

Kernkraftwerke. Bauaufgabe, Bautypen, Geschichte

Gunnar Klack

Bei der Bearbeitung der Frage nach dem Denkmalwert von Kernkraftwerken müssen sich notwendigerweise zwei Fachdiskurse überschneiden: jener der Denkmalpflege und der der Kerntechnik. Und obwohl tiefgründiges Wissen über die Funktionsweise und den technischen Aufbau von Kernkraftwerken besteht, wurde bisher selten der Blick auf Kernkraftwerke als Gegenstände der Baugeschichte gerichtet. Wie bei den meisten technischen Bauwerken liegt der Impuls nahe, Kernkraftwerke aufgrund ihres funktionalen Wesens als *nicht-gestaltet* zu bezeichnen und ihnen potenziellen baukünstlerischen Wert abzusprechen. Doch selbst bei einer „lediglich“ funktionalen Bauplanung ist gestalterische Intelligenz und Innovation notwendig. Die Baugeschichte zeigt, dass immer wieder auch reine Ingenieurbauwerke hohen baukünstlerischen Wert besitzen können. Und einmal ganz abgesehen davon, ob man Kernkraftwerke nun als gestaltet oder als nicht-gestaltet bezeichnen möchte, so besitzen sie doch unbestreitbar eine Baugeschichte, eine eigene Ästhetik und viele Verbindungspunkte zur Architektur des 20. Jahrhunderts. Die Baugeschichte der Kernkraft beginnt direkt nach dem Zweiten Weltkrieg und endet – zumindest in Deutschland – in den 1980er Jahren. Es handelt sich bei Kernkraftwerken in Deutschland somit notwendigerweise um Bauten der Nachkriegsmoderne. Die geradezu symbolhafte Form der Reaktor-Kuppel spielt in der öffentlichen Wahrnehmung von Kernkraftwerken – zumindest in Deutschland – eine wichtige Rolle. Bei der Betrachtung der Kernenergie als Teil der Sozialgeschichte der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts ist die Bedeutung der ästhetischen Wirkung von Kernkraftwerken nicht von der Hand zu weisen. Ganz gleich ob sie als Prestigeobjekte oder als Schandflecken dargestellt wurden, war die sichtbare Erscheinung der Kraftwerksbauten wesentlicher Teil des gesellschaftlichen Prozesses.

Um fruchtbar über Kernkraftwerke als Gegenstände der Baugeschichte sprechen zu können, ist Kenntnis über den technischen Aufbau und die Funktion dieser Bauwerke notwendig. Die verschiedenen Bautypen von Kernkraftwerken wurden entsprechend verschiedener Reaktortypen entwickelt. Die Bezeichnungen der üblichen Reaktortypen – Druckwasserreaktor, Siedewasserreaktor, Grafitreaktor – gehören zum Stammvokabular der Kerntechnik. Daher ist es notwendig, einen Überblick über die typischen verwendeten Reaktoren zu gewinnen, selbst wenn dabei die Kerntechnik selbst nicht Gegenstand des vorliegenden Artikels

sein soll. Neben dem Überblick über Funktionsweise und Bautypen von Kernkraftwerken soll vor allem die Baugeschichte dargestellt werden, mit einem Schwerpunkt auf den Kraftwerkstypen in Deutschland, wobei hier aufgrund des zahlenmäßigen Verhältnisses zwischen Kraftwerken in Ost- und Westdeutschland ein Ungleichgewicht unvermeidbar ist. Da die Baugeschichte der Kernkraft verhältnismäßig kurz ist und sich die Entwicklung dieser Bauaufgabe rasant in großen Schritten entwickelte, soll die historische Entwicklung der Kernkraftwerke anhand weniger ausgewählter Beispiele nachvollzogen werden. Dankend erwähnen möchte ich an dieser Stelle Dr. Anna Veronika Wendland vom Herder-Institut für historische Ostmitteleuropaforschung in Marburg, SFB-Transregio 138 *Dynamics of Security*, die mir beim Verfassen des Artikels beratend zur Seite stand.

Eine Bemerkung sei dem Überblick über die Bautypen von Kernkraftwerken vorangestellt: Es handelt sich um eine Betrachtung der typischen und häufig angewandten Bauweisen. Prinzipiell ist eine Vielzahl von Reaktortypen denkbar, und es wurden – besonders in der Frühphase der Kernenergie – viele Reaktortypen erprobt. Bisher ist von allen denkbaren und erprobten Reaktorkonzepten jedoch nur eine Handvoll von verschiedenen Typen so weit entwickelt worden, dass diese in hoher Anzahl gebaut wurden. Und auch der Aspekt, welche Reaktortypen in welchen Ländern quasi zur Serienreife gebracht wurden ist von Belang, denn hierin spiegeln sich die nationalen wirtschaftlichen und politischen Strategien im Bezug auf Kernenergie. Allen dominanten Bautypen von Kernkraftwerken ist jedoch gemeinsam, dass sie bei der Energiegewinnung im Prinzip einem konventionellen thermischen Kraftwerk nachempfunden sind: Eine Wärmequelle wird zur Erhitzung von Flüssigkeit (Wasser, geschmolzenes Natrium) oder Gas (Kohlendioxid, Helium) genutzt. Mit diesem erhitzten und dadurch unter Druck gesetzten Stoff werden (entweder direkt oder über dazwischengeschaltete Sekundär- oder Tertiärkreisläufe) Dampfturbinen bewegt, die ihrerseits wiederum Generatoren zur Stromerzeugung antreiben.

Die Bezeichnungen der verschiedenen Reaktortypen richten sich im Wesentlichen nach der Art des Moderators und der Art der Wärmeübertragung. Beim Druck- und Siedewasserreaktor fehlt üblicherweise der Hinweis darauf, dass es sich beim Moderator um leichtes Wasser handelt. Beim Schwerwasserreaktor wird nur der Moderator benannt, da es sich hierbei üblicherweise um Druckwasserreaktoren

Matrix der Merkmale, nach denen Reaktortypen eingordnet werden können		
Kühlmittel	Moderator	Brennstoff
Leichtes Wasser (siedend oder nicht-siedend)	Leichtes Wasser	Natururan
Schweres Wasser (siedend oder nicht-siedend)	Schweres Wasser	Angereichertes Uran
Gas (Helium, CO ₂)	Grafit	MOX (Uran-Plutonium-Mischoxid)
Geschmolzene Feststoffe (Blei, Natrium, Salze)	Organische Stoffe	Thorium

handelt. Auch Grafit-Reaktoren wurden mit verschiedenen Systemen der Wärmeübertragung gebaut, auch hier kann die thermische Energie des Reaktors mit Flüssigkeit oder Gas abgeführt werden. Das ist gemeint, wenn von einem gasgekühlten, wassergekühlten oder natriumgekühlten Reaktor die Rede ist. Auch wenn das Kühlsystem eines Kernkraftwerks mehrere Kreisläufe beinhaltet, wird bei der Bezeichnung des Reaktortyps immer das primäre Kühlsystem benannt. Die Unterscheidung in Druckwasser- und Siedewasserreaktor ist gerade bei der Frage des Erhalts von besonderer Bedeutung, da im Druckwasserreaktor der radioaktiv belastete Anteil des Kraftwerksgebäudes auf den Reaktor beschränkt ist und nicht – wie beim Siedewasserreaktor – das Maschinenhaus miteinschließt.

Wenn vom Moderator des Reaktors gesprochen wird, so ist damit das Material gemeint, das im Reaktorkern zum Abbremsen von Neutronen verwendet wird. Zwar sind Kernspaltungen prinzipiell auch ohne Moderator möglich, so wird beispielsweise in Schnellen Reaktoren die Kettenreaktion mit schnellen, ungebremsten Neutronen aufrechterhalten.¹ Und auch bei der Zündung einer Kernspaltungsnuklearwaffe findet eine Kettenreaktion ohne Moderator statt – eben diesem Zweck entsprechend nicht kontinuierlich, sondern explosionsartig. Beim überwältigenden Anteil aller Kernreaktoren wird also ein Moderator verwendet, um die bei der Kernspaltung entstehende Neutronenstrahlung abzubremesen. Bei jedem Kernspaltungsvorgang werden schnelle Neutronen freigesetzt. Um diese Neutronen bei der Aufrechterhaltung der Kettenreaktion effizient zu nutzen, müssen sie abgebremst werden. Eine geringere Geschwindigkeit der Neutronen erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass beim Auftreffen des Neutrons auf einen weiteren Atomkern des Brennstoffs – Uran oder Plutonium² – eine nächste Kernspaltung eintritt.³

Grafit-moderierte Reaktoren, der Einfachheit halber als Grafitreaktoren bezeichnet, gehören zu den ersten gebauten Reaktoren. Für kommerzielle Zwecke und zur Produktion von waffenfähigem Plutonium wurden sie vor allem in Großbritannien und in Frankreich weiterentwickelt, in

beiden Ländern als gasgekühlte Reaktoren.⁴ In der Sowjetunion wurden auch grafitmoderierte Reaktoren mit Wasserkühlung entwickelt, zum Beispiel der im Kernkraftwerk Tschernobyl havarierte Reaktortyp RBMK-1000.⁵ Das am häufigsten verwendete Moderator-Material ist jedoch Wasser. Der sogenannte Schwerwasser-Reaktor hat den Vorteil, dass er sich mit nicht-angereichertem Uran betreiben lässt. Allerdings ist schweres Wasser nicht so einfach verfügbar wie leichtes Wasser und daher wesentlich teurer. „Schweres“ Wasser besteht aus Wassermolekülen mit dem massereicheren Wasserstoff-Isotop Deuterium, in dessen Kern zusätzlich zum Proton des leichten Wasserstoffs noch ein Neutron enthalten ist.

„Leichtes“ Wasser ist im Normalfall einfach Wasser, H₂O. Der Leichtwasser-Reaktor – mit seinen beiden unterschiedlichen Bautypen Siede- und Druckwasserreaktor – ist bis heute der am weitesten verbreitete kommerziell genutzte Reaktortyp in Leistungskernkraftwerken.⁶

Der generelle Aufbau eines Kernkraftwerks soll hier anhand der beiden in Deutschland üblichen Typen Siede- und Druckwasser dargestellt werden, die aus folgenden Bauteilen bestehen: 1) Reaktorgebäude, 2) Maschinenhaus, 3) Hilfsanlagen- und Schaltanlagengebäude, 4) Reaktorhilfsanlagengebäude, 5) Notstromgebäude, 6) Fortluftkamin, 7) Verwaltungsgebäude, 8) Werkstattgebäude, 9) Haupt- und Nebenkühlwassersysteme, 10) Kühltürme,⁷ 11) Brennelemente-Zwischenlager (Abb. 1).⁸ Im Reaktorgebäude befindet sich der Reaktordruckbehälter, in dem sich wiederum der Reaktorkern befindet. Beim Siedewasserreaktor wird hier das Kühlmittel verdampft. Der Dampf wird direkt in das Maschinenhaus geleitet, wo damit Turbinen und Generatoren angetrieben werden. Beim Druckwasserreaktor steht das Wasser des primären Kühlkreislafs unter so starkem Druck, dass es nicht verdampfen kann.⁹ Es bewegt sich stattdessen vom Reaktordruckbehälter in die Dampferzeuger und von dort wieder zurück zum Reaktorkern. In den Dampferzeugern wird die Wärme des Primärkreislaufs an einen sekundären Speisewasser-Dampf-Kreislauf übertragen. Von dort strömt Frischdampf zu den Turbinen und treibt diese

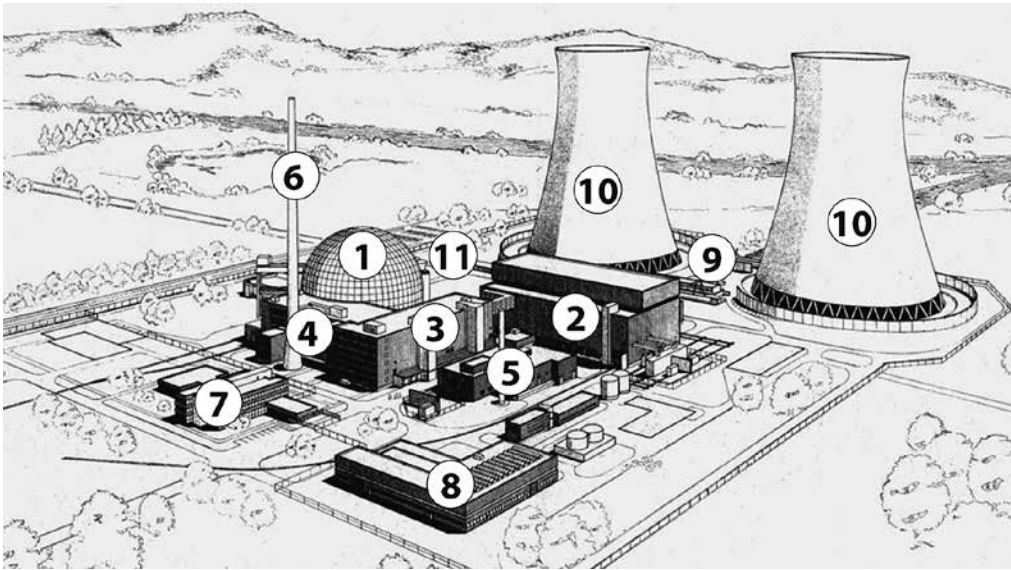


Abb. 1: Bauteile eines Leistungskernkraftwerks, schematische Darstellung eines KWU-Kraftwerks mit Druckwasserreaktor.

1) Reaktorgebäude [genauere Darstellung siehe Abb. 2]; 2) Maschinenhaus – enthält alle Systeme des Wasser-Dampf-Prozesses, Turbinen und Generatoren; 3) Hilfsanlagen- und Schaltanlagengebäude – enthält Warte, Eigenbedarfstransformatoren, Energie- und Leittechnik-Schaltanlagen; 4) Reaktorhilfsanlagengebäude – enthält Volumenregelsystem, Kühlmittelaufbereitung und -lagerung sowie Einrichtungen zur Behandlung der radioaktiven Abwässer, Chemielabor und Wäscherei; 5) Notstromgebäude – enthält Notstromdiesel des ersten Notstromnetzes samt Kältemaschinen, Hilfskesselanlage, Wasseraufbereitung und Garagen; 6) Fortluftkamin; 7) Verwaltungsgebäude; 8) Werkstattgebäude; 9) Haupt- und Nebenkühlwassersysteme; 10) Kühlturm; 11) Heutiger Standort des Brennelemente-Zwischenlagers – dies ist jedoch auf der Zeichnung nicht sichtbar. Die meisten Brennelemente-Zwischenlager wurden zeitlich später als die eigentlichen Kraftwerksanlagen errichtet.

an, sodass deren kinetische Energie in einem auf derselben Welle angeschlossenen Generator in elektrische Energie umgewandelt werden kann.

Die unterschiedlichen Prinzipien der Dampferzeugung haben wiederum unterschiedliche bauliche Ausprägungen gefunden. Beim Siedewasserreaktor enthält der obligatorische stählerne Sicherheitsbehälter – das sogenannte Containment – im Wesentlichen nur den Reaktorbehälter und bei späteren Entwicklungsstufen noch eine Kondensationskammer. Beim Druckwasserreaktor befinden sich im Containment auch noch Abklingbecken und der gesamte primäre Kühlkreislauf samt Dampferzeugern. Für Druckwasserreaktoren müssen daher typischerweise große Reaktorkuppeln gebaut werden.¹⁰ Das Containment soll dafür sorgen, dass im Falle einer Havarie keine radioaktiven Stoffe in die Atmosphäre gelangen. Es ist zum Schutz gegen mechanische Einwirkungen von außen von einer zweiten Schale umgeben, einer Betonkuppel oder einem Betonzylinder (Abb. 2).¹¹ Bei Siedewasserreaktoren und deren oftmals verhältnismäßig kleinen Containments besitzen die Reaktorgebäude in den meisten Fällen keine Kuppel- oder Zylinderform. Die Containments sind oft tief im Inneren eines meist kastenförmigen Reaktorgebäudes versteckt. Charakteristisch für Siedewasserreaktoren ist das direkt an das Reaktorgebäude angeschlossene Maschinenhaus – der Dampf soll aus dem Reaktor auf kürzestem Weg in die Turbine geleitet werden,

was der Effizienz und der Sicherheit geschuldet ist. Bei Druckwasserreaktoren werden die Maschinenhäuser durchaus auch separat von den Reaktorgebäuden erreicht, d.h. die auf Rohrbrücken geführten Frischdampf- und Speisewasserleitungen sind häufig von außen sichtbar.

Typischerweise werden bei thermischen Kraftwerken die einzelnen Einheiten der Wärmeerzeugung als Blöcke bezeichnet. Hierin unterscheiden sich Kernkraftwerke nicht von konventionellen Wärmekraftwerken. So wie Kohlekraftwerke können Kernkraftwerke auch mehrere Blöcke besitzen. Hierbei gilt je eine Reaktoranlage mit Hilfs- und Schaltanlagengebäude und Maschinenhaus als ein Block. Je nach Größe des Kraftwerks werden bis zu acht Blöcke betrieben, in Deutschland üblicherweise jedoch nur ein oder zwei. Eine Ausnahme hierbei ist das Kraftwerk Greifswald in Lubmin, Mecklenburg-Vorpommern, von dessen acht geplanten Blöcken immerhin fünf in Betrieb genommen wurden.

Kernkraftwerke sind aufgrund ihrer Größe und ihrer typischen Lage landschaftliche Objekte. Dabei hatte es in der Frühphase der Kernenergie in Deutschland Überlegungen gegeben, wie nah man Kernkraftwerke an Städte heranbauen kann. Abwägungen zwischen Sicherheit und Praktikabilität haben dazu geführt, dass sich Kernkraftwerke in Deutschland zwar nicht in unmittelbarer Nähe von großen Städten befinden, jedoch oft in der mittelbaren Umgebung von Metropolregionen stehen.¹² Die deutschen Kernkraft-

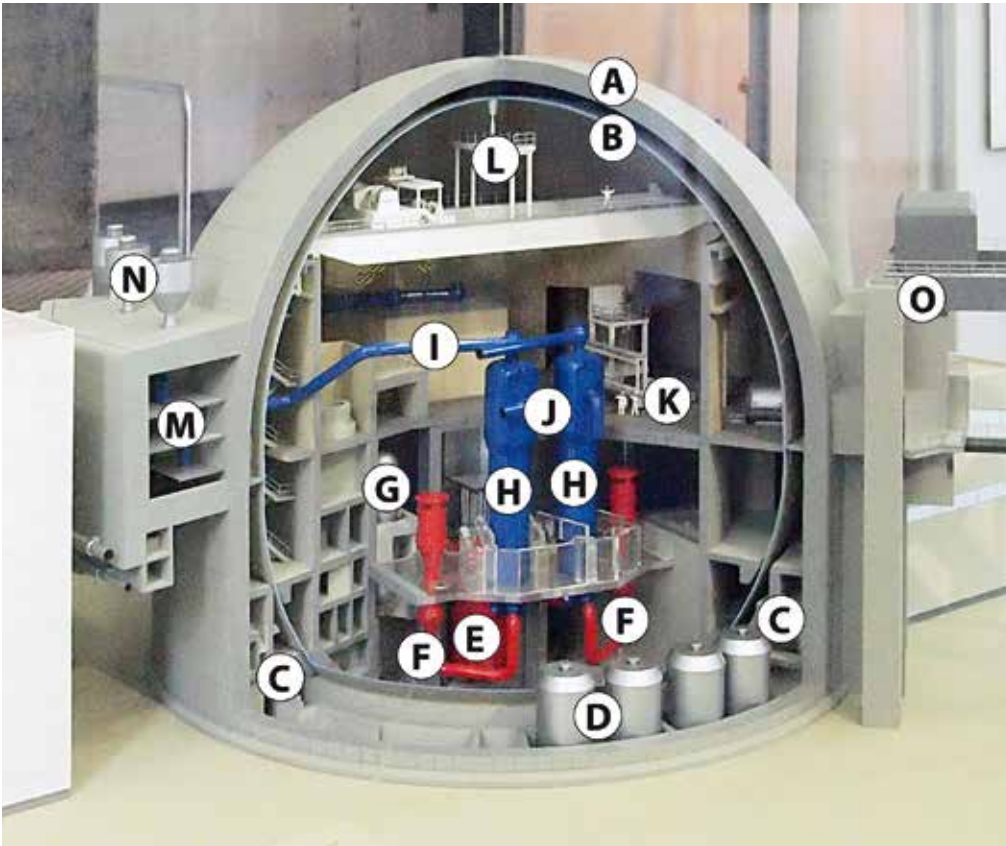


Abb. 2: Schnittmodell eines KWU-Reaktorgebäudes mit Druckwasserreaktor, Deutsches Museum München. Sphärischer innerer Sicherheitsbehälter (Containment) aus Stahl (B), zylindrische äußere Betonhülle (A), zwischen diesen beiden Schutzhüllen der für die (Vor-)Konvoi-Linie typische Ringraum (C) – enthält zentrale Komponenten der Not- und Zwischenkühlungssysteme. Weitere Elemente: D) Flutbehälter für zwei Stränge des Notkühlungssystems; E) Reaktor-Druckbehälter; F) Primärkreislauf und Hauptkühlmittelpumpen; G) Druckhalter respektive Druckhalter-Abblasebehälter; H) Dampferzeuger – hier zwei von insgesamt vier; I) Frischdampfleitungen; J) Speiswasserleitungen; K) Beckenflur mit der Brennelement-Lademaschine; L) Rundlauf-Schwerlastkran; M) Frischdampf- und Speiswasserarmaturenkammern; N) Schalldämpfergeschützte Auslässe der Frischdampf-Sicherheitsventile; O) Halbportal-Hubgerüst.

werke sind oft in der Gesellschaft kleinerer Ortschaften zu finden, nach denen sie auch meist benannt sind. Nähert man sich als Passant einem Kernkraftwerk, so mag der erste visuelle Eindruck von den imposanten Hochbauten geprägt sein. Beim direkten Kontakt in nächster Nähe bietet sich jedoch ein Bild von Zäunen, Wällen und weiteren Absperremechanismen. Zu den landschaftlichen Aspekten von Kernkraftwerken gehört nicht nur deren Wirkung im Landschaftsbild, sondern eben auch deren Fortifikation.¹²

Geschichte

Das für die Bauaufgabe Kernkraftwerk spezifische Element, der Kernreaktor, hat seinen Ursprung rund ein Jahrzehnt vor der ersten nuklearen Stromerzeugung. Für die Erprobung einer kontinuierlichen Kettenreaktion errichtete das Metallurgical Laboratory der University of Chicago unter der Tribüne des Football-Stadions Stagg Field 1942 den *Chicago Pile 1*, eine kritische Anordnung aus Grafitblöcken und

nicht-angereichertem Uran sowie Uranoxid. Dieser „Stapel“ (pile) war baulich nicht weiter gefasst.

Und auch beim ersten Reaktor, für den ein eigenes Gebäude errichtet wurde, handelt es sich um kein Kraftwerk, sondern in diesem Fall um einen Reaktor für die Erzeugung von waffenfähigem Plutonium: Der *X-10 Graphite Reactor* des National Laboratory in Bethel Valley nahe Oak Ridge, Tennessee entstand 1943–1944 im Rahmen des *Manhattan Projects* und war in einem einfach gestalteten Satteldachbau untergebracht (Abb. 3). Die Höhe des Reaktor-Quaders erforderte ein Gebäude, das einer hohen Scheune oder einer kleinen Fabrikhalle ähnelte. Ein hoher Abluftkamin wies das Gebäude eindeutig als Industriebauwerk aus. Heute gehört das Gebäude des *X-10 Graphite Reactor* zum *Manhattan Project National Historical Park*, es ist seit 1965 *National Historic Landmark* der USA. Der erste Reaktor, bei dem eine Anlage zur Stromerzeugung mit eingeplant wurde, entstand 1949–1950 ebenfalls im militärischen Kontext: Der *Experimental Breeder Reactor 1* nahe Arco, Idaho war in der Lage, den Strombedarf seines eigenen Betriebsgebäudes



Abb. 3: Gebäude des X-10 Graphite Reactor in Oak Ridge, Tennessee, USA, 1943–1944, Aufnahme 1950.



Abb. 4: Gebäude des Experimental Breeder Reactor, National Reactor Testing Station, Idaho Falls, Idaho, USA, 1950–1951.

zu decken. Ein modernistisch gestaltetes Ziegelgebäude mit geraden Linien, flachen Dächern und klarer Kubatur beherbergt den Reaktor (Abb. 4). Auch diese Einrichtung wurde zum *National Historic Landmark* erklärt.

Stromerzeugung als primäre Aufgabe wurde das erste Mal beim Kernkraftwerk Obninsk im Oblast Kaluga nahe Moskau realisiert. Die 1951–1954 errichtete Anlage hatte eine Nettoleistung von rund fünf Megawatt und verwendete einen wassergekühlten Grafitreaktor. Bemerkenswert am Kraftwerksgebäude¹⁴ ist die Gestaltung im Stil des sozialistischen Klassizismus. Mit ihren Gesimsen und Pilastern sind die Gebäude klar als Bauten des „stalinistischen Zuckerbäckerstils“ zu identifizieren (Abb. 5). Eine futuristische Science-Fiction-Ästhetik, die heute als Kennzeichen des *atomic age* gilt, ist in Obninsk nirgends zu finden. Kernenergie wurde hierbei – zumindest ästhetisch – nicht etwa als optimistischer Vorbote einer High-Tech-Zukunft verhandelt,



Abb. 5: Kernkraftwerk Obninsk, Oblast Kaluga, Russland, 1951–1954

sondern als die Angelegenheit eines historisch legitimierten Imperiums dargestellt. Aktuell ist geplant, hier nach der Entfernung aller radioaktiv belasteten Materialien ein Museum einzurichten.

Das Gebäude des Forschungsreaktors München, das sogenannte *Atom-Ei* in Garching, steht zwar unter Denkmalschutz, und seine Silhouette ist Teil des Wappens der Stadt Garching, jedoch besteht kein funktionaler Zusammenhang zwischen der prominenten Gebäudekuppel und dem ehemals dort befindlichen Reaktor. Mit Gerhard Weber war ein namhafter Architekt für die Gestaltung des 1956–1957 errichteten Gebäudes verantwortlich. Wie bei den ganz frühen Kernreaktoren handelt es sich beim Forschungsreaktor München nicht um ein Kraftwerk, sondern um einen reinen Forschungsreaktor, dessen thermische Leistung von vier Megawatt nicht in Elektrizität umwandelt wurde. Abgesehen von der futuristischen, mit Aluminium eingedeckten Betonkuppel zeichnet sich das Gebäude zudem als elegantes Beispiel einer sachlichen Nachkriegsmoderne aus (Abb. 6).

Calder Hall Nuclear Power Station, zugehörig zum Komplex Sellafield in Großbritannien, wird oft als erstes kommerzielles *full scale* Kernkraftwerk bezeichnet, da es mit seiner Leistung von mehreren hundert Megawatt in der Größenordnung vergleichbarer konventioneller Kraftwerke lag. Dessen vollständige Bezeichnung *Pressurised Pile Producing Power and Plutonium* deutet allerdings auch auf die Doppelfunktion zur Produktion von Strom und waffenfähigem Spaltmaterial hin. Es wurde 1953–1956 gebaut und war mit vier gasgekühlten Grafitreaktoren und vier großen Kühltürmen ausgestattet. Der in Großbritannien in der Folgezeit weiterentwickelte Grafitreakortyp *Magnox* besitzt – anders als ein typischer Leichtwasserreaktor – kein kugelförmiges oder zylindrisches Containment. Dementsprechend wurden diese Reaktorgebäude als hochformatige, rechteckige Kästen errichtet (Abb. 7).¹⁵



Abb. 6: Gerhard Weber, Gebäude des Forschungsreaktors München, Garching, Bayern, genannt Atom-Ei, 1956–1957.

Bei dem ersten nicht-staatlichen Kernkraftwerk handelt es sich um das *Vallecitos Nuclear Center* in Alameda County, Kalifornien. General Electric (GE) errichtete hier 1956–1957 einen Siedewasserreaktor, dessen Typ in der Folge zum kommerziellen Produkt weiterentwickelt wurde. Der GE-BWR (*General Electric Boiling Water Reactor*) wurde in mehre-



Abb. 8: Vallecitos Nuclear Center, Alameda County, Kalifornien, USA, 1956–1957.

ren Varianten an mehreren Standorten weltweit verwendet.¹⁶ In Vallecitos steht mit dem GE-BWR der Urtyp des hohen, zylindrischen, mit einer Kuppel gedeckten Reaktorgebäudes.¹⁷ Hier konstruierte man einen hohen, von einer Kuppel gedeckten Metallzylinder (Abb. 8). Lizenznachbauten des GE-BWR wurden auch in Deutschland errichtet, zum Beispiel 1958–1961 das Versuchskraftwerk Kahl bei Großweilheim, Bayern und 1962–1967 der Block A des Kraftwerks Gundremmingen im Landkreis Günzburg, ebenfalls in Bayern. Das Versuchskraftwerk Kahl ist mittlerweile komplett verschwunden, in Gundremmingen ist die Kuppel des alten havarierten Siedewasserreaktors heute noch erhalten.¹⁸

An dieser Stelle sei auf die besondere Beziehung zwischen den USA und der BRD bei der Entwicklung von Kern-



Abb. 7: Calder Hall Nuclear Power Station, Sellafield, Großbritannien, 1953–1956.



Abb. 9: Yankee Rowe Nuclear Power Station, Franklin County, Massachusetts, USA, 1957–1960.

kraftwerken hingewiesen. Im Regelfall haben nämlich die Länder, die ein eigenes Atomwaffenprogramm hatten, auch eine eigene Kraftwerkentwicklung vorangetrieben – USA, Großbritannien, Frankreich, Sowjetunion. Die Länder, die zwar Kernenergie nutzen, aber kein eigenes Entwicklungsprogramm besitzen, haben in der Regel Lizenzbauten aus einem der voran genannten Staaten errichtet oder sogar quasi schlüsselfertige Anlagen gebaut bekommen. Ein Beispiel hierfür ist der oben genannte GE-BWR. Die Sonderstellung Deutschlands besteht darin, dass Deutschland keine Atommacht ist, dennoch eigene Reaktortypen entwickelt hat.¹⁹ Von diesen Eigenentwicklungen waren drei Vorhaben komplett eigenständige Projekte: ein Schwerwasserreaktor, der Schnelle Brüter und der Thorium-Hochtemperaturreaktor. Zwei weitere Reaktortypen basierten hingegen auf in den USA entwickelten Leichtwasserreaktoren. Während von der AEG die schon seit langem bestehende Beziehung zu GE genutzt wurde, um auf Basis des GE-BWR einen eigenen Siedewasserreaktor zu entwickeln, konzentrierte sich Siemens auf die Entwicklung von Druckwasserreaktoren, aufbauend auf dem in den USA von Westinghouse produzierten Anlagen.²⁰

Der Typ des Druckwasserreaktors hat seinen Ausgangspunkt in der Entwicklung für nukleare Schiffs- respektive Unterseebootantriebe, wurde jedoch von Westinghouse bereits 1957 für den Betrieb des Kernkraftwerks Shippingport in Beaver County, Pennsylvania kommerziell eingesetzt. Beim Bau des Kernkraftwerks Yankee Rowe in Franklin County, Massachusetts, 1957–1960, wurde ein großer sphärischer Stahltank als Containment eingesetzt, ähnlich dem als *Horton Sphere* bekannten Bauteil chemischer Anlagen

(Abb. 9). Das Kraftwerk Yankee Rowe wurde zum Vorbild für das erste Leistungskernkraftwerk mit einem Druckwasserreaktor in Deutschland, dem KKW Obrigheim, erbaut 1965–1969 im Neckar-Odenwald-Kreis, in Baden-Württemberg.²¹ Eine dritte privatwirtschaftliche Entwicklung von Druckwasserreaktoren wurde in den USA von Babcock & Wilcox unternommen, und auch in Deutschland war die Firma Deutsche Babcock am Bau eines Kernkraftwerks beteiligt (Mülheim-Kärlich nahe Koblenz in Rheinland-Pfalz).²² Basierend auf den Typen von GE und Westinghouse entwickelten AEG und Siemens in Deutschland eigene Reaktortypen, die in der Folge die Leistung ihrer US-Amerikanischen Vorbilder weit übertrafen. Als Moment der Emanzipierung der Deutschen Kernkraftwerks-Entwicklung kann der Bau des Kraftwerks Biblis betrachtet werden, 1970–1976. Zu diesem Zeitpunkt hatten Siemens und AEG bereits eine gemeinsame Gesellschaft namens Kraftwerk Union (KWU) ins Leben gerufen, die in der Folgezeit die beiden Typen von Leichtwasserreaktoren weiterentwickelte. Biblis besaß zum Zeitpunkt seiner Inbetriebnahme die leistungsstärksten Kernreaktoren der Welt und wies mit seinen großen betonsichtigen Reaktorkuppeln und Kühltürmen das ikonenhafte Bild eines Kernkraftwerks auf. Zu den von der KWU entwickelten Reaktoren gehören die Siedewasserreaktoren der Baulinien 69 und 72 sowie die Druckwasserreaktoren der sogenannten Vor-Konvoi- und Konvoi-Baulinie. So sind es die Reaktorkuppeln der Vor-Konvoi-Baulinie (Grafenrheinfeld, Philippsburg 2, Grohnde, Brokdorf) und Konvoi-Baulinie (Isar 2, Emsland, Neckarwestheim 2) – und zu einem geringeren Maße auch die kastenförmigen Reaktorgebäude der Baulinie 69 (Brunsbüttel, Krümmel, Isar 1, Philippsburg 1) – die vermutlich die



Abb. 10: Kernkraftwerk Isar in Ohu, Niederbayern, hinten Block 1 Siedewasserreaktor Baulinie 69, 1971–1979, vorne Block 2, Druckwasserreaktor Baulinie Konvoi, 1982–1988.

in Deutschland verbreitete Vorstellung davon geprägt haben, wie ein Kernkraftwerk aussieht (Abb. 10).

In beiden ostdeutschen Kernkraftwerke, Rheinsberg und Greifswald/Lubmin, wurden Druckwasserreaktoren des Typs WWR installiert. Dabei handelte es sich um eine Entwicklung aus der Sowjetunion, die auch für das geplante Kernkraftwerk in Stendal vorgesehen war. Neuere WWR-Reaktoren der dritten Generation besitzen ebenfalls kupfelförmige oder zylindrische Reaktorgebäude, die Reaktoren der ersten und zweiten Generation – wie in Rheinsberg und Greifswald/Lubmin – erhielten jedoch relativ einfache kastenförmige Einhausungen. Das auffälligste Element der Anlage in Lubmin ist das spektakuläre, etwa 1,2 Kilometer lange Maschinenhaus, das als durchgehender Riegel die Gesamtanlage strukturiert (Abb. 11).



Abb. 11: Kernkraftwerk Greifswald, Lubmin, Mecklenburg-Vorpommern, 1967–1990.

Der im vorliegenden Artikel gegebene Überblick über die Kernkraftwerks-Baugeschichte ist bis zu diesem Punkt fast ganz ohne den Bezug zu den entwerfenden Personen ausgekommen. Doch auch bei solchen reinen Ingenieurbauwerken haben Planer und Planerinnen Entwurfsarbeit geleistet, die Teil des planungsgeschichtlichen Kulturerbes ist. Die Untersuchung, inwieweit auch bildliche Vorstellungen die Arbeit der Kraftwerksplaner/innen beeinflusst haben, also inwieweit die Gestaltung der Kraftwerke über das rein funktionale hinausging, steht noch aus. Dass historisch eine Inszenierung von Kernkraftwerken – als Prestigeobjekte – existierte, ist jedoch ein deutlicher Hinweis darauf, dass Ästhetik auch bei der Planung von Kernkraftwerken immer eine Rolle gespielt hat. Vergleicht man die Kraftwerksbauten mit ihrer zeitgenössischen Baukunst, so wird offensichtlich, dass die Kraftwerke auch immer Teil eines architektonischen Zeitgeistes waren. Noch evidenter ist der Bezug zwischen Kernkraft und Baukunst in Frankreich. Bekannt sind die Entwürfe von Claude Parent und Paul Andreu.²³ Mit Andreu war quasi ein staatstragender Architekt für die Planung der *Centrale nucléaire de Cruas*, 1975–1985, beauftragt worden. Das prominenteste Beispiel dürfte der Architekt Pierre Dufau sein, der die *Centrale nucléaire de Chinon* plante. Für die Umhausung des *Reacteur A1*, 1957–1963, entwarf Dufau eine Metallkugel, die nicht wie Bauteil einer Chemiefabrik wirkt, wie es bei den Reaktoren von Yankee Rowe oder Dounreay der Fall ist. Stattdessen gibt sich die Dufaus Kugel mit ihrer ununterbrochenen, glatten Oberfläche eindeutig als gestaltetes Objekt einer futuristischen Science-Fiction-Ästhetik zu erkennen (Abb. 12). Ästhetisch hat der Reaktor *la Boule* in Chinon wenig mit seinen zeitgenössischen Kernreaktoren gemeinsam, dafür umso mehr mit dem Brüsseler *Atomium* der Weltausstellung Expo 58.

Es würde den Rahmen dieses Artikels sprengen, über die Rezeption von Kernkraftwerken in Kunst und Kultur

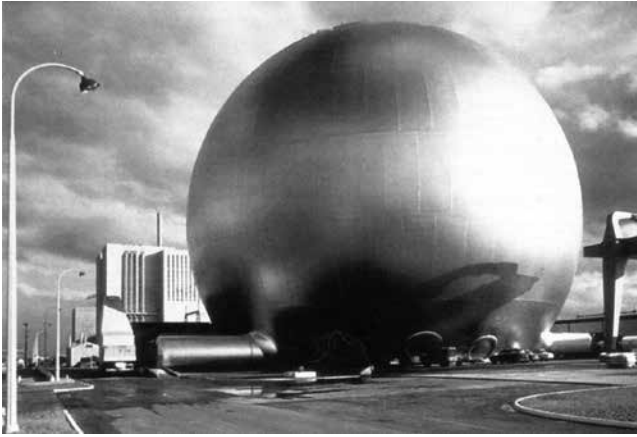


Abb. 12: Pierre Dufau, Reaktor A1 des Centrale nucléaire de Chinon, nahe Avoine (Indre-et-Loire), Frankreich, 1957–1963.

zu schreiben. Als Ausblick auf für den Forschungsstand sollen an dieser Stelle nur stellvertretend folgende Beispiele genannt werden: fotografische Arbeiten von Thorsten Klapsch²⁴ und das in dem vorliegenden Band vorgestellte Projekt von Bernhard Ludewig, der Dokumentarfilm *Unter Kontrolle* (2011) von Volker Sattel sowie die Betrachtung der kulturell-visuellen (Ko-)Produktion der Kernenergie²⁵ von Anna Veronika Wendland. Die Wirkung der Kraftwerksbauten in der Landschaft kann als erhaben oder als verschandelnd, die technische Natur der Anlagen als Entfremdung oder als Triumph dargestellt werden. Begonnen bei der euphorischen Repräsentation von Kernenergie in den 1950er Jahren über die kritischen Darstellungen seit der 1970er Jahre ist die Frage nach Kernkraft und Ästhetik immer ein weites Feld. Es kann jedoch gesagt werden, dass nach der Phase der Euphorie und nach der Phase der Ablehnung nun auch in der ästhetischen Rezeption eine Phase der Historisierung eingesetzt hat. Ein weiteres Beispiel hierfür ist das Projekt der *Atomteller* von Mia Grau und Andree Weissert: Die in Delfter Bau gemalten Darstellungen der Deutschen Kernkraftwerke auf Porzellantellern orientieren sich eindeutig an historischen Stücken von Fayence-Ware (Abb. 13). Der Reiz des Projekts liegt im Kontrast zwischen der nostalgisch-lieblichen Anmutung der Dekoteller und dem industriell-unheimlichen und potenziell bedrohlichen Wesen der abgebildeten Kraftwerke. Bemerkenswert hieran ist vor allem, dass der konzeptuelle Twist um den anheimelnden Charakter der Atomteller stärker im Vordergrund steht als eine plakative Kritik. Dies ist ein Zeichen dafür, dass sich die Bedeutung der Kernkraft gerade wandelt.²⁶ Waren die Debatten der Vergangenheit überschattet vom Zwang zur Positionierung, pro oder contra, so beginnt



Abb. 13: Mia Grau und Andree Weissert: Atomteller, hier Kernkraftwerk Philippsburg.

gerade eine differenzierte Auseinandersetzung. Auch die Atomteller können als Hinweis auf den Denkmalwert von Kernkraftwerken verstanden werden.

Literatur

- Wilfried FELDENKIRCHEN, Die Beziehungen zwischen Siemens und Westinghouse von den Anfängen bis zur Gegenwart, in: Michael WALA (Hrsg.), *Gesellschaft und Diplomatie im transatlantischen Kontext: Festschrift für Reinhard R. Doerries zum 65. Geburtstag* (Usa-Studien, Band 11), Stuttgart 1999, S. 329–344.
- Gabrielle HECHT und Michel CALLON, *The Radiance of France: Nuclear Power and National Identity after World War II*, Cambridge, Mass 2009.
- Susanne HILGER, „Amerikanisierung“ deutscher Unternehmen: Wettbewerbsstrategien und Unternehmenspolitik bei Henkel, Siemens und Daimler-Benz (1945/49–1975), Stuttgart 2004.
- Thorsten KLAPSCH, *Atomkraft*, Mannheim 2012.
- Christian KÜPPERS und Christoph PISTNER, Funktionsweise – Von Kernreaktoren und Reaktorkonzepten, in: Julia Mareike NELES und Christoph PISTNER (Hrsg.), *Kernenergie – Eine Technik für die Zukunft?* Darmstadt 2012, S. 63–89.
- Paul LAUFS, *Reaktorsicherheit für Leistungskernkraftwerke: die Entwicklung im politischen und technischen Umfeld der Bundesrepublik Deutschland*, Heidelberg 2013.
- Claude PARENT, *Les maisons de l'atome*, Paris 1983.
- Christoph PISTNER, *Energie der Kerne – Physikalische Grundlagen der Kernenergienutzung*. In: Julia Mareike

- NELES und Christoph PISTNER (Hrsg.), *Kernenergie – Eine Technik für die Zukunft?* Darmstadt 2012, S. 21–39.
- Joachim RADKAU, *Aufstieg und Krise der deutschen Atomwirtschaft 1945–1975: verdrängte Alternativen in der Kerntechnik und der Ursprung der nuklearen Kontroverse*, Reinbek bei Hamburg 1983.
- Joachim RADKAU und Lothar HAHN, *Aufstieg und Fall der deutschen Atomwirtschaft*, München 2013.
- Karl STRAUSS, *Wärme- und Atomkraftwerke: Von den Anfängen im 19. Jahrhundert bis zur Endphase ihrer Entwicklung*, Berlin 2016.
- Kevin THERIAULT, *Boiling Water Reactors*, in: Kenneth D. Kok (Hrsg.), *Nuclear Engineering Handbook, Second Edition*, Boca Raton 2016, S. 87–139.
- Anna Veronika WENDLAND, *Tschernobyl: (K)eine visuelle Geschichte. Nukleare Bilderwelten in der Sowjetunion und ihren Nachfolgestaaten*, in: Melanie Arndt (Hrsg.), *Politik und Gesellschaft nach Tschernobyl*, Berlin 2016, S. 182–210.
- Anna Veronika WENDLAND, *Reaktorsicherheit als Zukunftskommunikation. Nuklearpolitik, Atomdebatten und kerntechnische Entwicklungen in Westdeutschland und Osteuropa 1970–2015*, in: Christoph KAMPMANN, Angela MARCINIAK, Wencke METELING, „Security turns its eye exclusively to the future“. *Zum Verhältnis von Sicherheit und Zukunft in der Geschichte*, Baden-Baden 2018, S. 305–352.

Abstract

Nuclear Power Plants

Construction Task, Building Types, History

In order to be able to talk about nuclear power plants as objects of architectural history, knowledge of the existing artefacts is necessary. In all buildings erected for nuclear energy, however, the general understanding of the buildings is closely connected with the actual nuclear technology. The vocabulary used to describe nuclear installations lies far beyond the language of monument preservation, and a certain familiarity with the basic concepts of nuclear technology is indispensable for discussing the monument value of nuclear power plants. However, it would be absurd if any reflection on nuclear power plants were preceded by a special course on nuclear technology. The aim of this article is therefore not to deal with the power plant structures in detail, but rather to provide an introduction to the topic. The presentation of the construction task and the construction types is a cursory overview. Construction types of nuclear power plants are generally classified according to the different types of nuclear reactors, which is why the distinguishing features for reactor types are briefly presented. Today it can be said that the nuclear power plant with light water reactor has established itself as the most common construction type. However, a large number of reactor types have been tested and even a number of types have been further developed for commercial operation. The two types of light water reactors are of particular relevance for the history of nuclear energy in Germany: pressurised water reactors and boiling water reactors.

The rapid pace of its development is particularly remarkable about the nuclear power plant as construction task and its history. Only a few decades passed between the first artificial continuous chain reaction and full-size power plants. The leaps between the individual development stages were correspondingly large. The first experimental reactors were built in the 1940s; a proof-of-concept for nuclear power generation followed in 1951. The first electricity from nuclear energy was fed into a public grid in 1954; by 1956 the block sizes had grown to about 50 MW. In 1957, the first privately constructed nuclear power plant was connected to the grid; during the 1960s, the unit sizes grew to over 1,000 MW.

This article concentrates on the development context of the light water reactors commonly used in Western Germany, the development of which was closely linked to the development of pressurised and boiling water reactors in the USA. Relevant for the history of nuclear power is also its aesthetics and the history of the reception of power plant structures. The complexity of this subject area cannot be taken into account in the context of this article. One example from the field of current artistic reception will therefore serve as a representative of this topic, which is also highlighted in this article.

- ¹ Bei der Bezeichnung der Neutronen wird zwischen schnellen und thermischen Neutronen unterschieden. Beide Bezeichnungen verweisen auf die Energie der Neutronen, da sich deren kinetische Energie auch als Wärmeenergie ausdrücken lässt. Entspricht die Energie der Neutronen der Wärme der umgebenden Moleküle, so spricht man von thermischen Neutronen. Entsprechend der Einordnung der Neutronen können auch die Reaktoren je nach Verwendung bezeichnet werden – als schnelle Reaktoren oder als thermische Reaktoren.
- ² Im Falle eines mit Thorium betriebenen Reaktors wird Thorium kurzzeitig in ein Uran-Isotop umgewandelt, weswegen an der eigentlichen Kernspaltung auch wieder Uran beteiligt ist, obwohl der Brennstoff Thorium heißt. Siehe KÜPPERS, PISTNER, Funktionsweise, 2012, S. 83 ff.
- ³ PISTNER, Energie der Kerne, 2012, S. 34 ff.
- ⁴ HECHT, CALLON, The Radiance of France, 2009, S. 271 ff.
- ⁵ In der Sowjetunion wurden sowohl Leichtwasserreaktoren als auch Grafitreaktoren entwickelt.
- ⁶ Bei den in Deutschland errichteten Anlagen handelt es sich bis auf zwei Ausnahmen um Kraftwerke mit Leichtwasser-Reaktoren. Die beiden Ausnahmen sind folgende: Der Thorium-Hochtemperaturreaktor in Hamm-Uentrop verwendete als Kühlmittel Helium und als Moderator Grafit. Der Schnelle Brüter in Kalkar verwendete als Kühlmittel flüssiges Natrium und besaß keinen Moderator – daher der Name Schneller Brüter. Siehe KÜPPERS, PISTNER, ebd., S. 76 ff.
- ⁷ Kühltürme können bei allen thermischen Kraftwerken – konventionell oder nuklear – je nach Standort und Verbindung zu einem Gewässer notwendig sein. Dennoch sind in der Geschichte der Kernenergie Kühltürme und Kernkraftwerke eng miteinander verbunden.
- ⁸ Weitere Elemente, wie etwas Kühlwasserein- und -auslauf oder Transformatorenanlage sind in der Abb. 1 nicht klar erkennbar und wurden daher von dieser Aufzählung ausgenommen.
- ⁹ In einem Druckwasserreaktor deutscher Bauart beträgt der Primärkreis-Betriebsdruck 156 bar (15,6 MPa), die mittlere Kühlmitteltemperatur liegt bei 310 Grad Celsius, der Frischdampfdruck im Sekundärkreislauf liegt bei rund 66 bar, die FD-Temperatur bei 283 Grad Celsius.
- ¹⁰ Eine ausführliche Darstellung der Entwicklung der Containmentkonzepte für Leichtwasserreaktoren siehe LAUFS, Reaktorsicherheit, 2013, S. 275 ff.
- ¹¹ Es wurden auch Mischformen gebaut, wie bei den sowjetischen VVER-1000-Blöcken, wo eine vorgespannte Stahlbeton-Konstruktion die beiden Funktionen vereint.
- ¹² LAUFS, ebd., S. 273 ff.
- ¹³ Diese sind durchaus typisch für die deutschen Anlagen der 1980er Jahre, die man gegen Terrorismus und Demonstranten abschirmen wollte. Zur selben Zeit wurden kerntechnische Anlagen in anderen Ländern wesentlich weniger aufwendig gesichert.
- ¹⁴ Einer Schnittdarstellung der Anlage lässt sich entnehmen, dass alle Funktionen des Kraftwerks – einschließlich Reaktor und Stromerzeugung – in einem einer Basilika ähnlichen „dreischiffigen“ Gebäude untergebracht wurden. Siehe: <http://www.aes1.ru/schema> (abgerufen am 04.04.2018).
- ¹⁵ Das Bild des sphärischen Reaktorgebäudes trifft in Großbritannien nur auf den Dounreay Fast Breeder Reactor (1959) und den Druckwasserreaktor Block B des Kernkraftwerk Sizewell (1988–1995) zu.
- ¹⁶ THERIAULT, Boiling Water Reactors, 2016 S. 87 ff.
- ¹⁷ LAUFS, ebd., 2013, S. 318.
- ¹⁸ Bei den in Deutschland errichteten Siedewasserreaktoren nach Bauweise des GE-BWR sind die Containments von einem Betonmantel umgeben, der ohne Zwischenraum direkt auf dem Metall der Schale des Sicherheitsbehälters sitzt. Siehe LAUFS, ebd., S. 344.
- ¹⁹ RADKAU, Aufstieg und Krise, 1983, S. 262 ff.
- ²⁰ STRAUSS, Wärmekraftwerke, 2016, S. 197 ff.
- ²¹ FELDENKIRCHEN, Die Beziehungen zwischen Siemens und Westinghouse, 1999, S. 340 f.
- ²² HILGER, „Amerikanisierung“ deutscher Unternehmen, 2004, S. 250.
- ²³ Parents Anspruch bezog sich insbesondere auf die Gestaltung des Verhältnisses von großen Mehrblock-Anlagen zu der sie umgebenden Landschaft. Beispiele hierfür sind die Entwürfe für Chooz und Cattenom. Siehe PARENT, Les maisons de l'atome, 1983, S. 82, 108.
- ²⁴ KLAPSCH, Atomkraft, 2012.
- ²⁵ WENDLAND, Tschernobyl, 2016.
- ²⁶ Das hat auch damit zu tun, dass man in Deutschland nach dem Abwicklungsbeschluss mit dem Historisieren sehr rasch beginnen konnte. Siehe RADKAU, HAHN, Aufstieg und Fall, 2013, sowie WENDLAND, Reaktorsicherheit als Zukunftskommunikation, 2018.