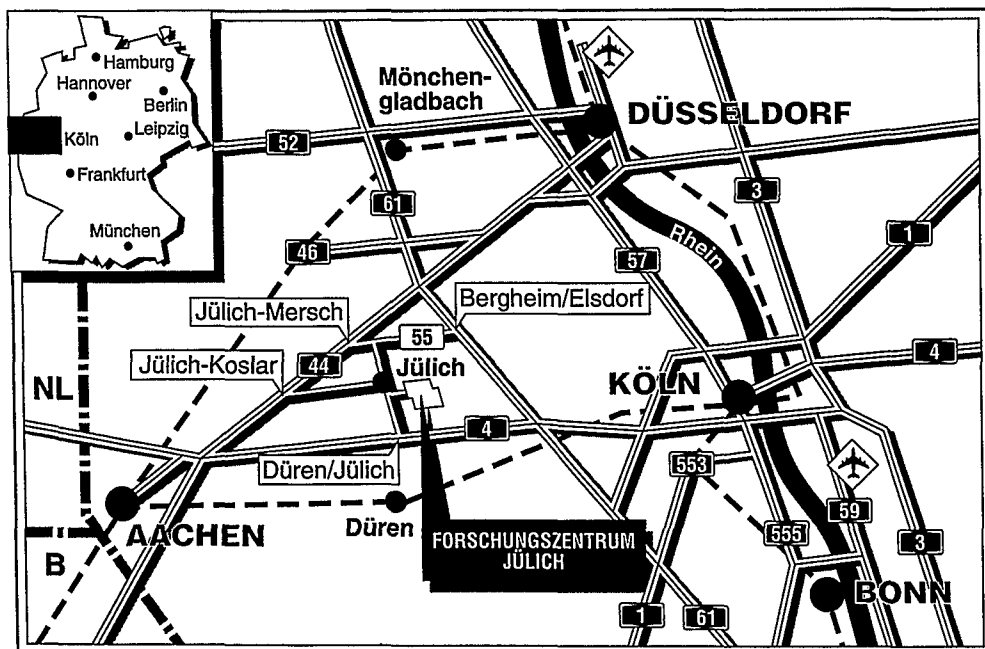


*Institut für Sicherheitsforschung
und Reaktortechnik*

**Statusbericht über die Methodik
probabilistischer Sicherheitsanalysen
für HTR-Anlagen**

**Ereignisabläufe, Systemzuverlässigkeiten,
Freisetzungshäufigkeiten**

Wilfried Hennings



Berichte des Forschungszentrums Jülich ; 2538

ISSN 0366-0885

Institut für Sicherheitsforschung und Reaktortechnik Jül-2538

Zu beziehen durch: Forschungszentrum Jülich GmbH · Zentralbibliothek
 Postfach 1913 · D-5170 Jülich · Bundesrepublik Deutschland
 Telefon: 02461/61-6102 · Telefax: 02461/61-6103 · Telex: 833556-70 kfa d

Statusbericht über die Methodik probabilistischer Sicherheitsanalysen für HTR-Anlagen

**Ereignisabläufe, Systemzuverlässigkeiten,
Freisetzungshäufigkeiten**

Wilfried Hennings

STATUS REPORT on the
METHODOLOGY OF PROBABILISTIC SAFETY ANALYSES FOR HTR-PLANTS

Event Sequences, System Reliability, Release Frequencies

by

Wilfried Hennings

ABSTRACT

This report describes the current status of the probabilistic methods and data for system analyses, reliability analyses and risk analyses of energy producing plants with high temperature graphite moderated reactors.

This report is an update of the report Jül-Spez-388/ vol.1 (May 1987), "Methodik umfassender probabilistischer Sicherheitsanalysen für zukünftige HTR-Anlagenkonzepte. Ein Statusbericht. Band 1: Ereignisabläufe, Systemzuverlässigkeiten, Freisetzungshäufigkeiten"

STATUSBERICHT über die
METHODIK PROBABILISTISCHER SICHERHEITSANALYSEN FÜR HTR-ANLAGEN

Ereignisabläufe, Systemzuverlässigkeiten,
Freisetzungshäufigkeiten

von

Wilfried Hennings

KURZFASSUNG

In diesem Bericht wird der aktuelle Stand der probabilistischen Methoden und Daten für System-, Zuverlässigkeits- und Risikoanalysen von Energieerzeugungsanlagen mit Hochtemperaturreaktoren dokumentiert.

Dieser Bericht ist die aktualisierte Fassung des Berichts Jül-Spez-388/Band 1 (Mai 1987), "Methodik umfassender probabilistischer Sicherheitsanalysen für zukünftige HTR-Anlagenkonzepte. Ein Statusbericht. Band 1: Ereignisabläufe, Systemzuverlässigkeiten, Freisetzungshäufigkeiten"

Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort	1
2. Grundsätzliche Methodik	2
3. Auslösende Ereignisse	2
3.1 Vollständigkeit der auslösenden Ereignisse	2
3.2 Häufigkeit der auslösenden Ereignisse	3
4. Ereignisablauf- und Fehlerbaumanalyse	4
4.1 Methodik	4
4.1.1 Ausgangszustand des Systems	4
4.1.2 Wirksamkeitsbedingungen	4
4.1.3 Abhängige Ausfälle	5
4.1.4 Personalhandlungen	7
4.2 Daten für Hardwareausfälle	7
4.2.1 Komponenten, für die statistisch ermittelte Kenngrößen aus LWR zur Verfügung stehen	8
4.2.1.1 Kenngrößen für unabhängige Ausfälle	8
4.2.1.2 Kenngrößen für abhängige Ausfälle	8
4.2.2 HTR-spezifische Komponenten	10
4.2.2.1 Helium-Hauptgebläse	11
4.2.2.2 Gebläseabsperrorgane (GAO)	11
4.2.2.3 Komponenten in Gasnebenkreisläufen	11
5. Analyse der Unsicherheiten	13
5.1 Datenunsicherheiten	13
5.2 Modellunsicherheiten	14
6. Kategorienbildung	14
7. Ergebnisdarstellung	14
8. Literatur	14
9. Tabelle der Zuverlässigkeitskenngrößen	17

1. Vorwort

Das Institut für Nukleare Sicherheitsforschung der KFA Jülich, jetzt Institut für Sicherheitsforschung und Reaktortechnik, hat in der Vergangenheit Störfall-/Unfallanalysen für realisierte oder auch nur konzipierte Anlagen mit Hochtemperaturreaktoren (HTR) durchgeführt, meist war eine Risikoabschätzung darin enthalten. Für die zukünftigen Anlagenkonzepte HTR-Modul der KWU/Interatom sowie HTR-100 und HTR-500 der ABB/HRB waren als zusätzliches Hilfsmittel für Planungs- und Genehmigungsentscheidungen umfassende Sicherheitsanalysen geplant. Sie sollten sich so weit wie möglich probabilistischer Methoden bedienen und auf die Ermittlung realistischer Freisetzungswerte und -häufigkeiten mit der Angabe von Unsicherheitsfaktoren zielen.

Ansichts der kontinuierlichen Fortentwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik und der avisierten Planungs- und Genehmigungsschritte bot sich die Abwicklung dieser Sicherheitsanalysen in zwei Schritten an:

- In einer "Vorphase" mit dem Ziel, Ereignisabläufe mit eindeutiger Relevanz für das Risiko zu identifizieren und für sie realistische, im Zweifelsfall konservative Freisetzungswerte und -häufigkeiten abzuschätzen, und
- in einer sich daran anschließenden "Hauptphase" zur Erhärtung und Vervollständigung des Ereignisspektrums und zur Eingrenzung der Unsicherheiten.

Die vor 1986 durchgeführten Analysen waren hinsichtlich ihrer Methodik, worunter Methoden einschließlich Rechenprogramme, Daten, Versagensmodelle und andere Hilfsmittel verstanden werden, nicht einheitlich. Zum Teil lag das an anlagentechnischen Unterschieden, zum Teil an Unterschieden im Kenntnisstand, wodurch ein ansonsten zulässiger Vergleich erschwert oder falschen Schlußfolgerungen unnötig Vorschub geleistet wurde.

Um dies zukünftig vermeiden zu können, sollte die Methodik der Analysen eines Schrittes, d.h. der "Vorphase" oder "Hauptphase" für die verschiedenen Referenzanlagen möglichst gleich sein. Der erschienenen Bände des Berichts Jül-Spez-388 dokumentierten im Sinne eines Status-Berichts die Ergebnisse einer Bestandsaufnahme vor Beginn der "Vorphasen"-Analysen und enthalten somit eine kritische Bewertung der Methodik, so wie sie sich 1986 in ihren konzeptübergreifenden Grundlagen darstellte.

Die oben beschriebenen Analysen für geplante HTR sind in dieser Form wegen der Reduzierung der HTR-Entwicklungsarbeiten nicht zustande gekommen. Dennoch machen die zwischenzeitlichen Fortschritte der Methodik eine Aktualisierung des Berichts Jül-Spez-388 erforderlich, die hiermit nun vorliegt.

2. Grundsätzliche Methodik

Wie bereits in /4/ ("PSH", Hauptband) erläutert, sind die wesentlichen Schritte einer Risikoanalyse

- i. Identifikation der Risikoquellen, d.h. der Aktivitätsinventare der Anlage;
- ii. Erfassung aller wesentlichen auslösenden Ereignisse, die - meist erst in Verbindung mit dem Versagen angeforderter Systeme - zu einer Freisetzung von radioaktiven Stoffen aus den unter (i.) ermittelten Inventaren in die Umgebung führen können;
- iii. Ermittlung möglichst aller Ereignisabläufe, die - je nach Funktion oder Ausfall der angeforderten Sicherheitssysteme - auf ein auslösendes Ereignis folgen können, und Bewertung ihrer Häufigkeiten;
- iv. Berechnung der bei den jeweiligen Ereignisabläufen freigesetzten Aktivitätsmengen und Freisetzungsbedingungen;
- v. Bildung von Freisetzungskategorien;
- vi. ggf. Berechnung von Strahlendosen und Schäden in der Umgebung;
- vii. Darstellung der Ergebnisse.

Aufgabe des vorliegenden Berichts ist die Festschreibung der probabilistischen Methoden. Darunter fallen

- qualitative Ermittlung der wesentlichen, d.h. eindeutig risiko-relevanten auslösenden Ereignisse (i.,ii.),
- qualitative Ermittlung der wesentlichen Ereignisabläufe mit Hilfe von Ereignisablaufdiagrammen (iii.),
- Bewertung der Häufigkeiten der Ereignisabläufe und ihrer Unsicherheiten mit Hilfe von Fehlerbäumen (iii.),
- Bildung von Kategorien (v.) und
- Darstellung der Ergebnisse (vii.).

3. Auslösende Ereignisse

3.1 VOLLSTÄNDIGKEIT DER AUSLÖSENDEN EREIGNISSE

Bei der Auswahl der auslösenden Ereignisse ist größtmögliche Vollständigkeit anzustreben. Hierzu sind - z.B. mit Hilfe eines Fehlerbaums - ausgehend vom unerwünschten Ereignis "Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung" für alle Aktivitätsinventare bzw. -quellen die Mechanismen und Ursachen zu ermitteln, die zu einer Freisetzung von Spaltprodukten führen können. Solche Freisetzungen können nur von den Anlagenteilen ausgehen, die nennenswerte Mengen radioaktiver Stoffe enthalten; bei HTR sind dies

- Primärkreislauf, insbesondere Brennelemente,
- Lager für abgebrannte Brennelemente und
- Gasreinigungsanlage.

Bei HTR über einer bestimmten, von der jeweiligen Auslegung abhängigen Leistung und Leistungsdichte steigen die Temperaturen im Reaktorkern bei andauerndem Ausfall der Nachwärmeabfuhrsysteme so weit an, daß nennenswerte

Mengen von radioaktiven Spaltprodukten aus den Brennelementen austreten und u.U. in die Umgebung gelangen können. Bisherige Studien /4/, /12/ zeigen, daß diese Unfälle zwar unwahrscheinlich sind, aber dennoch den Hauptbeitrag zum Risiko bilden. Dementsprechend kann man sich bei solchen Anlagen für die Vorphasen auf die Analyse dieser sog. Kernaufheizstörfälle konzentrieren, ggf. ergänzt durch Dampferzeugerlecks und Druckentlastungsstörfälle.

Sind Leistung und Leistungsdichte jedoch so gering, daß zur Vermeidung unzulässig hoher Brennelementtemperaturen mit Spaltproduktfreisetzung inhärente Mechanismen (Wärmeleitung, -strahlung und Konvektion) zur Nachwärmeabfuhr aus dem Reaktorkern ausreichen, müssen hierfür keine hochzuverlässigen Systeme vorgesehen werden. Man kann dann nicht davon ausgehen, daß Kernaufheizstörfälle das Risiko dominieren. Entsprechend spielen bei den Analysen andere Spaltproduktinventare und Freisetzungsmechanismen eine größere Rolle und müssen im Detail betrachtet werden. Soweit jetzt schon erkennbar, können folgende Störfallarten zum Risiko beitragen:

- Spaltproduktfreisetzung aus den Brennelementen infolge Korrosion durch eingedrungene Luft nach sehr unwahrscheinlichen, die Auslegung übersteigenden Belastungen, z.B. durch Einwirkungen von außen (EVA),
- geringfügige, aber häufigere Freisetzungen, z.B. aus der Gasreinigungsanlage oder Freisetzung von zuvor im Primärkreis abgelagerten Spaltprodukten durch Druckentlastung, insbesondere nach Dampferzeugerlecks.

Begrenzt wird die erreichbare Vollständigkeit der auslösenden Ereignisse durch die für die Analysen zur Verfügung stehende Zeit und Personalkapazität. Das ISF analysierte daher in den "Trendanalysen" /12/, /15/ hauptsächlich die bereits früher /4/ betrachteten "klassischen" auslösenden Ereignisse; dies sind:

- Ausfall des Hauptkühlsystems,
- Ausfall der elektrischen Eigenbedarfsversorgung,
- Druckentlastung / Lufteinbruch,
- Dampferzeugerleck / Wassereinbruch.

Da bei kleinen Reaktoren die Kühlung des Reaktordruckbehälters von außen sowohl während des Leistungsbetriebs als auch bei Ausfall des Hauptkühlsystems erforderlich ist, bildet der Ausfall dieser Kühlung ein zusätzliches auslösendes Ereignis. Es ist daher zusätzlich zu berücksichtigen:

- Ausfall des Betonkühlsystems (HTR-100) bzw. der Flächenkühler (HTR-Modul).

Darüberhinaus soll abgeschätzt werden, ob die Berücksichtigung seltener, extremer Einwirkungen von außen das ermittelte Risikoprofil nennenswert verschieben könnte. Die bei industrienahem Standort oder Anwendung als Prozeßdampfquelle zusätzlich zu betrachtenden auslösenden Ereignisse

- Einwirkungen aus der Industrieanlage (z.B. Explosionsdruckwelle)
- sollen in diesem Sinn abgeschätzt werden.

3.2 HÄUFIGKEIT DER AUSLÖSENDEN EREIGNISSE

Ausfall des Hauptkühlsystems / Ausfall der elektrischen Eigenbedarfsversorgung:

Die Häufigkeiten sind unter Berücksichtigung der tatsächlichen Anlagenauslegung über Fehlerbäume zu ermitteln. Dabei sind die mit der GRS abgestimmten Daten zu verwenden (siehe Abschnitt 4.2).

4. Ereignisablauf- und Fehlerbaumanalyse

Die Abbildung der Anlagentechnik auf die Struktur der Ereignisablauf- und Fehlerbaumdiagramme wird wie in bisherigen Analysen durchgeführt. Schwieriger ist allerdings die Quantifizierung, insbesondere von abhängigen Ausfällen. In den folgenden Abschnitten werden die Methoden, Modelle und Daten für die Zuverlässigkeitsrechnungen festgelegt.

4.1 METHODIK

Die Systemzuverlässigkeiten werden mit Hilfe der Fehlerbaummethode ermittelt. Für Hardwarekomponenten werden konstante Ausfallraten vorausgesetzt, das heißt, daß mit zeitabhängigen Nichtverfügbarkeiten ($\lambda \cdot t$) gerechnet wird. In Ausnahmefällen werden, falls die bei der GRS verfügbaren Daten eindeutig dafür sprechen, konstante Nichtverfügbarkeiten verwendet.

Bei Bereitschaftssystemen, die dem Sicherheitssystem angehören, werden versetzte Tests angenommen, wobei jeder Strang - soweit während des Leistungsbetriebs möglich - alle 4 Wochen geprüft wird. Bei anderen Bereitschaftssystemen werden zunächst jährliche Tests angenommen. Falls diese Annahme zu unakzeptabel hohen Nichtverfügbarkeiten führt, wird mit dem Hersteller abgestimmt, ob häufigere Tests vorgesehen werden sollen.

In Ergänzung bisheriger Analysen sollen auch eventuelle Nichtverfügbarkeiten infolge von Tests und Wartungsarbeiten berücksichtigt werden.

Zur Auswertung der Fehlerbäume einschließlich Unsicherheitsrechnungen stehen die Programmpakete RISA (TU Berlin), RALLY (GRS) und NUPRA (NUS/NIS) zur Verfügung. In der Regel wird für die Gesamtdarstellung das Programmpaket NUPRA verwendet, für die genaue (zeitabhängige) Quantifizierung der Gesamtfehlerbäume das Programmpaket RISA.

4.1.1 AUSGANGSZUSTAND DES SYSTEMS

In der Regel geht man bei Risikoanalysen davon aus, daß sich der Reaktor bei Eintritt des auslösenden Ereignisses im Normalbetrieb befindet. Es sind jedoch auch Fälle möglich, bei denen bereits zu Störfallbeginn Teile der Anlage nicht verfügbar sind, z.B. wegen eines voraufgegangenen Ausfalls oder während Wartungsarbeiten. Solche Nichtverfügbarkeitszeiten sind in den Fehlerbäumen zu berücksichtigen. Trägt ein solcher Systemzustand zur Eintrittswahrscheinlichkeit eines auslösenden Ereignisses bei, so ist dafür eine gesonderte Fehlerbaumrechnung mit den entsprechenden bedingten Wahrscheinlichkeiten durchzuführen.

4.1.2 WIRKSAMKEITSBEDINGUNGEN

In den Vorphasen werden die für das Genehmigungsverfahren nachgewiesenen bzw. nachzuweisenden Wirksamkeitsbedingungen verwendet. Diese sind aber relativ detailliert und berücksichtigen bereits Teilausfälle (z.B. Ausfall der Heliumgebläse bei Weiterbespeisung der Wärmetauscher). Für solche Fälle werden selbstverständlich die Auswirkungen gesondert berechnet. Darüber hinaus ist bei n·100%-Systemen nur die Alternative "Wirksamkeitsbedingung erfüllt" oder "Totalausfall" möglich, so daß von Best Estimate-Rechnungen keine Zuverlässigkeitsgewinne erwartet werden.

4.1.3 ABHÄNGIGE AUSFÄLLE

Wenn die Wahrscheinlichkeit, daß in einem Anforderungsfall mehrere Komponenten ihre Funktion nicht erfüllen, nicht gleich dem Produkt der Ausfallwahrscheinlichkeiten der einzelnen Komponenten ist, werden solche Ausfälle als abhängig bezeichnet:

Unabhängige Ausfälle: $P(A \& B) = P(A) \cdot P(B|A) = P(A) \cdot P(B)$

Abhängige Ausfälle: $P(A \& B) = P(A) \cdot P(B|A) \neq P(A) \cdot P(B)$

Der für Risikoanalysen kritische Fall ist

$$P(A \& B) = P(A) \cdot P(B|A) > P(A) \cdot P(B)$$

Im folgenden werden nur solche "kritischen" Abhängigkeiten betrachtet.

Abhängigkeiten aufgrund gemeinsamer Komponenten oder Hilfssysteme (funktionelle Abhängigkeiten) werden - soweit der Detaillierungsgrad der Systemunterlagen und der Analyse es zulassen - durch Fehlerbäume und Ereignisbäume erfaßt. Dies ist Stand der Technik und braucht nicht weiter erläutert zu werden.

Nicht dadurch erfaßt werden Abhängigkeiten infolge z.B. gemeinsamer Konstruktions-, Fertigungs- und Montagefehler, gemeinsame Fehler bei Tests und Reparaturen sowie unentdeckte funktionelle Abhängigkeiten. Ausfälle aufgrund solcher, nicht explizit erfaßter Abhängigkeiten werden nach DIN 25424 bezeichnet als "gemeinsam verursachte Ausfälle" (GVA). Unentdeckte funktionelle Abhängigkeiten können insbesondere vorliegen bei Anlagen im Planungsstadium, deren Systemdetails noch nicht im einzelnen feststehen.

Bei den Analysen muß daher darauf geachtet werden, ob die analysierten Systeme nicht möglicherweise von Hilfs- bzw. Versorgungssystemen abhängig sind, die in den Unterlagen noch nicht enthalten sind; im Zweifelsfall ist eine Auslegung nach dem Stand der Technik zu unterstellen.

Klar ist, daß die ermittelten Wahrscheinlichkeiten den größten Teil der tatsächlichen Wahrscheinlichkeiten abdecken müssen; der Beitrag vorhandener, aber nicht quantitativ erfaßter GVA muß demgegenüber gering sein. Prinzipiell ist dies nur durch Anwendung sog. impliziter Methoden zu gewährleisten /20/. Strittig sind anzuwendendes Modell und anzuwendende Parameter.

Bisherige HTR-Studien haben weitgehend das Beta-Faktor-Modell angewandt (z.B. /4/, /12/, /15/). Kernpunkte dieses Modells sind die Annahmen, daß GVA ebenso wie unabhängige Ausfälle mit konstanter Ausfallrate oder Ausfallwahrscheinlichkeit auftreten und daß GVA stets *alle* zueinander redundanten Komponenten treffen. Praktisch ist dieses Modell gleichwertig mit der Behandlung von "Common-Mode-Ausfällen" der Dieselgeneratoren in der DRS Phase A /3/. Da das Beta-Faktor-Modell nicht zwischen z.B. 2-von-4- und 4-von-4-Ausfällen unterscheidet, liefert es für Systeme mit Redundanzgrad von mehr als 2·100% oder 3·50% zu pessimistische Ausfallwahrscheinlichkeiten.

Daher wurde mit dem Multiple-Greek-Letter-Modell (MGL-Modell) /10/, /23/ eine Erweiterung vorgenommen, die unterschiedliche Ausfallgrade berücksichtigt. Das MGL-Modell ist insofern gleichwertig mit dem homogenen Marshall-Olkin-Modell /1/, als für jeden Ausfallgrad (=Anzahl der gleichzeitig abhängig ausgefallenen Komponenten) eine eigene Ausfallrate angesetzt wird; der Unterschied liegt darin, daß diese Ausfallraten beim Marshall-Olkin-Modell direkt angegeben werden, beim MGL-Modell jedoch als Anteil an der Gesamtausfallrate.

Wir verwenden das homogene Marshall-Olkin-Modell, da dessen Parameter auch aus Nullfehlerstatistiken einfach zu bestimmen sind. Zudem würden bei

Anwendung des MGL-Modells die GVA überschätzt, wenn nur die Anteile abhängiger Ausfälle aus den besonderen Vorkommnissen in US-amerikanischen Kernkraftwerken (Licensee Event Reports = LER) ermittelt würden, die Gesamtausfallraten aber aus deutschen Betriebserfahrungen. Wie /7/ und /8/ zeigen, werden in den LER nur ein Teil der unabhängigen Ausfälle gemeldet.

Bei gleichzeitigem Test der redundanten Stränge ist für GVA das gleiche Testintervall T anzusetzen wie für unabhängige Ausfälle.

Bei versetztem Test gelten folgende Überlegungen: Es wird davon ausgegangen, daß auch bei GVA unmittelbar nach der Entdeckung mit der Reparatur der als ausgefallen entdeckten Komponente begonnen wird, unabhängig davon, ob bemerkt wird, daß noch weitere Komponenten aufgrund der gleichen Ursache ausgefallen sind.

Das homogene Marshall-Olkin-Modell geht davon aus, daß alle betroffenen Komponenten gleichzeitig ausfallen. Bei einem 4·100%-System sind z.B. vom Ausfallzeitpunkt bis zum nächsten Test alle 4 beteiligten Komponenten ausgefallen. Wird beim Test nicht erkannt, daß noch weitere Komponenten ausgefallen sind, sind im Zeitraum von $T/4$ bis $T/2$ noch 3 Komponenten ausgefallen, vom $T/2$ bis $3T/4$ noch 2 Komponenten und schließlich von $3T/4$ bis T noch eine Komponente.

Der 4-von-4-Ausfall selbst verursacht daher nur während einer Zeit von höchstens $T/4$ einen Systemausfall. Allerdings kann im Zeitraum $T/4$ bis $T/2$ der verbleibende 3-von-4-Ausfall in Kombination mit einem weiteren Ausfall des zuerst reparierten Strangs einen Systemausfall verursachen, im Zeitraum $T/2$ bis $3T/4$ der verbleibende 2-von-4-Ausfall in Kombination mit zwei weiteren Ausfällen, und im Zeitraum $3T/4$ bis T der verbleibende Ausfall in Kombination mit drei weiteren Ausfällen. Korrekt müßte man daher rechnen:

$$NV_{GVA} = (1/2) \lambda_{4v4} [(T/4) + (T/4) NV_1 + (T/4) NV_2 + (T/4) NV_3]$$

wobei

NV_i = Nichtverfügbarkeit der restlichen i Stränge des Systems.

Dies kann mit vertretbarem Aufwand nicht exakt gerechnet werden. Wenn aber gilt:

$$1 > NV_1 \gg NV_2 > NV_3,$$

wie es bei den verwendeten Daten der Fall ist, dann gilt bei einem 4·100%-System und versetzten Tests:

$$T/4 < T_{\text{Test,äquivalent}} < T/2.$$

Daraus folgt auch, daß aus der dritten und vierten Woche nach dem GVA praktisch keine Beiträge zur Nichtverfügbarkeit zu erwarten sind, das heißt, daß es keine Rolle spielt, ob nach dem zweiten Test erkannt wird, daß es sich um GVA handelt, oder nicht. Wenn man von frühzeitiger Erkennung von GVA Kredit nehmen will, müssen GVA also schon beim ersten Test erkannt werden. Aber auch dadurch kann das äquivalente Testintervall nicht unter $T/4$ verringert werden. Wir verwenden konservativ $T/2$, um aufwendige weitere Nachweise zu ersparen. Die Systemnichtverfügbarkeit wird dadurch mit Sicherheit um weniger als den Faktor 2 überschätzt, was uns in Anbetracht der Datenunsicherheiten gerechtfertigt erscheint. Analog ergibt sich für das äquivalente Testintervall

- bei einem 4·50%-System, 4-wöchentlicher Test:
 $2,0 \text{ Wo.} < T_{\text{Test,äquivalent}} < 3 \text{ Wo.}$
- bei einem 3·100%-System, 3-wöchentlicher Test:
 $1,0 \text{ Wo.} < T_{\text{Test,äquivalent}} < 2 \text{ Wo.}$
- bei einem 3·100%-System, 4-wöchentlicher Test:
 $1,5 \text{ Wo.} < T_{\text{Test,äquivalent}} < 3 \text{ Wo.}$

- bei einem 2·100%-System:
$$T/2 < T_{\text{Test, äquivalent}} < T$$

Bei Mehrblockanlagen werden blockübergreifende GVA unterstellt, sofern die Komponenten und ihre Einsatzbedingungen hinreichend ähnlich sind. Durch Anwendung der GVA-Parameter, die dem erhöhten Redundanzgrad entsprechen, wird zu große Konservativität vermieden.

4.1.4 PERSONALHANDLUNGEN

Fehlhandlungen, die Störfälle auslösen können, sind in den Häufigkeiten der auslösenden Ereignisse enthalten. Fehlhandlungen, die zur Nichtverfügbarkeit von Komponenten führen, sind in den Zuverlässigkeitskenngrößen der Komponenten enthalten. Fehlhandlungen bei Wartungen und Tests werden als mögliche Ursache für GVA (siehe vorigen Abschnitt) berücksichtigt.

Darüberhinaus sollen nur solche Personalhandlungen berücksichtigt werden, die zur Beherrschung des auslösenden Ereignisses im Betriebshandbuch vorgesehen sind. Da die zu analysierenden Anlagen zumindest in den "Vorphasen" noch im Planungsstadium sind, wird wahrscheinlich das Betriebshandbuch nicht zur Verfügung stehen. Es sollen daher Personalhandlungen, die während der Analysen als sinnvoll erkannt werden, mit dem Hersteller abgestimmt und in der Beschreibung der Kraftwerksanlage festgeschrieben werden. Die Bewertung der Personalhandlungen erfolgt sowohl hinsichtlich des Modells als auch hinsichtlich der Basisdaten nach /11/, Kopplungen werden berücksichtigt. Es wird hierzu angenommen, daß die Situation in der Warte (z.B. Personalbesetzung und -qualifikation, Wartendesign) mit der bei modernen deutschen Leichtwasserreaktoren vergleichbar ist.

4.2 DATEN FÜR HARDWAREAUSFÄLLE

Grundsätzlich kann die Ausfallrate oder -wahrscheinlichkeit einer Hardwarekomponente sowohl auf der Basis strukturmechanischer Berechnungen, Festigkeits- und Lastverteilungen als auch durch statistische Auswertung des in der Vergangenheit beobachteten Ausfallverhaltens vergleichbarer Komponenten bestimmt werden.

Bei Komponentenarten, von denen bereits eine nennenswerte Anzahl von Exemplaren ausreichend lange im Einsatz ist, wird die Ausfallrate üblicherweise statistisch bestimmt. Bei HTR-Konzepten ist das praktisch nur für Komponenten möglich, die hinreichend vergleichbar mit in LWR eingesetzten Komponenten sind (Abschnitt 4.2.1).

Schwierigkeiten bestehen bei der Zuverlässigkeitsbewertung von HTR-spezifischen Komponenten, da einerseits zu wenig Betriebserfahrungen mit hinreichend ähnlichen Komponenten vorliegen, andererseits vorliegende Betriebserfahrungen mit gasgekühlten Reaktoren nicht direkt anwendbar sind (Abschnitt 4.2.2). Die Bestimmung von Ausfallwahrscheinlichkeiten auf der Basis strukturmechanischer Berechnungen ist zwar prinzipiell für jede Komponente möglich, läßt sich aber wegen des erforderlichen Arbeits- und Rechenaufwands nur für einzelne, besonders wichtige Komponenten durchführen, für die anders keine Ausfallwahrscheinlichkeit ermittelt werden kann (z.B. Reaktordruckbehälter aus Spannbeton oder Reaktorgebäude). Weitere mögliche Anwendungsfälle strukturmechanischer Berechnungen sind die Berechnungen der bedingten Ausfallwahrscheinlichkeiten von Komponenten nach Einwirkungen von außen.

4.2.1 KOMPONENTEN, FÜR DIE STATISTISCH ERMITTELTE KENNGRÖßEN AUS LWR ZUR VERFÜGUNG STEHEN

4.2.1.1 Kenngrößen für unabhängige Ausfälle

Für Komponenten, die vergleichbar mit Komponenten in Leichtwasserreaktoren sind (z.B. Pumpen und Ventile in Wasserkreisläufen), liegen bei der Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) umfangreiche Auswertungen bisheriger Betriebserfahrungen vor. Die GRS hat deren Übertragbarkeit geprüft und für die meisten Komponenten die benötigten Kenngrößen ermittelt. Die von der GRS ermittelten Kenngrößen sind in Abschnitt 9 aufgelistet und mit der Quellenangabe "GRS" gekennzeichnet.

4.2.1.2 Kenngrößen für abhängige Ausfälle

Bisherige Studien:

Die Referenzanlage der DRS /3/ war zum Zeitpunkt der Analysen bereits in Betrieb, so daß sehr detaillierte Fehlerbäume entwickelt werden konnten. Dadurch war die "Restmenge" von nicht erkannten Abhängigkeiten (Bezeichnung nach DIN 25424: "Gemeinsam verursachte Ausfälle" = GVA) gering. Für GVA wurden daher nur dort von Null verschiedene Ausfallraten eingesetzt, wo vergleichbare GVA in deutschen Kernkraftwerken schon aufgetreten waren.

Im Gegensatz dazu war die Referenzanlage der PSH-Studie /4/ erst im Planungsstadium, nicht alle Hilfs- und Versorgungssysteme waren detailliert beschrieben. Um verborgene Abhängigkeiten abzudecken, wurden weitgehend pauschale Beta-Faktoren von 10% verwendet. Die Verwendung pauschaler Beta-Faktoren von 10% ist für Systeme mit höherem Redundanzgrad sicher pessimistisch, die Beschränkung auf die Ereignisse, die in deutschen Kernkraftwerken bereits aufgetreten sind, aber zu optimistisch.

Derzeitige Vorgehensweise:

Aus den vorgenannten Gründen hat das ISF selbst Betriebserfahrungen ausgewertet, um Kenngrößen für GVA zu ermitteln. Zum Zeitpunkt der Auswertung standen deutsche Betriebserfahrungen nur aus dem Zeitraum bis 1982 zur Verfügung. Die Benutzung allein dieser Erfahrungen hätte häufig die Anwendung von Nullfehlerstatistik erfordert und unrealistisch hohe Raten für gemeinsam verursachte Ausfälle ergeben. Es wurden daher die US-amerikanischen Betriebserfahrungen herangezogen /19/. Es ist zwar zu erwarten, daß in Kürze auch für GVA immer mehr Zuverlässigkeitskenngrößen aus Erfahrungen mit deutschen Kernkraftwerken zur Verfügung stehen werden; zur Zeit sind sie aber erst für wenige Komponenten verfügbar.

Im Gegensatz zu der in /20/ ausgesprochenen Empfehlung, die ermittelten Kenngrößen nur für Sensitivitätsanalysen zu verwenden, sollten sie bei Analysen für HTR-Konzepte bereits im ersten Arbeitgang in die Fehlerbäume eingesetzt werden. Hierfür sprechen folgende Gründe:

1. Bei Analysen für HTR-Konzepte sind die technischen Beschreibungen der Referenzanlagen noch nicht detailliert genug, um relevante Abhängigkeiten entdecken zu können; eine Analyse ohne Ansatz impliziter Anteile abhängiger Ausfälle würde unrealistisch niedrige Systemnichtverfügbarkeiten ergeben.
2. Die CCF-Benchmark-Exercise /25/ zeigt unserer Meinung nach, daß aus den in /19/ ermittelten Kenngrößen keine unrealistisch hohe Systemnichtverfügbarkeit folgt.

3. Eine Auswertung von Ausfällen von Sicherheitsarmaturen /26/ ergab sogar, daß bereits bei einer einzelnen Sicherheitsarmatur GVA wahrscheinlicher sind als unabhängige Ausfälle.
4. Die aus unseren GVA-Ausfallraten unter Ansatz der entsprechenden Erkennungszeiten berechneten Ausfallwahrscheinlichkeiten sind teils größer, teils kleiner als die in der DRS Phase B verwendeten Wahrscheinlichkeiten /27/, die Abweichungen liegen im Rahmen der für GVA noch unvermeidlichen Unsicherheitsbandbreiten (siehe Abb. 1).

Komponentenart Ausfallart	Ausfallwahrscheinlichkeit pro Anforderung (Erwartungswert) für Ausfall von 4 von 4		
	Erkennungszeit	DRS-B	ISF-LER
Pumpe, startet nicht	2 Wochen	5 E-5	1,4 E-5
Motorventil, öffn. od. schl. n.	2 Wochen	4 E-5	4,0 E-6
	1 Jahr	4 E-4	1,1 E-4
Rückschlagarmatur, öffnet nicht	2 Wochen	1 E-6	4,7 E-6
	1 Jahr	1 E-5	1,2 E-4

Abb. 1: Vergleich der GVA-Wahrscheinlichkeiten aus Abb. 2 mit denen aus der DRS Phase B /28/

Da die Beobachtungen bei einigen Komponentenarten nahelegen, daß GVA von mehr als 2 Komponenten in der Regel Totalausfälle sind (Ausfall aller redundanten Komponenten), werden 3-von-4-Ausfälle gegenüber 4-von-4-Ausfällen, d.h. Totalausfällen, vernachlässigt.

Bei Vorliegen von mindestens einem übertragbaren Ausfallereignis wurden Erwartungswert und Unsicherheitsfaktor mit dem Programm SAFE-R /6/ berechnet.

Bei Nullfehlerstatistik werden Erwartungswert und 95%-Fraktil der χ^2 -Verteilung verwendet.

Die verfügbaren Parameter sind in Abb. 2 dargestellt. Die angegebenen Unsicherheitsfaktoren sind in Abschnitt 5 erläutert.

Parameter für Komponenten, die in diesen Auswertungen nicht erfaßt sind, werden entweder von vergleichbaren Komponenten abgeleitet oder geschätzt. Geschätzte Parameter werden nur für Magnetventile und für Schütze angesetzt. Die Schätzung geht davon aus, daß 2-von-4-Ausfälle einen Anteil zwischen 10% und 0,1% an der Gesamtausfallrate ausmachen, d.h. einen Anteil mit Median 0,01 und Unsicherheitsfaktor 10, 4-von-4-Ausfälle einen Anteil mit Median 0,005 und ebenfalls Unsicherheitsfaktor 10. Bei Komponenten, deren Gesamtausfallrate ebenfalls einen Unsicherheitsfaktor 10 hat, ergibt sich daraus für GVA der Unsicherheitsfaktor 26.

Für den Digitalteil der Leittechnik werden keine GVA unterstellt. Der Analogteil wird behandelt wie in der DRS Phase A /3/, außerdem sind in diesem Bereich menschliche Fehlhandlungen bei Wartungen und Tests zu untersuchen.

Für Notstrom-Diesel-Aggregate stehen Erfahrungen aus deutschen Kernkraftwerken zur Verfügung /13/, in denen allerdings nur ein Fall von GVA vorkommt, dessen Ursache den Dieselaggregaten selbst zuzuordnen ist. Auch hier stehen breitere US-amerikanische Erfahrungen zur Verfügung, aus denen die in Abb. 2 angegebenen Parameter abgeleitet sind.

Komponentenart Ausfallart	Ausfallrate pro Stunde Kalenderzeit Erwartungswert <Anzahl Vorkommnisse> (95%-Unsicherheitsfaktor) für		
	2 von 2	2 v 3 2 v 4	3 v 3 4 v 4
Motorventil öffn. od. schl. n. einschl. Antrieb ohne Antrieb	2,3E-7<11> {21} 6,1E-8 <4> {31}	1,0E-7<11> {23} 3,3E-8 <4> {36}	2,4E-8 <0>{4,6} 2,4E-8 <0>{4,6}
Handventil öffn. od. schl. n. falsche Stellung	2,0E-8 <0>{4,6} 6,0E-8 <4> {42}	8,7E-9 <0>{4,6} 1,6E-8 <4> {35}	2,0E-8 <0>{4,6} 2,0E-8 <0>{4,6}
Rückschlagklappe öffnet nicht schließt nicht	4,7E-8 <1> {45} 7,1E-8 <3> {29}	1,6E-8 <1> {40} 2,9E-8 <3> {30}	2,8E-8 <0>{4,6} 2,8E-8 <0>{4,6}
Pneumatikventil öffn. od. schl. n.	2,1E-7 <1> {35}	2,1E-7 <1> {35}	1,4E-7 <0>{4,6}
Pumpe, Dauer- oder intermitt. Betrieb Betriebsversagen Startversagen	1,7E-6<18> {20} 2,5E-7 <2> {32}	3,3E-7 <9> {12} 2,7E-8 <1> {40}	9,8E-7 <8> {29} 1,7E-7 <1> {40}
Pumpe, Bereitschaft Startversagen Start- und frühes Betriebsversagen	1,7E-7 <2> {44} 5,2E-7 <6> {27}	8,4E-8 <1> {44} 9,2E-8 <2> {42}	8,4E-8 <1> {44} 3,9E-7 <4> {30}
elektrischer Abzweig schließt nicht od. öffnet fälschlich	2,6E-7 <2> {37}	8,4E-8 <1> {44}	1,9E-7 <1> {44}
Notstromdiesel Start- und frühes Betriebsversagen	5,8E-6 <5> {15}	3,1E-6 <4> {24}	7,5E-7 <1> {26}

Die Ausfallraten stammen aus der Auswertung besonderer Vorkommnisse (LER) in US-amerikanischen Kernkraftwerken aus den Jahren 1972-1983 (Pumpen) bzw. 1972-1980 (andere Komponenten) aus /19/

Abb. 2: Beispieldatensatz von Parametern für das homogene Marshall-Olkin-Modell (Generische Parameter für Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland)

4.2.2 HTR-SPEZIFISCHE KOMPONENTEN

Für Gebläse, Gebläseabsperrorgane und Dampferzeuger sollten Betriebserfahrungen mit britischen gasgekühlten Reaktoren ausgewertet werden; erste Ergebnisse für Gebläse stehen seit Anfang 1986 zur Verfügung. Die übrigen

Kenngrößen wurden von ähnlichen Komponenten übertragen bzw. geschätzt. Sie sind in der Tabelle (Abschnitt 9) dieses Berichts enthalten.

4.2.2.1 Helium-Hauptgebläse

Ausfallart: Betriebsausfall

Die Kenngrößen wurden wie folgt berechnet: In AGR, deren Gebläsekonstruktion der in HTR verwendeten am nächsten kommt, wurden 28 Ausfälle in 829276 Gebläsebetriebsstunden beobachtet, das ergibt einen Erwartungswert von $29 / 829276 \text{ h} = 3,5 \cdot 10^{-5} / \text{h}$. Mit einem geschätzten Unsicherheitsfaktor 10, der auch Unsicherheiten der Übertragbarkeit abdecken soll, ergibt sich eine Lognormalverteilung mit Median $1,3 \cdot 10^{-5} / \text{h}$.

Ausfallart: Startet nicht wieder nach kurzzeitigem Stillstand

Für unabhängige Ausfälle wird nach Diskussion mit der GRS eine Ausfallwahrscheinlichkeit von $2 \cdot 10^{-3} / \text{Anf.}$ (Median), Unsicherheitsfaktor 4, angesetzt.

Für gemeinsam verursachte Ausfälle (GVA) werden aus /19/ die Ausfallraten für Startversagen von Pumpen im Dauer- und intermittierenden Betrieb übernommen. Da die Gebläse des THTR im Notkühlbetrieb nur mit verminderter Leistung betrieben werden, werden hierfür die Ausfallraten auf einen geschätzten Anteil von 0,3 reduziert. Als Fehlerentdeckungszeit wird beim THTR 1 Jahr angenommen entsprechend der angenommenen Häufigkeit für Anforderung der Notkühlprozedur.

4.2.2.2 Gebläseabsperrorgane (GAO)

Für Gebläseabsperrorgane (GAO) in heliumgekühlten HTR gibt es keine vergleichbaren Komponenten, deren Betriebserfahrungen man auswerten könnte. Die Kenngrößen werden daher wie folgt von anderen, möglichst ähnlichen Komponenten übernommen:

Motorbetätigte GAO - unabhängige Ausfälle

Ersatzweise wird eine Verteilung über die Kenngrößen verschiedener motorbetätigter Absperrarmaturen (Abb. 2) mit einem Median $1,0 \cdot 10^{-5} / \text{h}$ verwendet.

Hydraulisch betätigte GAO - unabhängige Ausfälle

Für unabhängige Ausfälle werden die 1985 von der GRS für die Zuverlässigkeitsanalyse des NWA-Systems des THTR verwendeten Ausfallraten übernommen:

schließt nicht: Median $1 \cdot 10^{-5} / \text{h}$ Uns.faktor 4

öffnet nicht wieder: Median $1 \cdot 10^{-3} / \text{Anf}$ Uns.faktor 10

Gemeinsam verursachte Ausfälle (GVA)

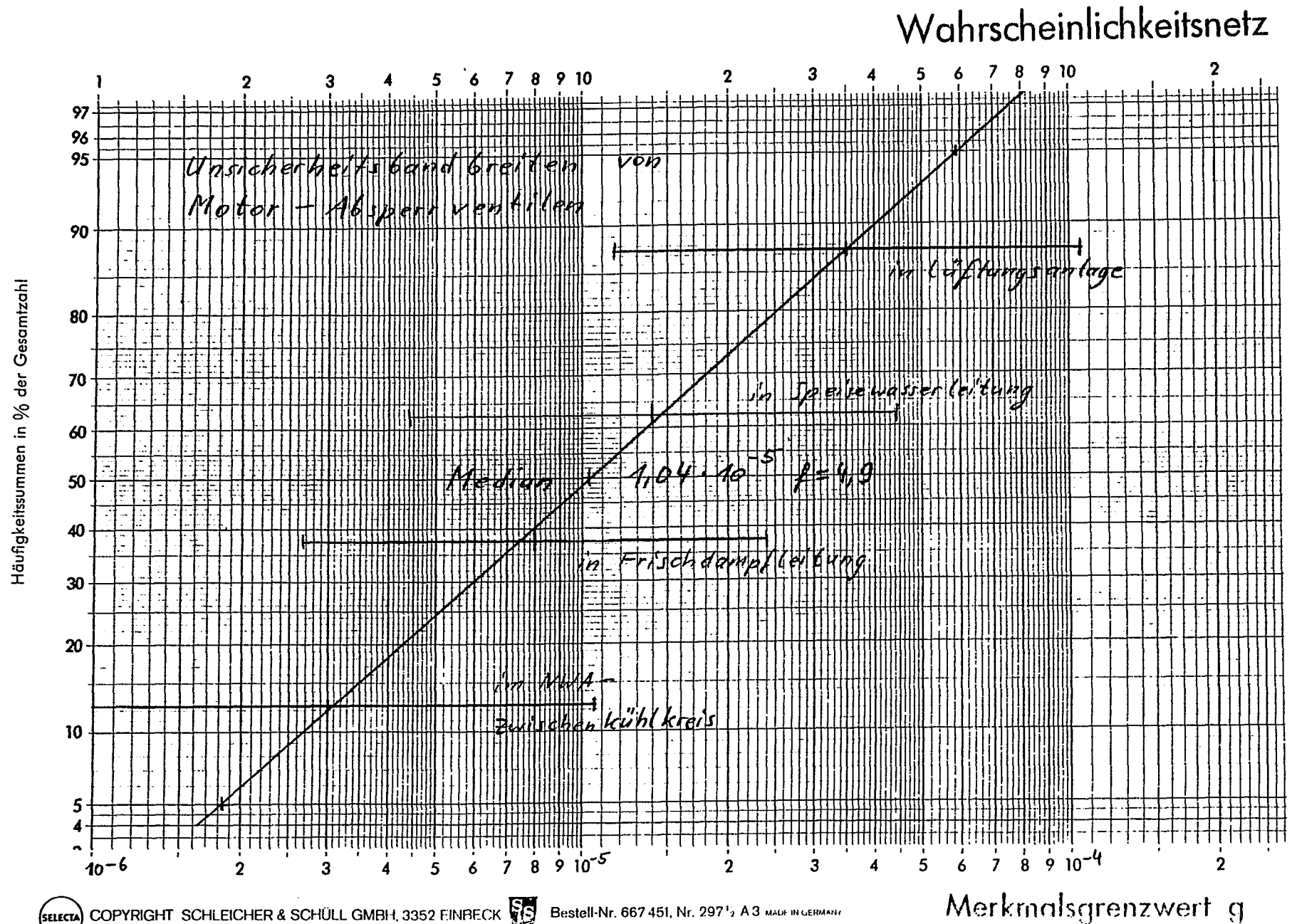
Für GVA werden die Ausfallraten für Motor- und hydraulische Armaturen aus /19/ übernommen, für die Ausfallart "öffnet nicht wieder nach Schließen" wird ein Anteil von 30% geschätzt analog zur entsprechenden Ausfallart bei Motorarmaturen.

Bezüglich der Aussagekraft der monatlichen Teilhubtests beim THTR wird die Einschätzung der GRS von 1985 übernommen, daß damit 80% der Ausfälle erkannt werden können; für die restlichen 20% der Ausfälle ist das jährliche Testintervall anzusetzen. Dies gilt sowohl für unabhängige als auch für abhängige Ausfälle.

4.2.2.3 Komponenten in Gasnebenkreisläufen

Hierfür wurden Betriebserfahrungen des AVR ausgewertet. Die Ergebnisse sind in /24/ dokumentiert.

Abb. 3: Unsicherheitsbandbreiten der Ausfallraten verschiedener Motorarmaturen



5. Analyse der Unsicherheiten

5.1 DATENUNSICHERHEITEN

Wie in Risikoanalysen allgemein üblich, werden aus rechentechnischen Gründen Ausfallraten und -wahrscheinlichkeiten grundsätzlich als logarithmisch normalverteilt angenommen. Wie bereits erwähnt, werden die Unsicherheiten der Eingangsdaten - wenn möglich - aus den gleichen Quellen gewonnen wie die Daten selbst.

Bei Übernahme von Zuverlässigkeitskenngrößen aus Biblis B /18/ müssen zusätzliche Unsicherheiten angesetzt werden, um eventuelle Unterschiede zwischen den Ausfallraten vergleichbarer Komponenten in verschiedenen Kernkraftwerken zu berücksichtigen. Falls der Unsicherheitsfaktor nicht ebenfalls von der GRS zur Verfügung gestellt wird, soll für unabhängige Ausfälle der Unsicherheitsfaktor von vergleichbaren Komponenten übernommen werden. Von den Zuverlässigkeitskenngrößen aus Biblis B sind dann die Erwartungswerte (meist der χ^2 -Verteilung) zu übernehmen und als Erwartungswerte einzusetzen.

Unsicherheitsfaktoren für gemeinsam verursachte Ausfälle (GVA) sind in Abb. 2 angegeben, soweit die ausgewerteten Betriebserfahrungen dafür ausreichen. Die angegebenen Erwartungswerte und Unsicherheitsfaktoren wurden mit dem Programm SAFE-R /6/ berechnet. Dabei werden sowohl die Unsicherheit aufgrund endlichen Stichprobenumfangs als auch die Variation der Ausfallraten zwischen verschiedenen Systemen und Kernkraftwerken berücksichtigt.

Die für GVA angegebenen Unsicherheitsfaktoren sind zum Teil sicherlich ungewöhnlich groß. Hier ist aber zu bedenken, daß die Erwartungswerte in der gewohnten Größenordnung oder sogar darunter liegen und daß bei derart großen Unsicherheitsfaktoren der Erwartungswert viel größer als der Median und nur wenig kleiner als das 95%-Fraktil ist.

Da die angegebenen Unsicherheitsbandbreiten fast ausschließlich aus den Unterschieden der Ausfallraten zwischen verschiedenen Kernkraftwerken resultieren, ist das so zu interpretieren, daß in der überwiegenden Zahl von Kernkraftwerken die Ausfallrate unter diesem Erwartungswert liegt und nur in einigen wenigen Fällen darüber. Die angegebene Verteilung berücksichtigt die Tatsache, daß man nicht im voraus weiß, ob die betreffende Komponentenart in der Referenzanlage zu den wenigen schlechten oder zu den vielen guten gehört. Das bedeutet aber nicht, daß es "schlechte" Kernkraftwerke gäbe, in denen alle Komponentenarten schlecht und "gute", in denen alle Komponentenarten gut wären, denn eine Korrelation der Ausfallraten verschiedener Komponentenarten war bisher nicht festzustellen.

Bei Nullfehlerstatistik kann grundsätzlich keine Variation zwischen verschiedenen Kernkraftwerken ermittelt werden. Der Erwartungswert ergibt sich dann als Erwartungswert der χ^2 -Verteilung. Diese wird approximiert durch eine Lognormalverteilung mit gleichem Erwartungswert und gleichem 95%-Fraktil. Weiterhin wird angenommen und für die Unsicherheitsrechnungen zugrunde gelegt, daß die Ausfallraten gleichartiger Komponenten statistisch gekoppelt sind ("Ausfallratenkopplung").

Grundsätzlich nicht quantifiziert werden die Unsicherheiten in der Beurteilung, welche der beobachteten Ausfälle in der zu analysierenden Anlage nicht auftreten können, und wieviel Ausfälle andererseits in der zu analysierenden Anlage auftreten können, die in den Betriebserfahrungen nicht aufgetreten sind. Dies gilt für unabhängige Ausfälle von aus der LWR-Technik bekannten Komponenten nur in geringem Maß, da die in HTR verwendeten Komponenten

diesen sehr ähnlich sind. Umso größer sind aber die Unsicherheiten bei gemeinsam verursachten Ausfällen (GVA) sowie bei der Übertragung von Erfahrungen aus britischen gasgekühlten Reaktoren. (Letzteres betrifft vor allem Schadensraten für Dampferzeuger und Kühlgasgebläse.)

5.2 MODELLUNSICHERHEITEN

Für eine Abschätzung, inwieweit die verwendeten Modelle das Ergebnis prädestinieren, ist uns zur Zeit keine Methode bekannt. Es ist zu erwarten, daß einerseits die *Annahme der Zeitkonstanz* der Ausfallrate bzw. Ausfallwahrscheinlichkeit das Ergebnis stark beeinflusst, andererseits ist bekannt, daß die Wahl des Modells "Konstante Ausfallrate" gegenüber dem Modell "Konstante Ausfallwahrscheinlichkeit" besonders bei selten getesteten Komponenten das Ergebnis erheblich zur konservativen Seite hin verschiebt. Es ist aber derzeit für die meisten der Komponentenarten keine statistische Erhebung verfügbar, die die Gültigkeit eines der Modelle bestätigen oder widerlegen könnte.

6. Kategorienbildung

Um die Berechnung der Konsequenzen in der Umgebung zu vereinfachen, werden Ereignisabläufe mit ähnlichen Freisetzungsscharakteristika (Nuklidvektor, Aktivitätsmengen, Zeitverlauf, Abströmpfad) zu jeweils einer "Freisetzungskategorie" zusammengefaßt, ihre Häufigkeiten addiert. Für die Berechnung der Konsequenzen wird konservativ der Ereignisablauf mit der größten freigesetzten Aktivitätsmenge und die ungünstigsten Freisetzungsbedingungen zugrunde gelegt.

7. Ergebnisdarstellung

Zum Zweck besserer Nachvollziehbarkeit sollen detaillierte Ereignisablaufdiagramme angegeben werden; z.B. sollen Funktionen von Hilfs- und Versorgungssystemen, von denen mehr als eine Verzweigung abhängig ist, als eigene Abfragen im Ereignisablaufdiagramm dargestellt werden.

8. Literatur

- /1/ A.W.Marshall, I.Olkin:
A Multivariate Exponential Distribution.
In: Journal of the American Statistical Association. Washington.
No. 62, 1967
- /2/ W.E.Vesely:
Estimating Common Cause Failure Probabilities in Reliability and Risk Analyses: Marshall-Olkin Specializations.
In: J.B.Fussel, G.R.Burdick (Ed.):
Nuclear Systems Reliability Engineering and Risk Assessment.
Proceedings of the International Conference on Nuclear Systems Engineering and Risk Assessment, Gatlinburg, Tennessee, June 20-24, 1977

- /3/ Gesellschaft für Reaktorsicherheit:
Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke.
Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1979 (Hauptband),
1980, 1981 (Fachbände)
- /4/ Kernforschungsanlage Jülich, ISF, und Gesellschaft für
Reaktorsicherheit:
Sicherheitsstudie für HTR-Konzepte unter deutschen Standortbedingungen.
Jül-Spez-136, Band 1, 1981 (Hauptband),
Band 2-6, 1981-1983 (Fachbände)
- /5/ J.K.Shultis, D.E.Johnson, G.A.Milliken, N.D.Eckhoff:
Use of Non-Conjugate Prior Distributions in Compound Failure Models.
NUREG/CR-2374, 1981
- /6/ J.K.Shultis, N.D.Eckhoff, D.E.Johnson, G.A.Milliken:
SAFE-R and SAFE-D: Computer Codes for the Analysis of Failure Data.
NUREG/CR-2375, 1981
- /7/ J.P.Drago, R.J.Borkowski, J.R.Fragola, J.W.Johnson:
The In-Plant Reliability Data Base for Nuclear Plant Components:
Interim Data Report - The Pump Component.
ORNL/TM-8465 = NUREG/CR-2886, Dez. 1982
- /8/ R.J.Borkowski, W.K.Kahl, T.L.Hebble, J.R.Fragola, J.W.Johnson:
The In-Plant Reliability Data Base for Nuclear Plant Components:
Interim Report - The Valve Component.
ORNL/TM-8647 = NUREG/CR-3154, Dez. 1983
- /9/ PRA Procedures Guide - A Guide to the Performance of Probabilistic Risk
Assessments for Nuclear Power Plants. Final Report.
NUREG/CR-2300, Jan. 1983
- /10/ K.N.Fleming, A.M.Kalinowski:
An Extension of the Beta Factor Method to Systems with High Levels of
Redundancy.
PLG-0289, June 1983. Pickard, Lowe & Garrick, Inc., 2260 University
Drive, Newport Beach, CA 92660, USA
- /11/ A.D.Swain, H.E.Guttman:
Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power
Plant Applications. NUREG/CR-1278, Aug. 1983
- /12/ Kernforschungsanlage Jülich, ISF:
Zum Störfallverhalten des HTR-500 - Eine Trendanalyse.
Jül-Spez-220, Sept. 1983
- /13/ Facharbeitskreis "Notstromdieselaggregate":
Statistische Untersuchung der Zuverlässigkeit von Notstromdieselanlagen
in deutschen Kernkraftwerken.
Verlag TÜV Rheinland, Köln 1983
- /14/ Kernforschungsanlage Jülich, ISF:
Sicherheitstechnische Untersuchungen zum Störfallverhalten des HTR-500
- Ergänzungsband mit vertiefenden Einzelbeiträgen zum Bericht Jül-Spez-
220. Jül-Spez-240, Jan. 1984
- /15/ Kernforschungsanlage Jülich, ISF:
Zum Störfallverhalten des HTR-Modul - Eine Trendanalyse.
Jül-Spez-260, Juni 1984

- /16/ H.F.Martz, D.E.Whiteman:
A Statistical Analysis of Nuclear Power Plant Pump Failure Variability
- Some Preliminary Results.
LA-10014-MS = NUREG/CR-3650, Feb. 1984
- /17/ Probabilistic Risk Assessment (PRA) Reference Document - Final Report.
NUREG 1050, Sept. 1984
- /18/ Gesellschaft für Reaktorsicherheit:
Zuverlässigkeitskenngrößenermittlung im Kernkraftwerk Biblis B
-Abschlußbericht-. GRS-A-1030, Dez. 1984
- /19/ R. Bongartz, W. Hennings, H. Meeßen
Nutzung ausländischer Betriebserfahrungen zur Ableitung von
Zuverlässigkeitskenngrößen - insbesondere für abhängige Ausfälle
Jül-Spez-422, Nov. 1987
- /20/ W.Hennings, J.Mertens:
Methodische Behandlung abhängiger Ausfälle in Risikostudien. Beitrag
zum Statusbericht über die Phase B der Deutschen Risikostudie
Kernkraftwerke.
Jül-Spez-405, Juni 1987
- /21/ J.Schweigert:
Einfluß der Zuverlässigkeit von Batteriesystemen auf die
Zuverlässigkeit der Notstromversorgung.
GRS-A-1088, April 1985
- /23/ K.Fleming, A.Mosleh, R.K.Deremer:
A Systematic Procedure for the Incorporation of Common Cause Events
into Risk and Reliability Models.
Nucl. Eng. & Design 93 (1986) / Int. Post-Conference Seminar, SMIRT 8,
August 1985.
- /24/ W.Hennings (Hrsg):
Statistische Untersuchungen zum Ausfallverhalten von Komponenten des
Versuchskernkraftwerks der AVR.
Jül-Spez-514, Aug. 1989
Band 1: H.J.Hantke:
Ausfallraten von Armaturen in Gaskreisläufen, Einfluß von Betriebs- und
Umgebungsbedingungen
Band 2: A.Meyna, R.Mock, A.Tietze:
Ausfallkenngrößen von Helium-Ventilen; Anwendung und Interpretation
verschiedener statistischer Verfahren
- /25/ A.Poucet, A.Amendola, P.C.Cacciabue:
Common Cause Failure Reliability Benchmark Exercise, Final Report.
EUR 11054 EN, JRC Ispra, 1987.
- /26/ W.Bung, P.Hömke, W.Oberender, H.Paul, W.Rueter:
Auswertung von Betriebserfahrungen mit Sicherheitsarmaturen.
Der Bundesminister des Innern:
Bericht BMI-1985-080, Juni 1985, ISSN 0724-3316
- /27/ H.Hörtner:
Systemtechnische und Ereignisablauf-Analysen.
Fachsitzung "Ergebnisse der Phase B der Deutschen Risikostudie
Kernkraftwerke", Jahrestagung Kerntechnik '86, Aachen, April 1986
- /28/ Gesellschaft für Reaktorsicherheit:
Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke, Phase B
Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1990

9. Tabelle der Zuverlässigkeitskenngrößen

Erläuterung der in der Tabelle verwendeten Kürzel

BBC	Kraus: Ausfallraten der Geräte XS305, XS310 und XS 312. Arbeitsbericht BBC EN36/ZEK4305 vom 15.4.1981
CEGB	Auswertung von Betriebserfahrungen mit AGR-Reaktoren des CEGB (Central Electricity Generating Board, Großbritannien). (Brief von Mr. Jenkins (CEGB) vom 23.1.1986)
GRS	Durch die GRS im Auftrag des ISF ermittelte Zuverlässigkeitskenngrößen
GrKp	Gruppen-Nummer für Ausfalldatenkopplung; GrKp = 0 bedeutet: Keine Kopplung mit anderen Daten.
HRB	Rutschmann: Ausfallrate XS313. Arbeitsbericht HRB TS2 vom 30.3.1984
LER-ISF	/19/ sowie /22/ (siehe Literaturverzeichnis)
=MOA	bewertet wie Motorarmatur
MOA o.An	bewertet wie Motorarmatur ohne Ausfälle des Antriebs
NWAZKW	in Analogie zur Rate der entsprechenden Komponente im NWA- Zwischenkühlwasserkreis
=RSA	analog Rückschlagarmatur
=SPW-RSK	analog Speisewasser-Rückschlagklappe
=SSA	analog Speisewasser- oder Frischdampf-Schnellschlußarmatur
VDEW	VDEW Störungs- und Schadensstatistik 1968

Tabelle der Zuverlässigkeitskenngrößen für HTR -- Medianwerte -- Stand: 3. 8. 1989

lfd Nr.	System Komponente	Einflußgrößen Ausfallart	unabhängige Ausfälle			Kopp- lungs- gruppe	Rate (Wahrsch.) für abhängige Ausfälle								Reparaturzeit	
			Rate (Wahrsch.) Median	f95	Quelle		2v2 Median	f95	2v3, 2v4 Median	f95	3v3, 4v4 Median	f95	Quelle	MTTR (h)	Quelle	
	Primärkreislauf															
101	Helium-Hauptgebläse	Betriebsversagen	8.0-6/h	3	12)	101								280	CEGB	
102	startet nicht nach kurzzeitiger Unterbrechung		2.0-3/Anf	4	GRS	101	3.6-5/Anf	32	2.8-6/Anf	40	1.8-5/Anf	40	11)	280		
103	Gebälse-Absperrorgan, motorbetätigt	öffnet/schließt nicht	1.0-5/h	10	1)	105	4.1-8/h	21	1.6-8/h	23	1.5-8/h	5	=MOA			
104	"	öffnet nicht nach Schließen: 30%	3.0-6/h	10	=MOA	105	1.2-8/h	21	4.9-9/h	23	4.5-9/h	5	=MOA			
105	Gebälse-Absperrorgan, hydraulisch	schließt nicht	9.8-6/h	4	GRS	107	4.1-8/h	21	1.6-8/h	23	1.5-8/h	5	=MOA			
106	"	öffnet nicht nach Schließen	1.0-3/Anf	10	GRS	108	1.2-8/h	21	4.9-9/h	23	4.5-9/h	5	=MOA			
109	" , Vorsteuerarmatur hierzu	schaltet nicht	7.0-6/h	4	GRS	49			4.8-8/h	4	1.5-9/h	7	GRS			
	Hilfskühl- (NWA-) kreislauf primär															
111	Helium-Hilfsgebläse	Startversagen	2.5-5/h	3	=602	11	7.0-8/h	27	7.0-9/h	42	4.6-8/h	30	=602			
112		Betriebsversagen	8.8-4/h 2)	3	=603	12										
113	Hilfsgebläse-Absperrorgan motorbetätigt	öffnet / schließt nicht	1.0-5/h	10	=103	105	4.1-8/h	21	1.6-8/h	23	1.5-8/h	5	=MOA			
115	hydraulisch	öffnet nicht	1.0-5/h	10	=103	105	4.1-8/h	21	1.6-8/h	23	1.5-8/h	5	=MOA			
117	Hilfsgebläse-Rückschlagklappe eigenmediumbetätigt	öffnet nicht	1.5-7/h	5	=610	57	3.2-9/h	45	1.3-9/h	40	1.7-8/h	5	=RSA			

1) Verteilung über verschiedene Motorarmaturen

2) Ausfallrate für die Ausfallart "fördert nicht" (Komponentenausfall unmittelbar)

11) Startversagen Running / Alternating Pumps, Erkennungszeit 1 Jahr,
reduziert auf 30% für Wiederstart mit reduzierter Leistung (THTR-NWA) nach kurzzeitigem Stillstand

12) Die angegebene Verteilung berücksichtigt Erfahrungen aus CEGB-, AVR- und THTR-Betrieb

Ifd Nr.	System Komponente	Einflußgrößen Ausfallart	unabhängige Ausfälle		Kopp- lungs- gruppe	Rate (Wahrsch.) für abhängige Ausfälle						Reparaturzeit		
			Rate (Wahrsch.) Median	f95		Quelle	2v2 Median	f95	2v3, 2v4 Median	f95	3v3, 4v4 Median	f95	Quelle	MTTR (h)
	Helium-Nebenkreisläufe													
201	pneumatische Armatur mit Vorsteuerarmatur einschl. Arm. mit hoher Schalthäufigkeit alle Ausfallarten (Lüftungsanlagen Biblis-B zum Vergleich: öffnet/schließt nicht 9.0-6/h f=3 /18/)	6.7-6/h	3	AVR									8	
203	pneumatische Armatur ohne Vorsteuerarmatur einschl. Arm. mit hoher Schalthäufigkeit alle Ausfallarten	4.2-6/h	3	AVR									8	
205	pneumatische Armatur ohne Vorsteuerarmatur, normale Schalthäufigkeit - alle Ausfallarten	3.0-6/h	3	AVR	111								8	
207	Magnetventil alle Ausfallarten (Lüftungsanlagen Biblis-B zum Vergleich: öffnet/schließt nicht 2.8-6/h f=3 /18/)	1.3-6/h	3	AVR	49			4.8-8/h	4	1.5-9/h	7	GRS	8	
209	Handarmatur alle Ausfallarten (Lüftungsanlagen Biblis-B zum Vergleich: öffnet/schließt nicht 6.0-7/h f=3 /18/)	4.7-7/h	3	AVR	65								8	
211	Berstscheibe, Betriebsdruck <<70bar, T=260°C, d=50...100mm, Berstdruck > 70bar													
212	(Standby) öffnet nicht	9.8-7/h	4	GRS	73									
213	öffnet vorzeitig	9.8-7/h	4	GRS	74									
	Leckage nach außen	1.3-6/h	4	GRS	75									

Ifd Nr.	System Komponente	Einflußgrößen Ausfallart	unabhängige Ausfälle			Kopp- lungs- gruppe	Rate (Wahrsch.) für abhängige Ausfälle						Quelle	Reparaturzeit	
			Rate (Wahrsch.) Median	f95	Quelle		2v2 Median	f95	2v3, 2v4 Median	f95	3v3, 4v4 Median	f95		MTTR (h)	Quelle
	Speisewasserkreis	p>80bar d=100...250mm T=90...200°C													
301	Speisewasserpumpe (Dauerbetrieb) P>1000kW (Vor- und Hauptpumpe)	Betriebsversagen startet nicht nach kurzzeitiger Unterbrechung	2.7-4/h 3)	3	GRS	2	3.6-7/h	18	1.1-7/h	12	1.2-7/h	29	LER/ISF	8	
302			1.8-5/h 4)	4	GRS	1									
303	Motor-Absperrventil	öffnet/schließt nicht	1.4-5/h	3.2	GRS	31	4.1-8/h	21	1.6-8/h	23	1.5-8/h	5	LER/ISF	8	
304	Motor-Regelventil	" / " /regelt nicht	1.5-5/h	3	GRS	35	4.1-8/h	21	1.6-8/h	23	1.5-8/h	5	LER/ISF	8	
305	Motor-Mehrwegeventil	" / "	5.3-5/h	4	GRS	43	4.1-8/h	21	1.6-8/h	23	1.5-8/h	5	LER/ISF	8	
306	Schnellschlußarmatur	öffnet nicht	1.3-2/Anf	4	GRS	47	1.3-4/Anf	26	1.3-4/Anf	26	6.6-5/Anf	26	geschätzt	8	
307	(hydraulisch, 2VSV)	schließt nicht	5.0-3/Anf	4	GRS	48	4.9-5/Anf	26	4.9-5/Anf	26	2.4-5/Anf	26	geschätzt	8	
308	Magnetventil	schaltet nicht	1.8-6/h	4.6	/18/	49			4.8-8/h	4	1.5-9/h	7	GRS	8	
309	Hand-Absperrventil	öffnet/schließt nicht	6.0-7/h	3	GRS	65	1.2-8/h	5	5.4-9/h	5	1.2-8/h	5	LER/ISF	8	
310	Rückschlagklappe	öffnet nicht	1.7-7/h	3	GRS	57	3.2-9/h	45	1.3-9/h	40	1.7-8/h	5	LER/ISF	8	
311		schließt nicht	4.2-7/h	3	GRS	58	8.7-9/h	29	3.4-9/h	30	1.7-8/h	5	LER/ISF	8	
312		innere Leckage	2.0-6/h	4.7	GRS	59								8	

3) unter "Betriebsversagen" sind alle Ausfallarten mit Ausnahme von "startet nicht" zusammengefaßt,
die zu einer Nichtverfügbarkeit der Komponente bei Reparatur führen.

4) mindestens 1,0E-4 / Anforderung

lfd Nr.	System Komponente	Einflußgrößen Ausfallart	unabhängige Ausfälle		Kopp- lungs- gruppe	Rate (Wahrsch.) für abhängige Ausfälle						Reparaturzeit			
			Rate (Wahrsch.) Median	f95		Quelle	2v2 Median	f95	2v3, 2v4 Median	f95	3v3, 4v4 Median	f95	Quelle	MTTR (h)	Quelle
	Frischdampfkreis	p>80bar d=100...250mm													
401	Schnellschlußarmatur	öffnet nicht	1.3-2/Anf	4	GRS	47	1.3-4/Anf	26	1.3-4/Anf	26	6.6-5/Anf	26	geschätzt	8	
402	(hydraulisch, 2VSV)	schließt nicht	5.0-3/Anf	4	GRS	48	4.9-5/Anf	26	4.9-5/Anf	26	2.4-5/Anf	26	geschätzt	8	
403	Motor-Absperrventil	öffnet/schließt nicht	8.0-6/h	3	GRS	32	4.1-8/h	21	1.6-8/h	23	1.5-8/h	5	LER/ISF	8	
404	Motor-Regelventil	" / " /regelt nicht	1.6-4/h	3	GRS	36	4.1-8/h	21	1.6-8/h	23	1.5-8/h	5	LER/ISF	8	
405	Entlastungs-Regelventil, hydraulisch	" / " /regelt nicht	1.4-6/h	4	GRS	44	4.1-8/h	21	1.6-8/h	23	1.5-8/h	5	=MOA	8	
406	Vorsteuerarmatur hierzu		4.0-6/h	4	GRS	49			4.8-8/h	4	1.5-9/h	7	GRS	8	
407	Turbinen-SSA	schließt nicht	9.8-7/h	4	GRS	50	4.1-8/h	21	1.6-8/h	23	1.5-8/h	5	=MOA	8	
408	Turbinen-Regelventil	schließt/regelt nicht	3.0-6/h	4	GRS	52	4.1-8/h	21	1.6-8/h	23	1.5-8/h	5	=MOA	8	
409	Reduzierstation	öffnet nicht	4.0-3/Anf	4	GRS	53	4.1-8/h	21	1.6-8/h	23	1.5-8/h	5	=MOA	8	
410	(schnellöffnend)	schließt nicht	4.0-3/Anf	4	GRS	54									
411		regelt nicht	3.0-6/h	4	GRS	55									
412	Hand-Absperrventil	öffnet/schließt nicht	6.0-7/h	3	GRS	65	1.2-8/h	5	5.4-9/h	5	1.2-8/h	5	LER/ISF	8	
413	gesteuerte	öffnet nicht, schließt nicht	3.2-5/h 5)	3	GRS	60	4.1-8/h	21	1.6-8/h	23	1.5-8/h	5	=MOA	8	
414	Rückschlagklappe	innere Leckage	1.1-5/h	10	GRS	62	8.4-9/h	30	3.4-9/h	30	1.7-8/h	5	=RSA	8	
415	Sicherheitsventil	öffnet nicht	4.6-3/Anf	4	GRS	67									
416	mit >1 Vorsteuerventil	schließt nicht	2.3-2/Anf	4	GRS	68									
417		öffnet vorzeitig (bis -10%)	1.1-5/h	3	GRS	69									
418		öffnet vorzeitig (bis -50%)	5.5-6/h	3	GRS	69									
419	Druckmessung mit	Kenndatendrift	1.6-5/h	4.7	GRS	161									
420	Differenzdruckgeber	Totalausfall	1.5-5/h	3	GRS	162									
421	(Dauerbetrieb)	hängt	3.0-7/h	3	/3/	163			7.0-8/h	4			/3/, F2, S.104		

5) gilt nur für Öffnen und Schließen mit Antrieb, nicht für Eigenmediumbetätigung.

Ifd Nr.	System Komponente	Einflußgrößen Ausfallart	unabhängige Ausfälle			Kopp- lungs- gruppe	Rate (Wahrsch.) für abhängige Ausfälle						Reparaturzeit	
			Rate (Wahrsch.) Median	f95	Quelle		2v2 Median	f95	2v3, 2v4 Median	f95	3v3, 4v4 Median	f95	Quelle	MTTR (h)
501 502	Kondensatkreis	p= 10... 40bar T=21...90°C d=100...250mm												
	Kondensatpumpe (Dauerbetrieb), P≤1000kW	Betriebsversagen	9.8-5/h 3)	4	GRS	4	3.2-7/h	20	1.1-7/h	12	1.2-7/h	29	LER/ISF	8
	startet nicht nach kurzzeitiger Unterbrechung		7.0-6/h 4)	4	GRS	3								
503	Motor-Regelventil	regelt nicht	4.2-5/h	3	GRS	37	4.1-8/h	21	1.6-8/h	23	1.5-8/h	5	LER/ISF	8
504 505	Hauptkühlwasserkreis	p= 10... 40bar T=21°C												
	Hauptkühlwasserpumpe (Dauerbetrieb) P≤1000kW	Betriebsversagen	5.6-5/h 3)	3	GRS	6	3.2-7/h	20	1.1-7/h	12	1.2-7/h	29	LER/ISF	8
	startet nicht nach kurzzeitiger Unterbrechung		4.5-6/h 4)	3	GRS	5								
506 507	Betriebs-Zwischenkühlwasserkreis	T=90...200°C p=10... 40bar d>250mm												
	Umwälzpumpe (Dauerbetrieb) P=50...1000kW	Betriebsversagen	1.3-4/h 3)	3	GRS	8	3.2-7/h	20	1.1-7/h	12	1.2-7/h	29	LER/ISF	8
	startet nicht nach kurzzeitiger Unterbrechung		6.0-6/h 4)	4	GRS	7								
508	Motor-Mehrwegeventil	öffnet/schließt nicht	5.3-5/h	4	GRS	43	4.1-8/h	21	1.6-8/h	23	1.5-8/h	5	=MOA	8
509 510	Nebenkühlwasserkreis	p< 4bar T=21... 90°C d>250mm												
	Umwälzpumpe (Dauerbetrieb) P = 50...1000kW	Betriebsversagen	1.6-4/h 3)	3	GRS	10	3.2-7/h	20	1.1-7/h	12	1.2-7/h	29	LER/ISF	8
	Startversagen		9.2-6/h	3.9	GRS	9	2.7-8/h	32	2.2-9/h	40	1.4-8/h	40	LER/ISF	
511 512	Ventilator Naßkühlturm (Dauerbetrieb) (Standby)	P < 100kW fördert nicht startet nicht	4.8-5/h 2.4-5/h	3 6	GRS GRS	22 21	3.2-7/h 7.0-8/h	20 27	1.1-7/h 7.0-9/h	12 42	1.2-7/h 4.6-8/h	29 30	LER/ISF LER/ISF	8 8

3) unter "Betriebsversagen" sind alle Ausfallarten mit Ausnahme von "startet nicht" zusammengefaßt, die zu einer Nichtverfügbarkeit der Komponente bei Reparatur führen.

4) mindestens 1,0E-4 / Anforderung

lfd. Nr.	System Komponente	Einflußgrößen Ausfallart	unabhängige Ausfälle		Kopp- lungs- gruppe	Rate (Wahrsch.) für abhängige Ausfälle								Reparaturzeit	
			Rate (Wahrsch.) Median	Quelle f95		2v2 Median	f95	2v3, 2v4 Median	f95	3v3, 4v4 Median	f95	Quelle	MTTR (h)	Quelle	
	DE-Notbespeisung (Standby)	p=80bar d=50...100mm T=90...200°C													
601	Kondensatkreis: Motor-Absperrventil	öffnet/schließt nicht	3.0-6/h	3.5	GRS	33	4.1-8/h	21	1.6-8/h	23	1.5-8/h	5	LER/ISF	8	/3/,F3 " "
602	Notspeisepumpe	Startversagen	2.5-5/h	3	GRS	11	7.0-8/h	27	7.0-9/h	42	4.6-8/h	30	LER/ISF	8	
603	P=1000kW	Betriebsversagen	8.8-4/h 2)	3	GRS	12								8	
604	Freilauf-Rückschlag-	Hauptweg öffnet/schließt n.	4.2-7/h	3	GRS	63	3.2-9/h	45	1.3-9/h	40	1.7-8/h	5	=RSA	8	
605	ventil	Bypass öffnet nicht, obwohl Hauptweg zu	1.7-7/h	3	GRS	64	6.9-9/h	31	3.1-9/h	36	1.5-8/h	5	MOA o.An	8	
606	Notspw.-zirkulationsleitung: Motor-Absperrventil	öffnet/schließt nicht	3.0-6/h	3.5	GRS	33	4.1-8/h	21	1.6-8/h	23	1.5-8/h	5	LER/ISF	8	
607	Notspeisewasser:														
609	Schnellschlußbarmatur, hydraulisch	öffnet/schließt n.	1.4-6/h	4	GRS	44	4.1-8/h	21	1.6-8/h	23	1.5-8/h	5	LER/ISF	8	
	Vorsteuerarmatur hierzu	schaltet nicht	4.0-6/h	4	GRS	49			4.8-8/h	4	1.5-9/h	7	GRS	8	
611	Rückschlagarmatur	öffnet nicht	1.5-7/h	5	GRS	57	3.2-9/h	45	1.3-9/h	40	1.7-8/h	5	LER/ISF	8	
612		schließt nicht	4.2-7/h	3	GRS	58	8.7-9/h	29	3.4-9/h	30	1.7-8/h	5	LER/ISF	8	
613	Motor-Regelventil	öffnet/schließt/regelt nicht	3.3-5/h	4	GRS	38	4.1-8/h	21	1.6-8/h	23	1.5-8/h	5	LER/ISF	8	
615	bei jährl. Test Faktor 3 geringer														
617	Not-Frischdampf:														
619	Motor-Absperrventil	öffnet/schließt nicht	8.0-6/h	3	HauptFD	32	4.1-8/h	21	1.6-8/h	23	1.5-8/h	5	LER/ISF	8	
	"	öffnet ni. nach Schließen: 30%	2.4-6/h	3	ISF	32	1.2-8/h	21	4.9-9/h	23	4.5-9/h	5	ISF	8	
621	Abblaseregelventil (Mot)	öffnet/schließt/regelt nicht	1.0-5/h	4.7	GRS	39	4.1-8/h	21	1.6-8/h	23	1.5-8/h	5	LER/ISF	8	
623	Notspeisewasser-Einspritzung zur FD-Temp-Regelung:														
625	Motor-Regelventil	öffnet/regelt nicht	3.3-5/h	4	GRS	38	4.1-8/h	21	1.6-8/h	23	1.5-8/h	5	LER/ISF	8	
	bei jährl. Test Faktor 3 geringer		1.1-5/h	4	GRS	38	4.1-8/h	21	1.6-8/h	23	1.5-8/h	5	LER/ISF	8	
627	Anfahrrentspanner-Ablauf (p=20bar, T=70°C, NW 140):														
629	Motor-Absperrventil	öffnet nicht	3.0-6/h	3.5	GRS	33	4.1-8/h	21	1.6-8/h	23	1.5-8/h	5	LER/ISF	8	
	bei jährl. Test Faktor 3 geringer		9.7-7/h	3.5	GRS	33	4.1-8/h	21	1.6-8/h	23	1.5-8/h	5	LER/ISF	8	
631	Motor-Regelventil	öffnet/regelt nicht	3.3-5/h	4	GRS	38	4.1-8/h	21	1.6-8/h	23	1.5-8/h	5	LER/ISF	8	
633	bei jährl. Test Faktor 3 geringer		1.1-5/h	4	GRS	38	4.1-8/h	21	1.6-8/h	23	1.5-8/h	5	LER/ISF	8	

2) Ausfallrate für die Ausfallart "fördert nicht" (Komponentenausfall unmittelbar)

Ifd Nr.	System Komponente	Einflußgrößen Ausfallart	unabhängige Ausfälle			Kopp- lungs- gruppe	Rate (Wahrsch.) für abhängige Ausfälle								Reparaturzeit	
			Rate (Wahrsch.) Median	f95	Quelle		2v2 Median	f95	2v3, 2v4 Median	f95	3v3, 4v4 Median	f95	Quelle	MTTR (h)	Quelle	
	NWA-Zwischenkühlwasserkreis (Standby)	T=90...200°C d=50...100mm p=10... 40bar														
701	Umwälzpumpe	Startversagen	1.2-5/h	3	GRS	13	7.0-8/h	27	7.0-9/h	42	4.6-8/h	30	LER/ISF	8		
702	P=50...1000kW	Betriebsversagen	1.3-4/h 3)	3	GRS	14								8		
703	Motor-Absperrventil	öffnet/schließt nicht	3.0-6/h	3.5	GRS	33	4.1-8/h	21	1.6-8/h	23	1.5-8/h	5	LER/ISF	8		
705	Rückschlagklappe	öffnet nicht	1.7-7/h	3	GRS	57	3.2-9/h	45	1.3-9/h	40	1.7-8/h	5	LER/ISF	8		
706		schließt nicht	4.2-7/h	3	GRS	58								8		
707		innere Leckage	2.0-6/h	3	GRS	59										
708		schließt nicht, innere Leckage				58	8.7-9/h	29	3.4-9/h	30	1.7-8/h	5	LER/ISF	8		

3) unter "Betriebsversagen" sind alle Ausfallarten mit Ausnahme von "startet nicht" zusammengefaßt, die zu einer Nichtverfügbarkeit der Komponente bei Reparatur führen.

lfd Nr.	System Komponente	Einflußgrößen Ausfallart	unabhängige Ausfälle			Kopp- lungs- gruppe	Rate (Wahrsch.) für abhängige Ausfälle						Reparaturzeit	
			Rate (Wahrsch.) Median	f95	Quelle		2v2 Median	f95	2v3, 2v4 Median	f95	3v3, 4v4 Median	f95	Quelle	MTTR (h)
	Lüftungsanlagen													
801	Ventilator, Zu/Abluft, (Dauerbetrieb)	Volumenstrom > 50000m3/h fördert nicht	6.2-5/h	3	GRS	24							8	
803	Ventilator, Umluft, (Dauerbetrieb)	Volumenstrom < 50000m3/h fördert nicht	3.5-5/h	3	GRS	26							8	
805	Motor-Absperrklappe	öffnet/schließt nicht	3.5-5/h	3	GRS	77								
807	SS- Absperrklappe	öffnet/schließt nicht	3.7-5/h	3	GRS	79								
809	Motor-Regelklappe	öffnet/schließt/regelt nicht	9.6-5/h	3	GRS	81								
811	Rückschlagklappe	schließt nicht	3.0-7/h	4.7	GRS	84								
813		innere Leckage	3.7-6/h	3	GRS	85								
815	Druckstoßventil (schließt bei Druckwelle), NW > 250mm	schließt nicht	3.0-6/h	4	GRS	88								
816		öffnet nicht wieder	9.8-3/Anf	4	GRS	87								
817	Druckstoßklappe (öffnet bei Druckwelle), NW 1000...2000mm	öffnet nicht	9.8-7/h	4	GRS	89								
818		schließt nicht wieder	9.8-3/Anf	4	GRS	90								
819	Feinfilter	Verstopfung	3.1-5/h 6)	3	GRS	95								
820		Leckage nach außen	3.2-6/h	3	GRS	96								
821	Schwebstofffilter	Verstopfung	3.1-5/h 6)	3	GRS	95								
822		Leckage nach außen	3.2-6/h	3	GRS	96								
823	Aktivkohlefilter	Verstopfung	7)		GRS									
824		Leckage nach außen	3.2-6/h	3	GRS	96								
825	Abscheidearmatur	öffnet/schließt nicht	8)		GRS									
826		scheidet nicht ab	9.6-6/h	3	GRS	93								
827	Sicherheitsklappe (Brandschutz)	öffnet/schließt nicht	3.7-5/h	3	GRS	91								

6) Ausfallrate für Überschreitung des zulässigen Differenzdrucks

7) Ausfallart "verstopft" für Aktivkohlefilter nicht zutreffend, eher: "scheidet nicht ab".
Ohne Kenntnis der Beladungsbedingungen keine Angabe möglich.

8) "öffnet/schließt nicht" gleichbedeutend mit "scheidet nicht ab"

lfd Nr.	System Komponente	Einflußgrößen Ausfallart	unabhängige Ausfälle			Rate (Wahrsch.) für abhängige Ausfälle								Reparaturzeit	
			Rate (Wahrsch.) Median	f95	Quelle	Kopp- lungs- gruppe	2v2 Median	f95	2v3, 2v4 Median	f95	3v3, 4v4 Median	f95	Quelle	MTTR (h)	Quelle
		Verschiedenes													
901		Oberflächenwärmetauscher (flüssig/flüssig)													
902		verstopft	1.1-6/h	3	GRS	97									
903		Betriebsausfall	1.5-5/h	3	GRS	98									
903		Leckage nach außen	4.8-6/h	3	GRS	99									
905	Kolbenverdichter	Startversagen	1.7-5/h	3	GRS	27									
906		fördert nicht	3.6-4/h 9)	3	GRS	28									
		Sicherheitsventil, federbelastet													
907		öffnet nicht	1.0-7/h	4.7	GRS	71									
908		schließt nicht	3.0-7/h	3	GRS	70									
909		öffnet ohne Anforderung	4.0-7/h	3	GRS	72									

9) Die Ausfallraten bewegen sich je nach Einsatzart im Bereich 80...25000E-6/h.

Ifd Nr.	System Komponente	Einflußgrößen Ausfallart	unabhängige Ausfälle		Kopp- lungs- gruppe	Rate (Wahrsch.) für abhängige Ausfälle						Quelle	Reparaturzeit	
			Rate (Wahrsch.)			2v2 Median	f95	2v3, 2v4 Median	f95	3v3, 4v4 Median	f95		MTTR (h)	Quelle
			Median	f95										
Elektrische Energieversorgung														
1001	Generatorschalter													
	27 kV 10 kA	öffnet nicht	2.0-6/h	4	GRS	321								8
1002	10 kV 5 kA	öffnet nicht	2.0-6/h	4	GRS	321								8
Leistungsschalter														
1003	10 kV 500 A (Schieneneinspeisg)	ö.n./s.n./s.n.wieder	6.0-7/h	4	GRS	323	2.3-8/h	37	6.0-9/h	44	1.3-8/h	44	LER/ISF	8
1005	10 kV 50 A (Großverbr.-Abzwg.)	ö.n./s.n./s.n.wieder	7.7-6/h	4	GRS	325	2.3-8/h	37	6.0-9/h	44	1.3-8/h	44	LER/ISF	8
1007	(bei jährl. Test um Faktor 3 geringer)		2.6-6/h	4	GRS	325	2.3-8/h	37	6.0-9/h	44	1.3-8/h	44	LER/ISF	8
1009	0,4 kV 3 kA (Schieneneinspeisg)	ö.n./s.n./s.n.wieder	6.0-7/h	4	GRS	327	2.3-8/h	37	6.0-9/h	44	1.3-8/h	44	LER/ISF	8
1011	0,4 kV 200A (Schieneneinspeisg)	ö.n./s.n./s.n.wieder	6.0-7/h	4	GRS	327	2.3-8/h	37	6.0-9/h	44	1.3-8/h	44	LER/ISF	8
Schütz														
1013	0,4 kV 40- 60 A	Verlust der Hauptfunktion	9.0-7/h	10	GRS	329			1.0-8/h	26	5.1-9/h	26	geschätzt	8
1015	0,4 kV 300-460 A	Verlust der Hauptfunktion	1.0-6/h	10	GRS	329			1.0-8/h	26	5.1-9/h	26	1%/ 0,5%	8
Strombegrenzungs-drossel														
1017	10 kV 1600 A	Kurzschluß/Schutzabschaltung	<9.8-7/h	4	GRS	331								8
1019	3 kV 1600 A	Kurzschluß/Schutzabschaltung	<9.8-7/h	4	GRS	333								8
Transformator														
1021	380/27 kV	660 MVA (Block) KS/Schutzab	2.5-5/h	4	GRS	335								8
1023	27/10/10 kV	50/30/30 MVA (Eigenbedarf) KS/Schutzab	1.1-5/h	4	GRS	337								8
1025	110/10/10 kV	50/30/30 MVA (Anfahr) KS/Schutzab	1.1-5/h	4	GRS	337								8
1027	10/0,4 kV	2 MVA (Eigenbedarf) KS/Schutzab	3.3-6/h	4	GRS	339								8
1029	10/0,7/0,4 kV	2/1,2/1,2 MVA (Eigenbedarf) KS/Schutzab	3.3-6/h	4	GRS	339								8
Frequenzumformer														
1031	10 kV / 2 kV	10 MVA (He-Gebläse) Totalausfall	9.8-5/h	4	GRS	341								8
1032		unterbricht Energielieferung nicht trotz Aus-Befehl	3.0-6/h	4	GRS	471								8
1033		220 V/220 V 0,1 MVA (gesch. Schiene) Totalausfall	7.0-5/h	4	GRS	343								8
Notstromdiesel 10 kV 1,5...5 MVA														
1035		Startversagen, alle Ausfälle	2.2-3/Anf	4.4	GRS	345	1.5-6/h	15	4.8-7/h	24	1.1-7/h	26	LER-ISF	2.1
1035K		Startversagen, kurze Ausfälle (90%)	2.0-3/Anf	4.4		345	1.3-6/h	15	4.3-7/h	24	9.6-8/h	26	LER-ISF	1.6
1035L		Startversagen, lange Ausfälle (10%)	2.2-4/Anf	4.4		345	1.5-7/h	15	4.8-8/h	24	1.1-8/h	26	LER-ISF	65.
1036		Betriebsversagen, alle Ausfälle	4.0-3/h	3	GRS	346								41.
1036K		Betriebsversagen, kurze Ausfälle (70%)	2.6-3/h	3		346								4.5
1036L		Betriebsversagen, lange Ausfälle (30%)	1.4-3/h	3		346								125.
1037		Unverfügbarkeit durch Wartung	1.4-3/Anf	10	/13/ GRS	0								
1039	0,7 kV 0,27 MVA		10)			347								
Batterie, ungenügende Spannungs- oder Stromabgabe bei Anforderung														
1041			9.6-4/Anf	3	/21/ GRS	349					4.5-5/Anf	10	*)	

10) keine Angabe möglich

*) Wert gegenüber /21/ um Faktor 10 (geschätzt) verringert

lfd Nr.	System Komponente	Einflußgrößen Ausfallart	unabhängige Ausfälle			Kopp- lungs- gruppe	Rate (Wahrsch.) für abhängige Ausfälle						Reparaturzeit	
			Rate (Wahrsch.) Median	f95	Quelle		eine Median	Redundanzgruppen f95	mehrere Median	f95	Quelle	MTTR (h)	Quelle	
	Leittechnik													
1101	Druckmessung mit Differenzdruckgeber (Dauerbetrieb)	Kennatendrift	1.6-5/h	4.7	GRS	461								
1102		Totalausfall	1.5-5/h	3	GRS	462								
1103		hängt	3.0-7/h	3	/3/	463	7.0-8/h	4	7.0-9/h	4	/3/, F2, S.104			
1105	Temperaturmessung	Kennatendrift	2.5-6/h	1.2	/18/	465								
1106		Totalausfall	4.8-6/h	1.2	/18/	466	7.0-8/h	4	7.0-9/h	4	/3/			
1107	Grenzwertgeber XS312	fälschl. Pulsausfall	4.2-6/h	3	BBC	467								
1108		gibt fälschl. Puls ab	2.0-8/h	3	/3/	468								
1109		Justierungsfehler (starke Kopplung)	8.0-3/Anf	3	/3/	0	8.0-4/Anf	3	1.3-4/Anf	3	/3/			
1110		Justierungsfehler (mittlere Kopplung)	8.0-3/Anf	3	/3/	0			2.3-5/Anf	3.5	/3/			
1111	Inverter XS316+XS304 fälschl. Pulsausfall (=keine Verriegelung)		5.0-7/h	3	BBC	469								
1113	Betätigungsbaustein XS313 schaltet nicht		8.0-7/h	3	HRB	471								
1115	Relais allgemein schaltet nicht		5.0-7/h	2.4	/3/	473								
1117	Abschlußrelais für Reaktorschnellabschaltung hängen (CCF)					475				1.2-6/Anf	4.5	/3/		

Ifd Nr.	System	Einflußgrößen	unabhängige Ausfälle		Kopp- lungs- gruppe	Rate (Wahrsch.) für abhängige Ausfälle								Reparaturzeit	
	Komponente	Ausfallart	Rate (Wahrsch.) Median	f95		Quelle	2v2 Median	f95	2v3, 2v4 Median	f95	3v3, 4v4 Median	f95	Quelle	MTTR (h)	Quelle
1201	Auslösende Ereignisse														
	Netzanschluß 110 kV Unterbrechung (nach VDEW Störungs- und Schadensstatistik 1968: 1km Freileitung + 1 Schaltfeld)		1.4-6/h	10	VDEW	351									
	Netzausfall am Kraftwerksstandort, alle Ausfälle		9.6-6/h	3	/3/	0							3.7		
	Netzausfall am Kraftwerksst.ort, kurze Ausfälle (80%)		7.7-6/h	3		0							0.3	AIPA	
	Netzausfall am Kraftwerksst.ort, lange Ausfälle (20%)		1.9-6/h	3		0							17.4	AIPA	
1203	Turbinenschnellabschaltung bei jährl. Test des		1.1-4/h	3		0									
1204	Reaktorschnellabschaltung Hauptkühlsystems		1.1-4/h	3		0									
1205	Abfangen auf elektrischen Eigenbedarf versagt		8.0-2/Anf	3	/3/	353									

Tabelle der Zuverlässigkeitskenngrößen für HTR -- Erwartungswerte -- Stand: 3. 8. 1989

lfd Nr.	System Komponente	Einflußgrößen Ausfallart	unabhängige Ausfälle			Kopp- lungs- gruppe	Rate (Wahrsch.) für abhängige Ausfälle						Reparaturzeit		
			Rate (Wahrsch.) Erwart.	f95	Quelle		2v2 Erwart.	f95	2v3, 2v4 Erwart.	f95	3v3, 4v4 Erwart.	f95	Quelle	MTTR (h)	Quelle
	Primärkreislauf														
101	Helium-Hauptgebläse	Betriebsversagen	1.0-5/h	3	12)	101									
102	startet nicht nach kurzzeitiger Unterbrechung		2.9-3/Anf	4	GRS	101	3.3-4/Anf	32	3.5-5/Anf	40	2.2-4/Anf	40	11)	280 280	CEGB
103	Gebälse-Absperrorgan, motorbetätigt	öffnet/schließt nicht	2.7-5/h	10	1)	105	2.3-7/h	21	1.0-7/h	23	2.4-8/h	5	=MOA		
104	"	öffnet nicht nach Schließen: 30%	8.1-6/h	10	=MOA	105	6.9-8/h	21	3.0-8/h	23	7.2-9/h	5	=MOA		
105	Gebälse-Absperrorgan, hydraulisch	schließt nicht	1.4-5/h	4	GRS	107	2.3-7/h	21	1.0-7/h	23	2.4-8/h	5	=MOA		
106	"	öffnet nicht nach Schließen	2.7-3/Anf	10	GRS	108	6.9-8/h	21	3.0-8/h	23	7.2-9/h	5	=MOA		
109	" , Vorsteuerarmatur hierzu	schaltet nicht	1.0-5/h	4	GRS	49			6.8-8/h	4	3.0-9/h	7	GRS		
	Hilfskühl- (NWA-) kreislauf primär														
111	Helium-Hilfsgebläse	Startversagen	3.1-5/h	3	=602	11	5.2-7/h	27	9.2-8/h	42	3.9-7/h	30	=602		
112		Betriebsversagen	1.1-3/h 2)	3	=603	12									
113	Hilfsgebläse-Absperrorgan motorbetätigt	öffnet / schließt nicht	2.7-5/h	10	=103	105	2.3-7/h	21	1.0-7/h	23	2.4-8/h	5	=MOA		
115	hydraulisch	öffnet nicht	2.7-5/h	10	=103	105	2.3-7/h	21	1.0-7/h	23	2.4-8/h	5	=MOA		
117	Hilfsgebläse-Rückschlagklappe eigenmediumbetätigt	öffnet nicht	2.4-7/h	5	=610	57	4.7-8/h	45	1.6-8/h	40	2.7-8/h	5	=RSA		

1) Verteilung über verschiedene Motorarmaturen

2) Ausfallrate für die Ausfallart "fördert nicht" (Komponentenausfall unmittelbar)

11) Startversagen Running / Alternating Pumps, Erkennungszeit 1 Jahr,
reduziert auf 30% für Wiederstart mit reduzierter Leistung (THTR-NWA) nach kurzzeitigem Stillstand

12) Die angegebene Verteilung berücksichtigt Erfahrungen aus CEGB-, AVR- und THTR-Betrieb

lfd Nr.	System Komponente	Einflußgrößen Ausfallart	unabhängige Ausfälle			Kopp- lungs- gruppe	Rate (Wahrsch.) für abhängige Ausfälle						Reparaturzeit	
			Rate (Wahrsch.) Erwart.	f95	Quelle		2v2 Erwart.	f95	2v3, 2v4 Erwart.	f95	3v3, 4v4 Erwart.	f95	Quelle	MTTR (h)
	Helium-Nebenzkreisläufe													
201	pneumatische Armatur mit Vorsteuerarmatur einschl. Arm. mit hoher Schalzhäufigkeit alle Ausfallarten (Lüftungsanlagen Biblis-B zum Vergleich: öffnet/schließt nicht 9.0-6/h f=3 /18/)		8.4-6/h	3	AVR								8	
203	pneumatische Armatur ohne Vorsteuerarmatur einschl. Arm. mit hoher Schalzhäufigkeit alle Ausfallarten		5.2-6/h	3	AVR								8	
205	pneumatische Armatur ohne Vorsteuerarmatur, normale Schalzhäufigkeit - alle Ausfallarten		3.7-6/h	3	AVR	111							8	
207	Magnetventil alle Ausfallarten (Lüftungsanlagen Biblis-B zum Vergleich: öffnet/schließt nicht 2.8-6/h f=3 /18/)		1.6-6/h	3	AVR	49		6.8-8/h	4	3.0-9/h	7	GRS	8	
209	Handarmatur alle Ausfallarten (Lüftungsanlagen Biblis-B zum Vergleich: öffnet/schließt nicht 6.0-7/h f=3 /18/)		5.9-7/h	3	AVR	65							8	
211	Berstscheibe, Betriebsdruck <<70bar, T=260°C, d=50...100mm, Berstdruck > 70bar (Standby) öffnet nicht		1.4-6/h	4	GRS	73								
212	öffnet vorzeitig		1.4-6/h	4	GRS	74								
213	Leckage nach außen		1.9-6/h	4	GRS	75								

lfd Nr.	System Komponente	Einflußgrößen Ausfallart	unabhängige Ausfälle			Kopp- lungs- gruppe	Rate (Wahrsch.) für abhängige Ausfälle						Quelle	Reparaturzeit	
			Rate (Wahrsch.) Erwart.	f95	Quelle		2v2 Erwart.	f95	2v3, 2v4 Erwart.	f95	3v3, 4v4 Erwart.	f95		MTTR (h)	Quelle
	Speisewasserkreis	p>80bar d=100...250mm T=90...200°C													
301	Speisewasserpumpe (Dauerbetrieb) P>1000kW (Vor- und Hauptpumpe)	Betriebsversagen startet nicht nach kurzzeitiger Unterbrechung	3.4-4/h 3)	3	GRS	2	1.7-6/h	18	3.3-7/h	12	9.8-7/h	29	LER/ISF	8	
302			2.6-5/h 4)	4	GRS	1									
303	Motor-Absperrventil	öffnet/schließt nicht	1.8-5/h	3.2	GRS	31	2.3-7/h	21	1.0-7/h	23	2.4-8/h	5	LER/ISF	8	
304	Motor-Regelventil	" / " /regelt nicht	1.9-5/h	3	GRS	35	2.3-7/h	21	1.0-7/h	23	2.4-8/h	5	LER/ISF	8	
305	Motor-Mehrwegeventil	" / "	7.6-5/h	4	GRS	43	2.3-7/h	21	1.0-7/h	23	2.4-8/h	5	LER/ISF	8	
306	Schnellschlußarmatur (hydraulisch, 2VSV)	öffnet nicht	1.9-2/Anf	4	GRS	47	9.2-4/Anf	26	9.2-4/Anf	26	4.7-4/Anf	26	geschätzt	8	
307		schließt nicht	7.1-3/Anf	4	GRS	48	3.5-4/Anf	26	3.5-4/Anf	26	1.7-4/Anf	26	geschätzt	8	
308	Magnetventil	schaltet nicht	2.8-6/h	4.6	/18/	49			6.8-8/h	4	3.0-9/h	7	GRS	8	
309	Hand-Absperrventil	öffnet/schließt nicht	7.5-7/h	3	GRS	65	2.0-8/h	5	8.7-9/h	5	2.0-8/h	5	LER/ISF	8	
310	Rückschlagklappe	öffnet nicht	2.1-7/h	3	GRS	57	4.7-8/h	45	1.6-8/h	40	2.8-8/h	5	LER/ISF	8	
311		schließt nicht	5.2-7/h	3	GRS	58	7.1-8/h	29	2.9-8/h	30	2.8-8/h	5	LER/ISF	8	
312		innere Leckage	3.1-6/h	4.7	GRS	59								8	

3) unter "Betriebsversagen" sind alle Ausfallarten mit Ausnahme von "startet nicht" zusammengefaßt,
die zu einer Nichtverfügbarkeit der Komponente bei Reparatur führen.

4) mindestens 1,0E-4 / Anforderung

Ifd Nr.	System Komponente	Einflußgrößen Ausfallart	unabhängige Ausfälle			Kopp- lungs- gruppe	Rate (Wahrsch.) für abhängige Ausfälle						Reparaturzeit		
			Rate (Wahrsch.) Erwart.	f95	Quelle		2v2 Erwart.	f95	2v3, 2v4 Erwart.	f95	3v3, 4v4 Erwart.	f95	Quelle	MTTR (h)	Quelle
	Frischdampfkreis	p>80bar d=100...250mm													
401	Schnellschlußarmatur (hydraulisch, 2VSV)	öffnet nicht	1.9-2/Anf	4	GRS	47	9.2-4/Anf	26	9.2-4/Anf	26	4.7-4/Anf	26	geschätzt	8	
402		schließt nicht	7.1-3/Anf	4	GRS	48	3.5-4/Anf	26	3.5-4/Anf	26	1.7-4/Anf	26	geschätzt	8	
403	Motor-Absperrventil	öffnet/schließt nicht	1.0-5/h	3	GRS	32	2.3-7/h	21	1.0-7/h	23	2.4-8/h	5	LER/ISF	8	
404	Motor-Regelventil	" / " /regelt nicht	2.0-4/h	3	GRS	36	2.3-7/h	21	1.0-7/h	23	2.4-8/h	5	LER/ISF	8	
405	Entlastungs-Regelventil, hydraulisch Vorsteuerarmatur hierzu	" / " /regelt nicht	2.0-6/h	4	GRS	44	2.3-7/h	21	1.0-7/h	23	2.4-8/h	5	=MOA	8	
406			5.7-6/h	4	GRS	49			6.8-8/h	4	3.0-9/h	7	GRS	8	
407	Turbinen-SSA	schließt nicht	1.4-6/h	4	GRS	50	2.3-7/h	21	1.0-7/h	23	2.4-8/h	5	=MOA	8	
408	Turbinen-Regelventil	schließt/regelt nicht	4.3-6/h	4	GRS	52	2.3-7/h	21	1.0-7/h	23	2.4-8/h	5	=MOA	8	
409	Reduzierstation (schnellöffnend)	öffnet nicht	5.7-3/Anf	4	GRS	53	2.3-7/h	21	1.0-7/h	23	2.4-8/h	5	=MOA	8	
410		schließt nicht	5.7-3/Anf	4	GRS	54									
411		regelt nicht	4.3-6/h	4	GRS	55									
412	Hand-Absperrventil	öffnet/schließt nicht	7.5-7/h	3	GRS	65	2.0-8/h	5	8.7-9/h	5	2.0-8/h	5	LER/ISF	8	
413	gesteuerte Rückschlagklappe	öffnet nicht, schließt nicht	4.0-5/h 5)	3	GRS	60	2.3-7/h	21	1.0-7/h	23	2.4-8/h	5	=MOA	8	
414		innere Leckage	2.9-5/h	10	GRS	62	7.1-8/h	30	2.9-8/h	30	2.8-8/h	5	=RSA	8	
415	Sicherheitsventil mit >1 Vorsteuerventil	öffnet nicht	6.6-3/Anf	4	GRS	67									
416		schließt nicht	3.3-2/Anf	4	GRS	68									
417		öffnet vorzeitig (bis -10%)	1.4-5/h	3	GRS	69									
418		öffnet vorzeitig (bis -50%)	6.9-6/h	3	GRS	69									
419	Druckmessung mit Differenzdruckgeber (Dauerbetrieb)	Kenndatendrift	2.5-5/h	4.7	GRS	161									
420		Totalausfall	1.9-5/h	3	GRS	162							/3/, F2, S.104		
421		hängt	3.7-7/h	3	/3/	163			1.0-7/h	4					

5) gilt nur für Öffnen und Schließen mit Antrieb, nicht für Eigenmediumbetätigung.

lfd Nr.	System Komponente	Einflußgrößen Ausfallart	unabhängige Ausfälle			Kopp- lungs- gruppe	Rate (Wahrsch.) für abhängige Ausfälle						Reparaturzeit	
			Rate (Wahrsch.) Erwart.	f95	Quelle		2v2 Erwart.	f95	2v3, 2v4 Erwart.	f95	3v3, 4v4 Erwart.	f95	Quelle	MTTR (h)
501 502	Kondensatkreis	p= 10... 40bar T=21...90°C d=100...250mm												
	Kondensatpumpe (Dauerbetrieb), P≤1000kW	Betriebsversagen	1.4-4/h 3)	4	GRS	4	1.7-6/h	20	3.3-7/h	12	9.8-7/h	29	LER/ISF	8
	startet nicht nach kurzzeitiger Unterbrechung		1.0-5/h 4)	4	GRS	3								
503	Motor-Regelventil	regelt nicht	5.2-5/h	3	GRS	37	2.3-7/h	21	1.0-7/h	23	2.4-8/h	5	LER/ISF	8
504 505	Hauptkühlwasserkreis	p= 10... 40bar T=21°C												
	Hauptkühlwasserpumpe (Dauerbetrieb) P≤1000kW	Betriebsversagen	7.0-5/h 3)	3	GRS	6	1.7-6/h	20	3.3-7/h	12	9.8-7/h	29	LER/ISF	8
	startet nicht nach kurzzeitiger Unterbrechung		5.6-6/h 4)	3	GRS	5								
506 507	Betriebs-Zwischenkühlwasserkreis	T=90...200°C p=10... 40bar d>250mm												
	Umwälzpumpe (Dauerbetrieb) P=50...1000kW	Betriebsversagen	1.6-4/h 3)	3	GRS	8	1.7-6/h	20	3.3-7/h	12	9.8-7/h	29	LER/ISF	8
	startet nicht nach kurzzeitiger Unterbrechung		8.6-6/h 4)	4	GRS	7								
508	Motor-Mehrwegeventil	öffnet/schließt nicht	7.6-5/h	4	GRS	43	2.3-7/h	21	1.0-7/h	23	2.4-8/h	5	=MOA	8
509 510	Nebenkühlwasserkreis	p< 4bar T=21... 90°C d>250mm												
	Umwälzpumpe (Dauerbetrieb) P = 50...1000kW	Betriebsversagen	2.0-4/h 3)	3	GRS	10	1.7-6/h	20	3.3-7/h	12	9.8-7/h	29	LER/ISF	8
	Startversagen		1.3-5/h	3.9	GRS	9	2.5-7/h	32	2.7-8/h	40	1.7-7/h	40	LER/ISF	
511 512	Ventilator Naßkühlturm (Dauerbetrieb) (Standby)	P < 100kW fördert nicht startet nicht	6.0-5/h 4.3-5/h	3 6	GRS GRS	22 21	1.7-6/h 5.2-7/h	20 27	3.3-7/h 9.2-8/h	12 42	9.8-7/h 3.9-7/h	29 30	LER/ISF LER/ISF	8 8

3) unter "Betriebsversagen" sind alle Ausfallarten mit Ausnahme von "startet nicht" zusammengefaßt,
die zu einer Nichtverfügbarkeit der Komponente bei Reparatur führen.

4) mindestens 1,0E-4 / Anforderung

Itd Nr.	System Komponente	Einflußgrößen Ausfallart	unabhängige Ausfälle			Kopp- lungs- gruppe	Rate (Wahrsch.) für abhängige Ausfälle						Reparaturzeit		
			Rate (Wahrsch.) Erwart.	f95	Quelle		2v2 Erwart.	f95	2v3, 2v4 Erwart.	f95	3v3, 4v4 Erwart.	f95	Quelle	MTTR (h)	Quelle
	DE-Notbespeisung (Standby)	p=80bar d=50...100mm T=90...200°C													
601	Kondensatkreis: Motor-Absperrventil	öffnet/schließt nicht	4.0-6/h	3.5	GRS	33	2.3-7/h	21	1.0-7/h	23	2.4-8/h	5	LER/ISF	8	/3/,F3 "
602	Notspeisepumpe	Startversagen	3.1-5/h	3	GRS	11	5.2-7/h	27	9.2-8/h	42	3.9-7/h	30	LER/ISF	8	
603	P=1000kW	Betriebsversagen	1.1-3/h 2)	3	GRS	12								8	
604	Freilauf-Rückschlag- ventil	Hauptweg öffnet/schließt n. Bypass öffnet nicht, obwohl Hauptweg zu	5.2-7/h 2.1-7/h	3 3	GRS GRS	63 64	4.7-8/h 6.1-8/h	45 31	1.6-8/h 3.3-8/h	40 36	2.8-8/h 2.4-8/h	5 5	=RSA MOA o.An	8 8	
606	Notspw.-zirkulationsleitung: Motor-Absperrventil	öffnet/schließt nicht	4.0-6/h	3.5	GRS	33	2.3-7/h	21	1.0-7/h	23	2.4-8/h	5	LER/ISF	8	
607	Notspeisewasser: Schnellschlußarmatur, hydraulisch	öffnet/schließt n.	2.0-6/h	4	GRS	44	2.3-7/h	21	1.0-7/h	23	2.4-8/h	5	LER/ISF	8	
609	Vorsteuerarmatur hierzu	schaltet nicht	5.7-6/h	4	GRS	49			6.8-8/h	4	3.0-9/h	7	GRS	8	
611	Rückschlagarmatur	öffnet nicht	2.4-7/h	5	GRS	57	4.7-8/h	45	1.6-8/h	40	2.8-8/h	5	LER/ISF	8	
612		schließt nicht	5.2-7/h	3	GRS	58	7.1-8/h	29	2.9-8/h	30	2.8-8/h	5	LER/ISF	8	
613	Motor-Regelventil	öffnet/schließt/regelt nicht	4.7-5/h	4	GRS	38	2.3-7/h	21	1.0-7/h	23	2.4-8/h	5	LER/ISF	8	
615	bei jährl. Test Faktor 3 geringer														
617	Not-Frischdampf: Motor-Absperrventil	öffnet/schließt nicht	1.0-5/h	3	HauptFD	32	2.3-7/h	21	1.0-7/h	23	2.4-8/h	5	LER/ISF	8	
619	"	öffnet ni. nach Schließen: 30%	3.0-6/h	3	ISF	32	6.9-8/h	21	3.0-8/h	23	7.2-9/h	5	ISF	8	
621	Abblaseregelventil (Mot)	öffnet/schließt/regelt nicht	1.6-5/h	4.7	GRS	39	2.3-7/h	21	1.0-7/h	23	2.4-8/h	5	LER/ISF	8	
623	Notspeisewasser-Einspritzung zur FD-Temp-Regelung: Motor-Regelventil	öffnet/regelt nicht	4.7-5/h	4	GRS	38	2.3-7/h	21	1.0-7/h	23	2.4-8/h	5	LER/ISF	8	
625	bei jährl. Test Faktor 3 geringer		1.6-5/h	4	GRS	38	2.3-7/h	21	1.0-7/h	23	2.4-8/h	5	LER/ISF	8	
627	Anfahrrentspanner-Ablauf (p≤20bar, T≤70°C, NW 140): Motor-Absperrventil	öffnet nicht	4.0-6/h	3.5	GRS	33	2.3-7/h	21	1.0-7/h	23	2.4-8/h	5	LER/ISF	8	
629	bei jährl. Test Faktor 3 geringer		1.3-6/h	3.5	GRS	33	2.3-7/h	21	1.0-7/h	23	2.4-8/h	5	LER/ISF	8	
631	Motor-Regelventil	öffnet/regelt nicht	4.7-5/h	4	GRS	38	2.3-7/h	21	1.0-7/h	23	2.4-8/h	5	LER/ISF	8	
633	bei jährl. Test Faktor 3 geringer		1.6-5/h	4	GRS	38	2.3-7/h	21	1.0-7/h	23	2.4-8/h	5	LER/ISF	8	

2) Ausfallrate für die Ausfallart "fördert nicht" (Komponentenausfall unmittelbar)

lfd Nr.	System Komponente	Einflußgrößen Ausfallart	unabhängige Ausfälle			Kopp- lungs- gruppe	Rate (Wahrsch.) für abhängige Ausfälle						Reparaturzeit	
			Rate (Wahrsch.) Erwart.	f95	Quelle		2v2 Erwart.	f95	2v3, 2v4 Erwart.	f95	3v3, 4v4 Erwart.	f95	Quelle	MTTR (h)
	NWA-Zwischenkühlwasserkreis (Standby)	T=90...200°C d=50...100mm p=10... 40bar												
701	Umwälzpumpe	Startversagen	1.5-5/h	3	GRS	13	5.2-7/h	27	9.2-8/h	42	3.9-7/h	30	LER/ISF	8
702	P=50...1000kW	Betriebsversagen	1.6-4/h 3)	3	GRS	14								8
703	Motor-Absperrventil	öffnet/schließt nicht	4.0-6/h	3.5	GRS	33	2.3-7/h	21	1.0-7/h	23	2.4-8/h	5	LER/ISF	8
705	Rückschlagklappe	öffnet nicht	2.1-7/h	3	GRS	57	4.7-8/h	45	1.6-8/h	40	2.8-8/h	5	LER/ISF	8
706		schließt nicht	5.2-7/h	3	GRS	58								8
707		innere Leckage	2.5-6/h	3	GRS	59								
708		schließt nicht, innere Leckage					58	7.1-8/h	29	2.9-8/h	30	2.8-8/h	5	LER/ISF

3) unter "Betriebsversagen" sind alle Ausfallarten mit Ausnahme von "startet nicht" zusammengefaßt,
die zu einer Nichtverfügbarkeit der Komponente bei Reparatur führen.

lfd Nr.	System Komponente	Einflußgrößen Ausfallart	unabhängige Ausfälle		Kopp- lungs- gruppe	Rate (Wahrsch.) für abhängige Ausfälle						Reparaturzeit		
			Rate (Wahrsch.) Erwart.	f95		Quelle	2v2 Erwart.	f95	2v3, 2v4 Erwart.	f95	3v3, 4v4 Erwart.	f95	Quelle	MTTR (h)
	Lüftungsanlagen													
801	Ventilator, Zu/Abluft, (Dauerbetrieb)	Volumenstrom > 50000m3/h fördert nicht	7.7-5/h	3	GRS	24								8
803	Ventilator, Umluft, (Dauerbetrieb)	Volumenstrom < 50000m3/h fördert nicht	4.4-5/h	3	GRS	26								8
805	Motor-Absperrklappe	öffnet/schließt nicht	4.4-5/h	3	GRS	77								
807	SS- Absperrklappe	öffnet/schließt nicht	4.6-5/h	3	GRS	79								
809	Motor-Regelklappe	öffnet/schließt/regelt nicht	1.2-4/h	3	GRS	81								
811	Rückschlagklappe	schließt nicht	4.7-7/h	4.7	GRS	84								
813		innere Leckage	4.6-6/h	3	GRS	85								
815	Druckstoßventil (schließt bei Druckwelle), NW > 250mm	schließt nicht	4.3-6/h	4	GRS	88								
816		öffnet nicht wieder	1.4-2/Anf	4	GRS	87								
817	Druckstoßklappe (öffnet bei Druckwelle), NW 1000...2000mm	öffnet nicht	1.4-6/h	4	GRS	89								
818		schließt nicht wieder	1.4-2/Anf	4	GRS	90								
819	Feinfilter	Verstopfung	3.9-5/h 6)	3	GRS	95								
820		Leckage nach außen	4.0-6/h	3	GRS	96								
821	Schwebstofffilter	Verstopfung	3.9-5/h 6)	3	GRS	95								
822		Leckage nach außen	4.0-6/h	3	GRS	96								
823	Aktivkohlefilter	Verstopfung	7)	3	GRS									
824		Leckage nach außen	4.0-6/h	3	GRS	96								
825	Abscheidearmatur	öffnet/schließt nicht	8)	3	GRS									
826		scheidet nicht ab	1.2-5/h	3	GRS	93								
827	Sicherheitsklappe (Brandschutz)	öffnet/schließt nicht	4.6-5/h	3	GRS	91								

6) Ausfallrate für Überschreitung des zulässigen Differenzdrucks

7) Ausfallart "verstopft" für Aktivkohlefilter nicht zutreffend, eher: "scheidet nicht ab".

Ohne Kenntnis der Beladungsbedingungen keine Angabe möglich.

8) "öffnet/schließt nicht" gleichbedeutend mit "scheidet nicht ab"

lfd Nr.	System Komponente	Einflußgrößen Ausfallart	unabhängige Ausfälle			Kopp- lungs- gruppe	Rate (Wahrsch.) für abhängige Ausfälle						Reparaturzeit	
			Rate (Wahrsch.) Erwart.	f95	Quelle		2v2 Erwart.	f95	2v3, 2v4 Erwart.	f95	3v3, 4v4 Erwart.	f95	Quelle	MTTR (h)
	Verschiedenes													
901	Oberflächenwärmetauscher (flüssig/flüssig)	verstopft	1.4-6/h	3	GRS	97								
902		Betriebsausfall	1.9-5/h	3	GRS	98								
903		Leckage nach außen	6.0-6/h	3	GRS	99								
905	Kolbenverdichter	Startversagen	2.1-5/h	3	GRS	27								
906		fördert nicht	4.5-4/h 9)	3	GRS	28								
907	Sicherheitsventil, federbelastet	öffnet nicht	1.6-7/h	4.7	GRS	71								
908		schließt nicht	3.7-7/h	3	GRS	70								
909		öffnet ohne Anforderung	5.0-7/h	3	GRS	72								

9) Die Ausfallraten bewegen sich je nach Einsatzart im Bereich 80...25000E-6/h.

lfd Nr.	System		Einflußgrößen		unabhängige Ausfälle		Kopp- lungs- gruppe	Rate (Wahrsch.) für abhängige Ausfälle						Reparaturzeit			
	Komponente		Ausfallart		Rate (Wahrsch.) Erwart.	f95		Quelle	2v2 Erwart.	f95	2v3, 2v4 Erwart.	f95	3v3, 4v4 Erwart.	f95	Quelle	MTTR (h)	Quelle
	Elektrische Energieversorgung																
1001	Generatorschalter																
1002	27 kV 10 kA	öffnet nicht			2.9-6/h	4	GRS	321								8	
	10 kV 5 kA	öffnet nicht			2.9-6/h	4	GRS	321								8	
1003	Leistungsschalter																
1005	10 kV 500 A (Schieneneinspeisg)	ö.n./s.n./s.n.wieder			8.6-7/h	4	GRS	323	2.6-7/h	37	8.4-8/h	44	1.9-7/h	44	LER/ISF	8	
1007	10 kV 50 A (Großverbr.-Abzwg.)	ö.n./s.n./s.n.wieder			1.1-5/h	4	GRS	325	2.6-7/h	37	8.4-8/h	44	1.9-7/h	44	LER/ISF	8	
	(bei jährl. Test um Faktor 3 geringer)				3.7-6/h	4	GRS	325	2.6-7/h	37	8.4-8/h	44	1.9-7/h	44	LER/ISF	8	
1009	0,4 kV 3 kA (Schieneneinspeisg)	ö.n./s.n./s.n.wieder			8.6-7/h	4	GRS	327	2.6-7/h	37	8.4-8/h	44	1.9-7/h	44	LER/ISF	8	
1011	0,4 kV 200A (Schieneneinspeisg)	ö.n./s.n./s.n.wieder			8.6-7/h	4	GRS	327	2.6-7/h	37	8.4-8/h	44	1.9-7/h	44	LER/ISF	8	
1013	Schütz																
1015	0,4 kV 40- 60 A	Verlust der Hauptfunktion			2.4-6/h	10	GRS	329			7.1-8/h	26	3.6-8/h	26	geschätzt	8	
	0,4 kV 300-460 A	Verlust der Hauptfunktion			2.7-6/h	10	GRS	329			7.1-8/h	26	3.6-8/h	26	1%/ 0,5%	8	
1017	Strombegrenzungsdrössel																
1019	10 kV 1600 A	Kurzschluß/Schutzabschaltung			<1.4-6/h	4	GRS	331								8	
	3 kV 1600 A	Kurzschluß/Schutzabschaltung			<1.4-6/h	4	GRS	333								8	
1021	Transformator																
1023	380/27 kV 660 MVA (Block)	KS/Schutzab			3.6-5/h	4	GRS	335								8	
1025	27/10/10 kV 50/30/30 MVA (Eigenbedarf)	KS/Schutzab			1.6-5/h	4	GRS	337								8	
1027	110/10/10 kV 50/30/30 MVA (Anfahr)	KS/Schutzab			1.6-5/h	4	GRS	337								8	
1029	10/0,4 kV 2 MVA (Eigenbedarf)	KS/Schutzab			4.7-6/h	4	GRS	339								8	
	10/0,7/0,4 kV 2/1,2/1,2 MVA (Eigenbedarf)	KS/Schutzab			4.7-6/h	4	GRS	339								8	
1031	Frequenzumformer																
1032	10 kV / 2 kV 10 MVA (He-Gebläse)	Totalausfall			1.4-4/h	4	GRS	341								8	
1033	unterbricht Energielieferung nicht trotz Aus-Befehl				4.3-6/h	4	GRS	471								8	
	220 V/220 V 0,1 MVA (gesich. Schiene)	Totalausfall			1.0-4/h	4	GRS	343								8	
1035	Notstromdiesel 10 kV 1,5...5 MVA																
1035K	Startversagen, alle Ausfälle				3.3-3/Anf	4.4	GRS	345	5.8-6/h	15	3.1-6/h	24	7.5-7/h	26	LER-ISF	2.1	
1035L	Startversagen, kurze Ausfälle (90%)				3.0-3/Anf	4.4		345	5.2-6/h	15	2.8-6/h	24	6.8-7/h	26	LER-ISF	1.6	/13/
1036	Startversagen, lange Ausfälle (10%)				3.3-4/Anf	4.4		345	5.8-7/h	15	3.1-7/h	24	7.5-8/h	26	LER-ISF	65.	/13/
1036K	Betriebsversagen, alle Ausfälle				5.0-3/h	3	GRS	346								41.	
1036L	Betriebsversagen, kurze Ausfälle (70%)				3.2-3/h	3		346								4.5	/13/
1037	Betriebsversagen, lange Ausfälle (30%)				1.7-3/h	3		346								125.	/13/
1039	Unverfügbarkeit durch Wartung				3.7-3/Anf	10	/13/ GRS	0									
	0,7 kV 0,27 MVA				10)			347									
1041	Batterie, ungenügende Spannungs- oder Stromabgabe bei Anforderung				1.2-3/Anf	3	/21/	349					1.2-4/Anf	10	*)		

10) keine Angabe möglich

*) Wert gegenüber /21/ um Faktor 10 (geschätzt) verringert

lfd Nr.	System Komponente	Einflußgrößen Ausfallart	unabhängige Ausfälle			Kopp- lungs- gruppe	Rate (Wahrsch.) für abhängige Ausfälle					Reparaturzeit	
			Rate (Wahrsch.) Erwart.	f95	Quelle		eine Erwart.	f95	Redundanzgruppen Erwart.	f95	Quelle	MTTR (h)	Quelle
	Leittechnik												
1101	Druckmessung mit Differenzdruckgeber (Dauerbetrieb)	Kenndatendrift	2.5-5/h	4.7	GRS	461							
1102		Totalausfall	1.9-5/h	3	GRS	462							
1103		hängt	3.7-7/h	3	/3/	463	1.0-7/h	4	1.0-8/h	4	/3/, F2, S.104		
1105	Temperaturmessung	Kenndatendrift	2.5-6/h	1.2	/18/	465							
1106		Totalausfall	4.8-6/h	1.2	/18/	466	1.0-7/h	4	1.0-8/h	4	/3/		
1107	Grenzwertgeber XS312	fälschl. Pulsausfall	5.2-6/h	3	BBC	467							
1108		gibt fälschl. Puls ab	2.5-8/h	3	/3/	468							
1109		Justierungsfehler (starke Kopplung)	1.0-2/Anf	3	/3/	0	1.0-3/Anf	3	1.6-4/Anf	3	/3/		
1110		Justierungsfehler (mittlere Kopplung)	1.0-2/Anf	3	/3/	0			3.1-5/Anf	3.5	/3/		
1111	Inverter XS316+XS304 fälschl. Pulsausfall (=keine Verriegelung)		6.2-7/h	3	BBC	469							
1113	Betätigungsbaustein XS313	schaltet nicht	1.0-6/h	3	HRB	471							
1115	Relais allgemein	schaltet nicht	5.8-7/h	2.4	/3/	473							
1117	Abschlußrelais für Reaktorschnellabschaltung hängen (CCF)					475			1.8-6/Anf	4.5	/3/		

lfd Nr.	System Komponente	Einflußgrößen Ausfallart	unabhängige Ausfälle		Kopp- lungs- gruppe	Rate (Wahrsch.) für abhängige Ausfälle						Reparaturzeit		
			Rate (Wahrsch.) Erwart.	f95		Quelle	2v2 Erwart.	f95	2v3, 2v4 Erwart.	f95	3v3, 4v4 Erwart.	f95	Quelle	MTTR (h)
	Auslösende Ereignisse													
1201	Netzanschluß 110 kV Unterbrechung (nach VDEW Störungs- und Schadensstatistik 1968: 1km Freileitung + 1 Schaltfeld)		3.7-6/h	10	VDEW	351								
1202	Netzausfall am Kraftwerksstandort, alle Ausfälle		1.2-5/h	3	/3/	0							3.7	AIPA
1202K	Netzausfall am Kraftwerksst.ort, kurze Ausfälle (80%)		9.6-6/h	3		0						0.3		
1202L	Netzausfall am Kraftwerksst.ort, lange Ausfälle (20%)		2.4-6/h	3		0						17.4		
1203	Turbinenschnellabschaltung [bei jährl. Test des]		1.4-4/h	3		0								
1204	Reaktorschnellabschaltung [Hauptkühlsystems]		1.4-4/h	3		0								
1205	Abfangen auf elektrischen Eigenbedarf versagt		1.0-1/Anf	3	/3/	353								

Jül-2538
Oktober 1991
ISSN 0366-0885