

Kernenergie: Weltreport 2009 – Auswertung

Redaktion

Ende des Jahres 2009 standen weltweit in 30 Ländern 437 Kernkraftwerke zur Energieversorgung zur Verfügung (zum 31. Dezember 2009). Dies war 1 Anlage weniger als im Vorjahr 2008. Drei Kernkraftwerke stellten im Jahresverlauf den Leistungsbetrieb ein. Zwei Anlagen nahmen den Betrieb neu auf.

Mit einer Gesamt-Bruttoleistung von 391.714 MWe bzw. Gesamt-Nettoleistung von 371.489 MWe verblieb die weltweite Kernkraftwerkskapazität auf hohem Niveau.

In den kommerziellen Anlagen werden 9 verschiedene Reaktortypen eingesetzt (DWR/PWR; DWR-WWER/PWR-VVER; SWR/BWR; CANDU; D₂O-DWR/HWPWR; GGR/GCR; AGR; LWGR und SNR/FBR). Mit 357 Anlagen sind weiter führend Leichtwasserreaktoren (DWR und SWR) im Einsatz.

In 14 Staaten waren zum Jahresende 52 Kernkraftwerke mit einer Gesamt-Bruttoleistung von 51.128 MWe bzw. Gesamt-Nettoleistung von 48.094 MWe in Bau, also deutlich mehr als zum Ende des Vorjahres 2008 mit 43 Anlagen und rund 39.000 MWe Brutto-Leistung. Von diesen sind 47 Leichtwasserreaktoren, 2 vom CANDU-Typ, 2 vom Typ Schneller Brutreaktor und einer vom Typ D₂O-DWR.

In 19 Staaten wurden bisher 127 Reaktoren mit einer Leistung von mehr als 5 MWe stillgelegt. Es handelt sich dabei meist um prototypische Anlagen mit geringer Leistung.

Von den in 2009 betriebenen Kernkraftwerken sind mit 304 Anlagen rund 70 % ab den 1980er-Jahren in Betrieb gegangen.

Die Zeitverfügbarkeit der Kernkraftwerke lag in 2009 bei 80,90 %, die Arbeitsverfügbarkeit bei 79,40 %.

Finnland ist mit seinen 4 Kernkraftwerken mit einer kumulierten durchschnittlichen Zeitverfügbarkeit von 91,10 % weltweit weiter führend.

Zum Jahresende 2009 (31. Dezember 2009) standen weltweit in 30 Ländern Kernkraftwerke zur Energieversorgung zur Verfügung. In einem weiteren Land ohne betriebsbereite Anlagen, dem Iran, befand sich ein Kernkraftwerksblock in der Errichtung. Insgesamt waren 437 (Vorjahr 2008: 438) Kernkraftwerke, also 1 Anlage weniger als im Vorjahr 2008, mit einer Gesamt-Bruttoleistung von 391.714 MWe bzw. Gesamt-Nettoleistung von 371.489 MWe am Jahresende im nuklearen Betrieb (vgl. Tabelle 1 und Tabelle 3)*. Neu in Betrieb genommen wurden im Jahr 2009 2 Anlagen; jeweils 1 in Indien (Rajasthan 5) und Japan (Tomari 3).

In 14 Ländern waren 52 Anlagen mit 51.128 MWe Brutto- und 48.094 MWe Netto-Leistung in Bau (vgl. Tabelle 2 und Tabelle 4. Vorjahr 2008: 43 Blöcke mit 39.211 MWe brutto und 36.953 MWe netto).

Endgültig außer Betrieb genommen wurden in 2009 mit Ignalina 2 in Litauen sowie Hamaoka 1 und Hamaoka 2 in Japan insgesamt 3 Kernkraftwerksblöcke.

* Alle Angaben: Stand 11/2010, zum Teil vorläufige Daten.

Die Netto-Stromerzeugung in Kernkraftwerken erreichte in 2009 weltweit mit rund 2.558 Mrd. kWh ein gutes Ergebnis (brutto ca. 2.810 Mrd. kWh), das aber deutlich unter der Vorjahreserzeugung von netto rd. 2.628 Mrd. kWh lag (-3,8 %). Seit der ersten Stromerzeugung in einem Kernkraftwerk – am 20. Dezember 1951 im Schnellen Brutreaktor EBR-I (USA) – sind damit kumuliert brutto rd. 60.500 Mrd. kWh erzeugt wurden und die Betriebserfahrungen sind auf ca. 13.950 Reaktorjahre angewachsen.

52 Kernkraftwerksblöcke mit einer Gesamt-Bruttoleistung von 51.128 MWe und Nettoleistung von 48.094 MWe waren in 14 Ländern in Bau (2008: 43 Blöcke mit 39.211 MWe brutto, 36.953 MWe netto). Damit hat sich die Zahl der in Bau befindlichen Kernkraftwerke weltweit um 9 Blöcke, d.h. rund 20 % bezogen auf die Anzahl und rund 30 % bezogen auf die Leistung, erhöht. Seit Mitte des Jahrzehnts ist damit ein deutlicher Trend zu mehr Neubauten festzustellen.

In China starteten mit Fangjiashan 2, Fuqing 2, Haiyang 1, Hongyanhe 3, Hongyanhe 4, Sanmen 1, Sanmen 2, Taishan 1 und Yangjiang 2 insgesamt 9 neue Projekte. Der Bau dieser Blöcke ist Teil des derzeitigen 11. 5-jahresplanes (2006 bis 2010) der chinesischen Regierung. Insgesamt sieht dieser den Bau von 30 neuen Kernkraftwerksblöcken vor, von denen sich damit aktuell 20 (2008: 11; Korrektur der Angabe aus dem Vorjahr) in der Realisierung befinden und weitere 10 im Vorbereitungsstadium. Darüber hinaus wird die mittelfristige Errichtung weiterer Kernkraftwerksblöcke diskutiert.

In der Republik Korea (Süd Korea) ist nach den beiden Projekten Shin Kori 3 und Shin Wolsong 2 im Jahr 2008 mit Shin Kori 4 ein weiterer Block in die Bauphase eingetreten. Aktuell sind damit 6 Blöcke in Bau. Zwei weitere Kernkraftwerksblöcke am neuen Standort Shin Ulchin sind beantragt und die südkoreanische Regierung hat den Bau von zusätzlichen 10 Blöcken bis zum Jahr 2030 im Rahmen eines Langfrist-Energieprogramms beschlossen.

Das Kernkraftwerksprogramm Russlands ist in 2008 mit ambitionierten Schwerpunkten von der russischen Regierung beschlossen worden. Ab dem Jahr 2012 soll jedes Jahr mindestens ein Kernkraftwerksblock mit 1.000 MW Leistung in Betrieb gehen. Vor dem Hintergrund der Auswirkungen der weltweiten Finanz- und Wirtschaftskrise soll der Plan den jeweils aktuellen Bedarfsdaten angepasst werden. Mit Gießsen des ersten Betons wurden die Bauarbeiten am 2. Neubaublock des Standortes Novovoronezh II aufgenommen. Des Weiteren wird die Akademik Lomonosov, das erste schwimmende Kernkraftwerk der Welt (weltweit verfügen die

USA, Russland, Großbritannien und Frankreich über entsprechende Erfahrungen durch Bau und Betrieb von etwa 700 vorwiegend für den Militäreinsatz konzipierten U-Booten und Überwasserschiffen, aber auch zivilen Eisbrechern) jetzt an einem neuen Wertstandort bei Sankt Petersburg für den späteren Einsatzort Vilyuchinsk (Kamtschatka, Pazifik-Region) fertiggestellt. Auf dem Leichter werden 2 Reaktoren vom Typ KLT-40S installiert. Diese stellen eine Weiterentwicklung bewährter, auf nuklear getriebenen Eisbrechern eingesetzter, Technik dar. Die beiden Reaktoren werden jeweils 73 MW Prozesswärme und 35 MW elektrischer Leistung zur Verfügung stellen.

Aktive Bauprojekte (Anzahl in Klammern) sind damit für Argentinien (1), Bulgarien (2), China (20), Finnland (1), Frankreich (1), Indien (5), den Iran (1), Japan (1), Südkorea (6), Pakistan (1), Russland (8), die Slowakische Republik (2), Taiwan (2) und den USA (1) zu verzeichnen (vgl. auch Tabelle 4).

In den kommerziellen Kernkraftwerken werden 9 verschiedene Reaktortypen eingesetzt (vgl. Tabelle 1, Bild 1 und Bild 2): Druckwasserreaktoren (DWR, engl. PWR: Pressurized Water Reactor), Druckwasserreaktoren vom russischen Typ WWER (Wasser-Wasser

Reaktortyp	Anzahl	Leistung [MWe]	
		brutto	netto
DWR	214	218 879	207 848
DWR-WWER	51	38 612	36 548
SWR	92	87 374	83 691
Candu	44	23 937	22 291
GGR	4	1 540	1 414
AGR	14	9 117	8 350
LWGR	15	11 048	10 219
D ₂ O-DWR	1	357	335
SNR	2	850	793
Summe	437	391 714	371 489

Tab. 1: Kernkraftwerke weltweit in Betrieb nach Reaktortypen (Leistung >5 MWe, zum 31.12.2009) [Quellen: IAEA, Betreiberangaben, eigene Berechnungen]

Reaktortyp	Anzahl	Leistung [MWe]	
		brutto	netto
DWR	32	33 356	31 212
DWR-WWER	12	11 200	10 631
SWR	3	4 087	3 955
Candu	2	440	404
D ₂ O-DWR	1	745	692
SNR	2	1 300	1 200
Summe	52	51 128	48 094

Tab. 2: Kernkraftwerke weltweit in Bau nach Reaktortypen (Leistung >5 MWe, zum 31.12.2009) [Quellen: IAEA, Betreiberangaben, eigene Berechnungen atw]

Land	DWR		DWR-WWWR		SWR		Candu		GGR		AGR		LWGR		D ₂ O-DWR		SNR								
	Anzahl	Leistung [MW]	Anzahl	Leistung [MW]	Anzahl	Leistung [MW]	Anzahl	Leistung [MW]	Anzahl	Leistung [MW]	Anzahl	Leistung [MW]	Anzahl	Leistung [MW]	Anzahl	Leistung [MW]	Anzahl	Leistung [MW]							
	Brutto	Netto	Brutto	Netto	Brutto	Netto	Brutto	Netto	Brutto	Netto	Brutto	Netto	Brutto	Netto	Brutto	Netto	Brutto	Netto							
Argentinien							1	648	600						1	357	335								
Armenien			1	408	376																				
Belgien	7	6 174	5 893																						
Brasilien	2	2 007	1 901																						
Bulgarien	[1]			2	2 000	1 906																			
China	[2]	7	5 558	5 272	2	2 120	2 000	2	1 456	1 330															
Deutschland		11	14 773	14 023			6	6 734	6 457																
Finnland				2	1 020	976	2	1 780	1 720																
Frankreich		58	65 880	63 130													1	250	233						
Großbritannien		1	1 250	1 188						4	1 540	1 414	14	9 117	8 350										
Indien	[3]						2	320	300	16	4 020	3 681													
Japan	[4]	24	20 326	19 338			30	28 834	27 850																
Kanada	[5]								18	13 425	12 621														
Korea (Republik)	[6]	16	15 687	14 825					4	2 839	2 629														
Litauen	[7]																								
Mexiko							2	1 366	1 310																
Niederlande		1	515	482																					
Pakistan		1	325	300			1	137	125																
Rumänien							2	1 412	1 305																
Russland	[8]				15	11 594	10 991						15	11 048	10 219		1	600	560						
Schweden		3	3 003	2 853			7	6 491	6 242																
Schweiz		3	1 780	1 700			2	1 610	1 538																
Slowakische Rep.					4	1 760	1 632																		
Slowenien		1	727	696																					
Spanien		6	6 170	5 939			2	1 558	1 510																
Südafrika		2	1 888	1 800																					
Taiwan		2	1 902	1 780			4	3 242	3 104																
Tschechische Rep.					6	3 892	3 688																		
Ukraine					15	13 818	13 090																		
Ungarn					4	2 000	1 889																		
USA		69	70 914	66 728			35	35 439	33 660																
Summe		214	218 879	207 848	51	38 612	36 548	44	23 937	22 291	4	1 540	1 414	14	9 117	8 350	15	11 048	10 219	1	357	335	2	850	793

Tab. 3: Kernkraftwerke weltweit in Betrieb nach Ländern und Reaktortypen (Leistung >5 MWe; zum 31.12.2009) [Quelle: IAEA, Betreiberangaben, eigene Berechnungen atw]

Land	DWR		DWR-WWVER		SWR		Candu		GGR		AGR		LWGR		D2O-DWR		SNR		
	Anzahl	Leistung [MW]	Anzahl	Leistung [MW]	Anzahl	Leistung [MW]	Anzahl	Leistung [MW]	Anzahl	Leistung [MW]	Anzahl	Leistung [MW]	Anzahl	Leistung [MW]	Anzahl	Leistung [MW]	Anzahl	Leistung [MW]	
	Brutto	Netto	Brutto	Netto	Brutto	Netto	Brutto	Netto	Brutto	Netto	Brutto	Netto	Brutto	Netto	Brutto	Netto	Brutto	Netto	
Argentinien																			
Bulgarien	[1]																		
China	[2]	21 736	20 202	2	2 120	2 000													
Finnland		1 600	1 510																
Frankreich		1 600	1 510																
Indien	[3]			2	2 000	1 906		2	440	404							1	500	450
Iran				1	1 000	953													
Japan	[4]						1	1 375	1 325										
Korea	[6]	6 800	6 460																
Pakistan		300	280																
Russland	[8]	80	70	5	5 200	4 956											1	800	725
Slowakische Rep.				2	880	816													
Taiwan		1 240	1 180				2	2 712	2 630										
USA		33 356	31 212	12	11 200	10 631	3	4 087	3 955	2	440	404					0	0	0
Summe																			

Tab. 4: Kernkraftwerke weltweit in Bau nach Ländern und Reaktortypen (Leistung >5 MWe; zum 31.12.2009) [Quellen: IAEA, Betreiberangaben, eigene Berechnungen atw]

- [1] Bulgarien, *Belene*: Am 3. September 2008 wurde die Errichtungsarbeiten am Projekt *Belene 1* und 2 offiziell wieder aufgenommen. Zwei WWER-1000/466-Blöcke vom Typ A92 sollen errichtet werden. Die weitere Umsetzung des Projektes wird derzeit geprüft.
- [2] China (Volksrepublik): Gemäß dem aktuellen 11. 5-jahresplan (2006 bis 2010) soll neben den aufgeführten Projekten der Bau von weiteren 10 Kernkraftwerksblöcken in diesem Zeitraum aufgenommen werden.
Fangjishan: Offizieller Baubeginn des 2. Druckwasserreaktorblocks am 17. Juli 2009 (Bauherr: *China National Nuclear Corporation (CNNC)*).
Fuqing: Offizieller Baubeginn des 2. Druckwasserreaktorblocks am 17. Juni 2009 (Bauherr: Konsortium der *China National Nuclear Corporation (CNNC)*, der *China Huadian Group* und der *Fujian Investment & Development Co. Ltd.*).
- [3] *Hanyang*: Offizieller Baubeginn des 1. Druckwasserreaktorblocks, Typ AP1000 (*Westinghouse*), am 24. September 2009 (Bauherr: *Shandong Nuclear Power Co. Ltd.*).
Hongyanhe: Offizieller Baubeginn des 3. und 4. Druckwasserreaktorblocks am 7. März und 15. August 2009 (Bauherr: *Liaoning Hongyanhe Nuclear Power Co. Ltd. LHNPC*).
Sanmen: Offizieller Baubeginn des 1. und 2. Druckwasserreaktorblocks, Typ AP1000 (*Westinghouse*), am 7. März und 15. August 2009 (Bauherr: *Liaoning Hongyanhe Nuclear Power Co. Ltd. LHNPC*).
Der Block Sanmen 1 ist damit der erste vom *Westinghouse*-Typ AP1000 weltweit.
Taishan: Baubeginn des 1. von 2 geplanten und genehmigten Druckwasserreaktoren vom Typ EPR der *Areva* in China (Bauherr: *China Guangdong Nuclear Power Group (CGNPG)*) am 18. November 2009.
Yangjiang: Offizieller Baubeginn des 2. von 6 geplanten und genehmigten Druckwasserreaktoren am 4. Juni 2009 (Bauherr: Konsortium unter Führung der *Yangjiang Nuclear Power Corp.*).
- [4] Indien, *Rajasthan*: Der Kernkraftwerksblock *Rajasthan 5* erreichte am 24. November 2009 Erstkritikalität und nahm nach erster Netzsynchroisation den kommerziellen Betrieb am 31.12.2009 auf (Betreiber: *Nuclear Power Corporation of India*).
- [4] Japan, *Tomari*: Der Kernkraftwerksblock *Tomari 3* erreichte am 1. Januar 2009 Erstkritikalität und nahm nach Netzsynchroisation den kommerziellen Betrieb am 22. Dezember 2009 auf (Betreiber: *Hokkaido Electric Power Corp., HEPCO*).
Monju: Der schnelle natriumgekühlte Brutreaktor *Monju* befindet sich nach dem Austritt von nicht radioaktiven Kühlmittel Natrium aus dem sekundären Zwischenkühlkreislauf seit 1995 im kalten Stillstand. Im Frühjahr 2008 hat das japanische *Nuclear and Industrial Safety Agency (Nisa)* den 4. und damit letzten erforderlichen Sicherheitsbericht für die Wiederbetriebnahme genehmigt. Bis zur Betriebsaufnahme wird das Prototypkernkraftwerk unter der Kategorie Langzeitsstillstand geführt. Die Inbetriebnahme ist für Frühjahr 2010 geplant (Wiederanfahren erfolgte am 6. Mai 2010).
Hamaoka: Die *Chubu Electric Power Co.* entschied aufgrund eines aufwändigen Nachstrafurwandes die beiden Siedewasserreaktoren *Hamaoka 1* und *Hamaoka 2* endgültig während einer längeren Revision stillzulegen. Mittelfristig plant *Chubu Electric Power* den Bau von neuen Kernkraftwerken am Standort *Hamaoka*.
- [5] Kanada, *Bruce*: Die Blöcke *Bruce A-1* und *Bruce A-2* (*BrucePower*) befinden sich in einem längeren Betriebsstillstand. Ein Wiederbetriebnahmeprogramm mit Maßnahmen für eine Betriebsdauer von 60 Jahren läuft.
Pickering: Die Blöcke *Pickering A-2* und *Pickering A-3* (*OntarioPowerGeneration OPG*) befinden sich in einem längeren, sicheren Betriebsstillstand mit ausgelagertem Kernbrennstoff.
- [6] Korea, *Shin Kori*: Offizieller Baubeginn 4. Druckwasserreaktors am Standort *Shin Kori* mit Gießen des ersten Betons am 15. September 2009 (Bauherr: *Korea Hydro & Nuclear Power Co., Ltd.*)
- [7] Litauen, *Ignalina*: Entsprechend den Vereinbarungen im Rahmen der Beitrittsverhandlungen zwischen Litauen und der Europäischen Union ist der RBMK-1500 stillgelegt worden.
- [8] Russland: Das Kernkraftwerksprogramm ist im Jahr 2008 offiziell seitens der russischen Regierung beschlossen worden. Es sieht den Bau von zusätzlich 24 Kernkraftwerksblöcken vor. Offiziell nicht weiter verfolgte Projekte sind gestrichen worden.
Akademik Lomonosov: Die *Akademik Lomonosov* ist das erste schwimmende Kernkraftwerk der Welt. Auf dem seit 2007 in Bau befindlichen Leichter werden 2 Reaktoren vom Typ KLT-40S installiert. Seit 2009 werden die Leichter auf einer Werft bei Sankt Petersburg fertiggestellt.
Novovoronezh: Am Standort wurde am 12. Juli 2009 mit Gießen des ersten Betons das Projekt *Novovoronezh II-2* offiziell begonnen (Bauherr: *Energoatom Concern OJSC*).

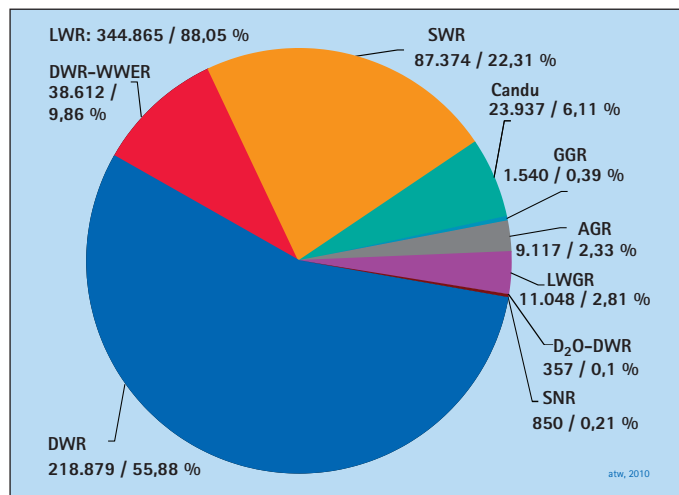
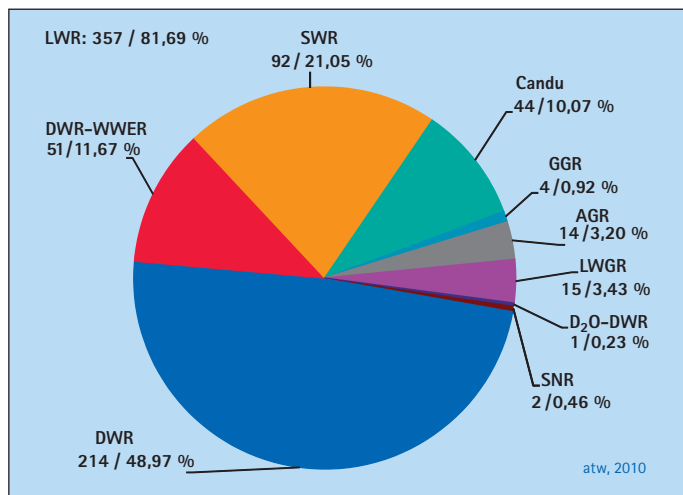


Abb. 1: Kernkraftwerkstypen weltweit in Betrieb nach Reaktortypen; prozentualer Anteil Anlagenanzahl [%] (Leistung >5 MWe, zum 31.12.2009) [Quellen: IAEA, Betreiberangaben, eigene Berechnungen atw]

Abb. 2: Kernkraftwerkstypen weltweit in Betrieb nach Reaktortypen; prozentualer Anteil Leistung [%] (Leistung >5 MWe, zum 31.12.2009) [Quellen: IAEA, Betreiberangaben, eigene Berechnungen atw]

Energie-Reaktor, DWR-WWER, engl. PWR-VVER), Siedewasserreaktoren (SWR, engl. BWR: Boiling Water Reactor), schwerwassermoderierte und -gekühlte Druckröhrenreaktoren vom Typ CANDU (CANDU, CANada Deuterium Uranium) bzw. auf diesem Typ basierend, schwerwassermoderierte, leichtwassergekühlte Druckröhrenreaktoren (D₂O-DWR), Gas-Grafit-Reaktoren (GGR, engl. GCR: Gas Cooled Reactor), Fortgeschrittene Gas-Grafit-Reaktoren (engl. AGR: Advanced Gas Cooled Reactor), grafitmoderierter Siedewasser-Druckröhrenreaktoren (LWGR, „Tschernobyl-Typ“, engl. Light Water Cooled Graphite Moderated Reactor) sowie schnelle natriumgekühlte Reaktoren (SNR, engl. FBR: Fast Breeder Reactor).

Mit 357 Anlagen sind Leichtwasserreaktoren (LWR: DWR und DWR-WWER und SWR) führend im Einsatz. Ihr Anteil an der Blockzahl beträgt 81,69 %, hinsichtlich der Leistung sogar 88,05 % aufgrund vergleichsweise hoher Blockleistungen, insbesondere bei neueren Anlagen. Von den LWR sind 214 DWR, 51 DWR-WWER und 92 SWR. Reaktoren des russischen Typs WWER werden in Armenien, Bulgarien, Finnland, Russland, der Slowakischen Republik, der

Tschechischen Republik der Ukraine, Ungarn und mit *Tianwan 1* und *Tianwan 2* (WWER der Baureihe VES92, Inbetriebnahme 2006) auch China betrieben (vgl. Tabelle 3). Die 2 Anlagen *Loviisa 1* und *Loviisa 2* in Finnland sind dabei von vornherein nach westlichen Sicherheitsstandards ausgelegt und mit erheblich modifizierter Gesamtkonzeption errichtet worden. Anlagen in den anderen Staaten wurden nach dem Zerfall der Sowjetunion teilweise nachgerüstet, bzw. während der Bauphase neu konzipiert, wie z.B. die 2 DWR-WWER-1000 Blöcke *Temelin* in der Tschechischen Republik.

In Japan sind 4 SWR fortgeschrittener Konzeption (ABWR – Advanced Boiling Water Reactor, *Kashiwazaki-Kariwa 6*, *Kashiwazaki-Kariwa 7*, *Hamaoka 5* und *Shika 2* der Hersteller *Toshiba/Hitachi/General Electric*) mit einer Blockleistung von jeweils 1.356 MWe seit 1996, 2004 bzw. 2005 in Betrieb.

CANDU-Reaktoren werden in Argentinien, China, Indien, Kanada, der Republik Korea, Pakistan sowie in Rumänien betrieben. Von den jetzt 16 in Indien betriebenen CANDU-Anlagen wurden die ersten beiden Blöcke am Standort *Rajasthan* vom ursprünglichen Ent-

wickler, der *Atomic Energy of Canada Limited (AECL)*, errichtet. Die weiteren Anlagen basieren auf dem Design der indischen *Nuclear Power Corporation of India Ltd.*

Gas-Grafit-Reaktoren (GGR) werden ausschließlich noch in Großbritannien von der *Magnox South und Magnox North Limited* als Untergesellschaft der *Nuclear Decommissioning Authority* betrieben. Die Kernkraftwerksblöcke wurden ursprünglich im Rahmen der Liberalisierung und Umstrukturierung der Elektrizitätswirtschaft des Landes von *BNG* als Betreiber übernommen. Die am Jahresende 2009 noch betriebenen 4 Blöcke an den Standorten *Oldbury* und *Wylfa* sollen nach neueren Planungen bis zum Jahr 2012 betrieben werden, d.h. 2 Jahre länger, als ursprünglich vorgesehen. Wesentlicher Grund sind aktuell hervorragende Betriebsergebnisse; das geforderte hohe Sicherheitsniveau wird davon unabhängig gewährleistet. Im Jahr 2006 wurden als bislang letzte Anlagen die 4 Blöcke an den Standorten *Dungeness* und *Sizewell* planmäßig stillgelegt.

Fortgeschrittene Gas-Grafit-Reaktoren (AGR: Advanced Gas-cooled Reactor) werden ebenfalls ausschließlich in Großbritannien und

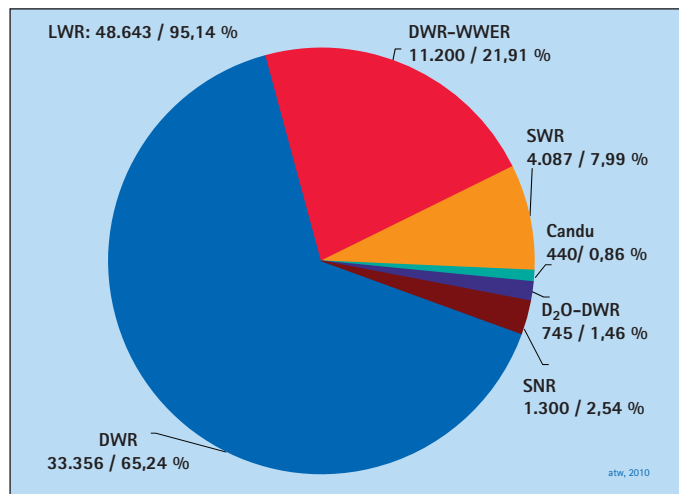
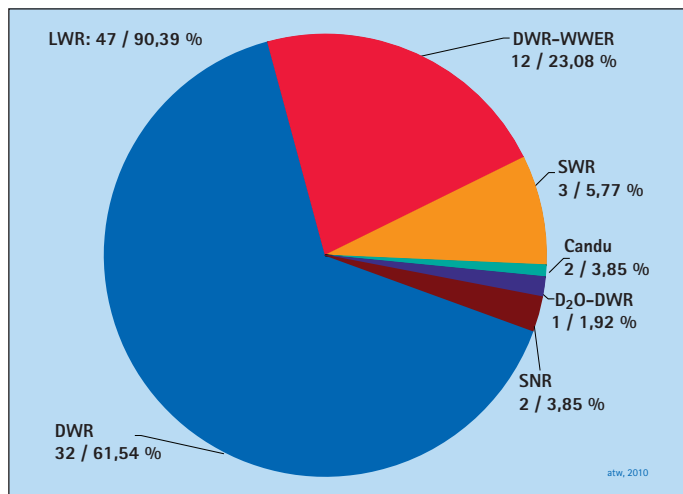


Abb. 3: Kernkraftwerke weltweit in Bau nach Reaktortypen; prozentualer Anteil nach Anlagenanzahl (Leistung >5 MWe, zum 31.12.2009) [Quellen: IAEA, Betreiberangaben, eigene Berechnungen atw]

Abb. 4: Kernkraftwerke weltweit in Bau nach Reaktortypen; prozentualer Anteil nach Anlagenleistung (Leistung >5 MWe, zum 31.12.2009) [Quellen: IAEA, Betreiberangaben, eigene Berechnungen atw]

dort von der *British Energy* betrieben. Die neueren Anlagen haben bzw. durchlaufen ein technisch-wirtschaftliches Screeningprogramm. Ein langfristiger Betrieb ist vorgesehen und wird mit einem Zeithorizont bis ca. zum Jahr 2020 erwartet.

Grafitmoderierte Siedewasser-Druckröhrenreaktoren (LWGR) russischer Bauart waren im Jahr 2009 noch in Litauen und Russland in Betrieb. Die Anlagen 3er Entwicklungsstufen basieren grundsätzlich auf dem Konzept des in 1986 verunfallten Reaktorblocks *Tschernobyl 4* (RBMK: reaktor balschoi moschnosti kanalnoi, Hochleistungs-Kanal-Reaktor, Ukraine) und sind zur Erhöhung der Sicherheit und Gewährleistung von Basis-Sicherheitszielen technisch und konzeptionell unterschiedlich nachgerüstet worden. Ein Block des Kernkraftwerks *Ignalina* in Litauen wurde Ende 2004, der zweite Ende 2009 gemäß den EU-Beitritts-Vereinbarungen zwischen der Regierung Litauens und der *Europäischen Union* stillgelegt. Vier LWGR-Blöcke im sibirischen *Bilibinsk* mit geringer Leistung (12 MWe) entsprechen nicht dem RBMK-Konzept eines grafitmoderierten Siedewasser-Druckröhrenreaktors, da das Primärkühlmittel im Kern nicht siedet. Das in den 1980er-Jahren begonnene Projekt *Kursk 5* wird nach neueren Plänen und Verabschiedung des aktuellen Nuklearprogramms Russlands nicht mehr fertiggestellt.

Eine Anlage des Typs Schwerwasser-Druckröhrenreaktor (D_2O -DWR, *Atucha 1*) mit Leichtwasserkühlung und Schwerwassermoderation wird in Argentinien betrieben. Der Block *Atucha 2* wird nach Unterzeichnung entsprechender Verträge Ende 2006 fertiggestellt und soll voraussichtlich in 2012 den kommerziellen Betrieb aufnehmen.

Drei schnelle natriumgekühlte Reaktoren sind in Japan, Frankreich und Russland in Betrieb. Die japanische prototypische Testanlage *Monju* steht nach einem Leck im sekundären Natrium-Kühlkreislauf seit Mitte der 1990er-Jahre längerfristig still. Die Wiederinbetriebnahme ist vorgesehen und weitgehend genehmigt. Sie ist für 2010 vorgesehen (und erfolgte am 6. Mai 2010).

Bei den weltweit in Bau befindlichen 52 Anlagen (vgl. *Tabelle 2* und *Tabelle 4, Bild 3* und *Bild 4*) liegen die Verhältnisse bezüglich der Reaktortypen noch deutlicher zugunsten der Leichtwasserreakortechnologie, als schon bei den in Betrieb befindlichen Blöcken. Die 47 LWR haben einen Anteil von 90,36 % bei der Anlagenzahl, in Bezug auf die Leistung 95,14 %.

Von den 47 LWR sind 44 DWR – davon 12 WWER – und 3 SWR, alles FSWR/ABWR in Japan und Taiwan mit jeweils ca. 1.356 MWe Blockleistung. Ein DWR-WWER wird am Standort *Bushehr* im Iran errichtet (s.o.).

In Indien sind 2 Typ-CANDU Reaktoren in Bau.

Die Arbeiten am finnischen Kernkraftwerksprojekt *Olkiluoto 3* mit dem weltweit ersten (FOAK: first of a kind) European Pressurized Water Reactor (EPR) mit ca. 1.600 MWe Leistung laufen im aktualisierten Zeitplan jetzt erfolgreich weiter. In 2005 wurde der Grundstein für die Anlage gelegt. Die Inbetriebnahme ist für 2012 geplant.

In Kanada befanden sich Ende 2009 an den Standorten *Bruce* (Block A-1 und Block A-2) und *Pickering* (Block 2 und Block 3) insgesamt noch 4 Kernkraftwerksblöcke des Typs CANDU mit Blockleistungen von jeweils 825 MWe bzw. 525 MWe, im sogenannten Lay-up-Betrieb. Für die Blöcke am Standort *Bruce* wird eine differenzierte Wiederinbetriebnahme nach einem Screeningprogramm mit Öffentlichkeitsbeteiligung und Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) sowie technischen Nachrüstungen vorbereitet. Die Blöcke *Bruce 4* und *Pickering 4* wurden in 2003 wieder angefahren, die Blöcke *Bruce 3* in 2004 und *Pickering 1* im Jahr 2005.

Kernkraftwerksprojekte in konkretem Planungsstadium werden in Brasilien (1), China (19 Blöcke), Finnland (2), Frankreich (1 Block), dem Iran (1 Block), Japan (11 Blöcke), der Republik Korea (10 Blöcke), Litauen (1 bis 2 Blöcke), Rumänien (2 Blöcke), Russland (10 Blöcke), der Schweiz (3 Blöcke), Südafrika (1 Block), der Ukraine (2 Blöcke) und den Vereinigten Arabischen Emiraten (3 Blöcke) verfolgt und in diesen Staaten sind rund 50 Anlagen in der Vorplanung.

Weiterhin beabsichtigen 16 weitere Länder weltweit – darunter die USA, Indien, Indonesien und die Türkei – mit einem Planungshorizont bis 2020 rund 90 Kernkraftwerksprojekte zu initiieren.

Seit offizieller Inbetriebnahme mit Netzsynchrisation des ersten kommerziellen Kernkraftwerks *Calder Hall 1* durch Königin *Elisabeth II.* am 27. August 1956 sind weltweit 127 prototypische bzw. kommerzielle Kernkraftwerke mit Blockleistungen über 5 MWe außer Betrieb genommen worden (vgl. *Tabelle 5*). Von diesen sind 81 in den 1950er- und 1960er-Jahren in Betrieb gegangen, 100 haben eine Blockleistung von weniger als 500 MWe, davon 43 weniger als 100 MWe. Größere leistungsstarke außer Betrieb genommene Kernkraftwerke sind die Anlagen *Mülheim-Kärlich* (D, 1.302 MWe), der schnelle natriumgekühlte Brutreaktor *Super Phenix* (F, 1.242 MWe) sowie die Anlagen *Trojan* (USA, 1.178 MWe) und *Zion 1* bzw. *Zion 2* (USA, jeweils 1.085 MWe). Die Blöcke sind aufgrund politischer Vereinbarungen bzw. wirtschaftlichen Erwägungen und im Falle des *Super Phenix*, aufgrund zum Zeitpunkt der Stilllegung nicht gegebener technisch-wirtschaftlicher Erfordernisse, im Rahmen von Marktliberalisierungen stillgelegt worden.

Endgültig außer Betrieb genommen wurden in 2009 mit *Ignalina 2* in Litauen sowie *Hamaoka 1* und *Hamaoka 2* in Japan insgesamt 3 Kernkraftwerksblöcke. *Chubu Electric Power* als Betreiber des Kernkraftwerks *Hamaoka* – am Standort befinden sich 5 Kernkraftwerksblöcke mit einer Gesamt-Bruttoleistung von 4.997 MW – entschied im Rahmen einer längerfristigen Anlagenrevision, die beiden Blöcke *Hamaoka 1* und *Hamaoka 2* endgültig außer Betrieb zu nehmen. Erforderliche Nachrüstungen im Rahmen von Maßnahmen z.B. zur Erhöhung der Erdbebensicherheit waren als zu aufwändig beurteilt worden. Mittelfristig plant *Chubu Electric Power* den Bau von neuen Kernkraftwerken am Standort *Hamaoka* mit Inbetriebnahme ab 2018. Seit 2004 wird dort mit *Hamaoka 5* einer von weltweit 4 fort-

geschrittenen Siedewasserreaktoren der Hersteller *Toshiba/Hitachi* betrieben.

Gemäß den ausgehandelten Vereinbarungen im Rahmen der Beitrittsverhandlungen von Litauen zur EU war die Stilllegung der RBMK-1500-Kernkraftwerksblöcke *Ignalina 1* und *Ignalina 2* verpflichtend. Das technische Grunddesign der beiden Kraftwerksblöcke entspricht dem verunfallten Reaktorblock *Tschernobyl 4* in der damaligen UdSSR, heute Ukraine. Der erste Block *Ignalina 1*, Inbetriebnahme 1986, Leistung bei Inbetriebnahme 1.500 MW brutto und 1.380 MW netto, stellte am 31. Dezember 2004 den Betrieb ein. Litauen ist seit dem 1. Mai 2004 Mitglied der EU. Die Regierung Litauens erarbeitet ein Programm zur langfristigen Sicherung der Stromversorgung, das auch den Neubau von Nuklearkapazitäten umfasst. Die beiden Kernkraftwerksblöcke hatten in der Vergangenheit bis zu 80 % der Stromerzeugung Litauens gedeckt; im Jahr 2009 waren es 76 % der nationalen Erzeugung. *Ignalina 2* hatte im Jahr 2009 zudem mit einer Brutto-Stromerzeugung von 11,6 Mrd. kWh (netto rd. 10,0 Mrd. kWh) das beste Ergebnis der Betriebsgeschichte erzielt und mit Platz 5 in den „Top Ten“ der weltweiten Stromerzeugung der Kernkraftwerksblöcke einen Bestplatz eingenommen.

In Italien wurden 3 der insgesamt 4 stillgelegten Kernkraftwerke nach einer Volksabstimmung 1987 mit Votum gegen eine weitere Nutzung dieser Anlagen Ende der 1980er-Jahre außer Betrieb genommen (*Latina*, SWR, 210

Land	Anzahl	Stillgelegt	
		Leistung [MWe]	
		brutto	netto
Argentinien	---	---	---
Armenien	1	408	376
Belgien	1	12	11
Brasilien	---	---	---
Bulgarien	4	1 760	1 632
China	---	---	---
Deutschland	19	6 329	5 952
Finnland	---	---	---
Frankreich	12	3 816	3 645
Großbritannien	26	3 811	3 415
Indien	---	---	---
Iran	---	---	---
Italien	4	1 472	1 423
Japan	5	1 724	1 641
Kanada	3	450	400
Kasachstan	1	150	135
Korea (Republik)	---	---	---
Litauen	2	2 600	2 370
Mexiko	---	---	---
Niederlande	1	54	51
Pakistan	---	---	---
Rumänien	---	---	---
Russland	6	943	858
Schweden	3	1 242	1 210
Schweiz	1	9	9
Slowakische Rep.	3	1 023	920
Slowenien	---	---	---
Spanien	2	656	633
Südafrika	---	---	---
Taiwan	---	---	---
Tschechische Rep.	---	---	---
Ukraine	4	4 000	3 700
Ungarn	---	---	---
USA	29	11 202	10 688
Summe	127	41 661	39 069

Tab. 5: Kernkraftwerke weltweit stillgelegt nach Ländern (Leistung >5 MWe; zum 31.12.2009)
[Quellen: IAEA, Betreiberangaben, eigene Berechnungen atw]

MWe; Caorso, SWR, 862 MWe; Trino Vercellese 1, DWR, 270 MWe). Da sich der Entscheid auf die Außerbetriebnahme der aktiven Anlagen bezog und kein Grundsatzentscheid für einen zukünftigen Verzicht auf die Kernenergienutzung getroffen wurde, hat die italienische Regierung in den vergangenen Jahren die Kernenergie wieder in ihr Energieprogramm mit aufgenommen. Es wird aktiv daran gearbeitet, neue Kernkraftwerke in Italien in absehbarer Zeit zu errichten und in Betrieb zu nehmen.

In Schweden ist nach Vereinbarungen zwischen der Regierung und Energieversorgern das Kernkraftwerk Barsebäck 1 im Jahr 1999 (SWR, 615 MWe) vorzeitig, d.h. deutlich vor Erreichen der bei Inbetriebnahme vorgesehenen technischen Lebensdauer (Inbetriebnahmejahr: 1975, 40 Betriebsjahre erreicht in 2015), stillgelegt

worden. Die Stilllegung war politisch angestrebt worden, um mit dem Volksentscheid von 1980 den dann politisch beschlossenen Ausstieg aus Kernenergie bis 2010 in einem ersten Schritt umzusetzen. In 2005 wurde der Block Barsebäck 2 stillgelegt. Nach dem Regierungswechsel in 2006 mit einem Bündnis von 4 bürgerlichen Parteien wurde nicht nur der Verzicht auf eine vorzeitige Stilllegung der in Betrieb befindlichen Kernkraftwerke revidiert, es wurden auch Pläne zu deren Leistungserhöhung sowie für zukünftige Ersatz-Kernkraftwerke entwickelt und gebilligt.

Bei den 4 in der Ukraine stillgelegten Kernkraftwerken handelt es sich um die RBMK-Anlagen am Standort Tschernobyl. 1986 war dort der Block 4 im bisher folgenschwersten Unfall in ei-

nem Kernkraftwerk zerstört worden. Der Block 2 ist nach einem Brand im Maschinenhaus in 1991 stillgelegt worden. Die 2 weiteren Reaktoren Block 1 und Block 3 wurden nach Verhandlungen zwischen den G-8-Staaten und der Regierung der Ukraine über Kompensationsleistungen für eine Stilllegung außer Betrieb genommen.

In den USA ist das Kernkraftwerk Three Mile Island 2 nach einem Kernschmelzunfall in 1978 nicht mehr in Betrieb und wird mit einer wissenschaftlichen Analyse rückgebaut.

Tabelle 6 und Bild 5 zeigen die Anlagenanzahl bezogen auf die jeweiligen Betriebsjahre (kommerzieller Betrieb) in 2006. Insbesondere in den 1970er- und 1980er-Jahren ist ein erheblicher Teil der heute verfügbaren

Betriebsjahr	Anzahl	Inbetriebnahmejahr
1	2	2009
2	0	2008
3	3	2007
4	1	2006
5	4	2005
6	6	2004
7	2	2003
8	7	2002
9	3	2001
10	2	2000
11	8	1999
12	3	1998
13	5	1997
14	5	1996
15	5	1995
16	4	1994
17	12	1993
18	3	1992
19	4	1991
20	12	1990
21	11	1989
22	17	1988
23	24	1987
24	24	1986
25	43	1985
26	29	1984
27	21	1983
28	10	1982
29	22	1981
30	14	1980
31	14	1979
32	10	1978
33	16	1977
34	11	1976
35	17	1975
36	18	1974
37	14	1973
38	11	1972
39	8	1971
40	5	1970
41	5	1969
42	1	1968
43	1	1967
44	0	1966
45	0	1965
46	0	1964
47	0	1963
48	0	1962
49	0	1961
50	0	1960
51	0	1959
52	0	1958
53	0	1957
54	0	1956

Tab. 6: Anzahl der Kernkraftwerke weltweit in Betrieb nach Betriebsjahren (kommerziell, Leistung >5 MWe zum 31.12.2009) [Quellen: IAEA, Betreiberangaben, eigene Berechnungen atw]

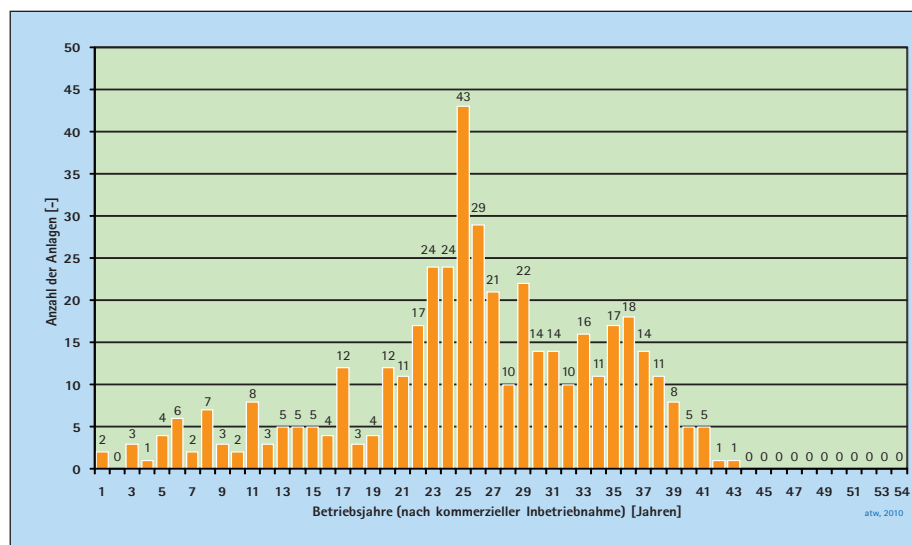


Abb. 5: Anzahl der Kernkraftwerke weltweit nach Betriebsjahren Ende 2009 (kommerziell, Leistung >5 MWe) [Quellen: IAEA, Betreiberangaben, eigene Berechnungen atw]

Jahr	Anzahl Anlagen [-]	Arbeitsverfügbarkeit [%]	Zeitverfügbarkeit [%]	Zeitnichtverfügbarkeit (ungeplant) [%]
1991	412	74,23	75,07	6,90
1992	420	74,54	75,27	6,86
1993	434	74,74	76,71	7,28
1994	433	76,18	77,64	6,16
1995	432	77,58	79,13	5,21
1996	438	78,10	80,00	5,40
1997	448	77,10	79,56	5,47
1998	439	79,10	80,54	6,03
1999	438	80,80	82,40	4,49
2000	442	82,12	83,51	4,10
2001	441	83,50	84,90	3,48
2002	441	83,90	84,70	3,40
2003	439	80,60	81,50	5,80
2004	441	82,90	83,80	4,60
2005	444	82,60	83,80	3,90
2006	437	82,00	83,00	4,00
2007	439	80,90	82,60	5,00
2008	438	80,00	80,80	5,30
2009	438	79,40	80,90	5,50

Tab. 7: Kernkraftwerke weltweit, Arbeitsverfügbarkeit, Zeitverfügbarkeit und Zeitnichtverfügbarkeit (ungeplant) von 1991 bis 2009 (Leistung >5 MWe, 2007 bis 2009: vorläufige Angaben, die Daten umfassen alle im jeweiligen Jahr „in Betrieb“ befindlichen Anlagen) [Quellen: IAEA, Betreiberangaben, eigene Berechnungen atw]

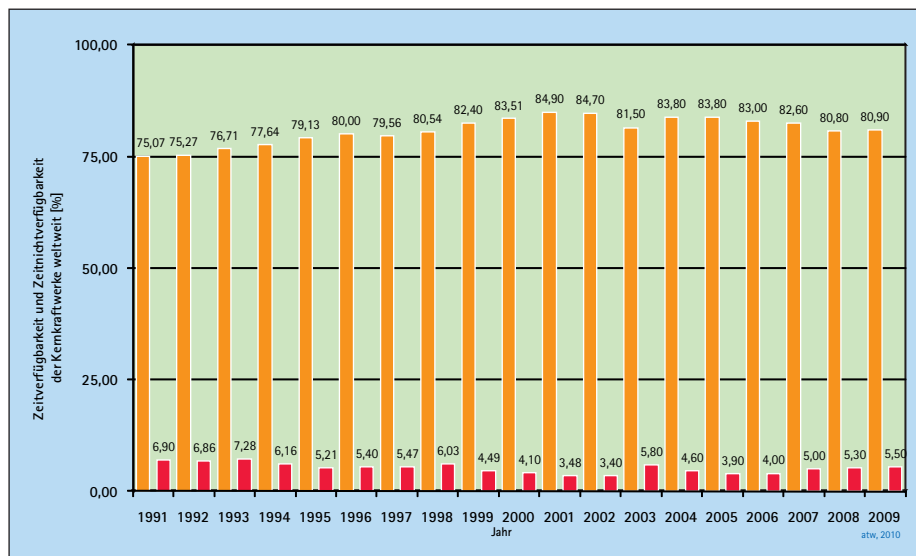


Abb. 6: Entwicklung der Zeitverfügbarkeit und Zeitnichtverfügbarkeit (ungeplant) der Kernkraftwerke weltweit von 1991 bis 2009 (Leistung >5 MWe, 2007 bis 2009: vorläufige Angaben) [Quellen: IAEA, Betreiberangaben, eigene Berechnungen atw]

Kernkraftwerkskapazität aufgebaut worden, als 126 bzw. 217 Blöcke in Betrieb gegangen sind. Diese waren zum Teil nach den Erdölpreiskrisen der 1970er-Jahre geordert worden. In den 1990er-Jahren ist die Anzahl der Inbetriebnahmen deutlich zurückgegangen. Treibende Kraft beim aktuellen Neubau sind derzeit die Länder Asiens, mit China deutlich an der Spitze.

Die für den technisch-wirtschaftlichen Betrieb und für die Weiterentwicklung von Erkenntnissen zur Anlagensicherheit wichtigen Erfahrungen zum Anlagenbetrieb sind daher wesentlich in den vergangenen 10 bis 15 Jahren aufgelaufen. Dies zeigt sich auch deutlich bei der Entwicklung der Arbeitsverfügbarkeit, Zeitverfügbarkeit und Zeitnichtverfügbarkeit (ungeplant) der Kernkraftwerke für die Jahre 1991 bis 2009 gemäß Tabelle 7 bzw. Bild 6 (für 2007 bis 2009 vorläufige Angaben). In einem Jahrzehnt (1994 bis 2004) konnte die durchschnittliche Arbeitsverfügbarkeit der Kern-

kraftwerke von 76,18 % auf fast 84 %, d.h. um rund 8 % gesteigert werden und hat damit einen technisch sehr hohen Stand erreicht. Weitere Steigerungen sind u.a. aufgrund der technischen Erfordernisse von Anlagenrevisionen kaum absehbar. Diese Verfügbarkeitssteigerung entspricht umgerechnet auf eine Kraftwerksleistung im Grundlastbereich einer zusätzlichen Kapazität von ca. 40.000 MW – also 30 großen Kernkraftwerksblöcken – weltweit bzw. ca. der Hälfte der gesamten Stromerzeugung Deutschlands – einzig durch einen weiter optimierten Betrieb der Anlagen. Die deutlich niedrigere Zeitverfügbarkeit und höhere Nichtverfügbarkeit (ungeplant) weltweit in 2003 ist wesentlich auf den Stillstand von Siedewasserreaktoren in Japan (TEPCO) zurückzuführen, die aufgrund administrativer Mängel außer Betrieb waren. Die Anlagen gingen in 2004 und 2005 sukzessive wieder in Betrieb, nachdem sie die behördliche Genehmigung zum Wiederanfahren erhalten hatten.

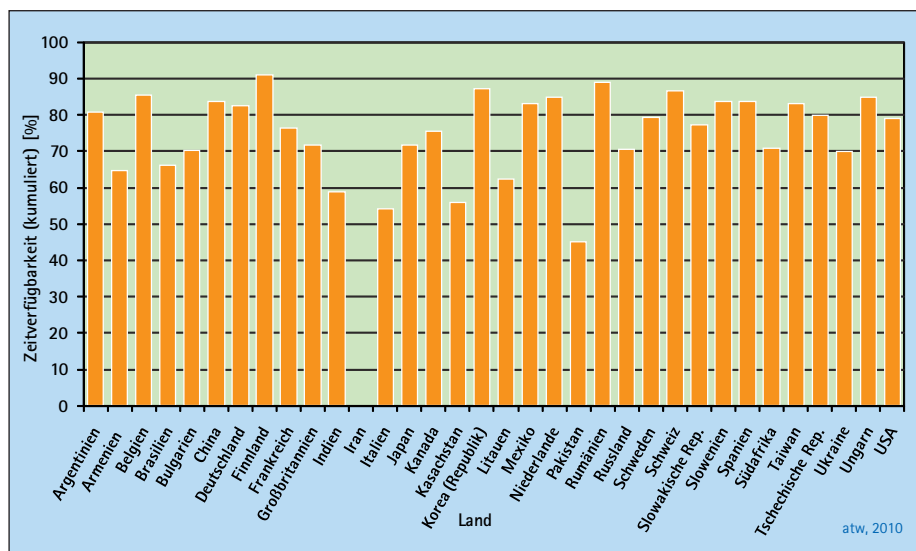


Abb. 7: Durchschnittliche kumulierte gewichtete (nach Blockleistung) Zeitverfügbarkeit aller Kernkraftwerke (in Betrieb und stillgelegt) weltweit ab kommerzieller Inbetriebnahme bis zum 31.12.2009 (Leistung >5 MWe) incl. vorläufiger Daten für 2007 bis 2009 [Quellen: IAEA, Betreiberangaben, eigene Berechnungen atw]

Land	Anzahl Anlagen	Zeitverfügbarkeit [%]
Argentinien	2	80,70
Armenien	1	64,70
Belgien	8	85,30
Brasilien	2	66,20
Bulgarien	6	70,30
China	11	83,80
Deutschland	30	82,40
Finnland	4	91,10
Frankreich	69	76,30
Großbritannien	44	71,70
Indien	18	58,70
Iran	---	---
Italien	4	54,10
Japan	58	71,70
Kanada	25	75,50
Kasachstan	1	56,00
Korea (Republik)	20	87,30
Litauen	2	62,40
Mexiko	2	83,00
Niederlande	2	84,90
Pakistan	2	45,00
Rumänien	2	88,90
Russland	31	70,60
Schweden	13	79,40
Schweiz	5	86,70
Slowakische Rep.	7	77,20
Slowenien	1	83,80
Spanien	10	83,80
Südafrika	2	70,70
Taiwan	6	83,00
Tschechische Rep.	6	80,00
Ukraine	17	70,00
Ungarn	4	84,70
USA	121	79,10
Summe	536	77,10

Tab. 8: Durchschnittliche kumulierte gewichtete (nach Blockleistung) Zeitverfügbarkeit aller Kernkraftwerke (in Betrieb und stillgelegt) weltweit ab kommerzieller Inbetriebnahme bis zum 31.12.2009 (Leistung >5 MWe) incl. vorläufiger Daten für 2007 bis 2009 [Quellen: IAEA-PRIS, Betreiberangaben, eigene Berechnungen atw]

Der Abfall bei der Verfügbarkeit seit 2005 liegt an weiteren längerfristigen Stillständen insbesondere leistungsstarker Kernkraftwerksblöcke u.a. in Japan und Deutschland. In Japan sind nach einem Erdbeben im Juli 2007 mehrere Blöcke für die Umsetzung von Maßnahmenpaketen zur Erhöhung der Erdbebenauslegung vom Netz genommen worden. In Deutschland standen revisionsbedingt Anlagen in den Jahren 2007 bis 2009 nicht zur Verfügung.

In Tabelle 8 und Bild 7 ist die durchschnittliche kumulierte gewichtete (nach Leistung) Zeitverfügbarkeit der Kernkraftwerke nach Ländern dargestellt (Quelle: IAEA PRIS). Demnach ist Finnland mit seinen 4 Anlagen weltweit führend.