

**Verfahren zur  
Klassifizierung von  
Bauwerken, Systemen  
und Komponenten  
in Hinblick auf ihre  
sicherheitstechnische  
Bedeutung bei seismi-  
schen Einwirkungen**



## **Technischer Bericht/ Technical Report**

Reaktorsicherheitsforschung-  
Vorhabens Nr.:/  
Reactor Safety Research-Project No.:  
RS1180

Vorhabensitel / Project Title:  
Weiterentwicklung und  
Erprobung von Methoden und  
Werkzeugen für probabilisti-  
sche Sicherheitsanalysen

Development and Test  
Applications of Methods and  
Tools for Probabilistic Safety  
Analyses

Berichtstitel:  
Verfahren zur Klassifizierung  
von Bauwerken, Systemen und  
Komponenten in Hinblick auf  
ihre sicherheitstechnische  
Bedeutung bei seismischen  
Einwirkungen

Autor / Authors:  
M. Türschmann, S. Babst,  
E. Hartwig-Thurat, M. Krauß,  
G. Thuma

Berichtszeitraum / Publication Date:  
Juni 2010

Anmerkung:  
Das diesem Bericht zugrunde lie-  
gende F&E-Vorhaben wird im Auf-  
trag des Bundesministeriums für  
Wirtschaft und Technologie  
(BMWi) unter dem Kennzeichen  
RS1180 durchgeführt.

Die Verantwortung für den Inhalt  
dieser Veröffentlichung liegt beim  
Auftragnehmer.

**GRS - A - 3472**



## Kurzfassung

Seit dem Jahr 2005 ist gemäß dem PSA-Leitfaden /BMU 05/ im Rahmen der (periodischen) Sicherheitsüberprüfung von Kernkraftwerken eine seismische probabilistische Sicherheitsanalyse (SPSA) durchzuführen. Hinweise zur anzuwendenden Methodik bei dieser SPSA finden sich in einem nachgeordneten Dokument (Fachband zu PSA-Methoden, /FAK 05/). Da die PSA für Einwirkungen von außen eine Neuerung im deutschen kerntechnischen Regelwerk darstellt, sind die diesbezüglichen Ausführungen im Fachband zu PSA-Methoden noch nicht so ausgereift wie jene für anlageninterne Ereignisse. Insbesondere im Hinblick auf (i) die Auswahl derjenigen baulichen Anlagen, Systeme und Komponenten (BSK), für die im Verlauf einer SPSA erdbebenbedingte anlagenspezifische Versagenswahrscheinlichkeiten zu bestimmen sind, (ii) die Erstellung des seismischen Anlagenmodells, (iii) die Behandlung seismischer Abhängigkeiten und (iv) die quantitative Auswertung des Anlagenmodells sind detailliertere Vorgaben erforderlich, um eine angemessene Qualität der SPSA sicherzustellen sowie die Nachvollziehbarkeit und Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

Der vorliegende Bericht befasst sich mit (i), der Durchführung des Auswahlverfahrens zur Festlegung derjenigen BSK, für die im Verlauf einer SPSA erdbebenbedingte anlagenspezifische Versagenswahrscheinlichkeiten zu bestimmen sind. Die übrigen Punkte werden in einem gesonderten Vorhaben /GRS 07a/ bearbeitet.

Ausgehend von einer umfangreichen Auswertung der national und international verfügbaren Literatur wird ein zweistufiges datenbankbasiertes Auswahlverfahren abgeleitet. Dabei werden in der ersten Auswahlstufe alle im Falle eines Erdbebens relevanten BSK ermittelt, in der zweiten Auswahlstufe werden die gefundenen BSK bezüglich ihrer sicherheitstechnischen Bedeutung bei seismischen Einwirkungen klassifiziert. Ziel ist es dabei insbesondere, die relevanten BSK, für die erdbebenbedingte anlagenspezifische Versagenswahrscheinlichkeiten im Rahmen der Durchführung einer SPSA zu bestimmen sind, zu identifizieren sowie Abhängigkeiten zwischen diesen BSK herauszufinden.

Zur Entwicklung des datenbankgestützten Auswahlverfahrens konnte auf die Daten und Informationen eines Referenzkernkraftwerks zurückgegriffen werden.

## **Abstract**

The German Guideline for periodic safety reviews of nuclear power plants requires probabilistic safety assessments (PSA) to be carried out. This includes also a seismic PSA (SPSA). For this SPSA the German technical reference document (TRD) on PSA methods recommends an approach based on safety margin factors and provides general guidance on this subject. The recommended procedure consists of three major parts: (i) seismic hazard analysis, (ii) determination of failure probabilities of structures, systems and components (SSC), and (iii) development of seismically induced event trees with subsequent calculation of core damage frequencies. Each of these major parts is subdivided into various individual steps. Up to now, the TRD has not yet reached the same maturity for these steps as for the methods applied to the analysis of internal events or internal hazards. This is particularly true for the procedure to identify those SSCs to be analysed in detail. In this report a newly developed approach for this screening procedure will be presented.

Based on a comprehensive literature review, a two-stage database-driven approach has been developed. The main objective of this screening procedure is to identify those SSCs for which plant-specific fragilities have to be determined.

In the first step a comprehensive list of SSCs whose failure due to seismic loads would contribute to the overall core damage frequency is established. This list is called seismic equipment list (SEL). All relevant information on the SSCs, in particular their attribution to rooms and buildings in the plant, is recorded in the main table of the database. Due to the large number of SSCs on the SEL it is not feasible to calculate plant-specific fragilities for all of them. Therefore, the number of SSCs has to be reduced by a second screening step. In this step the SSCs are classified according to their risk contribution. Based on this classification the required level of detail for the analysis is specified: (i) a failure of the SSC due to seismic loads can be ruled out or a seismic failure does not significantly contribute to the core damage frequency. (ii) The failure of the SSC can be described by generic fragility curves. (iii) Plant-specific failure curves are indispensable.

In the context of a SPSA dependent failures and secondary effects are very important. Therefore, the screening procedure and the database developed in this research project provide the interfaces necessary to include such effects.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Aufarbeitung des Standes von Wissenschaft und Technik.....</b>	<b>5</b>
2.1	Literaturauswertungen zur Durchführung von Auswahlverfahren bei der Klassifikation seismisch relevanter Ausrüstungen.....	5
2.2	Ein Verfahren zur Bewertung der seismischen Robustheit technischer Ausrüstungen .....	25
2.2.1	Festlegung der zu bewertenden Ausrüstungen.....	27
2.2.2	Vergleich der seismischen Kapazität einer BSK mit der seismischen Anforderung.....	29
2.2.3	Verankerung der Ausrüstung .....	29
2.2.4	Seismische wechselseitige Beeinflussung mehrerer BSK.....	30
2.2.5	Einschätzung von Ausrüstungsklassen mit Regelmengen (caveats).....	31
2.3	Methode zur Einschätzung seismischer Sicherheitsreserven (SMA).....	34
2.4	Stand von Wissenschaft und Technik .....	36
2.4.1	Beispiele für Vorgehensweisen zur Klassifikation von BSK.....	37
2.4.2	Durchführung von Anlagenbegehungen.....	39
2.4.3	Stand der SPSA in Deutschland .....	41
<b>3</b>	<b>Auswahlverfahren – Klassifikation relevanter BSK .....</b>	<b>43</b>
3.1	Auswahlstufe 1: Bestimmung der seismischen Ausrüstungsliste .....	45
3.1.1	Allgemeines zur Auswahlstufe 1 .....	46
3.1.2	BSK – Sicheres Abfahren .....	49
3.1.3	BSK – Auslösende Ereignisse .....	51
3.1.4	BSK – Sonstige .....	53
3.1.4.1	Ergänzungen PSA Stufe 1 .....	57
3.1.4.2	BSK Klasse II.....	58
3.1.4.3	Erdbebenbedingte Brandschäden.....	58
3.1.4.4	Erdbebenbedingte Überflutungen .....	63
3.1.5	Zusammenstellung von Daten zu den seismisch relevanten BSK.....	64

3.2	Auswahlstufe 2: Klassifikation der SAL-Ausrüstungen nach ihrer sicherheitstechnischen Bedeutung .....	65
3.3	Begehungen .....	68
<b>4</b>	<b>Aufbau und Nutzung einer Datenbank zur Anwendung beim Auswahlverfahren einer SPSA.....</b>	<b>70</b>
4.1	Die Datenbankanwendung <DB SPSA> .....	70
4.2	Datenstruktur der Datenbank <DB SPSA>.....	71
4.3	Flexible Nutzung von <DB SPSA>.....	86
4.4	Die Funktionen der Datenbank im Einzelnen .....	88
4.4.1	Das Register <Informationen> .....	88
4.4.2	Das Register <Auswahlverfahren> .....	95
<b>5</b>	<b>Erstellung einer SAL am Beispiel einer Referenzanlage .....</b>	<b>99</b>
5.1	Daten und Informationen zur seismischen Auslegung .....	99
5.2	Anlagenspezifische BSK-Daten und Informationen.....	106
5.3	Informationen aus Begehungen .....	109
5.4	Beispielhafte Nutzung der <i>Datenbank &lt;DB SPSA GKN2&gt;</i> .....	111
5.4.1	Datenbank als Informationsquelle.....	111
5.4.2	Datenbankunterstützung bei der Auswahlstufe 1 .....	114
5.4.2.1	Basisereignisse der PSA Stufe 1 .....	114
5.4.2.2	Störfallauslösende Ereignisse.....	116
5.4.2.3	Seismisch relevante Räume und Begehungspläne .....	116
5.4.2.4	Abhängigkeiten.....	118
5.4.2.5	Erdbebenbedingte Brandschäden.....	120
5.4.2.6	Erdbebenbedingte Überflutungen .....	121
5.4.3	Datenbankunterstützung bei der Auswahlstufe 2 .....	122
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>123</b>
6.1	Das Auswahlverfahren.....	123
6.2	Die Datenbank.....	125
6.3	Erprobungen des datenbankgestützten Auswahlverfahrens mittels Daten des Referenzkraftwerks.....	127

6.4	Ausblick .....	128
6.4.1	Spezifikation einer SPSA-Datenbasis .....	129
6.4.2	Einsatz der SPSA-Datenbasis bei Erstellung, Auswertung, Nutzung und Begutachtung einer SPSA .....	130
6.4.3	Beispielhafter Aufbau einer SPSA-Datenbasis für ein Referenzkernkraftwerk.....	131
6.4.4	Datenbank generischer Versagenswahrscheinlichkeiten .....	131
<b>7</b>	<b>Grundbegriffe, Bezeichnungen und Definitionen.....</b>	<b>132</b>
7.1	Seismische Versagenswahrscheinlichkeiten.....	132
7.2	Antwortspektren.....	137
7.3	Bezeichnungen, Definitionen, Abkürzungen.....	138
7.4	Nomenklatur zur Beschreibung einer BSK und der Raumstruktur.....	141
<b>8</b>	<b>Referenzen .....</b>	<b>144</b>
8.1	Nationale und internationale Fachliteratur.....	144
8.2	Dokumente zur Referenzanlage .....	151
8.3	Dateien und Unterlagen auf CD .....	151
<b>9</b>	<b>Verteiler .....</b>	<b>153</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1:	Einschätzung der SAL-Liste mit dem Screening-Verfahren von DOE nach /DOE 97/.....	27
Abb. 3-1:	Auswahlverfahren.....	43
Abb. 3-2:	Auswahlstufe 1: Bestimmung der seismischen Ausrüstungsliste SAL	48
Abb. 3-3:	Modellierung seismischer Abhängigkeiten.....	54
Abb. 3-4:	Ergänzung der SAL um brandgefährdete BSK .....	63
Abb. 3-5:	Auswahlstufe 2.....	66
Abb. 4-1:	Startbildschirm der Datenbank <DB SPSA>.....	70
Abb. 4-2:	Beziehungen der Tabellen in der <i>Datenbank</i> <DB SPSA> .....	76
Abb. 4-3:	Register <Informationen> .....	89
Abb. 4-4:	Formular zur Anzeige und Verwaltung der BSK-Informationen.....	90
Abb. 4-5:	Formular zur Anzeige und Verwaltung der Raum-Informationen .....	91
Abb. 4-6:	Formular zur Anzeige und Verwaltung der System-Informationen .....	92
Abb. 4-7:	Formular zur Anzeige und Verwaltung der Gebäude-Informationen ..	93
Abb. 4-8:	Formular zur Anzeige von Begehungsinformationen .....	94
Abb. 4-9:	Aufruf von Zusatzinformationen.....	95
Abb. 4-10:	Register <Auswahlverfahren> .....	96
Abb. 4-11:	Entwurf eines Begehungsformblattes .....	98
Abb. 5-1:	Bemessungsspektrum GKN-2, Dämpfung 0,05 (aus /WOE 06/).....	100
Abb. 5-2:	Intensitäts-Eintrittsraten Standort GKN (aus /WOE 06/).....	100
Abb. 5-3:	Abfahren bei Erdbeben (aus /GKN 03/) .....	101
Abb. 7-1:	Versagenskurve einer BSK mit Unsicherheitsbändern.....	132
Abb. 7-2:	BSK-Nomenklatur.....	142
Abb. 7-3:	Nomenklaturbeispiel Beckenkühlpumpe 1 mit Raumzuordnung .....	142
Abb-7-4:	Auszug aus dem Schaltplan Beckenkühlsystem.....	143

## Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1:	Typische seismische Kapazitäten für BSK aus einer SPSA (Beispiele) .....	11
Tab. 2-2:	Seismische Kenngrößen für ausgewählte BSK im Kernkraftwerk Maanshan .....	17
Tab. 2-3:	Ausrüstungsklassen zur Einschätzung mit Regelmengen.....	32
Tab. 3-1:	Abhängige Ausfälle einer Komponente <i>K</i> von weiteren BSK-Ausfällen bei seismischen Einwirkungen.....	55
Tab. 4-1:	Tabellen der <i>Datenbank</i> <DB SPSA>.....	72
Tab. 4-2:	BSK und deren Räume - Datenstruktur der Haupttabelle <tblBSK> ..	77
Tab. 4-3:	Bauwerke und Räume - Datenstruktur von <tblRaum>.....	79
Tab. 4-4:	Systeme – Datenstruktur von <tblSysteme>.....	81
Tab. 4-5:	Gebäude – Datenstruktur von <tblBauwerke>.....	82
Tab. 4-6:	Abhängigkeiten – Datenstruktur von <tblAbhaengigkeit>.....	83
Tab. 4-7:	Ausrüstungsklassen – Datenstruktur von <tblAusruestungsklassen>	83
Tab. 4-8:	Regelmengexx – Datenstruktur von <tblRegelmengexx> .....	84
Tab. 4-9:	Versagenswahrscheinlichkeiten – Datenstruktur von <tblVerswahr>.	85
Tab. 4-10:	Begehungen – Datenstruktur von <tblBegehungen> .....	85
Tab. 4-11:	Datenquellen – Datenstruktur von <tblDatenquellen>.....	86
Tab. 4-12:	Notizen – Datenstruktur von <tblNotizen> .....	86
Tab. 4-13:	Wichtige Abfragen und Makros zur ‘freien‘ Nutzung .....	87
Tab. 5-1:	Inspektionsniveau und maximale Beschleunigungswerte (horizontal) .....	102
Tab. 5-2:	Inspektionsniveau und maximale resultierende Beschleunigungswerte .....	102
Tab. 5-3:	Gegen das Bemessungserdbeben ausgelegte Gebäude der Referenzanlage /GKN 01/, Auswahl .....	103
Tab. 5-4:	Gegen das Bemessungserdbeben im Hinblick auf unzulässige Folgeschäden auszulegende BSK (Klasse II BSK) /GKN 04/ .....	104
Tab. 5-5:	Anzahl der BSK in <tblBSK> .....	111
Tab. 5-6:	Anzahl von Räumen in wichtigen Gebäuden (Beispiele).....	112
Tab. 5-7:	Belegung der Tabellen mit Daten des Referenzkraftwerks .....	113
Tab. 5-8:	Basisereignisse als Ausgangspunkt der SAL-Festlegung (Beispiele) .....	115
Tab. 5-9:	Die BSK der Basisereignisse als Grundstock der SAL.....	116

Tab. 5-10:	Anzahl seismisch relevanter Räume.....	117
Tab. 5-11:	Abhängigkeitsmengen (Beispiele) .....	119
Tab. 5-12:	Seismisch relevante Brandräume (Brandbereiche geordnet nach Bedeutung in der Brand-PSA) .....	120
Tab. 7-1:	Bezeichnungen, Definitionen, Erläuterungen.....	138

# 1 Einleitung

Mögliche Einwirkungen von Erdbeben werden bei der Auslegung von Kernkraftwerken seit der Frühzeit der Kerntechnik berücksichtigt. Wie in allen wissenschaftlich-technischen Bereichen gibt es auch in der Seismik und den zugehörigen Ingenieurdisziplinen eine ständige Weiterentwicklung des Kenntnisstandes. Dies betrifft insbesondere auch die Anwendung probabilistischer Methoden bei der Bewertung dieser übergreifenden Einwirkung von außen auf Kernkraftwerke.

Im deutschen Regelwerk wurde die Anwendung probabilistischer Methoden bis vor einigen Jahren nicht gefordert. Gegenwärtig finden Arbeiten zur Aktualisierung der entsprechenden KTA-Regeln statt /KTA 90/. Es kann davon ausgegangen werden, dass die grundlegenden Methoden der seismischen Auslegung und Auslegungsüberprüfung um probabilistische Herangehensweisen ergänzt werden. Weiterhin sind im überarbeiteten Methodenband des PSA-Leitfadens /FAK 05/ Vorgaben zur Durchführung einer seismischen PSA (SPSA) ergänzt worden. Bis vor kurzem erfolgte die seismische Überprüfung bestehender Anlagen ausschließlich deterministisch analog zur Auslegungsmethodik /JON 05/. In einzelnen Fällen kamen auch vereinfachte probabilistische Methoden zur Anwendung, dies jedoch nicht im Sinne einer vollständigen SPSA. Eine seismische PSA, die den Anforderungen des Methodenbandes zum PSA-Leitfaden /FAK 05/ genügt, ist bislang noch nicht durchgeführt worden. Erste anlagenspezifische Verifizierungen der Methodik wurden erfolgreich durchgeführt /OBE 08/. Es bleibt trotzdem zu erwarten, dass eine erste umfassende Umsetzung der Vorgaben entsprechend dem Leitfaden methodische Defizite erkennen lässt, die eine Weiterentwicklung der Fachbände des Leitfadens erforderlich machen werden.

Der vorliegende Bericht befasst sich mit der Durchführung eines Auswahlverfahrens zur Bestimmung der baulichen Anlagen, Systeme und Komponenten (BSK), für die im Verlauf einer SPSA erdbebenbedingte, anlagenspezifische Versagenswahrscheinlichkeiten zu bestimmen sind. Es geht um ein Verfahren, BSK im Hinblick auf ihre sicherheitstechnische Bedeutung bei seismischen Einwirkungen zu klassifizieren. Dazu sind im aktuellen Methodenband zum PSA-Leitfaden /FAK 05/ nur sehr allgemeine Aussagen enthalten.

Aus probabilistischen Untersuchungen der Stufe 1 für interne auslösende Ereignisse bei Leistungsbetrieb sind die wesentlichen störfallauslösenden Ereignisse (SAE) bekannt. Das Auftreten eines Erdbebens ist ein Auslegungsstörfall, d. h. auch, dass alle

zur Störfallbeherrschung benötigten BSK gegen die Auswirkungen seismischer Lasten ausgelegt sind. Unter einem störfallauslösenden Ereignis werden solche Ereignisse verstanden, die den Reaktorschutz ansprechen und Sicherheitssysteme zur Beherrschung der Situation erfordern. Die von den SAE hervorgerufenen Sequenzen werden in Form von Ereignisablaufdiagrammen beschrieben. Die Verzweigungspunkte eines Ereignisbaumes stehen für die Funktion bzw. den Ausfall einer zur Beherrschung des SAE benötigten Systemfunktion. Der Ausfall einer Systemfunktion wird mit der Fehlerbaummethode bewertet. Dazu wird das System in seine statistisch bewertbaren Funktionselemente (Teilsysteme, Aggregate, Komponenten, Betriebsmittel, Personalhandlungen usw.) zerlegt. Der Ausfall des Systems ergibt sich aus der logischen Verknüpfung von Ausfällen der Funktionselemente. Dies wird in Fehlerbäumen mathematisch beschrieben, die Funktionselementausfälle werden Basisereignisse (BE) der Fehlerbäume genannt. Ein Basisereignis ist bestimmt durch das Funktionselement und die Art des Ausfalls. Die Menge aller störfallauslösenden Ereignisse und ihre Beschreibung mittels Ereignis- und Fehlerbäumen wird PSA-Modell der Stufe 1 genannt.

Zur Beschreibung des Verhaltens der Anlage bei seismischen Einwirkungen mit einer seismischen PSA kann das PSA-Modell der Stufe 1 genutzt werden. Dieses ist allerdings wesentlich zu erweitern.

Zu jedem Basisereignis (und dem dahinter stehenden Funktionselement) ist zu fragen, auf welche zusätzliche, seismisch-induzierte Arten von Ausfällen möglich sind. Der seismisch-induzierte Funktionsausfall einer Komponente ist abhängig von der Intensität des Erdbebens, d. h. das PSA-Modell der Stufe 1 ist um einen makroseismischen Parameter zu ergänzen. Bei seismischen Untersuchungen wird der Begriff des Funktionselements durch die Abkürzung BSK ersetzt. BSK steht für bauliche Anlagen, Systeme und Komponenten. Es wird dadurch deutlich gemacht, dass bei seismischen PSA von einem erweiterten Begriff des Funktionselements ausgegangen werden muss, z.B. durch Einbeziehung von Bauwerkversagen.

Eine BSK ist bei und nach Erdbebeneinwirkung nicht verfügbar, wenn sie

- erdbebenunabhängig “ausgefallen“ ist  
(Dieser Begriff bezeichnet die Nichtverfügbarkeit des Funktionselements aus der PSA der Stufe 1.),
- aufgrund der Erdbebeneinwirkung versagt (Dabei handelt es sich um ein unabhängiges seismisches Einzelversagen.),

- aufgrund von Abhängigkeiten (zwischen mehreren BSK – Gruppe von BSK) versagt,
- infolge des seismischen Ausfalls von Funktionselementen versagt, die nicht im PSA-Modell der Stufe 1 enthalten sind,
- infolge eines erdbebenbedingten Brandschadens ausgefallen ist oder
- infolge einer seismisch bedingten Überflutung ausgefallen ist.

Ein PSA-Modell der Stufe 1 umfasst in vielen Fällen mehr als 2500 Funktionselemente. Bevor nun für jedes dieser Funktionselemente im SPSA-Modell die beschriebene BSK-Erweiterung vorgenommen wird, ist ein Auswahlverfahren durchzuführen, um solche BSK zu identifizieren, deren Ausfallverhalten aufgrund der anlagenspezifischen Gegebenheiten tatsächlich relevant ist und für welche BSK erdbebenbedingte Versagenswahrscheinlichkeiten abgeleitet werden müssen.

Die im vorliegenden Bericht dargestellten methodischen Weiterentwicklungen befassen sich mit der optimalen Durchführung eines derartigen Auswahlverfahrens. Die Erstellung und Quantifizierung des seismischen PSA-Modells wird in einem weiteren Vorhaben /GRS 07a/ behandelt.

Im Methodenband zum PSA-Leitfaden /FAK 05/ wird die Bedeutung eines Auswahlverfahrens unterstrichen, allerdings werden dazu keine methodischen Vorgaben gemacht. Es wird nur festgestellt, dass das Auswahlverfahren mit gut vorbereiteten Anlagenbegehungen einhergehen muss.

Das Ziel von Anlagenbegehungen ist die Identifikation von Anlagenteilen, die nach Maßgabe ingenieurtechnischer Erfahrung (Expertenwissen) eine offenkundige und hinreichende Erdbeben-Widerstandsfähigkeit aufweisen. Ein weiteres Ziel von Anlagenbegehungen ist die Vor-Ort-Beurteilung möglicher Wechselwirkungen von BSK im Sinne einer ungünstigen gegenseitigen Beeinflussung.

Anlagenbegehungen sind nicht nur ein wichtiger Analyseschritt bei der Durchführung von SPSA, sondern bilden auch das Kernstück der Methodik zur Einschätzung seismischer Sicherheitsreserven (SMA – Seismic Margin Assessment, siehe z. B. /ANS 03/).

Die Methodik der Anlagenbegehung wird auch im PSA-Leitfaden als ausgereift beurteilt. Im vorliegenden Bericht wird eine datenbankgestützte, raumorientierte Vorgehensweise zur Minimierung des Behebungsaufwandes abgeleitet.

Die im Bericht erarbeiteten Methoden wurden im Wesentlichen theoretisch auf der Grundlage der Auswertung des Stands von Wissenschaft und Technik abgeleitet, konnten aber mit Unterstützung einer Referenzanlage in-situ zumindest teilweise erprobt werden. Die Anwendung der Methoden bei einer vollständigen SPSA für ein Kernkraftwerk im Rahmen eines Genehmigungsverfahrens oder einer periodischen Sicherheitsüberprüfung (SÜ) steht noch aus.

Die Anlage Gemeinschaftskraftwerk Neckarwestheim, Block 2 (GKN-2) stand als Referenzkraftwerk zur Verfügung. Nur durch die aktive Unterstützung durch das Fachpersonal der Referenzanlage, durch die Bereitstellung umfangreicher Informationen und Daten zur Anlage sowie durch die Ermöglichung umfangreicher Begehungen konnten die Ziele des Vorhabens erfolgreich erfüllt werden.

Der vorliegende technische Fachbericht zur Darstellung der Ergebnisse ist folgendermaßen strukturiert:

Die Aufarbeitung des Standes von Wissenschaft und Technik wird in Kapitel 2 beschrieben. Dazu wurden ca. 40 nationale und internationale Referenzen herangezogen (siehe Kapitel 8.1), von denen ungefähr die Hälfte konspektiert wurden (Kapitel 2.1 bis 2.2). In Kapitel 2.4 ist der Stand von Wissenschaft und Technik zusammengefasst.

In Kapitel 3 wird das im Rahmen des Vorhabens RS1180 hergeleitete eigentliche Auswahlverfahren beschrieben, Kapitel 4 enthält die Ableitung und Beschreibung der das Verfahren unterstützende Datenbank <DB SPSA>.

In Kapitel 5 werden am Beispiel von Daten und Informationen des Referenzkernkraftwerks das Auswahlverfahren sowie einige Prozeduren der Datenbank erprobt. Die Ergebnisse des gesamten, in diesem Vorhaben abgeleiteten Verfahrens zur Klassifizierung von baulichen Anlagen, Systemen und Komponenten in Hinblick auf ihre sicherheitstechnische Bedeutung bei seismischen Einwirkungen sind zusammenfassend in Kapitel 6 dargestellt. In Kapitel 7 sind wichtige Grundbegriffe und Definitionen zur Durchführung von SPSA zusammengefasst.

## **2           Aufarbeitung des Standes von Wissenschaft und Technik**

Nachfolgend wurden eine Reihe von Fachartikeln zur Frage der Auswahl von BSK und der Durchführung von Begehungen ausgewertet. Die konspektierten Artikel sind im Literaturverzeichnis (vgl. Kapitel 8.1) gekennzeichnet, zur Bedeutung von Abkürzungen siehe Tab. 7-1.

### **2.1           Literaturlauswertungen zur Durchführung von Auswahlverfahren bei der Klassifikation seismisch relevanter Ausrüstungen**

/RIC 08/   Richner, M., et al.

Insights gained from the Beznau seismic PSA including level 2 considerations, ANS, PSA 2008, Knoxville, TN (USA), 2008

Die seismische Ausrüstungsliste (SAL) umfasste ursprünglich 1400 Komponenten, darunter mehr als 400 per Hand zu betätigende Armaturen und Rückschlagklappen kleiner 10 Inches. Diese wurden als Teil des Rohrleitungssystems aufgefasst und aus der SAL entfernt. Danach umfasste die SAL 992 Komponenten, darunter auch die Komponenten des Containmentsystems (Ziel der Beznau-PSA war auch die Einschätzung früher großer Freisetzungen (englisch: large early release frequencies, LERF)).

Von den 992 Komponenten wurden 200 als besonders robust gegenüber seismischen Einwirkungen eingeschätzt. 790 Komponenten verblieben in der Datenbank. Für diese Komponenten wurden seismische Ausfallwahrscheinlichkeiten durch Transformation der lokalen HCLPF-Kapazität zu einer medianen Freifeldkapazität unter Nutzung von Verstärkungsfaktoren aus der probabilistischen Antwortspektrumanalyse abgeleitet.

Generische seismische Ausfallwahrscheinlichkeiten wurden für externe Netzkomponenten genutzt (70 Komponenten der SAL). Für 280 weitere Komponenten wurden Gruppen von 33 gleichen seismischen Ausfallwahrscheinlichkeiten ermittelt. Für die verbliebenen 440 Komponenten wurden einzelne Analysen durchgeführt.

/BUD 91/   Budnitz, R. J.

Current state of methodologies for seismic probabilistic safety analyses  
Reliability Engineering and System Safety 62(1998), pp. 71-88; 1998

Bei der Beschreibung der bei SPSA angewandten Methoden wird die Notwendigkeit von Begehungen hervorgehoben und kurz zusammengefasst erklärt, dass Begehungen den Kern einer SPSA darstellen.

Nachfolgend einige wesentliche Aussagen aus /BUD 98/ zur Durchführung von Begehungen:

“There is a broad consensus among seismic-PSA analysts that the plant walkdown is the most crucial aspect of the entire process. By using a well-planned and effectively executed walkdown, the analysis team can develop vital information about the plant configuration, specific spatial relationships, anchorages, and other features that cannot be found any other way. Further, if a good walkdown is not performed, neither the seismic-capacity analyst nor the systems analyst can properly perform the required work.

A walkdown team usually consists of expertise drawn from the following areas: seismic-fragility-analysis, systems-analysis, and plant operations/maintenance. Sometimes, the walkdown teams can consist of several representatives of each area, although having too many individuals on a walkdown can lead to a clumsy and inefficient evaluation.

For the seismic-capacity team, the crucial benefit of the walkdown is that they can determine, for each important item (structure or component), whether that item is 'typical' of its generic category, or somehow atypical or even unique. If it is judged to be 'typical', then information from the broad class in which the item fits can usually be used, eliminating the need for special analysis. If an unusual component or structure is identified, it can be given the special attention that it deserves.

Another important benefit of the walkdown is the interaction that occurs among the systems analysis team, the seismic-capacity analysis team, and the plant's operating and maintenance staff. These various groups should be working together throughout the seismic-PSA effort, but their interactions are most crucial during the walkdown, when each can assist the others in identifying the more important issues and screening out the less important.

For the systems-analysis team, another major reason for the walkdown is the opportunity to understand just how the operating crew has been trained to carry out its tasks, especially during emergencies. This understanding is crucial to the development of a correct system model (event trees and fault trees).”

/COO 96/ Cooper Nuclear Power Plant (CNPP)  
IPEEE-Report, CNPP, 1996  
chapter: Seismic Event Evaluation Summary

Folgende Gebiete wurden bzgl. der Seismik-Brand-Wechselwirkungen untersucht:

- seismische Gefährdung von Brandschutzeinrichtungen,
- Austreten von brennbaren Flüssigkeiten oder Gasen aufgrund eines seismischen Ereignisses,
- unbeabsichtigtes Ansprechen von Feuerlöschsystemen,
- seismische Gefährdung von Brandbarrieren.

/DOE 02/ U.S. Department of Energy (DOE)  
Natural Phenomena Hazards Performance Categorization Guidelines for  
Structures, Systems, and Components, OE-STD-1021-93; 2002

Der Standard beschäftigt sich mit der Klassifikation von BSK bezüglich ihrer Widerstandsfähigkeit bei äußeren Einwirkungen. Es werden die Kategorien PC-0 bis PC-4 unterschieden. Je höher der Kategorienwert ist, desto größer ist die Robustheit der BSK gegen äußere Einwirkungen und desto kleiner ist die Überschreitenswahrscheinlichkeit von vorgegebenen Belastungsgrenzen.

Im Detail wird im Standard auf die Bewertung von Wechselwirkungen zwischen den BSK unterschiedlicher Kategorien eingegangen. Es zeigt sich, dass mögliche erdbebenbedingte Interaktionen erst einmal gefunden werden müssen (Begehungen!), des Weiteren zu beschreiben und schließlich zu bewerten sind.

Nachfolgend finden sich zwei Beispiele (im DOE-Standard sind weitere aufgeführt):

- In einem Raum befindet sich ein Dieselgenerator mit den entsprechenden Hilfssystemen. Über dem Dieselgenerator ist eine Vorrichtung zur Beleuchtung angebracht.  
Die erste Frage gilt dem Ausfall der Beleuchtungsfunktion. Es wird festgestellt, dass die notwendigen Operateurshandlungen im Erdbebenfall nicht von der Beleuchtung abhängen.  
Die zweite Frage: Kann der erdbebenbedingte Absturz der Beleuchtungseinrich-

tung die Funktion des Diesels beeinträchtigen? Im Beispiel wird dies für den Diesel an sich verneint, allerdings gibt es dünne freiliegende Ölleitungen des Schmiersystems, die durch den Absturz leck werden könnten.

- Ein Schornstein auf dem Kraftwerksgelände (Wäscherei) ist nicht gegen Erdbeben ausgelegt. In der Nähe steht auf dem Außengelände eine Pumpe. Natürlich kann der Schornstein erdbebenbedingt umfallen und die Pumpe schädigen, allerdings ist bei der Bewertung die Wahrscheinlichkeit einzubeziehen, dass der Schornstein gerade in Richtung Pumpe umfällt.

/BEN 91/ Benjamin, J. R., et al.

A Methodology for Assessment of Nuclear Power Plant Seismic Margin  
(Revision 1), EPRI NP-6041-M, Final Report; August 1991

Die Zusammensetzung des Bearbeitungsteams (SMA-Team) ist eine entscheidende Voraussetzung für eine fachgerechte Auswahl von BSK, die zur Einschätzung der seismischen Kapazität eines Kernkraftwerks betrachtet werden müssen. Dem Team sollten Personen des Betriebspersonals, Systemingenieure und Seismikspezialisten angehören. Das Betriebspersonal sollte mit den Betriebs- und Notfallprozeduren und den möglichen Operateurreaktionen bei Störfällen vertraut sein. Die Systemingenieure identifizieren die Abfahralternativen und alle BSK (Haupt- und Supportsysteme) der Abfahrpfade. Bei einer SMA (seismic margin assessment) wählen die Systemingenieure die Hauptabfahrsequenz und eine alternative Sequenz aus; bei einer SPSA entwickeln und nutzen sie das Anlagenmodell (Fehler- und Ereignisbäume). Unter den Systemingenieuren sollte sich ein Elektroingenieur befinden, z. B. zur Einschätzung der Auswirkungen von seismisch-induziertem Kontaktprellen von Relais. Die Hauptaktivität bei einer SMA besteht in der Bestimmung der seismischen Kapazitäten (HCLPF-Werte) aller BSK in den Abfahrsequenzen. Bei einer SPSA ist zumindest beim Auswahlverfahren festzustellen, ob es für eine Fehlerbaumkomponente erforderlich ist, seismische Versagenswahrscheinlichkeiten zu bestimmen. Dies ist die Aufgabe der Seismikspezialisten.

Normalerweise sollte ein Begehungsteam ca. fünf Personen in der genannten fachlichen Zusammensetzung mit folgenden Kenntnissen umfassen:

- Anlagenkenntnisse,
- Kenntnisse zur Durchführung und Auswertung von Systemanalysen und SPSA,

- Kenntnisse zu Ausfallarten und Arbeitsweise von BSK bei Erdbeben (orientiert auch an den Auswirkungen von Erdbeben in der Schwerindustrie und in konventionellen Kraftwerken),
- Kenntnisse zu seismischen Auslegungsanforderungen von Kernkraftwerken (insbesondere für Strukturen, Behälter, Rohrleitungen, Prozess- und Kontrollausrüstungen und aktive elektrische Komponenten).

/ANC 91/ ANCO Engineers

Generic Seismic Ruggedness of Power Plant Equipment (Revision 1),  
EPRI NP-5223-M, Final Report; August 1991

1980 wurde von der U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC) festgestellt, dass die seismische Qualifikation von Kraftwerksausrüstungen ein ungelöstes Problem darstellt. Daraufhin wurden zwei Studien initiiert:

- Untersuchung der seismischen Qualifikation von Ausrüstungen anhand historischer Erdbebendaten (SQUG-Studie, SQUG steht für *Seismic Qualifikation Utility Group*)
- Auswertung der umfangreichen Daten und Informationen aus den seismischen Qualifikationstests für Kernkraftwerks-Ausrüstungen (1984, EPRI).

In der SQUG-Studie wurden 8 (später 20) Klassen von Ausrüstungen konventioneller Kraftwerke herangezogen. Es zeigte sich, dass eine große Anzahl von Ausrüstungen gegenüber seismischen Einwirkungen sehr robust ihre Funktion erfüllt.

Die Studie von EPRI (*Electric Power Research Institute*) ergab generische Spektren für jede dort definierte Ausrüstungsklasse (GERS, zur Definition siehe Tab. 7-1):

- Regeln und Hinweise zur Zuordnung einer speziellen Ausrüstung zu einer Klasse,
- Checklisten für jede Ausrüstungsklasse zur Überprüfung der Zugehörigkeit.

Eine Ausrüstung erfüllt die Auswahlkriterien, wenn gezeigt werden kann, dass sie zu einer Ausrüstungsklasse mit bekannter GERS gehört und das geforderte Antwortspektrum (RSS) der Ausrüstung vom entsprechenden generischen Spektrum (GERS) eingehüllt wird. Bei dieser Auswahl werden die Verankerung der Ausrüstung vor Ort und andere anlagenspezifische Besonderheiten (z. B. Einfluss von nahestehenden anderen

Ausrüstungen) nicht berücksichtigt. Diese Fragen sind bei Begehungen zu klären (Begehungschecklisten).

Es wird im Bericht darauf hingewiesen, dass die GERS nur für Ausrüstungen älterer Kernkraftwerke zu nutzen sind. Für neue Ausrüstungen muss zuvor gezeigt werden, dass das entsprechende generische Spektrum anwendbar ist.

/HAR 01/ Hardy, G. S., et al.

Seismic IPEEE Results and their Use in Risk-Informed Applications, in: Proceedings of SMiRT 16; August 2001

Es wurden seismische PSA für 110 Kraftwerksblöcke ausgewertet. Die Ausfälle folgender BSK sind dominant: Schränke (elektrisch), Behälter und Gebäudestrukturen. Eine weitere Gruppe wichtiger BSK sind Transformatoren, Batterien und Dieselgeneratoren; weniger wichtig sind Kühler, Lüfter, Pumpen, Relais, Kabelpritschen, Wärmetauscher, Rohrleitungen, Schieber und Ventile.

Es gibt Kraftwerke mit extrem geringer seismischer Kapazität, z. B.  $F_{HCLPF} = 0,05 \text{ g}$  und  $F_{0.50} = 0,26 \text{ g}$  (zu den Bezeichnungen siehe Kap. 7).

/IAE 93/ International Atomic Energy Agency (IAEA)

Probabilistic Safety Assessment for Seismic Events, IAEA-TECDOC-724, Vienna, Austria; October 1993

[http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te\\_724\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_724_web.pdf)

Begehungen als Teil einer SPSA sind eine effektive Möglichkeit festzustellen, für welche BSK detaillierte Fragilitätsuntersuchungen durchgeführt werden müssen, welche ausreichend durch generische Fragilitätskurven repräsentiert werden können und welche in dieser Hinsicht ausgesondert werden können.

– Massive Ausrüstungen

(Pumpen, Armaturen, Dieselgeneratoren, Kühler, Behälter, Wärmetauscher):

Gut verankerte massive Ausrüstungen sind seismisch nicht anfällig. Manchmal sind untergeordnete Bauteile für den Ausfall verantwortlich (z. B. Diesel-Tagestank für den Dieselgenerator).

– Verteilungssysteme

(Rohrleitungen, Kabeltrassen, elektrische Stromkreise):

Verteilungssysteme sind - wie Erfahrungen bei real aufgetretenen Erdbeben zeigen - seismisch robust. Der Knackpunkt ist die unterschiedliche seismische Verankerungserschütterung der Verteilungssysteme zur Gebäudebewegung.

- Schränke (elektrisch, leittechnisch):

Die Funktionalität lässt sich kaum durch visuelle Inspektionen einschätzen. Die strukturellen Merkmale können allerdings bewertet werden.

Es ist die strukturelle Kapazität von BSK aufgrund ihrer Verankerung und der angeschlossenen, untergeordneten BSK (z. B. Supportsysteme) einzuschätzen. Potenzielle Wechselwirkungen zwischen BSK sind zu bewerten.

/IAE 06/ International Atomic Energy Agency (IAEA)

Advanced nuclear plant design options to cope with external events,  
IAEA-TECDOC-1487, Vienna, Austria; February 2006

[http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te\\_1487\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1487_web.pdf)

mit: Ravindra, M.K. - Seismic probabilistic safety assessment of NPP (Annex I)

**Tab. 2-1:** Typische seismische Kapazitäten für BSK aus einer SPSA (Beispiele)

<b>BSK</b>	<b>F<sub>0,50</sub> [g]</b>	<b>HCLPF [g]</b>	<b>β<sub>U</sub></b>	<b>β<sub>R</sub></b>
Reaktorgebäude	1,76	0,70	0,30	0,26
Hilfsanlagegebäude	1,07	0,50	0,26	0,21
Reaktordruckbehälter	2,34	0,90	0,33	0,25
Nachwärmepumpen	1,86	0,75	0,22	0,33
Boreinspeisebehälter	0,95	0,34	0,36	0,27
Diesgeneratoren	1,02	0,48	0,20	0,26
Diesgeneratoren, Schaltpult	0,59	0,24	0,25	0,30
4,160 V- / 480 V-Transformatoren	0,82	0,37	0,20	0,28
Wärmetauscher, Hilfsspeisewasser	1,02	0,41	0,25	0,30

Weltweit wurden für mehr als 50 Kernkraftwerke SPSA angefertigt. Es wird als ein wesentliches Resultat dieser SPSA festgestellt, dass die Bedeutung der Durchführung von Begehungen zur Identifizierung von seismischen Schwachstellen nicht genug herausgestellt werden kann.

/JON 03/ Jonczyk, J.

Methoden zur Erfassung und Eingrenzung von Anlagenteilen bei erdbebenspezifischen Ausfalleffekten und zur Quantifizierung des Ausfalls von Sicherheitsfunktionen bei seismischen Abhängigkeiten, Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-A-3181, Köln; Dezember 2003, hier Arbeitspunkt 2: Seismik, Kapitel 4 (Konzept zur Auswahl von Anlagenteilen)

Seismische Anlagenbegehungen:

- Team: Ein Begehungsteam sollte folgende Fachgebiete umfassen:  
Systemanalyse, Strukturanalyse, Anlageninstandhaltung und -betrieb
- Ziele: Aussonderung von Anlagenteilen, die nach Maßgabe von Kriterien (Ingenieurerfahrung, Expertenwissen) eine offenkundige und hinreichende Erdbeben-Widerstandsfähigkeit aufweisen.  
Vor-Ort-Beurteilung möglicher BSK-Wechselwirkungen im Erdbebenlastfall

Zur Beantwortung der grundsätzlichen Frage, welche BSK zu überprüfen sind und welches die maßgeblichen Anlagenteile sind, wird vorgeschlagen, die Ausgangsliste der BSK mit der Einhaltung von definierten Schutzziele einer Anlage zu verknüpfen /JON 99/. Das Vorgehen ist in /JON 03/, Abb. 4.1 erläutert.

Schritte einer deterministischen Sicherheitsanalyse sind für die übergreifende Einwirkung Erdbeben sind:

- Festlegung der Grundmenge von BSK (d. h. einer minimalen, aber hinreichenden Anzahl von BSK):
- Auswahlprozess:  
Es verbleibt eine Menge von BSK (Untermenge der Grundmenge) mit geringer Erdbebenwiderstandsfähigkeit.
- Identifizierung von BSK mit Defiziten.

/KEN 84/ Kennedy, R. P., M. K. Ravindra

Seismic Fragilities for Nuclear Power Plant Risk Studies, Nuclear Engineering and Design 19 (1984), pp. 47-68; 1984

Zur Auswahl der BSK, für die anlagenspezifische seismische Versagenswahrscheinlichkeiten bestimmt werden müssen, wird ein iterativer Prozess in Zusammenarbeit von System- und Strukturanalysten vorgeschlagen:

- Zusammenstellung einer Liste von BSK, deren Ausfall zu Gefährdungszuständen führt,
- Gruppierung der BSK in generische Kategorien bez. der Bestimmung von seismischen Versagenswahrscheinlichkeiten,
- Auswertung von Dokumentationen (Beschreibungen, Rütteltests, Auslegungsunterlagen, Begehungen, Sichtprüfungen etc.) zu den gefundenen BSK und deren Umfeld führen zur Einschränkung bzw. Erweiterung der Zusammenstellung relevanter BSK,
- Klassifikation aller relevanten BSK in Bezug auf die Notwendigkeit einer anlagenspezifischen Bestimmung von seismischen Versagenswahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit von deren Bedeutung im PSA-Anlagenmodell.

/KLA 06/ Klapp, U., et al.

Begehung für die seismische PSA GKN I, in: Probabilistische Sicherheitsanalysen in der Kerntechnik, Symposium, München; 23. - 24. November 2006

Bei einer Begehung werden jene BSK hinsichtlich ihrer seismischen Kapazität bewertet, deren Versagen zu einem auslösenden Ereignis führt oder die zur Beherrschung der auslösenden Ereignisse benötigt werden. Als Grundlage der Auswahl werden das deterministische Schutzkonzept und die PSA für den Leistungsbetrieb herangezogen.

Die Anlagenbegehung erfolgte nach Regeln und Richtlinien, z.B. entsprechend /ANS 03/.. Ausgangspunkt sind BSK (hier 600, eingeteilt in 27 generische BSK-Klassen). Zur Begehung gibt es Formblätter, welche bei der systematischen Erfassung aller Aspekte, die für die seismische Kapazität einer BSK wesentlich sind, helfen. Für insgesamt 571 BSK der seismischen Ausrüstungsliste wird festgestellt, ob eine BSK 'typisch' für ihre generische Klasse ist oder davon abweicht.

Die Auswertung der Begehungsformulare ergibt drei Kategorien von BSK:

- Kategorie 1:  
BSK können ausgeschlossen werden (z. B. solche mit geringer Masse, Rückschlagarmaturen).
- Kategorie 2:  
Pumpen, Ventile, Schaltanlagen, Elektronikschränke etc.  
Es erfolgt eine Zuordnung von generischen Versagenswahrscheinlichkeiten, falls Wechselwirkungen mit anderen Ausrüstungen entfallen.
- Kategorie 3:  
BSK, die bei Begehung nicht vollständig beurteilt werden konnten (z. B. Gebäude, isolierte Behälter, Schwingungsdämpfer unbekanntem Typs) oder solche, die eine besondere Anfälligkeit gegenüber einer bestimmten Ausfallursache aufweisen (z. B. Aneinanderstoßen von Schaltschränken).  
Es erfolgt eine Ermittlung von komponentenspezifischen Versagenswahrscheinlichkeiten (aus Auslegungsrechnungen, Verankerungsnachweisen, dokumentierten Rütteltests etc.).

/KLA 08/ Klapp, U., A. Strohm, M. K. Ravindra  
Seismische PSA für GKN I, in: Probabilistische Sicherheitsanalysen in der Kerntechnik, Symposium, Mannheim; 17. - 18. April 2008

Auf Basis der PSA für den Leistungsbetrieb sowie des deterministischen Erdbebenschutzkonzeptes wurden solche BSK ausgewählt, die bei einem erdbebenbedingtem Versagen zu auslösenden Ereignissen führen können oder die zur Beherrschung dieser auslösenden Ereignisse benötigt werden. Dies ergibt die seismische Ausrüstungsliste (SAL). Die BSK der SAL werden im Rahmen einer Begehung hinsichtlich ihrer seismischen Kapazität überprüft. Dabei wird überprüft, ob die Komponenten typisch für ihre generische Komponentenklasse sind oder ob sie sich in einer oder mehreren Eigenschaften unterscheiden. Die Begehung wird mit Fotos und Formblättern dokumentiert.

Die SAL umfasst insgesamt 546 Komponenten (40 Behälter/Wärmetauscher, 80 Pumpen, Lüfter, 320 Ventile, 106 elektrotechnische Komponenten, wie Schaltanlagen, Transformatoren, Batterien, Gleichrichter, Wechselrichter). 436 Komponenten konnten

verworfen werden, für die verbleibenden 110 Komponenten wurden anlagenspezifische Rechnungen durchgeführt.

/KLU 06/ Klügel, J.-U.

Fünfzehn Jahre Erdbeben-PSA im Kernkraftwerk Gösgen – ein hinterfragender Rückblick, in: Probabilistische Sicherheitsanalysen in der Kerntechnik, Symposium, München; 23. - 24. November 2006

Klügel unterteilt eine Seismik-PSA in folgende Arbeitsschritte:

1. Standortspezifische Erdbebengefährdungsanalyse
2. Beurteilung des Anlageantwortverhaltens mit:
  - Auswahl der BSK, die zum sicheren Abfahren beitragen können
  - Erdbebenfestigkeit der ausgewählten BSK
  - Ereignisablaufanalyse (Unterscheidung zwischen primären und sekundären Fehlern)
3. Entwicklung des probabilistischen Anlagenmodells und Quantifizierung der seismischen Versagenswahrscheinlichkeiten
4. Quantifizierung der seismischen auslösenden Ereignisse

Beim Auswahlverfahren wird auf die Risikorelevanz der sicherheitstechnisch relevanten Komponenten zurückgegriffen (Importanzlisten). Für die Beschreibung der seismischen Abhängigkeit wird eine vollständige Kopplung angenommen.

/KOZ 04/ Kozloduy Nuclear Power Plant

Erdbeben-PSA Kozloduy, Block 5 und 6, 2004

Es ist nicht möglich, alle Komponenten einer PSA der Stufe 1 separat bezüglich ihres Ausfallverhaltens bei seismischen Einwirkungen einzuschätzen. Deshalb wird eine Gruppierung der Komponenten im Hinblick auf Struktur und Funktion durchgeführt (36 Gruppen, vgl. /KOZ 04/, Tabelle T2/4-1).

Anlagenbegehungen werden durchgeführt, um den aktuellen Zustand der Anlage zu bewerten (Vergleich: Spezifikation von Komponenten in der Dokumentation mit dem

Vor-Ort-Zustand). Von besonderem Interesse sind Komponenten, deren Ausfall an sich nicht problematisch wäre, die aber mit ihrem Verhalten bei seismischen Einwirkungen andere, wichtige Komponenten schädigen können. Begehungen wurden nicht auf einer systematischen Grundlage durchgeführt.

/VAR 96/ Varpasuo, P., J. Puttonen, M. K. Ravindra

Seismic probabilistic safety analysis of unit 1 of the Loviisa nuclear power plant, Nuclear Engineering and Design 160 (1996); 1996

Das Auswahlverfahren (scoping study) wird auf der Grundlage einer Durchsicht der Anlagendokumentation und umfangreicher Begehungen durchgeführt. Die Anlagenkomponenten werden in zwei Klassen unterteilt:

- Komponenten mit großer seismischer Kapazität:  
Diesen Komponenten werden generische Versagenswahrscheinlichkeiten zugeordnet. Der HCLPF-Wert dieser Komponenten wird größer als 0,1 g eingeschätzt. Beispiele sind das Reaktordruckgefäß, die ND-Einspeisepumpe sowie der Dieseltagestank.
- Komponenten, für die anlagenspezifische Versagenswahrscheinlichkeiten abgeleitet werden müssen, d. h. entweder ist die HCLPF-Kapazität dieser Komponenten kleiner als 0,1 g oder die vorliegenden Informationen sind nicht ausreichend, um die Kapazität zu bewerten. Beispiele sind der Dieselvorratsbehälter, Relaischränke sowie der Speisewasserbehälter.

/CHE 96/ Cheng, S.-K., S.-C. Chiang

Seismic Living PRA for a Westinghouse PWR; 1996

Für eine Living-SPSA wird festgelegt, dass BSK als Basisereignisse im PSA-Modell berücksichtigt werden, wenn (zu den Bezeichnungen siehe Kap. 7.1)  $F_{0,50} \leq 3,0$  g und  $HCLPF < 0,97$  g ist. In einer Tabelle sind für BSK einige anlagenspezifische Werte angegeben (Auszüge in Tab. 2-2). Für die dritte Spalte ist die Summe der Streuungen (vgl. Formel 5 in Kapitel 7.1, nicht in /CHE 96/ enthalten) berechnet worden.

**Tab. 2-2:** Seismische Kenngrößen für ausgewählte BSK im Kernkraftwerk Maanshan

BSK	$F_{0,50}$ [g]	HCLPF [g]	$\beta_U + \beta_R$
Component cooling water pump	1,39	0,57	0,54
Diesel fuel-oil storage tank	1,90	0,60	0,70
Auxiliary/control building	2,00	0,65	0,68
Component cooling water heat exchanger	2,11	1,13	0,38
125 V DC batteries and racks	2,13	1,46	0,23
Diesel generator	2,23	1,34	0,31
Component cooling water building	2,50	0,76	0,72
Cable trays and supports	2,74	0,81	0,74
Steam generators	3,26	0,93	0,76

/FAK 05/ Facharbeitskreis (FAK) Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke

Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke,  
Stand: August 2005, BfS-SCHR-37/05, Wirtschaftsverlag NW / Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Salzgitter; Oktober 2005

Das Auswahlverfahren ist im Methodenband /FAK 05/ zum PSA-Leitfaden in Kapitel 3.6.4.6.2.1, S.111 'Auswahl der Komponenten und Strukturen, Begehungen' beschrieben.

Für folgende BSK werden seismisch bedingte Versagenswahrscheinlichkeiten benötigt:

- Ein seismisch bedingter Ausfall der BSK führt zu auslösenden Ereignissen.
- Die BSK steht im Zusammenhang mit den erforderlichen Sicherheitsfunktionen.

Es sind (relativ vage) einige Kriterien zur Beurteilung der Widerstandsfähigkeit von BSK gegen seismische Lasten formuliert (siehe /FAK 05/, S. 112), z. B.:

- Berücksichtigung von Erdbebennachweisen,
- Nutzung generischer Versagensbeschleunigungswerte von Komponenten,
- Auslegungsüberprüfung durch Begehungen,

- Überprüfung anordnungsbedingter Abhängigkeiten,
- Komponenten, die bezüglich ihrer Ausfallwirkung mit anderen logisch 'ODER'-verknüpft sind und gegenüber diesen eine deutlich höhere Widerstandsfähigkeit gegen seismische Lasten haben, können aus der Betrachtung eliminiert werden.  
(*Ein Ausfall tritt ein, wenn Komponente A ODER Komponente B ausfällt. Hat Komponente B eine deutlich höhere Widerstandsfähigkeit im Vergleich zu Komponente A und tritt B nur in dieser Kombination im Gesamtfehlerbaum auf (diese Bedingung fehlt im PSA-Methodenband zum Leitfaden /FAK 05/), muss man sich im Rahmen der Seismik nur um die Versagenswahrscheinlichkeit von A kümmern.*)

Es wird festgestellt, dass in /NEA 98/ das Verfahren der Anlagenbegehung als sehr ausgereift beurteilt wird.

/NEA 98/ OECD Nuclear Energy Agency (NEA) Committee on the Safety of Nuclear Installations (CSNI)

State-of-the-Art report on the current status of methodologies for seismic PSA, NEA/CSNI/R(97)22, Paris; March 1998

<http://www.nea.fr/html/nsd/docs/1997/csni-r1997-22.pdf>

Bei der Beschreibung der SPSA-Methodik werden sechs Teilmethoden unterschieden. Es wird betont, dass die Durchführung von Begehungen und die dabei anzuwendende Methode das Herzstück einer SPSA darstellt. Begehungen sind unerlässlich, nur damit können Informationen zu räumlichen Beziehungen von BSK, zu speziellen Verankerungen von Komponenten oder anderen BSK-Eigenschaften erhalten werden.

Es wird eine Reihe von Literaturstellen aufgeführt, von denen behauptet wird, dass damit ein vorzüglicher Leitfaden zur Durchführung von Begehungen vorliegt. Die aktuellste Arbeit ist dabei allerdings aus dem Jahr 1992. Interessant erscheint vor allem /MCC 85/. Dort ist in einer Liste von BSK aufgeführt, wohin und warum man bei den einzelnen Ausrüstungen im Zusammenhang von seismischen Begehungen schauen muss (/MCC 85/, Tab. 9.3.5).

Insgesamt wird die Methodik, seismische Begehungen durchzuführen und auszuwerten, als sehr ausgereift beurteilt.

/CHE 91/ Chen, J. T., et al.

Procedural and Submittal Guidance for the Individual Plant Examination of External Events (IPEEE) for Severe Accident Vulnerabilities, Final Report, NUREG-1407; 1991

Die Auswertung von umfassenden PSA hat gezeigt, dass der Beitrag anlagenexterner übergreifender Einwirkungen auf die Häufigkeit von Kernschadenzuständen erheblich sein kann. Schon 1987 wurde von der U.S. NRC eine Steuerungsgruppe von Experten einberufen, die Umfang, Methoden und Organisation des IPEEE-Programms (*individual plant examination of external events*) koordinieren sollte. Der Leitfaden /CHE 91/ ist das Ergebnis der Arbeit der Steuerungsgruppe, die Analyse von Erdbebenereignissen spielt dabei eine zentrale Rolle. Es werden die Methoden der SPSA und SMA (*seismic margin assessment*) als akzeptierte Vorgehensweisen zur Durchführung seismischer Analysen innerhalb des IPEEE-Programms beschrieben. Nachfolgend werden einige Gesichtspunkte aus /CHE 91/ zum Auswahlverfahren und zur Durchführung von Begehungen hervorgehoben.

Wird die Durchführung einer umfassenden PSA in Erwägung gezogen, ist es aus verschiedenen Gründen besser, von vornherein bei der Planung der PSA der Stufe 1 die spätere Erweiterung um eine SPSA im Auge zu behalten:

- Begehungsplanung und -auswertung:  
Bei einer gut organisierten Begehung können mehrere Aspekte gleichzeitig behandelt werden.
- Fehlerbaumerstellung:  
Bei der Erstellung von Fehlerbäumen sollten von vornherein die räumlichen Beziehungen der Komponenten berücksichtigt werden (z. B. Vorsicht beim vorzeitigen Ausschluss passiver Komponenten).
- Bei der Betrachtung von störfallauslösenden Ereignissen sollte man berücksichtigen, dass die seismischen Ausfallwahrscheinlichkeiten von der Aufstellungsebene abhängig sind.

Es wird betont, dass jeder Betreiber bei Durchführung einer SPSA unbedingt eine Begehung entsprechend /BEN 91/ durchführen sollte.

/BLO 09/ Bloem, T., R. Obenland

Experience from a Seismic Probabilistic Safety Assessment of a German PWR, in: Conference Proceedings of 20<sup>th</sup> International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT 20), Espoo, Finland; August 2009

Rohrleitungen sind aus folgenden drei Gründen sehr widerstandsfähig bei seismischen Einwirkungen:

- Es werden duktile Materialien eingesetzt.
- Durch ovale Kreuzungspunkte besteht ein hohes Biegemoment.
- Die Leitungsführung wird durch Auflagen unterstützt.

Es werden keine detaillierten Kurven von Versagenswahrscheinlichkeiten abgeleitet, wenn der HCLPF-Wert einer BSK mehr als das Doppelte der Freifeldbeschleunigung des Bemessungserdbebens beträgt.

Während der Begehungen wurden die Ausrüstungen insbesondere im Hinblick auf Alterungsanzeichen überprüft. Nach mehr als 20 Jahren Betriebszeit wurden allerdings noch keine sichtbaren Alterungskennzeichen gefunden. Bei redundanten Systemen wurde immer nur eine Redundanz begangen. Es wurden bei den Begehungen keine schwerwiegenden Defizite zur Erdbebenauslegung gefunden.

/PER 96/ Perry Nuclear Power Plant (PNPP)

Individual Plant Examination of External Events for Severe Accident Vulnerabilities, Ch. 3: Seismic Analysis; June 1996

Für das Kernkraftwerk PNPP wurden insgesamt 39 Systeme und 933 Komponenten identifiziert (mit einem Shutdown Path Logic Diagram), die zum sicheren Abfahren bei einem seismischen Ereignis erforderlich sind. Die Gebäude, die diese Komponenten enthalten, wurden dem Begehungsplan hinzugefügt.

Die Begehung und Inspektion von Verteilungssystemen, wie z. B. Rohrleitungssystemen oder Kabeltrassen, erfolgt im Ganzen ortsbezogen und nur beispielhaft.

*Individual cable trays, conduit, piping, instrument lines and HVAC ducts for the various distribution systems were not explicitly listed in the walkdown list.*

*However, these items were listed on a generic basis and a sample set of each type of distribution was walked down.*

In Vorbereitung der Begehungen ist die Dokumentation gründlich durchzusehen, dazu gehören z. B.:

- Unterlagen zur seismischen Designbasis,
- allgemeine Anlagendokumentation, Gebäude- und andere Lagepläne,
- seismische Qualifikationsunterlagen, beispielhafte Komponentenverankerungen.

Besondere Beachtung finden bei den Begehungen die Verankerungen und die Interaktionsmöglichkeiten zwischen Systemen und Komponenten.

Die Begehungen im Kernkraftwerk PNPP haben insgesamt zwei Wochen Zeit in Anspruch genommen. Die Begehungen wurden ortsbezogen (raumbezogen) und nicht systembezogen durchgeführt. Die Ergebnisse wurden auf Formblättern zur seismischen Bewertung, sogenannten SEWS (seismic evaluation walkdown sheets), festgehalten (siehe dazu /EPR 91/, Appendix A). Diese Formblätter sind leider nicht frei zugänglich. Es handelt sich dabei um eine Art Checkliste, die z. B. folgende Fragen enthält: "Komponentenverankerung adäquat", "räumliche Interaktionen?", "Robustheit von verbundenen Ausrüstungen", "ungewöhnliche Konfigurationen".

Die Begutachtung möglicher räumlicher Wechselwirkungen zwischen BSK bildete einen Begehungsschwerpunkt:

- benachbarte Komponenten, Abstände zwischen den BSK:
- good housekeeping practices (insbesondere die Frage der Befestigung beweglicher Ausrüstungen, wo sind sie wie befestigt), Befestigungen in der Warte;
- Befestigung von BSK, die nicht abfahrrelevant sind, um Einwirkungen auf BSK der SAL zu verhindern;
- flexible Verbindungen zwischen Erschütterungspunkten.

/KEN 92/ Kennedy, R. P., et al.

Part I: Use of Seismic Experience and Test Data to Show Ruggedness of Equipment in NPP,

Part II: Review Procedure to Assess Seismic Ruggedness of Cantilever Bracket Cable Tree Supports;

Sandia Report, SAND92-0140 UC-523; June 1992

<http://www.fas.org/sgp/othergov/doe/lanl/lib-www/sand/920140.pdf>

In diesem Bericht werden von einer Expertengruppe die Möglichkeiten bewertet, auf der Grundlage von allgemeinen seismischen Erfahrungen (Ausfälle von Ausrüstungen in konventionellen Kraftwerken aufgrund von Erdbebenwirkungen) und Testergebnissen die Widerstandsfähigkeit von Kernkraftwerks-Hauptausrüstungen einzuschätzen.

Es werden folgende Ausrüstungsklassen unterschieden:

- Elektrische Ausrüstungen (Motorsteuerung, Nieder- und Hochspannungsschaltanlagen, Transformatoren),
- Batterieladeeinheiten, Gleichstromwandler,
- Batterien in Gestellen,
- Steuerkonsolen, Instrumentierungsschränke,
- Ausrüstungsgestelle (instrument racks),
- Verteilungspanels (distribution panels),
- Temperatur-Messgeber,
- Generatoren,
- Gebläse (air compressors),
- Pumpen (horizontal, vertikal),
- Armaturen,
- Lüfter, Lüftungssysteme (air handler),
- Kühler.

Der Vergleich zwischen den Ausrüstungen in konventionellen Kraftwerken und in Kernkraftwerken ergab:

- Ausrüstungen in Kernkraftwerken sind ähnlich denen in konventionellen Industrieanlagen. Die seismische Widerstandsfähigkeit ist mindestens so gut wie in den nicht-nuklearen Kraftwerken.
- Die Ausrüstungen haben, falls ordnungsgemäß verankert, eine inhärente seismische Robustheit, die signifikante Schäden bei Erdbeben nicht wahrscheinlich erscheinen lässt (ausgeschlossen Kontaktprellen).

In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass Fragen der Alterung (insbesondere durch Strahlungseffekte) nicht einbezogen wurden.

Die Auswertung real aufgetretener Erdbeben und deren Auswirkungen auf die Funktionsfähigkeit von Ausrüstungen ist nicht die einzige Methode, um deren Robustheit einzuschätzen. Eine weitere ist die Nutzung generischer Spektren (GERS, siehe Tab. 7-1). Diese Spektren repräsentieren die maximalen seismischen Einwirkungen, für die noch mit genügend hoher Konfidenz von einer ordnungsgemäßen Funktion der Ausrüstung ausgegangen werden kann.

Beide Vorgehensweisen der Ausrüstungsbewertung schließen umfangreiche seismische Begehungen ein. Bei den Begehungen ist

- festzustellen, ob die Ausrüstungen in den Grenzen der caveats (siehe Tab. 7-1) liegen,
- einzuschätzen, ob anlagenspezifische Faktoren oder Umstände existieren, die die seismische Robustheit einer Ausrüstung beeinflussen,
- festzustellen, ob die Verankerung der Ausrüstungen adäquat ist und
- einzuschätzen, ob Abhängigkeiten vorliegen.

/CHO 09/ Choi, I.-K.; M. Kim, J.-H. Park

Component Degradation Effect on Seismic Risk of NP, in: Conference Proceedings of 20<sup>th</sup> International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT 20), Espoo, Finland; August 2009

Das Erdbeben von Kashiwazaki-Kariwa hat gezeigt, dass an einem Kraftwerksstandort real die Möglichkeit des Auftretens von Erdbeben besteht, die das Bemessungserdbeben am Standort in ihrer Intensität überschreiten. Insbesondere in solchen Fällen können Vorschädigungen durch Alterung an BSK zur Reduzierung der seismischen Widerstandsfähigkeit führen.

Zur Feststellung von Schädigungseffekten durch Alterung von BSK wurden Begehungen in dem ältesten koreanischen Kernkraftwerk durchgeführt. Insgesamt wurden 530 BSK begutachtet. Auf der Grundlage der Begehungsergebnisse wurde eine Datenbank erstellt. Typische Alterungseffekte sind Risse (z. B. Risse im Beton an Verankerungen) und Korrosion. Der bedeutsamste Alterungseffekt ist die Rissbildung (Rohrleitungssysteme, Reaktordruckgefäß, Beton, Behälter, Wärmetauscher).

/OBE 06/ Oberland, R. et al.

Erfahrungsbericht zur Erstellung einer Erdbeben-PSA nach Vorgaben des neuen Methodenbandes, in: Probabilistische Sicherheitsanalysen in der Kerntechnik, Symposium, München; 23. - 24. November 2006

Auswahlverfahren der Komponenten der Sicherheitssysteme:

- Betrachtung der gesamten Systemtechnik der PSA der Stufe 1 (aktive Komponenten) im Leistungsbetrieb;
- Ergänzung um Rohrleitungen und deren Unterstützungen, Behälter, Wärmetauscher (passive Komponenten);
- Aussonderung von kraftwerkstypischen Standardkomponenten anhand generischer Versagensbeschleunigungswerte (z. B. aus vorliegenden deutschen Rütteltestergebnissen).

Ziele der Anlagenbegehungen:

- Überprüfung der Anwendbarkeit generischer Versagensbeschleunigungswerte;
- Ausschluss von Komponenten, die eine hohe Widerstandsfähigkeit gegen Erdbebenlasten besitzen;
- Identifizierung von Komponenten, die eine niedrige Widerstandsfähigkeit gegen Erdbebenlasten erwarten lassen;

- Identifizierung von Komponenten und baulichen Anlagen, die bei Versagen zum Ausfall von Sicherheitstechnisch relevanten Komponenten führen.

Durchführung der Anlagenbegehungen

- Planung (Erstellung von Protokoll-Formularen mit komponententypischen Beurteilungskriterien bzw. Checklisten);
- Durchführung der Begehungen mit den Begehungslisten;
- Dokumentation (Auswertung und Erstellung einer Fotodokumentation).

Die Anlagenbegehungen können auf ca. ein bis zwei Wochen begrenzt werden.

## **2.2 Ein Verfahren zur Bewertung der seismischen Robustheit technischer Ausrüstungen**

Im Folgenden handelt es sich um eine Auswertung von:

/DOE 97/ U.S. Department of Energy (DOE)  
 Seismic Evaluation Procedure for Equipment in U.S. Department of Energy Facilities, DOE/EH-0545; March 1997,  
<http://hss.energy.gov/seismic/seismic.pdf>

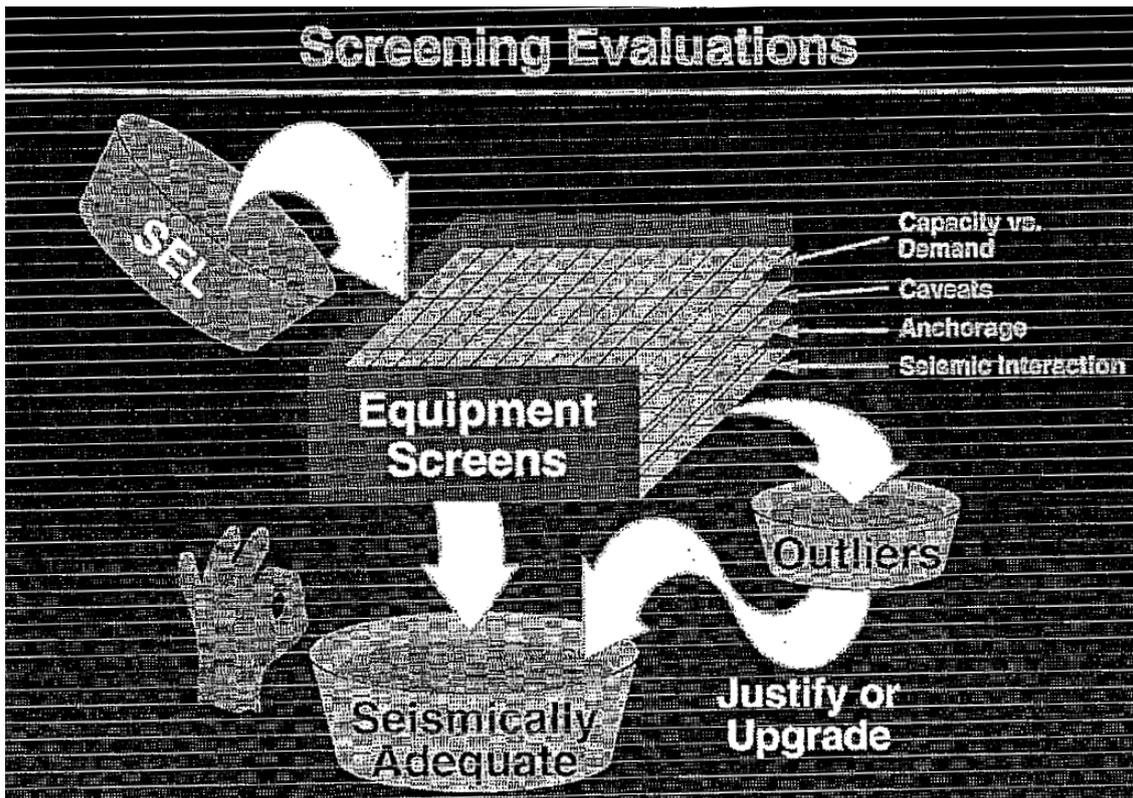
SPSA erfordern die Bewertung von Systemen und Komponenten in Hinblick auf seismische Einwirkungen. Es wurde ein Leitfaden zur Bewertung technischer Ausrüstungen und Verteilungssysteme auf der Grundlage von historischen Seismikerfahrungen und Rütteltests abgeleitet (siehe auch Auswertung in /KEN 92/). Das Vorgehen beruht auf Begehungen als einer guten Möglichkeit für eine effiziente Identifizierung von erdbebenrelevanten Systemen und Komponenten und der Feststellung von diesbezüglichen Defiziten. Es werden Auswahlkriterien derart angewandt, dass Systeme und Komponenten ohne Detailanalysen oder zusätzliche Tests ausgeschlossen werden können.

Folgende wesentlichen Schritte des Vorgehens werden unterschieden:

- Auswahl des Personals:  
 Dazu gehören:

- Sicherheits- und Systemingenieure, die die Liste der zu bewertenden Ausrüstungen festlegen,
  - Betriebspersonal (Anlagenkenntnis),
  - Ingenieure mit seismischen Erfahrungen (Durchführung des Auswahlverfahrens und Einschätzung der Ausrüstungen),
  - Ingenieure mit Spezialkenntnissen (z. B. in Bezug auf das Verhalten von Relais oder Rohrleitungen).
- Festlegung der zu bewertenden Ausrüstungen, Aufstellung der seismischen Ausrüstungsliste SAL;
  - Auswahlverfahren und Begehung:  
Der Sinn dieses Arbeitsschritts besteht darin, auf der Grundlage von verschiedenen Kriterien generisch-seismischer Art die Ausrüstungsmenge zu reduzieren. Dabei geht es vor allem um folgende Fragen:
    - Vergleich der seismischen Kapazität mit der seismischen Anforderung,
    - Verankerung der Ausrüstung,
    - seismische Wechselwirkungen (Brand, Überflutung, Lastabstürze).
  - Identifikation von 'Ausreißern' (einschließlich Lösungsvorschlägen).

Das gesamte Verfahren ist sehr anschaulich in Abb. 2-1 dargestellt (Figure 1.3-1 aus /DOE 97/).



**Abb. 2-1:** Einschätzung der SAL-Liste mit dem Screening-Verfahren von DOE nach /DOE 97/

### 2.2.1 Festlegung der zu bewertenden Ausrüstungen

Die Frage ist, welche Ausrüstungen von vornherein bezüglich ihrer seismischen Auslegung überprüft werden müssen. Das entspricht der BSK-Ausgangsmenge (SAL) in Kapitel 3. Der generelle Zugang zur Ableitung einer SAL (seismische Ausrüstungsliste, im Englischen SEL – seismic equipment list) umfasst die folgenden Fragestellungen:

- Identifikation der Sicherheitsanforderungen,
- postulierte Betriebsbedingungen,
- Betrachtung der Interaktionen zwischen den Ausrüstungen und schließlich
- Betrachtungen zur seismischen Schadensanfälligkeit.

Es wird empfohlen, die daraufhin abgeleitete SAL zur Überprüfung und Ergänzung dem Bedienpersonal der Anlage vorzulegen.

Es wird allgemein empfohlen, dass zur Bestimmung der SAL-Ausrüstungen Störfallanalysen herangezogen werden sollen (Das ist in unserem Fall die PSA der Stufe 1 mit den dort enthaltenen Systemen und Komponenten).

Weiter ist zu berücksichtigen, ob die Versorgungen von außen (Strom, Wasser, Dampf u. a.) gewährleistet sind und wie lange diese im Störfall nicht verfügbar sind. Eine Überprüfung der Personalhandlungen ist erforderlich. Operateure nutzen seismisch qualifizierte Komponenten, Prozeduren für den seismischen Notfall sind vorhanden. Es wird nicht angenommen, dass gleichzeitig zum Erdbeben eine andere übergeifende Einwirkung von außen (wie Sturm, Hochwasser, Flugzeugabsturz oder sonstige Einwirkung Dritter) auftritt.

Insbesondere müssen die folgenden Wechselwirkungen in die Betrachtung einbezogen werden:

- Seismische Wechselwirkungen:  
Der Effekt eines Ausfalls oder Fehlers eines beliebigen Systems auf sicherheitsrelevante Systeme muss betrachtet werden.
- Common-Cause-Effekte:  
Da ein Erdbeben alle Systeme und Komponenten betrifft, können auch Systeme ausfallen, die nicht sicherheitsrelevant sind. Diese Ausfälle können die Funktion von Sicherheitssystemen beeinflussen.

Bei der Aufstellung von SAL ist auch die Einschätzung der seismischen Robustheit der Komponenten und Systeme wichtig. Natürlich werden Komponenten mit einer inhärenten Empfindsamkeit gegenüber Erschütterungen näher begutachtet als solche mit einer inhärenten Robustheit gegen derartige Einwirkungen. Im Einzelnen werden betrachtet:

- die strukturelle Konfiguration des System oder der Komponente in Bezug auf deren Funktion,
- die potentielle Ausfallart (formbar oder spröde, große Verschiebung, Erschütterungssensitivität u. a.),
- generisches Verhalten (historische Erdbeben, Rütteltests),
- tatsächliche Installation und Arbeitsbedingungen.

### **2.2.2 Vergleich der seismischen Kapazität einer BSK mit der seismischen Anforderung**

In einem Auswahlverfahren ist für jede BSK der SAL-Liste einzuschätzen, ob die seismische Kapazität der BSK die seismische Anforderung übersteigt. Dazu wird das seismische Anforderungsspektrum (standortspezifisch) mit dem seismischen Antwortspektrum der BSK (Kapazität!) verglichen. Es werden folgende seismische Kapazitäten unterschieden, die je nach Datenlage zum Vergleich genutzt werden können:

- Referenzspektrum  
Das Referenzspektrum basiert auf tatsächlich beobachteten Erdbebendaten.
- Generisches Spektrum (GERS, englisch: *generic equipment ruggedness spectrum*)  
Das generische Spektrum basiert auf Experimenten, z. B. Testdaten von Rütteltischen. Einschränkungen zur Anwendbarkeit sind durch Regelmengen (*caveats*) gegeben (siehe Kap. 2.2.5).
- Spektrum aus BSK-spezifischer seismischer Qualifikation.

### **2.2.3 Verankerung der Ausrüstung**

In diesem Kapitel von /DOE 97/

- wird eine allgemeine Darstellung des Vorgehens zur Einschätzung von Verankerungen gegeben,
- werden generische Informationen zu den bei verschiedenen Ausrüstungsklassen genutzten Verankerungstypen (*expansion anchors, cast-in-place bolts and headed studs, cast-in-place J-bolts, grouted-in-place bolts*) gegeben,
- werden nominell zulässige Ankertypkapazitäten angegeben und
- die Durchführung ankerspezifischer Inspektionen neben Angaben zu kapazitätsreduzierenden Faktoren beschrieben.

Es werden vier Schritte zur Einschätzung der Ausrüstungsverankerung in Bezug auf ihre seismische Festigkeit unterschieden:

- Begutachtung des Einbaus der Verankerung unter Berücksichtigung der Ausrüstungseigenschaften,

- Bestimmung der Kapazität der Verankerung,
- Bestimmung der seismischen Anforderungen,
- Kapazitäts-Anforderungs-Vergleich.

Bei Begehungen ist eine Liste von Defiziten aufzustellen, damit die kapazitätsreduzierenden Faktoren einbezogen werden können. So sind beispielsweise die Betonstrukturen, an denen die BSK befestigt sind, dahingehend zu überprüfen, ob es signifikante Risse in der Nähe der Verankerung gibt. Wenn ja, würde ein entsprechender Reduktionsfaktor auf die Verankerungskapazität angewendet werden.

#### **2.2.4 Seismische wechselseitige Beeinflussung mehrerer BSK**

Unter der seismischen wechselseitigen Beeinflussung von BSK wird die physikalische Wechselwirkung von BSK mit in der Nähe befindlichen anderen BSK aufgrund der relativen seismisch verursachten Bewegungen verstanden. Es werden folgende Koppelungsmechanismen unterschieden:

- Abstand:  
Hier ist für unbefestigte Ausrüstungen (z. B. Schweißgeräte, Werkzeugschränke, Schwingtüren) einzuschätzen, ob sie zerstörend auf andere BSK im Raum wirken können.  
Weiter sind auch verankerte BSK zu überprüfen. Es ist festzustellen, welche Gefahr bei ungenügender Verankerung von diesen BSK ausgehen könnte.
- adäquate Flexibilität,
- Lastabsturz, Kippen von BSK:  
Hier sind die Ausfälle nach Klasse II entsprechend /KTA 90/ gemeint.
- Überflutung, Sprinklersysteme,
- Brand,
- andere Abhängigkeiten.

Zur Bestimmung der Ausfallwahrscheinlichkeit einer BSK aufgrund des Ausfalls einer benachbarten BSK wird festgestellt, dass man die Methode von der Bedeutung der betroffenen BSK abhängig machen sollte.

### **2.2.5      Einschätzung von Ausrüstungsklassen mit Regelmengen (caveats)**

Für elektrische und mechanische Ausrüstungsklassen (siehe Tab. 2-3) sind Referenzspektren (RS, erfahrungsbasiert) oder generische Spektren (GERS, durch Auswertung von Rütteltischexperimenten) gegeben. Diese Spektren beschreiben die seismischen Kapazitäten der Ausrüstungsklassen (das Referenzspektrum beschreibt tatsächliche Erdbebenerfahrungen mit solchen Einrichtungen, die generischen Spektren wurden auf der Grundlage generischer Daten, z. B. aus Rütteltests, berechnet).

Zur Überprüfung, ob die seismische Kapazität einer konkreten Einrichtung einer Anlage tatsächlich durch das entsprechende Referenzspektrum beschrieben werden kann, sind eine Reihe von Fragen (Regelmengen, englisch: caveats) zu beantworten. Es wird betont, wenn das spezielle Wording einer Regel nicht auf die einzuschätzende aktuelle Einrichtung zutrifft, ist die Entscheidung bezüglich dieser Regel gesondert zu begründen.

In den einzelnen Kapiteln wird jede Ausrüstungsklasse technisch beschrieben und die entsprechenden Regelmengen zur Entscheidung angegeben und erläutert.

In Tab. 2-3 sind die Ausrüstungsklassen (einschließlich eines Verweises auf das entsprechende Kapitel im Bericht /DOE 97/) und einige Beispiele aus den Regelmengen aufgeführt.

**Tab. 2-3:** Ausrüstungsklassen zur Einschätzung mit Regelmengen

Ausrüstungen	Regeln (Beispiele)
Elektrische Ausrüstungen	
Batterien auf Gestellen	Abstandshalter zwischen den Batterien, seitliche Abschlusschienen (in Längs- und Querrichtung), Diagonale Versteifung des Batteriestells, Gestellmaterial, Alter der Batterien (10 Jahre, ältere Batterien sind anfälliger gegen Rüttelvorgänge) (mehr in /DOE 97/, Kap. 8.1.1)
Motorkontrolleinheiten (Motor Control Center)	Nennkapazität < 600 V (nur für diese Klasse liegen Ergebnisse von Experimenten vor), Verbindung benachbarter Schränke, extern angebrachte Einrichtungen sind starr verbunden (mehr in /DOE 97/, Kap. 8.1.2)
Niederspannungs-Schaltanlage	< 600 V Bemessung, Bewegungsbeschränkung der Leistungsschalter im Schrank, benachbarte Schränke sind verschraubt, extern angebrachte Einrichtungen sind starr verbunden, Ausfräsungen im unteren Teil der Schränke (Beschränkungsangaben), Türen der Schränke gesichert (Klinke, Befestigung) (mehr in /DOE 97/, Kap. 8.1.3)
Mittelspannungs-Schaltanlage	Bemessung zwischen 2,4 kV und 4,16 kV, benachbarte Schränke sind verschraubt, extern angebrachte Einrichtungen sind starr verbunden, Ausfräsungen im unteren Teil der Schränke (Beschränkungsangaben), Türen der Schränke gesichert (Klinke, Befestigung) (mehr in /DOE 97/, Kap. 8.1.4)
Verteilungselemente (distribution panels)	enthält ausschließlich Leistungsschalter und Betätigungsschalter, alle mit Klappen versehenen Öffnungen sind gesichert (mehr in /DOE 97/, Kap. 8.1.5)

Ausrüstungen	Regeln (Beispiele)
Transformatoren	< 4,16 kV Bemessung, Bewegungsbeschränkung der Spulen, Abstandshalter um die Spulenköpfe, Abstand zwischen geladenen Teilen und dem Schrank (> 2 inch) (mehr in /DOE 97/, Kap. 8.1.6)
Batterieladegeräte / Inverter	(siehe /DOE 97/, Kap. 8.1.7)
I&C-Konsolen	(siehe /DOE 97/, Kap. 8.1.8)
Einschübe (z. B. in Schaltschränken)	(siehe /DOE 97/, Kap. 8.1.9)
<b>Mechanische Einrichtungen</b>	
Ventile (flüssigkeits- oder luftgetrieben)	Gehäuse aus Gusseisen, Größe der angeschlossenen Leitungen (mehr in /DOE 97/, Kap. 8.2.1)
Motorventile, Magnetventile	Gehäuse aus Gusseisen, Größe der angeschlossenen Leitungen (mehr in /DOE 97/, Kap. 8.2.2)
Horizontalpumpen	Antrieb und Pumpe auf starrem Gestell, Beschleunigungsbegrenzung in beide axiale Richtungen (mehr in /DOE 97/, Kap. 8.2.3)
Vertikalpumpen	Überprüfung von langen nicht-gestützten Leitungen (mehr in /DOE 97/, Kap. 8.2.4)
Kühler	(siehe in /DOE 97/, Kap. 8.2.5)
Kompressoren (Druckluft)	(siehe in /DOE 97/, Kap. 8.2.6)
Motorgeneratoren	Treiber und getriebene Komponente auf einem starren Gestell (mehr in /DOE 97/, Kap. 8.2.7)
Turbogeneratoren	Treiber und geriebene Komponente auf einem starren Gestell (mehr in /DOE 97/, Kap. 8.2.8)
Lüftungsklappen (air handlers)	Befestigung interner mechanischer Bauteile (mehr in /DOE 97/, Kap. 8.2.9)
Lüfter	Antriebsmotor und Lüfter sind auf einer Basis befestigt (mehr in /DOE 97/, Kap. 8.2.10)

Für deutsche Ausrüstungsklassen sind derartige Regelmengen nicht bekannt. Insbesondere für den zweiten Auswahlschritt des nachfolgend abgeleiteten Verfahrens ist

die Ableitung solcher Regelmengen erforderlich. Dazu sollten zuerst die Ausrüstungsklassifikation überprüft und danach Regelmengen auf der Grundlage des deutschen Regelwerks und der spezifischen Charakteristika deutscher Anlagen und der deutschen Anlagenerfahrung abgeleitet werden.

### **2.3 Methode zur Einschätzung seismischer Sicherheitsreserven (SMA)**

Das Folgende ist eine Zusammenfassung Methode der 'Seismic Margin Assessment (SMA)'; im Wesentlichen wurde dabei auf /ANS 03/ zurückgegriffen.

/ANS 03/ American Nuclear Society (ANS)  
External Events PRA Methodology – An American National Standard,  
ANSI/ANS-58.21-2003, 2003

Zur seismischen Auslegungsüberprüfung von Kernkraftwerken werden international im Wesentlichen zwei Verfahren angewendet: probabilistische Methoden (SPSA) oder Methoden zur Einschätzung der seismischen Sicherheitsreserven (englisch: SMA - seismic margin assessment). Die Ergebnisse einer SPSA umfassen die Ergebnisse einer SMA (siehe unten).

Obwohl in Deutschland im Allgemeinen keine SMA durchgeführt werden, wird nachfolgend ein kurzer Abriss der SMA-Methode gegeben, denn das im vorliegenden Bericht interessierende Auswahlverfahren und die dazu durchzuführenden Anlagenbegehungen sind auch bei der Durchführung von SMA von herausragender Bedeutung.

Das Ziel einer SMA ist festzustellen, ob ein Kernkraftwerk einem Erdbeben größerer Intensität als dem Bemessungserdbeben widerstehen kann. Dazu wird ein Überprüfungserdbeben (review level earthquake) mit einer Intensität größer als der des Bemessungserdbebens (z. B. 0,3 g oder 0,5 g /ANS 03/) zur Überprüfung der seismischen Aufnahmekapazität von BSK festgelegt.

Die Methode beruht auf sogenannten 'Erfolgspfaden'. Ein Erfolgspfad besteht aus einer Menge von Sicherheitsfunktionen, die ausreichend sind, um die Anlage bei einem Störfall in einen sicheren Zustand zu bringen und in diesem mindestens 72 Stunden zu halten. Es sind mindestens zwei Erfolgspfade zu identifizieren. Als nächstes sind die seismischen Kapazitäten aller BSK in den Erfolgspfaden zu überprüfen. Im Ergebnis

einer SMA wird für jede BSK in den Erfolgspfaden der HCLPF-Wert oder eine obere Schranke des HCLPF-Wertes festgestellt. Aufgrund der Kombinatorik in den Erfolgspfaden kann dann auch für das Kernkraftwerk eine obere Schranke für den HCLPF-Wert angegeben werden. Für die entsprechende Erdbebenstärke kann dann davon ausgegangen werden, dass der Reaktor sicher abgefahren werden kann (Vertrauensgrad 95 %, Fehlerwahrscheinlichkeit 5 %).

Die Durchführung einer SMA umfasst nach /ANS 03/ insgesamt sieben Schritte:

- Festlegung des Überprüfungserdbebens (RLE, review level earthquake) (in den USA hat die NRC das Überprüfungserdbeben für jedes Kernkraftwerk festgelegt);
- Zusammenstellung des Bewertungsteams (wichtig: Beteiligung des Anlagenpersonals, damit die SMA-Erkenntnisse sofort für den Anlagenbetrieb, für seismische Verbesserungen oder für Notfallmaßnahmen genutzt werden können.);
- Vorbereitung der Begehung (z. B. Begutachtung Anlagendokumentation, erste Festlegungen zu den Erfolgspfaden und BSK-Zuordnungen);
- Begehung zur BSK-Auswahl – ‘Erfolgspfad-Begehung’ (Auswahl der Erfolgspfade, vorläufige Einschätzung der relativen seismischen Kapazität von Hauptausrüstungen);
- Begehung zur Einschätzung der seismischen Kapazität (Auswahl der BSK für weitere Einschätzung nach EPRI-Vorgehen);
- Einschätzung der seismischen Sicherheitsreserven (HCLPF – Berechnungen, nur noch für solche BSK, die nicht in den zwei Schritten zuvor ausgesondert wurden);
- Dokumentation der Ergebnisse.

Die Unterschiede zwischen einer SPSA und einer SMA lassen sich am besten an den wesentlichen Ergebnissen einer SPSA erläutern. Aus einer SPSA lassen sich die Ergebnisse (1) bis (6) ableiten, eine SMA kann nur die Ergebnisse (5) und (6) liefern (siehe auch /BEN 91/, Seite 1-5):

- (1) Angaben zum seismischen Risiko eines Kernkraftwerks (meist als bedingte Kernschadenshäufigkeit),
- (2) Bestimmung der das seismische Risiko dominierenden Freifeldbeschleunigung,
- (3) Bestimmung der das seismische Risiko dominierenden BSK (oder Kombinationen von BSK),
- (4) Unsicherheitsverteilung des seismischen Risikos (oder zumindest Angabe des Medians oder des Erwartungswerts),
- (5) HCLPF-Wert des Kernkraftwerks,
- (6) Bestimmung von Schwachstellen (BSK)  
(Schwachstellen sind solche BSK, die die seismische Kapazität eines KKW unter ein vorgegebenes Überprüfungserdbeben fallen lassen).

## **2.4 Stand von Wissenschaft und Technik**

Die Erdbeben-PSA ist ein international etabliertes Verfahren zur Bewertung der sicherheitstechnischen Auswirkungen von Erdbeben auf Kernkraftwerke. Sie stellt eine wichtige Ergänzung zur PSA für anlageninterne Ereignisse dar, da die Auswirkungen starker Erdbeben einen nennenswerten Beitrag zur Gesamtkernschadenswahrscheinlichkeit liefern können. Aus diesem Grund wurden weltweit bereits für mehr als 50 Kernkraftwerke Erdbeben-PSA durchgeführt /IAE 06/.

Neben der seismischen Standortgefährdungsanalyse, deren Ergebnis die grundlegenden Eingangsparameter (z. B. Bodenbeschleunigung und Starkbebendauer) für die gesamte Untersuchung der Widerstandsseite darstellen, bedeutet die Ermittlung erdbebenbedingter (anlagenspezifischer) Versagenswahrscheinlichkeiten für bauliche Anlagen, Systeme und Komponenten (BSK) einen zentralen Schritt bei einer solchen Erdbeben-PSA.

Einerseits ist die Ermittlung von Versagenskurven, die die Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls einer BSK in Abhängigkeit von der Stärke der Einwirkung beschreiben, und deren rechentechnische Berücksichtigung in der PSA mit erheblichem Aufwand verbunden. Andererseits bestehen Kernkraftwerke aus sehr vielen unterschiedlichen BSK.

Aus diesem Grund muss auf der Basis systematischer Kriterien eine Auswahl getroffen werden, für welche BSK überhaupt Versagenswahrscheinlichkeiten zu bestimmen sind. Das hierbei zur Anwendung kommende Verfahren (Auswahlverfahren) muss jedoch sicherstellen, dass trotz der Reduktion des zahlenmäßigen Umfangs keine BSK unberücksichtigt bleiben, die während eines Erdbebens oder nach diesem aus sicherheitstechnischer Sicht von Bedeutung sein können. Des Weiteren sollen Abhängigkeiten zwischen einzelnen BSK soweit möglich erfasst werden.

Für dieses Auswahlverfahren gibt es international keine einheitliche Vorgehensweise. Es haben sich jedoch bestimmte Ansätze und Methoden bewährt, die in abgewandelter Form immer verwendet wurden.

Typisch besteht der Ansatz darin, aus einer Liste aller in Betracht kommenden BSK Gruppen bzw. Klassen zu bilden und dann für jede dieser Gruppen die seismische Ausfallwahrscheinlichkeit zu bestimmen. Zusätzlich werden Begehungen durchgeführt und ausgewertet, um die seismisch relevanten BSK und potentielle Interaktionen zu identifizieren sowie die Widerstandsfähigkeit gegen seismische Einwirkungen bewerten zu können. Dabei muss für jede BSK entschieden werden, ob sie sich einer generischen Gruppe zuordnen lässt oder ob für die entsprechende BSK eine Einzelanalyse durchzuführen ist.

Insbesondere mit Blick auf die Anlagenbegehungen, denen ein hoher Stellenwert beigemessen wird, und die im Rahmen des Auswahlverfahrens notwendigen ingenieurtechnischen Bewertungen wird in der Literatur die Bedeutung eines geeignet zusammengesetzten fachübergreifenden Expertenteams zur Durchführung des Auswahlverfahrens betont.

#### **2.4.1 Beispiele für Vorgehensweisen zur Klassifikation von BSK**

Zur Klassifikation der seismisch relevanten BSK wird in /KEN 84/ beispielsweise vorgeschlagen, auf der Grundlage gemeinsamer Merkmale der BSK zunächst generische Klassen zu bilden und für diese Klassen seismische Versagenswahrscheinlichkeiten zu bestimmen. Zusätzlich sollen vorhandene Dokumentationen (Komponenten- bzw. Systembeschreibungen, Ergebnisse von Rütteltischversuchen, Auslegungsunterlagen, Dokumentationen von Begehungen) ausgewertet werden, um die Liste entsprechend erweitern oder einzuschränken zu können. Zuletzt sei auf dieser Basis eine Identifikati-

on aller relevanten BSK durchzuführen, damit die jeweiligen seismischen Versagenswahrscheinlichkeiten in die PSA einbezogen werden können.

Von der U.S. NRC wurden 1980 zwei Studien zur Untersuchung der seismischen Qualifikation von Kraftwerksausrüstungen in Auftrag gegebenen /ANC 91/. Im Rahmen einer der Studie wurde das Verhalten von 8 (später 20) Klassen von BSK konventioneller Kraftwerke unter der Einwirkung historischer Erdbeben untersucht. In der anderen Studie wurden umfangreiche seismische Qualifikationstests für BSK in Kernkraftwerken ausgewertet. Ein wesentliches Ergebnis der erstgenannten Studie waren generische Spektren für jede definierte Ausrüstungsklasse, wobei die Zuordnung einer BSK zu einer Klasse mittels vordefinierter Regeln erfolgte. Es wurden Checklisten für jede Ausrüstungsklasse entwickelt, anhand derer die Zugehörigkeit einer BSK zur Ausrüstungsklasse überprüft werden kann. Bei dieser Art der Auswahl wurden die Verankerungen der BSK vor Ort und andere anlagenspezifische Besonderheiten jedoch nicht berücksichtigt. Diese wären im Rahmen einer Anlagenbegehung zu bewerten. Die Ausrüstungsklassen mit den zugehörigen generischen Spektren sind laut dieser Studie allerdings nur für Ausrüstungen älterer Kernkraftwerke zu nutzen. Für neuere BSK muss erst gezeigt werden, dass das entsprechende generische Spektrum anwendbar ist.

Auf Grund der Erfahrungen mit der SPSA für das Kernkraftwerk Beznau wird in /RIC 08/ für die Auswahl der BSK ein gestaffeltes Vorgehen vorgeschlagen. Im Rahmen dieser SPSA wurden zunächst Komponenten, welche als Teil des Rohrleitungssystems aufzufassen sind (einschließlich handbetätigter Armaturen und Rückschlagklappen), aus der ursprünglichen SAL entfernt. Anschließend wurden Komponenten aus der Liste gestrichen, die als besonders robust gegen seismische Einwirkungen eingeschätzt werden. Für die verbleibenden Komponenten waren seismische Ausfallwahrscheinlichkeiten zu bestimmen. Externen Netzkomponenten wurden dabei generische seismische Ausfallwahrscheinlichkeiten zugeordnet. Für weitere Komponenten wurden 33 Gruppen gleicher Ausfallwahrscheinlichkeiten ermittelt. Als letzter Schritt mussten für alle Komponenten, die auf diese Art nicht zugeordnet werden konnten, Einzelanalysen durchgeführt werden.

Nach der amerikanischen Richtlinie /DOE 02/ sind BSK bezüglich ihrer Widerstandfähigkeit gegen Einwirkungen von außen vier Kategorien zuzuordnen. Zusätzlich wird auf die Bewertung von Wechselwirkungen zwischen BSK unterschiedlicher Kategorien

eingegangen. Diese können jedoch nur mit Hilfe von Begehungen identifiziert, beschrieben und bewertet werden.

Für die seismische Analyse des Kernkraftwerks Perry (*Perry Nuclear Power Plant, PNPP*) /PER 96/ wurden anhand eines Shutdown-Path-Logic-Diagramm 39 Systeme und 933 Komponenten identifiziert, die zum sicheren Abfahren bei einem seismischen Ereignis erforderlich sind. Anschließend wurden alle Gebäude, die solche Komponenten enthielten dem Begehungsplan hinzugefügt.

Bei der SPSA für das Kernkraftwerk Loviisa (Finnland) wurden die Anlagenkomponenten nur in zwei Klassen unterteilt /VAR 96/, und zwar einerseits in BSK mit großer seismischer Widerstandsfähigkeit, denen generische Versagenswahrscheinlichkeiten zugeordnet wurden, und andererseits BSK, für die anlagenspezifische Versagenswahrscheinlichkeiten abgeleitet werden mussten, weil deren HCLPF-Werte kleiner als 0,1 g waren oder für die nur unzureichende Informationen zur Beurteilung ihrer Widerstandsfähigkeit vorlagen.

Diese Beispiele zeigen, dass es trotz des generell ähnlichen Ansatzes für das Auswahlverfahren doch teilweise recht unterschiedliche Umsetzungen in die Praxis gibt, so dass man nicht von "der international üblichen Vorgehensweise" sprechen kann. Insbesondere unterscheiden sich die verschiedenen Varianten auch hinsichtlich der Möglichkeit die Auswahlkriterien rückblickend, z. B. im Rahmen einer Begutachtung bzw. eines Reviews, nachzuvollziehen.

#### **2.4.2 Durchführung von Anlagenbegehungen**

Die Bedeutung von Anlagenbegehungen wird in allen neueren Dokumenten zum Auswahlverfahren im Rahmen der SPSA hervorgehoben. Gut geplant und zielgerichtet durchgeführt liefern Anlagenbegehungen unverzichtbare Informationen für die Auswahl und Bewertung des seismischen Verhaltens von BSK /BUD 91/, die in der Regel anders nicht gewonnen werden können.

Insbesondere stellen Anlagenbegehungen eine effektive Möglichkeit dar, festzustellen

- für welche BSK detaillierte spezifische Versagensanalysen durchgeführt werden müssen,

- welche BSK ausreichend durch generische Versagenskurven repräsentiert werden können und
- welche BSK in dieser Hinsicht ganz ausgesondert werden können /IAE 93/.

Auch in /CHE 91/, /NEA 98/ und /IAE 06/ wird die hohe Bedeutung von Anlagenbegehungen betont, um seismische Schwachstellen identifizieren zu können.

Das Team zur Durchführung der Anlagenbegehungen sollte einerseits so klein wie möglich und andererseits (fachlich) so vollständig wie nötig sein. Die Interaktion zwischen den Teammitgliedern ermöglicht unterschiedliche Blickwinkel auf die BSK und bietet gegenseitige Ergänzungsmöglichkeiten /BUD 91/. Dies ist entscheidend für die sachgerechte Auswahl der BSK /BEN 91/. In /BEN 91/ wird beispielsweise explizit ein Team aus 5 Personen für die Anlagenbegehung vorgeschlagen. Dieses Team sollte Fachleute aus dem Betriebspersonal, Systemingenieure und Erdbebenspezialisten umfassen. Hierbei sind Anlagenkenntnisse, Kenntnisse zur Durchführung und Auswertung von Systemanalysen und SPSA, Kenntnisse zu Ausfallarten und Funktionsweisen von BSK unter Erdbebeneinwirkung sowie Kenntnisse zu seismischen Auslegungsanforderungen notwendig.

Ziel der Begehung ist nach /BEN 91/ die Bestimmung der seismischen Widerstandsfähigkeit (HCLPF-Werte) „aller BSK in den Abfahrsequenzen“. Das Ergebnis der Anlagenbegehung ist dann zum einen die Einschätzung der strukturellen Widerstandsfähigkeit von BKS aufgrund ihrer Verankerung und aufgrund der Eigenschaften anschließender BSK und zum anderen die Bewertung möglicher Interaktionen zwischen unterschiedlichen BSK. Zudem können Informationen zu räumlichen Beziehungen zwischen BSK und anderen gegebenenfalls relevanten Eigenschaften von BSK erhalten werden /IAE 93/.

Im Allgemeinen wird die Methodik, seismische Begehungen durchzuführen und auszuwerten, als sehr ausgereift beurteilt /NEA 98/. Auch im Rahmen des U.S.-amerikanischen IPEEE-Programms werden die SPSA und die SMA (seismic margin assessment) als akzeptierte Vorgehensweisen zur seismischen Bewertung bestehender Anlagen beschrieben /CHE 91/.

Um einen Eindruck von dem Arbeitsaufwand zu vermitteln, der mit einer Anlagenbegehung im Rahmen einer SPSA verbunden ist, sei beispielhaft angeführt, dass allein die

reinen Begehungen im Rahmen der SPSA für PNPP bereits zwei Wochen in Anspruch nahmen. Bei diesen Begehungen wurde raumbezogen, nicht systembezogen, vorgegangen. Die gewonnenen Erkenntnisse wurden in Formblättern (englisch: seismic evaluation walkdown sheets, SEWS) festgehalten /PER 96/.

### **2.4.3 Stand der SPSA in Deutschland**

Im Fachband zu PSA-Methoden /FAK 05/ des PSA-Leitfadens, der in Deutschland seit dem Jahr 2005 als einzige formale Grundlage für die Durchführung seismischer PSA dient, wird ein allgemeines Verfahren für die Auswahl der BSK sowie für die notwendigen Begehungen beschrieben. Es werden Kriterien zur Beurteilung der Widerstandsfähigkeit von BSK gegen seismische Lasten formuliert, die jedoch ebenfalls sehr allgemein gehalten sind. Hierbei wird u. a. auf die Berücksichtigung vorhandener Nachweise, die Nutzung generischer Versagensbeschleunigungswerte, die Überprüfung der Auslegung durch Begehungen und auf die Überprüfung räumlicher Abhängigkeiten verwiesen. Des Weiteren wird die Notwendigkeit betont, „einschlägiges Expertenwissen“ für die Auswahl und Beurteilung der BSK zu nutzen. Bisher gibt es jedoch keine einheitlichen Vorgaben für die systematische Auswahl relevanter BSK und die hierzu notwendigen Anlagenbegehung, z. B. in Form verbindlicher Formblätter, einer konkreten Beschreibung der Systematik (z. B. raumbezogen oder systembezogen), der Dauer und des Umfangs von Anlagenbegehungen oder der Zusammensetzung des Begehungsteams.

Im Jahr 2006 wurde im Rahmen eines PSA-Symposiums ein Erfahrungsbericht /OBE 06/ zur Erstellung einer Erdbeben PSA für das Kernkraftwerk KKP I nach den Vorgaben des PSA-Methodenbandes /FAK 05/ vorgestellt: Danach sind die Anlagenbegehungen für die Erdbeben-PSA grundsätzlich in einem Zeitraum von ein bis zwei Wochen durchführbar. Hierzu sei vorab jedoch eine gute Planung erforderlich, die unter anderem die Erstellung von Protokoll-Formularen bzw. Checklisten mit komponentenspezifischen Beurteilungskriterien beinhaltet. Die Begehung fand dann mit Begehunglisten und einer Fotodokumentation für die anschließenden Auswertungen statt.

In /KLA 08/ wird ebenfalls das Vorgehen bei einer SPSA nach PSA-Methodenband /FAK 05/ beschrieben: Die seismische Ausrüstungsliste für das Kernkraftwerk GKN-1 wurde auf Basis der PSA der Stufe 1 für Zustände des Leistungsbetriebs und des de-

terministischen Erdbebenschutzkonzeptes festgelegt. Dabei wurden die BSK zusammengestellt, die bei einem erdbebenbedingten Versagen zu auslösenden Ereignissen führen können oder die zur Beherrschung dieser auslösenden Ereignisse benötigt werden. Die Begehung der Anlage wurde dann nach den amerikanischen Regeln und Richtlinien, z.B. /ANS 03/, durchgeführt. Dabei wurden Formblätter zur systematischen Erfassung aller Aspekte, welche für die seismische Widerstandsfähigkeit einer BSK wesentlich sein können, verwendet.

Ein Vergleich dieser beiden Erfahrungsberichte zeigt, dass die Vorgaben des PSA-Methodenbandes für die SPSA zwar grundsätzlich umsetzbar sind, der Detaillierungsgrad jedoch in einigen Bereichen, insbesondere in Bezug auf die Methodik des Auswahlverfahrens, die Anlagenbegehungen und die Berücksichtigung seismischer Wechselwirkungen zwischen BSK, nicht ausreichend ist, um die gewünschte Nachvollziehbarkeit und Vergleichbarkeit unterschiedlicher SPSA zu gewährleisten. Aufgrund der fehlenden konkreten Vorgaben im PSA-Methodenband wurde bei den bisher in Deutschland durchgeführten SPSA u. a. auf ausländische Studien und Richtlinien Bezug genommen. Dies ist insofern problematisch, da die Inhalte der Studien nicht in allen Fällen für eine Begutachtung bzw. ein Review der SPSA zur Verfügung stehen.

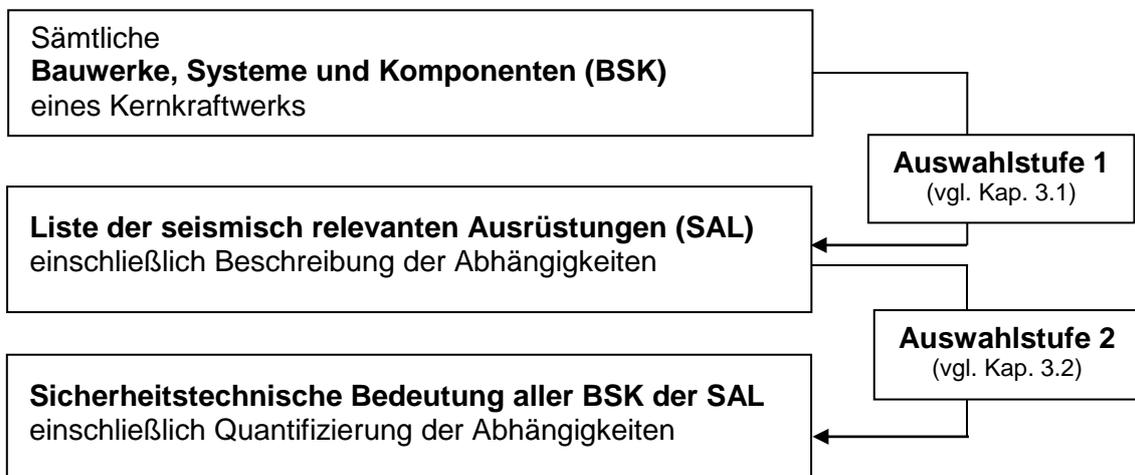
Zusammenfassend lässt sich somit feststellen, dass in Deutschland noch ein erheblicher Weiterentwicklungsbedarf hinsichtlich einer Systematisierung und Standardisierung der Vorgehensweise für (i) das Auswahlverfahren, (ii) die Anlagenbegehungen und (iii) die Bewertung der seismischen Widerstandsfähigkeit von BSK im Rahmen der SPSA besteht.

### 3 Auswahlverfahren – Klassifikation relevanter BSK

Das Auswahlverfahren bei der Durchführung einer SPSA hat zwei Ziele:

- Ableitung einer seismischen Ausrüstungsliste (SAL) und Beschreibung der Abhängigkeiten im seismischen Ausfallverhalten von relevanten BSK,
- Klassifikation aller BSK der seismischen Ausrüstungsliste im Hinblick auf ihre sicherheitstechnische Bedeutung sowie Quantifizierung der Unsicherheiten.

Beide Ziele werden durch ein zweistufiges, durch Begehungen gestütztes Auswahlverfahren realisiert (vgl. Abb. 3-1).



**Abb. 3-1:** Auswahlverfahren

Das Auswahlverfahren geht von der Menge aller baulichen Anlagen, Systeme und Komponenten (BSK) im Kernkraftwerk aus.

Die Aufarbeitung des aktuellen internationalen Wissensstandes (siehe Kapitel 2) hat gezeigt, dass zu einer Reihe von BSK und speziellen Phänomenen grundsätzlich eine Entscheidung bezüglich ihrer Bewertung bei einer SPSA getroffen werden muss. Dazu gehören (analyse- und anlagenabhängig) durchaus verschiedene BSK. wie z. B.:

- Rohrleitungssysteme,
- Kabelsysteme (Verläufe, Traggestelle),
- Kamine auf dem Kraftwerksgelände,

- Reaktordruckbehälter und seine Einbauten,
- Wartendecke.

Die Entscheidungen zu Art und Weise der Einbeziehung dieser BSK (eventuell ist die Liste anlagenspezifisch zu ändern bzw. zu erweitern) in eine SPSA werden außerhalb des nachfolgend beschriebenen Auswahlverfahrens getroffen.

Als seismisch relevante BSK innerhalb einer SPSA werden solche BSK bezeichnet, die bei Ausfall oder Funktionsverlust einen Beitrag zur Häufigkeit von Gefährdungs- oder Kernschadenzuständen leisten. Dabei werden sowohl BSK berücksichtigt, deren Ausfall direkt einen Beitrag leistet (z. B. Komponenten von Sicherheitssystemen) als auch solche, die nur indirekt aufgrund von räumlichen oder funktionellen Abhängigkeiten dazu beitragen (z. B. BSK der Klasse II, deren Funktionsverlust zum Ausfall von Sicherheitskomponenten führt). Bei der Auswahl der relevanten BSK ist immer zu berücksichtigen, dass das eigentlich Besondere seismischer Einwirkungen in deren Potential besteht, abhängige Ereignisse hervorzurufen. Die Bedeutung von Sekundäreffekten ist bei SPSA wesentlich größer als bei PSA der Stufe 1 für anlageninterne auslösende Ereignisse.

Es ist nicht möglich, für alle BSK der SAL anlagenspezifische seismische Versagenswahrscheinlichkeiten zu bestimmen, deshalb werden in einer zweiten Auswahlstufe die BSK der seismischen Ausrüstungsliste nach ihrer sicherheitstechnischen Relevanz klassifiziert:

- Sicherheitstechnische Relevanz 0:  
Versagen bei Erdbeben kann ausgeschlossen werden / wird ausgeschlossen  
oder  
Versagen bei Erdbeben liefert keinen bzw. einen vernachlässigbaren Beitrag zur Häufigkeit von Gefährdungs- oder Kernschadenzuständen.
- Sicherheitstechnische Relevanz 1:  
Versagen kann durch generische Versagenskurven beschrieben werden.
- Sicherheitstechnische Relevanz 2:  
Die Ableitung anlagenspezifischer Versagenskurven ist erforderlich.

Das Auswahlverfahren zur Klassifikation der BSK hinsichtlich ihrer seismischen Relevanz wird datenbankgestützt durchgeführt (siehe Kapitel 4 zu Struktur, Inhalt und Nut-

zung der Datenbank <DB SPSA.mdb>). Insbesondere in der Auswahlstufe 2 wird auf der Grundlage von Eigenschaften der BSK, die in der Datenbank <DB SPSA.mdb> hinterlegt sind, entschieden.

### 3.1 Auswahlstufe 1: Bestimmung der seismischen Ausrüstungsliste

Ziel der Auswahlstufe 1 ist es, eine umfassende Liste von BSK zusammenzustellen, deren Fehlfunktion bei seismischer Einwirkung einen Beitrag zur Häufigkeit der Gefährdungszustände liefert. Diese Liste wird SAL genannt (seismische Ausrüstungsliste in Anlehnung an die Bezeichnungen in /DOE 97/, vgl. auch die Literaturlauswertung in Kapitel 2.2). Es ist mit einer systematischen Vorgehensweise sicherzustellen, dass keine relevanten BSK übersehen werden können.

Zur Durchführung des Auswahlverfahrens wird eine Datenbank <DB SPSA.mdb> bereitgestellt (siehe zu Struktur, Inhalt und Nutzung der Datenbank das Kapitel 4). Kernstück dieser Datenbank ist eine Tabelle von BSK einschließlich ihrer räumlichen Zuordnung. Zur eindeutigen Beschreibung der BSK-Raum-Zuordnungen wird eine einheitliche Nomenklatur benötigt. Hierzu wird die Nomenklatur des Referenzkraftwerks herangezogen (siehe Kapitel 0). Die Eingabe von BSK-Raum-Zuordnungen erfolgt in Abhängigkeit der im Kernkraftwerk vorliegenden Dokumentationsunterlagen. Unabhängig von diesen Unterlagen ist mit der Auswahlstufe 1 sicherzustellen, dass die Datenbank <DB SPSA.mdb> alle seismisch relevanten BSK enthält und diese entsprechend gekennzeichnet sind. Als seismisch relevant werden die BSK innerhalb einer SPSA bezeichnet, die bei Ausfall oder Funktionsverlust einen Beitrag zur Häufigkeit von Gefährdungs- oder Kernschadenzuständen leisten.

Folgende BSK sind seismisch relevante BSK:

- BSK - Sicheres Abfahren:  
Es ist eine systematische Vorgehensweise abzuleiten, um sämtliche BSK zu identifizieren, die zum sicheren Abfahren und zum Erhalt der Nachwärmeabfuhr bei seismisch induzierten auslösenden Ereignissen benötigt werden.
- BSK - Auslösende Ereignisse:  
Es ist eine systematische Vorgehensweise abzuleiten, um sämtliche BSK zu identifizieren, deren Ausfall allein oder zusammen mit dem Funktionsverlust weiterer BSK zu einem auslösenden Ereignis führen kann.

– BSK - sonstige:

Unter sonstigen relevanten BSK werden BSK verstanden, die in der PSA Stufe 1 von der detaillierten Betrachtung aus verschiedenen Gründen ausgeschlossen wurden, sowie solche BSK, von denen bei Ausfällen aufgrund seismischer Einwirkungen eine Brand- bzw. Überflutungsgefahr ausgeht. Weiterhin gehören dazu die BSK, die aufgrund der bei seismischen Einwirkungen wirkenden Abhängigkeiten, in der Lage sind, andere, oben genannte relevante BSK zu schädigen. Dazu gehören z. B. BSK der Klasse II (siehe /KTA 90/).

Räume, die seismisch relevante BSK (BSK der SAL) enthalten, werden seismisch relevante Räume (SRR) genannt.

Die seismische Ausrüstungsliste SAL stellt die Grundlage zur Durchführung der Auswahlstufe 2 (siehe Kapitel 3.2) dar. Deshalb wird schon im Verlauf der Auswahlstufe 1 begonnen, Daten und Informationen zu den relevanten BSK als spätere Entscheidungshilfe in der Auswahlstufe 2 zusammenzustellen (siehe Kapitel 3.1.5).

### **3.1.1 Allgemeines zur Auswahlstufe 1**

Ziel der Auswahlstufe 1 ist es, eine umfassende Liste von BSK zusammenzustellen, deren Fehlfunktion bei und nach seismischer Einwirkung einen Beitrag zur Häufigkeit der Gefährdungszustände liefert. Dazu sind zwei Herangehensweisen möglich:

– ‘top down‘:

Ausgehend von einer Liste aller BSK eines zu untersuchenden Kernkraftwerks werden die seismisch relevanten BSK ermittelt.

– ‘bottom up‘:

Für ausgewählte BSK wird entschieden, ob sie seismisch relevant sind. Die Auswahl erfolgt aufgrund von Expertenwissen.

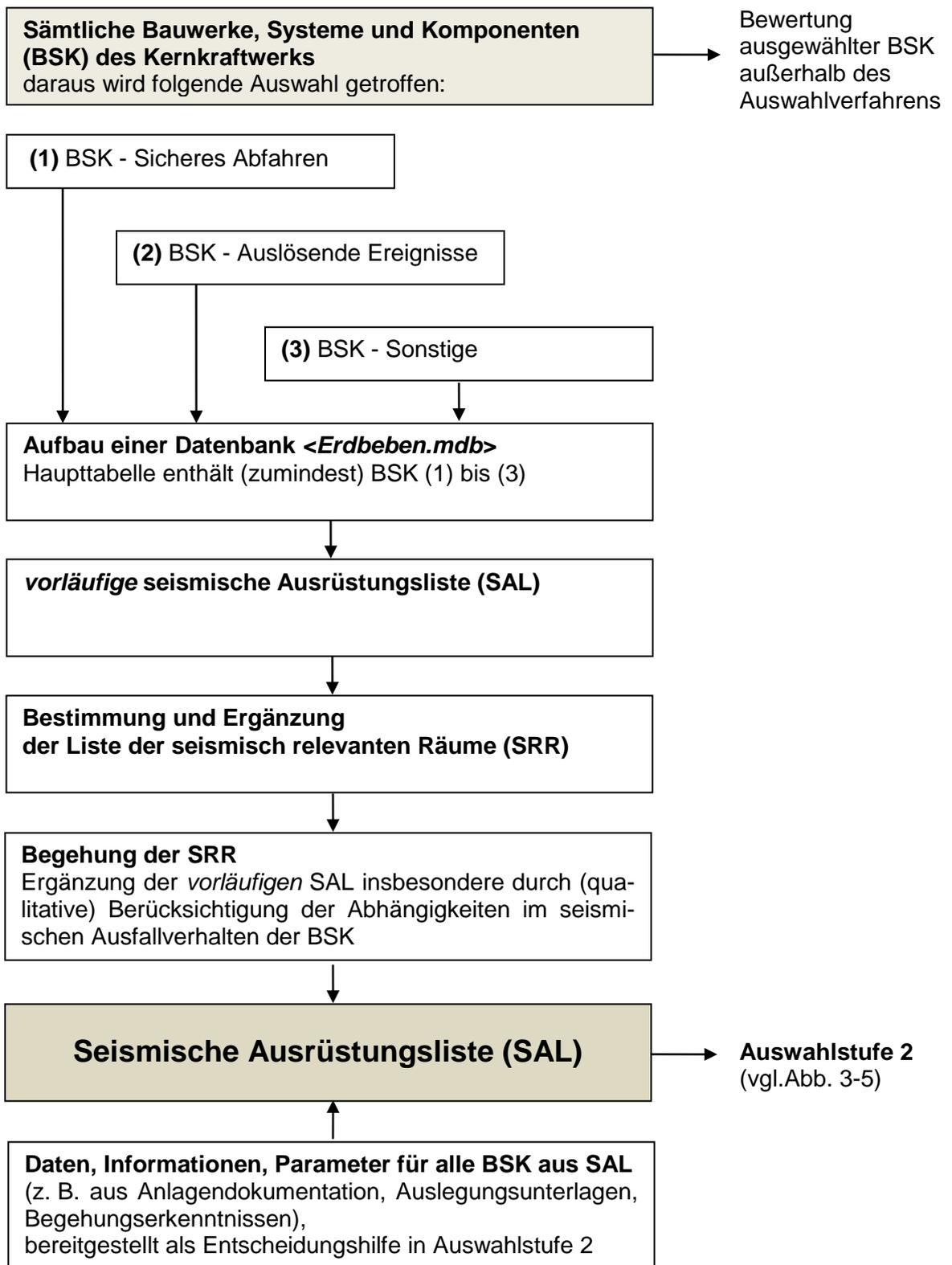
Bei der ‘top down‘-Vorgehensweise wird als Ausgangspunkt der Untersuchungen die Menge aller BSK eines zu untersuchenden Kernkraftwerks herangezogen. In dieser Menge sind alle relevanten BSK zu finden und zu kennzeichnen. Jeder BSK ist der entsprechende Raum (bzw. eine andere Örtlichkeit auf dem Kraftwerksgelände (Anlagenbereich)) zuzuordnen.

Es wird hier zusätzlich angemerkt, dass für spezielle BSK eine Entscheidung bezüglich ihrer seismologischen Bewertung und Einbeziehung in die SPSA außerhalb des Auswahlverfahrens entschieden wird. Diese BSK werden vorab aufgrund der Erfahrungen der SPSA-Experten festgelegt.

Die Menge der BSK eines Kernkraftwerks ist sehr groß. Für ein relativ kleines Gebäude des Referenzkraftwerks (UBP – Notstromerzeugergebäude) wurden ohne Berücksichtigung von Rohrleitungen und Kabelverläufen ca. 7500 BSK ermittelt /GKN 10/. Zum Reaktorgebäude wurde seitens der Referenzanlage eine Datei mit ca. 17000 BSK übermittelt /GKN 12/.

Zur Vereinfachung des Herangehens können vorab Gruppen von BSK ausgeschlossen werden, die von vornherein als nicht seismisch relevant betrachtet werden können. Diese Ausschluss-Festlegungen sind in der SPSA-Dokumentation festzuhalten und zu begründen. Man könnte beispielsweise die Menge der Kabel ausschließen. Die Annahme in diesem Fall wäre dann, dass seismische Einwirkungen nicht zum Ausfall (einzeln) Kabelverbindungen führen. Kabel wären also nicht einzeln als Komponenten, sondern nur als Trassen, d. h. als Bauteile, zu betrachten.

Eine andere Möglichkeit wäre der Ausschluss aller BSK, die in ausgewählten Gebäuden oder Gebäudeteilen enthalten sind. So wäre beim Ausschluss aller BSK des Verwaltungsgebäudes nur zu prüfen, ob eine seismisch bedingte Zerstörung dieses Gebäudes Auswirkungen auf benachbarte Gebäude mit relevanten BSK haben kann.



**Abb. 3-2:** Auswahlstufe 1: Bestimmung der seismischen Ausrüstungsliste SAL

Bei der 'bottom up'-Vorgehensweise geht man von der Kenntnis der Bedeutung von BSK-Mengen aus, versucht dann die möglichen Abhängigkeiten zu anderen BSK einzubeziehen, um nach und nach die SAL aufzubauen. Typischer Ausgangspunkt des 'bottom up'-Ansatzes wäre z. B. die Nutzung der Basisereignisse einer PSA der Stufe 1 zur Bestimmung der BSK, die zum sicheren Abfahren und zur Nachwärmeabfuhr erforderlich sind. Mit Kenntnis dieser BSK kann man die Ausgangsmenge der BSK weiter einschränken. Es werden dann nur noch die Räume betrachtet, welche BSK enthalten, deren Ausfallverhalten im Anlagenmodell zur PSA der Stufe 1 berücksichtigt werden. Diese Räume werden seismisch relevante Räume (SRR) genannt. Für alle SRR kann nun die vollständige BSK-Liste aus dem Betriebsführungssystem ermittelt werden. Weiterhin werden nur die SRR begangen. Auf der Grundlage der Informationen aus den BSK-Listen und den Begehungen der SRR kann dann schrittweise die SAL erweitert werden, indem die entsprechenden Abhängigkeiten berücksichtigt werden.

Die Wahl der Herangehensweise - 'top down'- oder 'bottom up'-Vorgehen - ist von den Möglichkeiten der Datenbereitstellung im Kraftwerk abhängig. In den meisten Fällen werden beide Herangehensweisen gemischt genutzt.

### **3.1.2 BSK – Sicheres Abfahren**

Nach einem Erdbeben werden sekundärseitige und primärseitige Sicherheitseinrichtungen benötigt, um die Anlage sicher abzufahren. Diese Sicherheitsfunktionen sind in der Regel in einer PSA der Stufe 1 für den Leistungsbetrieb modelliert. Zur Ermittlung der BSK für das sicherere Abfahren nach einem Erdbeben, kann also auf die Basisereignisse dieser PSA zurückgegriffen werden.

Die Basisereignisse der PSA können in einem ersten Schritt aus dem PSA-Rechenprojekt ausgelesen und zur weiteren Bearbeitung in eine Datenbank übertragen werden. Aus der Menge der Basisereignisse (Menge enthält in der Referenzanlage entsprechend /GKN 08/ 3145 Basisereignisse) sind die Basisereignisse auszusortieren, die offensichtlich keine Komponenten für das sicherere Abfahren darstellen. Das sind beispielsweise auslösende Ereignisse, Instandhaltungsereignisse oder 'House Events'. Ferner können alle GVA-Ereignisse aussortiert werden, wobei zu prüfen ist, ob für die betroffenen Komponenten die Einzelausfälle als Basisereignisse vorhanden sind.

Probabilistische Sicherheitsanalysen berücksichtigen auch die Durchführung von Personalhandlungen. In der Regel werden diese im Leistungsbetrieb von der Warte, Notfallmaßnahmen auch vor Ort (im Notspeisegebäude, Schaltanlagegebäude) durchgeführt. Für letzteren Fall ist zu prüfen, ob die für Personalhandlungen zu begehenden Räume durch Erdbeben so beschädigt werden können, dass die Personalhandlungen nicht mehr durchführbar sind. In dem vorliegenden Projekt wurden die Personalhandlungen nicht weiterverfolgt. Die zu betätigenden Komponenten (Ausnahme: Wartebausteine) sind in der SAL vorhanden.

Bei der Erstellung einer Komponentenliste für das sichere Abfahren ist es für eine automatisierte Vorgehensweise hilfreich, wenn die Basisereignisse in ihrer Bezeichnung den vollständigen Namen (nach Kraftwerkskennzeichensystem KKS oder AKZ) der Komponente oder des Bauteils enthalten. Ein zusätzlicher Aufwand ergibt sich dann, wenn die Komponentenbezeichnungen in der PSA mit denen des Betriebsführungssystems oder denen in der für das Auswahlverfahren erstellten Datenbank in Übereinstimmung zu bringen sind. Ein Mehraufwand ergibt sich auch, wenn in der Basis-PSA Ersatzkomponenten verwendet wurden. Für diese sind dann die enthaltenen Komponenten zu ermitteln und in die SAL aufzunehmen.

In probabilistischen Sicherheitsanalysen werden Zuverlässigkeitskenngrößen für Funktionseinheiten ermittelt. So enthält beispielsweise die Funktionseinheit Pumpe (z. B. für das Basisereignis 'Pumpe JNA10AP001 startet nicht') das Pumpenaggregat, Armaturen zu Ölversorgung und Entwässerung, den Pumpenmotor, die Kupplung, den Pumpenmotorkühler, die Schaltanlage einschließlich Leistungsschalter und elektrischer Schutzeinrichtung, Baugruppen der Antriebssteuerung einschließlich Vorrangbildung und Entkopplung sowie die zugehörigen Kabel für Steuerung und Stromversorgung /FAK 05a/. Wird die Liste der BSK für das sichere Abfahren aus den Basisereignissen der PSA gewonnen, so ist bei den folgenden Analysen zu beachten, dass sich Betriebsmittel dieser Komponenten auch in anderen Räumen und Gebäuden befinden können. Nach Erstellung der BSK-Liste für das sichere Abfahren aus den Basisereignissen der PSA muss z. B. mit Hilfe des Betriebsführungssystems ermittelt werden, in welchen Räumen sich die einzelnen Betriebsmittel einer Komponente für das sichere Abfahren befinden. Diese Räume sind dann, wie alle anderen Räume mit seismisch relevanten BSK, zu begehen.

### 3.1.3 BSK – Auslösende Ereignisse

Nach einem Erdbeben kommt es in Abhängigkeit von der aufgetretenen Intensität mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit zu auslösenden Ereignissen. Solche auslösenden Ereignisse können sein:

- Transienten:
  - Notstromfall durch Versagen der Freiluftschaltanlagen oder der Eigenbedarfs- und Fremdnetztransformatoren,
  - Ausfall der Hauptspeisewasserversorgung durch Versagen des Maschinenhauses oder von Komponenten der Hauptspeisewasserversorgung,
  - Ausfall der Hauptwärmesenke durch Versagen des Maschinenhauses oder von Komponenten der Hauptkühlwasserversorgung,
  - Brüche von Rohrleitungen des Sekundärkreislaufes durch Versagen des Maschinenhauses,
- Kühlmittelverluststörfälle durch Versagen von Anschlussleitungen an die druckführende Umschließung oder Integritätsversagen von angeschlossenen Komponenten,
- Anlageninterne Überflutungen durch Brüche von Rohrleitungen des Nebenkühlwasser- oder des Feuerlöschsystems.

Die systematische Betrachtung aller Komponenten eines Kernkraftwerkes (ca. 100.000) zur Ermittlung aller möglichen Ausfälle oder Ausfallkombinationen, die zu einem auslösenden Ereignis führen können, ist sehr aufwändig. Für eine erste Abschätzung zur Häufigkeit von Gefährdungszuständen nach einem Erdbeben kann man vereinfachend unterstellen, dass alle Systeme, die nicht gegen Erdbeben ausgelegt sind, versagen.

Im Falle einer modernen Anlage mit Druckwasserreaktor (DWR) kann zunächst als maximaler Zerstörungsumfang folgendes unterstellt werden:

- Eintreten des Notstromfalls,  
da die Netzanbindung, die Generatorableitung sowie die Eigenbedarfs- und Fremdnetztransformatoren nicht gegen die bei seismischen Einwirkungen auftretenden Belastungen ausgelegt sind;

- sekundärseitige Lecks (FD-Leitungslecks, Speisewasserleitungslecks) und Ausfall der Dampferzeugerbespeisung mit dem An- und Abfahrssystem als Folge der Beschädigung des Maschinenhauses, welches nicht gegen Erdbeben ausgelegt ist.

Zusätzlich ist die Wahrscheinlichkeit für ein Leck an der druckführenden Umschließung als Folge der Belastungen des Erdbebens zu ermitteln. Liefert dieser Ereignisablauf unter Berücksichtigung der erdbebenbedingten Versagenswahrscheinlichkeiten der zum Abfahren benötigten Sicherheitseinrichtungen keinen signifikanten Beitrag zur Gesamthäufigkeit von Gefährdungszuständen, ist dieser Ansatz ausreichend.

Ergibt sich bei der oben beschriebenen Vorgehensweise ein signifikanter Beitrag zur Gesamthäufigkeit von Gefährdungszuständen durch Erdbeben, dann ist ein detaillierteres Vorgehen erforderlich. Dafür ist möglichst systematisch für alle BSK zu untersuchen, ob ihr Versagen bei einem Erdbeben zu einem auslösenden Ereignis führen kann. Als Ausgangspunkt kann man eine Liste aller Komponenten aus dem Betriebssystem generieren.

Im Folgenden sollen wesentliche BSK angesprochen werden, die bei der Identifikation von auslösenden Ereignissen zu betrachten und in die SAL aufzunehmen sind.

- Freiluftschaltanlagen, Eigenbedarfstransformator, Fremdnetztransformator, Eigenbedarfsschienen und deren Hilfssysteme:  
Diese Einrichtungen sind nicht gegen Erdbeben ausgelegt. Ihr Versagen führt zu einem Notstromfall.
- Maschinenhaus:
  - Speisewassersystem, inklusive Speisewasserbehälter und Speisewasserpumpen, Ausfälle dieser Einrichtungen führen zum Ausfall der Hauptspeisewasserversorgung,
  - Kondensatsystem (inkl. Kondensator), Hauptkühlwassersystem, Ausfälle dieser Einrichtungen führen zum Ausfall der Hauptwärmesenke,
  - Rohrleitungen des Speisewasser- oder des FD-Systems: Brüche dieser Leitungen oder Brüche von Anschlussleitungen führen zu sekundärseitigen Lecks;
- Reaktorgebäude:  
druckführende Umschließung und ihre Anschlussleitungen, das Versagen dieser Leitungen kann zu Kühlmittelverluststörfällen führen;

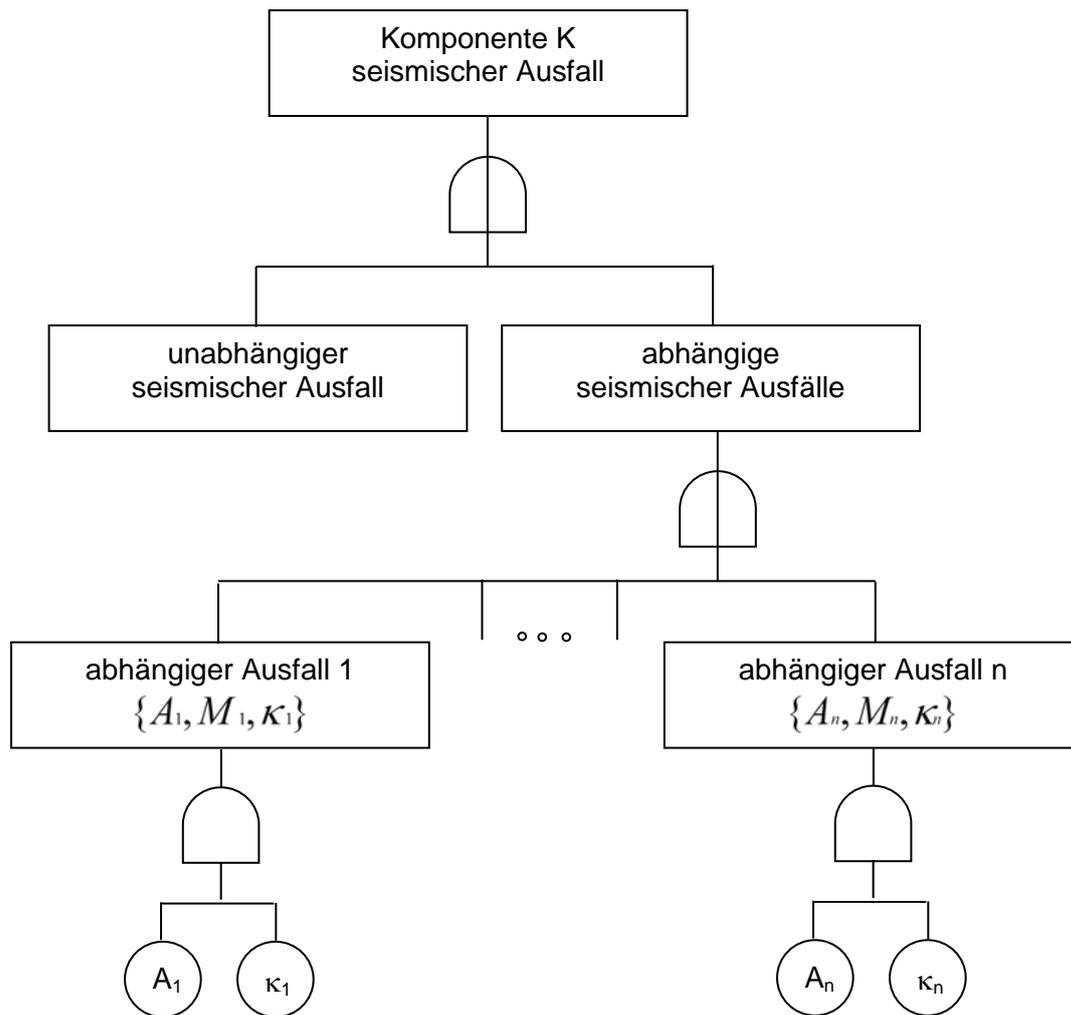
- Rohrleitungen des Nebenkühlwassersystems und des Feuerlöschsystems:  
Durch Brüche dieser Leitungen kann es zu internen Überflutungen kommen. Falls eine PSA zur internen Überflutung vorhanden ist, kann diese herangezogen werden.

Für BSK, die ein auslösendes Ereignis hervorrufen können, sind dann erdbebenbedingte Versagenswahrscheinlichkeiten zu ermitteln. Die Versagenswahrscheinlichkeit einer BSK entspricht dann der Eintrittswahrscheinlichkeit des auslösenden Ereignisses, welches durch das Versagen der BSK verursacht wurde.

#### **3.1.4 BSK – Sonstige**

Bis auf die BSK, die sich aus den Annahmen zur PSA der Stufe 1 ergeben (siehe Kapitel 3.1.4.1) lassen sich die sonstigen BSK auf Abhängigkeiten im Ausfallverhalten zurück führen. Im Vorhaben /GRS 07a/ wurde ein Modell zur Beschreibung von Abhängigkeiten im seismischen Ausfallverhalten von BSK entwickelt. Nachfolgend ist das Modell kurz beschrieben und anhand einiger Beispiele erläutert, zur Ableitung des Modells siehe /GRS 07a/.

Auf der Grundlage der vorläufigen Liste von seismisch relevanten BSK werden die seismisch relevanten Räume (SSR) bestimmt. Für die SRR werden alle Daten und Informationen der Anlagendokumentation geprüft. Begehungen werden zur ergänzenden Verifizierung der Informationen und der Identifizierung von Abhängigkeiten durchgeführt.



**Abb. 3-3:** Modellierung seismischer Abhängigkeiten

Entsprechend dem in /GRS 07a/ entwickelten Modell kann die Abhängigkeit einer gegebenen relevanten Komponente bezüglich ihres Ausfallverhaltens durch ein Wertetripel  $\{A, M, \kappa\}$  beschrieben werden. Dabei sind

- $A$  eine verbale Beschreibung der Abhängigkeit der gegebenen Komponente von den BSK der Menge  $M$ ,
- $M$  die Menge aller BSK, deren Ausfallverhalten den Ausfall der gegebenen Komponente aufgrund von Abhängigkeitsart  $A$  beeinflusst,
- $\kappa$  ein Parameter ( $0 \leq \kappa \leq 1$ ), der die Stärke der Abhängigkeit beschreibt.  
 $\kappa$  ist abhängig von der Intensität des Erdbebens, wird aber in der Mehrzahl der Fälle als konstant angenommen (siehe auch die Beispiele in Tab. 3-1).

Bei der Begehung im Rahmen der Auswahlstufe 1 geht es vor allem um das Aufspüren derartiger Abhängigkeiten, d. h. zu jeder BSK der vorläufigen seismischen Ausrüstungsliste sind die möglichen Abhängigkeitsmengen  $M$  zu bestimmen. Eine Bewertung der Abhängigkeiten über den Parameter  $\kappa$  wird in der Auswahlstufe 2 vorgenommen. So können durchaus Abhängigkeiten, die in einer Begehung als eventuell relevant erkannt wurden, bei genauerem Hinsehen als unbedeutend verworfen werden. Bei der Quantifizierung wäre in einem solchen Fall  $\kappa = 0$  zu setzen.

In Tab. 3-1 sind einige Beispiele für mögliche Abhängigkeiten für eine Komponente beschrieben (zur Modellierung der Abhängigkeiten im Anlagenmodell und zur Berücksichtigung der Erdbebenstärke siehe /GRS 07a/).

**Tab. 3-1:** Abhängige Ausfälle einer Komponente  $K$  von weiteren BSK-Ausfällen bei seismischen Einwirkungen

Art der Abhängigkeit (Eigenschaft $A$ )	Abhängigkeit (Menge $M$ )	Kopplungsparameter $\kappa$
Abhängigkeit von BSK in einem Raum, z. B. Eigenschaft $A$ sei die Erdbebenfestigkeit der Raumdecke	Menge $M$ besteht aus sämtlichen BSK des betrachteten Raumes	$\kappa = 1$ , wenn bei Versagen von $A$ die entsprechende BSK mit Sicherheit ausfällt; Modifikationen sind raumspezifisch möglich (leichte Decke, kompakte BSK), sind aber zu begründen.
Abhängigkeit von BSK in einem Raum, z. B. Eigenschaft $A$ ist die Möglichkeit der <b>Brandentstehung</b> im Raum aufgrund seismischer Ursachen	Menge $M$ besteht aus sämtlichen BSK des betrachteten Raumes; eine BSK ist als Brandausgangspunkt hervorgehoben	$\kappa = x$ , ist die bedingte Wahrscheinlichkeit dafür, dass Komponente $K$ durch seismisch verursachten Brand ausfällt. Beispiele: $x = 1 \dots$ , wenn angenommen wird, dass bei einem Brand im Raum sämtliche BSK ausfallen (oder wenn $K$ selbst die brandauslösende Komponente ist). $x = w \dots$ , wenn aus einer vorhandenen Brand-PSA die Ausbreitungswahrscheinlichkeit $w$ begründet genutzt werden kann.

Art der Abhängigkeit (Eigenschaft <b>A</b> )	Abhängigkeit (Menge <b>M</b> )	Kopplungsparameter $\kappa$
Abhängigkeit von BSK in einem Gebäude, Eigenschaft <b>A</b> - Erdbebenfestigkeit des Gebäudes	Menge <b>M</b> besteht aus sämtlichen BSK des betrachteten Gebäudes	$\kappa = 1$ , wenn bei Versagen von E die entsprechende BSK mit Sicherheit ausfällt. Modifikationen sind gebäude-spezifisch möglich (z. B. könnten unterirdische Kabelräume nicht betroffen sein), sind aber zu begründen.
Abhängigkeit von BSK in einem Gebäude, z. B. Eigenschaft <b>A</b> ist die Möglichkeit einer <b>Überflutung</b> im Gebäude wegen des Ausfalls einer BSK aufgrund seismischer Ursachen	Menge <b>M</b> besteht aus den BSK des betrachteten Gebäudes, die aufgrund von Überflutung ausfallen können; eine BSK ist als Ausgangspunkt der Überflutung hervorgehoben. Zur Bestimmung von <b>M</b> ist eine Überflutungsanalyse heranzuziehen.	$\kappa = x$ , ist die bedingte Wahrscheinlichkeit dafür, dass Komponente <b>K</b> durch seismisch verursachte Überflutung ausfällt. Beispiele: $x = 1 \dots$ , wenn mit Sicherheit angenommen wird, dass K bei einer Überflutung im Gebäude ausfällt $X = w \dots$ , wenn aus einer vorhandenen Überflutungs-PSA die bedingte Ausfallwahrscheinlichkeit $w$ von <b>K</b> aufgrund von Überflutung begründet genutzt werden kann.
Abhängigkeit von einer <b>BSK der Klasse II</b> Eigenschaft <b>A</b> - Erdbebenfestigkeit der Klasse-II-BSK und Versagensmechanismus der BSK (gegeben: seismische Versagenswahrscheinlichkeit der Klasse-II-BSK)	Menge <b>M</b> besteht aus einem Element, der Klasse-II-BSK	$\kappa = x$ , ist die bedingte Wahrscheinlichkeit dafür, dass Komponente <b>K</b> bei Versagen der Klasse-II-BSK aus <b>M</b> ausfällt. Beispiele: $x = 0,5 \dots$ , wenn die Komponente K auf einer Seite einer Mauer (Klasse-II-BSK !) steht; $x = 0,25 \dots$ wenn der Ausfall der Komponente K von der Fallrichtung eines Schornsteins (Klasse-II-BSK!) abhängt.

Art der Abhängigkeit (Eigenschaft <i>A</i> )	Abhängigkeit (Menge <i>M</i> )	Kopplungsparameter $\kappa$
<p><b>Technologische Abhängigkeit</b> Eigenschaft <i>A</i> – Wirkung der technologischen Abhängigkeit auf das Ausfallverhalten der BSK von <i>M</i> (gegeben: seismische Versagenswahrscheinlichkeit aller Komponenten von <i>M</i> in Abhängigkeit von <i>F</i>)</p>	<p>Menge <i>M</i> besteht aus der Komponente <i>K</i> und weiteren sicherheitstechnisch wichtigen Komponenten, die durch eine technologische Abhängigkeit verbunden sind. Technologische Abhängigkeiten können z. B. durch starre Verbindungen oder durch Verankerung auf einer gemeinsamen Bodenplatte gegeben sein (oder auch aufgrund von benachbarter Aufstellung im Erdbebenfall a-priori angenommen werden)</p>	<p><math>\kappa = x</math>, ist ein Maß für die Stärke der Kopplung der Komponenten aufgrund der technologischen Abhängigkeit. Ist <math>x = 1</math>, wird angenommen, dass ein Ausfall einer Komponente aus <i>M</i> zum Ausfall aller Komponenten führt (starke Kopplung).</p>

### 3.1.4.1 Ergänzungen PSA Stufe 1

Es sind die Komponenten von Sicherheitssystemen auf ihre seismische Relevanz zu überprüfen, die aufgrund spezieller Annahmen bei einer PSA der Stufe 1 ausgeschlossen werden konnten. Das sind insbesondere:

- BSK mit vernachlässigbaren Ausfallwahrscheinlichkeiten  
Besondere Aufmerksamkeit ist auf solche BSK zu richten, deren Ausfälle aufgrund vernachlässigbaren Wahrscheinlichkeiten in der PSA der Stufe 1 nicht betrachtet worden sind. Dabei sind Mehrfachfehler redundanter BSK - aufgrund des Potentials seismischer Einwirkungen GVA hervorzurufen - zu berücksichtigen.
- passive BSK  
In PSA wird oft von der ordnungsgemäßen Funktion passiver Komponenten ausgegangen. Diese Annahmen sind für den Erdbebenfall kritisch zu überprüfen. Das betrifft z. B. Behälter, Rückschlagklappen (Schließfunktion) oder Wärmetauscher. Auch die Festigkeit aller Rohrleitungen der Systeme, die in der PSA Stufe 1 modelliert wurden, ist zu hinterfragen.

### **3.1.4.2 BSK Klasse II**

In den seismisch relevanten Räumen der vorläufigen seismischen Ausrüstungsliste ist zu überprüfen, ob BSK der Klasse II (nach KTA 2201.1) enthalten sind, die die zuvor gefundenen BSK bei Erdbebeneinwirkung in ihrer Funktion beeinflussen können. Das kann zuerst anhand von Aufstellungsplänen überprüft werden. Eine Ergänzung bei Begehungen ist möglich und notwendig.

### **3.1.4.3 Erdbebenbedingte Brandschäden**

Bei einem Erdbeben sind folgende Auswirkungen brandrelevant /EPR 05/:

- Brandeintritt,
- Beschädigung von Brandmelde- und -bekämpfungseinrichtungen,
- Fehlanregungen von Brandmelde- und -bekämpfungseinrichtungen,
- Minderung der Effektivität manueller Brandbekämpfung.

In /EPR 05/ wird die Berücksichtigung dieser Auswirkungen in einer Brand-PSA erläutert. Es wird insofern keine Prozedur zur Quantifizierung des Risikos von seismisch induzierten Bränden abgeleitet. Es wird in diesem Zusammenhang bemerkt, dass bis zum Jahr 2005 kein erdbebenbedingter Brand zu verzeichnen war.

Am 16. Juli 2007 gab es in Japan ein Erdbeben am Standort des Kernkraftwerks Kashiwazaki-Kariwa /KAT 08/ und /MAT 08/. Kurz nach dem Beben trat ein Brand mit zumindest drei der oben genannten brandrelevanten Bezüge auf:

- seismisch induzierter Transformatorbrand (Ölleckage, Kurzschluss),
- Leck in der Löschwasserleitung,
- Verzögerung des Einsatzes der externen Feuerwehr (Kommunikations- und Verkehrschaos).

Nachfolgend sind, gestützt auf Informationen aus /IAE 93/, /COO 96/, /EPR 05/ und /MIT 06/, einige Bemerkungen zu den brandrelevanten Aspekten von Erdbeben zusammengestellt. Ein Vorschlag zur Identifikation der brandrelevanten BSK und deren Bewertung im Auswahlverfahren schließt sich an.

- Es gibt noch keine Ansätze zur Bestimmung der bedingten Wahrscheinlichkeit seismisch verursachter Brände in Kernkraftwerken /EPR 05/.
- Es kann aufgrund der meist sehr kurzen Dauer eines Erdbebens ausgeschlossen werden, dass während der Dauer eines Erdbebens ein unabhängiger Brand eintritt.
- Aufgrund der vielfältigen zusätzlichen Fehlermöglichkeiten bei und nach einem Erdbeben kann davon ausgegangen werden, dass seismisch induzierte Brände länger dauern und damit auch ein größere Schäden hervorrufen können als Brände unter normalen Betriebsbedingungen.
- Die Möglichkeit der Nichtverfügbarkeit von Brandbekämpfungseinrichtungen infolge eines Erdbebens ist in die Untersuchungen einzubeziehen. Dazu gehört beispielsweise die Frage nach der seismischen Auslegung der Löschsyste (z. B. Feuerlöschleitungen) oder die ordentliche Befestigung von Feuerlöschern.
- Aufgrund von Staubaufwirbelungen oder Dampfaustritt bei Lecks während eines Erdbebens sind Brandfehlalarme möglich, wenn nicht sogar wahrscheinlich.
- Auch zur Feststellung brandspezifischer Besonderheiten im Erdbebenfall werden Begehungen empfohlen.

Die Datenbank <SPSA> umfasst im ersten Schritt auch alle BSK mit dem Potential bei seismischen Einwirkungen durch Brand geschädigt zu werden. Nach Durchführung der Auswahl verbleiben die BSK deren brandbedingter Ausfall aufgrund von Erdbeben einen Beitrag zur Häufigkeit der Gefährdungszustände in einer SPSA liefert. Diese brandbedingten Ausfälle sind dann entsprechend in das SPSA-Modell aufzunehmen (vgl. dazu in dem Abschlussbericht zu /GRS 07a/ die Ausführungen zur Modellierung und Quantifizierung erdbebenbedingter Ereignisabläufe).

Es wird davon ausgegangen, dass folgende erdbebenbedingte Ausfälle zu Bränden führen können (vgl. auch /MIT 06/):

- Kurzschluss in elektrischen Anlagen (z. B. Schaltanlagen),
- Überhitzung bei BSK mit beweglichen Teilen (z. B. bei Dieselaggregaten, Pumpen, Lüftern),
- Entzündung von brennbaren Flüssigkeiten und Gasen aufgrund von Leitungs- und Behälterlecks.

Zu den Leitungs- und Behälterlecks ist anzumerken, dass ein Leck allein natürlich nicht zur Entzündung führt (Wasserstofflecks ausgeschlossen), sondern dass zusätzlich eine Zündquelle vorhanden sein muss. Insofern sind die genannten Schadensbilder nicht immer unabhängig voneinander zu sehen. In /KAT 08/ wird z. B. von einem seismisch verursachten Brand an einem Transformator berichtet. Dabei trat zuerst ein erdbebenbedingtes Leck des Ölsystems des Transformators auf. Weiterhin wurde die Verbindungs-Kabeltrasse vom Transformator zum Blockgebäude beschädigt. Es kam zu einem Kurzschluss zwischen Kabel und Trasse. Der Lichtbogen führte zur Entzündung des ausgelaufenen Öls.

Vorgehen zur Festlegung der BSK, die sich aufgrund seismischer Ausfälle entzünden können (BSK als Brandquelle) oder die durch derartige Brände ausfallen können (Ausfall durch Brandausbreitung), siehe auch Abb. 3-4:

– Ausgangspunkt

ist die Menge der bis hierher (vgl. Kapitel 3.1.2 und 3.1.3) vorläufig ermittelten seismisch relevanten Räume  $\{SRR\}$ . Für alle diese Räume ist zu prüfen, ob BSK enthalten sind mit dem Potential bei Erdbeben einen Brand auszulösen oder selbst in Brand zu geraten.

Bei Vorliegen einer Brand-PSA sollte die Menge  $\{SRR\}$  um die Räume ergänzt werden, denen in der Brand-PSA eine bedeutende Rolle zukommt. Das sind solche Räume, bei denen ein Brand zur Häufigkeit des Eintretens von Gefährdungszuständen beiträgt. Diese Raummenge wird  $\{SRR-Brand\}$  genannt (vgl. dazu in Tab. 5-12 die Menge  $\{SRR-Brand\}$  für das Referenzkraftwerk).

Bei Brand-PSA spielt insbesondere der Kabelverlauf von Komponenten von Sicherheitssystemen eine Rolle. Räume, in denen nur Kabel von Sicherheitssystemen enthalten sind, sind noch nicht in der Menge  $\{SRR\}$  enthalten, wenn davon ausgegangen wird, dass die Kabelverlegung erdbebensicher erfolgt ist.

– BSK mit größeren Mengen brennbarer Flüssigkeiten oder Gase

Kennzeichnung derartiger BSK in den seismisch relevanten Räumen; Bereitstellung von Eigenschaften zu den so gekennzeichneten BSK (z. B. Art und Menge des Brandguts, Zündeigenschaften usw.)

– BSK als Zünder (Kurzschluss, Überhitzung)

Kennzeichnung derartiger BSK in den seismisch relevanten Räumen

Dazu ist vorab im Rahmen der SPSA ingenieurtechnisch begründet festzulegen,

bei welchen BSK zu Kurzschlüssen bei seismischen Einwirkungen und bei welchen BSK es zu brandentzündenden Überhitzungen kommen kann.

– Auswahlstufe 1

Kennzeichnung aller Räume aus  $\{SRR\}$  in denen sowohl BSK mit größeren Mengen brennbarer Flüssigkeiten als auch BSK als Zünder vorhanden sind.

(Es ist zu beachten, dass es BSK gibt, die beide Eigenschaften besitzen.)

Bei Begehungen wird diese Kennzeichnung auf Vollständigkeit überprüft.

BSK mit größeren Mengen brennbarer Flüssigkeiten oder Gase werden in die SAL aufgenommen, wenn die BSK im gleichen Raum mit Komponenten stehen, die sich aufgrund von Kurzschlüssen oder Überhitzung entzünden können.

– Auswahlstufe 2

Für die BSK mit größeren Mengen brennbarer Flüssigkeiten oder Gase aus der SAL ist zu überprüfen, ob die getroffenen Annahmen realistisch sind, z. B. kann jetzt hinterfragt werden, ob ein Behälter mit einer großen Menge einer brennbaren Flüssigkeit tatsächlich aufgrund seismischer Einwirkungen leak werden kann und wenn ja, ob eine Zündung im Raum tatsächlich (z. B. aufgrund der vorhandenen Abstände) möglich ist.

Bei der Quantifizierung ist zum einen eine bedingte Wahrscheinlichkeit dafür anzugeben, ob es an der BSK zu einem Brand kommt und zum anderen der Ausbreitungsparameter  $\kappa$  anzugeben.

Begehungen unterstützen die Entscheidungsfindung und Quantifizierung.

In dem beschriebenen Vorgehen sind implizit folgende Annahmen und Voraussetzungen der Analyse enthalten:

- Das Auftreten nicht seismisch bedingter Brände während eines Erdbebens wird ausgeschlossen.
- Es werden nur seismisch bedingte Brände durch Kurzschluss, Überhitzung und Entzündung von Leckagen betrachtet.
- Brände bleiben in ihrer Auswirkung auf einen Raum beschränkt. Diese Annahme wird insbesondere kritisch für solche Brandquellen hinterfragt, die nicht in einem SRR liegen.
- Es wird davon ausgegangen, dass mit der seismisch bedingten Brandauslösung alle Komponenten im entsprechenden SRR ausfallen.

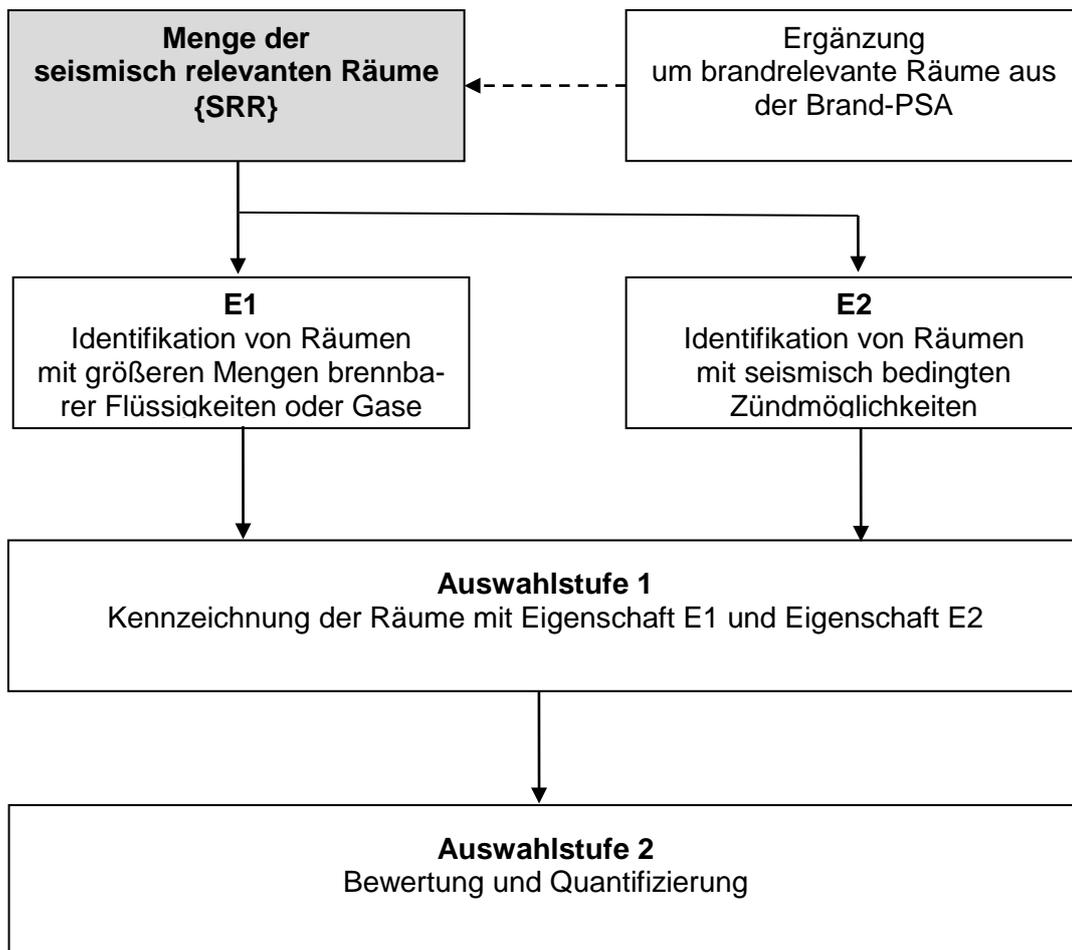
- Alle Entscheidungen zur Bildung der SAL sind ingenieurtechnisch zu begründen. Die SAL wird im Wesentlichen auf qualitativen Kriterien aufgebaut. Eine Quantifizierung ist hier nicht vorgesehen (siehe dazu die Ansätze in /GRS 07a/).

Beispiel:

Das Notspeisegebäude ULB enthält sicherheitstechnisch wichtige Komponenten. Die dortigen seismisch bedingten Brandmöglichkeiten sind zu bewerten.

Prinzipiell können sich die Notspeisepumpen LAS11(41)AP001 aufgrund von Überhitzung entzünden, insbesondere wenn die entsprechenden Ölbehälter LAS11(41)BB001 lecken. Allerdings werden die Notspeisepumpen erst nach dem Erdbeben in Betrieb genommen, d.h. eine seismisch bedingte Entzündung aufgrund von Überhitzung kann ausgeschlossen werden. Der Behälterinhalt an Schmieröl beträgt  $0,22 \text{ m}^3$ . Eine weitere Zündmöglichkeit ist (nach Begehung) nicht gegeben.

Besteht die Möglichkeit der seismisch bedingten Entzündung einer BSK, kann anhand einer Brand-PSA entschieden werden, ob der entsprechende Raum bei Ausfall aller dortigen BSK zur Häufigkeit der Gefährdungszustände leistet. Weist die Brand-PSA für den entsprechenden Brandbereich einen nicht vernachlässigbaren Anteil an der Gesamthäufigkeit der Gefährdungszustände aus, ist der seismisch bedingte Brand in diesem Raumbereich in das Anlagenmodell aufzunehmen (siehe dazu /GRS 07a/).



**Abb. 3-4:** Ergänzung der SAL um brandgefährdete BSK

Kann man nicht auf die Ergebnisse einer Brand-PSA zurückgreifen, ist der seismisch bedingte Brandausfall aller Komponenten im Raum der Brandentstehung zu modellieren. Dabei sind vor allem auch die durch den Raum verlaufenden Kabel zu berücksichtigen.

#### 3.1.4.4 Erdbebenbedingte Überflutungen

Auf seismisch bedingte Überflutungen wird in diesem Bericht nicht im Detail eingegangen. Einige Bemerkungen sind im Kapitel 3.1.3 zu Überflutungen als auslösendes Ereignis zu finden. Ansonsten können im Wesentlichen die allgemeinen Prinzipien des hier abgeleiteten Auswahlverfahrens angewendet werden:

- Aufnahme der seismisch relevanten BSK in die SAL  
(dabei sollte möglichst eine vorhandene Überflutungs-PSA genutzt werden);
- Qualitative Feststellung von Abhängigkeiten (Welche BSK der vorläufigen SAL sind überflutungsgefährdet?) in der Auswahlstufe 1;
- Quantitative Bewertung der Abhängigkeit in der Auswahlstufe 2.

### **3.1.5 Zusammenstellung von Daten zu den seismisch relevanten BSK**

Neben der Zusammenstellung der SAL ist ein weiterer wichtiger Arbeitsschritt im Auswahlschritt 1 die Bereitstellung von Daten und Informationen zu allen BSK der SAL (siehe auch Abb. 3-2). Diese Daten werden als Entscheidungshilfe für den Auswahlschritt 2 benötigt.

Dazu werden alle BSK der ermittelten SAL in eine vorgegebene Datenbankstruktur <DB SPISA> eingetragen (siehe dazu die Kapitel 4 und 5). Viele Daten und Informationen werden schon im Prozess der Erstellung der SAL benötigt, z. B. die Raumzugehörigkeit.

In der bisherigen Version der Datenbank sind einige Informationsfelder vorformuliert, aber in dieser Hinsicht ist die Datenbank flexibel erweiterbar. Nachfolgend werden einige hilfreiche Informationen zu einer BSK der SAL aufgeführt:

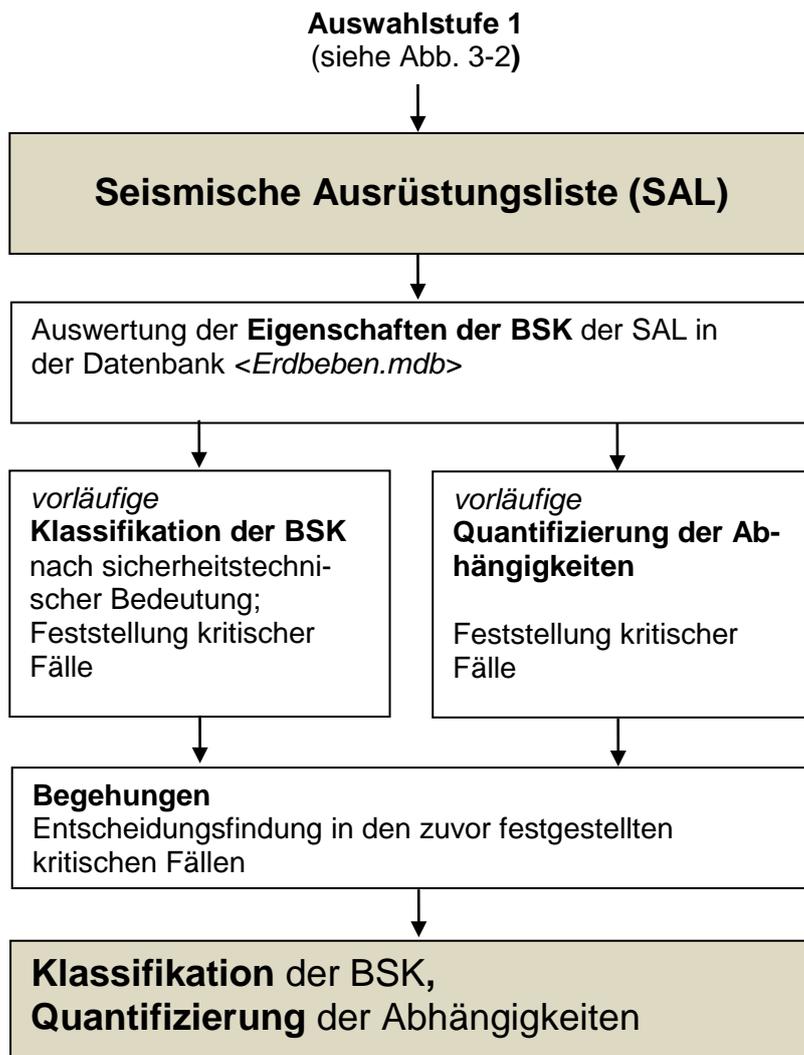
- Warum ist die BSK in der SAL enthalten?  
(z. B. BSK ist Basisereignis im Anlagenmodell der PSA der Stufe 1, BSK leitet bei Ausfall ein störfallauslösendes Ereignis ein, BSK ist möglicher Auslöser von Bränden bei Erschütterungen)
- örtliche Zuordnung der BSK  
(Raum- und Gebäudezuordnung, damit sind auch die Eigenschaften der Gebäude und Räume bekannt)
- systemtechnische Zuordnung der BSK  
(Systemzugehörigkeit der BSK, damit sind auch die entsprechenden systemtechnischen Eigenschaften bekannt)
- Auslegung der BSK gegen seismische Einwirkungen und sonstige technische Eigenschaften

- Klassifikation der BSK  
(Es geht hier um einfache Klassifikationen zur vereinfachten Entscheidung nach Regelmengen in der Auswahlstufe 2, siehe Literatur, z. B. /DOE 97/)
- generische seismische Versagensfunktionen für die BSK-Art
- Bedeutung der BSK im PSA-Anlagenmodell (Auswertung der Importanzen, natürlich nur, wenn BSK eine Komponente im Anlagenmodell ist)
- In welchen Abhängigkeitsmengen ist die BSK enthalten? Wie stark ist die Ausfallkorrelation?
- Versagensart der BSK  
(BSK können je nach ihrer betrieblichen Aufgabe aus verschiedenen Ursachen versagen. Es wird zwischen dem Verlust der Standsicherheit, der Integrität oder der Funktionsfähigkeit unterschieden.)

### **3.2 Auswahlstufe 2: Klassifikation der SAL-Ausrüstungen nach ihrer sicherheitstechnischen Bedeutung**

Die Auswahlstufe 2 beschäftigt sich ausschließlich mit den BSK der in der Auswahlstufe 1 definierten SAL. Die SAL enthält alle BSK, die bei einem seismisch bedingten Ausfall einen Beitrag zur Häufigkeit der seismisch bedingten Kernschadenzustände leisten können. Eventuelle Abhängigkeiten im seismischen Ausfallverhalten der BSK sind in der SAL vermerkt.

Es ist das Ziel der Auswahlstufe 2 alle BSK der SAL nach ihrer sicherheitstechnischen Bedeutung zu klassifizieren und die in der Auswahlstufe 1 festgestellten qualitativen Abhängigkeiten zu quantifizieren.



**Abb. 3-5:** Auswahlstufe 2

Es werden folgende BSK-Klassen unterschieden:

- BSK (der Klasse 0)  
Versagen bei Erdbeben kann ausgeschlossen werden / wird ausgeschlossen  
oder  
Versagen bei Erdbeben liefert keinen Beitrag zur Häufigkeit von Gefährdungszuständen.
- BSK (der Klasse 1)  
Versagen kann durch generische Versagenskurven beschrieben werden.
- BSK (der Klasse 2)  
Die Ableitung anlagenspezifischer Versagenskurven ist erforderlich.

In der Auswahlstufe 2 wird bei der Klassifikation der BSK nach sicherheitstechnischer Bedeutung zweistufig vorgegangen (siehe Abb. 3-5). Zunächst wird versucht möglichst viele BSK auf der Grundlage der in der Datenbank abgelegten Daten und Informationen unter Einbeziehung von Expertenwissen zu klassifizieren. Dazu können die BSK nach Ähnlichkeitsmerkmalen gruppiert werden. Unter genauer Festlegung der Bedingungen kann dann festgelegt werden, dass nur eine der ähnlichen BSK klassifiziert werden muss und die Ergebnisse auf die anderen ähnlichen BSK analog übertragen werden kann (siehe z. B. /BEN 91/, S.2-27).

Ist eine Klassifikation aufgrund der vorliegenden Informationen nicht möglich, werden diese BSK (kritische BSK) zur Entscheidungsfindung bei einer weiteren Begehung zurückgestellt.

Entsprechend wird bei der Bewertung der Abhängigkeiten vorgegangen. Sollte eine Quantifizierung auf der Grundlage der in der Datenbank vorhandenen Informationen nicht möglich sein, sind Vor-Ort-Begutachtungen durchzuführen. Zum eigentlichen Prozess der Klassifikation von BSK aufgrund von seismisch relevanten Eigenschaften wird auf die Literatur (vgl. Kapitel 2) verwiesen.

Das ist nicht Gegenstand dieses Vorhabens, allerdings sollte darauf hingewiesen werden, dass für die Bewertung von BSK unter seismischen Gesichtspunkten in Deutschland noch keine adäquaten Regelmengen (caveats) zum Vergleich mit der Auslegung konkreter BSK entwickelt wurden. Beispiele für Klassen von BSK für die internationalen Regelmengen vorliegen, sind z. B. in /KEN 92/ (siehe Literaturlauswertung Kapitel 2.1 oder /DOE 97/, Kapitel 2.2) genannt. Das Vorliegen von Regelmengen hat natürlich auch Einfluss auf die für die einzelnen BSK im Auswahlschritt 1 zu sammelnden Daten und Informationen, z. B. ist für Großkomponenten die Verankerung der BSK von herausragender Bedeutung. Dabei sind dann BSK-Charakteristiken wie Masse, Lage des Schwerpunkts, Schwingungsverhalten, Dämpfung und ähnliches von Interesse. Zur Verankerung ist der Typ der Verankerung, die Anzahl und Lokation der Anker, die Abstände zwischen den Ankern und die Betonfestigkeit anzugeben. Zu jeder Regelmenge gehört eine Reihe von Eigenschaften.

Die Datenbank <DB SPSA> ist zur Aufnahme von Klassen von BSK und den zugehörigen Eigenschaften der Regelmengen strukturell vorbereitet. Eine Belegung mit Inhalten kann erst erfolgen, wenn Regelmengen definiert wurden.

### 3.3 Begehungen

Die Durchführung von Begehungen ist sowohl für Auswahlstufe 1 als auch für Auswahlstufe 2 von grundlegender Bedeutung. Die Begehungsinhalte können in Bezug auf die Ziele der Auswahlstufen festgelegt werden. Innerhalb der Auswahlstufe 1 geht es vor allem darum, die Vollständigkeit der seismischen Ausrüstungsliste unter Berücksichtigung aller Abhängigkeiten zu garantieren. Die Feststellung der seismischen Kapazität aller BSK der SAL ist das Ziel der Auswahlstufe 2.

Die Begehungen sollten genutzt werden, um eine Fotodokumentation anzufertigen.

Die Begehungen sollten möglichst alle seismisch relevanten Räume und deren BSK umfassen, die vernünftig zugänglich sind und die keine bzw. nur eine geringe Strahlenbelastung aufweisen. BSK der SAL, die nicht zugänglich sind oder die sich in einer Umgebung mit hoher Dosisleistung befinden, müssen alternativ behandelt werden (fotografische Inspektion, kleines Begehungsteam oder nur kurzfristiger Aufenthalt in der Umgebung mit hoher Dosisleistung).

Grundsätzlich werden alle SRR begangen. In diesen Räumen befinden sich die seismisch relevanten BSK. Einige dieser BSK werden von Hilfssystemen versorgt, deren seismisches Versagen auch zum Ausfall der seismisch relevanten BSK führen kann. Unter den Hilfssystemen werden hier vor allem Verteilungssysteme wie Rohrleitungen, Kabelwege und Lüftungsleitungen verstanden. Es wird keine vollständige Begehung dieser Hilfssysteme durchgeführt. Es ist vor Durchführung der PSA aufgrund der Anlagendokumentation und in Zusammenarbeit mit dem Betriebspersonal zu entscheiden, in welchem Detaillierungsgrad diese Hilfssysteme betrachtet werden. In den meisten Fällen sollte eine stichprobenartige Begehung im Verlauf der Begehung zur Auswahlstufe 1 ausreichen.

Für die zu begehenden Räume wird ein Begehungsformblatt über die Datenbank <SB SPSA> bereitgestellt.

- Durchführung Begehung zur Auswahlstufe 1

Begehungen zur Auswahlstufe 1 werden raumbezogen durchgeführt. Es sind alle Räume zu begehen, die BSK der vorläufigen SAL enthalten. Hauptaugenmerk dieser Begehungen besteht in der Ergänzung der vorläufigen SAL durch Abhängigkeiten zwi-

schen den BSK. Es ist zu begutachten, ob BSK (nicht in der vorläufigen SAL) im Raum sind, deren Ausfall bei seismischen Einwirkungen die BSK aus der vorläufigen SAL zum Ausfall bringen können. Die Abhängigkeiten sind festzustellen, zu beschreiben und in der Datenbank zu registrieren. Die SAL ist zu ergänzen.

Im Verlauf der Begehung werden auch alle sonstigen seismisch wichtigen Aspekte der allgemeinen Kraftwerksordnung zusammengestellt, z. B.:

- Ordnungsmängel (poor housekeeping),
- nicht gesicherte Gasflaschen,
- schwere, nicht verankerte Ausrüstungen,
- seismisch schlecht gesicherte Behälter oder
- ungünstig verlegte Rohrleitungen.

Dabei muss es sich nicht unbedingt um Ausrüstungen der SAL handeln. Derartige Erkenntnisse werden in der Datenbank den entsprechenden Räumen zugeordnet.

- Durchführung Begehung zur Auswahl 2

Die Begehungen zur Auswahlstufe 2 sind BSK-bezogen. Noch in der Auswahlstufe 1 werden zu jeder BSK der SAL Informationen zur Entscheidungsfindung bez. der seismischen Kapazität zusammengestellt. Nach einer Expertenentscheidung aufgrund der vorhandenen Informationen zur Risikoklassifikation der SAL-BSK und zur Quantifizierung der erkannten Abhängigkeiten werden die BSK während einer Begehung aufgesucht, bei denen keine eindeutige Entscheidung getroffen werden kann.

Dabei geht es dann vor allem um die Feststellung und Ergänzung von speziellen BSK-Merkmalen entsprechend den notwendigen Vergleichen mit den Regelmengen (z. B. Verankerung der BSK). Vorhandene Informationslücken können geschlossen werden. Die Vor-Ort-Installation der BSK ist mit den Spezifikationen in der Dokumentation zu vergleichen.

Wenn das Begehungsteam nach Auswertung der SAL feststellt, dass eine Gruppe von BSK ähnlich ist und auch die Verankerung ähnlich ausgeführt ist, dann kann entschieden werden, dass nur eine dieser BSK 'begangen' wird /BEN 91/, S. 2-27. Alle Begehungsergebnisse sind in der Datenbank zu hinterlegen.

## 4 Aufbau und Nutzung einer Datenbank zur Anwendung beim Auswahlverfahren einer SPSA

Zur unterstützenden Durchführung einer SPSA wurde eine MS ACCESS®-Datenbank <DB SPSA> entwickelt. Diese Datenbank ist geeignet, im Verlauf der Erarbeitung einer SPSA die erforderlichen Daten aufzunehmen, aufzubereiten und in den verschiedenen Phasen der Projektbearbeitung geeignet zur Verfügung zu stellen. Die Struktur und allgemeine Nutzung der *Datenbank* <DB SPSA> wird nachfolgend beschrieben. Die Probleme bei der Anwendung und Nutzung für ein konkretes SPSA-Projekt sind in Kapitel 5 ausgeführt.

### 4.1 Die Datenbankanwendung <DB SPSA>



**Abb. 4-1:** Startbildschirm der Datenbank <DB SPSA>

Zur praktischen Anwendung des beschriebenen Auswahlverfahrens für die Durchführung einer SPSA ist eine MS ACCESS 2007® Datenbankanwendung <DB SPSA.accdb> entwickelt worden, vgl. dazu den Startbildschirm in Abb. 4-1.

Die Datei <DB SPSA.accdb> kann nicht mit älteren MS ACCESS<sup>®</sup>-Versionen verwendet werden. Um dennoch die Datenbank ohne MS Office 2007 nutzen zu können, ist der Datenbankbetrachter <AccessRuntime.exe> zu installieren. Dieser ist als Freeware erhältlich und frei verwendbar. Die aktuelle deutsche Version des Betrachters ist im Installationsumfang der Datenbank <DB SPSA.accdb> enthalten.

Die Datenbank <DB SPSA.accdb> kann aus jedem beliebigen Arbeitsverzeichnis heraus gestartet werden, setzt allerdings die Zugriffsrechte auf folgende Unterverzeichnisse voraus:

<.../Anhang>	Verzeichnis enthält beliebige Zusatzinformationenzum betrachteten Kernkraftwerk,
<.../Bilder>	Verzeichnis enthält die Fotodokumentation der Anlage,
<.../Export>	Verzeichnis nimmt Ergebnisse auf,
<.../Import>	Verzeichnis enthält Originaldaten.

Dem Anwender von <DB SPSA> steht eine Verwaltung der verwendeten Datenquellen zur Verfügung. Damit besteht die Möglichkeit alle verwendeten Datenquellen zu dokumentieren, zu bewerten und den Datensätzen eine Quellenangabe hinzuzufügen.

Die Datenbank verwendet einen neuen MS ACCESS 2007<sup>®</sup> Datentyp ANHANG. Damit ist eine komfortable Verwaltung verschiedener Dokumente möglich, beispielsweise können Bilder direkt in Formularen und Berichten angezeigt und ausgedruckt werden. Für andere Dokumente wird der Pfad gespeichert und die entsprechende Datei kann über ein Auswahlfenster geöffnet werden. Diese Funktion ist nicht mit älteren Versionen von MS ACCESS<sup>®</sup> kompatibel.

- Schaltfläche [Infos zum Bearbeitungsstand]

Es können Informationen zum letzten Stand der Bearbeitung eingesehen und aktuelle Änderungen beschrieben werden.

#### **4.2 Datenstruktur der Datenbank <DB SPSA>**

Dieser Abschnitt zeigt die Datenstruktur der verwendeten Tabellen, auf denen die Abfragen, Formulare und Berichte der Datenbank aufbauen. Die Datenbanktabellen sind in Tab. 4-1 zusammengestellt, die Verknüpfungen der Tabellen über charakteristische Felder in den Datenbanktabellen ist Abb. 4-2 zu entnehmen.

**Tab. 4-1:** Tabellen der *Datenbank <DB SPSA>*

Tabelle	Bemerkung
<p>Haupttabelle &lt;tblBSK&gt;</p>	<p><b>Tabelle der Bauteile, Systeme, Komponenten (BSK) und dem Standort der BSK</b> (Struktur siehe Tab. 4-2)</p> <p>Die Datenstruktur der einzelnen Tabellen ist insbesondere für den Nutzer von Bedeutung, der über dem Gesamtdatensatz eigene Recherchen durch Formulierung geeigneter Datenbankabfragen durchführen will.</p> <p>Die BSK werden entsprechend Kraftwerkkennezeichensystem (KKS) identifiziert. Die Tabelle enthält Primärdaten (Eingabe) und abgeleitete Daten (Ergebnisse des Auswahlverfahrens).</p> <p>Ist der Raum der BSK gegeben, kann über die Verknüpfung zu &lt;tblRaum&gt; auf Raumeigenschaften zugegriffen werden.</p> <p>Ist das zugehörige Bauwerk gegeben, können zusätzlich in &lt;tblBauwerke&gt; die Bauwerkseigenschaften herangezogen werden.</p> <p>Kann ein zugehöriges System spezifiziert werden, sind über die Tabelle &lt;tblSysteme&gt; Systemeigenschaften abfragbar.</p> <p>Gehört eine BSK zu einer Abhängigkeitsmenge, sind Informationen zu dieser Menge in &lt;tblAbhaengigkeit&gt; abrufbar.</p> <p>Gehört eine BSK zu einer Ausrüstungsklasse, sind Informationen zur Erfüllung der entsprechenden Regelmenge in &lt;tblRegelmengenxx&gt; abrufbar.</p> <p>Für seismisch relevante BSK sind in der Tabelle &lt;tblVerswahr&gt; die in der SPSA genutzten Versagenswahrscheinlichkeiten hinterlegt.</p>

Tabelle	Bemerkung
<tblRaum>	<p><b>Tabelle der Räume</b> (Struktur siehe Tab. 4-3)</p> <p>Die Räume werden entsprechend KKS durch Bauwerk und Raumnummer (Etage, lfd. Nummer) identifiziert. Die Tabelle enthält die Räume des Kernkraftwerks (soweit benötigt) und deren Eigenschaften. Insbesondere ist gekennzeichnet, ob es sich um seismisch relevante Räume handelt.</p> <p>Diese Tabelle enthält Primärdaten (Eingabe) und abgeleitete Daten (Ergebnisse des Auswahlverfahrens). Zu den Ergebnissen zählt auch, ob der Raum im Rahmen der SPSA-Untersuchungen begangen wurde. Zu Art und Umfang der Begehung besteht eine Verknüpfung zu &lt;tblBegehungen&gt;.</p>
<tblAusruestungsklassen>	<p><b>Tabelle der Ausrüstungsklassen</b> (Struktur siehe Tab. 4-7)</p> <p>Die BSK der SAL werden Ausrüstungsklassen zugeordnet. Zu einer Ausrüstungsklasse gehört eine Regelmenge (caveat) zur standardisierten Überprüfung der seismischen Auslegung.</p>
<tblRegelmengexx>	<p><b>Tabelle der Regelmenge xx</b> (Struktur siehe Tab. 4-8)</p> <p>Die Regelmengexx ist die Regelmenge der Ausrüstungsklasse xx. Formal sind in der Datenbank die Tabellen &lt;tblRegelmengexx01&gt; und &lt;tblRegelmengexx02&gt; mit jeweils drei Eigenschaften angelegt. Eine Belegung mit Daten konnte noch nicht stattfinden, da sowohl Ausrüstungsklassen als auch Regelmengen nicht definiert sind.</p>
<tblSysteme>	<p><b>Tabelle der Systeme</b> (Struktur siehe Tab. 4-4)</p> <p>Diese Tabelle enthält die Systembezeichnungen des Kernkraftwerks (soweit benötigt) und deren Eigenschaften.</p>
<tblBauwerke>	<p><b>Tabelle der Gebäude und Bauwerke</b> (Struktur siehe Tab. 4-3)</p> <p>Diese Tabelle enthält die Bauwerke des Kernkraftwerks (soweit benötigt) und deren Eigenschaften.</p>

Tabelle	Bemerkung
<tblAbhaengigkeit>	<p><b>Tabelle der Abhängigkeiten</b> (Struktur siehe Tab. 4-6)</p> <p>Die Tabelle der Abhängigkeitsmengen entsteht im Verlauf des Auswahlverfahrens.</p>
<tblVerswahr>	<p><b>Tabelle der seismischen Versagenswahrscheinlichkeiten</b> (Struktur siehe  Tab. 4-9)</p> <p>Die Tabelle der Versagenswahrscheinlichkeiten ist eine eigenständige Tabelle, in der Versagenswahrscheinlichkeiten für BSK generischer oder auch spezifischer Art hinterlegt werden können. Wird in der konkreten SPSA für eine BSK eine spezielle Versagenswahrscheinlichkeit verwendet, wird das in Tabelle &lt;tblBSK&gt; vermerkt.</p>
<tblBegehungen>	<p><b>Tabelle der Begehungen</b> (Struktur siehe Tab. 4-10)</p> <p>Tabelle zur Dokumentation während der PSA durchgeführter Begehungen</p>
<tblDatenquellen>	<p><b>Tabelle der Daten- und Informationsquellen</b> (Struktur siehe  Tab. 4-11)</p> <p>Zusammenstellung wichtiger Datenquellen</p>
<tblNotizen>	<p><b>Tabelle der Notizen</b> (Struktur siehe Tab. 4-12)</p> <p>Zusammenstellung wichtiger Notizen zum Stand der SPSA-Bearbeitung</p>

Zur Beschreibung der Daten- und Informationsflüsse bei probabilistischen Analysen ist die Unterscheidung zwischen Primär- und Sekundärdaten hilfreich. Unter Primärdaten

versteht man alle Daten und Informationen, die sich ohne zusätzlich vertiefte Analysen aus der Aufgabenstellung ergeben. Sekundärdaten entstehen als Ergebnis eines informationsverarbeitenden Prozesses. Die Haupttabelle *<tblBSK>* (Struktur s. Tab. 4-2) bei der Durchführung des Auswahlverfahrens betrifft die Bauteile, Systeme und Komponenten. Das datenbankorientierte Auswahlverfahren besteht nun darin, diese Tabelle mit Primärdaten zu füllen, um auf dieser Grundlage alle benötigten Sekundärdaten abzuleiten und diese dann ebenfalls in der Tabelle abzulegen. Zu den Sekundärdaten gehören dann natürlich auch die Ergebnisse des Verfahrens wie die Zugehörigkeit einer BSK zur SAL und die Klassifizierung nach sicherheitstechnischer Bedeutung.

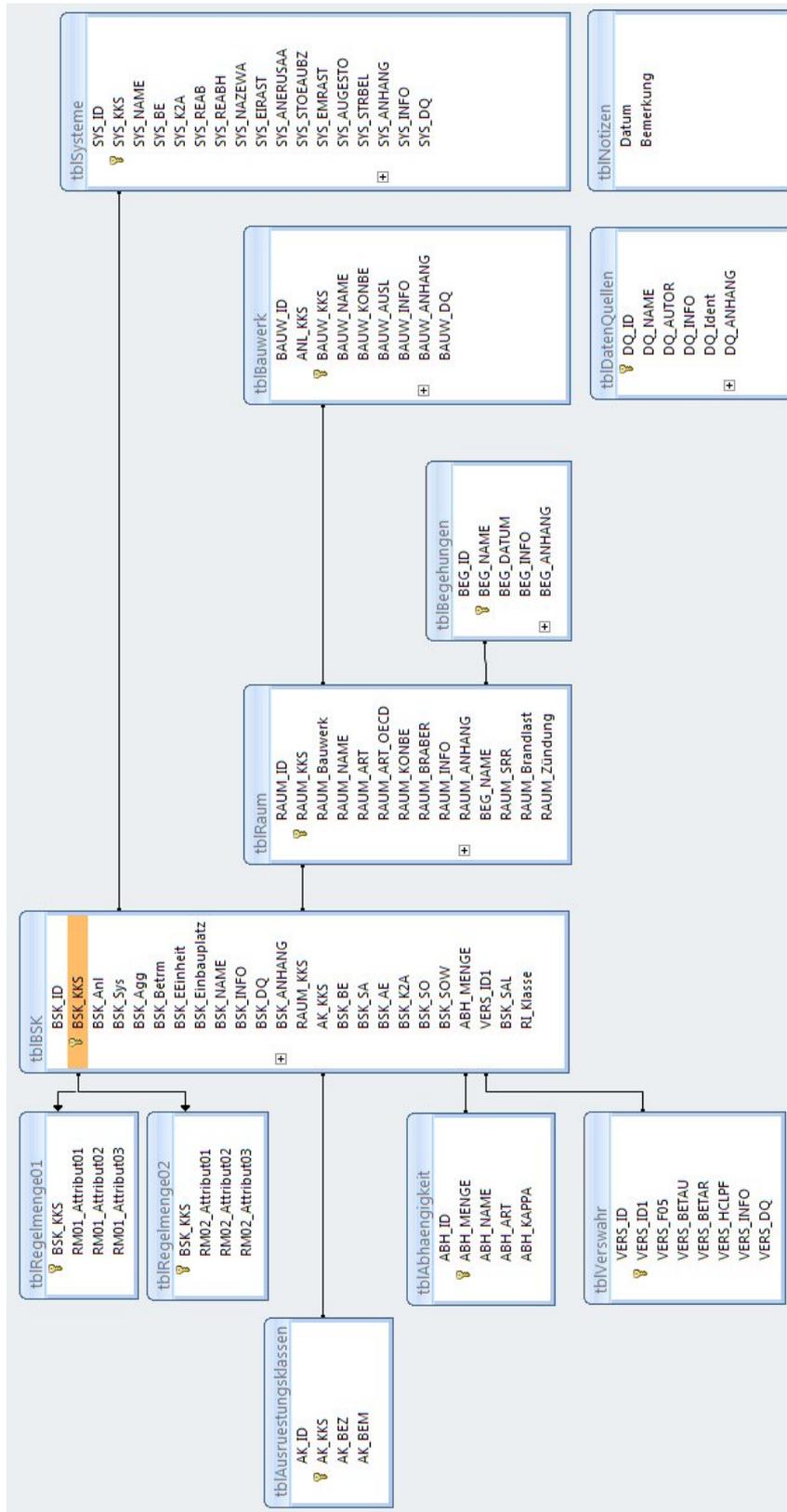


Abb. 4-2: Beziehungen der Tabellen in der Datenbank <DB SPSA>

Die Datenstruktur der einzelnen Tabellen ist insbesondere für den Nutzer von Bedeutung, der über dem Gesamtdatensatz eigene Recherchen durch Formulierung geeigneter Datenbankabfragen durchführen will.

**Tab. 4-2:** BSK und deren Räume - Datenstruktur der Haupttabelle <tblBSK>

Feldname	Datentyp	Beschreibung
<i>BSK_ID</i>	Long integer	fortlaufender Index
<b><i>BSK_KKS</i></b>	Text(29)	vollständige KKS Bezeichnung der BSK, Primärschlüssel  Zur Nomenklatur siehe Kapitel 0. Das Feld des Primärschlüssels wird zur besseren Recherche in die Felder <i>BSK_AnI</i> <i>BSK_Sys</i> <i>BSK_Agg</i> <i>BSK_Betrm</i> <i>BSK_EEinheit</i> <i>BSK_EPL</i> gesplittet.
<i>BSK_AnI</i>	Text(1)	Anlage, Block (entspricht <i>Links([tblBSK].[BSK_KKS];1)</i> )
<i>BSK_Sys</i>	Text(6)	System (entspricht <i>Teil([tblBSK].[BSK_KKS];2;6)</i> ) Verknüpfung zur Tabelle <tblSysteme>
<i>BSK_Agg</i>	Text(6)	Aggregat (entspricht <i>Teil([tblBSK].[BSK_KKS];8;6)</i> )
<i>BSK_Betrm</i>	Text(4)	Betriebsmittel (entspricht <i>Teil([tblBSK].[BSK_KKS];14;4)</i> )
<i>BSK_EEinheit</i>	Text(6)	Einbaueinheit (entspricht <i>Teil([tblBSK].[BSK_KKS];18;6)</i> )
<i>BSK_EPL</i>	Text(6)	Einbauplatz (entspricht <i>Rechts([tblBSK].[BSK_KKS];6)</i> )
<i>BSK_NAME</i>	Text (255)	Name, Kurzbezeichnung der BSK
<i>BSK_INFO</i>	Memo	Zusatzinfos zur BSK
<i>BSK_ANHANG</i>	Anhang	Anlagen zur BSK, insbesondere spezielle Auslegungsunterlagen und Bilder
<i>BSK_DQ</i>	Text(10)	Wo kommt die Grundinformation zur BSK her?

Feldname	Datentyp	Beschreibung
<b>RAUM_KKS</b>	Text(12)	vollständige KKS Bezeichnung des zugehörigen Raums, d. h. Angabe des Bauwerks (6-stellig) und des Raums (6-stellig). Zur Nomenklatur siehe Kapitel 0. Verknüpfung zur Tabelle <tblRaum>
<b>RM_KKS</b>	Text(2)	Zuordnung der BSK zu einer Ausrüstungsklasse und damit zu einer Regelmenge (caveats, nur interessant für BSK der SAL)
<b>BSK_BE</b>	Text(1)	BSK-Eigenschaft Ist diese BSK gegen Erdbeben ausgelegt? Gültige Werte: {0,1}
<b>BSK_SA</b>	Text(1)	BSK-Eigenschaft Wird die BSK zum sicheren Abfahren der Anlage benötigt (Ist es eine PSA-Komponente)? Gültige Werte: {0,1}
<b>BSK_AE</b>	Text(1)	BSK-Eigenschaft Kann das Versagen der BSK ein auslösendes Ereignis zur Folge haben? Gültige Werte: {0,1} Sollte der Wert = 1 sein, kann im Feld <i>BSK_Info</i> beschrieben werden, um welches auslösende Ereignis es sich handelt.
<b>BSK_K2A</b>	Text(1)	BSK-Eigenschaft Ist die BSK eine K2A Komponente gemäß KTA? (sonstige BSK?) Gültige Werte: {0,1}
<b>BSK_SO</b>	Text(1)	BSK-Eigenschaft Soll die BSK aus weiteren Gründen in die seismische Ausrüstungsliste aufgenommen werden (vgl. Kapitel 3.1.4, außer K2A)? Gültige Werte: {0,1}
<b>BSK_SOW</b>	Text(255)	Grund der Aufnahme in die seismische Ausrüstungsliste aus sonstigen Gründen (nur wenn <i>BSK_SO</i> = 1)
<b>ABH_ID</b>	Text(6)	BSK-Eigenschaft Ist die BSK in einer Abhängigkeitsmenge enthalten? Verknüpfung zu Tabelle <tblAbhaengigkeit>
<b>VERS_ID1</b>	Text(6)	Parameter zur Berechnung von Versagenswahrscheinlichkeiten bei Erdbeben Verknüpfung zu <tblVerswahr>

Feldname	Datentyp	Beschreibung
<i>BSK_SAL</i>	Text(1)	Ergebnis einer Aktualisierungsabfrage (Makro <i>m_SAL_aktuell</i> ): Gehört die BSK zur SAL? <i>BSK_SA</i> , <i>BSK_AE</i> , <i>BSK_K2A</i> , <i>BSK_SO</i> Achtung! <i>BSK_SAL</i> ist kein Eingabefeld, es wird durch eine Aktualisierungsabfrage durch Abfrage der oben genannten Felder bestimmt. Möchte man die Zugehörigkeit einer BSK zu SAL erzwingen, ist <i>BSK_SO</i> = 1 zu setzen.
<i>RI_Klasse</i>	Text(1)	Ergebnis des Auswahlverfahrens 0 - kein Risiko; 1 - generische Fragilities möglich; 2 - anlagenspezifische Fragilities

Die Erstellung der Tabelle <tblBSK> ist abhängig von der Art der vorliegenden Daten im Kraftwerk. Sind nicht alle 29-Stellen der KKS-Nomenklatur gegeben, müssen die entsprechenden Felder *BSK\_Anl*, *BSK\_Sys*, *BSK\_Agg*, *BSK\_Betrm*, *BSK\_EEinheit* und *BSK\_EPL* ausgefüllt werden. Der Primärschlüssel *BSK\_KKS* wird dann daraus generiert.

**Tab. 4-3:** Bauwerke und Räume - Datenstruktur von <tblRaum>

Feldname	Felddatentyp	Beschreibung
<i>RAUM_ID</i>	Long integer	fortlaufender Index
<i>RAUM_KKS</i>	Text(12)	vollständige KKS Bezeichnung der BSK-Örtlichkeit, Primärschlüssel, Verknüpfung zur Tabelle <tblBSK> Zur Nomenklatur siehe Kapitel 0. Zur besseren Gebäude- bzw. Bauwerksrecherche wird das Feld <i>RAUM_Bauwerk</i> abgeteilt.
<i>RAUM_Bauwerk</i>	Text(6)	Bauwerksbezeichnung aus <i>Links([tblRaum].[RAUM_KKS];6)</i>
<i>RAUM_NAME</i>	Text(255)	Name, Kurzbezeichnung des Raums
<i>RAUM_ART</i>	Text(50)	Raumart (Flur, Keller, Kabelschacht etc.); entnommen aus Kernkraftwerksaufzeichnungen

Feldname	Felddatentyp	Beschreibung
<i>RAUM_ART_OECD</i>	Text(50)	Raumart entsprechend OECD-FIRE Data Project /NEA 09/ (andere, Batterieraum, Büro, Kabelraum, Leittechnikraum, Lüftungsraum, Schaltanlagenraum, Speicherraum, Verfahrensraum, Werkstatt)
<i>RAUM_KONBE</i>	Text(1)	Raumeigenschaft Gehört der Raum zum Kontrollbereich? Gültige Werte {-,0,1}
<i>RAUM_BRABER</i>	Text(1)	Raumeigenschaft Gehört der Raum zu einem Brandbereich gemäß Brand PSA? Gültige Werte {0,1}
<i>RAUM_INFO</i>	Memo	Zusatzinfos, z. B. Begehungserkenntnisse, die nicht zur Erweiterung der SAL geführt haben
<i>RAUM_ANHANG</i>	Anhang	Anlagen, z. B. Begehungsfotos
<i>BEG_NAME</i>	Text(50)	Auswahlverfahren Zuordnung einer Begehung gemäß <i>&lt;tblBegehung&gt;</i> , Wann wurde der Raum begangen.
<i>RAUM_SRR</i>	Text(1)	Auswahlverfahren Ergebnis einer Aktualisierungsabfrage (Makro <i>m_SRR_aktuell</i> ): Ist der Raum seismisch relevant?
<i>RAUM_Brandlast</i>	Text(1)	Raumeigenschaft Große Menge leicht entzündlichen Materials? Gültige Werte {-,0,1}, {-}, wenn <i>RAUM_SRR = 0</i>
<i>RAUM_Zündung</i>	Text(1)	Raumeigenschaft Zündmöglichkeit vorhanden? Gültige Werte {-,0,1}, {-}, wenn <i>RAUM_SRR = 0</i>

Die Felder *SYS\_BE* bis *SYS\_STRBEL* zu den Systemeigenschaften (siehe Tab. 4-4) können von Projekt zu Projekt anders definiert oder auch unbelegt bleiben. Im vorliegenden Fall wurden die Werte /GKN 05/ entnommen (siehe auch Kapitel 5.2).

**Tab. 4-4:** Systeme – Datenstruktur von <tbl>Systeme</tbl>

<b>Feldname</b>	<b>Felddatentyp</b>	<b>Beschreibung</b>
<i>SYS_ID</i>	Long integer	fortlaufender Index
<i>SYS_KKS</i>	Text(6)	vollständige KKS Bezeichnung des Systems, Primärschlüssel, Verknüpfung zur Tabelle <tbl>BSK</tbl>
<i>SYS_NAME</i>	Text(255)	Systembezeichnung
<i>SYS_BE</i>	Text (1)	Systemeigenschaft Ist das System gegen Erdbeben (Bemessungserdbeben) ausgelegt? Gültige Werte: {-,0,1}
<i>SYS_K2A</i>	Text (1)	Systemeigenschaft Ist das System <u>K</u> lasse <u>2A</u> gemäß KTA 2201 ausgelegt? Gültige Werte: {-,0,1}
<i>SYS_REAB</i>	Text (1)	Systemeigenschaft Ist das Anlagenteil notwendig, um den <u>Reaktor</u> <u>ab</u> zuschalten? Gültige Werte: {-,0,1}
<i>SYS_REABH</i>	Text (1)	Systemeigenschaft Ist das Anlagenteil notwendig, um den <u>Reaktorkern</u> im <u>ab</u> geschalteten Zustand zu <u>h</u> alten? Gültige Werte: {-,0,1}
<i>SYS_NAZEWA</i>	Text (1)	Systemeigenschaft Ist das Anlagenteil notwendig, um die <u>Nach</u> zerfalls- und <u>Speicher</u> wärme abzuführen? Gültige Werte: {-,0,1}
<i>SYS_EIRAST</i>	Text (1)	Systemeigenschaft Ist das Anlagenteil notwendig, um <u>E</u> inschluss und <u>Rückhaltung</u> <u>radioaktiver</u> <u>S</u> toffe im erforderlichen Umfang sicherzustellen? Gültige Werte: {-,0,1}
<i>SYS_ANERUSAA</i>	Text (1)	Systemeigenschaft Ist das Anlagenteil notwendig, um das Erreichen festgelegter <u>A</u> nsprehwerte zu <u>e</u> rfassen und <u>S</u> chutz <u>a</u> ktionen <u>a</u> uszulösen? Gültige Werte: {-,0,1}
<i>SYS_STOEAUBZ</i>	Text (1)	Systemeigenschaft Ist das Anlagenteil notwendig, um die bei und nach <u>S</u> törfällen notwendige Information über den <u>A</u> nlagen- und <u>B</u> etriebs <u>z</u> ustand zu liefern? Gültige Werte: {-,0,1}

Feldname	Felddatentyp	Beschreibung
<i>SYS_EMRAST</i>	Text (1)	Systemeigenschaft Ist das Anlagenteil notwendig, um die auftretenden <u>E</u> missionen <u>r</u> adioaktiver <u>S</u> toffe zu ermitteln? Gültige Werte: {-,0,1}
<i>SYS_AUGESTO</i>	Text (1)	Systemeigenschaft Ist das System notwendig, um unzulässige <u>A</u> uswirkungen von <u>g</u> efährlichen <u>S</u> toffen auf wichtige Anlagenteile zu verhindern? Gültige Werte: {-,0,1}
<i>SYS_STRBEL</i>	Text (1)	Systemeigenschaft Ist das System notwendig, um die <u>S</u> trahlen <u>b</u> elastung in der Umgebung so gering wie möglich zu halten? Gültige Werte: {-,0,1}
<i>SYS_Basisereignis</i>	Text (1)	Systemeigenschaft Hat das System einen Bezug zum PSA-Modell? Enthält das System mindestens eine Komponente, die Basisereignis im Anlagenmodell ist? Das Feld wird automatisch belegt.
<i>SYS_ANHANG</i>	Anhang	Beliebiger Link zu Bildern, pdf-Dokumenten usw. zur weiteren Beschreibung des Systems. Die Links werden von der Datenbank automatisch verwaltet.
<i>SYS_INFO</i>	Memo	Text beliebiger Länge ohne Bilder zur weiteren Beschreibung des Systems
<i>SYS_DQ</i>	Text(10)	Nennung einer Datenquelle gemäß <tblDatenquellen>

**Tab. 4-5:**Gebäude – Datenstruktur von <tblBauwerke>

Feldname	Felddatentyp	Beschreibung
<i>BAUW_ID</i>	Long integer	fortlaufender Index
<i>ANL_KKS</i>	Text(1)	Block
<i>BAUW_KKS</i>	Text(6)	vollständige KKS Bezeichnung des Bauwerks, Primärschlüssel, Verknüpfung zur Tabelle <tblBauwerk>
<i>BAUW_NAME</i>	Text (255)	Bezeichnung des Bauwerks

Feldname	Felddatentyp	Beschreibung
<i>BAUW_KONBE</i>	Text (1)	Bauwerkseigenschaft Gehört das Bauwerk zum Kontrollbereich? Gültige Werte: {-, 0, 1}
<i>BAUW_AUSL</i>	Text (1)	Bauwerkseigenschaft Ist das Bauwerk gegen Erdbeben ausgelegt? Gültige Werte: {-, 0, 1}
<i>BAUW_INFO</i>	Memo	Infos zum Bauwerk im Projektzusammenhang
<i>BAUW_ANHANG</i>	Anhang	Anhänge beliebiger Art zum Bauwerk
<i>BAUW_DQ</i>	Text(10)	Nennung einer Datenquelle gemäß <i>&lt;tblDatenquellen&gt;</i> .

**Tab. 4-6:** Abhängigkeiten – Datenstruktur von *<tblAbhaengigkeit>*

Feldname	Felddatentyp	Beschreibung
<i>ABH_ID</i>	Long integer	fortlaufender Index
<i>ABH_MENGE</i>	Text (6)	Name der Abhängigkeit zur Identifikation der Menge in <i>&lt;tabBSK&gt;</i> ; Primärschlüssel
<i>ABH_Name</i>	Text (255)	Klassifikation der Abhängigkeit (Kurzcharakteristik), z. B.: keine, Brand, Klasse 2A, ...
<i>ABH_Art</i>	Memo	Näheres zur Abhängigkeit
<i>ABH_KAPPA</i>	Double	Kopplungsfaktor

**Tab. 4-7:** Ausrüstungsklassen – Datenstruktur von *<tblAusruestungsklassen>*

Feldname	Felddatentyp	Beschreibung
<i>AK_ID</i>	Autowert	fortlaufender Index
<i>AK_KKS</i>	Text (2)	Kurzbezeichnung der Ausrüstungsklasse in <i>&lt;tabBSK&gt;</i> ; Primärschlüssel
<i>AK_BEZ</i>	Text (255)	Langbezeichnung der Ausrüstungsklasse
<i>AK_BEM</i>	Memo	Bemerkungen zur Ausrüstungsklasse

Im Auswahlschritt 2 sind die Eigenschaften aller BSK der SAL mit Eigenschaften zu vergleichen, die in sogenannten Regelmengen (caveats) festgeschrieben sind. Für jede Ausrüstungsklasse kann eine mehr oder minder umfangreiche Regelmenge vorliegen, in der die Eigenschaften der Ausrüstungsklasse in Hinblick auf die erforderliche Auslegung bei seismischen Einwirkungen hinterlegt sind. In der vorliegenden Datenbank konnten noch keine Ausrüstungsklassen und keine zugehörigen Regelmengen definiert werden. Es wurden zwei Tabellen für Regelmengen strukturell angelegt, um die Einordnung dieser Mengen in den Gesamtentscheidungsprozess und in die Datenbank <DB SPSA> aufzuzeigen. Es sind jeweils nur drei allgemeine Eigenschaftsfelder eingetragen, eine Konkretisierung der Eigenschaften kann erst vorgenommen werden, wenn Regelmengen definiert sind. Die Anzahl und Art der abzufragenden Eigenschaften kann von Regelmenge zu Regelmenge verschieden sein.

Die Begehungsformblätter enthalten entsprechend der Ausrüstungsklasse der interessierenden BSK die Eigenschaftsabfragen der zugehörigen Regelmenge. Das konnte im vorliegenden Bericht noch nicht berücksichtigt werden.

**Tab. 4-8:** Regelmengexx – Datenstruktur von <tblRegelmengexx>

<b>Feldname</b>	<b>Felddatentyp</b>	<b>Beschreibung</b>
<i>BSK_KKS</i>	Text(29)	BSK mit Ausrüstungsklasse xx; Primärschlüssel
<i>RMxx_Attribut01</i>	zu definieren	Vergleich mit Eigenschaft 01 der Regelmenge xx; Der Felddatentyp ist abhängig von der Art des Vergleichs (meist ja/nein)
<i>RMxx_Attribut02</i>	zu definieren	Vergleich mit Eigenschaft 02 der Regelmenge xx; Der Felddatentyp ist abhängig von der Art des Vergleichs (meist ja/nein)
<i>RMxx_Attribut03</i>	zu definieren	Vergleich mit Eigenschaft 03 der Regelmenge xx; Der Felddatentyp ist abhängig von der Art des Vergleichs (meist ja/Nein)

**Tab. 4-9:** Versagenswahrscheinlichkeiten – Datenstruktur von <tblVerswahr>

Feldname	Felddatentyp	Beschreibung
VERS_ID	Long Integer	fortlaufender Index
VERS_ID1	Text(6)	Name der Fragility
VERS_F05	Double	Median der Versagenswahrscheinlichkeit, Parameter
VERS_BETAU	Double	beta_U-Wert, Parameter
VERS_BETAR	Double	beta_R-Wert, Parameter
VERS_HCLPF	Double	high concidence low probability of failiure, HCLPF-Wert, Parameter
VERS_INFO	Memo	Ausführlicher Text beliebiger Länge ohne Bilder zur weiteren Beschreibung.
VERS_DQ	Text	Nennung einer Datenquelle gemäß <tblDatenquellen>.

**Tab. 4-10:** Begehungen – Datenstruktur von <tblBegehungen>

Feldname	Felddatentyp	Beschreibung
BEG_ID	Long integer	Primärschlüssel, fortlaufender Index
BEG_NAME	Text (50)	Beschreibung der Begehung
BEG_DATUM	Datum	Datum der Begehung
BEG_INFO	Text (255)	Zusatzinfos wie Teilnehmer, begangene Bereiche etc.
BEG_ANHANG	Anhang	Begehungsberichte, Überblicksfotos, Zusatzmaterialien

**Tab. 4-11:** Datenquellen – Datenstruktur von <tblDatenquellen>

<b>Feldname</b>	<b>Felddatentyp</b>	<b>Beschreibung</b>
<i>DQ_ID</i>	Long integer	Primärschlüssel, fortlaufender Index
<i>DQ_NAME</i>	Text (10)	Name der Datenquelle zur schnellen Identifikation, hier: Referenzliste des Abschlussberichts
<i>DQ_AUTOR</i>	Text(50)	Autor
<i>DQ_INFO</i>	Memo	Titel der Datenquelle, Zusatzinformationen
<i>DQ_IDENT</i>	Text(10)	Zusätzliche Identifikation (hier: Erdbebenliteratur tue)
<i>DQ_ANHANG</i>	Anhang	Link zur Datenquelle (falls elektronisch vorhanden)

**Tab. 4-12:** Notizen – Datenstruktur von <tblNotizen>

<b>Feldname</b>	<b>Felddatentyp</b>	<b>Beschreibung</b>
<i>Datum</i>	Datum	Datum der Eintragung; wird automatisch belegt
<i>Bemerkung</i>	Memo	Beliebiger Text, Notiz zum Bearbeitungsstand

### 4.3 Flexible Nutzung von <DB SPSA>

Es wurde versucht, die Datenbank so zu gestalten, dass sie für allgemeine SPSA-Projekte anwendbar ist. Erfahrungen aus anderen PSA-Projekten haben allerdings gezeigt, dass nur in Ausnahmefällen die Datenstrukturen in den einzelnen Kernkraftwerken gleich sind, insbesondere gibt es große Abweichungen bei den verwendeten Nomenklaturen. Insofern wird im vorliegenden Kapitel 4 versucht, die Struktur und Anwendung der Datenbank so allgemein wie möglich zu beschreiben, in Kapitel 5 wird dann die Datenbank mit Informationen aus dem Referenzkraftwerk gefüllt. Diese Datenbank wird <DB SPSA GKN2> genannt, um herauszustellen, dass die praktische Anwendung der allgemeinen Datenbankstruktur <DB SPSA> immer auch eine Anpassung an die konkreten (Daten-)verhältnisse in einem zu untersuchenden Kernkraftwerk bedeutet.

Für die Datenbank wurde eine Oberfläche gestaltet, über die viele Eingaben, Standardabfragen und –auswertungen angewählt werden können. Es muss allerdings be-

tont werden, dass die Nutzungsmöglichkeiten der Datenbank und die Kopplung der Informationen in einer konkreten SPSA-Anwendung so vielfältig sein können, dass der direkte Zugriff auf die Tabellen der Datenbank für den SPSA-Ersteller erforderlich bleibt. Aus den Erfahrungen mit der Datenbank zur Durchführung von Brand-PSA /BAB 05/ kann sogar gesagt werden, dass der Ersteller einer PSA sich im Verlauf der Arbeit seinen eigenen Datenzugriff durch Schaffung spezifischer, häufig benötigter problemspezifischer Abfragen schafft. Nichtsdestotrotz ist die Oberfläche der Datenbank insbesondere für den Gutachter und sonstige Nutzer der PSA-Ergebnisse geeignet, sich einen flexiblen Überblick zu verschaffen und alle Ergebnisse anhand der Primärdaten nachvollziehen zu können.

In Tab. 4-13 sind einige Abfragen und Makros zur Nutzung außerhalb der vorgegebenen Formularstruktur der Datenbank <DB SPSA> gegeben. Diese Abfragen und Makros können leicht den aktuellen Analysebedürfnissen angepasst werden.

**Tab. 4-13:** Wichtige Abfragen und Makros zur 'freien' Nutzung

<b>Abfragen, Makros</b>	<b>Bemerkung</b>
<abf_Liste Bauwerke>	Erstellung einer Liste von Gebäuden und Bauwerken mit Eigenschaften auf der Grundlage der Tabelle <tblRaum>
<abf_Liste BSK>	Erstellung einer BSK-Liste mit Eigenschaften auf der Grundlage der Tabelle <tblBSK>
<abf_Liste BSK SAL>	Erstellung einer SAL mit Eigenschaften auf der Grundlage der Tabelle <tblBSK> (minimale Abwandlung der Abfrage <abf_Liste BSK>)
<abf_Liste Räume>	Erstellung einer Liste von Räumen mit Eigenschaften auf der Grundlage der Tabelle <tblRaum>
<abf_SRR> oder <abf_Liste Räume SRR>	Erstellung einer Liste der SRR mit Eigenschaften auf der Grundlage der Tabelle <tblRaum> (minimale Abwandlung der Abfrage <abf_Liste Räume>)
<abf_Liste Systeme>	Erstellung einer Liste der Systeme mit Eigenschaften auf der Grundlage der Tabelle <tblSysteme>
<m_SAL_aktuell>	Zur Aktualisierung der SAL auf der Grundlage der BSK-Eigenschaften werden zwei Aktualisierungsabfragen hintereinander ausgeführt: <abf_SAL_aktuell_0> <abf_SAL_aktuell> Dabei wird zuerst für alle BSK die Zugehörigkeitseigen-

Abfragen, Makros	Bemerkung
	schaft zur SAL in der Tabelle <tblBSK> auf Null gesetzt (BSK_SAL=0) und dann aufgrund der BSK-Eigenschaften neu belegt.
<m_SRR_aktuell>	<p>Zur Aktualisierung der Menge der SRR auf der Grundlage BSK-Raum-Zuordnungen werden zwei Aktualisierungsabfragen hintereinander ausgeführt:            &lt;abf_SRR_aktuell_0&gt;            &lt;abf_SRR_aktuell&gt;</p> <p>Dabei wird zuerst für alle Räume die Zugehörigkeitseigenschaft zur den SRR in der Tabelle &lt;tblRaum&gt; auf Null gesetzt (RAUM_SRR=0) und dann aufgrund der BSK-Eigenschaften neu belegt.</p> <p>SQL:            UPDATE tblRaum INNER JOIN tblBSK ON tblRaum.RAUM_KKS = tblBSK.RAUM_KKS SET tblRaum.RAUM_SRR = "1" WHERE (((tblBSK![BSK_SAL])="1"))</p> <p>Vor Anwendung des Makros sollte &lt;m_SAL_aktuell&gt; durchgeführt werden.</p>
<abf_Notizen>	Notizblock; das Datum wird automatisch eingetragen, ansonsten können beliebige Informationen zum Stand der Dinge eingetragen werden

#### 4.4 Die Funktionen der Datenbank im Einzelnen

Abb. 4-1 zeigt den Startbildschirm nach Aufrufen der Datenbank. Es können die Register <Informationen> und <Auswahlverfahren> angewählt werden. Der Startbildschirm und die beiden Register enthalten jeweils einen Beenden-Button zum Schließen der Datenbank.

##### 4.4.1 Das Register <Informationen>

Abb. 4-3 zeigt das Register <Informationen>. Dieses Register ist der Ausgangspunkt zur Eingabe und Änderung aller notwendigen Daten und Informationen zur Durchführung des Auswahlverfahrens. Das Register besteht aus den Bereichen zu BSK und den zugeordneten Räumen, zu Bauwerken und Systemen, zu Versagenswahrscheinlichkeiten und zu den Datenquellen und den durchgeführten Begehungen.



**Abb. 4-3:** Register <Informationen>

- Schaltfläche [BSK]

Bei Nutzung der Schaltfläche [BSK] öffnet das BSK-Formular. Dieses Formular ist in Abb. 4-4 dargestellt. Es dient der Anzeige aller Daten und Informationen zu einer ausgewählten BSK, die in der Tabelle <tblBSK> enthalten sind. Alle Sortier- und Filterfunktionen sind freigeschaltet, so dass mit dem Formular sehr flexibel gearbeitet werden kann. Interessiert man sich z. B. für alle in der Datenbank vorhandenen BSK im Gebäude UJA kann der normale Textfilter (enthält ...) im Feld *Raum* genutzt werden.

Eine Zusammenstellung aller BSK erhält man, indem man die Schaltfläche [BSK] (links oben im Formularkopf) nutzt. Dabei wird das Makro <m\_Liste BSK> ausgeführt (Abfrage <abf\_Liste\_BSK>).

**Abb. 4-4:** Formular zur Anzeige und Verwaltung der BSK-Informationen

Der Formularfuß enthält eine Reihe nützlicher, selbsterklärender Schaltflächen (Maus über Schaltfläche bewegen!) zur Navigation in der Datenmenge der BSK. Wichtig ist insbesondere die Schaltfläche zur Anfertigung von Berichten zu den BSK (eine DIN A4-Seite pro BSK).

- Schaltfläche [Raum]

Bei Nutzung der Schaltfläche [Raum] öffnet das Raum-Formular. Dieses Formular ist in Abb. 4-5 dargestellt. Es dient der Anzeige aller Daten und Informationen zu einem ausgewählten Raum, die in der Tabelle <tblRaum> enthalten sind. Alle Sortier- und Filterfunktionen sind freigeschaltet, so dass mit dem Formular sehr flexibel gearbeitet werden kann. Interessiert man sich beispielsweise für alle in der Datenbank vorhandenen Räume im Gebäude UJA, so kann der normale Textfilter (enthält ...) im Feld *Bezeichnung* genutzt werden.

Eine Zusammenstellung aller Räume erhält man, indem man die Schaltfläche [Räume] (links oben im Formularkopf) nutzt. Dabei wird das Makro <m\_Liste Räume> ausgeführt (Abfrage <abf\_Liste Räume>).

**Abb. 4-5:** Formular zur Anzeige und Verwaltung der Raum-Informationen

Der Formularfuß enthält eine Reihe nützlicher, selbsterklärender Schaltflächen (Maus über Schaltfläche bewegen!) zur Navigation in der Datenmenge der Räume. Wichtig ist insbesondere die Schaltfläche zur Anfertigung von Berichten zu den Räumen (eine DIN A4-Seite pro Raum).

- Schaltfläche *[Systeme]*

Bei Nutzung der Schaltfläche *[Systeme]* öffnet das System-Formular. Dieses Formular ist in Abb. 4-6 dargestellt. Es dient der Anzeige aller Daten und Informationen zu einem ausgewählten System, die in der Tabelle *<tbl/System>* enthalten sind. Alle Sortier- und Filterfunktionen sind freigeschaltet, so dass mit dem Formular sehr flexibel gearbeitet werden kann.

Eine Zusammenstellung aller Systeme erhält man, indem man die Schaltfläche *[Systeme]* (links oben im Formularkopf) nutzt. Dabei wird das Makro *<m\_Liste Systeme>* ausgeführt (Abfrage *<abf\_Liste Systeme>*).

The screenshot shows a web-based form for system management. The main area contains a table with the following data:

Nummer	Kennzeichen nach KKS	Name des Systems
10	-BBC-	10 KV-HAUPTVERTEILUNGEN, NORMALNETZ

Below the table, there are several rows of checkboxes with dropdown menus:

- Ist das System gegen Erdbeben ausgelegt? (0)
- Ist das System eine Klasse 2a-Komponente gemäß KTA? (1)
- Ist das System notwendig, um den Reaktor abzuschalten? (0)
- Ist das System notwendig, um den Reaktor im abgeschalteten Zustand zu halten? (1)
- Ist das System notwendig, um die Nachzerfalls- u. Speicherwärme abzuführen? (1)
- Ist das System notwendig, um den Einschluss radioaktiver Stoffe im erforderlichen Umfang sicher zu stellen? (1)
- Ist das System notwendig, um die bei und nach Störfällen notwendige Information über den Anlagen- und Betriebe (1)
- Ist das System notwendig, um das Erreichen festgelegter Ansprechwerte zu erfassen und Schutzaktionen auszulösen? (1)
- Ist das System notwendig, um die auftretenden Emissionen radioaktiver Stoffe zu ermitteln? (1)
- Ist das System notwendig, um die Strahlenbelastung in der Umgebung so gering wie möglich zu halten? (0)
- Ist das System notwendig, um unzulässige Auswirkungen von gefährlichen Stoffen auf wichtige Anlagenteile zu vermeiden? (0)

On the right side, there are two empty text boxes labeled 'Verwaltung der Links für weiterführende Informationen' and 'Kurzbeschreibung des Systems'. Below them is a 'Datenquelle:' field with a dropdown menu.

At the bottom of the form, there are several navigation icons (back, forward, search, etc.) and a status bar that reads 'Datensatz: 10 von 399'.

**Abb. 4-6:** Formular zur Anzeige und Verwaltung der System-Informationen

Der Formularfuß enthält eine Reihe nützlicher, selbsterklärender Schaltflächen (Maus über Schaltfläche bewegen!) zur Navigation in der Datenmenge der Systeme. Wichtig ist insbesondere die Schaltfläche zur Anfertigung von Berichten zu den Systemen (eine DIN A4-Seite pro System).

- Schaltfläche *[Bauwerke]*

Bei Nutzung der Schaltfläche *[Bauwerke]* öffnet das Gebäude-Formular. Dieses Formular ist in Abb. 4-7 dargestellt. Es dient der Anzeige aller Daten und Informationen zu einem ausgewählten Gebäude, die in der Tabelle *<tblBauwerk>* enthalten sind. Alle Sortier- und Filterfunktionen sind freigeschaltet, so dass mit dem Formular sehr flexibel gearbeitet werden kann.

Eine Zusammenstellung aller Gebäude und baulichen Anlagen erhält man, indem man die Schaltfläche *[Bauwerke]* (links oben im Formularkopf) nutzt. Dabei wird das Makro *<m\_Liste Bauwerke>* ausgeführt (Abfrage *<abf\_Liste Bauwerke>*).

**Abb. 4-7:** Formular zur Anzeige und Verwaltung der Gebäude-Informationen

Der Formularfuß enthält eine Reihe nützlicher, selbsterklärender Schaltflächen (Maus über Schaltfläche bewegen!) zur Navigation in der Datenmenge der Systeme. Wichtig ist insbesondere die Schaltfläche zur Anfertigung von Berichten zu den Systemen (eine DIN A4-Seite pro System).

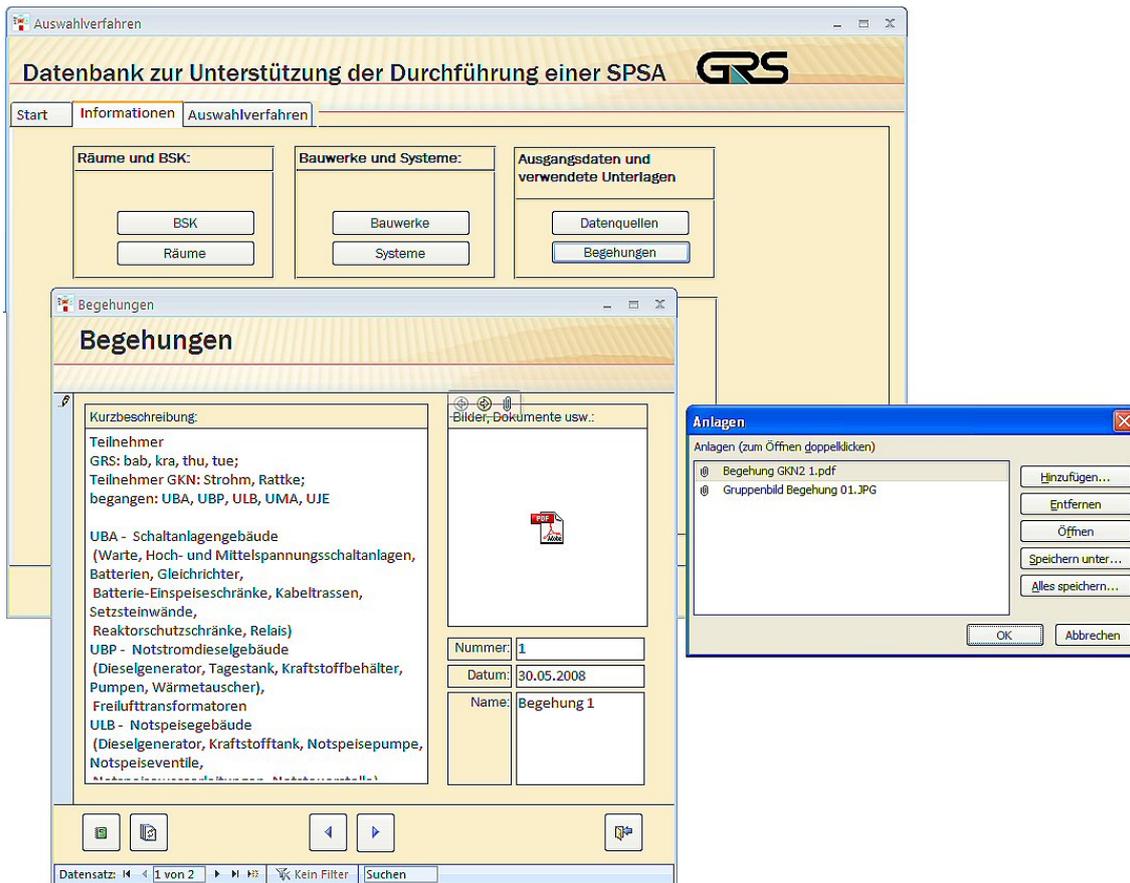
- Schaltflächen *[Versagenswk]* und *[Datenquellen]*

Bei Nutzung der Schaltfläche *[Versagenswk]* (siehe Abb. 4-3) wird eine Liste der Versagenswahrscheinlichkeiten ausgegeben.

Bei Nutzung der Schaltfläche *[Datenquellen]* (siehe Abb. 4-3) wird eine Liste der genutzten Informations- und Datenquellen ausgegeben.

- Schaltfläche *[Begehungen]*

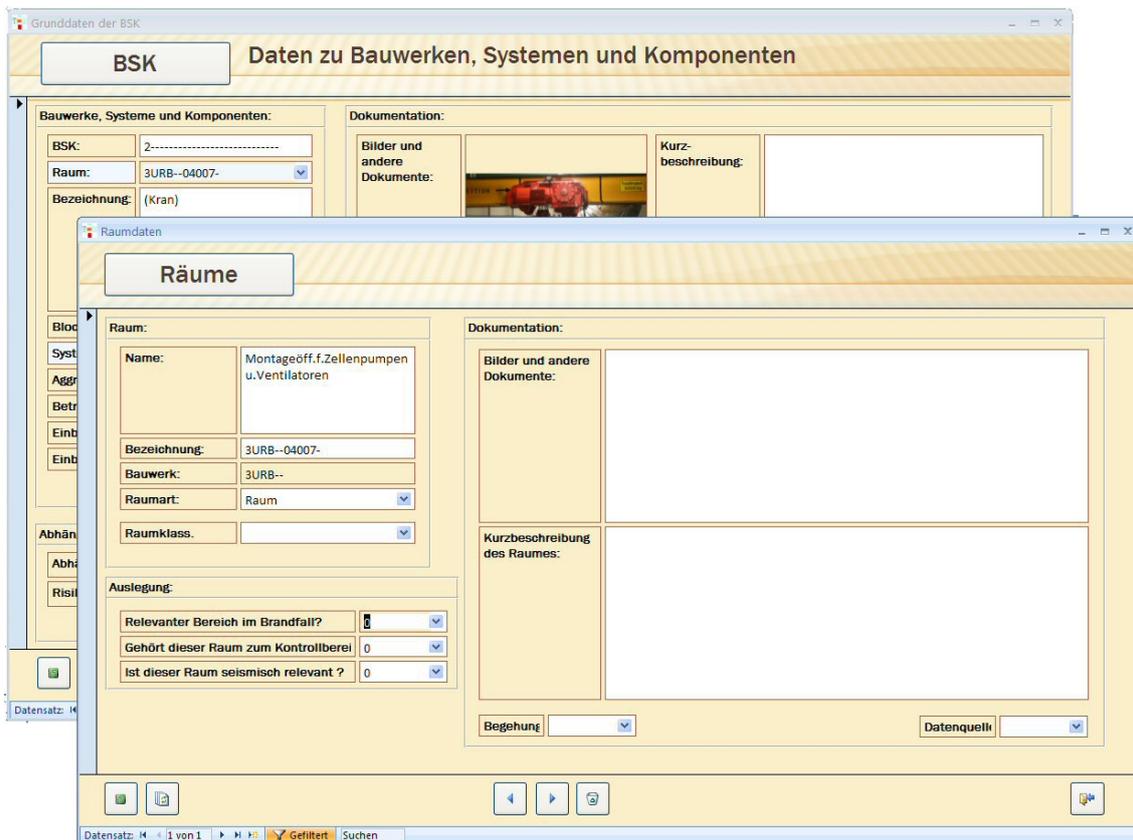
Bei Nutzung der Schaltfläche *[Begehungen]* (siehe Abb. 4-3) wird eine Liste der durchgeführten Begehungen ausgegeben. Die Begehungen können kurz beschrieben werden. Zum anderen sämtliche Begehungsunterlagen zugeordnet werden. Im Beispiel sind dies ein Gruppenbild der Begehungsteilnehmer und vom Kraftwerk bereitgestellte Begehungsunterlagen /GKN B1/.



**Abb. 4-8:** Formular zur Anzeige von Begehungsinformationen

- Sonstiges

Die Formulare sind so aufgebaut, dass leicht Zusatzinformationen abgerufen werden können. Hat man z. B. das BSK-Formular `<frm_BSK>` über die Schaltfläche [BSK] geöffnet, können zu einer beliebigen BSK die zugehörigen Informationen zum Raum, zum System und zur Datenquelle abgerufen werden. Dazu muss das entsprechende Feld angeklickt (Doppelklick!) werden. Felder, zu denen Zusatzinformationen abgefragt werden können, sind farblich gekennzeichnet (siehe Abb. 4-9, Rauminformationen zur BSK etc.).



**Abb. 4-9:** Aufruf von Zusatzinformationen

#### 4.4.2 Das Register <Auswahlverfahren>

Das Register <Auswahlverfahren> enthält alle notwendigen Aktionen und Formulare zur Durchführung des Auswahlverfahrens. Insbesondere wird die Erstellung der vollständigen SAL durch die Datenbank unterstützt. Eine umfassende Erprobung der Datenbank und ihre Nutzung bei der praktischen Anwendung konnte im Projekt nicht realisiert werden, deshalb sind insbesondere die Prozeduren im Register <Auswahlverfahren> noch nicht vollständig getestet. Ein Vorschlag zur Fortführung der Arbeiten liegt vor /GRS 09/.

Das Datenbankregister <Auswahlverfahren> (siehe Abb. 4-10) und die zugehörigen Prozeduren liegen bisher nur im Entwurf vor. Nachfolgend werden einige allgemeingültige Gesichtspunkte diskutiert. Insbesondere zur Auswahlstufe 2 sind noch die entsprechenden Regelmengen bereitzustellen.



**Abb. 4-10:** Register <Auswahlverfahren>

- Aktualisierung SAL/SRR

Die Durchführung des Auswahlverfahrens geht mit einer ständigen Erweiterung und Änderung der Menge der BSK einher. Dabei ändert sich auch die seismische Ausrüstungsliste SAL. Aufgrund neuer Informationen werden BSK zur SAL hinzugefügt, andere wieder entfernt. Es wird empfohlen, im Verlauf der Erstellung der Datenbank als Unterstützung für eine SPSA die SAL und die Liste der seismisch relevanten Räume SRR bei jedem Aufruf der Datenbank zu erneuern. Dazu sind die Schaltflächen [SAL aktuell] und [SRR aktuell] in der angegebenen Reihenfolge hintereinander auszuführen.

Eine Aktualisierung der SAL bedeutet, dass aufgrund der Eigenschaften *BSK\_SA*, *BSK\_AE*, *BSK\_K2A*, *BSK\_SO* (siehe Struktur der Haupttabelle <tbl/BSK>, Tab. 4-2) das Feld *BSK\_SAL* neu belegt wird. *BSK\_SAL* ist kein Eingabefeld, es wird durch eine Aktualisierungsabfrage durch Abfrage der oben genannten Felder bestimmt. Möchte man die Zugehörigkeit einer BSK zu SAL erzwingen, ist *BSK\_SO* = 1 zu setzen. In einem solchen Fall ist dann im Feld *BSK\_SOW* anzumerken, warum die BSK in die SAL aufgenommen werden soll.

Soll eine BSK nicht mehr zur SAL gehören, sind alle Eigenschaftsfelder *BSK\_SA*, *BSK\_AE*, *BSK\_K2A*, *BSK\_SO* Null zu setzen.

Die Liste der SRR wird auf der Grundlage der Feldbelegung von *<tblBSK.BSK\_SAL>* bestimmt. Es werden alle Räume gekennzeichnet, in denen BSK der SAL enthalten sind (Abfrage *<abf\_SRR\_aktuell>*, siehe auch Tab. 4-13).

- Überprüfung SAL/SRR
  - Welchen seismisch relevanten BSK sind keine Räume zugeordnet?  
Eine wichtige Voraussetzung zum Auswahlverfahren ist die Kenntnis der Räume zu allen seismisch relevanten BSK. Durch Nutzung der Schaltfläche [BSK ohne Raumangabe] erhält man eine Liste aller BSK der SAL, denen kein Raum zugeordnet ist. Diese Liste sollte im Verlauf des Verfahrens leer werden.
  - Anzahl der seismisch relevanten Räume pro Gebäude  
Seismisch relevante Räume werden auf der Grundlage der im Auswahlschritt 1 gefundenen BSK der seismischen Ausrüstungsliste bestimmt. Die Liste ist nach absteigender Raumanzahl geordnet.
  - Anzahl von BSK der SAL pro seismisch relevanten Raum  
Hierbei handelt es sich natürlich auch um eine Art Wichtigkeitsmaß für einen Raum bei seismischen Untersuchungen.

- Stand SAL/SRR

Durch Nutzung der Schaltflächen [*Stand SAL*] und [*Stand SRR*] werden Listen der seismisch relevanten BSK und der seismisch relevanten Räume erzeugt. Die Anzeige erfolgt entweder in Formblättern (man kann dann von Datensatz zu Datensatz blättern oder natürlich die Suchfunktionen von MS ACCESS<sup>®</sup> nutzen) oder man lässt sich eine Abfrageliste ausgeben. Die Formblätter sind den Formblättern in Abb. 4-4 und Abb. 4-5 ähnlich.

- Bereitstellung von Begehungsformblättern

Für jeden seismisch relevanten Raum können automatisch Begehungsformblätter bereitgestellt werden. Die aktuelle, noch nicht in praktischen Versuchen verifizierte Form ist in Abb. 4-11 zu sehen.

Für die Weiterentwicklung der Begehungsformblätter ist geplant, unterschiedliche Formblätter für Auswahlstufe 1 und Auswahlstufe 2 anzuwenden. Die Begehungsformblätter der Auswahlstufe 1 sind raumbezogen, die der Stufe 2 konzentrieren sich auf konkrete BSK.

Raum:	1URB--02006-	
Name:	Kühleinbauten	
Kontrollbereich?	0	Begehung:
Brandbereich?	0	
SRR?	1	

Heute:	26.08.2009
Datum:	
Teilnehmer:	

Komponente:	
Name:	
Abhängigkeit:	
Art:	
Sicheres Abfahren?	
Auslöser?	
Sonstige?	
Bemessungserdbeben?	
K2A?	
Brand?	
Bedeutung?	
SAL?	

Ergebnis der Begutachtung der Komponente:	
---	--

Sonstiges:
------------

**Abb. 4-11:** Entwurf eines Begehungsformblattes

## 5 Erstellung einer SAL am Beispiel einer Referenzanlage

Nachfolgend wird beschrieben, wie die SAL für das Referenzkraftwerk schrittweise und mit Hilfe der Datenbankstruktur <DB SPSA> zur konkreten SPSA-Datenbank <DB SPSA GKN2> für das Referenzkraftwerk aufgebaut wird. In der Datenbank <DB SPSA GKN2> werden einerseits die Ergebnisse des schrittweisen Aufbaus der Listen festgehalten, andererseits dienen die Datenbankroutinen dazu, sich Überblicke zu den komplexen Datenzusammenhängen zu verschaffen.

### 5.1 Daten und Informationen zur seismischen Auslegung

Nachfolgend sind Daten und Informationen zur seismischen Auslegung des Referenzkraftwerks stichpunktartig und im Wesentlichen ohne Kommentierung zusammengestellt. Zur Vertiefung der Information muss auf die angegebenen Quellen zurückgegriffen werden.

Gebäudeschutz gegen Auslegungs- (I = 7) und Sicherheitserdbeben (I = 8):  
/GKN 01/, Tab. 8.1/1-III

Für die Auslegung der Referenzanlage GKN 2 wurden folgende Beschleunigungen zugrunde gelegt (/GKN 01/, Kap. 8.1.2.1.1 und /GKN 02/, Kap. 1.9):

Bemessungserdbeben (Sicherheitserdbeben, 200 km Radius)

max. horizontale Beschleunigung 1,70 m/s<sup>2</sup>  
max. vertikale Beschleunigung 0,85 m/s<sup>2</sup>

Auslegungserdbeben (50 km Radius)

max. horizontale Beschleunigung 0,90 m/s<sup>2</sup>  
max. vertikale Beschleunigung 0,45 m/s<sup>2</sup>

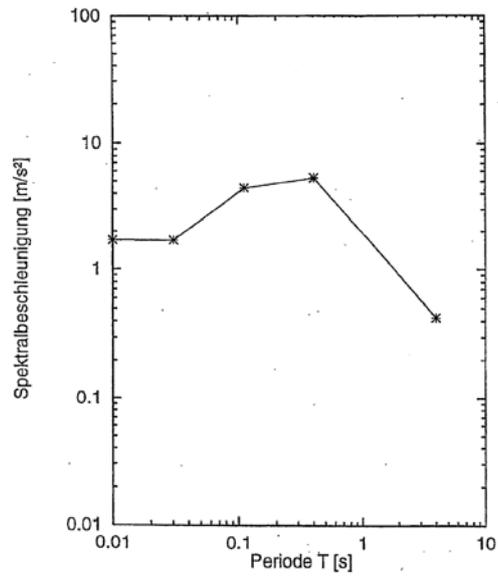


Abb. 5-1: Bemessungsspektrum GKN-2, Dämpfung 0,05 (aus /WOE 06/)

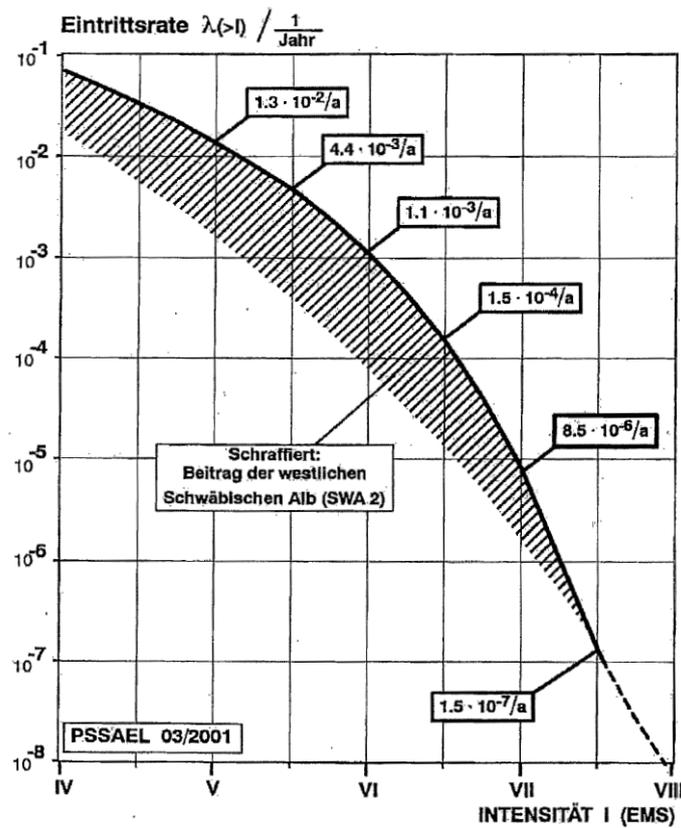


Abb. 5-2: Intensitäts-Eintrittsrates Standort GKN (aus /WOE 06/)

Abfahren der Anlage bei Erdbeben:

Wenn nicht aufgrund des Erdbebens RESA (*Reaktorschnellabschaltung*) ausgelöst wurde, wird entsprechend dem Flussdiagramm in Abb. 5-3 vorgegangen.

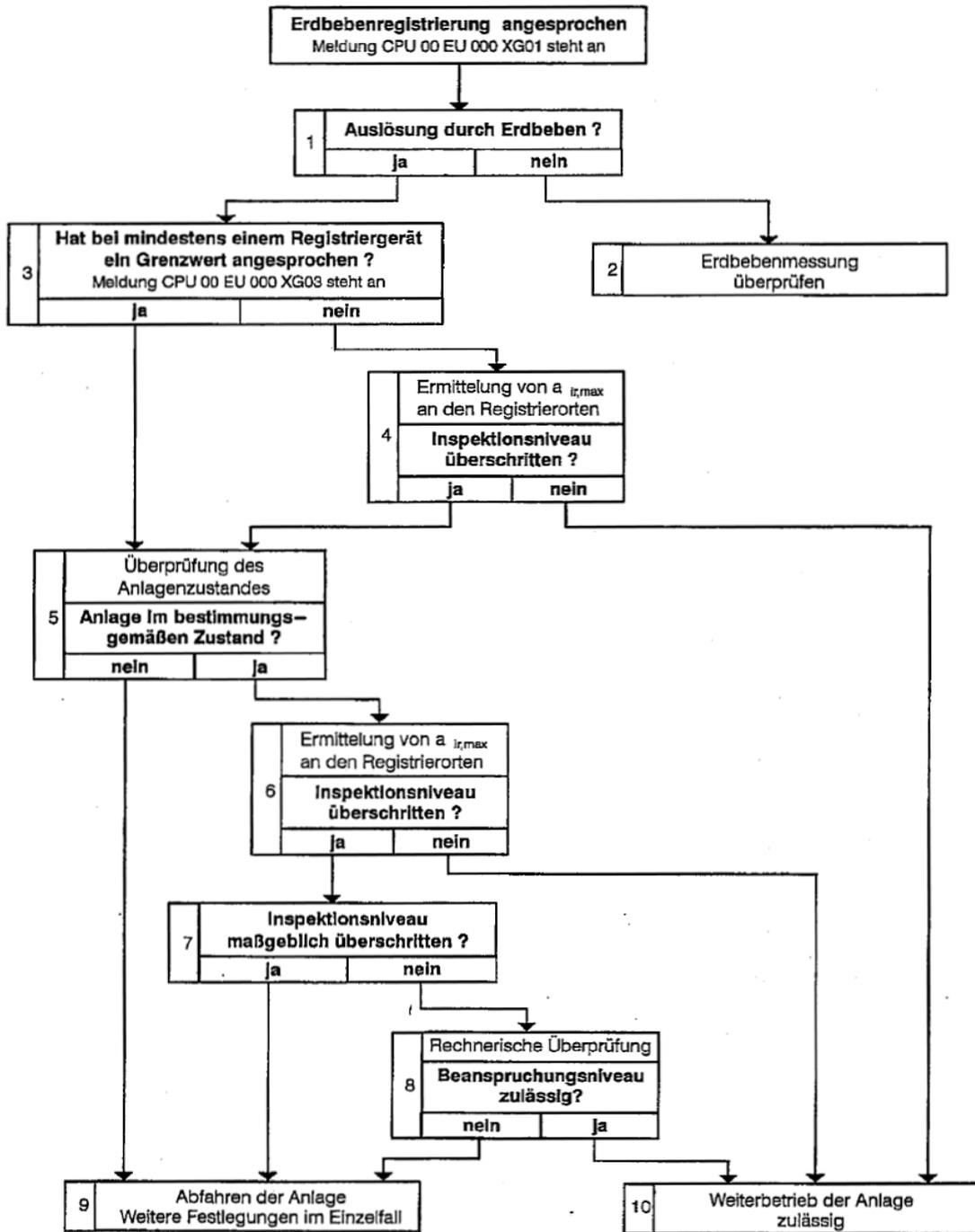


Abb. 5-3: Abfahren bei Erdbeben (aus /GKN 03/)

Inspektionsniveau:

Die Grenzwerte des Inspektionsniveaus betragen das 0,4-fache der Bemessungsgrößen des Bemessungserdbebens /KTA 90/, Teil 6; konkrete Festlegungen zum Inspektionsniveau sind im Betriebshandbuch /GKN 03/ getroffen.

Das Inspektionsniveau gilt als überschritten, wenn an den Aufstellungsorten der Beschleunigungsaufnehmer mindestens bei einer Beschleunigungskomponente der in Tab. 5-1 vorgegebene Wert überschritten wird.

**Tab. 5-1:** Inspektionsniveau und maximale Beschleunigungswerte (horizontal)

Standort	Maximale Beschleunigungen (entsprechend Inspektionsniveau)					
	x-Richtung		y-Richtung		z-Richtung	
	[m/s <sup>2</sup> ]	mg	[m/s <sup>2</sup> ]	mg	[m/s <sup>2</sup> ]	mg
UJB01001	0,74	76	0,74	76	0,86	88
UJB01050	0,74	76	0,74	76	0,86	88
UJA08023	1,72	175	1,72	175	1,19	122
Freifeld OZZ	0,68	70	0,68	70	0,34	35

Wurde das Inspektionsniveau überschritten, ist zu überprüfen, ob sich die Anlage im bestimmungsgemäßen Zustand befindet (Überprüfung von der Warte und Sichtprüfungen bei Begehungen). Ist das nicht der Fall, ist die Anlage abzufahren. Ansonsten braucht nur abgefahren werden, wenn für mindestens zwei Registrierorte die maximale horizontale Beschleunigung gemäß Tab. 5-2 überschritten wird.

**Tab. 5-2:** Inspektionsniveau und maximale resultierende Beschleunigungswerte

Standort	Maximale resultierende Beschleunigung	
	[m/s <sup>2</sup> ]	mg
UJB01001	0,74	76
UJB01050	0,74	76
UJA08023	1,72	175
Freifeld OZZ	0,68	70

Alle Systeme mit sicherheitstechnischer Bedeutung sind gegen das Bemessungserdbeben ausgelegt und in Gebäuden angeordnet, die ebenfalls gegen das Bemessungserdbeben ausgelegt sind (vgl. Tab. 5-3).

**Tab. 5-3:** Gegen das Bemessungserdbeben ausgelegte Gebäude der Referenzanlage /GKN 01/, Auswahl

Bauwerk	Name
5-8UBZ--	Kanalbauwerke (UBP)
1-4UBZ--	Kanalbauwerke (UBA)
-ULB--	Notspeisegebäude
-UJA--	Reaktorgebäude-Innenraum
-UKA--	Reaktorhilfsanlagengebäude
-UJB--	Reaktorgebäude-Ringraum
-UBP--	Notstromerzeugergebäude
-ULZ--	Rohrleitungs- und Kabelkanäle
-UBY--	Brückenbauwerk
-UJE--	FD- und SW-Armaturenkammern
-URB--	Zellenkühlanlage
1UJF--	Materialschleusenumbauung ohne Treppenturm
-UEJ--	Bauwerk für Dieselkraftstoffbehälter
-UBA--	Schaltanlagegebäude
-URE--	Kühlturmpumpenbauwerk (Nebenkühlwasser)

Systeme mit sicherheitstechnischer Bedeutung sind erforderlich für

- die Abschaltung des Reaktors,
- das Halten im abgeschalteten Zustand,
- die Rückhaltung radioaktiver Stoffe,
- die Auslösung von Schutzmaßnahmen und für
- die Sicherstellung der Systemfunktionen durch Hilfsfunktionen.

Weiterhin sind noch Systeme gegen Erdbeben ausgelegt, die der Informationsbereitstellung, der Emissionsmessung und der Behandlung gefährlicher Stoffe dienen.

Die Datenbank <DB SPSA GKN2> enthält in der Tabelle <tbl/Systeme> (siehe Tab. 4-4) vollständige Informationen zur Art der Auslegung der Systeme (übernommen aus /GKN 05/).

**Tab. 5-4:** Gegen das Bemessungserdbeben im Hinblick auf unzulässige Folgeschäden auszulegende BSK (Klasse II BSK) /GKN 04/

<b>BSK</b>	<b>System</b>	<b>Bemerkungen</b>
FAK	Beckenkühlsystem	Standicherheit Beckenkühlpumpe FAK20AP001
FCB01	Lademaschine	Standicherheit
GHC	Deionatversorgung	Integrität des Systemabschnitts vom Durchtritt durch die Sekundärabschirmung bis zum ersten Festpunkt hinter GHC40AA010
		Integrität GHC42 innerhalb UBP
		Integrität GHC41 innerhalb ULB und des Kanals ULZ
JEW	Sperrwasserversorgung HKMP	Integrität JEW03 im Ringraum
JMU	H2-Überwachungssystem	Standicherheit JMU10(20,30,40)AN001 Umwälzgebläse
KBA	Volumenregelsystem	Integrität: Entnahme- und Einspeiseleitung im Ringraum
KLA	Lüftungsanlage	Standicherheit: alle Kanäle und Klappen im Reaktorgebäudeinnenraum
		Standicherheit: Aktivkohlefilter für Umluftanlage in Raum KLA80BT031
		Standicherheit: Umluftkühlgeräte KLA52(59,60,62,63,65,66,71,72,73)AN001(BC001,BT001)
KLB	Lüftungsanlage	Standicherheit: alle Kanäle und Klappen im Reaktorgebäudeinnenraum
		Integrität Wärmetauscher KLB50BC001
		Standicherheit: Umluftkühlgeräte KLB55(57,58)AN001(BC001,BT001)
KUA	nukleare Probeentnahme	Funktion nach Erdbeben: Temperaturüberwachung und zugehörige Armaturen
LAH	An- und Abfahrssystem	Integrität in UJE
PG	konventionelle Zwischenkühlanlage	Integrität PGB30 und PGB31 innerhalb UBP

<b>BSK</b>	<b>System</b>	<b>Bemerkungen</b>
QK	Kaltwassersystem	Integrität QKA50(51,52,60,61,62,63,80) innerhalb UBP
		Integrität QKA90BR001 von QKA52BR001 bis zum 1. Festpunkt hinter QKA90AA01
		Integrität QK70 Einspeisung
		Standicherheit QKA90BB01
QM	Dampfluftbefeuchtungssystem	Integrität in UBA
QUC	konv. Probeentnahme	Integrität im Ringraum (soweit nicht Klasse I)
SAL SAM3	Lüftungsanlage	Standicherheit: alle Lüftungskanäle (Auslegung erfolgte pauschal); inkl. Klappen in UJE, ULB, 1-4ULZ
		Standicherheit Brandschutzkl. SAL10(20,30,40)AA023
		Standicherheit Aktivkohlefilter SAL15/45BT003
SAC		Standicherheit: alle Lüftungskanäle (Auslegung erfolgte pauschal); inkl. Klappen in UBA
		Integrität: Wärmetauscher SAC01BC001(003); SAC56BC001, SAC57BC001
SAD SAP2 SAQ2 SAZ		Standicherheit: alle Lüftungskanäle (Auslegung erfolgte pauschal); inkl. Klappen in UBP, UPD, 1-4UBY, 5-8UBZ, 1-2UQB
SB	Heizungssystem	Integrität innerhalb UJB
		Integrität innerhalb UBA
		Integrität innerhalb UBP
SGA2	Feuerlöschsystem	Integrität vom Eintritt in ULB bis zum 1. Festpunkt hinter den Armaturen SGA21(25)AA001
SGA5		Integrität vom Eintritt in UBP bis zum 1. Festpunkt hinter den Armaturen SGA51(55)AA001
SGB		Integrität vom Eintritt in UJB bis zum 1. Festpunkt hinter den Armaturen SGA15(57)AA001
SM	Krananlagen, Hebezeuge	Standicherheit SMD01-04, SMJ01, SMJ02, SMJ07
JMJ10	Dampferzeugerüberströmdecke	Standicherheit

BSK	System	Bemerkungen
	Sonstiges	In /GKN 04/, Anlage 2 sind jetzt noch eine Reihe von Ausrüstungen ohne Nomenklatur aufgeführt, bei denen es vor allem um Standsicherheit geht. Dazu gehören z. B.: Beckeneinbauten, Abdeckungen für Schüttschächte und Behälterbecken, Trenn- und Dichtschütze, Montagegestelle (z. B. für HKMP). Hebevorrichtung für oberes Kerngerüst, diverse Traversen, Regelstabantriebe

## 5.2 Anlagenspezifische BSK-Daten und Informationen

Zum Aufbau der Datenbank und zur Erprobung des Auswahlverfahrens wurden BSK und BSK-Daten aus folgenden Quellen verwendet (zu den Bezeichnungen siehe Literaturverzeichnis der anlagenspezifischen Unterlagen in Kapitel 8.2):

/GKN 06/ MS EXCEL<sup>®</sup>-Datei <KKS-Abzweigliste modi.xls>

Die MS EXCEL<sup>®</sup>-Datei /GKN 06/ wurde in die Datenbanktabelle <DB SPSA GKN2.tb/BSK> importiert. Aus der Datei wurden 8797 BSK mit Raumzuordnung als Grundstock der Tabelle <tb/BSK> übernommen. Dabei handelt es sich um die elektrisch versorgten BSK.

Das Auswahlverfahren setzt voraus, dass zumindest für alle BSK der vorläufigen seismischen Ausrüstungsliste die Raumzuordnung bekannt ist. Es gibt zwei Möglichkeiten für den SPSA-Ersteller diese Informationen zu erhalten:

- Nach Festlegung der seismisch relevanten Gebäude wird vom Betreiber eine vollständige BSK-Liste mit den Raumzuordnungen angefordert. Damit hat man eine vollständige Liste aller BSK. Im Auswahlverfahren ist die SAL zu bestimmen. Die Liste ist von gewaltigem Umfang, und die Handhabung kann unter Umständen sehr aufwändig sein.
- Es wird eine vorläufige seismische Ausrüstungsliste bestimmt. Für jede BSK dieser Ausrüstungsliste wird vom Betreiber der zugehörige Raum angefordert.

Die tatsächliche Vorgehensweise hängt von den im Kraftwerk zur Verfügung stehenden (elektronischen) Unterlagen ab. Auf alle Fälle sollte die Vorgehensweise vor Beginn der Arbeit an einer SPSA abgestimmt werden.

In den meisten Fällen wird sicherlich ein Mittelweg gegangen werden müssen. Im Fall des Referenzkraftwerks wäre auf Grund der vorhandenen elektronischen Unterlagen die erste Möglichkeit durchaus durchführbar. Zur Erstellung eines Beispiels wurde allerdings nur für die Gebäude UJA und UBP eine vollständige BSK-Raum-Liste und ergänzend /GKN 07/ genutzt.

/GKN 07/ MS EXCEL<sup>®</sup>-Datei <PSA GKN II Basic Events (FANP).xls>

Liste der Basisereignisse der GKN-2-PSA Stufe 1, Leistungsbetrieb

Die Datei /GKN 07/ wurde ausgewertet (vgl. Kapitel 3.1.2), indem jedem Basisereignis eine betroffene BSK (Anwendung KKS-Nomenklatur) zugeordnet wurde.

Zuerst muss dafür gesorgt werden, dass alle Basisereignis-BSK in die Datenbanktabelle <tblBSK> aufgenommen werden. Dann sind alle BSK, die als Basisereignis in der PSA GKN-2 auftreten, im Feld <tblBSK.SA> zu markieren.

/GKN 09/ MS EXCEL<sup>®</sup>-Datei <GKN II Gebäude-Raumebenen.xls>

Die Datei /GKN 09/ bildet den Grundstock der Tabelle <tblRaum>. In dieser Tabelle werden Räume und ihre Eigenschaften gespeichert. Das Inventar der Räume erhält man über die Verbindung zur Tabelle <tabBSK>.

/GKN 04/ Umfang der gegen Einwirkung von außen zur Vermeidung unzulässiger Folgeschäden auszulegenden Systeme, Systembereiche und Komponenten (Genehmigungsunterlage ZXX001-BN-0750-0760-830001, 4.03.83)

Der Bericht /GKN 04/ enthält zwei Listen. Es werden die Klasse-II-BSK aufgeführt (Ausnahme BSK der Elektro- und Leittechnik), für die eine Auslegung gegen seismische Einwirkungen zur Vermeidung unzulässiger Folgeschäden erforderlich ist. Die Anforderungen an die BSK lassen sich durch die Aufgabenstellungen Standsicherheit, Integrität und Funktionsfähigkeit beschreiben.

In Liste 1 sind die BSK aus UJA, UJB und UJE raumbezogen erfasst, bei denen Standsicherheit zur Vermeidung unzulässiger Folgeschäden erforderlich ist.

Liste 2 enthält alle Systeme, die gegen Erdbeben zur Vermeidung unzulässiger Folgeschäden auszulegen sind. Liste 1 wurde vollständig als Tabelle in die Datenbank <DB SPSA GKN2.mdb> übernommen. Liste 2 ist in Tab. 5-4 des vorliegenden Berichts übernommen worden.

Die maschinentechnischen und elektrischen Anlagenteile der Referenzanlage GKN 2 werden im Bericht /GKN 05/ hinsichtlich ihrer sicherheitstechnischen Bedeutung klassifiziert. Die Ergebnisse sind in der Tabelle *<tblSysteme>* der Datenbank *<DB SPSA GKN2>* enthalten.

Sicherheitstechnisch wichtig sind solche Anlagenteile, die notwendig sind, um:

- den Reaktor abzuschalten  
(*<tblSystem.SYS\_REAB>*),
- den Reaktorkern im abgeschalteten Zustand zu halten  
(*<tblSystem.SYS\_REABH>*),
- die Nachzerfalls- und Speicherwärme abzuführen  
(*<tblSystem.SYS\_NAZEWA>*),
- Einschluss und Rückhaltung radioaktiver Stoffe im erforderlichen Umfang sicherzustellen  
(*<tblSystem.SYS\_EIRAST>*),
  - das Erreichen festgelegter Ansprechwerte zu erfassen und Schutzaktionen auszulösen  
(*<tblSystem.SYS\_ANERUSAA>*),
- die bei und nach Störfällen notwendige Information über den Anlagen- und Betriebszustand zu liefern  
(*<tblSystem.SYS\_STOEAUBZ>*),
- die auftretenden Emissionen radioaktiver Stoffe zu ermitteln  
(*<tblSystem.SYS\_EMRAST>*),
- unzulässige Auswirkungen von gefährlichen Stoffen auf wichtige Anlagenteile zu verhindern  
(*<tblSystem.SYS\_AUGESTO>*), sowie
- die Strahlenbelastung in der Umgebung so gering wie möglich zu halten  
(*<tblSystem.SYS\_STRBE>*).

Es sind weiterhin die Anlagenteile gekennzeichnet, die gegen das Bemessungserdbeben (in /GKN 05/ noch Sicherheitserdbeben genannt) ausgelegt sind (<tblSystem.SYS\_BE>).

In <tblSystem.SYS\_K2A> sind die Anlagenteile gekennzeichnet, die keine eigenständige sicherheitstechnische Bedeutung haben, aber trotzdem gegen das Bemessungserdbeben ausgelegt sind. Dabei handelt es sich um Anlagenteile der Klasse II A /KTA 90/.

/GKN 10/ MS EXCEL<sup>®</sup>-Datei <UBP.xls>

Die Datei /GKN 10/ wurde in die Tabelle <tblBSK> der Datenbank <DB SPSA GKN2> übernommen. Dazu mussten zuerst die Datensätze der BSK umformatiert werden (Einhaltung der Nomenklatur, siehe Kapitel 0), anschließend wurden die Datensätze mit einer Anfügeabfrage in die Tabelle <tblBSK> eingefügt. Die Datei /GKN 10/ enthält 7231 BSK des Notstromerzeugergebäudes UBP mit Raumzuordnung (Auszug aus Betriebsführungssystem).

/GKN 11/ Framatome ANP GmbH  
Brand-PSA GKN II, März 2005

Die Brand-PSA wurde genutzt, um die Menge *SRR-Brand* aufzustellen (vgl. dazu auch Kapitel 5.4.2.5).

/GKN 12/ MS EXCEL<sup>®</sup>-Datei <UJA.xls>

Die Datei /GKN 12/ wurde in die Tabelle <tblBSK> der Datenbank <DB SPSA GKN2> übernommen. Dazu mussten zuerst die Datensätze der BSK umformatiert werden (Einhaltung der Nomenklatur, siehe Kapitel 0), anschließend wurden die Datensätze mit einer Anfügeabfrage in die Tabelle <tblBSK> eingefügt. Die Datei /GKN 12/ enthält 16898 BSK des Reaktorgebäudes UJA mit Raumzuordnung (Auszug aus Betriebsführungssystem).

### **5.3 Informationen aus Begehungen**

Zur Unterstützung der Arbeiten zur Erprobung des Verfahrens anhand der Gegebenheiten einer Referenzanlage wurden zwei Anlagenbegehungen durchgeführt.

## **Erste Begehung**

Bei der ersten Anlagenbegehung wurden die nachfolgend aufgeführten Gebäude unter besonderer Berücksichtigung der in Klammern aufgeführten Ausrüstungen einer Begehung unterzogen (siehe auch /GKN B1/):

- UBA - Schaltanlagegebäude  
(Warte, Hoch- und Mittelspannungsschaltanlagen, Batterien, Gleichrichter, Batterie-Einspeiseschränke, Kabeltrassen, Setzsteinwände, Reaktorschutzschränke, Relais)
- UBP - Notstromdieselgebäude  
(Dieselgenerator, Tagestank, Kraftstoffbehälter, Pumpen, Wärmetauscher), Freilufttransformatoren
- ULB - Notspeisegebäude  
(Dieselgenerator, Kraftstofftank, Notspeisepumpe, Notspeiseventile, Notspeisewasserleitungen, Notsteuerstelle)
- UMA - Maschinenhaus  
(Speisewasserpumpen, An- und Abfahrpumpen, Speisewasserbehälter)
- UJE – Überbau Reaktorgebäude/Maschinenhaus, Armaturenkammer  
(FD-Sicherheitsventile, Speisewasserventile).

Die Begehung diente insbesondere der Projektvorbereitung. Es ging vor allem darum, welche Informationen durch Begehungen zusätzlich zur vorhandenen Anlagendokumentation erhalten werden können. Es wurde eine Fotodokumentation angefertigt.

## **Zweite Begehung**

Bei der zweiten Begehung der Referenzanlage wurden die Gebäude UJA und UJB begangen (siehe auch /GKN B2/).

Für das Reaktorgebäude UJA konnte eine vorläufige SAL nach Eingabe der Informationen aus /GKN 10/ in die Datenbank <DB SPSA GKN2> ermittelt werden. Die Route wurde aufgrund der entsprechend bestimmten seismisch relevanten Räume festgelegt. Begehungsformblätter lagen noch nicht vor. Es wurde eine Fotodokumentation angefertigt.

## 5.4 Beispielhafte Nutzung der Datenbank <DB SPSA GKN2>

Nachfolgend wird die Datenbank <DB SPSA GKN2> inhaltlich in Bezug auf das Referenzkraftwerk beschrieben. Die Daten und Informationen der Referenzanlage wurden genutzt, um das Auswahlverfahren abzuleiten. Die Datenbank ist derzeit noch nicht so weit gediehen, dass sie tatsächlich als Grundlage einer entsprechenden SPSA genutzt werden kann.

### 5.4.1 Datenbank als Informationsquelle

In der Tabelle <DB SPSA GKN2.tbIBSK> befinden sich aktuell 34122 BSK-Datensätze des Referenzkraftwerks GKN-2. Die Datenquellen sind im Detail in Tab. 5-5 aufgeschlüsselt.

**Tab. 5-5:** Anzahl der BSK in <tbIBSK>

Datenquelle <sup>1)</sup>	# Datensätze	Bemerkungen
<tbIBSK>	34122	Gesamtmenge der in gespeicherten BSK
/GRS 07a/	12	Testdaten zum Beispiel in /GRS 07a/
/GKN 12/	16850	Aus der vom Referenzkraftwerk übergebenen Datei /GKN 12/ wurden 16850 BSK mit Raumzuordnung aus UJA übernommen.
/GKN 06/	8797	Dies sind die elektrisch versorgten BSK, extrahiert aus der Abzweigliste /GKN 06/. BSK mit Raumzuordnung.
/GKN 10/	7210	Aus der vom Referenzkraftwerk übergebenen Datei /GKN 10/ wurden 7210 BSK mit Raumzuordnung aus UBP übernommen.
/GKN 07/	1015	/GKN 07/ ist die Liste der Basisereignisse der PSA Stufe 1. Diese Liste umfasst 3185 Komponenten. Neu zu der schon entstandenen Liste wurden 1015 BSK in <tbIBSK> eingetragen.
/GKN 04/	249	BSK, die projektgemäß als Klasse II Komponenten gegen Erdbeben ausgelegt wurden
/GKN B2/	1	Aus der Begehung 2 wurde ein Kran eingetragen. Es ist zu prüfen, ob bei Absturz des Krans SAL-BSK beschädigt werden können.

<sup>1)</sup> Mehr zu den Datenquellen, siehe Kapitel 5.2

Wird eine BSK in die Tabelle <tblBSK> neu aufgenommen, wird die Datenquelle eingetragen. Befindet sich diese BSK noch in einer anderen Datenquelle, wird das in <tblBSK> nicht vermerkt, z. B. können BSK aus der Liste der Basisereignisse /GKN 07/ durchaus schon in den Listen /GKN 06/, /GKN 10/ oder /GKN 12/ enthalten gewesen sein.

In der Tabelle <tblBSK> sind wichtige Informationen zu der entsprechenden BSK hinterlegt, siehe dazu die Tab. 4-2. Das Auswahlverfahren geht von der räumlichen Struktur des Kernkraftwerks aus, deshalb ist die Zuordnung BSK – Raum von besonderer Bedeutung.

Die Raumstruktur wurde aus /GKN 09/ übernommen (siehe zur Anzahl der Räume in den Gebäude einige Beispiele in Tab. 5-6). Insgesamt sind 3159 Räume und deren Eigenschaften in <tblRaum> enthalten.

**Tab. 5-6:** Anzahl von Räumen in wichtigen Gebäuden (Beispiele)

Gebäude	Bezeichnung	# Räume
UKA	Reaktorhilfsanlagegebäude	708
UBA	Schaltanlagegebäude	512
UMA	Maschinenhaus	317
UJB	Reaktorgebäude-Ringraum	297
UJA	Reaktorgebäude-Innenraum	269
ULB	Notspeisegebäude	140
UBP	Notstromerzeugergebäude	137
URA	Kühlturm	94
UJE	FE- und SW-Armaturenkammern	45

Eine weitere wichtige Eigenschaft einer BSK ist die Zugehörigkeit zu einem System. Die Systeme und deren Eigenschaften wurden /GKN 04/ und /GKN 05/ entnommen und in die Tabelle <tblSysteme> eingetragen.

Tab. 5-7 enthält die Belegung der Tabellen nach Projektabschluss mit Daten des Referenzkraftwerks (Anzahl der Datensätze).

**Tab. 5-7:** Belegung der Tabellen mit Daten des Referenzkraftwerks

Tabelle	Inhalt
<tblBSK> 34122 Datensätze	Die Tabelle ist die Haupttabelle des Auswahlverfahrens. Sie enthält Informationen zur SAL und zur Klassifikation der BSK aus der SAL. Für die BSK der SAL ist eine Raumzuordnung erforderlich.
<tblRaum> 3159 Datensätze	Die Raumzuordnung ist wichtig zur Durchführung des Auswahlverfahrens.
<tblSysteme> 419 Datensätze	Die Tabelle enthält Eigenschaften der Systeme.
<tblBauwerk> 112 Datensätze	Die Tabelle enthält die Eigenschaften der Bauwerke.
<tblDatenquellen> 29 Datensätze	Die Tabelle enthält nähere Angaben zu den benutzten Datenquellen. Die Datenquellen werden in anderen Tabellen genutzt, um die Herkunft der Daten und Informationen festzuhalten.
<tblVerswahr>	Die Tabelle hat nichts mit dem eigentlichen Auswahlverfahren zu tun. Es ist geplant, die Datenbank zu einem komplexen Tool der Datenbereitstellung für SPSA zu entwickeln. Die Tabelle enthält generische und anlagenspezifische Versagenswahrscheinlichkeiten, die den relevanten BSK endgültig zugeordnet werden können.
<tblBegehungen> 2 Datensätze	Hier werden die durchgeführten Begehungen registriert. Im Projektverlauf wurden zwei Begehungen durchgeführt.
<tblAbhaengigkeit> 7 Datensätze	Die Tabelle wird im Verlauf des Auswahlverfahrens gefüllt. Aktuell sind nur fiktive Abhängigkeiten enthalten. Bis zu dieser Tiefe konnte das Auswahlverfahren noch nicht durchgeführt werden. Im 1. Auswahlschritt werden die Abhängigkeiten nur qualitativ vermerkt, im 2. Auswahlschritt werden die Abhängigkeiten quantifiziert.
<tblNotizen>	Der Notizblock für den SPSA-Experten. Hier können beliebige Informationen zum Stand der Arbeiten abgelegt werden.
<tblAusruestungsklassen>	Tabelle gehört zum Auswahlschritt 2. Dazu sind die BSK sogenannten Ausrüstungsklassen zuzuordnen. Für die Ausrüstungsklassen gibt es sogenannte Regelmengen. Die Formulierung der Ausrüstungsklassen und die Definition zugehöriger Regelmengen war nicht Aufgabe des vorliegenden Projekts.

Tabelle	Inhalt
<tblRegelmengexx>	<p>Eine konkrete BSK gehört zu einer Ausrüstungsklasse A. Zur Ausrüstungsklasse A gehört eine Regelmenge B. Es ist jetzt zu überprüfen, ob die BSK allen Regeln und Eigenschaften von B genügt. Wenn nicht, ist die Fragility der BSK anlagenspezifisch zu bestimmen.</p> <p>Die Formulierung der Ausrüstungsklassen und die Definition zugehöriger Regelmengen war nicht Aufgabe des vorliegenden Projekts.</p>

#### 5.4.2 Datenbankunterstützung bei der Auswahlstufe 1

In der Auswahlstufe 1 ist schrittweise die seismische Ausrüstungsliste SAL zu bestimmen. Dazu wird zuerst die vorläufige Ausrüstungsliste erstellt. Ausgangspunkt ist die Liste aller Basisereignisse in der PSA Stufe 1. Die MS EXCEL<sup>®</sup>-Datei /GKN 07/ enthält die Basisereignisse als Ausgabe des entsprechenden RiskSpectrum-Anlagenmodells /GKN 08/. Zweitens werden BSK bestimmt, die bei Ausfall störfallauslösende Ereignisse hervorrufen können. Die aus diesen BSK gebildete vorläufige Ausrüstungsliste wird genutzt, um die seismisch relevanten Räume zu bestimmen. Die seismisch relevanten Räume werden mit Hilfe der Datenbank bestimmt. Begehungsdatenblätter mit den wichtigsten Informationen zu den SRR werden bereitgestellt. Nach den Begehungen wird die Datenbank ergänzt um Abhängigkeiten und um die seismisch relevanten Räume aus Informationen der Brand- und Überflutungs-PSA.

##### 5.4.2.1 Basisereignisse der PSA Stufe 1

Eine Auswertung der Liste der Basisereignisse in der Datei <PSA Komp.xlsx> ergibt die in Tab. 5-8 aufgeführten Ergebnisse.

**Tab. 5-8:** Basisereignisse als Ausgangspunkt der SAL-Festlegung (Beispiele)

<b>Art der Basisereignisse</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Bedeutung für Auswahlprozess</b>
Anzahl BE, gesamt	3145	Es ist für alle Basisereignisse zu entscheiden, ob sie seismisch relevant sind. Sind sie seismisch relevant, sind die entsprechenden zugehörigen Komponenten zu identifizieren.
seismisch relevante BE	1958	Die den seismisch relevanten Basisereignissen zugeordneten BSK sind zu identifizieren und in der Datenbank zur vorläufigen SAL hinzuzufügen.
GVA-Basisereignisse	1106	Es gibt 1106 GVA-Basisereignisse. GVA-Basisereignisse sind seismisch nicht relevant.
Operatorhandlungen	15	Es ist zu entscheiden, wie mit den Operatorhandlungen im seismischen Anlagenmodell zu verfahren ist. Hier werden die Operatorhandlungen als seismisch relevant eingestuft, d. h. das entsprechende Basisereignis ist grundsätzlich um die Möglichkeit des seismischen Operatorversagens zu ergänzen.
BE beschreibt keine BSK	26	Es gibt Basisereignisse, die keine BSK beschreiben. Diese brauchen nicht analysiert werden, z. B. BE 'Reparaturzeit überschritten'.
BE beschreibt Anregung	20	z. B. Ausfall der Anregung Pumpenzuschaltung durch Fehlsignal, BSK KAA31AP001
Komponenten	950	Eine eindeutige Zuordnung einer Komponente zum Basisereignis ist möglich.
RS-Ersatzkomponenten	90	Bei 90 Reaktorschutz-Ersatzbasisereignisse wurde keine Komponente, sondern ein Raum zugeordnet.

Aktuell wurden in die Datenbank <DB SPSA GKN2> 1432 BSK in die vorläufige SAL aufgenommen, die sich aufgrund der Auswertung der Basisereignislisten ergeben haben.

**Tab. 5-9:** Die BSK der Basisereignisse als Grundstock der SAL

<b>Art der SAL BSK</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Bemerkung</b>
Gesamtumfang	1940	Zum Projektabschluss wurden 1940 BSK als seismisch relevant markiert.
BSK aus Basisereignissen	1418	Das ist die Anzahl der SAL BSK, die sich aus der Analyse der Basisereignisse ergeben hat.
BSK aus BE mit Raumzuordnung	492	492 BSK konnten Räume zugeordnet werden, insgesamt 197 Räume.
BSK aus BE ohne Raumzuordnung	926	Für 926 BSK bleibt die Aufgabe, Räume zuzuordnen. Es ist unbedingt mit dem Kernkraftwerk vor Beginn der Anfertigung einer SPSA festzulegen, wie diese Raumzuordnung zu bewältigen ist.

#### **5.4.2.2 Störfallauslösende Ereignisse**

In Kapitel 3.1.3 ist das Vorgehen zur Bestimmung der BSK beschrieben, bei denen davon ausgegangen werden kann, dass bei Ausfall ein störfallauslösendes Ereignis eintritt. Im vorliegenden Projekt wurden nur einige (ebenfalls aus der PSA der Stufe 1 entnommene) Beispiel-BSK als BSK gekennzeichnet, die Auslöser hervorrufen können gekennzeichnet. Zum Projektabschluss waren 85 BSK in diesem Sinne als seismisch relevant markiert.

#### **5.4.2.3 Seismisch relevante Räume und Begehungspläne**

Für die Durchführung des Auswahlverfahrens ist die räumliche Zuordnung der BSK der SAL erforderlich. Der einfachste, wenn auch aufwändigste Weg besteht darin, von sämtlichen Komponenten des Kernkraftwerks auszugehen und die räumliche Zuordnung in der Datenbank bereit zu stellen. Werden danach die SAL BSK identifiziert, liegt die Zuordnung bereits vor.

Ein anderer Weg besteht darin, die Liste der SAL BSK aufzustellen und danach, sicher sehr aufwändig, jeder SAL BSK den entsprechenden Raum zuzuordnen.

Im Beispiel wurde folgendermaßen vorgegangen: Alle elektrisch versorgten Komponenten /GKN 06/, alle Komponenten aus UJA /GKN 12/ und UBP /GKN 10/ wurden

einschließlich Raumzuordnung in die Datenbank aufgenommen. Für alle SAL Komponenten, die nicht zu UJA, UBP gehören und nicht elektrisch versorgt sind, muss die Raumzugehörigkeit bestimmt werden.

Aus Tab. 5-9 ist ersichtlich, dass den BSK aus der SAL bisher 254 Räume zugeordnet werden konnten. Für die einzelnen Gebäude ist die gefundene Anzahl der seismisch relevanten Räume in Tab. 5-10 angegeben.

**Tab. 5-10:** Anzahl seismisch relevanter Räume

<b>Gebäude</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>#SRR (#Räume)</b>
UJA	Reaktorgebäude-Innenraum	77 (269)
UJB	Reaktorgebäude-Ringraum	43 (297)
UBP	Notstromerzeugergebäude	27 (137)
ULB	Notspeisegebäude	18 (140)
UBA	Schaltanlagegebäude	15 (512)
UMA	Maschinenhaus	14 (317)
UJE	FD- UND SW-Armaturenkammern	12 (45)
1URB	Zellenkühlanlage	8
2URB	Zellenkühlanlage	8
3URB	Zellenkühlanlage	8
4URB	Zellenkühlanlage	8
UKA	Reaktorhilfsanlagegebäude	5 (708)
UBD	Bauwerk für MS-EB-Trafos	4
5UQB	Notnebenkühlwasserpumpenbauwerk	2
6UQB	Nebenkühlwasserpumpenbauwerk	1
4URE	Kühlturmpumpenbauwerk	1
3URE	Kühlturmpumpenbauwerk	1
UTA	Versorgungsanlagegebäude	1
UGX	Sonderbauwerk	1

Es gibt zwei Arten seismisch relevanter Räume. Zum einen werden seismisch relevante Räume so definiert, dass die Räume sind, die seismisch relevante Komponenten enthalten. Es gibt aber auch Räume die aus anderen Gründen in die Liste der SRR aufgenommen werden (siehe dazu Kapitel 5.4.2.5).

Aufgrund der gefundenen seismisch relevanten Räume werden Begehungspläne zusammengestellt. Jeder seismisch relevante Raum wird begangen. Dazu werden raumbezogene Begehungsformblätter bereit gestellt. Auf den Begehungsformblättern sind die BSK verzeichnet, die dazu geführt haben, dass der Raum als seismisch relevant markiert wurde. Weiterhin sind relevante Eigenschaften der BSK, der im Raum vorhandenen Systeme und auch eventuelle Abhängigkeiten zwischen den BSK eingetragen.

#### **5.4.2.4 Abhängigkeiten**

Im ersten Analyseschritt werden die Abhängigkeiten in der Datenbank gekennzeichnet, die sich aufgrund der SPSA-Analyserandbedingungen ergeben. Ist beispielsweise, wie bei /KLU 09/, als Analyserandbedingung festgelegt worden, dass das seismische Ausfallverhalten typgleicher Komponenten auf einer Ebene in einem Gebäude vollständig korreliert ist, so sind diese Zusammenhänge in der Datenbank zu kennzeichnen. Die Begehungen werden dann anschließend genutzt, um andere Abhängigkeiten aufzudecken.

Formal, nur zur Erprobung der Möglichkeiten der Datenbank, wurden einige Abhängigkeitsmengen definiert (siehe Tab. 5-11).

Bei den Mengen M03 bis M06 geht es um die Überprüfung der Möglichkeit der Brandgefahr (siehe dazu die Erläuterung in Kap. 3.1.4.3). Zuerst wird nur qualitativ die Möglichkeit einer Abhängigkeit postuliert. In einem späteren Schritt ist ein Parameter zu bestimmen, mit dem die Abhängigkeit quantifiziert wird. Für die Brandgefahr wird festgestellt, dass die Abhängigkeit zu vernachlässigen ist.

Bei der Abhängigkeit M02 geht es um eine räumliche Abhängigkeit im Raum UJB03016, bei M01 wird eine technologische Abhängigkeit postuliert.

Im Beispiel wurden die Abhängigkeiten nur qualitativ beschrieben und  $\kappa$  gleich Null gesetzt. Im Auswahlschritt 2 sind die Abhängigkeiten zu quantifizieren. Das wurde in den vorliegenden Beispielen noch nicht getan. Nur für die Abhängigkeiten M03 bis M06 wurde entschieden, dass diese Abhängigkeit nicht besteht bzw. nicht relevant ist. Der Wert  $\kappa$  gleich Null wurde beibehalten.

**Tab. 5-11:** Abhängigkeitsmengen (Beispiele)

BSK	Raum	Abhängigkeit			
		Bez.	Art	Beschreibung	$\kappa$
JNA40AP001	UJB01087	M01	techno- logisch	Abhängigkeit der Nachkühlpumpen	0
JNA30AP001	UJB01057				
JNA20AP001	UJB01044				
JNA10AP001	UJB01007				
JNA10AA050	UJB03016	M02	Räumlich	UJB03016	0
JNA10AA017					
FAK10AA003					
LAS11BB001	ULB02005	M03	Brand	Überhitzung der Not- speisepumpe und Leck im Ölbehälter	0
LAS11AP001					
LAS21BB001	ULB02065	M04	Brand	Überhitzung der Not- speisepumpe und Leck im Ölbehälter	0
LAS21AP001					
LAS31BB001	ULB02045	M05	Brand	Überhitzung der Not- speisepumpe und Leck im Ölbehälter	0
LAS31AP001					
LAS41BB001	ULB02025	M06	Brand	Überhitzung der Not- speisepumpe und Leck im Ölbehälter	0
LAS41AP001					

Das beschriebene Vorgehen ist auch von großer Bedeutung für die Nachvollziehbarkeit der PSA. Es werden zuerst alle möglichen Abhängigkeiten in die Datenbank eingetragen. Auch wenn sich im Verlauf der Analyse herausstellt, dass die Abhängigkeit keine oder eine vernachlässigbar geringe Bedeutung hat, bleibt doch die Information erhalten, dass diese Abhängigkeit im Zuge der Analyse bewertet und nicht übersehen wurde.

#### 5.4.2.5 Erdbebenbedingte Brandschäden

Die vorläufige Menge der seismisch relevanten Räume {SRR} wird um die Räume der Brand-PSA /GKN 11/ ergänzt, die ca. 88 % der brandbedingten Gefährdungshäufigkeit abdecken. Das sind insgesamt 20 Raumbereiche in den Gebäuden Maschinenhaus UMA, Schaltanlagegebäude UBA, Versorgungsanlagegebäude UTA, Kabelkanäle UBZ und Armaturenkammer UJE (siehe Tab. 5-12).

In der Tab. 5-12 sind überwiegend Räume aufgeführt, die bisher noch nicht in {SRR} enthalten waren. Das liegt daran, dass die Auswahl der SRR im Wesentlichen darauf beruht, ob solche BSK enthalten sind, die in der PSA Stufe 1 als Basisereignisse enthalten sind. Die Erfahrungen aus Brand-PSA zeigen, dass es bei Brand vor allem um Kabelausfälle geht, und Kabel werden in der PSA Stufe 1 bei Leistungsbetrieb nicht modelliert.

**Tab. 5-12:** Seismisch relevante Brandräume (Brandbereiche geordnet nach Bedeutung in der Brand-PSA)

Brandbereich	Räume
UMA-21	UMA02045, UMA02047, UMA02055, UMA02057
UMA-71	UMA05012, UMA05013, UMA05014, UMA05015, UMA05017, UMA05018, UMA05022, UMA05023, UMA05024, UMA05025, UMA05027, UMA05028, UMA05032, UMA05033, UMA05034, UMA05035, UMA05037, UMA05038, UMA05042, UMA05043, UMA05044, UMA05045, UMA05047, UMA05048, UMA06012, UMA06013, UMA06014, UMA06015, UMA06017, UMA06018, UMA06042, UMA06043, UMA06044, UMA06045, UMA06047, UMA06048
UBA-060	UBA06026, UBA07033
UBA-074	UBA07026
UBZ-19	3UBZ01001, 3UBZ01002, 3UBZ01003
UTA-01	UTA01001, UTA01002, UTA01003, UTA01004, UTA01005, UTA01006, UTA01007, UTA01008, UTA01009, UTA01010, UTA01011, UTA01012, UTA01013, UTA01014, UTA01015, UTA01016, UTA01017, UTA01018, UTA01019, UTA01020, UTA01021, UTA01022, UTA01023, UTA01024, UTA01025, UTA01026, UTA01030, UTA01035, UTA01041, UTA01042, UTA01043, UTA01044, UTA01045, UTA01046
UBA-016	UBA02026, UBA03033
UBA-029	UBA03025
UMA-07	UMA01045, UMA01047, UMA01048, UMA01055, UMA01057,

<b>Brandbereich</b>	<b>Räume</b>
	UMA01058, UMA01096
UBA-057	UBA06016, UBA06036, UBA06066, UBA06086
UJE-04	UJE02005, UJE02006, UJE03005, UJE03006, UJE04005, UJE04006, UJE05005
UJE-02	UJE02001, UJE02002, UJE03001, UJE03002, UJE04001, UJE04002, UJE05001
UJE-03	UJE02003, UJE02004, UJE03003, UJE03004, UJE04003, UJE04004, UJE05003
UJE-05	UJE02007, UJE02008, UJE03007, UJE03008, UJE04007, UJE04008, UJE05007
UBA-028	UBA03028, UBA03026
UBA-055	UBA06009, UBA06029, UBA06059, UBA06079
UBA-036	UBA04026, UBA05033
UBA-025	UBA03004, UBA03006
UBA-042	UBA05002
UBA-053	UBA06006, UBA07013

Für das Schaltanlagegebäude UBA gibt es z. B. nur drei Räume in Tab. 5-12, die bereits aus anderen Gründen als seismisch relevant erkannt wurden: UBA03026, UBA03004 und UBA03006.

Bei der Bereitstellung raumbezogener Begehungsformulare wird diese Besonderheit ausgewiesen. Zum einen sind alle seismisch relevanten Komponenten aufzuführen und zum anderen festzuhalten, ob der Raum im Hinblick auf seine Brandrelevanz bewertet werden muss.

#### **5.4.2.6 Erdbebenbedingte Überflutungen**

Zu erdbebenbedingten Überflutungen sind für das Referenzkraftwerk in diesem Bericht keine speziellen Untersuchungen durchgeführt worden (siehe Kap. 3.1.4.4).

### **5.4.3 Datenbankunterstützung bei der Auswahlstufe 2**

Entsprechend Abb. 3-2 werden innerhalb der Auswahlstufe 1 Daten, Informationen und Parameter für alle BSK der SAL in der Datenbank als Entscheidungshilfe für die Auswahlstufe 2 bereitgestellt. Dies konnte im Rahmen des Vorhabens RS1180 noch nicht erprobt werden. Allerdings sind in der Datenbank die Strukturen bereitgestellt, um Entscheidungen zur sicherheitstechnischen Bedeutung der einzelnen BSK auf der Grundlage von Regelmengen zu unterstützen, siehe dazu Kapitel 4.2.

## **6 Zusammenfassung**

Eine SPSA umfasst drei Hauptarbeitsschritte:

- Durchführung einer seismischen Gefährdungsanalyse zur Ermittlung standort-spezifischer Häufigkeiten von Erdbebenwirkungen,
- Ermittlung von erdbebenbedingten Versagenswahrscheinlichkeiten für bauliche anlagen, Systeme und Komponenten (BSK),
- Berechnung erdbebenbedingter Gefährdungs- und Kernschadenzustände.

Im Forschungs- und Entwicklungsvorhaben RS1180 wird ein Verfahren zur Auswahl von BSK abgeleitet und erprobt, für die bei der Durchführung einer SPSA tatsächlich erdbebenbedingte Versagenswahrscheinlichkeiten, sogenannte Fragilities, ermittelt werden müssen. In PSA der Stufe 1 werden für viele Komponenten Nichtverfügbarkeiten benötigt, die meistens statistisch ermittelt werden können. Dies ist bei der Bewertung von Nichtverfügbarkeiten aufgrund seismischer Einwirkungen nicht möglich. Die Fragilities sind zusätzlich von der Erdbebenintensität abhängig, d. h. eine BSK fällt bei einem Erdbeben mit einer Wahrscheinlichkeit aus, die abhängig von der Stärke des Erdbebens ist.

Die anlagen- und BSK-spezifische Ermittlung von Fragilities ist sehr aufwändig, insofern wird ein Verfahren benötigt, welches unter allen BSK eines Kernkraftwerks diejenigen herausfindet, für die zum einen überhaupt Fragilities ermittelt werden müssen, und das zum anderen festlegt, in welcher Tiefe die Untersuchungen durchgeführt werden müssen. Dabei stellt sich die Frage, ob generische Fragilities das Ausfallverhalten der BSK ausreichend beschreiben oder ob Untersuchungen erforderlich sind, die die Spezifik der BSK in der entsprechenden Anlage einbeziehen.

### **6.1 Das Auswahlverfahren**

Das entwickelte Auswahlverfahren trifft eine Vorauswahl für den zweiten Hauptarbeitsschritt. Es ist nicht möglich (und auch nicht notwendig) für alle BSK eines Kernkraftwerks seismische Versagenswahrscheinlichkeiten zu ermitteln.

Es werden zwei Auswahlstufen unterschieden:

Ziel der ersten Auswahlstufe ist es, eine umfassende Liste von BSK zusammenzustellen, deren Fehlfunktion bei seismischer Einwirkung einen Beitrag zur Häufigkeit der Gefährdungszustände liefert. Diese Liste wird seismische Ausrüstungsliste (SAL) genannt. Es wird mittels einer systematischen Vorgehensweise sichergestellt, dass keine relevanten BSK übersehen werden können.

Grob zusammengefasst wird folgendermaßen vorgegangen:

- Aufbau einer vorläufigen SAL,
- Bestimmung der seismisch relevanten Räume,
- Begehung aller seismisch relevanten Räume,
- Aufbau der endgültigen SAL.

Die vorläufige SAL besteht im Wesentlichen aus den Komponenten, die im entsprechenden PSA-Modell der Stufe 1 als Basisereignisse enthalten sind. Weiter werden solche BSK hinzugenommen, deren Ausfall allein oder zusammen mit dem Funktionsverlust weiterer BSK zu einem auslösenden Ereignis führen kann.

Zu jeder BSK der vorläufigen SAL ist der zugehörige Standort (Raum entsprechend AKZ) zu bestimmen. Ein Raum, der eine BSK aus der SAL enthält, wird seismisch relevant genannt. Alle seismisch relevanten Räume werden begangen. Für die Begehungen werden raumbezogene Begehungsformblätter mit einer Vielzahl von Informationen zur Verfügung gestellt, damit kein Bewertungsaspekt übersehen werden kann. Bei den Begehungen geht es vor allem um die Ergänzung der vorläufigen SAL um weitere, seismisch relevante BSK. Das werden vor allem solche BSK sein, die aufgrund von Abhängigkeiten verschiedener Art bei einem eigenen Ausfall (z. B. Verlust der Standsicherheit) Einfluss auf das Ausfallverhalten von BSK haben, die schon in der vorläufigen SAL enthalten sind.

Nach Abschluss der Begehungen enthält die SAL sämtliche BSK mit dem Potential, bei einem Erdbeben zur Häufigkeit von Gefährdungszuständen beitragen zu können.

Die zweite Auswahlstufe beschäftigt sich ausschließlich mit den BSK der in der ersten Auswahlstufe definierten SAL. Eventuelle Abhängigkeiten im seismischen Ausfallverhalten der BSK sind in der SAL vermerkt. Ziel der zweiten Auswahlstufe ist es, alle

BSK der SAL nach sicherheitstechnischen Bedeutung zu klassifizieren und die festgestellten qualitativen Abhängigkeiten zu quantifizieren.

Dabei wird folgendermaßen klassifiziert:

- Ein Versagen bei Erdbeben liefert keinen Beitrag zur Häufigkeit von Gefährdungszuständen (BSK der Klasse 0).
- Die Versagenswahrscheinlichkeit bei Erdbeben kann durch generische Versagenskurven beschrieben werden (BSK der Klasse 1).
- Die Ableitung anlagenspezifischer Versagenskurven ist zur Bestimmung der Versagenswahrscheinlichkeit bei Erdbeben erforderlich (BSK der Klasse 2).

In der Auswahlstufe 2 wird bei der Klassifikation der BSK nach sicherheitstechnischer Bedeutung ebenfalls zweistufig vorgegangen. Zunächst wird versucht, möglichst viele BSK auf der Grundlage der erarbeiteten Daten und Informationen unter Einbeziehung von Expertenwissen zu klassifizieren. Dazu können die BSK nach Ähnlichkeitsmerkmalen gruppiert werden. Ist eine Klassifikation aufgrund der vorliegenden Informationen nicht möglich, werden diese BSK (kritische BSK) zur Entscheidungsfindung im Rahmen einer weiteren Begehung zurückgestellt. Entsprechend wird bei der Bewertung der Abhängigkeiten vorgegangen. Sollte eine Quantifizierung auf der Grundlage der in der Datenbank vorhandenen Informationen nicht möglich sein, sind Vor-Ort-Begutachtungen durchzuführen.

## **6.2 Die Datenbank**

Zur unterstützenden Durchführung einer SPSA wurde eine MS ACCESS®-Datenbank <DB SPSA> entwickelt. Diese Datenbank ist geeignet, im Verlauf der Erarbeitung einer SPSA die erforderlichen Daten aufzunehmen, aufzubereiten und in den verschiedenen Phasen der Projektbearbeitung geeignet zur Verfügung zu stellen. Diese Datenbank konnte im Rahmen des Vorhabens RS1180 nur in ihren Grundzügen beschrieben und entwickelt werden. Eine Spezifizierung aller benötigten Daten, die Nutzung der Daten und die Einbindung der Datenbank in den Gesamtprozess der SPSA-Erstellung und Anwendung bleibt einem weiteren Projekt vorbehalten (siehe Kapitel 6.4).

Zur Beschreibung der Daten- und Informationsflüsse bei probabilistischen Analysen ist die Unterscheidung zwischen Primär- und Sekundärdaten hilfreich. Unter Primärdaten

versteht man alle Daten und Informationen, die sich ohne zusätzlich vertiefte Analysen aus der Aufgabenstellung ergeben. Sekundärdaten entstehen als Ergebnis eines informationsverarbeitenden Prozesses.

Die Haupttabelle der Datenbank bei der Durchführung des Auswahlverfahrens betrifft die Bauteile, Systeme und Komponenten. Das datenbankorientierte Auswahlverfahren besteht nun darin, diese Tabelle mit Primärdaten zu füllen, um auf dieser Grundlage alle benötigten Sekundärdaten abzuleiten und diese dann ebenfalls in der Tabelle abzuliegen. Zu den Sekundärdaten gehören dann natürlich auch die Ergebnisse des Verfahrens wie die Zugehörigkeit einer BSK zur SAL und die Klassifizierung nach sicherheitstechnischer Bedeutung.

Die Datenbank ist so gestaltet, dass sie allgemein für SPSA-Projekte anwendbar ist. Erfahrungen aus anderen PSA-Projekten haben allerdings gezeigt, dass nur in Ausnahmefällen die Datenstrukturen in den einzelnen Kernkraftwerken gleich sind, insbesondere gibt es große Abweichungen bei den verwendeten Nomenklaturen. Die Struktur und Anwendung der Datenbank ist so allgemein wie möglich beschrieben. Zur Erprobung wurden Daten des Referenzkraftwerks herangezogen. Diese Datenbank wird *<DB SPSA GKN2>* genannt, um herauszustellen, dass die praktische Anwendung der allgemeinen Datenbankstruktur *<DB SPSA>* immer auch eine Anpassung an die konkreten (Daten-)verhältnisse in einem zu untersuchenden Kernkraftwerk bedeutet.

Für die Datenbank wurde eine Oberfläche gestaltet, über die eine Vielzahl von Eingaben, Standardabfragen und -auswertungen angewählt werden können. Es muss in diesem Zusammenhang allerdings betont werden, dass die Nutzungsmöglichkeiten der Datenbank und die Kopplung der Informationen in einer konkreten SPSA-Anwendung so vielfältig sein können, dass der direkte Zugriff auf die Tabellen der Datenbank für den SPSA-Ersteller erforderlich bleibt. Nichtsdestotrotz ist die Oberfläche der Datenbank - insbesondere für den Gutachter und sonstige Nutzer der PSA-Ergebnisse - geeignet, sich einen flexiblen Überblick zu verschaffen und alle Ergebnisse anhand der Primärdaten nachvollziehen zu können.

Mit Hilfe der Datenbank wird im Verlauf der Erstellung einer SPSA die Durchführung folgender Aufgaben unterstützt:

- Zusammenstellung der vorläufigen SAL,

- Bereitstellung der BSK-Raum-Zuordnung, Zuordnung weiterer zur BSK-Klassifikation (Auswahlstufe 2) benötigter Eigenschaften,
- Qualitative Beschreibung von Abhängigkeiten zwischen BSK,
- Ermittlung seismisch relevanter Räume,
- Bereitstellung von Begehungsformularen für seismisch relevante Räume,
- Ergänzung der vorläufigen SAL durch weitere BSK,
- Zusammenfassung und tabellarische Darstellungen zu den Ergebnissen des Auswahlverfahrens,
- Bereitstellung von Informationen zur Begutachtung, Nachvollziehbarkeit der Analysen.

### **6.3 Erprobungen des datenbankgestützten Auswahlverfahrens mittels Daten des Referenzkraftwerks**

Als Referenzkraftwerk stand das Kernkraftwerk GKN-2 zur Verfügung. Ein Vorhaben dieses Umfangs bleibt ohne die Möglichkeit des Zugriffs auf anlagenspezifische Daten pure Theorie. Nur mit echten Daten und Informationen können eine Datenbank und die Durchführung von Teilen einer SPSA realitätsnah erprobt werden.

In Kapitel 5 wird beschrieben, wie die SAL für das Referenzkraftwerk schrittweise in und mit Hilfe der Datenbankstruktur <DB SPSA> zur konkreten SPSA-Datenbank <DB SPSA GKN2> für das Referenzkraftwerk aufgebaut wird. In der Datenbank <DB SPSA GKN2> werden einerseits die Ergebnisse des schrittweisen Aufbaus der Listen festgehalten, andererseits dienen die Datenbankroutinen dazu, sich Überblicke zu den komplexen Datenzusammenhängen zu verschaffen. Der Vorhabensumfang reichte nicht aus, um den gesamten Umfang der benötigten Daten zu bewältigen. Im Wesentlichen beschränkte man sich auf die Gebäude UJA und UBP (siehe dazu auch den Ausblick für weitere erforderliche Arbeiten in Kapitel 6.4).

Das Auswahlverfahren setzt voraus, dass zumindest für alle BSK der vorläufigen seismischen Ausrüstungsliste die Raumzuordnung bekannt ist. Es gibt zwei Möglichkeiten für den SPSA-Ersteller diese Informationen zu erhalten:

- Nach Festlegung der seismisch relevanten Gebäude wird vom Betreiber des zu analysierenden Kernkraftwerks eine vollständige BSK-Liste mit den Raumzuordnungen angefordert. Damit hat man eine vollständige Liste aller BSK. Im Auswahlverfahren ist die SAL zu bestimmen. Diese Liste ist von gewaltigem Umfang, ihre Handhabung kann unter Umständen sehr aufwändig sein.
- Es wird eine vorläufige seismische Ausrüstungsliste bestimmt. Für jede BSK dieser Ausrüstungsliste wird vom Betreiber des zu analysierenden Kernkraftwerks der jeweils zu einer BSK zugehörige Raum angefordert.

Die tatsächliche Vorgehensweise hängt von den im Kraftwerk zur Verfügung stehenden (im Allgemeinen elektronischen) Unterlagen ab. Auf alle Fälle sollte die Vorgehensweise vor Beginn der Arbeit an einer SPSA abgestimmt werden.

Im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens RS1180 wurden allerdings nur für die Gebäude UJA und UBP vollständige BSK-Raum-Listen genutzt. Das hatte den Nachteil, dass für viele BSK der vorläufigen Ausrüstungsliste der zugehörige Raum nicht bestimmt werden konnte.

#### **6.4            Ausblick**

Im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens RS1180 wurde ein Verfahren zur Bestimmung kritischer BSK mit Hilfe einer Datenbankstruktur entwickelt. Kritische BSK sind solche Ausrüstungen, deren seismisch bedingter Ausfall zur Häufigkeit von Gefährdungs- bzw. Kernschadenzuständen beitragen kann und für welche sogenannte Fragilities generischer oder anlagenspezifischer Art benötigt werden.

In einem weiteren Vorhaben /GRS 07a/ wird aktuell ein Modell zur Beschreibung seismischer Abhängigkeiten entwickelt. Diese seismischen Abhängigkeiten sind insbesondere für das abhängige Ausfallverhalten kritischer BSK von Bedeutung. Es wurde gezeigt, dass sich die Abhängigkeiten durch die Menge der abhängigen BSK und durch eine seismische Kopplungsfunktion beschreiben lassen. Diese Informationen sind ebenfalls in einer Datenbank hinterlegbar.

Die im Vorhaben RS1180 in Grundzügen erstellte Datenbank ist so weiterzuentwickeln, dass auf der einen Seite alle benötigten Informationen zur Durchführung von SPSA bereitgestellt (Eingabe von Daten) werden können und zum anderen diese Informationen

wiederum zur Durchführung der Arbeitsschritte einer SPSA (z. B. zur Auswahl kritischer Komponenten, Bereitstellung von Daten zur Quantifizierung von Ereignisabläufen) aktiv durch Auswerteroutinen (Ausgabe und Nutzung der Daten und Informationen) genutzt werden können.

Für eine Weiterentwicklung des Datenbank-Ansatzes bei der Durchführung des Auswahlverfahrens wird als unbedingt notwendig vorausgesetzt, dass ein Referenzkernkraftwerk mit Zugang zu allen benötigten anlagenspezifischen Daten zur Verfügung steht. Insbesondere sollte das PSA-Modell der Stufe 1 bei Leistungsbetrieb genutzt werden können.

Als Ergebnis würde eine umfassende Datenbasis zur Durchführung einer anlagenspezifischen SPSA zum Referenzkraftwerk vorliegen.

Die Datenbank <DB SPSA> konnte im Vorhaben nur in ihren Grundzügen beschrieben und entwickelt werden. Eine Spezifizierung aller benötigten Daten, die Nutzung der Daten und die Einbindung der Datenbank in den Gesamtprozess der Erstellung und Anwendung einer SPSA ist erforderlich, wenn eine standardisierte Nutzung erfolgen soll. Dazu sind die bisherigen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten mit den nachfolgend aufgeführten Arbeitsschwerpunkten fortzusetzen.

#### **6.4.1 Spezifikation einer SPSA-Datenbasis**

Die Datenbasis für eine SPSA umfasst neben der Menge aller baulichen Anlagen, Systeme und Komponenten (BSK) des zu untersuchenden Kernkraftwerks und ihren Eigenschaften auch umfangreiche generische Informationen, welche bei konkreten Analysen standardisiert zur Entscheidungsfindung zur Verfügung stehen.

- Anlagenspezifische Daten und Informationen:  
Es ist eine Vorschrift für eine systematisierte Erstellung einer SPSA-Datenbasis zu erarbeiten. Diese Vorschrift schließt den Umfang der zu erfassenden Informationen, deren Nomenklatur und Klassifikation, die Beschreibung von Abhängigkeiten und alle sonstigen Aspekte der SPSA-Bearbeitung ein. Insbesondere werden die verschiedenen Arbeitsschritte (Ausgangsmenge von BSK, vorläufige SAL, endgültigen SAL, Risikoklassifikation der BSK der endgültigen SAL) deutlich gemacht.

- Generische Informationen und Daten:  
Diese Daten umfassen z. B. generische Versagenswahrscheinlichkeiten und Regelmengen zur Entscheidung, ob für ausgewählte BSK anlagenspezifische Versagenswahrscheinlichkeiten abgeleitet werden müssen. Zum eigentlichen Prozess der Klassifikation von BSK aufgrund von seismisch relevanten Eigenschaften (Auswahlschritt 2) konnte im Vorhaben RS1180 nur auf die Literatur (vgl. Kapitel 2) verwiesen werden. Für die Bewertung der seismischen Widerstandsfähigkeit von BSK gibt es keine adäquaten Regelmengen (caveats), die zum Vergleich mit der Auslegung konkreter BSK in deutschen Kernkraftwerken herangezogen werden können. Die Datenbank <DB SPSA> ist zur Aufnahme von Klassen von BSK und den zugehörigen Eigenschaften der Regelmengen strukturell vorbereitet. Eine Belegung mit Inhalten kann allerdings erst erfolgen, wenn die Regelmengen definiert sind.

Die Datenbasis der SPSA ist in ihrer Struktur detailliert zu beschreiben.

#### **6.4.2 Einsatz der SPSA-Datenbasis bei Erstellung, Auswertung, Nutzung und Begutachtung einer SPSA**

Es ist eine umfassende Anwendungsbeschreibung der SPSA-Datenbank zu erstellen. Dabei werden insbesondere folgende Anwendungen beschrieben:

- Nomenklaturen, Regeln und Fallen bei der Erstellung einer Datenbank für eine SPSA; Datenkontrollabfragen, Konsistenz der Daten, Datenfehlersuche;
- Durchführung des Auswahlverfahrens zur Erstellung einer seismischen Ausrüstungsliste (SAL) unter Nutzung der BSK-Eigenschaften als Entscheidungskriterium;
- Organisation und Unterstützung von Begehungen im Rahmen von SPSA-Entscheidungsprozessen durch Datenbankfunktionen;
- Klassifikation von BSK der seismischen Ausrüstungsliste hinsichtlich ihrer sicherheitstechnischer Bedeutung mit Hilfe der in der SPSA-Datenbank abgelegten Informationen;
- Zuordnung von generischen seismischen Versagenswahrscheinlichkeiten zu BSK entsprechend den Ergebnissen des Auswahlverfahrens, automatische Datenübergabe an Codes zur Berechnung der seismischen Gefährdungshäufigkeit;

- Festlegung, Beschreibung und Quantifizierung von seismischen Abhängigkeiten in Bezug auf Ausfälle von BSK der seismischen Ausrüstungsliste;
- Pflege der Datenbank und die Möglichkeit, Änderungen im Betriebsgeschehen in der SPSA entsprechend umzusetzen;
- Nachvollziehbarkeit der SPSA durch Nutzung der Datenbank.

Alle Anwendungen werden durch Datenbank-Prozeduren unterstützt.

#### **6.4.3 Beispielhafter Aufbau einer SPSA-Datenbasis für ein Referenzkraftwerk**

Die strukturell erstellte Datenbank aus Kap. 6.4.1 und 6.4.2 wird für ein Referenzkraftwerk vollständig mit den erforderlichen anlagenspezifischen Daten gefüllt. Das Anlagenmodell zur Beschreibung und Quantifizierung des seismischen Risikos wird als RiskSpectrum<sup>®</sup>-Rechenprojekt aufbereitet, d. h. unter anderem auch, dass die Informationen aus der SPSA-Datenbank zur seismischen Ausrüstungsliste und zu den seismischen Abhängigkeiten sich im Anlagenmodell widerspiegeln müssen.

#### **6.4.4 Datenbank generischer Versagenswahrscheinlichkeiten**

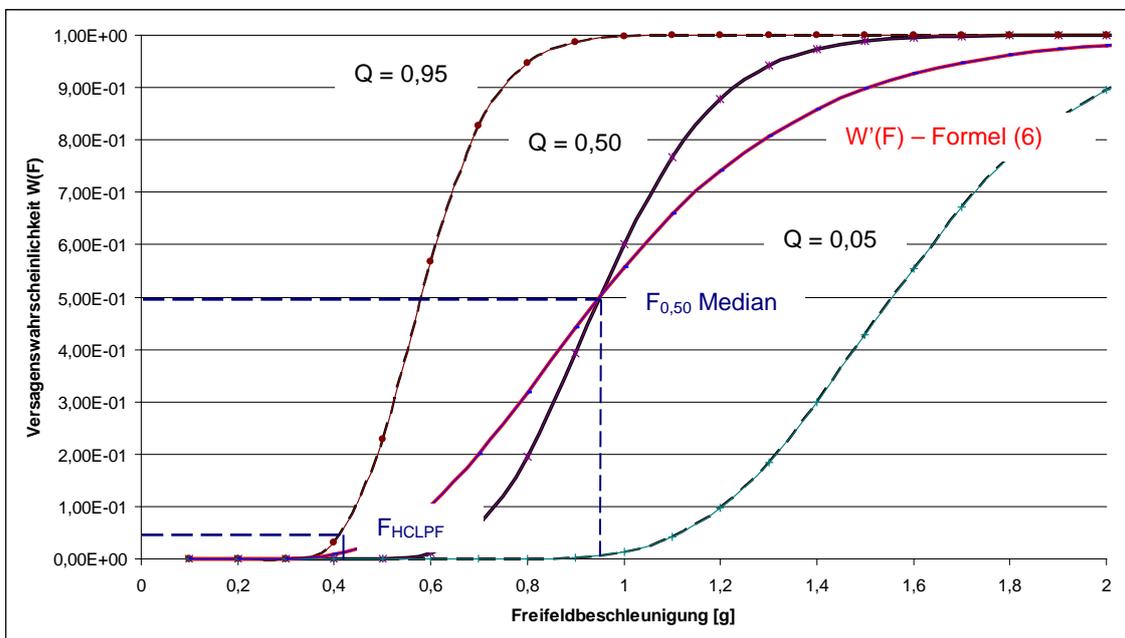
Eine BSK versagt in Abhängigkeit von der Stärke eines Erdbebens. Zur Quantifizierung werden seismische Versagenswahrscheinlichkeiten genutzt. Unter einer seismischen Versagenswahrscheinlichkeit einer BSK wird die Wahrscheinlichkeit des Ausfalls bzw. Funktionsverlustes einer BSK als Funktion der Stärke des Erdbebens verstanden. Die entsprechende Funktion wird seismische Versagenskurve der BSK genannt.

Es ist auf der Grundlage bekannter SPSA und sonstiger internationaler Studien eine Datenbank generischer Versagenswahrscheinlichkeiten aufgebaut. Diese Datenbank ist in die Datenbank <BD SPSA> zu integrieren.

## 7 Grundbegriffe, Bezeichnungen und Definitionen

### 7.1 Seismische Versagenswahrscheinlichkeiten

Eine BSK versagt in Abhängigkeit von der Stärke eines Erdbebens. Zur Quantifizierung werden seismische Versagenswahrscheinlichkeiten genutzt. Unter einer seismischen Versagenswahrscheinlichkeit einer BSK wird die Wahrscheinlichkeit  $W_{BSK}(F)$  des Ausfalls bzw. Funktionsverlustes einer BSK als Funktion der Stärke des Erdbebens (hier: Freifeldbeschleunigung  $F$ ) verstanden. Die entsprechende Funktion wird seismische Versagenskurve der BSK genannt (siehe Abb. 7-1).



**Abb. 7-1:** Versagenskurve einer BSK mit Unsicherheitsbändern

Die seismische Versagenskurve einer BSK ist mit großen Unsicherheiten behaftet. Diese Unsicherheiten können mit Hilfe subjektiver Wahrscheinlichkeitsverteilungen, die das Wissen des Experten widerspiegeln, beschrieben werden. Zu einer gegebenen Freifeldbeschleunigung kann dann entsprechend dieser subjektiven Wahrscheinlichkeitsverteilung gesagt werden mit welchem Vertrauensgrad die Versagenswahrscheinlichkeit kleiner als ein bestimmter Wert ist. In Abb. 7-1 sind die Unsicherheiten durch zwei Versagenskurven mit 5 %- und 95 %-Vertrauensgrad beschrieben.

Die Form der Versagenskurve lässt sich als statistische Verteilung beschreiben. Vereinfachend wird oft angenommen, dass die maximale Freifeldbeschleunigung lognormal verteilt ist ( $F \sim \text{LNV}(m,s)$ ). Weitere Vereinfachungen ermöglichen, dass die Versagenskurve einer BSK einschließlich des Unsicherheitsbandes durch nur drei Verteilungen beschrieben werden kann:

$$F = F_{0,50} \cdot \varepsilon_R \cdot \varepsilon_U \quad (\text{Formel 1})$$

- $F_{0,50}$  Median der lognormal verteilten maximalen Freifeldbeschleunigung  
(Das ist die Freifeldbeschleunigung, bei der die entsprechende BSK mit Wahrscheinlichkeit 0,50 ausfällt.)
- $\varepsilon_R \sim \text{LNV}(0, \beta_R)$   
 $\varepsilon_R$  beschreibt die Streuung von F um den Median  $F_{0,50}$ .  
Der Median von  $\varepsilon_R$  ist 1.  
 $\beta_R$  ist ein Maß für die Steigung der Kurven in Abb. 7-1.
- $\varepsilon_U \sim \text{LNV}(0, \beta_U)$   
 $\varepsilon_U$  beschreibt die aleatorische Unsicherheit bezüglich Median  $F_{0,50}$ .  
Der Median von  $\varepsilon_U$  ist 1.  
 $\beta_U$  ist ein Maß für den Abstand der Kurven in Abb. 7-1.

Das Produkt von lognormal verteilten Größen ist wieder lognormal, somit gilt

$$F = F_{0,50} \cdot \varepsilon_C \quad \text{mit} \quad \varepsilon_C \sim \text{LNV}(0, \sqrt{\beta_R^2 + \beta_U^2}) \quad (\text{Formel 2})$$

Die Versagenskurven  $W(F, Q)$  lassen sich mit Formel 3 berechnen.

$$W(F) = NV\left(\frac{\ln(F / F_{0,5}) + \beta_U \cdot NV^{-1}(Q)}{\beta_R}\right) \quad (\text{Formel 3})$$

Dabei steht  $NV(x)$  für die standardisierte Normalverteilung und  $NV^{-1}(x)$  für die inverse Verteilungsfunktion.

$F_{HCLPF}$  ist die Freifeldbeschleunigung, bei der es mit hohem Vertrauensgrad (95%) sehr unwahrscheinlich ist (0,05), dass die entsprechende BSK versagt. HCLPF steht für einen Vertrauensgrad von 0,95 für eine geringe Versagenswahrscheinlichkeit von 0,05 (high confidence low probability of failure, vgl. auch Abb. 7-1).

Aus (Formel 3) ergibt sich für  $F = F_{HCLPF}$

$$NV\left(\frac{\ln(F_{HCLPF} / F_{0,5}) + \beta_U \cdot NV^{-1}(0,95)}{\beta_R}\right) = 0,05 \text{ für } F_{HCLPF} \text{ folgender Ausdruck}$$

$$F_{HCLPF} = F_{0,5} \cdot \exp(-1,6449 \cdot (\beta_R + \beta_U)) \quad (\text{Formel 4})$$

Sind  $F_{HCLPF}$  und  $F_{0,5}$  gegeben, gilt für die Summe der Parameter zur Beschreibung der Unsicherheitsbänder entsprechend (Formel 4)

$$\beta_R + \beta_U = \ln(F_{HCLPF} / F_{0,5}) / NV(0,05) \quad (\text{Formel 5})$$

Folgende vereinfachte Versagenskurve  $W'(F)$  kann für die Ermittlung von Punktwerten Verwendung finden:

$$W'(F) = NV\left(\frac{\ln(F / F_{0,5})}{\sqrt{\beta_R^2 + \beta_U^2}}\right) \quad (\text{Formel 6})$$

In den meisten Veröffentlichungen zu SPSA sind, wenn überhaupt, zu den seismischen Kapazitäten der BSK  $F_{HCLPF}$  und  $F_{0,5}$  gegeben (siehe z. B. /KLA 08/). Man kennt dann zusätzlich die Summe der Parameter zur Beschreibung der Unsicherheitsbänder (vgl. Formel (5)), aber der tatsächliche Verlauf Versagenskurve  $W'(F)$ , vgl. Formel (6), zwischen den Fixpunkten hängt wesentlich von  $\beta_U$  und  $\beta_R$  ab.

Der Sicherheitsreservefaktor  $SR$  für eine BSK ist definiert als das Verhältnis des Medians der Freifeldbeschleunigung  $F_{0,50}$  zum Wert des Bemessungserdbebens  $F_{BEB}$ :

$$SR = \frac{F_{0,50}}{F_{BEB}} \quad (\text{Formel 7})$$

Die Sicherheitsreserve einer BSK bezüglich ihres Versagens bei Erdbebeneinwirkung ist bei gegebenen Bemessungserdbeben um so größer je größer  $SR$  ist. Anders formuliert, soll eine BSK in einer Region mit größerem Bemessungserdbeben eingesetzt werden, sind entsprechende Maßnahmen zu ergreifen, wenn die Sicherheitsreserve erhalten werden soll.

Der Sicherheitsreservefaktor einer BSK ist das Produkt aus vier zusammengesetzten Sicherheitsfaktoren:

$$SR = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot S_4 = \prod_{i=1}^4 S_i \quad (\text{Formel 8})$$

dabei ist

$S_1$  – Festigkeitsfaktor,

$S_2$  – Faktor der inelastischen Energieabsorption,

$S_3$  – Antwortfaktor der Gebäudestruktur,

$S_4$  – Antwortfaktor der Komponenten und Einrichtungen.

$S_4$  ist gleich 1, wenn es sich um die Berechnung des Sicherheitsreservefaktors eines Gebäudes oder einer Bauwerksstruktur handelt. Nachfolgend einige zusammengefasste Bemerkungen zu den einzelnen Faktoren und den zugehörigen Einflussgrößen, detaillierte Angaben z. B. in /HOF 96/.

### **$S_1$ – Festigkeitsfaktor**

Beim Festigkeitsfaktor  $S_1$  werden der in der Auslegungsrechnung errechnete Sicherheitsabstand und die Streuung der Festigkeitswerte berücksichtigt. Dabei gehen bei Gebäuden und Bauwerksstrukturen folgende Parameter ein:

- Zug-, Biege-, Scher-, Druck- oder Streckgrenzenfestigkeiten (z. B. Streckgrenzenfaktor des Bewehrungsstahls),
- äußere Spannungen (hervorgerufen durch Eigengewicht, Betriebsbelastung usw.),
- durch das Bemessungserdbeben hervorgerufene Spannung.

Beim Versagen von BSK (keine Gebäude und Bauwerksstrukturen) unterscheidet man folgende Versagensarten:

- Versagen im elastischen Bereich durch Funktionsausfall  
Das kann auftreten
  - bei elastischer Verformung von Bauteilen mit Funktionsverlust durch Anstreifen, Blockieren, Beulen von Behälterwänden, Knicken von Komponentenunterstützungen etc.,
  - bei Flattern und Abschalten elektrischer Komponenten (Kontaktprellen) und
  - bei Fressen gleitender Bauelemente.
- Sprödes Versagen  
Ein sprödes Versagen tritt ohne Reserven bez. der inelastischen Energieabsorption auf (z. B. Versagen von Verankerungen im Beton oder Schweißbefestigungen von Komponentenabstützungen).

- Duktiles Versagen  
Ein duktiles Versagen tritt bei Bruchdehnungen oberhalb der Streckgrenze auf (z. B. Versagen von Rohrleitungen oder von Kabeltragkonstruktionen).

### **S<sub>2</sub> – Faktor der inelastischen Energieabsorption**

Die der Gebäudeauslegung zugrunde gelegten Freifeldspektren und ebenso die zur Auslegung der Anlagenteile verwendeten Etagenantwortspektren gelten für lineare Strukturen mit geringer Dämpfung. Voraussetzung für die Beibehaltung der linearen Modelleigenschaften sind mäßige Beanspruchungen der Bauteile. Dann ist ein wesentlicher Anteil der Dämpfung auf die unvollkommene Elastizität des Materials zurückzuführen.

Erst bei Beanspruchungen oberhalb der elastischen Grenzen wirkt sich inelastische innere Arbeit auf die Amplituden der Schwingungen aus. Sie kann ein Vielfaches der elastischen Arbeit erreichen.

Diese inelastische Energieabsorption ermöglicht die Berücksichtigung eines weiteren Beitrags zur Sicherheitsreserve.

### **S<sub>3</sub> – Antwortfaktor der Gebäudestruktur**

Beim Faktor  $S_3$  werden mehrere Einzelfaktoren berücksichtigt:

- Unterschiede zwischen dem Auslegungsantwortspektrum und dem realistischen standortbezogenen Freifeld-Antwortspektrum (Spectral-Shape-Faktor),
- Unterschiede zwischen der realistischen und der konservativen Gebäudedämpfung bei der dynamischen Berechnung (Dämpfungsfaktor),
- Berücksichtigung von Zusatzlasten (Lastkombinationsfaktor umfasst äußere Lasten des Gebrauchszustandes wie Eigenlast, ständige Last, Verkehrslast, Betriebslasten, Erddruck, Wasserdruck, Erdbebenlasten aus dem Bemessungserdbeben und Lasten aus dem Versagen von BSK aus dem Bemessungserdbeben),
- Weitere Faktoren zur Beschreibung systematischer Sicherheitsauflagen bezüglich schwingender Gebilde, bei der Gebäude-Boden-Wechselwirkung und der Superposition der Schnittgrößen.

## **S<sub>4</sub> – Antwortfaktor der Komponenten und Einrichtungen**

In Abhängigkeit von der gewählten Methode zur Analyse der Erdbebenantwort in den Auslegungsanalysen (dynamisch, statisch, durch Testabsicherung) gibt es unterschiedliche Sicherheitsfaktoren, vgl. dazu z. B. die Ausführungen in /HOF 96/.

### **7.2 Antwortspektren**

Für eine gegebene Einwirkung stellen Antwortspektren die maximale Antwort eines Einmassenschwingers in Funktion seiner Eigenfrequenz  $f$  (oder seiner Periode  $T$ ,  $T = 1/f$ ) dar. Die Eigenfrequenz eines schwingfähigen Systems ist die Frequenz, mit der das System nach einmaliger Anregung schwingen kann.

In den Berechnungen zur Bemessung von Bauten wird im Erdbebeningenieurwesen für eine äußere Einwirkung (stattgefundenes Erdbeben) ein Antwortspektrum für alle möglichen Einmassenschwinger gleicher Dämpfung  $D$  genutzt. Diese Antwortspektren werden berechnet, indem die Bewegungsdifferentialgleichung für Einmassenschwinger mit unterschiedlicher Eigenfrequenz  $f_i$ , aber gleicher Dämpfung  $D$  gelöst wird. Die berechneten maximalen Antworten werden in Abhängigkeit von der Eigenfrequenz in einem Diagramm dargestellt. Man unterscheidet folgende Antwortspektren: Antwortspektren der Relativverschiebung, der Relativgeschwindigkeit und der Absolutbeschleunigung. Die Relativverschiebung beschreibt die tatsächliche Verschiebung zwischen Boden und Masse des Einmassenschwingers. Bei sehr steifen Einmassenschwingern tendiert die Relativverschiebung gegen Null und die maximale Beschleunigung entspricht der Bodenbeschleunigung. Bei sehr weichen Einmassenschwingern verschiebt sich die Masse nicht, die Relativverschiebung entspricht der Bodenverschiebung, die absolute Beschleunigung ist Null.

Zur Ableitung von Bemessungsspektren für Kernkraftwerks-Standorte (siehe z. B. das Bemessungsspektrum für den Standort GKN-2 in Abb. 5-1) wird folgendermaßen vorgegangen:

- Auswahl einer für den Standort repräsentativen, statistisch ausreichenden Anzahl von Erdbebenanregungen (Freifeldregistrierungen),
- Ermittlung der entsprechenden Antwortspektren für eine Dämpfung  $D = 0,05$ ,
- Normierung der Spektren und Ermittlung des Medianspektrums,

- Glättung des Medianspektrums (häufig als Polygonzug).

Zusammengefasst: Ein elastisches Bemessungsspektrum wird als geglättete statistische Auswertung der elastischen Antwortspektren mehrerer registrierter Erdbeben von etwa gleicher Intensität in Gegenden ähnlicher Tektonik und ähnlicher Bodenart konstruiert.

### 7.3 Bezeichnungen, Definitionen, Abkürzungen

Tab. 7-1: Bezeichnungen, Definitionen, Erläuterungen

Begriff, Bezeichnung, Abkürzung	Erläuterung
Antwortspektrum	siehe Kap. 7.2
Bemessungserdbeben	<i>deterministisch</i> (entspr. /KTA 90/): Als Bemessungserdbeben ist das Erdbeben mit der für den Standort größten Intensität anzunehmen, das unter Berücksichtigung einer größeren Umgebung des Standortes (bis etwa 200 km vom Standort) nach wissenschaftlichen Erkenntnissen auftreten kann. <i>probabilistisch</i> (aus /WOE 06/): Das Bemessungserdbeben (Median) tritt mit einer Eintrittshäufigkeit von 2,0 E-05/a auf.
Bemessungsspektrum	(→) Antwortspektrum, das der Erdbebenauslegung für das (→) Bemessungserdbeben zugrunde gelegt wird. → RRS
BSK	<u>b</u> auliche Anlagen, <u>S</u> ysteme, <u>K</u> omponenten In einer SPSA muss nicht nur der Ausfall von aktiven Betriebs- und Sicherheitskomponenten betrachtet, sondern auch die Möglichkeit der Zerstörung von passiven Einrichtungen und deren Auswirkungen bewertet werden. Deshalb wird bei SPSA von BSK als umfassende Betrachtungseinheit gesprochen. BSK entspricht in der englischsprachigen Fachliteratur SCC (structures, systems, components).
BSK, relevante	Als relevante BSK innerhalb einer SPSA werden die (→) BSK bezeichnet, die bei Ausfall oder Funktionsverlust einen Beitrag zur Häufigkeit von Gefährdungs- oder Kernschadenszuständen leisten. Eine relevante BSK ist Element der (→) SAL (Ergebnis Auswahlstufe1, vgl. Abb. 3-1)

Begriff, Bezeichnung, Abkürzung	Erläuterung
caveats	Regelmenge; Menge von Vorbehalten, die bei der Einschätzung der seismischen Robustheit von Ausrüstungsklassen zu beachten sind.
fragility	(→) Versagenswahrscheinlichkeit, seismische einer BSK
generisches Spektrum einer BSK	siehe → GERS
GERS	Generisches Spektrum einer BSK (aus dem Englischen: Generic Equipment Ruggedness Spectrum, siehe z. B. /BEN 91/, Seite 2-1) Das generische Spektrum charakterisiert eine BSK, indem für die entsprechende BSK-Klasse auf der Basis von Tests gezeigt werden konnte, dass sie bei gegebener Freifeldbeschleunigung ihre Funktion hinreichend robust erfüllt.
HCLPF	Der HCLPF-Wert einer (→) BSK gibt die Freifeldbeschleunigung an, bei der es mit hohem Vertrauensgrad (0,95) sehr unwahrscheinlich ( $\leq 0,05$ ) ist, dass die BSK versagt. Umso größer der HCLPF-Wert, desto robuster die Komponente gegenüber Erdbeben.
Integrität	Integrität bezeichnet das Vermögen druckbelasteter BSK, den spezifizierten Belastungen bezüglich Eintrittshäufigkeit und Belastungszeit in sicherheitstechnisch zulässiger Weise standzuhalten. Die Forderung nach Integrität schließt (→) Standsicherheit ein.
IPEEE	Individual plant examination of external events, siehe z. B. /CHE 91/
KKS	Kraftwerkzeichensystem
Kontaktprellen	Schwingung der Kontakte nach einem Schaltvorgang (oder bei seismischer Einwirkung), dabei ergeben sich instabile Schaltzustände.
PGA	peak ground acceleration
relay chattering	→ Kontaktprellen
RLE	review level earthquake
RRS	Required Response Spectrum (aus: /BEN 91/) → Bemessungsspektrum

Begriff, Bezeichnung, Abkürzung	Erläuterung
SAL	<u>seismische Ausrüstungs</u> liste Ausgangspunkt für das Auswahlverfahren ist eine umfassende Liste von BSK, deren Fehlfunktion bei seismischer Einwirkung einen Beitrag zur Häufigkeit der Gefährdungszustände liefern kann.
SEL	Seismic Equipment List (siehe → SAL)
SMA	Seismic Margin Assessment (Methode zur Einschätzung seismischer Sicherheitsreserven)
SPSA	seismische PSA
SQUG	Seismic Qualification Utility Group (siehe Kap. 2.1, /ANC 91/)
SRR	<u>seismisch relevanter R</u> aum Ein Raum heißt seismisch relevant, wenn er mindestens eine BSK aus der seismischen Ausrüstungsliste enthält (→ SAL). Alle SRR (siehe → {SRR}) sind im Rahmen des Auswahlverfahrens für SPSA zu begehen.
{SRR}	Menge der seismisch relevanten Räume (siehe → SRR)
SRR-Brand	seismisch relevanter Brandraum, der im Hinblick auf seismisch bedingte Brandauslösung näher zu betrachten ist; $SRR\_Brand \in \{SRR\_Brand\} \subset \{SRR\}$
{SRR-Brand}	Menge der seismisch relevanten Brandräume (siehe → SRR-Brand)
Standicherheit	Unter Standicherheit wird die Sicherheit gegen unzulässige Veränderung der Lage und des Aufstellungsortes einer BSK verstanden (z. B. Umstürzen, Abstürzen, unzulässiges Verrutschen, Abreißen von Teilen). Standicherheit schließt die erforderliche Festigkeit und Stabilität von Stützkonstruktionen ein.
TRS	Test Response Spectrum (aus: /BEN 91/)
Versagenswahrscheinlichkeit, seismische	Die seismische Versagenswahrscheinlichkeit einer (→) BSK ist definiert als die bedingte Wahrscheinlichkeit des Versagens der Komponente bei gegebener seismischem Parameter (z. B. maximale Freifeldbeschleunigung).

## 7.4 Nomenklatur zur Beschreibung einer BSK und der Raumstruktur

Ausgangspunkt der Betrachtungen zur Durchführung einer SPSA sind sämtliche bauliche Anlagen, Systeme und Komponenten (BSK) eines Kernkraftwerks mit Angaben zum Standort. Diese BSK-Ausgangsmenge ist das Kernstück der Datenbank. Jede BSK nebst Aufstellungsort ist durch das Kraftwerkskennzeichensystem (KKS) eindeutig identifizierbar.

Das KKS unterscheidet drei Kennzeichnungen mit folgenden Gliederungsstufen (A steht für einen Buchstaben, N für eine Ziffer):

- **Verfahrenstechnische Kennzeichnung** (Kennzeichnung von Anlagenteilen und Geräten, verfahrenstechnisch orientiert nach ihren Aufgaben in der Maschinen- und Bautechnik sowie Elektro- und Leittechnik)
  - Gesamtanlage (einstellig)
  - Systemkennzeichen (6-stellig, NAAANN)
  - Aggregatkennzeichen (6-stellig, AANNNA)
  - Betriebsmittelkennzeichen (4-stellig, AANN)
- **Kennzeichnung des Einbauortes** (Kennzeichnung von Einbauorten für elektro- und leittechnische Geräte in Einbaueinheiten (z. B. Schränke, Tafeln, Pulte)
  - Gesamtanlage (einstellig)
  - Einbaueinheit-Kennzeichen (6-stellig, NAAANN)
  - Einbauplatz-Kennzeichen (6-stellig, AANNNA)
- **Kennzeichnung des Aufstellungsortes** (Kennzeichnung von Aufstellungsorten in Bauwerken, Fluren und Räumen sowie von Brandabschnitten und topografischen Festlegungen (Flächenraster)
  - Gesamtanlage (einstellig)
  - Bauwerk-Kennzeichen (6-stellig, NAAANN)
  - Raum-Kennzeichen (6-stellig, AANNNA)

Im Vorhaben wird für BSK und deren örtlicher Zuordnung mit der Nomenklatur in Abb. 7-2 gearbeitet. Damit wird gesichert, dass die Datenbankstruktur auf andere SPSA-Vorhaben übertragbar ist.

<i>Anlage</i>	<i>System</i>	<i>Aggregat</i>	<i>Betriebsmittel</i>
N	N A A A N N	A A N N N A	A A N N

<i>Einbaueinheit</i>	<i>Einbauplatz</i>
N A A A N N	A A N N N A

<i>Bauwerk</i>	<i>Raum</i>
N A A A N N	A A N N N A

**Abb. 7-2:** BSK-Nomenklatur

Entsprechend der angewendeten Nomenklatur in GKN-2 wird (vorläufig) von der Belegung der Felder gemäß Beispiel in Abb. 7-3 ausgegangen, dabei bedeutet '-', dass das Feld im Projekt nicht belegt werden wird. Weiterhin ist davon auszugehen, dass bei Nutzung der Kennzeichnung 'Einbauort' die verfahrenstechnische Kennzeichnung unausgefüllt bleibt und umgekehrt. Für das Feld *Anlage* wird durchgängig 2 (für Block 2) gesetzt, es sei denn, es gibt Bauwerke des ersten Blocks, die Block 2 aufgrund ihres seismischen Ausfalls schaden können.

<i>Anlage</i>	<i>System</i>	<i>Aggregat</i>	<i>Betriebsmittel</i>
2	- F A K 1 0	A P 0 0 1 -	- - - -

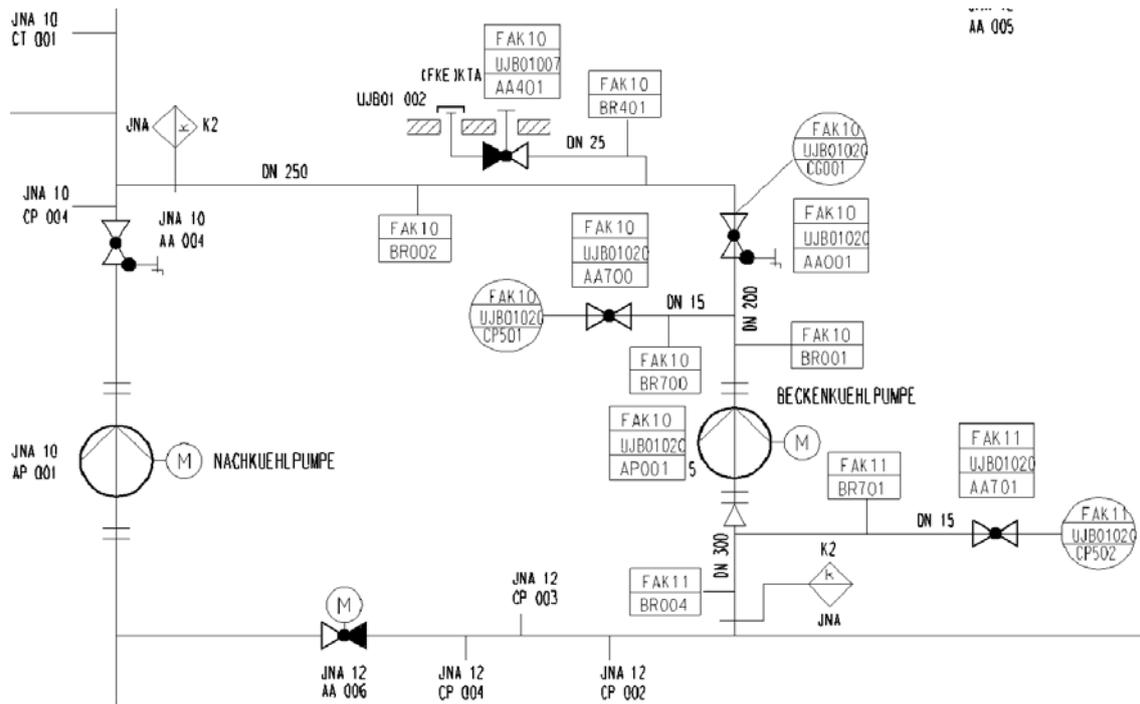
  

<i>Einbaueinheit</i>	<i>Einbauplatz</i>
- - - - -	- - - - -

<i>Bauwerk</i>	<i>Raum</i>
- U J B - -	0 1 0 2 0 -

**Abb. 7-3:** Nomenklaturbeispiel Beckenkühlpumpe 1 mit Raumzuordnung



**Abb-7-4:** Auszug aus dem Schaltplan Beckenkühlsystem

## 8 Referenzen

### 8.1 Nationale und internationale Fachliteratur

Für die markierten\* Literaturstellen wurde eine kurze Inhaltsangabe speziell zum Auswahlverfahren und zur Durchführung von Begehungen erstellt (siehe Kap.2.1).

/ANC 91/\* ANCO Engineers

Generic Seismic Ruggedness of Power Plant Equipment (Revision 1), EPRI NP-5223-M, Final Report; August 1991

/ANS 03/ American Nuclear Society (ANS)

External Events PRA Methodology – An American National Standard, ANSI/ANS-58.21-2003; 2003

/BAB 05/ Babst, S., et al.

Brand-PSA für das Kernkraftwerk Philippsburg, Block 1 (KKP-1) im Leistungsbetrieb, Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-A-3278, Köln; Juni 2005

/BEN 91/\* Benjamin, J. R., et al.

A Methodology for Assessment of Nuclear Power Plant Seismic Margin (Revision 1), EPRI NP-6041-M, Final Report; August 1991

/BLO 09/\* Bloem, T., R. Obenland

Experience from a Seismic Probabilistic Safety Assessment of a German PWR, in: Conference Proceedings of 20<sup>th</sup> International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT 20), Espoo, Finland; August 2009

/BMU 05/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)  
Sicherheitsüberprüfung für Kernkraftwerke gemäß §19a des Atomgesetzes - Leitfaden Probabilistische Sicherheitsanalyse, 31. Januar 2005, Bekanntmachung vom 30. August 2005, Bundesanzeiger, Jahrgang 57, Nummer 207a, ISSN 0720-6100, 3. November 2005

- /BUD 91/\* Budnitz, R. J.  
Current state of methodologies for seismic probabilistic safety analyses  
Reliability Engineering and System Safety 62 (1998), pp. 71-88; 1998
- /CHE 91/\* Chen, J. T., et al.  
Procedural and Submittal Guidance for the Individual Plant Examination of  
External Events (IPEEE) for Severe Accident Vulnerabilities, Final Report,  
NUREG-1407, 1991
- /CHE 96/\* Cheng, S.-K., S.-C. Chiang  
Seismic Living PRA for a Westinghouse PWR; 1996
- /CHO 09/\* Choi, I.-K.; M. Kim, J.-H. Park  
Component Degradation Effect on Seismic Risk of NP, in: Conference  
Proceedings of 20<sup>th</sup> International Conference on Structural Mechanics in  
Reactor Technology (SMiRT 20), Espoo, Finland; August 2009
- /COO 96/\* Cooper Nuclear Power Plant (CNPP)  
Cooper NPP – IPEEE-Report (1996), Chapter: Seismic Event Evaluation  
Summary; 1996/DOE 97/\*U.S. Department of Energy (DOE)  
Seismic Evaluation Procedure for Equipment in U.S. Department of Energy  
Facilities, DOE/EH-0545; March 1997  
<http://hss.energy.gov/seismic/seismic.pdf>
- /DOE 02/\* U.S. Department of Energy (DOE)  
Natural Phenomena Hazards Performance Categorization Guidelines for  
Structures, Systems, and Components, DOE-STD-1021-93; 2002
- /EPR 05/ Electric Power Research Institute (EPRI) and U.S. Nuclear Regulatory  
Commission (NRC) Research, EPRI/NRC-RES  
Fire PRA Methodology for Nuclear Power Facilities, EPRI 101989,  
NUREG-CR-6850, insbesondere: Kapitel 13: Seismic-fire interactions as-  
sessment; September 2005
- /EPR 91/ Electric Power Research institute (EPRI)  
Nuclear Power Plant Seismic Margin, Revision 1, EPRI NP-6041-SL;  
August 1991

- /FAK 05/\* Facharbeitskreis (FAK) Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke  
Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke,  
Stand: August 2005, BfS-SCHR-37/05, Wirtschaftsverlag NW / Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Salzgitter; Oktober 2005
- /GRS 07/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH  
Weiterentwicklung und Erprobung von Methoden und Werkzeugen für probabilistische Sicherheitsanalysen, Angebot Nr. 2744 zum Vorhaben RS1180, Köln; März 2007
- /GRS 07a/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH  
Bereitstellung und Erprobung von Methoden für eine seismische probabilistische Sicherheitsanalyse (SPSA), Angebot Nr. 2799 zum Vorhaben SR 2614, Köln; Dezember 2007
- /GRS 09/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH  
Datenbasis zur Durchführung von SPSA, Vorhabensvorschlag zur Fortsetzung und Zusammenführung der Projekte zur SPSA /GRS 07/ und /GRS 07a/, GRS-interner Projektvorschlag, Köln, April 2009
- /HAR 01/\* Hardy, G. S., et al.  
Seismic IPEEE Results and their Use in Risk-Informed Applications, in: Proceedings of SMiRT 16; August 2001
- /HOF 96/ Hoffmann, H. H.  
Vorgehensvorschlag zur Durchführung einer probabilistischen Sicherheitsanalyse für das externe störfallauslösende Ereignis Erdbeben, BMU-Schriftenreihe; März 1996
- /IAE 93/\* International Atomic Energy Agency (IAEA)  
Probabilistic Safety Assessment for Seismic Events, IAEA-TECDOC-724, Vienna, Austria; October 1993  
[http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te\\_724\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_724_web.pdf)

- /IAE 06/\* International Atomic Energy Agency (IAEA)  
Advanced nuclear plant design options to cope with external events,  
IAEA-TECDOC-1487, Vienna, Austria; February 2006  
[http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te\\_1487\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1487_web.pdf)  
mit: Ravindra, M.K. (Annex I)  
Seismic probabilistic safety assessment of NPP
- /JON 99/ Jonczyk, J.  
Reassessment of seismic loads in conjunction with periodic safety reviews  
Nuclear Engineering and Design 192 (1999), pp. 155-165; 1999
- /JON 03/\* Jonczyk, J.  
Methoden zur Erfassung und Eingrenzung von Anlagenteilen bei  
erdbebenspezifischen Ausfalleffekten und zur Quantifizierung des Ausfalls  
von Sicherheitsfunktionen bei seismischen Abhängigkeiten, Gesellschaft  
für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-A-3181, Köln,  
Dezember 2003
- /JON 05/ Jonczyk, J., G. Thuma  
Naturbedingte übergreifende Einwirkungen, Teilaspekt: Erdbeben,  
Bestandsaufnahme des Standes von Wissenschaft und Technik,  
Technische Notiz, Vorhaben SR 2668, Gesellschaft für Anlagen und  
Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln; November 2005
- /KAT 08/ Kato, M.  
A seismic-induced fire at the Kashiwazaki-Kariwa NPP, GRS-JNES  
Meeting, Köln; February 2008
- /KEN 84/\* Kennedy, R. P., M. K. Ravindra  
Seismic Fragilities for Nuclear Power Plant Risk Studies, Nuclear  
Engineering and Design 19 (1984), pp. 47-68; 1984

- /KEN 92/ Kennedy, R. P., et al.  
Part I: Use of Seismic Experience and Test Data to Show Ruggedness of Equipment in NPP, Part II: Review Procedure to Assess Seismic Ruggedness of Cantilever Bracket Cable Tree Supports; Sandia Report, SAND92-0140 UC-523; June 1992  
<http://www.fas.org/sqp/othergov/doe/lanl/lib-www/sand/920140.pdf>
- /KLA 06/ Klapp, U., et al.  
Begehung für die seismische PSA GKN I, in: Probabilistische Sicherheitsanalysen in der Kerntechnik, Aktuelle Entwicklungen, Erfahrungen, Perspektiven, TÜV-PSA-Symposium, München; 23.-24. November 2006
- /KLA 08/\* Klapp, U., A. Strohm, M. K. Ravindra  
Seismische PSA für GKN I, in: Probabilistische Sicherheitsanalysen in der Kerntechnik, Erfahrungen, Erkenntnisse, Entwicklungen; TÜV-PSA-Symposium, Mannheim, 17.-18. April 2008
- /KLU 06/\* Klügel, J.-U.  
Fünfzehn Jahre Erdbeben-PSA im Kernkraftwerk Gösgen – ein hinterfragender Rückblick, in: Probabilistische Sicherheitsanalysen in der Kerntechnik, TÜV-PSA-Symposium, München; 23.-24. November 2006
- /KOZ 04/\* Kozloduy Nuclear Power Plant  
Erdbeben-PSA Kozloduy, Block 5 und 6; 2004  
(internes Arbeitsmaterial)

- /KTA 90/ Kerntechnischer Ausschuss (KTA):  
 Sicherheitstechnische Regel des KTA  
 Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen  
 KTA 2201.1 - Teil 1: Grundsätze, Fassung Juni 1990  
 KTA 2201.2 - Teil 2: Baugrund, Fassung Juni 1990  
 KTA 2201.3 - Teil 3: Auslegung der baulichen Anlagen (ENTWURF) , Fas-  
 sung Juni 1990  
 KTA 2201.4 - Teil 4: Anforderung an Verfahren zum Nachweis der  
 Erdbebensicherheit für Maschinen- und  
 elektrotechnische Anlagenteile, Fassung Juni 1990  
 KTA 2201.5 - Teil 5: Seismische Instrumentierung, Fassung Juni 1996  
 KTA 2201.6 - Teil 6: Maßnahmen nach Erdbeben, Fassung Juni 1992
- /MAT 08/ Matsuoka, T., K. Ogura  
 Development of Risk Assessment Method for Fires Caused by Earthquake,  
 in: Conference Proceedings of PSAM9 Conference, Hong Kong, China;  
 May 2008
- /MCC 85/ McCann, M., et al  
 Probabilistic Safety Analysis Procedures Guide,  
 NUREG/CR-2815, Vol. 2, 1985
- /MIT 06/ Mitomo, N., et al  
 Development of risk assessment method for fire caused by earthquake  
 in: Conference Proceedings of PSAM8 Conference New Orleans, LA, USA;  
 May 2006
- /NEA 98/\* OECD Nuclear Energy Agency (NEA) Committee on the Safety of Nuclear  
 Installations (CSNI)  
 State-of-the-Art report on the current status of methodologies for seismic  
 PSA, NEA/CSNI/R(97)22; March 1998  
<http://www.nea.fr/html/nsd/docs/1997/csni-r1997-22.pdf>
- /NEA 09/ OECD / Nuclear Energy Agency (NEA) Committee on the Safety of Nuclear  
 Installations (CSNI): FIRE Project Report: "Collection and Analysis of Fire  
 Events (2002-2008) – First Applications and Expected Further Develop-  
 ments", NEA/CSNI/R(2009)6, Paris, September 2009

- /OBE 06/\* Obenland, R. et al.  
Erfahrungsbericht zur Erstellung einer Erdbeben-PSA nach Vorgaben des neuen Methodenbandes, in : Probabilistische Sicherheitsanalysen in der Kerntechnik, TÜV-PSA-Symposium, München; 23.-24. November 2006
- /OBE 08/ Obenland, R., et al.  
Using Safety Margins for a German Seismic PRA, Science and Technology of Nuclear Installations, 2008
- /PER 96/\* Perry Nuclear Power Plant (PNPP)  
Individual Plant Examination of External Events for Severe Accident Vulnerabilities, Ch. 3: Seismic Analysis; June 1996
- /RIC 08/\* Richner, M., et al.  
Insights gained from the Beznau seismic PSA including level 2 considerations, in: Proceedings of PSA 2008, Knoxville, TN (USA), ANS, September 2008
- /VAR 96/\* Varpasuo, P., J. Puttonen, M. K. Ravindra  
Seismic probabilistic safety analysis of unit 1 of the Loviisa nuclear power plant, Nuclear Engineering and Design 160 (1996); 1996
- /WOE 06/ Wölfel Beratende Ingenieure  
Erdbeben und andere EVA-Lasten, Seminarunterlagen, Würzburg; 2006

## **8.2 Dokumente zur Referenzanlage**

Auf einer CD (siehe Kap. 8.3) sind die Unterlagen aufgeführt, die vom Referenzkraftwerk zur Erarbeitung einer beispielhaften Datenbank zum Auswahlverfahren zur Verfügung gestellt wurden.

## **8.3 Dateien und Unterlagen auf CD**

Die CD enthält vertrauliche Daten seitens des Kraftwerks (GKN). Eine Weitergabe ist nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Betreibers möglich.

Auf der CD ist der Entwurf der Datenbank <DB SPSA GKN2>. Diese Datenbank enthält die im Bericht beschriebenen Daten zum Referenzkraftwerk einschließlich der Fotodokumentation:

- Datenbank <DB SPSA GKN2>
- Originalliste der Basisereignisse der PSA der Stufe 1 /GKN 07/ sowie die Tabelle <PSA Komp.xlsx> mit Auswertungen
- Dokumente der Referenzanlage (Word-Dokument)



## 9 Verteiler

		Exemplare: gedruckte Form	Exemplare: pdf
<b>BMWi</b>			
Referat III B 4		1 x	
<b>GRS-PT/B</b>			
Internationale Verteilung	(FIZ)	40 x	
Projektbegleiter	(stu)	3 x	1 x
<b>GRS</b>			
Geschäftsführung	(stj, wfp)		je 1 x
Bereichsleiter	(erv, prg, paa, rot, stc, ver, zir)		je 1 x
Abteilungsleiter	(som, gls, vek, poi)		je 1 x
Projektleitung	(row)	1 x	1x
Projektbetreuung	(wal, bna)		1 x
Informationsverarbeitung	(nit)		1 x
Autor	(tue, bab, thv, thu)	je 1 x	1 x
Bibliothek	(Köln)	1 x	
<b>Gesamtauflage</b>		<b>Exemplare</b>	<b>50</b>



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

Schwertnergasse 1  
**50667 Köln**  
Telefon +49 221 2068-0  
Telefax +49 221 2068-888

Forschungszentrum  
**85748 Garching b. München**  
Telefon +49 89 32004-0  
Telefax +49 89 32004-300

Kurfürstendamm 200  
**10719 Berlin**  
Telefon +49 30 88589-0  
Telefax +49 30 88589-111

Theodor-Heuss-Straße 4  
**38122 Braunschweig**  
Telefon +49 531 8012-0  
Telefax +49 531 8012-200

**[www.grs.de](http://www.grs.de)**