

	DIN IEC 63374 (VDE 0491-9-6)	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 2022-04-18

Entwurf

**Kernkraftwerke –
Instrumentierung mit sicherheitstechnischer Bedeutung –
Eigenschaften und Prüfverfahren für Reaktivitätsmessgeräte für
Kernreaktoren
(IEC 45A/1401/CD:2021);
Text Deutsch und Englisch**

Nuclear power plants –
Instrumentation systems important to safety –
Characteristic and test methods of nuclear reactor reactivity meter
(IEC 45A/1401/CD:2021);
Text German and English

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2022-02-18 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, Merianstraße 28, 63069 Offenbach 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 26 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist

	Inhalt	Seite
Nationales Vorwort.....		2
1	Anwendungsbereich	4
2	Normative Verweisungen	4
3	Begriffe	4
4	Abkürzungen	6
5	Neutronenkinetik und Reaktorpunktmodell	7
5.1	Allgemeine Informationen zur Neutronenkinetik	7
5.2	Reaktorpunktmodell.....	7
5.3	Reaktivitätsberechnung auf der Basis des Reaktorpunktmodells	8
5.4	Grenzen des Modells.....	8
6	Arten von Reaktivitätsmessgeräten.....	8
6.1	Allgemeine Betrachtungen	8
6.2	Reaktivitätsmessgeräte mit analoger Verarbeitung	8
6.3	Reaktivitätsmessgeräte mit digitaler Verarbeitung	9
7	Eigenschaften eines Reaktivitätsmessgeräts.....	10
7.1	Allgemeines	10
7.2	Detektorausführung und Art des Eingangssignals	10
7.3	Ausführung der Reaktivitätsberechnung	10
7.3.1	Reaktivitäts-Ausgangssignal	10
7.3.2	Auflösung.....	11
7.3.3	Antwortzeit.....	11
8	Auslegung und Qualifizierung von Reaktivitätsmessgeräten	11
Anhang A	Anwendungen eines Reaktivitätsmessgeräts in Kernkraftwerken.....	12
A.1	Unterkritische Bedingungen – unterkritische Annäherung	12
A.2	Physikalische Prüfungen	12
A.3	Permanente Überwachung (Vollleistung).....	12
A.4	Sicherheit.....	12

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC „Nuclear power plants – Instrumentation systems important to safety – Characteristic and test methods of nuclear reactor reactivity meter“ (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 beigefügt. 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 Abschnitsnummer, 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 – Instrumentierung mit sicherheitstechnischer Bedeutung – Eigenschaften und Prüfverfahren für Reaktivitätsmessgeräte für Kernreaktoren

1 Anwendungsbereich

Diese Norm beschreibt die grundlegenden Eigenschaften und Prüfverfahren für Reaktivitätsmessgeräte für Kernreaktoren.

Reaktivität ist der fundamentale Parameter zur aktuellen Charakterisierung der Leistungsentwicklung eines Reaktors.

Ein Reaktivitätsmessgerät ist ein Instrument oder eine in einem System implementierte Funktion, mit dem die Reaktivität des Reaktors direkt aus einer Messung des Neutronenflusses des Reaktors berechnet wird, in dem es eingesetzt ist. Das Ergebnis kann nach IEC 61226 zur Ausführung einer Funktion der Kategorie A, Kategorie B oder Kategorie C genutzt werden.

Diese Norm gibt die Eigenschaften und Prüfverfahren für ein Reaktivitätsmessgerät vor, welches die Reaktivität direkt durch Lösung der kinetischen Gleichungen für das Reaktorpunktmodell berechnet.

Andere Verfahren zur Reaktivitätsmessung werden in dieser Norm nicht behandelt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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 60068, *Environmental testing*

IEC 61226, *Nuclear power plants – Instrumentation, control, and electrical power systems important to safety – Categorization of functions and classification of systems*

IEC 60880, *Nuclear power plants – Instrumentation and control systems important to safety – Software aspects for computer-based systems performing category A functions*

IEC/IEEE 60780-323, *Nuclear facilities – Electrical equipment important to safety – Qualification*

IEC/IEEE 60980-344, *Nuclear facilities – Equipment important to safety – Seismic qualification*

IEC 62138, *Nuclear power plants – Instrumentation and control systems important to safety – Software aspects for computer-based systems performing category B or C functions*

3 Begriffe

Für dieses Dokument gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC 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>

3.1

Reaktorpunktsimulator

en **point reactor simulator**

Instrument, das Signale als Nachbildung der Signale generiert, die von einem Neutronendetektor erzeugt werden, der sich in der Nähe des Kerns eines Kernreaktors befindet

Entsprechend der Reaktivität, die für das Modell verwendet wird, wird die zeitabhängige Entwicklung der Signale durch das Reaktorpunktmodell bestimmt. Die internen physikalischen Koeffizienten müssen zu den Koeffizienten passen, welche den modellierten Reaktor beschreiben.

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei der Prüfung eines Reaktivitätsmessgeräts müssen die physikalischen Koeffizienten des Reaktorpunktsimulators mit denen übereinstimmen, die im Reaktivitätsmessgerät implementiert sind.

3.2

Auflösung

en **resolution**

geringste Änderung einer Messgröße oder gelieferten Menge, die eine erkennbare Änderung der Anzeige bewirkt

3.3

Reaktorpunktmodell

en **point reactor model**

Das Reaktorpunktmodell verwendet die thermischen neutronenkinetischen Differentialgleichungen, deren Lösung die Neutronendichte und die Konzentrationen der Vorläufer von verzögerten Neutronen im Reaktorkern ergibt.

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Neutronendichte ist proportional zum Neutronenfluss oder der Reaktorleistung.

3.4

Kritikalität

en **criticality**

Zustand eines nuklearen Systems, dessen effektiver Multiplikationsfaktor gleich eins ist

3.5

Schrittantwortzeit

en **step response time**

Dauer zwischen dem Zeitpunkt, bei dem die Messgröße (oder gelieferte Menge) einer festgelegten abrupten Änderung ausgesetzt ist, und dem Zeitpunkt, bei dem die Anzeige (oder gelieferte Menge) ihren stationären Wert erreicht und innerhalb festgelegter Grenzen verbleibt

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Definition wird üblicherweise für Messgeräte verwendet. Es gibt weitere Definitionen.

3.6

Reaktivität

en **reactivity**

Größe wie $\rho = 1 - (1/k_{\text{eff}})$

wobei k_{eff} der effektive Multiplikationsfaktor ist.

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Parameter ρ gibt die Abweichung von der Kritikalität einer nuklearen Kettenreaktion in einem Medium derart an, dass positive Werte einem überkritischen Zustand und negative Werte einem unterkritischen Zustand entsprechen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Dieser Begriff war in IEC 60050-393:2003 mit 393-15-42 nummeriert.

3.7

Reaktorperiode

en **reactor time constant period**

Zeitspanne, in der sich der Neutronenfluss in einem Kernreaktor um den Faktor e gleich 2,718... ändert, wenn der Neutronenfluss exponentiell ansteigt oder fällt

3.8

Reaktorverdopplungszeit

en **reactor time constant doubling time**

Zeitspanne, in der sich der Neutronenfluss in einem Kernreaktor um den Faktor 2 ändert, wenn der Neutronenfluss exponentiell ansteigt oder fällt

3.9

Teilchenfluss-Fluenzrate

en **particle flux fluence rate**

Quotient dN zu da und dt , wobei dN der Zuwachs von Teilchen ist, die Ereignisse je Querschnittsfläche da im Zeitintervall dt erfahren

$$N_0 = d2N / da dt$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Allgemein wird der Begriff Neutronenfluss (oder Teilchenfluss) benutzt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Diese Größe wird je Sekunde je Flächeneinheit angegeben ($m^{-2} s^{-1}$ oder $cm^{-2} s^{-1}$).

3.10

Vorläufer verzögerter Neutronen

en **delayed neutron precursors**

Spaltprodukte, die bei der Emission eines Neutrons zerfallen

Um das Verhalten der Neutronen im Kern eines Kernreaktors zu bestimmen, werden die Vorläufer verzögerter Neutronen in mehrere Gruppen unterteilt. Jede Gruppe ist charakterisiert durch ihre Nummer (i), ihre Zerfallszeitkonstante (λ_i) und ihren relativen Anteil (β_i).

3.11

Generationsdauer

en **generation time**

Zeitspanne zwischen der Freisetzung eines Neutrons und seiner nachfolgenden Absorption, die zur Spaltung und Emission neuer Neutronen führt. Die Generationsdauer wird mit L_g bezeichnet.

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Generationsdauer sollte nicht mit der Neutronenlebensdauer verwechselt werden.

3.12

Korrespondenztabelle

en **table of correspondence**

(Reaktivitäts-Zeitkonstante)

Zeitkonstante, entweder die Verdopplungszeit oder die Periode

Ist die Reaktivität eines Reaktors konstant und positiv, so stabilisiert sich die Zeitkonstante zu einem festen Wert. Die entsprechende Reaktivität wird in der Korrespondenztabelle angegeben.

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Korrespondenztabelle wird in einigen Ländern „Nordheim-Tabelle“ genannt.

3.13

Reaktivitätsmessgerät

en **reactivity meter**

elektronische Baugruppe, die zusammen mit einem oder mehreren Detektoren die Reaktivität eines Kernreaktors anzeigt

4 Abkürzungen

	Englisch	Deutsch
pcm	percent mille	Hundertstel Promille
ein pcm ist gleich ein Tausendstel eines Prozents der Reaktivität		
cps	counts per second	Gezählte Ereignisse je Sekunde
nv	unit for neutron flux (neutrons/cm ² /s)	Einheit des Neutronenflusses (Neutronen/cm ² /s)

LWR	Light Water Reactor	Leichtwasserreaktor
FBR	Fast Breeder Reactor	Schneller Brutreaktor
EMC	Electro-Magnetic Compatibility	Elektromagnetische Verträglichkeit
LAN	Local Area Network	Lokales Netzwerk
SAL	Serial Asynchronous Link	Serielle asynchrone Schnittstelle

5 Neutronenkinetik und Reaktorpunktmodell

5.1 Allgemeine Informationen zur Neutronenkinetik

Die Entwicklung der Neutronenpopulation im Kern eines Reaktors (und somit der Leistung) wird durch ein Reaktorpunktmodell mit mehreren Neutronengruppen gut beschrieben.

Die Anzahl verwendeter Gruppen hängt vom Reaktortyp ab.

Üblicherweise werden für Leichtwasserreaktoren oder Schnelle Brutreaktoren 6 Gruppen verwendet. In einigen Fällen (z. B. für Schwerwasserreaktoren) wird die Verwendung einer höheren Anzahl von Gruppen empfohlen, um die verzögerten Foto-Neutronen zu berücksichtigen.

5.2 Reaktorpunktmodell

Das Verhältnis von Neutronendichte und Reaktivität wird im Reaktorpunktmodell durch die folgenden neutronenkinetischen Gleichungen bestimmt:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\rho - \beta}{L} n + \sum_{i=1}^M \lambda_i C_i + S \quad (1)$$

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{\beta_i}{L} n - \lambda_i C_i \quad (2)$$

Dabei ist

- n die mittlere Neutronendichte, ihre Einheit ist (Neutronen/cm³)
- ρ die Reaktivität
- L die mittlere Neutronengenerationsdauer, ihre Einheit ist (s)
- β der Anteil verzögerter Neutronen
- β_i der Anteil verzögerter Neutronen der Gruppe i
- C_i die Konzentration der Vorläuferkerne zu verzögerten Neutronen der Gruppe i , ihre Einheit ist (cm⁻³)
- λ_i die nukleare Zerfallskonstante für Vorläuferkerne zu verzögerten Neutronen der Gruppe i , ihre Einheit ist (s⁻¹)
- I die Gruppennummer der Emittenten für verzögerte Neutronen^{N1}
- M die Anzahl der Gruppen verzögerter Neutronen
- S der Quellterm, seine Einheit ist (cm⁻² s⁻¹)^{N2}
- t die Zeit, ihre Einheit ist (s)

^{N1} Nationale Fußnote: So im IEC-Original geschrieben. Tatsächlich verwendet wird i .

^{N2} Nationale Fußnote: So im IEC-Original geschrieben. Die korrekte Einheit ist cm⁻³ s⁻¹.

Gleichung (3) kann durch Lösung der Gruppengleichung abgeleitet werden:

$$\rho = \frac{L}{n} \left(\sum_{i=1}^M \frac{dC_i}{dt} + \frac{dn}{dt} - S \right) \quad (3)$$

Sind Anfangszustand und der Quellterm bekannt, kann man durch Variation des Probewertes für das Neutronenflussdichtesignal aus Gleichung (3) eine numerische Lösung für die Reaktivität erhalten.

5.3 Reaktivitätsberechnung auf der Basis des Reaktorpunktmodells

Die Nutzung eines zur Neutronendichte (oder zum Neutronenfluss) proportionalen Signals ermöglicht es, die Reaktivität durch Umkehrung der kinetischen Gleichungen direkt zu berechnen. Die Gleichung, aus der die Reaktivität folgt, ist:

$$\rho = \frac{Lg}{n} \left(\sum_{i=1}^M \frac{dC_i}{dt} + \frac{dn}{dt} - S \right)$$

5.4 Grenzen des Modells

Die Koeffizienten des Modells müssen durch Berechnung bestimmt werden, wobei die exakte Zusammensetzung der Brennelemente und deren Abbrand verwendet wird.

Für Reaktoren, die mit thermischen Neutronen betrieben werden, sind die Konsequenzen wesentlich: Die Brennstoffzusammensetzung und die physikalischen Koeffizienten ändern sich mit dem Abbrand. Die Gültigkeit des Modells für eine permanente Anwendung des Reaktivitätsmessgeräts erfordert die Validierung unter Berücksichtigung des Abbrandfortschritts.

Für Reaktoren, die mit schnellen Neutronen arbeiten, hat die Änderung der Koeffizienten während eines Brennstoffzyklusses eine geringere Bedeutung. Die Änderung der mikroskopischen Wirkungsquerschnitte ist bei schnellen Neutronen geringer.

6 Arten von Reaktivitätsmessgeräten

6.1 Allgemeine Betrachtungen

Reaktivitätsmessgeräte können entweder mit analogen oder digitalen Technologien ausgelegt werden.

Die Anwendung analoger Techniken zur Verarbeitung von Zählraten über einen weiten Bereich ist in dieser Norm nicht berücksichtigt. Erfahrungen zeigen, dass Reaktivitätsmessgeräte hauptsächlich mit Ionisationskammern ausgelegt sind, die einen Strom liefern. Im Zuge der Entwicklung digitaler Technologien verringert sich nach und nach die Anwendung analoger Verfahren zur Berechnung der Reaktivität.

6.2 Reaktivitätsmessgeräte mit analoger Verarbeitung

Ein analoges Reaktivitätsmessgerät kann in zwei Bestandteile unterteilt werden:

- Teil der nuklearen Instrumentierung einschließlich Neutronendetektor, Kabeln, signalverarbeitende Elektronik, die ein elektrisches Signal proportional zum Neutronenfluss liefert.
- Teil zur Berechnung der Reaktivität, welches das Signal der nuklearen Instrumentierung mittels Operationsverstärker unter Verwendung eines oder mehrerer Pagel-Netzwerke auf Basis von Widerständen und Kondensatoren verarbeitet, um die physikalischen Konstanten (λ_i , β_i , L_g) des Kerns zu simulieren.

Bild 1 zeigt die schematische Darstellung eines Reaktivitätsmessgeräts, das die Reaktivität auf Grundlage analoger Techniken berechnet.