

	DIN IEC 63298 (VDE 0491-8-5)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE

ICS 27.120.20

Einsprüche bis 2022-01-19

Entwurf

**Kernkraftwerke –
Elektrische Energieversorgungssysteme –
Koordination und Interaktion mit dem Verbundnetz
(IEC 45A/1394/CD:2021);
Text Deutsch und Englisch**

Nuclear Power Plants –
Electrical power systems –
Coordination and interaction with electric grid
(IEC 45A/1394/CD:2021);
Text in German and English

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-11-19 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 47 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist

	Inhalt	Seite
Einleitung		5
1 Anwendungsbereich		7
1.1 Allgemeines		7
1.2 Anwendung dieser Norm		7
2 Normative Verweisungen		7
3 Begriffe		8
4 Abkürzungen		10
5 Vertragliche Abstimmung		10
6 Technische Koordination		11
6.1 Allgemeines		11
6.2 Konzeptioneller Entwurf der Schnittstelle mit dem Verbundnetz		11
6.3 Austausch technischer Informationen zwischen Kernkraftwerks- und Verbundnetzbetreiber		11
6.4 Anschlussplan		12
6.5 Analysen der Schnittstellen zwischen Kernkraftwerk und Verbundnetz		12
6.5.1 Allgemeines		12
6.5.2 Lastflussanalysen		13
6.5.3 Transiente Stabilitätsanalysen		13
6.5.4 Stationäre Stabilitätsanalysen		13
6.5.5 Inselbetriebsanalysen des Kernkraftwerks		14
6.5.6 Analysen des Eigenbedarfsbetriebs des Kernkraftwerks (falls zutreffend)		14
6.5.7 Analysen des flexiblen Betriebs des Kernkraftwerks		14
6.5.8 Analysen elektrischer Transienten/Fehler im Kernkraftwerk		15
6.5.9 Analysen der Zuverlässigkeit des Verbundnetzes		15
6.5.10 Studien zu Schutzeinstellungen		15
7 Betriebsanweisungen für die Verbindung Verbundnetz-Kernkraftwerk		15
8 Inbetriebsetzung/Prüfung		16
8.1 Allgemeines		16
8.2 Prüfungen, die während der Inbetriebnahme bzw. dem Probebetrieb und dem Betrieb durchgeführt werden		16
8.3 Anforderungen an die zu erreichenden Ziele		17
8.4 Ergebnisdokumentation		17
9 Koordination während des Betriebs des Kernkraftwerks		17
9.1 Allgemeines		17
9.2 Kurz- und Langzeitplanung		18
9.3 Wartung		18
9.4 Analysen		18

9.5	Prüfungen	18
Anhang A (informativ) Beschreibung der Besonderheiten von Kernkraftwerk und Verbundnetz		20
A.1	Allgemeines	20
A.2	Kernkraftwerk	20
A.3	Verbundnetz	20
Anhang B (informativ) Beispiel eines Anschlussplans eines Kernkraftwerks ans Verbundnetz		22
B.1	Allgemeines	22
Literaturhinweise		24

Bilder

Bild B.1 – Anschlussplan mit 2 Leitungen zu einem einzelnen Umspannwerk		22
Bild B.2 – Anschlussplan unter Berücksichtigung mehrerer Umspannwerke und Anschlussleitungen		23

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 45A/1394/CD:2021-07 „Nuclear Power Plants – Electrical power systems – Coordination and interaction with electric grid“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom IEC/SC 45A „Instrumentation, control and electrical power systems of nuclear facilities“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und unterliegt dem Copyright der IEC . Das Dokument wurde den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS nur 6 Wochen beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium DKE/UK 967.1 „Elektro- und Leittechnik für kerntechnische Anlagen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DKE (www.dke.de) und DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. IEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Kernkraftwerke – Elektrische Energieversorgungssysteme – Koordination und Interaktion mit dem Verbundnetz

Einleitung

a) Technischer Hintergrund, Kernpunkte und Organisation der Norm

Kernkraftwerke benötigen einen elektrischen Netzanschluss für einen doppelten Zweck, der Einspeisung der erzeugten elektrischen Energie und als eine zuverlässige Energiequelle für das Anfahren, den Betrieb, das Abfahren und für Notfallsituationen.

Das Verbundnetz sollte dem Kernkraftwerk eine stabile Energiequelle während Anfahr-, Betriebs- und Abschaltbedingungen bereitstellen.

Wegen der unterschiedlichen elektrischen Größenordnungen des Kernkraftwerks und des Verbundnetzes kann es eine Herausforderung sein, das Kernkraftwerk sicher in das Verbundnetz einzubinden.

Die Koordination zwischen dem Verbundnetz und dem Kernkraftwerk wird zunehmend wichtiger, weil mehr Länder einen liberalisierten Energiemarkt einführen und Verantwortlichkeiten von zahlreichen Interessengruppen (z. B. Erzeugungs-, Übertragungs-, Verteilungs- und Handelsorganisationen) wahrgenommen werden.

Der Zweck dieser Norm besteht darin, die allgemeinen Anforderungen und Empfehlungen an die Koordination von Kernkraftwerken und Verbundnetz festzulegen, um das zweckdienliche Zusammenwirken beider Seiten sicherzustellen.

Die Besonderheiten des Kernkraftwerks und des Verbundnetzes, die im Anwendungsbereich dieser Norm liegen, werden im [Anhang A](#) beschrieben.

Die Anforderung nach einer Koordination zwischen dem Verbundnetzbetreiber und den Kernkraftwerksbetreibern ist in WANO SOER 1999-1 enthalten, das sich auf umfangreiche Betriebserfahrung bezüglich eines Verlusts der Verbindung von Kernkraftwerken mit dem Verbundnetz konzentriert.

Diese Norm konzentriert sich auf technische Anforderungen wie z. B. Datenaustausch zwischen den Kernkraftwerksbetreibern und dem Verbundnetzbetreibern, die von beiden Seiten durchgeführten Analysen und die Abnahmekriterien.

Diese Norm legt auch Koordinierungserfordernisse fest, um abzusichern, dass Betriebsanweisungen für das Verbundnetz und das Kernkraftwerk entwickelt werden, die als Mittel für den sicheren und zuverlässigen Betrieb dienen.

Diese Norm legt auch die Anforderungen an die Erarbeitung eines Rahmenwerks für alle spezifischen Prüfungen, die für das Verbundnetz und das Kernkraftwerk als notwendig erachtet werden, wie z. B. Schwarzstartfähigkeit oder Lastabwurfversuche, fest.

Schließlich gibt diese Norm Leitlinien für die nötige kontinuierliche Abstimmung zwischen dem Verbundnetz und dem Kernkraftwerk während der Auslegungslbensdauer des Kernkraftwerks zu Themen wie z. B. Betrieb und Wartung, Auslegungsänderungen und Änderungen von Netzbedingungen vor.

b) Einordnung der vorliegenden Norm in die Struktur der Normen des IEC/SC 45A

Diese Norm ist ein Dokument der zweiten Ebene, dass speziell die besonderen Themen der Koordination zwischen dem Kernkraftwerk und dem Verbundnetz behandelt.

Mehr Details über die Struktur der Normen des SC 45A finden sich in Abschnitt d) dieser Einleitung.

c) Empfehlungen und Einschränkungen der Anwendung der Norm

Diese Norm sollte in Verbindung mit IEC 61513, IEC 62855 und IEC 63046 angewandt werden.

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) weist darauf hin, dass behauptet wird, dass die Übereinstimmung mit diesem Dokument die Anwendung eines Patents beinhalten kann. Die IEC übernimmt keine Verantwortung bezüglich der Beweisführung, Gültigkeit und dem Anwendungsbereich dieses Patents.

Der Inhaber dieses Patents hat der IEC versichert, dass sie/er gewillt ist, Lizenzen zu vernünftigen und fairen Geschäftsbedingungen mit Anwendern weltweit auszuhandeln.

In dieser Hinsicht ist die Aussage des Patentinhabers bei der IEC eingetragen. Die Information kann aus der Patentdatenbank entnommen werden, die unter <http://patents.iec.ch> verfügbar ist.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Teile dieses Dokuments Gegenstand von anderen Patenten als dem in der Datenbank enthaltenen sind. Die IEC kann nicht für die Kennzeichnung irgendeines oder aller dieser Patente verantwortlich gemacht werden.

d) Struktur der Normen des IEC/SC 45A und der Beziehungen zu weiteren Dokumenten der IEC sowie Dokumenten anderer Organisationen (IAEA, ISO)

IEC 61513 und IEC 63046 stellen die Eingangsdokumente der Normen des IEC/SC 45A dar. IEC 61513 enthält allgemeine Anforderungen an die leittechnischen Systeme und Geräte, die zur Ausführung sicherheitstechnisch wichtiger Funktionen in Kernkraftwerken genutzt werden. IEC 63046 enthält allgemeine Anforderungen für die elektrischen Stromversorgungssysteme in Kernkraftwerken; sie deckt Stromversorgungssysteme einschließlich Versorgungssysteme für die Leittechnik ab. IEC 61513 und IEC 63046 sind im Zusammenhang und gleichrangig zu betrachten. Durch IEC 61513 und IEC 63064 werden die Normen des IEC/SC 45A strukturiert und ein komplettes Rahmenwerk für allgemeine Anforderungen zu Leittechnik und elektrischen Systemen für Kernkraftwerke gebildet.

In IEC 61513 und IEC 63046 wird direkt auf andere Normen des IEC/SC 45A verwiesen, die allgemeine Themen wie die Kategorisierung von Funktionen und die Klassifizierung von Systemen, Qualifizierung, Trennung von Systemen, Maßnahmen gegen Versagen aufgrund gemeinsamer Ursachen, Wartenauslegung, elektromagnetische Verträglichkeit, Cybersicherheit, Software- und Hardwareaspekte programmierbarer digitaler Systeme, Koordination von (funktionalen) Sicherheits- und IT-Sicherheitsanforderungen und Alterungsmanagement behandeln. Die Normen, auf die direkt verwiesen wird, bilden die zweite Ebene und sollten zusammen mit IEC 61513 und IEC 63064 als ein in sich konsistenter Satz von Dokumenten betrachtet werden.

Die dritte Ebene bilden Normen des IEC/SC 45A, auf die in IEC 61513 oder IEC 63064 nicht direkt verwiesen wird. Diese Normen behandeln spezielles Gerät, technische Verfahren oder spezifische Tätigkeiten. Üblicherweise beziehen sie sich hinsichtlich allgemeiner Themen auf Dokumente der zweiten Ebene, können jedoch auch für sich allein benutzt werden.

Eine vierte Ebene erweitert die Normen des IEC/SC 45A um Technische Berichte, die nicht normativ sind.

In den Normen des IEC/SC 45A werden die Prinzipien und grundsätzlichen Aspekte der Sicherheit und IT-Sicherheit der IAEA-Sicherheitsstandards und der relevanten Dokumente der IAEA-Standards zur nuklearen IT-Sicherheit (NSS) umgesetzt. Dies betrifft insbesondere IAEA SSR-2/1, in dem die Sicherheitsanforderungen für die Auslegung von Kernkraftwerken festgeschrieben sind, und SSG-30 für die Sicherheitsklassifikation der Strukturen, Systeme und Komponenten in Kernkraftwerken, SSG-39 für die Auslegung der Leittechnik in Kernkraftwerken, SSG-34 für die Auslegung der Stromversorgung in Kernkraftwerken und NSS-17 für die IT-Sicherheit von Rechnern in kerntechnischen Anlagen. Terminologie und Definitionen zu funktionaler und IT-Sicherheit in den Normen des IEC/SC 45A stimmen mit denen, der IAEA überein.

Für IEC 61513 und IEC 63046 wird ein Darstellungsformat verwendet, das dem der grundlegenden Sicherheitsnorm IEC 61508 ähnlich ist, mit einem Lebenszyklus als Gesamtrahmen und einem Systemlebenszyklus. Mit IEC 61513 und IEC 63046 werden die allgemeinen Anforderungen von IEC 61508-1, IEC 61508-2 und IEC 61508-4 für die Anwendung auf dem nuklearen Sektor umgesetzt. In diesem Rahmen entsprechen IEC 60880, IEC 62138 und IEC 62566 bezogen auf den nuklearen Sektor der IEC 61508-3. IEC 61513 und IEC 63046 beziehen sich bei den Themen der Qualitätssicherung (QS) sowohl auf ISO als auch auf IAEA GS-

R Teil 2, IAEA GS-G-3.1 und IAEA GS-G-3.5. Auf Ebene 2 ist in Hinblick auf IT-Sicherheit IEC 62645 das Eingangsdokument für die Normen des IEC/SC 45A. Sie baut auf die übergeordneten Prinzipien und Hauptkonzepte der generischen IT-Sicherheitsstandards auf, insbesondere auf ISO/IEC 27001 und ISO/IEC 27002; adaptiert und vervollständigt sie entsprechend dem nuklearen Kontext, und koordiniert sie mit IEC 62443. Auf Ebene 2 ist in Hinblick auf Warten IEC 60964 das Eingangsdokument für die Normen des IEC/SC 45A, und IEC 62342 ist das Eingangsdokument für die Normen des IEC/SC 45A zum Alterungsmanagement.

ANMERKUNG Es wird angenommen, dass für die Auslegung von leittechnischen Systemen in Kernkraftwerken, die konventionelle Sicherheitsfunktionen enthalten (z. B. in Bezug auf Arbeitssicherheit, Schutz von Vermögenswerten, chemische und prozesstechnische Gefährdungen) Internationale oder nationale Normen angewendet werden.

1 Anwendungsbereich

1.1 Allgemeines

Die Aufgabe dieser Norm besteht darin, allgemeinen Anforderungen und Empfehlungen für die Koordination von Kernkraftwerken und dem Verbundnetz festzulegen; siehe auch Einleitung, Punkt a).

Die speziellen Auslegungsanforderungen an Komponenten und Gerät werden durch andere spezifische IEC-Normen außerhalb des Anwendungsbereichs dieser Norm abgedeckt.

1.2 Anwendung dieser Norm

Diese Norm ist vorgesehen für:

- die Auslegung neuer Kernkraftwerke (einschließlich kleiner modularer Reaktoren, wo zutreffend),
- Überlegungen zu Eignung und Auswirkung wesentlicher Änderungen des Verbundnetzanschlusses für in Betrieb befindliche Kernkraftwerke,
- wiederholte Auslegungsüberprüfungen in Betrieb befindlicher Kernkraftwerke.

Einschlägige Teile dieses Dokuments können als Leitlinie für den Kraftwerksbetrieb und allgemein für kern-technische Anlagen verwendet werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60038:2009, *IEC standard voltages*

IEC 62855:2016, *Nuclear power plants – Electrical power systems – Electrical power systems analysis*

IEC 63046, *Nuclear Power Plants – Electrical Power System – General requirements*

IAEA SSG-34, *Design of Electrical Power Systems for Nuclear Power Plants*

IAEA, *Safety Report Series, N° 91, Impact of Open Phase Conditions on Electrical Power Systems of Nuclear Power Plants*

Diese Norm sollte, falls zutreffend, in Verbindung mit nationalen und Internationalen Normen angewandt werden.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten folgende Begriffe.

ISO, IEC und IEEE stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

ANMERKUNG Die geltenden Begriffe wurden auf der Grundlage von IAEA- und IEC-Definitionen festgelegt. Einige wurden geringfügig modifiziert oder an den elektrischen Anwendungsbereich angepasst.

Andere spezielle Begriffe sind im Folgenden definiert.

3.1

gestaffelter Schutz

en **defence-in-depth**

hierarchischer Einsatz verschiedener Ebenen unterschiedlichen Geräts und von Maßnahmen, um die Steigerung der Folgen anzunehmender betrieblicher Ereignisse zu verhindern, und um die Wirksamkeit physikalischer Barrieren zwischen einer Strahlenquelle oder radioaktivem Material und Mitarbeitern, Personen der Öffentlichkeit oder der Umgebung während des Betriebs oder für einige Barrieren unter Störfallbedingungen zu erhalten

Anmerkung 1 zum Begriff: In IAEA SSR-2/1:2016 werden fünf Ebenen des gestaffelten Schutzes behandelt:

- a) Das Ziel der ersten Schutzebene ist es, Abweichungen vom Normalbetrieb und das Versagen sicherheitstechnisch wichtiger Elemente zu verhindern.
- b) Das Ziel der zweiten Schutzebene ist es, Abweichungen vom Normalbetrieb zu erkennen und zu beherrschen, um die Ausweitung von anzunehmenden betrieblichen Vorkommnissen zu Störfallbedingungen zu verhindern.
- c) Das Ziel der dritten Schutzebene ist es, Beschädigungen des Reaktorkerns und die Freisetzung radioaktiver Stoffe, die Schutzaktionen außerhalb der Anlage erfordern, zu verhindern und die Anlage mittels anlagenbedingter und/oder sicherheitstechnischer Einrichtungen, Sicherheitssystemen und Vorgehensweisen in einen sicheren Zustand zurückzuführen.
- d) Das Ziel der vierten Schutzebene ist es, das Fortschreiten von Störfällen zu verhindern und durch die Verhinderung von Störfallabläufen, die zu erheblichen radioaktiven Freisetzungen oder frühzeitigen radioaktiven Freisetzungen nach Störfalleintritt führen die Folgen von Störfällen abzumildern, die sich aus dem Versagen der dritten Schutzebene ergeben.
- e) Das Ziel der fünften und letzten Schutzebene ist es, die radiologischen Folgen einer erheblichen Freisetzung oder frühzeitigen Freisetzungen radioaktiver Stoffe abzumildern, die sich möglicherweise aus einem Störfall ergeben.

[QUELLE: IAEA Safety Glossary, Ausgabe 2018]

3.2

Verbundnetz

en **(Electric) Grid**

das Verbundnetz wird vom/von nationalen Übertragungssystem(en) und Verteilungssystem(en) gebildet, mit denen das Kernkraftwerk verbunden ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Im Rahmen des Anwendungsbereichs dieser Norm bezieht sich dieser Begriff meist auf den Teil des Verbundnetzes, der „für das Kernkraftwerk selbst von funktioneller Bedeutung“ ist.

3.3

Verbundnetzbetreiber

en **Electric Grid Operator**

Organisation, die das Verbundnetz betreibt, entweder der Übertragungssystembetreiber oder der Verteilnetzbetreiber

3.4

Fault-Ride-Through

en **fault-ride-through**

Fähigkeit elektrischer Generatoren, während kurzer Zeitspannen mit geringer Verbundnetzspannung mit dem Netz verbunden zu bleiben

3.5

Frequenzregelung

en **frequency control**

Fähigkeit von Generatoren, die Ausgangswirkleistung als Antwort auf eine gemessene Abweichung der Netzfrequenz von einem Sollwert nachzuregeln, um eine stabile Systemfrequenz aufrechtzuerhalten

3.6

Eigenbedarfsbetrieb

en **house load operation**

Betrieb eines Kernkraftwerks, um nur seine eigenen elektrischen Verbraucher zu versorgen

[QUELLE: IEC 62855:2016, 3.2]

3.7

Inselbetrieb

en **island operation**

unabhängiger Betrieb eines Teils des Verbundnetzes nachdem er vom restlichen Netz getrennt wurde, wobei mindestens ein Generator, der Energie liefert, Frequenz und Spannung regelt

Anmerkung 1 zum Begriff: „Eigenbedarfsbetrieb“ ist der kleinere „Inselbetrieb“ für ein Kernkraftwerk, beide sind aus funktioneller und regelungstechnischer Perspektive ähnlich.

3.8

Ausfall der externen Energieversorgung

en **loss of off-site power**

gleichzeitiger Ausfall aller elektrischen Energieversorgung der Sicherheitssammelschienen, der es erforderlich macht, die Reserve-Wechselstromversorgung zu starten und die Sicherheitssammelschienen mit elektrischer Energie zu versorgen

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Sammelschienen der Gleichstromsysteme und der unterbrechungsfreien Wechselstromsysteme zählen nicht dazu.

[QUELLE: IEC 62855:2016, 3.4]

3.9

Kernkraftwerksbetreiber

en **NPP Operator**

Organisation, die die Lizenz für Auslegung/Bau/Betrieb der kerntechnischen Einrichtung besitzt

3.10

probabilistische Sicherheitsanalyse

en **probabilistic safety assessment**

PSA

umfassender strukturierter Ansatz, der Fehlermöglichkeiten identifiziert und ein konzeptuelles mathematisches Werkzeug zur numerischen Abschätzung von Risiken bildet

Anmerkung 1 zum Begriff: Im Allgemeinen werden drei Ebenen der probabilistischen Sicherheitsanalyse unterschieden:

Ebene 1 umfasst die Abschätzung von Fehlern, die die Häufigkeit von Kernschäden bestimmen.

Ebene 2 beinhaltet die Abschätzung der Reaktion des Reaktorsicherheitsbehälters, die gemeinsam mit den Ergebnissen der Ebene 1 die Häufigkeit des Versagens des Reaktorsicherheitsbehälters und die Freisetzung eines gegebenen Prozentsatzes von Radionukliden des Reaktorkerns in die Umgebung bestimmt.

Ebene 3 beinhaltet die Abschätzung von Folgen für die Umgebung, die gemeinsam mit den Ergebnissen der Analyse der Ebene 2 dazu dient, das Risiko für die Bevölkerung abzuschätzen.

[QUELLE: IAEA Safety Glossary, Ausgabe 2018]

3.11

Übertragungsnetzbetreiber bzw. Verteilnetzbetreiber
en Transmission System Operator/Distribution System Operator
ÜNB bzw. VNB

Partei, die für die Bereitstellung und den Betrieb von Netzwerken für die überregionale Übertragung bzw. Verteilung von Elektrizität verantwortlich ist sowie für die regionale Verteilung, um die Systemsicherheit mit einem hohen Grad von Zuverlässigkeit und Qualität sicherzustellen

4 Abkürzungen

Anmerkung: Ausgearbeitet auf der Grundlage von Symbolen und Abkürzungen der IAEA, IEC und von elektrischen Energieversorgungssystemen, angepasst an den elektrischen Anwendungsbereich.

Englisch		Deutsch	
AC	Alternating Current	WS	Wechselstrom
CCF	Common Cause Failure	GVA	Versagen aufgrund gemeinsamer Ursache
FCT	Fault Clearance Time		Gesamtausschaltzeit
CDF	Core Damage Frequency		Kernschadenshäufigkeit
HVDC	High Voltage Direct Current	HG	Hochspannungsgleichstrom
DiD	Defence in Depth		Gestaffelter Schutz
DSO	Distribution System Operator	VNB	Verteilnetzbetreiber
FMEA	Failure Mode Effect Analysis	FMEA	Fehler- Möglichkeits- und Einflussanalyse
GIC	Geomagnetic Induced Currents		Erdmagnetisch induzierte Ströme
IAEA	International Atomic Energy Agency	IAEA	Internationale Atomenergiebehörde
LOOP	Loss of Off-site Power		Ausfall der externen Energieversorgung
NPP	Nuclear Power Plant	KKW	Kernkraftwerk
OPC	Open Phase Condition		Phasenausfallbedingung
PSA	Probabilistic Safety Assessment	PSA	Probabilistische Sicherheitsanalyse
SMR	Small Modular Reactors	KMR	Kleine modulare Reaktoren
TSO	Transmission System Operator	ÜNB	Übertragungsnetzbetreiber

5 Vertragliche Abstimmung

Der erste Schritt bei der Koordination zwischen den Kernkraftwerks- und Verbundnetzbetreibern besteht darin, einen geeigneten vertraglichen Rahmen zu schaffen oder, in der Anfangsphase, ein Kooperationsabkommen zu schließen.

Die Art und Weise, das zu erreichen, hängt von den Vorschriften eines jeden Landes ab, aber es sollte ein Abkommen für unterschiedliche Ebenen der Zusammenarbeit sein: gemeinsame Vorstudien, Netzanalysen und schließlich ein Vertrag über die Anbindung des Kernkraftwerks an das Verbundnetz und den anschließenden Betrieb des Kernkraftwerks.

Die vertraglichen Vereinbarungen müssen mindestens eindeutig definieren:

- die Grenzen zwischen dem Kernkraftwerk und dem Verbundnetz,
- die gegenseitigen Verantwortlichkeiten,
- die technischen Bedingungen für den Netzanschluss des Kernkraftwerks,
- Verweisungen auf gültige Betriebsanweisungen.

6 Technische Koordination

6.1 Allgemeines

Eine technische Koordination sollte zwischen dem Kernkraftwerksbetreiber und dem Übertragungsnetzbetreiber in allen Betriebsphasen einschließlich Auslegung, Bau und Betrieb erfolgen.

Eine technische Koordination, die auf Eingangsdaten und notwendigen Analysen beruht, sollte erfolgen, um zu prüfen und zu verifizieren, dass die gegenseitigen Anforderungen des Kernkraftwerks und des Verbundnetzes in Übereinstimmung mit den gegenseitig vereinbarten Akzeptanzkriterien erfüllt werden.

Das Ziel ist es, sicherzustellen, dass:

- das Kernkraftwerk nach Störungen mit dem Netz verbunden bleibt, wenn das Netz stabil ist,
- die Funktionalität der elektrischen Anlage des Kernkraftwerks nicht durch das Netz beeinträchtigt wird.

6.2 Konzeptioneller Entwurf der Schnittstelle mit dem Verbundnetz

Die Kernkraftwerks- und Verbundnetzbetreiber (oder die Organisation, die die Vor- und Entwurfsplanung erstellt) müssen beginnend mit der ersten Phase des Entwurfs:

- a) die neuen Kernkraftwerksblöcke entsprechend den vorgesehenen Anforderungen des Stromverbrauchs im Verbundnetz planen,
- b) die Kapazität des neuen Kernkraftwerks im Vergleich mit dem verfügbaren Netz überprüfen,
- c) auf der Grundlage von Daten des Verbundnetzbetreibers eine Bewertung der Netzzuverlässigkeit vorlegen,
- d) auf der Grundlage von Daten des Verbundnetzbetreibers eine vorläufige Version von Netzuntersuchungen bezüglich des neuen Kernkraftwerksanschlusses durchführen (Netzuntersuchungen werden im nachfolgenden [Abschnitt 6.5](#) vorgegeben),
- e) den Anschlussplan des Kernkraftwerks an das Netz entwerfen,
- f) eine anfängliche Überprüfung der Einhaltung von Parametern des Netzes durch das Kernkraftwerk mit Bezug auf Frequenz-/Spannungsbereiche, Regelungsfähigkeiten und Anforderungen zum Lastabwurf durchführen. Diese Überprüfung sollte auch sicherstellen, dass die Einhaltung der Parameter keine kern-technischen sicherheitsrelevanten Auswirkungen verursacht.

6.3 Austausch technischer Informationen zwischen Kernkraftwerks- und Verbundnetzbetreiber

Die Eingangsdaten für den Entwurf der Schnittstelle zwischen Kernkraftwerk und Verbundnetz sollten durch den Übertragungsnetzbetreiber im Grid Code oder anderen geeigneten Dokumenten festgelegt werden. Zusätzliche Anforderungen/Eingangsdaten müssen durch eine Übereinkunft zwischen dem Übertragungsnetzbetreiber und dem Kernkraftwerksbetreiber festgelegt werden, wobei sichergestellt werden muss, dass keine Auswirkungen auf die nukleare Sicherheit auftreten.

Die Eingangsdaten für die Schnittstelle zwischen Kernkraftwerk und Verbundnetz sollten beinhalten:

- a) Zu erwartender maximaler und minimaler Kurzschlussstrom (dreiphasig und einphasig) am elektrischen Netzanschlusspunkt, mit festgelegten Normen und Betriebsbedingungen. Um die Geräte korrekt zu bemessen, müssen Informationen über die erwartete Entwicklung dieser Werte bereitgestellt werden.
- b) Grenzwerte für Frequenz und Spannung im Verbundnetz am elektrischen Netzanschlusspunkt (einschließlich erwarteter Werte während eines Stillstands des Kernkraftwerks) und, wenn verfügbar, Vergangenheitsdaten für diese Werte.
- c) Meldungen/Steuerbefehle, die zwischen dem Kernkraftwerksbetreiber und dem Verbundnetzbetreiber ausgetauscht werden.
- d) Kernkraftwerks- und Verbundnetzdaten, die für die Erstellung dynamischer Modelle für Netzuntersuchungen relevant sind (z. B. rotierende Massen, Eigenschaften der Spannungsregelung).

- e) Häufigkeit von Leistungsverlusten im Verbundnetz und Wiederherstellungszeit der Energieversorgung als Eingangsdaten für die probabilistische Sicherheitsanalyse des Kernkraftwerks.

6.4 Anschlussplan

Der Verbundnetzbetreiber und der Kernkraftwerksbetreiber müssen den Anschlussplan zwischen dem Kernkraftwerk und dem Verbundnetz unter Beachtung festgelegter Eingangsdaten auslegen.

Die Anzahl und Arten der Leitungen, die das Kernkraftwerk mit dem Netz verbinden, sollten auf der Grundlage des Typs des Kernkraftwerks, der Zuverlässigkeit des Verbundnetzes und der Eigenschaften des Verbundnetzes festgelegt werden. Einige Beispiele von Anschlussplänen sind in [Anhang B](#) enthalten.

Das Verbundnetz ist die Energiequelle für das kraftwerkseigene Energieversorgungssystem, und es ist auch ein bedeutender Faktor für den gestaffelten Schutz (DiD) in der Sicherheitsauslegung der Anlage. Der Betrieb eines Kernkraftwerks unter transienten und Störfallbedingungen sowie bei einer normalen Abschaltung ist flexibler, wenn eine externe Energieversorgung verfügbar ist.

Das Verbundnetz ist die bevorzugte Energiequelle für eine sichere Abschaltung, deshalb stellen zwei unabhängige Anschlüsse Redundanz sicher.

Es ist übliche Praxis, mindestens zwei unabhängige Anschlüsse an das Verbundnetz verfügbar zu haben, einen Hauptanschluss für den Energieaustausch (meistens zum Übertragungsnetz) und einen Anschluss für die Stromversorgung im Falle des Ausfalls des Hauptanschlusses (das kann – in Abhängigkeit von der erforderlichen Kapazität – eine Verbindung zum Übertragungs- oder zum Verteilnetz sein). Es ist außerdem wichtig, dass das mit dem Kernkraftwerk verbundene elektrische Umspannwerk ausreichende Verbindungsleitungen zu anderen Teilen des Verbundnetzes hat, um die erzeugte Energie einzuspeisen und das Risiko des Verlusts der externen Energieversorgung zu reduzieren.

Kernkraftwerks- und Verbundnetzbetreiber müssen die Vor- und Nachteile von alternativen Anschlussplänen technisch bewerten.

Kernkraftwerks- und Verbundnetzbetreiber müssen sich auf den Anschlussplan nach der Abwägung verschiedener Möglichkeiten einigen. Der Anschlussplan sollte die folgende Aufstellung beinhalten:

- a) Typ der Hochspannungsschaltanlage (luft- oder gasisoliert), einschließlich funktionaler und Redundanzanforderungen (siehe IEC 63046:2020),
- b) Besitz und Kontrolle der Leistungsschalter in der Hochspannungsschaltanlage,
- c) Typ des elektrischen Schutzes, Anzahl der Kanäle und Wege der Anbindung,
- d) Ausgestaltung des Meldungs austauschs zwischen Kernkraftwerk und Netz,
- e) Einspeiseregulierung,
- f) Zählwerterfassung.

6.5 Analysen der Schnittstellen zwischen Kernkraftwerk und Verbundnetz

6.5.1 Allgemeines

Es müssen Analysen der Verbindung des Kernkraftwerks mit dem Verbundnetz vorgenommen werden, um die Ausgestaltung der Verbindungs- und Schnittstelleneinrichtungen auszulegen und zu prüfen.

Es müssen Analysen für unterschiedliche Phasen der Auslegung und der Betriebszeiten des Kernkraftwerks vorgenommen werden, und sie müssen erforderlichenfalls aktualisiert werden (z. B. wenn erhebliche Änderungen am Verbundnetz vorgenommen werden).

Üblicherweise wird als erster Schritt eine allgemeine Untersuchung durchgeführt (meistens durch den Verbundnetzbetreiber), um die Machbarkeit der Errichtung des Kernkraftwerks in einem vorgegebenen Land oder einem Gebiet unter Berücksichtigung der erwarteten Kapazität des Kraftwerks zu bewerten.

Die Zuständigkeit (d. h. die Verantwortung) für diese Analysen sollte zwischen dem Kernkraftwerks- und dem Verbundnetzbetreiber geteilt werden, wobei für einige Analysen eine klarer festgelegte Zuständigkeit vorliegt (z. B. werden transiente Stabilitätsanalysen typischerweise durch den Verbundnetzbetreiber durchgeführt, während Analysen für den Inselbetrieb typischerweise vom Kraftwerksbetreiber durchgeführt werden).

Die Zuständigkeit für die Durchführung der Analysen hängt von den Vereinbarungen zwischen Kernkraftwerks- und Verbundnetzbetreiber ab.

Die Analysen müssen auch aufzeigen, dass der Verbundnetzbetreiber und das Kernkraftwerk die Fähigkeit besitzen, auf zu erwartende Ausfälle, wie sie im Grid Code spezifiziert sind (z. B. langsame/schnelle Spannungs-/Frequenzänderungen, Kurzschlüsse mit passender Fault-Ride-Through-Tauglichkeit, Blitzeinschläge und Phasenausfallbedingungen), sicher reagieren zu können.

Analysen von Energieversorgungssystemen werden detailliert in IEC 62855 behandelt. Eine Zusammenfassung der verschiedenen Arten von Analysen, die speziell für die Schnittstelle zwischen Kernkraftwerk und Verbundnetz erforderlich sind, wird nachfolgend angegeben.

6.5.2 Lastflussanalysen

Das Ziel von Lastflussanalysen besteht in der Ermittlung der Netzspannung und der Phasenwinkelverteilung für eine bestimmte Verbundnetzbeschaffenheit, die durch die erzeugenden Quellen, Verbrauchspunkte und Anschlusstransformatoren und -leitungen vorgegeben ist.

Als Teil der Bewertung des Netzanschlusses des Kernkraftwerks ist es wichtig, Lastflussanalysen durchzuführen, um die Kapazität und Fähigkeit des Verbundnetzes, den produzierten Strom ohne Verletzung der Netzgrenzwerte, z. B. Überlastung der Anlagenteile, Verletzung vorgegebener Sicherheitskriterien n-1, n-2, sicher aufzunehmen, zu überprüfen.

Weiterhin ist es unerlässlich, Lastflussanalysen durchzuführen, um zulässige Wartungszustände des Verbundnetzes während des Betriebs des Kernkraftwerks zu prüfen und zu verifizieren und um zu ermitteln, ob einige Wartungsmaßnahmen des Verbundnetzes nur während eines Stillstands des Kernkraftwerks durchgeführt werden können.

6.5.3 Transiente Stabilitätsanalysen

Transiente Stabilitätsanalysen sollen durchgeführt werden, um zu ermitteln, ob der/die Generator/en des Kernkraftwerks bei einem Ereignis mit Grenzwertverletzungen im Verbundnetz die Stabilität aufrechterhalten, wie im Grid Code beschrieben (z. B. 3-phasige Kurzschlüsse) und, wenn erforderlich, Wiederherstellungsmaßnahmen festzulegen. Zusätzlich müssen die Auswirkungen auf die anlageninternen elektrischen Systeme bewertet werden.

Es ist notwendig, ein dynamisches Berechnungsmodell des Kernkraftwerks und des Verbundnetzes aufzustellen, um die „Gesamtausschaltzeit“ (FCT) nach der, wenn der Fehler nicht durch Schutzfunktionen behoben wird, die betroffenen Generatoren die Synchronisation verlieren könnten und durch ihre eigenen Schutzfunktionen abgeschaltet werden.

Der letztere Fall soll vermieden werden, um die Beanspruchung der Generatoren zu verringern und Mehrfachabschaltungen von Generatoren und weitere Effekte im Verbundnetz zu vermeiden.

6.5.4 Stationäre Stabilitätsanalysen

Das Ziel von stationären Stabilitätsanalysen besteht darin, die Spannungs-/Frequenzstabilität des Kernkraftwerks bezüglich unterschiedlicher möglicher Spannungs-/Frequenzprofile im Verbundnetz zu untersuchen.

Stationäre Stabilitätsanalysen können auch die Leistungsfähigkeit der Generatoren des Kernkraftwerks hinsichtlich der Spannungsregelung (Blindleistung) ermitteln.

Mit stationären Stabilitätsanalysen bestimmt man, ob das Kernkraftwerk genügend Leistungsvermögen besitzt, um mit möglichen Spannungsbereichen im Verbundnetz zurechtzukommen, oder ob zusätzliche Maßnahmen erforderlich sind (z. B. Laststufenschalter der Haupttransformatoren).

Stationäre Stabilitätsanalysen (oder eine getrennt erstellte Studie) müssen die Verifizierung der Tauglichkeit des Kernkraftwerks (hauptsächlich von Hilfseinrichtungen, Reaktorkühlmittelpumpen, Sicherheitssystemen) für Zustände mit verminderter Frequenz beinhalten, denen das Kraftwerk vom Verbundnetz ausgesetzt sein kann oder die vom Eigenbedarfsbetrieb herrühren.

6.5.5 Inselbetriebsanalysen des Kernkraftwerks

Das Kernkraftwerk muss, falls vom Grid Code (oder etwas Äquivalentem) gefordert, in der Lage sein, im Inselbetrieb (Frequenzregelung) sicher betrieben zu werden, wobei das Kernkraftwerk seine eigene Leistung auf der Grundlage der Frequenzänderungen innerhalb der Insel anpasst. Die Grenze und die Ausdehnung der vorgegebenen Insel werden durch den Verbundnetzbetreiber festgelegt.

Der Zweck der Analysen durch den Kernkraftwerksbetreiber besteht darin, zu bestätigen, dass das Kernkraftwerk in dieser Betriebsweise sowohl aus technischer Sicht als auch aus Sicht der Prozessregelung sicher betrieben werden kann.

Die Schutzvorkehrungen des Kernkraftwerks müssen diese Betriebsweise unterstützen und dürfen sie nicht verhindern.

Siehe auch die Anforderung nach Analysen des flexiblen Betriebs in 6.5.6^{N1}.

6.5.6 Analysen des Eigenbedarfsbetriebs des Kernkraftwerks (falls zutreffend)

Einige Kernkraftwerke sind für die Durchführung eines Eigenbedarfsbetriebs ausgelegt (wobei das Kernkraftwerk seine eigenen Hilfseinrichtungen mit Energie versorgt, wenn es vom Verbundnetz getrennt ist), ohne dass Reaktor und Turbinengenerator abgeschaltet werden, um die Wiederverbindungszeit zum Verbundnetz zu minimieren und Transienten der Anlage zu reduzieren.

Gezielte Analysen müssen die Möglichkeit dieser Betriebsart bestätigen, wenn sie mit der Auslegung des Kernkraftwerks vereinbar ist.

Eigenbedarfsbetrieb ist aus technischer Sicht als kleinste mögliche Insel, wie in 6.5.4^{N2} definiert, anzusehen.

ANMERKUNG Diese Betriebsart ist in der zweiten Ebene des gestaffelten Schutzes des Kernkraftwerks enthalten (siehe IAEA SSG-34), weil der Generator in der Lage ist, die Hilfseinrichtungen im Falle eines Ausfalls der externen Energieversorgung (LOOP) zu versorgen, aber zu gleicher Zeit werden erhebliche Transienten eingeleitet, die hinreichend bewertet werden müssen.

6.5.7 Analysen des flexiblen Betriebs des Kernkraftwerks

Wegen der Entwicklung der Energiemärkte ist es im Allgemeinen erforderlich, die Stromerzeugung mehrmals innerhalb von 24 h nach einem vordefinierten Erzeugungsplan und/oder den Anforderungen durch das Verbundnetz (primäre/sekundäre Frequenz-/Spannungsregelung) anzupassen.

Diese Gruppe von Betriebsmodi (üblicherweise als „flexibler Betrieb des Kernkraftwerks“ definiert – siehe IAEA Nuclear Energy Series, NP-T-3.23) kann eine erhöhte Belastung der Ausrüstungen des Kernkraftwerks verursachen.

^{N1} Nationale Fußnote: Die Verweisung an dieser Stelle muss auf 6.5.7 geändert werden.

^{N2} Nationale Fußnote: Die Verweisung an dieser Stelle muss auf 6.5.5 geändert werden.

Gezielte Analysen müssen durchgeführt werden, um die Möglichkeit und das Ausmaß dieses kontinuierlichen Regelungsbetriebs zu bewerten, und sie sollten nicht nur Überlegungen zu elektrischen Einschränkungen, sondern auch zu Prozess- und nuklearen Sicherheitsbeschränkungen einbeziehen.

6.5.8 Analysen elektrischer Transienten/Fehler im Kernkraftwerk

Neben speziellen Analysen des Lastabwurfs, wie in 6.5.5^{N3} beschrieben, müssen zusätzliche spezielle Analysen durchgeführt werden, um die Einwirkungen anderer möglicher elektrischer Transienten zu überprüfen, die durch das Verbundnetz ausgelöst wurden und die Hilfseinrichtungen des Kernkraftwerks beeinträchtigen.

Die Analysen sollten Überlegungen zu folgenden Ereignissen einbeziehen, die aus Betriebserfahrung abgeleitet wurden:

- Phasenausfallbedingungen (OPC), siehe IAEA Safety Report Series N° 91,
- Überspannung in der Notstromversorgung bei Ereignissen vom „Forsmarktyp“, siehe NEA/CSNI/R(2009)10,
- automatische Wiederzuschaltfunktionen von kraftwerksnahen Netzleitungen,
- untersynchrone Resonanz,
- erdmagnetisch induzierte Ströme (GIC).

Analysen elektrischer Energieversorgungssysteme sind in IEC 62855 beschrieben, die als Grundlage für die notwendigen speziellen Analysen benutzt werden sollte.

6.5.9 Analysen der Zuverlässigkeit des Verbundnetzes

Daten über Netzausfälle in der Vergangenheit müssen erhoben werden, um die Wahrscheinlichkeit von Ausfällen auf der Grundlage echter Daten vorauszubestimmen.

Fehlermöglichkeits- und Einflussanalysen (FMEA) müssen durchgeführt werden, um alle möglichen Fehler im Verbundnetz, die auf das Kernkraftwerk einwirken können, zu erkennen, und die Folgen der Fehler müssen verifiziert werden.

Ein Einzelfehler im Verbundnetz sollte keine Anregung von Sicherheitssystemen des Kernkraftwerks bewirken (d. h. der Ebene 3 des gestaffelten Schutzes). Dies kann als qualitatives Abnahmekriterium angesehen werden, um den Netzanschluss als robust einzuschätzen.

Schließlich kann eine FMEA (die unterschiedliche mögliche Verbundnetzkonfigurationen bewertet) helfen, mögliche Verbesserungen zu erkennen, um die Zuverlässigkeit des Verbundnetzes zu verbessern.

6.5.10 Studien zu Schutzeinstellungen

In Abhängigkeit von den Ergebnissen der oben genannten Analysen (vor allem 6.5.2, 6.5.4, 6.5.5, 6.5.6) müssen Schutzeinstellungen für das Kernkraftwerk entwickelt werden. In einigen wenigen Fällen kann dies auch die Entwicklung von Schutzeinstellungen für das Verbundnetz erfordern.

7 Betriebsanweisungen für die Verbindung Verbundnetz-Kernkraftwerk

Die Ergebnisse der in Abschnitt 6 beschriebenen Analysen müssen zur Erstellung eines Ordnungsrahmens verwendet werden, um Anweisungen zu entwickeln, die den Betrieb/die Verbindung zwischen dem Kernkraftwerk und dem Verbundnetz während unterschiedlicher Netzzustände und Kraftwerksbetriebszustände regeln.

Der Kernkraftwerksbetreiber muss sicherstellen, dass die Genehmigungsauflagen und Auslegungsanforderungen an das Kernkraftwerk dem Verbundnetzbetreiber erläutert wurden, so dass Probleme der nuklearen

^{N3} Nationale Fußnote: Die Verweisung an dieser Stelle muss auf 6.5.2 geändert werden.