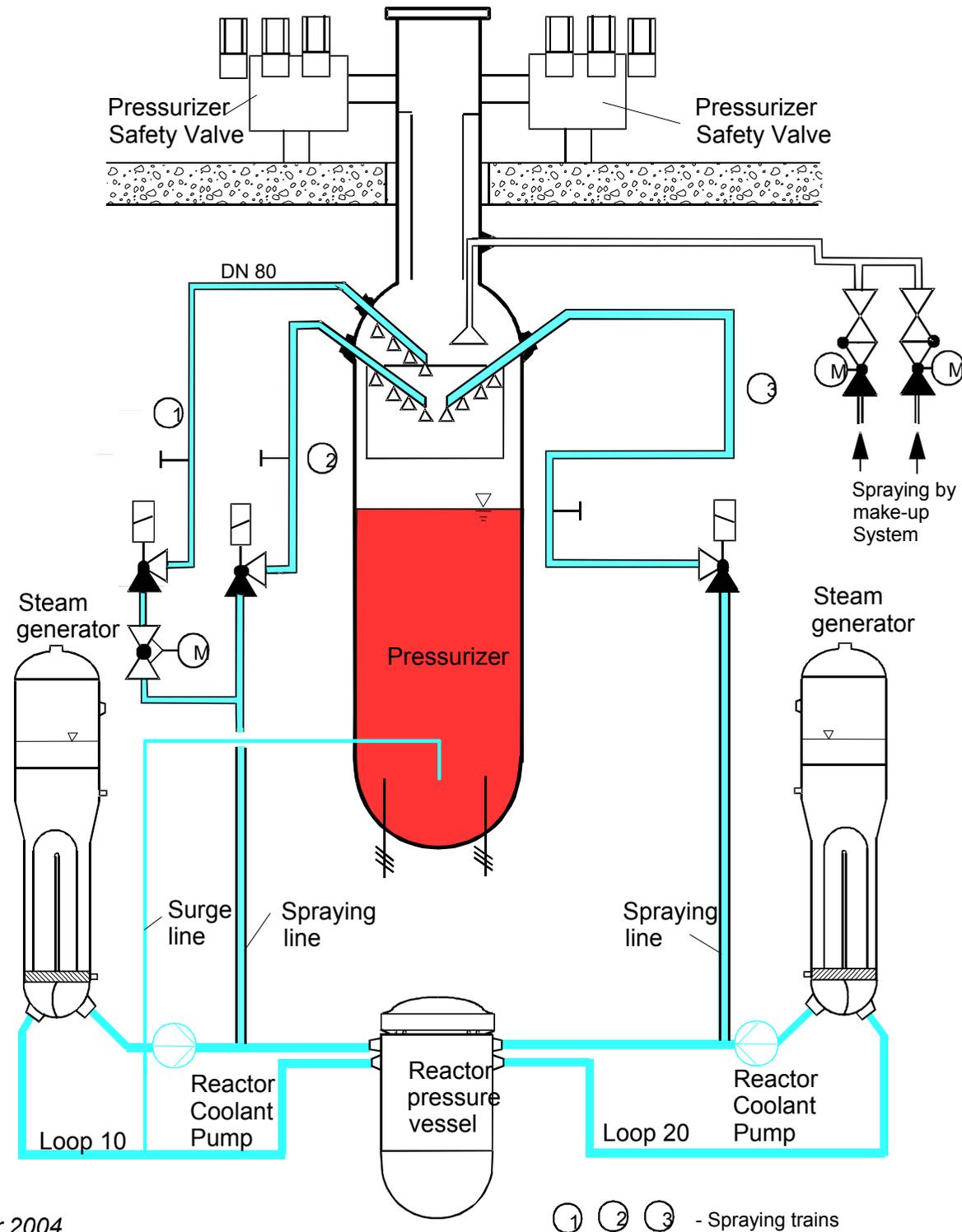
Verlängerte Lebensdauer durch aktualisierte Ermüdungsanalyse

Temperature Course in the Spray Line during Shutdown



RPV: Reactor pressure vessel PRZ: Pressurizer

Modifiziertes DH - Sprühsystem



Lebensdauermanagement und Lebensdauerverlängerung von Kernkraftwerken

- **Begriffsbestimmungen**
- **Alterungsphänomene und deren Auswirkungen auf das Betriebsverhalten der Komponenten**
- **Präventives Lebensdauermanagement durch Optimierung von Auslegung, Konstruktion, Werkstoffwahl und Herstellung**
 - *Beispiel 1: Auslegung und Konstruktion*
 - *Beispiel 2: Werkstoffwahl*
 - *Beispiel 3: Herstellung*
- **Möglichkeiten bei in Betrieb befindlichen Anlagen**
 - *Berücksichtigung von konzeptioneller Alterung und Weiterentwicklung der Sicherheitsphilosophie*
 - *Reduzierung der betrieblichen Belastungen*
 - *Maßnahmen bei Reparatur und Austausch von Komponenten*
- **Wirtschaftliche Überlegungen**

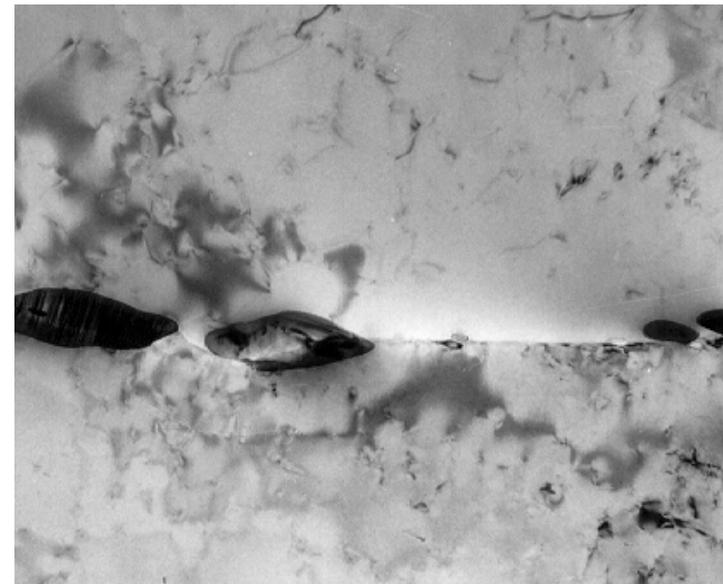
Austenitische Stähle im HAT-Wasser ISpRK infolge Sensibilisierung durch Chromverarmung



EPR



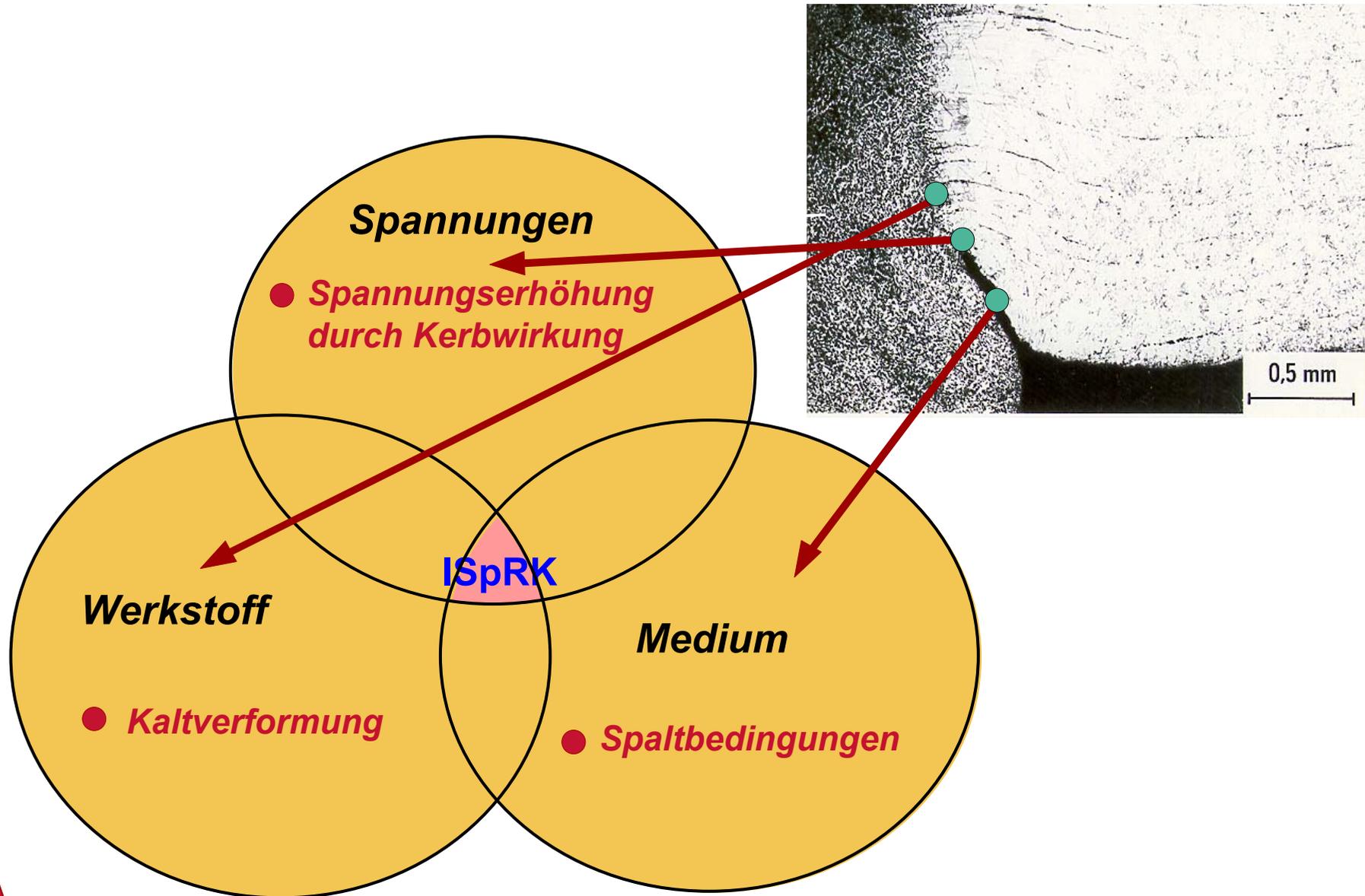
SEM



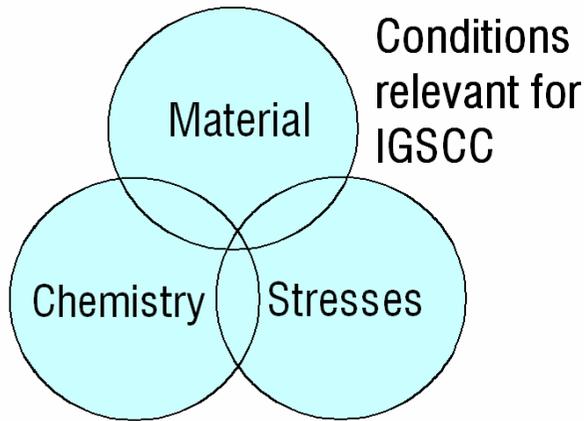
TEM

Rissbildungen in austenitischen Rohrleitungen im SWR

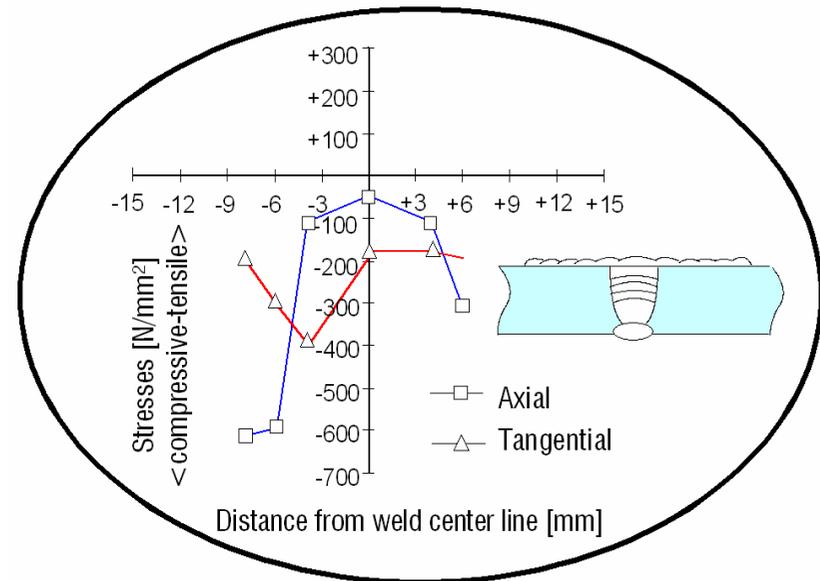
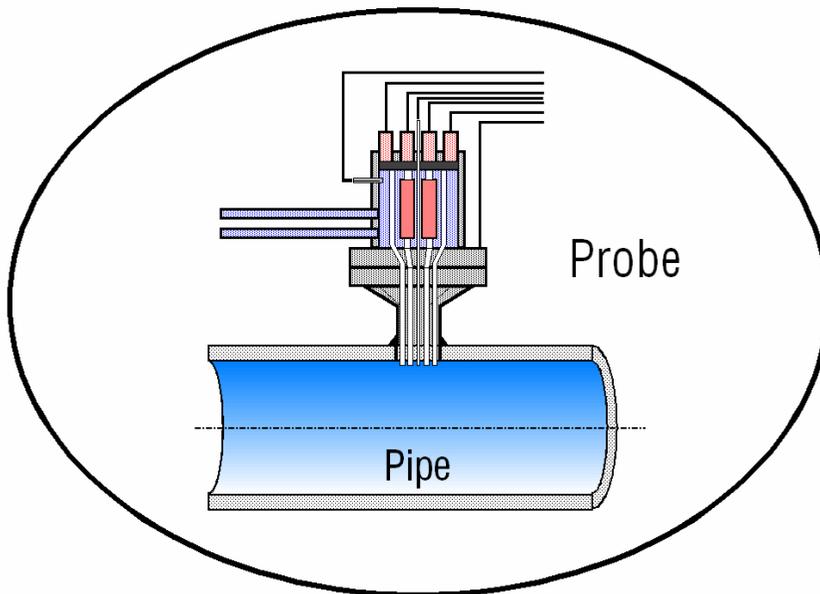
Bedeutung der Wurzelausbildung beim Schweissen



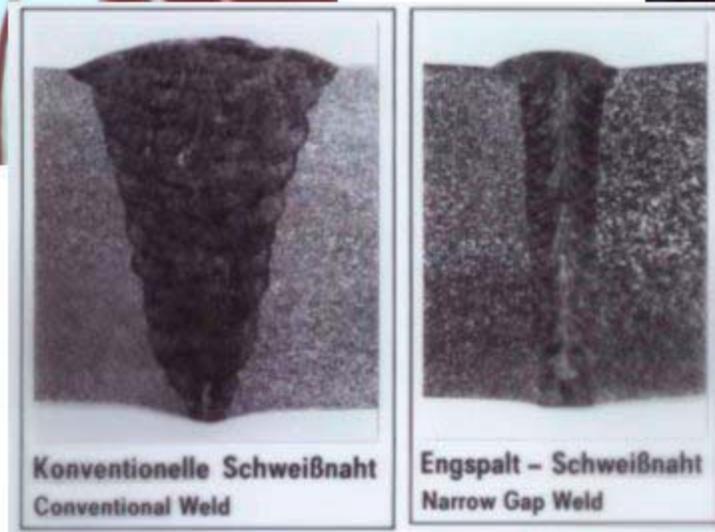
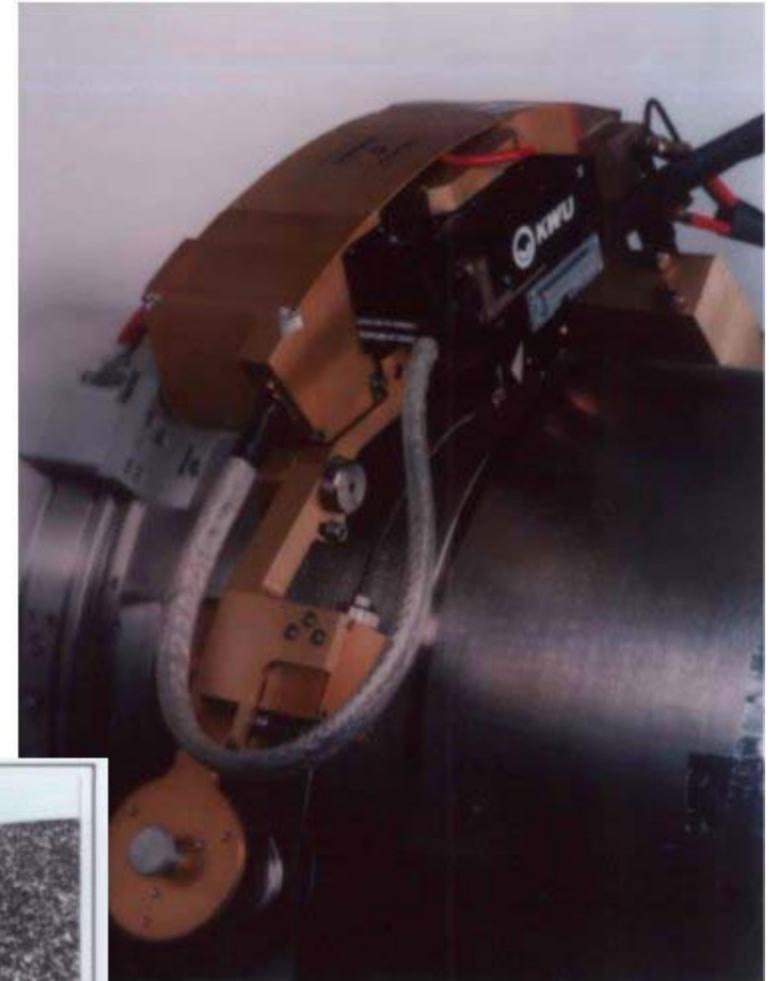
Vorbeugende Maßnahmen zur Vermeidung von ISpRK in austenitischen Rohrleitungen von SWR-Anlagen



1.4550, 316 NG
 optimized chemical
 composition
 C, P, S, Nb/C, Cr



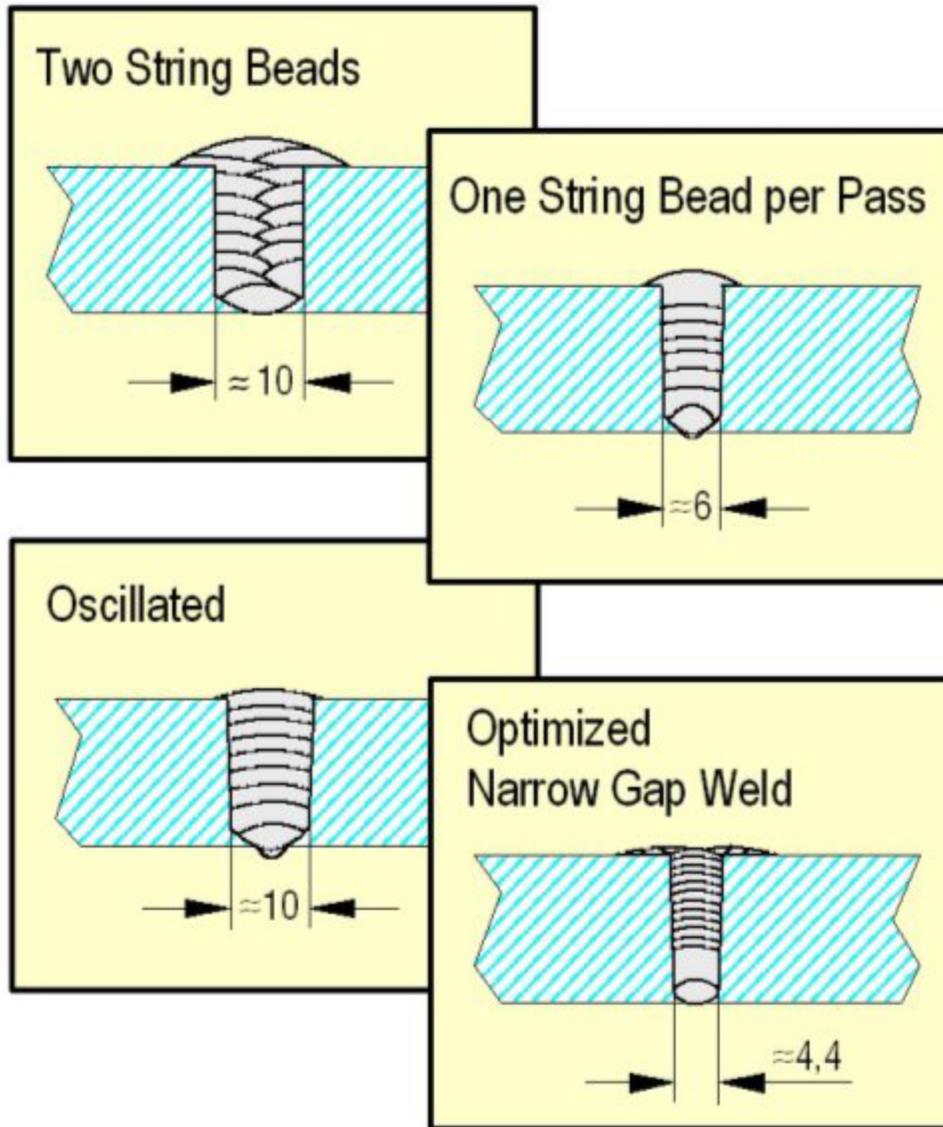
Schweißen von Rohrleitungsrundnähten mit WIG-Orbitalschweißung



Konventionelle Schweißnaht
Conventional Weld

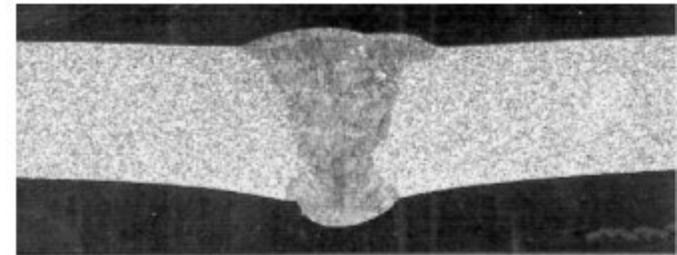
Engspalt - Schweißnaht
Narrow Gap Weld

Vergleich von Schweißnähten



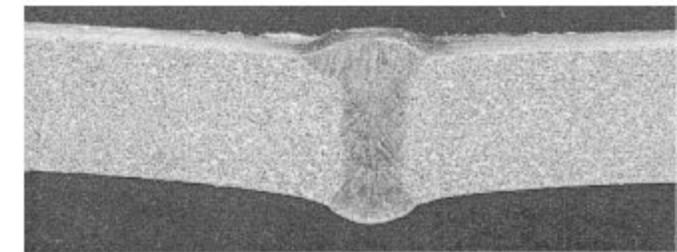
Konventionell geschweißte Naht

Material Austenit Nahtdicke: 12 mm



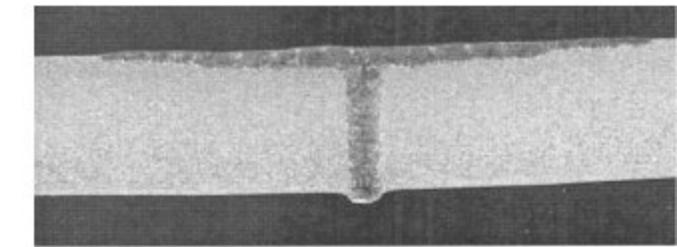
Frühere Engspaltschweißung

Material Austenit Nahtdicke: 12 mm

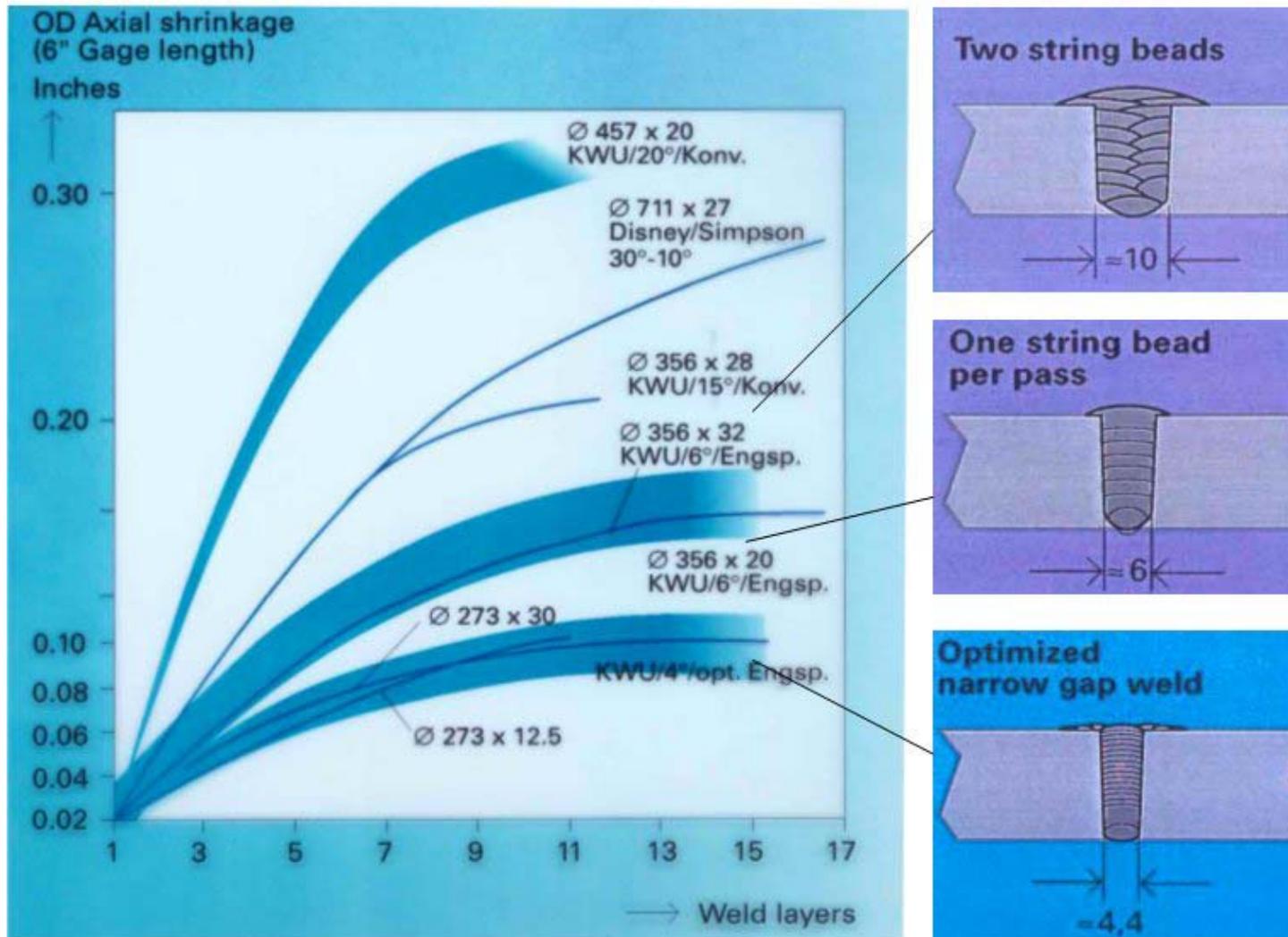


Optimierte Engspaltschweißung

Material Austenit Nahtdicke: 12 mm



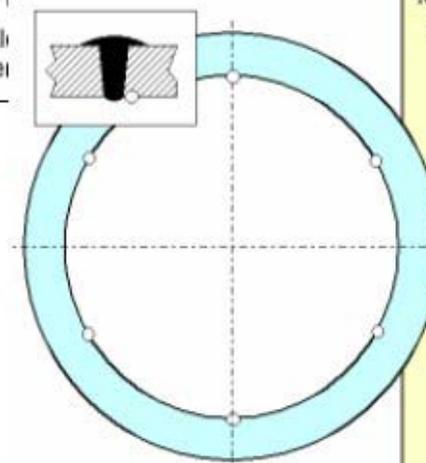
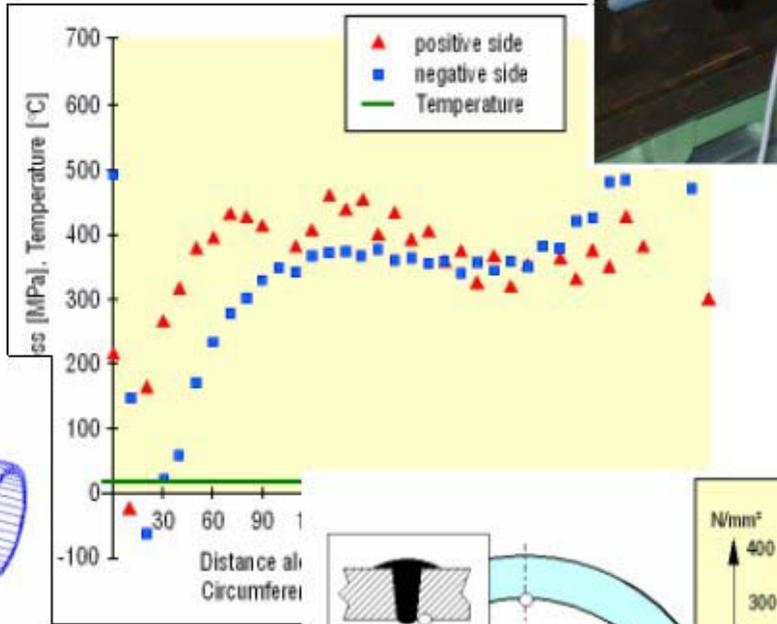
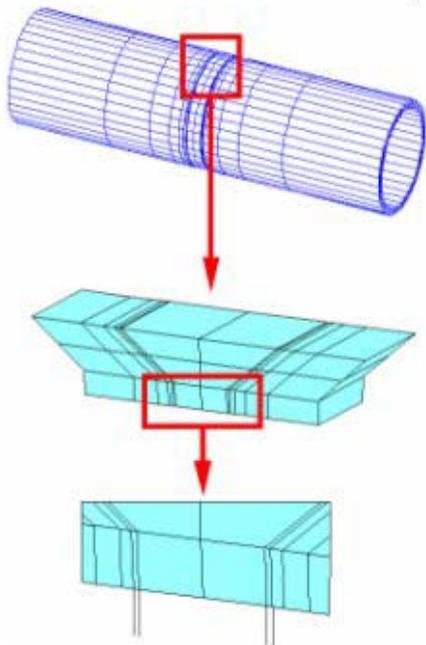
Nahtschumpf in WIG-Orbitalschweißnähten (konventionelle Geometrie - Optimierte Engspaltgeometrie)



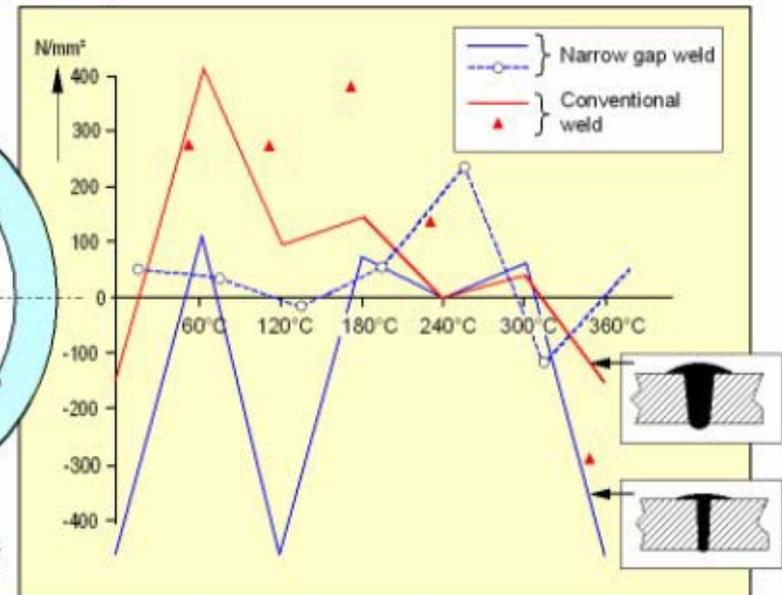
Eigenspannungen in Rundschweißnähten

Experiment/Numerische Analyse

Numerische Eigenspannungsberechnung



Eigenspannungsmessung



Röntgenographisch

Ring-Kern-Methode



Lebensdauermanagement und Lebensdauerverlängerung von Kernkraftwerken

- **Begriffsbestimmungen**
- **Alterungsphänomene und deren Auswirkungen auf das Betriebsverhalten der Komponenten**
- **Präventives Lebensdauermanagement durch Optimierung von Auslegung, Konstruktion, Werkstoffwahl und Herstellung**
 - **Beispiel 1: Auslegung und Konstruktion**
 - **Beispiel 2: Werkstoffwahl**
 - **Beispiel 3: Herstellung**
- **Möglichkeiten bei in Betrieb befindlichen Anlagen**
 - **Berücksichtigung von konzeptioneller Alterung und Weiterentwicklung der Sicherheitsphilosophie**
 - **Reduzierung der betrieblichen Belastungen**
 - **Maßnahmen bei Reparatur und Austausch von Komponenten**
- **Wirtschaftliche Überlegungen**

Kosten für Dampferzeugeraustausch

Weltweit mussten bis zum Jahr 2000 155 Dampferzeuger aufgrund des gewählten Werkstoffs (Inconel 600) ausgetauscht werden.

Kosten pro Austausch:
ca. 25 Millionen EUR

Gesamtkosten
Dampferzeugeraustausch: ca. 3,9 Milliarden EUR

plus Stillstandskosten:
ca. 500 kEUR/Tag

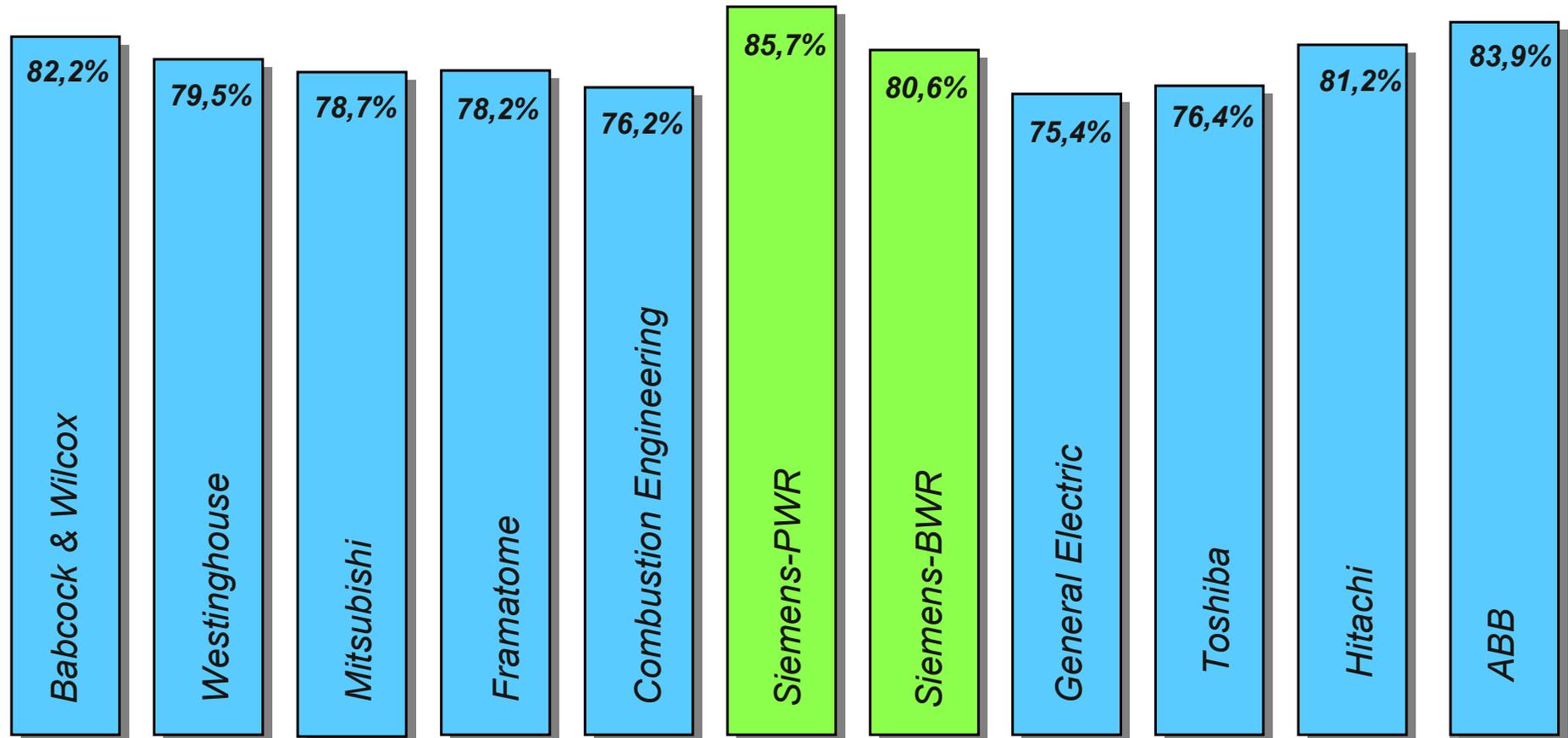
Stillstandszeiten ca. 70 - 130 Tage: 3,2 Milliarden EUR

Summe ca. 7 Milliarden EUR



Die 102 von Siemens/Framatome ANP GmbH gefertigten Dampferzeuger mussten aufgrund des gewählten Werkstoffes Incoloy 800 nicht ausgetauscht werden.
Kostensparnis für die Kunden: ca. 2,5 Milliarden €

Time availability of LWR, 1989 - 1998



Top Ten in Nuclear Power Production (2001)

Country	Nuclear Power Plant	Manufacturer	Gross Power Output [MW]	Gross Power Generation [Billion kWh]
Germany	Isar-2	Siemens	1 475	12,40
Germany	Brokdorf	Siemens	1 440	11,79
Germany	Grohnde	Siemens	1 430	11,56
Germany	Emsland	Siemens	1 400	11,53
Germany	Unterweser	Siemens	1 410	11,21
Germany	Neckar-2	Siemens	1 365	11,17
Germany	Grafenrheinfeld	Siemens	1 345	11,15
USA	South Texas-1	Westinghouse	1 315	10,80
Germany	Gundremmingen-B	Siemens	1 344	10,78
USA	Byron-1	Westinghouse	1 242	10,75

Source: Deutsches Atomforum