



Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH

GRS-Bericht

DIE VERWIRKLICHUNG GESETZLICHER
SCHUTZBESTIMMUNGEN DURCH ANWENDUNG
VON MODELLEN KERNTÉCHNISCHER ANLAGEN

H.-J. Herrmann (GRS) und
D.W. Wildberg (TÜV Baden)



Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH

GRS-Bericht

DIE VERWIRKLICHUNG GESETZLICHER
SCHUTZBESTIMMUNGEN DURCH ANWENDUNG
VON MODELLEN KERNTECHNISCHER ANLAGEN

Hans-Joachim Herrmann (GRS) und
Dieter W. Wildberg (TÜV Baden)

GRS - 11 (August 1978)

Glockengasse 2 · 5000 Köln 1 · Telefon (02 21) 20 68-1 · Telex 8 881 807 grs d

Kurzfassung

Die Planung, Errichtung und Betrieb kerntechnischer Anlagen anhand von Modellen steht in der Bundesrepublik Deutschland noch am Anfang.

Die Verfasser zeigen anhand von Beispielen auf, daß der Gesetzgeber durch die atomrechtliche Gesetzgebung sowie die Gesetze auf dem konventionellen Sektor bereits sehr frühzeitig Schutzbestimmungen sowohl für die Einzelperson in der Anlage als auch für die Menschen in der Umgebung erlassen hat, daß aber bezüglich der Verwirklichung dieser Schutzbestimmungen noch immer Probleme, oft grundsätzlicher Art, bestehen. Als denkbar günstigste Lösung bietet sich hier die Bearbeitung anstehender Fragen mit Hilfe von Modellen an. Unter anderem können solche Bereiche, wie Instandhaltungs- und Prüffreundlichkeit, Einsatz von Fremdpersonal, räumliche Verlegung von Redundanzen, Bergung von Verletzten, Brandvorsorge, Sicherung und Demontage der Anlage, gerade wegen ihrer Vielgestaltigkeit, aber auch wegen übergreifender Forderungen tiefgreifender und umfassender herausgestellt und diskutiert werden.

Es werden Aspekte, die für die Anwendung von Modellen sprechen, herausgearbeitet und es werden in sehr ausführlicher Form die Vor- und Nachteile von Modellen dargelegt. Schließlich werden Modellvarianten, wie sie in den verschiedenen Phasen einer Kernanlage Verwendung finden können, beschrieben und darüber hinaus werden Aussagen über Modellkosten gemacht.

Ein Abschnitt dieses Berichtes beschäftigt sich mit Beispielen aus dem praktischen Einsatz von Modellen: Modelle haben sich im Raffinerie- und Chemieanlagenbau längst bewährt und haben auch ihre Bewährungsprobe in der Kerntechnik bereits bestanden. Dies beweisen Beispiele nicht nur aus dem Inland.

Allgemein muß herausgestellt werden, daß sich die Verfasser bemüht haben, einen möglichst geschlossenen Gesamtüberblick über die Thematik "Anwendung von Modellen in der Kerntechnik" zu geben.

Abstract

In the Federal Republic of Germany, the model-based planning, construction and operation of nuclear facilities is still in its initial stages.

Based on a few examples, the authors show that with the atomic energy legislature and with the laws in the conventional sector, the legislator had enacted requirements at a relatively early stage for the protection of the individual person in the facility and for the population at large in the vicinity of the facility. However, in the realization of these protection requirements, there are still problems, and these are often very basic in nature. The best solution here seems to be to

tackle the problems with the help of models. This would permit subjects like serviceability, testability, use of external personnel, spatial distribution of redundancies, rescue of injured persons, fire protection measures, physical protection and the dismantling of facilities, which are multifarious in nature and have overlapping requirements, to be presented and discussed in greater depth and detail.

The positive aspects of the use of models are presented, and the advantages and disadvantages of models are discussed in detail. Finally, the variety of models, which can be used during the different phases of a nuclear facility, are discussed, and some remarks are made regarding the costs of models.

One section of the report deals with examples of the practical use of models: models have proved themselves in the past in the construction of refineries and chemical plants, and have successfully demonstrated their suitability in the field of nuclear technology. The examples of these need not be limited to those in the Federal Republic of Germany.

It must also be mentioned, in general, that the authors have attempted to give as complete a picture as possible of the use of models in the field of nuclear technology.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. Problemstellungen	1
2. Schutzbestimmungen	2
3. Modelle als Mittel zum Zweck	7
3.1 Aufbau von Modellen	9
3.2 Einige Aspekte für die Anwendung von Modellen	10
3.3 Vorteile von Planungsmodellen	11
3.4 Modellvarianten	13
3.5 Modellkosten	15
3.6 Nachteile der Modelle	15
4. Haben sich Modelle in der Praxis bewährt?	16
5. Zusammenfassung	19
Literaturverzeichnis	20
Verteiler	22

1. PROBLEMSTELLUNGEN

Bei der Deckung des Primärenergiebedarfs in der Bundesrepublik Deutschland wird die Kernenergie trotz gegenwärtiger Kontrollversen eine zunehmend wichtigere Rolle spielen. Mit dem prozentualen Anstieg des Anteils der Kernenergie an der Gesamt-Primärenergieerzeugung wird somit die Zahl derjenigen Personen ansteigen, die während ihrer Tätigkeiten in Kontrollbereichen kerntechnischer Anlagen ionisierender Strahlung ausgesetzt werden. Neben dieser personellen Erhöhung ist ein paralleler Effekt gleicher Präsenz zu verzeichnen: Mit zunehmendem Betriebsalter steigt der Arbeitsaufwand für die Instandhaltung kerntechnischer Anlagen. Aus diesem Grund und auch wegen der dann größeren radioaktiven Ablagerungen und Strahlenintensitäten an den Komponenten wird die Strahlenbelastung größer werden /1/.

Neben diesen zeitlich wirkenden Faktoren gibt es aber bereits schon jetzt Probleme grundsätzlicher Art: Die bisher konzipierten Anlagen lassen bezüglich ihrer Instandhaltungs- und Prüffreundlichkeit immer noch zu wünschen übrig. So führen beispielsweise ungenügend durchdachte Rohrleitungsführungen, zu enge Raumverhältnisse, nicht ausreichende Verkehrswege und Zugangsmöglichkeiten zu Anlageteilen sowie schlechte Transportmöglichkeiten innerhalb der Anlagen zu behindernden und erschwerten Arbeitsbedingungen, die wiederum zu Streßsituationen führen können /2,3,4/. Darüber hinaus werden die den Gutachtern zur Prüfung vorgelegten Unterlagen zu einem Zeitpunkt eingereicht, in dem die kerntechnische Anlage bereits in der Errichtungsphase steht und eine nachträgliche Ertüchtigung aus baulichen Gründen oft nicht mehr möglich ist oder wegen des hohen Strahlenpegels nach Inbetriebnahme unterlassen werden muß. Diese Aspekte können Auswirkungen insofern auf die Betriebssicherheit dieser Anlagen haben, daß Fremdpersonal aus Gründen des Erreichens gesetzlich vorgegebener Grenzwerte für die Dosisbelastungen des Eigenpersonals bei Instandhaltungsarbeiten eingesetzt werden muß. Das Fremdpersonal ist aber im Vergleich zum Eigenpersonal nicht voll mit den Gegebenheiten der Anlagen vertraut, die Arbeiten dauern länger, die Strahldosen werden unnötig hoch und die Zahl der Fehler bei Instandhaltungsarbeiten kann größer werden. Außerdem muß das Fremdpersonal bei der Durchführung von Arbeitsaufgaben ebenfalls durch das Eigenpersonal überwacht werden. Auch hier bestehen z.Z. noch Engpässe.

Auf Grund dieser Erkenntnisse werden Empfehlungen ausgesprochen /5,6/, die - wenn in der Praxis verwirklicht - die aufgezeigten Probleme beseitigen sollen. Natürlich waren von Anlage zu Anlage Fortschritte zu verzeichnen, grundlegende Forderungen bestehen aber auch heute noch.

Nach wie vor steht die Forderung an, daß redundante Systeme aus sicherheitstechnischen Gründen räumlich getrennt sein müssen. Rohrleitungen, in denen radioaktive Medien fließen, sind möglichst an einer Raumseite zu verlegen. Wegen den an strahlenden Armaturen des öfteren notwendig werdenden Instandsetzungsarbeiten sind diese separat oder aber abschirmbar gegenüber der Umgebung anzuordnen. Die Kompaktbauweise sollte aus Gründen der

räumlichen Enge und schlechter Zugänglichkeit vermieden werden. Es müssen Möglichkeiten für einen kurzfristigen Auf- und Abbau von Abschirmungen vorhanden sein. In den "Heißen Werkstätten" sind ausreichende Lagerungs- und Abstellflächen sowie Arbeitsflächen für kontaminierte Gegenstände vorzusehen. In dem Zusammenspiel von Mensch und Anlage ist dem baulichen Faktor zukünftig eine größere Rolle zu widmen, besondere Bedeutung haben hierbei Transport- und Verkehrswege innerhalb der Anlage, Anordnung und Bemessung von Werkstätten und Hygienetrakten. Nicht zu vernachlässigen sind weiterhin auch Bemühungen hinsichtlich ergonomischer Aspekte. Noch müssen häufig Arbeiten in physiologisch ungünstiger Körperhaltung durchgeführt werden. Die Bereitstellung geeigneter Arbeits- und Transportmittel (z.B. Hebezeuge) scheitert oftmals daran, daß die erforderlichen Absetzflächen nicht vorhanden sind. Nur durch Einbindung in die frühestmögliche Planungsphase kann hier Abhilfe geschaffen werden. Bei erschwerten Arbeitsbedingungen sollte die Beseitigung der Ursachen vorrangig gegenüber finanziellen Aufwendungen stehen.

Zusätzlich zu den hier nur angedeuteten Problemen ist die Frage der Bergung von Verletzten nach Unfällen und Störfällen aus Kontrollbereichen kerntechnischer Anlagen zu klären. Überprüft man die zur Verfügung stehenden Ausgänge, Wegdimensionen, Wegführungen und Treppenabmessungen, so genügen diese meist nicht den an sie gestellten Anforderungen. Die Konzepte von Flucht- und Rettungswegen bedürfen daher dringend einer Überholung. Nicht nur bei Instandhaltungs-, sondern auch bei Stilllegungsarbeiten nach Beendigung des bestimmungsgemäßen Betriebes oder nach störfallbedingten Ereignissen sind hohe radiologische Belastungswerte des Personals zu erwarten. Eine vollkommene Demontage setzt daher eine bis ins Detail gehende Vorausplanung hinsichtlich eines stufenweisen zeitlichen system- und anlagebedingten Abrisses sowie eine intensive Schulung des Personals voraus.

Die Bemühungen zur Lösung der hier nur angesprochenen Thematik scheinen, wie bisherige Erfahrungen zeigen, nicht immer sehr erfolgreich zu sein; neben denen aus anderer Sicht sich ergebenden Problemen (z.B. Brandbekämpfung, Sicherheitsmaßnahmen gegen Sabotage) stellen sie nur einen Teil eines Gesamtkomplexes dar.

2. SCHUTZBESTIMMUNGEN

Juristisch hat der Gesetzgeber mit der atomrechtlichen Gesetzgebung sowie den Gesetzen auf dem konventionellen Sektor bereits sehr frühzeitig in diese Problematik eingegriffen und hat damit Wege vorgegeben, die vom Hersteller und Betreiber kerntechnischer Anlagen einzuhalten sind.

Hauptzweck des **A t o m g e s e t z e s** (AtG) ist es, die Bevölkerung und die in den kerntechnischen Anlagen beschäftigten Personen vor den Gefahren der Kernenergie und den schädlichen Wirkungen ionisierender Strahlen zu schützen (Schutzzweck des Atom-

gesetzes). Nach § 7 Abs. 2 Nr. 3 AtG wird verlangt, daß die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden durch die Errichtung und den Betrieb der Anlage getroffen ist. Demzufolge verlangt die Genehmigungsbehörde, daß eine kerntechnische Anlage mit allen erforderlichen Schutzsystemen und Sicherheitseinrichtungen versehen wird. Diese sind, je nach Anforderung, mehrfach und räumlich voneinander getrennt anzuordnen.

§ 12 AtG Abs. 1 Nr. 1 und 2 bestimmen, daß durch Rechtsverordnung zur Erreichung des Schutzzieles bestimmt werden kann, welche Vorsorge- und Überwachungsmaßnahmen bei Errichtung und Betrieb solcher Anlagen zu treffen sind, und welche Vorsorge zu treffen ist, damit bestimmte Strahlendosen und bestimmte Konzentrationen radioaktiver Stoffe in Luft und Wasser nicht überschritten werden. Eine Genehmigung kann widerrufen werden, wenn gegen die Vorschriften des AtG oder anderer auf Grund dieses Gesetzes erlassenen Rechtsverordnungen erheblich oder wiederholt verstoßen oder eine nachträgliche Schutzauflage nicht eingehalten worden ist und in angemessener Zeit keine Abhilfe geschaffen wird. Ebenfalls kann eine Genehmigung widerrufen werden, wenn dies wegen einer erheblichen Gefährdung der Beschäftigten, Dritter oder der Allgemeinheit erforderlich ist und nicht durch nachträgliche Auflagen in angemessener Zeit Abhilfe geschaffen werden kann. Nach § 20 AtG können in Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren Sachverständige zugezogen werden.

Gemäß § 28 der Strahlenschutzverordnung ist jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Personen, Sachgütern oder der Umwelt zu vermeiden und jede nötige Strahlenexposition oder Kontamination unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles auch unterhalb der in der Verordnung festgesetzten Grenzwerte so gering wie möglich zu halten. Die zuständige Behörde kann diejenigen Schutzmaßnahmen anordnen, die zur Durchführung der Bestimmungen des § 28 erforderlich sind.

§ 45 der Strahlenschutzverordnung bestimmt, daß die technische Auslegung und der Betrieb von Anlagen so zu wählen sind, daß die durch Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser bedingte Strahlenexposition von Personen so gering wie möglich gehalten wird. Nach § 6 Abs. 1 Nr. 5 derselben Verordnung ist eine Genehmigung zu erteilen, wenn gewährleistet ist, daß beim Umgang mit radioaktiven Stoffen die Einrichtungen vorhanden und Maßnahmen getroffen sind, die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderlich sind, damit die Schutzvorschriften eingehalten werden.

Der Schutz beruflich strahlenexponierter Personen vor Strahlen ist an allen Stellen, an denen es der betriebsmäßige Ablauf erlaubt, durch Dauereinrichtungen, insbesondere durch Abschirmung oder Abstandhaltung, sicherzustellen. Dauereinrichtungen müssen unter Berücksichtigung der Aufenthaltszeit so ausgelegt sein, daß die von einer Person während des normalen betriebsmäßigen Ablaufs erhaltenen Körperdosen ein Fünftel der Werte der Anlage X Spalte 2 der Strahlenschutzverordnung nicht überschreiten können (§ 54).

Die Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke enthalten Grundsätze für sicherheitstechnische Anforderungen, die der Auslegung von Kernkraftwerken zugrunde gelegt werden, insbesondere um die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden durch die Errichtung und den Betrieb der Anlage zu treffen. So müssen nach Kriterium 2.4 alle Anlageteile so beschaffen und angeordnet sein, daß sie entsprechend ihrer sicherheitstechnischen Bedeutung oder Aufgabe vor und nach ihrer Inbetriebnahme in regelmäßigen Zeitabständen in hinreichendem Umfang geprüft und gewartet werden können. Erhöhte Sicherheitsvorkehrungen sind dann zu treffen, wenn Anlageteile für regelmäßig wiederkehrende Inspektionen nicht in dem für die Erkennung etwaiger Mängel erforderlichen Umfang geprüft werden können.

Arbeitsplätze und Arbeitsabläufe im Kernkraftwerk sind unter Berücksichtigung ergonomischer Gesichtspunkte so zu gestalten, daß sie die Voraussetzung für ein sicherheitstechnisch optimales Verhalten der Beschäftigten bieten (Kriterium 2.5). Zur Verhütung von Bränden und Explosionen sind die erforderlichen Maßnahmen zu treffen. Die sicherheitstechnisch wichtigen Anlageteile müssen so beschaffen und angeordnet sein, daß die Erfüllung ihrer Aufgaben durch Brände und Explosionen nicht verhindert wird (Kriterium 2.7). Nach Kriterium 2.9 muß ein Kernkraftwerk einfache Fluchtwege haben. Darüber hinaus müssen Kernkraftwerke so beschaffen sein, daß sie unter Einhaltung der Strahlenschutzbestimmungen stillgelegt werden können (Kriterium 2.10).

Die Lüftungstechnischen Anlagen müssen so ausgelegt, beschaffen und mit den Eigenschaften der übrigen Anlageteile abgestimmt sein, daß im bestimmungsgemäßen Betrieb und bei Störfällen die hierfür jeweils als zulässig spezifizierten Werte für die Raumluftzustände und für die Ableitung oder etwaige Freisetzung radioaktiver Stoffe nicht überschritten werden können (Kriterium 9.1).

Die RSK-Leitlinien für Siede- und Druckwasserreaktoren stellen sicherheitstechnische Anforderungen dar, die beim Bau und beim Betrieb dieser Anlagen erfüllt werden sollten. Dem Genehmigungsantrag müssen Unterlagen beigefügt sein, aus denen hervorgeht, daß - wie bei der Planung berücksichtigt - Betriebs- und Kontrollgänge, Wartungsarbeiten und Reparaturen sowie Wiederholungsprüfungen bei einer Strahlenbelastung durchgeführt werden können, die so gering wie möglich ist (2.4). Die einzelnen Redundanzgruppen der Sicherheitssysteme sind so weit voneinander anzuordnen, daß im Brandfall ein durch Brandhitze oder Rauchgase bedingter Ausfall der anderen Redundanzgruppe ausgeschlossen werden kann. Die Abfuhr von Brandhitze und von Rauchgasen über die Lüftungssysteme darf weder Rettungswege noch Redundanzbereiche gefährden (2.8).

Die sicherheitstechnischen Regeln des Kerntechnischen Ausschusses (KTA) sollen nach dem Stand von Wissenschaft und Technik im Hinblick auf § 7 des Atomgesetzes entsprechende Lösungen von Problemen auf dem Gebiet der Sicherheitstechnik beschreiben.

So wird die KTA-Regel 2101.2 "Brand- und Explosionsschutz" Aussagen zur Bemessung von Bauteilen, zum Konzept von Lüftungsanlagen, zu Anforderungen an Feuerschutzabschlüssen und Abschottungen für Kabel- und Rohrdurchführungen und zur Ausbildung der baulichen Umschließung von Flucht- und Rettungswegen erarbeiten.

Die KTA-Regel 2102 "Flucht- und Rettungswege" soll zum Inhalt haben, daß das gesamte Kernkraftwerk den bau- und arbeitsrechtlichen Bestimmungen genügt. Für das Reaktorgebäude sind ergänzende Maßnahmen sowie kompensierende persönliche Schutzmaßnahmen vorgesehen. In den "Sicherheitstechnischen Anforderungen an nukleare Kreisläufe in Kernkraftwerken" (KTA-Regel 3202) wird ein Konzept entwickelt, wie die radiologischen Probleme hinsichtlich des Arbeitsschutzes gewertet werden können. Mit einem Klassifizierungsmodell sowie mit der Festlegung von Sicherheitsklassen und Anforderungsstufen für die verschiedenen Betriebs- und Sicherheitssysteme sowie Komponenten werden in Form von Zusammen- und Gegenüberstellungen die wesentlichen Merkmale bezüglich der Aufgabenstellung herausgestellt.

Allgemeines Schutzziel der KTA-Regel 1301 "Berücksichtigung des Strahlenschutzes bei Auslegung und Betrieb von Kernkraftwerken" ist die Reduzierung der Strahlenbelastung der Arbeitskräfte entsprechend den Forderungen der Strahlenschutzverordnung. Dabei stehen zwei wichtige Aspekte im Vordergrund:

- besondere persönliche Strahlenschutzrüstungen nur in Ausnahmefällen,
- Verminderung des Prüfaufwandes während des bestimmungsgemäßen Betriebes durch geeignete Auslegung.

Zur Erreichung dieses Schutzzieles sind Strahlenschutzmaßnahmen sowohl bei der Auslegung einer kerntechnischen Anlage, insbesondere bei der Anordnung, Auslegung und Ausstattung von Räumen, der Anordnung und Auslegung von Komponenten, der Rohrleitungsführung, den Lüftungsanlagen, den ergonomischen Gesichtspunkten, der Wegführung für den späteren Einsatz personaler und instrumentaler Arbeitsträger, als auch während des Betriebes, beispielsweise hinsichtlich der Arbeitsvorbereitung und -durchführung, der Arbeitsmittel sowie technischer Hilfsmittel (z.B. Abschirmwände), erforderlich.

Der Normenausschuß Kerntechnik im DIN erarbeitet Normen auf dem Gebiet der Kerntechnik, deren Anwendung bei Auslegung und Betrieb wesentlich zur Sicherheit kerntechnischer Anlagen beitragen. Vom Fachbereich "Reaktortechnik und -sicherheit" sind bisher 25 Normen und Entwürfe erstellt worden.

In der Norm "Rohrleitungen" (DIN 25 408) wird ausgeführt, daß möglichst kurze Leitungsführungen anzustreben sind, um einen kleinstmöglichen Inhalt des Systems zu erreichen. Die freien Abstände von (isolierten) Rohrleitungen zu anderen Leitungen, Komponenten, Wänden, Decken usw. an möglichen Trenn- und Prüfstellen sind so groß zu wählen, daß die Prüfungen nach Ab-

schnitt 8 dieser Norm sowie notwendig werdende Demontagen oder wiederkehrende Prüfungen mit den vorgesehenen Arbeits- und Prüfgeräten einschließlich erforderlicher Abschirmung möglich sind. Besonders bei Leitungen mit aktiven Medien ist durch konstruktive Maßnahmen sicherzustellen, daß möglichst keine Toträume, in welchen Korrosionsablagerungen auftreten können, vorhanden sind. Rohrleitungen eines redundanten Systems sind getrennt zu verlegen oder gegen die Schadensauswirkung versagender Systemteile besonders zu schützen.

Nach der "Verordnung über Arbeitsstätten" (Arbeitsstättenverordnung vom 20.03.1975) hat der Arbeitgeber die Arbeitsstätte nach den geltenden Arbeitsschutz- und Unfallverhütungsvorschriften und nach den allgemein anerkannten sicherheitstechnischen, arbeitsmedizinischen und hygienischen Regeln sowie den sonstigen gesicherten arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen einzurichten und zu betreiben. So müssen nach § 7 Abs. 1 die Verkehrswege so beschaffen und bemessen sein, daß sie je nach ihrem Bestimmungszweck sicher begangen oder befahren und neben den Wegen beschäftigte Arbeitnehmer durch den Verkehr nicht gefährdet werden können. Anordnung, Abmessung und Ausführung der Rettungswege müssen sich nach Nutzung, Einrichtung und Grundfläche der Räume richten. Rettungswege müssen möglichst kurz ins Freie oder in einen gesicherten Bereich führen. Bei Gefahr muß sichergestellt sein, daß die Arbeitnehmer die Räume schnell verlassen und von außen schnell gerettet werden können (§ 19). Die Räume oder Einrichtungen müssen mit einer Krankentrage leicht zu erreichen sein (§ 38). Verkehrswege müssen freigehalten werden, damit sie jederzeit benutzt werden können (§ 52).

Nicht nur von staatlicher Seite, sondern auch von den Trägern der gesetzlichen Unfallversicherung wurden Schutzbestimmungen für den Arbeitnehmer erlassen. So sind weite Bereiche des konventionellen Arbeitsschutzes, der im übrigen auch in kerntechnischen Anlagen zunehmend Bedeutung erhält, durch Unfallverhütungsvorschriften abgedeckt. Denn Fehlleistungen auf dem konventionellen Sektor können Auswirkungen auch auf den nuklearen Teil der Anlage haben. Diese Unfallverhütungsvorschriften der gewerblichen Berufsgenossenschaften sind autonome Rechtsnormen und für die versicherten Unternehmen verbindlich; d.h., sie sind von Unternehmern und Beschäftigten zu beachten. Ihre Durchführung ist notfalls erzwingbar. Obwohl keine spezifischen Unfallverhütungsvorschriften für den Bereich der Kernenergie bestehen, bleiben die Aufsichtsbefugnisse der Berufsgenossenschaften nach § 19 Abs. 4 Atomgesetz uneingeschränkt bestehen. Nach der Unfallverhütungsvorschrift VGB1 "Allgemeine Vorschriften" muß der Betreiber einer Anlage alle der Unfallverhütung dienenden Maßnahmen und Anordnungen in seinem Bereich treffen. Es bestehen grundlegende Anforderungen sowohl an den Betreiber als auch an die Anlage. Bei gefährlichen Arbeiten, und das ist der Umgang mit ionisierenden Strahlen, müssen die notwendigen technischen und organisatorischen Voraussetzungen für einen sicheren Arbeitsablauf geschaffen werden.

In der Unfallverhütungsvorschrift VGB4 "Schutz gegen gefährliche chemische Stoffe" werden besondere Schutzmaßnahmen beim Befahren von Behältern und engen Räumen beschrieben. Die Unfallverhütungsvorschriften VGB7a "Arbeitsmaschinen" und VGB9 "Krane" regeln die allgemeinen Anforderungen an Arbeitsmaschinen aller Art sowie den Bau und Betrieb von Hebezeugen. Im Rahmen einer Unfallverhütungsvorschrift "Wärme- und Kälteanlagen", die auch für Kernkraftwerke gelten soll, wird das Arbeiten an unter Druck stehenden und heißes Medium führenden Anlagen und Anlageteilen geregelt.

Es ist offensichtlich, daß die Realisierung dieser gesetzlichen Forderungen praktisch noch immer nicht den vollen Durchbruch erreicht hat. Gesetze und Richtlinien reichen allein nicht aus. Es muß ein praktikables Procedere vorhanden sein. So werden dem Spielraum des Betreibers zum Teil sehr enge Grenzen gesetzt, da nach Übernahme der Anlage durch den Betreiber, wie bereits anfangs berichtet, kaum noch Detailänderungen an der Anlage vorgenommen werden können. Als Ausweg und somit als Änderung dieses Zustandes ergibt sich zwangsläufig eine Verlagerung dieses Komplexes in die frühestmögliche Planungs- und Bauphase. Für die Exekutive bedeutet dies den Übergang zu einer restriktiveren Auslegung gesetzlicher Bestimmungen.

Auf Grund dieser in Zukunft nicht mehr vermeidbaren Verschiebung muß nach Möglichkeiten gesucht werden, auf welcher Basis eine Optimierung der hier angesprochenen Probleme erreicht werden kann. Als wohl beste Lösung bietet sich - und hier sind sich Gutachter und Betreiber einig - die Bearbeitung anstehender Fragen anhand von Modellen kerntechnischer Anlagen an.

3. MODELLE ALS MITTEL ZUM ZWECK

Bei den Planungsarbeiten für Kernkraftwerke sollen Erfahrungen, gedankliche Überlegungen, verfahrens- und sicherheitstechnische Zielvorstellungen einer großen Zahl von Ingenieuren, Spezialisten und Firmen sowie Festlegungen aus gesetzlichen Forderungen auf ein gemeinsames Ziel ausgerichtet werden. Zur Verwirklichung eines guten Zusammenspiels sind nicht nur allein organisatorische Maßnahmen von Bedeutung; auch die Beschaffenheit der zur gegenseitigen Verständigung erforderlichen Unterlagen und Dokumente sowie die Ausführungsart der bei der Projektierung angewendeten Pläne sind wesentlich. Hier bietet sich heute vermehrt die Modelltechnik als ein neues Hilfsmittel für bestimmte Aufgaben bei der Planung an, die wegen der dreidimensionalen Darstellung und unübertroffenen Übersichtlichkeit (z.B. im Gegensatz zu zweidimensionalen Rohrleitungsplänen) (Bild 1) dazu beitragen kann, ein Zusammenfügen der einzelnen Elemente zu einer optimalen Einheit besonders zu begünstigen. Darüber hinaus haben die Erfahrungen beim Bau von Kernkraftwerken gezeigt, daß durch das Bemühen um noch mehr Sicherheit neue Wege im Planungsablauf beschritten werden müssen. Auch von seiten der Industrie werden Überlegungen angestellt, wie Planung und Errichtung von Kernkraftwerken hinsichtlich angesprochener Probleme optimaler gestaltet werden könnten. Allerdings müßten

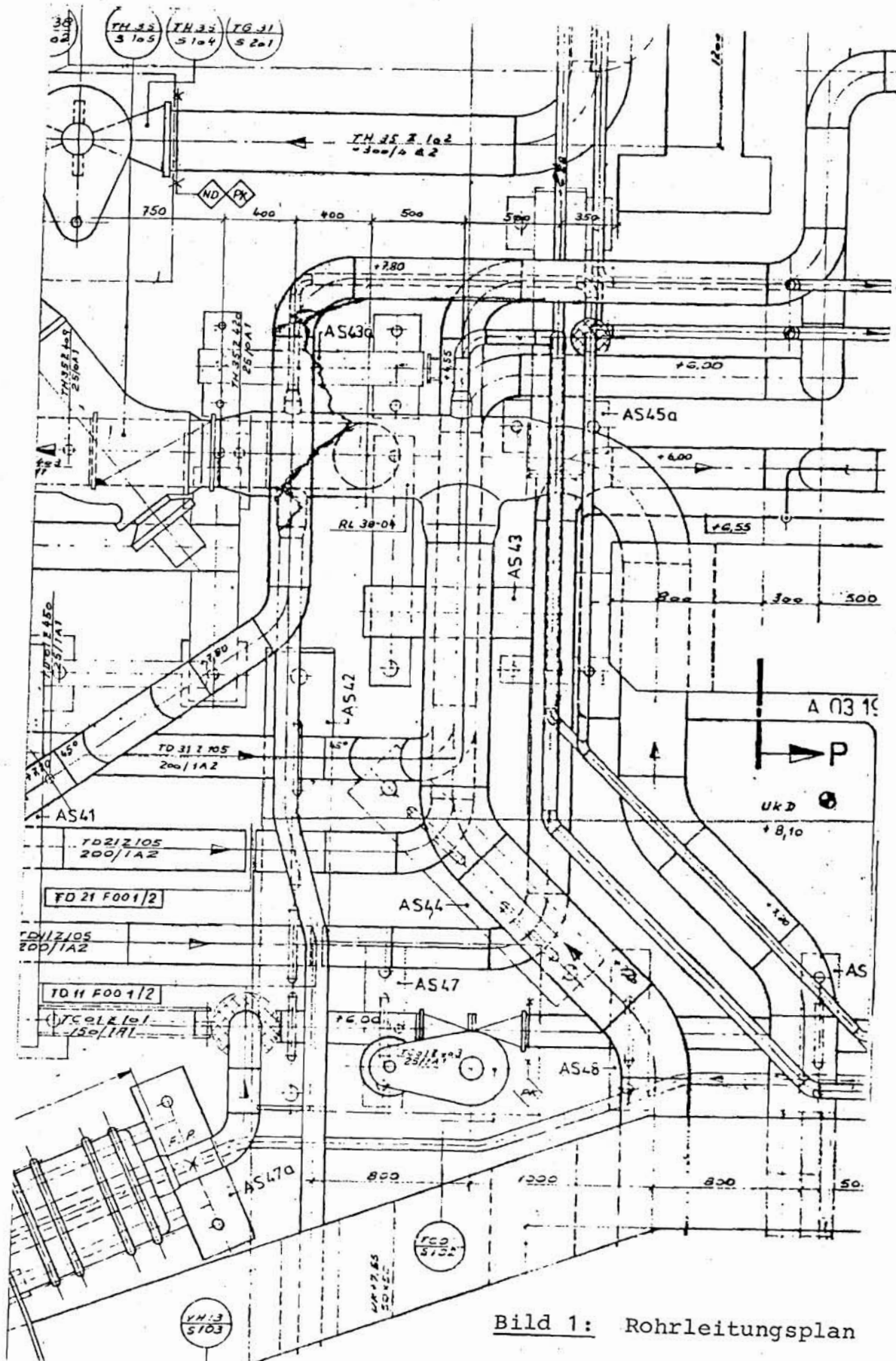


Bild 1: Rohrleitungsplan

in der Modellbautechnik neue Wege für die Kraftwerksplanung beschritten werden, da hier Gebäude abgebildet werden sollten, deren Innenleben so ineinander verschachtelt ist, daß die Zugänglichkeit der einzelnen Räume im Modell durch jede herkömmliche Modellmethode nur mit sehr großen Schwierigkeiten möglich ist. Speziell für den Bau von Planungsmodellen auf dem Kernkraftwerkssektor wurde deshalb das Modellsystem "Einschubtechnik" entwickelt.

3.1 Aufbau von Modellen

Das Grundmodell wird zunächst in den dafür geeigneten Achsen geteilt und ist auf einem speziellen Schienensystem verfahrbar. Es wird z.B. ein Reaktorgebäude auf 3 verfahrbare Grundplatten montiert, womit durch das Verfahren der äußeren Bereiche der mittlere Bereich, der Reaktordruckbehälter, zugänglich wird. Das Modell wird dann so gebaut, daß die einzelnen Räume, die ineinander verschachtelt sind, in Form von Einschüben herausgenommen und unabhängig voneinander an örtlich verschiedenen Stellen, in Zusammenarbeit mit den zuständigen Fachbereichen bzw. den entsprechenden Sachbearbeitern, modellmäßig bearbeitet werden können.

Die Einschubtechnik ermöglicht es, an jede Stelle der gesamten Anlage heranzukommen. Das Modell wird, soweit erforderlich, aus Plexiglas hergestellt, damit man die einzelnen Anlagenteile als auch die Rohrleitungen, Lüftungskanäle, Kabelpritschen usw. von außen gut verfolgen kann. Es besteht aus einer tragenden Konstruktion und zahlreichen Einschüben.

Die verschiedenen Systeme werden im originalgetreuen Maßstab abgebildet, sie werden farblich unterschiedlich gekennzeichnet und gestatten somit auf den ersten Blick ihre Abgrenzung von benachbarten Systemen. An den Rohrleitungen sind Schweiß- und Flanschverbindungen angebracht, für Wiederholungsprüfungen vorgesehene Stellen können sichtbar markiert werden. Befestigungen von Rohrleitungen sowie die Sicherungen gegen Erdbeben können ebenfalls im Detail herausgearbeitet werden. Die für den betrieblichen Ablauf notwendigen Hebezeuge sind auch im Modell an den vorgesehenen Stellen angebracht. Darüber hinaus kann durch farbliche Gestaltung eine Trennung von Anlagen- und Betriebsräumen vorgenommen werden. Selbst Räume mit unterschiedlich hoher Dosisleistung kann man somit gegeneinander hervorheben. Weiterhin können Deckenbelastungen für eventuell später anzubringende Abschirmgewichte gut sichtbar aufgetragen werden.

Das Gerüst der tragenden Konstruktion und die Wandungen der einzelnen Einschübe ergeben zusammen die tatsächlichen Wand- bzw. Deckenstärken. Apparate, Maschinen und Aggregate können außerhalb der Gebäude in die sogenannten Einschübe eingebaut und unabhängig voneinander in verschiedenen Planungsbereichen oder an einer zentralen Stelle bearbeitet werden. Besonders zu betonen ist, daß man die untersten Einschübe herausnehmen kann, ohne daß die Gesamtkonstruktion an Festigkeit verliert. Es las-

sen sich Änderungen, die während der Planung erforderlich werden, mühelos außerhalb des Gesamtmodelles durchführen.

3.2 Einige Aspekte für die Anwendung von Modellen

Was bei der Planung nicht bedacht wurde, ist durchweg auch eine Ursache für höhere Prüfkosten /7/. Probleme, wie das Begehen eines Behälters durch ein Mannloch unter Strahlenbelastung, können zwar durch "kalte" Übungen am Phantom erheblich verkürzt werden, aber die Notwendigkeit solcher Übungen ist meist ein Zeichen dafür, daß die Planung der betreffenden Anlage nicht optimal gestaltet war. Wenn Wartung und Reparatur im laufenden Betrieb nicht ein Übermaß an personellem und materiellem Aufwand annehmen sollen, müssen solche Probleme künftig schon bei der Planung gelöst werden. Modelle, die mit dem Fortschreiten der Planung entsprechend ihrem Stand gebaut werden, können solche Probleme lösen helfen. An einem solchen Modell ist eine frühzeitige Überprüfung durch betriebs- und instandhaltungserfahrene Ingenieure möglich /8/. Erforderliche Änderungen oder zusätzliche Auflagen von Behördenseite können im Modell schnell realisiert werden. Diese Arbeitsweise trägt wesentlich zur Risikominderung bei.

Es ist leicht vorstellbar, daß die Beurteilung obengenannter Kriterien anhand eines plastischen Modells um ein Wesentliches leichter ist als bei Anwendung der bisherigen Methoden. Die Erfüllung der Kriterien durch die Erstellung des Modells in der Planungsphase, das Arbeiten mit dem Modell während der Errichtungs-, Betriebs- (Überwachung, Wiederholungsprüfungen, Wartung) und Demontagephasen ist praxisbezogener und kann unter Einbeziehung aller in Frage kommenden Aspekte optimal realisiert werden, wobei man alle in der Anlage im Laufe der Zeit getroffenen Änderungen und Ergänzungen im Modell berücksichtigen muß. Wie ein Beispiel aus den USA zeigt, wurde ein Modell lediglich nur deshalb erstellt, um bei Abrißarbeiten der Anlage eine bessere Koordinierung und eine minimale Strahlenbelastung des Personals zu erreichen /9/. Allerdings bringt ein Modell vor allem dann schon bei der Planung und Errichtung Vorteile, wenn es wirklich in konsequenter Weise weitestgehend als Ersatz für die bisher gebräuchliche zweidimensionale Darstellung angewendet wird. Wie die Erfahrung gezeigt hat, bedarf beim Hersteller der Schritt zur Lösung vom bisher Vertrauten einer gewissen Überwindung. Die momentan für ein solches Modell entstehenden Kosten werden durch spätere Einsparungen bei dem Arbeiten mit diesem Modell wieder ausgeglichen. Erwähnt sei nur, daß sich dadurch die kompletten Materialauszüge frühzeitig erstellen lassen. Das Modell kann als Kalkulationsgrundlage für die Lieferung und Montage der Rohrleitungen, für Isolier- und Malerarbeiten u.a.m. dienen, es ergeben sich eindeutige Liefergrenzen. Die Montagefirmen können den Arbeitsablauf und den Materialverbrauch von vornherein genauer festlegen und ihre Angebote in viel kürzerer Zeit genauer und damit meist niedriger kalkulieren, weil der Unsicherheitsfaktor wegfällt. Es können raumbezogene Stücklisten angefertigt werden usw.

Ein wichtiger Aspekt für die Planung mittels Modell ist u.a. die bestmögliche informatorische Darstellung der anlagentechnischen Verknüpfungen für Gutachter und Behörden sowie die Unterstützung bei der Beurteilung der Wartungsfreundlichkeit und Zugänglichkeit von Anlageteilen und Systemen. In Schubladenform ausgebildete Anlageteile können aus dem Modell herausgenommen und auf einfache Weise für Gespräche bei Betreibern und Behörden transportiert werden.

Der Umgang und die Durchführung von Wartungs- und Reparaturarbeiten stellen einen wesentlichen Anteil am Betriebsgeschehen mit einem entsprechenden Kostenfaktor dar. Die Verwendung von Planungsmodellen zur Erreichung der in Abschnitt 2 geforderten Schutzziele wird zu keinen Verteuerungen führen, wenn man die dadurch gegebenen Vorteile bei der Planung und Errichtung konsequent ausnutzt. Aber infolge genauerer Vorplanung werden höhere Kosten durch Einbau von zusätzlichen Hebezeugen, Abschirmungen, aufwendigere Rohrleitungsführungen u.ä. entstehen. Dem höheren Mehraufwand beim Bau für eine reparatur- und wartungsfreundlichere Anlage mit einem verbesserten Strahlenschutz steht eine Senkung des Personalaufwandes im laufenden Betrieb gegenüber. Eine weitere Verringerung der laufenden Kosten im späteren Betriebsgeschehen erfolgt durch eine geringere Zahl von Stillständen und Ausfällen. Bei Strahlenschutzmaßnahmen wird oft nicht daran gedacht, daß eine Verminderung der Dosis um den Faktor 2 bereits eine Verdoppelung der Verweilzeit bedeutet, und eine längere Verweilzeit bedeutet geringeren Personalwechsel und damit geringere Risiken für Fehlleistungen und natürlich geringere Kosten. Verbessertes Strahlenschutz ist somit ein Beitrag zur Qualitätssicherung und zur Rationalisierung für Betrieb und Instandhaltung. Nicht zuletzt sind es Empfehlungen der Technischen Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber (VGB), die Planung aktivitätsführender Rohrleitungen mit Hilfe von Modellen vorzunehmen sowie einzelne Räume und Systeme im Modell im Maßstab 1 : 10 bis 1 : 15 anzufertigen /3/.

3.3 Vorteile von Planungsmodellen

Die Erstellung eines Planungsmodells bereits vor Baubeginn einer kerntechnischen Anlage bietet den Vorteil, daß im iterativen Verfahren die Belange aller an der Errichtung beteiligten Fachabteilungen des Herstellers und Betreibers sowie die des Gutachters und der Behörden berücksichtigt und aufeinander abgestimmt werden können. Alternativen sind anschaulich diskutierbar immer unter Berücksichtigung der Auswirkung auf die Gesamtanlage.

Ein Modell bietet durch die räumliche Darstellung gegenüber Zeichnungen Vorteile in bezug auf:

- frühzeitige Beurteilung der geplanten Raumausnutzung sowie bestmögliche Raumausnutzung und Raumaufteilung hinsichtlich der unterzubringenden systembezogenen Anlageteile, damit bessere Koordination von Hochbau und Maschinenbau;

- gute Zugänglichkeit von Räumen und ihren Komponenten, übersichtliche (plastische) Anordnung von Komponenten, Beurteilung der Wartungsfreundlichkeit und Zugänglichkeit von Anlageteilen und Systemen;
- bestmögliche Anordnung von Ausschlagsicherungen, Aufhängungen, Stoßdämpfern u.ä.;
- optimale räumliche Rohrleitungs-, Lüftungskanal- und Kabeltrassenführung zur Vermeidung von Kollisionspunkten, durch farbliche Unterscheidung gute Erkennbarkeit unterschiedlicher Systeme, Bestimmung von Stellen mit höheren Dosisleistungen;
- bestmögliche Anordnung von Kontroll- und Meßgeräten sowie Probenahmestationen;
- Dimensionierung und Anbringung von Abschirmungen;
- günstige Plazierung von Leuchten, TV-Kameras, Lautsprechern;
- realistische Abschätzung des Aufwandes für Montage, Inbetriebnahme, Wartung, Instandhaltung, Prüfung;
- bessere Vorbereitung und Durchführung von wiederkehrenden Prüfungen;
- Simulation schwieriger Montagen und Demontagen, z.B. für schwerkomponenten, Durchführung von Transportstudien (Erkennung von Engpässen), günstige Anordnung von Hebezeugen;
- Lage von Stromversorgungseinrichtungen, Unterverteilung;
- Plazierung von Brandschutzeinrichtungen;
- rechtzeitige und richtige Festlegung von Durchführungen und Durchbrüchen bei Wänden und Decken;
- Auslegung des Hygienetraktes (Umkleide-, Waschräume) für den erhöhten Personalbedarf bei Revisionen, Wegeführung, Strahlenkontrollen, Festlegung von Zu- und Ausgängen aus den Kontrollbereichen;
- Festlegung der Lage, Dimensionierung von Flucht- und Rettungswegen sowie Sammelplätzen des Personals, günstige Plazierung von technischen Hilfsmitteln zur Bergung von Verletzten;
- Schulung von Eigen- und Fremdpersonal sowie des Montage- und Inbetriebsetzungspersonals;
- Festlegung der stufenweisen Arbeitsschritte bei Abbruch der Anlage;
- Erleichterung bei der Anfertigung und Überprüfung von Montagebeschreibungen und Inbetriebnahmeanleitungen;

- Durchführung von Wegstudien zum Zweck minimaler Strahlenbelastung bei Inspektion und Wartung;
- bestmögliche Darstellung der anlagentechnischen Verknüpfungen für Behörden und Kunden.

Durch ein Modell lassen sich genaue und übertragbare Verhältnisse schaffen. Es ist eine frühzeitige und vollständige Überprüfung der Auslegungskriterien auch durch den Gutachter möglich. Ein zusätzlicher Gesichtspunkt ist die Verringerung der Nacharbeiten an der Baustelle auf das geringstmögliche Maß. Durch das Modell wird die Möglichkeit genauer Kontrollen geschaffen; damit werden Konstruktionsfehler zu einem Zeitpunkt entdeckt, bei dem die Beseitigung noch keine Schwierigkeit bereitet.

3.4 Modellvarianten

Man unterscheidet:

- das Auslegungs- oder Konzeptmodell (Maßstab z.B. 1 : 100) für die Einordnung der zu errichtenden Anlage mit ihren Baukörpern in den Rahmen einer Gesamtplanung (Hauptgebäude, Kühltürme u.ä. sowie Zugänge, Straßen);
- das Entwurfsmodell (Maßstab z.B. 1 : 50) für die grundsätzliche Klärung von reaktorspezifischen Gesichtspunkten der System- und Komponentenanzordnung, Fluchtwege, Begehbarkeit;
- das Konstruktions- oder Arbeitsmodell (Maßstab z.B. 1 : 25) zur Festlegung von Rohrleitungen, zur detaillierten Anordnung von Anlageteilen, Transportvorrichtungen, Kabelbahnen u.a.m. (Bild 2 und 3).

Der am häufigsten verwendete Maßstab für ein Modell ist 1 : 25. Ein solches Modell enthält alle Anlageteile und deren Verbindungen, wobei noch Rohrleitungen bis zu 25 mm Durchmesser dargestellt werden können.

Spezialmodelle finden ihren Einsatz bei besonders stark besetzten Problembereichen in verschiedenen, meist größeren Maßstäben als Hilfe für die technische Auslegung. Diese Spezialmodelle stehen in den Fachabteilungen für Erarbeitung der technischen Konzeption zur Verfügung. Der Modellbauer unterstützt dadurch den Sachbearbeiter in seinen Konstruktionsbereichen, z.B. im Bereich der elektrischen Zuleitungen zu den Steuerstabantrieben oberhalb des Reaktors zur Lösung von Nachladeproblemen, im Bereich der Incore-Instrumentierung usw.

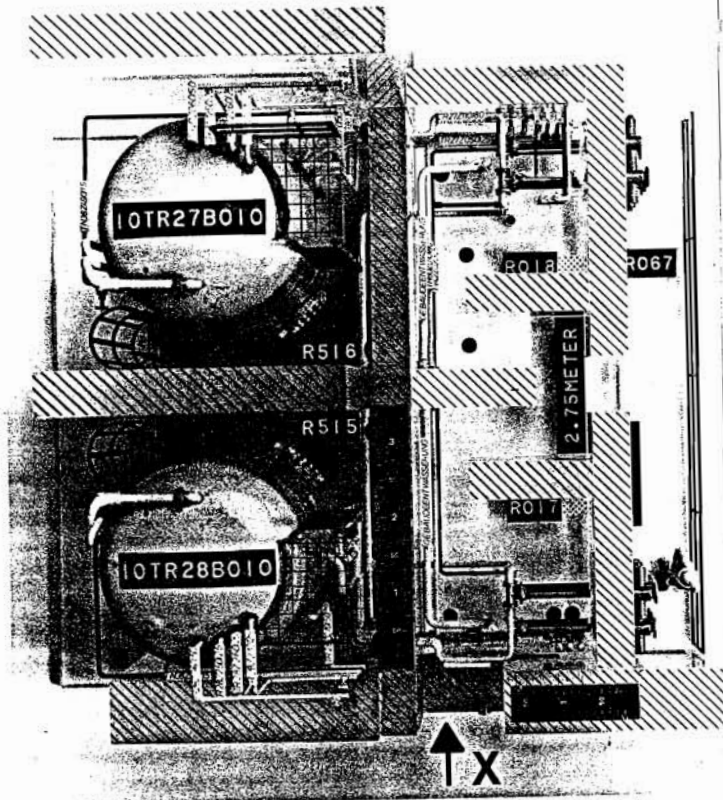


Bild 2: Aktives Abwasser-sammelsystem

Dreiertheile der Räume in:

- A - Komponentenräume
- B - Armaturenräume
- C - Bedienungs- und Kontrollräume

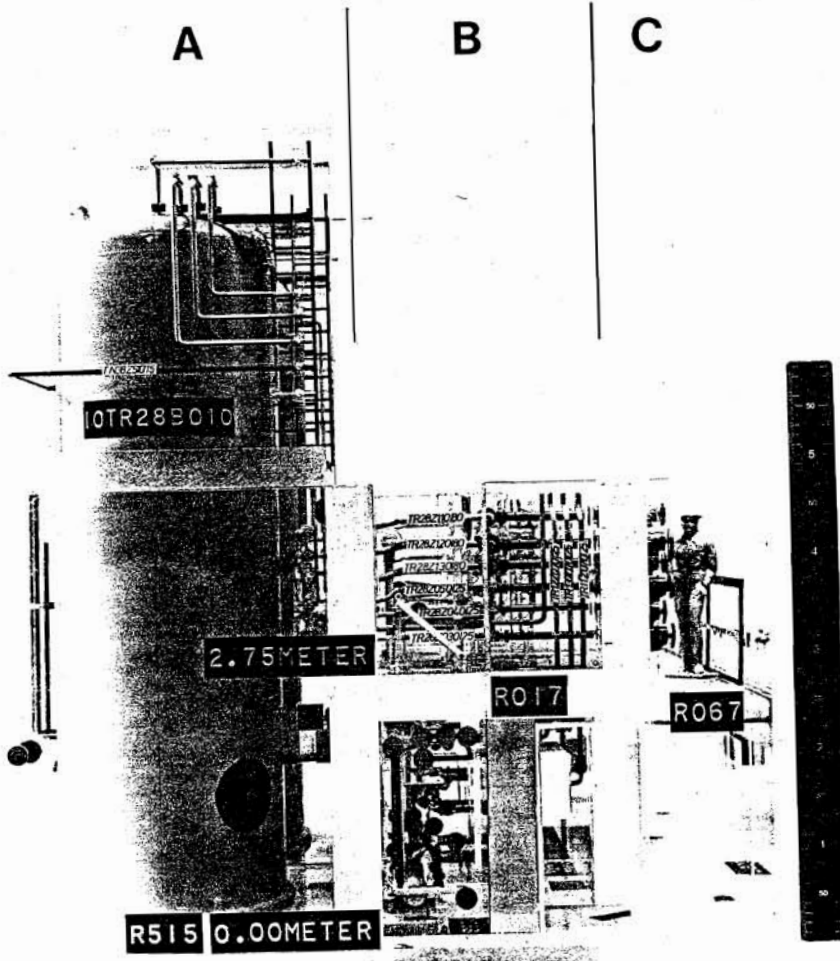


Bild 3: Ansicht X von Bild 2

3.5 Modellkosten

Die Firma Babcock-Brown Boveri Reaktor GmbH (BBR) /10/ macht folgende Aussagen: "Bei den gesamten kalkulierten Mannstunden zur Herstellung von Arbeits- und Spezialmodellen für das Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich sind etwa 50 000 Mannstunden für Modellbauer eingesetzt. Die tatsächliche Zeit wird von der tatsächlichen Anzahl und dem Umfang der Spezialmodelle abhängen, die während des Konstruktionsstadiums gebaut werden. Der praktische Wert und die nachgewiesenen Einsparungen, die mit Einsatz von Modellen erzielt werden können, sind äußerst schwierig zu bestimmen. Gute Vorplanung einschließlich des Ausrüstungsmontageablaufes, visuelle Unterstützung der Korrektur der Betriebsfähigkeit und Zugänglichkeit von stark besetzten Bereichen, Kommunikationshilfen für Kunden und Konstrukteur werden und wurden ohne Einsatz von Modellen durchgeführt. Der Geldwert dafür, daß man Problembereiche am Modell leichter bewegen, darstellen und verbessern kann, im Vergleich zu schriftlicher Planung, ist schwer zu bewerten. Die Modellindustrie ist der Meinung, daß der Einsatz von Modellen 1/2 % bis zu 2,5 % der Baukosten allein spart, ohne die technischen Konstruktionshilfen, Personaltraining oder Nachbesserungen zu rechnen. Wenn wir konservativ 1 % kalkulieren, sind dies Einsparungen bis 10 000 DM für jede 1 Million DM Baukosten."

Nach uns vorliegenden Informationen betragen die Kosten für Stemmarbeiten beim Bau eines Kernkraftwerkes die bis zu 10fache Höhe dessen, was für den Bau eines Modells erforderlich gewesen wäre. Diese Stemmarbeiten wären durch eine rechtzeitige Planung anhand von Modellen nicht notwendig gewesen.

3.6 Nachteile der Modelle

Das Modell ist nur einmal vorhanden und auf einfache Weise können keine Kopien davon angefertigt werden. Um diesen Mangel auszugleichen, kann das Modell mit einer bestimmten Winkelstellung fotografiert werden. Man erhält dann eine zweidimensionale, einer isometrischen Parallelprojektion ähnliche Darstellung, die mit Maßen versehen als Aufstellungsplan benutzt werden kann. Das Auf-dem-neuesten-Stand-Halten eines Modells ist aufwendiger als das Ändern von Zeichnungen.

Das Modell verliert seinen Wert, wenn es am falschen Platz verwendet wird. Es bringt nur dann einen entscheidenden Vorteil, wenn es wirklich in der konsequenten Weise als Ersatz für die bisher gebräuchliche zweidimensionale Darstellung angewendet wird. Wie die Erfahrung gezeigt hat, bedarf dieser Schritt einer gewissen Überwindung, um sich von dem Vertrauten zu lösen.

4. HABEN SICH MODELLE IN DER PRAXIS BEWÄHRT?

Seit Jahren werden im Raffinerie- und Chemieanlagenbau mit Erfolg, bedingt durch den amerikanischen Einfluß, Planungs- bzw. Konstruktionsmodelle erstellt. Weltweit werden heute größere Chemieanlagen oder Raffinerien nur noch mittels Modell geplant. Modelle dienen der wirtschaftlichen Anlagenplanung, helfen Optimallösungen finden, reduzieren den Planungsaufwand und vermeiden Änderungen auf der Baustelle /11/.

Im Chemiebau verläuft die Planung einer Anlage wie folgt:

- Erstellen von Verfahrensschematas für den Prozeßablauf;
- Entwerfen von Grobübersichtsplänen, welche Großkomponenten, Rohrbrücken und große freilaufende Rohrleitungen enthalten;
- Aufbau eines Modells anhand der Grobübersichtspläne;
- Einbau von Rohrleitungen, Armaturen, Kabeltrassen usw. in das Modell;
- Zeichnen von Isometrien anhand des Modells.

Das Modell und die Isometrien liegen dann als Ausführungsunterlagen an der Baustelle vor. Im einzelnen hängt natürlich die Gestaltung eines Modells stark von den Wünschen der jeweiligen Kunden ab. Üblicherweise ist der Maßstab für ein solches Modell 1 : 25. Für eine Modellierung einzelner, kompliziert aufgebauter Anlagenteile ist ein Maßstab von 1 : 10 üblich.

Originalgetreue Modelle werden auch im Auto-, Schiffs- und Flugzeugbau verwendet, nicht nur für Strömungsversuche, sondern auch zu Zwecken einer optimalen Gestaltung von Maschinen- und Armaturenräumen.

Auch die für die Erdölsuche verwendeten Produktionsplattformen werden zum Teil heute schon im Modell abgebildet. So entstand die Produktionsplattform "Offshore Mercury" im Maßstab 1 : 100. Nach /12/ dienen Modelle dieser Art Konstrukteuren und Zeichnern, die dreidimensionale Objekte entwerfen müssen, zum Bestimmen der richtigen Abmessungen sowie Festlegen der Strukturen und Baugruppen. Als Werkstoff nutzt das schottische Unternehmen eigens entwickelte Kunststoffe, die sich leicht formen lassen und wie Ziegelstein, Beton oder Metall aussehen.

In der Kerntechnik wurde zuerst in der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) die Rohrleitungsplanung anhand von Modellen durchgeführt /13/. Als zeichnerische Unterlagen für die Rohrleitungsverlegung am Modell dienten das Apparateschema (Engineering Flowsheet), auf dem alle Rohrleitungen mit ihren Abmessungen, Isolierungen, Durchflußmedien, Armaturen, Pumpen, Meß- und Regelstellen angegeben sind, sowie die Aufstellungszeichnungen und die Zeichnungen für Behälter, Apparate, Maschinen und Stahlkonstruktionen und nicht zuletzt Bauzeichnungen. Nachdem das Rohmodell fertig war, wurde die Leitungsverlegung von einem Modellbauer, d.h. einem für diesen Zweck an-

gelernten technischen Zeichner oder einem Mechaniker mit konstruktiver Ausbildung, und dem Rohrleitungskonstrukteur vorgekommen.

Sehr kleine und untergeordnete Leitungen wurden im Modell nicht verlegt. Im Falle, daß die Rohrleitungen direkt nach dem Apparatenschema verlegt wurden, ergab sich in der Praxis, daß dann annähernd alle Maße am Modell abgegriffen werden konnten. Während der Modellbauer die Leitung in einer mit dem Konstrukteur vorher abgesprochenen Weise anbrachte, zeichnete dieser parallel dazu von jeder Leitung eine Skizze in isometrischer Parallelprojektion. Auf dieser Skizze wurden die Lage der Leitung mit den zur Montage benötigten Abmessungen, die aus dem Modell und den vorhandenen zeichnerischen Unterlagen entnommen wurden, und die Einbaulängen für die Armaturen festgelegt. Diese Skizze wurde auf Netzpapier mit geringem Zeitaufwand aus freier Hand gezeichnet. Ihr wurde für die Baustelle eine Materialstückliste beigegeben, in die der Materialbedarf jeder Leitung eingetragen wurde. Bei der Montage stand dem Monteur die Skizze als Unterlage für die Verlegung jeder Leitung zur Verfügung.

Nach /14/ wurden folgende Planungsmodelle in Auftrag gegeben:

- Containment Baulinie SWR 72
Modell-Maßstab 1 : 33 $\frac{1}{3}$ (KWU-Frankfurt)
- Hilfskesselhaus Kernkraftwerk Krümmel
Modell-Maßstab 1 : 33 $\frac{1}{3}$ (KWU-Frankfurt)
- Reaktorgebäude und Hilfsanlagegebäude
Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich
Modell-Maßstab 1 : 33 $\frac{1}{3}$ (BBR Mannheim)
- Maschinenhaus Kernkraftwerk Kalkar
Modell-Maßstab 1 : 33 $\frac{1}{3}$ (KWU-Erlangen)
- Reaktorgebäude Kernkraftwerk Gundremmingen
Modell-Maßstab 1 : 25 (KWU-Erlangen)
- Hilfsanlagegebäude Kernkraftwerk
Gundremmingen
Modell-Maßstab 1 : 25 (KWU-Erlangen)
- Reaktorwasserreinigung Kernkraftwerk
Krümmel
Modell-Maßstab 1 : 15 (KWU-Frankfurt)
- MAW-Verdampferanlage
Modell-Maßstab 1 : 10 (KfK-Karlsruhe)
- Abfallzelle für radioaktive Abfälle
Modell-Maßstab 1 : 50 (KFA-Jülich)

Nach /8/ ist das Modell von Mülheim-Kärlich als maßstabgerechtes Arbeitsmodell, das ständig auf dem neuesten Stand gehalten wird, zum zentralen Ort der Anlagenplanung geworden, an dem alle Informationen zusammenlaufen, Problemsituationen umgehend dargestellt und unter Beteiligung aller betroffenen Fachabteilungen durchdiskutiert und optimale Lösungen sofort verabschiedet werden. Beim bisherigen Planungsverlauf ohne Modell konnten sich die einzelnen Fachabteilungen nur anhand von Zeichnungen abstimmen, um Kollisionspunkte zu vermeiden. Dabei mußten Rohrleitungspläne, Elektrokabel-Trassierungspläne, Lüftungs- und Baupläne kontrolliert werden, um beispielsweise einen einzigen Meßumformer optimal positionieren zu können, wobei ein umfangreicher Maßvergleich vorausgehen mußte. Dementsprechend hoch war die Wahrscheinlichkeit von Fehlern, ganz abgesehen vom großen zeitlichen Aufwand. Durch das Modell wird also ein Zusammenfügen der einzelnen Elemente zu einer optimalen Einheit besonders begünstigt. Darüber hinaus ließ sich bei der Simulation schwieriger Montagevorgänge mit dem Modell besonders effektiv arbeiten und exakte übertragbare Verhältnisse schaffen. Bereits durchgeführte Studien beziehen sich auf die Erstmontage von Dampferzeugern, Reaktordruckbehälter, Einbringung neuer Brennelemente in das Trockenlager. Geplant sind Simulationen zur Montage von Kernflutbehältern, Druckhalter, Volumenausgleichsbehältern, Primärrohrleitungen und nuklearen Zwischenkühlern, des weiteren die Vorgänge beim Brennelementwechsel und bei Wiederholungsprüfungen.

Im Rahmen von SNUPPS (Standardized Nuclear Unit Power Plant System) hat Westinghouse umfangreiche Modelle erstellt /15/. Da die bisherigen Modellkonzepte der chemischen und petrochemischen Industrie nicht brauchbar waren wegen der komplexen Bauweise der Kernkraftwerke, wurden andere Wege beschritten. Nach Angaben von Westinghouse sollen die Modelle helfen, Fehler bereits in der Planungsphase zu erkennen, sie stellen die Basis für zu erarbeitende detaillierte Studien dar, und zwar bezüglich einer zu erwartenden Zunahme von Wartungsarbeiten, der Verminderung des Strahlenpegels in Kontrollbereichen sowie einer gestalterischen Freiheit während der Konstruktionsphase des Modells. Für die Blöcke Callaway wurde ein Spezialmodell für den Reaktordruckkessel mit Umgebung gefertigt. An ihm sollen Fragen geklärt werden, welche sich beim Übergang von einer zweidimensionalen Zeichnung zu einem dreidimensionalen Modell ergeben.

Auch die Praxis aus amerikanischen Kernanlagen hat gezeigt, daß sich die Strahlenbelastungen personaler Arbeitsträger in bedeutendem Maße verringern lassen, wenn die Instandhaltungsarbeiten am Modell geplant werden. So plant die Bechtel Power Corporation, die für das Gesamt-Management schlüsselfertiger Anlagen in großem Stil tätig ist, durch "Coordinated Design Reviews" bewußt - und dies wird anhand von quantitativen Studien an Modellen im Maßstab 1 : 30, 1 : 24 und 1 : 16 genauestens recherchiert - die Wartungs- und Reparaturfreundlichkeit für neu zu erstellende Anlagen bereits in der Planungsphase mit ein /16/.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Aus der Notwendigkeit heraus, in zukünftigen kerntechnischen Anlagen die Strahlenbelastung des Personals bei Instandhaltungs- und zuletzt auch bei Abrißarbeiten zu reduzieren, wurden die Vorteile eines Modells gegenüber zeichnerischen Unterlagen herausgearbeitet. Es wurde festgestellt, daß durch die Anwendung von Modellen bereits in der Planungsphase einer Anlage alle wesentlichen Gesichtspunkte dieser Problematik, insbesondere der Platzbedarf, auf Grund einer wesentlich besseren Darbietungsweise, nämlich der Darstellung in plastischer Form mit unterschiedlicher Farbgebung einzelner Systeme und Komponenten, besser offengelegt werden können. Anhand eines Modells können nicht nur bessere Aussagen über Rohrleitungsführungen und Anordnungen von Anlageteilen sowie Abschirmungen gemacht werden, sondern es bietet sich auch die Möglichkeit an, Arbeits-, Transport- und Wegestudien bei Inspektions- und Wartungsarbeiten und bei Dekontamination einzuholen. Weiterhin ist die Schulung sowohl des Eigen- als auch des Fremdpersonals am Modell ein nicht zu unterschätzender Faktor bei der Ausbildung. Für Gespräche mit Behörden und Gutachtern lassen sich Teile des Modells, als Einschübe ausgebildet, leicht transportieren.

Einzelfälle, bei denen die Planung mit Hilfe eines Modells durchgeführt wurde (Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich, WAK), zeigen, daß dieses im Chemieanlagenbau angewendete Verfahren durchaus auf die Kerntechnik übertragen werden kann. Modellgröße und Details müßten auf die Belange der Kerntechnik abgestimmt werden. Unter den in der Einleitung dargestellten Gründen wird es unumgänglich sein, künftige Anlagen mehr unter Einbeziehung des radiologischen Arbeitsschutzes sowie sicherheitstechnisch relevanter Aspekte und anderen aufgeführten Gesichtspunkten zu projektieren. Die Möglichkeiten, die ein Modell diesbezüglich bietet, lassen es erforderlich erscheinen, in Zukunft die Planung, Errichtung, Betrieb und Demontage von Kernkraftwerken anhand von Modellen vorzunehmen.

LITERATURVERZEICHNIS

- /1/ Weckesser, A.:
Wartung und Reparatur in Kernkraftwerken
11. IRS-Fachgespräch in Köln, 30.-31.10.1975
IRS-T-28 (Januar 1976), S. 111/25
- /2/ Berners, O.:
Ergebnisse und Analysen der Reparatur- und Wartungs-
freundlichkeit aus der Sicht des Strahlenschutzes
Hrsg. Kraftanlagen Heidelberg, Februar 1976
- /3/ Technische Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber:
Empfehlungen für Planung und Betrieb von Kernkraftwer-
ken mit Leichtwasserreaktoren
VGB, 1975
- /4/ Der Bundesminister des Innern:
Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen und Strahlen-
schutz; Rechenschaftsbericht und Programm
Bonn, Dezember 1974
- /5/ Erfahrungen mit Inspektion, Wartung, Reparatur und
Dekontamination in Kernkraftwerken mit Leichtwasser-
reaktoren
EUR 5055 d
- /6/ TÜV Rheinland e.V., Institut für Unfallforschung:
Menschliche Faktoren im Kernkraftwerk
Köln, 1978
- /7/ Schefe, G.:
Durch welche Maßnahmen kann der Prüfaufwand an konven-
tionellen Bauteilen von Kernenergieanlagen verringert
werden?
VGB-Kraftwerkstechnik, 56. Jahrgang, Heft 5, Mai 1976
- /8/ Berg, D.:
Beeinflussung der Planung von Kernkraftwerken in Rich-
tung auf Wartungs- und Reparaturfreundlichkeit
VGB-Kraftwerkstechnik, 56. Jahrgang, Heft 5, Mai 1976
- /9/ Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (VDEW):
Untersuchung zur Stilllegung von Kernkraftwerken
Frankfurt (Main), Mai 1975

- /10/ Grundke, E.:
Neue Erkenntnisse bei der BBR-Modellplanung
Vortrag Reaktortagung Düsseldorf 1976, Hrsg. DATF,
Manuskript, S. 642

- /11/ Reinstein, D.:
Modellbau zur Planung von Kernkraftwerken
Vortrag Reaktortagung Nürnberg 1975, Hrsg. DATF,
Manuskript, S. 635

- /12/ VDI-Nachrichten Nr. 17 vom 18.4.1978, S. 9

- /13/ Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe, Erfahrungsbericht
Nr. 4 vom 1.4.1967 - 30.6.1967

- /14/ Prospekt der Firma IBERO, Offenbach

- /15/ Nuclear Energy Digest, Westinghouse, 1977

- /16/ Coordinated design reviews to improve access and re-
duce radiation exposure
Nuclear Engineering International 23 (1978), No. 268

**Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS)mbH**

Schwertnergasse 1
50667 Köln
Telefon (02 21) 20 68-0
Telefax (02 21) 20 68-888

Forschungsgelände
85748 Garching b. München
Telefon (0 89) 3 20 04-0
Telefax (0 89) 3 20 04-599

Kurfürstendamm 200
10719 Berlin
Telefon (0 30) 8 85 89-0
Telefax (0 30) 8 85 89-111

Theodor-Heuss-Straße 4
38122 Braunschweig
Telefon (0531) 80 12-0
Telefax (0531) 80 12-200