

Zeitschrift:	Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber:	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band:	105 (1987)
Heft:	21
Artikel:	Das Kernkraftwerk Leibstadt in Betrieb: Erfahrungen und ihre Auswirkungen auf zukünftige KKW-Projekte
Autor:	Skinner, Robert / Diener, Werner
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-76596

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 15.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Das Kernkraftwerk Leibstadt in Betrieb

Erfahrungen und ihre Auswirkungen auf zukünftige KKW-Projekte

Von Robert Skinner und Werner Diener, Baden

Nach einem anforderungsreichen Inbetriebnahme-Programm wurde das schweizerische Kernkraftwerk Leibstadt Mitte Dezember 1984 dem Kunden für den kommerziellen Betrieb übergeben. Die Resultate der ersten 15 Monate Betrieb sind gut, wurde doch eine höhere Leistung als garantiert nachgewiesen und eine hohe Verfügbarkeit erreicht. Zudem liess sich die Reaktorleistung für den Dauerbetrieb erhöhen, was – zusammen mit dem besseren Wirkungsgrad – eine Steigerung der Netto-Nennleistung der Anlage von 942 MW auf 990 MW ermöglichte.

Der Beitrag beschreibt die Erfahrungen in der Schlussphase der Erstellung, beim Inbetriebnahme-Programm und während des ersten Betriebsjahrs. Außerdem geht er auf die Hauptursachen für die Kosten- und Terminüberschreitungen während der Projektabwicklung ein und zeigt die für künftige Projekte daraus gezogenen Lehren und Beschlüsse auf.

Kurze Anlagebeschreibung

Nuklearer Teil

Der General Electric-Siedewasserreaktor vom Typ BWR 6 wird mit Leichtwasser moderiert und gekühlt und hat von unten eingeführte Regelstäbe sowie zwei externe Umwälzpumpen.

Das Containment ist vom Typ Mark III mit Druckabbausystem, welches aus einem mit Stahldeckel verschlossenen Betonbehälter (Drywell), verbunden mit einer ringförmigen Wasserkammer besteht (Bild 1). Falls eine grosse Leckage im Primärsystem entsteht, so wird der Dampf in die Wasserkammer geführt, wo er kondensiert. Dabei wird das freistehende Stahlcontainment vor Überdruck geschützt.

Im Reaktorhilfsanlagengebäude, das die südliche Hälfte des Reaktorgebäudes umschliesst, sind alle für die Aufrechterhaltung des Kühlbetriebes bei abgeschaltetem Reaktor notwendigen Hilfseinrichtungen angeordnet. Zudem befinden sich in diesem Gebäude die zwei voneinander unabhängigen Notleitstände.

Um ein automatisches Abschalten und Abkühlen des Reaktors z.B. nach einem Sabotagefall zu gewährleisten, wurde kurz nach Baubeginn ein weiteres Notkühlungssystem, das sogenannte SEHR-System (SEHR = Special Emergency and Heat Removal) eingeführt. Dieses System ist unterirdisch angeordnet und gegen Einwirkungen von außen geschützt; es hat seine eigene redundante Strom- und Kühlmittelversorgung.

Turbine und Generator

Der vom Reaktor erzeugte Satt dampf gelangt über vier Frischdampfleitungen zu den vier kombinierten Abschluss- und Regelventilen der Turbine. Von der Hochdruckteilturbine wird der Dampf den kombinierten Wasserab-

scheider-Überhitzern zugeleitet und anschliessend in den drei Niederdruckteilturbinen entspannt und im Kondensator niedergeschlagen.

Der zweipolare Generator ist mit der Turbine starr gekuppelt. Es wird eine gemischte Kühlung angewendet: Rotorwicklung, Luftspalt und Statorblechpaket werden mit Wasserstoffgas, Statorwicklung und Ableitung mit Wasser gekühlt. Der Erregung und Regelung des Generators dient ein statisches Erreger system mit Thyristoren.

Kühlsysteme

Der Kühlturm ist der auffallendste Bestandteil des Hauptkühlwassersystems, das der Rückkühlung des im Kondensator erwärmen Wassers dient. Vier Pumpen saugen das Kühlwasser aus dem Kühlturmbecken an und fördern es durch unterirdische Rohrleitungen zum Kondensator und zurück zum Kühlturm.

Ein Nebenkühlwassersystem kühl t die Zwischenkühlkreisläufe der Anlage, sowie verschiedene, direkt angeschlossene Verbraucher. Das Nebenkühlwassersystem ist auf zwei voneinander unabhängige Stränge aufgeteilt.

Jedes der drei Notkühlwassersysteme verfügt über einen eigenen Notkühl turm und kann in extremen Notfällen die wichtigsten Funktionen des Nebenkühlwassersystems übernehmen.

Elektrische Anlagen

Die vom Turbogenerator erzeugte Energie wird mit einer Spannung von 27 kV über einen Generatorschalter und drei einphasige Maschinentransformatoren zur Freiluftschaltanlage geführt. Die Anlage ist über zwei Freileitungen zu den Unterstationen Laufenburg und Beznau an das 380-kV-Verbundnetz angeschlossen.

Die Eigenbedarfsanlagen, welche aus Verfügbarkeitsgründen in zwei von ein-

ander unabhängige Kanäle getrennt sind, versorgen die kraftwerkinternen Verbraucher in allen Betriebs-, Revisions- und Störfällen mit elektrischer Energie.

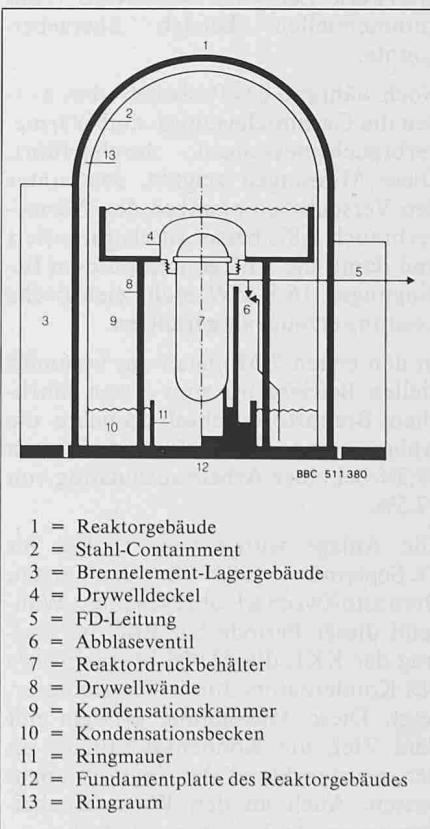
Die Entnahmestelle liegt zwischen Generatorschalter und Maschinentransformator. Dieses Konzept erlaubt das Anfahren der Anlage direkt aus dem 380-kV-Netz ohne Anfahrtstransformator.

Die Notstromanlagen, die jederzeit ein sicheres Abfahren und Nachkühlen des Reaktors gewährleisten, sind in insgesamt fünf unabhängige Kanäle unterteilt. Jeder der fünf Kanäle kann von seiner eigenen Dieselgruppe versorgt werden.

Leittechnik

Alle für den Kraftwerkbetrieb notwendigen Systeme werden automatisch oder wahlweise manuell vom Hauptkommandoraum aus gesteuert. Die Notsysteme treten automatisch in Funktion. Bei Zerstörung des Hauptkommandoraums ist die Bedienung von den im Reaktorhilfsgebäude befindlichen Notsteuerstellen aus gewährleistet. Die SEHR-Systeme laufen vollautomatisch und autonom; eine Beeinflussung des einmal gestarteten Systems von aussen ist während einer im voraus bestimmten Zeit nicht möglich.

Bild 1. Schnitt durch das Reaktorgebäude und Mark-III-Containment



Die Mess- und Steuerfunktionen werden grösstenteils mit elektronischen Bauelementen ausgeführt.

Eine Prozessrechneranlage verarbeitet und ordnet Signale aus der Anlage zu bedienungsfreundlichen Informationen und unterstützt die Bedienungsmannschaft mit verschiedenen Berechnungen.

Start-Up-Programm und kommerzieller Betrieb

Das 1981 revidierte Terminprogramm für die Erstellung der Anlage konnte nach Abschluss der Vorinbetriebnahmeversuche Mitte Februar 1984, 2 Wochen vor dem 1981 eingeplanten Termin, abgeschlossen werden. Damit konnten die Behörden am 20. Februar die Freigabe zum Brennstoffladen erteilen. Am 9. März 1984 wurde der Reaktor erstmals kritisch. Nach mehreren Null- und Niedrig-Leistungsversuchen der Reaktorsysteme wurde zum ersten Mal nuklear erzeugter Dampf zur Turbine geführt und Strom erzeugt. Die Leistungserhöhung bis Vollast des Kraftwerkes erfolgte schrittweise, wobei jeder Schritt umfangreiche Versuche der Nuklear- und Sicherheitssysteme einschloss. Am 16. September 1984 wurde erstmals Vollast erreicht. Der Probeflug wurde so abgeschlossen, dass der Lieferant BBC/Getesco die Anlage am 15. Dezember 1984 der Kernkraftwerk Leibstadt AG (KKL) zum kommerziellen Betrieb übergeben konnte.

Noch während des Probeflugs wurden die Garantieleistungs- und Wärmeverbrauchsmessungen durchgeführt. Diese Messungen zeigten, dass unter den Versuchsbedingungen der Wärmeverbrauch 1,8% besser ist als garantiert und damit die Anlage unter diesen Bedingungen 16,5 MW mehr elektrische Leistung erzeugt als garantiert.

In den ersten 7 Monaten des kommerziellen Betriebs bis zum ersten jährlichen Brennstoffwechsel erreichte die Anlage eine Zeitverfügbarkeit von 99,3% bei einer Arbeitsausnutzung von 97,5%.

Die Anlage wurde vom 15. Juli bis 11. September 1985 für den ersten Brennstoffwechsel abgeschaltet. Während dieser Periode hat BBC im Auftrag der KKL die 42 000 Messingrohre des Kondensators durch Titanrohre ersetzt. Diese Massnahme erfolgte mit dem Ziel, die Kondensatoranlage an den neusten Stand der Technik anzupassen. Auch an den Wasserabscheidern waren Änderungen notwendig.

Am 11. September 1985 konnte das Kraftwerk den Betrieb wieder aufnehmen. Aufgrund der guten Betriebs- und Versuchsergebnisse hat die Sicherheitsbehörde Anfang Dezember 1985 die Erlaubnis erteilt, die thermische Leistung des Reaktors um 4,2% zu erhöhen. Damit war es möglich, ohne Änderungen an der Anlage die Nennleistung auf 990 MW festzulegen. Seit Anfang Dezember 1985 liefert das Kraftwerk dank erhöhter Reaktorleistung und gutem Anlagewirkungsgrad bei günstigen Kühlwasserbedingungen mehr als 1000 MW ins Netz.

Im ersten Betriebsjahr produzierte das KKL über 6,7 Mia kWh, was einer Arbeitsausnutzung von 81% entspricht, und deckte damit rund 17% des gesamten schweizerischen Stromverbrauches. Die Zeitverfügbarkeit lag bei 82,6%.

Ursachen der Projektverlängerung und Mehrkosten

Bei der Abwicklung des Projektes gab es leider Termin- und Kostenüberschreitungen. Die Anlage wurde dem Kunden 11 Jahre nach Inkraftsetzung des Liefervertrages zum kommerziellen Betrieb übergeben. Die Projektabwicklung hat damit mehr als doppelt so lange gedauert als ursprünglich geplant (Bild 2); parallel dazu stiegen die Kosten um nahezu das 2½-fache. Um diese Überschreitungen verstehen zu können, muss bis zum Zeitpunkt der Inkraftsetzung des Liefervertrages zurückgeblendet werden:

Am 1. Dezember 1973 vergab die KKL AG als Resultat der Konkurrenzevaluierung den Auftrag für die schlüsselfertige Erstellung des Kernkraftwerks Leibstadt an das Konsortium BBC/Getesco. Das Konsortium hatte kurz vorher unter ähnlichen Vertragsbedingungen das erste Siedewasserkraftwerk in der Schweiz, das 326 MW Kernkraftwerk Mühleberg, ohne nennenswerte Kosten- oder Terminabweichungen an den Kunden zum kommerziellen Betrieb übergeben. Zum Zeitpunkt der Vertragsunterzeichnung wurde aufgrund dieser Erfahrung für Leibstadt eine Bauzeit von 58 Monaten und der aufgrund der Konkurrenz-Evaluation entsprechende Pauschalpreis vereinbart; unter den 1973 herrschenden Bedingungen bezüglich Stand von Wissenschaft und Technik und den Gepflogenheiten im Bewilligungsverfahren waren Betreiber und Lieferant überzeugt, dass die vertraglichen Bedingungen eingehalten werden können.

Zum Zeitpunkt des Vertragsbeginns nahm der öffentliche Widerstand gegen

Kernkraftwerke stark zu. Andererseits wurde in der Schweiz parallel zu Leibstadt eine andere Anlage erstellt, bei der die sicherheitstechnischen Vorstellungen gegenüber der im Land des Reaktorherstellers für KKL geltenden Sicherheitsphilosophie abwichen. Daher verstärkte sich der Einfluss der Behörden auf die Projektabwicklung zusehends, speziell bezüglich der sicherheitstechnischen Aspekte und der Art der Qualitätsüberwachung. Dadurch waren die Voraussetzungen für eine preis- und termingerechte Erstellung der Anlage nicht mehr gegeben. Bereits kurz nach Abschluss des Werkvertrages stellte sich eine mehr als 2jährige Verzögerung bei der Erteilung der ersten Baubewilligung ein. Weitere Verzögerungen folgten.

Wie Untersuchungen, welche während der vergangenen 3 Jahre in Zusammenarbeit mit Betreibern, Behörden und Ingenieur-Büros sowie BBC intern durchgeführt wurden, ergaben, waren folgende 5 Gründe die Hauptursachen für die Termin- und Kostenüberschreitungen:

- Die ungenügende Baureife des Projektes bei Baubeginn
- Das den neuen Gegebenheiten angepasste schweizerische Bewilligungsverfahren
- Die während der Abwicklung des Projektes erfolgten Anforderungssteigerungen an Qualitätsicherung und Sicherheit
- Die Änderung der Markt-Situation für nukleare Anlagen und Komponenten
- Die langen Entscheidungswege für technische und finanzielle Beschlüsse.

Im folgenden werden diese 5 Punkte sowie Massnahmen zur Verhinderung solcher Termin- und Kostenüberschreitungen bei künftigen Projekten erläutert.

Ungenügende Baureife des Projektes bei Baubeginn

Der BWR-6-Reaktor und vor allem das Mark-III-Containment kamen bei KKL erstmals zur Aufführung; weitere ähnliche Anlagen wurden zwar zum gleichen Zeitpunkt verkauft (USA, Taiwan, Spanien), es gab jedoch keine bereits erstellten oder in Betrieb befindlichen Anlagen dieses Typs. Für Leibstadt wurde u.a. erstmals ein freistehendes Stahl-Containment konzipiert, während die übrigen Anlagen mit einem Eisenbeton-Containment und Stahlliner erstellt wurden.

Auch wenn die konzeptionelle Auslegung gut durchdacht und funktions-

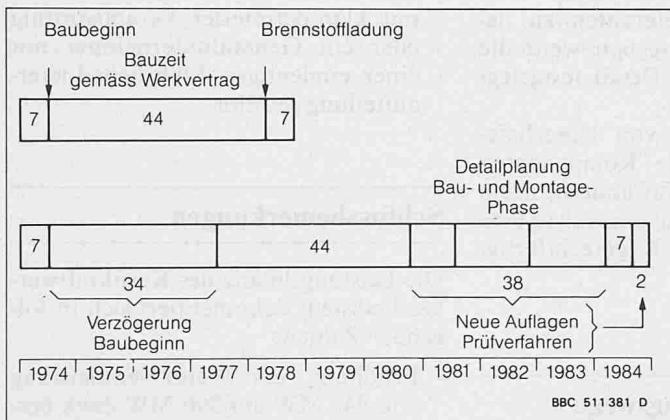


Bild 2. Termin-Verlauf/Verzögerungen

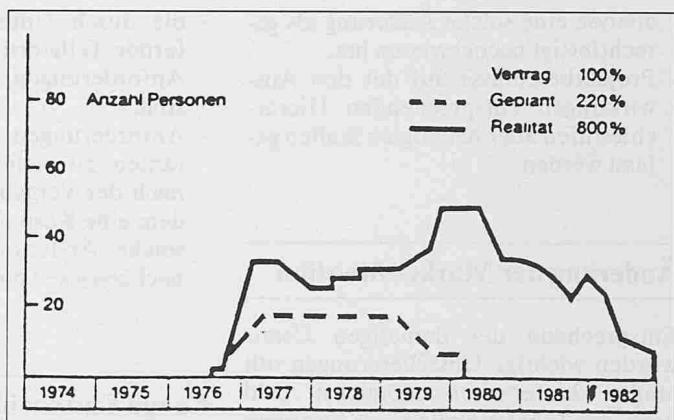


Bild 3. Planung der Rohrleitungen (Sekundäranlage), Personalaufwand

tüchtig war, traten doch bei der Detailauslegung viele Machbarkeitsprobleme auf, denn Versuche und Entwicklungen waren, wie zum damaligen Zeitpunkt im Kernkraftwerkbau durchaus üblich, noch im Gange, als die Anlage verkauft wurde und die Detailkonstruktionsphase begann. Teilweise führten Resultate dieser parallel laufenden Arbeiten zu Änderungen während der Projektabwicklung. Diese Änderungen hätten ohne grosse terminliche Auswirkungen in das Projekt einfließen können, wenn nicht gleichzeitig die Sicherheitsbehörden ihre eigene Projektbearbeitung wesentlich vertieft hätten und die Nachweistiefe, verglichen mit der Abwicklung früherer Projekte, nicht markant angestiegen wäre.

Unsere Antwort zur Bewältigung solcher Probleme lautet:

- Erstellung von Anlagen nach Muster einer bereits fertiggestellten Referenz-Anlage
- Festlegen und Einfrieren aller Anforderungen während der intensiven Planungsphase vor Baubeginn.

Das Bewilligungsverfahren

Zur Zeit der Inkraftsetzung des Liefervertrages gingen Betreiber und Lieferant davon aus, dass die Baubewilligung gemäss Atomgesetz im Frühjahr 1974 erteilt würde. Auf diesem Termin basierte die vereinbarte Lieferfrist von 58 Monaten. Tatsächlich wurde dann aber die erste Teilbaubewilligung erst rund 1½ Jahre und die zweite erst 3 Jahre nach dem angenommenen Termin erteilt; wobei die Erteilung der zweiten Teilbaubewilligung (Verbindung Reaktorgebäude mit Maschinenhaus) für die Bauabwicklung massgebend war. Ein wesentlicher Grund für diese Verzögerung war die gleichzeitige Bearbeitung der Bewilligung für den Bau eines zweiten Kernkraftwerkes der 900 MW-Klasse. Ebenso hatte das Entstehen einer

grossen Zahl neuer behördlicher Regelwerke eine stark verzögernde Wirkung. Die Haupt-Charakteristika des schweizerischen Bewilligungsverfahrens sind:

- Das Vorschlagswesen. Das Vorschlagswesen beruht darauf, dass die Behörden nur Schutzziele festlegen und nicht detaillierte Vorgaben gegenüber den Herstellern machen. Den Lieferanten wird damit eine gewisse Freiheit gegeben, eigene Lösungen zu verwirklichen.
- Das Verfahren kleiner Freigabeschritte. Mit der Erteilung der formalen Baubewilligung kann mit der Fabrikation oder dem Bau noch nicht begonnen werden. Die schweizerischen Behörden behalten sich vor, den Bau der Anlage in einzelnen Schritten «freizugeben», d.h. für den Erbauer der Anlage, dass ohne diese Freigaben keinerlei Tätigkeiten möglich sind. Die Voraussetzung für die Erteilung einer Freigabe ist, dass sich die Behörde durch detaillierte Überprüfung der Unterlagen des Herstellers von der Qualität und Richtigkeit der Auslegung überzeugt hat.

Das bei KKL erstmals angewandte Systemmontage-Freigabeverfahren verlangte zudem, dass alle relevanten Eigenschaften, Daten, Referenzangaben usw. für ein gesamtes System den Behörden vor Montagebeginn nochmals eingereicht werden mussten.

Enorme Mehrkosten und Verzögerungen bei der Abwicklung verursachte schliesslich das von den Behörden erstmals bei der Erstellung eines Kernkraftwerkes verlangte Befestigungskonzept. Dieses stellt die anforderungsge-rechte Auslegung der Verbindungselemente zwischen Gebäudestrukturen und Systemteilen sicher. Die Einführung des Befestigungskonzeptes hat zwar unbestritten zur Erhöhung der Sicherheit für die Anlage beigetragen. Unglücklicherweise erfolgte jedoch die Forderung nach einem solchen Konzept erst, als über 80% der Bauarbeiten

abgeschlossen waren, und zudem nahm die Erarbeitung und Genehmigung dieses Konzeptes übermäßig viel Zeit in Anspruch.

BBC kann als Hersteller das Bewilligungsverfahren nicht direkt beeinflussen, hat jedoch durch Mitarbeit in einer Arbeitsgruppe, bestehend aus Betreibern, Behörden, Lieferanten und Ingenieurbüros, zu erreichen versucht, dass für zukünftige Anlagen der Schweiz wie folgt verfahren wird:

- das Bewilligungsverfahren muss vereinfacht werden
- der Bewilligungsablauf, speziell die Anzahl Freigabeschritte, ist vor Baubeginn festzulegen.

«Rollende» Anforderungssteigerung

Das Projekt entsprach im Zeitpunkt der Auftragsvergabe dem Stand der amerikanischen Sicherheitstechnik. Bevor das Projekt Leibstadt zur Begutachtung zu den schweizerischen Sicherheitsbehörden kam, hatten diese ein anderes KKW-Projekt behandelt, das der deutschen Sicherheitstechnik entsprach, welche andersartige und teilweise weitergehende Sicherheitsmaßnahmen als die amerikanische vorsah. Die Behörden verlangten deshalb für Leibstadt eine Anpassung der Sicherheitsmaßnahmen. In einigen Bereichen (z.B. bei der beschriebenen Montage- und Befestigungsfreigabeprozess sowie in den anschliessend beschriebenen Bereichen) gingen die Forderungen noch wesentlich weiter.

Um die Probleme der «Rollenden» Anforderungssteigerung zu vermeiden, sollten

- die Anforderungen an die Anlage im Detail vor Baubeginn spezifiziert werden,
- Anforderungen nur geändert werden, nachdem eine Kosten-/Nutzen-

- analyse eine solche Änderung als gerechtfertigt nachgewiesen hat,
- Projektbeschlüsse auf der den Auswirkungen entsprechenden Hierarchiestufen aller beteiligten Stellen gefasst werden.

Änderung der Markt-Situation

Entsprechend der damaligen Usanz wurden wichtige Unterlieferungen mit langen Lieferzeiten möglichst bald nach der Inkraftsetzung des Vertrages vergeben. Zu dem Zeitpunkt hatten Unterlieferanten gute Aussichten auf eine ausreichende Anzahl gewinnbringender Bestellungen in einer gesunden Konkurrenzsituation; anhand der damaligen Kenntnisse waren keine Störungen in der Bestellungsabwicklung zu erwarten. Die verschiedenen Verträge wurden entsprechend abgefasst.

Mit dem zunehmenden öffentlichen Widerstand gegen Kernkraftwerke in der Periode der Auftragsabwicklung ging die Anzahl der Bestellungen zurück und gleichzeitig erschwerte sich die Abwicklung von bestehenden Aufträgen. Dies führte dazu, dass der Nuklearmarkt für viele Unterlieferanten nicht mehr attraktiv war. Für den Ersteller der Anlage bedeutete dies, dass Unterlieferanten-Verträge annulliert wurden, die Anzahl Unterlieferanten zurückging, Unterlieferantemehrosten übernommen werden mussten und vertragliche Liefertermine nicht eingehalten werden konnten.

Um die Probleme der «Änderung der Markt-Situation» zu vermindern, werden wir:

- nur Unterlieferanten engagieren, welche ein gutes nukleares «Know-how» und eine langfristige Unternehmungs-Strategie im nuklearen Bereich haben,

- die durch Unterlieferanten zu liefernde Teile erst vergeben, wenn die Anforderungen im Detail festgelegt sind,
- Anforderungen an von Unterlieferanten zu liefernde Komponenten nach der Vergabe nur ändern, nachdem eine Kosten-Nutzenanalyse eine solche Änderung als gerechtfertigt nachgewiesen hat.

mit klar definierter Verantwortung oder ein Generalunternehmer mit einer eindeutigen Mehrheits-Lieferaufteilung gewählt.

Schlussbemerkungen

Die Leistungsbilanz des Kernkraftwerkes Leibstadt dokumentiert sich in folgenden Zahlen:

- Erhöhung der Netto-Nennleistung von 942 MW auf 990 MW dank besserem Wirkungsgrad der Anlage und Erhöhung der Reaktorleistung,
- Arbeitsausnutzung im ersten Betriebsjahr: 81%.

In Anbetracht der geplanten 9wöchigen Stillstandsdauer für den Brennstoffwechsel und die erste Revision bedeutet die hohe Arbeitsausnutzung, dass das Kraftwerk in der übrigen Zeit praktisch im Dauer-Vollast-Betrieb stand.

Die Tatsache, dass in den letzten vier Jahren der Projektdauer die Termine durchwegs eingehalten wurden, beweist, dass die bestehende Projektorganisation optimal arbeiten konnte, sobald die Sicherheitsanforderungen definiert und damit die Ausführungsvorgaben klar waren.

Die Ursachen für die Termin- und Kostenüberschreitungen sind erkannt worden. Mit den hier vorgeschlagenen Massnahmen wird es möglich sein, zukünftige Kernkraftwerkprojekte wiederum im vorgegebenen Kosten- und Terminrahmen abzuwickeln.

Adresse der Verfasser: R. Skinner und W. Diener, BBC Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie, 5401 Baden.