Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 96 (1978)

Heft: 19: SIA-Heft, 2/1978: Bewilligung und Überwachung von Kernkraftwerken

Artikel: Bewilligungsverfahren und behördliche Überwachung bei Kernkraftwerken

Autor: Baumgartner, G. / Geistlich, K. / Heimgartner, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-73689

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: 09.12.2025

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

HERAUSGEGEBEN VON DER VERLAGS-AKTIENGESELLSCHAFT DER AKADEMISCHEN TECHNISCHEN VEREINE, 8021 ZÜRICH, POSTFACH 630

SIA-Heft 2, 1978

Sicherheit der Kernkraftwerke IV)*

Bewilligungsverfahren und behördliche Überwachung bei Kernkraftwerken

Von **G. Baumgartner, K. Geistlich, E. Heimgartner** und **P. Krebs**, Zürich

Der vorliegende Artikel ist der vierte Beitrag einer Publikationsreihe über die Sicherheit von Kernkraftwerken [1–5], die auf Anregung der Fachgruppe der Ingenieure der Industrie des SIA im Heft 44 vom 3. November 1977 in der SBZ begonnen wurde. Nach der Darlegung der bei Kernkraftwerken auftretenden Sicherheitsprobleme sowie der Beschreibung der baulichen und maschinellen Anlagen im Rahmen ihrer sicherheitstechnischen Bedeutung soll in diesem Beitrag das Bewilligungsverfahren und die behördliche Überwachung zur Wahrnehmung der Sicherheitsinteressen der Öffentlichkeit beschrieben werden.

Bewilligungsverfahren

Im *Bundesgesetz über die friedliche Verwendung der Atomenergie und den Strahlenschutz* [6], dem Atomgesetz, werden Anlagen zur nuklearen Energieerzeugung einem speziellen Bewilligungsverfahren unterstellt. Durch dieses Verfahren werden die Interessen der Öffentlichkeit wahrgenommen, wobei insbesondere dem Sicherheitsbedürfnis Rechnung getragen wird.

Ausser dem Atomgesetz untersteht eine Kernanlage, insbesondere auch ein Kernkraftwerk, sämtlichen übrigen anwendbaren eidgenössischen, kantonalen und kommunalen Gesetzen und Vorschriften wie jede andere Industrieanlage. Die bau- und feuerpolizeilichen Vorschriften sowie auch das Arbeitsgesetz sind hier die wesentlichsten. Im folgenden wird jedoch *ausschliesslich das Bewilligungsverfahren nach Atomgesetz* angesprochen, da es für Kernkraftwerke, im Gegensatz zu andern Industrieanlagen, eine Besonderheit darstellt und eine zentrale Stellung einnimmt.

Gesetzliche Grundlagen und Kompetenzen

Das Atomgesetz als gültige Grundlage für das Bewilligungsverfahren umschreibt das Verfahren zur Erlangung von atomrechtlichen Bewilligungen, regelt die Aufsichtspflicht des Bundes, enthält die Zielsetzung für die Vorschriften zum Schutz der Bevölkerung vor ionisierender Strahlung sowie die Regelung der Haftpflicht- und Versicherungsfragen. Die zugehörigen Verordnungen [7 bis 11] betreffen die *Begriffsbestimmungen und Bewilligungen im Gebiet der Atomenergie* [7], die *Eidgenössische Kommission für die Sicherheit von Atomanlagen* [8], den *Fonds für Atomspätschäden* [9], den *Strahlenschutz* [10], sowie die *Alarmorganisation für den Fall erhöhter Radioaktivität* [11]. In einer weiteren Verordnung hat der Bundesrat im Herbst 1977 die Deckungssumme für Haftpflichtschäden für Auswirkungen eines Kernkraftwerkes auf die Umwelt von 40 Mio Franken auf 200 Mio Franken erhöht.

Zur Zeit wird das Atomgesetz einer *Teilrevision* unterzogen, die vermutlich im Jahre 1978 in Kraft gesetzt werden kann (Unterstellung unter das fakultative Referendum). Die wesentlichen Änderungsvorschläge betreffen das Bewilligungsverfahren sowie die Bewilligungsinstanz. Ferner soll die Frage der radioaktiven Abfälle eine Regelung erfahren. Im Bewilligungsverfahren ist an Stelle der bisher üblichen Standortbewilligung eine *Rahmenbewilligung* vorgesehen, die auf einer Beurteilung der Standortprobleme, der Umgebungsbeeinflussung, des vorgesehenen Reaktortyps sowie des Nachweises des Bedürfnisses für das Kernkraftwerk basiert. Als Bewilligungsinstanz soll neu der *Gesamtbundesrat* anstelle des Vorstehers des Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartements die Rahmenbewilligung erteilen.

Eine *Totalrevision* des Atomgesetzes ist für den Anfang der 80er Jahre vorgesehen.

Nach dem heute gültigen Atomgesetz liegt die Kompetenz zur Bewilligung von Gesuchen für Kernanlagen, die zur elektrischen Energieerzeugung dienen, beim *Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement* (EVED). Für andere Atomanlagen, beispielsweise Forschungsreaktoren ist das Amt für Energiewirtschaft (AEW) im EVED als Bewilligungsinstanz zuständig. Diese Kompetenz zur Erteilung von atomrechtlichen Bewilligungen ist vom Bundesrat durch Verordnungen vom 23. Juni 1960 und vom 23. Dezember 1968 delegiert worden. Die Entscheide über Bewilligungen zur Errichtung und zum Betrieb von Kernkraftwerken werden damit vom Vorsteher des Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartements getroffen, die Beschwerdeinstanz ist der Gesamtbundesrat.

Das Atomgesetz verlangt, dass ein Bewilligungsgesuch von einem ausführlichen *Technischen Bericht* begleitet sein muss, in dem insbesondere darzulegen ist, welche Massnahmen der Projektant zum Schutz von Leben und Gesundheit des Personals und der Bevölkerung vorgesehen hat. Dieser Bericht des Gesuchstellers wird allgemein als *«Vorläufiger Sicherheitsbericht»* bezeichnet. Er ist für die Inbetriebnahme des erstellten Werkes auf Grund seiner dann in allen Details bekannten Gestaltung, Auslegung und Ausführung durch den *«Definitiven Sicherheitsbericht»* zu ersetzen.

Die Bewilligungsbehörde (vgl. Bild 1) hat als Grundlage zur Erteilung einer Bewilligung ein *Gutachten* einzuholen. Es soll sich auf der Basis des vorläufigen Sicherheitsberichtes nach dem Wortlaut des Atomgesetzes darüber aussprechen, ob das Projekt alle zumutbaren Massnahmen zum Schutz von Menschen, fremden Sachen und wichtigen Rechtsgütern vorsieht.

Entsprechend der Verordnung [8] ist die *Eidgenössische Kommission für die Sicherheit von Atomanlagen* (KSA), die aus Vertretern von Forschung und Industrie zusammengesetzt ist, für diese sicherheitstechnische Begutachtung der vorgesehenen Kernanlagen zuständig. Für ihre Arbeit steht ihr die *Abteilung für die Sicherheit der Kernanlagen* (ASK) des Amtes für Energiewirtschaft (AEW) zur Seite. Beide können Experten und Fachorganisationen zuziehen. Die

*) Vgl. Schweiz. Bauzeitung, Heft 44 (1977), Heft 3 und 6 (1978).

Bild 1. Bewilligungsinstanzen und Prüfinstanzen der nuklear-technischen Sicherheitsaspekte nach dem heute gültigen Atomgesetz [6] und der vorgeschlagenen Teilrevision des Atomgesetzes (1978)

	Atomgesetz vom 23. Dez. 1959 und zugehörige Ausführungsbestimmungen	*Vorschlag für die Teilrevision des Atomgesetzes, 1978*
Bewilligungsinstanz	Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement	Gesamtbundesrat für Rahmenbewilligung, Gesamtbundesrat oder Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement für die weiteren Bewilligungen (Bau und Betrieb)
Gutachter	Eidgenössische Kommission für die Sicherheit von Atomanlagen (KSA) mit Experten	
Ausführungsüberwachung	Abteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (ASK) mit beauftragten Experten	

Überwachung der Einhaltung der Vorschriften des Atomgesetzes sowie der im Gutachten der KSA enthaltenen Anforderungen für Bau und Betrieb eines Kernkraftwerkes (die gegebenenfalls über die Vorschläge des Gesuchstellers hinausgehen können) wird im wesentlichen von der Abteilung für die Sicherheit der Kernanlagen sowie von ihr zugezogenen Fachleuten durchgeführt, wobei diesen letzten namentlich die Überwachung der Ausführung übertragen wird.

Durchführung des Bewilligungsverfahrens

Das auf dem heutigen Atomgesetz begründete nukleare Bewilligungsverfahren für den Bau und die Inbetriebnahme eines Kernkraftwerkes erfolgt in *mehreren* Schritten. Sie umfassen allgemein die *Standortbewilligung*, eine oder mehrere *Teilbaubewilligungen* sowie nach Abschluss der Bauarbeiten die *Inbetriebnahme-* und die *Betriebsbewilligung*. Die einzelnen Bewilligungen beruhen auf Gutachten von Expertenkommissionen und enthalten Entscheide und Beurteilungen mit immer stärkerem Feinheitsgrad. Grundlegende Entscheide wie die Standorteignung, Zumutbarkeit der Umgebungseinflüsse und Begrenzung der Kühlwasserentnahme können somit frühzeitig vor der davon abhängigen Projektbearbeitung und Detailprojektierung getroffen werden. Durch dieses bei jedem Grossprojekt angewandte Verfahren der *gestaffelten Projektbearbeitung* wird sowohl der Aufwand für die Planung wie auch für die Ueberprüfung in vernünftigem Rahmen gehalten. Als wichtiges Element enthält diese Aufteilung des Bewilligungsverfahrens die jeweilige, auf Erfahrung beruhende Annahme, dass für die noch nicht im Detail beurteilten weiteren Schritte befriedigende Lösungen gefunden werden können.

Nach dem Vorschlag für die Teilrevision des Atomgesetzes würde die *Rahmenbewilligung zum wichtigsten politisch-technischen Bewilligungsschritt*. Sie kann nur erteilt werden, sofern ein *Bedürfnis* für ein Kernkraftwerk anerkannt wird. In der Rahmenbewilligung werden die weiteren Bewilligungsschritte wie Bau-, Inbetriebnahme- und Betriebsbewilligungen umschrieben.

Hat ein Projekt für ein Kernkraftwerk einen genügenden Reifegrad erreicht, wird der Bauherr das Gesuch für die *Baubewilligung* zusammen mit dem vorläufigen Sicherheitsbericht einreichen. Die sicherheitstechnischen Belange des Kernkraftwerkes werden darauf von der KSA und der ASK im Rahmen einer *Konzeptbeurteilung* begutachtet. Dabei steht die Überprüfung der Einhaltung von verschiedenen *Sicherheitskriterien* im Vordergrund, die aus dem allgemeinen Stand von Wissenschaft und Technik hervorgehen und weitgehend durch Regelwerke nationaler und internationaler Institutionen festgehalten sind.

Bei der Begutachtung des Bauprojektes wird das ganze Spektrum des vermutlichen Verhaltens von Anlage und Brennstoff im Betrieb, bei Transienten sowie bei Stör- und Unfällen betrachtet. Ebenso werden auch die äusseren Gefährdungen am Standort in die Beurteilung einbezogen und die der Projektierung dafür zugrundezulegenden Annahmen verifiziert.

Für die Durchführung dieser Begutachtungsarbeit sind Fragen der Anlagengestaltung im ganzen und zu einschlägigen Einzelheiten sowie Fragen der Systemtechnik unter Einschluss von Messung, Steuerung und Regelung zu beantworten. Dabei ist dem Gesichtspunkt des Strahlenschutzes für Personal und Umgebung volle Aufmerksamkeit zu schenken.

Die Konzeptbeurteilung umfasst also alle Gesichtspunkte, die vom Standpunkt der *nuklearen Sicherheit* zu begutachten sind. Sie bildet die Grundlage für das vom Atomgesetz verlangte Gutachten für die Erteilung der atomrechtlichen Baubewilligung. Sie ermöglicht – gegebenenfalls mit Bedingungen und Auflagen – den Bau der bewilligten Gebäude sowie die Herstellung und Montage der maschinellen und elektrischen Einrichtungen.

Im Rahmen der Baubewilligung werden von der ASK *Bau- und Montagefreigaben* für einzelne Bauteile oder Systeme aufgrund der vorgenommenen Beurteilungen und Prüfungen erteilt, sowie das Einverständnis gegeben zum Beginn des Genehmigungsverfahrens für mechanische Komponenten. Die Herstellung und Montage von Komponenten wird darauf vom beauftragten Experten erlaubt, sobald die notwendigen Voraussetzungen dazu erfüllt sind.

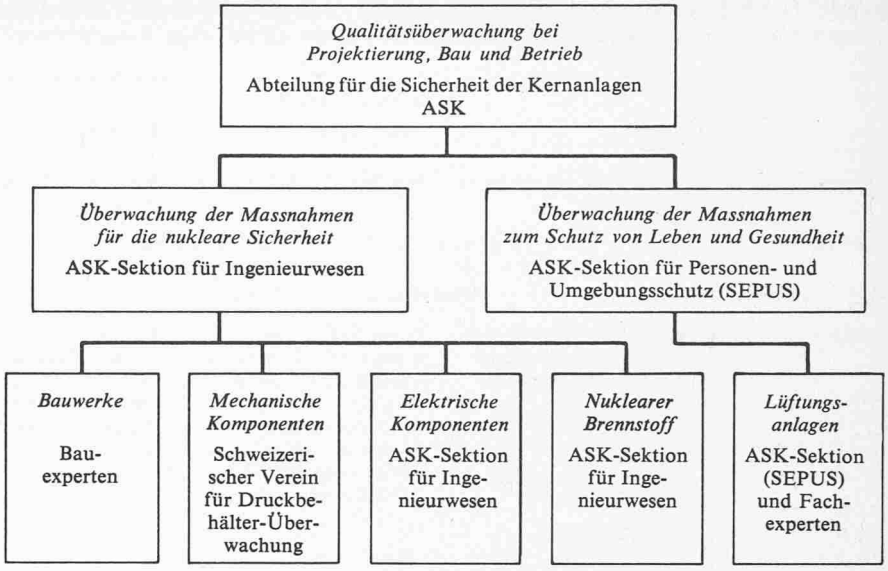
Die *Inbetriebnahmebewilligung* nach Abschluss der Bauarbeiten ermöglicht das Laden des nuklearen Brennstoffes in den Reaktor sowie im Rahmen eines festgelegten Inbetriebnahmeprogramms einen Leistungsbetrieb mit schrittweise zunehmender Kraftwerksleistung.

Sind die Sicherheitsmassnahmen von der Bewilligungsbehörde als ausreichend beurteilt, müssen sie entsprechend dem Stand der Technik auch so verwirklicht werden, wie dies bei der Begutachtung vorausgesetzt wurde. Dies erfordert die im vorliegenden Artikel zu behandelnde Qualitätsüberwachung.

Konzept der behördlichen Qualitätsüberwachung

Im Rahmen des behördlichen Bewilligungs- und Prüfverfahrens ist die *Abteilung für die Sicherheit der Kernanlagen* (ASK) mit der Beurteilung der für die Sicherheit wichtigen funktionellen und systemtechnischen Belange, der grundlegenden Auslegungsmerkmale sowie des Strahlenschutzes beauftragt. Zudem ist sie grundsätzlich für die Qualitätsüberwachung bei Projektierung, Bau und Betrieb eines Kernkraftwerkes verantwortlich (Bild 2). Dabei ist die *Sektion für Ingenieurwesen* ausser für Fragen der Systemtechnik und der Auslegung vornehmlich für die Gewährleistung der Sicherheit der Anlage bei Transienten und unter Stör- und Unfallbedingungen zuständig. Sie wird für die spezifischen Belange der Qualitätsüberwachung auf der Bau- und Komponentenseite von zugezogenen Fachexperten unterstützt. Die *Sektion für Personen- und Umgebungsschutz* überwacht die Strahlenschutzmassnahmen zur Einhaltung der gesetzlichen Vorschriften zum Schutz von Leben und Gesundheit von Betriebspersonal und Bevölkerung während des Betriebes sowie unter Stör- und Unfallbedingungen.

Bild 2. Konzept der behördlichen Qualitätsüberwachung bei der Erstellung und beim Betrieb eines Kernkraftwerkes. Nach der Verordnung [8] zum Atomgesetz kann die KSA Fachexperten zuziehen, welche die ASK bei speziellen Qualitätsüberwachungsaufgaben unterstützen



Die *behördliche Qualitätsüberwachung* erfolgt für die einzelnen Sachgebiete (Systemtechnik, Bauten, mechanische und elektrische Komponenten usw.) mit Hilfe von Weisungen zur Abwicklung, Kontrolle und Dokumentation qualitätsbezogener Tätigkeiten, der Begleitung von Projektierung, Herstellung, Bau und Betrieb sowie durch eigentliche Qualitätskontrollen. Im wesentlichen soll sie eine eigene, unabhängige Beurteilung der wichtigsten Projektierungs- und Herstellungsschritte während des Baus eines Kernkraftwerkes sowie eine Kontrolle des Betriebsverhaltens zur Sicherstellung des nach Atomgesetz geforderten Sicherheitsgrades erlauben. *Qualitätskontrollen* sind nachfolgend als Teilaspekte einer Qualitätsüberwachung zu verstehen und umfassen sowohl Inspektions- wie auch eigentliche Prüftätigkeiten.

Neben der behördlichen Qualitätsüberwachung nach Atomgesetz ist auch der Bauherr im Rahmen seiner Haftung als Werkeigentümer verpflichtet – und aus wirtschaftlichen Gründen bestrebt – alles Zumutbare zu tun (bzw. von seinen Lieferanten zu verlangen), um eine hohe Qualität und damit eine möglichst hohe Betriebssicherheit seiner Anlage zu gewährleisten.

Gewaltentrennung bei der Qualitätsüberwachung

Die zuverlässige Funktionsweise eines Bestandteiles des Kernkraftwerkes, sei es eine bauliche Anlage, eine maschinelle oder eine elektrische Komponente, stützt sich im wesentlichen auf eine *anforderungsgemässe Auslegung, eine fachgerechte Herstellung sowie auf den bestimmungsgemässen Betrieb* ab. Ein solcher Bestandteil kann seine Aufgaben im Rahmen der Gesamtanlage nur dann erfüllen, wenn er funktionell richtig ausgelegt ist. Die Anforderungen an jeden einzelnen Bestandteil einer Kernanlage müssen also aufgrund aller zu betrachtenden Betriebs-, Störfall- und Unfallzustände richtig formuliert und als Grundlage für die Auslegung und Konstruktion berücksichtigt werden. Daneben ist die fachgerechte Durchführung der Projektierung wie auch die fachgerechte Herstellung und Montage jedes einzelnen Bestandteiles von fundamentaler Bedeutung für seine Qualität. Der *Qualitätsüberwachung durch den Hersteller selbst,* d.h. der Sicherstellung, dass sein Produkt entsprechend den festgelegten Anforderungen fachgerecht hergestellt und kontrolliert wird, kommt somit grosse Bedeutung zu. Durch den Auftraggeber, insbesondere den Ersteller eines Kernkraftwerkes sowie den Betreiber wird eine unabhängige Qualitätsüberwachung mit eigener Zielsetzung und Umfang durchgeführt. Dadurch wird gewährleistet, dass die Anforderungen und Erwartungen weiterer am Entwurf, an der Herstellung und am Betrieb beteiligter Instanzen eingehalten werden.

Als *wichtiges Merkmal* aller Qualitätsüberwachungsorgane wird ihre *Unabhängigkeit von den direkt und massgebend bei Projektierung oder Herstellung beteiligten Organen* betrachtet, damit sie ihre Aufgaben unbeeinflusst durchführen und unabhängig beurteilen und entscheiden können.

Um sich zu vergewissern, ob dieses Qualitätsüberwachungssystem funktioniert, hat der Gesetzgeber seinerseits eine Prüfbehörde eingesetzt, die mit ihren Experten und Beauftragten auf allen Stufen der Projektabwicklung eine unabhängige Beurteilung qualitätsbezogener Tätigkeiten vornimmt. Dadurch wird dem Prinzip der *Gewaltentrennung* Rechnung getragen, indem die Wahrnehmung der Interessen des privatwirtschaftlich organisierten Bauherrn und Betreibers von der Durchsetzung der vom Gesetzgeber auferlegten Anforderungen getrennt wird. Zudem wird insbesondere den Prüfbehörden, welche die Schutzinteressen der Öffentlichkeit wahrnehmen, eine von Partikulärinteressen unabhängige Stellung eingeräumt (Bild 3).

Qualitätsüberwachung von Bauwerken

Überprüfung der Projektierung

Die gesamte Projektierung mit Entwurf, Berechnung und Konstruktion von sicherheitstechnisch wichtigen Bauwerken wird im Rahmen der behördlichen Qualitätsüberwachung einer unabhängigen Überprüfung durch Bauexperten unterzogen. Die Überprüfung erfolgt aufgrund der ASK-internen Richtlinie über das «Prüfverfahren des Bundes für Entwurf, Berechnungen und Konstruktion der Bauwerke von Kernanlagen», die unter anderem Konzept, Umfang und Ablauf der Überprüfung von sicherheitstechnisch wichtigen Bauwerken umschreibt.

Konzept

Grundlage für die behördliche Überprüfung der Projektierung von Bauwerken durch die Fachexperten sind die vom Gesuchsteller vorgeschlagenen oder ihm im Rahmen des Bewilligungsverfahrens von der KSA und der ASK auferlegten Sicherheitsanforderungen. Dabei ist die Gebäudeliste, worin die Schutzkategorien für alle Bauwerke des Kernkraftwerkes aufgeführt sind, von zentraler Bedeutung. Die für die Bauwerke massgebenden Sicherheitsanforderungen betreffen:

Bild 3. Der unterschiedlichen Interessenlage zwischen dem Ersteller einer Kernanlage und der Öffentlichkeit wird durch voneinander unabhängigen Qualitätsüberwachungsinstanzen mit spezifischen Aufgabenbereichen Rechnung getragen

	Privatwirtschaft			Öffentlichkeit
	Hersteller	**Generalunternehmer**	**Bauherr**	**Staat**
Aufgaben	Herstellen und Liefern von Anlageteilen	Erstellen der Anlage	Bestellen u. Betreiben der Anlage	Vertreten der Öffentlichkeit
Interessenlage	Privatwirtschaftlich (Partikulärinteressen)			Allgemeinwohl (Schutzinteresse)
	⟷	⟷	⟷	
Rechtsbeziehung	Werkvertrag	Werkvertrag	Atomgesetz	
Tätigkeit	Entwickelt und stellt Produkte her entsprechend den gestellten Anforderungen	Projektiert die Anlage entsprechend Stand von Technik und Wissenschaft und den Anforderungen des Bauherrn; umschreibt Anforderungen an Einzelprodukte; wählt Einzelprodukte	Umschreibt Anforderungen an Gesamtanlage, so dass diese den gestellten Sicherheits- und Qualitätsanforderungen entsprechen.	Beurteilt die grundlegenden Vorschläge zur Anlagengestaltung und Systemtechnik im Licht von Betriebs- und Unfallverhalten
			Beantragt deren Bewilligung	Bewilligt Herstellung und Betrieb der Anlage; überprüft Auslegung der einzelnen Bestandteile; überwacht deren Herstellung und Betrieb im Hinblick auf Einhaltung der Sicherheits- und Qualitätsanforderungen
Qualitätsüberwachung	Kontrolle der qualitätskonformen Herstellung	Kontrolle der qualitätskonformen Erstellung	Kontrolle des Bau- und Betriebsablaufes	Behördliche Überwachung der an der qualitätskonformen Projektierung, an Bau und Herstellung beteiligten Instanzen
	Überwachung von Unterlieferanten	Überwachung von Herstellern	Überwachung des Generalunternehmers	

- Festlegung der Gefährdung durch äussere Einwirkungen für den betrachteten Standort (insbesondere Erdbeben, Überflutung und zivilisatorische Ereignisse wie Flugzeugabsturz und Explosionen).
- Festlegung von Störfallhypothesen (Auslegungsunfälle) innerhalb der Anlage, sowie der daraus resultierenden Belastungen und Belastungskombinationen.
- Vorschriften und Normen sowie die einzuhaltenden Sicherheiten gegen Versagen unter verschiedenen Betriebs- und Unfallbedingungen.
- Konstruktive Anforderungen bezüglich Strahlenschutz und Dichtigkeit.

Die Auslegung der Bauwerke wird durch den Prüfingenieur grundsätzlich soweit nachvollzogen, bis Gewissheit über die Erfüllung der gestellten Sicherheitsanforderungen besteht. Dabei wird grundsätzlich das *Vorschlagsprinzip* eingehalten, indem nur Auslegungsunterlagen des Projektanten überprüft und auf die Einhaltung der sicherheitstechnisch bedeutenden Anforderungen hin beurteilt werden.

Umfang

Der Prüfumfang ist sowohl vom Prüfprojekt wie auch von den damit verbundenen Problemen abhängig. Dabei wird entsprechend der sicherheitstechnischen Bedeutung und der Komplexität des zu überprüfenden Bauwerkes eine eher allgemeine oder eine detaillierte Überprüfung durchgeführt. Die *allgemeine Überprüfung* umfasst im wesentlichen eine Kontrolle der Ausgangsgrössen für die Auslegung, eine Beurteilung der Anwendbarkeit des verwendeten Rechenverfahrens sowie der Modellwahl für die dynamischen und statischen Berechnungen, eine Überprüfung der zu treffenden Berechnungsannahmen sowie eine Beurteilung der Plausibilität und Vernünftigkeit der ermittelten Resultate. Durch Sensitivitätsanalysen wird der Einfluss von nicht genau erfassbaren Rechenannahmen abgeschätzt. In der *detaillierten Überprüfung* werden zusätzlich numerische Kontrollen von wichtigen Berechnungsschritten durchgeführt, wobei meistens andere Rechenmodelle zugrundegelegt werden. Eine zentrale Bedeutung kommt dabei der *Erdbebenauslegung* (seismische Analysen) zu.

Ablauf

Der Ablauf der Überprüfung der baulichen Sicherheit erfolgt *stufenweise mit steigendem Feinheitsgrad in drei Hierarchien* (Bild 4). Der Prüfablauf entspricht damit auch weitgehend einem geordneten Projektierungsrhythmus.

Eine wesentliche Voraussetzung zur Bearbeitung einer weiteren Hierarchie ist die Bereinigung der Probleme der übergeordneten Hierarchie. Die Überprüfung der allgemeinen Bauwerkauslegung für ein Gebäude beginnt damit rund ein halbes Jahr vor dem eigentlichen Baubeginn, die Überprüfung der übergeordneten standortabhängigen Grundlagen in einem noch früheren Projektierungsstadium (Bild 5).

Nach Abschluss der Beurteilung der allgemeinen Auslegung eines Bauwerkes (2. Hierarchie) und der davon abhängigen Überprüfung der Detailauslegung und der Ausführungspläne des ersten Bearbeitungsabschnittes sind die notwendigen baulichen Voraussetzungen für den Beginn der Bauarbeiten vorhanden. Ausser den Bauproblemen sind zudem auch alle anderen Auslegungsfragen, insbesondere die Anordung und Gestaltung von Fluchtwegen und Strahlenschutzzonen, zu bereinigen.

Ausser der analytischen und konstruktiven Beurteilung des Bauprojektes wird dem Erkennen und der Kontrolle von *Nahtstellenproblemen* in der Projektierung und im behördlichen Prüfverfahren grosse Bedeutung beigemessen. Dabei stehen die Grenzbereiche zwischen verschiedenen Fachbereichen, insbesondere die gegenseitige Beeinflussung von Bauwerken und maschinellen Einrichtungen, im Vordergrund.

Um einen Nachvollzug von Projektierung und Überprüfung zu gewährleisten, werden besondere Anforderungen an

die *Dokumentation* gestellt. Ebenso erfolgen *Änderungskontrollen* nach festgelegten Verfahren.

Beispiel zur Projektierungsüberprüfung

Unabhängige Kontrollrechnungen im Rahmen der Überprüfung der seismischen Gebäudeanalyse wurden auch für das Reaktorgebäude des Kernkraftwerkes *Leibstadt* durchgeführt. Seismische Gebäudeanalysen sind ihres Umfanges und ihrer Komplexität wegen sehr zeitaufwendig und werden im allgemeinen nicht in ihrer Gesamtheit nachgerechnet. Die Überprüfung besteht in diesem Fall im wesentlichen in der Beurteilung der Gebäudemodellierung und der Kontrolle der Eingabedaten. Kontrollrechnungen werden zu Einzelaspekten oder im Sinne von ergänzenden Sensitivitätsbetrachtungen durchgeführt.

Im vorliegenden Beispiel wurde vom Projektverfasser (Elektrowatt Ingenieurunternehmung) zur *Untersuchung des dynamischen Verhaltens der Struktur unter einer Erdbebenerregung* ein *ebenes Balken-Federn-Modell mit in den Knotenpunkten konzentrierten Massen* vorgeschlagen (Bild 7). Die Zulässigkeit dieser Modellierung wurde vom Projektanten durch *Vergleichsberechnungen an einem axialsymmetrischen Finite-Element-Modell* (Bild 6) nachgewiesen. Im Balken-Federn-Modell simulieren die Federn den Baugrund und ermöglichen die Berücksichtigung des Einflusses des Bodens auf das dynamische Verhalten des Gebäudes. Die Federkonstanten dazu wurden am Finite-Element-Modell ermittelt.

Eine Nachrechnung durch den Prüfingenieur hatte die Bestätigung der globalen Beanspruchung und Deformationen zum Ziel. Dazu wurde ebenfalls ein Balken-Federn-Modell benutzt (Bild 7), allerdings mit einer beschränkten Anzahl Knoten, jedoch genügend um das globale Verhalten, das sich im niedrig-frequenten Bereich ($f < 33$ Hz) abspielt, zu erfassen. Die Bodenfedern wurden über eine Näherungsmethode für den geschichteten-elastischen Halbraum bestimmt. Daneben wurde ein Computerprogramm mit einem unterschiedlichen Algorithmus zur Lösung des Eigenwertproblemes, das sich in den heute üblichen Berechnungsmethoden (modale Analysen) stellt, verwendet. In Bild 8 sind die in der Kontrollrechnung ermittelten horizontalen Verschiebungen für verschiedene Höhenlagen des Abschirmgebäudes, zusammen mit den Resultaten des Projektverfassers dargestellt.

Obwohl die Kontrollrechnung wie im skizzierten Beispiel eine gute Übereinstimmung mit der Berechnung des Projektverfassers zeigt, darf sie keinesfalls als Ersatz einer Auslegungsberechnung betrachtet werden. Die Modellwahl für die Kontrollrechnungen ist nicht selten von umfangreichen Voruntersuchungen durch den Projektverfasser, welche die Anwendbarkeit spezifischer Vereinfachungen bestätigen, abhängig. Gerade die Auslegung auf den sicherheitstechnisch bedeutsamen Lastfall Erdbeben erfordert vom Projektverfasser umfassende und detaillierte Studien zu den charakteristischen Modellparametern und Erdbebeneingabedaten.

Qualitätsüberwachung der Bauausführung

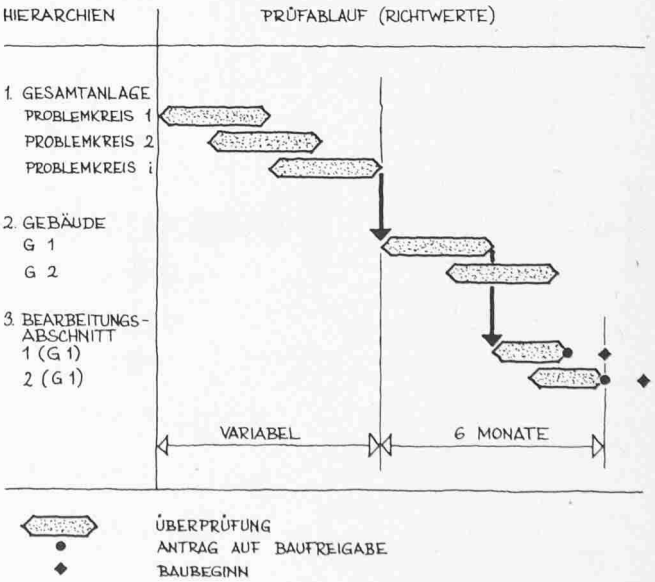
Die fachgerechte Durchführung der Bauarbeiten wird durch von der ASK beauftragte *Bauexperten* überwacht. Das Konzept der Qualitätsüberwachung-Bauausführung erfolgt nach einer ASK-internen Richtlinie. Sie stützt sich vor allem auf das Bundesgesetz über die friedliche Verwendung der Atomenergie und den Strahlenschutz (vom 23. Dez. 1959) sowie auf die Verordnung über die Berechnung, die Ausführung und den Unterhalt der der Aufsicht des Bundes unterstellten Bauten (Baunormen-Verordnung vom 21. Aug. 1962). Unter die Qualitätsüberwachung-Bauausführung fallen alle die vom Standpunkt der nuklearen Sicherheit relevanten Bauwerke und Bauteile; sie decken sich im wesentlichen mit jenen, die schon der Qualitätsüberwachung der Projektierung unterliegen.

Bild 4. Hierarchisch gegliederter Ablauf der baulichen Überprüfung

Überprüfung der baulichen Sicherheit	*Problemkreise*
1. Hierarchie **Gesamtanlage**	**Standortabhängige Auslegungsspezifikation** – Ingenieurmässige Umsetzung der Gefährdung durch äussere Einwirkungen in Berechnungsannahmen – Ermittlung der für die statischen und dynamischen Berechnungen zugrundezulegenden Baugrundeigenschaften – Zusammenstellung der für die Projektierung massgebenden Auslegungsgrundlagen – Anwendungsbereich von Baumaterialien
2. Hierarchie **Gebäude**	**Generelle Bauwerksauslegung** – Vorberechnung des Bauwerkes zur Bestimmung der Abmessungen der Hauptbauteile (dynamische und statische Berechnung der Haupttragkonstruktion, Vorbemessung) – Abklärung der gegenseitigen Beeinflussung verschiedener Gebäude – Kontrolle der Konstruktionsmöglichkeit kritischer Bauteile
3. Hierarchie **Bearbeitungsabschnitt**	**Detailauslegung** – Beanspruchungsermittlung und Bemessung der Bauteile – Konstruktive Durchbildung einzelner Bauelemente – Anwendung spezieller Bauverfahren

Die *Aufgabe der Prüfbehörde* besteht zur Hauptsache darin, die *sachgemässe Durchführung der Qualitätsüberwachung durch den Bauherrn* im Rahmen des von ihr genehmigten Programmes zu überwachen, wobei ihr selbstverständlich eigene Überprüfungen vorbehalten bleiben. Die ASK-Richtlinie fordert vom Bauherrn das Aufstellen eines *Qualitätsüberwachungs-Programmes* sowie einer für deren Durchsetzung *verantwortliche Qualitätsüberwachungs-Gruppe*. Neben dem Bauherrn werden auch weitere Instanzen (z.B. Konsortium, Hauptunternehmer) zur Bereitstellung einer Überwachungs-Organisation verpflichtet.

Bild 5. Abhängigkeit im baulichen Prüfablauf



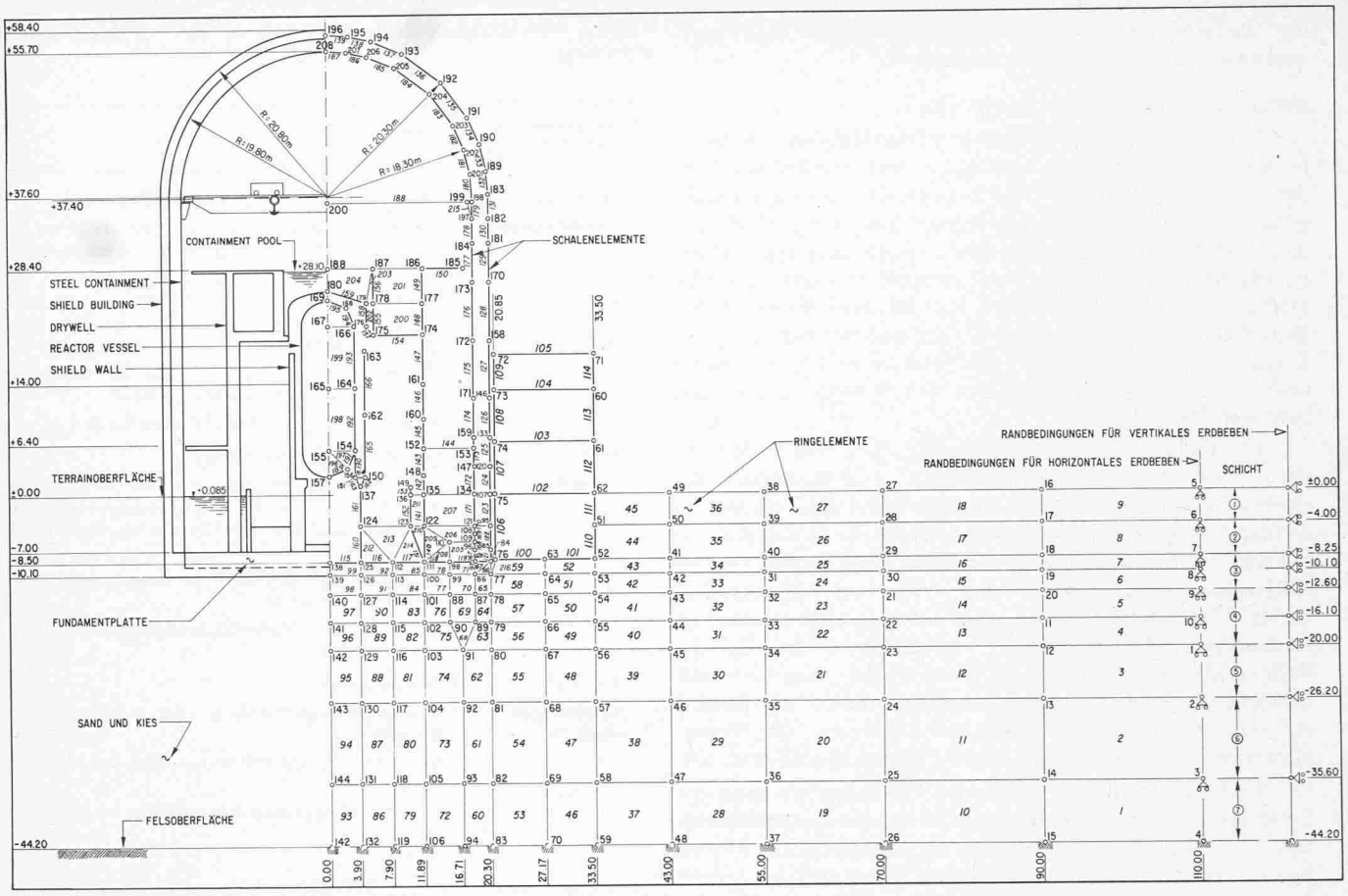


Bild 6. Finite-Element-Modell des Projektverfassers für das Reaktorgebäude

Bild 7. Balken-Federn-Modell des Projektverfassers (links) und des Prüfingenieurs (rechts)

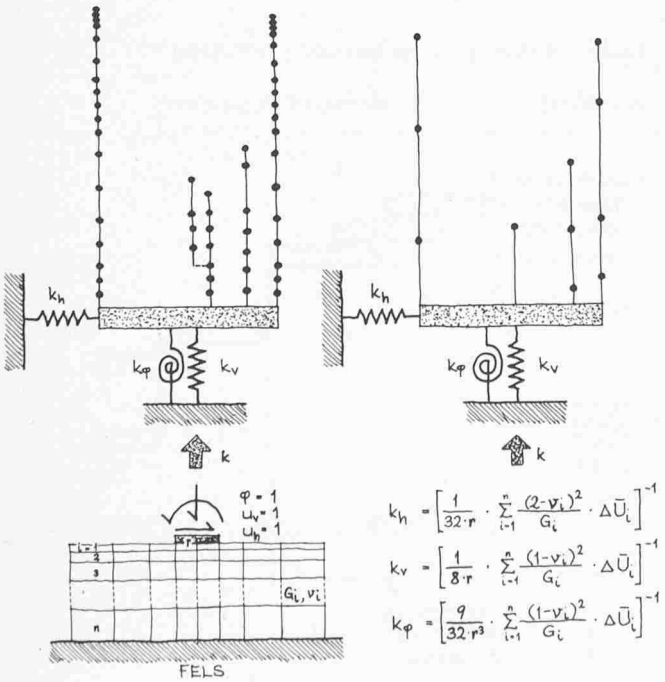
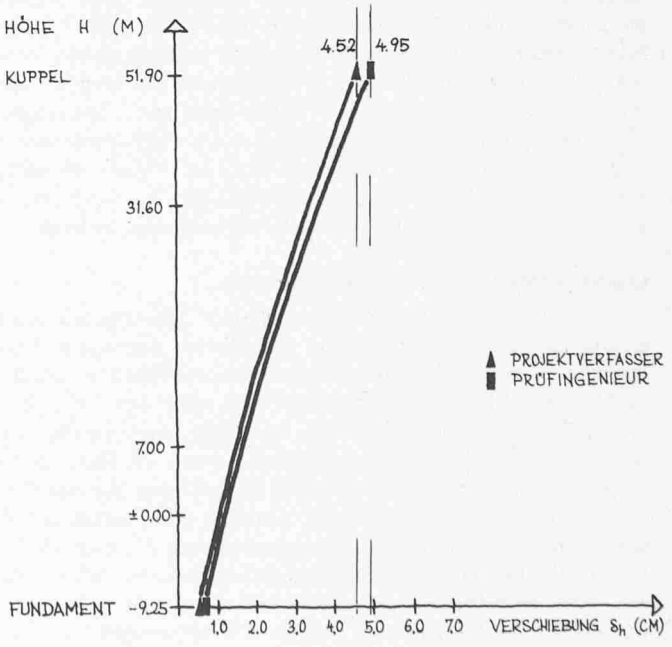


Bild 8. Vergleich der horizontalen Verschiebungen



Bei der Herstellung einzelner Bauteile sowie der Ausführungsüberwachung ist von den im Rahmen des Bewilligungsverfahrens beurteilten Sicherheitsanforderungen sowie auch von den der Projektierung und ihrer Überprüfung zugrundegelegten Anforderungen auszugehen. Sie umfassen:

- Dichtigkeitskriterien,
- Toleranzanforderungen,
- Betonqualität,
- Masshaltigkeit.

Die Überwachung erstreckt sich von der Spezifikation von Bauausführungskriterien über die Arbeitsvorbereitung und Bauausführung bis zur Beendigung der Bauarbeiten. Nebst der Qualität der fertigen Produkte sind auch alle Ausgangsmaterialien (Kies, Wasser, Zement, Stahl) und die notwendigen Geräte (Betonanlagen, Prüfmaschinen) in die Kontrollen miteinzubeziehen. Daneben wird auch die Dokumentation des Bauherrn über seine Überwachungstätigkeiten, die später jederzeit eine Rekonstruktion der Bauvorgänge und Vorkommnisse erlauben muss, auf ihre Vollständigkeit und Zweckmässigkeit überprüft.

Der Umfang von eigenen Überprüfungen durch die Prüfbehörde richtet sich einerseits nach der Güte und dem Ergebnis der Qualitätskontrollen des Bauherrn und andererseits nach der Bedeutung des Prüfobjektes.

Qualitätsüberwachungs-Programm

Die *Qualitätsüberwachung des Bauherrn* auf der Baustelle soll sicherstellen, dass die vom projektierenden Ingenieur spezifizierte Güte der Bauausführung erreicht wird. Dazu ist vom Bauherrn ein Programm aufzustellen, das so aufgebaut und dokumentiert sein soll, dass eine *geplante, systematische Kontrolle aller Materialien und Arbeitsgänge* gewährleistet und nachvollziehbar ist. Das Programm ist vor Inangriffnahme irgendwelcher Bauarbeiten den Aufsichtsbehörden zu unterbreiten und von ihnen genehmigen zu lassen. Es hat insbesondere über folgende durchzuführenden Kontrollen Auskunft zu geben:

- Rohstoffe (Herkunft, Qualität, Tests),
- Aufbereitungs- und Einbaugeräte,
- Einbau,
- Qualität von fertigen Produkten.

Qualitätsüberwachungs-Organisation im Rahmen der Technischen Projektleitung

Die Grundsätze der Qualitätsüberwachung sollen in der Regel bereits im vorläufigen Sicherheitsbericht beschrieben werden, während das detaillierte Programm im Blick auf die Überprüfung der baulichen Sicherheit auszuarbeiten und mit den Prüfbehörden zu bereinigen ist. Die mit dem Überwachungsprogramm sicherzustellenden Prüfungen können in drei zeitlich voneinander getrennte Gruppen zusammengefasst werden (Bild 9).

Zur Überwachung der Kontrollen hat der Bauherr seine Überwachungsorgane mit den nötigen Kompetenzen auszustatten. Dazu gehört insbesondere, dass sie unabhängig von Kosten und Terminen arbeiten können. Zudem müssen sie berechtigt sein, Bauarbeiten jederzeit einzustellen (mit sofortiger Meldung an die Aufsichtsbehörde), wenn die Anforderungen des Überwachungsprogrammes nicht erfüllt sind oder die Qualität des Bauwerkes auf andere Weise in Frage gestellt ist. Auch soll es in der Kompetenz der Überwachungsorgane sein, für Spezialfragen Experten beizuziehen und mit den Prüfbehörden direkt zu verhandeln.

Besonderes Augenmerk ist dem harmonischen Eingliedern der Überwachungsorgane in die herkömmliche und auch bei Kernkraftwerken beibehaltene Bauüberwachung und

Bild 9. Die durch ein Qualitätsüberwachungsprogramm sicherzustellenden Prüfungen werden in Vorprüfungen sowie Ausführungsprüfungen mit oder ohne Arbeitsunterbrüche unterteilt

Vorprüfungen	*Ausführungsprüfungen mit Arbeitsunterbrüchen*	*Ausführungsprüfungen ohne Arbeitsunterbrüche*
Baugrundverhältnisse	Kontrolle der Isolation	Aushub-, Betonier- und Montagearbeiten
Rohmaterialien	Kontrolle der Armierung	Betonaufbereitung
Eichungen	Kontrolle der Schalung und Fugen	Betonverarbeitung
Eignungsprüfungen		Nachbehandlungen
Kontrollen Baustellenlagerung		Kontrolle von Montagevorgängen
		Ermitteln von Betonfestigkeiten
		Belastungsproben

-Kontrolle durch Bauführung und Bauleitung zu schenken. So muss vermieden werden, bei den zuletzt genannten Instanzen den Eindruck entstehen zu lassen, ihre Aufgaben würden durch die Überwachungsorgane übernommen. Das setzt vor allem für das leitende Personal aller am Bau beteiligten Firmen voraus, sich mit den Gedanken der Qualitätsüberwachung auseinanderzusetzen.

Qualitätskontrollen des Bauherrn und Überwachung durch den Bund

Die Qualitätsüberwachung stellt die Summe aller notwendigen Massnahmen wie Projektierungsüberwachung, Voruntersuchungen, Produktionsüberwachung, Verarbeitungs-, Einbau- und Endkontrollen dar zum Vermeiden, Erkennen und Beheben von Mängeln. Sie soll dafür garantieren, dass Bauten nach dem neuesten gesicherten Stand der Technik entstehen.

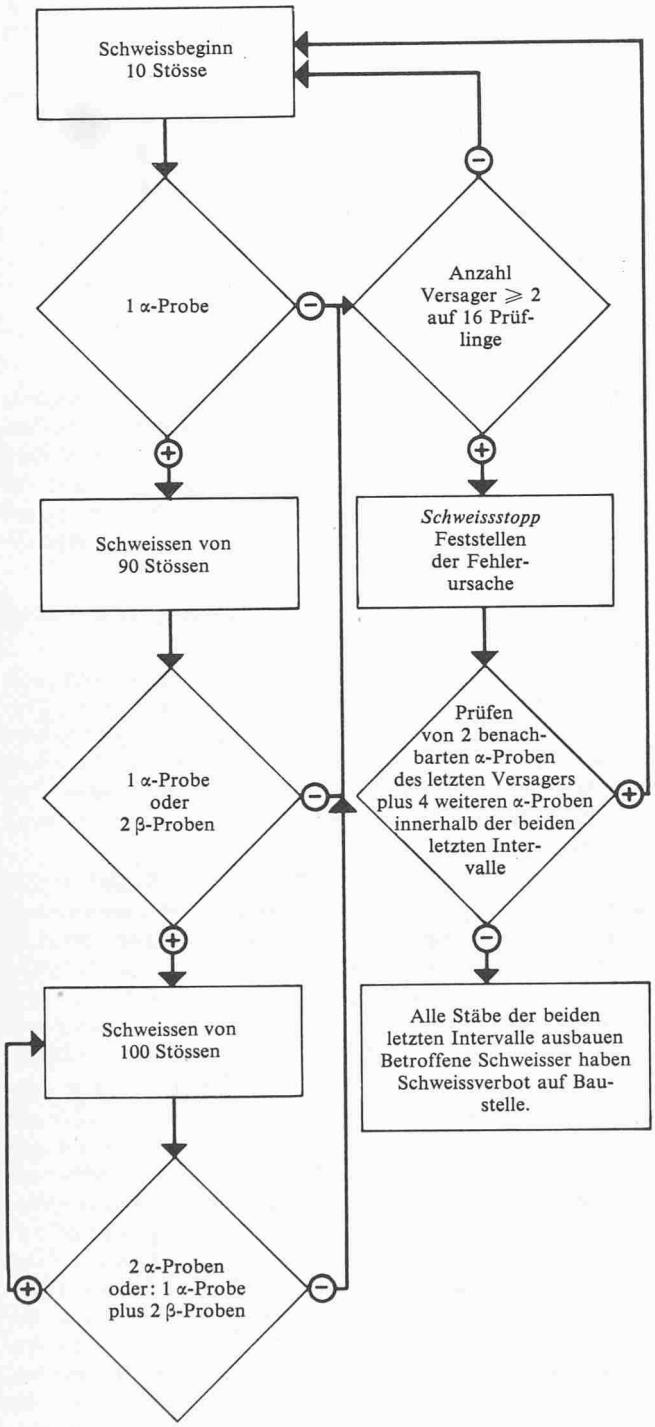
Die Qualitätsüberwachungs-Organe des Bauherrn sind für die Durchführung des Überwachungsprogrammes verantwortlich. Gleichzeitig müssen sie ihre Tätigkeiten und die Ergebnisse ihrer Untersuchungen der Prüfbehörde gegenüber dokumentieren. Neben dem Bauherrn verfügen auch das Konsortium zur Erstellung des schlüsselfertigen Loses sowie deren Bauunternehmung über eigene Überwachungsorgane.

Voraussetzung für eine Bautätigkeit ist das Vorliegen der entsprechenden Baufreigabe der ASK. Vorgängig werden die Voruntersuchungen durchgeführt sowie die Bauvorgänge und Prüfprogramme studiert und der Prüfbehörde unterbreitet. Sowohl die Voruntersuchungen wie auch die Ausführungskontrollen werden anhand von Check-Listen durchgeführt und dokumentiert. Alle wesentlichen Tätigkeiten werden von den Überwachungsorganen in «aufsteigender Folge» (Bauunternehmung, Konsortium, Bauherr) geprüft und auf der entsprechenden Check-Liste bestätigt. Darauf wird auch vermerkt, welche Kontrollen im einzelnen durchgeführt wurden. Erst wenn alle erforderlichen Check-Listen vorliegen und die Prüfbehörde sich vom regulären Ablauf der Überwachungsmassnahmen überzeugt hat, erteilt sie die Ausführungserlaubnis für den unterbreiteten Bauteil. Sie stützt ihre Beurteilung immer wieder auf Stichproben und selbst veranlasste Untersuchungen ab.

Bei den *Voruntersuchungen* werden auf diese Weise in regelmässigen Abständen die folgenden Materialien untersucht: Anmachwasser, Zuschlagstoffe, Siebkurve, Zement, Betonzusatzmittel, Stahleinlagen, Stossverbindungen, Isolationen, technische Einrichtungen, Mess- und Laborgeräte, Baustellenlagerung der Materialien.

Die *Ausführungskontrollen* umfassen routinemässig die folgenden Gebiete: Aushub, Schalung, Armierung, Betonierung, Nachbehandeln des Betons, Ausschalfristen, Fertig-

Bild 10. Flussdiagramm des Prüfablaufes für geschweisste Armierungsstösse



⊕ = Spezifikationen erfüllt
⊖ = Spezifikationen nicht erfüllt
α-Probe = Schweissstoss aus Bauwerk herausgeschnitten
β-Probe = Parallelschweissung

betonteile, Betonproben, zerstörungsfreie Betonprüfung, Beton-Bohrkerne, Verlegung der Isolation, Prüfung der Isolation.

Wird an einem Bauteil eine *nichtkonforme Qualität* festgestellt, wird ein *Baustopp* über den betreffenden Bauteil verhängt. Dabei sind die Überwachungsorgane aller Stufen befugt, diese Massnahme zu ergreifen. Es muss nun abgeklärt werden, welchen Einfluss der Mangel lokal und im Gesamtsystem hat. Neben den direkten Auswirkungen eines Nichterreichens einer vorgeschriebenen Qualität (z.B. Festigkeit), sind stets auch alle indirekten Einflüsse (z.B. bezüglich Strahlenschutz) zu erfassen. Daneben muss in einem solchen Fall auch abgeklärt werden, weshalb es zur festgestellten Qualitätseinbusse kommen konnte, um Wiederholungen möglichst zu vermeiden.

Die Folgen bei Nichterreichen der spezifizierten Qualität können ganz verschieden sein. Zeigt es sich, dass die allgemein geforderte Qualität (z.B. Betondruckfestigkeit) in der betroffenen Zone nicht erforderlich ist, und die festgestellte Qualität allen direkten und indirekten Anforderungen genügt, kann die Bautätigkeit fortgesetzt werden. Gelingt dieser Nachweis nicht, muss die erforderliche Qualität hergestellt werden. Dabei ist es Aufgabe des Bauherrn, diesbezügliche Vorschläge den Prüfbehörden zu unterbreiten. Erst wenn sich diese von der Zweckmässigkeit und Durchführbarkeit der vorgeschlagenen Methoden überzeugt hat, dürfen die Sanierungen in Angriff genommen werden. Anzahl und Umfang der durch die Prüfbehörden selbst durchzuführenden oder zu veranlassenden Qualitätskontrollen richten sich vor allem nach der Wirksamkeit der Überwachungsorgane des Bauherrn. In der Regel sollten sich die behördlichen Kontrollen auf vereinzelte Stichproben beschränken können.

Beispiel

Für Ausführungen, die vom Gewohnten abweichen, werden besondere Prüfverfahren und evtl. Evaluationen durchgeführt. Als Beispiel dafür mag die *Kontrolle der Armierungsstösse in der Fundamentplatte eines Reaktorgebäudes* dienen. Die Armierung besteht dort aus mehreren Lagen Armierungseisen von 40 mm Durchmesser in radialer und tangentialer Richtung. Stösse mit Überlappung hätten neben anderen Nachteilen einen grossen Materialaufwand zur Folge und die Platzverhältnisse für das Einbringen des Betons würden prekär. Der Bauherr hat sich deshalb entschlossen, die Stösse mit Stumpfschweissungen durch Fachleute des Stahllieferwerkes ausführen zu lassen.

In einer ersten Phase der Voruntersuchungen wurde allen interessierten Lieferfirmen auf der Baustelle die Möglichkeit geboten, unter Baustellenbedingungen die erforderlichen Schweissungen durchzuführen. Die Proben wurden anschliessend an der EMPA auf ihre Zugfestigkeit untersucht. Das Versagen der Stäbe musste dabei ausserhalb der durch die Schweissung beeinflussten Zone erfolgen (duktiler Bruch), und die garantierten Zugfestigkeiten mussten erreicht werden.

Die vom Stahllieferwerk für die Schweissarbeiten vorgesehenen Schweisser mussten beim *«Schweizerischen Verein für Schweisstechnik»* (SVS) eine Prüfung ablegen. Nur Schweisser mit bestandener Prüfung durften eingesetzt werden, und ihre Zulassung erlosch, wenn sie für mehr als sechs Monate ihre Tätigkeit auf der Baustelle unterbrachen. Die Lage der Schweissstösse wurde in Plänen festgehalten, numeriert und auf einer Liste für jeden Stoss der Name des Schweissers (evtl. Gruppe), Datum, Zeit, Witterung und evtl. besondere Bemerkungen eingetragen.

Die Prüfung der Ausführung setzte bei den verwendeten Geräten, Materialien und Vorbereitungsarbeiten ein. Die Schweissungen wurden zuerst einer visuellen Prüfung (Risse) unterzogen. Für die eigentlichen Prüfungen wurden aus der Armierung nach Angabe der Überwachungsorgane Schweissstösse herausgetrennt und auch Parallelschweissungen (d.h. Schweissungen unter gleichen Bedingungen an nicht zur Armierung gehörenden Stäben) untersucht. Mit der letzten Massnahme wollte man die Zahl der Eingriffe in die Armierung vermindern. Die Dichte der Probeentnahmen wurde in

Anlehnung an einen «Regulatory Guide» der amerikanischen Nuclear Regulatory Commission (NRC) wie folgt festgelegt:

- Von den ersten 10 Stössen: 1 Schweissung aus dem Bauwerk
- Von den folgenden 90 Stössen: 2 Parallelschweissungen oder 1 Schweissung aus dem Bauwerk
- Von je weiteren 100 Stössen: 1 Schweissung aus dem Bauwerk plus 2 Parallelschweissungen oder 2 Schweissungen aus dem Bauwerk.

Die gewonnenen Proben wurden anschliessend an der EMPA geprüft, wobei die gleichen Bedingungen wie für die Verfahrensprüfung galten. Die Beurteilung der Prüfergebnisse geschah nach dem Flussdiagramm in Bild 10. Die strengen Anforderungen bewirkten, dass die Schleife über den Schweissstopp im Flussdiagramm nur in Ausnahmefällen benutzt werden musste.

Die vorangegangenen Ausführungen haben erkennen lassen, wie von Behördenseite und auch seitens des Bauherrn umfangreiche Massnahmen zur Gewährleistung der hohen Qualitätsanforderungen an die Bauten von Kernkraftwerken ergriffen werden.

Qualitätsüberwachung der mechanischen Komponenten bei der Herstellung und im Betrieb

Einleitung

Beeinflusst durch ausländische Vorbilder und unter dem Druck sich häufender Schäden und Unfälle haben die Besitzer und Hersteller von Dampfkesseln am 9. Juli 1869 eine gesamtschweizerische Selbsthilfeorganisation in Form eines *Vereins* gegründet, dem sie die Aufgabe übertrugen, die im Betrieb stehenden *Dampfkesselanlagen* zu überwachen, bei der Ausbildung des Bedienungspersonals mitzuwirken und Empfehlungen für die Herstellung solcher Apparate auszuarbeiten. Mit dieser Gründung ganz am Anfang des industriellen Zeitalters haben verantwortungsbewusste Männer die *erste neutrale Überwachung druckführender mechanischer Apparate* in bezug auf die Herstellung und den Betrieb verwirklicht. Ende des 19. Jahrhunderts wurde die erste eidgenössische Verordnung mit Einführung einer *Bewilligungs- und Kontrollpflicht für Dampfkessel* auf der Basis der Arbeitnehmerschutzgesetze erlassen, der 1938 eine *bundesrätliche Verordnung betreffend Aufstellung und Betrieb von Druckbehältern* folgte.

Wie es der Name aussagt, bezweckte diese Gesetzgebung den *Schutz der Arbeitnehmer* in verschiedenster Hinsicht. Zum Beispiel mussten die Verordnungen betreffend Bewilligungs- und Kontrollpflicht von Dampfkesselanlagen und Druckbehältern den *Schutz des Personals vor direkten Auswirkungen von Kesselexplosionen* und ähnlichen Ereignissen gewährleisten. Diese Zielsetzung kommt auch in den einzelnen Artikeln zum Ausdruck, so z.B. bei den Grenzen für die Abnahmepflicht, bei denen die Druckhöhe und der Energieinhalt die massgebende Rolle spielen, aber auch bei anderen Bestimmungen wie beispielsweise dem Verbot der Aufstellung von Dampfkesseln in oder unter «bewohnten» Räumen. Als weiterer bemerkenswerter Punkt sei noch erwähnt, dass schon damals Bestimmungen über folgende grundsätzliche Bereiche erlassen wurden:

- *konstruktive und festigkeitstechnische Gestaltung* der durch Druck beanspruchten Apparate sowie ihre *qualitative Ausführung* bei der Fabrikation,
- *Ausrüstung* mit allem zu einem sicheren Betrieb notwendigen Zubehör wie Speiseeinrichtungen, Sicherheitsventile, Wasserstandsanzeiger, Druckanzeiger sowie Bedienung und Wartung durch qualifiziertes Personal,
- *periodische Kontrollen* des Zustandes der druckbeanspruchten Komponenten wie auch ihrer Ausrüstung.

Die Wirksamkeit der getroffenen Massnahmen wird durch die niedrige Unfallhäufigkeit gemessen an der Zahl der Objekte, wie auch an der Zahl der bei den periodischen Kontrollen ausgesprochenen Beanstandungen gezeigt [14]. Die wenigen registrierten Unfälle sind im allgemeinen auf Bedienungsfehler zurückzuführen und nicht auf ein technisches Versagen. Solche Bedienungsfehler könnten durch entsprechende Instrumentierung und Automatisierung in redundanter Ausführung weitgehend vermieden werden.

Personenschutz bei den Kernkraftwerken

Der *Schutz aller Personen vor denkbaren ungünstigen Auswirkungen von Kernkraftwerken* war von Anfang an, d.h. schon beim Bau des Versuchskernkraftwerkes *Lucens*, wegleitend für die für die Erteilung der Bau- und Betriebsbewilligung zuständigen Bundesstellen. Es ist einleuchtend, und dies wurde schon in früheren Veröffentlichungen im Rahmen dieser Artikelserie eingehend behandelt [2], dass die Hauptanstrengungen nicht dem Schutz des Bedienungspersonals vor den direkten Auswirkungen berstender Druckbehälter gelten, sondern dem Schutz aller Personen inner- und ausserhalb der Anlage vor den Auswirkungen von ionisierender Strahlung. Aus diesem Grunde wird sich der Bewilligungsgeber in erster Linie darüber vergewissern, ob die verschiedenen Barrieren, die das radioaktive Material umschliessen, während der gesamten Betriebszeit und auch im Falle eventueller Störungen, ihre Funktion erfüllen. Dieser Zielsetzung dient das im ersten Teil dieses Artikels beschriebene Konzept der behördlichen Überwachung. Es umfasst die dort beschriebenen Tätigkeiten der KSA/ASK in bezug auf die grundlegende Auslegung von Anlage und Systemen sowie die Überprüfung der Auslegung und Herstellung der Bauten und der mechanischen Komponenten durch die beigezogenen Experten. Zusätzlich zum Schutze der Personen vor dem radioaktiven Inventar wird selbstverständlich auch der *Schutz vor berstenden durckführenden Bauteilen* nicht vernachlässigt. Die *konventionellen Gesetze*, welche die Bewilligungspflicht solcher Apparate regeln, *behalten – soweit sie auf Nuklearanlagen anwendbar sind – ihre volle Gültigkeit.*

Aus der erweiterten Zielsetzung der behördlichen Kontrolle von Kernkraftwerken ergeben sich zwangsweise zusätzliche Kriterien für die Unterstellung eines Systems oder einer Komponente unter die Abnahmepflicht. In den folgenden Ausführungen sind vor allem die Teile der Anlage interessant, die aufgrund der spezifisch nuklearen Kriterien erfasst werden. Im Vordergrund steht dabei immer die Bedeutung des Bauteils für die Integrität einer der Barrieren zwischen dem Kernbrennstoff und der Umgebung [27]. Das *Hauptinteresse* gilt der ersten druckführenden Umhüllung des Kerns, nämlich dem vom *primären Kühlmedium beaufschlagten Primärkreislauf, dessen Komponenten der Sicherheitsklasse 1* zugeordnet sind. Beim *Druckwasserreaktor* umfasst diese Sicherheitsklasse 1 den *Reaktordruckbehälter*, die *Dampferzeuger*, den *Druckhalter*, die *Umwälzpumpen* sowie die sie verbindenden *Kühlmittelleitungen*. Beim *Siedewasserreaktor* beschränkt sich die Sicherheitsklasse 1 auf den *Reaktordruckbehälter*, die *Umwälzpumpen*, die *Umwälzleitungen* und einige weitere davon abzweigende Leitungen wie ein Teil des *Frischdampf- und Speisewassersystems* [3].

An zweiter Stelle in bezug auf die sicherheitstechnische Bedeutung *(Sicherheitsklasse 2)* stehen die *primären Sicherheitssysteme* wie beispielsweise das *Containmentsystem* und die *Notkühlsysteme*. Die letzten müssen bei einer Leckage in der ersten Barriere eine weitere Zerstörung derselben und

damit eine Beschädigung der zweiten Umhüllung mit einer entsprechenden Ausbreitung des Kernbrennstoffes verhindern [4].

Die *Sicherheitsklasse 3* umfasst *Systeme, die für die Funktion der primären Sicherheitssysteme* von Bedeutung sind, oder Komponenten und Systeme mit *hohem Aktivitätsinhalt,* jedoch ohne Einfluss auf die Betriebssicherheit. Bei den ersten handelt es sich um *Zwischenkühlsysteme* oder um *wichtige Versorgungssysteme.* Komponenten und Systeme mit hohem Aktivitätsinhalt sind an verschiedenen Orten in den nuklearen Hilfsbetrieben oder in der Abfallaufbereitung zu finden.

Zu beachten ist: Bei den Sicherheitsklassen 1–3 beschränkt sich die behördliche Überprüfung nicht auf Behälter, Dampfkessel, Wärmeaustauscher usw. wie auf dem konventionellen Sektor, sondern umfasst auch *ganze Rohrleitungssysteme inklusive die darin eingebauten Pumpen, Armaturen* und ähnliches.

Alle Bauteile, die für die nukleare Sicherheit nicht relevant sind, werden, wie bereits erwähnt, in bezug auf die Bewilligungspflicht und damit auch auf die behördliche Überwachung nach den konventionellen Gesetzen behandelt.

Komponentenspezifikationen, Bauvorschriften

Aus den früheren Ausführungen im Rahmen dieser Artikelserie dürfte dem Leser klar geworden sein, dass *Kernkraftwerke sehr komplexe, aus einer Vielzahl einzelner Komponenten zusammengebaute Systeme darstellen.* Es ist sicherheitstechnisch von ausschlaggebender Bedeutung, dass die einzelnen Steine dieses riesigen Mosaiks ins Ganze passen und dass sie die ihnen zugedachten Aufgaben uneingeschränkt erfüllen. Da die verschiedensten Lieferanten zu diesem Werk beitragen, muss die *Bestellung der einzelnen Bauelemente unter Angabe aller Anforderungen erfolgen und ihre Auslegung nach einheitlichen Kriterien vorgenommen werden,* die für die abnahmepflichtigen mechanischen Komponenten im allgemeinen von den Bewilligungsinstanzen vorgeschrieben werden. Nicht nur in unserem Lande, sondern in weiten Teilen der westlichen Welt, ist für die *Sicherheitsklassen 1 und 2 der amerikanische ASME Boiler and Pressure Vessel Code verbindlich,* weil er die einzige umfassende und auf derartige Komponenten abgestimmte Vorschrift darstellt [12]. Bei der *Sicherheitsklasse 3* und den übrigen Komponenten gelten mit gewissen Ergänzungen und Abweichungen die gleichen *Bau- und Berechnungsvorschriften des Schweizerischen Vereins für Druckbehälterüberwachung* (SVDB) [13], wie sie für konventionelle bewilligungspflichtige Objekte verbindlich sind.

Da es sicherheitstechnisch wichtig ist, dass die einzelnen Bauteile eines Systems zu einem sinnvollen Ganzen zusammengefügt werden können und einheitliche Kriterien genügen, beginnt die *Qualitätsüberwachung der Komponenten mit der Beurteilung der Bestellspezifikationen.* Diese Prüfung wird von der ASK unter Beizug des SVDB vorgenommen. Sie vermittelt die Gewissheit, dass die Bauteile aufgrund der system- und sicherheitstechnischen Anforderungen bestellt werden. Sie gewährleistet ausserdem dem Lieferanten die frühzeitige Festlegung von behördlichen Zusatzanforderungen.

Auf der Basis einer derartigen Bestellung ist der beauftragte Lieferant in der Lage, sein Produkt abschliessend zu entwerfen, zu berechnen und die notwendigen Unterlagen für die Einleitung des Komponenten-Genehmigungsverfahrens bereitzustellen. Er wird bei den abnahmepflichtigen Bauteilen eine Herstellungsfreigabe erhalten, sobald die Vorprüfung durch den SVDB erfolgreich durchgeführt ist. Gleichzeitig wird auch festgelegt, bei welchen Arbeitsoperationen im Rahmen der Bauüberwachung und Abnahme der unabhängige Sachverständige anwesend sein muss. Bei Komponenten der Sicherheitsklasse 1, wie auch bei einzelnen Teilen aus der Sicherheitsklasse 2, muss der Hersteller parallel zur Fabrikation aber vor Abschluss des gesamten Genehmigungsverfahrens anhand eingehender Spannungsanalysen die richtige Bemessung nachweisen. Wir möchten in den folgenden Abschnitten diese wesentlichen Phasen der behördlichen Qualitätsüberwachung etwas eingehender erläutern.

Vorprüfung

Die Erzeugung eines Qualitätsproduktes beginnt bereits im Konstruktionsbüro. Die Gestaltung, die Bemessung, die vorgesehenen Materialien und die anzuwendenden Herstellungs- und Prüfverfahren haben ebenso grossen Einfluss auf die Qualität des Endproduktes wie das handwerkliche Können in der Werkstatt. Aus diesem Grunde führt die behördliche Qualitätsüberwachung *vor der Fabrikationsfreigabe eine Vorprüfung der Konstruktion, der Bemessung und der Herstellung* durch. Zur Erlangung der Freigabe reicht der Hersteller Konstruktionszeichnungen, eine Dimensionierungsrechnung, einen Operationsplan über den vorgesehenen Herstellungsablauf mit allen zugehörigen Herstellungs- und Prüfspezifikationen ein. Die Unterlagen werden von der Prüfstelle auf Übereinstimmung bzw. Erfüllung der Bauvorschriften geprüft, ferner wird die gewählte Konstruktion aufgrund eigener Erfahrungen in bezug auf Druckfestigkeit, Herstellbarkeit, Prüfbarkeit und Wiederholungsprüfbarkeit beurteilt. Eine solche Bewertung ist nicht unproblematisch, setzt sie doch entsprechende Erfahrungen des Prüfers voraus. Er muss bei seiner Arbeit von einigen wenigen allgemein anerkannten Regeln der Konstruktionslehre ausgehen und sie mit den Anforderungen der Herstellungs- und Prüfverfahren kombinieren. Glücklicherweise widersprechen sich diese im allgemeinen nicht, sondern eine prüftechnisch einwandfrei gestaltete Schweissnaht stellt auch festigkeitsmässig eine gute Lösung dar. Der Sachverständige wird sich bemühen, vor der grundsätzlichen Ablehnung einer Lösung mit dem Konstrukteur Kontakt aufzunehmen, um dessen Gründe für den gewählten Vorschlag zu erfahren. Werden bei solchen Kontakten keine Verbesserungen erreicht oder entstehen grundsätzliche Bedenken, hat der Prüfer immer noch die Möglichkeit, einen eingehenden festigkeitstechnischen Nachweis in Form einer detaillierten Spannungsanalyse oder mittels Spannungsmessungen anlässlich der Druckprüfung zu verlangen.

Bei konventionellen Komponenten wird anhand der Konstruktionsvorprüfung bereits die Herstellung freigegeben. Die vorgesehenen Werkstoffe liegen normalerweise am Lager, und die Werkstatt verfügt über eine generelle Zulassung zum Schweissen, so dass sofort mit der Arbeit begonnen werden kann.

Bei den Komponenten für nukleare Einrichtungen müssen vielfach die Werkstoffe besonders bestellt werden, da komponentenspezifische Anforderungen zu berücksichtigen sind. Die dafür notwendigen *Materialspezifikationen* werden vom Sachverständigen zusammen mit der Konstruktionsvorprüfung auf Übereinstimmung mit den Bauvorschriften und auf Erfüllung der Zusatzanforderungen kontrolliert. In häufigen Fällen sind dazu auch *Detailspezifikationen für zerstörungsfreie Prüfungen* erforderlich, da bereits die Ausgangswerkstoffe eingehend auf innere und oberflächliche Fehler untersucht werden müssen.

Vor der vollständigen Herstellungsfreigabe sind auch *detaillierte Bauprüfpläne* mit den zugehörigen *Detailzeichnungen und Detailspezifikationen* zur Vorprüfung einzureichen. Im Bild 11 ist ein Ausschnitt aus einem derartigen *Bauprüfplan* dargestellt. Sämtliche Herstellungs- und Prüf-

Schritt Nr.	Beschreibung	Vorschrift Zeichnung	Abnahme H	B	C	Bemerkungen	Protokoll Nr.
62	Reinigung der geglühten Rundnaht	—	x				
63	Magnetrissprüfung der Rundnaht	QS 3/2835	x	x/2	x	aussen und innen	
64	Ultraschallprüfung Naht Nr. R04	QS 3/2831	x	x/2	x		
65	Reparatur von Fehlerstellen	RS 2/1725	x	-	x	Schweissprotokoll	
66	Glühung der rep. Naht	WB 1/315	x	x/2	x		
67	MP-Prüfung der rep. Naht	QS 3/2835	x	x/2	x	aussen und innen	
68	US-Prüfung der Rep.-Stellen	QS 3/2831	x	x/2	x		
69	Schraubenlöcher bohren	Zchng 0-357824					
70	Masskontrolle	Zchng 0-357824	x	x	x	Massprotokoll	
71	.....	.....				.....	
72	.....	.....				.....	

Bauteil: Deckel Zeichnung Nr. 1-724813	H = Hersteller B = Besteller S = neutrale Abnahme SVDB	Bauprüfplan		
		Nr. 4-257801	Rev. 1	Seite 11 von 13

Bild 11. Ausschnitt aus einem Bauprüfplan (Muster)

operationen sind in chronologischer Reihenfolge aufgeführt. Daneben ist eingetragen, welche Detailzeichnungen und Detailspezifikationen verbindlich zu verwenden sind und wer für die Kontrolle und Überwachung der Operationen zuständig ist. Diese Unterlagen werden vom Sachverständigen auf Übereinstimmung mit der Bauvorschrift und der Komponentenspezifikation, aber auch aufgrund seiner Erfahrungen und Kenntnisse sorgfältig geprüft und im Falle des Einverständnisses genehmigt.

Vor der Ausführung der einzelnen Schweissoperationen muss der Hersteller *passende Schweissverfahrens- und Schweisserprüfungen* ablegen. Der Gültigkeitsbereich der Prüfung ist durch die Kriterien der Bauvorschrift klar eingegrenzt. Anhand der Operationspläne und Konstruktionszeichnungen muss untersucht werden, welche Verfahren an Probeplatten erprobt und anschliessend zerstörungsfrei und mechanisch geprüft werden müssen, um Gewähr zu haben, dass die vorgesehenen Schweissverbindungen die Anforderungen erfüllen. Die Handfertigkeit aller zum Einsatz kommenden Schweisser wird zudem anhand von Schweisserprüfungen kontrolliert.

Das beschriebene System mit dem detaillierten Bauprüfplan und den zugehörigen Detailspezifikationen stellt für die Komponentenhersteller zweifellos eine Belastung und einen Eingriff in ihre Fabrikation dar. Es ist aber ein Verfahren, das in den meisten Industrienationen der westlichen Welt in ähnlicher Art eingeführt ist und das sich als Hilfsmittel zur einwandfreien und lückenlosen Kontrolle der Qualität hervorragend bewährt hat. Es ist nicht Misstrauen gegenüber dem Fachmann in der Werkstatt, wenn von den Bewilligungsinstanzen verlangt wird, dass in der Schweissspezifikation die optimalen, auf Erfahrungen und Vorversuchen beruhenden und anlässlich der Verfahrensprüfung bestätigten Schweissparameter festgelegt sein müssen. Nur so besteht Gewähr, dass bei den hochentwickelten Schweissverfahren, wie sie für die Fertigung der Bauteile zur Anwendung kommen, die notwendige Festigkeit, Zähigkeit und Qualität der Verbindungen mit Sicherheit erreicht wird. Auch dem Ultraschallprüfer wird von der vorgesetzten zentralen Prüfstelle nach Absprache mit dem Besteller und den Behörden vorgeschrieben, welche Ultraschallköpfe er in welchen Einschallrichtungen anzuwenden hat, wie vorgängig die Geräte zu eichen sind, welche Anzeigen protokolliert werden müssen und welche Fehler unzulässig sind und demnach zu Reparaturen führen. Dieses Vorgehen bezweckt auch, dass die *Bauteile einer Komponente oder eines Systems, die aus allen Teilen der Welt kommen können, einen einheitlichen, klar definierten Qualitätsstandard aufweisen.* Bei der Fertigung von Komponenten im Ausland werden auch von der behördlichen Qualitätsüberwachung die genehmigten Operationspläne und Detailspezifikationen als Grundlage für die Beauftragung einer ortsansässigen Abnahmegesellschaft verwendet. Damit wird erreicht, auch den Abnehmer an die einheitlichen Kriterien zu binden. Zur Illustration dieser Verhältnisse sei auf die Fertigung der fünf Hauptkomponenten für den Primärkreislauf *Gösgen* hingewiesen, an der zehn Grossfirmen in sechs verschiedenen Ländern inklusive *Japan* beteiligt waren. Trotzdem muss für alle diese Teile die gleich hohe Qualität und Zuverlässigkeit sichergestellt werden.

Bauüberwachung

Nach Abschluss der mehr theoretischen am Schreibtisch verlaufenden Vorprüfungsarbeiten und nach erfolgter Komponentenfreigabe beginnt für die behördlichen Sachverständigen die *praktische Kontrolltätigkeit in der Werkstatt. Grundprinzip* bleibt: *Der Hersteller ist für die Qualität seines Produktes verantwortlich,* die er auch selbst kontrollieren muss. Die behördliche Überwachung vergewissert sich mit mehr oder weniger ausgedehnten *Stichprobenkontrollen,* ob er seiner Pflicht sachgemäss nachkommt. Bei den Hauptkomponenten werden dabei keine für die Qualität des Endproduktes wichtigen Schritte übergangen.

Diese Überwachung beginnt schon mit der Abnahme der Ausgangsmaterialien. Es wird die richtige Entnahme der mechanischen Proben wie Zugversuche, Biegeversuche, Kerbschlagbiegeversuche usw. überprüft, und auch die zerstörende Prüfung der Probekörper und Ermittlung der mechanischen Kennwerte erfolgt unter Aufsicht des Sachverständigen. Die Werkstoffe für die sicherheitstechnisch wichtigen Komponenten werden zudem fast ausnahmslos zerstörungsfreien

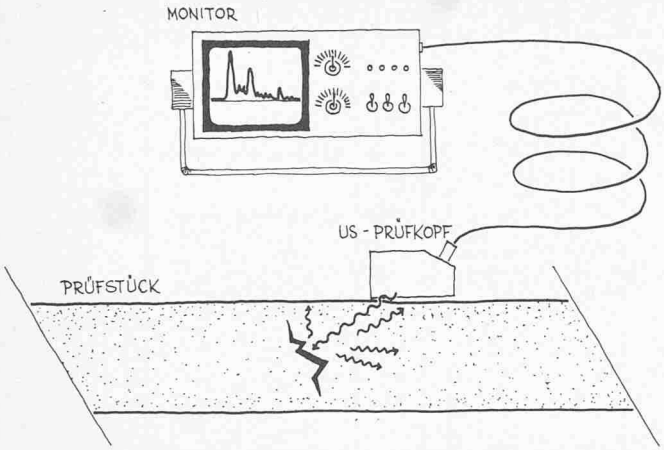


Bild 12. Schematische Darstellung der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung mittels Ultraschall

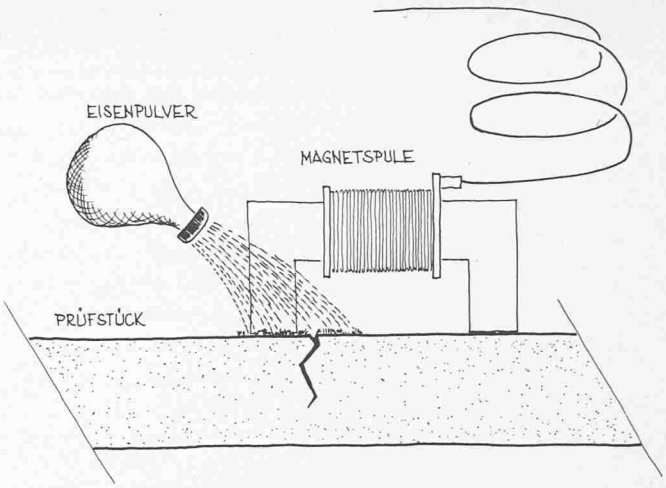


Bild 13. Schematische Darstellung der Oberflächenrissprüfung mit dem Magnetpulververfahren

Prüfungen unterzogen um sicherzustellen, dass ein homogenes, fehlerfreies Werkstück vorliegt. Walz- und Schmiedematerialien sowie ferritischer Stahlguss werden im allgemeinen in verschiedenen Einschallrichtungen mittels Ultraschall auf innere Fehler geprüft sowie mit magnetischen Prüfverfahren auf Oberflächendefekte.

Beim *Ultraschallprüfverfahren* (Bild 12 und 16), das in den letzten Jahren wegen der grossen Werkstoffdicken und der hohen Qualitätsanforderungen in der Nukleartechnik stark an Bedeutung zugenommen hat, werden von einem auf der Werkstoffoberfläche geführten Prüfkopf Ultraschallimpulse unter einem bestimmten Winkel in das Werkstück gesendet. Treffen diese Impulse auf innere Fehler oder auf die Werkstoffrückwand, werden sie nach den Reflexionsgesetzen zurückgeworfen. Da Materialtrennungen immer eine Oberflächenrauhigkeit aufweisen, wird von Fehlern, die mehr oder weniger senkrecht zur Einschallrichtung liegen, ein Teil der Energie in Richtung des Prüfkopfes reflektiert, der seinerseits in der Lage ist, diese zu empfangen. Auf dem Bildschirm des angeschlossenen Prüfgerätes wird die Stärke des empfangenen Echos in Funktion der Laufzeit aufgezeichnet. Aus dieser Darstellungsart kann der erfahrene Prüfer Schlüsse ziehen über die Grösse und Lage des angeschallten Fehlers. Falls in verschiedenen Richtungen mit verschiedenen Einschallwinkeln geprüft wird, ist dieses Verfahren sehr empfindlich für den Nachweis von flächigen Fehlern.

Bild 14. Oberflächenrissprüfung mit dem Jochmagnetisierungsgerät im Bereich eines Kühlmittelstutzens des Reaktor-Druckbehälters Leibstadt. Überwachung der Arbeit durch einen Sachverständigen der SVDB

Sehr feine Trennungen an der *Werkstückoberfläche* von ferromagnetischen Werkstücken werden noch empfindlicher mit einen *magnetischen Prüfverfahren* angezeigt. Dabei wird in der Oberflächenschicht des Werkstückes lokal ein Magnetfeld erzeugt, das auch an kleinsten, die Kraftlinien schneidenden Trennungen ein Streufeld bildet. Die Störungen im Magnetfeld werden durch feines Metallpulver, dessen Sichtbarkeit mit verschiedenen Möglichkeiten verbessert werden kann, angezeigt (Bild 13 und 14).

Austenitische Gussstücke oder sehr komplizierte geometrische Formen sind nicht mit Ultraschall zu prüfen. Hier muss die seit langem bekannte *Durchstrahlungsprüfung* angewendet werden. Sie ist vergleichbar mit der in der Medizin zur Anwendung kommenden Röntgendiagnostik. Je nach Werkstoffdicke werden verschiedene Strahlungsquellen angewendet. Für dünnere Werkstoffe werden meistens Röntgenröhren, für grössere Dicken werden *Gammastrahlen emittierende Iridium- oder Kobaltpräparate* verwendet; für höchste Anforderungen und grösste Dicken kommen immer mehr *Teilchenbeschleuniger* zur Anwendung. Im Bild 15 ist ein Primärpumpengehäuse bei der Vorbereitung für die Durchstrahlungsprüfung durch den links ersichtlichen Linearbeschleuniger abgebildet. Von jedem durch das auf dem Gussstück aufgezeichnete Liniennetz gebildeten Feld wird eine Durchstrahlungsaufnahme aufgenommen. Befinden sich Fehler im Guss wie Lunker, Gasblasen, Risse u.ä., werden sie wegen der geringeren Strahlenabsorption auf dem Film dunkel abgebildet. Zusätzlich zu dieser Prüfung, die das gesamte Werkstoffvolumen erfasst, wird im allgemeinen zur

Feststellung sehr feiner Oberflächenfehler noch das *Farbeindringverfahren* angewendet. Dabei wird das gesamte Prüfstück mit einer speziellen, rotgefärbten Flüssigkeit eingefärbt, die durch die Wirkung der Kapillarkräfte auch in feinste Trennungen und Hohlräume an den Oberflächen eindringt. Nach der sauberen Reinigung des Werkstückes wird eine zweite Flüssigkeit, ein sogenannter «Entwickler», aufgesprüht, bei dem es sich im allgemeinen um in einem Lösungsmittel aufgeschwemmtes Kreidepulver handelt. Durch die Saugkraft des Entwicklers werden geringste Mengen von rotem Penetriermittel, die bei der Reinigung in den Materialtrennungen zurückgeblieben sind, herausgesaugt und auf der feinen Schicht von weissem Kreidepulver sehr kontrastreich angezeigt.

Je nach Art des zur Anwendung kommenden Prüfverfahrens wird der unabhängige Sachverständige bei der Prüfung durch den Hersteller anwesend sein (z.B. Magnetpulverprüfung nach Bild 14) oder selbst danach mehr oder weniger umfangreiche Stichprobenkontrollen vornehmen, wie das bei der Ultraschallprüfung der Fall ist (Bild 16).

Für *eventuelle Reparaturen* am Grundmaterial muss auch der verantwortliche Materiallieferant den Nachweis für die Eignung der angewandten Schweissverfahren und des Könnens der Schweisser erbringen.

Im Gegensatz zu der bei konventionellen Objekten üblichen Schlussabnahme der fertiggestellten Komponente, führt der neutrale Sachverständige, der die behördliche Qualitätsüberwachung wahrnimmt, bei den nuklearen Bauteilen eine *begleitende Bauüberwachung* während der gesamten Fertigung durch. Vor allem die wichtigen Operationen wie *Schweissen, Verformen, Wärmebehandeln* usw. werden in bezug auf die Einhaltung der erprobten, spezifizierten Daten kontrolliert. Bei allen Schweissarbeiten sind durch die Schweisser und Kontrolleure des Herstellers *Schweissprotokolle* zu führen, in denen periodisch in festgelegten Zeitabständen die Schweissdaten wie Vorwärmtemperaturen, Schweissstrom, Schweissspannung, Zusatzwerkstoffcharge, Name des Schweissers usw. aufgeführt werden. Im Rahmen der stichprobenweisen Bauüberwachung werden die Schweissfachleute der behördlichen Qualitätsüberwachung die richtige Protokollierung sowie die Einhaltung der Daten überprüfen.

Neben diesen Herstellungsoperationen gehört natürlich auch die *Abnahme der unzähligen zerstörungsfreien Prüfungen,* die im Laufe der Bearbeitung sowie nach der Fertigstellung von Nuklearkomponenten zur Durchführung kommen, in den Aufgabenbereich der neutralen Qualitätsüberwachung. Es handelt sich dabei um die gleichen Prüfverfahren, die im Zusammenhang mit der Rohmaterialabnahme erläutert wurden und die auch für die Prüfung von Schweissnähten zur Anwendung kommen, aber auch um Wirbelstromprüfungen, Schallemissionsmessungen, visuelle Kontrollen, Masskontrollen usw. sowie um die Identifikation der verarbeiteten Werkstoffe anhand der Materialstempelung.

Je nach den Umständen und der Art der Komponente umfasst die *Schlussabnahme* praktisch immer eine *Wasserdruckprüfung, zum Teil in Verbindung mit Spannungsmessungen,* häufig besondere *Dichtheitsprüfungen* und in einzelnen Fällen, z.B. bei Pumpen und Armaturen, auch *Funktionsversuche.* Als Beispiel solcher Funktionsversuche lassen sich die Aufnahme von Pumpenkennlinien sowie die Einstellung von Sicherheitsventilen nennen.

Die behördliche Qualitätsüberwachung erfasst selbstverständlich auch die *Montage der Komponenten und Rohrleitungssysteme auf der Baustelle.* Im wesentlichen werden die gleichen Operationen kontrolliert wie in der Werkstatt, doch muss den erschwerten Arbeitsbedingungen auf der Montage durch erweiterte Kontrollen Rechnung getragen werden

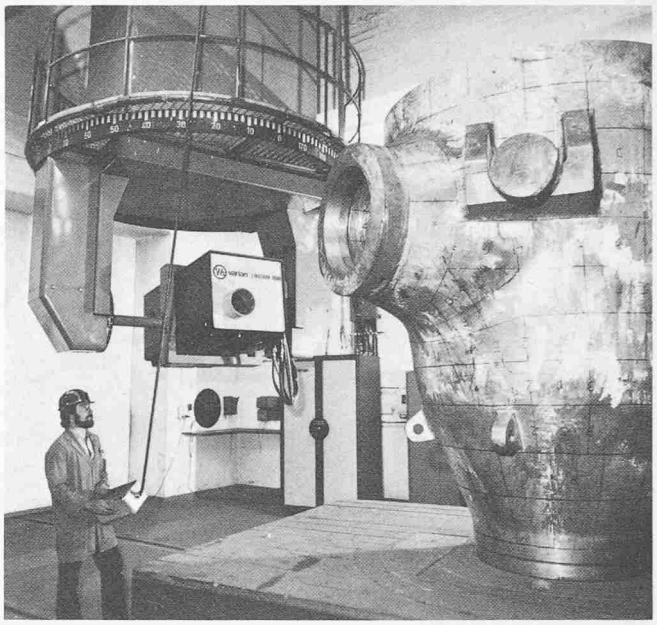


Bild 15. Austenitisches Primärpumpengehäuse für ein ausländisches Kernkraftwerk bei Vorbereitungsarbeiten für die Durchstrahlungsprüfung mit dem links im Bilde sichtbaren Linearbeschleuniger

(Bild 17). Zum Teil sind die Endabnahmen von den auf Montage gefertigten Komponenten und Systemen besonders aufwendig. Bei den *Sicherheitsbehältern* zum Beispiel werden *mehrere Tage dauernde Druck- und Leckageprüfungen* durchgeführt, um den Nachweis zu erbringen, dass die spezifizierte zulässige Leckrate beim Auslegungsüberdruck nicht überschritten wird. Die *Dichtheitsanforderungen* sind derart hoch, dass nur eine sehr präzise Druckabfallmessung mit Kompensation der Temperatur- und Feuchtigkeitseinflüsse über 24 bis 48 Stunden die erforderliche Genauigkeit erbringt. Auch die *Druck- und Dichtheitsprüfungen* an den verzweigten Rohrleitungssystemen sind oft aufwendig und problematisch, weil

Bild 16. Ultraschallprüfung durch einen Sachverständigen des SVDB einer Stutzenschweissung an einem Wärmeaustauschermantel für das Kernkraftwerk Leibstadt. Der Prüfer (links) führt mit der rechten Hand den Prüfknopf und beobachtet den Bildschirm des Prüfgerätes

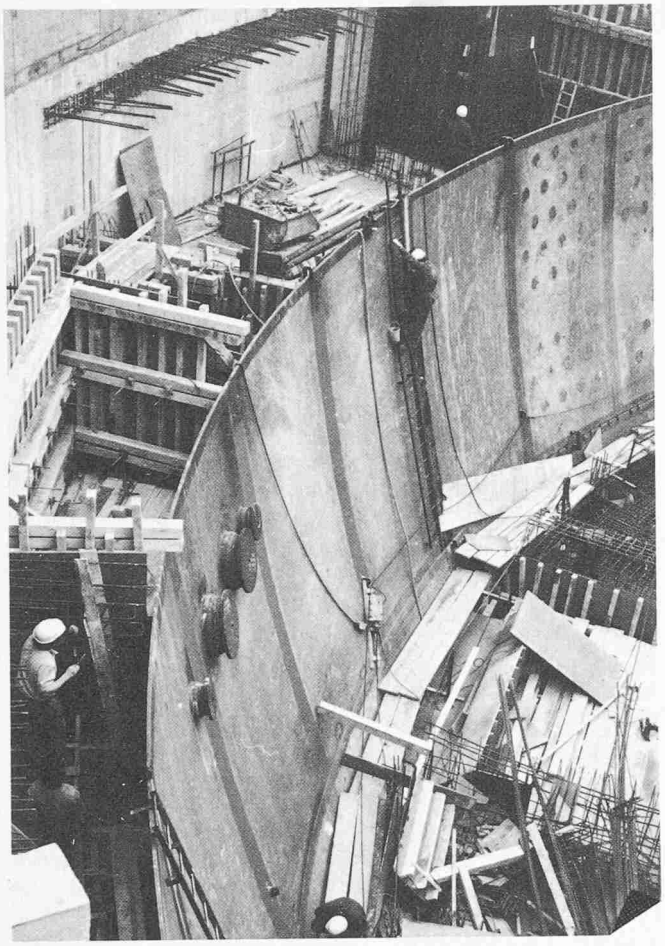


Bild 17. Ultraschallprüfung einer Stehnaht am Reaktor-Sicherheitsbehälter Gösgen unter Montagebedingungen. Der Prüfer muss auf der senkrechten Leiter stehend seine Arbeit verrichten

eine befriedigende Dichtheit grosser Armaturen nicht immer erreichbar ist.

Die Intensität der neutralen Überwachung und auch die grosse Zahl an zerstörungsfreien Prüfungen haben nicht nur auf den Baustellen, sondern in einzelnen Fällen auch in den Werkstätten die dauernde Anwesenheit von qualifizierten Inspektoren zur Folge, um Verzögerungen im Ablauf zu vermeiden. Die Baustellenbüros des SVDB sind je nach Bauphase mit 1–3 Inspektoren besetzt.

Selbstverständlich werden Ausgangsmaterialien, aber auch Teile oder ganze Komponenten aus dem Ausland importiert. Die Sicherstellung der Qualitätsanforderungen macht entsprechende *internationale Kontakte der behördlichen Qualitätsüberwachung* notwendig. Die offiziellen europäischen Landesabnahmeorganisationen, zu denen der SVDB zählt, haben sich schon vor Jahren im «Colloque Européen des Organismes de Contrôle» (CEOC) zusammengeschlossen. Dies macht es möglich, für Abnahmen in den europäischen Ländern die bestehenden guten Beziehungen durch Beauftragung der ortsansässigen Landesabnahmebehörden auszunützen. Bei Lieferungen aus Übersee mussten für die Abnahme von nuklearen Komponenten neue Kontakte mit lokalen Abnahmefirmen aufgenommen werden.

Eine genau spezifizierte Auftragserteilung mit Hilfe der Bauprüfpläne und Detailspezifikationen des verantwortlichen Herstellers sowie in den meisten Fällen eine Auftragsbesprechung und gelegentliche Besuche im Laufe der Abwicklung stellen sicher, dass der ausländische Abnehmer die gleichen Massstäbe und Kriterien anwendet, wie sie bei der Fertigung in unserem Lande gelten. Durch die persönlichen Kontakte soll auch erreicht werden, dass das notwendige Vertrauen in seine Arbeit entsteht.

Dokumentation

Erschwerungen, hervorgerufen durch den Strahlungseinfluss bei der späteren Untersuchung und Behebung von Schäden und Mängeln in Kernkraftwerken, rechtfertigen aus sicherheitstechnischen wie aber auch aus finanziellen Überlegungen (Stillstandskosten) die eingehende Dokumentation aller wichtigen Resultate und Messwerte aus der Herstellung. Man bemüht sich heute, *alle Daten der wichtigen mechanischen Teile vom Beginn der Herstellung des Rohmaterials bis und mit den Inbetriebnahmeversuchen lückenlos, zweifelsfrei und rekonstruierbar zu protokollieren.* Es gehört mit zur Aufgabe der Qualitätsüberwachung, die Aussagekraft der Dokumentation durch Überwachung der Arbeiten und Mitunterzeichnung der Protokolle zu bestätigen. Beim Aufbau der Dokumentation wird wiederum von dem für die Fertigungsüberwachung verwendeten Bauprüfplan ausgegangen. In einer dafür vorgesehenen Kolonne (Bild 11) werden beim richtigen Schritt die Nummern der zugehörigen Protokolle eingetragen. Auf diese Art wird erreicht, dass auch nach Jahren die unzähligen Materialzertifikate, Prüfprotokolle, Schweissprotokolle, Glühdiagramme usw. richtig zugeordnet und interpretiert werden können. Anhand der Zusammenstellung können gezielte periodische Überwachungen durchgeführt werden, und es stehen wertvolle Daten für eventuelle Schadenuntersuchungen bzw. für die Auswertung von Erfahrungen zur Verfügung.

Als Beispiel, das den praktischen Wert einer solchen Datensammlung zeigt, können die *Schäden* erwähnt werden, die vor wenigen Jahren *an Teilen der Umwälzleitungen von Siedewasserreaktoren* in den *Vereinigten Staaten* festgestellt wurden und über die auch in der Schweizer Presse eingehend Bericht erstattet wurde. Dank der eigenen über das Kernkraftwerk *Mühleberg* vorhandenen Dokumentation konnte die behördliche Überwachung feststellen, dass im Schweizer Kraftwerk für die fraglichen Teile Material mit einer chemischen Zusammensetzung verarbeitet wurde, das nicht auf diese Art von Schäden anfällig ist, so dass davon abgesehen werden konnte, einen Betriebsunterbruch zur genauen Abklärung zu empfehlen. Trotzdem wurden die kritischen Bereiche in Mühleberg bei der nächsten sich bietenden Gelegenheit zerstörungsfrei geprüft und dadurch der erwartete einwandfreie Befund bestätigt.

Spannungsanalysen

Bei den wichtigsten Reaktorkomponenten und -systemen genügen einfache Dimensionierungsrechnungen mit den elementaren Berechnungsformeln der Festigkeitslehre nicht, weil sie die verschiedenen stationären und transienten Belastungen und Belastungskombinationen nicht berücksichtigen und damit die Beanspruchungen auch nicht vollständig wiedergeben. Ein *umfassendes Bild* der auftretenden Spannungen kann nur durch eingehende Spannungsanalysen erworben werden.

In der *Komponentenspezifikation* sind alle Lasten bzw. Lastdiagramme, für die das Bauteil aufgrund des Anlagenkonzeptes, der Betriebsweise und anhand der Sicherheitsanforderungen, der Schutzziele und der allgemeinen Projektierungsregeln ausgelegt sein muss, aufgeführt und in Gruppen eingeteilt (siehe [1]). In Bild 18 sind einige typische Lasten von Komponenten der Sicherheitsklasse 1 in dieser Art dargestellt.

Die normalen stationären und transienten Betriebs- und Auslegungslasten werden in die Gruppe *«Normalzustand»*

eingeteilt. Als *Störzustände* werden Vorkommnisse bezeichnet, die sich wegen Störungen in der Anlage oder wegen menschlichen Fehlern fast sicher ereignen werden, aber nur in relativ beschränkter Anzahl.

Notzustände sind bereits Schadenereignisse mit sehr geringer Eintretenswahrscheinlichkeit. Sie sollen von der Anlage ohne Folgeschäden ertragen werden können, aber die geringe Häufigkeit des Auftretens rechtfertigt eine Erhöhung der zulässigen Spannungen im Vergleich zu den Normal- und Störzuständen. In der Regel werden hier Vorkommnisse eingestuft, die mit einer anschliessenden Abschaltung des Kraftwerkes zwecks Reparatur der betroffenen Anlageteile verbunden sind.

Die Gruppe *Havariezustände* umfasst Ereignisse, deren Eintreffen derart unwahrscheinlich ist, dass es genügt, die Anlage für ein einmaliges derartiges Vorkommnis auszulegen. Folgeschäden werden in Kauf genommen, doch dürfen sie nicht Anlageteile betreffen, die für ein sicheres Abschalten des Reaktors benötigt werden. *Selbstverständlich darf die Sicherheit der Umgebung wie des Personals weder durch Havariezustände noch durch die anderen Schadenereignisse irgendwie beeinträchtigt sein.*

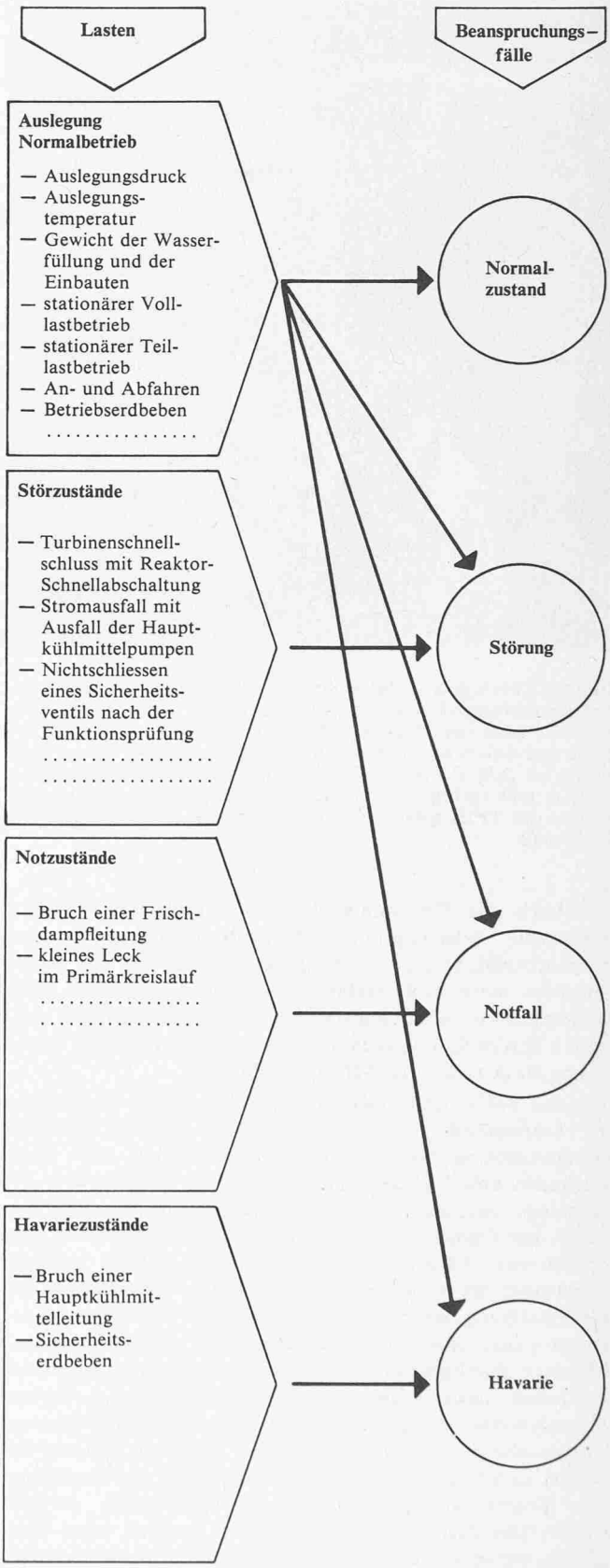
Aus den so gruppierten Lasten werden *vier Beanspruchungsfälle* unterschieden. Der *Normalzustand,* umfassend die Auslegungslasten und die normalen Betriebsbelastungen; die *Störung,* bei der die als Störzustände bezeichneten Zusatzlasten mit dem Normalzustand kombiniert werden müssen; den *Notfall,* der sinngemäss den Normalzustand und die Zusatzlasten der Notzustände umfasst, sowie die *Havarie* als Kombination des Normalzustandes mit den Zusatzlasten der Havariezustände.

Das Vorgehen ist hier vereinfacht und schematisiert dargestellt, weil im Rahmen dieser Ausführungen eine vollständige Erläuterung der effektiven *Überlagerung* der Belastungen für jeden Beanspruchungsfall zu weit führen würde.

Aber auch eine eingehende Darstellung der *unterschiedlichen Kriterien für die Beurteilung der ermittelten Spannungen* ist für das Verständnis der Zusammenhänge nicht erforderlich. Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang noch die Unterscheidung verschiedener Arten von Komponenten. Neben Behältern und Rohrleitungen wird zwischen *inaktiven* Pumpen und Armaturen sowie *aktiven* Pumpen und Armaturen differenziert. Die letzten müssen *unter allen Umständen* (auch bei einer Havarie) *ihre volle Funktionsfähigkeit beibehalten* (z.B. Notkühlpumpen). Aus diesem Grunde sind für diese Komponenten bei allen Belastungsfällen immer nur die gleichen maximalen Beanspruchungen und Deformationen zulässig. Bei den inaktiven Pumpen und Armaturen sind im Havariefall höhere Spannungen zulässig als bei den aktiven, doch dürfen auch hier bei Störung und Notfall keine plastischen Deformationen auftreten, da sonst die Funktionsfähigkeit in Frage gestellt wäre. Bei Behältern und Rohrleitungen werden der Normalzustand und die Störung gleich beurteilt. Es sind unter gewissen Voraussetzungen lokal teilplastische Zustände zulässig, wenn die *Ermüdungsrechnung* keine Gefahr für die vorgesehene Lebensdauer erkennen lässt. Im Falle der Havarie sind auch grössere plastische Verformungen nicht ausgeschlossen, *solange ein Bruch sicher vermieden wird.*

Der Vollständigkeit halber ist noch zu erwähnen, dass bei der Festlegung, Gruppierung und Kombination der Lasten zu berücksichtigen ist, dass der gleiche Lastzustand nicht für alle Komponenten in die gleiche Gruppe gehören muss. Beispielsweise sind gewisse Havariezustände des Primärsystems für das Containmentsystem Normal- oder höchstens Störzustände.

Bild 18. Die Spannungsnachweise für sicherheitstechnisch wichtige Komponenten basieren auf den Belastungen infolge Normalbetrieb, internen Stör- und Unfällen sowie äusseren Einwirkungen. Entsprechend der erwarteten Eintretenswahrscheinlichkeit werden verschiedene Beanspruchungsfälle unterschieden



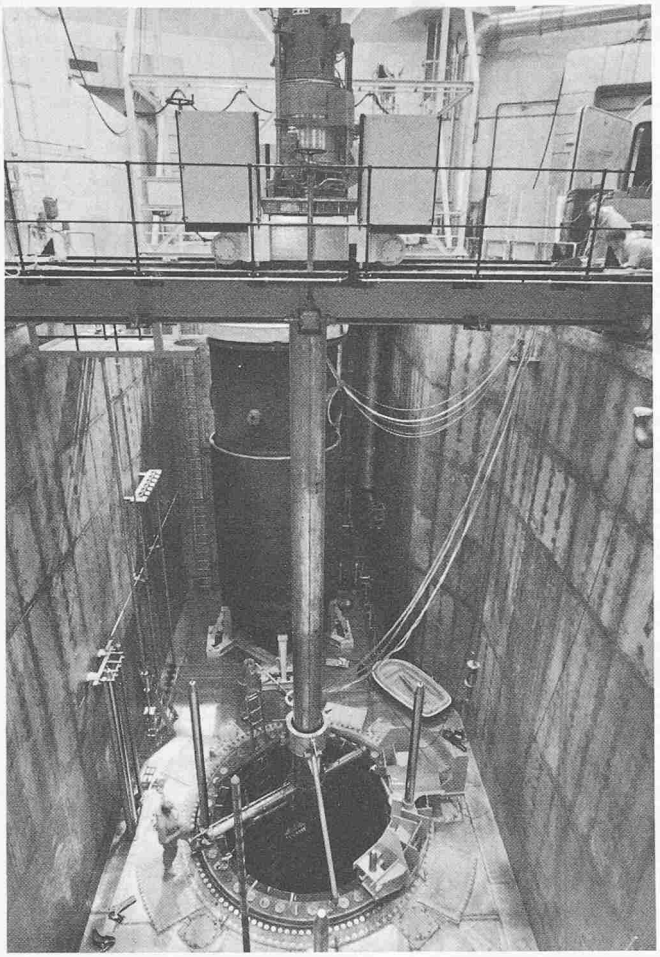


Bild 19. Manipulationseinrichtung für die Ultraschall-Wiederholungsprüfung des Reaktor-Druckbehälters Beznau. Sie umfasst die über der Reaktorgrube liegende Brücke mit dem Antrieb und dem senkrechten Manipulatormast. Dieser ist auf dem unten im Bild sichtbaren Flansch des Druckgefässes nochmals geführt und verfügt über verschiedene Einrichtungen zur Aufnahme der Prüfkopfketten. Nicht abgebildet ist die Auswerte-Elektronik

Auch die Ermittlung der Beanspruchungen für die gegebenen Belastungsfälle ist äusserst aufwendig und anspruchsvoll, weil zum Teil ganze Systeme mit den Komponenten sowie den Verbindungsleitungen und allen Aufhängungen und Abstützungen modelliert und dynamisch analysiert (Erdbeben) werden müssen, um die richtigen Reaktionen an den Schnittstellen zu erhalten.

Die behördliche Überwachung schliesst die Überprüfung der Lastzustände und Lastkombinationen wie der Beanspruchungsermittlung mit ein. Bei der Ermittlung von Lastzuständen und Lastkombinationen ist das gesamte Anlageverhalten, besonders aber auch das systemtechnische Verhalten bei Transienten, Stör- und Unfällen zu beachten, was primär eine Aufgabe der ASK ist. Ihr schliesst sich die Ermittlung der Beanspruchungen an. Der Zeitaufwand für die Erstellung dieser Analysen sowie ihrer Überprüfung ist derart gross, dass diese Arbeiten parallel zur Fertigung und Montage durchgeführt werden müssen. Zudem kann nicht verhindert werden, dass besonders bei Rohrleitungssystemen Massabweichungen gegenüber den Plänen in der Rechnung berücksichtigt werden müssen. Dieses Vorgehen schliesst das Risiko nachträglicher Änderungen ein, falls die Ermittlung der Beanspruchungen unzulässige Spannungen ergeben würde. Der Generalunternehmer oder Bauherr muss dann prüfen, wie er in diesem Falle vorgehen will. Möglicherweise gelingt es, das Problem durch geringfügige Änderung der Betriebsweise zu lösen (Änderung von Transienten). Es kann aber auch vorkommen, dass zur Beherrschung der sehr grossen seismischen Beanspruchungen zusätzliche Aufhängungen und Dämpfungselemente eingebaut werden müssen oder dass grundsätzliche konstruktive Verbesserungen notwendig sind.

Bei nur geringfügigen Überschreitungen gewisser Spannungskriterien bleibt auch noch die Möglichkeit, die kritische Stelle im Betrieb *gezielten periodischen Kontrollen* zu unterwerfen, um eventuelle Schäden *frühzeitig* feststellen zu können.

Periodische Überwachung im Betrieb

Trotz sorgfältigster Herstellung und eingehendster Berechnung aller wichtigen Komponenten und Bauteile geht man auch an Stellen, wo keine Spannungslimiten überschritten werden, davon aus, es könnten durch unbekannte oder nicht voraussehbare Einflüsse im Betrieb Defekte entstehen. Neben nur sehr schwer voraussehbaren *Korrosions- oder Erosionsschäden* als häufigste Ursache, sind auch unentdeckte Inhomogenitäten im Material oder nachträgliche Veränderungen sowie unberücksichtigte Betriebslasten denkbar. Um auch von diesen Eventualitäten nicht überrascht zu werden und um das Schaden- und Unfallrisiko noch weiter zu verringern, werden, wie bei konventionellen druckführenden Komponenten, *periodische Zustandskontrollen* durchgeführt. Im nicht nuklearen Bereich erfolgt dies praktisch ausschliesslich und mit sehr gutem Erfolg durch visuelle Innenkontrollen in gereinigtem Zustand. Bei den Primärkomponenten und verschiedenen Objekten in den Hilfssystemen ist diese Vorgehensweise verunmöglicht, weil die Zugänglichkeit wegen der Strahlung oder aus Platzgründen (Rohrleitungen) nicht gewährleistet ist. Zudem weisen Primärkomponenten häufig derartig grosse Wanddicken auf, für die visuelle Kontrollen ungenügend sind. Aus diesen Gründen werden bei Kernkraftwerken in grösserem Ausmass *zerstörungsfreie Prüfverfahren auch für die Wiederholungsprüfungen* angewendet. Im Vordergrund steht die *Ultraschallprüfung,* die am besten mittels *fernbedienter Manipulationseinrichtungen* durchgeführt werden kann. Aus mehreren Köpfen mit verschiedenen Funktionen bestehende Systeme werden in den zu prüfenden Bereichen über die Oberfläche geführt. Die Manipulationseinrichtung und die elektronische Auswertung sind in der Lage, genau die Position des Prüfsystems und die empfangenen Echos bezüglich Grösse und Lage zu registrieren. Dadurch ist es möglich, die sehr empfindliche Prüfung nachträglich auszuwerten und mit den Resultaten des Neuzustandes zu vergleichen. Bild 19 vermittelt einen Überblick über eine Manipulationseinrichtung für die Innenprüfung des Druckbehälters eines Druckwasserreaktors während der Basismessung. Bei Wiederholungsprüfungen ist die abgebildete Reaktorgrube bis unter die Brücke mit Wasser gefüllt (Abschirmung), das gleichzeitig als Ankoppelungsmittel für die Prüfköpfe dient. Für andere Bereiche der Primärsysteme oder für andere Reaktortypen werden eigene Manipulatoren verwendet. Neben diesem aufwendigsten Prüfverfahren kommen auch Wirbelstromprüfungen sowie visuelle Kontrollen mittels Fernsehkameras zur Anwendung. In Bereichen, wo es die Strahlung erlaubt, werden auch manuelle Ultraschallprüfungen, Oberflächenrissprüfungen und visuelle Kontrollen durchgeführt.

Bei den *Wiederholungsprüfungen geht es in erster Linie um die rechtzeitige Feststellung von Veränderungen gegenüber dem Neuzustand durch ungünstige Betriebseinflüsse.* Aus diesem Grunde, aber auch um die komplizierten Manipulationseinrichtungen an der unbestrahlten Anlage erproben zu

können, werden vor der Betriebsaufnahme sogenannte *Basismessungen* durchgeführt. Dabei werden die später prüfpflichtigen Bereiche nochmals mit dem für die Wiederholungsprüfungen vorgesehenen Verfahren geprüft und das Vorgehen wie die Resultate genau protokolliert. Diese Dokumentation stellt zusammen mit den Protokollen der Herstellungsprüfung, die sogenannte *Nullmessung* dar. Da sich die Anlage zu diesem Zeitpunkt in einwandfreiem Zustand befindet, kann man sich später auf die genaue Untersuchung von Veränderungen beschränken. Dies vereinfacht die Lösung verschiedener Prüfprobleme, weil eine Interpretation nicht erforderlich ist, solange kein von der Nullmessung abweichendes Bild angezeigt wird. Dadurch ist bei den fernbedienten Ultraschallprüfungen der Reaktordruckbehälter eine erste On-line-Auswertung der Prüfungen auf elektronischem Wege möglich.

Die Basismessungen und die später in bestimmten Intervallen zur Durchführung kommenden Wiederholungsprüfungen unterstehen der behördlichen Überwachung. Diese ist nur in enger Zusammenarbeit mit dem Betreiber möglich, da er die Anlage vorbereiten und die aufwendigen Einrichtungen zur Verfügung stellen muss. In anderen Fällen, wie z.B. bei den manuellen Ultraschallprüfungen oder den visuellen Innenbesichtigungen, bleibt dem Inspektor nur die eigene Durchführung der Prüfungen, um sich ein Bild vom Zustand der Komponenten machen zu können.

Schlussbemerkungen

Die neutrale Qualitätsüberwachung mechanischer druckführender Komponenten wurde auf dem konventionellen Gebiet schon vor Jahrzehnten mit Erfolg gesetzlich vorgeschrieben. Bei den Kernkraftwerken wurde diese Kontrolltätigkeit auch auf Rohrleitungen, Armaturen, Pumpen usw. ausgedehnt, und zudem sind die Anforderungen, der Umfang an zerstörungsfreien Prüfungen und die Intensität der Überwachung unvergleichlich grösser. Vor allem bei den höchsten Sicherheitsklassen ist die behördliche Überwachung derart einschneidend, dass durch die doppelte Kontrolle *unentdeckte ungünstige Qualitätseinflüsse fast nicht mehr denkbar sind.*

Die Überwachung im Betrieb musste nicht nur wegen der Strahlung den Verhältnissen angepasst werden, sondern auch wegen dem Bestreben, möglichst alle Eventualitäten auszuschliessen.

Eine detaillierte Dokumentation über die Komponentenherstellung, wie auch über die periodischen Betriebskontrollen, erlaubt eine bessere Beurteilung und Auswertung von Schäden und Erfahrungen.

Obwohl die am Bau eines Kernkraftwerkes beteiligten Firmen, angefangen beim Bauherrn über den Generalunternehmer bis zum einzelnen Lieferanten bestrebt sind, gute Arbeit zu leisten, erfüllt doch die *behördliche Überwachung eine unentbehrliche Funktion im Interesse der Allgemeinheit.* Sie kann frei von Konkurrenz- und Termindruck und auch frei von finanziellen Belastungen die Sicherheitsanforderungen, Schutzziele und allgemeinen Projektierungsregeln formulieren und unabhängig vom Lieferanten, ja sogar vom Herkunftsland, *einheitliche Qualitätsmassstäbe* verlangen. Neben der *vorbeugenden* Wirkung, die in einzelnen Fällen festgestellt werden kann, bewirkt sie, dass das *dichte Netz von Kontrollen, mit dem Fehler und Mängel rechtzeitig entdeckt werden sollen, durch die intensive neutrale Überwachung mit qualifiziertem Personal nochmals wesentlich feinmaschiger wird,* als wenn nur der Hersteller und Generalunternehmer die Produkte prüfen würden.

Das *Bildmaterial* wurde freundlicherweise von folgenden Firmen zur Verfügung gestellt: Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Zürich (Bild 6); Gebr. Sulzer AG, Winterthur (Bilder 13, 15, 16); Georg Fischer AG, Schaffhausen (Bild 14); Nordostschweiz. Kraftwerke AG, Baden (Bild 17).

Literaturverzeichnis

[1] *Baumgartner G., Glauser E., Heimgartner E.* und *Schneider Th.:* «Kernkraftwerke als Sicherheitsproblem». Schweiz. Bauzeitung, Heft 44, 1977.

[2] *Wenger H.:* «Sicherheitskonzepte und Sicherheitsmassnahmen bei Kernkraftwerken». Schweiz. Bauzeitung, Heft 44, 1977.

[3] *Alex K.H., Lutz M.R.;* «Betriebssysteme». Schweiz. Bauzeitung, Heft 3, 1978.

[4] *Weyermann P., Straub G.:* «Sicherheitssysteme». Schweiz. Bauzeitung, Heft 3, 1978.

[5] *Gähler K., Fuchs H.:* «Bauliche Schutzmassnahmen». Schweiz. Bauzeitung, Heft 6, 1978.

[6] Bundesgesetz über die friedliche Verwendung der Atomenergie und den Strahlenschutz, vom 23. Dez. 1959 (Stand am 1. Oktober 1973).

[7] Verordnung über Begriffsbestimmungen und Bewilligungen im Gebiete der Atomenergie, vom 13. Juni 1960.

[8] Verordnung betreffend die Eidgenössische Kommission für die Sicherheit von Atomanlagen, vom 13. Juni 1960.

[9] Verordnung über den Fonds für Atomspätschäden, vom 13. Juni 1960.

[10] Verordnung über den Strahlenschutz, vom 30. Juni 1976.

[11] Verordnung über die Alarmorganisation für den Fall erhöhter Radioaktivität, vom 9. September 1966.

[12] *The American Society of Mechanical Engineers:* «ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Rules for Construction of Nuclear Power Plant Components».

[13] *Schweiz. Verein für Druckbehälterüberwachung:* «Werkstoff-Berechnungs- und Ausführungsvorschriften, Ausgabe 1975».

[14] *Schweiz. Verein für Druckbehälterüberwachung:* «Jahresberichte».

Adresse der Verfasser: *G. Baumgartner, E. Heimgartner:* Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, Forchstr. 395, 8029 Zürich; *K. Geistlich:* Ingenieurbüro F. Preisig, Grünhaldenstr. 6, 8050 Zürich (verantwortlich für «Qualitätsüberwachung der Bauausführung»); *P. Krebs:* Schweizerischer Verein für Druckbehälterüberwachung, Nuklearabteilung, Witikonerstr. 15, 8032 Zürich (verantwortlich für «Qualitätsüberwachung der mechanischen Komponenten bei der Herstellung und im Betrieb»).

Isothermes Umformen – ein kostengünstiges Präzisionsschmiedeverfahren

Von **G. H. Gessinger**, Dältwil/Baden

Moderne Schmiedeverfahren

Die klassische Warmformgebung von Eisen-, Nickel-, Titan- und Aluminiumlegierungen macht von der Eigenschaft aller metallischen Werkstoffen Gebrauch, dass der Formänderungswiderstand mit zunehmender Temperatur rasch abnimmt. Dies bedeutet, dass auf einer vorgegebenen Umformanlage grössere Rohlingsdurchmesser verformt werden können, wenn die Werkstücktemperatur erhöht wird. Dieser Extrapolation sind jedoch *natürliche Grenzen* gesetzt.

1. Durch den *Beginn* des Schmelzens einer Legierung.

2. Durch *mögliche Phasenumwandlungen*, die zu einer Eigenschaftsverschlechterung am Endprodukt führen können. (Beispiel: Schmieden von Ti-Legierungen bei etwa 1000°C, wo die Hochtemperaturphase beginnt.)