

---

**BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ**

• **RSK-GESCHÄFTSSTELLE** •

**Kommentare der RSK-Ad-hoc-Arbeitsgruppe zu Modul 2 „Anforderungen an die Auslegung des Reaktorkerns“ (Entwurf Revision B der Regelwerksaktualisierung)**

Zu dieser Unterlage gehören vier Anlagen.

Die Kommentare zu Modul 2 wurden von der Arbeitsgruppe beraten und von Herrn Prof. Weiß auf Bitte der Arbeitsgruppe zusammengestellt.<sup>1</sup>

**Beratungsauftrag**

In ihrer 391. Sitzung am 09.03.2006 beriet die RSK ihre grundsätzliche Vorgehensweise zur Erstellung einer Stellungnahme zum fortgeschriebenen Stand des Regelwerks (Version B) und richtete zur Beratung bestimmter Themenbereiche und Aufgaben Ad-hoc-Arbeitsgruppen (AG 1 bis 5) ein. Die Arbeitsgruppe 3 wurde von der RSK in ihrer 392. Sitzung am 04.05.2006 gebeten, die Kommentierung der RSK zu

- Modul 2: Anforderungen an die Auslegung des Reaktorkerns,
- Modul 3: Bei Druck- und Siedewasserreaktoren zu berücksichtigende Ereignisse,
- Modul 6: Anforderungen an Nachweisführungen und Dokumentation und
- Modul 11: Anforderungen an die Handhabung und Lagerung der Brennelemente

vorzubereiten. In ihrer 396. Sitzung am 05.10.2006 schlug die RSK Fragestellungen vor, die den Beratungen der Ad-hoc-Arbeitsgruppen zu Grunde gelegt werden sollten [Anlage 1].

**2 Beratungsgang zum Modul 2**

In ihrer 1. Sitzung am 08.11.2006 legte die Arbeitsgruppe 3 ihre Vorgehensweise bei der Beratung der Module 2, 3, 6 und 11 fest. In ihrer 2. Sitzung am 18.01.2007 hörte sie zum Einstieg in die Vorbereitung der Kommentierung einen Bericht der Gutachter und Betreiber über Struktur und Anwendbarkeit des Moduls 2. In ihrer 5. Sitzung am 19.06.2007 trat sie in die Beratung ihrer Kommentierung zum Modul 2 ein.

---

<sup>1</sup> Herr Donderer hat sich wegen seiner Beteiligung an der Erstellung dieses Moduls an der Beschlussfassung in der Ad-hoc-Arbeitsgruppe nicht beteiligt

---

### 3      **Bewertungsmaßstäbe**

Die Bewertungsmaßstäbe sind im Ergebnisprotokoll der 396. RSK-Sitzung am 12.10.2006 wie folgt zusammengestellt.

#### **Generelles**

##### 1)    Strukturelle Ordnung des kerntechnischen Regelwerks

Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe 1 befürwortet die folgende Struktur des kerntechnischen Regelwerks:

1. Ebene:    Allgemeine, grundlegende Sicherheitsanforderungen (Modul 1),
  2. Ebene:    Konkretisierende Sicherheitsanforderungen (Module 2 bis 11) und
  3. Ebene:    Technische Fachregeln (KTA, etc.).
- 
- 1a)    Es sollte geprüft werden, ob die in den Modulen 1 bis 11 gestellten Anforderungen in Regelungstiefe und Detaillierungsgrad ausgewogen und sachgerecht zugeordnet und mit der o. g. Struktur konform sind. (AG 2: Modul 1; AG 3 bis 5: Module 2 bis 11)
  - 1b)    Es sollte geprüft werden, ob alle in Modul 1 (1. Ebene) genannten übergeordneten Anforderungen in den Modulen 2 bis 11 aufgegriffen und konkretisiert werden. (AG 2)
  - 1c)    Es sollte ebenfalls geprüft werden, ob sich die Anforderungen in den Modulen 2 bis 11 (2. Ebene) in den übergeordneten Sicherheitsanforderungen des Modul 1 (1. Ebene) widerspiegeln. (AG 3 bis 5)
  - 1d)    Im Hinblick auf die Schnittstelle zwischen der 2. und 3. Ebene sollten die Regelungsinhalte der Module 2 bis 11 daraufhin bewertet werden, ob sie nach Ansicht der Arbeitsgruppe in der zweiten Ebene richtig angesiedelt sind, oder ob sie eher einer fachtechnischen Regel (3. Ebene) zugeordnet werden sollten. In diesem Zusammenhang regt die Ad-hoc-Arbeitsgruppe 1 die Anhörung der KTA-Unterausschüsse in den Ad-hoc-Arbeitsgruppen an. (AG 3 bis 5)
  - 1e)    Falls inhaltliche Widersprüche zwischen Regelungsinhalten der Module 2 bis 11 zu bestehenden fachtechnischen Regeln (z. B. KTA) bekannt sind, sollte ein entsprechender Hinweis gegeben werden. Hier besteht kein Anspruch auf Vollständigkeit. Sofern die Arbeitsgruppe den entsprechenden Regelungsinhalten der Module 2 bis 11 zustimmt, sind diese gegenüber den fachtechnischen Regeln (z. B. KTA) als vorrangig zu betrachten. (AG 3 bis 5)
  - 1f)    Es sollte geprüft werden, ob Doppelungen von Anforderungen in den Modulen 2 bis 11 bestehen und diese vermieden werden können. (AG 2)
- 
- ##### 2)    Vergleich mit den Regelungsinhalten der RSK-Leitlinien

---

Die Ad-hoc-Arbeitsgruppen wurden gebeten, einen Abgleich der Regelungsinhalte der RSK-Leitlinien mit den Anforderungen in den betroffenen Modulen vorzunehmen und Defizite aufzuzeigen. Dabei sollte davon ausgegangen werden, dass Regelungsinhalte aus den RSK-Leitlinien, die der 1. bzw. 2. Ebene entsprechen, auf jeden Fall in die Module 1 bis 11 des kerntechnischen Regelwerks übernommen werden, sofern diese noch dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechen. Sofern sich der Stand von Wissenschaft und Technik weiter entwickelt hat, war dieser neue Stand zu Grunde zu legen. Regelungsinhalte der RSK-Leitlinien, die auf Grund ihres Detaillierungsgrades der 3. Ebene zuzuordnen sind, sollten benannt und danach bewertet werden, ob sie in einer KTA-Regel umgesetzt, aus übergeordneten Gründen in der 2. Ebene verbleiben oder ggf. entfallen können. Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe 1 beabsichtigte, sich nach ca. drei Monaten einen Überblick über den Umfang derartiger Regelungsinhalte aus den RSK-Leitlinien zu verschaffen. (AG 2-5)

### 3) Umfang und Bestimmtheit der Anforderungen

In den Ad-hoc-Arbeitsgruppen sollte geprüft werden, ob die in den Modulen 2 bis 11 gestellten sicherheitstechnischen Anforderungen im Hinblick auf die Anwendungstauglichkeit ausreichend konkret und bestimmt sind und im Hinblick auf deren Umfang als vollständig zu betrachten sind.

(AG 2 bis 5)

### 4) Indikativ-Formulierungen

Im Interesse einer ausführlichen fachinhaltlichen Beratung in den Ad-hoc-Arbeitsgruppen 2 bis 5 wurden die Mitglieder dieser Arbeitsgruppen gebeten, auf diese Fragestellungen nicht näher einzugehen. Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe 1 hat sich mit dieser Thematik befasst. (AG 1)

## **Sicherheitstechnische Relevanz**

### 5) Berücksichtigung der K1-Punkte der RSK in der Revision B

Die Ad-hoc-Arbeitsgruppen 2-5 wurden gebeten, die Liste der K1-Anmerkungen der RSK auf Umsetzung in den Modulen (Revision B) bzw. ggf. auf Notwendigkeit der Umsetzung zu prüfen. Bei gegebenen Differenzen sollten Begründungen für die Notwendigkeit der Umsetzung in den Modulen und ggf. konkrete Änderungsvorschläge formuliert werden. (AG 2 bis 5)

### 6) Empfehlungen und Stellungnahmen der RSK

Die im Rahmen der 1. Sitzung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe 1 erstellte Liste über Empfehlungen/Stellungnahmen der RSK [Anlage 2], die im Zusammenhang mit Festlegungen im neuen kerntechnischen Regelwerk in Betracht kommen könnten, sollte von den Ad-hoc-Arbeitsgruppen geprüft, ggf. variiert und auf Umsetzung der Anforderungen in den Modulen (Revision B) geprüft werden. (AG 2 bis 5)

---

7) Inhaltliche Auffassungsunterschiede der RSK zu den Modulen der Revision B

Die Ad-hoc-Arbeitsgruppen werden gebeten, derartige Auffassungsunterschiede tabellarisch, mit Begründung und ggf. Änderungsvorschlägen zu erfassen. (AG 2 bis 5)

8) Schnittstellen zwischen Modul 1 (1. Ebene) und Modul 2 bis 11 (2. Ebene)

Vgl. 1a) bis 1c).

9) Schnittstellen zwischen der 2. Ebene und der 3. Ebene

Vgl. 1 d) und 1e).

10) Schnittstellen zwischen den Modulen der 2. Ebene

Die Ad-hoc-Arbeitsgruppen 3-5 wurden gebeten, Schnittstellen zwischen den Modulen 2 bis 11 auf Zweckmäßigkeit zu prüfen. (AG 3 bis 5)

### **Vollständigkeit**

11) Die Hinweise und Bewertungen durch die RSK zu Modul 1 (1. Ebene) sollten auf Vollständigkeit zielen (AG 2).

12) Für Bewertungen der Module 2 bis 11 (2. Ebene) soll kein Vollständigkeitsanspruch erhoben werden, im Hinblick auf die zu bewertenden Regelungsinhalte sollten sie aber sachgerecht ausgewogen sein (AG 3 bis 5).

13) Es sollte geprüft werden, welche Regelungsinhalte aus Sicht der RSK in der Revision B des kerntechnischen Regelwerks fehlen und ergänzt werden sollten, wie z. B. Anforderungen an die Stilllegung von Kernkraftwerken. (AG 2, ggf. Hinweise aus AG 3 bis 5)

14) Bislang noch nicht ausreichend gelöste Regelungsprobleme sollten identifiziert und aufgelistet werden. (AG 2 bis 5)

Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe 1 bat die Ad-hoc-Arbeitsgruppen 2 bis 5, die oben stehenden Fragestellungen zu beraten und die Ergebnisse schriftlich zusammen zu fassen. Ein Abgleich der K1-Punkte der RSK zur Revision A mit den Modulen der Revision B sollte in Form einer Liste beigefügt werden. Weitere Anmerkungen sollten tabellarisch aufgelistet werden.

Die Arbeitsgruppe 3 beabsichtigte, sich insbesondere darauf zu konzentrieren,

- zu prüfen, ob die K1- und K2-Kommentare der RSK in den Modulen 2, 3, 6 und 11 umgesetzt sind,
- zu prüfen, ob die Regelungstiefe und der Detaillierungsgrad in den Modulen 2, 3, 6 und 11

---

ausgewogen und sachgerecht sind, und

- zu prüfen, ob die Module 2, 3, 6 und 11 ausreichend an Modul 1 angebunden sind.

#### **4 Bewertung**

Alle wesentlichen Bemerkungen, Anregungen und Einwendungen aus der AG 3 zum Modul 2 sind in der Anlage 3 zu dieser Stellungnahme zusammengestellt.

##### Umsetzung der K1-K3 Kommentare der RSK zur Revision A [Anlage 4]

Die RSK hatte in einem der K1-Kommentare festgehalten, dass die Annahme des „stuck rod“ eine grundsätzliche Anforderung an die Abschaltssysteme sei und dass die Anforderungen an die Nachweisführung bei der langfristigen Unterkritikalität diesbezüglich präzisiert werden müsse. Dieser Kommentar wurde von der AG 3 zum Anlass genommen, die Annahme des „stuck rod“ als Postulat bzw. als Ausprägung des Einzelfehlers im Modul 2 nochmals grundsätzlich zu beraten. Als Ergebnis der Beratung hält die AG3 Folgendes fest:

- Im Abschnitt 6.2(2) wird im Modul 2 Rev. B bei der Schnellabschaltung auf Sicherheitsebene (SE) 2 der „stuck rod“ unterstellt. Hierin sieht die AG eine klare und korrekte Umsetzung des BMI-Sicherheitskriteriums 5.3 im Sinne eines Postulates.
- Demgegenüber wird im Abschnitt 6.3(1) bei der Schnellabschaltung auf SE 3 gefordert, den Ausfall der 1. Anregung der RESA und den „stuck rod“ als unabhängige Postulate zu überlagern. Dies bedeutet nach Ansicht der AG 3 eine Verschärfung der Anforderungen gegenüber dem alten Regelwerk. Die RSK Leitlinien postulieren in 3.1.2 (3) den Ausfall der 1. Anregung und fordern in 3.1.2 (5), dass ein Einzelfehler die Abschaltung nicht beeinträchtigen dürfe. Das BMI-Sicherheitskriterium 5.3 verlangt, dass die Reaktorschnellabschaltung (RESA) bei jedem Reaktorzustand auch bei Ausfall des wirksamsten Steuerelementes in einen unterkritischen Zustand führen müsse. Schließlich gehen die Störfalleitlinien im Punkt 4.7 von der Verfügbarkeit der 1. Anregung aus, es sei denn, dass diese selbst vom Störfallverlauf beeinträchtigt wurde. Darüber hinaus wird gefordert, bei der Nachweisführung einen Einzelfehler für die Summe der Sicherheitssysteme zu unterstellen. Die Überlagerung der Postulate „Ausfall der 1. Anregung“ und „stuck rod“ ist nach Ansicht der AG 3 aus dem bisherigen Regelwerk nicht abzuleiten. Deshalb sollte das neue Regelwerk in eindeutiger Weise für die SE 3 die Überlagerung des Postulates „Ausfall der 1. Anregung“ mit einem Einzelfehler spezifizieren. Sofern sich der „stuck rod“ am ungünstigsten auf den Störfallverlauf auswirkt, ist dieser als Einzelfehler zu unterstellen.
- Die AG 3 stimmt mit dem Team, das Modul 2 erarbeitet hat, überein, dass bei dauerhafter Abschaltung mit Regel- und Abschaltstäben (SWR) der „stuck rod“ auf SE2 (Modul 2 Rev. B 6.2(4)) ebenfalls als Postulat zu fordern sei. Allerdings ist der bisherige Verweis der Quellensynopse auf das BMI-Sicherheitskriterium 5.3 nicht zweckdienlich, da dieses Kriterium den „stuck rod“ lediglich bei der RESA postuliert und bei dauerhafter Abschaltung keine Aussage trifft.
- Ähnlich ist die Sachlage bei dauerhafter Abschaltung auf SE 3. Nach Meinung der AG 3 sollte

---

der „stuck rod“ in diesem Falle eindeutig als Einzelfehler eingeführt werden, wenn dieser der ungünstigste Fall ist. Der Verweis des Teams in der Quellensynopse auf die IAEA NS-R-1 6.16 („...maintaining the reactor subcritical by an adequate margin and with high reliability, ...“) stützt die Interpretation der AG insofern, als dort nicht konkret der „stuck rod“ gefordert wird, sondern dass von „adequate margin“ gesprochen wird und somit offen lässt, wie diese Sicherheitsreserve nachzuweisen ist.

Diesen Punkt zusammenfassend stellt die AG 3 fest, dass die „stuck rod“ Annahmen im Modul 2 hinsichtlich klarer Zuordnungen zu Postulaten und Einzelfehlern überarbeitet werden sollten und dass sich daraus notwendigerweise Änderungen im Modul 1 und anderen Stellen des Regelwerksentwurfes ergeben, die auf das Einzelfehlerkonzept eingehen.

Ein weiterer K1-Kommentar der RSK war der Zulässigkeit von Brennstabschäden auf der Sicherheitsebene 3 gewidmet. Insbesondere forderte die RSK bezüglich Modul 2 Revision A, dass auf Sicherheitsebene 3a nachzuweisen sei, dass bei maximal 1 % der Hüllrohre Schäden aufträten. Es dürfe jedoch in keinem Fall zu einem Austritt von Kernbrennstoff kommen. Dies sei gewährleistet, wenn der Nachweis der Integrität der Hüllrohre geführt werde.

In der Revision B des Regelwerks ist diese Forderung sinngemäß nach Modul 3, Tabelle 3.1 verlagert worden. Die Intention und demzufolge auch die Umsetzung dieses Kommentars sind der AG 3 nicht vollständig klar, u.a. weil es die Sicherheitsebene 3a in Revision B nicht mehr gibt. Die AG 3 wird auf die Forderung nach Brennstabintegrität für Leckgrößen kleiner 0,1F ggf. in ihrer Stellungnahme zu Modul 3 eingehen. In jedem Falle sollte in diesem Zusammenhang nochmals das Nachweisziel beim 2F-Bruch diskutiert werden. Der Grenzwert für den Schadensumfang  $< 10\%$  ist ein vorgelagertes radiologisches Kriterium. Er ist kein klassisches LOCA-Akzeptanzkriterium. Deshalb sind die zu verwendenden Anfangs- und Randbedingungen auch andere, als bei den Nachweisen für die übrigen LOCA-Akzeptanzkriterien (T-Hülle  $< 1200^\circ\text{C}$ , Lokale Hüllrohroxydation  $< 17\%$ , Gesamtmenge oxydiertes Zirkonium  $< 1\%$ ). Dies sollte im neuen Regelwerk (wie bereits im alten Regelwerk: Störfall-Leitlinien, Kap.4, Störfallberechnungsgrundlagen, Kap. 2) auch so verankert werden.

Die RSK hatte ferner an die Auslegung der Überwachungs-, Regelungs-, Begrenzungs- und Abschaltanlagen (6.4(3) Modul 2 Rev. A) die Forderung erhoben: „Bei Ereignissen bzw. Zuständen der Sicherheitsebene 4b ist für die dauerhafte Aufrechterhaltung der Unterkritikalität ein  $k_{eff}$  kleiner 0,999 vorzusehen“. Diese K1-Forderung ist in der Rev. B im Modul 7, 4.1(5) umgesetzt. Der Verweis in der synoptischen Darstellung nennt fälschlicherweise Modul 7, 4.1 (4). Dies ist zu korrigieren. Die AG 3 regt an, statt  $k_{eff} < 0,999$  die Formulierung  $k_{eff} < 1$  zu verwenden.

Im Übrigen regt die AG 3 an, die Forderung nach Subkritikalität auf der SE 4 nochmals zu beraten, da sie u. U. der Forderung nach Kühlung des Brennstoffs im Verlaufe des Unfalls entgegenlaufen kann. Es muss nach Ansicht der AG 3 klargestellt werden, dass in diesen Fällen die Subkritikalität eine Anforderung an den dauerhaften Zustand nach dem Unfall darstellt. Unter radiologischen Gesichtspunkten kann es günstiger sein, Rekritikalität zuzulassen, aber den Brennstoff zu kühlen, um Emissionen wirksam zu begrenzen.

Die AG 3 stellt fest, dass die K2-Anforderung an die thermohydraulische Auslegung, wonach anstatt der Aufzählung der Einzelfälle, in denen das Ansprechen der Druckhalterabblaseventile zulässig sei, festgelegt werden sollte, dass in der Sicherheitsebene 2 b das Ansprechen der Druckhalterabblaseventile zulässig ist, in

---

das Modul 3, Tabelle 3.1 verlagert und dort umgesetzt ist. Auf der SE 2 wird nunmehr lediglich gefordert, dass der Primärkreisdruck niedriger gehalten werden muss als der Ansprechdruck der Druckhalterabsicherungsventile. Demzufolge dürfen auf SE 2 die Druckhalterabsicherungsventile öffnen.

Die RSK war in einem weiteren K2-Kommentar zu Anforderungen an die mechanische Auslegung unter Modul 2, Rev. A, 5.2 (1) auf die Zulässigkeit von Pellet-Cladding-Interaction (PCI)-Schäden eingegangen. Sie hatte darauf hingewiesen, dass PCI-Schäden zwar seit etwa zehn Jahren nicht mehr aufgetreten seien, dass sie aber dennoch bei länger anstehenden Transienten nicht auszuschließen seien. Zum einen ist die genaue Zielrichtung dieses Kommentars nicht aufzulösen, zum anderen ist der synoptischen Darstellung nicht zu entnehmen, wie das Team mit diesem Kommentar umgegangen ist. Deshalb sollte das Team herausstellen, ob und wie dieser Kommentar umgesetzt wurde.

Unabhängig davon wird in Modul 2, Rev. B, 5.2 (1) nunmehr gefordert, dass nach allen Ereignissen der SE 2 die uneingeschränkte Weiterverwendbarkeit und Handhabbarkeit aller Brennelemente und Steuerelemente erhalten bleiben müsse. Mit Blick auf die Tatsache, dass bspw. bei den oben genannten länger anstehenden Transienten PCI-Schäden nicht ausgeschlossen werden können und dass es sich bei den Brennelementen und Steuerelementen um austauschbare Komponenten handelt, scheint der AG 3 die Forderung der uneingeschränkten Weiterverwendbarkeit für die gesamte geplante Einsatzzeit unangemessen. Nach Meinung der AG3 sollte deshalb der Bezug auf die gesamte geplante Einsatzzeit entfallen.

Schließlich hatte die RSK in einem K2-Kommentar zur mechanischen Auslegung unter Modul 2, Rev. A, 5.3(1) angemerkt, dass für den DWR die Forderung nach mechanischer Abschaltbarkeit bei  $KMV > 0.1F$  gestrichen werden müsse. Diese Anregung wurde vom Team vollständig umgesetzt. Hierfür wird jetzt angemessen gefordert, dass die dauerhafte Abschaltbarkeit und die Kühlbarkeit nicht gefährdet werden dürfen.

#### Zusätzliche Kommentare der Arbeitsgruppe

Die AG 3 diskutierte ferner wesentliche Anmerkungen und Kommentare, die sich darüber hinaus im Verlaufe des bisherigen Beratungsganges ergeben hatten und die vollständig in der Anlage 3 zu dieser Stellungnahme zusammengestellt sind. Es wurde vereinbart, in der Stellungnahme zum Modul 2 auf die wichtigsten dieser Anmerkungen im Detail einzugehen, sofern sie spezifisch für Modul 2 zutreffen, ansonsten aber auf die genannte Zusammenstellung zu verweisen.

Die nachfolgend diskutierten, ausgewählten Kommentare mit spezifischem Bezug auf Modul 2 haben teils übergeordnete Bedeutung für diesen Modul, teils beziehen sie sich auf spezielle Anforderungen. Zunächst wird auf Kommentare von übergeordneter Bedeutung für Modul 2 eingegangen.

- Durch die Unterscheidung von nuklearer, thermohydraulischer und mechanischer Auslegung sowie Regelungs-, Begrenzungs-, und Abschalteinrichtungen kommt es zu einem unnötigen Wiederholungseffekt, der die Interpretation und Überprüfbarkeit der Anforderungen erschwert. Es wird empfohlen, Anforderungen, die auf mehreren Sicherheitsebenen gelten (Beispiel: 3.1(1) und 3.1(2)), nicht zu wiederholen, sondern einmalig mit übergreifender Bedeutung darzustellen. Dieser Effekt wird durch den Umstand verstärkt, dass bei den Anforderungen teils von Nachweiszielen und Nachweiskriterien, teils nur von Nachweiszielen oder nur von Nachweiskriterien die Rede ist.

- 
- Es kommt hinzu, dass versucht wurde, Komponenten und Systeme den verschiedenen Sicherheitsebenen zuzuordnen, auch wenn diese auf unterschiedlichen Ebenen angefordert werden. Dies führt zu unnötiger Aufblähung des Textes.
  - Die Zuordnung der Anforderungen zu den verschiedenen Sicherheitsebenen bedarf einer kritischen Überarbeitung. Häufig werden auf der SE1 Anforderungen beschrieben, die erst auf den SE2-4a wirksam werden.
  - Die verwendeten Begriffe sind nochmals auf Konsistenz mit den Begriffsdefinitionen zu überprüfen. Beispielsweise wird unter 4.1(2b) der Begriff Siedeübergang im Zusammenhang mit dem SWR gebraucht. Die Begriffsdefinitionen bezeichnen jedoch als Siedeübergang den Übergang zum Filmsieden, der beim SWR keine Rolle spielt.
  - Die Anforderungen werden auf den verschiedenen Sicherheitsebenen durch Ausfallpostulate und/oder Einzelfehlerannahmen zur Spezifikation der Randbedingungen bei der Nachweisführung ergänzt, ohne klar festzustellen ob die jeweilige Ausfallannahme als Postulat oder Ausprägung des Einzelfehlers zu verstehen ist. Dies sollte im Sinne der obigen Diskussion zum „stuck rod“ überarbeitet werden. Dabei wäre es hilfreich, wenn alle wesentlichen Regeln zur Anwendung von Ausfallpostulaten und Einzelfehlerannahmen - anders als bisher - an einer Stelle des Regelwerks zusammengefasst würden.
  - Der Modul 2 ist dahingehend zu überprüfen, ob die aus den Anforderungen resultierenden Nachweisverfahren tatsächlich Stand der Technik sind und ob die Anforderungen ausreichend klar definiert sind. Zum Beispiel wird unter 3.1(3b) gefordert: „Kernbereiche, in denen analytisch ermittelte lokale Dampfblasenzunahmen, lokale Kühlmitteltemperaturerhöhungen oder lokale Kühlmitteldichteabnahmen zu positiven Rückwirkungen führen, sind ausgewiesen. Die sicherheitstechnische Bedeutung derartiger Rückwirkungen ist bewertet.“ Diese Anforderung erfolgt ohne Bezug zu Modul 3 oder Modul 6. Zudem ist sie ohne Definition des Begriffs „analytisch“ und ohne Spezifikation des Nachweisverfahrens etwa hinsichtlich der anzuwendenden Neutronentransportnäherung und bezüglich der geforderten räumlichen Auflösung nicht anwendbar. Da diesbezügliche Untersetzungen im Entwurf des übrigen Regelwerks und in den gültigen KTA-Regeln nicht zu finden sind, muss man davon ausgehen, dass die praktische Umsetzung dieser Forderung nicht gegeben ist. Sofern das Team mit dieser Anforderung zeitabhängige Transportrechnungen mit hoher zeitlicher Auflösung vorschreiben wollte, sei darauf hingewiesen, dass dies Gegenstand der Forschung ist und derzeit nicht als Stand der Technik gelten kann.
  - Die hierarchische Abstimmung zu Modul 1 und die Schnittstellen zu den übrigen Modulen bedürfen der Überprüfung. So finden sich in Modul 1 detailliertere Anforderungen an die Auslegung der Abschaltssysteme als in Modul 2 und teilweise scheinen die Anforderungen in Modul 1 über jene in Modul 2 hinauszugehen. Konsistent mit der bisherigen Praxis fordert Modul 2 auf der SE 4 den Nachweis der Kühlbarkeit des Kerns (M2/3.4(1)), während Modul 1 darüber hinausgehend den Nachweis der Hüllrohrintegrität auf SE 4a (M1/2.2(5)) vorschreibt.
  - Der Grad der Detaillierung im Modul 2 sollte wo immer möglich zu Gunsten der darunter liegenden Ebenen des Regelwerks zurückgenommen werden. Beispielhaft seien die

---

Anforderungen an die Leistungsrückkopplung über Brennstofftemperatur, Moderatorichte und Moderatortemperatur genannt (M2/3.1(2a-2d)). Eine Unterscheidung der Dichteabnahme als Folge der Temperaturerhöhung oder als Folge eines Phasenüberganges ist auf der Ebene des Moduls 2 entbehrlich. Hier ist die Forderung nach negativer Leistungsrückkopplung und nach Erfüllung der diesbezüglichen Nachweisziele auf den SE 2-4a vollständig ausreichend. Die AG 3 bittet zu prüfen, ob der Bezug auf den Leistungskoeffizienten ausreichend sein könnte. Darüber hinausgehende Details sollten auf der Ebene der KTA festgelegt werden.

- Eine tendenziöse Bezugnahme auf gültiges nationales und internationales Regelwerk sowie auf Empfehlungen der IAEA schadet dem Anliegen der Regelwerkserneuerung. Beispiele hierfür sind oben im Zuge der Diskussion zur Umsetzung der früheren K1-K3 Kommentare der RSK zu Modul 2 genannt. Sie betreffen dort die Anwendung von Ausfallpostulaten in Kombination mit dem Einzelfehlerkonzept. Das Team sollte die Revision B bezüglich der Umsetzung nationalen und internationalen Regelwerks nochmals kritisch bewerten.

Zusätzlich zu diesen Anmerkungen übergeordneter Natur gibt die AG 3 nachfolgende Kommentare zu einzelnen Anforderungen des Moduls 2 ab.

- Die in 3.1(2d) formulierte Anforderung, dass eine Erhöhung der Kühlmitteltemperatur und / oder eine Abnahme der Kühlmitteldichte im Reaktorkern spätestens bei Erreichen der Nennleistung mit Xenongleichgewicht eine negative Reaktivitätsrückwirkung haben müssen, sollte nach Ansicht der AG 3 auf den Fall stationären Teillastbetriebs mit Xenongleichgewicht ausgedehnt werden.
- 3.1(3a) lässt eine vorübergehende positive Reaktivitätsrückkopplung der Moderatortemperatur und -dichte zu, sofern bei den auf den SE 2 bis 4a zu betrachtenden Ereignissen die Nachweisziele eingehalten werden. Diese Forderung schließt den ATWS ein, was bei probabilistischer Betrachtung nicht gerechtfertigt erscheint. International wird üblicherweise der Nachweis der ATWS-Beherrschung erst nach 6 Volllasttagen gefordert. In den USA sind für einige Anlagen sogar wesentlich längere „unfavourable exposure periods“ zulässig. Da ähnliche Fragestellungen beispielsweise auch im Zusammenhang mit der Standfestigkeit von Behältern bei der Beladung mit abgebrannten Brennelementen auftreten, empfiehlt die AG 3 der RSK, sich mit dem Thema der vom Nachweis ausgeschlossenen Zeiten grundsätzlich zu befassen und erst dann konkrete Festlegungen im Regelwerk zu treffen.
- Unter 3.4(1) wird im Modul 2 nochmals auf die Beherrschung von ATWS eingegangen. Die hier formulierten Anforderungen sind einerseits mit der Stellungnahme der RSK zu ATWS u. a. in dem Sinne abzugleichen, dass die Abschaltung der Hauptkühlmittelpumpen zur Ereignisbeherrschung unzweifelhaft zulässig ist. Ziffer 6.4(1) ist in gleichem Sinne zu überarbeiten. Andererseits muss ein Abgleich mit M1/2.2(5) erfolgen. Während Modul 2 die Erhaltung von Abschaltbarkeit und Kühlbarkeit des Kerns und der Integrität der druckführenden Umschließung fordert, wird im Modul 1 zusätzlich die Forderung erhoben, die Hüllrohrintegrität nachzuweisen. Diese Anforderung muss im Modul 1 entfallen.
- Für den SWR wird in 3.4(2) verschärfend gefordert, dass der Nachweis der Beherrschung des ATWS-Falles auch bei überlagerten, ungedämpften Leistungsdichteschwingungen zu führen sei.

---

Die Quellensynopse gibt keinen Aufschluss, aus welchem nationalen oder internationalen Regelwerk diese Anforderung übernommen wurde und führt auch ansonsten dazu keine Begründung an. Auch bei Verlagerung dieser Anforderung in Modul 3 muss eine schlüssige Begründung für die Überlagerung von ATWS und Leistungsdichteschwingungen gegeben werden. Ist dies nicht möglich, so sollte diese Anforderung entfallen.

- Mit der Formulierung in 4.1(4) wird die Forderung erhoben, dass die zyklusspezifischen Auslegungsrechnungen zu den thermohydraulischen Eigenschaften des Kerns anhand von festgelegten Messprogrammen und Kernüberwachungsdaten zu überprüfen sind. In dieser zu wenig bestimmten Form wird diese Anforderung praktisch nicht anwendbar sein, zumal nicht alle der in der Rechnung ausgewiesenen thermohydraulischen Parameter während des Betriebes messtechnisch zugänglich sind. Ferner ist zu bedenken, dass die thermohydraulischen Kerneigenschaften wesentlich durch die Brennelementauslegung bestimmt sind. Die thermohydraulische Charakteristik der Brennelemente ist vor Einsatz im Reaktor bekannt und bedarf keiner zyklusspezifischen, messtechnischen Überprüfung bei laufender Anlage.
- Die Ziffer 4.3(2) bezieht sich auf die gesicherte Notkühlung bei Ansaugung aus dem Sumpf und die Kühlung bei Eintrag von Material in den Kern. Die damit im Zusammenhang stehenden notwendigen Maßnahmen betreffen aber vornehmlich die konstruktive Gestaltung des Sumpfes bzw. der Kondensationskammer und weniger die Kernauslegung. Die derzeitige Formulierung deckt zudem die Belange des SWR nicht ab. Darüber hinaus werden Anforderungen de facto gleichen Inhaltes in M2 / 5.1(11) und 7.1(3) formuliert. Nach Ansicht der AG 3 kann Ziffer 4.3(2) deshalb entfallen. Außerdem ist zu prüfen, ob die Zuordnung von 5.1(11) und 7.1(3) zur SE1 sachgerecht ist. 5.1(11) ist ferner dahingehend zu überarbeiten, dass die Rückhaltung von Verunreinigungen und losen Teilen auch konstruktive Anforderungen an andere Kern- und RDB-Einbauten im Zusammenwirken mit den Brennelementen stellt.
- Unter Ziffer 5.1(8) wird explizit auf Brennstabschäden in Folge Pellet-Cladding-Interaction (PCI) eingegangen. Dadurch wird dem Phänomen PCI eine Bedeutung beigemessen, das es nach den Verbesserungen im Brennelementdesign in den vergangenen Jahren nicht mehr hat. Insofern sollte 5.1(8) allgemein darauf verweisen, dass Brennstabschäden, unabhängig welcher Art, durch die Brennelementauslegung und geeigneten Reaktorbetrieb zu vermeiden sind. Der Hinweis auf PCI und SCC sollte in Anhang 1 aufgenommen werden.

Weitere spezifische Kommentare zur Revision B des Moduls 2 finden sich in der Anlage 3 zu dieser Stellungnahme.

## **5 Schlussfolgerung zu Modul 2**

Die AG 3 würdigt den notwendigen Ansatz, die Anforderungen an die Auslegung und den Betrieb des Reaktorkerns im Unterschied zum gültigen Regelwerk systematisch in einem Modul des neuen Regelwerks zusammenzufassen. Sie stellt aber fest, dass die Revision B in dieser Fassung noch nicht verabschiedungsreif ist und deshalb überarbeitet werden sollte.

---

Die Überarbeitung sollte sich insbesondere auf die Umsetzung der K1-K3 Kommentare der RSK zur Revision A, auf die oben angeführten allgemeinen und spezifischen Kommentare zur Revision B, sowie auf die weiteren in der Anlage 3 zu dieser Stellungnahme benannten Kritikpunkte beziehen. Schwerpunkte der Überarbeitung sollten sein:

- die schlüssige Umsetzung des Einzelfehlerkonzeptes im Zusammenhang mit den Annahmen zum „stuck rod“ (Diese Empfehlung geht über Modul 2 hinaus. Sie beinhaltet auch die Konzentration der Definition des Einzelfehlerkonzeptes und der zugehörigen Anwendungsprinzipien in einem Modul des neuen Regelwerks.),
- die Überprüfung der Anforderung nach Subkritikalität auf SE 4,
- die Verschlinkung des Regelwerkstextes durch Vorziehen von Anforderungen, die auf allen Sicherheitsebenen gelten,
- die Zuordnung von Anforderungen zu den verschiedenen SE,
- die Schnittstellen zu anderen Modulen der Revision B, vor allem zu den Modulen 1, 3, 6, 10, 11,
- die Reduzierung der Detaillierung zu Gunsten von Ebenen des Regelwerks unterhalb der Module 2-10,
- die Prüfung und ggf. Streichung von Anforderungen, die Nachweisverfahren verlangen, welche nicht gegenwärtiger Stand der Technik sind, sowie
- die kritische Sichtung der Umsetzung bestehenden nationalen und internationalen Regelwerks.

#### **Beratungsunterlagen:**

Dr. Lauer, 19.06.2007  
Kommentare zum Modul 3

Prof. Weiss  
Auswertung der Kommentare zu Modul 2, 01.06.2007

Prof. Weiss  
Modul 2 Rev B  
Umsetzung der K1-K3 Kommentare der RSK zu Revision A

Dr. Grauf, 13.06.2007  
Diskussion zu „Berücksichtigung von RSK-Empfehlungen“ bei der Regelwerkserstellung speziell „VO-Maßnahmen“ und „gestaffeltes Sicherheitskonzept“.

Dr. Grauf, 13.06.2007  
Stellungnahme RSK-AG 3 zu Modul 11B