

Zeitschrift:	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
Herausgeber:	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
Band:	85 (1994)
Heft:	22
Artikel:	Garant der Sicherheit : die Sicherheit-Leittechnik im Kernkraftwerk
Autor:	Bock, Heinz-Wilhelm / Graf, Arnold
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-902623

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 20.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Der hohe Sicherheitsstandard in der Kerntechnik drückt sich auch innerhalb der Leittechnik aus: Sie umfasst mehrere, gestaffelte Eingriffs-(Interventions-)Ebenen, die entsprechend ihrer sicherheitstechnischen Bedeutung klassifiziert sind und die unabhängig voneinander unzulässige Betriebszustände verhindern. Die Sicherheits-Leittechnik bildet die letzte dieser Interventions-Ebenen, damit kommt ihr bei der sicherheitstechnischen Bewertung die grösste Bedeutung zu.

Garant der Sicherheit

Die Sicherheits-Leittechnik im Kernkraftwerk

■ Heinz-Wilhelm Bock, Arnold Graf

Diese grosse sicherheitstechnische Bedeutung spiegelt sich wider in der besonders hohen Qualität der Sicherheits-Leittechnik; sie drückt sich aus in einer das Übliche weit übersteigenden Fertigungsqualität (TÜV-überwacht und nachprüfbar belegt), in höchster Zuverlässigkeit sowie in strengen, von vornherein festgelegten und vorgegebenen (deterministischen) Auslegungskriterien.

Natürlich kann auch trotz höchster Fertigungsqualität nicht ausgeschlossen wer-

den, dass Komponenten der Sicherheits-Leittechnik ausfallen, da sie wie alle technischen Produkte Alterungseffekte ausgesetzt sind. Deshalb ist die Sicherheits-Leittechnik so aufgebaut, dass auch bei Ausfall von Komponenten die Einleitung sicherheitstechnisch wichtiger Massnahmen nicht verhindert werden kann.

Immer funktionsbereit

Die deterministischen Auslegungskriterien schliesslich schreiben vor, welche Ergebnisse bei der Auslegung der Sicherheits-

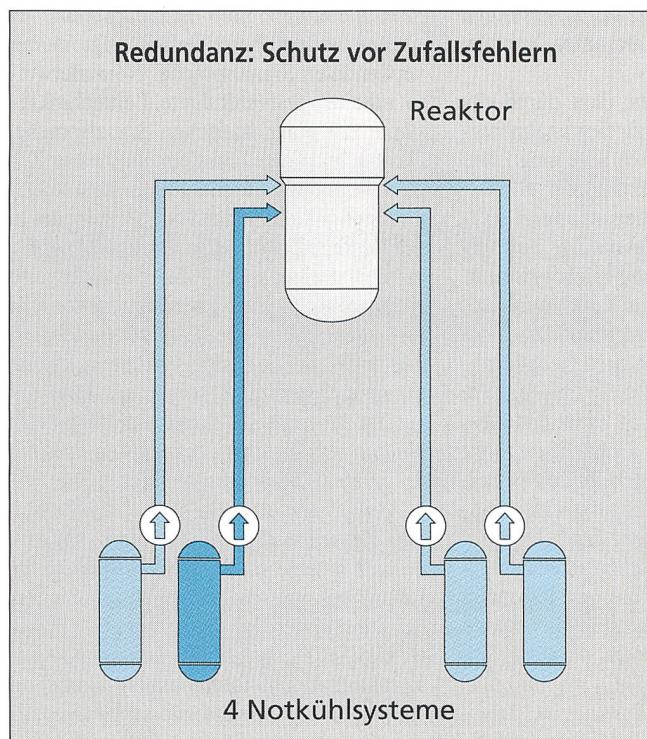


Bild 1 Die einfachste Methode, eine technische Grundsicherheit zu erreichen, ist die zwei- oder mehrfache (redundante) Installation gleicher Systeme oder Geräte, die unabhängig voneinander funktionieren. So sind zum Beispiel für die Notkühlung eines Reaktors vier Kühlstränge installiert, obwohl einer ausreichen würde (Bilder Siemens)

Adresse der Autoren:

Dr. Heinz-Wilhelm Bock, Dr. Arnold Graf,
Siemens AG, Bereich Energieerzeugung (KWW),
Postfach 32 20, D-91050 Erlangen.

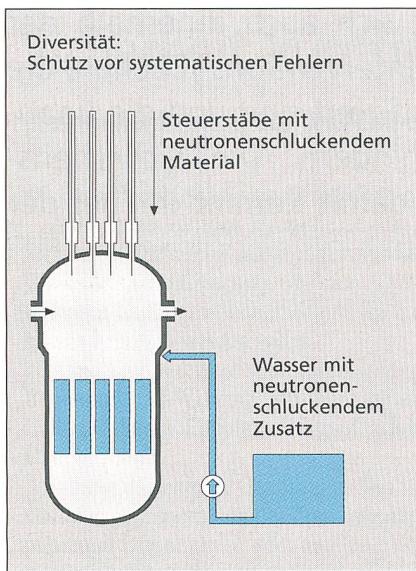


Bild 2 Zwei- oder mehrfach vorhandene (redundante) Systeme könnten aus einer einzigen Ursache heraus gleichzeitig ausfallen, zum Beispiel infolge von gleichen Konstruktionsmängeln oder Fertigungsfehlern. Um sich davor zu schützen, arbeiten die einzelnen Systeme nach verschiedenartigen (diversitären) Prinzipien. Fallen zum Beispiel die Steuerstäbe aus, so tritt sofort die Wassereinspeisung in Aktion, die die Kettenreaktion zum Stillstand bringt

Leittechnik zu berücksichtigen sind. Es sind dies sowohl Naturkatastrophen wie Erdbeben, Stürme oder Überschwemmungen als auch von Menschen verursachte Ereignisse wie Flugzeugabstürze oder Explosionen. Zusätzlich zur nachgewiesenen Qualität und Zuverlässigkeit fordern die deterministischen Auslegungskriterien in Deutschland, dass die Sicherheits-Leittechnik ihre Aufgabe auch bei unterstellten Ausfallkombinationen lückenlos erfüllen muss.

Konkret bedeutet dies, dass durch das gleichzeitige Auftreten zweier unabhängiger Ausfälle einschließlich aller möglichen Konsequenzen die Funktion der Sicherheits-Leittechnik nicht beeinträchtigt werden darf. Unabhängig davon, wie unwahrscheinlich es ist, muss beispielsweise unterstellt werden, dass ein Kurzschluss auf einer Baugruppe zu einem Brand führt, der alle Einrichtungen im gleichen Gebäudeabschnitt zerstört. Gleichzeitig mit diesem Ausfall ist dann zusätzlich zu unterstellen, dass in einem anderen Gebäudeabschnitt Einrichtungen der Sicherheits-Leittechnik beispielsweise wegen Reparaturmassnahmen nicht funktionstüchtig sind. Entsprechend den deterministischen Auslegungskriterien müssen dann die verbleibenden Einrichtungen in der Lage sein, die Anlage abzuschalten und in einem sicheren Zustand zu halten.

Von besonderer Bedeutung ist dabei, dass auch systematische Fehler als Ausfall-

ursache unterstellt werden müssen. Wird beispielsweise der Füllstand in einem Behälter von mehreren unabhängigen, aber baugleichen Sensoren erfasst, so ist der gleichzeitige Ausfall aller Sensoren anzusetzen.

Mehrfach vorhanden

Struktur und räumliche Anordnung der Sicherheits-Leittechnik sind durch die deterministischen Auslegungskriterien weitgehend vorgegeben. Zur Beherrschung zweier unabhängiger Ausfälle sind in der Struktur mindestens drei voneinander unabhängige (redundante) Stränge vorzuweisen. Da es sowohl aus sicherheitstechnischen wie auch aus wirtschaftlichen Gründen vorteilhaft ist, wenn die Sicherheits-Leittechnik auch während des Betriebs der Anlage geprüft werden kann, haben moderne Druckwasserreaktoren sogar vier voneinander unabhängige Stränge. Die Stränge sind in verschiedenen Gebäudeabschnitten untergebracht und so gegeneinander geschützt, dass bei beliebig angenommenen internen oder auch externen Ereignissen, wie beispielsweise Feuer, Überflutung oder gar Flugzeugabsturz, die sicherheitstechnisch erforderlichen Funktionen ausgeübt werden können. Daher haben diese Stränge selbstverständlich unabhängige Versorgungseinrichtungen wie etwa Lüftungsanlagen oder durch Batterien gepufferte Stromversorgungen.

Dynamische Signale

Eine andere Besonderheit liegt in der verwendeten Signalsprache. Normalerweise arbeiten festverdrahtete Leittechniksysteme mit einer statischen Signalsprache. Das hat zur Folge, dass ein stationärer Zustand im überwachten Prozess auch zu einem stationären Zustand der Signalpegel in der Leittechnik führt. Da nun aber Ausfälle in der Leittechnik, wie beispielsweise Kurzschlüsse oder Unterbrechungen, in fast allen Fällen ebenfalls zu stationären Zuständen der Signalpegel führen, könnte es vorkommen, dass solche Ausfälle die auslegungsgemäße Schutzanregung verhindern und dies bis zur nächsten Prüfung des Systems verborgen bleibt.

Verbogene Ausfälle aber beeinflussen die Zuverlässigkeit gravierend negativ, deshalb ist eine statische Signalsprache für Leittechniksysteme mit höchster Sicherheitsklassifizierung ungeeignet. Daher werden in der Sicherheits-Leittechnik von Kernkraftwerken Leittechniksysteme eingesetzt, die sich einer dynamischen Signalsprache bedienen. Diese zeichnen sich da-

durch aus, dass sie ihre Informationen zum Beispiel in Form von Pulsmustern codieren und diese zyklisch übertragen. Das bedeutet beispielsweise konkret, dass die Sicherheits-Leittechnik während des ungestörten Kraftwerkbetriebs – in Pulsmustern codiert – ständig und unmittelbar die Information an die Sicherheitssysteme übermittelt, den Reaktor nicht abzuschalten. Der Wegfall dieser Information wird von den Sicherheitssystemen umgekehrt derart interpretiert, dass der Reaktor spontan abzuschalten ist.

Da nun jeder Ausfall in der Sicherheits-Leittechnik zu stationären Signalpegeln und damit zum Wegfall der Pulsmuster führt, hat er zwangsläufig die Abschaltung des Reaktors und damit einen sicheren Zustand zur Folge. Dieses Verhalten wird üblicherweise als «Fail-Safe-Verhalten» bezeichnet und zeichnet Leittechniksysteme höchster Zuverlässigkeit aus.

Noch mehr Sicherheit durch Prozessorteknik

Für Leittechniksysteme mit dynamischer Signalsprache wurde in der Vergangenheit eine spezielle, auf einzelnen (diskreten) Elementen basierende Gerätetechnik eingesetzt, die sich zur Bildung logischer Signalverknüpfungen auf Magnetrings abstützt. Daraus resultiert im Vergleich zu den heute üblichen hochintegrierten Schaltkreisen ein erheblicher Platzbedarf, der bei Nachrüstmassnahmen zunehmend zu Platzproblemen führt.

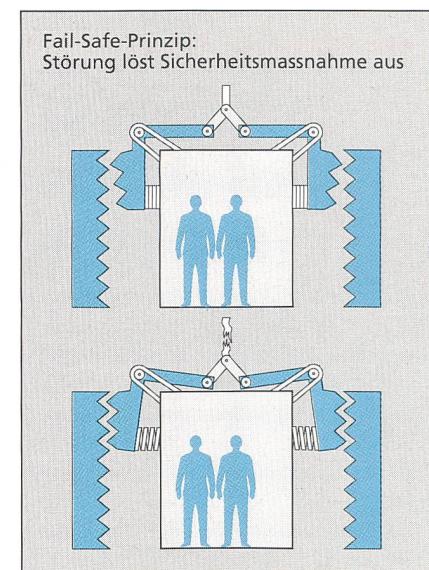
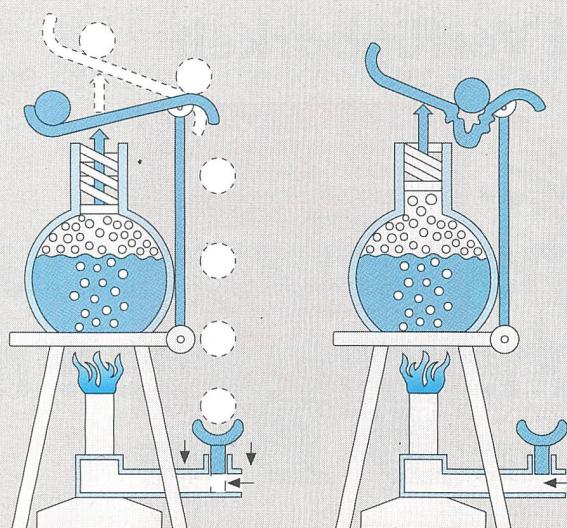
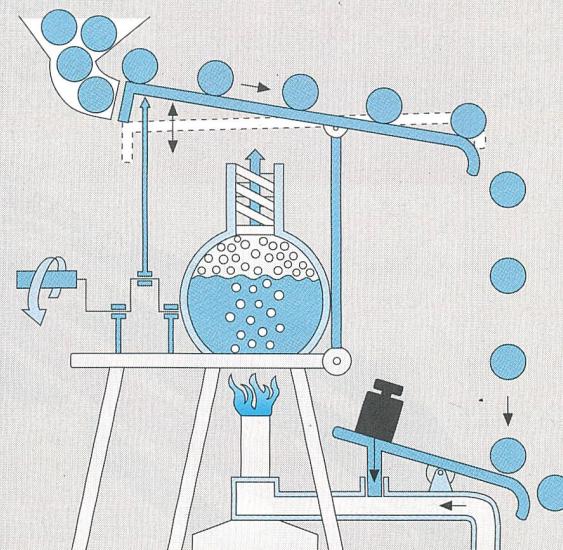


Bild 3 Charakteristisches Merkmal einer Technik, die höchsten Sicherheitsansprüchen genügen muss, ist das «Fail-Safe-Prinzip». Eine Störung bewirkt durch sich selbst eine Sicherheitsmaßnahme. Reißt zum Beispiel bei einem Aufzug das Tragseil, wird durch das Reissen eine Mechanik ausgelöst, die den Aufzug anhält

Ausführung von Schutzsystemen

Ohne Selbstkontrolle: Störung bleibt unbemerkt



Mit Selbstkontrolle (dynamisch): Störung verursacht Abschaltung

Bild 4 Eine Besonderheit von Leittechniksystemen, die in jedem Fall funktionieren müssen, ist die pausenlose Selbstkontrolle. In Kernkraftwerken ist das durch eine dynamische Signalsprache verwirklicht, die hier in der Modellzeichnung durch pausenlos in bestimmten Abständen rollende bzw. fallende Kugeln symbolisiert ist (anstelle der Kugeln muss man sich elektrische Impulse denken). Sobald die Kugeln ausbleiben oder der Abstand zu gross wird, hat das ständig auf dem Ventil lastende Gewicht keine Gegenkräfte mehr und sperrt die Brennstoffzufuhr automatisch ab

Auf nahezu allen Gebieten der Automatisierungstechnik setzten sich in den vergangenen Jahren programmierbare Prozessor-Systeme durch. Es ist nun von besonderer Bedeutung, dass sich derartige Systeme ebenfalls einer dynamischen Signalsprache bedienen und somit ideale Voraussetzungen für Leittechniksysteme mit «Fail-Safe-Verhalten» bieten.

Prozessoren haben noch weitere Vorteile, die sie gerade für die Realisierung hochzuverlässiger Systeme prädestinieren. Das ist zum einen die Möglichkeit der Selbstüberwachung, durch welche Fehler bereits erkannt werden können, bevor sie zum Ausfall der sicherheitsrelevanten Funktion führen. Zum anderen ist dies die optische Signalauftragung über Glasfaserkabel, welche die Ausbreitung von Ausfällen durch Eintragung von Überspannungen vollständig unterbindet und damit ein ideales Entkopplungsmedium darstellt. Trotz dieser wichtigen positiven Eigenschaften ist die Akzeptanz von Prozessoren in Sicherheitssystemen noch immer nicht unumstritten. Hauptgrund für diese auch unter Experten noch kontrovers geführten Diskussionen ist, dass zur Zeit noch keine Methodik zur Beurteilung der Softwarequalität im Begutachtungsverfahren etabliert ist.

Insbesondere für Anwendungen mit höchster Sicherheitsverantwortung wurde von Siemens in den vergangenen Jahren das auf Prozessoren basierende Leittech-

niksystem Teleperm XS entwickelt. Ein wesentliches Merkmal dieses Systems besteht darin, dass es eine streng formale Methode zur Softwareerstellung beinhaltet, welches nicht nur höchste Softwarequalität gewährleistet, sondern auch die zugehörige Nachweisführung unterstützt. Daher wird mit Teleperm XS ein wesentlicher Schritt zur Beurteilbarkeit von Softwarequalität erreicht. Die Entwicklung wurde im Auf-

trag des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen (BStLMU) von der Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) begleitend begutachtet. In dem im Sommer 1992 fertiggestellten Konzeptgutachten bestätigt die GRS, dass durch das neue, auf Prozessoren basierende System Teleperm XS die Zuverlässigkeit der Sicherheits-Leittechnik in Kernkraftwerken weiter erhöht werden kann.

La technique de commande de sécurité dans la centrale nucléaire Garant de la sécurité

Le niveau de sécurité élevé de la technologie nucléaire se retrouve également dans la technique de commande. Celle-ci comprend plusieurs niveaux d'intervention échelonnés, qui sont classés suivant leur importance technique et qui empêchent, indépendamment les uns des autres, tout fonctionnement inadmissible. Constituant le dernier niveau d'intervention, la technique de commande occupe ainsi la première place dans l'évaluation technique de la sécurité.

Cette grande importance se reflète dans la qualité particulièrement élevée de la technique de commande de sécurité; elle se traduit par une qualité d'exécution supérieure à la moyenne, une fiabilité exceptionnelle ainsi que des critères de dimensionnement prédefinis.

Il est clair que la qualité d'exécution optimale n'exclut pas d'éventuelles pannes de composants de la technique de commande, étant donné que ceux-ci sont, comme tous les produits techniques, exposés aux effets du vieillissement. La technique de commande de sécurité est structurée de manière à ce que, même en cas de panne de composants, rien ne vienne entraver le déroulement de mesures techniques de sécurité importantes.

EF Networks, Ihr Partner für Netzwerkkomponenten, Beratung, Schulung und "Just-in-Time"-Lieferung.

POPE Kabel – nicht zu schlagen in: Qualität, Preis und Verfügbarkeit

Das umfassende Kat. 5 Installations- und Flexkabel-Sortiment für die universelle Gebäudeverkabelung

- Top-Qualität
- Ausgezeichnetes Preis/Leistungsverhältnis
- Ab Lager lieferbar

POPE Kabel erfüllen alle internationales Normen und sind zum Teil

- SEV geprüft nach prEN 50173

Erhältlich sind alle gängigen Twisted-pair Ausführungen mit den Außenmantel-Varianten: PVC, Polyurethan, halogenfrei, flammwidrig, FRNC etc. Verlangen Sie die Dokumentation.

NEU: Exklusiv im EF-Sortiment

Egli Fischer Zürich

Egli, Fischer & Co. AG, Networks / Fiber-Optics
Gotthardstrasse 6, 8022 Zürich
Telefon 01/209 83 18, Fax 01/201 22 75

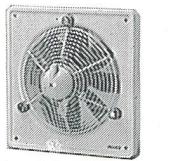
N294

ANSON liefert



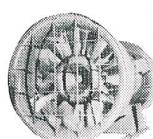
Rohrventilatoren
für direkten Rohrabschluss 10–60 cm Ø.
150–15000 m³/h.
Auch Ex-geschützt.
Dazu Lüftungsrohre,
Aussengitter und
Schalter prompt und
preisgünstig.
Rufen Sie uns an:

ANSON liefert



Hochleistungs-ventilatoren
mit Flanschplatte oder
Wandring. 800–
25000 m³/h. Alle
Stromarten. Auch
Ex-geschützt. Dazu
Schalter und Steuerungen
konkurrenzlos
günstig von:

ANSON liefert



alle Arten von Spezialventilatoren
für den Anlagebau.
Volumen bis 100 m³/sec.
Auch für staubige,
aggressive Medien und
Heissluft. — Beratung
und Offerte von:

ANSON liefert



Ex-geschützte Radial-Gebläse
für Abluft, Appartebau,
Spezialanwendungen etc. sofort ab
Lager. 200–3000 m³/h. SEV-geprüft.
Konkurrenzlos günstig vom Spezialisten:

ANSON liefert



Mitteldruck-Gebläse, eindeutig die besten
bezüglich Leistung,
Qualität und Zuverlässigkeit. Bis 3350
m³/h. Bis 3400 Pa. Alle
Stromarten.
Verlangen Sie Beratung
und Angebot von:



moderne Ventilator-Steuerungen
z.B. Ein-/Aus-Schalter,
Stufenschalter, Drehzahlregler,
Thermostat- u. Differenzdruck-Schalter,
Zeitschalter etc. Für AP-, UP- u. Einbaumontage.
Prompt u. preisgünstig
vom Spezialisten:

Oe6

ANSON AG 01/461111

8055 Zürich
Friesenbergstr. 108
Fax 01/463 09 26

für Ventilatoren und Gebläse!